ФАНО РОССИИ

КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
Геологический институт КНЦ РАН



Труды

XIV Всероссийской научной конференции с международным участием

ФЕРСМАНОВСКАЯ НАУЧНАЯ СЕССИЯ

2017 (14)

Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН

УДК 55 + 553 (470.21)

ISSN 2074-2479

XIV Всероссийская (с международным участием)

ФЕРСМАНОВСКАЯ НАУЧНАЯ СЕССИЯ

посвященная 100-летию со дня рождения акад. АН СССР А.В. Сидоренко и д.г.-м.н. И.В. Белькова

3-4 апреля 2017 г.
г. Апатиты

Главный редактор – д.г.-м.н., проф. Ю.Л. Войтеховский

Редакторы секций:

Память, история, культура Кольского Севера: гуманитарные исследования –
д.г.-м.н., проф. В.П. Петров, к.и.н. О.А. Бодрова

Региональная геология, минералогия, геофизика и геохимия –
к.г.-м.н. Т.В. Рундквист, к.г.-м.н. А.В. Мокрушин,
к.г.-м.н. С.В. Мудрук

Технологическая минералогия – д.х.н. А.М. Калинкин

Горное дело и обогащение –
д.т.н., проф. А.А. Козырев, к.т.н. Ю.В. Федотова

Гелиогеофизические исследования и авроральные явления –
д.ф.-м.н. Б.В. Козелов

Физико-технические проблемы энергетики Севера –
д.т.н. Б.В. Ефимов, к.т.н. Селиванов В.Н.

Экологические проблемы северных регионов –
д.г.н., проф. В.А. Даувальтер

Биогеохимия окружающей среды –
д.б.н. Г.М. Кашулина

Изучение и сохранение биоразнообразия горных и арктических территорий –
д.б.н. Н.А. Константинова, к.б.н. Е.А. Боровичев

Человек в условиях арктики: аспекты адаптации и охраны здоровья –
к.м.н. В.В. Мегорский, к.б.н. Д.А. Петрашова

Социально-экономические исследования северных и арктических территорий –
д.э.н., проф. Т.П. Скуфьина, к.э.н. Е.Е. Емельянова

При поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 17-05-20050

Научное издание

Редактор С. А. Шарам
Технический редактор: В. Ю. Жиганов

Подписано в печать 14.04.2017. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 66,85. Тираж 100 экз. Заказ № 16.

ФГБУН КНЦ РАН
184209, Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14

© Коллектив авторов, 2017
© Геологический институт КНЦ РАН, 2017
© Кольский научный центр Российской академии наук, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
Войтеховский Ю.Л.	Предисловие главного редактора ……..	15

СЕКЦИЯ 1. ПАМЯТЬ, ИСТОРИЯ, КУЛЬТУРА КОЛЬСКОГО СЕВЕРА: ГУМАНИТАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Алёхин В. Д. Рябев В. В.	Перспективные возможности маркирования территорий и музеефикации культурных ландшафтов Мурманской области……..	17
Бодрова О. А.	Этническая символика в контексте регионального брендинга (на примере Мурманской области)……....	19
Докучаев А. Я., Лобанов К. В., Смольянинова В. Н., Каргин А. В., Курдюков Е. Б., Лексин А. Б., Юткина Е. В., Суханов М. К., Гирнис М. В.	К истории Мурманской железной дороги: материалы из Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН……	22
Дюжилов С. А., Богдан Я. Е.	Роль Хибинской агростанции в борьбе за апатит: взгляд на проблему	25
Зайцев А. А.	Н. Н. Волков как исследователь культуры кольских саами.....	28
Казакова К. С.	"Культурный уровень" коренного населения Кольского Севера в оценках этнографов второй половины XIX – начала XX веков…..…….	31
Лобанов К. В., Докучаев А. Я., Смольянинова В. Н., Каргин А. В., Курдюков Е. Б., Лексин А. Б., Юткина Е. В., Суханов М. К., Гирнис М. В.	Страницы из истории российского изучения и освоения архипелага Шпицберген: материалы из Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН…..	34
Макарова Е. И.	Игорь Владимирович Бельков в истории Кольского Севера: к 100-летию со дня рождения…….....	37
Тараканов М. А.	Материалы Научного архива КНЦ РАН об экономических исследованиях в Кольской базе АН СССР в 1930-е годы.....……..	43
Тараканов М. А.	К истокам истории железнодорожной колонизации Карело-Мурманского края…….....	46
Токарев А. Д., Петров В. П.	Роль академика А. В. Сидоренко и его сподвижников в создании Академического городка на Кольском Севере…….....	48
Шабалина О. В.	Материалы персонального фонда академика А. В. Сидоренко Музея-Архива истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН	52

СЕКЦИЯ 2. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА И ГЕОХИМИЯ

Аведисян А. А., Каулина Т. В., Рябуха М. А., Томиленко А. А.	Флюидные включения в кварце на урановых рудопроявлениях участка береговое, лицевский рудный узел.....	56

Бойко А. А., Анисимов М. А., Колька В. В.	Анализ ^{14}C-датировок морских и континентальных отложений Кольского и Карельского берегов, отражающих динамику уровня Белого моря……..	59
Борисова В. В., Волошин А. В., Жихарева Н. Г.	Новые поступления в коллекцию Музея геологии и минералогии им. И. В. Белькова Геологического института КНЦ РАН в 2016 году……	61
Ветрин В. Р.	Инициальный субщелочной магматизм неоархейской щелочной провинции Кейвской структуры……...	65
Ветрин В. Р., Белоусова Е. А., Кременецкий А. А.	U-Pb И Lu-Hf изотопная систематика циркона из гранатовых гранулитов: возрастные этапы формирования нижней коры Беломорского подвижного пояса……	68
Волошин А. В., Компанченко А. А., Карпов С. М., Борисова В. В.	Новые данные о минералах. Выпуск 3. Первые находки в России и в Кольском регионе……	71
Волошин А. В., Карпов С. М., Чернявский А. В.	Ритмично-полосчатые структуры воджинит-мусковит в редкометальных пегматитах Вороньих тундр, Кольский регион……	77
Габов Д. А., Субботин В. В., Савченко Е. Э.	Новые данные о составе Cu-Ni-ЭПГ-минерализации Южного рифа, Западно-Панский расслоенный интрузив, Кольский полуостров……..	79
Ганнибал М. А., Каменский И. Л., Толстихин И. Н., Скиба В. И., Гудков А. В.	Гелий и аргон в щелочном амфиболе: распределение, сохранность, методы исследования……..	83
Грошев Н. Ю.	О возможности использования состава плагиоклаза как индикатора экономической значимости платинометалльного рифа в расслоенном базитовом интрузиве……	86
Гудков А. В., Колобов В. В.	Масс-спектрометр МИ1201 ИГ и его новые возможности……	89
Жамалетдинов А. А.	О границе непроницаемости (непреодолимости) в земной коре с позиции глубинной геоэлектрики и сверхглубокого бурения……..	90
Жиров Д. В., Маркович Д. И.	Микроструктурный анализ разрывной тектоники Расвумчоррского апатит-нефелинового месторождения (Хибины)……	92
Зинчук Н. Н.	Актуальные проблемы поисков алмазоносных кимберлитов……	96
Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н.	О геолого-вещественных особенностях кимберлитов……..	99
Ильченко В. Л., Самигулин Р. Р., Каулина Т. В.	Вариации упругих свойств пород урановых рудопроявлений (рудопроявление Береговое, Лицевский рудный район, Кольский регион)…….....	103
Картушинская Т. В., Балаганский В. В., Каулина Т. В.	Петрографические, петрохимические и возрастные данные по некоторым кислым жилам Беломорской эклогитовой провинции (Балтийский щит)…….	105
Каспарьян Э. В., Федотова Ю. В., Кузнецов Н. Н.	Исследование влияния активных разломов на напряженное состояние скальных массивов……..	108

Козлов Н. Е., Фомина Е. Н., Мартынов Е. В., Сорохтин Н. О. Марчук Т. С.	О возможной причине своеобразия состава пород Кейвского домена (Кольский полуостров)……	111
Колесников В. Е., Карпов С. М., Шевцов А. Н.	Применение многоэлектродной электроразведки методом сопротивлений на колчеданном проявлении «Аномалия № 29», Южное Прихибинье…….....	114
Компанченко А. А., Волошин А. В.	Минеральные формы V, Cr, Ti и Sc в протерозойских колчеданных проявлениях Кольского региона……	117
Кудряшов Н. М., Волошин А. В., Удоратина О. В.	Высокогафниевый циркон из редкометалльных пегматитов месторождения Васин-Мыльк (Кольский регион)……..	120
Кузнецов С. К., Тимонина Н. Н.	Минерально-сырьевые ресурсы арктической зоны Тимано-Североуральского региона и перспективы их освоения……	125
Куликов В. С., Полин А. К., Куликова В. В.	Обзорные геологические карты докембрия юго-восточной Фенноскандии и возможности применения новой хроностратиграфической схемы при их составлении……...	128
Куликова В. В., Куликов В. С.	Некоторые геометрические особенности геологических структур юго-востока Фенноскандинавского щита на примере палеоархейского (?) Водлозерского блока……..	132
Лобанов К. В., Чичеров М. В., Старостин В. И.	Корреляция петрологических и петрофизических данных по метаморфическим породам в разрезе Кольской сверхглубокой скважины……	136
Нерадовский Ю. Н.	О генезисе кианита в ставролитовых сланцах Кейв……	139
Никонов А. А., Зыков Д. С.	О признаках мощных землетрясений в восточном секторе Мурманской зоны (линия Карпинского)……	143
Паникоровский Т. Л., Яковенчук В. Н., Иванюк Г. Ю., Кривовичев С. В.	Структурная эволюция везувиана из скарноидов Ковдорского массива (Кольский полуостров)……	148
Петровский М. Н., Петровская Л. С.	Неоархейские интрузивные массивы шошонитовой серии в Кольской щелочной провинции: история изучения и геологическая характеристика……	150
Конилов А. Н., Пожиленко В. И., Ван К. В.	Минералы проградного и ретроградного метаморфизма в эклогитах Ёнского сегмента Беломорья: новые данные……	155
Потокин А. С., Степенщиков Д. Г., Усов А. Ф., Войтеховский Ю. Л.	Оценка перспектив использования электроимпульсной дезинтеграции для получения абразивного гранатового продукта из гранатосодержащих пород Западных Кейв (технологическое опробование и аппаратурное обеспечение)……..	158
Пуха В.В., Нивин В.А., Асавин А.М.	Новые данные по газоносности Ловозерского редкометалльного месторождения……	161
Сим Л. А., Маринин А. В., Жиров Д. В.	Новые данные о напряженно-деформированном состоянии Кольского полуострова…….	164

Слуковский З. И., Даувальтер В. А.	Использование сканирующего электронного микроскопа в эколого-геохимических исследованиях донных отложений водоемов Севера России……....	166
Токарева В. А., Кузнецов В. С.	Характеристика шлиховых минералов Белореченского полигона практик (Северный Кавказ)……	169
Филатова В. Т.	Цагинский габбро-лабрадоритовый массив: глубинное строение и перспективы рудоносности……	172
Шаров Н. В.	Архангельская алмазоносная провинция……	176
Шипилов Э. В.	О признаках проявления вторичного спрединга на этапе формирования Канадского бассейна (по результатам исследований на архипелаге Земля Франца-Иосифа)……..	180
Шипилов Э. В., Шкарубо С. И.	О дуплетном рифтинге в палеозойской истории развития Южно-Баренцевского сверхглубокого бассейна…….....	183
Юричев А. Н., Гулимов К. С.	Сульфидная минерализация Аргысукского габбрового массива (северо-запад Восточного Саяна)…….	187
Яковлев Ю. Н., Нерадовский Ю. Н., Пахомовский Я. А., Савченко Е. Э.	Изменение составов рудных минералов в разрезе Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3)…….....	189

СЕКЦИЯ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

Балякин К. В., Калинкин А. М., Калинкина Е. В.	Перевод бадделеита в кислоторастворимую форму методом спекания с различными реагентами с использованием предварительной механоактивации…….	209
Бастрыгина С. В, Заверткин А. С., Нерадовский Ю. Н.	Исследование минерального состава тальковых пород Карелии методами рудной микроскопии……	212
Белогурова О. А., Саварина М. А., Шарай Т. В.	Огнеупоры из кианитовой руды и карбидизированных гранул……...	215
Белогурова Т. П., Нерадовский Ю. Н., Миханошина И. А.	Сравнительный анализ способов подготовки водоугольного топлива методами рудной микроскопии……	219
Годнева М. М., Рыськина М. П.	Формирование фторида неодима в сернокислой среде……..	221
Гришин Н. Н., Иванова А. Г.	Переработка кианитового концентрата из руды Кейвского месторождения для получения глинозема…….	223
Гришин Н. Н, Кочеткова Т. В.	Получение высокотемпературного керамовермикулита……..	226
Гришин Н. Н., Ракитина Е. Ю.	Новые элементы технологии переработки титаномагнетитов Кольского полуострова……..…..	228
Дрогобужская С. В., Новиков А. И., Баянова Т. Б., Лялина Л. М.	Элементный анализ минералов методом масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором…….....	231

Калинкин А. М., Гуревич Б. И., Калинкина Е. В., Тюкавкина В. В., Серова Е. К. — Композиционные механоактивированные вяжущие на основе портландцемента и рудных концентратов…… 234

Калинкина Е. В., Гуревич Б. И., Калинкин А. М., Тюкавкина В. В., Серова Е. К. — Влияние механоактивации серпентинсодержащих горнопромышленных отходов на их вяжущие свойства……. 237

Колосов В. Н., Мирошниченко М. Н., Орлов В. М. — Поведение продуктов реакции в процессе восстановления оксидных соединений вольфрама и молибдена парами магния..... 240

Манакова Н. К., Суворова О. В. — Горнопромышленные отходы Мурманской области для получения блочных пеносиликатов…… 243

Мухтаров М. Р., Шайхуллин Р. Д. — Сравнительный анализ распределения пор по размерам в 1D, 2D и 3D цифровых микротомографических изображениях мергеля с ихногенной пористостью…….. 245

Орлов В. М., Колосов В. Н., Прохорова Т. Ю., Мирошниченко М. Н., Крыжанов М. В. — Высокотехнологичная продукция из редкометалльного сырья Кольского полуострова 248

Орлов В. М., Крыжанов М. В. — Особенности магниетермических порошков Ta и Nb..... 251

Пак А. А., Сухорукова Р. Н. — Использование техногенных отходов Мурманской области в ячеистом бетоне…….. 254

Прохорова Т. Ю., Орлов В. М. — Модификация первичных металлотермических порошков тантала и ниобия..... 257

Седнева Т. А., Локшин Э. П. — О полиморфизме диоксида титана……. 260

Суворова О. В., Макаров Д. В., Кумарова В. А., Некипелов Д. А. — Использование отходов обогащения руд для получения строительной керамики с повышенными физико-техническими свойствами…… 263

Тюкавина В. В., Касиков А. Г., Гуревич Б. И. — Роль аморфного кремнезема, полученного из магнезиально-железистого шлака, в процессах структурообразования оксихлоридного магнезиального цемента…… 267

СЕКЦИЯ 4. ГОРНОЕ ДЕЛО И ОБОГАЩЕНИЕ

Абрамов Н. Н. — К методике оценки устойчивости приконтурного массива подземных сооружений по частотным спектрам внешних воздействий…… 270

Гусак С. А., Смирнов Ю. Г., Орлов А. О. — Предпосылки использования атомных станций малой мощности при разработке новых месторождений полезных ископаемых в арктических регионах России…… 273

Дьяков А. Ю., Калашник А. И. — Моделирование электромагнитного поля, индуцированного георадарным зондированием в окрестности структурной неоднородности скального массива……... 275

Калюжный А. С., Земцовский А. В.	Исследование напряженно-деформированного состояния массива пород в окрестности карьерной выемки месторождения «Олений ручей»……..	278
Каспарьян Э. В., Федотова Ю. В., Кузнецов Н. Н.	Исследование влияния активных разломов на напряженное состояние скальных массивов……	282
Козырев С. А., Камянский В. Н.	Исследование влияния динамических нагрузок на прибортовую область уступа……...	285
Козырев С. А., Аленичев И. А., Усачев Е. А., Соколов А. В.	Сейсмическое действие массовых взрывов на борта карьера рудника «Железный»……..	288
Козырев С. А., Амосов П. В.	Численное моделирование процесса проветривания одиночной тупиковой выработки с учетом утечки-подсоса воздуха через зону обрушения……	291
Козырев А. А., Панин В. И., Журавлева О. Г.	Энергообмен в геологической среде Хибинских горнотехнических систем……	294
Козырев А. А., Семенова И. Э., Аветисян И. М.	Прогноз удароопасности при выемке запасов блока-целика между подземными горными работами Юкспорского месторождения и Саамским карьером……..	298
Козырев А. А., Семенова И. Э., Земцовский А. В.	Об оценке удароопасности массива горных пород Ждановского месторождения……	300
Корниенко А. В., Шишкин А. С.	Автоматизация маркшейдерского обеспечения горных работ в ГГИС MINEFRAME……...……...	303
Ловчиков А. В. Асминг В. Э.	Перспективы развития сети сейсмического мониторинга на Ловозерском месторождении…….....	305
Лукичев С. В. Наговицын О. В.	Геоинформационные технологии для решения задач горного производства…….	308
Мелихов М. В., Чащинов Г. В.	Применение технологии скейлинг для защиты карьерного автотранспорта от камнепадов……...	311
Митрофанова Г. В., Иванова В. А.	Оксиэтилированные соединения – регуляторы флотации апатита…….	314
Никитин Р. М., Скороходов В. Ф., Степанникова А. С., Бирюков В. В.	Подход к исследованию зависимости удельной площади поверхности раздела газовой и жидкой фазы и толщины адсорбционной пленки на поверхности пузырьков воздуха от вида и концентрации собирателя при приготовлении активированной водной дисперсии воздуха……	317
Рыбин В. В., Савченко С. Н.	Реконструкция параметров действующих напряжений в пределах Ковдорской группы месторождений на основе натурных определений…	320
Скороходов В.Ф., Месяц С.П., Остапенко С.П.	Современный способ очистки сточных вод предприятий горнопромышленного комплекса……	325
Терещенко С. В., Павлишина Д. Н., Алексеева С. А., Ракаев А. И.	Использование методов предконцентрации для повышения качественных показателей руд…….	328

Терещенко С. В., Алексеева С. А., Черноусенко Е. В., Нерадовский Ю. Н. — К проблеме обогащения титаномагнетитовых руд Кольского полуострова…….. 330

Белогородцев О. В., Хомкин Е. Е. — Выбор варианта развития горных работ при вводе в эксплуатацию глубокого горизонта…… 333

Хохуля М. С., Опалев А. С., Фомин А. В., Бирюков В. В. — Использование методов вычислительной гидродинамики для изучения процессов разделения минералов и разработки нового обогатительного оборудования…….. 335

Хохуля М. С., Карпов И. В., Конторина Т. А., Герасимова Л. Г., Николаев А. И. — Комбинированная технология выделения перовскитового концентрата и его переработка с получением функциональных продуктов…… 339

СЕКЦИЯ 5. ГЕОЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АВРОРАЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Демин В. И., Анциферова А. Р., Чаус О. М. — Оценка влияния "острова тепла" на температуру воздуха на городской метеостанции в Мурманске…….. 342

Козелов Б. В. — Особенности пространственно-временного скейлинга магнитосферно-ионосферной плазмы по данным авроральных наблюдений…….. 344

Орлов К. Г., Мингалёв И. В., Мингалёв В. С. — Исследование общей циркуляции атмосферы Земли при помощи моделей, разработанных в Полярном геофизическом институте…….. 347

Сафаргалеев В. В. — Роль наблюдений в Арктике в исследованиях космической погоды……. 350

СЕКЦИЯ 6. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ СЕВЕРА

Бурцев А. В. — Опыт регистрации грозовой деятельности на Кольском полуострове с целью выбора средств молниезащиты воздушных линий электропередачи…….. 355

Ивонин В. В., Данилин А. Н. — Нелинейные процессы в грунтах при стекании импульсных токов с заземлителей…… 357

Карпов А. С., Ярошевич В. В. — Исследование электромагнитной совместимости промышленных объектов и городских сетей на примере Мурманской области……... 360

Колобов В. В., Баранник М. Б. — Опыт сотрудничества ЦФТПЭС с ГИ КНЦ РАН и ИХТРЭМС РАН в создании и модернизации технических средств обеспечения НИР…… 363

Коновалова О. Е. — Реконструкция энергосистемы Кольского полуострова, как базис интеллектуальной энергосистемы (Smart Grid)……... 366

Кузнецов Н. М. — Энергосбережение в региональной энергетике Мурманской области….. 369

Минин В. А. — Использование энергии ветра – одно из возможных направлений энергосбережения в Мурманской области…… 371

Селиванов В. Н., Сахаров Я. А. — Исследование влияния геомагнитных бурь на электрические сети в высоких широтах…….. 374

СЕКЦИЯ 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ

Амосов П. В., Бакланов А. А., Маслобоев В. А. — Эффект загрязнения атмосферы города Апатиты от пыления дискретных участков хвостохранилища АНОФ-2…… 377

Арешина Н. С., Касиков А. Г. — К вопросу утилизации растворов системы очистки пылегазового потока медно-никелевого производства……. 380

Артемкина Н. А. — Химический состав мхов Кольского полуострова…… 382

Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. — Химический состав воды и донных отложений водоемов и почвы на водосборах в зоне влияния выбросов комбината "Печенганикель"…….. 385

Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. — Оценка экологического состояния системы озеро Инари – река Пасвик по результатам исследований содержания тяжелых металлов в донных отложениях…….. 388

Ершов В. В, Исаева Л. Г. — Концентрация меди, никеля и серы в атмосферных выпадениях в лесах Печенгского района……..... 391

Иванова Е. А., Лукина Н. В. — Динамика опада хвои сосны, формирующей древостои в лесах на разных стадиях дигрессионной сукцессии……..... 394

Ключникова Е. М. — Актуальные направления экологических исследований в Арктике: анализ стратегических документов…… 397

Корнейкова М. В., Фокина Н. В., Чапоргина А. А., Янышевская Е. С. — Антибиотическая активностьмикромицетов фоновых и загрязненных выбросами алюминиевого завода почв наКольском полуострове……. 399

Слуковская М. В., Кременецкая И. П., Горбачева Т. Т., Иванова Л. А., Дрогобужская С. В., Мосендз И. А., Марковская Е. Ф. — Фактор компенсации дефицита макрокомпонентов в почвенном слое при проведении фиторемедиации импактной зоны медно-никелевого предприятия……... 402

Терентьев П. М., Зубова Е. М., Кашулин Н. А., Королева И. М. — Европейская корюшка бассейна оз. Имандра…….. 404

Терентьева И. А., Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. — Влияние кислотно-щелочных условий на миграцию металлов в системе "вода – донные отложения"…… 407

Ткаченко Ю. Н. — Трансформация почв на разных стадиях восстановления сосняков……. 410

Чапоргина А. А., Корнейкова М. В. — Накопление потенциально патогенных микромицетов в антропогенно загрязненных почвах Кольского полуострова…… 412

СЕКЦИЯ 8. БИОГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Бурачевская М. В., Минкина Т. М., Манджиева С. С., Маштыкова Л. Ю., Чаплыгин В. А., Уразгильдиева К. Р., Коркин Г. О. — Фракционное распределение соединений свинца в почве, подверженной аэротехногенным выбросам предприятия…… 415

Горбачева Т. Т., Мазухина С. И., Иванов С. В., Максимова В. В. — Формы миграции алюминия в наземных экосистемах Кольского полуострова……..... 417

Иванова Л. А., Кременецкая И. П., Горбачева Т. Т., Слуковская М. В., Марковская Е. Ф., Дрогобужская С. В. — Реабилитация антропогенно нарушенных территорий в условиях Арктики с применением гидропонных экспресс-технологий…… 421

Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Дрогобужская С. В., Баскова Л. А. — Биогеохимические особенности почв юго-западного побережья острова Западный Шпицберген…….. 424

Кременецкая И. П., Иванова Л. А., Горбачева Т. Т., Алексеева С. А., Дрогобужская С. В., Лащук В. В., Терещенко С. В. — Опыт сотрудничества институтов КНЦ РАН при разработке способов снижения техногенной нагрузки на природно-антропогенные ландшафты Мурманской области……..... 427

Куприянова Ю. В., Любимов И. С., Копцик Г. Н. — Биодеструкция органического вещества почв как важнейшее звено биогеохимического цикла углерода в лесных экосистемах Кольской Субарктики……. 429

Мазухина С. И., Сандимиров С. С., Пожиленко В. И, Иванов С. В. — Оценка породного и антропогенного влияния на химический состав озер Фенноскандии…… 433

Судник И. Е., Кашулина Г. М., Баскова Л. А. — Изменения химического состава листьев березы под воздействием выбросов медно-никелевого предприятия…… 435

Сухарева Т. А. — Особенности накопления химических элементов древесными растениями северотаежных лесов на фоновых и техногенно нарушенных территориях…….. 438

СЕКЦИЯ 9. ИЗУЧЕНИЕ И СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ГОРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Блинова И. В., Кутенков С. А., Миронов В. Л., Мамонтов Ю. С., Петровский М. Н. — К характеристике и охране богатых минеротрофных болот Мурманской области……... 442

Валькова С. А. — Разнообразие и количественные показатели макрозообентоса оз. Имандра……..... 445

Денисов Д. Б., Косова А. Л. — Разнообразие диатомовых водорослей (*Bacillariophyta*) озера Имандра (Кольский полуостров)…… 448

Конорева Л. А. — Лишайники в локальных флорах о. Северо-Восточная Земля (Nordaustlandet, Svalbard)…….. 450

Копеина Е. И., Маслов М. Н. Послепожарная сукцессия в условиях горной тундры Хибин (Мурманская область)…… 452

Нехаев И. О. Моллюски семейства Rissoidae Евразийской Арктики: анализ таксономически значимых признаков внешней и внутренней морфологии…….... 456

Тростенюк Н. Н., Святковская Е. А., Гонтарь О. Б. Семенной обмен – один из путей сохранения и обогащения биоразнообразия на Кольском Севере…….. 459

Штабровская И. М., Зенкова И. В. Сравнительная динамика температуры подстилки в лишайниковой и кустарничковой тундре Хибин…….. 461

СЕКЦИЯ 10. ЧЕЛОВЕК В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ: АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ

Алексеев Р. В., Коломейчук С. Н., Мейгал А. Ю. Гены-маркеры предрасположенности к скоростно-силовым видам спорта у населения Республики Карелия……. 465

Балан О. В., Топчиева Л. В., Стафеева Е. Б., Малышева И. Е., Соколовская А. Н., Барышева О. Ю. Содержание интерлейкина 6 в плазме крови и уровень экспрессии генов *IL-6* и *IL-6R* в лейкоцитах периферической крови у жителей карелии в зависимости от генотипа по полиморфному маркеру гена *IL-6R* (rs4537545)…….....…….. 467

Завадская Т. С., Михайлов Р. Е., Чеботарева Е. Н., Белишева Н. К. Вариабельность микрофлоры в организме женщин, проживающих в Евро-арктическом регионе……..... 469

Коломейчук С. Н., Петрашова Д. А., Пожарская В. В., Мартынова А. А., Теплова Л. И. Интегральная оценка психоэмоциональных параметров детей и подростков Европейского Севера России……... 472

Мартынова А. А., Пряничников С. В. Возможный вклад гелиогеофизических факторов в спектральную составляющую сердечного ритма жителей Арктической зоны…… 474

Михайлов Р. Е., Белишева Н. К., Новосельцев Р. Г. Зависимость продолжительности жизни жителей Арктического региона от циклов солнечной активности……. 477

Петрашова Д. А., Пожарская В. В. Микроядра и нарушения пролиферации в клетках буккального эпителия у детей села Краснощелье Мурманской области…… 480

Пожарская В. В., Петрашова Д. А. Микроядра в лимфоцитах периферической крови детей и подростков проживающих в сельской местности Мурманской области…….…… 482

Пряничников С. В., Мартынова А. А. Изменение уровня тревожности в разных возрастных группах, проживающих в условиях Арктического региона…… 484

Терещенко П. С., Петров В. Н., Мегорский В. В., Белишева Н. К. Пути минерального обмена в организме человека и методы его исследования…… 486

Топчиева Л. В., Балан О. В., Малышева И. Е., Барышева О. Ю., Васькова О. А., Стафеева Е. Б. — Содержание метаболитов оксида азота в плазме крови и уровень транскриптов гена *NOS*2 в лейкоцитах периферической крови у больных ревматоидным артритом на фоне противовоспалительной терапии…….. 489

СЕКЦИЯ 11. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Баранов С. В. — Ранжирование регионов Севера по уровню информатизации…… 493

Баранов С. В., Скуфьина Т. П. — Специфика производства валового регионального продукта регионов Севера…… 495

Барашева Т. И. — Бюджетно-налоговое регулирование в регионах Севера и Арктики: возможности и ограничения…….. 498

Бурцева И. Г., Бурцев И. Н. — Перспективы освоения и потенциальные рынки нетрадиционных углеводородных ресурсов Тимано-Североуральского региона…….. 501

Гасникова А. А. — Развитие электроэнергетики в современной российской Арктике……. 504

Грушенко Э. Б. — Современные тенденции и актуальные вопросы развития туризма на Русском Севере……..... 506

Гущина И. А., Положенцева О. А. — Оценки материального благополучия жителей Мурманской области (по результатам социологических опросов населения Мурманской области 2013-2016 гг.)…….. 509

Емельянова Е. Е. — Сравнительный анализ бюджетной обеспеченности муниципалитетов Мурманской области.…… 512

Каргинова В. В. — Энтропия как фактор дифференциации пространственного развития территорий…….. 515

Кондратович Д. Л. — Некоторые особенности восприятия перспектив социально-экономического развития арктического региона РФ в оценках населения…… 518

Корчак Е. А. — Институциональные условия обеспечения социальной устойчивости территориального развития: государственная политика в сфере уровня жизни населения Севера РФ…….. 521

Кузнецов Д. С. — Общественные выгоды и издержки при освоении минерально-сырьевых ресурсов Республики Коми…….. 524

Максимов А. М., Зайков К. С., Тамицкий А. М. — Миграционные настроения студенческой молодёжи Арктической зоны РФ как фактор развития трудового потенциала……... 526

Михейкина Л. А. — Сравнительный анализ показателей инновационного развития Арктического региона……. 529

Николаева А. Б. — Освоение ресурсов арктического шельфа: проблемы и перспективы….. 531

Овешникова Л. В. — Статистическое исследование инфраструктурных особенностей в регионах РФ…… 534

Серова Н. А. — Об основных направлениях государственной инвестиционной политики в Арктической зоне РФ…….. 538

Серова В. А.	Направления развития «малой авиации» в Арктической зоне РФ…….	540
Сибирская Е. В.	Статистическое исследование структурных и экономических изменений на газовом рынке России……..	543
Скуфьина Т. П.	Новая специфика управления и научного сопровождения социально-экономического развития российской Арктики……	546
Степанова Е. Н.	Корпоративная социальная ответственность крупных нефтяных компаний Арктической зоны РФ в условиях снижения цен на нефть……	549
Тараканов М. А.	Продуктопровод «Ямал-Поволжье» как арктический мегапроект экономической безопасности России…….	551
Тоичкина В. П.	Демографическая характеристика Арктической зоны РФ……	554
Ульченко М. В.	Некоторые особенности измерения экономической безопасности прибрежных регионов АЗРФ…….	557
Харитонова Г. Н.	Год экологии: достигнутые результаты и благие намерения……...	559
Храпов В. Е., Турчанинова Т. В.	Повышение конкурентоспособности региональных машиностроительный предприятий Мурманской области как субъекта арктических территорий……	561
Цукерман В. А.	О стратегии инновационно-ориентированного развития промышленности севера и Арктики……	564
Цукерман В. А., Горячевская Е. С.	Финансовое обеспечение промышленных предприятий как основа стратегии инновационного развития севера и Арктики……	567
Чапаргина А. Н.	Инвестиционный потенциал населения северных регионов: возможности формирования и формы реализации……	568
Шлапеко Е. А.	Международное межрегиональное сотрудничество в Арктике (на примере программы Коларктик)……	571
Яковчук А. А.	Становление и развитие экотуризма на Кольском Севере…….....	572

Предисловие главного редактора

Уважаемый читатель! Перед Вами – Труды XIV Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвящённой 100-летию со дня рождения акад. А. В. Сидоренко и д.г.-м.н. И. В. Белькова. В год 200-летия Российского минералогического общества она закономерно имела отчётливый геолого-минералогический акцент. С другой стороны, проводимая накануне объединения институтов Кольского НЦ РАН в Федеральный исследовательский центр (ФИЦ КНЦ РАН), призванный комплексно решать проблемы Северо-Западной зоны Российской Арктики на основе фундаментальной науки, она вышла в этом году из недр Геологического института на простор всего Кольского НЦ РАН и показала огромный потенциал его творческих коллективов.

Программа научной сессии состояла из пленарного заседания (к сожалению, яркие воспоминания д.г.-м.н. С. А. Сидоренко и В. И. Бельковой о выдающихся отцах не вошли в этот том) и 11 тематических секций: Память, история, культура Кольского Севера: гуманитарные исследования (12 статей); Региональная геология, минералогия, геофизика и геохимия (41); Технологическая минералогия (16); Горное дело и обогащение (24); Гелиогеофизические исследования и авроральные явления (4); Физико-технические проблемы энергетики Севера (8); Экологические проблемы северных регионов (15); Биогеохимия окружающей среды (9); Изучение и сохранение биоразнообразия горных и арктических территорий (8); Человек в условиях Арктики: аспекты адаптации и охраны здоровья (11); Социально-экономические исследования северных и арктических территорий (31). Итого – почти 180 статей вошли в этот том. Число докладов и статей могло быть ещё более внушительным, если бы не специальные конференции, прошедшие накануне и запланированные сразу после научной сессии в различных институтах.

Анализ статей показывает множество тематических перекрытий, смысловых пересечений: геология и горное дело; технологическая минералогия и процессы обогащения; геохимия, биогеохимия и промышленная экология; гелиогеофизика и адаптация мигрантов на Севере; горное дело и сохранение биоразнообразия в Арктике; физико-технические проблемы энергетики, новые источники энергии и проблемы безопасности – и ряд других. Это означает сохранение стиля исследований в Кольском НЦ РАН, заложенном ещё в 1920-х акад. А. Е. Ферсманом на Хибинской станции «Тиетта». Нельзя не заметить активизации социально-экономических и историко-гуманитарных работ. Активный старт взял только что созданный Центр медико-биологических проблем. Это отражает переход нашего региона к постиндустриальному этапу своей истории и развитие Кольского НЦ РАН в новых реалиях.

Разрозненные институты Кольского научного центра РАН вот-вот будут объединены в ФИЦ КНЦ РАН. Его основным организационным принципом должно быть эффективное развитие каждого института как залог благополучия всего центра. Залогом согласованного развития институтов должны быть совместные масштабные проекты. Ареной для демонстрации новых достижений должна быть ежегодная Ферсмановская научная сессия.

XIV Всероссийская (с международным участием) Ферсмановская научная сессия, посвящённая 100-летию со дня рождения акад. АН СССР А. В. Сидоренко и д.г.-м.н. И. В. Белькова, поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант 17-05-20050-г). От имени Оргкомитета и участников научной сессии выражаю фонду глубокую признательность.

Войтеховский Ю. Л., д.г.-м.н., профессор
председатель оргкомитета XIV ФНС
вр.и.о. председателя КНЦ РАН
директор ГИ КНЦ РАН
вице-президент РМО

Секция 1. ПАМЯТЬ, ИСТОРИЯ, КУЛЬТУРА КОЛЬСКОГО СЕВЕРА: ГУМАНИТАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В. Д. Алёхин, В. В. Рябев
Мурманский областной краеведческий музей, Мурманск, nasledie.mo@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МАРКИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ И МУЗЕЕФИКАЦИИ КУЛЬТУРНЫХ ЛАНДШАФТОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Маркирование территорий становится в последнее время популярным трендом в сохранении и популяризации культурного наследия, а также в восстановлении, реактуализации и музеефикации утраченных исторических ландшафтов. Под маркированием территорий понимается установка каких-либо информационных модулей, обычно в виде тех или иных стендовых конструкций разного уровня сложности, с расположенной на них текстово-графической информацией. Простые информационные стенды в виде планшетной плоскости являются наиболее распространенным способом маркирования, однако низкая стоимость и сложность изготовления и размещения прямо пропорциональны их эффективности. Наиболее качественными считаются сложные и неординарные технические решения, например, создающие эффект дополненной реальности, использующие элементы ландшафтного дизайна, стереоскопию и тому подобные инновационные средства [2]. Становится регулярной практикой и своеобразным «хорошим тоном» сопровождение маркеров территории разнообразными виртуальными средствами информирования — аудиогидами, QR-кодами, элементами геоинформационных систем. Такой комплексный подход в использовании как физических, так и цифровых объектов позволяет достичь синергетического эффекта.

Применение более продвинутых технологий, таких как разнообразные виды дополненной и виртуальной реальности, очевидно, является будущим маркирования и музеефикации ландшафтов. Однако разработка подобных высокотехнологичных решений влечет высокие затраты, требует привлечения специалистов редкой квалификации и покупки дорогостоящих средств вывода информации, что делает работу с массовой аудиторией или стихийными туристами невозможной, поэтому их применимость в обозримом будущем будет очень локальной.

В Мурманской области плодотворность маркирования территорий может быть обусловлена рядом факторов. В большинстве российских регионов, ввиду тяжелой обстановки в системе сохранения культурного наследия, на первый план выходят приоритеты недопущения уничтожения имеющегося наследия. Однако в нашем регионе ситуация в данной сфере более благополучная: относительно небольшое число памятников [5] способствует лучшей их охране и отсутствию тенденций к их массовому уничтожению, что, увы, нередко происходит во многих других регионах [6, 7]. Не в последнюю очередь способствует сохранению и труднодоступность памятников — это исключает их из активной хозяйственной деятельности, предотвращая конфликты интересов [1, с. 49].

В то же время существенная часть населенных районов Мурманской области, в силу исторической специфики, лишилась даже элементов исторического ландшафта. Большинство крупных городов региона имеет менее чем вековую историю, целые районы области, например Печенгский район, подверглись масштабным разрушениям в эпоху Второй мировой войны. В итоге населенные пункты Кольского края, некоторые из которых обладают пятивековой историей, не имеют каких-либо визуальных признаков глубокой и драматичной истории. Именно поэтому, на наш взгляд, вопрос музеефикации исторических ландшафтов, маркирования территорий приобретает в нашем регионе самое актуальное значение, особенно в связи с развитием туристской инфраструктуры, ориентацией на диверсификацию экономики региона.

Интересно, что маркирование территорий в определенной мере проводилось в Советском Союзе. И, хотя наиболее массовым способом подобного маркирования была установка мемориальных досок, существовал весьма масштабный и не утративший своей актуальности проект по более глубокому и детальному маркированию. Так, в сведениях по историко-революционным памятникам в Мурманском округе числится довольно большое количество объектов, уже утраченных к моменту формирования списка памятников. Тем не менее, почти по каждому объекту значится приписка «необходимо установить памятную доску» либо «нужно установить доску с указанием значения места» с пометкой о необходимом финансировании. И это не только сохранившиеся или утраченные городские постройки, расположенные на территории города Мурманска, в списках числятся и города Полярный, Канадалакша, села Колвица, Лувеньга, Княжая Губа.

Несмотря на очевидную идеологизированность подобных проектов, сама интенция, направленная на мемориализацию и актуализацию определенных исторических событий и процессов, выглядит вполне современно и, как представляется, предложения, выдвинутые более 70 лет назад, имеют полное право на реализацию в современных условиях, разумеется, с поправкой на плюрализм исторических мнений и ориентированность исключительно на научно-просветительские задачи.

Если говорить о конкретных культурных ландшафтах, которые могут быть актуализированы путем маркирования территорий, следует отметить несколько возможных районов. В первую очередь это зона российско-норвежско-финского Пограничья. Заметим, что Пограничье здесь понимается в обширном, историческом смысле, то есть включает более широкое содержание, нежели линия соприкосновения современных государственных границ России, Норвегии и Финляндии. Пространственные рамки Пограничья — это практически весь Печенгский и часть Кольского районов Мурманской области. Первые русские поселения появились здесь в XVI в. и связаны с основанием Трифонов-Печенгского монастыря. Современный ландшафт территории сформировался во второй половине XX в., когда область Петсамо, входившая с 1920 г. в состав Финляндии, вернулась в состав СССР. Довоенные поселения серьезно пострадали от войны, а также из-за массовой эвакуации финского и норвежского населения, и, по сути, началась новая колонизация Печенгского района. Большая часть населенных пунктов современного района связана с металлургической промышленностью, моногородами являются крупнейшие н. п. района Никель и Заполярный. Поселок Печенга связан с базирующимися в окрестностях военными частями Министерства обороны РФ. Ландшафты района никак не говорят о древней истории, большинство построек — это типовые многоэтажки советской эпохи, не сохранились (причем многие были потеряны уже в XXI в.) памятники деревянного зодчества. Как представляется, именно эти объекты, прежде всего церкви, должны быть отмечены теми или иными информационными маркерами. Храм традиционно считается ключевым элементом культурного ландшафта сельских поселений, в зоне же Пограничья церкви играли совершенно особую роль форпостов языка, культуры и государственности.

Нельзя не отметить, что в Печенгском районе есть два примера сохранения и восстановления исторического ландшафта — Трифонов-Печенгский монастырь и остров Варлам в заповеднике Пасвик. В первом случае речь идет о восстановлении монастыря, которое началось в 2009 г. Строители монастыря не ставили задачу восстановить точный исторический ландшафт, хотя отдельные постройки, в том числе храмы восстановленного монастыря, и повторяют облик своих предшественников, в целом это совершенно иной ансамбль сооружений, хотя и производящий вид «древности». Во втором случае речь идет о более острожном подходе к ландшафту, восстановлению его элементов и о тщательном, научно выверенном сохранении имеющегося наследия.

Еще одним районом маркирования может быть ставшее сейчас крайне популярным для туристов село Териберка. Это поселение остается последним относительно крупным населенным пунктом, возникшим во время колонизации Мурманского берега (формально сохранились в статусе населенных пунктов и другие поселки, например на полуострове Рыбачий и Средний, но все они имеют население менее 100 человек и связаны с разнообразными военными объектами) и сохраняющим свое изначальное хозяйственное назначение (рыбный промысел). Несмотря на то, что здесь частично сохранился исторический ландшафт села, были безвозвратно потеряны две деревянные церкви, память о которых, несомненно, нуждается в восстановлении.

Небезрезультатные попытки маркирования территорий проводит администрация г. Кандалакши. Так, был установлен ряд стендовых конструкций на Монастырском наволоке — историческом месте на левом берегу р. Нива, где располагается ряд достопримечательностей и памятников; также это излюбленное место отдыха кандалакшан, пункт проведения различных культурно-досуговых мероприятий.

Представляется, что маркирование территорий должно быть неразрывно связано с деятельностью по государственной охране культурных ландшафтов, памятников истории и культуры. Этой задаче максимально соответствует введение в 2014 г. в нормативно-правовую базу об охране памятников такой специфической категории, как достопримечательное место [3]. Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» определяет достопримечательное место как: творение, созданное человеком, или совместные творения человека и природы, в том числе места традиционного бытования народных художественных промыслов; центры исторических поселений или фрагменты градостроительной планировки и застройки; памятные места, культурные и природные ландшафты, связанные с историей формирования народов и иных этнических общностей на территории Российской Федерации, историческими (в том числе военными) событиями, жизнью выдающихся исторических личностей; объекты археологического наследия; места совершения религиозных обрядов; места захоронений жертв массовых репрессий; религиозно-исторические места [4].

Достопримечательное место имеет ряд важных отличий от иных категорий охраны объектов, здесь допускаются более мягкий режим использования территорий и возможность строительства в границах объекта с целью восстановления градостроительного облика (никаких изменений в границе территорий, а зачастую даже в зоне охраны иных категорий охраны памятников производить нельзя). Кроме того, достопримечательное место может включать в свой состав и иные памятники, взятые на государственную охрану.

Создание достопримечательных мест вокруг музеефицированных ландшафтов либо же маркирование уже утвержденных достопримечательных мест будут способствовать как сохранению, так и лучшей популяризации историко-культурного наследия.

Следует заключить, что в условиях утраты значительной части исторических ландшафтов на территории Мурманской области маркирование территорий путем установки информационных модулей представляется весьма и весьма перспективным направлением, способствующим укреплению локальной идентичности, патриотизма, повышению туристской аттрактивности территорий, улучшению сохранения культурного наследия.

Литература
1. Бертош А. А., Бертош В. В. Историко-культурное наследие Мурманской области: потенциал использования в профессиональном образовании // Актуальные вопросы образования в XXI веке: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 29–31 марта 2016 года / отв. ред. Т. В. Белевских. Мурманск: МАГУ, 2017. С. 46–50.
2. Музейный гид. Рекомендации по проектированию, изготовлению и установке информационных модулей для номинации «Музейный гид по России "Страна-музей"»: [презентация] / Благотворительный фонд Владимира Потанина. URL: http://www.museum.fondpotanin.ru/docs/presentations (дата обращения 10.03.2017).
3. О внесении изменений в Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон от 22.10.2014 № 315-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_170104/
4. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации: федер. закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ. (ред. от 05.04.2016). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/
5. Объекты культурного наследия, включенные в реестр / Комитет по культуре и искусству Мурманской области. URL: https://culture.gov-murman.ru/napravleniya-deyatelnosti/okhrana-obektov-kulturnogo-naslediya/objects_for_reestr/ (дата обращения: 10.03.2017).
6. Овсянникова Т. Ю., Скуридина Ю. Б., Котова О. В. Оценка рисков утраты недвижимых объектов культурного наследия общества // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2009. № 3 (7). URL: http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-riskov-utraty-nedvizhimyh-obektov-kulturnogo-naslediya-obschestva (дата обращения: 13.03.2017).
7. Состояние историко-культурного наследия / Всерос. о-во охраны памятников истории и культуры. URL: http://www.voopik.ru/our-heritage/status-cultural-heritage (дата обращения: 10.03.2017).

О. А. Бодрова
Центр гуманитарных проблем КНЦ РАН, Апатиты, bodrovae@rambler.ru

ЭТНИЧЕСКАЯ СИМВОЛИКА В КОНТЕКСТЕ РЕГИОНАЛЬНОГО БРЕНДИНГА (НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Как известно, региональный брендинг — это создание привлекательного образа, своего рода имиджа региона с различными целями: политическими, экономическими, культурными, туристскими и пр. Большое значение для формирования массовых представлений о Кольском полуострове имеет этнокультурный компонент, зачастую именно по этническим образам (брендам) идентифицируют регион Мурманской области.

Как и любые бренды, этнические бренды строятся на некоторых мифологемах: ярких сюжетах, легендах, стереотипах, массовых представлениях. Наибольший потенциал в этом процессе имеют этнические культуры постоянного населения: коренных жителей Мурманской области саамов и старожилов поморов. Очевидно, при этом ставка делается на культурную «самобытность» данных групп. Мифологемы сводятся в основном к двум сценариям. Первый затрагивает группу кольских саамов, которые представлены как народ, сохраняющий свою традиционную культуру, несмотря на проникновение отдельных элементов «цивилизации» в их быт. В презентациях саамской культуры превалируют такие культурные реалии, как традиционные виды жилища, комплект или отдельные предметы национального костюма, оленеводство, сейды — «священные камни саамов». Центром саамской культуры обыкновенно прокламируется Ловозерский район.

Второй сценарий касается истории заселения Кольского полуострова поморами. Тиражируются представления, в которых поморы устойчиво ассоциируются либо с общерусской, либо с мифической общесеверной культурой, отражающейся в стереотипах восприятия Севера как метапространства со специфическими природными и культурными особенностями, в частности, с повышенной «духовностью» северян [8]. В отношении группы кольских поморов брендинг Мурманской области направлен на традиционные места туристического паломничества – сакральные объекты (церкви, часовни) на территории поморских поселений (рис. 1). Большим спросом в сфере внутреннего туризма пользуются поморские праздники, которые проводятся на Терском береге Белого моря. Символически и территориально с ними связаны различные молодежные и музыкальные фестивали. Одну из центральных позиций во время проведения этих мероприятий занимает направление так называемой «этнической музыки», представляющей собой стилизацию фольклорных жанров, сплав этнических и современных элементов, адаптированной под массового слушателя.

Миф об общесеверной культуре, так же как и о Русском Севере, хотя и занимает важное место в процессе регионального брендинга, все же является весьма неоднозначным. Вопреки слову «русский» в его названии, Европейский Север России (Северо-Западный федеральный округ РФ) никогда не являлся сугубо русской территорией, а был и остается полиэтничным регионом [11, с. 76], хотя и с численным превосходством этнической группы русских — 80,75 % (согласно Всероссийской переписи населения 2010 г. [3]). При этом

надо отметить, что в результате постоянного снижения численности русской части жителей Мурманской области (в том числе за счет уезжающих с Севера), а также ее пополнения «новыми мигрантами» из бывших союзных республик доля нерусских этнических групп в составе населения Русского Севера постоянно возрастает. Таким образом, Русский Север, несмотря на тиражирование мифа, становится русским все меньше. И это как раз пример того случая, когда реальное и воображаемое пространство (реальность и бренд) сильно отличаются друг от друга.



Рис. 1. Успенская церковь, село Варзуга. Фотография Г. Ильина

Значительное место в формировании образа региона занимают коллективные представления о природно-географических особенностях края. В процессе этнического брендинга Мурманской области, например, большую роль играет «саамская» топонимия, которая обладает огромным туристским потенциалом, особенно фольклорные сюжеты, имеющие привязку к природно-географическим объектам Кольского полуострова: горам, водоемам, островам и пр. Но, возможно, наиболее интересны в аспекте регионального брендинга этнические природные символы — образы, отражающие в обобщенно-чувственной форме овеществленные стереотипные представления об этнической группе.

В зависимости от вектора символизации (направленности на свою или другую этническую группу) выделяются этнические экзосимволы, отражающие широко распространенные представления о саамах и поморах, и эндосимволы (среди них, в первую очередь, национальные символы: саамский язык, национальный костюм [4]). При этом один и тот же символ может одновременно относиться как к экзо-, так и к эндосимволам, например, *олень*, символизирующий группу кольских саамов (рис. 2), или *вода*/*море* в качестве этнического символа, связанного с группой кольских поморов.

Этнические символы находят отражение в представлениях не только о материальной культуре этнической группы (главным образом, об основном хозяйственном промысле), но и о духовной культуре. *Олень* не только ассоциируется с материальной основой жизни саамов, но и выступает «основным символом аборигенной культуры» в качестве «практически единственной возможности сохранить себя, традиции своего народа» [7], он также восходит к одному из главных тотемных образов кольских саамов — Мяндашу (дикому оленю), закрепленному в фольклорной традиции и обрядовой культуре [10]. В культуре русского субэтноса поморов подчеркивается их обособленность от «большого» этноса русских, построенная на специфике хозяйственного комплекса, так или иначе связанного с морем, что отражается в их этнониме, образе жизни, материальной культуре, праздничных ритуалах и устной традиции [5].



Рис. 2. Северный олень — этнический символ группы кольских саами. Фотография Г. Ильина

Наиболее статичными, а значит, устойчивыми в контексте брендинга являются эндосимволы, например, *рыба* у поморов, которая символизирует не только основной промысел и пищу, но и воспринимается как символ благополучия, а также может служить идентифицирующим и дифференцирующим признаком при противопоставлении двух локальных групп поморов [1]. Этнические экзосимволы, наоборот, динамичны, способны меняться со временем. Если до середины XX в. *олень* являлся главным этническим символом саамской культуры, несмотря на то, что стереотип об оленеводстве как основном занятии саамов фактически не соответствовал действительности, то со второй половины XX в. символические связи между саамами и оленеводством в массовом сознании ослабевают, формируются представления о том, что кольские оленеводы не настолько погружены в «оленье мышление», как их чукотские и ямальские коллеги [6].

Актуальной в настоящее время является этническая символика, связанная с материалом — деревом и камнем [2]. *Дерево* символизирует группу кольских поморов, в поселках которых деревянными являются большинство построек, тротуары, православные культовые сооружения. Этническим символом кольских саамов является *камень*, отражающий широко тиражируемый в массовых источниках древнесаамский культ сейдов, в отношении которых используется метафора В. В. Чарнолуского «летучий камень» [9]. В описаниях природных особенностей Кольского Севера, который характеризуется как «страна камня», превалирует изображение «каменного» ландшафта — валунов, скал, ущелий.

Сейчас акценты в развитии региона смещаются от промышленного освоения, горнодобывающей индустрии в сторону туристско-рекреационного потенциала Мурманской области. Поэтому этнические символы, которые не только воспроизводят этнографические факты, но и репрезентируют экзотический образ «другого» и природно-географическую специфику края, имеют большую актуальность в контексте регионального брендинга и развития туризма.

Литература

1. Бернштам Т.А. Глава 1. Этнографическая характеристика локальной ситуации в XIX–XX вв. и ее историко-культурные истоки (население, хозяйственно-бытовой уклад, духовная жизнь) / Локальные группы Двинско-Важского ареала: Духовные факторы в этно- и социокультурных процессах // Русский Север: К проблеме локальных групп / Ред.-сост. Т. А. Бернштам. СПб.: МАЭ РАН, 1995. С. 209–259.
2. Бодрова О. А. Этнокультурный облик Кольского Севера в периодических печатных изданиях (на материале журналов посперестроечного периода) // Труды Кольского научного центра РАН. Гуманитарные исследования. 2015. Вып. 7 (27). С. 29–46.
3. Всероссийская перепись населения 2010 года. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm.
4. Декларация. 19-я Саамская конференция, Рованиеми, 29–31 октября 2008 г. URL: http://www.saamicouncil.net/fileadmin/user_upload/Documents/Julgg%C3%A1%C5%A1tusat/SR_mall-_Rovaniemi_Declaration_2008_RUS.pdf.
5. История семьи Жидких на фоне поморской культуры: исследование и публикация по материалам Г. Ф. Белошицкой / общ. ред. и вступ. статья И. А. Разумовой. Апатиты: КНЦ РАН, 2013. 184 с.

6. Кочевники Арктики: текстово-визуальные миниатюры / А. В. Головнев и др. Екатеринбург: Альфа Принт, 2015. 132 с.
7. Новикова Н. И. Как защитить права оленеводов: Третья международная летняя школа по юридической антропологии // Олень всегда прав. Исследования по юридической антропологии / отв. ред. Н. И. Новикова. М.: Стратегия, 2003. С. 9–23.
8. Разумова И. А., Петров В. П. Проблемы и перспективы социально-антропологических исследований этнокультурной ситуации на Кольском Севере // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 108–118.
9. Чарнолуский В. В. В краю летучего камня. Записки этнографа. М.: Мысль, 1972. 299 с.
10. Чарнолуский В. В. О культе Мяндаша // Скандинавский сборник. Таллин: Тартуский государственный университет, 1966. Вып. 11. С. 301–317.
11. Шабаев Ю. П. «Русский Север» в этнокультурном и этнодемографическом измерении // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2010. № 3. С. 75–81.

А. Я. Докучаев, К. В. Лобанов, В. Н. Смольянинова, А. В. Каргин, Е. Б. Курдюков, А. Б. Лексин, Е. В. Юткина, М. К. Суханов, М. В. Гирнис
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, dok@igem.ru

К ИСТОРИИ МУРМАНСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ: МАТЕРИАЛЫ ИЗ РУДНО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО МУЗЕЯ ИГЕМ РАН

В 2016 г. Мурманской (Кировской, ныне Октябрьской) железной дороге исполнилось 100 лет. Утром 20 января 1916 г. товаро-пассажирский поезд отправился из деревушки Званка (прежнее название города и станции Волхов) и в полдень 21 января прибыл в Петрозаводск, преодолев 240 верст.

Начиная с 1861 г., после отмены крепостного права, неоднократно выдвигались проекты строительства железнодорожной линии, которая соединила бы Карелию с центральными районами России. Среди многих наиболее близким к реализации был план строительства дороги Петербург — Петрозаводск — Кемь с доведением в последующем линии до незамерзающего Кольского залива. Проект активно поддерживал архангельский губернатор А. П. Энгельгардт: «*…железная дорога на Мурманский берег, воды которого круглый год открыты для навигации, делая Россию фактической обладательницей Северного океана в течение всего года, могла бы служить целям нашего военного флота и иметь значение важного стратегического пути*» [4, 7]. Олонецкое и Петербургское земства поддержали этот проект, и в 1894–1895 гг. несколькими инженерами проводилось обследование трассы предполагаемой железной дороги. В 1895 г. министр путей сообщения М. И. Хилков во время пребывания в Петрозаводске сообщил представителям земства о «высочайшей воле» строить железную дорогу [3, 10].

В архивах Рудно-петрографического музея хранится адресованное императору Николаю II письмо академика Ф. Б. Шмидта и адъюнкта Ф. Н. Чернышева о возможности прокладки рельсового пути на Кольском полуострове (рис. 1, 2) [2].

Содержание этого документа следующее:

Ваше Императорское Высочество

На запрос А. Д. Голохвастова, представляет ли тундра болото, не допускающее проложения по ней рельсового пути, имеем честь сообщить, что ходячее понятие о тундре, как о болоте, представляет плод недоразумения, так как научное понятие о тундре соответствует лишь областям, лишенным лесной растительности. На Кольском полуострове, например, местные жители называют тундрой высочайшие точки этого полуострова. Характер тундры бывает трех родов: а) каменистая тундра, соответствующая обнаженной поверхности каменистых горных пород (Хибины тундры и Луавр Юрт на Кольском полуострове, Тиманский камень, полярная часть Урала и т. д.); в) серая моховая тундра, покрытая ягелем; с) болотистая тундра, отмерзающая в большей или меньшей степени во второй половине лета. Каменистая и серая тундра безусловно, не представляют затруднений для проложения рельсового пути, мокрая же тундра, судя по имеющимся фактам относительно мерзлоты почвы, не может считаться также непроходимой при современных технических приемах постройки полотна дешевой дороги. Лучшей иллюстрацией сказанного может служить проложение рельсового пути в северной части Холмогорского уезда, при условиях, не многим отличным от Большеземельской тундры.

В этом отношении представляют большой научный и практический интерес те исследования, которые г. Голохвастов предполагает организовать в ближайшем будущем. Считаем нужным добавить, что барон Толь, много путешествовавший по сибирским тундрам, вполне разделяет высказанные нами соображения.

Академик Ф. Шмидт

Адъюнкт Ф. Чернышев.

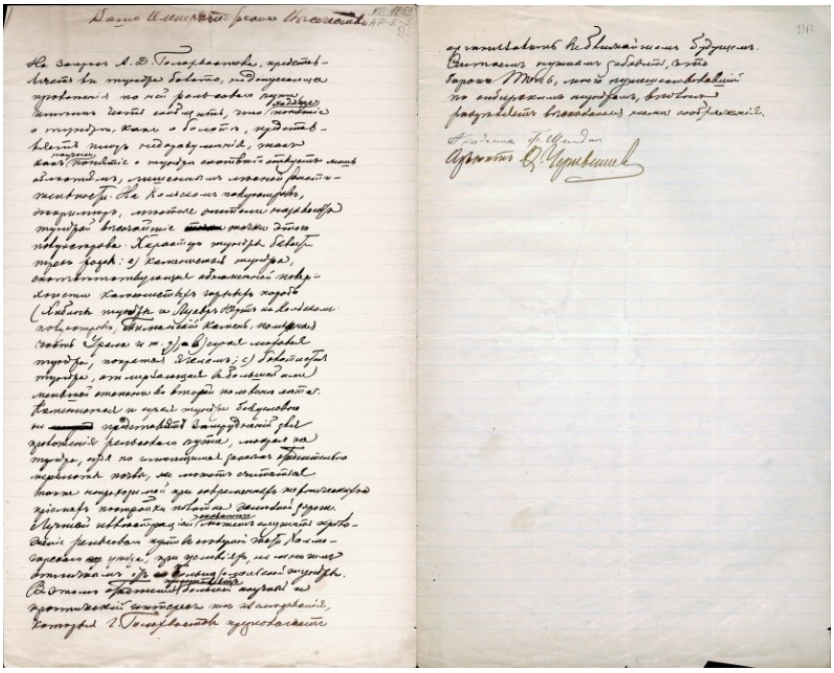


Рис. 1. Письмо академика Ф. Б. Шмидта и адъюнкта Ф. Н. Чернышева, адресованное императору Николаю II из архива Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН



Рис. 2. Слева направо: академик Ф. Б. Шмидт, академик Ф. Н. Чернышев, выдающийся полярный исследователь Э. В. Толль

Первый автор письма, академик, геолог, ботаник и палеонтолог Федор Богданович Шмидт с 1873 по 1900 гг. был директором Минералогического музея Петербургской академии наук. Он был председателем комиссии по снаряжению Русской полярной экспедиции под руководством барона Э. В. Толля в 1900–1902 гг. В 1903 г. за научные результаты Русской полярной экспедиции и Полярной спасательной экспедиции в 1903 г. под руководством А. В. Колчака был удостоен Золотой Константиновской медали — высшей награды Императорского русского географического общества.

Второй автор письма, академик, геолог и палеонтолог Феодосий Николаевич Чернышев был председателем отделения физической географии Русского географического общества, в период с 1897 по 1899 гг. был адъюнктом Петербургской академии наук, потом экстраординарным, а с 1909 г. — ординарным академиком. В 1896 г. за разработку стратиграфии палеозойских отложений Урала был удостоен Золотой Константиновской медали. В 1895 г. Ф. Н. Чернышев проводил исследования на Новой Земле, в 1899–1902 гг. был начальником экспедиции по производству градусных измерений на Шпицбергене, сыгравших фундаментальную роль в определении формы Земли (геоида) и степени ее сжатия у Северного полюса. Таким образом, письмо можно датировать между 1897 и 1899 гг.

В это время упоминаемый в письме геолог Эдуард Васильевич Толль и лейтенант Александр Васильевич Колчак находились в Норвегии, в г. Ларвик. С помощью Фритьофа Нансена они занимались подготовкой Русской полярной экспедиции, снаряжаемой Императорской академией наук для исследования Северного Ледовитого океана к северу от Новосибирских островов и поиска новых земель, в частности легендарной Земли

Санникова. Помимо прочего, в Ларвике перед ними стояла задача приобретения подходящего китобойного судна и переоборудования его для ледовых условий на верфи Колина Арчера [9].

Десятью годами ранее Александр Александрович Бунге, начальник экспедиции Императорской академии наук в Приянский край и Новосибирские острова, пригласил для участия ней молодого геолога и зоолога Э. В. Толля. В апреле 1885 г. Э. В. Толль прибыл в Верхоянск. Собрав много ценных материалов, он вернулся в с. Казачье в Усть-Янском улусе и через пролив Лаптева перебрался на Новосибирские острова.

28 января 1887 г. участники экспедиции вернулись в Санкт-Петербург. Было составлено геологическое описание Новосибирских островов, собраны обширные коллекции ископаемых животных и растений — около 2,5 тыс. экспонатов. С 1887 по 1896 гг. Э. В. Толль служил в Минералогическом музее Императорской академии наук, где занимался описанием собранных коллекций и публикацией полученных научных результатов (директором музея был его дядя — академик Ф. Б. Шмидт).

Для помощи экспедиции своего друга Ф. Нансена в район Новосибирских островов на шхуне «Фрам» (экспедиция была успешно осуществлена в 1893 г.) в 1892 г. Э. В. Толль на Новосибирских островах заложил три эвакуационных базы (на побережье Югорского Шара и в устье реки Оленек). В 1893 г. Э. В. Толль возглавил очередную экспедицию: на Новосибирских островах он обустраивал дополнительные продовольственные склады для Ф. Нансена; на берегу Восточно-Сибирского моря в районе мыса Святой Нос производил раскопки мамонта; на севере Сибири описывал хребты Хараулахский, Чекановского и Прончищева; нанес на карту Анабарскую губу, изучил Хатангинскую губу и низовья реки Анабар; производил маршрутные геологические исследования, исправлял и уточнял географические карты. За опубликование полученных научных результатов Э. В. Толль был удостоен Большой серебряной медали им. Н. М. Пржевальского.

Александр Дмитриевич Голохвастов являлся крупнейшим в России специалистом в области проектирования железных дорог. Он занимался проектами (с обоснованием экономической эффективности): соединения р. Оби железной дорогой с Хайпудырской губой Северного (Северного Ледовитого) океана (1879); транзитными торговыми путями из Сибири в Европу — частной Обской железной дорогой и др. (1891); Обь-Иртышским торговым путем (1906) и многими другими крупными проектами. Он пользовался большим авторитетом и поддержкой среди купечества из Сибирского общества торговли, находился в дружеской переписке со многими выдающимися учеными — академиками А. Ф. Миддендорфом, Г. П. Гельмерсеном, Ф. Б. Шмидтом, А. Э. Норденшельдом, социальным антропологом и ботаником Стефано Соммье и др.

Основные вехи прокладки рельсового пути на Кольском полуострове следующие [3, 10].

10 июня 1902 г. был опубликован приказ императора Николая II о начале постройки железной дороги до Петрозаводска от одной из станций северных дорог в 1903 г., но в 1904 г. началась Русско-японская война, и строительство было отложено.

В феврале 1912 г. было учреждено Общество Олонецкой железной дороги. Железнодорожная линия должна была связать Петрозаводск с Петербургом через станцию Званка (впоследствии Волховстрой). По маршруту Званка — Петрозаводск проводились изыскания, а в 1913 г. уже вырубалась просека. Открытие работ по строительству Олонецкой железной дороги состоялось в Лодейном Поле 13 июля 1914 г.

Начавшаяся летом 1914 г. Первая мировая война вынудила ускорить ее строительство, параллельно проводившееся на нескольких участках. С января по декабрь 1915 г. работы велись на линии Петрозаводск — Сорокская бухта, а с июня 1915 по май 1916 гг. — от Кандалакши до ст. Семеновской, основанной на берегу Кольского залива. Железнодорожный путь на линии Сорокская бухта — Кандалакша сооружался с сентября 1915 по ноябрь 1916 гг. С осени 1915 г. работы развернулись на всех участках дороги протяжением 1250 верст от Званки до Семеновской.

Станция Романов-на-Мурмане (сначала Семеновская, с сентября 1915 г. — Мурман, с октября 1916 г. — Романов, а после февраля 1917 г. — Мурманск) действует с 1916 г.

В строительстве Мурманской железной дороги приняло участие более 30 тыс. русских сезонных рабочих, до 10 тыс. навербованных в Маньчжурии (на КВЖД) китайцев, 2 тыс. казахов, мобилизованных в Семипалатинской области, много финских рабочих, а также более 40 тыс. военнопленных (в основном славян: чехов, словаков, поляков, хорватов, галичан) [8].

С начала XX века северные районы России стали испытывать острый дефицит в угле. Для поддержания хозяйственной жизни на Мурманском побережье требовалось около 110 тыс. т угля, в то время как в наличии весной 1920 г. оставалось лишь 90 т [7]. В то время стало особенно понятно значение Первой русской научно-промышленной экспедиции на Шпицберген под руководством В. А. Русанова, закрепившей за Россией экономические и геополитические права на архипелаге. Благодаря шпицбергенским копям решалась топливная проблема северных районов СССР. С середины 1930-х гг. рудники «Арктикугля» обеспечивали топливом предприятия Мурмана. Кроме Кольского полуострова шпицбергенский уголь поставлялся в Архангельск и Западную Европу.

В наши дни рудник «Баренцбург» добывает лишь 120 тыс. т угля в год, из них примерно 80 тыс. идет на экспорт (в основном в Англию), а 30 тыс. потребляется самим поселком [5]. Сегодня в Мурманск по Октябрьской железной дороге доставляется уже кузбасский уголь.

В заключение отметим, что в своем письме Ф. Б. Шмидт и Ф. Н. Чернышев не имели возможности учесть такой важный природный фактор, как изменение климата (потепление) в Арктике. В 2007 г. и Северо-Западный, и Северо-Восточный проходы в Арктику впервые в истории полностью освободились ото льда.

Советским арктическим успехам 1930-х гг. (в частности, в Карском море) в немалой степени способствовало потепление, начавшееся в 1920-х гг. [1]. В 1920–1930-е гг. средняя температура на Шпицбергене повысилась на 2 °С, на Земле Франца-Иосифа на 3,5 °С, Югорский Шар начал промерзать в среднем на 2 месяца позже (24 ноября в 1920 г. в сравнении с 25 января в 1937 г. [4]).

Печальный пример игнорирования климатического фактора — ГУЛАГовская стройка трансполярной железнодорожной магистрали 501 (участок Чум — мыс Каменный) / 503 (Салехард — Игарка) [1]. Наиболее характерные разрушения железнодорожного полотна из Салехарда в Игарку (в народе «Сталинки») — выдувания, просадки, пучины. Очагами наиболее значительных разрушений стали водотоки. Практически все малые мосты подверглись выдавливанию вверх на несколько метров над насыпью, образуя огромные горбы [2].

Литература

1. Алиев Р. Изнанка белого. Арктика от викингов до папанинцев. М.: Паулсен, 2016. 408 с.
2. Архив Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН. КП-1853/АР-2-5. С. 9.
3. Брошенная дорога (Стройка 501/503). Дорога Салехард — Игарка. URL: https://rzd-expo.ru/history/salekhard_igarka_quot_abandoned_road_quot_/.
4. Вехов Н. В. История Мурманской железной дороги (Мурманская железная дорога) // Моск. журн. 2004. № 4. С. 5–12. URL: http://www.alexandra-goryashko.net/kandalaksha_around/history/vexov_gelezn_doroga.htm#_edn1.
5. Визе В. Ю. Моря Российской Арктики: в 2 т. Т. 1. М.: Паулсен, 2016. 344 с.
6. Выдающиеся исследования российской Арктики в материалах Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН – личности и результаты / К. В. Лобанов и др. // Междунар. науч. конф., посвященная 300-летию Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана РАН. М., 2016. С. 96–99.
7. Государственный архив Архангельской области (ГААО). Ф. 1. Оп. 9. Д. 587. Л. 62.
8. Добыча угля продолжается // Русский вестник Шпицбергена. 2015. № 5 (19). С. 10.
9. Зингер Е. М. Между Полюсом и Европой. М.: Мысль, 1981.
10. Лапшов С. Мурманская (ныне Октябрьская) железная дорога — рожденная Первой мировой // Вести Карелии. 2003. URL: http://gov.karelia.ru/Karelia/1485/20.html.
11. Макарова Е. И. К 95-летию Октябрьской железной дороги: страницы истории по архивным документам // Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона // Труды IX Всерос. (с междунар. участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 60-летию Геологического института КНЦ РАН. 2012. С. 76–80.

С. А. Дюжилов, Я. Е. Богдан

Центр гуманитарных проблем КНЦ РАН, Апатиты, dyuz_arcticsu@mail.ru

РОЛЬ ХИБИНСКОЙ АГРОСТАНЦИИ В БОРЬБЕ ЗА АПАТИТ: ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ

Общеизвестно, что в постановку и продвижение «апатитового дела» оказались вовлечены как целые коллективы, так и отдельные лица. Свой посильный вклад в разрешение апатитовой проблемы внесли и работники Хибинской опытной станции под руководством И. Г. Эйхфельда, деятельность которых в этом направлении, к сожалению, не получила должного освещения в литературе. В большинстве научных публикаций по данной тематике в лучшем случае упоминается довольно известный эпизод из знаменитой «Хибинской эпопеи», связанный с первой добычей и доставкой от Расвумчорра до железной дороги апатитовой породы для опытов [6]. Лишь в отдельных исследованиях отмечены и проиллюстрированы примерами особые заслуги И. Г. Эйхфельда в битве за апатит [1]. В целом же обозначенная в заголовке проблема пока не стала предметом специального рассмотрения историков науки. В данной статье предпринята попытка осмыслить широкий круг как опубликованных, так и неопубликованных источников, характеризующих различные аспекты деятельности И. Г. Эйхфельда с его группой сотрудников и соратников по претворению в жизнь «апатитового проекта».

Обозначим те пути, которые были использованы пионерами полярного земледелия для актуализации поднятой проблемы.

1. Поиски, заготовка и доставка апатитовой руды для проведения опытов по ее применению в туковой промышленности

Вопрос о промышленном освоении хибинских апатитов решался чрезвычайно медленно. Специалистам необходимы были крупные партии руды для проведения опытов. Но при полном отсутствии дорог в Хибинах эта проблема была почти неразрешима. И все же энтузиасты и смельчаки нашлись в лице И. Г. Эйхфельда и его сподвижников. Период «горных увлечений» в жизни опытной станции не прошел бесследно, о чем свидетельствуют данные из табл. 1.

Таблица 1

Вклад работников опытной станции в заготовку и доставку апатита

Дата	Поездки за апатитом	Результаты
сентябрь 1924 г.	Начало поисков местных источников удобрений. Экспедиция П. А. Борисова и И. Г. Эйхфельда к мысу Турий Терского берега, организованная Колонизационным отделом МЖД	Первая экспедиция за «камнем плодородия» из-за непогоды оказалась неудачной
31 октября — 5 ноября 1926 г.; апрель 1927 г. (вывоз породы)	Экспедиция И. Г. Эйхфельда, Г. М. Крепса, П. Ф. Семерова и Зосимы Куимова в Хибины, организованная КО МЖД при материальной поддержке Института по изучению Севера	Заготовлена и отправлена по адресам первая партия апатита в количестве 80 пудов для проведения исследований
1927–1929 гг.	Ежегодное участие части коллектива опытной станции, помимо своей основной работы, в складировании в горах и вывозе на ст. Хибины апатитовой породы [2]. «Героический» одиночный поход в горы И. Г. Эйхфельда (март 1928 г.) с целью оценить последствия снежного обвала, под которым оказалась заготовленная партия руды	Вывезено Василием Кобелевым 400 пудов апатита на ст. Хибины (1928 г.). В апреле 1929 г. работниками станции вывезена большая партия апатита, заготовленная В. И. Влодавцем. Отправленная порода пошла на серьезные полупромышленные опыты

Из табл. 1 видно, что в период с 1926 по 1929 гг. коллектив агростанции вложил немало сил и энергии в дело заготовки и транспортировки больших партий апатитовой руды для проведения опытов по ее обогащению, варке суперфосфата из концентрата, а также для специальных исследований по выявлению возможностей непосредственного применения апатит-нефелиновой породы в качестве удобрения. До этого с гор доставлялись только минералогические образцы пород. По сути, добытые пионерами полярного земледелия партии руды во многом ускорили решение вопроса об организации в Хибинах крупнейшего горнопромышленного комплекса.

2. Работы Хибинского опытного пункта по установлению способов применения апатитовой породы в качестве удобрения

С первых лет работ сельскохозяйственного пункта в Хибинах вопрос об удобрениях приобрел огромное значение. Ряд объективных факторов (удаленность производства отечественных туков, в значительной мере не подходящая для местных почв) подталкивал работников научного учреждения к поискам местных источников удобрения. Обнаруженные экспедициями Ферсмана апатит-нефелиновые месторождения послужили объектом исследования для выяснения вопроса их непосредственного применения в сельском хозяйстве. О работе, проделанной агрономами-опытниками в этом направлении, говорят данные табл. 2.

Таблица 2

Применение апатит-нефелиновых пород для удобрения почвы

Период	Опытные работы на Хибинском сельскохозяйственном пункте	Научные результаты
1925–1926 гг.	В 1924 г. П. А. Борисов произвел обследование нефелиновых сиенитов при содействии КО МЖД близ ст. Хибины. Хибинским опытным пунктом в 1925 г. в Лоухи отправлена первая партия нефелинового сиенита, где на низинном болоте в 1926 г. заложены опыты с этой породой. Позднее полевые работы с хибинитом велись и в Хибинах	Отчет агронома З. Г. Толчинского «Третий год колонизационной работы МЖД», в котором доказан положительный эффект от внесения нефелинового сиенита в почву вместо обычных легкорастворимых солей калия
1927–1928 гг.	После открытия апатитовых месторождений в Хибинах были заложены опыты с апатитами на минеральной и болотной почвах (1927) и вегетационные опыты в специальных сосудах проф. Митчерлиха (1928). В них принимали участие как агрономы опытного пункта (И. П. Сомов, И. Г. Эйхфельд, П. Е. Ефимов) [7], так и научные сотрудники Института опытной агрономии (П. В. Яковлев, В. А. Филиппович)	Результаты опытов нашли отражение в целом ряде изданий: журналах «Удобрение и урожай» и «Карело-Мурманский край», сборниках «Хибинские апатиты» и «Проблемы северного растениеводства» и др. Вопрос о применении апатитов в сыром, размолотом виде в качестве удобрений решен положительно по отношению к верховым, сфагновым болотам и кислым полуболотным почвам

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что задолго до создания горной промышленности на Кольском полуострове в Хибинах была начата работа по установлению способов применения апатитовой породы и нефелинового сиенита в качестве удобрений и нейтрализаторов на разных типах почв. «Мы вели опыты с нефелином и апатитом: сами таскали породу с гор, размалывали на кустарной мельнице и дробили топором», — поделится перед участниками Первой полярной конференции своими воспоминаниями И. Г. Эйхфельд [5].

Уже в самом начале этих небольших по масштабу работ он в своей докладной записке на имя Колонизационного отдела МЖД от 8 октября 1926 г. вполне однозначно высказался по поводу будущего «камня плодородия»: «Возможность использовать в крае апатит не вызывает никакого сомнения как с экономической стороны, так и со стороны использования его растениями, что объясняется высоким содержанием удобрительных веществ и их легкой растворяемостью» [4]. Положительные результаты опытов с апатит-нефелиновой породой, в том числе и на Хибинском опытном пункте Колонизационного отдела, в конечном итоге вывели эту проблему из области экспедиционных обследований и поставили ее на путь практического осуществления.

3. Работы Хибинской опытной станции по содействию геолого-разведочным партиям

Переломным этапом в разрешении апатитовой проблемы стали 1928–1929 гг., связанные с успешным проведением разведки и детальным изучением Хибинских апатитовых месторождений. Большое значение в этих работах сыграла Хибинская агростанция, ставшая базой для экспедиционных отрядов под руководством В. И. Влодавца (Институт по изучению Севера) и М. П. Фивега (Научный институт по удобрениям) (табл. 3).

Таблица 3

Роль Хибинской опытной станции как опорного пункта
для экспедиций и отрядов, ведущих поиски и изучение апатитовой породы

Основные функции в период разведочных работ экспедиций	Содержание работ по обслуживанию геологических экспедиций
Транспортно-хозяйственные	Приемка грузов (продовольствия, снаряжения, строительных материалов) и переправка их в горы на оленях (М. Онохин и Ф. Неклюдов). Помощь геологам в вывозе заготовленной ими апатитовой породы
Научно-хозяйственные	Организация (1928) и деятельность при агростанции химической лаборатории для анализов образцов апатитовой породы в ходе разведочных работ геологов (Р. Калашникова)
Организационные	Станция Хибины являлась первым организационным пунктом, связанным с добычей апатита. В конце апреля и в течение мая 1929 г. здесь регулярно созывались совещания по инициативе агронома И. Г. Эйхфельда по поводу планов работ в горах [2]

Насколько важное значение работники Хибинского опытного пункта придавали практическим выводам, вытекающим из открытий геологических экспедиций акад. Ферсмана, и содействовали тому, чтобы претворить их в жизнь, свидетельствует следующее откровение И. Г. Эйхфельда: «Весной 1929 г. Хибинская опытная станция занималась больше транспортными и горными делами, чем сельскохозяйственными. И это вполне понятно — она была здесь единственной опорной точкой» [8]. Во многом благодаря коллективному труду работников агростанции было положено начало коренному перелому в освоении Хибин.

4. Отстаивание И. Г. Эйхфельдом с его группой сотрудников в различных кругах целесообразности скорейшего освоения хибинских апатитов

Чтобы апатит-нефелиновая проблема из чисто научной превратилась в народнохозяйственную, государственную, нужны были энергия, энтузиазм и организаторский талант выдающихся ярких личностей. К числу таковых мы, бесспорно, можем отнести и руководителя опытного поля в Хибинах И. Г. Эйхфельда. О его многогранной деятельности в деле привлечения внимания к апатитовой проблеме свидетельствуют данные табл. 4.

В спорах, которые длительное время велись в научных учреждениях и плановых организациях, вокруг проблемы апатита И. Г. Эйхфельд был всегда в числе тех, кто настаивал на немедленном освоении месторождений, чтобы возможно быстрее обеспечить суперфосфатные заводы отечественным сырьем и освободиться от необходимости импортировать марокканские фосфориты, за которые Советскому государству приходилось платить золотом. Не случайно «беспокойный агроном» был удостоен высокой правительственной награды — ордена Ленина за освоение Хибин и создание апатитовой промышленности.

Таблица 4

Роль И. Г. Эйхфельда в популяризации «апатитового проекта»

Пути борьбы за апатит	Примеры
Встречи и консультации с представителями власти, науки и хозяйственниками	Всемерная поддержка И. Г. Эйхфельдом А. Е. Ферсмана и В. И. Кондрикова в апатитовом вопросе [3]. Предложения Эйхфельда по освоению хибинских апатитов, адресованные С. М. Кирову и поддержанные им
Доклады по апатитовой проблеме на собраниях, совещаниях, конференциях	Доклад Эйхфельда «Хибинские апатиты» на собрании Общества краеведов с участниками расширенного Пленума Окрисполкома (14 июня 1929 г.). Доклад Эйхфельда «Применение апатит-нефелиновых пород в сельском хозяйстве» на I Полярной конференции по вопросам комплексного использования Хибинской апатит-нефелиновой породы (10 апреля 1932 г.) [5]
Популяризация новой идеи в печати	После встречи писателя В. Финка с И. Г. Эйхфельдом в одной из газет появилась резонансная статья «Не нужно Африки», способствовавшая оживлению апатитовой проблемы

Таким образом, роль Хибинской опытной станции в постановке и продвижении апатитовой проблемы не может не дооцениваться.

Литература

1. Боруцкий Б. Е. Камень плодородия. К 125-летию Александра Евгеньевича Ферсмана // Природа. 2008. № 10. С. 59.
2. ГОКУ ГАМО в г. Кировске. Ф. Р-194. Оп. 1. Д. 35. Л. 45.
3. Летопись // Кировский рабочий. 1934. 10 декабря. С. 3.
4. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 5. Д. 38. Л. 108.
5. Первая Полярная конференция по вопросам комплексного использования Хибинской апатито-нефелиновой породы (9–12 апр. 1932 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 2009. С. 99–100.
6. Соловьев П. В. Освоение Хибин и создание апатитовой промышленности в СССР // Вопросы истории. 1958. № 2 (февраль). С. 45–59.
7. Эйхфельд И. Г, Ефимов П. Е. Применение Хибинских горных пород для удобрения почвы // Карело-Мурманский край. 1930. № 11/12. С. 14–17.
8. Эйхфельд И. Г. За камнем плодородия // Хибинские клады. Воспоминания ветеранов освоения Севера. Л.: Лениздат, 1972. С. 38.

А. А. Зайцев

Центр гуманитарных проблем КНЦ РАН, Апатиты, aleeck1@rambler.ru

Н. Н. ВОЛКОВ КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬ КУЛЬТУРЫ КОЛЬСКИХ СААМИ

Статья посвящена работам советского этнографа Николая Николаевича Волкова (1904–1953), автора монографии о российских саамах, опубликованной после смерти репрессированного ученого. Предпринят анализ материалов, хранящихся в фонде Научного архива Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН. Представлены сводные данные по личному архиву Волкова, касающиеся материалов по этнографии саами.

Н. Н. Волков: судьба этнографа

Подробная биография и описание научной деятельности Н. Н. Волкова представлены в работе этнографа и историка науки А. М. Решетова, в справочном материале, подготовленном в 1985 г. заведующей Научным архивом Кунсткамеры И. В. Жуковской к описи фонда 13, в личном деле и биографии Н. Н. Волкова (дело 84). Исследователи обращались к документам Архива АН СССР (позже СПб Филиала Архива РАН), в частности, к делу 249 из фонда 142 опись 5 [8, л. 2–4, 24–25 об.; 9, л. 1; 11, с. 367]. А. М. Решетов также использовал архивные справки подразделения Управления КГБ СССР по г. Ленинграду и Ленинградской области от 12 июля 1991 г. и от 8 октября 1991 г. и архивную справку Управления по Санкт-Петербургу и области Министерства безопасности РФ от 23 июня 1993 г. [11, с. 367].

Н. Н. Волков родился летом 1904 г. в деревне Симанково Сретенской волости Галического уезда Костромской губернии в бедной крестьянской семье. После смерти отца Волков в 9 лет пошел работать пастухом, в 13 лет становится учеником стекольщика и печника, в 16 лет вступил в РКП (б). В 1921–1922 гг. Н. Н. Волков учится в Костромской Губсовпатршколе и на курсах Комвуза им. Я. М. Свердлова в Москве. С 1922 по 1926 гг. работает на партийной работе. В 1926–1930 гг. проходит воинскую службу на Балфлоте

в Кронштадте в качестве краснофлотца. Находясь на военной службе, Н. Н. Волков экстерном (1928–1930 гг.) окончил этнографическое отделение геофака Ленинградского государственного университета [8, л. 2; 12, л. 1].

Еще будучи студентом, начал исследовательскую работу под руководством этнографа и религиоведа профессора Н. М. Маторина. Сразу после окончания университета Н. Н. Волков поступил в аспирантуру, из которой в 1931 г. отчислился «не будучи удовлетворен руководством аспирантурой» [8, л. 24 об.]. С 1931 г. по начало 1935 г. работал по мобилизации на оперативной службе в НКВД, откуда демобилизовался по состоянию здоровья как «инвалид III группы» [9, л. 1]. С марта 1935 г. он вновь вернулся к научной работе в Отделе Европы Института антропологии, археологии и этнографии АН СССР г. Ленинграда в качестве младшего научного сотрудника, а по совместительству и сотрудника Государственного музея этнографии (ГМЭ).

В январе 1935 г. был арестован как «враг народа» Н. М. Маторин, который якобы был идейно связан с «контрреволюционной зиновьевской оппозицией», на основании чего впоследствии осужден и расстрелян 11 октября 1936 г. [10, с. 213–216]. И, как позже отмечает А. М. Решетов, «вполне вероятно, что именно это обстоятельство послужило поводом к наказанию автора по партийной линии: Н. Н. Волков, член партии с 11 февраля 1921 г., в апреле 1937 г. был исключен из ВКП(б) за утерю большевистской бдительности и связи с участниками правотроцкистской организации» [11, с. 354]. Он оспаривал это решение, но безрезультатно, с апреля 1937 г. по февраль 1938 г., будучи уволенным из института, несколько месяцев работал стекольщиком. Позже, в марте 1938 г., был восстановлен в прежней должности, в которой проработал по июнь 1941 г. [11, с. 354].

С 5 июля 1941 г. Н. Н. Волков уходит добровольцем на фронт, после ранения под Гатчиной попадает в плен, освобождается только к концу Великой Отечественной войны и вновь зачисляется в РККА, демобилизуется только в конце 1945 г., тогда же восстанавливается на работе в Институте этнографии и антропологии АН СССР в прежней должности младшего научного сотрудника и продолжает научную деятельность [11, с. 354].

7 ноября 1947 г. Н. Н. Волков был арестован и 31 июля 1948 г. осужден на 10 лет исправительно-трудовых лагерей. Согласно характерным типовым формулировкам обвинения, он, находясь в плену у немцев, якобы «проводил антисоветскую агитацию, клеветал на руководителей ВКП(б) и советского правительства, призывал советских граждан к прекращению борьбы против немецких оккупантов» и, «возвратившись из плена и проживая в Ленинграде, среди своих знакомых в период 1946–1947 гг. продолжал проводить антисоветскую агитацию» [11, с. 354–355]. Ученый-этнограф отбывал заключение в ВЯТЛАГе (станция Фосфоритная Пермской железной дороги) и умер в поселке Лесное Кировской области 7 марта 1953 г. [11, с. 354–355].

Научная деятельность Н. Н. Волкова и изучение культуры кольских саами

К раннему периоду деятельности Н. Н. Волкова относятся его работы по проблемам религии и атеизма, которыми автор активно занимался с 1928 по 1936 гг., а впоследствии периодически возвращался к ним. В 1930 и 1931 гг. двумя изданиями выходит его работа «Секта скопцов», подготовленная еще в студенческие годы на основании полевой и архивной работы [5, с. 4–5, 7]. В 1936 г. была опубликована еще одна его монография «Скопчество и стерилизация» [6]. Н. Н. Волков подготовил диссертацию на тему «Скопчество как социально-экономическое и религиозное явление». Данная работа получила высокую оценку Д. К. Зеленина, Е. Г. Кагарова и И. И. Мещанинова, отзывы которых имеются в фонде 13 (дела 86–89), но выполнялась она фактически вне рамок аспирантской подготовки [11, с. 353]. В фонде имеются работы Н. Н. Волкова 1936–1941 гг. (дела 34, 37, 38, 54, 55, 75). Согласно библиографической справке в личном деле, им был опубликован ряд работ по «вопросам изучения религиозных пережитков и их преодолению» [9, л. 2–3]. По мнению Волкова, «для суждения о преодолении религии у того или иного народа, прежде всего, необходимо познакомиться с основами религиозных верований у данного народа, проявлением религиозных пережитков в производственной, семейной и общественной жизни» и «лишь в этом случае мы сможем определить успехи антирелигиозного воспитания и наметить задачи конкретной работы, дающие наиболее действенные результаты в преодолении религии» [2, л. 14]. Такими формулировками советские исследователи обосновывали свои научные изыскания и связывали их с необходимостью преодоления религиозных «пережитков» в народной среде, что соответствовало как научно-эволюционистской традиции, так и идеологии большевиков.

С 1935 по 1936 гг. Волков совершает серию экспедиций в Мурманский округ Ленинградской области для изучения саамов. В ноябре 1935 г. он руководит подготовкой новой экспозиции в ГМЭ на тему «Социалистическое строительство на Кольском полуострове», посвященной памяти С. М. Кирова. Тогда же он меняет тему исследований и начинает писать новую диссертацию «Саамы (лопари)». По предположению А. М. Решетова, «уход его от изучения проблемы сектантства, прежде всего скопчества, связан с арестом как "врага народа" руководителя этой темы Н. М. Маторина» в январе 1935 г. [11, с. 354]. В докладной от 17 января 1936 г. Волков пишет о двухлетнем пребывании на Кольском полуострове [8, л. 25].

В 1939–1940 гг. Институт этнографии готовил к публикации крупную многотомную работу «Народы мира». Н. Н. Волков написал для нее 10 статей: «Саамы», «Вепсы», «Коми-зыряне и пермяки», «Карелы», «Финны (суоми)», «Ижоры», «Водь», «Евремейсы и савакоты», «Татары крымские», «Цыгане». Кроме того, как секретарь тома, он координировал работу по подготовке статей среди членов авторского коллектива. Согласно биографическому материалу, хранящемуся в фонде 13, для написания своих статей, которые в конечном счете не были опубликованы, Н. Н. Волков неоднократно выезжал в экспедиции в различные районы Ленинградской и Мурманской областей, Карельской и Крымской АССР [9, л. 2–3]. В 1946–1947 гг. Н. Н. Волков совершил две экспедиции с целью изучения вепсов.

В сентябре 1940 г. он предпринял экспедицию к саамам, во время которой собирал материалы по темам: оленеводство и езда на оленях, охота и жизнь охотников на промысле, саамские жилища, пища и одежда, социалистическое переустройство их жизни [8, л. 25 об.]. Война прервала научную работу исследователя.

В январе 1947 г. Н. Н. Волков защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата исторических наук на тему «Саамы СССР». На Всесоюзной научной конференции по финноугроведению, проходившей в ЛГУ с 23 января по 4 февраля 1947 г., он выступил с докладом «Некоторые итоги этнографического изучения саамов (лопарей) СССР», в котором обосновал новые подходы к изучению саамской истории и этнографии [1; 11, с. 354].

Работы по изучению культуры саами в личном архиве Н. Н. Волкова

На основании архивных материалов можно определить степень внимания исследователя к отдельным этносам. Так, 75 документов о различных народах объединены в 53 единицы хранения, что составляет 53,5 % от общего числа (102 единицы хранения). В фонде присутствуют дела, которые состоят из одного источника, но содержат информацию о нескольких народах, а также дела, содержащие в себе по 2–3 документа. Например, дело 43 имеет вид статьи, разбитой на 8 очерков, каждый из которых посвящен отдельному финно-угорскому народу, в том числе и 1 очерк о саами [7].

Материалы по этнографии саами составляют 27,5 % от всего числа дел (27 единиц хранения). Авторству Волкова принадлежат 19 документов по саами, которые датируются 1935–1936, 1939–1940, 1946–1947 гг. (табл.).

При жизни ученого увидела свет лишь одна его работа, посвященная саамам, — статья «Изобразительное искусство саамов СССР», опубликованная в сборнике «Народное творчество» за 1940 г. [9, л. 2–3]. Только в 1996 г. в сокращенном виде увидела свет его диссертация «Российские саамы. Историко-этнографические очерки» под редакцией Ч. М. Таксами (МАЭ РАН) и Л.-Н. Ласку (Саамский институт), которые не включили в издание политическую часть, поскольку она, по их мнению, «не вполне отражает историческую действительность» [4].

Распределение материалов о саами по типам документов

Тип материала	Работы			Количество		Номера дел
	Н. Н.Волкова		других авторов	документов	дел	
	Количество	Датировка				
Полевые материалы						
Карта	1	1935–1936	–	1	1	4
Полевые записи	5	1936, 1940	–	5	5	6–9, 14
Рисунки	2	1935, 1940	2	4	4	17–19, 96
Фотографии	1	1940	–	1	1	27
Научные труды						
Статьи	1	1940	4	5	5	51, 95, 97, 99, 100
Очерки	1	1939	1	2	2	43, 98
Доклады, тезисы докладов	3	1946	–	3	2	58, 59
Словари	–	–	1	1	1	90
Библиографические списки	1	1936–1946	–	1	1	35
Планы выступлений	1	1947	–	1	1	73
Тезисы диссертации	1	1946	–	1	1	57
Отзывы	–	–	3	3	1	85
Докладные записки	2	1935–1936	–	2	2	30, 33
Всего	**19**		**11**	**30**	**27**	

В комплексе с другими сферами культуры народа Н. Н. Волков рассматривал саамские религиозные представления. По его мнению, христианизация кольских саами носила формальный характер, а церковно-монастырская система была проводником внутренней и внешней политики в дореволюционной России [4, с. 72–73; 3, л. 7–8]. Он сомневался в том, что дохристианские верования саамов «когда-либо принимали устойчивые религиозные формы». Для этих верований Н. Н. Волков выделил три признака: магия (нойды, колдуны), фетишизм (сейды, деревья и т. п.), анимизм (духи лесов, болот и т. п.), которые хоть и «являются основными для любой религии», но «здесь они не усложнены мифологией, не прикрыты философией, а выступают во всей первобытной простоте» [4, с. 72]. Также, по его мнению, саамский фольклор «отражает религиозно-обрядовые традиции» [1, л. 10].

***

Судьба Н. Н. Волкова может считаться показательной для ученого-гуманитария его поколения, прежде всего, в отношении того, как политико-идеологические факторы определяли научную биографию. Требования пропагандировать государственную идеологию, применять «единственно правильный» марксистско-эволюционистский подход к характеристике культурных институтов общества и отдельно взятых этнических

групп, претворять в жизнь государственную антирелигиозную политику на основе «научного атеизма» могли внутренне приниматься или отвергаться самим исследователем. Обзор архивных материалов в сопоставлении с опубликованными работами позволяет повысить достоверность суждений о научных интересах исследователя, нереализованных направлениях работы.

Литература

1. Волков Н. Н. Некоторые итоги этнографического изучения саамов (лопарей): [машинопись]. 1946 // НА МАЭ РАН. Ф. 13. Оп. 1. Д. 58. Л. 1–19.
2. Волков Н. Н. Проспект коллективного исследования на тему «Преодоление религии у народов СССР»: Машинопись. 1936. НА МАЭ РАН. Ф. 13. Оп. 1. Д. 34. Л. 1–14.
3. Волков Н. Н. Путеводитель по отделу Кольского полуострова в Государственном музее этнографии: [машинопись]. 1935 // НА МАЭ РАН. Ф. 13. Оп. 1. Д. 31. Л. 1–29.
4. Волков Н. Н. Российские саамы. Историко-этнографические очерки / предисл. Л.-Н. Ласку, Ч. М. Таксами. СПб.; Каутокейно, 1996. Dieđut 1. 109 с.
5. Волков Н. Н. Секта скопцов / под ред. Н. М. Маторина. Л.: Прибой, 1931. 168 с.
6. Волков Н. Н. Скопчество и стерилизация (исторический очерк) / отв. ред. И. И. Мещанинов. Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 136 с.
7. Волков Н. Н. Этнографический очерк народов лесной полосы европейской части РСФСР: автограф. 1939 // НА МАЭ РАН. Ф. 3. Оп. 1. Д. 43. Л. 1–25.
8. Жуковская И. В. Приложение к описи, опись и биографическая справка о Н. Н. Волкове. 1985 // НА МАЭ РАН. Ф. 13. Оп. 1.
9. Личное дело и биография Н. Н. Волкова: [машинопись] // НА МАЭ РАН. Ф. 13. Оп. 1. Д. 84. Л. 1–6.
10. Решетов А. М. Репрессированная этнография. Люди и судьбы: в 2 ч. Ч. 1 // Кунсткамера. Этнографические тетради. СПб.: МАЭ РАН, 1994. Вып. 4. С. 213–216, 221.
11. Решетов А. М. Репрессированная этнография. Люди и судьбы: в 2 ч. Ч. 2 // Кунсткамера. Этнографические тетради. СПб.: МАЭ РАН, 1994. Вып. 5–6. С. 353–355, 367.

К. С. Казакова

Центр гуманитарных проблем КНЦ РАН, Апатиты, ksenia-kuznec@yandex.ru

«КУЛЬТУРНЫЙ УРОВЕНЬ» КОРЕННОГО НАСЕЛЕНИЯ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА В ОЦЕНКАХ ЭТНОГРАФОВ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XIX — НАЧАЛА XX ВЕКОВ

Особенности культурного развития коренного населения Кольского Севера являются ключевой темой многих этнографических текстов второй половины XIX — начала XX вв. Классические этнографические труды представлены сочинениями В. И. Немировича-Данченко, Н. Н. Харузина, Н. Дергачева и многих других. Значительная часть сочинений, посвященных описанию культуры кольских саамов, относится к жанру путевых записок — разновидности документального (или публицистического) очерка. Исследователи отмечают, что, несмотря на различный характер научных организаций, командирующих исследователей для этнографического изучения саамов, их объединяют две общие задачи, которые они ставят перед своими агентами [1, с. 35]:

1) изучить культурное состояние автохтонного населения Кольского полуострова;

2) обосновать необходимость дальнейшей колонизации Севера и создать для него почву.

В этнографических текстах второй половины XIX — начала XX вв. содержатся как сведения о школах, так и авторские оценки культурных процессов, происходящих в среде коренного населения. В основном авторы, преследуя колониальные интересы, оценивают уровень грамотности коренного населения как «низкий» и обосновывают необходимость повышения «культурного уровня» коренного населения.

Так, Н. Дергачев отмечает, что лопари не знают ни печатных, ни письменных букв, но употребляют вместо письма клейма. «Во всех лопарских обществах сельских училищ никогда открываемо не было, поэтому грамотности между туземцами почти совершенно нет», – сообщает читателю автор. Н. Дергачев приводит данные о том, что в течение 10 лет (до 1867 г.) в Кольском приходском училище (единственном учебном заведении на тот момент. — *прим. авт.*) обучалось всего три мальчика и одна девочка. Причина «жалкого распространения грамотности между лопарями», по мнению автора, заключается не в их равнодушии к обучению, а, скорее, в бедности коренного населения. «Несколько лопарских семейств охотно отдали бы своих детей учить грамоте, если бы были открыты школы», — пишет автор [3, с. 22]. Н. Дергачев считает необходимым увеличение числа школ для коренного населения в зимних погостах или около приходских церквей.

Сведения о низком уровне распространения грамотности среди коренного населения мы встречаем и у Н. Н. Харузина (рис. 1). Так, автор отмечает, что «дело образования стояло еще хуже до последнего

времени, чем дело проповеди» [11]. В подтверждение данного высказывания автор приводит сведения из сочинения уже упоминавшегося Н. Дергачева о незначительном количестве учеников саамов в школе города Колы. Н. Харузин пишет: «Неохотно отдают лопари своих детей в школу и не оттого, чтобы они чурались грамотности, а вследствие того, что Кольская школа слишком отдалена от лопарских погостов, если не считать Кильдинского, самого близкого к Коле, отстоящего от нее в 13-ти верстах, — и оттого, что, оставив своего сына в Коле, лопарь должен платить за его содержание, что обременительно ложится на постоянно бедствующего и бьющегося в долгах лопаря» [11, с. 76]. Таким образом, в тексте Н. Н. Харузина мы имеем дело с продолжением предшествующего сочинения Н. Дергачева. Подобное явление, когда один автор приводит в своем сочинении текст своего предшественника, как отмечает О. А. Бодрова, является типичной чертой этнографической литературы о саамах [1].

Многие авторы, доказывая необходимость подъема «дела просвещения» среди коренного населения Кольского Севера, пишут о желании лопарей учиться. Так, в сочинении Н. Дергачева читаем: «Сами лопари сознают уже потребность грамоты и развития своих детей, следовательно тем легче прививаются начала образования и наверное в скором времени принесут обильные плоды развития, а вместе с тем смягчение нравов и улучшение их быта» [3, с. 23]. Стремление лопарей к грамотности отмечает и В. И. Немирович-Данченко, описывая свое путешествие по Русской Лапландии в 1875 г. «Лопари не только признают пользу грамотности, но и желают учиться. Где бы я ни был, всюду лопари осаждали меня просьбами указать им, как завести свою школу», — сообщает автор [8, с. 124]. Также о «бесконечных» просьбах лопарей об открытии школ пишет Н. Козмин в путевых заметках «По школам Лапландии» (рис. 2) [5, с. 12].

Авторы многих этнографических текстов, говоря о распространении грамотности среди саамов, сообщают читателю сведения о Пазрецкой лопарской школе. Также в большом количестве этнографических текстов встречаются сведения о К. П. Щеколдине и Г. К. Терентьеве, известных своей широкой просветительской деятельностью. Так, сведения о Пазрецкой школе приводит в своем очерке «Русские лопари» Н. Н. Харузин, являвшийся одним из благотворителей этой школы. Большое количество учеников в этой школе доказывает, по мнению автора, тот факт, что лопари не «чуждаются просвещения», а причина низкой грамотности саамского населения кроется в том, что «для просвещения этого забытого в полярной стране народа ничего не было сделано» [11, с. 77]. «Нельзя не пожелать, чтобы столь успешно начатое дело просвещения лопарей развивалось и росло дальше, крепло и пускало все глубже и глубже корни в молодую, оставленную так долго без внимания, почву. Среди мер, который могут послужить к поднятию лопарей из того положения, в котором они находятся, одной из главных является просвещение», — заключает автор [11, с. 77]. К. Спасский, отмечая, что только школа способна улучшить быт лопарей, пишет о том, что примером для подражания является священник Константин Щеколдин, который «посвятил себя великому делу — просвещению лопарей и уже более 20 лет работает в глуши Лапландии, обучает грамоте лопарских детей и наставляет взрослых» [10, с. 229].

Стоит отметить, что особенностью школы в Пазрецком погосте был сезонный характер обучения, разработанный К. Щеколдиным в соответствии с хозяйственным календарем саамов. Н. Козьмин, совершивший в 1911 г. поездку с целью обозрения школ Александровского уезда, в своем сочинении писал о том, что занятия в Пазрецкой школе, в отличие от других погостов, начинались уже с сентября. Для этого в месте летнего становища на средства Училищного Совета было устроено общежитие для лопарских детей. В зимние месяцы занятия проходили в здании школы в зимнем погосте. В этнографической литературе Пазрецкая лопарская школа получила название «передвижной школы» Константина Щеколдина.

«Нельзя не отнестись с особенным сочувствием к тому, что место для школы было выбрано именно в Лопарском зимнем погосте, а не около церкви. Представляя большие неудобства для учителя, которому приходится ехать так далеко для обучения лопарей, близость школы к погосту имеет для огромное преимущество», – писал Н. Харузин [11, с. 77].

«При врожденной впечатлительности и восприимчивости лопарей учение идет успешно и бойко. В своих неоднократно опубликованных записках К. П. Щеколдин, вопреки распространенному тогда мнению, постоянно подчеркивал глубокие национальные традиции лопарей, их любовь к своему краю, природе, способность и стремление к учению, своеобразное чувство юмора и нравственную чистоту», — писал в своей книге Е. В. Кочетов в июне 1894 г., совершивший 23-дневную поездку по Северу России [6, с. 192].

Успех обучения в Пазрецкой школе, по мнению авторов, во многом объяснялся тем, что занятия с учениками К. Щеколдин отчасти вел на родном для них языке. Будучи членом переводческой комиссии при миссионерском комитете, им была опубликована первая книга на саамском языке «Евангелие от Матфея», а затем в следующем, 1895-м, издана «Азбука для лопарей, живущих в Кольском уезде Архангельской губернии» — первый саамский учебник (рис. 3). Книги получили широкое распространение по всему Кольскому Северу. К примеру, заведующий Сонгельской церковно-приходской школой Михаил Терентьев уведомлял Кольское училищное отделение о том, что «при занятиях с учениками будет это Евангелие познакомлено, а с лопарями, умеющими хорошо говорить по-русски, будет переведена вторая глава» [4, с. 4].

Несмотря на успешный опыт Пазрецкой школы, говорить о масштабном распространении церковно-приходских школ на Севере в конце XIX в. не приходится. Такое положение было связано с рядом факторов, о которых пишет, например, А. С. Розонов. Автор указывает на недостаточность средств, отсутствие специальной подготовки учителей, затруднительность для священников отрывать время от своих прямых

обязанностей. Однако одной из главных трудностей обучения в лопарских школах является, по мнению автора, языковой барьер между учителями и учениками. «Ко всем прочим недостаткам церковно-приходских школ присоединяется то обстоятельство, что преподавание ведется на чужом детям языке... женщины и дети совершенно не понимают русского языка», — отмечает А. С. Розонов. В заключение автор пишет о необходимых мерах «культурного подъема» лопарей. Для этого, по его мнению, необходим целый ряд мероприятий, на первое место среди которых автор выдвигает устройство «хорошей школы». «В Лапландии больше, чем где либо, условия жизни требуют энергии, выдержки, способности к неустанному систематическому труду, качества возможные лишь при высоком культурном уровне населения», — заключает А. С. Розонов [9, с. 123].

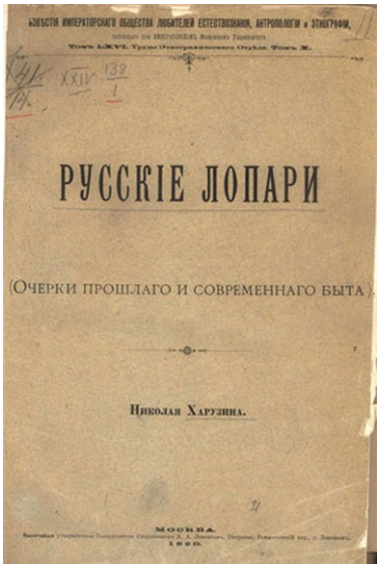


Рис. 1. Н. Н. Харузин. Русские лопари. 1890 г.

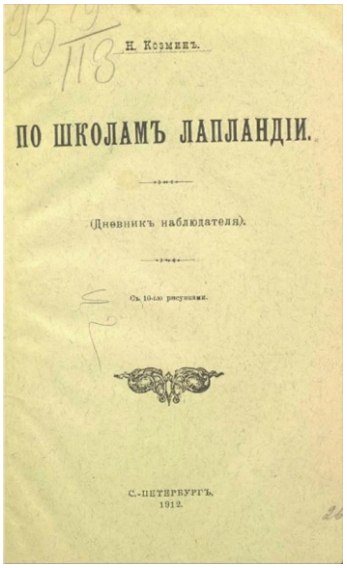


Рис. 2. Н. Козмин. По школам Лапландии. 1912 г.

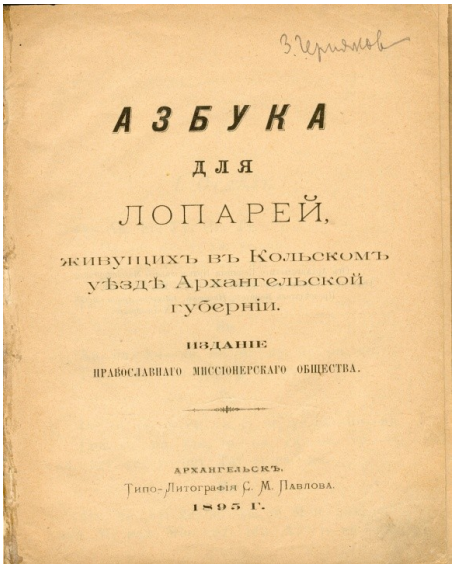


Рис. 3. Азбука для лопарей. 1895 г.

Обучение саамов грамоте осложнялось не только языковым барьером между учителем и учениками, но и коротким периодом обучения, обусловленным сезонным характером хозяйствования коренного населения. Так, во многих саамских школах, расположенных вблизи зимних погостов, учебный год начинался только в ноябре-декабре и заканчивался в марте-апреле. Чтобы сделать более продолжительным учебный год в лопарских школах, в своем сочинении Н. Козьмин обосновывал необходимость устройства при школах общежития для детей-школьников. Стоит отметить, что в данном случае речь идет именно об организации постоянного проживания детей при школе с целью продления учебного периода, т. е. отрыве саамских детей от промыслов, что существенно отличается от опыта «передвижной» школы Константина Щеколдина.

С началом активной колонизации края в начале XX в. в этнографических текстах все чаще встречаются высказывания о необходимости просвещения коренного населения Кольского Севера. Несмотря на признание несправедливости колонизационного процесса по отношению к саамам, большинство авторов отмечает, что Российское государство приносит саамам перспективы для выживания и развития [1].

Многие авторы видят в просвещении коренного населения необходимое условие для успешной колонизации края. «Несмотря на природные богатства, край этот остается далеко не использованным, население существует кое-как, остается на самом низком уровне культурного развития. Самая энергичная борьба с безграмотностью, рутиной, возможно большее насаждение школ — вот единственное, по моему убеждению, основанному на многолетнем наблюдении средство как к поднятию промысловой деятельности Мурмана, так и к привлечению сюда пригодных для дела переселенцев и объединению разобщенных национальностей», — пишет в своем сочинении А. А. Мухин [7, с. 48].

Вот еще пример. Г. Ф. Гебель, рассматривая особенности колонизационного процесса, отмечал: «Далеко важнее вопрос о том, в состоянии ли лопарь воспринять культуру и сделаться оседлым, представляет ли он из себя годный материал для колонизации собственной страны. На этот вопрос кажется можно ответить утвердительно» [2, с. 84]. Главным институтом, способным обрусить и ассимилировать лопарей и русских, по мнению автора, должны были стать русские школы.

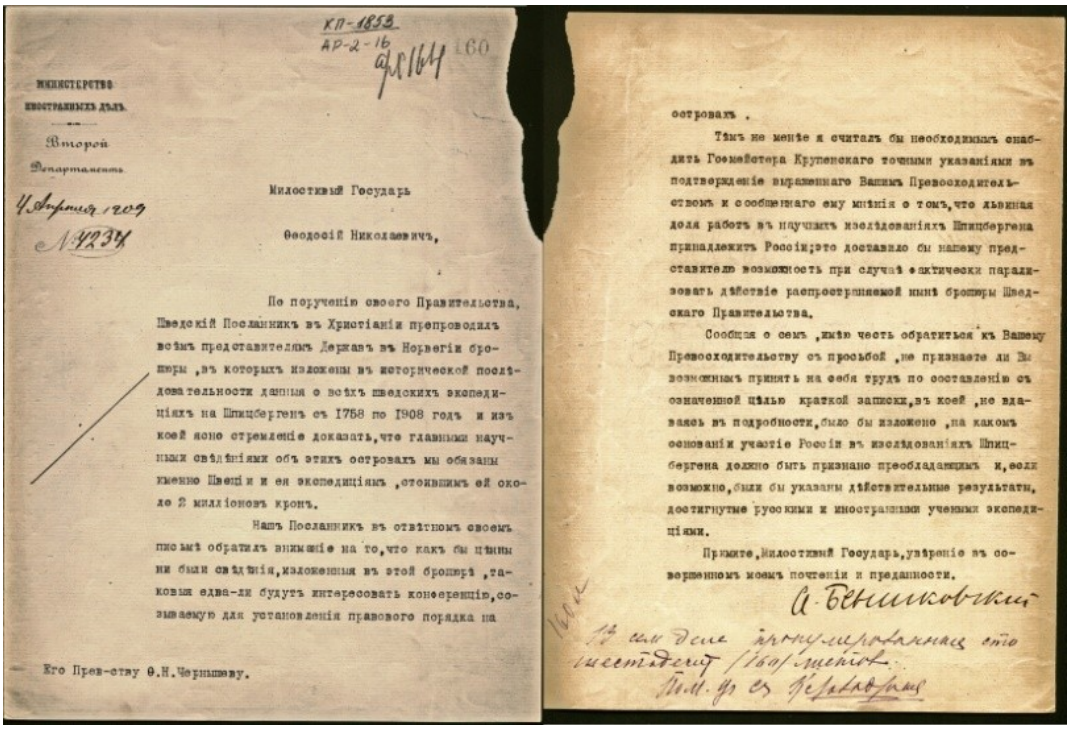
Таким образом, во всех рассмотренных этнографических сочинениях лейтмотивом является необходимость поднять «культурный уровень» коренного населения. Авторы пишут о стремлении саамов к грамотности, положительном опыте деятелей просвещения, отмечают объективные трудности в развитии саамских школ. Однако во всех проанализированных этнографических текстах школе отводится особая роль в успехе колонизационного процесса на Кольском Севере.

Литература
1. Бодрова О. А. В поисках отражения: саамы Кольского Севера в русской этнографической литературе второй половины XIX — начала XX вв. Апатиты, 2014.
1. Гебель Г. Ф. Наша Лапландия. СПб., 1909.
2. Дергачев Н. Русская Лапландия. Архангельск, 1877.
3. Ермолаев Д. Русский священник: просветитель, полицейский и медик // Мурманский вестник. 2009. 13 октября. С. 4.
4. Козмин Н. По школам Лапландии (Дневник наблюдателя). СПб., 1912.
5. Львов Е. По Студеному морю. Поездка на Север. М.,1895.
6. Мухин А. А. О Мурмане и Лопландии. Записки Чиновника по крестьянским делам 1-го участка Александровского уезда А. А. Мухина. Архангельск, 1910.
7. Немирович-Данченко В. И. Лапландия и лапландцы: Публичные лекции, читанные в 1875 г. в Санкт-Петербургском педагогическом музее. СПб., 1877.
8. Розонов А. С. Лапландия и лапландцы. СПб., 1903.
9. Спасский К. Лопари // Русская земля: (Природа страны, население и его промыслы): Сборник для народного чтения. СПб., 1899.
10. Харузин Н. Н. Русские лопари: (Очерки прошлого и современного быта). М., 1890.

К. В. Лобанов, А. Я. Докучаев, В. Н. Смольянинова, А. В. Каргин, Е. Б. Курдюков, А. Б. Лексин, Е. В. Юткина, М. К. Суханов, М. В. Гирнис
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, lobanov@igem.ru

СТРАНИЦЫ ИЗ ИСТОРИИ РОССИЙСКОГО ИЗУЧЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН: МАТЕРИАЛЫ ИЗ РУДНО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО МУЗЕЯ ИГЕМ РАН

В Рудно-петрографическом музее ИГЕМ РАН хранятся образцы, шлифы и архив документов как свидетельство приоритетной роли России в Арктике [6]. В частности, это материалы российско-шведской экспедиции на Шпицберген (О. О. Баклунд, Ф. Н. Чернышев, 1899–1901 гг.), экспедиций В. А. Русанова на Новую Землю (с А. А. Свициным, 1911 г.) и на Шпицберген (с Р. Л. Самойловичем, 1912 г.) и предшествующие им документы, в том числе письмо академику Ф. Н. Чернышеву из Министерства иностранных дел Российской империи, датированное 4 апреля 1909 г. (рис.).



Министерство иностранныхъ дѣлъ.
Второй Департаментъ.
4 Апрѣля 1909
№ 4234

Милостивый Государь
Ѳеодосій Николаевичъ,

По порученію своего Правительства, Шведскій Посланникъ въ Христіаніи препроводилъ всѣмъ представителямъ Державъ въ Норвегіи брошюры, въ которыхъ изложены въ исторической послѣдовательности данныя о всѣхъ шведскихъ экспедиціяхъ на Шпицбергенъ съ 1758 по 1908 годъ и изъ коей ясно стремленіе доказать, что главными научными свѣдѣніями объ этихъ островахъ мы обязаны именно Швеціи и ея экспедиціямъ, стоившимъ ей около 2 милліоновъ кронъ.

Нашъ Посланникъ въ отвѣтномъ своемъ письмѣ обратилъ вниманіе на то, что какъ бы цѣнны ни были свѣдѣнія, изложенныя въ этой брошюрѣ, таковыя едва-ли будутъ интересовать конференціи, созываемую для установленія правового порядка на

Его Прев-ству Ѳ.Н.Чернышеву.

островахъ.

Тѣмъ не менѣе я считалъ бы необходимымъ снабдить Гофмейстера Крупенскаго точными указаніями въ подтвержденіе выраженнаго Вашимъ Превосходительствомъ и сообщеннаго ему мнѣнія о томъ, что львиная доля работъ въ научныхъ изслѣдованіяхъ Шпицбергена принадлежитъ Россіи; это доставило бы нашему представителю возможность при случаѣ фактически парализовать дѣйствіе распространяемой нынѣ брошюры Шведскаго Правительства.

Сообщая о семъ, имѣю честь обратиться къ Вашему Превосходительству съ просьбой, не признаете ли Вы возможнымъ принять на себя трудъ по составленію съ означенной цѣлью краткой записки, въ коей, не вдаваясь въ подробности, было бы изложено, на какомъ основаніи участіе Россіи въ изслѣдованіяхъ Шпицбергена должно быть признано преобладающимъ и, если возможно, были бы указаны дѣйствительные результаты, достигнутые русскими и иностранными учеными экспедиціями.

Примите, Милостивый Государь, увѣреніе въ совершенномъ моемъ почтеніи и преданности.

А. Бенкендорфъ

Письмо академику Ф. Н. Чернышеву из Министерства иностранных дел Российской империи от 4 апреля 1909 г. [2]

Содержание письма следующее.

Министерство иностранных дел. Второй департамент.
4 Апреля 1909, № 4234. Его Прев-ству Ф. Н. Чернышеву.
Милостивый Государь Феодосий Николаевич,

По поручению своего Правительства, Шведский Посланник в Христиании препроводил всем представителям Держав в Норвегии брошюры, в которых изложены в исторической последовательности данныя о всех шведских экспедициях на Шпицберген с 1758 по 1908 год и из коей ясно стремление доказать, что главными научными сведениями об этих островах мы обязаны именно Швеции и ея экспедициям, стоившим ей около 2 миллионов крон.

Наш Посланник в ответном своем письме обратил внимание на то, что как бы ценны ни были сведения, изложенныя в этой брошюре, таковыя едва-ли будут интересовать конференцию, созываемую для установления правового порядка на островах.

Тем не менее я считал бы необходимым снабдить Гофмейстера Крупенскаго точными указаниями в подтверждение выраженнаго Вашим Превосходительством и сообщеннаго ему мнения о том, что львиная доля работ в научных изследованиях Шпицбергена принадлежит России; это доставило бы нашему представителю возможность при случае фактически парализовать действие распространяемой ныне брошюры Шведскаго Правительства.

Сообщая о сем, имею честь обратиться к Вашему Превосходительству с просьбой, не признаете ли Вы возможным принять на себя труд по составлению с означенной целью краткой записки, в коей, не вдаваясь в подробности, было бы изложено, на каком основании участие России в изследованиях Шпицбергена должно быть признано преобладающим и, если возможно, были бы указаны действительные результаты, достигнутые русскими и иностранными учеными экспедициями.

Примите, Милостивый Государь, уверение в совершенном моем почтении и преданности.
А. Бешковский.

Очевидно, что Ф. Н. Чернышев в ответ составил подробную записку об истории русского промыслового освоения Гру́манта и научных исследованиях, проведенных Россией и другими государствами на архипелаге Шпицберген (пометка в конце документа: «*В сем деле пронумерованных сто шестьдесят /160/ листов*»).

Рассмотрим предысторию этого документа и что за ним последовало.

По инициативе М. В. Ломоносова в 1764–1766 гг. Шпицберген посетила экспедиция капитана I ранга В. Я. Чичагова с целью поиска морского прохода к Берингову проливу через Центральную Арктику. Впервые было произведено описание северо-западной части архипелага до 80°26' с. ш. и промеры прилегающих к нему вод [3].

Первые комплексные научные исследования Шпицбергена начали французские ученые в 1837 г. Впоследствии здесь доминировали шведы, а позже к ним подключились австрийцы, норвежцы, англичане. Благодаря шведским экспедициям 1858–1872 гг. было установлено, что Шпицберген богат углем, а на западных берегах архипелага были обнаружены фосфаты.

В 1870 г. А. Э. Норденшельд обратился к шведскому правительству с просьбой, чтобы «король занял Шпицберген как свою колонию», в связи с чем возник «шпицбергенский вопрос» в российско-шведских, а затем российско(советско)-норвежских отношениях.

В марте 1871 г. МИД Швеции направило правительствам заинтересованных стран ноту с предложением о присоединении архипелага к Норвегии (находившейся в унии со Швецией). В официальном ответе России было предложено сохранить Шпицберген как регион без правителя, природными ресурсами которого могут пользоваться подданные всех стран, в частности, ссылаясь на традиционный промысел поморов. В ответной ноте от 29 июня 1872 г. Швеция отказалась от попытки присоединения архипелага, и у Шпицбергена был подтвержден статус «ничьей земли» (terra nullius) [1, 2].

В последующем на архипелаге работали многие шведские геологи (Г. Натхорст, Де Геер, Г. Норденшельд и др.), представители других наций (австрийцы Х. Вильчек и Х. Хефер, английский альпинист М. Конвэй и др.), а российский зоолог А. А. Коротнев в 1898 г. собрал богатый материал о растительном и животном мире Шпицбергена.

В 1898 г. Шведская академия наук предложила российским коллегам провести на Шпицбергене совместные градусные измерения с целью определения степени сжатия Земли у полюса и уточнения формы геоида. В секретной записке министру финансов С. Ю. Витте от 23 марта 1898 г. министр иностранных дел М. Н. Муравьев ходатайствовал о выделении 100 000 руб. на организацию экспедиции и указал на то, что для России крайне желательно принять это предложение из-за недавних попыток наших соседей распространить свое влияние на архипелаг; он указал также на то, что *«...приглашать другие державы было бы крайне нежелательно, поскольку не соответствует нашим политическим интересам на Крайнем Севере»* [7]. 22 октября 1898 г. вышло постановление Государственного совета, утвержденное императором, о выделении необходимых средств на снаряжение российско-шведской экспедиции. Была образована Комиссия по градусному измерению на островах Шпицбергена. От России ее председателем стал Великий князь Константин Константинович, от Шведско-Норвежского королевства – кронпринц Густав. При Академии наук 11 августа 1898 г. была создана Особая комиссия в составе академиков О. А. Баклунда, Ф. А. Бредихина, Ф. Б. Шмидта, А. П. Карпинского, М. А. Рыкачева и адъюнктов Б. Б. Голицына и Ф. Н. Чернышева [2].

В 1898 г. для рекогносцировки на архипелаг отправилась шведская экспедиция под руководством профессора Э. Едерина (автор проекта — академик А. Э. Норденшельд), от России в ней участвовал геодезист подполковник Шульц.

Работы по градусному измерению проводились с 1899 по 1901 гг. Русская база располагалась на юго-западной части Шпицбергена, в Горнзунде. В состав русской экспедиции входило шесть астрономов-геодезистов, два физика, два натуралиста (А. А. Бялыницкий-Бируля и О. О. Баклунд), врач А. А. Бунге и механик Ган. Зимовочным составом экспедиционной базы командовал военный топограф штабс-капитан Д. Д. Сергиевский. За летний сезон были выполнены астрономические и геодезические наблюдения на двух пунктах. Зимой проводились стационарные астрономические, метеорологические и магнитные наблюдения. В 1899 г. к берегам Шпицбергена подходил ледокол «Ермак» под командованием С. О. Макарова. На берегу бухты Адвент он установил вековую мерку — специальный знак для наблюдений за многолетними колебаниями уровня моря. На второй летний сезон 1900 г. руководителем работ был назначен Ф. Н. Чернышев, имевший опыт проведения геологических арктических экспедиций (на Новой Земле и Тимане). В дальнейшем обе экспедиции работали со своих баз, расположенных на крайнем севере (шведская на полуострове Ню-Фрислан) и юге (русская в Хорнсунне) архипелага независимо друг от друга, но руководствуясь общей программой и с целью сомкнуть сети триангуляции на горе Ньютон высотой 1717 м. Экспедиция 1901 г. (под руководством Ф. Н. Чернышева) завершила астрономические, геодезические работы и выполнила исследования по земному магнетизму, силе тяжести, геологии, гляциологии и биологии.

6 октября 1903 г. на XIV общем собрании Международного геофизического союза была выражена благодарность русскому правительству и ученым за услуги, оказанные ими науке вообще и геодезии в частности. Результаты Шпицбергенской градусной экспедиции были столь значительны, что их опубликование, начатое в 1904 г., продолжалось до 1919 г. (уже Академией наук СССР). Политическим последствием экспедиции стало усиление российского влияния в борьбе за раздел сфер влияния в Западной Арктике.

В 1907 г. королевство Норвегия (она освободилась от унии со Швецией в 1905 г.) предложило заинтересованным странам, не изменяя международно-правового положения Шпицбергена, договориться о едином порядке и правилах пользования его ресурсами, а несколько позднее — обсудить этот вопрос на специальной международной конференции. По согласию западных держав в Норвегии, Швеции и России были разработаны свои проекты международного соглашения о государственном и правовом статусе архипелага.

Для России вопрос о Шпицбергене непосредственно связывался с нуждами обороны Севера. В связи с предстоящим созывом в Христиании (Норвегии) конференции трех стран по Шпицбергену, в МИДе состоялось особое совещание по вопросу его статуса. На совещании представители Генерального морского штаба настаивали, что Россия «ни в коем случае не должна допустить преобладания иностранного государства на Шпицбергене», в том числе и Норвегии, находившейся под сильным английским влиянием. Морской штаб считал недопустимым, чтобы Шпицберген, обладающий удобными бухтами и каменным углем, пригодным для военных судов, и при этом расположенный на расстоянии суточного перехода от Мурмана (вероятной военной базы русского флота в Атлантическом океане), оказался в чужих руках. Представитель Министерства торговли и промышленности заявил, что необходимо предотвратить любую возможность иностранным державам препятствовать плаванию русских коммерческих судов Северным морским путем в Сибирь. Между тем, в Норвегии готовилась правительственная экспедиция на архипелаг, а шведское правительство приобрело на Шпицбергене в свою собственность рудные залежи и угольные копи, принадлежавшие, согласно заявкам, А. Норденшельду и О. Диксону [4].

Чтобы проверить ситуацию на архипелаге, предполагалось направить туда в 1909 г. ледокольные пароходы «Таймыр» и «Вайгач» под командованием капитанов А. В. Колчака и Ф. А. Матисена (соратников Э. В. Толля по Русской полярной экспедиции 1900–1902 гг.), которые должны были совместить это плавание с выполнением основной задачи – гидрографическими работами в Северном Ледовитом океане (ГЭСЛО); но к началу лета суда не были готовы, что изменило первоначальный план работы [10].

По этим причинам именно к Ф. Н. Чернышеву поступило письмо из МИД Российской империи, ныне хранящееся в фондах Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН (рис.).

В июле 1910 г. состоялось первое международное совещание в Христиании. Было решено для управления Шпицбергеном создать международную комиссию из представителей Норвегии, Швеции и России. Шпицберген остался «ничьей землей» [1]. По выработанному проекту заинтересованные страны внесли поправки, но США предложили, чтобы комиссия по Шпицбергену была суверенной и представляла собой международную администрацию, с правом «вето» каждого участника конвенции при назначении ее членов [4]. В связи с расхождением позиций держав намечавшаяся на 1912 г. новая встреча заинтересованных сторон была отложена.

В июле 1911 г. российский МИД ходатайствовал перед министром финансов В. Н. Коковцовым принять меры «к безотлагательному насаждению на Шпицбергене какого-либо русского, по внешней форме неказенного предприятия, которое, служа проявлением нашей деятельности на Шпицбергене, облегчило бы Российскому правительству защиту его старых прав на эту территорию» [4]. Поэтому особое значение приобрела организация Шпицбергенской экспедиции 1912 г. под руководством В. А. Русанова, который поставил перед ней следующие задачи: исследование природных богатств архипелага (полезные ископаемые, рыбные запасы и промыслы морского зверя) с их формальным закреплением за участниками экспедиции; ознакомление с деятельностью конкурирующих (реальных и потенциальных) уже действующих иностранных предприятий;

попутное проведение научных работ в области географии, ботаники, метеорологии и гидрологии, включая изучение льдов и течений в омывающих морях. В. А. Русановым было обследовано около 2 000 км побережья архипелага. «*Исследования на Шпицбергене закончены, вся программа выполнена, поставлено 28 заявок. Собраны палеонтологическая, зоологическая и ботаническая коллекции. Обследована вся горная промышленность Шпицбергена. Много льдов. Иду на восток. Русанов*» [5]. Открытие угольных месторождений на Шпицбергене помогло защитить геополитические интересы России на архипелаге.

В совместном заявлении президента России Владимира Путина и премьер-министра Норвегии Хьеля Магне Бунневика, принятом в Осло 12 ноября 2002 г., зафиксировано, что *«норвежская сторона приветствует продолжение российской экономической деятельности на Шпицбергене как естественной и важной части общей деятельности на архипелаге, а также новые виды такой активности»* [8].

Литература

1. Арлов Т. Б. История архипелага Шпицберген. М.: Паулсен, 2016. 592 с.
2. Архив Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН. КП-1853 / АР-2-16. С. 160 (Арх. 164).
3. Беляев Д. П. Наука в интересах геополитики: российско-шведская экспедиция на архипелаг Шпицберген // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 2. С. 267–270.
4. Выдающиеся исследования российской Арктики в материалах Рудно-петрографического музея ИГЕМ РАН — личности и результаты / К. В. Лобанов и др. // Междунар. науч. конф., посвящ. 300-летию Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана РАН (Москва, 21–24 ноября 2016 г.). М., 2016. С. 96–99.
5. Пинхенсон Д. М. Проблема Северного морского пути в эпоху капитализма // История открытия и освоения Северного морского пути. Л.: Морской транспорт, 1962. 766 с.
6. Полярная экспедиция на ледоколах «Таймыр» и «Вайгач» в 1910–1915 годах / Н. И. Евгенов, В. Н. Купецкий. СПб.: ГеоГраф, 2013. 312 с.
7. Российский государственный исторический архив (РГИА). Д. 29377. Л. 6.
8. Россия и Норвегия — соседи на Севере: совместное заявление Президента России и Премьер-министра Норвегии: принято Владимиром Путиным и Хьелем Магне Бунневиком в Осло 12 ноября 2002 г. URL: http://www.kremlin.ru/supplement/3542.
9. Русанов В. А. Статьи, лекции, письма. Литературное наследство выдающегося русского полярного исследователя начала XX века / под ред. А. Н. Цветковой. М.; Л.: Главсевморпуть, 1945. 428 с.
10. Шпицберген. Страна острых гор / Н. А. Гнилорыбов и др. М.: Планета, 1979. 144 с.

Е. И. Макарова
Кольский научный центр РАН, Апатиты, makarova@admksc.apatity.ru

ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ БЕЛЬКОВ В ИСТОРИИ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА: К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

> Знать историю отечественной науки, без изучения которой не может быть познано духовное наследие человечества, — наша обязанность.
> *В. И. Вернадский* [4, с. 259]

Неотъемлемой частью отечественной науки является региональная наука, имеющая свою поучительную историю и свой ценный опыт. Оценивая результаты цивилизационного развития Кольского Севера в контексте научного освоения Арктики, мы опираемся, прежде всего, на научное наследие ученых Академии наук, внесших свой вклад в научное обоснование промышленного освоения полезных ископаемых Кольского полуострова.

В истории кольской академической геологии Игорь Владимирович Бельков, 100-летие которого отмечает в 2017 году научное сообщество, занимает особое место (рис. 1).

Отдавший геологии Кольского Севера 53 года своей жизни, И. В. Бельков на Кольском Севере побывал впервые, когда, будучи студентом геологического факультета Ленинградского университета, летом 1938 года проходил экспедиционную практику. Своим первым впечатлением от Севера он поделился в письме к отцу: «Вообще надо сказать, что ни один писатель, или художник, или фотограф не смогут изобразить исключительной успокаивающей красоты этих мест. <…> Один день пробыли на станции Африканда, которая расположена на берегу озера Имандра. По одну сторону этого озера находятся Хибины, по другую — Мончегорский хребет. Эта картина громадного озера с отдаленными горами, на которых еще лежит снег, не забудется никогда» [2, с. 21–22].

Все последующие летние экспедиции студента И. В. Белькова проходили на Кольском полуострове, а по окончании университета он получил персональное приглашение от Академии наук СССР в Кольскую базу АН СССР в г. Кировск. «Там будут прекрасные условия работы (аспирантура, 3,5 месяца отпуска в год, замечательная библиотека, лаборатории и т. д.) и научного роста под руководством крупнейших наших геологов, в том числе и А. Е. Ферсмана. В скором времени А. Е. Ферсман будет со всеми нами знакомиться в стенах университета», —

делился своими планами с отцом И. В. Бельков [2, с. 30]. С «красным» дипломом геолога-геохимика И. В. Бельков в начале июня 1941 года получил и направление на работу в КБАН СССР, но начавшаяся 22 июня 1941 года Великая Отечественная война круто изменила все его планы. В первые же дни войны он был призван в ряды Красной армии защищать от немецких захватчиков подступы к блокадному Ленинграду.



Рис. 1. Игорь Владимирович Бельков

Только после демобилизации в ноябре 1945 года И. В. Бельков был зачислен в аспирантуру Кольской базы, а в 1948 году защитил досрочно диссертацию (рис. 2). В августе 1948 года, когда ему исполнился 31 год, он подводил первые жизненные итоги: «…Я прожил полжизни, подвел итог и собираюсь начать вторую половину. Первая половина закончилась защитой диссертации <…> и переездом из Ленинграда в Кировск, где я намереваюсь прожить несколько лет» [2, с. 49]. Однако Игорь Владимирович ошибся в своем прогнозе на будущее — всю свою дальнейшую творческую жизнь он посвятил Кольскому Северу. Север определил и его личную Судьбу — здесь он встретил свою любимую жену, соратницу по работе и вдохновительницу всех лучших творческих свершений в его жизни, здесь он дал жизнь сыну и дочери, здесь на Севере родились и его внуки.



Рис. 2. И. В. Бельков, заведующий лаораторией Геологического института, парторг КФАН. 1949 г.

Кольский Север сформировал И. В. Белькова как крупного ученого-минералога, по его инициативе и при активном участии в послевоенные годы, предшествовавшие формированию Геологического института, при КБАН был создан Отдел геологии и петрографии, которым он руководил с самого начала (рис. 3). Круг научных интересов И. В. Белькова охватывал область геологии и геохронологии Балтийского щита, петрологии и металлогении гранитов, генезиса метаморфических пород, технологической минералогии кианитового и редкометалльного сырья. Его исследования позволили обосновать существование Кольской провинции редкометалльных пегматитов, что привело в дальнейшем к установлению крупнейших в стране месторождений щелочных металлов (1950–1956).



Рис. 3. В полевом отряде. Слева направо: М. А. Тараканов, И. В. Бельков, Ю. И. Ильин

Всесторонне изучив высокоглиноземистые породы кейвской серии в центральной и восточной части Кольского полуострова, И. В. Бельков обобщил результаты своих исследований в докторской диссертации «Кианитовые сланцы свиты Кейв» (1965) — одной из первых в Кольском филиале. Результаты его научных достижений послужили основанием к принятию ряда правительственных постановлений, обеспечивших разведку и подготовку к промышленному освоению крупнейшей в мире группы месторождений кианита — ценного сырья для производства глинозема, силумина и огнеупоров.

О сотрудничестве с И. В. Бельковым поделился воспоминаниями его младший современник, известный ученый, д. х. н. Д. Л. Мотов: «С Игорем Владимировичем Бельковым я познакомился в октябре 1950 г., когда стал работать в Кольском филиале АН СССР на первых порах как химик-аналитик, выполняя силикатные анализы и частные определения. Пробы от И. В. Белькова были идеально отобраны и четко маркированы, в них чувствовался почерк заказчика. При более близком знакомстве оказалось, что Игорь Владимирович проявляет четкость и талант во многом. Он и одаренный музыкант, и художник, и лектор-рассказчик. Когда в 1963 г. в работе ИХТРЭМС было показано, что кейвский кианит может быть использован как противопригарный материал в литейном деле и последовало Постановление ВСНХ СССР о проведении широких промышленных испытаний, встал вопрос о добыче партии кианита. И. В. Бельков, будучи уже директором Геологического института КФ АН СССР, был вместе с Е. К. Козловым главным идеологом продвижения кианита. Он выбрал точку на Кейвах — месторождение Тяпш-Манюк, и там была добыта кианитовая руда (около 50 т), доставлена в г. Кировск и обогащена в ЦЛ комбината «Апатит». Я как автор этой работы, был ответственным за проведение испытаний на крупнейших литейках страны: в Ленинграде на Невском машиностроительном заводе им. В. И. Ленина, на Арматурном заводе им. И. И. Лепсе, Обуховском заводе; в Москве — на Электростальском заводе тяжелого машиностроения, заводе Станколит; в Свердловске — на Уралмаше. Со стороны И. В. Белькова при проведении этой работы я ощущал постоянную моральную поддержку. Он считал себя виноватым за судьбу кианитовых сланцев Кейв, и в 1965 г. вышла его монография на эту тему. До этого кианит рассматривался как высокоглиноземистое сырье для получения силумина и огнеупоров, а новое направление — литейное производство — могло стать стимулом освоения Восточной части Кольского полуострова, и в первую очередь Кейвской группы месторождений кианита. И. В. Бельков буквально вдохновлял нас делать испытания качественно и без задоринки. При проведении испытаний были выпущены различные сложные отливки, в том числе турбины для Ассуанской гидростанции в Египте, ковши шлаковоза для металлургического комбината в Бхилаи (Индия). Результаты испытаний на всех заводах были

положительны, и итоги работы, выполненные по Постановлению ВСНХ, рассматривались в ЦК КПСС, но, к сожалению, решения об освоении Кейв при этом не последовало, так как не было кооперации с другими возможными потребителями кианита, плюс к тому сама литейная промышленность как таковая отдельно не существовала, а была рассредоточена по разным министерствам, ни одно из которых не взяло на себя функции субсидирования строительства. И. В. Бельков воспринял этот факт как удар судьбы и очень переживал. В какой-то степени компенсацией за судьбу кианитовых "бдений" было присвоение имени И. В. Белькова новому минералу – бельковиту» [5, с. 31–32].

Талантливый организатор науки, И. В. Бельков за 25 лет руководства Геологическим институтом в 1961–1985 годы обеспечил развитие и расширение его научно-исследовательской деятельности, планирование и проведение научных исследований, подготовку кадров, участие в организации совещаний, конференций, многих межведомственных комиссий (рис. 4). Начиная с 1962 года в составе Института были организованы и успешно функционировали новые подразделения, такие как лаборатории рудных месторождений, геохронологии и химии изотопов, экспериментальной петрографии и минералогии, минералогии и геохимии редких элементов, физических методов исследования, геофизики и др. Только сотрудниками его лаборатории было открыто более 20 новых минералов, таких как раит, кейвит, колфанит, борнеманит, канасит и др. (А. В. Волошин, Ю. П. Меньшиков, И. В. Буссен, М. Д. Дорфман и др.). И. В. Бельков постоянно уделял большое внимание подготовке кадров высокой квалификации, консультировал сотрудников, готовящих диссертации, лично руководил работой аспирантов, из числа которых пятеро успешно защитили кандидатские диссертации (С. Суслова, И. Батиева, А. Барабанов, А. Волохонский, М. Федотова). Всего к концу его руководства институтом на 1 января 1986 года в его состав входило 16 лабораторий с общим числом работников 409 человек, в том числе 147 научных сотрудников, из которых 10 докторов и 69 кандидатов наук. Под его редакцией вышло более 40 изданий, в том числе 10 выпусков «Материалов по минералогии Кольского полуострова» [1, с. 21–28].



Рис. 4. И. В. Бельков, директор Геологического института КНЦ РАН

И. В. Бельков много внимания уделял исследованиям, связанным с изучением апатит-нефелиновых, медно-никелевых, железорудных, редкометалльных и других месторождений, решению проблем комплексного использования руд. Под его руководством были выполнены работы, способствующие увеличению запасов минерального сырья и расширению базы апатитовой, медно-никелевой, железорудной и других отраслей горнорудной промышленности Кольского полуострова. Являясь членом Президиума Кольского филиала АН СССР (1953–1987), И. В. Бельков способствовал решению принципиальных вопросов развития новых научных направлений в Кольском филиале АН СССР, организация которых происходила на базе подразделений Геологического института — в первую очередь Горного института, Института химии и технологии редких металлов, Института экономики и др. Особенно плодотворным было сотрудничество И. В. Белькова и сотрудников его лаборатории с обогатителями Горного института КФАН СССР по вопросам совершенствования процессов

комплексного обогащения апатитонефелиновых, медно-никелевых, железных, кианитовых и редкометалльных руд Хибин, Ловозера, Кейв и других месторождений.

В Геологическом институте ежегодно проводились научные сессии, многочисленные региональные и всесоюзные научные конференции, часто сопровождаемые геологическими экскурсиями. В частности, незабываемое впечатление осталось у участников 27-го Международного геологического конгресса, проходившего в Москве в 1984 году, от экскурсии по Кольскому полуострову, научным руководителем которой был И. В. Бельков. Американка Присцилла Грю из Калифорнии, возвратившись с конгресса, выразила свое восхищение и благодарность в письме, адресованном И. В. Белькову: «…На маленькой станции в Апатитах делегатов встречали кольские геологи с букетами маргариток, еще влажных от утренней росы. Затем всех повезли в гостиницу "Аметист", чтобы они смогли переодеться в полевую форму. Потом отправились на оз. Вече-Ламбина, чтобы увидеть самое сердце щита Фенноскандии, гранитогнейсы, которым 3,2 млрд лет, серые архейские обнажения в открытой взору тайге из ели и серебристой березы. <…> Русские дали Присцилле свои высокие черные сапоги, чтобы ноги находились в тепле и не промокли, а она предоставила им возможность испробовать американское средство от комаров. Совместные международные эксперименты показали, что продукция фирмы "Каттер" действует на советского комара должным образом. <…> Следующий день был по-настоящему волнующим: представилась возможность исследовать удивительное хибинское кольцо интрузий различных нефелиновых сиенитов — одно из самых больших в мире...» [2, с. 175–176].

Особое внимание И. В. Бельков уделял музею Геологического института, неустанно заботясь о его оборудовании и комплектовании. В программу полевых отрядов института обязательно включалась задача сбора образцов для музея. Вот как вспоминают о заботе И. В. Белькова сотрудники музея: «Великолепный знаток минералов, он уделял огромное внимание организации и развитию Музея геологии и минералогии в Геологическом институте и был, по сути, его создателем и руководителем до конца жизни. Понимая важнейшую научную и общественно-просветительскую роль музея в регионе с уникальной минералогией и богатейшими месторождениями полезных ископаемых, уже в первые послевоенные годы он начал создавать коллекцию. Изначально небольшие рабочие собрания, собственные и сотрудников института, превратились со временем в богатые и красочные музейные экспозиции. <…> Свое увлечение музеем, стремление сделать его очагом культуры, дать людям полноценную информацию о минеральных богатствах Кольского полуострова И. В. Бельков передал сотрудникам института. Большой вклад в развитие музея сделали его коллеги Т. В. Новохатская и М. Г. Федотова, в разное время заведовавшие музеем. Под руководством И. В. Белькова они добились того, что музей стал известным не только в нашей стране, но и за ее пределами. В настоящее время он выполняет не только просветительскую, но и образовательную работу: на базе музея обучаются студенты геологической, экологической и геофизической специальностей различных вузов г. Апатиты. Коллекции И. В. Белькова помогают им в получении знаний по минералогии, петрографии и полезным ископаемым нашего края» [3, с. 12–13].

И. В. Бельков способствовал распространению и популяризации знаний о полезных ископаемых Кольского Севера, четверть века возглавляя Кольское отделение Минералогического общества и будучи председателем городского отделения общества «Знание» (рис. 5).



Рис. 5. И. В. Бельков среди членов общества «Знание»

Д. Л. Мотов вспоминает: «В 1962 г. Сидоренко передал бразды правления Кольским отделением ВМО И. В. Белькову и четверть века Игорь Владимирович был бессменным его председателем. Одновременно он возглавлял Апатитское городское отделение общества «Знание» и, будучи неравнодушным к химикам, поручил

пост ответственного за общество «Знание» по Кольскому филиалу АН СССР к. х. н. М. М. Годневой. Пристрастие Игоря Владимировича к химикам проявилось также в том, что в нашей лаборатории (ИХТРЭМС) работала его невестка В. О. Белькова (урожденная Полторак), а с ее отцом я учился на химфаке МГУ им. М. В. Ломоносова. И. В. Бельков — это многогранная личность и не случайно по отношению к Минералогическому обществу он выступает для нас в одной упряжке с А. В. Сидоренко. В памяти как ровесники они оказались рядом: академик А. В. Сидоренко и д. г.-м. н. И. В. Бельков» [5, с. 31–32].

Автор более 200 научных работ, 164 из которых опубликовано (в т. ч. 11 монографий), И. В. Бельков не менее известен как художник — мастер северного пейзажа. Все свободное время он посвящал живописи, которая привлекала его с детских лет.

«Как я вспоминаю, — рассказывает его жена и соратница д. г.-м. н. И.Д. Батиева, — маслом он начал писать весной 1949 года. С этого времени рисование для него стало радостью и отдыхом от напряженной работы. Свободного времени для рисования было мало. Он рисовал урывками — в обеденный перерыв, в редкие свободные вечера, выходные дни, в отпуске. Он рисовал в основном дома, по памяти. На полевых работах, в путешествиях он делал лишь карандашные наброски. Только один раз на полевые работы мы брали мольберт и краски. Но лодка, на которой спускались по порогам Реки Ачи, перевернулась, и все эскизы были в воде, да к тому же комары и мошки толстым слоем ложились на масляные краски, не успевающих высохнуть эскизов. Большинство его картин посвящено природе Кольского края, но, бывая в Италии, Индии, на Кубе, в Африке, Средней Азии, Кавказе он также писал этюды. Н. Рыжова в газете "Советский Мурман" писала: "Природа для геолога — не живописные места, куда художник выезжает на этюды, а рабочее место". Тем не менее, Игорь Владимирович и многие сотрудники Геологического института после каждой экспедиции вместе с образцами пород и минералов привозили наброски будущих картин. В День геолога по традиции устраивали шашлык из оленины на природе и выставки работ самодеятельных художников в институте. В них участвовали А. Арманд, В. Капитонов, Л. Сазыкина, Ф. Пестерев, И. Никитин и др. Одним из наиболее активных организаторов и участников этих выставок был Игорь Владимирович. В Кольском филиале им был организован клуб художников-любителей "Сполох". Первым председателем выбрали его. Клуб самодеятельных художников "Сполох" за участие во Всесоюзном смотре самодеятельного художественного творчества, посвященного 40-летию победы советского народа в Великой Отечественной войне был награжден дипломом газеты "Труд". На этой выставке выставлялись картины и Игоря Владимировича. Картины и этюды его выставлялись и ранее, начиная с 1958 года. При жизни они демонстрировались в Москве, Мурманске, Апатитах, Кировске. Благодарные зрители в книгах отзывов и на страницах газет оставляли свои впечатления. Он щедро дарил свои картины друзьям, коллегам из США, Канады, Финляндии, Дании, Франции, Румынии. Более 100 картин было продано на аукционах, организованных в пользу Детского фонда им. В. И. Ленина. Уже после его смерти был подготовлен и вышел в Кольском научном центре РАН на русском и английском языке каталог его картин. В него вошли 552 картины и этюды. Картины Игоря Владимировича экспонируются на выставках и сейчас. За последние 12 лет они 8 раз состоялись в культурном центре "Салма", в музеях пос. Кукисвумчорр, Кировска, Апатитов, Умбы, Кандалакши, в музеях Геологического института и Кольского научного центра, в музее С. М. Кирова в Санкт-Петербурге, краеведческих музеях Кукисвумчорра и Ковдора есть его картины» [1, с. 29–30].

К сказанному можно лишь добавить, что имя И. В. Белькова с гордостью и по праву носит Геологический музей КНЦ РАН, его именем назван минерал бельковит, его многочисленные пейзажи Кольского Севера нашли достойное место в частных коллекциях и музеях по всему миру, их можно увидеть на сайте ГИ КНЦ РАН.

100 лет — это всего лишь небольшой отрезок времени в истории, пределы которой определяются жизнью цивилизации. Случайно или нет — Игорь Владимирович Бельков родился в год свершения Великой Октябрьской революции и ушел в канун краха социалистической России, не переступив порог постсоциалистического пространства. В отечественной истории и в людской памяти он останется одним из ярких представителей ушедшей социалистической эпохи.

Литература

1. Батиева И. Д. Игорь Владимирович Бельков — организатор-ученый-художник-человек. Книга памяти. Воспоминания о замечательных сотрудниках Геологического института КНЦ РАН. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. С. 29–30.
2. Батиева И. Д. Игорь Владимирович Бельков. Хроника жизни. Апатиты: КНЦ РАН, 2007. 205 с.
3. Борисова В. В., Волошин А. В. — И. В.Бельков и его вклад в коллекцию Музея Геологического института КНЦ РАН // Труды Всерос. науч. конф. и IV Ферсмановской научной сессии, посвященные 90-летию со дня рождения академика АН СССР А. В. Сидоренко и д. г.-м. н. И. В. Белькова (Апатиты, 4–6 июня 2007 г.). Апатиты: К@М, 2007. С. 12–13.
4. Вернадский В. И. Труды по истории науки в России. М.: Наука, 1988. С. 259.
5. Мотов Д. Л. «В памяти они рядом» // Труды Всерос. науч. конф. и IV Ферсмановской научной сессии, посвященные 90-летию со дня рождения академика АН СССР А. В. Сидоренко и д. г.-м. н. И. В. Белькова. (Апатиты, 4–6 июня 2007 г.). Апатиты: К@М, 2007. С. 31–32.
6. Ученые Кольского научного центра. 1930–2010. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 514 с.

М. А. Тараканов
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, tarakanov@iep.kolasc.net.ru

МАТЕРИАЛЫ НАУЧНОГО АРХИВА КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН ОБ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В КОЛЬСКОЙ БАЗЕ АН СССР В 1930-Е ГОДЫ

Специальная фиксация начала экономических исследований в Кольской базе АН СССР произведена в двух официальных документах этого учреждения, которые находятся в Научном архиве Кольского научного центра Российской академии наук (далее — НА КНЦ РАН) [1, л. 8–12]:

- Общая объяснительная записка к Плану работ Кольской базы Академии наук СССР на 1936 г., направленная за подписью ученого секретаря Базы А. М. Оранжиреевой в Комитет по базам и филиалам АН СССР;
- Объяснительная записка к Плану работ экономо-географического отдела Кольской базы АН СССР.

В первом документе отмечено, что «в 1935 году впервые были включены в план работы Базы темы по изучению экономики Кольского полуострова». Второй документ начинается словами: «В 1935 году в план работ Кольской базы впервые были включены работы по экономике Кольского полуострова, главным образом по Кольскому горнопромышленному комплексу».

25 марта 1935 г. на заседании Кольской базы был утвержден план экспедиционных исследований на Кольском полуострове в 1935 г., в котором среди 15 экспедиционных отрядов назван экономический отряд, его руководителем определен Н. М. Тоцкий [2, л. 5 об.]. Источниками финансирования работы этого отряда в размере 20 000 руб. были указаны Мурманский окрисполком и Совет по изучению производительных сил (СОПС). До работы в Кольской базе АН СССР Н. М. Тоцкий был старшим ученым специалистом Бюро экономических исследований СОПС Академии наук [3, л. 2, 27].

24 июля 1935 г. состоялось производственное совещание по экономической группе (присутствовали Тоцкий, Биркенфельд, Оранжиреева), на котором было заслушано сообщение Н. М. Тоцкого о положении дела с работой экономического отряда. Протокол этого совещания с достаточной полнотой характеризует многочисленные перипетии в работе Н. М. Тоцкого. Так, в нем отмечается, «что письма Кольской базы остаются без ответа Управляющего трестом "Апатит", что устное согласие на совместную разработку Кольского горнопромышленного комплекса было дано Управляющим трестом, что переговоры, имевшие место 23 июля 1935 г., оставили вопрос о совместной работе снова в неопределенном положении».

22 сентября 1935 г. на заседании Президиума Кольской базы АН СССР был заслушан доклад Н. М. Тоцкого «О состоянии и перспективах работ экономической группы». В постановлении по докладу было отмечено, что «благодаря неясному финансовому положению до 1 июля 1935 года группа не была оформлена, нормальное развертывание работ по теме "Кольский горнопромышленный комплекс" задерживалось вследствие непредставления отдельными работниками треста "Апатит" необходимых материалов». По существу произведенных исследований Президиум Кольской базы отметил, что «экономическая группа за короткий срок своей деятельности (6 месяцев, 1 лицо) при наличии всякого рода организационных затруднений и неполадок достигла значительных успехов, которые вполне гарантируют возможность занять ведущую роль в разработке экономического развития всего Кольского полуострова в целом».

Относительно перспективных вопросов, обсуждавшихся по экономической группе в 1935 г., необходимо отметить, что 2 октября 1935 г. состоялось заседание Кольской базы по организационным и административно-хозяйственным вопросам (присутствовали акад. А. Е. Ферсман, И. Д. Чернобаев, А. М. Оранжиреева), в протоколе которого по вопросу «О руководстве отделами Базы» в п. 5 записано: «организовать географо-экономический отдел и утвердить заведующим отделом Тоцкого Н. М.» [3, л. 56].

Каких-либо конкретных работ Н. М. Тоцкого за 1935 г. в документах Научного архива КНЦ РАН не обнаружено, однако в Научной библиотеке КНЦ РАН сохранилась карточка на микрофильм с названием «Тоцкий Н. И. Очерки Кольского горнопромышленного комплекса. Ч. 1. 1935» (инициал отчества ошибочен, но для документов тех времен такого рода ошибки довольно типичны).

В относящейся к началу 1936 г. Докладной записке зам. Председателя Базы тов. И. Д. Чернобаева о работах Кольской базы АН СССР в 1936 г. [4, л. 27–38] указываются новые аспекты требований к работе Базы, в частности, «упрек Мурманского Исполкома в том, что База обслуживает интересы только одного горно-промышленного района, в связи с этим ставится задача создать условия для превращения Базы в крупный научно-исследовательский центр, который сможет расширить свои работы не только тематически, но и территориально» и предлагается построение Базы по трем большим группам — геологической, биологической и географо-экономической; в перечне структурных составляющих Базы назван географо-экономический отдел.

В примерном штатном расписании Кольской базы на 1936 г. (по расширенной программе), приложенном к докладной записке, в отношении экономо-географического отдела записано следующее: «заведующий отделом — 1, старший научный сотрудник — 2, младший научный сотрудник — 1». В «Общей записке к Плану работ Базы на 1936 г.», в разделе «Кадры» по экономо-географическому отделу названы: «Руководитель Отдела — проф. Соловьянов Г. Н. Научные сотрудники — эконом-географы Луцкий С. Л., Ковальская Н. Я.» [1, л. 11], которые являлись прикомандированными к Кольской базе аспирантами Географического института Московского государственного университета. Согласно Отчету Базы за 1936 г. по экономо-географическому

отделу [5] (далее — Отчет Отдела за 1936 г.), 25 июня 1936 г. ученый секретарь Кольской базы А. М. Оранжиреева в сопроводительном письме к посланному в Комитет по базам и филиалам Академии наук СССР «Уточненному плану работ Базы на 1936 год» с «Общей пояснительной запиской к нему и с записками к планам работ по отделам» сделала особый акцент на то, что «план работ экономо-географического отдела изменен полностью в связи с заключением договоров с трестом "Апатит" и со строительством "Североникеля"». При этом она поясняла, что «задержка в предоставлении уточненного плана была вызвана заключением договора с "Североникелем"» [1, л. 7].

В Отчете Отдела за 1936 г. отмечалось, что «бюджетных средств на организацию и работу ГЭО выделено не было и единственной финансовой базой нового отдела явились заключенные договоры с хозяйственными организациями, работающими на Кольском полуострове, на общую сумму 64,5 тыс. руб.» [5, л. 42]. В работе экономо-географического отдела по выполнению договорных работ участвовало 11 привлеченных работников.

В «Плане работ экономо-географического отдела Кольской базы Академии наук СССР на 1936 г.» (далее — «План работ Отдела на 1936 г.»), посланном в Комитет по базам и филиалам Академии наук СССР 25 июня 1936 г., перечень проблем (тем) по заключенным договорам с трестом «Апатит» с указанием их содержания, руководителя и исполнителей выглядит следующим образом:

1. Проблема получения на Кольском полуострове окиси алюминия // Детальный экономический просчет Кандалакшского глиноземного комплекса в связи с новой народнохозяйственной конъюнктурой / (Соловьянов, Талмуд, Волынец).

2. Рассмотрение народнохозяйственной эффективности производства из апатита концентрированных удобрений // Выгодность и целесообразность производства двойных суперфосфатов / (Соловьянов, Сакович, Кабанова).

3. Выявление ближайших путей использования нефелина и точек его переработки // Нефелин из сернокислого глинозема. Нефелин для получения геля и инсектфунгистов / (Соловьянов, Волков, Влодавец).

4. Рассмотрение возможности экспорта концентрированных удобрений за пределы Кольского полуострова // Экспорт двойных суперфосфатов // (Соловьянов, Кабанова, Покшишевский).

5. Использование апатита в металлургии и ее отходах // Утилизация шлаков Монче-тундры на новый вид фосфорных удобрений // (Соловьянов, Черников, Баженов, Кожевников).

6. Выявление себестоимости кольского никеля на основе данных СНОПа и всех прочих материалов // Учет ценообразующих факторов, оценка и анализ отходов с целью их комбинирования и утилизации // (Соловьянов, Баженов, Хахам, Беленький).

7. Изучение возможности использования сфена // Возможность получения титановых белил // (Соловьянов, Джаксон, Райко).

8. Изучение местного редкометалльного сырья и его сопоставление с аналогичным сырьем в других районах и импортными странами // Выгодное получение ниобия и тантала // (Соловьянов, Дибман, Червинский и другие, еще не назначенные).

Только три темы были выполнены в пределах установленных в договоре сроков, по всем остальным сроки выполнения были не соблюдены. Представляется, что это во многом было обусловлено такими обстоятельствами, что все работы выполнялись «сторонними» исполнителями, которые при представлении работ были далеко не те, что намечались первоначально в плане.

В 1937 г. экономические исследования в Кольской базе были прекращены. Некоторые сведения о судьбе договорных работ, о судьбе Г. Н. Соловьянова в 1937 г., а также о судьбе Отдела в 1937 г. содержатся в Акте от 15 сентября 1937 г. о сдаче и. о. ученого секретаря Кольской базы АН СССР тов. Дараганом Венедиктом Харлампиевичем вновь назначенному Президиумом АН СССР ученому секретарю Кольской базы тов. Барышеву Тимофею Тимофеевичу дел Базы АН СССР [6].

Относительно выполнения научно-тематического плана отделами Базы в качестве общего по отделам Базы в Акте записано: «Утвержденный Комитетом по зав. Филиалами и Базами АН СССР план научных работ отсутствует. Отделы в своей работе в 1937 году руководствовались научным планом, утвержденным директором Базы, академиком Ферсманом А. Е. в марте с.г.», а по экономо-географическому отделу: «В 1937 году работы планом не предусмотрены. Работы же 1936 года по договорам с трестами «Североникель» и «Апатит» по вине б. заведующего названным отделом Г. Н. Соловьянова не выполнены в установленный срок, признаны заказчиком в качественном отношении неудовлетворительными и не подлежат оплате, в связи с чем против Соловьянова было возбуждено Кольской базой судебное дело. В настоящее время работы Соловьянова направлены судебными органами на экспертизу» [6].

В сопроводительном письме заместителя председателя Комитета по филиалам и базам АН СССР И. А. Дорошева от 14 октября 1937 г. на имя ученого секретаря Кольской базы АН СССР Т. Т. Барышева перечисляются направляемые на Базу «работы и данные заключения экспертов по ним:

1. П. А. Попов. «Современное состояние применения, добычи и потребления платиновой группы металлов в капиталистических странах» с отзывом проф. О. Е. Звягинцева.

2. «Сравнение народнохозяйственной эффективности капиталовложений в комбинаты цветной промышленности: Кольский, Орский и Прибалхашский» с отзывом проф. В. А Пазухина.

3. «Экономическое исследование о месте медно-никелевого комбината в системе горно-промышленного комплекса Кольского полуострова» с отзывом проф. В. А. Пазухина.

4. Б. Н. Коган. «Применение нефелина в сельском хозяйстве» с отзывом ученого специалиста НИИ Удобрений и инсектофунгесидов тов. Л. И. Королева». При этом в конце письма сделана приписка: «Отзывы по этим работам направлены в Мурманск следователю облпрокуратуры т. Смирнову» [7, л. 1а].

В отзыве по первой работе пишется, что «не обладая специальными знаниями в области экономики и техники благородных металлов, представляющих довольно запутанные области, автор не подошел к собранному материалу критически. Доверившись иностранным источникам, он часто берет на веру рекламные сведения. <...> Сводку П. А.Попова нельзя считать квалифицированной научной работой. Это лишь сводка материалов, в большинстве случаев уже появившихся в печати в СССР, <...> материалы требуют критической переработки и дополнения квалифицированными силами» [8].

В отзыве от 6 октября 1937 г. по третьей работе в заключении читаем, что «рецензированная работа является весьма слабой во всех частях, совершенно непонятно, для какой цели эта работа было выполнена» [7, л. 15].

В отзыве по четвертой работе написано: «Составление таких поверхностных обзоров может иметь место в тех случаях, когда в короткий срок необходимо получить общее представление о состоянии разработки того или иного вопроса <…> заказчик не должен был удовлетвориться такого рода поверхностными компиляциями» [9, л. 1].

В Кировском историко-краеведческом музее есть запись телефонного разговора главного хранителя музея В. С. Худобиной с дочерью Г. Н. Соловьянова, в котором она рассказала о том, что 5 ноября 1937 г. Г. Н. Соловьянов был арестован, а в 1940 г. освобожден.

Экономические исследования в Кольской базе возобновились лишь в 1938 г., когда в его структуре был образован географический отдел в составе 4 групп: а) экономо-географической; б) физико-географической; в) климатологической с метеорологической станцией; г) торфяной. Заведующий географическим отделом И. Т. Кузьминов, в единственном числе представивший экономо-географическую группу, начал работу в августе 1938 г. [10]. В Отчете о научно-исследовательской работе Кольской базы за II квартал 1938 г. от 2 августа 1938 г., подписанном ученым секретарем Кольской базы, по географическому отделу записано: «Утвержденный Президиумом Академии заведующий географическим отделом Базы Кузьминов Иван Тихонович и старшие научные сотрудники Тарасов и Казанов до сего времени не приехали. Следовательно, работы по теме "Изучение экономической и физической географии" не проводилось» [11].

Перед группой были поставлены следующие темы: Составление экономо-географической монографии Кольского полуострова. Использование кейвских кианитов (район реки Поной и Семиостровского погоста). Использование кольских диатомитов. Проблема создания Кольско-Печорского металлургического комбината. Организация ниоботанталового производства на базе ловозерских лопаритов. Перспективы развития промышленности Мурманской области на III пятилетку. Определенная виртуальность подобного перечисления тем вскрывается тут же, ибо сразу после перечисления тем говорится, что «эконом-географическая и физико-географическая группы совершенно не укомплектованы работниками и в этом вопросе нужны помощь Отдела кадров Академии Наук и Мурманских областных организаций» [12]. В апреле 1939 г. из состава географического отдела была передана в гидрологический отдел климатологическая группа и метеостанция [13, л. 22], а вскоре по Базе было произведено сокращение штата, и географический отдел был полностью ликвидирован [13, с. 44], и экономические исследования тем самым прекращены. Экономические исследования в Кольском филиале АН СССР возобновись лишь 1950 г.

Архивные источники

1. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 31. Л. 8–12.
2. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 24. Л. 5 об., 56.
3. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 5. Д. 23. Л. 2, 27.
4. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 34. Л. 27–38.
5. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 49. Л. 41–51.
6. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 57.
7. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 5. Д. 62. Л. 1а, 15/
8. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 5. Д. 36. Л. 1–2.
9. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 5. Д. 56. Л. 1.
10. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 63. Л. 10, 78.
11. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 74. Л. 12.
12. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 82. Л. 18.
13. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 84. Л. 22, 44.

М. А. Тараканов
Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, tarakanov@iep.kolasc.net.ru

К ИСТОКАМ ИСТОРИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ КОЛОНИЗАЦИИ КАРЕЛО-МУРМАНСКОГО КРАЯ

История железнодорожной колонизации Карело-Мурманского края, или «канадизация» Мурманской железной дороги, представляет особую ценность как опыт перенесения на российскую почву зарубежных приемов освоения слабо заселенных и экономически неразвитых северных окраин. С чисто нормативно-правовой точки зрения начало и конец этого опыта определяются двумя датами. Это 25 мая 1923 г., когда Совет труда и обороны (СТО) утвердил «Положение о колонизации Карельско-Мурманского края», и 26 сентября 1930 г., когда постановлением СТО транспортно-промышленно-колонизационный комбинат Мурманской железной дороги был ликвидирован. Законодательный акт от 25 мая 1923 г. впервые в России реализовал идею возможности применения опыта американских и канадских железных дорог, когда их значение далеко расширяется от чисто транспортного и они становятся комбинатами, которые выполняют наряду с транспортной также промышленную и колонизационную функции.

Сама ассоциация с Канадой и работой американских железных дорог возникла сразу же с окончанием строительства Мурманской железной дороги в 1916 г., когда в серии изданий Всероссийского земского союза «Война и экономическая жизнь» вышла книга А. Ф. Зайцева и Н. Р. Родионова «Мурманская железная дорога и задачи экономической политики на Севере» [5], посвященная «обсуждению открываемых ею перспектив, как в первые после войны годы, так и в последующий период, в особенности при предстоящем оживлении Севера». Авторы, объединив северную часть европейской России (Архангельскую, Вологодскую, Олонецкую и Пермскую губернии) и «северо-западную Сибирь, находящуюся в приблизительно одинаковых условиях», назвали это пространство «Русской Канадой» и сравнили сооружение Мурманской дороги по своему значению для этого края «с постройкой трансатлантических американских железных дорог» [5, с. 11]. Однако, указывая разницу в условиях русской и американской жизни, авторы отдавали приоритет при проведении соответствующих мероприятий государству: «…это дело должна взять на себя государственная власть» [Там же]. Авторы сформулировали обширный перечень задач экономической политики государства, актуальных и по сей день в области железнодорожного строительства, развития лесной и рыбодобывающей промышленности, создания вольной гавани на Мурмане. Уже тогда признавалась необходимость разрешить дороге выполнение ряда функций за пределами чисто транспортных операций: «…новые задачи, которые должна будет нести железная дорога в этом на половину необитаемом и экономически едва лишь рождающемся крае, потребуют, может быть, соответствующей организации коммерческой части. <…> При сравнительно слабом развитии частной инициативы у нас в России рамки государственного вмешательства в хозяйственную жизнь неизбежно расширяются» [5, с. 23].

В этом плане важно отметить еще одну обстоятельную работу, выпущенную Переселенческим управлением Министерства земледелия в 1917 г. до Октябрьской революции «Колонизационные задачи в районе Мурманской железной дороги» [7].

После Октябрьской революции необходимость выполнения Мурманской дорогой в интересах общегосударственных, местных и самой дороги колонизационных задач, далеко выходящих за пределы обычных функций транспортных предприятий, впервые была точно и категорически сформулирована в резолюциях Совещания по Северу, созванного в мае 1920 г. Физико-математическим отделением Российской академии наук [4, с. 3].

В 1922 г. Северной колонизационной экспедицией была издана работа Н. Я. Овчинникова «Очередные колонизационные задачи на севере Европейской части России», под которыми, как отмечает во введении автор, «подразумевается все то, что нужно и возможно осуществить на Севере для укрепления краевого хозяйства, для его оживления и для развития производительных сил» [8, с. 5]. Рассматривая опыт установления организационных форм, он пишет: «Железные дороги, рассматриваемые не только как транспортные предприятия, но как комплекс всевозможных промышленных отраслей, обеспечивающих железной дороге наибольшую доходность, могут сыграть колонизационно-промышленную роль величайшего значения. Это слишком ярко и показательно иллюстрируется известной историей и культурным результатом работы железнодорожных предприятий в Канаде. С этой точки зрения инициатива Мурманской железной дороги, выступившей с проектом возложения на нее широких полномочий и функций в качестве большого производственного органа, заслуживает величайшего внимания. <…> Опыт «канадизации» Мурманской железной дороги силами правительства, этой поистине «государственной концессии», стоит того, чтобы ради его осуществления пожертвовать многим из того, что по инерции перешло от прежнего времени или стало привычным уже в пореволюционные дни» [8, с. 61]. Продолжение этого контекста можно найти в изданных в 1924 г. трудах созданного в апреле 1922 г. Государственного колонизационного научно-исследовательского института [17].

Зимой 1923 г. правлением дороги был образован особый Колонизационный отдел, который разработал обширный материал для составления схематического плана колонизации и проекта закона. На основании этих материалов Северо-западное областное экономическое совещание (Севзапэкосо) составило проект «Положения о колонизации Олонецко-Мурманского края» (при рассмотрении проекта в Госплане РСФСР термин

«Олонецко-Мурманский край» был заменен по представлению представителей Карельской трудовой коммуны термином «Карело-Мурманский край») с объяснительной запиской к нему, основные тезисы которой включали следующее. Развитие края, поддержание и достройка Мурманской железной дороги, оборудование Мурманского порта — все это невозможно без привлечения людской силы, проведения дорог, создания очагов местной жизни на основе возможных форм сельского хозяйства, т. е. без планомерной колонизации края. Колонизация, понимаемая как всестороннее развитие пустующих территорий, является не только мероприятием, но и государственным предприятием, способным давать реальные ценности при возможности использовать производительные силы колонизуемого района. Источником средств для проведения колонизации в районе, непосредственно тяготеющем к Мурманской дороге, должны послужить специально отведенные дороге земельные пространства, развить экономически и положить основание колонизации которых и будет обязана пионерная железная дорога. Предоставление Мурманской железной дороге земельных пространств для эксплуатации и колонизации на точно определенных условиях и составляет один из основных моментов проекта Положения, разработанного Севзапэкосо.

Проект колонизации района Мурманской дороги был подвергнут широкому обсуждению как путем издания специальных книг и брошюр, так и при помощи многочисленных докладов в различных научных учреждениях Москвы и Ленинграда. В 1923 г. Правлением дороги был издан сборник «Производительные силы района Мурманской железной дороги». Вопросу «канадизации» Мурманской железной дороги в этом сборнике была посвящена специальная статья Г. Ф. Чиркина, в которой автор подчеркивает, что при применении на Мурманской железной дороге принципов «канадизации» должны быть приняты во внимание и учтены все своеобразные местные условия. Особо должны быть выделены задачи оленеводства и задачи использования «белого угля» не только для нужд самой дороги, но и в целях развития промышленности и обеспечения колонистов и промыслов электрической энергией и светом [13, с. 227].

О работе комбината ежегодно была представлена полная информация с обстоятельным анализом [1–3, 12, 14, 15].

В Отчете Мурманской железной дороги за первый год ее колонизационной работы написано: «Прообразом метода железнодорожной колонизации служит практика железных дорог Канады, которые вели заселение предоставленных им земель. При теоретической разработке проекта колонизации района Мурманской дороги этот метод в применении к железным дорогам Севера часто сокращенно назывался "канадизацией". В настоящее время, однако, можно утверждать, что аналогия с Канадой, хотя и существует в схеме колонизационной работы, но различие в природных, правовых и экономических условиях Канады и Карельско-Мурманского края настолько велико, что следует говорить о совершенно самостоятельном методе и приемах колонизации, впервые применяемых, хотя и построенных на опыте, как дорог Канады, так и сибирских железных дорог» [4, с. 5].

Научное исследование особенно ценно, когда оно отражает все разнообразие идей, мнений, взглядов. Это положение в полной мере относится и к обсуждаемой проблеме, ибо решение вопроса о необходимости возложения на Мурманскую железную дорогу колонизационных задач принималось с трудом и не без возражений. Так, Карельская трудовая коммуна с первых дней выступила против отвода земли Мурманской дороге, указывая, что в случае осуществления проекта лишится большей части своих доходов.

Интенсивная разработка и обоснование нового метода железнодорожной колонизации производились в Государственном колонизационном научно-исследовательском институте, где 18 ноября и 26–27 декабря 1922 г. в соединенных заседаниях Московского и Петроградско-Мурманского отделений института был дан обстоятельный анализ и положительных и отрицательных суждений за и против проекта железнодорожной колонизации Карело-Мурманского края [15, с. 11–15].

При рассмотрении проекта Положения о колонизации Карело-Мурманского края в Президиуме Госплана РСФСР 7 мая 1923 г. из него была исключена часть тех наслоений противоречивого порядка, которая получилась в результате длительного согласования разносторонних интересов и мнений отдельных ведомств и заинтересованных учреждений. В связи с изменением одного из основных положений проекта Севзапэкосо — об отводе Мурманской железной дороге лесной территории сплошной полосой земли шириною в 20 верст вдоль полотна дороги от Петрозаводска до Мурманска — такая территория была отведена дороге не сплошной полосой от Петрозаводска до Мурманска, а в составе отдельных лесных дач, расположенных в четырех отдельных лесных массивах один от другого вдоль дороги на сотни верст. В результате этого из первоначального проекта отпали обязательства Мурманской железной дороги по выполнению определенных колонизационных работ в течение первого пятилетия, которые были выражены в проекте в цифровом исчислении (так как изменился сам объект колонизационной работы дороги).

Утвержденное Советом труда и обороны 25 мая 1923 г. Положение о колонизации Карело-Мурманского края [9] примирило различные интересы путем значительных видоизменений первоначальных даже основных положений проекта. Мурманской дороге была отведена не сплошная 20-верстная в ширину полоса вдоль дороги от Петрозаводска до Мурманска, каковую как основную ставил проект, а отдельные разобщенные лесные массивы, и не от Петрозаводска, а от ст. Медвежья Гора, т. е. на 150 км севернее Петрозаводска.

С учетом новых задач, возникающих перед Мурманской железной дорогой, было принято и постановление Экономического совета РСФСР от 11 марта 1927 г., в котором Севзапэкосо было поручено в перспективном и операционном плане на 1927–1928 гг. разработать общий план мер по колонизации Карельско-Мурманского края, согласовав мероприятия Мурманской железной дороги с аналогичными мероприятиями Карельской АССР и Мурманского ГИКа (п. 8).

Однако, как показали дальнейшие события, должных изменений в этом направлении не произошло. Так, в постановлении Экономического совета РСФСР от 6 июня 1929 г. «По докладам Особой комиссии по колонизации Карельско-Мурманского края при Экономическом совете РСФСР и Народного комиссариата рабоче-крестьянской инспекции Союза ССР о деятельности Мурманской железной дороги, как транспортно-промышленно-колонизационного комбината» [10] в качестве недостатков указано на «отсутствие по колонизационной деятельности необходимой увязки колонизационной деятельности с интересами развития промышленности края и с местными организациями», а также «крайне слабый темп заселения края (за пять лет водворено 960 семейств, из которых лишь 160 извне). Вместе с тем пионерная роль дороги в проведении ряда мероприятий несомненна [6, 11, 16, 18].

Литература

1. Арнольдов А. М. Железнодорожная колонизация в Карельско-Мурманском крае. По материалам, разработанным Колонизационным отделом Правления дороги. Л.: Изд-во Правления Мурманской железной дороги, 1925. 86 с.
2. Арнольдов А. М. Колонизация Мурмана. Достижения и ближайшие перспективы. Л.: Север, 1924. 43 с.
3. Второй год колонизационной работы Мурманской железной работы: Отчетный сборник Колонизационного отдела правления Мурманской железной дороги за 1924–1925 гг. Л.: Изд-во Правления Мурманской железной дороги, 1926. 180 с.
4. Год колонизационной работы Мурманской железной дороги: Отчет о работах Колонизационного отдела Правления Мурманской железной дороги за 1923–1924 год. Л: Изд-во Правления Мурманской железной дороги, 1925. 244 с.
5. Зайцев А. Ф., Родионов Н. Р. Мурманская железная дорога и задачи экономической политики на Севере. Пг., 1916. 45 с.
6. Киселев А. А. Родное Заполярье. Мурманск: Кн. Изд-во, 1974. 511 с.
7. Колонизационные задачи в районе Мурманской железной дороги / сост. В. И. Рубинский. Благовещенск: Электро-типография Войского правления Амурского казачьего войска, 1917. 72 с.
8. Овчинников Н. Я. Очередные колонизационные задачи на Севере Европейской России // Северная колонизационная экспедиция. Пг.: Ред.-изд. комитет Народного комиссариата земледелия, 1922. 76 с.
9. Собрание узаконений и распоряжений Рабоче-крестьянского правительства РСФСР. 1923. № 50. Ст. 493.
10. Собрание узаконений и распоряжений Рабоче-крестьянского правительства РСФСР. 1929. № 53. Ст. 531.
11. Соловьянов Г. Н. Кольский промышленный узел. М.; Л.: Госэкономиздат, 1932. 124 с.
12. Третий год колонизационной работы Мурманской железной дороги: Отчетный сборник Колонизационного отдела Мурманской железной дороги за 1925–1926 год. Л.: Изд-во Правления Мурманской железной дороги, 1927. 211 с.
13. Чиркин Г. Ф. «Канадизация» Мурманской железной дороги // Производительные силы района Мурманской железной дороги. Петрозаводск: Типо-Литография Мурманской ж. д., 1923. С. 225–236.
14. Чиркин Г. Ф. Советская Канада // Карело-Мурманский край. Л.: Изд-во П. П. Сойкин, 1929. 64 с.
15. Чиркин Г. Ф. Транспортно-промышленно-колонизационный комбинат Мурманской железной дороги, его возникновение, развитие и метод работы // Труды ГНИИ землеустройства и переселения. М.; Л.: Главнаука, 1928. Т. IX. 134 с.
16. Чиркин Г. Ф. Хибинская проблема и Мурманская железная дорога // Карело-Мурманский край. 1930. № 1. С. 2–4.
17. Эвальд В. Колонизация Севера России и железнодорожное строительство // Труды ГНИИ землеустройства и переселения. М., 1924. Т. I. С. 269–298.
18. Эйхфельд И. Фундамент // Хибины (повести, рассказы, очерки). Л.: Сов. писатель, Лен. отд-ние, 1979. С. 103–131.

А. Д. Токарев, В. П. Петров
Центр гуманитарных проблем КНЦ РАН, Апатиты, noo@admksc.apatity.ru

РОЛЬ АКАДЕМИКА А. В. СИДОРЕНКО И ЕГО СПОДВИЖНИКОВ В СОЗДАНИИ АКАДЕМИЧЕСКОГО ГОРОДКА НА КОЛЬСКОМ СЕВЕРЕ*

Существованию современного академического городка в г. Апатиты с развитой инфраструктурой, комплексом научно-исследовательских институтов, объектами социально-культурного, бытового и медицинского назначения мы обязаны нашим предыдущим поколениям. Начало строительства Академгородка в г. Апатиты связано с именем А. В. Сидоренко. Однако уже в далекие тридцатые годы строились планы о расширении научных исследований и создании материально-технической базы для их обеспечения.

*Статья выполнена при поддержке гранта РГНФ по проекту № 16-11-51002 «Осмысление опыта советской урбанизации арктической территории в мемуарно-биографических источниках: социально-антропологический ракурс».

Идея о строительстве в Хибинах научно-исследовательского института была выдвинута академиком А. Е. Ферсманом на Первой полярной конференции 1932 г. при открытии главного здания Хибинской горной станции «Тиетта».

Его идея была развита заместителем директора Кольской базы И. Д. Чернобаевым. В январе 1936 года на совместном заседании Кировского городского Совета депутатов и Бюро районного комитета ВКП(б) при рассмотрении программы расширения научных исследований на Кольском полуострове им был поднят вопрос о создании «научного городка» на территории Ботанического сада [5]. Однако в дальнейшем эти предложения не получили своего развития.

Советские и партийные органы Мурманской области, заинтересованные в приближении Кольской базы к областному центру, начинают рассматривать вопрос о дальнейшем развитии Кольской базы АН СССР в несколько ином аспекте. Они обращаются в высшие органы советской власти и Президиум Академии наук с просьбой о перемещении Базы в г. Мурманск и строительстве там новых зданий. Поддерживает это решение и академик А. Е. Ферсман. 2 февраля 1939 года Президиум АН СССР принимает постановление о перемещении Кольской базы АН СССР из Кировска в Мурманск. Поднимается и вопрос о преобразовании Кольской базы в Полярный филиал. Осуществлению этих мероприятий помешала Великая Отечественная война.

В послевоенный период при поддержке советских и партийных органов пришлось заново восстанавливать инфраструктуру Кольской базы после возвращения ее из эвакуации в г. Кировск, так как здание «Тиетты» сгорело в начале войны. В пос. Кукисвумчорр Базе были выделены два деревянных здания шведского типа и подсобные помещения для размещения лабораторий и сотрудников. Ф. М. Терновский — заместитель директора базы, а фактически ее руководитель в 1940–1950 годах, — снова поднимает вопрос о решении Президиума АН СССР от 2 февраля 1939 года. Не вызывает возражений вопрос о перемещении Базы из Кировска в Мурманск и у вновь избранного директора Кольской базы академика Д. С. Белянкина [7]. Поддерживается эта идея партийными и советскими органами Мурманской области.

На закрытой сессии Ученого совета Базы в июне 1949 года первый секретарь обкома ВКП(б) А. М. Кутырев сообщает о намечающемся подписании постановления правительства относительно перебазирования Базы в Мурманск. 6 октября 1949 года Кольская база получает статус филиала, но вопрос о перебазировании в Мурманск Кольской базы так и не был решен.

Новый этап в развитии Кольского филиала Академии наук СССР наступает в начале 1950-х годов с приходом к руководству филиала молодых геологов во главе с А. В. Сидоренко. Вопрос о расширении деятельности филиала и развитии капитального строительства начинает связываться уже не с Мурманском, а со строительством нового поселка в районе железнодорожной станции Апатиты.

Эти планы были поддержаны вице-президентом Академии наук И. П. Бардиным при посещении Кольского филиала АН СССР в 1952 году. Во время его визита были рассмотрены планы строительства будущего Академгородка и выбрано место для строительства [3] (рис. 1).



Рис. 1. Вице-президент АН СССР И. П. Бардин (5-й слева) во время посещения Кольской базы в 1952 году и А. В. Сидоренко (7-й слева)

23 июня 1953 года Совет Министров СССР своим постановлением предоставил Академии наук СССР право начать в 1954 году строительство зданий научно-исследовательских институтов и жилых домов согласно приложению № 2. В этом списке значился и Кольский филиал АН СССР. Президиум АН СССР распоряжением от 10 июля 1953 года № 82-1369 включил в перечень сверхлимитных строек АН СССР, начинаемых в 1954 г., строительство лабораторного корпуса и жилых зданий Кольского филиала АН СССР [7].

С этого момента на А. В. Сидоренко ложится основная тяжесть по руководству строительством Академгородка. Ближайшими его помощниками становятся заместитель председателя Президиума Кольского филиала АН СССР Г. И. Горбунов и директор Геологического института Е. К. Козлов. Находит он поддержку и со стороны местных партийных и хозяйственных органов в лице первого секретаря Кировского горкома КПСС Н. В. Крынкина и управляющего трестом «Апатитстрой» В. И. Полтавы.

Г. И. Горбунов в своих воспоминаниях пишет о том времени: «…Мне, как заместителю председателя президиума Кольского филиала, в то время пришлось заниматься подготовкой документации, выбором

площадки, согласованием всех вопросов строительства с проектными и строительными организациями. Весной 1954 года трест «Апатитстрой» приступил к строительству Академгородка. Управляющий трестом В. И. Полтава, главный инженер Е. В. Вальц с большим пониманием относились к решению всех вопросов, связанных со строительством нашего городка. Поскольку начало строительства города Апатиты и АНОФ-2 задерживалось, было принято решение соорудить специально для Академгородка водопровод, котельную, очистные сооружения, вести дорожное строительство» [2].

Проектирование строительства научного городка осуществлялось ленинградскими проектными организациями. Под руководством архитектора Г. И. Сорокина были разработаны проекты строительства Академгородка и главного корпуса Президиума КФАН СССР с учетом классического строительства академических зданий (рис. 2).

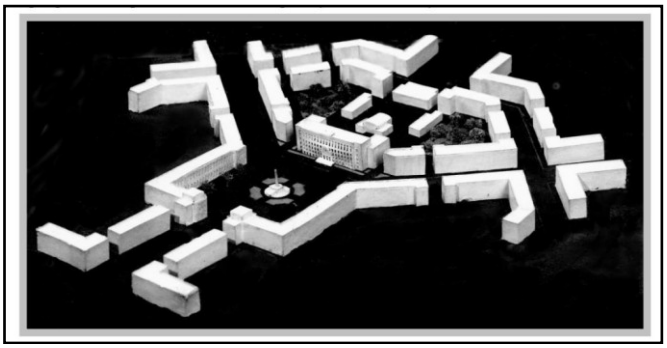


Рис. 2. Макет строительства Академгородка и главного корпуса Кольского филиала АН СССР, архитектор Г. И. Сорокин

Но планы строительства Академгородка в таком виде, к сожалению, осуществить не удалось. В соответствии с постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 4 ноября 1955 года, осуждающим излишества при проектировании и строительстве зданий и сооружений, пришлось резко изменить проект строительства.

Внесло свои коррективы в план строительства Филиала и участие в международных программах Международного геофизического года (1957–1958) и Года международного сотрудничества (1959). Необходимо было в кратчайшие сроки построить и ввести в строй сейсмическую станцию [7]. Поскольку начало проведения исследований по программе МГГ было намечено на 1957 г., руководству Кольского филиала АН СССР пришлось сосредоточить значительные силы и объемы финансирования для скорейшего ввода сейсмостанции в строй. Контроль за ходом строительства осуществлял лично А. В. Сидоренко. В течение 1956 г. здание было возведено, а к середине 1957-го уже были закончены отделочные работы, установлена аппаратура для проведения исследований. Часть здания пришлось использовать под жилье для сотрудников станции. Сейсмостанция была первым введенным в строй зданием будущего Академгородка.

В марте 1958 года сдается в эксплуатацию первый жилой дом (ныне ул. Ферсмана, 16. — *Прим. авт.*). Команда единомышленников под руководством «главного зодчего» А. В. Сидоренко и его верных «прорабов» Г. И. Горбунова, Е. К. Козлова и И. В. Белькова (рис. 3) при активной поддержке советских и партийных органов осуществляет строительство Академгородка, несмотря на организационные и финансовые трудности.



Рис. 3. «Главный зодчий» и «прорабы» строительства Академгородка: А. В Сидоренко, Г. И. Горбунов, И. В. Бельков, Е. К. Козлов (справа налево)

К 1961 году — времени ухода А. В. Сидоренко на работу в Москву — были заложены основы академического городка в Кольском Заполярье (рис. 4). К этому времени возведено главное административное здание Филиала с примыкающими жилыми домами. В Академгородке подрядным способом построена большая часть силикальцитных домиков.



Рис. 4. Вид на Академгородок, 1961 г.

В последующие годы эстафету строительства Академгородка приняла на себя команда во главе с Е. К. Козловым. При его жизни была построена основная часть современного Академгородка и практически была завершена при Г. И. Горбунове. Но это тема отдельной статьи.

В заключение, чтобы передать дух того времени, обратимся к воспоминаниям И. Д. Батиевой, непосредственного участника тех событий. Вот что она писала: «Отдавая дань памяти первым руководителям строительства Академгородка и стараясь их увековечить, молодое поколение того времени присваивало имена собственные различным полуобжитым частям Академгородка. Так, дорога от улицы Ферсмана к гаражам получила название Кобок-штрассе (И. М. Кобок в то время был заместителем председателя Президиума КФАН СССР по строительству), а название «Екакиев проезд» было присвоено арке, отделяющей ГИ от дома, где жил Е. К. Козлов (теперь Ферсмана, 12). Была у нас и «Рыкова пустошь», в честь заместителя председателя по хозяйственной части — Ф. Ф. Рыка. А весь Академгородок прозвали **«Сидорградом»** — в честь главы Кольского филиала Александра Васильевича Сидоренко…» [1].

Не забыли о первых руководителях строительства Академгородка и жители города Апатиты. Память об А. В. Сидоренко и Е. К. Козлове увековечена в названии проспекта Сидоренко и улицы Козлова. Необходимо воздать должное и памяти Г. И. Горбунова, внесшего большой вклад в строительство Академгородка, которому в следующем году исполняется 100 лет со дня рождения.

Литература

1. Батиева И. Д. Игорь Владимирович Бельков. Хроника жизни. Апатиты: КНЦ РАН. 2007. 205 с.
2. Горбунов Г. И. Во имя развития науки // Дарим людям города. Мурманск: Кн. изд-во, 1978. С. 33.
3. Кольский научный центр. Летопись 1930–2010 / В. П. Петров и др. Апатиты: КНЦ РАН, 2011. С. 84.
4. Петров В. П., Токарев А. Д. К истории восстановления Кольской базы АН СССР и строительства Академгородка Кольского филиала АН СССР (1944–1961) // Труды Кольского научного центра РАН. Гуманитарные исследования. 2013. Вып. 4. С. 110–127.
5. Роль А. Е. Ферсмана в концептуальном развитии академической науки в Кольском Заполярье в 1939–1941 гг. Ч. 2: 1940–1941 гг. / Е. И. Макарова, В. П. Петров, А. Д. Токарев // Труды Кольского научного центра РАН. Гуманитарные исследования. 2016. Вып. 10. С. 45–58.
6. «Трудные моменты» в деятельности Кольской базы АН СССР в 1936–1939 годах / Е. И. Макарова, В. П. Петров, А. Д. Токарев // Труды Кольского научного центра РАН. Гуманитарные исследования. 2011. Вып. 2. С. 92–113.
7. Формирование системы сейсмического мониторинга в западной Арктике в XX веке и перспективы ее дальнейшего развития / А. Н. Виноградов и др. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2011. № 4(11). С. 140–156.

О. В. Шабалина
Центр гуманитарных проблем КНЦ РАН, Апатиты, oshabalina@yandex.ru

МАТЕРИАЛЫ ПЕРСОНАЛЬНОГО ФОНДА АКАДЕМИКА А. В. СИДОРЕНКО МУЗЕЯ-АРХИВА ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА ЦГП КНЦ РАН*

Музей-Архив истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН хранит и экспонирует предметы быта, научный инструментарий, изобразительные, фотографические и рукописные материалы персональных фондов и коллекций отечественных ученых, деятелей науки, отражающие их вклад в развитие науки арктического региона.

В 1985–1987 гг. Калерия Петровна Сидоренко — вдова ученого — передала в дар Музею-Архиву некоторые личные документы Александра Васильевича, по разным причинам не вошедшие в материалы, составившие личный фонд академика в Архиве Академии наук в Москве. Эти документы ярко иллюстрируют разностороннюю деятельность А. В. Сидоренко — ученого, организатора науки, общественного и государственного деятеля своего времени.

Самый ранний по датировке личный документ — членский билет № 24 Мурманского отдела Географического общества СССР, выданный А. В. Сидоренко в 1950 г. [1]. Следующий документ — билет № 26 депутата IV созыва 1953 г. Кировского районного Совета депутатов трудящихся (рис. 1) [2]. Удостоверение № 6 подтверждает, что его предъявитель избран на VIII Мурманской областной партийной конференции членом областного комитета КПСС [3].


РСФСР
Пролетарии всех стран, соединяйтесь!
КИРОВСКИЙ РАЙОННЫЙ СОВЕТ ДЕПУТАТОВ ТРУДЯЩИХСЯ г. Кировск
4-й СОЗЫВ 1953 г.
ДЕПУТАТСКИЙ БИЛЕТ № 26
Предъявитель тов. Сидоренко Александр Васильевич
действительно избран депутатом Кировского районного Совета депутатов трудящихся от избирательного округа № 19
Председатель исполкома райсовета
М. П.
Секретарь исполкома райсовета
"13" мая 1953 г.
Личная подпись
1407

Рис. 1. Депутатский билет № 26 депутата IV созыва 1953 г.
Кировского районного Совета депутатов трудящихся на имя А. В Сидоренко

В фонде представлены мандаты разного уровня, выписанные на имя А. В. Сидоренко: номер 65 делегата — II Кировской городской партийной конференции (рис. 2) [4] и номер 2475 — делегата XXV съезда КПСС от Свердловской организации [5]. В 1979 г. он выдвигался кандидатом в депутаты Верховного Совета СССР, о чем свидетельствует соответствующее удостоверение (рис. 3) [6]. Делегатский билет А. В. Сидоренко на съезд Всесоюзного минералогического общества АН СССР в январе 1982 был пронумерован первым [7]. Еще один ценный личный документ — аттестат профессора по специальности «Общая геология» 1962 года [8]. Очень живописное свидетельство эпохи, хранящееся в персональном фонде, — Почетная грамота, которой Александр Васильевич был награжден 22 ноября 1955 в связи с 25-летием Кольского филиала им. С. М. Кирова Академии наук СССР Мурманским облисполкомом и областным комитетом КПСС за активное участие в изучении природных богатств Кольского полуострова (рис. 4) [9].

Крайне скромны такие единицы хранения, как визитные карточки академика А. В. Сидоренко, представляющие его как вице-президента АН СССР, председателя XXVII Международного геологического конгресса, министра геологии СССР (рис. 5). Некоторая элегантность в выборе шрифта допущена только на той визитной карточке, что представляет Александра Васильевича как члена Комиссии по вопросам труда и быта женщин, охраны материнства и детства Совета Союза Верховного Совета СССР (рис. 6) [10]. И это не удивительно, ведь академик с большим уважением относился к женщинам, особенно — к коллегам. В «Слове к молодым геологам» в рамках лекции для студентов геологических вузов г. Москвы «Основные задачи геологической службы страны и некоторые вопросы подготовки студентов-геологов» 8 апреля 1964 г. в МГУ А. В. Сидоренко напутствовал: «Хотя геологическая профессия и тяжелая, и считается мужской, тем не менее, почти половину всего инженерно-технического персонала составляют женщины. Геологи-мужчины всегда были внимательными и заботливыми к нашим подругам, разделяющим с нами тяжелый труд полевого

*Статья выполнена при поддержке гранта РГНФ по проекту № 17-11-51004 «Материалы архивов РАН по истории организации и проведения экспедиционных исследований арктических и субарктических зон в конце XIX — первой половине XX века».

геолога. Женщины-геологи — это большая сила, они не только выполняют свою работу, чаще более точно, чем мужчины, они же облагораживают наши души. Хочется, чтобы эта традиция внимательного, бережного, заботливого отношения к женщинам-геологам, закаленная старшим поколением, крепла, развивалась» [11].



Рис. 2. Мандат № 65 делегата II Кировской городской партийной конференции А. В. Сидоренко



Рис. 3. Удостоверение А. В. Сидоренко, зарегистрированного кандидатом в депутаты ВС СССР



Рис. 4. Почетная грамота, которой был награжден А. В. Сидоренко в связи с 25-летием Кольского филиала им. С. М. Кирова Академии наук СССР

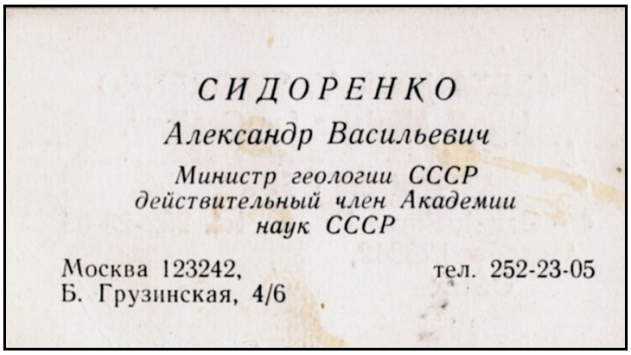


Рис. 5. Визитная карточка министра геологии СССР А. В. Сидоренко

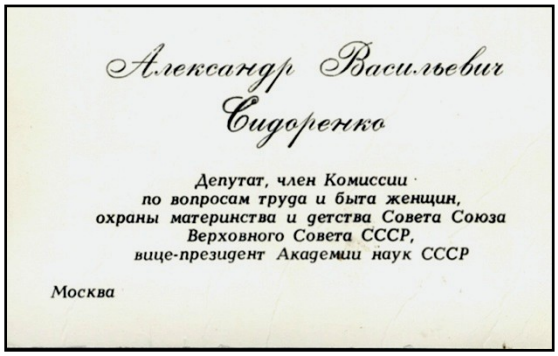


Рис. 6. Визитная карточка депутата А. В. Сидоренко

В фонде есть документы эпистолярного жанра — письма коллег к А. В. Сидоренко 1949 и 1956 гг. [12].

Поздравительный адрес на имя А. В. Сидоренко в связи с 60-летием от коллег из Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов наряду с пожеланиями и поздравлениями содержит предложение назвать в честь юбиляра новый минерал фосфорокарбонат натрия, обнаруженный сотрудниками Института Е. И. Семеновым и А. П. Хомяковым в пегматите нефелиновых сиенитов Ловозерского массива на Кольском полуострове (рис. 7). Новый минерал под названием «сидоренкит» был описан в 1979 г. [13].



Рис. 7. Поздравительный адрес в честь 60-летия А. В. Сидоренко

В ноябре 2004 г. в г. Апатиты по адресу ул. Ферсмана, д. 18, силами сотрудников Музея-Архива ЦГП КНЦ РАН была организована мемориальная квартира академика Александра Васильевича Сидоренко, где были выставлены копии материалов его персонального фонда и воссоздана бытовая и рабочая обстановки 1950–1961 гг. — времени деятельности ученого в качестве заместителя, а потом и председателя Президиума Кольского филиала АН СССР (рис. 8).



Рис. 8. Мемориальная квартира А. В. Сидоренко в г. Апатиты

Материалы персонального фонда академика А. В. Сидоренко Музея-Архива ЦГП КНЦ РАН являются потенциальными историческими источниками и будут полезны широкому кругу специалистов в области социологии и истории академической науки в арктическом регионе, а также в области истории развития геологии в СССР.

Список использованных источников

1. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1406.
2. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1407.
3. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1408.
4. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1415.
5. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1417.
6. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1416.
7. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1418.
8. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1409.
9. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1411.
10. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1410.
11. АРАН. Ф. 1778. Оп. 1. Д. 2. Л. 17.
12. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 1419–1422.
13. Сидоренкит $Na_3MnPO_4CO_3$ — новый минерал / А. П. Хомяков и др. // Записки ВМО. 1979. 108/1. С. 56–59.

Секция 2. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА И ГЕОХИМИЯ

А. А. Аведисян, Т. В. Каулина, М. А. Рябуха, А. А. Томиленко
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, avedisyan@geoksc.apatity.ru
Институт геологии и минералогии им В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, ryabukha@igm.nsc.ru

ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В КВАРЦЕ НА УРАНОВЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ УЧАСТКА БЕРЕГОВОЕ, ЛИЦЕВСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ

Введение

Данная работа является продолжением изучения флюидного режима на участках с урановой минерализацией Лицевского района. Широкое развитие метасоматических образований во многом обусловлено флюидонасыщенностью района, что делает необходимым изучение закономерностей изменения флюидного режима в исследуемых ураново-рудных объектах.

Ранее нами были изучены флюидные включения в кварце на участках с ранней урановой минерализацией возраста 2,3–2,2 млрд лет (участки Скальное и Дикое) [4]. В настоящей статье приводятся первые данные изучения флюидных включений на участках с более молодой урановой минерализацией возраста 1750–1650 и 400±50 млн лет [3, 6].

Геология района

Лицевский урановорудный район расположен на северо-западе Кольского полуострова. Рудопроявление Береговое было открыто «Невскгеологией» в 1974 г. Участок Береговое включает несколько рудопроявлений урана: Береговое, Уранинитовое и Восточно-Лебяжинское. Рудопроявления находятся на северном экзоконтакте массива Лебяжка комплекса лицко-арагубских гранитов среди гнейсов кольской серии. Урановая минерализация, вскрытая пятью скважинами, связана с альбит-гидрослюдисто-хлоритовыми метасоматитами [3 5], которые сосредоточены в линзовидных телах (10–20×2–2,5 м в длину) со средним содержанием урана 0,01 мас. %. Есть также более обогащенные (до 0,14–0,2 мас. %) более мелкие (1,1×0,1 м) линзы, пересеченные скважинами [4].

Участок Береговое (рис. 1) сложен мигматизироваными биотитовыми, гранат-биотитовыми и двуслюдяными гнейсами, пересекающимися основными дайками, с интенсивными гидротермально-метасоматическими изменениями. Зона изменения прослеживается на поверхности более чем на 800 м и до 240–400 в глубину [6]. Основной наложенный процесс — хлоритизация; кроме того, отмечаются гидрослюдистые, карбонатные изменения и локальные процессы альбитизации.

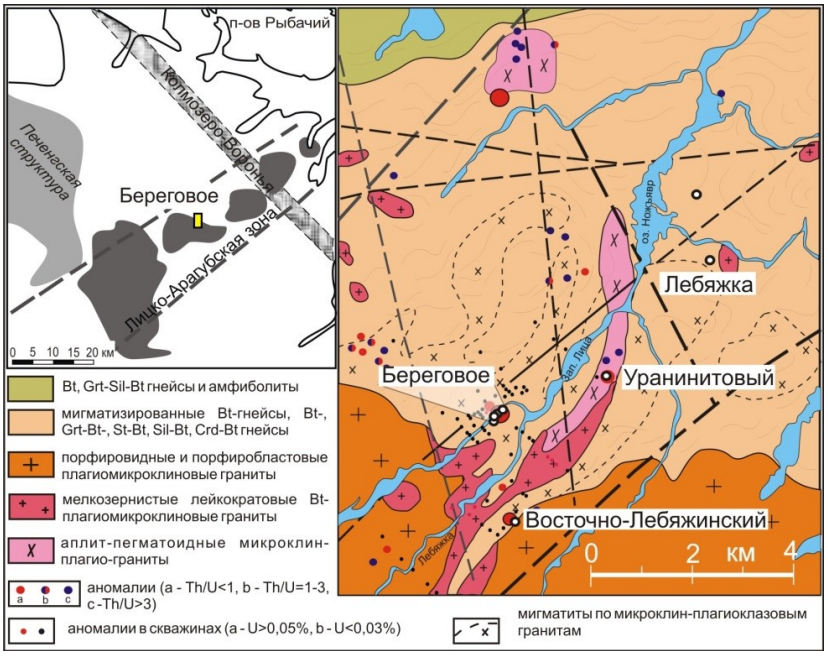


Рис. 1. Геологическая карта участка Береговое [3]

Микротермометрические исследования флюидных включений были проведены на участках Уранинитовый, Береговое, Лебяжка и Восточно-Лебяжинский. Пробы для изучения флюидных включений отбирались из крупнозернистых разновидностей гнейсов и гранитоидов, а также из гигантозернистых кварц-полевошпатовых жил.

Методика исследований

Исследование флюидных включений были выполнены в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск). Флюидные включения исследовались методами микротермометрии и КР-спектроскопии. Для определения температур общей гомогенизации, температур эвтектики и плавления льда растворов использовалась микротермокамера THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений температур от –196 до +600 °С. Соленость минералообразующих растворов находили по температуре плавления льда, используя двухкомпонентную водно-солевую систему ($NaCl-H_2O$) [2]. Состав водной фазы включений определялся на основании температуры эвтектики, характеризующей водно-солевую систему [1]. Состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений исследован на раман-спектрометре Horiba Lab Ram HR 800 с полупроводниковым детектором с помощью твердотельного лазера с длиной волны 514 нм, мощностью 50 мВт.

Результаты исследований

На участке Уранинитовый в кварце из пегматитовой жилы, в гигантозернистом кварце и в лейкограните, компонентный состав водно-солевой системы характеризуется преобладанием солей NaCl-KCl и соленостью от низких значений 1,4–4,8 до средних 7,8–10,5 мас. % NaCl-экв. В кварце из биотитового гнейса этого участка были обнаружены только первичные включения, характеризующиеся водно-солевой системой состава $MgCl_2$-$CaCl_2$ с более высокими значениями солености от 10,5 до 14,5 мас. % NaCl-экв (рис. 2, 3).

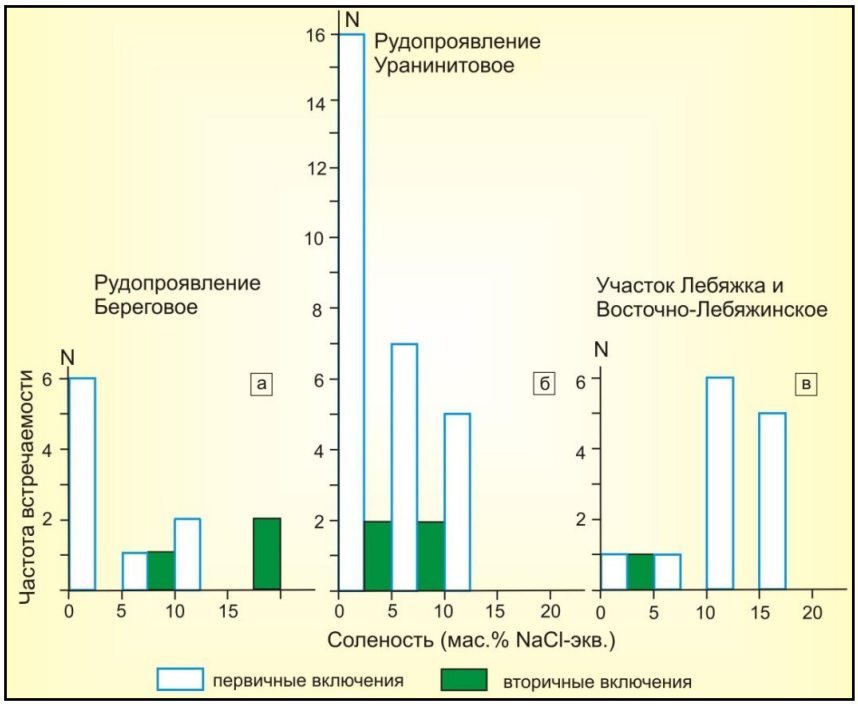


Рис. 2. Гистограммы значений солености растворов флюидных включений в кварце в породах разных участков

На участке Береговое первичные включения в кварце из крупнозернистой кварцевой породы и кварц-плагиоклазовой породы также характеризуются водно-солевой системой преимущественно $MgCl_2$-$CaCl_2$ состава, но очень низкими значениями солености от 0,2 до 1,7 мас. % NaCl-экв. Здесь наряду с первичными включениями были установлены и вторичные. Вторичные включения в кварце из крупнозернистой кварцевой породы имеют преимущественно $CaCl_2$ состав водно-солевой системы и высокие значения солености (20,2 мас. % NaCl-экв), а в кварце из кварцевой жилы характеризуются NaCl-KCl компонентным составом водно-солевой системы и невысокими значениями солености (7,2 мас. % NaCl-экв).

На участке Лебяжка флюидные включения были изучены в кварце из биотитовых гнейсов, представленных только первичными разностями. Они характеризуются водно-солевой системой преимущественно $MgCl_2$-$CaCl_2$ состава и значениями солености от 7,2 до 18,1 мас. % NaCl-экв (рис. 2, 3). На Восточно-Лебяжинском участке микротермометрические исследования были проведены в кварце лицко-арагубских гранитов и гнейсов. Первичные включения по компонентному составу водно-солевой системы в гранитах и гнейсах характеризуются премущественно $MgCl_2$-$CaCl_2$ составом и довольно высокими

значениями солености от 10,5 до 18,6 мас. % NaCl-экв. Вторичные включения характеризуются очень небольшими размерами, и проведение в них микротермометрических исследований ограничено. По единичным включениям можно предполагать NaCl компонентный состав водно-солевой системы с низкой соленостью.

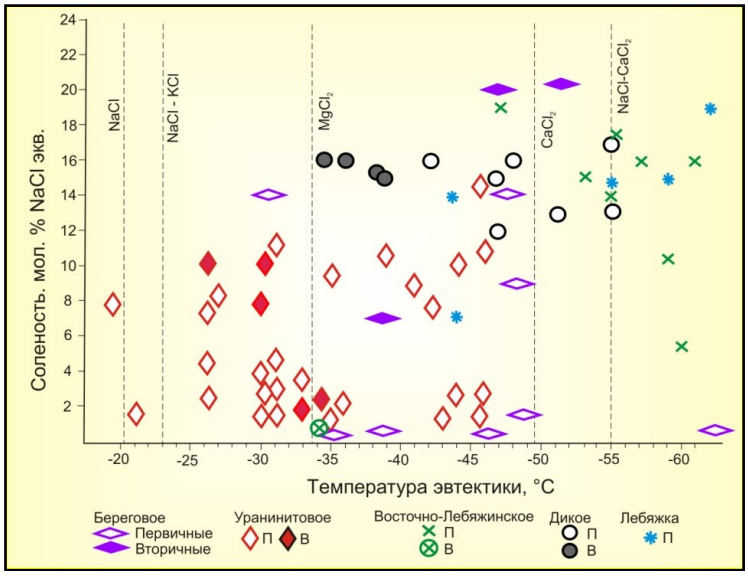


Рис. 3. Соотношение солености (*T* плавления льда) и температур эвтектики флюидных включений

Полученные нами первые результаты КР-спектроскопических исследований составов флюидных включений позволили установить существенные различия между участками Скальное и Дикое, Уранинитовый и Береговое. На первых двух участках газовые включения представлены практически чистой углекислотой, в то время как на последних двух в гнейсах не было обнаружено углекислотных включений и преобладают азотно–водные и водные включения. Существенно углекислотные включения обнаружены только в гигантозернистой кварцевой жиле, но они имеют более сложный состав с небольшой примесью метана и азота.

Выводы

Первые данные микротермометрических исследований флюидных включений в кварце на рудопроявлениях участка Береговое свидетельствуют о более значительных колебаниях в составе и солености флюидов по сравнению с ранее изученными рудопроявлениями Скальное, Дикое и Полярное.

Водно-солевой состав первичных включений во вмещающих гнейсах и гранитоидах (2,8–2,9 млрд лет) характеризуется $MgCl_2$-$CaCl_2$ составом и соленостью от 7,2 до 18,1 мас. % NaCl-экв.

В крупнозернистых разностях гранитоидов первичные включения такого же состава характеризуются пониженной соленостью до 0,2–1,7 % NaCl-экв., вторичные включения характеризуются составом $CaCl_2$ с повышением солености до 20,2 %.

Первичные включения в кварце лицко-арагубских гранитоидов (возраста 1,7 млрд лет) также характеризуется водно-солевой системой с хлоридами Mg и Ca и соленостью от 10,5 до 18,6 мас. % NaCl-экв.

Включения в гигантозернистых кварцевых и кварц-полевошпатовых жилах, так же как и вторичные включения в лицко-арагубских гранитоидах, характеризуются NaCl-KCl составом при низко-средней солености до 10,5 мас. % NaCl-экв.

Литература

1. Борисенко А. С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
2. Киргинцев А. Н., Трушникова Л. Н., Лаврентьева В. Г. Растворимость неорганических веществ в воде: справочник. Л., Химия. 1972. 244 с.
3. Урановое оруденение Лицевского района на Кольском полуострове (Россия) / А. В. Савицкий и др. // Геология рудных месторождений. 1995. № 5. С. 403–416.
4. Ураноносность Кольского полуострова / Е. Н. Афанасьева и др. // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: инф. сб. М.: ВИМС, 2009. Вып. 153. С. 18–26.
5. Флюидные включения в кварце на участках с урановой минерализацией Лицевского рудного узла Кольского полуострова / Т. В. Каулина и др. // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2015. № 12. С. 279–282.
6. Serov L. Métallogenèse de l'uranium dans la région de Litsa (Péninsule de Kola, Russie). Docteur de l'Université Henry Poincaré (en géosciences). Soutenance publique le 24 juin 2011. Nancy. France. 166 p.

А. А. Бойко[1], М. А. Анисимов[1], В. В. Колька[2]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, ama_geo@mail.ru*
[2]*Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, kolka@geoksc.apatity.ru*

АНАЛИЗ ^{14}С-ДАТИРОВОК МОРСКИХ И КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КОЛЬСКОГО И КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГОВ, ОТРАЖАЮЩИХ ДИНАМИКУ УРОВНЯ БЕЛОГО МОРЯ

Область развития поздневалдайского Скандинавского ледника является классическим регионом изучения гляциоизостатического поднятия территории и изменения относительного уровня моря. Характер таких изменений различается для районов, прилегающих к центру скандинавского оледенения, расположенного вблизи вершины Ботнического залива Балтийского моря, и находящихся по периферии оледенения, в частности в Кольском регионе. Начало изучению верхней морской границы и береговых форм для палеогеографических реконструкций на побережьях Баренцева и Белого морей было положено еще в XIX в. [8 и др.]. Во второй половине XX в., с появлением метода радиоуглеродного датирования, стало возможным датировать береговые формы, коррелировать их между собой и анализировать относительное изменение уровня моря и неотектонические движения на побережьях Баренцева и Белого морей. За столь длительное время исследований было получено множество радиоуглеродных датировок различных береговых форм (террас и валов), морских и озерных осадков [1]. Такие датировки проводились для разных объектов. Например, датировались раковины морских моллюсков, расположенные как в осадках террас и береговых валов, так и на поверхности этих береговых форм. Датировались органика, обнаруженная в морских алевритах и песках, кости рыб, водоросли, торф, уголь из археологических объектов и т. п. Все эти датировки впоследствии использовались для геохронологической корреляции разновозрастных береговых образований, которые последовательно сформировались на разных этапах эволюции морских бассейнов в поздне- и послеледниковое время [2]. Однако такая корреляция объектов, расположенных на значительных расстояниях, нередко была неточной по двум причинам: первое — это корреляция не одновозрастных береговых форм, второе — это то, что возраст береговых форм, полученный по разным объектам датирования, мог отражать разные периоды формирования береговой формы. Например, датировки раковины морских моллюсков в осадках берегового вала и раковины моллюска на поверхности берегового вала могли различаться в сотни и тысячи лет.

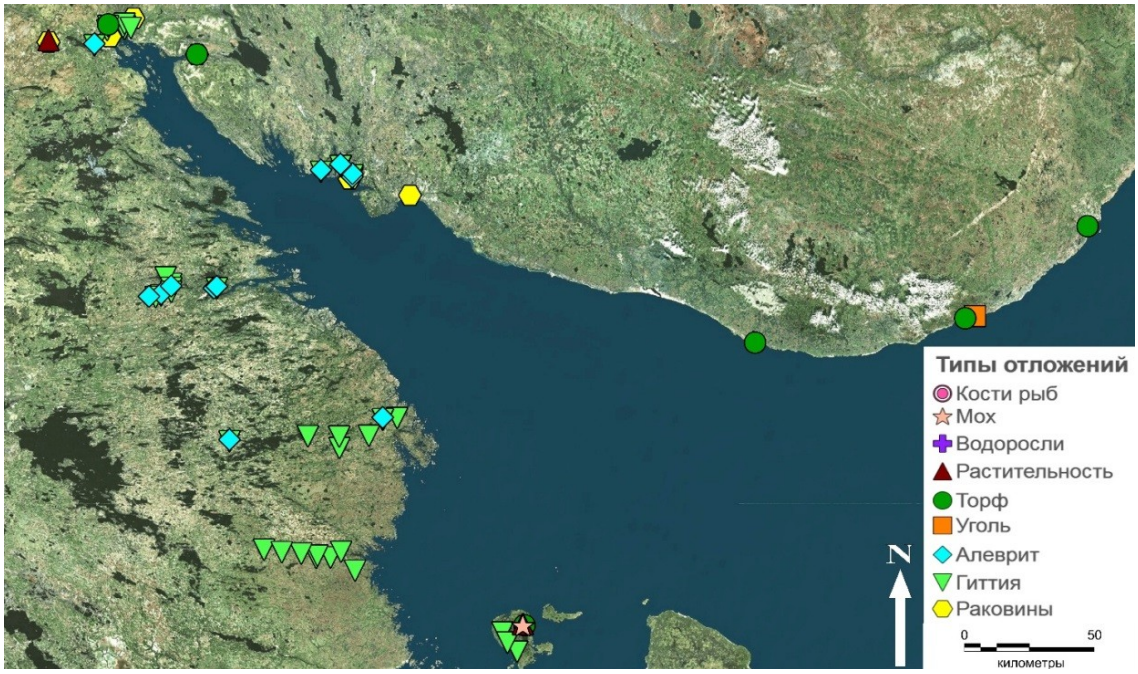


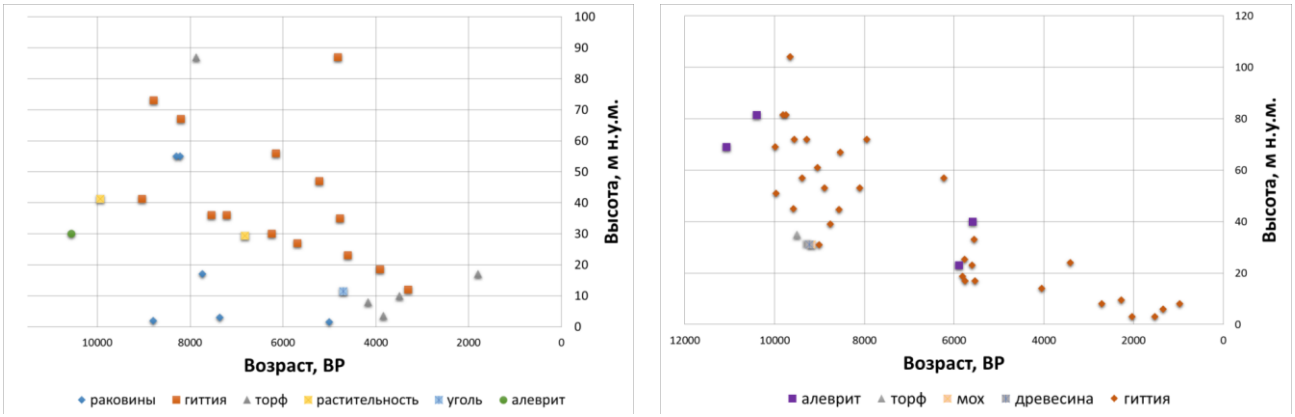
Рис. 1. Карта отложений Кольского и Карельского побережий Белого моря
(MapInfo 12,5, основа — Nokia Спутник Here.com)

В последнее время для реконструкции перемещения береговой линии моря в поздне- и послеледниковое время стали применять метод изолированных бассейнов, позволяющий проводить достаточно точную временную привязку положения относительного уровня моря по датированию времени отделения мелких котловин, наследуемых континентальными озерами, от морского бассейна [4–6].

В настоящем исследовании мы попытались сопоставить радиоуглеродные датировки, полученные из разных органических материалов и проанализировать их валидность для целей восстановления истории перемещения относительного уровня Белого моря.

На основе анализа результатов ранее опубликованных исследований [2–6] была составлена карта мест отбора разнотипных отложений (рис. 1), использованных нами для дальнейшего анализа.

На основании проанализированных датировок были составлены предварительные точечные диаграммы отложений для Кольского (рис. 2, *а*) и Карельского (рис. 2, *б*) берегов Белого моря, которые в дальнейшем будут дополняться.



а *б*

Рис. 2. Точечная диаграмма разнотипных отложений Кольского (*а*) и Карельского (*б*) берегов Белого моря

Представленные диаграммы (рис. 2) в целом отражают динамику уровня Белого моря и показывают высотное расположение разнородного датированного материала. Эти диаграммы дают возможность установить регрессивный тренд береговой линии Белого моря в голоцене. Кроме того, они позволяют критически проанализировать имеющиеся разнородные радиоуглеродные даты для палеогеографических реконструкций [7]. Например, расположение датировок раковин *Saxicava arctica* и *Mytilus edulis* на высоте 55 м и возрастом 8300±100 [1] выше датировок озерной гиттии на рис. 1 требует тщательного анализа при дальнейших работах. В силу не зависящих от нас обстоятельств мы не можем однозначно восстановить линию тренда, так как сама диаграмма демонстрирует сложности интерпретации положения береговой линии, ввиду того, что датируемый материал в публикациях не унифицирован. Кроме того, существуют проблемы, которые возникают непосредственно при датировании различного материала. Аналогичную проблему можно наблюдать и на диаграмме по Карельскому берегу Белого моря (рис. 2, *б*).

Таким образом, из-за гетерогенности изучаемого материала и данных, полученных из литературных источников, можно говорить о трудностях в их интерпретации. Аналогичные проблемы возникают и от недостаточного количества датировок.

Литература

1. Арсланов Х. А., Кошечкин Б. И., Чернов Б. С. Абсолютная хронология осадков поздне- и послеледниковых морских бассейнов на Кольском полуострове // Вестник Ленингр. ун-та. 1974. № 12. С. 132–138.
2. Восстановление относительного положения уровня Белого моря в позднеледниковье и голоцене по данным литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных отложений малых озер в районе пос. Чупа (Северная Карелия) / В. В. Колька др. // Вестник МГТУ. 2015. № 2. С. 255–268.
3. Кошечкин Б. И. Перемещение береговой линии Баренцева и Белого морей в поздне-послеледниковое время // Изв. АН СССР. Серия географическая, 1975. № 4. С. 91–100.
4. Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на Карельском берегу (район поселка Энгозеро, Северная Карелия) / В. В. Колька и др. // ДАН. 2013. № 5. С. 587–592.
5. Сапелко Т. В., Колька В. В., Евзеров В. Я. Динамика природной среды и развития озер в позднем плейстоцене и голоцене на южном берегу Кольского полуострова // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 5. С. 60–69.
6. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления / Д. А. Субетто и др. // ДАН. Серия геологическая. М.: Наука, 2012. Т. 446, № 2. С. 183–190.
7. Anisimov M. A., Barliaev A. E. Analysis of radiocarbon dates of Holocene raised beach sequences of Svalbard and Franz Josef Land // PAST Gateways Conference and Workshop. 2015. P. 22–23.
8. Ramsay W. Über die Geologische Entwicklung der Halbinsel Kola in der Quartarzeit. Fennia, 1898. Vol. 16, No. 1. 151 p.

В. В. Борисова, А. В. Волошин, Н. Г. Жихарева
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, borisova@geoksc.apatity.ru, vol@geoksc.apatity.ru

НОВЫЕ ПОСТУПЛЕНИЯ В КОЛЛЕКЦИЮ МУЗЕЯ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. И. В. БЕЛЬКОВА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА КНЦ РАН В 2016 ГОДУ

Ежегодное пополнение и обновление музейных фондов (основного и научно-вспомогательного) — один из факторов успешного развития музея. Поступления основного фонда позволяют расширять и обновлять экспозицию музея, а научно-вспомогательного — изучать фондовый материал и формировать минералогические коллекции для других организаций страны: музеев, школ, вузов. В 2016 г. основной фонд музея пополнился на 86 образцов, из них 60 стали экспонатами музея. Наибольшая часть образцов — 66 — пополнила систематическую коллекцию, 10 — коллекцию с новыми минералами, 10 — петрографическую коллекцию. С учетом новых (вновь поступивших образцов) основной фонд музея к концу 2016 г. стал насчитывать 8926 образцов.

По традиции наибольшее количество образцов — 36 — поступило из Хибино-Ловозёрского комплекса, 16 — из Вороньих тундр, 16 — из Вуориярви и Ковдора, 8 — из Кейв, 4 — из Шонгуйского месторождения, 3 — с Беломорского побережья, по одному образцу — с Печенги, участка «Коловай» и района п. Алакуртти.

Впервые в коллекции музея появились два минеральных вида — чирвинскиит (новый минерал Кольского региона) и скородит (редкий минерал).

Минералогическая коллекция основного фонда пополнилась новыми и редкими минеральными видами, а также красочными минералами различных геологических объектов Кольского региона.

Новые минеральные виды Кольского региона. В октябре 2016 г. Международной комиссией по новым минералам (МКННМ ММА) был утвержден еще один новый минерал Кольского региона — чирвинскиит, и теперь (на время написания статьи) число впервые открытых в Кольском регионе минералов составляет 279. Чирвинскиит — силикат $(Na,Ca)_{13}(Fe,Mn,□_2)(Ti,Zr)_5(Si_2O_7)_4(OH,O)_{12}·2H_2O$, открыт в альбитизированных пегматитах в фойяитах г. Тахтарвумчорр Хибинского массива. В открытии минерала участвовал коллектив ученых Геологического института и других организаций: В. Н. Яковенчук, Я. А. Пахомовский, Т. Л. Паникоровский, А. А. Золотарёв, Ю. А. Михайлова, В. Н. Бочаров, С. В. Кривовичев, Г. Ю. Иванюк. Свое название минерал получил в память об известном российском геологе, петрографе, д. г.-м. н., профессоре Петре Николаевиче Чирвинском (1880–1955). Образец передал в музей В. Н. Яковенчук.

Представительная коллекция образцов с новыми минералами Хибинского массива поступила от И. В. Пекова. Это образцы минералов с месторождения Коашва — леммлейнит-K, ломоносовит, лампрофиллит и тундрит-(Ce) (первое поступление с этого участка) и месторождения Олений ручей — баритолампрофиллит (первое поступление с этого участка).

Одной из научных задач музея является диагностика минералов, как вновь поступивших, так и уже имеющихся в коллекции музея (ревизия минералов основного фонда). В прошедшем году рентгенофазовым и микрозондовым анализом были исследованы несколько поступивших образцов. Интересный красочный образец с обильным выделением малинового минерала гр. эвдиалита в оторочке неизвестного минерала белого цвета с г. Кукисвумчорр Хибинского массива передал в музей Ю. Л. Войтеховский. Исследования показали, что минерал гр. эвдиалита является расцветаевитом, который обрамляется тонкой оторочкой ловозерита (рис. 1). Оба минерала относятся к новым минералам Кольского региона: расцветаевит был открыт А. П. Хомяковым в Хибинском массиве в 2006 г., ловозерит — В. И. Герасимовским в Ловозёрском массиве в 1939 г. Ранее в коллекции музея имелись лишь несколько мелких зёрен расцветаевита, теперь эффектный образец с этим минералом украшает экспозицию музея.



Рис. 1. Расцветаевит в оторочке ловозерита. Хибинский массив, г. Кукисвумчорр (ГИМ 7620)

В образце с Ловозёрского массива, переданном А. В. Волошиным, крупные выделения красновато-коричневого минерала были диагностированы, как литвинскит — новый минерал гр. ловозерита, открытый И. В. Пековым в Ловозёрском массиве в 2000 г.

Украшением Выставочного зала музея стал крупный (47×37×8 см) красочный образец розовато-кремового юкспорита г. Юкспор Хибинского массива (Ю. Л. Войтеховский, Г. С. Ильин). Коллекцию с новыми минералами дополнили образцы с ферсманитом Кировского рудника Хибинского массива (А. В. Волошин).

Коллекцию **редких минералов Кольского региона** пополнили минералы Вороньих тундр, массива Вуориярви и Кейв. Все образцы поступили от А. В. Волошина.

Гранитные пегматиты Вороньих тундр — источник многих редких минералов. Экспозиция этого объекта дополнилась образцами со скородитом, воджинитом и иксиолитом. Образец со скородитом, арсенатом Fe^{3+}, из жилы № 15 хр. Оленьего, стал первым поступлением в коллекцию музея. Воджинит (танталат Mn и Sn) и иксиолит (танталат Mn и Nb) — минералы, которые пока обнаружены только в пегматитах Вороньих тундр. Систематическую коллекцию музея пополнили образцы с этими минералами с г. Васин-Мыльк.

Экспозицию щелочно-ультраосновного и карбонатитового массива Вуориярви дополнили образцы с гидроталькитом и кордилитом-(Ce). Гидроталькит пока обнаружен только в Ковдорском массиве и Вуориярви. В коллекции музея уже имелся образец с гидроталькитом Ковдорского массива, с Вуориярви — это первое поступление. Кордилит-(Ce), кроме массива Вуориярви, пока установлен только в Хибинском щелочном массиве [2].

Коллекция редких минералов постмагматических образований щелочных гранитов Западных Кейв дополнилась образцом с вульфенитом ($PbMoO_4$), который в Кольском регионе ранее был известен только в пегматитах Западных Кейв (Плоскогорское месторождение). Также известен этот минерал в Хибинском массиве и совсем недавно вульфенит был обнаружен в виде включений в цирконе в биотитовых гранитах массива Гремяха-Вырмес [3].

Сотрудниками института в конце 1980-х — начале 1990-х гг. проводилось изучение минералого-геохимических особенностей вольфрамового оруденения центральной части Кейв на примере рудопроявления г. Нусса [1]. Один из образцов с шеелитом ($CaWO_4$) из полевошпатово-кварцевых пород этого участка (коллекция А. А. Басалаева) был передан в музей А. В. Волошиным. По-сути, это первое поступление образца с видимыми невооруженным глазом зернами шеелита (рис. 2). В Петрографическом отделе музея уже несколько лет демонстрируются шеелитсодержащие сподуменовые гнейсы из района сочленения Кейвского и Мурманского блока (район рек Ачерйок — Тундровая), но шеелит в них определяется только по люминесценции в ультрафиолетовом свете (254 нм).

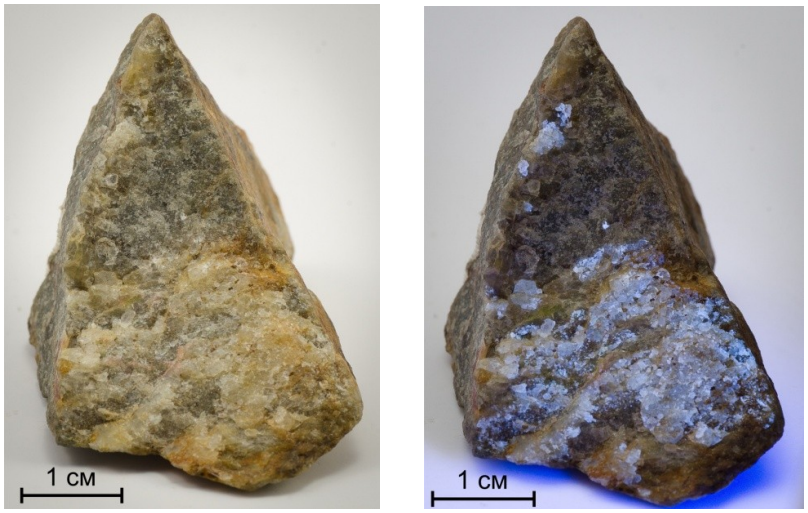


Рис. 2. Шеелит. Центральные Кейвы, г. Нусса (ГИМ 7638).
Справа — в ультрафиолетовом свете (254 нм)

Коллекция минералов **Хибино-Ловозёрского щелочного комплекса** расширилась благодаря поступлениям образцов с хорошо выраженными кристаллическими формами и красочными минералами. К первым можно отнести кристалл циркона (рис. 3, *а*) дипирамидальной формы с г. Вавнбед Ловозёрского массива (И. С. Красоткин) и сросток кристаллов темно-малинового эвдиалита (рис. 3, *б*) с Кировского рудника Хибинского массива (Ю. Л. Войтеховский).

Коллекцию минералов **Хибинского массива** дополнили образцы с кристаллами аннита (Кировский рудник, Ю. Л. Войтеховский), с лучистыми агрегатами желто-коричневого титанита с Кировского рудника и седловины Лопарского перевала (А. В. Волошин, И. С. Красоткин). Образец с вытянутыми уплощенными призматическими кристаллами серовато-желтого ринкита — первое поступление с Коашвинского карьера (И. В. Пеков). Эффектный полированный образец с крупными выделениями зонального нефелина в эгириновой массе из района ручья Меридионального передал С. В. Икорский. Экспозиция массива дополнилась образцами с натролитом и аллофаном с Кировского рудника (В. Л. Семёнов, А. П. Николаев). Вторым поступлением в музей стал образец с гизингеритом (В. Л. Семёнов).



а *б*

Рис. 3. Кристалл циркона (*а*), Ловозёрский массив, г. Вавебед (ГИМ 7607). Сросток кристаллов эвдиалита (*б*), Хибинский массив, Кировский рудник (ГИМ 7608)

Коллекция минералов **Ловозёрского массива** пополнилась образцами с небольшими кристаллами карминового виллиомита и крупными сферолитами эгирина («эгириновая бомба») с рудника Карнасурт (В. А. Нивин, В. В. Пуха). Поступление образцов с минералами массивов **Вуориярви** и **Ковдорского** обновило коллекцию щелочно-ультраосновных и карбонатитовых массивов. Впервые в музей поступили образцы с эльпидитом, гематитом и анатазом из керна скважин, пробуренных на участках Тухтавара, Нескевара и Петеянвара **массива Вуориярви**. Кроме того, экспозицию по массиву расширили образцы с гейдоннеитом и брукитом (А. В. Волошин).

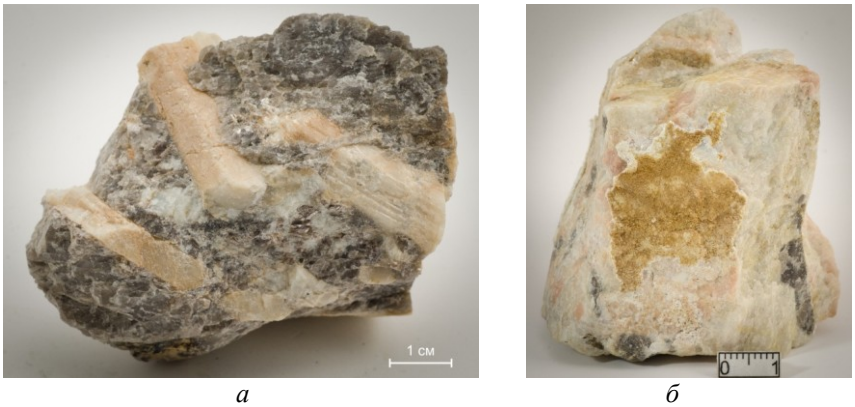
Крупный кристалл апатита длиной 10 см с **Ковдорского массива** дополнил систематическую коллекцию фосфатов (Ю. Л. Войтеховский).

Коллекция минералов **Западных Кейв** обновилась образцом с анатазом из пегматитов щелочных гранитов г. Парусной, ее дополнил образец с пироморфитом с г. Плоской (А. В. Волошин). Пироморфит ($Pb(PO_4)Cl$) — вторичный минерал, и его образование связано с изменением галенита.

В коллекции музея имеется довольно много образцов с хорошо ограненными кристаллами граната наиболее распространенной формы ромбододекаэдра. Обновлением коллекции гранатов Кейв стало поступление кристаллов граната с г. Макзабак формы тетрагонтриоктаэдра и комбинации ромбододекаэдра и тетрагонтриоктаэдра (Ю. Л. Войтеховский).

Образец с эпидотом из вулканитов хр. Серповидного дополнил систематическую коллекцию силикатов (С. В. Мудрук).

Коллекция минералов редкометалльных гранитных пегматитов **Вороньих тундр,** кроме редких минералов, названных выше, пополнилась красочными образцами с призматическими кристаллами кремового сподумена в черном кварце (рис. 4, *а*), цирконом, бавенитом (рис. 4, *б*) и Cs-анальцимом с г. Васин-Мыльк, а также арсенопиритом с хр. Оленьего (А. В. Волошин).



а *б*

Рис. 4. Сподумен в кварце (*а*) (ГИМ 7640/1), бавенит полевом шпате (*б*) (ГИМ 7648). Вороньи тундры, г. Васин-Мыльк

Коллекция минералов гранитных пегматитов района **п. Алакуртти** пополнилась образцом с эльпидитом, это первое поступление минерала из данного комплекса пород.

Другие геологические объекты Кольского региона

Почти 40 лет в коллекцию музея не поступали образцы с **Шонгуйского месторождения**. После экспедиционных работ на месторождении летом 2016 г. Л. Н. Морозовой и М. Ю. Сидоровым были переданы в музей образцы с бериллом и турмалином (шерлом).

Крупный, длиной 6,5 см, кристалл берилла из участка **Коловай** (рис. 5) пополнил коллекцию бериллов (Ю. Л. Войтеховский).



Рис. 5. Кристалл берилла. Коловай (ГИМ 7637)

Экспозиция **Беломорского побережья** пополнилась образцом с хорошо ограненными кристаллами кварца из микроклиновых гранитов района д. Кузреки (Н. И. Фришман) и «беломорской рогулькой» р. Оленицы (И. С. Красоткин).

Петрографическая коллекция

Впервые в Петрографическом отделе музея появились образцы метавулканитов хр. Оленьего Вороньих тундр — вариолитовых (рис. 6) и шаровых метабазальтов (В. Ф. Смолькин).

Экспозиция щелочных пород Хибинского массива пополнилась оригинальным образцом с обломками нефелиновых сиенитов в дайке с Оленьего ручья (С. В. Икорский), пегматитами с полевым шпатом, эгирином, эвдиалитом и содалитом (В. Л. Семёнов), образцами кальцитовых карбонатитов с бурбанкитом и натролитом из керна скважины Кировского рудника (С. И. Новиков).

Экспозицию пород Кейвского блока обновил крупный образец (38×27×2 см) брекчии из Малых Кейв (коллекция В. З. Негруцы). Образец передал в музей В. Ю. Калачёв.

Экспозицию вулканогенно-осадочных пород Печенгской рифтогенной структуры пополнил кварцит со знаками ряби из III осадочной толщи Печенги (А. Е. Борисов).

Коллекцию гранитоидов дополнил красочный образец графического пегматита с Шонгуйского месторождения (Л. Н. Морозова, М. Ю. Сидоров).

Научно-вспомогательный фонд музея значительно пополнился минералами, породами и рудами Кольского региона — это образцы с минералами гранитных пегматитов Западных Кейв (Плоскогорское месторождение, г. Парусная), Вороньих тундр (г. Полмос, хр. Олений, г. Солдат-Мыльк, г. Васин-Мыльк), а также с минералами Ковдорского, массива, Вуориярви, Лесной Вараки и Куру-Ваары, которые передал А. В. Волошин. На все образцы имеется документация в виде картографического материала с местами отбора образцов и отметками об аналитике.



Рис. 6. Вариолитовый метабазальт. Вороньи тундры, хр. Олений (ГИМ 7588)

Кроме того, научно-вспомогательный фонд пополнился минералами Хибинского массива (В. Л. Семёнов, А. А. Варников, С. И. Новиков), Ловозёрского массива (В. А Нивин, В. В. Пуха), Западных Кейв (С. М. Мудрук) и Беломорского побережья (Н. И. Фришман). Ю. Л. Войтеховским и Г. И. Соколовым переданы глинистые стяжения различной формы (Беломорское побережье, д. Мосеево), Ю. Н. Нерадовским — оливиновые мегагабброиды и ильменит-магнетитовые руды Юго-Восточной Гремяхи, И. С. Красоткиным — шлих граната (альмандина) с полуострова Средний.

Источники поступлений. Наибольшую часть поступлений основного фонда музея — 80 % составили дары от сотрудников института, 20 % — от сотрудников других организаций.

В пополнении музейных фондов принимали участие сотрудники Геологического института: Ю. Л. Войтеховский, А. В. Волошин, В. А. Нивин, В. Н. Яковенчук, С. В. Икорский, Ю. Н. Нерадовский, А. К. Шпаченко, Л. Н. Морозова, С. М. Мудрук, М. Ю. Сидоров, В. Ю. Калачёв, В. В. Пуха, В. Л. Семёнов, Г. И. Соколов, а также студент кафедры геологии АФ МГТУ А. А. Варников и бывший сотрудник института А. Е. Борисов. В дар получены образцы минералов и пород от сотрудников других организаций — В. Ф. Смолькина (ведущего научного сотрудника музея им. В. И. Вернадского, г. Москва), И. В. Пекова (доктора геол.-мин. наук, профессора МГУ, г. Москва), Н. И. Фришмана (геолога, коллекционера-любителя, г. Москва), И. С. Красоткина (ПетрГУ, г. Кировск), А. П. Николаева (пенсионера, г. Кировск), С. И. Новикова (техника-геолога МГРЭ, г. Апатиты), Ильина Г. С. (коллекционера-любителя, г. Кировск).

Музей глубоко признателен всем, кто содействовал пополнению музейных фондов, и надеется на дальнейшее плодотворное сотрудничество. Фотографии образцов выполнены младшим научным сотрудником Геологического института А. В. Чернявским.

Литература

1. Басалаев А. А., Калинин А. А. Вольфрамовое оруденение верхнеархейских супракрустальных комплексов Кейвской структуры (Кольский полуостров) // ДАН СССР. 1991.Т. 321, № 5. С. 1058–1061.
2. Минералы Ba, Sr и TR поздних карбонатитов Хибинского щелочного массива / А. Н. Зайцев и др. // Новое в минералогии Карело-Кольского региона. Петрозаводск: КарНЦ АН СССР, 1990. С. 76–89.
3. U-Pb-Nb mineralization in alkaline granites of Gremyakha-Vyrmes massif of the Kola Peninsula / N. V. Sorokhtina et al. // Abstracts of VIII International symposium «Mineral diversity research and preservation». Sofia, 2015. P. 38.

В. Р. Ветрин

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, vetrin@geoksc.apatity.ru

ИНИЦИАЛЬНЫЙ СУБЩЕЛОЧНОЙ МАГМАТИЗМ НЕОАРХЕЙСКОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ПРОВИНЦИИ КЕЙВСКОЙ СТРУКТУРЫ

В исследование геологического строения и рудного потенциала Кейвской структуры Кольского полуострова большой вклад сделан И. В. Бельковым и И. Д. Батиевой. Ими изучены геология и минералогия Кейвских месторождений кианита, определены генезис и условия формирования месторождений, выявлены особенности минерального состава кианитовых руд и причины возникновения их большого разнообразия. В 1957 г. И. Д. Батиевой и И. В. Бельковым обнаружен перспективный на редкометалльное оруденение Сахарйокский щелочной массив, их именами названы вновь открытые минералы — бельковит и батиеваит. Монография И. Д. Батиевой «Петрология щелочных гранитоидов Кольского полуострова» [1] до сих пор является лучшим результатом исследования геологии, минералогии и петрологии этих уникальных образований.

За 40 лет, прошедшие с времени издания монографии, получены новые данные по геологическому строению, возрасту, геохимии и изотопной геохимии щелочных гранитов и близких им по возрасту образований, которые могут быть отнесены к неоархейской внутриплитной магматической ассоциации А-типа. Ее характерной особенностью является тесная взаимосвязь пород основного и кремнекислого состава, образованных в течение трех сближенных по времени магматических циклов. Ранний цикл начинается с внедрения *даек габбро-норитов*, *массивов габбро-анортозитов*, пород вулкано-плутонической формации *латитов-монцонитов-гранитов* (2674 ± 5 млн лет) и заканчивается образованием массивов *микроклин-плагиоклазовых гранитов* (2667 ± 8 млн лет). Во время более позднего цикла были образованы дайковые тела *офитовых габбро*, *габбро-диабазов* и массивы *субщелочных и щелочных гранитов* (2674 ± 4 млн лет). Завершают неоархейский магматизм Кейвской структуры *щелочные и нефелиновые сиениты* Сахарйокского массива, содержащие комплексные иттрий-циркониевые руды. Вмещающие ассоциацию супракрустальные породы представлены гнейсово-амфиболитовым комплексом лебяжинской серии, несущим следы щелочного метасоматоза, наиболее интенсивно проявленным вблизи интрузий щелочных гранитов и вдоль зон разломов, контролирующих размещение интрузий габбро-анортозитов.

Инициальный субщелочной магматизм Кейвской структуры проявлен в образовании вулканоплутонической формации латитов-монцонитов-гранитов, предшествующих внедрению щелочных гранитов. В состав формации входят породы известково-щелочного и субщелочного составов, относящиеся

к производным различных глубин формирования. Породы приповерхностной и гипабиссальной фаций связаны между собой взаимопереходами и закартированы в виде останцов среди плагиомикроклиновых гранитов в центральной и западной частях Верхне-Понойского блока. Массивы амфибол-биотитовых порфировидных гранитов мезоабиссальной фации глубинности расположены в восточной и центральной частях района.

Для пород приповерхностной и гипабиссальной фаций характерно: присутствие резко зональных кристаллов плагиоклаза, погруженных в мелкозернистый базис гранофировой или микропегматитовой структуры; высоконатровый состав калиевых полевых шпатов, представленных ортоклазом; высокие концентрации титана в амфиболах и биотитах; повышенное содержание магнетита, достигающее 3 %. Порфировидные граниты включают слабо зональные вкрапленники плагиоклаза и низконатрового микроклина, характеризуются более лейкократовым составом, низкотитанистыми биотитами и амфиболами и практически не содержат магнетита.

Породы ассоциации содержат в различной степени переработанные ксенолиты основных пород, по составу близкие амфиболитам нижних частей разреза гнейсово-амфиболитового комплекса лебяжинской серии, и отвечающие составу базальтов внутриконтинентальных областей — платобазальтам, траппам, континентальным щелочным базальтам.

Метаэффузивы по химическому составу относятся к средним и кремнекислым породам нормального (андезибазальты, андезиты) и преобладающего субщелочного ряда (латиты, кварцевые латиты, трахириодациты). Породы содержат 5,1–8,2 мас. % щелочей, с соотношением K_2O/Na_2O от 0,7 до 1,2, на диаграмме в координатах SiO_2-K_2O располагаются в поле высококалиевых магматических производных. Характерными особенностями состава метаэффузивов являются повышенные концентрации титана, фосфора, щелочей и железа, что при пониженных содержаниях глинозема и магния определяет высокую общую железистость пород (69–92) и повышенное значение коэффициента агпаитности (0,52–0,89). Породы гипабиссальной фации, а также порфировидные граниты мезоабиссальной фации глубинности сохраняют все характерные особенности состава метаэффузивов: повышенные содержания железа, калия — 3,1–4,5 и 3,7–5,2 % соответственно; повышенную железистость — 75–83 и 75–97 %; агпаитность — 0,77–0,92 и 0,72–0,87 %. Породы всех фаций глубинности имеют повышенные концентрации высокозарядных и редкоземельных элементов — Zr, Hf, Ta, Y, La, Ce, Nb, что свойственно гранитоидам A_2-типа [3]. На диаграммах в координатах «SiO_2 — окисел, мас. %» породы вулканоплутонической формации образуют единый эволюционный тренд от андезибазальтов до лейкогранитов и субщелочных гранитов с перекрытием составов разноглубинных пород. По мере увеличения кремнекислотности в породах увеличивается их общая железистость и агпаитность при уменьшении номера нормативного плагиоклаза. В этом же направлении происходит увеличение содержаний щелочей и большинства редких элементов — Rb, Ba, Zr, Nb, Th, U, Y, РЗЭ (за исключением Eu) при уменьшении концентраций TiO_2, $Fe_{общ}$, MnO, MgO, CaO, P_2O_5, Sr и элементов группы железа. Распределение РЗЭ умеренно фракционированное, с отчетливо выраженным европиевым минимумом (0.67–0.47). Указанные особенности состава пород могут объясняться образованием вулканоплутонической формации в процессе фракционной кристаллизации расплавов с образованием рестита, состоящего главным образом из пироксена, плагиоклаза, амфибола, магнетита, титанита и апатита.

Результаты изучения изотопной Lu-Hf-системы в цирконе из пород формации показывают вариации исходного значения εHf(T) от –4,4 до 1,4 (среднее –1,9, $n = 24$). По величине инициальных отношений $^{176}Hf/^{177}Hf$ и возраста изученный циркон располагается в полях состава верхней (СГ-3) и нижней коры Кольского полуострова (рис. 1), чем определяется преимущественный вклад корового вещества в состав исходных расплавов.

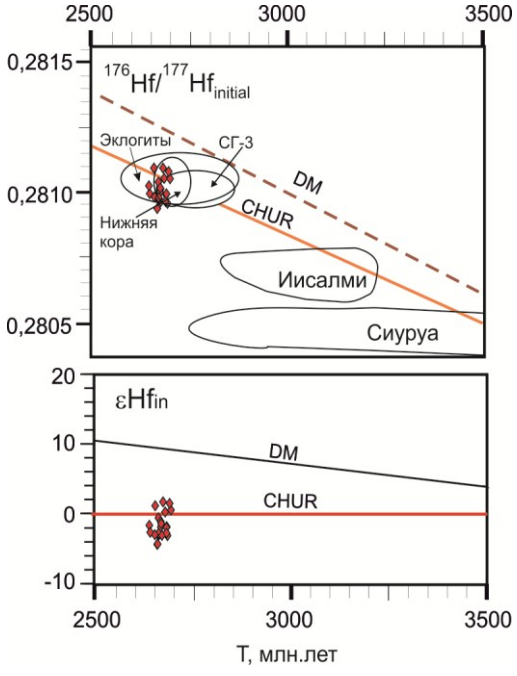


Рис. 1. Диаграммы состава циркона:
T, млн лет — $^{176}Hf/^{177}Hf_{initial}$; и T, млн лет — εHf_{in}.
Иисалми, Сиуруа — области состава циркона из древнейших комплексов северо-восточной части Балтийского щита.
СГ-3 — плагиогнейсы Кольской сверхглубокой скважины [2].
Эклогиты — эклогиты южной части Кольского полуострова [5].
Нижняя кора — область состава циркона из ксенолитов нижней коры (см. статью В. Р. Ветрина и с соавторами в настоящем сборнике)

Об этом же свидетельствуют повышенные значения преобладающей части «канонических» соотношений элементов — La/Yb (16,1), Th/Ta (9,0), Zr/Nb (22,3), Nb/U (10,3). Наличие мантийного компонента в составе гранитоидов фиксируется положительной величиной εHf(T) в части образцов циркона, а также повышенными значениями отношения Ce/Pb (10,8). Модельный возраст T_{Hf}(DM) от 3,06 до 3,39 млрд лет определяет длительное время нахождения протолита в коре (400–700 млн лет).

Происхождение исходной магмы предполагается в результате парциального плавления испытавших щелочной метасоматоз амфиболитов, близких по составу амфиболитам патчервтундровской свиты лебяжинской серии и в виде ксенолитов находящихся породах всех фаций глубинности. На диаграммах в координатах SiO_2-Mg#, SiO_2-K_2O, SiO_2-Na_2O точки состава пород формации расположены в полях парциальных расплавов, полученных при плавлении средне- и высококалиевых пород базальтового состава (рис. 2, *а*, *в*, *г*).

Температуры исходных расплавов, определенные по концентрациям фосфора в породах [4], составляют < 800–1000 °С (рис. 2, *б*) и соответствуют температурам, оптимальным для дегидратационного плавления пород основного состава в коровых условиях. На диаграмме Ab-Qtz-Or точки состава гранитоидов образуют широкое поле рассеяния, с приуроченностью средних составов метаэффузивов и гипабиссальных пород к области эвтектических составов при пониженной активности воды (aH_2O = 0.5) и P = 6–7 кбар, что соответствует глубине формирования расплава в 25–28 км. Порфировидные граниты имеют котектический состав при P = 4–5 кбар.

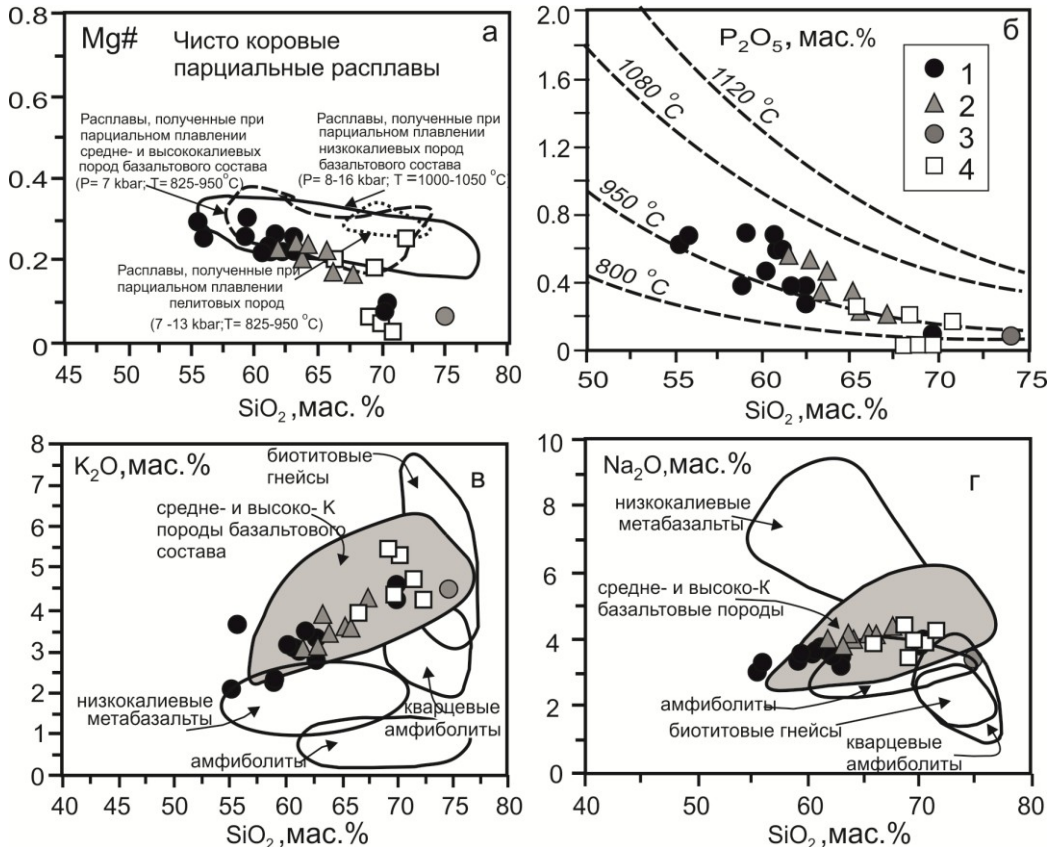


Рис. 2. Сопоставление состава пород формации латитов-монцонитов-гранитов с составами экспериментальных выплавок, образованных при плавлении пород основного состава [6]: 1–4 — метаэффузивы, гранитоиды гипабиссальной фации, жильный гранит, порфировидные граниты соответственно

Приведенные данные свидетельствуют о возникновении расплавов, исходных для латитов-монцонитов-гранитов, преимущественно за счет плавления коровых пород — испытавших щелочной метасоматоз амфиболитов основания разреза коры региона. Источником тепла при плавлении были расплавы основного состава, образующие на современном эрозионном срезе интрузии габбро-анортозитов и породы дайковых серий. Дифференциация расплавов источника привела к формированию разноглубинных пород формации латитов-монцонитов-гранитов, представляющих собой производные инициального субщелочного магматизма Кейвской структуры. Расплавы различались по составу главных и второстепенных компонентов, в том числе и по содержанию воды, определявшему глубинность их кристаллизации. Образование более поздних субщелочных и щелочных гранитов было отделено от латитов-монцонитов-гранитов формированием больших объемов плагиомикроклиновых гранитов, препятствовавших проникновению более глубинных субщелочных расплавов в верхнюю кору. Длительное время дифференциации субщелочных магм привело к образованию агпаитовых щелочных гранитов, составляющих основной объем интрузивных тел Кейвской щелочной провинции.

Литература
1. Батиева И. Д. Петрология щелочных гранитоидов Кольского полуострова. Л.: Наука, 1976. 224 с.
2. Ветрин В. Р., Белоусова Е. А., Чупин В. П. Редкие элементы и Lu-Hf изотопная систематика циркона из плагиогнейсов Кольской сверхглубокой скважины: вещество палеоархейской коры в мезоархейских метавулканитах // Геохимия. 2016. № 1. С. 105–125.
3. Eby G. N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications // Geology. 1992. V. 20. P. 641–644.
4. Green T. H., Watson E. N. Crystallizations of apatite in natural magmas under high pressure, hydrous conditions, with particular reference to "orogenic" rock series // Contrib. Miner., Petrol. 1982. V. 79. P. 96–105.
5. Mesoarchean subduction processes: 2,87 Ga eclogites from the Kola Peninsula, Russia / M. V. Mints et al. // Geology. 2010. V. 38. P. 739–742.
6. Reworked old crust-derived shoshonitic magma: the Guarany pluton, Northeastern Brazil / V. P. Ferreira et al. // Lithos. 2015. V. 232. P. 150–161.

В. Р. Ветрин[1], Е. А. Белоусова[2], А. А. Кременецкий[3]
[1]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, vetrin@geoksc.apatity.ru*
[2]*Macquarie University, Dept. of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Sydney, Australia, elena.belousova@mq.edu.au*
[3]*Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, nauka@imgre.ru*

U-Pb и Lu-Hf ИЗОТОПНАЯ СИСТЕМАТИКА ЦИРКОНА ИЗ ГРАНАТОВЫХ ГРАНУЛИТОВ: ВОЗРАСТНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ НИЖНЕЙ КОРЫ БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА

При реконструкции эндогенных процессов результативно использование Lu-Hf изотопной системы циркона, которая является трассером мантийно-коровых процессов. В результате плавления мантии гафний более интенсивно накапливается в расплаве (по сравнению с лютецием), и при возрастной эволюции вещества величина отношения $^{176}Hf/^{177}Hf$ в мантийных производных выше ($\varepsilon Hf > 0$) по сравнению с образованиями корового генезиса ($\varepsilon Hf < 0$). Циркон характеризуется малой скоростью диффузии Hf и низкими значениями Lu/Hf отношения (≤ 0.001), вследствие чего первичные изотопные отношения гафния в цирконе часто отвечают этим отношениям в материнском расплаве. Использование метода лазерной абляции позволяет выполнить анализ Lu-Hf изотопной системы в тех же точках, где производилось определение возраста циркона, и произвести вычисление исходных $\varepsilon Hf(T)$ и отношения $^{176}Hf/^{177}Hf$ с учетом данных U-Pb-датирования.

Результаты изучения Lu-Hf изотопной системы циркона из ксенолитов гранатовых гранулитов Беломорского подвижного пояса (БПП), выполненные методом лазерной абляции в университете Маквари, Сидней, Австралия, приведены на рис. 1.

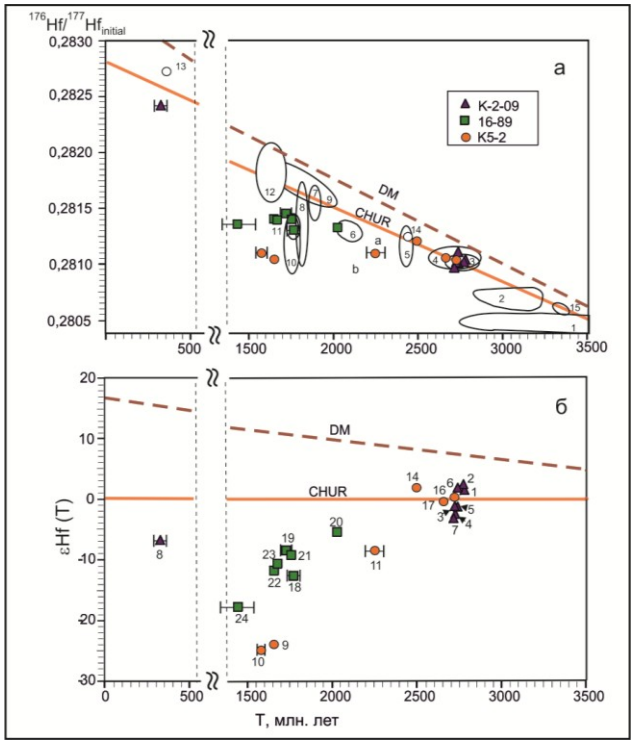


Рис. 1. Диаграммы в координатах T, млн лет — $^{176}Hf/^{177}Hf_{initial}$ (*а*), $\varepsilon Hf(T)$ (*б*)
На диаграмме (*а*) цифрами показаны области изотопного состава циркона комплексов пород:
1 — Сиуруа, 2 — Иисалми, 3 — плагиогнейсы Кольской сверхглубокой скважины, 4 — эклогиты южной части Кольского п-ова, 5 — раннепротерозойские граниты, 6 — гранитоиды Центральной Лапландии, 7 — посткинематические свекофеннские граниты, 8 — лейкограниты южной Финляндии, 9 — гранитоиды Трансскандинавского пояса, 10 — порфировидные граниты Кольского полуострова и северной Финляндии, 11 — порфировидные граниты Портлубольского массива, 12 — граниты рапакиви, 13 — карбонатиты Хибинского массива, 14 — коматииты Ветреного пояса, 15 — тоналиты окружения Кольской сверхглубокой скважины. Высота значков соответствует ошибкам определения (±1σ) отношений $^{176}Hf/^{177}Hf$ и $\varepsilon Hf(T)$, горизонтальными линиями показаны погрешности определения возраста (±1σ, млн лет)

Изучение U-Pb-возраста кристаллов циркона, выполненное на вторично-ионном масс-спектрометре SHRIMP II (ЦИИ ВСЕГЕИ), определяет их существенную возрастную гетерогенность в интервале от мезоархея до палеозоя [2]. Указанная неоднородность была обусловлена формированием циркона в ксенолитах сложного состава, возникших в результате ряда эндогенных процессов, включающих контаминацию глубинных магм веществом древней коры, кристаллизацию расплавов с образованием нижнекоровых протолитов, а также изменением состава протолитов более поздними процессами метаморфизма и магматизма. В соответствии с этим могут быть выделены ксеногенная, первично-магматическая (протолитовая), метаморфогенная и позднемагматическая генерации циркона, часто находящиеся в пределах одного образца. Для реконструкции генезиса изученных кристаллов циркона целесообразно использование изотопных Lu-Hf и Sm-Nd систем, ведущих себя когерентно в процессах магматической дифференциации, с положительной корреляцией начальных изотопных отношений εNd(*T*) в породе и εHf(*T*) в породе или цирконе [1, 4, 6]. Графически указанная закономерность поведения изотопных систем выражается линией с параметром $\varepsilon Hf(T) = 1{,}36 \times \varepsilon Nd(T) + 3{,}0$, получившей название terrestrial array, или TA, и с учетом дисперсий определения изотопных параметров — полосой TA, имеющей ширину порядка 2–4 единиц эпсилон (рис. 2). На рассматриваемой диаграмме изученные кристаллы циркона, имеющие одно и то же значение εNd(*T*), образуют вертикальные тренды, протяженность которых определяется разбросом значений εHf(*T*). В случае ксеногенных кристаллов циркона, а также при его образовании в процессах метаморфизма и более позднего магматизма изотопные Lu-Hf- и Sm-Nd-системы породы и циркона становятся некогерентными, что выражается в смещении точек состава за пределы поля TA. Помимо использования указанной диаграммы, отнесение кристаллов циркона к ксеногенным, собственно протолитовым и более поздним по времени образования, возможно при использовании модельного возраста ксенолитов $T_{Nd}(DM)$ и сопоставления его с модельным возрастом $T_{Hf}(DM)$ циркона и результатами датирования минерала U-Pb-методом.

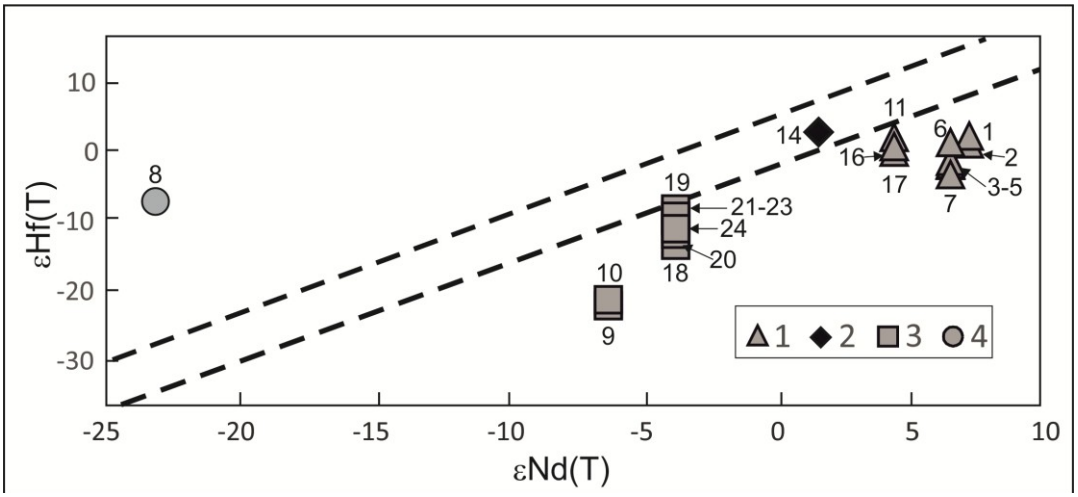


Рис. 2. Диаграмма в координатах εNd(*T*)-εHf(*T*): 1–4 — циркон архейского, ранне- и позднепалеопротерозойского и палеозойского возраста соответственно. Цифры у значков соответствуют номерам анализов на рис. 1, *б*. Пунктиром показаны границы поля TA (terrestrial array). Измерение изотопного состава Nd в ксенолитах выполнено на масс-спектрометре TRITON в ЦИИ ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург

Исходя из этого протолитовый первично-магматический генезис установлен для зонального циркона раннего палеопротерозойского возраста (T_{Zr} = 2,5 млрд лет) с близкими значениями $T_{Hf}(DM)$ и $T_{Nd}(DM)$ — в 2,76 и 2,72 млрд лет соответственно. Точка состава циркона расположена в пределах поля TA, с εHf(*T*) = 1,6 и εNd(*T*) = 1,7 (рис. 2), чем определяется согласованность Lu/Hf и Sm/Nd изотопных систем в цирконе и породе при кристаллизации протолита. Образование рассматриваемого циркона происходило, вероятно, при кристаллизации в неоархейской коре магм основного состава, аналогами которых в современном эрозионном срезе БПП были многочисленные интрузии друзитов, и в пределах Кольского полуострова, Карелии и Финляндии — расслоенные интрузии перидотит-пироксенит-габброноритового состава и связанные с ними вулканиты с возрастом 2,4–2,5 млрд лет.

К ксеногенным отнесены кристаллы циркона неоархейского возраста, имеющие $T_{Hf}(DM)$ и T_{zr} 3,09–2,96 и 2,78–2,72 млрд лет соответственно и на ~500 и ~200 млн лет превышающие модельный возраст $T_{Nd}(DM)$ гранатового гранулита ксенолита К-2-09, определенный в 2,57 млрд лет. Близкий изотопный состав имеют неоархейские кристаллы циркона обр. К5-2 с $T_{Hf}(DM)$ = 3,01–2,93, $T_{Nd}(DM)$ = 2,72 млрд лет и T_{Zr} = 2,72–1,58 млрд лет, с уменьшением значений возраста циркона по изотопному отношению $^{207}Pb/^{206}Pb$ вследствие потерь радиогенного свинца. На диаграмме в координатах εHf(*T*)-εNd(*T*) точки состава циркона располагаются ниже поля TA, что обусловлено неравновесностью Lu-Hf и Sm-Nd изотопных систем циркона и ксенолита. По возрасту (2,79–2,72 млрд лет) рассматриваемый циркон коррелируется с цирконом наиболее

распространенных в пределах БПП неоархейских тоналитовых гнейсов, и его нахождение в составе ксенолитов было обусловлено, вероятно, контаминацией палеопротерозойских расплавов основного состава веществом мезо-, неоархейской сиалической коры.

Особенности внутреннего строения и редкоземельного состава циркона позднего палеопротерозойского возраста позволяют выделить метаморфогенные зерна циркона, кристаллизовавшиеся в парагенезисе с гранатом в условиях гранулитовой фации, и кристаллы, образованные из межзерновых анатектических расплавов. Гранат имеет высокое сродство к лютецию, что сдерживает поступление его дочернего изотопа ^{176}Hf в анатектические выплавки, при участии которых происходила кристаллизация циркона в породах гранулитовой фации. Вследствие этого кристаллы циркона метаморфического генезиса (точки 19–23, рис. 2), включенные в зерна граната или находящиеся в непосредственной близости к ним, имеют более радиогенный состав Hf и характеризуется повышенными значениями $\varepsilon Hf(T)$ и $^{176}Hf/^{177}Hf$ по сравнению с кристаллами анатектических выплавок (точки 9, 10). U-Pb дискордантный возраст всей совокупности рассматриваемых кристаллов определен в 1750 ± 30 млн лет и может рассматриваться, вероятно, в качестве оценки времени гранулитового метаморфизма при формировании Лапландской коллизионной структуры (1,95–1,75 млрд лет) и обусловленных этим процессов гранитизации и образования пегматитов в породах БПП.

Зональность и особенности геохимии циркона палеозойского возраста свидетельствуют о его магматическом генезисе. В то же время отсутствие когерентности изотопных Lu/Hf и Sm/Nd систем в цирконе и существенно более древних породах ксенолитов определяется радиогенным составом гафния в цирконе и нахождением точек его состава вне поля ТА. Образование рассматриваемых кристаллов происходило, вероятно, при инъекции ксенолитов прожилками вмещающих ксенолиты палеозойских ультраосновных лампрофиров, контаминированных веществом коры.

Выводы

При изучении строения, геохимии, U-Pb-возраста и систематики Lu-Hf изотопной системы кристаллов циркона из ксенолитов гранатовых гранулитов нижней коры БПП в них установлены первично-магматический протолитовый, ксено-, метаморфогенный и поздний магматический генетические типы циркона, часто находящиеся в пределах одного образца.

Протолитовый первично-магматический генезис установлен для зонального циркона раннего палеопротерозойского времени образования ($T_{Zr} = 2{,}5$ млрд лет), имеющего близкий изотопный состав Hf с цирконом высокомагнезиальных вулканитов такого же возраста (рис. 1). Эти данные согласуются с выводами о принадлежности изученных нижнекоровых ксенолитов к производным высокомагнезиальных бонинитоподобных расплавов, образующих в верхней коре северной части Балтийского щита палеопротерозойскую провинцию изверженных пород с возрастом 2,4–2,5 млрд лет [3, 5].

Внедрение больших объемов палеопротерозойских расплавов основного-ультраосновного состава в нижние части архейской коры привело к расслоению коры на верхнюю и нижнюю и сопровождалось процессами контаминации базитовых расплавов веществом неоархейской (2,79–2,74 млрд лет) и в меньшей степени мезоархейской коры (2,84 млрд лет). Неравновесность Lu-Hf и Sm-Nd изотопных систем датированных ксеногенных кристаллов циркона и пород ксенолитов подтверждается расположением точек их состава ниже поля ТА (terrestrial array) на диаграмме в координатах $\varepsilon Hf(T)$-$\varepsilon Nd(T)$.

В позднем палеопротерозое (~1,75 млрд лет) породы нижней коры испытали гранулитовый метаморфизм, связанный с формированием Лапландской коллизионной структуры и обусловленных этим процессов гранитизации и частичного плавления пород БПП. Образованные в ксенолитах кристаллы циркона метаморфогенного генезиса по величине отношения $^{176}Hf/^{177}Hf$ близки циркону из интрузивных тел гранитоидов в обрамлении палеорифтогенной Печенгской структуры (рис. 1) и в южной части Лапландского гранулитового пояса, что может свидетельствовать о происхождении их исходной магмы в результате процесса гранитизации нижней коры региона.

Циркон палеозойского возраста имеет слабо радиогенный состав гафния с $\varepsilon Hf(T) = -6{,}7$, что существенно ниже величины этого отношения в цирконе из имеющих близкое время образования карбонатитов палеозойского Хибинского массива нефелиновых сиенитов. Модельный возраст $T_{Hf}(DM)$ циркона составляет 1,21 млрд лет, и точка его состава расположена ниже линии развития CHUR, что было обусловлено, вероятно, кристаллизацией циркона из инъецирующих ксенолиты прожилков ультраосновных лампрофиров, контаминированных веществом верхней коры.

Литература

1. Корректная интерпретация U-Pb-возраста по цирконам на основе изотопной геохимии гафния и неодима (на примере некоторых магматических комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы) / К. И. Лохов и др. // Региональная геология и металлогения. 2009. № 38. С. 43–53.
2. Этапы формирования нижней коры Беломорского подвижного пояса (Кольский полуостров) / В. Р. Ветрин и др. // ДАН. 2009. Т. 424, № 5. С. 676–681.
3. An early Proterozoic large igneous province in the eastern Baltic Shield: evidence from the mafic drusite complex, Belomorian Mobile Belt, Russia / E. V. Sharkov et al. // Internation. Geol. Review. 1999. Vol. 41. P. 73–93.

4. Blichert-Toft J., Albarede F. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and evolution of the mantle-crust system // Earth, Planet. Sci. Lett. 1997. Vol. 148. P. 243–258.
5. Garnet granulite xenoliths from the Northern Baltic Shield — the underplated lower crust of a Palaeoproterozoic large igneous province? / P. D. Kempton et al. // Petrology. 2001. Vol. 42, No. 4. P. 731–763.
6. Vervoort J. D., Blichert-Toft J. Evolution of depleted mantle: Hf evidence from juvenile rocks through time. Geochim., Cosmochim. Acta. 1999. Vol. 63, No. 3/4. P. 533–556.

А. В. Волошин, А. А. Компанченко, С. М. Карпов, В. В. Борисова
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, vol@geoksc.apatity.ru

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛАХ. ВЫПУСК 3. ПЕРВЫЕ НАХОДКИ В РОССИИ И КОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Уровень развития минералогии, по мнению известных минералогов, определяет не число известных минеральных видов, а количество открываемых новых минералов — важнейший показатель развития минералогии в регионе [7]. Для достоверной диагностики минерального индивида необходимо знание двух его конституционных параметров — химического состава и кристаллической структуры. Химический состав при современной приборной базе можно оценить для минерала размером в несколько микрон. Традиционные методы диагностики минерала по структурному параметру ограничены трудоемкостью и определенной сложностью проведения эксперимента, а также размерами индивида и невозможностью использовать его для дальнейших исследований. В последние годы в практике минералогических исследований для диагностики минерала по структурному параметру стал широко использоваться метод рамановской спектроскопии.

Изучение минералов проводилось на оптическом микроскопе Axioplan в отраженном и проходящем поляризованном свете с блоком видиорегистрации. Исследование фазовой и внутрифазовой неоднородности минералов осуществлялось при помощи сканирующего электронного микроскопа LEO-1450 с оценкой состава минеральных фаз с использованием спектрометра Bruker X Flash-5010. Химический анализ однородных зерен минералов размером более 20 мкм выполнен на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca MS-46. Рентгеновская диагностика проводилась на стандартном оборудовании ГИ КНЦ РАН: рентгеновский дифрактометр ДРОН-2, камера РКД 57.3 мм при FeK_α-излучении. Исследования минералов методом комбинационного рассеяния проводились на раман-спектрометрах Almega XR ThermoScientific, микроскоп Olympus BX51, объектив 100x, лазер 532 нм в Институте геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск и HORIBA Jobin-Yvon LabramHR800, лазер 488, 514 нм, ресурсный центр СПбГУ «Геомодель», Санкт-Петербург.

Результаты изучения минералов

Объектами минералогического исследования явились колчеданные руды участка Брагино, Южно-Печенгской структурной зоны (ЮПСЗ), альбитовые метасоматиты Салла-Куолаярвинской структурной зоны (СКСЗ), экзоконтакты даек щелочных пород с породами Имандра-Варзугской структурной зоны (ИВСЗ) в южном Прихибинье и коллекция музейных образцов ГИ КНЦ РАН. Результатом выполненных минералогических исследований явилось установление ряда минералов, впервые найденных в Кольском регионе и России (табл. 1, порядок рассмотрения минералов в систематике Штрунца — Никеля).

Таблица 1

Новые минералы Кольского региона и России

Минерал	Формула	География, геология
	Оксиды и гидрооксиды	
Ферберит	$FeWO_4$	ЮПСЗ, Брагино, колчеданные руды
Кызылкумит	$Ti_2VO_5(OH)$	ЮПСЗ, Брагино, колчеданные руды
Тюямунит	$Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$	СКСЗ, Лагерный, альбититы
	Галоиды	
Коннеллит	$Cu_{36}(SO_4)(OH)_{62}Cl_8 \cdot 6H_2O$	Мурманское побережье, жила «Самуил-2» (коллекция М. Г. Федотовой)
	Ванадаты	
Намибит	$Cu(BiO)_2(VO_4)(OH)$	Алакуртти, пегматиты (коллекция Е. И. Нефёдова, 1966)
	Силикаты	
Наталиит	$NaV^{3+}(Si_2O_6)$	ИВСЗ, доломитовый карьер, дайка щелочных пород

В табл. 2 приведены данные по методам диагностики, подтверждающие достоверность отнесения минеральной фазы к минеральному виду.

Таблица 2

Достоверность минерального вида. Методы диагностики

Минерал	Формула	Химический состав		Кристаллическая структура	
		Leo-1450, Bruker X-Flash 5010	Cameca MS-46	РФА	РС
Ферберит	$FeWO_4$	+			+
Кызылкумит	$Ti_2VO_5(OH)$	+	+		+
Коннеллит	$Cu_{36}(SO_4)(OH)_{62}Cl_8 \cdot 6H_2O$	+		+	
Намибит	$Cu(BiO)_2(VO_4)(OH)$	+		+	
Тюямунит	$Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$	+		+	
Наталиит	$NaV^{3+}(Si_2O_6)$	+			+

Примечание. РФА — рентгенофазовый анализ, РС — рамановская спектроскопия.
Аналитики: химический состав — Е. Э. Савченко, А. В. Базай, Я. А. Пахомовский; рентгенофазовый анализ — Е. А. Селиванова, М. В. Торопова; рамановская спектроскопия — операторы В. Н. Бочаров, А. А. Компанченко.

Ферберит $FeWO_4$

На территории Кольского региона минералы группы вольфрамита ранее были известны в пегматитах Ловозерского массива [5]. По доминированию Mn в составе минерал относится к гюбнериту, и только отдельные зоны в кристаллах характеризуются равным соотношением Mn и Fe, редко с незначительным преобладанием последнего. Это позволило формально И. В. Пекову [4] говорить о находке ферберита.

Нами ферберит установлен в колчеданных рудах проявления Брагино ЮПСЗ. Минерал образует тонкую (менее 3 мкм) вкрапленность в ильменит-рутил-сидеритовом агрегате, а также относительно крупные (до 50 мкм) ксеноморфные зерна в ассоциации с рутилом, сидеритом, альбитом и кульсонитом в пирротиновой основной массе (рис. 1).

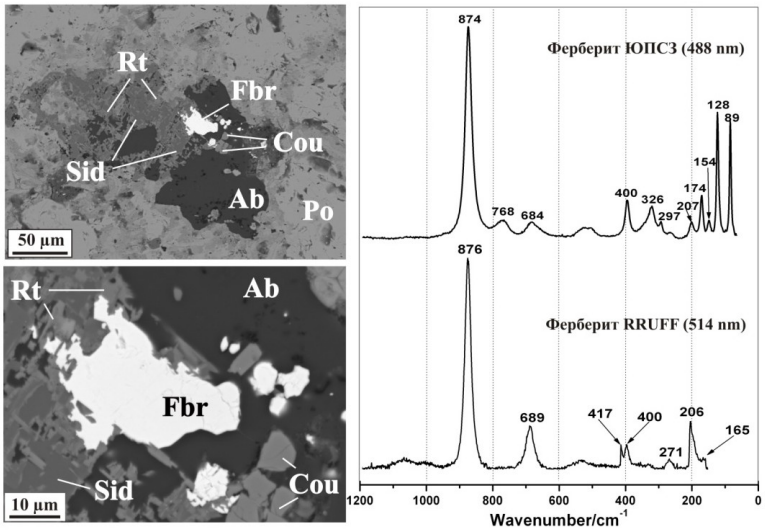


Рис. 1. Слева — морфология выделений ферберита (Fbr) в ассоциации с рутилом (Rt), сидеритом (Sid), альбитом (Ab) и кульсонитом (Cou). Изображение в обратно рассеянных электронах (BSE). Справа — рамановский спектр ферберита в сравнении со спектром из базы данных http://rruff.info/

Химический состав минерала (FeO — 22,85; WO_3 — 75,68 и MnO < 1 мас. %) соответствует фербериту — крайнему члену ряда ферберит ($FeWO_4$) — гюбнерит ($MnWO_4$) группы вольфрамита. Генетическая позиция ферберита определена как вторичная по отношению к рутилу, по которому он развивается. В составе рутила содержание WO_3 достигает 13 мас. %. Ферберит был исследован методом рамановской спектроскопии. Раман-спектр ферберита из ЮПСЗ идентичен спектру ферберита из базы данных RRUFF (рис. 1). Его характеристическими модами являются полосы: 128, 207, 400 и 874 $см^{-1}$.

Кызылкумит $Ti_2V^{3+}O_5(OH)$

Кызылкумит обнаружен в колчеданных рудах проявления Брагино, ЮПСЗ [1]. Отражение минерала в поляризованном свете несколько выше кульсонита, с четко выраженными двуотражением и анизотропией. Кызылкумит нами встречен в двух ассоциациях. Первая ассоциация с хлоритом, сидеритом, кварцем связана с замещением ильменит-рутиловых агрегатов (рис. 2, А). Минерал наблюдается в виде сложных кристаллов-двойников размером до 100 мкм (рис. 2, Б). Ассоциация с хлоритом характерна для кызылкумита из Прибайкалья [2]. Вторая ассоциация кызылкумита связана с замещением первичных ванадиевых минералов —

кульсонита и сенаита. Он здесь образует каймы, внешние зоны с реликтами первичных минералов, а также заполняет полости растворения внутри кристаллов кульсонита (рис. 2, В). Таким образом, генетическая позиция кызылкумита по отношению к первичным ванадиевым и титановым минералам определяется как более поздняя.

Химический состав минерала удовлетворительно рассчитывается на кристаллохимическую формулу соответствующую кызылкумиту: $(Ti_{2,003}W_{0,003})_{\sum 2,006}(V_{0,809}Cr_{0,152}Fe_{0,034}Al_{0,005})_{\sum 1}O_5(OH)_{1,03}$.

Раман-спектры кызылкумита разных ассоциаций аналогичны и отличаются от спектра близкого к нему по составу шрейерита. Диагностическими полосами кызылкумита являются: 787 $см^{-1}$ — 800 $см^{-1}$ и 667 $см^{-1}$ — 674$см^{-1}$ (рис. 2, Г).

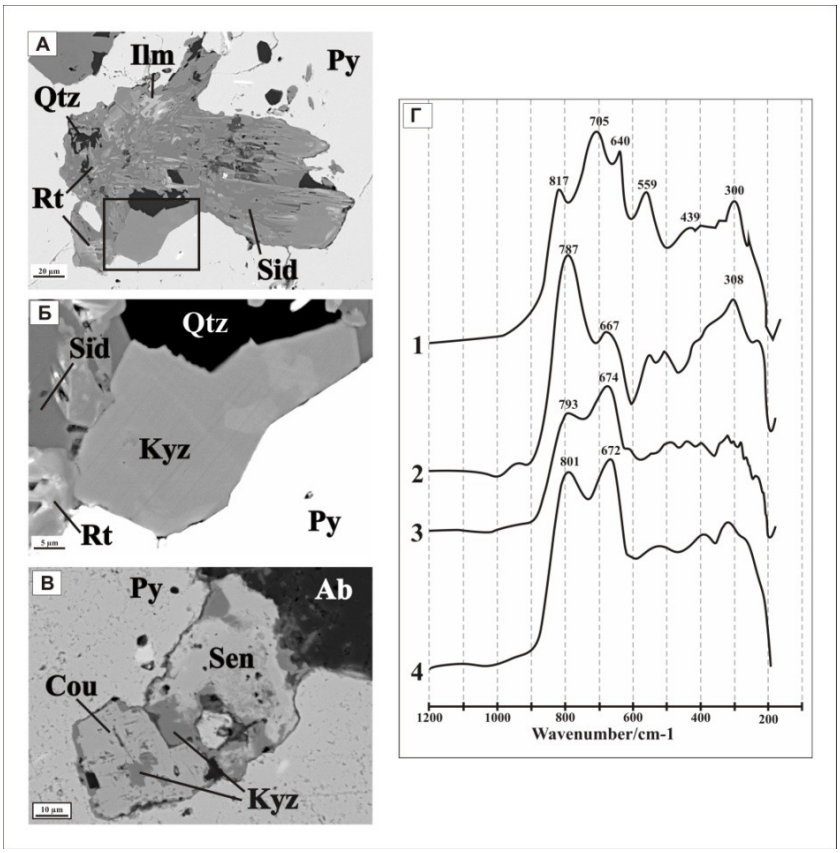


Рис. 2. Морфология кызылкумита (Kyz) (изображения в BSE) и результаты раман-спектроскопического исследования минералов:
А — ассоциация кызылкумита с рутилом (Rt), ильменитом (Ilm), сидеритом (Sid) и кварцем (Qtz) в пиритовой (Py) основной массе; Б — детальный фрагмент снимка А; В — развитие кызылкумита по сенаиту (Sen) и кульсониту (Cou), Ab — альбит; Г — рамановские спектры: 1 — шрейерита (Виханти, Финляндия); 2–4 — кызылкумита в ассоциации с рутилом, сидеритом (2, 3) и сенаитом и кульсонитом (4)

Тюямунит $Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 5\text{-}8H_2O$

Тюямунит — сложный уранил-ванадат, в кристаллохимическом плане относимый к так называемым ванадиевым бронзам. Тюямунит является представителем большой группы минералов — группы карнотита. Минералы этой группы обычны для зон окисления U-V-рудопроявлений. На территории России, согласно доступным сведениям, находки тюямунита отмечены на урановом проявлении Стрелка в Амурской области, в Приокском известковом карьере Московской области. Также тюямунит упоминается в списке минералов из месторождения Средняя Падма [3]. Однако информация о конституционных свойствах данного минерала из этих мест весьма скудна или не приводится вовсе.

Нами тюямунит установлен в альбититовых метасоматитах участка Лагерный, СКСЗ. Минерал образует сложные агрегаты в виде корочек и щеток ярко-желтого цвета на поверхности образцов и трещинках в тесном срастании с V-содержащей слюдой. В сростках отдельные индивиды представляют собой тонкотаблитчатые кристаллы, уплощенные по {001}, с комбинацией форм граней двух ромбических призм (рис. 3).

Рентгеноструктурный анализ методом порошка подтвердил принадлежность минерала к структурной группе карнотита. По доминированию в составе видообразующего катиона кальция этот минерал является крайним членом этой группы — тюямунитом (рис. 4). Его химический состав, %: CaO — 7,53, V_2O_5 — 21,97, UO_2 — 51,70 %, FeO — 1,33 %, отмечаются следы Na, K, Mn.

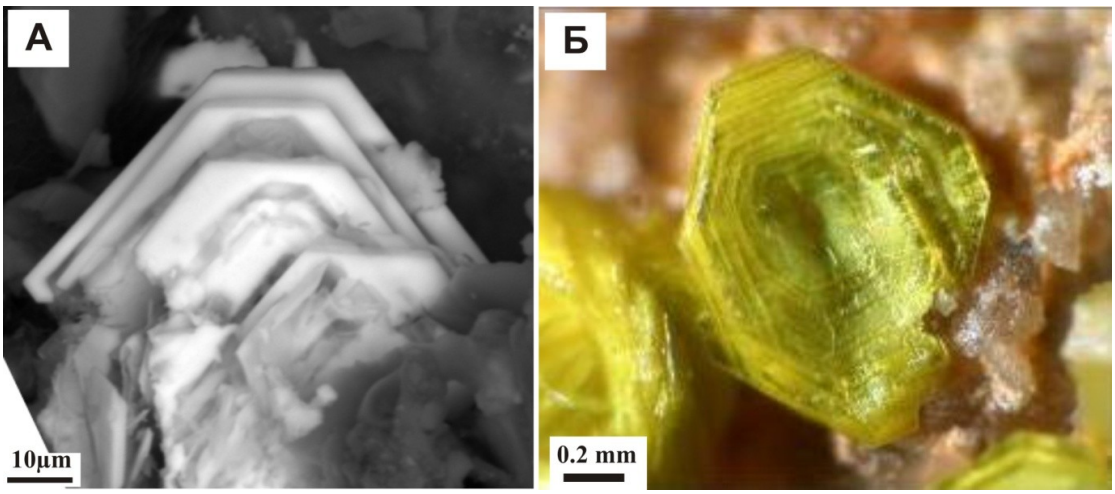


Рис. 3. Морфология тюямунита:
А — сростки индивидов тюямунита на участке Лагерный СКСЗ (изображение в BSE);
Б — кристалл тюямунита из шахты Мари (Pryor Mts, Carbon Co., Montana, USA) (www.mindat.org)

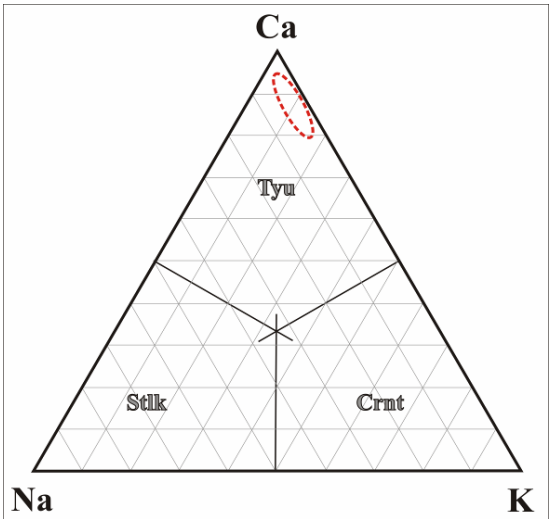


Рис. 4. Соотношение видообразующих катионов K-Na-Ca в минералах группы карнотита (ат. %).
Красным отмечена область составов тюямунита (Tyu) из альбитовых метасоматитов СКСЗ.
Crnt — карнотит, Stlk — стрелкинит

При ревизии образцов из коллекции основного фонда музея геологии и минералогии им. И. В. Белькова ГИ КНЦ РАН в 2016 году были установлены редкие минералы **коннеллит** и **намибит.**

Коннеллит $Cu_{36}(SO_4)(OH)_{62}Cl_8 \cdot 6H_2O$

Коннеллит известен с 1850 г. и является весьма распространенным в мире. В России этот минерал был установлен на Рубцовском Cu-Zn-Pb-месторождении в Алтайском крае, поэтому для России это вторая находка и первая — для Кольского региона.

Коннеллит установлен в музейном образце (ГИМ 3761) из полиметаллической свинцово-цинковой жилы «Самуил-2» Мурманского побережья (коллекция М. Г. Федотовой, 1975 г.). Образец из зоны окисления полиметаллических жил представляет агрегат, где первичные сульфидные минералы окислены и покрыты маломощными корочками и пленками гипергенных минералов [6] (рис. 5). Автором коллекции в образце были диагностированы два арсената — эритрин (кобальтовые цветы) и тиролит, которые развиваются в пустотках мелкозернистого кварца или на нем в виде примазок и мельчайших кристаллов. В ассоциации с перечисленными минералами рентгенофазовым анализом был установлен коннеллит. Минерал образует тонкие корочки из мельчайших игольчатых кристаллов ярко-синей окраски в тесной ассоциации с тиролитом (рис. 5). Из-за сходства окраски обоих минералов предшествующими исследователями ярко-синий минерал, видимо, был принят за тиролит и не диагностировался дополнительно.

Оценка состава минерала показала следующие результаты, мас. %: SiO_2 — 0,32, SO_3 — 4,27, Cl — 7,17, CuO — 65,43, As_2O_3 — 2,06, сумма — 79,25. Дефицит суммы связан с наличием в составе минерала воды. В идеальном составе коннеллита присутствует 19,55 % H_2O.

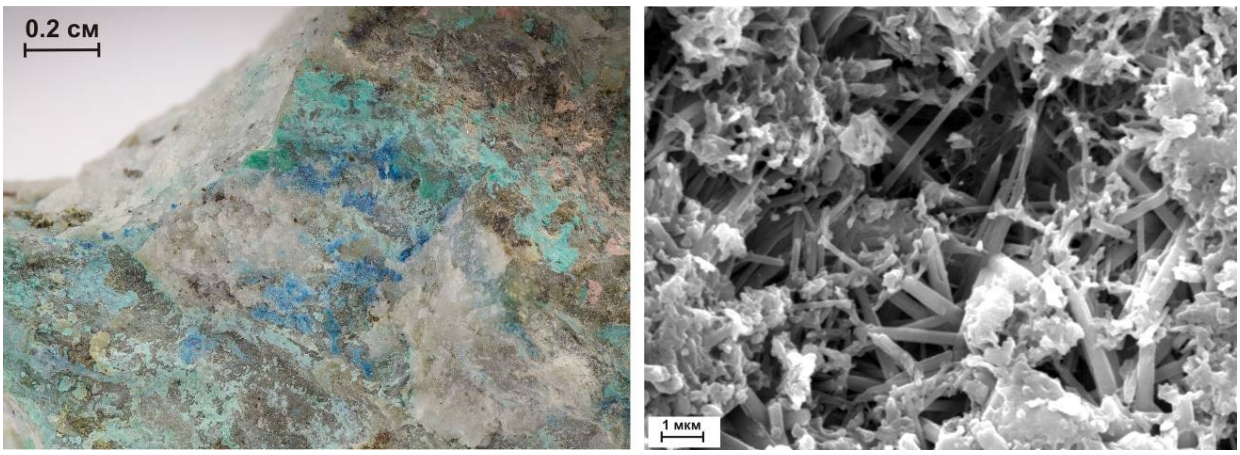


Рис. 5. Слева — внешний вид образца (снимок в косом освещении),
справа — морфология коннеллита (изображение во вторичных электронах (SE))

Намибит $Cu(BiO)_2(VO_4)(OH)$ — ванадат Cu и Bi

Намибит — вторичный минерал зоны окисления, известный в Намибии, где в 1981 г. обнаружен в образцах из минерализованных кварцевых жил с другими медно-висмутовыми минералами и кальцитом. Этот минерал встречается во многих геологических объектах мира, а в России и Кольском регионе это первая находка.

Намибит был установлен в музейном образце (ГИМ 1877) из жилы гранитных пегматитов района п. Алакуртти (коллекция Е. И. Нефёдова, 1966 г.). Минерал был макроскопически определен автором как бейерит — карбонат висмута. При ревизии этого минерала рентгенофазовый анализ показал, что данный минерал диагностируется как намибит в срастании с кварцем.

Намибит ярко-зеленого цвета отлагается в полостях, пустотах выщелачивания, трещинах в виде корочек, примазок из мелких (до 1 мм) тонкопризматических и пластинчатых кристаллов (рис. 6). Его химический состав, мас. %: P_2O_5 — 1,44, V_2O_5 — 15,28, Bi_2O_3 — 66,56, CuO — 16,72.

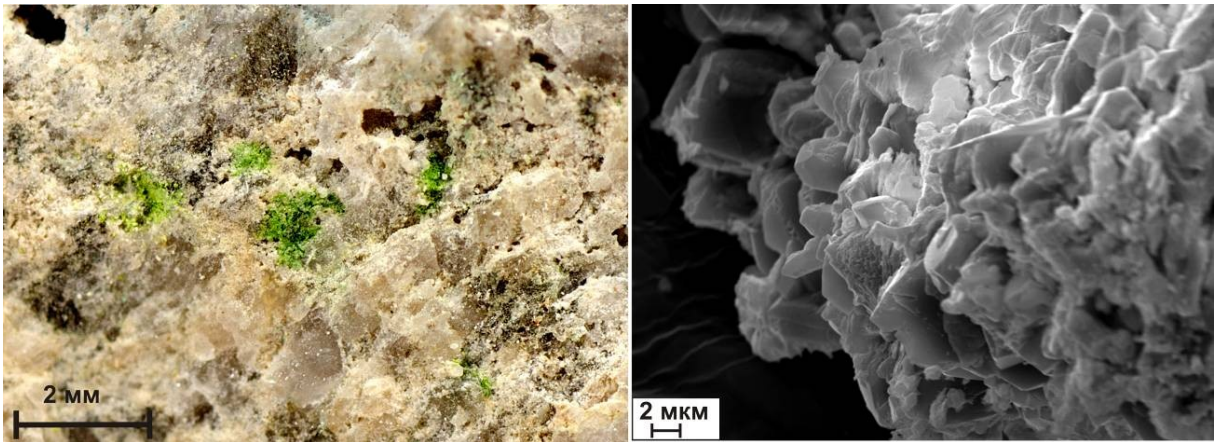


Рис. 6. Слева — внешний вид образца, намибит — зеленого цвета (снимок в косом освещении),
справа — морфология намибита (изображение SE)

Наталиит $NaV^{3+}(Si_2O_6)$

Был определен в образце из контактовой зоны дайки щелочных пород с вмещающими породами ИВСЗ на участке Доломитовый карьер. Минерал в виде самостоятельных зерен пока не обнаружен. Он находится в тесной ассоциации с эгирином, с которым в виде блоков и отдельных зон слагают скелетные футляровидные, иногда зональные полиминеральные метакристаллы (рис. 7). Поздним минералом, замещающим метакристаллы натровых пироксенов, выступает магнезиорибекит. Взаимоотношения этой минеральной ассоциации свидетельствуют в пользу первичной природы наталиита.

Химический состав минерала по преобладанию ванадия (V_2O_3 — 26 мас. %) над железом (Fe_2O_3 — 9 мас. %), при близком соотношении других элементов, соответсвует составу наталиита. Его кристалохимическая формула имеет следующий вид:

$$(Na_{0,87}Mg_{0,05}Ca_{0,01})_{\sum 0,93}(V_{0,84}Fe^{3+}_{0,11}Ti_{0,11}Mn_{0,01})_{\sum 1,07}(Si_{1,78}Fe^{3+}_{0,19}Al_{0,03})_{\sum 2,00}O_6.$$

В составе эгирина повсеместно также отмечаются повышенные содержания ванадия (V_2O_3 — до 2,5 мас. %).

Приведенные рамановские спектры эгирина и наталиита (рис. 8, справа) близки, лишь незначительно отличаются в деталях. Слева — скелетный полиминеральный кристалл из эгирина (*Aeg*), блоков наталиита (*Nat*) и новообразованй магнезиорибекита (*Rbk*), справа изображено сочетание внутрифазовой и фазововой неоднородности — зональности в метакристаллах ряда эгирин — наталиит. Изображения в BSE.

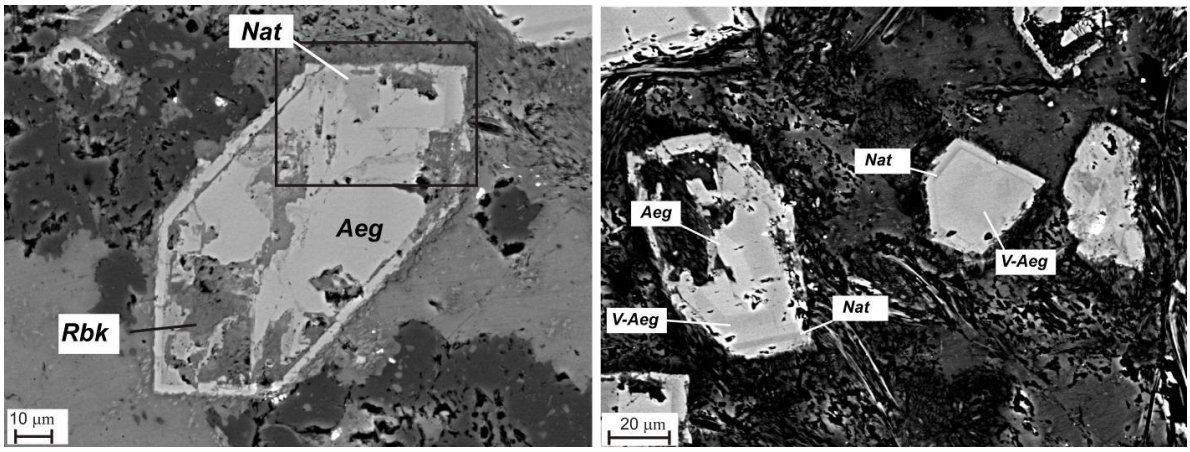


Рис. 7. Морфология и взаимоотношения минералов ряда эгирин — наталиит

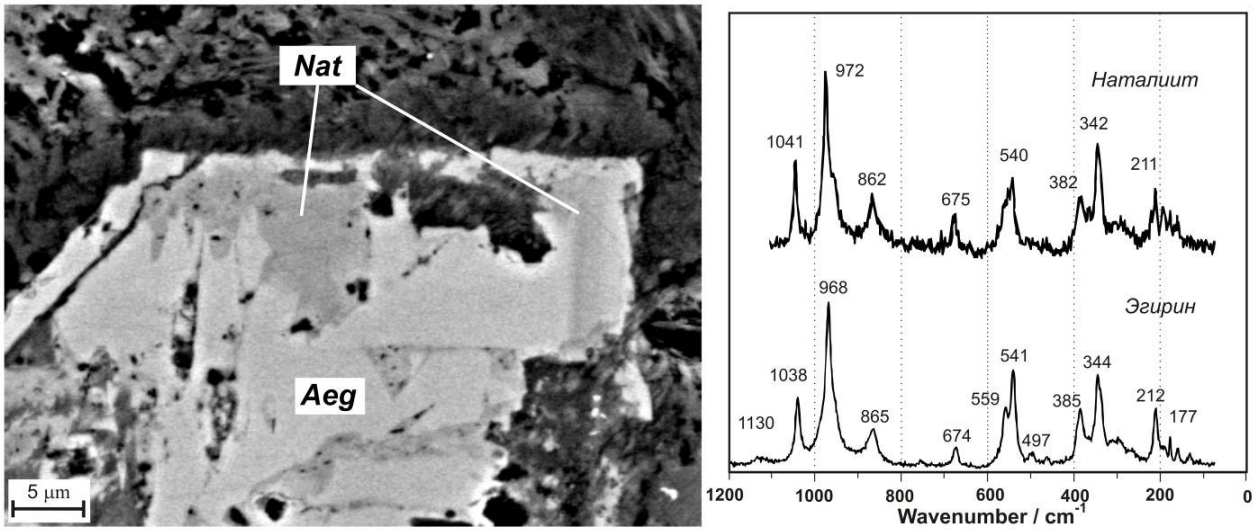


Рис. 8. Слева — фрагмент скелетного полиминерального кристалла щелочных пироксенов, показанный прямоугольником на рис. 7, где проведены исследования методом рамановской спектроскопией; справа — рамановские спектры эгирина и наталиита

Приведенный материал о новых минералах, установленных на объектах исследования ванадиевой минерализации Кольского региона, еще раз подчеркивает уникальное видовое разнообразие ванадиевых минералов в метаморфических комплексах Кольского региона.

Минералы ванадиевой минерализации и минеральные виды, установленные при ревизионном изучении музейных образцов, расширяют перечень минеральных видов Кольского региона.

Убедительно показано, что для диагностики большинства минералов на уровне структурного типа использование методов рамановской спектроскопии дает хорошие результаты, позволяющие быстро и не разрушая объект получить данные о структурном состоянии минерального индивида.

Литература

1. Компанченко А. А., Волошин А. В., Базай А. В. V-Ti-оксиды в колчеданных рудах Южно-Печенгской структурной зоны, Кольский регион // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северо-Запада России: материалы XXVII молодежной науч. шк.-конф., посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К. О. Кратца и академика РАН Ф. П. Митрофанова. Апатиты, 2016. С. 95–97.
2. Кызылкумит: находка в Южном Прибайкалье (Россия), уточнение кристаллохимической формулы / Л. З. Резницкий и др. // ЗРМО. 2013. Ч. CXLII, № 2. С. 107–120.

3. Леденева Н. В., Пакульнис Г. В. Минералогия и условия образования уран-ванадиевых месторождений Онежской впадины (Россия) // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39, № 3. С. 258–268.
4. Пеков И. В. Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы / Творческое объединение «Земля» ассоциации «Экост». 2001. 464 с.
5. Семенов Е. И. Марганецсодержащие минералы — пирофанит, франклинит и вольфрамит в пегматитах Ловозерского массива // Тр. ИМГРЭ. 1963. № 15. С. 176–179.
6. Федотова М. Г., Ингуран В. А., Меньшиков Ю. П. К минералогии полиметаллических жил Мурманского побережья // Материалы по минералогии Кольского полуострова. Л.: Наука, 1971. Вып. 8. С. 153–167.
7. Юшкин Н. П. Минералогия на пороге нового тысячелетия // Уральский минералогический сборник. Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. № 9. С. 3–21.

А. В. Волошин, С. М. Карпов, А. В. Чернявский
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, vol@geoksc.apatity.ru

РИТМИЧНО-ПОЛОСЧАТЫЕ СТРУКТУРЫ ВОДЖИНИТ-МУСКОВИТ В РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТАХ ВОРОНЬИХ ТУНДР, КОЛЬСКИЙ РЕГИОН

В альбитизированных зонах редкометальных пегматитах ранее были обнаружены и изучены своеобразные ритмично-полосчатые структуры образованные микролитом и мусковитом [2]. При ревизии коллекции образцов с танталовой минерализацией авторами выявлен другой тип ритмично-полосчатых структур сформированных воджинитом и мусковитом.

Ритмично-полосчатые структуры обоих минералогических типов приурочены к тонкокристаллическим агрегатам мусковита, которые в виде блоков различного размера и формы заключены между сферокристаллами лепидолита.

Ритмика в таких блоках наблюдается со стороны контакта с зонами крупнозернистого строения, выполненными симпсонитом, воджинитом, микролитом и редко другими минералами (рис. 1). Начальной точкой ритмики служат участки крупнозернистого сложения либо отдельные крупные кристаллы.



Рис. 1. Ритмично-полосчатые структуры воджинит-мусковит (слева) и микролит-мусковит (справа) в краевых зонах крупных выделений минералов тантала (полостей выполнения). Стрелками показано направление ритмики. Снимки в косом освещении

Характер выделений и морфология индивидов в крупнозернистых зонах часто указывают на их рост в свободном пространстве. На «стенках полости» иногда вырастают щетки воджинита, головки отдельных его кристаллов направлены в сторону от ритмики (рис. 2).

Размер участков с ритмикой обычно не превышает 1 см, изредка более. По мере удаления от контакта с «полостями» ритмика постепенно исчезает. Ширина отдельных ритмов воджинита также уменьшается в этом направлении, при этом ширина ритмов сложенных мусковитом практически не меняется. Ширина ритма воджинита порядка 0,3–0,1 мм, мусковита — около 0,25 мм. Форма отдельных полос изогнутой, иногда волнистой формы, расположение почти параллельно друг другу. Часто ритмы, сложенные минералами тантала, имеют прерывистую линзовидную форму. В краевых частях блоков с ритмикой полосы смыкаются либо резко обрываются. Рисунок ритмичных участков в образцах часто напоминает узор «отпечатков пальцев».

Индивиды воджинита в ритме содержат многочисленные вростки (просечки?) микролита, различно ориентированные мелкие включения мусковита и других минералов (рис. 3). Ритмы мусковита мономинеральные, практически не содержат включений других минералов. Полосы сложены мелкими, ориентированными поперек полосчатости индивидами. Поверхность раздела между полосами разного состава изрезанной пилообразной формы.

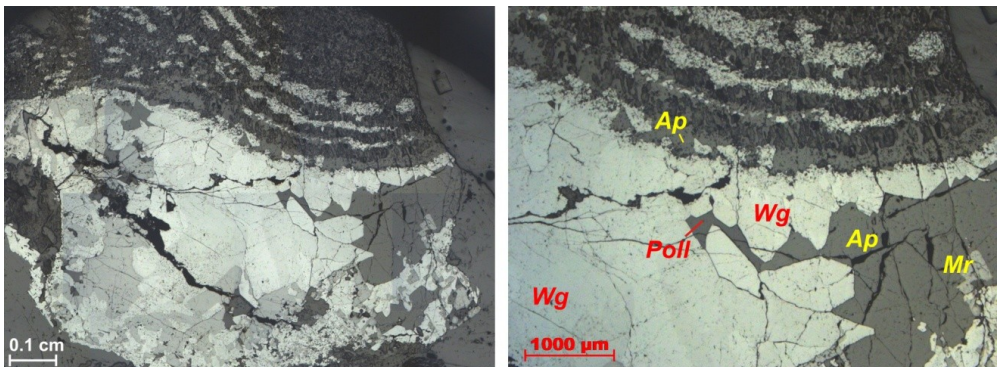


Рис. 2. Взаимоотношение зон крупнозернистого сложения и участков с ритмично-полосчатыми структурами. Снимки в отраженном поляризованном свете.
Wg — воджинит, *Ap* — апатит, *Mr* — микролит, *Poll* — поллуцит

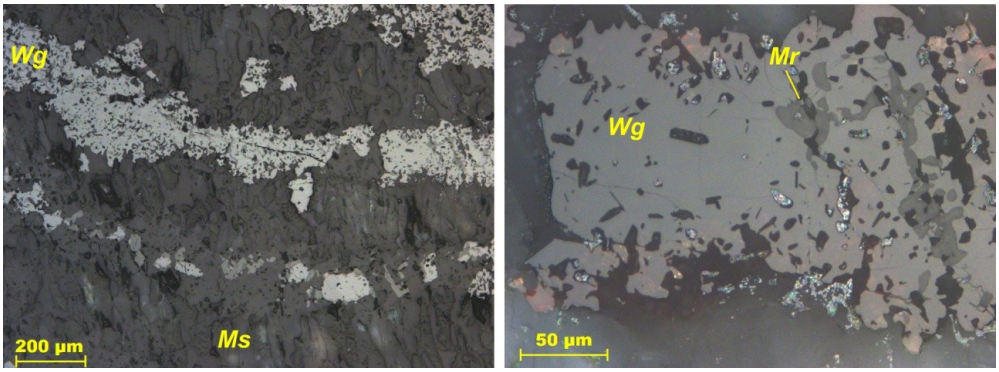


Рис. 3. Детали строения ритмов воджинит (*Wg*) — мусковит (*Ms*).
Снимки в отраженном поляризованном свете. *Mr* — микролит

Химические составы воджинита в полостях и индивидов воджинита из ритмично-полосчатых структур практически не различаются (табл.).

Химический состав воджинита, мас. %

Компоненты	В центре кр/з выделений		По краю полостей		В ритмах	
Ta_2O_5	70,69	71,03	68,23	69,92	70,23	69,77
Nb_2O_5	5,61	5,63	5,01	5,052	0,85	6,44
MnO	9,83	9,93	9,70	10,56	10,17	10,62
SnO_2	12,06	8,27	13,19	10,61	14,87	8,07
FeO	0,55	1,58	2,21	2,64	2,20	2,20
TiO_2	0,07	3,19	1,77	1,00	1,11	2,44
WO_3	0,21	0,21	0,14	0,14	0,24	0,24
Сумма	99,02	99,86	100,25	99,92	99,67	99,78

Примечание. Зондовые анализы выполнены на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca MS-46, аналитик Я. А. Пахомовский.

Рассмотренные ритмично-полосчатые структуры в редкометальных пегматитах Вороньих тундр по морфологии и характеру развития имеют общие особенности с аналогичными ритмично-полосчатыми структурами, описанными в литературе [1, 3]. Отличием является только минеральный состав ритмов, что предполагает и сходный механизм возникновения подобных ритмично-полосчатых структур.

Литература

1. Васильева А. И. Морфогенетические особенности ритмических текстур и их роль в выяснении условий рудообразования (на примере ряда железорудных месторождений Сибири). М.: Наука, 1970. 128 с.
2. Волошин А. В., Пахомовский Я. А. Ритмично-полосчатые структуры микролит-мусковит в редкометалльных пегматитах // ЗВМО. 1983. Вып. 5. С. 520–526.
3. Масгутов Р. В. О ритмично-полосчатых структурах в пегматитах // Изв. АН КазССР, Сер. геол. 1972. № 4. С. 51–57.

Д. А. Габов, В. В. Субботин, Е. Э. Савченко
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, gabov_da@mail.ru

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ CU-NI-ЭПГ-МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЮЖНОГО РИФА, ЗАПАДНО-ПАНСКИЙ РАССЛОЕННЫЙ ИНТРУЗИВ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ

Введение

Западно-Панский расслоенный массив представляет собой пластообразное тело с выдержанным простиранием отдельных слоев, падающих на юго-запад под углом 25–35°. Он является крупнейшей частью Федорово-Панского базит-гипербазитового платиноносного интрузивного комплекса [1, 2, 5, 6 и др.]. Главные элементы структуры массива — нижний (НРГ) и верхний (ВРГ) расслоенные горизонты, контролируют сульфидную медно-никелевую минерализацию и связанное с ней платинометалльное оруденение. С НРГ связан Северный платиноносный риф, в пределах ВРГ находится Южный платиноносный риф. Общая протяженность каждого рифа более 20 км.

Северный риф представлен выдержанной по простиранию и падению сульфидоносной зоной шириной 5–15 м, согласной с расслоенностью пород НРГ. Мощность собственно сульфидных зон варьирует от первых десятков сантиметров до 5–6 м. Сульфидная Cu-Ni-ЭПГ-минерализация Северного рифа устойчиво выдержана по основным параметрам (табл. 1). В последнее десятилетие здесь разведаны два платинометалльных месторождения малосульфидного типа — Киевей и Северный Каменник [2, 5].

В Верхнем расслоенном горизонте зоны сульфидной минерализации с платинометалльным оруденением (Южный риф) локализованы вблизи кровли протяженного слоя анортозитов. Сульфиды образуют согласные линзы и шлировидные зоны мощностью 0,5–2,0 м и протяженностью до первых сотен метров. Минерализация крайне не выдержанная, прерывистая по простиранию и падению, что является одной из главных отличительных черт оруденения Южного рифа. Другие характерные особенности минерализации Южного рифа по сравнению с Северным (табл. 1): очень высокие, даже рекордные для массива содержания ЭПГ; резкие вариации содержаний металлов; максимальная для массива степень концентрации ЭПГ в сульфидной фазе; максимальная степень обогащения палладием относительно платины.

Таблица 1

Характеристика Cu-Ni-ЭПГ-сульфидной минерализации
Северного и Южного рифов Западно-Панского массива

Северный риф	Южный риф
Неравномерная интерстициальная сульфидная вкрапленность Ccp-Pn-Po-типа, среднее содержание сульфидов около 1 мас. %	Крайне неравномерное, бедное сульфидное оруденение представлено смешанными ассоциациями Ccp-Pn-Po и Ccp-Mlr-типов, среднее содержание сульфидов 0,5–1 мас. %
ЭПГ + Au — 0,8–8 г/т	ЭПГ + Au — 1–20 г/т, в единичных пробах до 220 г/т
Ni — 0,05–0,15 мас. %	Ni — 0,03–0,13 мас. %
Cu — 0,05–0,20 мас. %	Cu — 0,05–0,20 мас. %
Pd/Pt = 6,7	Pd/Pt = 9,5
Cu/Ni = 1,1	Cu/Ni = 1,9

Основные черты минерального состава платинометалльного оруденения обоих рифов, их сходство и различия рассмотрены ранее [1, 2, 5, 6]. Настоящая работа посвящена, главным образом, особенностям локализации, строения и состава сульфидов Pt и Pd — минералов ряда брэггит-высоцкит. Они являются главными концентраторами ЭПГ в оруденении Южного рифа.

Материалы и методы исследования

Изучение минерального состава проводилось методами оптической и электронной микроскопии в аншлифах, отобранных при проведении секционного, бороздового и штуфного опробования из керна скважин, коренных обнажений и близкоренных развалов оруденелых пород Южного рифа. Все минералы и фазы ЭПГ и Au диагностированы по химическому составу. Всего выполнено около 800 анализов минералов благородных металлов и главных сульфидов на SEM Leo-1450 с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром Bruker XFlash-5010 и программным обеспечением Quantax-200. Несколько десятков этих анализов продублированы на рентгеноспектральном микроанализаторе MS-46 CAMECA с использованием стандартных методик и эталонов. Значительная часть зерен платиноидов, Au и рудообразующих сульфидов диагностирована по рентгеновским спектрам методом сравнения с эталонными спектрами известных минералов.

Сульфидная Cu-Ni- и ЭПГ-минерализация

Сульфидная минерализация в Южном рифе представлена смешанными ассоциациями халькопирит-пентландит-пирротинового (Ccp-Pn-Po) и халькопирит-миллеритового (Ccp-Mlr) типов. Содержание сульфидов колеблется от 0,1 до 2 мас. %, а размер выделений от тысячных долей до 2–3 мм. Морфологически это бедная,

крайне неравномерная, рассеянная, интерстициальная вкрапленность с редкими переходами к гнездово- или прожилково-вкрапленным текстурам (рис. 1). В целом преобладает минерализация Ccp-Pn-Po-состава. Вторичные и акцессорные минералы представлены пиритом, борнитом, виоларитом, полидимитом, кубанитом, талнахитом, ковеллином, дигенитом, халькозином, кобальтином, сфалеритом, галенитом, клаусталитом.

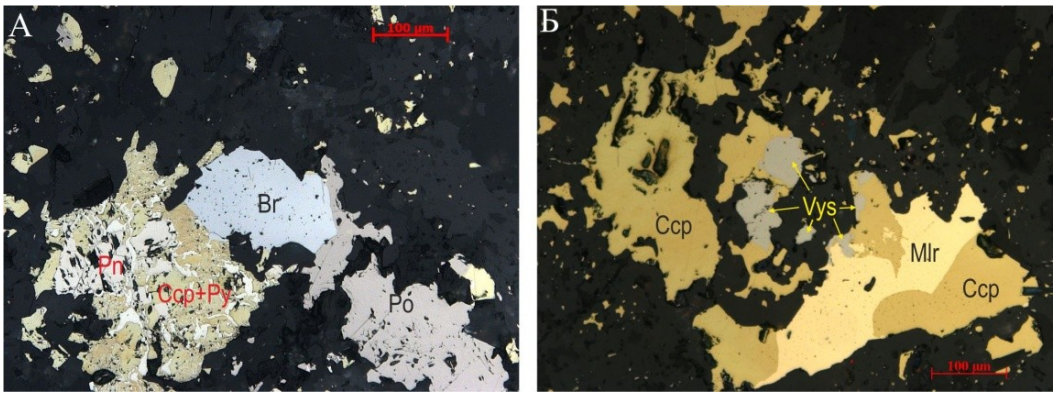


Рис. 1. Морфологические особенности сульфидной вкрапленности халькопирит-пентландит-пирротинового (А) и халькопирит-миллеритового (Б) типов. Ccp — халькопирит, Po — пирротин, Pn — пентландит, Mlr — миллерит, Py — пирит, Br — брэггит, Vys — высоцкит. Фото аншлифов

Качественный состав ЭПГ-минерализации, связанный с обоими типами сульфидных ассоциаций приведен в табл. 2. В обоих случаях он схожий и весьма сложный. На данный момент установлено 33 минеральных вида, а также несколько фаз, не имеющих названий. Количественные оценки, основанные на диагностике и измерении размеров около тысячи зерен платиноидов и золота, показывают, что главными концентраторами ЭПГ в обоих типах ассоциаций Южного рифа являются сульфиды Pt и Pd ряда брэггит-высоцкит (рис. 1). Наиболее часто встречаемые минералы: брэггит, высоцкит, котульскит, кейтконнит и теллуропалладинит. Но в общем объеме МПМ, из-за значительных размеров выделений, подавляющую роль играют брэггит-высоцкиты — до 96 %, доля висмуто-теллуридов — 2–2,5% и всех оставшихся — менее 2 %. Морфологические особенности наиболее типичных и некоторых редких минералов ЭПГ показаны на рис. 2.

Таблица 2

Минералы ЭПГ и Au из оруденения Южного рифа и их распространенность в халькопирит-пентландит-пирротиновой (Ccp-Pn-Po) и халькопирит-миллеритовой (Ccp-Mlr) ассоциациях

Минералы и минеральные фазы	Ccp-Pn-Po	Ccp-Mlr	Минералы и минеральные фазы	Ccp-Pn-Po	Ccp-Mlr
Золото (Au,Ag,Pd)	в	в	Холлингуортит (Rh,Pt,Pd)AsS	р	р
Изоферроплатина $(Pt,Pd)_3Fe$	р	–	Сперрилит $PtAs_2$	в	–
Хонгшит (Pt,Pd)Cu	р	–	Стиллуотерит Pd_8As_3	в	р
Серебро (Ag,Au)	р	р	Винцентит $(Pd,Pt)_3(As,Sb,Te)$	в	р
Палладий (Pd,Ag)	р	–	Мертиит $Pd_{11}(Sb,As)_4$	р	–
Скаергаардит (Pd,Cu,Zn)	р	–	Койоненнит* $Pd_{7-x}SnTe_2$	р	–
Звягинцевит Pd_3Pb	в	в	Мончеит $(Pt,Pd)(Te,Bi)_2$	в	р
Атокит $(Pd,Pt)_3Sn$	р	–	Кейтконнит $Pd_{3-x}Te$	в	в
Паоловит $(Pd,Au)_2Sn$	р	–	Теллуропалладинит Pd_9Te_4	в	в
Брэггит (Pt,Pd,Ni)S	Г	Г	Котульскит Pd(Te,Bi)	в	в
Высоцкит (Pd,Pt,Ni)S	Г	Г	Меренскиит $(Pd,Pt)(Te,Bi)_2$	р	–
Василит $Pd_{16}S_7$	р	–	Теларгпалит $(Pd,Ag)_{3+x}Te$	р	р
Купродосит $Cu(Rh,Pt)_2S_4$	р	–	Сопчеит $Ag_4Pd_3Te_4$	р	–
Феррородсит $(Fe,Cu)(Rh,Pt,Ir)_2S_4$	–	р	Луккулайсваараит $Pd_{14}Ag_2Te_9$	–	р
Лаурит $(Ru,Os)S_2$	р	р	Без назв. Pt_5Te_7 ?	р	–
Маланит $Cu(Pt,Ir)_2S_4$	р	–	Без назв. Pd_3 (Ge,Te) ?	р	–
Колдвеллит Pd_3Ag_2S	р	р	Без назв. $Pd_5Ag(Pb,Bi)S_2$?	р	в
Лафламмеит $Pd_3Pb_2S_2$	р	р	Без назв. $Pd_6Ag_5(Pb,Tl)Se_2$?	р	–
Ирарсит (Ir,Ru,Rh,Pt)AsS	р	–			

Примечание. Г — главный, в — второстепенный, р — редкий, «–» — не обнаружен.

*Первая находка в России.

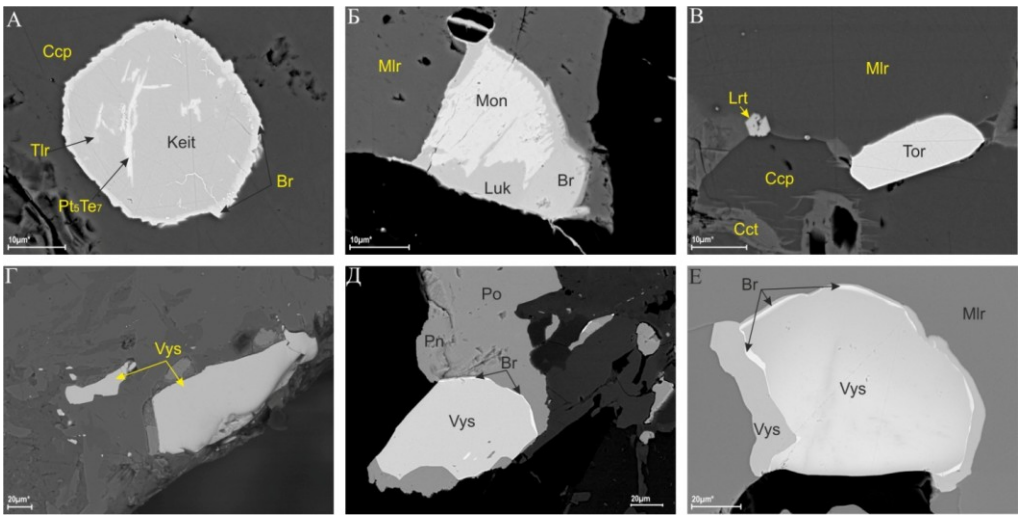


Рис. 2. SEM-фото наиболее типичных и некоторых редких минералов ЭПГ Южного рифа: А — каплевидное зерно кейтконнита (Keit) с брэггитовой (Br) оторочкой в халькопирите (Ccp). Tlr — теларгпалит, Pt_5Te_7? — минеральная фаза; Б — сложный комплексный сросток мончеита (Mon), луккулайсвааранта (Luk) и брэггита в краевой части миллеритового зерна (Mlr); В — торнроозит (Tor) и лаурит (Lrt) в сульфидном агрегате, Ccp — халькопирит, Mlr — миллерит, Cct — халькозин; Г — однородные по составу зерена высоцкита (vys) среди силикатов; Д — зональный двухфазный брэггит(Br)-высоцкит(Vys) в пирротин(Po)-пентландитовом(Pn) агрегате; Е — зональный трехфазный брэггит-высоцкит в халькопирит-миллеритовом агрегате

Зональные сульфиды Pt и Pd

Брэггит и высоцкит — два минерала, образующие в силу своей изоструктурности непрерывный изоморфный ряд (Pt,Pd,Ni)S-(Pd,Pt,Ni)S, хорошо фиксирующийся на тройных диаграммах состава (рис. 3). Хорошо изучены как природные представители этого ряда, так и многочисленные синтетические аналоги [7–9 и др.]. В платиноносных сульфидных зонах Федорово-Панского интрузивного комплекса они образуют крупные (до нескольких сотен микрометров) зерна сложной морфологии, часто зональные (рис. 2, Д, Е). Зональность фиксируется ступенчатым или плавным изменением состава минералов при электронно-микроскопических исследованиях. В оптическом диапазоне зональность не видна.

Химические составы минералов этого ряда проявляют типоморфные свойства в зависимости от принадлежности к Ccp-Pn-Po- или Ccp-Mlr-ассоциациям и от состава вмещающей матрицы (сульфид/силикат) — рис. 3, А и В. Так, в парагенезисах с миллеритом и включенные в сульфидную матрицу брэггиты-высоцкиты значительно более никелистые.

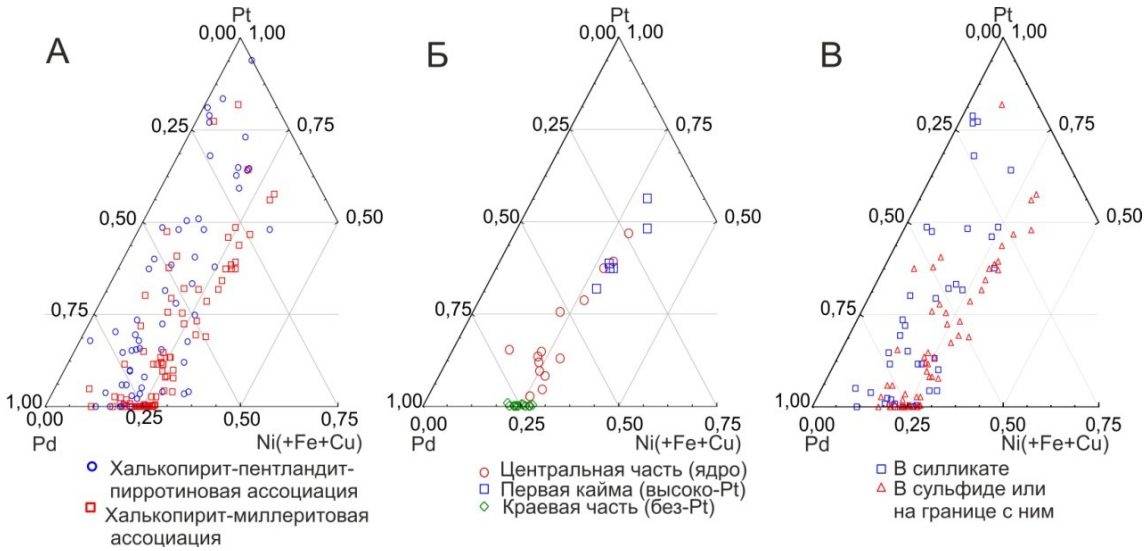


Рис. 3. Тройные диаграммы составов (ak) сульфидов Pt и Pd, SEM/EDS и м/з анализы:
А — составы минералов из Ccp-Pn-Po и Ccp-Mlr-ассоциаций, Южный риф (N = 141); Б — составы отдельных зон зональных зерен, Южный риф (N = 35); В — составы зерен в зависимости от наличия/отсутствия у них общих границ с Cu-Ni-Fe-сульфидами, Южный и Северный риф (N = 99)

Для зональных зерен отмечается закономерность в изменении состава отдельных зон (рис. 3, Б). Состав ядра может меняться от существенно палладиевого до существенно платинового члена ряда. Следующая после ядра зона — чаще всего брэггитового состава (высокоплатиновая). Краевые зоны, как правило, сложены бесплатиновым высоцкитом.

В целом, проявления зональности в брэггитах-высоцкитах подчиняются следующим закономерностям:

- во всех случаях зональные зерна контактируют с Cu-Ni-Fe-сульфидами и расположены, как правило, на границе сульфид/силикат, реже — внутри сульфидов;
- зерна, расположенные в силикатах, зональности не проявляют (рис. 2, Г);
- границы зон четкие и в целом повторяют контуры зерен по линии соприкосновения с вмещающими сульфидами и, как правило, прерываются на контакте с силикатом (рис. 2, Д, Е);
- количество зон зависит от состава вмещающего Cu-Ni-Fe-сульфидного агрегата. Зональные зерна из Ccp-Po-Pn-ассоциации имеют только одну тонкую, высокоплатиновую (брэггитовую) кайму (рис. 2, Д). В Ccp-Mlr-ассоциации добавляется еще одна широкая, бесплатиновая (высоцкитовая) кайма (рис. 2, Е).

Обсуждение и выводы

Несмотря на широкую распространенность сульфидов Pt и Pd, тема зональности в них слабо отражена в научной литературе. Встречаются единичные упоминания и редкие фотографии применительно к комплексам Lac des Iles (Канада), Penicat (Финляндия) и Норильска [10, 11, 12]. Генезис зональности не обсуждается, а неоднородность в составе объясняется выносом Pd и Ni из минералов в процессе выветривания [8, 12].

Установленная для брэггит-высоцкитов Южного и Северного рифов существенная разница в составах минералов, имеющих либо не имеющих общую границу с Fe-Cu-Ni-сульфидами (рис. 3, В), доказывает, что они реагируют с сульфидным расплавом. Следовательно, логично рассматривать их формирование через эволюцию сульфидного расплава а в дальнейшем — твердых растворов по мере их остывания. Эволюция самих сульфидных расплавов достаточно хорошо изучена экспериментально [3, 4 и др.].

Предполагаемая идеализированная модель формирования минеральной зональности в сульфидах Pt и Pd показана на рис. 4. Ядро, являясь наиболее ранней и высокотемпературной частью зонального зерна, могло кристаллизоваться непосредственно из богатого ЭПГ сульфидного расплава (рис 4, А). Состав ядра достаточно случаен, что, вероятно, зависит от локальных физико-химических условий, так как даже рядом расположенные зональные зерна могут существенно различаться (рис. 3, Б). Сформированное ядро выдавливается к краю сульфидной «капли» или оседает на дно из-за высокой плотности. При остывании системы после кристаллизации Mss происходит обогащение остаточного расплава платиной, потому что она не способна растворяться ни в одной из главных фаз после распада Mss. Происходит ее концентрирование в зоне жидкости, лежащей по составу в пределах от борнита до моихукита (Iss). При этом богатая платиной жидкость сосуществует с сульфидом платины [4]. Таким образом, при кристаллизации твердого раствора неспособная к растворению платина «нарастает» в виде высокоплатиновой сильфидой каймы на уже сформированном ядре (рис 4, Б).

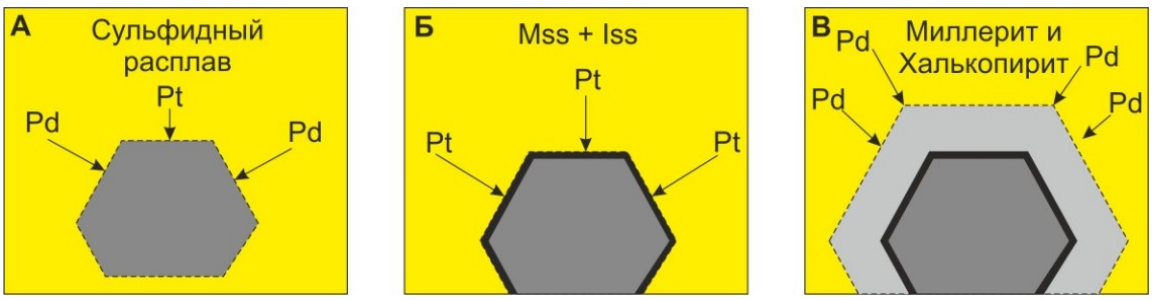


Рис. 4. Предполагаемая идеализированная модель формирования концентрической зональности в сульфидах Pt и Pd

Согласно экспериментальным данным [9], содержание Pd в Hz-Iss твердых растворах составляет до 1,5 ат. % и увеличивается по мере увеличения содержания Ni и Cu в них, а пентландит, формирующийся при распаде твердых растворов, способен включать в себя до 1 ат. % Pd [9]. Если при распаде твердых растворов пентландит не будет сформирован, то высвободившийся Pd будет образовывать собственные минеральные фазы, так как другие сульфидные минералы (в нашем случае это Ccp и Mlr) не способны к его растворению в ощутимых количествах (рис. 4, В).

Наличие зональных зерен среди продуктов кристаллизации сульфидного расплава доказано экспериментально [7], причем платиновые разности образуют центральные части зерен, а палладиевые — краевые. При нагревании зональных зерен происходит их гомогенизация и образование зерен с одинаковым содержанием платины и палладия. Из этого следует, что наличие зональности Pt-Pd-сульфидов может являться свидетельством их магматогенного происхождения и отсутствия существенных постмагматических преобразований.

Литература
1. Габов Д. А., Рундквист Т. В., Субботин В. В. Платинометалльная минерализация Западно-Панского массива (Кольский полуостров) // ДАН. 2007. Т. 414, №. 2. С. 215–218.
2. Геология и вещественный состав руд малосульфидного платинометалльного месторождения Северный Каменник в Западно-Панском массиве (Кольский полуостров, Россия) / А. У. Корчагин и др. // Руды и металлы. 2016. № 1. С. 42–51.
3. Налдред А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд // СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. 487 с.
4. Петрология сульфидного магматического рудообразования / В. В. Дистлер и др. М.: Наука, 1988. 232 с.
5. Платинометалльное месторождение Киевей в Западно-Панском расслоенном массиве: геологическое строение и состав оруденения / А. У. Корчагин и др. // Интеррег-Тасис проект: Стратегические минеральные ресурсы Лапландии — основа устойчивого развития Севера: сб. материалов проекта. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. Вып. II. С. 12–32.
6. Субботин В. В., Корчагин А. У., Савченко Е. Э. Платинометалльная минерализация Федорово-Панского рудного узла: типы оруденения, минеральный состав, особенности генезиса // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 55–66.
7. Kravchenko T. A. Platinum and palladium sulfides in the crystallization products of melts in the Cu-Fe-S system // New Data on Minerals. 2013. Vol. 48. P. 80–85.
8. Merkle R. K., Verryn S. M. Cooperite and braggite from the Bushveld Complex: implications for the miscibility gap and identification // Mineralium Deposita. 2003. Vol. 38, No. 3. P. 381–388.
9. Peregoedova A., Ohnenstetter M. Collectors of Pt, Pd and Rh in a S-poor Fe-Ni-Cu sulfide system at 760 C: experimental data and application to ore deposits // The Canadian Mineralogist. 2002. Vol. 40, No. 2. P. 527–561.
10. The mineralogy and behaviour of PGM during processing of the Noril'sk-Talnakh PGE-Cu-Ni ores / S. M. Kozyrev et al. // The geology, geochemistry, mineralogy and mineral beneficiation of platinum-group elements, Special. 2002. Vol. 54. P. 757–791.
11. Watkinson D. H., Lavigne M. J., Fox P. E. Magmatic-hydrothermal Cu-and Pd-rich deposits in gabbroic rocks from North America // The geology, geochemistry, mineralogy and mineral beneficiation of platinum-group elements, Special. 2002. Vol. 54. P. 229–319.
12. Zoned sulfides and sulfarsenides of the platinum-group elements from the Penikat layered complex, Finland / A. Y. Barkov et al. // The Canadian Mineralogist. 2004. Vol. 42, No. 2. P. 515–537.

М. А. Ганнибал[1], И. Л. Каменский[1], И. Н. Толстихин[1,2], В. И. Скиба[1], А. В. Гудков[1]
[1]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, m.a.gannibal@gmail.com*
[2]*Институт космических исследований РАН, Москва*

ГЕЛИЙ И АРГОН В ЩЕЛОЧНОМ АМФИБОЛЕ: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, СОХРАННОСТЬ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Минералы группы амфибола широко используются для изотопных исследований благородных газов (далее — БГ), например, для $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирования [5] или изотопно-геохимических реконструкций [6]. В опубликованных недавно работах [8] также отмечалась возможная роль амфибола качестве носителя галогенов и благородных газов в процессе их субдукции в мантию. Однако соответствие возрастных плато реальным значениям возраста неоднократно ставилась под сомнение [4, 7] из-за возможного несоответствия динамики миграции ^{40}Ar механизму объемной диффузии, связанное, главным образом, с особенностями структуры минерального вида и его поведения при нагревании в вакууме. Поэтому акцент в таких исследованиях следует делать на изучении поведения БГ различного генезиса, что достигается эффективным комбинированием методов экстракции БГ из разных мест их нахождения и оценкой их подвижности в пределах каждого из этих мест.

В рамках данной работы были использованы следующие методики экстракции газов.

Линейный нагрев: нагрев образца в вакууме с линейным увеличением температуры и одновременной (непрерывной) регистрацией ионных токов выделяющихся гелия и/или химически активных газов. Позволяет выделить максимальное количество пиков выхода исследуемых газов, предположительно соответствующее отдельным местам их нахождения в минерале.

Ступенчатый нагрев/плавление: выдержка образца при определенной температуре (вплоть до температуры плавления) в течение фиксированного промежутка времени (обычно около 30 мин) и последующее измерение количества и изотопного состава БГ в выделившихся газах. Следует отметить, что часть пиков выхода газов при таком методе экстракции не разрешается.

Дробление: измельчение образца в предварительно вакуумированной стеклянной ампуле; такой метод позволяет измерить количество и изотопный состав благородных газов, содержавшихся в газово-жидких включениях, вскрытых дроблением. Оценки показывают, что обычно выделяется около 50 % газа из включений, выход БГ из дефектов решетки крайне незначителен.

Помимо экспериментального разделения БГ разного происхождения, одним из наиболее полезных приемов является сопоставление измеренных концентраций изотопов БГ с рассчитанными из концентраций родительских элементов, химического состава пород (для гелия-3) и априорных данных о возрасте геологического объекта [2].

Различие расчетных концентраций БГ и экспериментально выделенной радиогенной компоненты, генерированной in situ, определяется ее сохранностью в минералах на протяжении всей геологической истории объекта.

В рамках данной работы были исследованы образцы амфибола, отобранные из щелочных гранитов Понойского массива и сопки Платон-Гора (Кольский полуостров). Для пород Понойского массива был определен возраст кристаллизации и метаморфизма U-Pb-методом по ядрам и оболочкам цирконов, который составил 2666 и 1802 млн лет соответственно [1].

K-Ar-возраст (2120 млн лет) амфибола превышает возраст метаморфизма. Разница соответствует ≈ 35 % избытку ^{40}Ar*, находящемуся, вероятно, в газово-жидких включениях (при дроблении выделяется ≈ 15 % ^{40}Ar*). Вероятнее всего, во время метаморфизма часть генерированного in situ ^{40}Ar* в течение интервала времени от 2666 до 1802 млн лет, была потеряна, а оставшийся аргон мог мигрировать во включения и сохраниться в них. Аргон в амфиболе гораздо менее подвижен, чем гелий: пик аргона приблизительно соответствует температуре разложения амфибола (~ 900 °C) и заметно превышает температуру метаморфизма (≈ 500 °C).

Доля гелия, извлекаемого дроблением, составляет в среднем 3 % от валовых концентраций. Это обстоятельство, наряду со схожим изотопным составом гелия во включениях и в кристаллической матрице, указывает на образование гелия in situ. Величина ^{3}He/^{4}He в изученных образцах существенно (в среднем на полтора порядка) превышает среднекоровое значение. Такой избыток ^{3}He обычно интерпретируется как вклад мантийной компоненты, однако в данном случае он связан с высокими концентрациями лития в амфиболе. Дополнительным аргументом в пользу генерации легкого изотопа гелия in situ является прямая корреляция между концентрациями ^{3}He и лития.

Анализ концентраций изотопов гелия и родительских элементов (U, Th и Li) показывает, что большая часть возникшего в амфиболе гелия была потеряна. Однако сохранность ^{3}He (0,38) существенно превышает значение этого параметра для ^{4}He (0,16), что могло быть вызвано следующими обстоятельствами.

1. Хотя оба радиогенных изотопа He возникают в экзотермических ядерных процессах, приводящих к выделению близких средних энергий, при распаде уранового ряда в месте локализации исходного атома урана происходит 8 последовательных α-распадов, причем максимальная энергия почти в два раза превышает энергию, выделяющуюся в ходе реакции на ядрах ^{6}Li, ответственной за появление ^{3}He.

2. U и Th обычно концентрируются в микроминеральных включениях в амфиболе, и α-треки образуют лучистые структуры вокруг этих включений [3]. Когда «открывается» трек, принадлежащий к «лучистой» структуре, он также открывает пути для стока других атомов гелия. В отличие от U и Th, атомы Li занимают структурные позиции в кристаллической решетке амфибола, поэтому треки, возникающие в результате реакции ^{6}Li(n, α)^{3}H→^{3}He, с большей вероятностью будут находиться в пределах минерального зерна.

Из данных ступенчатого отжига следует, что в температурных фракциях, где количества гелия не менее чем на порядок превышают таковые в холостых опытах (500–900 °C), отношение ^{3}He/^{4}He возрастает в 4 раза. Однако вопрос о том, является ли различная сохранность изотопов гелия следствием различия их «современной» подвижности или потерь «в прошлом», непосредственно после образования этих нуклидов, требует количественной оценки на основании адекватной диффузионной модели.

Для определения мест нахождения и изучения подвижности He в амфиболе был использован линейный нагрев. Результаты проведенных опытов сводятся к следующему:

1. При достаточно большой скорости нагрева (обычно более 5–7 °C мин$^{-1}$) зерен амфибола поток ^{4}He, выделявшегося из минерала, выглядел как суперпозиция двух пиков: плавное увеличение потока ^{4}He начиная с 400 °C и последующий острый пик выделения гелия с максимумом при ≈ 700 °C.

2. В исследованных образцах амфибола, однако, дробление не высвобождает достаточного количества гелия из включений, чтобы можно было объяснить два пика выделения.

3. Соотношение размеров двух пиков в одинаковых условиях опыта различается от образца к образцу; в одном и том же образце оно зависит от скорости прогрева и размера зерен. При анализе раздробленных или растертых проб наблюдается только один «диффузионный» пик, смещенный по температурной шкале в сторону низких температур не менее чем на 50 °C (см. рис.).

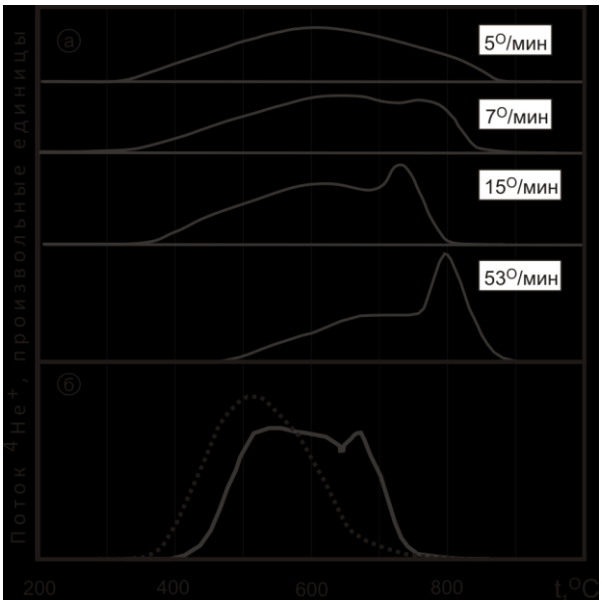
Резкое повышение скорости выделения гелия из минералов может быть вызвано двумя факторами: во-первых, наличие в образцах амфибола микроминеральных включений, обогащенных U и Th обусловливает неоднородное распределение ^{4}He. При быстром нагреве зерен эта неоднородность могла сохраниться, тогда два пика выхода гелия отражают два типа мест нахождения — структура амфибола и структура минеральных включений, тогда как при медленном нагреве гелий из таких включений успевает мигрировать в решетку амфибола. С другой стороны, изучаемый пик выделения гелия может и не соответствовать какому-либо специфическому месту нахождения, а отражать некий процесс, происходящий при нагревании некоторых разновидностей амфибола в вакууме. В общем случае, скорость диффузии контролируется проницаемостью кристаллической решетки и размером диффузионных доменов (участков зерна, в пределах которых движение

атомов He обусловлено диффузией). Таким образом, если при быстром нагревании в вакууме в образце возникают внутренние напряжения (например, в результате различия коэффициентов термического расширения минеральных включений и вмещающего амфибола), это может привести к «дроблению» образца.

Также следует принимать во внимание химические процессы, которые могли бы изменить диффузионные свойства решетки амфибола и таким образом стимулировать быстрое выделение гелия. В работе Ли [7] отмечается существенное изменение параметров кристаллической решетки амфибола в диапазоне температур 600–800 °C. По мнению автора, это связано с окислением двухвалентного железа и выделением водорода в соответствии с реакцией:

$$Fe^{2+} + OH^{-} \leftrightarrow Fe^{3+} + 1/2H.$$

Синхронная регистрация ^{4}He и главных компонентов летучих, выделяющихся при нагревании образца амфибола, показала, что «исчезающему» пику гелия действительно соответствует максимум водорода.



Выделение гелия из образцов амфибола методом линейного нагрева:
а — линейный нагрев амфибола ГИМ-5892 (Платон-Гора, Кейвы): при высокой и низкой скорости нагрева образца: относительный размер «исчезающего» пика тем меньше, чем ниже скорость нагрева отсутствует;
б — выход гелия при линейном нагреве зерен (сплошная линия) и истертого образца (пунктир) амфибола (образец 30/90, Поной). Пик выхода гелия из истертой пробы смещен в сторону более низкой температуры, «исчезающий» пик отсутствует

Чтобы проверить, соответствует ли «исчезающему» пику начальное неоднородное распределение гелия в образце или процесс, стимулирующий выделение гелия, два образца амфибола были прогреты до температуры 410 °C в течение суток. Температура была выбрана таким образом, чтобы обеспечить ощутимую убыль гелия путем диффузии из решетки, не прогревая образец до области температур, в которой могут происходить вышеупомянутые физические и химические процессы. Тогда, если наличие высокотемпературного пика гелия в амфиболе обусловлено исключительно этими процессами и не соответствует отдельному типу мест нахождения, то при линейном нагреве исходного и предварительно прогретого образца форма кривой выхода гелия должна быть более или менее одинаковой. В действительности, такой прогрев привел к существенному уменьшению (вплоть до полного исчезновения) низкотемпературного пика. «Исчезающий» пик сохранился, но сместился вниз по температурной шкале на примерно 50 °C. С одной стороны, эти данные указывают на то, что каждый пик выхода гелия соответствует определенному месту нахождения. Однако смещение «исчезающего» пика, вызванное, по всей видимости, изменениями в структуре амфибола после прогрева до 410 °C позволяет предположить, что в интервале температур от 600 до 800 °C, где наряду с гелием выделяется водород, а также начинается выделение воды и других газовых компонентов, химические и, возможно, механические процессы определенно должны также оказать влияние на подвижность гелия.

Для объяснения и количественной характеристики этих процессов необходимы дополнительные исследования. Несомненно, однако, что анализ благородных газов, дополненный оптимальным сочетанием методик экстракции газов, является информативным методом исследования эволюции летучих компонентов в минералах метаморфизованных древних пород.

Работа поддержана грантом 16-05-00756 Российского фонда фундаментальных исследований.

Литература
1. Ветрин В. Р., Родионов Н. В. Геология и геохронология неоархейского анорогенного магматизма Кейвской структуры, Кольский полуостров // Петрология. 2009. 17(6). С. 578–600.
2. Естественный нейтронный фон атмосферы и земной коры / Г. В. Горшков и др. М.: Атомиздат, 1966. 410 с.
3. Комаров А. Н. О форме нахождения урана в некоторых минералах, используемых для датирования U-Pb-методом // Проблемы датирования докембрийских образований / под ред. Ю. А. Шуколюкова. Л.: Наука, 1977. С. 225–234.
4. Gaber L. J., Foland K. A., Corbato C. E. On the significance of argon release from biotite and amphibole during vacuum heating // Geochim. Cosmochim. Acta. 1988. Vol. 52. P. 2457–2465.
5. Harrison, T. M. Diffusion of ^{40}Ar in hornblende // Contrib. Mineral. Petrol. 1981. Vol. 78. P. 324–331.
6. Kamensky I. L., Tolstikhin I. N., Vetrin V. R. Juvenile helium in ancient rocks: I. ^{3}He excess in amphiboles from 2,8 Ga charnokite series — Crust-mantle fluid in intracrustal magmatic processes // Geochim. Cosmochim. Acta. 1990. Vol. 54. P. 3115–3122.
7. Lee J. K. W. The argon release mechanisms of hornblende in vacuo // Chem. Geol. 1993. Vol. 106. P. 133–170.
8. Noble gas transport into the mantle facilitated by high solubility in amphibole / C. R. M. Jackson et al. // Nat. Geosci. 2013. Vol. 6. P. 562–565.

Н. Ю. Грошев
Геологический институт КНЦ, Апатиты, nikolaygroshev@gmail.com

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОСТАВА ПЛАГИОКЛАЗА КАК ИНДИКАТОРА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОГО РИФА В РАССЛОЕННОМ БАЗИТОВОМ ИНТРУЗИВЕ

Введение

Геолого-разведочные работы компаний «Урал Минералс» и «Баррик Голд» на Западно-Панском массиве, завершенные при участии Геологического института КНЦ и ОАО «Пана» в 2015 г., доказали промышленную значимость Северного платиноносного рифа [4, 5, 8], в котором были открыты два месторождения (рис. 1). Эти работы показали также отсутствие на данный момент экономического значения для Южного рифа, на начальных этапах поисков демонстрировавшего наиболее высокие концентрации элементов платиновой группы (ЭПГ). Северный и Южный рифы, являясь типичными примерами платинометаллльной минерализации в центральной части интрузива, подобно рифам Меренского и Бастард в ЮАР, могут быть использованы как эталонные для Фенноскандинавского щита объекты сравнительного изучения различающихся своим рудным потенциалом платиноносных зон по большому спектру генетических параметров, включая состав плагиоклаза.

Петрогенетическое значение плагиоклаза в расслоенных базитовых интрузиях обсуждается в целом ряде работ отечественных и зарубежных авторов [6, 7, 9, 10, 12, 13 и др.]. Основным методом изучения особенностей состава и зональности минералов является рентгеноспектральный микроанализ. Систематические микрозондовые данные о составе плагиоклаза по разрезу Западно-Панского интрузива появились одновременно с первыми сведениями о его платиноносности в конце прошлого столетия [6]. В разрезах Северного рифа, изучавшихся в те годы преимущественно в обнажениях, установлены резкие колебания содержания An в плагиоклазе (An_{63}–An_{86}), которые, как показали последующие исследования по керну скважин [11], маркируют положение оруденения в расслоенной толще кумулатов. Данные о составе плагиоклаза в анортозитах Южного рифа, наоборот, показывают отсутствие значимых вариаций его состава по разрезу рудной зоны [1] и отражают его явное генетические отличие от Северного рифа. Целью доклада является демонстрация характера вариаций состава плагиоклаза в разрезах Северного и Южного рифов по имеющемуся далеко не полному банку данных, методичное пополнение которого может явиться главной задачей отдельной научно-исследовательской работы.

Материалы и методика исследований

Для изучения вариаций состава плагиоклаза был использован керновый материал месторождений Киевей (скв. 23 [11]), Северный Каменник (скв. BG-N-126 [2]) и материалы участка Южный Каменник (скв. BG-S-30 [1]). Скважины 23 и BG-N-126 представляют Северный риф, скважина BG-S-30 — Южный риф. Состав плагиоклаза исследовался, главным образом, на микроанализаторе MS-46 Cameca (аналитик Е. Э. Савченко, ГИ КНЦ РАН). Детали методики анализа приведены в работе [1]. Распределение объема аналитических данных по объектам в настоящее время неравномерно: по скважине BG-N-126 выполнено 8, по скважине BG-S-30 — 79 микрозондовых определений состава плагиоклаза. В скважине 23 состав плагиоклаза изучался косвенным способом — путем расчета CIPWD-нормативного [3] содержания анортита в плагиоклазе по 37 химическим анализам пород (ААС, аналитики Л. И. Константинова и М. Г. Тимофеева, ГИ КНЦ РАН). Характер вариаций нормативного содержания анортита в плагиоклазе по скважине 23 (рис. 2, *б*) в целом сходен с характером

вариаций состава плагиоклаза по разрезу участка Марьйок (рис. 2, *а*), построенному с использованием 34 микрозондовых определений из работы [6]. Данные о содержании ЭПГ и золота по разрезам рудных зон заимствованы из базы данных ОАО «Пана», за исключением участка Марьйок (рудные интервалы показаны схематично согласно рис. 14 в работе[6]).

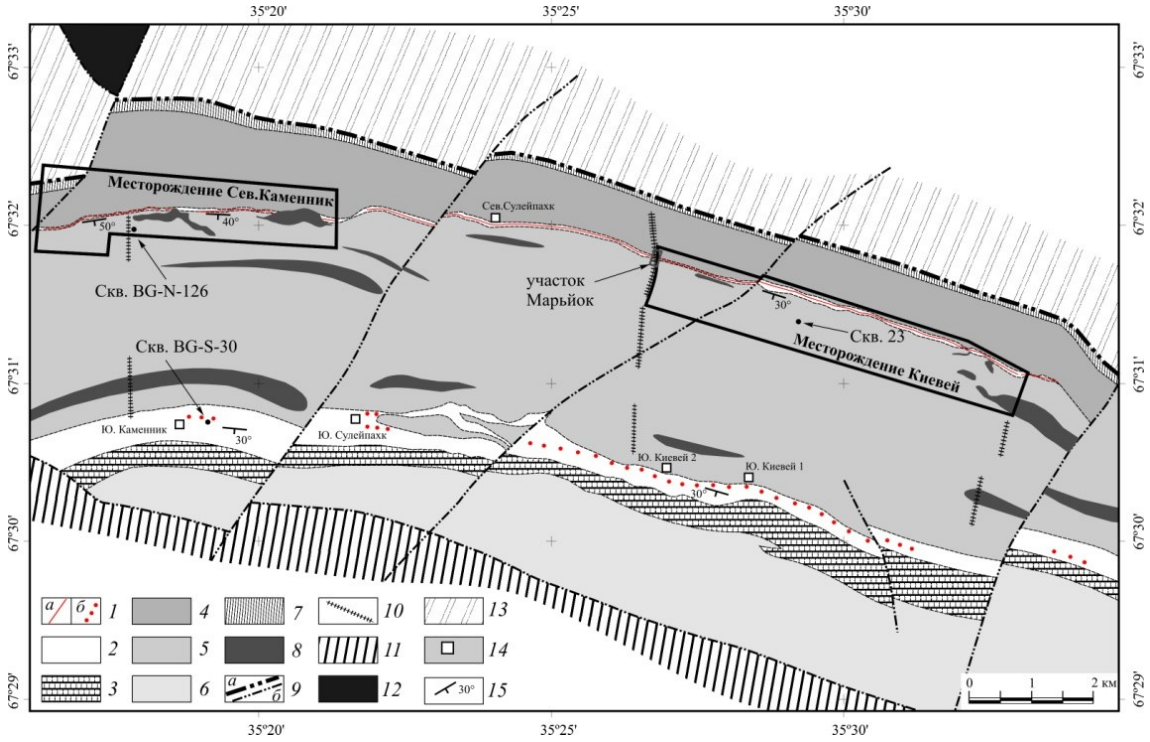


Рис. 1. Расположение месторождений и рудопроявлений ЭПГ в Западно-Панском массиве (с изменениями по [5]): *1* — платинометаллные Северный (*а*) и Южный (*б*) рифы; *2* — расслоенные горизонты (Нижний и Верхний); *3* — Оливиновый горизонт; *4–6* — породы первой (*4*), второй (*5*) и третьей подзон (*6*) габбро-норитовой зоны; *7* — норитовая зона; *8* — магнетитовое габбро; *9* — тектонизированный нижний контакт массива (*а*) и разрывные нарушения (*б*); *10* — дайки габбро-диабазов; *11* — вулканогенно-осадочные породы зоны Имандра-Варзуга; *12* — архейские анортозиты Цагинского массива; *13* — архейские щелочные граниты; *14* — проявления ЭПГ; *15* — элементы залегания

Результаты исследований

Северный риф (рис. 1) представляет собой один или несколько уровней платинометаллной минерализации мощностью первые метры в пределах рудной зоны, сложенной ритмичным чередованием меланократовых норитов, габбро-норитов, лейкогаббро-норитов и анортозитов. Рудная зона имеет мощность в среднем 40 м и описывается как нижний расслоенный горизонт. Платинометаллная минерализация (3–5 г/т Au+Pt+Pd, на отдельных участках до 20 г/т) прослеживается с небольшими перерывами на десятки километров и с учетом пологого падения на юг подходит для подземной отработки.

На рис. 2, *а-в*, представлены вариации состава плагиоклаза в частных определениях и содержания благородных металлов по разрезам Северного рифа на различных его участках в зависимости от расстояния от подошвы нижнего расслоенного горизонта. Для лучшего восприятия на графиках показано серое поле, соответствующее среднему номеру плагиоклаза в подстилающей толще с учетом ошибки анализа. Рудная зона, как видно из рисунков, на всех участках выделяется значимо отличающимся от подстилающей толщи более основным составом плагиоклаза: номер плагиоклаза в рудных зонах Северного рифа достигает значений 78–86, в то время как в лежачем боку плагиоклаз соответствует преимущественно лабрадору. Детально изученный разрез месторождения Киевей [11], кроме того, показывает (рис. 2, б), что наиболее богатые платиноносные горизонты расположены в интервалах с максимальными содержаниями An в плагиоклазе. Подобная реверсия состава минералов в рудных интервалах характерна для известных промышленных J-M и Меренского рифов [10] и указывает на генетическую связь оруденения с поступлениями свежих порций магмы, а совпадение пиков концентраций благородных металлов и максимальных номеров плагиоклаза, как представляется, — на определяющую роль раннемагматического процесса при рудообразовании.

Южный риф прослеживается в одной и той же литостратиграфической позиции на десятки километров (рис. 1). Он расположен вблизи кровли мощного (10–15 м) анортозитового пласта, залегающего среди габбро-норитов и норитов Верхнего расслоенного горизонта. Пересечения рифа представляют собой интервалы сульфидной минерализации мощностью 2–3 м, экстремально обогащенные рудными компонентами —

до нескольких десятков граммов на тонну ЭПГ и золота (рис. 2, *г*). Однако геолого-разведочные работы показывают, что платинометалльное оруденение, простираясь на 5–10 м, редко на десятки метров, имеет свойство выклиниваться до полного исчезновения. Далее по простиранию руда вновь может появиться на том же уровне разреза и снова выклиниться, что в конечном счете не дает возможности объединять скважинные пересечения в рудные тела.

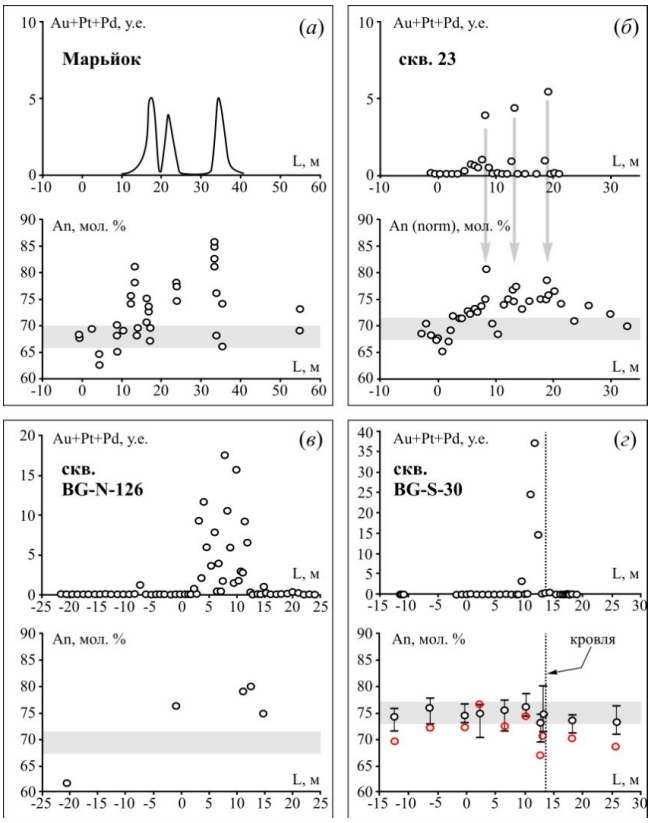


Рис. 2. Вариации состава плагиоклаза и содержания благородных металлов в рудной зоне в зависимости от расстояния от ее подошвы (L = 0 м) на месторождениях Киевей (*а*, *б*) и Северный Каменник (*в*) Северного рифа, а также в Южном рифе (*г*).
Серое — поле погрешности микрозондового определения содержания An в плагиоклазе (± 2 мол. %) относительно среднего номера плагиоклаза в лежачем боку,
красные кружки — средний состав плагиоклаза в краевых частях зерен

Систематические микрозондовые данные о составе плагиоклаза по разрезу рудной зоны Южного рифа (главного анортозитового пласта) приведены в работе [1]. Состав минерала изучался путем усреднения по нескольким анализам отдельно кумулусного ядра и интеркумулусной каймы. В кумулусном ядре более кальциевого состава выполнялось 4–5 определений. На рис. 2, *г*, показаны средние составы кумулусных ядер плагиоклазов с указанием минимального и максимального значений в зависимости от расстояния от подошвы анортозитового пласта. Серое поле построено по среднему номеру кумулусного плагиоклаза в габбро-норитах лежачего бока с учетом погрешности ± 2 мол. % An. Из рисунка видно, что состав кумулусного плагиоклаза анортозитов, в том числе рудных, значимо не отличается от плагиоклаза подстилающих и перекрывающих пород и располагается в пределах поля погрешности методики. Усредненный по 2–3 определениям состав интеркумулусной каймы выделен на рис. 2, *г* красным цветом. Интеркумулусная кайма плагиоклаза в рудных анортозитах, изученная в двух шлифах вблизи кровли (рис. 2, *г*), отличается по составу от кумулусного ядра на 4–6 мол. % An. В то же время плагиоклаз безрудных анортозитов нижней части пласта, согласно данным по трем шлифам (рис. 2, *г*), имеет неотличимую по составу от ядра краевую часть зерен. Таким образом, положение платинометалльного оруденения Южного рифа, не выделяясь в вариациях состава раннего, кумулятивного плагиоклаза коррелирует с вариациями состава его интеркумулусной каймы, формировавшейся в позднемагматическую стадию кристаллизации расплава.

Обсуждение результатов

Изученные вариации состава плагиоклаза по разрезам рудных толщ платинометалльных рифов Западно-Панского массива — Северного, соответствующего современным экономическим кондициям на двух участках, и Южного, содержащего лишь несколько рудопроявлений, — дают возможность использовать плагиоклаз как индикатор экономической значимости рифа в центральной части базитовой расслоенной интрузии и на ранних

стадиях разведки ранжировать рудные пересечения. Согласно полученным данным, экономически более перспективным является пересечение рудной зоны, в которой платинометалльное оруденение сопровождается скачкообразными реверсиями состава плагиоклаза, отражающими вероятную связь рудообразования с раннемагматическим процессом. В случае, когда платинометалльная минерализация не сопровождается значительными вариациями состава плагиоклаза в разрезе или маркируется изменением состава интеркумулусной каймы, вероятность образования промышленных рудных тел ниже, поскольку позднемагматические процессы, с которыми, по-видимому, и связано образование этой минерализации, распределены в магматической камере неравномерно и не приводят к образованию однородных минеральных толщ.

Очевидно, что полученный предварительный вывод об индикаторной роли плагиоклаза базируется на методически неравноценных данных. Северный риф охарактеризован на трех участках, один из которых имеет составной разрез и недостаточную аналитическую статистику (Марьйок), второй не содержит микрозондовых определений (скв. 23), в третьем состав плагиоклаза определен лишь в единичных точках (скв. BG-N-126). Для устранения этого дисбаланса изученности с Южным рифом целесообразно по разрезам скважин Северного рифа систематически выполнить рентгеноспектральный микроанализ плагиоклаза.

Работа подготовлена при частичной финансовой поддержке проектов Российского фонда фундаментальных исследований (№ 15-35-20501, 16-05-00367).

Литература

1. Грошев Н. Ю., Борисенко Е. С., Савченко Е. Э. Состав плагиоклаза в разрезе главного анортозитового пласта Западно-Панского платиноносного массива (Кольский полуостров, Россия): первые данные // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 1. С. 5–15
2. Грошев Н. Ю., Корчагин А. У., Иванов А. Н. Материалы XXV молодежной конференции, посвященной 100-летию члена-корреспондента АН СССР К. О. Кратца. СПб., 2014. С. 54–60.
3. Дубровский М. И. Комплексная классификация магматических горных пород. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 234 с.
4. Латыпов Р. М., Чистякова С. Ю. Механизм дифференциации расслоенного интрузива Западно-Панских тундр. Апатиты: КНЦ РАН, 2000. 315 с.
5. Леснов Ф. П. Плагиоклазы полигенных базит-гипербазитовых плутонов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. 110 с.
6. Руды и металлы / А. У. Корчагин и др. 2016. № 1. С. 42–51.
7. Стратегические минеральные ресурсы Лапландии — основы устойчивого развития Севера / А. У. Корчагин и др. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. С. 12–32.
8. Субботин В. В., Корчагин А. У., Савченко Е. Э. Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 8. С. 55–66.
9. Abstracts, 12th International Platinum Symposium, 11–14 August 2014 / N. Yu. Groshev et al. Yekaterinburg, 2014. P. 65–66.
10. Cawthorn R. G., Ashwal L. D. // J. Petr. 2009. No. 9 (50). P. 1607–1637.
11. Eales H. V., Klerk W. J. de, Teigler B. // Chemical Geology. 1990. No. 88 (3–4). P. 261–278.
12. Harney D. M. W., Von Gruenewaldt G., Merkle R. K. W. // Mineralogy and Petrology. 1996. No. 1 (56). P. 91–103.
13. Layered Intrusions / O. Namur et al. Dordrecht: Springer Netherlands. 2015. P. 75–152.

А. В. Гудков[1], В. В. Колобов[1,2]
[1]*Геологический Институт КНЦ РАН, Апатиты, Anton_gudkov@myrambler.ru*
[2]*Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, 1_i@mail.ru*

МАСС-СПЕКТРОМЕТР МИ-1201 ИГ И ЕГО НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

В современных научных исследованиях особую нишу занимают различные приборы и оборудование.

Одним из таких приборов, используемых в нашей лаборатории, является масс-спектрометр МИ-1201 ИГ, который предназначен для определения изотопного состава химических элементов. В нашей лаборатории разработаны методики для проведения исследований твердых и жидких веществ в зависимости от условий эксперимента.

Принцип действия масс-спектрометра основан на пространственном разделении различающихся по массе предварительно ионизированных и сформированных в пучок молекул и атомов. Разделение происходит в магнитном поле при наличии высокого вакуума за счет ионной сепарации.

Помимо основной приборной части особое внимание необходимо уделять дополнительному оборудованию. Так, например, для реализации ^{3}H-^{3}He(^{3}H)-метода датирования подземных вод был разработан и опробован пробоотборник многоразового использования, включающий корпус из нержавеющей стали и фторопластовую заглушку, предназначенную для герметизации пробоотборника после отбора пробы и для слива воды в дегазационную камеру в условиях высокого вакуума.

Для лучшей изоляции отобранной пробы от атмосферного He использован дополнительный водный затвор, что позволяет обеспечить хранение проб подземных вод в течение нескольких лет.

Для дегазации проб воды и предварительной очистки He и Ne была разработана, изготовлена и опробована специальная установка, позволяющая осуществлять:

а) слив воды из пробоотборника в дегазационную емкость;

б) дегазацию воды, ускоренную за счет ее перемешивания магнитной мешалкой;

в) перевод выделившихся газов через капилляр (поток водного пара через капилляр играет роль диффузионного насоса) в емкость, охлаждаемую жидким азотом.

Достигнута полнота выделения He более 99 %. После дегазации He и Ne распределяются в линию напуска и очищаются от водорода и других химически активных, а также тяжелых инертных газов на ловушках с активированным углем, охлаждаемых жидким азотом, и на Ti-Zr геттерах. Затем He и Ne напускаются в камеру масс-спектрометра. Вся процедура* подготовки пробы к анализу занимает 30 мин.

Постановка новых исследовательских задач в масс-спектрометрическом анализе включает также модернизацию вычислительного комплекса. Были разработаны и испытаны несколько новых комплектующих, позволяющих повысить точность исследований и расширить диапазоны проводимых экспериментов. В состав нового оборудования вошли: блок управления магнитным полем, блок высоких напряжений, счетчик частиц и электрометры.

Новый блок управления позволяет изменять магнитное поле, управляя каждым магнитом в отдельности или меняя магнитное поле одновременно и симметрично, а также дает возможность устойчиво держать необходимую массу в течение длительного времени.

В старой системе при проведении анализа при переходе на ^{3}He умножитель выполнял преобразование в вольты (В), сейчас мы получаем отображение в виде количества частиц в секунду. На практике это означает более стабильное отображение вершины пика исследуемых частиц и возможность выполнять автоматическое центрирование, что повышает точность и стабильность измерения.

Также были разработаны два электрометра, один из которых имеет повышенную чувствительность и дает возможность видеть изменения в десятых и сотых долях фемтоампер (фА), что позволяет в некоторых условиях проводить измерения ^{3}He и ^{4}He на электрометре, не используя умножитель.

Для управления процессом исследований было разработано соответствующее программное обеспечение с возможностями модернизации и программирования под необходимые условия эксперимента.

После установки и подключения нового оборудования была проведена серия экспериментов и оптимизирована методика измерения содержаний He и Ne. Оптимальная методика изотопного анализа He состоит из четырех серий, каждая из которых включает одно измерение пика ^{4}He и три измерения ^{3}He, при длительности измерения каждого пика около 100 с. Привязка стандарта, а также последующие результаты новых измерений показали высокую сходимость полученных данных между собой.

Заключение

Разработаны аппаратура и методика измерения концентраций изотопов ^{3}He, ^{4}He, ^{20}Ne, ^{21}Ne и ^{22}Ne. Проведены серии экспериментов с помощью нового оборудования и получены результаты, имеющие высокую сходимость и точность по содержанию изотопов в исследуемых образцах. Было полностью автоматизировано программное обеспечение, позволяющее свести участие оператора в эксперименте к минимуму.

А. А. Жамалетдинов
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, abd.zham@mail.ru
Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты
СПбФ ИЗМИРАН, Санкт Петербург

О ГРАНИЦЕ НЕПРОНИЦАЕМОСТИ (НЕПРЕОДОЛИМОСТИ) В ЗЕМНОЙ КОРЕ С ПОЗИЦИИ ГЛУБИННОЙ ГЕОЭЛЕКТРИКИ И СВЕРХГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ

По результатам глубинных электромагнитных зондирований с мощными контролируемыми источниками установлена область резкого увеличения сопротивления земной коры в диапазоне глубин 10–15 км [9]. В поле гальванических токов она определяется как зона непроницаемости. Впервые эта область была исследована нами в процессе интерпретации результатов глубинных зондирований с МГД-генератором «Хибины» мощностью 80 МВт [6]. Путем разделения поля МГД-источника на гальваническую и индукционную моды установлено, что низкочастотный ток гальванической природы (постоянный ток) распространяется на сотни километров от МГД-источника по горизонтали, растекаясь в верхней, примерно 10-километровой пленке

*Тритий-гелий-3 метод и его применение для датирования подземных вод (на примере Кировского горнопромышленного района, Мурманская обл.) / А. В. Гудков и др. // Геохимия. 2014. № 7. С. 646–653.

кристаллической земной коры. Гальванический ток по мере просачивания в верхней пленке концентрируется в узких токопроводящих каналах, образуемых вытянутыми сульфидно-углеродистыми породами. Протяженность на глубину токопроводящих каналов не превышает 10 км. При этом важно подчеркнуть, что сила тока, оцениваемая по циркуляции магнитного поля, слабо изменяется по простиранию токопроводящих каналов. Ток в них не просачивается глубже 10–15 км. Этому препятствует высокое сопротивление подстилающего плохо проводящего, изолирующего основания.

Обнаруженный эффект был проверен на Русской платформе путем проведения глубинных зондирований в поле промышленной ЛЭП постоянного тока «Волгоград — Донбасс» (эксперименты «Волга-79» и «Волга-86») [5]. По результатам зондирований установлен непрерывно восходящий вид кривых кажущегося сопротивления под углом 45° (S-асимптотика) вплоть до максимальных разносов 600–700 км между источником и приемником. Это позволило сделать вывод о существовании на глубине порядка 10–15 км изолирующего экрана высокого сопротивления, аналогичного тому, который был установлен в эксперименте «Хибины» [6].

Область резкого повышения сопротивления на глубине 10–15 км проинтерпретирована была сначала как существование древнего нижнеархейского протофундамента, подстилающего верхнюю, супракрустальную оболочку Земли с развитыми в ней коровыми аномалиями электропроводности [1]. Полученные позже результаты электромагнитных зондирований с СНЧ-источником «Зевс» [5] и с промышленными ЛЭП [7], а также сопоставление с сейсмическими данными [8], с результатами бурения Кольской сверхглубокой скважины [3] и с исследованиями флюидонасыщенности земной коры [2] позволили уточнить принятую выше трактовку полученных результатов. Согласно принятой новой трактовке предполагается, что установленная область резкого увеличения сопротивления, или иначе граница непроницаемости для гальванических токов, отмечает границу перехода между верхней хрупкой (brittle) и нижней пластичной (ductile) зонами земной коры (рис.). В работе [2] эта область названа как «слой с очень низкой (нулевой) проницаемостью для миграции флюидов в континентальной коре».



Граница непреодолимости по результатам сверхглубокого бурения (левая колонка) и граница непроницаемости по результатам глубинной геоэлектрики (правая колонка). Условные обозначения к правой колонке: *а* — (геоэлектрический разрез и фазовая плоскость дилатансии и пластичности): 1 — температура, измеренная в СГ-3; 2 — сплайн-экстраполяция температуры СГ-3 на глубину; 3 — то же, с учетом данных МГД-зондирований [1]; штриховка — фазовые плоскости зон дилатансии и пластичности по В. Н. Николаевскому [4], 4 — «нормальный» геоэлектрический разрез восточной части Фенноскандинавского щита [1]; *б* — геодинамическая колонка с учетом данных глубинных зондирований. Цифры в кружках: 1 — морена; 2 — хрупкая кора (brittle zone) с субвертикальными разломами; 3 — то же с листрическими разломами (ДД-слой); 4 — область псевдопластичного состояния (semi-ductile zone); 5 — область истинно пластичного состояния (ductile zone)

Не случайно, что именно в этом промежутке глубин, в интервале 11,5–12,6 км произошли все четыре аварии четырехствольной скважины СГ-3 [3]. Среди множества причин аварий, обсуждавшихся на официальном уровне и в печати, упоминались «усталость» оборудования, высокая температура на забое, недостаток финансирования и др., но не указывалась главная причина, на которую ссылались сами буровые мастера в многократных личных беседах с автором настоящей статьи. Причину аварий буровики связывали

с резким изменением физического состояния горных пород в районе глубины 12 км, с их переходом от относительно легко поддававшихся бурению трещиноватых пород в интервале глубин 7–11 км к «твердым как стекло» породам глубже 11,5 км, то есть с появлением своего рода «границы недоступности».

Установленная по данным бурения Кольской СГ-3 «граница недоступности» в районе глубины 12 км хорошо согласуется с описанной выше «границей непроницаемости», связываемой с границей между хрупким и пластичным состояниями земной коры [8]. К этой же границе можно приурочить положение гипотетической границы Конрада. В этом случае природу границы Конрада следует связывать не со сменой химического состава пород от алюмосиликатного к существенно магнезиальному, а с изменением физического состояния горных пород от хрупкого к вязкому. Причину увеличения вязкости (прочности) пород на границе Конрада можно объяснить увеличением роли вертикального, литостатического давления в нижней коре и уменьшением роли тангенциальных (сводовых) напряжений, существующих в верхней коре и приводящих к дилатансии в диапазоне глубин от 2–3 до 10 км.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ОНЗ РАН № 6 и РФФИ-офи-м 13-05-12044.

Литература

1. Жамалетдинов А. А. Модель электропроводности литосферы по результатам исследований с контролируемыми источниками поля (Балтийский щит, Русская платформа). Л.: Наука, 1990. 159 с.
2. Киссин И. Г. Флюидонасыщенность земной коры, электропроводность, сейсмичность // Изв. АН СССР. Серия «Физика Земли». 1996. № 4. С. 30–40.
3. Ланев В. С., Ланева М. И. Кольская сверхглубокая. Мурманск: Кн. изд-во, 1987. 125 с.
4. Николаевский В. Н. Катакластическое разрушение пород земной коры и аномалии геофизических полей // Изв. РАН. Серия «Физика Земли». 1996. № 4. С. 41–50.
5. Эксперимент «Волга» по глубинному зондированию земной коры с использованием линии электропередачи постоянного тока / Е. П. Велихов и др. // ДАН СССР. 1989. Т. 307, № 5. С. 1077–1082.
6. Geoelectric investigations with the "Khibiny" source in the Pechenga-Pasvik area / A. A. Zhamaletdinov et al. // Geology of the eastern Finnmark-western Kola Peninsula region // Geological Survey of Norway, Special publication / Ed. D. Roberts, O. Nordgulen. 1995.
7. Study of Interaction of ELF-ULF Range (0,1–200 Hz) Electromagnetic Waves with the Earth's Crust and the Ionosphere in the Field of Industrial Power Transmission Lines (FENICS Experiment) / A. A. Zhamaletdinov et al. // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2015. Vol. 51, No. 8. P. 826–857.
8. Vanyan L. L., Pavlenkova N. I. Low Velocity and Low Electrical Resistivity Layer at the Base of the Upper Crust under the Baltic Shield // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2002. Vol. 38, No. 1. P. 33–42.
9. Zhamaletdinov A. A. The Nature of the Conrad Discontinuity with Respect to the Results of Kola Superdeep Well Drilling and the Data of a Deep Geoelectrical Survey // Dokl. Earth Sciences. 2014. Vol. 455, Pt. 1, P. 350–354.

Д. В. Жиров[1], Д. И. Маркович[2]
[1]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, zhirov@geoksc.apatity.ru*
[2]*Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, Апатиты*

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РАЗРЫВНОЙ ТЕКТОНИКИ РАСВУМЧОРРСКОГО АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ХИБИНЫ)

Актуальность тематики исследований обусловлена весьма большим влиянием разрывной тектоники на экономические и горнотехнические условия разработки Хибинских апатит-нефелиновых месторождений. Ее значение выражается в трех основных положениях: 1) влияние на безопасность горных работ (устойчивость выработок, ухудшение физико-механических свойств, концентрация напряжений, сейсмодинамические явления, водопритоки, выветривание и др.); 2) влияние на запасы и качество руд за счет уменьшения содержания полезных компонентов, ухудшения технологических свойств руд и, как следствие, – необходимость отдельного учета в балансе запасов и ресурсов; 3) ключ к пониманию гидротермальных и экзогенных процессов изменения минерального состава, структуры и геотехнических свойств пород и руд [3, 8].

В качестве объекта исследований был выбран участок массива пород в лежачем крыле вмещающих пород месторождения Плато Расвумчорр в восточной части южного борта карьера рудника «Центральный» (рис. 1). Разрывная тектоника и трещиноватость этого объекта многократно изучена на макро- и мезомасштабном уровне [4, 7 и мн. др.], при этом ей уделялось пристальное внимание как в ходе выполнения различных этапов разведки и доразведки (отв. исполнители: Антонов, 1956; Коряков, 1965; Каменев, 1984; Куваева, 1998, 2005), так и тематических исследований* (отв. исполнители: Коряков, 1965; Фадеев, 1966; Онохин, 1975; Титов, 1979, 1983; Певзнер, 1982; Тимченко, 1988; Кузьменко, 1989; Ноздря, 1998; Жиров, 2003–2006, 2010–2016, Шпаченко, 2003; Козырев, 2004–2006; Егоров, 2006 и др.). По результатам специализированных инженерно-геологических изысканий (отв. исполнитель Мелихова, 2010–2012, 2015–2015) изучены геомеханические свойства и разработано несколько вариантов объемных моделей структурных

* Фонды Геологического института КНЦ РАН.

неоднородностей законтурного пространства на глубину, обеспечивающую повариантное проектирование открытых и подземных горных работ [1, 2]. Однако до настоящего времени остался минимально изученным вопрос проявления разрывной тектоники и сопутствующих процессов на микроуровне (масштаб минеральных зерен и менее).

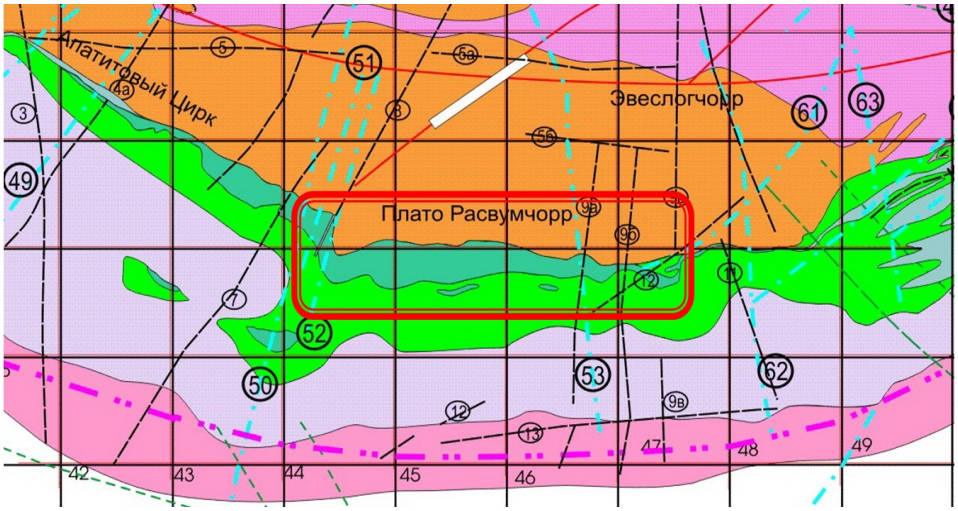


Рис. 1. Район исследований — фрагмент фактографической карты-схемы тектоники района апатитовых рудников, нумерация разломов по [5]

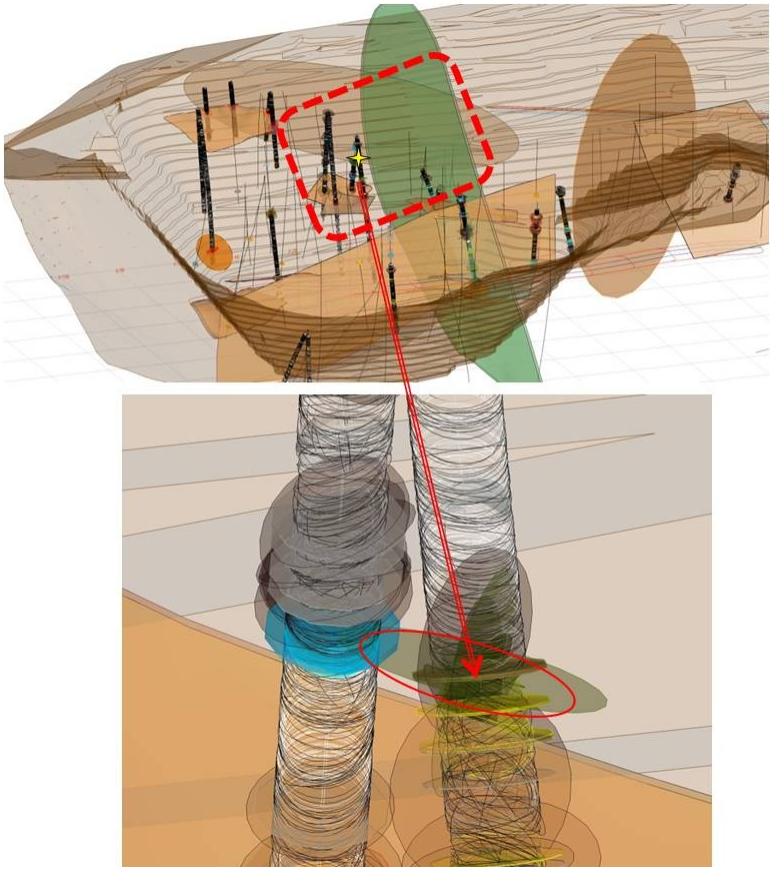


Рис. 2. Тектоника вблизи участка отбора проб (красный пунктир) в восточной части месторождения Плато Расвумчорр и детализация места отбора пробы R02 из скв. ИГ20. Окружности на траектории скважин — привязанные и ранжированные по цвету (процесс) и размеру (интенсивность) структурные элементы

Для изучения микроструктуры были отобраны ориентированные образцы с поверхности и из керна инженерно-геологической скважин внутри и на разном удалении от разломов с интенсивным проявлением шпреуштейнизации (или «окисления» в производственной терминологии) (рис. 2). Целью исследований ставилось изучение взаимосвязи микро-, мезо- и макроструктур между собой и в связи с «окислением» пород, а также проявление и относительное соотношение сопутствующих процессов. Подготовленные шлифы предоставили возможность реконструировать несколько фаз гидротермальной минерализации и этапов тектогенеза, которые отобразились в мезо- и микротрещиноватости. Кроме того, отработана методика (пока

еще в «сыром» виде) реконструкции положения плоскостей микротрещин в пространстве по сопряженным ориентированным шлифам (рис. 3).

В шлифах выявлены многочисленные индикаторы проявления разрывной тектоники и стресс-состояний в виде:

- деформации минералов (полосы деформаций в эгирине);
- локальных разрывных структур типа кливажа внутри минеральных зерен;
- разрушений кристаллов и породы в целом в виде трещин и жил с различным минеральным выполнением (преимущественно натролита различных генераций);
- изменений вдоль структурных неоднородностей вещественно-минерального состава: выщелачивания, шпреуштейнизации, замещения и химического разрушения минералов.

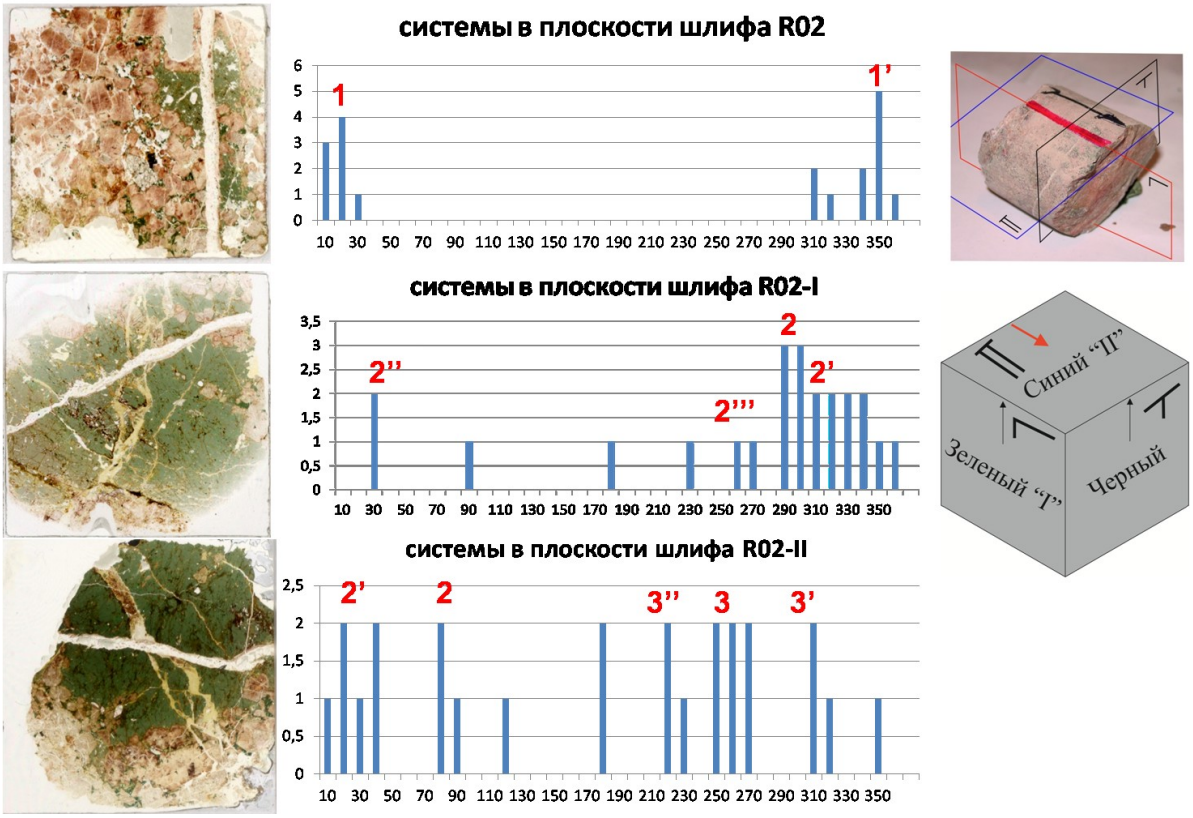


Рис. 3. Схема изготовления ориентированных шлифов и реконструкции положения в пространстве плоскостных элементов на примере образца R02:
на стадии 1 выполняется нахождение соответствий систем трещин в 2D сечениях; на стадии 2 по следам пересечения векторов с полусферой на стереограмме строится положение плоскости в системе координат образца; на стадии 3 система координат образца по данным азимутальных параметров ориентированной плоскости приводится в систему географических координат — по странам света и углу падения

По результатам микроструктурных исследований получены следующие выводы.

1. По состоянию изученности на текущий момент времени (недостаточно подробная выборка реконструированных плоскостей микротрещин) не наблюдается полной непосредственной связи микро- и макроструктур по азимутальным характеристикам. На рис. 4 этот вывод проиллюстрирован на примере образца R02. Полюс системы микротрещиноватости NT1 (см. рис. 4, *а*) совпадает с системой, соответствующей положению центриклинальных элементов главного разлома группы месторождений Апатитовый Цирк — Плато Расвумчорр — Восточный Расвумчорр (см. рис. 4, *б*). А положение системы NT2 (см. рис. 4, *а*) заметно отходит от известных скоплений структурных элементов. Пояснений этому может быть несколько: во-первых, как уже отмечалось, при накоплении статистики замеров полюс системы микротрещин может встать на «требуемое место» (приблизиться к системе R2 на рис. 4, *б*); во-вторых, не исключен вариант иерархического соподчинения, когда система NT2 является дочерней структурой для какой-либо макросистемы и имеет право на свое оригинальное положение в пространстве.

2. Показано, что интенсивность воздействия на массив пород процессов, изменяющих первичный минерально-вещественный состав, резко уменьшается при удалении от магистрального разлома/нарушения. Во внутренней зоне разлома мы наблюдаем весьма интенсивные изменения (до практически 100 %-го замещения глинистыми и экзогенными минералами), а во внешней зоне мощность сплошной

шпреуштейнизации пород редко превышает первые метры. Развитие микротрещиноватости в массиве также резко уменьшается на расстоянии от первых сантиметров до 1 м максимум от плоскости разрывного нарушения. В большинстве случаев на расстоянии 1 м от плоскости разрывного нарушения порода находится в неизмененном виде как с точки зрения минерально-вещественного, так и структурной нарушенности.



Рис. 4. Сопоставление систем микро- и макротрещиноватости:
а — полюса систем жил натролита и микротрещин в образце R02; *б* — системы макро-мезотрещиноватости с проявлением шпреуштейнизации в пределах всего месторождения Плато Расвумчорр и их полюсы

3. Выполненное ранжирование процессов по относительному времени (интервалу) их проявления скорее свидетельствует о «древнем» возрасте шпреуштейнизации. Наиболее явно это проявлено в шлифе RO-2, в котором мы наблюдаем пересечение прожилков двух генераций натролита. Обе минерализации несут следы шпреуштейнизации в различной степени интенсивности, что говорит об одновременности/перекрытии по интервалам этих процессов (см. рис. 3). Таким образом, общепринятая точка зрения о «молодом» (кайнозойском) времени развития «окисления» [6] нуждается в пересмотре.

Авторы выражают глубокую признательность В. В. Борисовой и Ю. А. Михайловой за содержательные консультации.

Работа выполнена в рамках темы № 0231-2015-0013 «3D и 4D геолого-структурное моделирование в целях эффективного, рационального и безопасного освоения глубоких горизонтов стратегических полезных ископаемых (на примере месторождений Хибинского и Ковдорского массивов)».

Литература

1. Выделение факторов контроля геодинамических опасностей на примере 3D геолого-структурной модели природно-технической системы «рудник Расвумчоррский – карьер Центральный» (Хибины) / Д. В. Жиров и др. М.: ГИАБ. 2016. № 7. С. 200–227.
2. Изучение геолого-структурного строения массива пород лежачего крыла в разрезах 21-12В месторождения Плато Расвумчорр: отчет о НИР / отв. исполн. Жиров Д. В.; исполн. Климов С. А., Шибеко С. М., Егошин И. Н. Апатиты, 2016. 45 с. [Фонды Геологического ин-та КНЦ РАН].
3. Методические основы технологии эффективного и безопасного освоения глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых открытым способом / А. А. Козырев и др. // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 4. С. 644–653.
4. Онохин Ф. М. Особенности структуры Хибинского массива и апатитонефелиновых месторождений. Л.: Наука, 1975. 106 с.
5. Разработка геодинамической схемы района апатитовых месторождений: отчет о НИР / Геологический ин-т КНЦ РАН; отв. исполн.: Шпаченко А. К., Жиров Д. В.; исполн.: Климов С. А., Тележкина Н. С. Апатиты, 2003. 74 с.
6. Структурные особенности массива пород Ньорпахкского месторождения апатит-нефелиновых руд как возможные предвестники динамических явлений / Д. В. Жиров и др. // Техногенная сейсмичность при горных работах: модели очагов, прогноз, профилактика: сб. докл. междунар. совещ. (14–16 апреля 2004 г.) / ОАО «Апатит». Апатиты: КНЦ РАН, 2004. Т. 1. С. 82–86.
7. Титов В. Н. Структурные особенности апатитовых месторождений Хибинского массива // Труды ГИГХС. 1986, 87 с. (Рукопись депонир. В ОНИТЭХИМ г. Черкассы, № 1396-хп87).
8. D Modeling for Identification and Analysis of Geodynamic Hazards in the Rasvumchorr Mine – Central Open Pit Natural-Technical System (Khibiny) / Dmitry Zhirov et al. // Proc. 16th Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO (SGEM-2016), Albena (Bulgaria) 30 June-06 July 2016. Book 1: Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Vol. 3.: Hydrogeology, Engineering Geology and Geotechnics. 2016. P. 3–14.

Н. Н. Зинчук
Западно-Якутский научный центр АН РС (Я), Мирный, nnzinchuk@rambler.ru

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОИСКОВ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ

Очень важным для древних платформ мира является вопрос ***возрастного становления кимберлитов*** — главнейшей ультраосновной породы, содержащей алмазы. Ранее нашими исследованиями показано [2, 4], что на ряде древних платформ мира (Африканской, Северо-Американской и др.) основными эпохами мощного корообразования и эндогенного рудообразования (в том числе и алмазоносного магматизма) являлись: ранний докембрий (4000–1650 млн лет), поздний протерозой (1650–570 млн лет), каледонский этап (570–400 млн лет), ранне- (400–310 млн.лет) и позднегерцинский (310–205 млн лет) этапы, киммерийский (205–137 млн лет), ранне- (137–65 млн лет) и позднеальпийский (65 млн лет) этапы. Несмотря на то, что на Африканской платформе все эти временные интервалы являются промышленно алмазоносными, на Сибирской платформе СП) значимыми признаются только среднепалеозойские кимберлиты и, с большими оговорками, триасовые.

Причина различной продуктивности территории СП связана с неодинаковой степенью изученности различных ее частей. Рассматривая по выделенным временным срезам-этапам процесс становления продуктивных магматитов в пределах СП, отметим, что отдельные ее части оказались в разные интервалы в различных историко-минералогических провинциях (ИМП), пространственное совмещение которых отражает миграцию кимберлитообразования в пространстве и времени. ИМП мы именуем площади континентов и океанических бассейнов Земли с массовыми проявлениями аккумуляций рудного и нерудного вещества, сформировавшегося в определенный историко-минерагенический этап.

Наиболее ранний *раннепротерозойский* эруптивный мантийный магматизм предполагается в центральной части *Алданской ИМП* по присутствию индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) и мелких ксенолитов эклогитоподобных пород в песчаниках венда р. Джеконда. В пределах *Усть-Ленской ИМП* существуют некоторые признаки того, что северо-восток СП в раннем протерозое был областью алмазоносного магматизма.

Вклад *рифейского этапа* и его авлакогенеза в алмазоносность СП определяющий, поскольку это было время формирования алмазоносных протолитов в центральных районах и поступления алмазоносного материала в верхние горизонты земной коры в периферических районах. Для рифея выделяют *Анабарско-Оленекскую*, *Ангарско-Тунгусскую и Алдано-Становую ИМП.* Наиболее древними рифейскими диатремами, выявленными в Анабарско-Оненекском регионе, являются тела вулканических брекчий в бассейнах рек Большая Куонамка и Хорбусуонка. В Ангарско-Тунгусской ИМП с рифейским возрастом известны слабоалмазоносные кимберлиты Ингашинского (Окинского) поля Присаянского алмазоносного района.

Раннепалеозойский этап отдельными исследователями считается временем «предрудной подготовки». Области проявления каледонского алмазоносного магматизма относятся к *Вилюйской и Анабарско-Оленекской ИМП.*

Для *раннегерцинскго этапа (средний девон-ранний карбон)* возрастные датировки имеются для трубок 12 кимберлитовых полей СП. Выделяются раннегерцинские *Вилюйская, Анабарско-Оленекская и Ангаро-Тунгусская ИМП.* Основные поля среднепалеозойских кимберлитов расположены в центральной части платформы, ее *Вилюйской ИМП.* Однако появляется все больше данных о среднепалеозойских алмазоносных диатремах Анабарской субпровинции. На юго-западе СП в пределах Ангарского кратона с возрастом консолидации 2,6 млрд лет выделяются следующие алмазоносные районы: *Присаянский, Чуно-Бирюсинский, Муро-Ковинский, Илимо-Катангский, Нижне-Тунгусский и Тычанский*, перспективные на обнаружение высокоалмазоносных диатрем как среднепалеозойского, так и мезозойского возрастов.

Потенциально алмазоносные и алмазоносные магматиты *позднегерцинского этапа (средний карбон — средний триас)* известны в *Анабарско-Оленекской и Ангарско-Тунгусской ИМП.* Позднегерцинские (310–200 млн лет) кимберлиты *Молодинского, Куойского, Куранахского, Лучаканского, Арыы-Мастахского и Староречepisкого* относятся к *Анабарско-Оленекской* ИМП.

Следует подвергать тщательному анализу ***геолого-тектоническую (структурно-тектоническую*** и ***геодинамическую)*** позицию перспективных территорий, так как в сложных геологических условиях структурно-тектонические критерии могут иметь решающее значение при определении перспективности той или иной площади и стадийности проведения на ней дальнейших поисковых работ [1, 2]. В настоящее время прогресс в вопросах открытия новых кимберлитовых полей, их кустов и самих трубок в сложных условиях поисков на закрытых территориях невозможен без привлечения структурно-тектонических и геофизических предпосылок.

Для получения сведений о структурно-тектонических особенностях региона и конкретных перспективных участков применяется комплекс *геофизических исследований*, включающий *грави- и магнитометрию, сейсмические, электроразведочные и другие методы.* Выделенные и обработанные геофизические аномалии в большинстве случаев подвергаются геологической заверке для выяснения их природы. Особенно результативными эти методы были на начальных стадиях геолого-геофизических исследований на новых территориях. Важной задачей при прогнозно-поисковых работах на алмазы является

наличие дробной ***стратиграфической схемы*** отложений и древних коллекторов, в составе которых установлены [3] алмазы и их парагенетические минералы-спутники.

В настоящее время в основных алмазоносных районах ЯАП применяются измененные и укрупнённые стратиграфические схемы, в которых потенциально алмазоносные осадочные толщи лапчанской (P_1l) и иреляхской (T_3-J_1ir) свит, являющиеся, по сути, формацией перемыва и переотложения древних кор выветривания (КВ), соединены с более молодыми отложениями. К этим свитам приурочены древние алмазоносные россыпи (к первой — Солур, ко второй — Водораздельные галечники и Новинка), и по ним проводились поиски и коренных источников алмазов. Основным методом поисков алмазных месторождений был, есть в большинстве геолого- поисковых обстановок и останется ***минералогический*** [1].

В результате более чем 50-летних геолого-разведочных работ на СП открыты уникальные месторождения алмазов, что позволило в очень короткие сроки создать мощную алмазодобывающую промышленность. Возрастание сложности решения геолого-разведочных задач в центральной части платформы, а также расширение поисков за ее пределами (Иркутская область и Красноярский край) повышают актуальность прогноза алмазоносности на территориях со сложным геологическим строением. Поскольку *алмаз* является главным минералом объекта поисков, представляется весьма важным привлечь к решению прогнозно-поисковых задач широкое разнообразие его типоморфных особенностей. Внедрение в последние годы в практику прогнозно-поисковых работ современных физико-химических методик изучения вещественного состава магматических и осадочных пород существенно повысило эффективность применяемого шлихо-минералогического метода. При проведении алмазопоисковых работ детальному комплексного исследованию следует подвергать терригенные осадочные толщи, содержащие продукты перемыва и переотложения местных источников сноса, в первую очередь кимберлитов. Отложения платформенной субформации свойственны в основном аллювиальным образованиям и осадкам начальных, ранних, поздних и конечных стадий геологического развития озерно-болотных водоемов, паралических областей прибрежных равнин и эпиконтинентальных бассейнов. В основных алмазоносных районах СП благоприятные палеогеографические условия для формирования мощных ***кор выветривания*** существовали [1, 2] в позднедевонское — раннекаменноугольное, средне- и позднетриасовое время. Выветриванию в этот период подвергались: терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя, долериты, туфы и туфобрекчии трубочных тел, туфогенные образования корвунчанской свиты и кимберлиты. В структурном плане древние КВ приурочены преимущественно к конседиментационным палеоподнятиям, в пределах которых в период формирования перекрывающих их отложений развивались обстановки денудационных и денудационно-аккумулятивных равнин.

В конседиментационных палеовпадинах, служивших местами аккумуляции переотложенного материала кор выветривания, наоборот, были неблагоприятные условия для интенсивного корообразования. В Малоботуобинском алмазоносном районе (МБАА) относительно наиболее полные и мощные (до 15 м) площадные остаточные *КВ на терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя* развивались (а затем сохранились от размыва) на Улу-Тогинском, Мирнинском, Джункунском и Чернышевском палеоподнятиях, обрамлявщих Кюеляхскую, Улахан-Ботуобинскую и Ахтарандинскую впадины. При этом в отдельных разрезах устанавливаются верхние горизонты КВ, свидетельствующие о формировании в них полных профилей.

Для легкой фракции продуктов выветривания этого типа характерны кварц и халцедон, а также обломки опала. Для тяжелой фракции характерны полуокатанные и окатанные зерна апатита, альмандина, турмалина, циркона и эпидота, а также повышенные концентрации пирита, сидерита, барита и ярозита. Особенностью глинистой составляющей из разрезов КВ терригенно-карбонатных пород следует считать повсеместное присутствие в ее составе диоктаэдрической гидрослюды $2M_1$ в ассоциации с $1M$ и неупорядоченной монтмориллонит-гидрослюдистой смешанослойной фазой. Для верхних горизонтов профилей этого типа характерен также каолинит с полубеспорядоченной структурой. В ряде алмазоносных районов СП отмечено развитие коры выветривания на *породах трапповой формации*, где наиболее детально она изучена в пределах юго-восточной окраины Тунгусской синеклизы (МБАР). Трапповое плато, занимающее северо-западную часть района, и развитая на нем площадная остаточная КВ средне- и позднетриасового возраста вместе с породами субстрата в послераннеюрское время сохранилась от размыва только в понижениях плато или в тектонически опущенных блоках. Мощность КВ на долеритах обычно составляет первые метры, лишь в отдельных разрезах достигая 50 м и более.

Обычно от размыва сохраняется лишь нижняя часть КВ — зона дезинтеграци. Характерными минералами выветрелых *долеритов* являются в разной степени измененные плагиоклазы (от андезина до биотита) и гейландит. В целом такие же минералы легкой фракции отмечены и для КВ *туфов* и *туфобрекчий* трубок взрыва трапповых пород, установленных в различных частях района, а также *туфогенных образований* корвунчанской свиты нижнего триаса, характерных для северо-западной части района. Вверх по разрезам в породах трапповой формации обычно увеличивается содержание олигоклаза, что связано с меньшей устойчивостью средних и основных плагиоклазов.

Типоморфным минералом тяжелой фракции выветрелых пород трапповой формации является ильменит. В корах выветривания долеритов обычно доминируют толстотаблитчатые и пластинчатые кристаллы ильменита с хорошо развитыми гранями и угловатые обломки с реликтами огранки. В отличие от этого, в КВ

туфов и туфогенных образований зерна минерала преимущественно неправильной формы со сглаженными краями, реже — остроугольные обломки. Довольно характерными для тяжелой фракции из выветрелых пород трапповой формации являются переменные концентрации амфиболов, моноклинных пироксенов, эпидота, клиноцоизита, цоизита, турмалина, циркона, дистена и вулканического стекла. Отличительной особенностью глинистых минералов в слабо измененных профилях КВ долеритов является сохранение Mg-Fe^{3+}-монтмориллонита до тех пор, пока в породах фиксируется собственно вермикулит. Для нижних горизонтов выветрелых туфогенных образований трубок взрыва наиболее характерными слоистыми силикатами являются вермикулит и низкотемпературный хлорит. Последний быстро разлагается вверх по разрезам. На основе вермикулита здесь, как и в КВ долерит, возникает сначала ассоциация вермикулита и Mg-Fe3+-монтмориллонита, которые в верхних частях профилей в результате гомогенизации переходят в неупорядоченную вермикулит-монтмориллонитовую смешанослойную фазу. В виде переменной примеси в наиболее зрелых профилях отмечается каолинит.

Кора выветривания на кимберлитах отмечена на многих диатремах СП. Так, в МБАР КВ развита на трубках имени XXIII съезда КПСС, Дачная, Таежная, Амакинская и Интернациональная. В легкой фракции продуктов КВ кимберлитов преобладают серые, буровато-серые глинистые и глинисто-слюдистые агрегаты. Среди первичных минералов тяжелой фракции доминируют пикроильменит, пироп, хромшпинелиды и хромдиопсиды. В подчиненном количестве отмечены хромит, хромдиопсид, турмалин, циркон, дистен, рутил, сфен и др. Аутигенный комплекс тяжелых минералов обогащен гидроксидами железа (гётит), гематитом и сидеритом. Присутствуют также обломки кварца, покрытые землистыми примазками и «рубашками» вторичных продуктов изменения кимберлитов. Повсеместно по всему профилю встречаются в различной степени хлоритизированные чешуйки флогопита. Преобладающим минералом слабо дезинтегрированных кимберлитов являются пластинчатые серпентины (структура которых состоит из слоев типа *A* и *B*), ассоциирующие с гидрослюдой, неупорядоченным монтмориллонит-гидрослюдистым смешанослойным образованием, хлоритом и монтмориллонитом. Гидрослюда связана в основном с диоктаэдризацией флогопита и наследует свойственный последнему политип 1*M*.

Продолжительность периодов корообразования, протекавших при теплом влажном климате и относительно хорошем дренаже территории, существенно влияет на мощность элювиальных толщ и на количество алмазов, высвобождающихся из этих толщ при их образовании, либо непосредственно в кимберлитах, либо в продуктах их ближнего переотложения во вторичных коллекторах. Оценивая с этих позиций материалы о древних КВ на территории СП как в целом [3], так и в наиболее богатых алмазами МБАР, Далдыно-Алакитском (ДААР) и Среднемархинском (СМАР) алмазоносным районам, можно отметить, что в позднедевонское — раннекаменноугольное, средне- и позднетриасовое время здесь существовали благоприятные условия для интенсивного корообразования. Об этом свидетельствуют сохранившиеся от размыва мощные коры выветривания с высокозрелыми верхними горизонтами. Однако непосредственно в КВ россыпи алмазов фиксируются только над кимберлитовыми трубками, что приводит к резко ограниченным их размерам. На других породах россыпи алмазов не образуются, за исключением случаев, когда субстратом являются вторичные коллекторы алмазов.

Поэтому особое значение имеет установление условий размыва и переотложения продуктов КВ при накоплении верхнепалеозойских и мезозойских осадков. Так, если формирование этих отложений (и в первую очередь их грубообломочных нижних горизонтов) происходило в условиях накопления делювиально-пролювиальных, пролювиально-аллювиальных и озерных фаций, то тогда вблизи кимберлитовых тел формировались россыпи алмазов. И, наоборот, обильный привнос чуждого району терригенного материала и развитие аллювиальных фаций происходили при размыве КВ на кимберлитах и приводили к выносу обогащенных алмазами продуктов за пределы локальных участков и сильному разубоживанию их за счет «транзитного» неалмазоносного аллювия. В такой ситуации образование россыпей алмазов становилось практически не возможным, что и затрудняет здесь поиски коренных алмазных месторождений.

Переотложение продуктов выветривания вблизи областей денудации и накопление их преимущественно в пресноводных континентальных водоемах, а также небольшая мощность сформировавшихся осадочных толщ и их незначительные погружения определили, в частности, слабое гидрохимическое воздействие среды на аллотигенные минералы, а также отсутствие наложенных на них процессов каталитического преобразования. Эти условия привели к тому, что глинистые минералы *верхнепалеозойских и мезозойских отложений* алмазоносных районов СП, связанные в основном с процессами переотложения различных продуктов КВ, определенным образом наследуют структурные и кристаллохимические особенности минералов из элювиальных толщ. Это позволяет использовать изложенные выше типоморфные признаки отдельных минералов легкой, тяжелой и глинистой фракций, а также геохимические особенности выветрелых пород для идентификации в осадочных толщах продуктов, поступивших из различных источников снова и связанных с гипергенными изменениями пород различного химического и минералогического составов.

Комплекс исследований, использованный нами при изучении отложений верхнего палеозоя и мезозоя, позволил восстановить палеогеографические условия формирования на рассматриваемой территории каждого стратиграфического горизонта этих периодов (особенно базальных слоев) и более детально проанализировать особенности накопления местного (в том числе и кимберлитового) материала в пределах выделенных

перспективных участков и зон (или определенных горизонтов). Необходимо подчеркнуть, что установленные особенности накопления продуктов выветривания в позднепалеозойское время в пределах МБАР и ДААР, с учетом схожести тектонического развития и геологического строения их с остальной территорией восточного борта Тунгусской синеклизы, а в мезозойское время сходство указанных условий в МБАР в целом со всей зоной Ангаро-Вилюйского прогиба и северо-западного борта Вилюйской синеклизы, позволяют распространить полученные закономерности на обширные соседние территории, которые в будущем могут явиться новыми алмазоносными провинциями.

Литература

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Поисковая минералогия алмаза. Новосибирск: Гео, 2010. 650 с.
2. Зинчук Н. Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы. Новосибирск: НГУ, 1994. 240 с.
3. Зинчук Н. Н., Дукардт Ю. А., Борис Е. И. Тектонические аспекты прогнозирования кимберлитовых полей. Новосибирск: Сибтехнорезерв, 2004. 166 с.
4. Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.

Н. Н. Зинчук, М. Н. Зинчук

Западно-Якутский научный центр АН РС(Я), Мирный, nnzinchuk@rambler.ru

О ГЕОЛОГО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЯХ КИМБЕРЛИТОВ

Вопросам внедрения кимберлитовой магмы, становления и последующего изменения кимберлитовых пород посвящены многочисленные опубликованные работы. Однако при изучении кимберлитов главное внимание обычно уделяется реликтовым структурам и текстурам исходной породы [1–2], по которым построены практически все классификации кимберлитовых пород. Основное значение при этом придается изучению псевдоморфоз, их формы и расположения в породе. При этом незаслуженно малая роль отводится исследованию цементирующей массы. В кимберлитовых породах, в которых сохранилось реликтовое строение, цементирующая масса представлена: а) субмикроскопическим серпентином; б) пелитоморфным карбонатом; в) стекловатым веществом. Многие исследователи считают, что серпентин цемента представляет собой апостекло, хотя в свежем виде оно никем и никогда не описывалось. Стекло не обнаружено также в обломочном материале кимберлитов. Очень важно получить ответ на вопрос о возможности возникновения вулканического стекла в процессе «прострела» пород земной коры и внедрения в них кимберлитовой магмы. В природных условиях обычно имеем дело с силикатным стеклом. Существуют различные мнения о строении стекол вообще и природных в частности. Одни исследователи считают, что основой их являются кристаллиты (т. е. участки с упорядоченной структурой), другие — что стекло состоит из беспрерывной беспорядочной сети, в связи с чем внутренняя энергия стекла больше, чем в кристаллическом веществе. Последняя теория удовлетворительно объясняет многие свойства стекол. В целом в стеклах [1]: а) существует ближняя и отсутствует дальняя упорядоченность; б) превалирует один из мотивов ближнего порядка, обладающий определенным составом. Относительно их связей можно отметить, что в условиях образования самих стекол соединения между кристаллами осуществляются между атомами одинаково. Дело только в разных размерах кристаллов (микролитов) и кристаллитов. Более мелкие частицы имеют малый размер элементарных ячеек и отдельных полиэдров SiO_4^{4-} и AlO_4^{5-}. В какой-то степени в кимберлитах присутствуют все три типа частиц с преобладанием тех или других. Преобразование стекла в кристалл сопровождается уменьшением объема. Как следует из анализа природных стекол, приуроченных к основным и ультраосновным породам, в них содержится мало магнезии. Причиной тому являются химические свойства самого магния и влияние его на ход кристаллизации магмы. Оксид магния является своего рода затравкой, возникающей по мере охлаждения расплава (т. е. его пересыщения); ее появление обусловливается сближением в первую очередь кислорода с магнием, что вызвано свойствами атомов последнего. Выделение MgO делает расплав более богатым остальными породообразующими компонентами — щелочами, известью и кремнеземом, из которых в зависимости от *PT*-условий могут кристаллизоваться монтичеллит, пироксен или образоваться стекло, химический состав которого не будет отвечать исходной ультраосновной магме. Стеклообразованию в процессе консолидации магмы в подобных условиях может содействовать железо. Благодаря изменчивости его валентности (а значит, и размера ионов) вносится определенная дестабилизация в процесс упорядоченности ионов и образования кристаллического вещества. Поэтому при избытке в остаточном расплаве железа стекло может возникнуть и при сравнительно небольшом содержании кремнезема. При этом образуется другой вид стекла, который обладает более низкой твердостью, заметной растворимостью в кислотах и более низкой температурой плавления, чем стекло, богатое кремнеземом.

Поскольку многие исследователи считают, что исходной была однородная карбонатно-силикатная магма, то и образование стекла тоже должно бы происходить не без участия карбонатов, тем более что существует мнение о первичности карбонатной массы. С проблемой кимберлитов тесно связан вопрос о карбонатитах, которыми бывают выполнены трубки взрыва, из-за чего эти образования некоторыми исследователями тоже отождествляются с кимберлитами. Общеизвестно, что карбонатная магма существует. Споры возникают обычно вокруг состава подобного расплава. Современные излияния представлены расплавом карбонатов щелочных элементов, которые впоследствии замещаются кальцием с образованием кальцита. Карбонат кальция и натрия (шортит) присутствует в кимберлитовых телах. Кальцит также был получен и непосредственно из искусственных расплавов, где в качестве исходного материала взяты карбонаты щелочей, хлорит кальция и силикаты. При консолидации этого находящегося под давлением карбонат-силикатного расплава возникла колонка, верхняя часть которой сложена кальцитом, нижняя — силикатным стеклом. Ликвация карбонатного расплава предполагается также для кимберлитовой магмы. Однако карбонатное стекло не образуется ни под давлением, ни тем более в открытом пространстве. Несмотря на то, что при выплавке обычного стекла в состав шихты входят карбонат щелочей и кальцит, конечный продукт не содержит карбонатного иона. Поскольку из находящегося под давлением карбонатно-силикатного расплава образуется кальцит (т. е. кристаллическая фаза), то карбонатного стекла не должно быть ни в условиях «закалки», когда под давлением содержащая CO_2 карбонатная магма быстро остывает у контакта с холодными вмещающими породами, ни тем более в условиях выполнения центральной части трубки, где резкий спад температуры (необходимое условие для образования стекла) обусловлен резким спадом давления (вслед за «прострелом» давление в трубке настолько падает, что проваливаются вышележащие породы).

В данных условиях карбонат кальция неустойчив и еще до понижения температуры до 700 °С диссоциирует с выделением CO_2. Что касается стекла, зафиксированного в минералах в виде включений, то анализов с целью обнаружения в нем CO_3^{2-} не проводилось. Из сказанного следует, что образование карбонат-силикатного стекла (т. е. гомогенного вещества) в процессе застывания кимберлитового расплава не имело места. Это тем более правильно, что и сам силикатный расплав претерпевает некоторое разделение, в связи с чем получается неоднородное стекло. Находящиеся в расплаве при более высоких давлениях ионы CO_3^{2-} в случае сравнительно медленного снятия напряжения кристаллизуются с образованием карбоната. В случае сохранения щелочной среды CO_2 может вновь соединяться с Са с образованием карбоната, но это уже является вторичным процессом. А карбонатсодержащее стекло и в данном случае возникнуть не может. Будучи остаточным после кристаллизации силикатов, щелочной карбонатный состав в присутствии летучих компонентов, тем не менее, отделяется и, находясь под давлением в момент «прострела», способен выполнить всякого рода трещины (до мелких включительно) и в них выкристаллизоваться, захватив при этом частично и силикатный расплав. Какая-то часть карбонатного расплава захватывалась силикатными расплавами. Однако в обоих случаях происходит полная кристаллизация (или распад) карбоната без образования им стекла. Следует при этом отметить, что если существование карбонатно-силикатного расплава возможно, то в процессе остывания «сухой» или «мокрой» магмы идет кристаллизация карбоната, а силикат может превратиться в стекломассу, причем кристаллическая фаза силиката (в частности, слюды) присоединяется к раскристаллизованному карбонату, а не к аморфному силикату (что мы и наблюдаем в кимберлитах). Кальцит, являющийся главной составной частью кимберлитов, мог возникнуть из карбонатного расплава-раствора, в котором карбонатный ион $(CO_3)^{2-}$ не распался благодаря повышенной щелочности среды и (или) высокому давлению. Никакого карбонатного (ни тем более карбонат-силикатного) стекла не было, поскольку в любых условиях карбонатный расплав кристаллизуется или происходит его распад, а от силикатного расплава он отделяется. Поэтому карбонат основной массы не может являться продуктом кристаллизации стекла, тем более, что он отделился от силикатного еще до внедрения последнего в осадочные толщи.

На невозможность существования карбонатного стекла указывают многие исследователи твердых включений в минералах кимберлитов. Невозможность образования карбонатного стекла в какой-то мере подтверждает мнение о ликвации первичного расплава с отделением карбонатного составного, которое, являясь более легким и менее вязким, всплыло и потом оттеснилось к периферии кимберлитовых провинций с образованием щелочно-ультраосновных кимберлитовых ассоциаций. На мелких объектах это подтверждено для меймечитов, а также доказано экспериментально по синтезу слюдистых карбонатных образований. Конечно, полного разделения не могло произойти. Определенная незначительная часть силикатной магмы была захвачена карбонатным расплавом и, наоборот, карбонатный расплав силикатным, о чем свидетельствуют глобулы карбонатов в кимберлитах базальтического типа. В процессе кристаллизационной дифференциации любой магмы, которая содержит определенное количество воды (независимо от того, каким образом она в нее попала), в конечной стадии консолидации появляются многоводные, преимущественно аморфные (и даже рентгеноаморфные), образования, которые описаны под различными названиями: палагонит, гизингерит, хлорофеит и др. Все подобного рода образования обычно именуют коллоидными минералами. Они возникли как в процессе эволюции расплава на глубине, так и при излиянии его на дневную поверхность, особенно в водные бассейны, на ледяную поверхность или при внедрении в любые образования. Наиболее характерны подобные образования для основных пород. Палагонит — совокупность богатых водой аморфных или

слабоокристаллизованных образований, которые возникли при охлаждении богатого водой расплава и в период формирования магматического тела ведут себя как флюидонасыщенная жидкость. Палагонит ассоциирует со стеклом, а в слабораскристаллизованных породах занимает место последнего. В стекле он находится в виде включений округлой формы с резкими границами. К палагониту иногда бывают приурочены рудные минералы и апатит. Глобули палагонита в стекле бывают: а) однородные изотропные или слабоанизотропные; б) концентрически зональные Палагонит нередко имеет вид сморщенного при усыхании гелеобразного вещества с системой трещин, которые разбивают его на полигональные участки. Палагонит и гизингерит являются аморфными минералами и представляют собой затвердевший силикатный гель, возникший вследствие сближения и взаимодействия между собой кристаллитов.

К постмагматическим преобразованиям кимберлитов [1–2] относятся изменения, которые претерпели магматические породы в пневматолитово-гидротермальную стадию метаморфизма. Верхней температурной границей считается 600 °С, т. е. температура, при которой от магматического расплава отщепляется флюид, а нижней можно условно считать температуру кипения воды, хотя некоторые минералы возникают и при более низких температурах. В этом интервале температур возникли все основные вторичные образования и в первую очередь главный минерал кимберлитов Сибирской и Африканской платформ — серпентин. Наряду с автометаморфическими процессами, которые протекают в обстановке, близкой к изохимической, в кимберлитовых телах довольно широко распространен метасоматоз (автометасоматоз). К последним следует отнести хлоритизацию слюд и полевых шпатов ксенолитов, которая сопровождается выносом щелочей и кальция. При бруситизации оливина происходит удаление кремнезема. Оталькование серпентина предусматривает привнос SiO_2, а окварцевание серпентина — вынос всех остальных компонентов. К метасоматическим также относится замещение серпентином карбонатов и, наоборот, замещение карбонатом силикатов. Главным реагентом в этих процессах является вода; важнейшую роль играет степень ее диссоциации на H^+ и OH^-, т. е. pH раствора, который в значительной мере определяется количеством в нем сильных оснований (Na, K, Ca и др.). При этом в зависимости от конкретных условий имеет место «перекрытие» температур образования высокотемпературных минералов.

Поскольку остаточный расплав магнезией не обогащается, образование серпентина происходит в основном за счет оливина. Кроме того, определенное ее количество заимствуется также в карбонатах (в частности, в ксенолитах доломита). Следовательно, прежде чем возникает серпентин, должен разрушиться оливин — как наименее устойчивый из силикатов и наиболее распространенный. Серпентин из псевдоморфоз, цементирующей массы и выделения серпофита обязаны коллоидному первоначальному образованию с последующим преобразованием в гель и его кристаллизацией (возможно, даже не полной). Об этом свидетельствуют трещины синерезиса, которые разбивают затвердевший гель на полигональные фигуры. В низкотемпературных серпофитах эти трещины сохранились, а у псевдоморфоз вместо них появились [1–2] агрегаты из параллельно-чешуйчатых индивидов, образующих секториальногаснущую (секториальную) структуру. Последняя обычно возникает в процессе быстрого роста множества кристаллов с четырех сторон. Рост заканчивается в центре или на определенном расстоянии от него. Это стало возможным потому, что напряжение было снято не полностью, поскольку порода в целом находилась под давлением. Во многих случаях петельчатая структура также имеет элементы секториальной. Слепые прожилки в срезе дают в шлифе ленты, объединенные в каркас-петельчатые картины. Агрегаты из субмикроскопических индивидов псевдоморфоз чаще перекристаллизованы, чем выделения серпофита, количество которого в кимберлитовых телах кверху увеличивается. Причиной тому является уменьшение общего (статического) давления пород в верхних горизонтах кимберлитовых трубок.

Таким образом, сформировавшийся в процессе кристаллизационной дифференциации остаточный расплав-раствор базитов и ультрабазитов не обогащен, как считают некоторые исследователи, магнезией, а сложен преимущественно железом и кремнеземом и развитие по нему серпентина возможно как по любому другому силикату независимо от состава последнего. Образование палагонита нельзя объяснить только гидратацией вулканического стекла, пусть даже сильно железистого, так как в подобных случаях обычно (даже в процессе выветривания) происходит гидролиз и возникает кристаллическая фаза, представленная смектитом (монтмориллонитом, железистым сапонитом или нонтронитом). Поэтому появление аморфной (в том числе и рентгеноаморфной) фазы может быть связано с процессом быстрого выпадения геля из раствора с последующим его высыханием. При этом наиболее подходящими компонентами служат состав и форма размещения палагонита, так же как и близкого к нему гизингерита. А последний встречен не только (и не столько) в базальтах, но и в габбро, и даже в метаморфических образованиях. Возникновение аморфных веществ, основу которых составляют кристаллиты слоистых силикатов (куда входят и субизотропный серпентин и серпофит) возможно при низком давлении. Увеличение давления содействует образованию кристаллических веществ, поскольку при этом уменьшается объем породы. Однако с увеличением давления уничтожается также реликтовая структура породы. Сохранившаяся в кимберлитах реликтовая структура в значительной мере связана со сравнительно низким давлением в процессе серпентинизации.

Основные выводы по поводу отдельных вопросов становления и дальнейшего формирования кимберлитовых тел и слагающих их минералов и пород:

1. В процессе происходящего вслед «за прострелом» осадочных толщ резкого падения давления и вызванного этим такого же спада температуры в верхней части может образоваться только бедное магнезией железистое стекло, которое в связи со значительным ограниченным количеством кремнезема является малоустойчивым и может разрушаться наравне с оливином (однако от изобилия воды в остаточном расплаве процесс до образования стекла не доходит).

2. Карбонатная составляющая общего расплава обособляется еще до затвердения силикатной части и в зависимости от конкретных условий либо кристаллизуется (при падении температуры), либо разлагается (при падении давления) с удалением CO_2.

3. Большое значение для мобильности карбонатного расплава имеют щелочи и в первую очередь натрий, который впоследствии образует собственное соединение (шортит) или, обладая (в отличие от калия) положительной энергией гидратации, легко выносится поствулканическими растворами, уступая место кальцию.

4. Разрушение наименее устойчивого соединения — главного минерала кимберлитов оливина проходит под влиянием углекислоты одновременно по всему объему породы с последующей (вызванной гидролизом) аморфизацией и переходом в коллоидное состояние с дальнейшей кристаллизацией и перекристаллизацией серпентина.

5. Кристаллизация серпентина происходит быстро, главным образом по краям бывших зерен с формированием псевдоморфоз, вдоль трещин синерезиса и по наименее плотным участкам геля, а также по трещинам оливина в частично разрушенном кимберлите.

Литература

1. Зинчук Н. Н. Постмагматическиме минералы кимберлитов. М.: Недра, 2000. 538 с.
2. Харькив А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов Мира. М.: Недра, 1998. 555 с.

В. Л. Ильченко, Р. Р. Самигулин, Т. В. Каулина
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, kaulina@geoksc.apatity.ru

ВАРИАЦИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ПОРОД УРАНОВЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ (РУДОПРОЯВЛЕНИЕ БЕРЕГОВОЕ, ЛИЦЕВСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН, КОЛЬСКИЙ РЕГИОН)

Введение

Данная работа продолжает изучение урановой рудоносности Лицевского района, где обнаружено около 40 рудопроявлений [8, 12]. Хотя за все время исследований здесь до сих пор не обнаружено промышленных месторождений, по мнению К. В. Лобанова (устное сообщение), этот район остаётся весьма перспективным, так как изучен недостаточно.

Нашими предыдущими работами в Лицевском районе установлено, что большинство известных урановых рудопроявлений сосредоточено на «периферии» кольцевой структуры с диаметром около 70 км, причём геоморфологическим анализом здесь выделяется довольно много более мелких (до 1–2 км) кольцевых структур (и их фрагментов) [4].

Геоморфологические признаки большинства кольцевых структур на поверхности Земли (Луны и др.) не оставляют сомнения в их экзогенном (импактном) происхождении. При этом есть немало эндогенных кольцевых структур [1, 2, 9]. Связь различных полезных ископаемых с кольцевыми структурами описана многими исследователями [1, 2, 10 и др.], которые всесторонне изучают физико-химические условия рудообразования, при этом они зачастую оставляют без внимания динамику формирования этих структур, сообщая о «неясном происхождении». Все обусловлено сложностью генетической идентификации «кольца», а также тем, что размышлять о природе структуры после обнаружения в ней месторождения становится неинтересно. Тем не менее, рассматривая кольцевые структуры на поверхности Земли как поисковый признак [9, 13 и мн. др.], а таких структур великое множество, наши исследования могут принести в будущем более чем ощутимую пользу.

Данное исследование нацелено на генетическую «разбраковку» кольцевых структур Лицевского рудного района, в которых обнаружены урановые рудопроявления.

Урановое рудопроявление Береговое

Рудопроявление Береговое открыто ПО «Невскгеология» в 1974 г. Открытию предшествовали геологические и геофизические исследования, в т. ч. проходка канав и разведочных скважин. Рудопроявление расположено среди гнейсов кольской серии в северном экзоконтакте массива Лебяжка комплекса Лицко-Арагубских гранитоидов (рис. 1). Регионально этот объект расположен на пересечении субширотного разлома Чептьявр и тектонической Лицко-Арагубской зоны СВ разломов, осуществляющих «структурный контроль» [14].

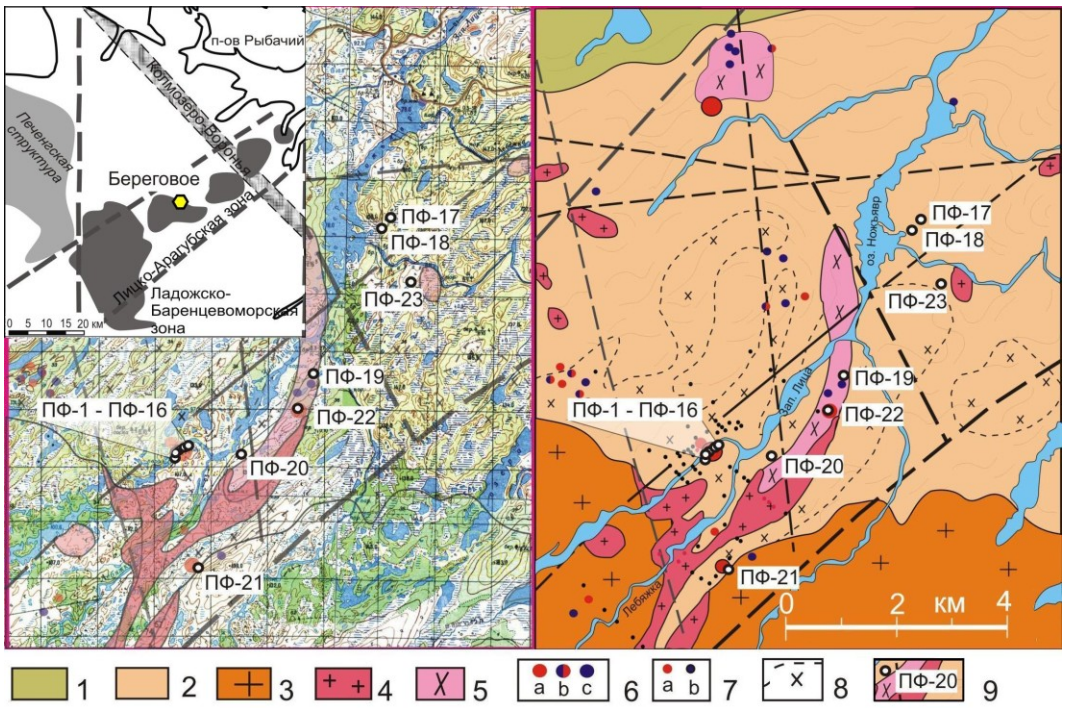


Рис. 1. Карты района полевых работ: слева — топографическая с нанесением некоторых геологических границ, справа — геологическая схема ([14]):
1 — биотитовые гнейсы, гранат-силлиманит-биотитовые гнейсы с прослоями амфибол-магнетитовых пород; 2 — те же породы мигматизированные; 3 — порфировидные и порфировластовые плагиомикроклиновые граниты; 4 — м/зернистые лейкократовые биотит-плагиомикроклиновые граниты; 5 — аплит-пегматоидные плагиограниты; 6 — аномалии: Th/U < 1 (a), Th/U = 1–3 (b), Th/U > 3 (c); 7 — аномалии в скважинах: U > 0,05 % (a), U < 0,03 % (b); 8 — мигматиты по микроклин-плагиоклазовым гранитам; 9 — точки отбора петрофизических проб

Вмещающие породы: мигматизированные биотитовые гнейсы, гранат-биотитовые и двуслюдяные гнейсы кольской серии, которые пересечены дайками основного состава с интенсивными гидротермально-метасоматическими изменениями. Зона этих изменений прослеживается на поверхности объекта более чем на 800 м и в глубину (скважины) до 240–400 м. Основные изменения — хлоритизация; кроме того, отмечены: гидрослюдизация, карбонатизация и локально — альбитизация. Урановая минерализация (выявлена в 5 скважинах) сосредоточена в линзовидных телах метасоматитов (10–20×2–2,5 м в длину) со средним содержанием урана 0,01 мас. %. Скважинами вскрыты более обогащенные (до 0,138–0,2 мас. %), но более мелкие (1,1×0,1 м) линзы [14].

Результаты

Полевыми работами на рудопроявлении Береговое в 2016 г. было установлено, что обнажения коренных пород доступны лишь в береговых обрывах реки Западная Лица, где удалось обнаружить ряд слабых радиометрических аномалий (с небольшим превышением фоновых значений). Из обнажений были отобраны образцы на разные виды анализов, включая пространственно ориентированные образцы для определения физических свойств (ПФ1-ПФ16). Интервал отбора петрофизических проб — 10 м (последние две пробы отобраны через 15 м). Для сравнения: аналогичные пробы (с «произвольным» интервалом) отобраны на более мелких рудопроявлениях: ПФ21 — на рудопроявлении Восточно-Лебяжинском, ПФ19 и ПФ22 — на рудопроявлении Уранинитовое и вне рудопроявлений — ПФ17 и ПФ23 (рис. 1). Всего — 23 пробы.

Петрография образцов изучена в шлифах.

Для проведения петрофизических измерений из отобранных проб были выпилены образцы кубической формы (с сохранением их пространственной ориентировки), после чего грани кубиков были пронумерованы: грани 1 и 2 — направления соответственно на юг и восток, грань 3 — вертикаль.

Скорость распространения продольных волн $V_п$ измерялась во всех направлениях куба (1, 2, 3) с помощью ультразвукового прибора ГСП УК-10ПМС.

Коэффициент анизотропии $A_п$ («девиатор упругости») образцов был вычислен из скоростей распространения ультразвуковых продольных волн, измеренных в трех ортогональных направлениях, по формуле:

$$A_п = 1/V_{ср}\,((V_1 - V_{ср})^2 + (V_2 - V_{ср})^2 + (V_3 - V_{ср})^2)^{0,5} \cdot 100\ \%,$$

где $V_{ср} = (V_1 + V_2 + V_3)/3$ — средняя скорость распространения продольных волн в образце; V_1, V_2, V_3 — скорости продольных волн в соответствующих направлениях. Плотность ρ образцов измерена методом Архимеда.

Все полученные результаты: данные по плотности ρ, средняя скорость $V_{ср}$ и показатель упругой анизотропии $A_п$ — вынесены на график (рис. 2).

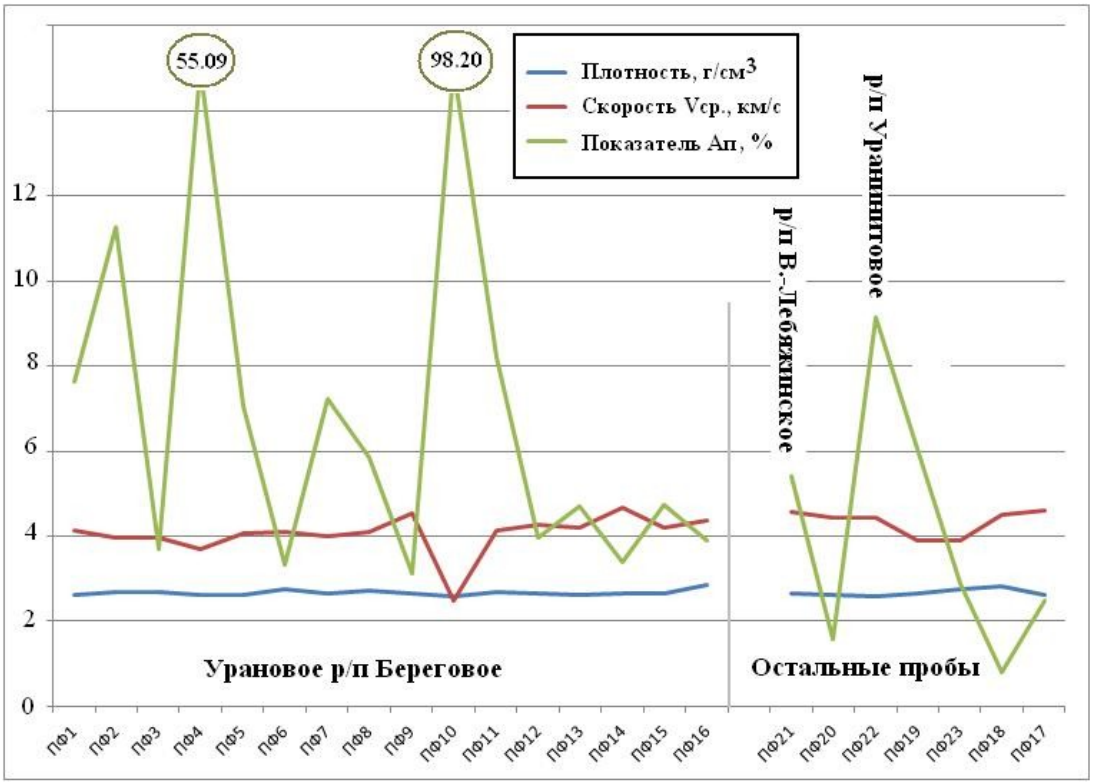


Рис. 2. Физические свойства образцов горных пород из коренных обнажений уранового рудопроявления Береговое (ПФ1-16) и его окрестностей (остальные пробы: ПФ17-23); значения $A_п$ для ПФ4 и ПФ10 нанесены с искажением вертикального масштаба (так как на порядок отличаются от остальных; их размер показан в овальных рамках)

Обсуждение

Подавляющее количество изученных образцов — породы кислого состава (гнейсы биотитовые, лейкократовые гранитогнейсы и гнейсограниты); их средняя плотность (2,6–2,7 г/см^3) отвечает справочным данным [11]. Плотность породы — «консервативный» параметр, мало подверженный каким-либо изменениям во времени, в отличие от показателя упругой анизотропии $A_п$.

На участке уранового р/п Береговое для показателя $A_п$ установлена определенная закономерность в вариациях его пиковых значений: образцы 1, 3, 6, 9 и 12 попадают в «депрессии», а 2, 4, 7, 10 — наоборот (рис. 2). Упругие свойства пород ($V_{ср}$) и показатели упругой анизотропии $A_п$ имеют площадные (пространственные) вариации с волновым типом распределения. Схожее распределение наблюдалось ранее в образцах пород, отобранных по профилям вкрест Лучломпольского разлома [6] и по Пароварской дороге [5] (через урановое рудопроявление Скальное). Обнаруженный здесь волновой тип распределения показателя $A_п$ в очередной раз подтвердил предположение о «волновом контроле» [3] над геодинамикой.

Кроме того, положительные «всплески» показателя $A_п$ (принимая р/п Береговое за «совокупный всплеск») наблюдаются в пробах ПФ21 (р/п Восточно-Лебяжинское) и ПФ 22 и ПФ19 (р/п Уранинитовое). Поскольку показатель упругой анизотропии горной породы обусловлен соответственно анизотропной системой микротрещин, развитие которой прямо зависит от динамического воздействия на породу [7], это совпадение указывает на связь урановых рудопроявлений с (возможно, «живыми») тектоническими зонами.

Выводы

Наиболее интересным результатом проведенного исследования является волновой тип пространственного распределения в горных породах показателя упругой анизотропии $A_п$, что предполагает наличие закономерности тектонического расслоения и определяет идеологию дальнейших исследований на предмет построения геолого-структурной модели фрагмента земной коры с благоприятными для формирования урановорудных объектов условиями.

Литература

1. Беляев К. Д., Увадьев Л. И., Шульга Т. Ф. Закономерности размещения массивов центрального типа Кольского полуострова // ДАН. 1976. Т. 226, № 1. С. 163–165.

2. Гуревич Д. В. Задачи и методы картирования купольно-кольцевых структур при выделении и опоисковании порфировых систем // Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования: материалы Всерос. конф., посвященной 85-летию ИГЕМ РАН. М., 2015. С. 192–193.
3. Ильченко В. Л. Волновой контроль над геодинамическими процессами и возможность его использования при физическом моделировании глубинных геологических структур // Материалы междунар. конф., посвященной памяти В. Е. Хаина, 1–4 февраля 2011 г. / Моск. гос. ун-т. 2011. CD. С. 776–777.
4. Ильченко В. Л., Каулина Т. В. Удар метеорита как структурообразующий фактор и триггер в активизации рудообразующих процессов (на примере U-рудопроявлений Печенга-Лицевского р-на, Мурманская обл.) // Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования: материалы всерос. науч. конф. (Москва, 25–27 ноября 2015 г.) / ИГЕМ. 2015. С. 126–127.
5. Ильченко В. Л. О вариациях плотности и анизотропии упругих свойств архейских пород в приповерхностном залегании (на примере Центрально-Кольского мегаблока, Балтийский щит) // Геоэкология. Инж. геология. Гидрогеология. Геокриология. 2010. № 1. С. 73–79.
6. Ильченко В. Л. О результатах изучения анизотропии упругих свойств горных пород из зоны Лучломпольского разлома (Печенгский район, Кольский полуостров) // Физика Земли. 2009. № 3. С. 64–72.
7. Ильченко В. Л. Природа упругой анизотропии керна Кольской сверхглубокой скважины: автореферат дис. … канд. геол.-мин. наук. СПб., 2000. 16 с.
8. Казанский В. И., Лобанов К. В. О границах и металлогении Печенгского рудного района // Геология рудных месторождений. 1996. № 1. С. 103–109.
9. Камуфлетные взрывы, как причина формирования структур, индицирующих алмазоносные районы (по материалам дистанционных и геофизических методов) / В. И. Горный и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса / ИКИ РАН. 2006. Т. 3. № 2. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/sbornik_index.html
10. Маракушев А. А. Рудоносность взрывных кольцевых структур // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38, № 6. С. 500–511.
11. Науки о Земле // Справочник физических констант горных пород: пер. с англ. / ред. Г. П. Романович. М.: Мир, 1969. Т. 21. 544 с.
12. Урановое оруденение Лицевского района на Кольском полуострове (Россия) / А. В. Савицкий и др. // Геология рудных месторождений. 1995. № 5. С. 403–416.
13. Хазанович-Вульф К. К. Диатремовые шлейфы астроблем или «болидная модель» образования кимберлитовых трубок. Петрозаводск: Геомастер, 2007. 272 с.
14. Serov L. Métallogenèse de l'uranium dans la région de Litsa (Péninsule de Kola, Russie). Docteur de l'Université Henry Poincaré (en géosciences). Soutenance publique le 24 juin 2011. Nancy. France. 166 p.

Т. В. Картушинская, В. В. Балаганский, Т. В. Каулина
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, tanja_1992@mail.ru, balagan@geoksc.apatity.ru

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ, ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И ВОЗРАСТНЫЕ ДАННЫЕ ПО НЕКОТОРЫМ КИСЛЫМ ЖИЛАМ БЕЛОМОРСКОЙ ЭКЛОГИТОВОЙ ПРОВИНЦИИ

Введение

Беломорская провинция является пока единственной в мире тектонической структурой, в которой найдены реликты раннедокембрийских эклогитов. Одни геологи считают, что эклогитовый метаморфизм проявился в архее [1, 6, 11], другие — только в палеопротерозое [3–5], а третьи — и в архее, и в палеопротерозое [8]. Сейчас отечественными и зарубежными исследователями ведется всестороннее изучение этих эклогитов, которые важны для оценки геодинамического режима в раннем докембрии. Авторами проводятся исследования гранитоидов, включая серые гнейсы, а также кислых жильных образований, пространственно ассоциирующих с эклогитами участков Куру-Ваара и Широкая Салма. В данном сообщении рассматриваются некоторые из этих жильных образований.

Участок Широкая Салма

На этом участке развиты архейские серые гнейсы, изобилующие как протяженными пластовыми телами, так и будинами архейских амфиболитов. Все эти породы претерпели очень высокую деформацию в Широко-Салминской зоне сдвигового течения, возникшей во время лапландско-кольской коллизии 1,91–1,94 млрд лет назад [9]. Поэтому реликты эклогитов очень редки и сохранились только в будинах. Одна из будин почти целиком сложена полосчатыми симплектитовыми эклогитами, преобразованными в амфиболиты лишь на ее краях (рис. 1А).

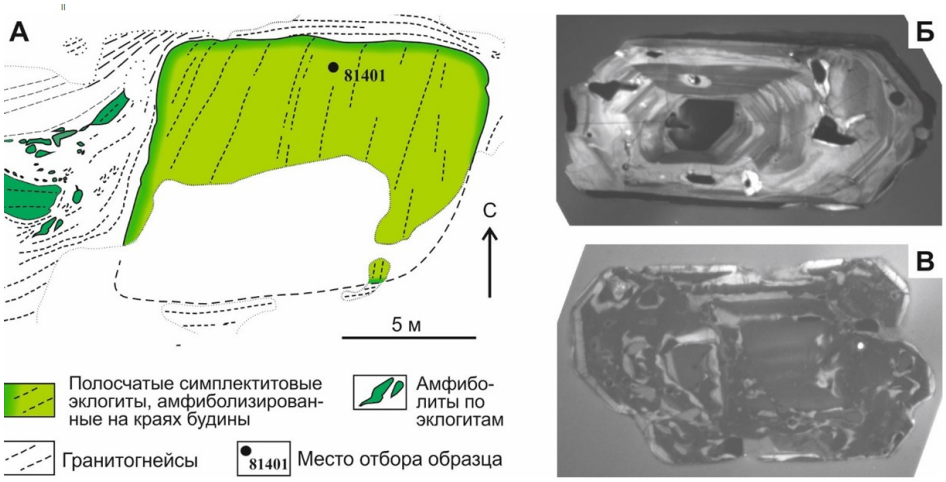


Рис. 1. Будина диафторированных (симплектитовых) эклогитов в гранитогнейсах участка Широкая Салма (А). Катодолюминесцентные изображения раннего циркона с осцилляторной зональностью (Б) и позднего циркона с конволютной текстурой (В)

Симплектиты представлены сростками клинопироксена и плагиоклаза, замещающими, по литературным данным, омфацит. Полосчатость обусловлена разным содержанием амфибола и расположена под углом около 70° к северному и южному контактам будины и к облекающей будину милонитовой сланцеватости во вмещающих серых гнейсах. Таким образом, здесь фиксируется два разновозрастных структурно-метаморфических события — образование полосчатых симплектитовых эклогитов и более позднее их рассланцевание во время палеопротерозойской лапландско-кольской коллизии, которое привело к почти повсеместному уничтожению эклогитов.

Диафторированные эклогиты секутся *гранат-кварцевыми жилами*, которых нет в амфиболизированных эклогитах, пластовых амфиболитах и вмещающих серых гнейсах. Главные минералы жил — кварц (45–55 %) и гранат (35–40 %), второстепенные — роговая обманка (1–2 %) и апатит (1–2 %), акцессорные — циркон, рутил, пирит и халькопирит. Нами изучен образец 81401, химический состав которого приведен в таблице. Отношение La_N/Lu_N равно 2,76 (во вмещающем диафторированном эклогите это отношение равно 1,92 при меньшем содержании РЗЭ и сходном распределении редкоземельных элементов), присутствует слабая отрицательная Eu аномалия (рис. 2, А). На классификационных диаграммах TAS и Ab-An-Or (рис. 2, Б, В) эта порода лежит далеко от полей магматических пород. Мы полагаем, что гранат-кварцевая порода кристаллизовалась из высокотемпературного флюида после образования эклогитов и ее возраст, таким образом, вводит верхнюю возрастную границу эклогитового метаморфизма.

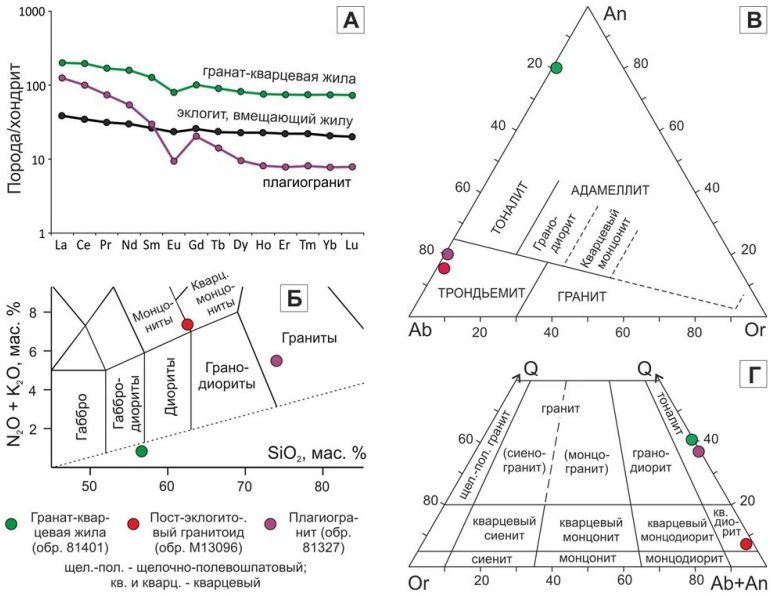


Рис. 2. Распределение редкоземельных элементов (А) в изученных кислых жильных образованиях (содержания РЗЭ определены в ИХТРЭМС КНЦ РАН, нормирование по хондриту выполнено согласно работе [15]). Классификационные диаграммы: Б — TAS [12] (пунктир отделяет область, которой не отвечает состав каких-либо магматических пород согласно работе [2]); В — An-Ab-Or [13], Г — Q-Or-(Ab+An) [14]

Из образца 81401 были выделены ранние цирконы с осцилляторной зональностью (рис. 1, Б) и поздние с конволютной текстурой, т. е. сильно измененные (рис. 1, В). Последние возникают при метасоматическом замещении раннего циркона [10]. Для ответа на вопрос, имеют ли все цирконы возраст ~1,9 млрд лет, датированы пять фракций их смеси U-Pb методом (TIMS).

Участок Куру-Ваара сложен серыми гнейсами, которые содержат будинированные пластовые тела архейских амфиболитов с реликтами эклогитов, прорванных архейскими габбро-амфиболитами и палеопротерозойскими оливиновыми габбро-норитами [7]. Серые гнейсы и амфиболиты испытали совместные деформацию, метаморфизм и мигматизацию [8]. Отличительной чертой этого участка является то, что он испытал незначительную палеопротерозойскую переработку архейских структур, что и обусловило обилие реликтов эклогитов. Ниже описываются гранитоиды, рвущие габбро-амфиболиты (постэклогитовые, согласно работе [7]), и плагиограниты, прорывающие оливиновые габбро-нориты.

Химический состав (мас. %) некоторых кислых жил Беломорской провинции

Порода	Гранат-кварцевая жила 81401-1	Гранитоид М-13096	Плагио-гранит 81327	Порода	Гранат-кварцевая жила 81401-1	Гранитоид М-13096	Плагио-гранит 81327
SiO_2	56,64	62,59	74,02	K_2O	0,06	0,26	0,06
TiO_2	1,59	0,34	0,33	H_2O-	0	0,14	0,14
Al_2O_3	12,56	20,76	13,28	п.п.п.	0,05	0,34	0,28
Fe_2O_3	2,39	0	0	P_2O_5	0,68	0,12	0,07
FeO	15,34	3,53	1,67	CO_2	0	0,23	0,1
MnO	0,24	0,076	0,017	F	0,025	0,004	<0,004
MgO	2,59	2,03	0,84	Cl	<0,004	0,017	0,013
CaO	6,51	2,72	3,15	$S_{общ}$	0,03	0,05	0,03
Na_2O	0,77	7,1	5,43	Сумма	99,46	100,31	99,43

Примечание. химический анализ сделан в химико-аналитической лаборатории ГИ КНЦ РАН.

Был получен смешанный U-Pb возраст верхнего пересечения ~2,2 млрд лет, который оказался значимо древнее эклогитового метаморфизма возраста 1,9 млрд лет.

Гранитоиды слагают три жилы длиной до 2 м и мощностью до 50 см, расположенные рядом друг с другом. Главными минералами этих пород с гранобластовой структурой, являются кварц (35–45 %), плагиоклаз (30–40 %) и ромбический амфибол (7–15 %) ряда жедрит-антофиллит (рис. 3), определенный рентгенофазовым анализом. Второстепенными являются гранат (2–3 %) и биотит (1–2 %), а акцессорными — апатит, кианит, монацит, рутил и циркон.

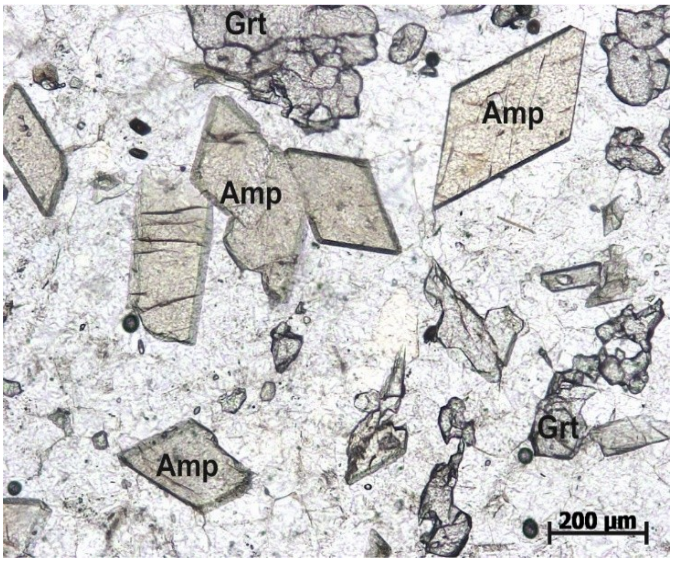


Рис. 3. Фото ромбического амфибола в жиле гранитоида (без анализатора); Amp —амфибол, Grt — гранат

Согласно химическому составу (обр. M13096, таблица), на диаграмме TAS они лежат в области сочленения полей монцонитов, кварцевых монцонитов, диоритов и гранодиоритов (рис. 2, Б), на диаграмме Ab-An-Or — в поле трондьемитов (рис. 2, В), а на диаграмме Q-Or-(Ab+An) — в поле кварцевых диоритов (рис. 2, Г).

Плагиограниты, которые прорывают палеопротерозойские габбро-нориты, слагают жилы длиной примерно до ~15 м и мощностью до 15 см. Их структура гранобластовая. Главные минералы: кварц (75–90 %), плагиоклаз (5–10 %) и ромбический амфибол (3–10 %) ряда жедрит-антофиллит, диагностированный рентгенофазовым анализом. Акцессории: циркон, рутил, халькопирит, пирротин и моноклинный амфибол. Согласно химическому анализу образца 81327 (таблица), на диаграмме TAS они лежат в поле гранитов (рис. 2. Б), на диаграмме Ab-An-Or — в поле трондьемитов (рис. 2, В) и на диаграмме Q-Or-(Ab+An) — в поле тоналитов (рис. 2, Г). В образце 81327 отношение La_N/Lu_N равно 15,9; отмечается отрицательная Eu аномалия (рис. 2, А).

Заключение

1. Эклогиты, наблюдаемые в реликтах в архейских амфиболитах участка Широкая Салма, возникли не 1,9 млрд лет назад, а до рубежа 2,2 млрд лет. Это согласуется со структурными наблюдениями, согласно которым в истории Беломорья было два этапа эклогитового метаморфизма [8].

2. Петрохимически разные жилы гранитоидов, секущие архейские и палеопротерозойские базиты участка Куру-Ваара, содержат нетипичный для гранитоидов ромбический амфибол ряда жедрит-антофиллит.

Благодарности. Исследования были выполнены в рамках темы НИР ГИ КНЦ РАН № 0231-2015-0004, а геохронологические определения — при поддержке РФФИ (проект 16-05-01031А). Авторы благодарны Е. А. Апанасевич и Е. А. Селивановой за помощь в изотопных и минералогических исследованиях.

Литература

1. Архейские эклогиты Беломорского подвижного пояса, Балтийский щит / О. А. Володичев и др. // Петрология. 2004. Т. 12, № 6. С. 609–631.
2. Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография / Е. Д. Андреева и др. М.: Наука, 1985. Ч. 1. 368 с.
3. Первые определения Lu-Hf-возраста гранатов из эклогитов Беломорского подвижного пояса (Балтийский щит, Россия) / Д. Хервартц и др. // ДАН. 2012. Т. 443, № 2. С. 221–224.
4. Скублов С. Г., Березин А. В., Мельник А. Е. Палеопротерозойские эклогиты северо-западной части Беломорского подвижного пояса, район Салмы: состав и изотопно-геохимическая характеристика минералов, возраст метаморфизма // Петрология. 2011. Т. 19, № 5. С. 493–519.
5. Травин В. В., Козлова Н. Е. Локальные сдвиговые деформации как причина эклогитизации (на примере Гридинской зоны меланжа, Беломорский подвижный пояс) // ДАН. 2005. Т. 405, № 3. С. 376–380.
6. Щипанский А. А., Ходоревская Л. И., Слабунов А. И. Геохимия и изотопный возраст эклогитов беломорского пояса (Кольский полуостров): свидетельства о субдуцировавшей архейской океанической коре // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 3. С. 341–364.
7. Эклогиты Беломорского пояса (Кольский полуостров): геология и петрология / А. А. Щипанский и др. // Геология и геофизика. 2012а. Т. 53, № 1. С. 3–29.
8. Archaean Kuru-Vaara eclogites in the northern Belomorian Province, Fennoscandian Shield: Crustal architecture, timing, and tectonic implications / V. Balagansky et al. // Int. Geol. Rev. 2015. Vol. 57. P. 1541–1563.
9. Balagansky V. V., Timmerman M. J., Whitehouse M. J. The Lapland-Kola Orogen: Palaeoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere / J. S. Daly et al. // European Lithosphere Dynamics. Geol. Soc. London: Memoirs, 2006. 32. P. 579–598.
10. Geisler T., Schaltegger U., Tomaschek F. Reequilibration of zircon in aqueous fluids and melts // Elements. 2007. No. 3. P. 43–50.
11. Mesoarchean Subduction Processes: 2.87 Ga eclogites from the Kola Peninsula, Russia / M. M. Mints et al. // Geol. 2010. Vol. 38, No. 8. P. 739–781.
12. Middlemost E. A. K. Naming materials in the magma/igneous rock system // Earth Sci. Rev. 1994. Vol. 37. P. 215–224.
13. O'Connor J. T. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios // U. S. Geological Survey: Professional Paper. 1965. 525B. P. 79–84.
14. Streckeisen A. To each plutonic rock its proper name // Earth Sci. Rev. 1976. Vol. 12. P. 1–33.
15. Sun S.-s., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geol. Soc. London, 1989. Vol. 42. P. 313–345.

Э. В. Каспарьян, Ю. В. Федотова, Н. Н. Кузнецов
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, fjulia@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

Введение

С целью отражения особенностей геомеханического состояния массивов пород при разработке месторождений полезных ископаемых в каждом конкретном случае необходимо выполнять геодинамическое районирование недр [1], которое включает как выделение крупных структур-разломов и определение степени их активности, так и определение компонентов поля естественных напряжений.

При этом под геодинамически активными структурами, по современным представлениям, обычно понимаются разрывные нарушения, для которых в современный период наблюдаются существенные перемещения (деформации) и связанные с ними изменения (развитие малоамплитудных разрывов, флексур, послойных нарушений, раздувов и пережимов слоев и пластов и т. д.) геологической среды. Наиболее активными движениями обычно отличаются структуры самых крупных масштабных рангов, однако максимальная концентрация напряжений чаще приурочена к структурам среднего или самого мелкого масштабного ранга (более «молодым» в ряду иерархической подчиненности) [3, 9].

При ведении подземных горных работ наличие разрывных нарушений в пределах отрабатываемого месторождения приводит к рискам возникновения горных ударов регионального и локального происхождения, внезапных выбросов или обрушений кровли и других опасных событий геодинамической природы, называемым геодинамическими рисками. Причем зоны сопряжения геодинамически активных структур представляют собой наиболее опасные участки недр.

В последние годы внимание исследователей к вопросам влияния крупных структур на формирование напряженно-деформированного состояния массивов пород усилилось. Некоторые исследователи [5, 8] считают зоны глубинных разломов уникальными геологическими структурами, в которых происходит поглощение и трансформация подводимой извне механической энергии. При этом особые свойства тела разлома, в частности пониженная плотность и повышенная деформируемость, могут приводить к выдавливанию материала-заполнителя разлома и его поднятию вверх по разрезу [6].

Развивая эти мысли, можно прийти к заключению о том, что если такие поднятия в силу каких-либо причин затруднены, то горизонтальные компоненты напряжений, обусловленных весом колонки внутриразломных пород, принципиально могут привести к формированию в нем деформаций растяжения и, в случае их достаточной величины, к раздвиганию бортов разлома. В свою очередь, силы давления на борта разлома, теоретически, будут вызывать в соседних структурных блоках, разделяемых разломом, избыточные напряжения, нормальные к плоскости разлома. Таким образом, направление избыточных напряжений будет определяться ориентацией разлома в пространстве. Если с этих позиций рассматривать не одиночный разлом, а системы разломов, то тогда становится понятным формирование в структурных блоках горизонтальных напряжений, общего поля напряжений и их различия в зависимости от ориентации.

Подобные причины формирования горизонтальных напряжений в массиве пород представляются достаточно реальными с точки зрения общего механизма. Однако если принимать во внимание величины реальных горизонтальных напряжений, которые фиксируются в массивах пород, то собственного веса столба пород внутри разлома для их достижения явно недостаточно. Исходя из этого, нами было выдвинуто предположение о постоянной подпитке энергией массивов пород из нижележащих слоев Земли, в первую очередь по глубинным разломам [11].

Эти вопросы имеют особую актуальность для массива пород Хибинских апатит-нефелиновых месторождений, где, как известно, впервые были обнаружены, измерены и опубликованы данные о весьма высоких горизонтальных напряжениях [2, 7, 10], обусловливающих активное проявление геодинамических проявлений горного давления в виде горных ударов и техногенных землетрясений.

С целью подтверждения высказанной гипотезы о постоянной энергетической подпитке массивов пород были выполнены исследования формирования полей напряжений вблизи разломов методом математического моделирования при различных вариантах граничных условий применительно к геомеханической ситуации, характерной для отрабатываемых апатит-нефелиновых месторождений Хибинского массива.

Объект исследования

В качестве основных объектов исследования изменений естественного поля напряжений массива горных пород вблизи разломов выбраны два месторождения апатит-нефелиновых руд Хибинского щелочного интрузива центрального типа — Кукисвумчоррское и Юкспорское, отрабатываемые Объединенным Кировским рудником АО «Апатит». Основными разломными структурами на данных месторождениях являются Северный и Саамский разломы.

Кукисвумчоррское и Юкспорское месторождения представляют собой части единой Кукисвумчорр-Расвумчоррской рудной залежи юго-западного рудного поля. Рельеф района Кукисвумчоррского и Юкспорского месторождений можно охарактеризовать как сильно расчлененный: горный массив поднимается над окружающей холмистой равниной в среднем на 400–700 м (максимум на 1100 м) и разделен глубоко врезанными долинами преимущественно субширотного простирания. Северный разлом является северо-западной границей Кукисвумчоррского месторождения. Разлом, залегающий практически отвесно, вкрест простирания рудного тела на глубину ориентировочно 40 км, имеет сложное строение и мощность до 200 м. Саамский разлом является одновременно восточной границей Кукисвумчоррского месторождения и западной границей Юкспорского месторождения. Он залегает также практически отвесно вкрест простирания рудного тела на глубину ориентировочно 30 км. Разлом имеет сходное с Северным разломом строение и мощность до 136 м. Верхняя часть разломной зоны в пределах шахтного поля ОКР АО «Апатит» снята горными работами в Саамском карьере до глубины около 200 м.

Методы исследования и описание моделей

Исследования проводились с помощью численного моделирования методом конечных элементов в плоской постановке. Расчеты выполнены с использованием пробной версии программного обеспечения RS2 (Phase 2 9.0). Участок моделирования представляет собой гористую местность с высотами от 1000 до 1300 м, расчлененную двумя разломами. Первый (моделирует Северный разлом) имеет мощность около 200 м и квазипараллельные границы, второй (моделирует Саамский разлом) — конусовидной формы с мощностью от 300 м на поверхности до 80 м на глубине (рис. 1). На основании данных экспериментальных исследований [4] были заданы следующие средние значения физико-механических свойств блоков модели: разломные зоны

(обозначены желтым цветом): собственный вес — 1,3 г/см^3; модуль упругости — 1,00 ГПа; коэффициент Пуассона — 0,49. Вмещающие породы (обозначены серым цветом): собственный вес — 2,5 г/см^3; модуль упругости — 72,2 ГПа; коэффициент Пуассона — 0,28. В модели учитывалось действие веса пород, при этом боковой отпор моделировался закреплением боковых граней модели. Верхняя (дневная поверхность) и нижняя грани принимались свободными, закрепленными или нагруженными в зависимости от конкретных вариантов граничных условий. С целью решения поставленных задач рассматривалось три варианта граничных условий.

Результаты исследований

I вариант. Верхняя грань модели свободна на всем своем протяжении, нижняя грань полностью закреплена. При этом моделируется случай, когда массив пород и разломы нагружаются только гравитационными силами (рис. 2). Как следует из данных рис. 2, в этом случае величины горизонтальных напряжений в межразломном пространстве не превышают 4–6 МПа.

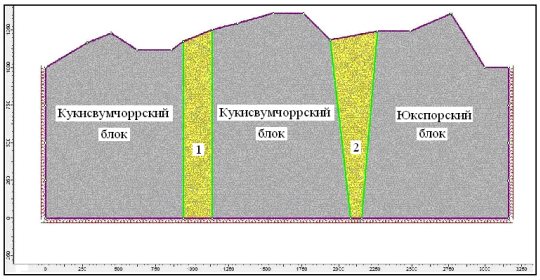


Рис. 1. Модель исследуемого участка массива пород:
1 — Северный разлом, 2 — Саамский разлом

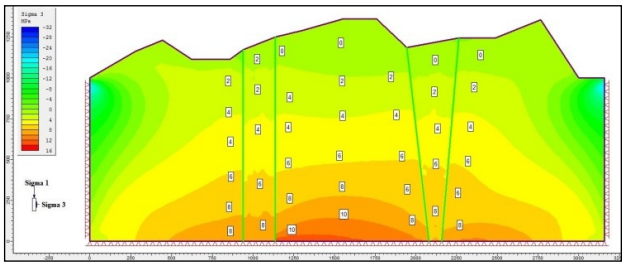


Рис. 2. I вариант. Распределение напряжений σ_3 в массиве пород в окрестности разломов (цифры — величины напряжений в МПа)

II вариант. В нем по нижней грани разломов приложена сосредоточенная нагрузка *F*, равная 150 МПа, а верхняя грань модели свободна на всем протяжении (рис. 3, левая часть) или закреплена в области выхода разломов (правая часть рис. 3).

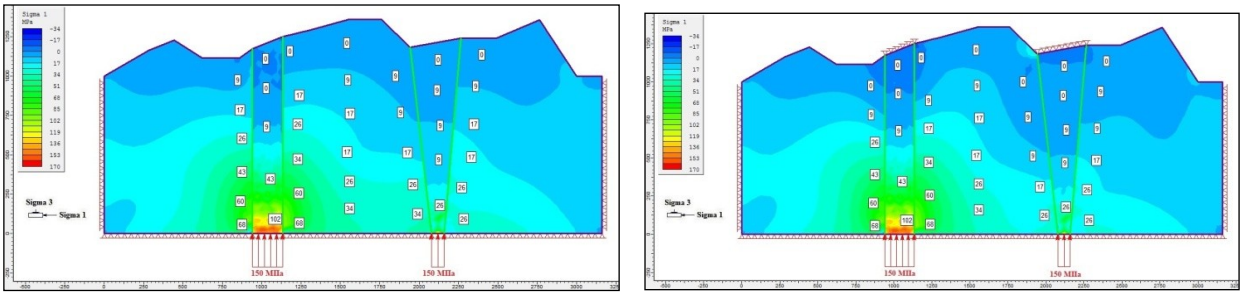


Рис. 3. II вариант. Распределение напряжений σ_1 в массиве пород в окрестности разломов (цифры — величины напряжений, МПа)

Из данных рис. 3 следует, что величины горизонтальных напряжений в межразломном массиве пород и в самих разломах изменяются незначительно при свободном и закрепленном состоянии разломов на поверхности.

Учитывая, что приложение нагрузок только к разломам мало вероятно для тектонических условий каких-либо реальных участков массива пород, был рассмотрен ***III вариант*** моделей, когда нагрузка *F*, равная 150 МПа, приложена на всем протяжении нижней грани модели, а верхняя грань модели свободна на всем протяжении (рис. 4, левая часть) или закреплена в области выхода разломов на дневную поверхность (правая часть рис. 4).

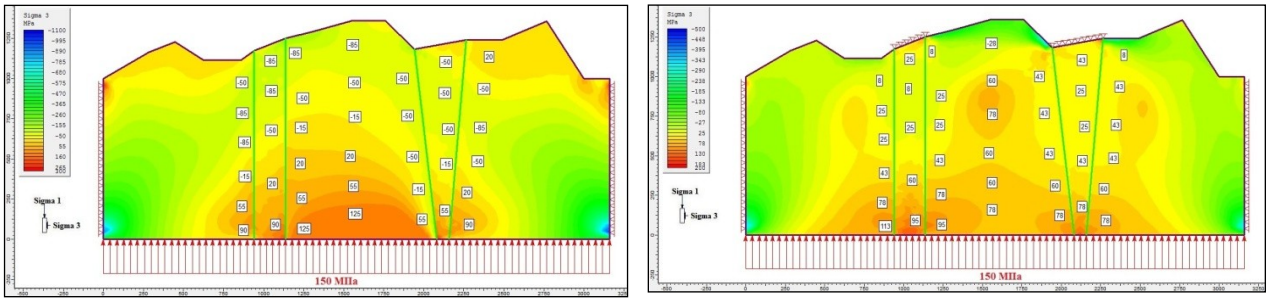


Рис. 4. III вариант. Распределение напряжений σ_3 в массиве пород в окрестности разломов (цифры — величины напряжений, МПа)

Из данных рис. 4 следует, что при рассмотренных граничных условиях и, в частности, свободных выходах разломов в межразломном массиве появляются существенные растягивающие горизонтальные напряжения. В то же время при закреплении выходов разломов (рис. 4, левая часть) на большей части межразломного пространства наблюдается сжатие в пределах 25–80 МПа.

Таким образом, изменение граничных условий, особенно в части характера приложения нагрузок к нижней грани модели и на выходах разломов, весьма существенно изменяет распределение горизонтальных напряжений в моделируемом пространстве (между разломами) и модель с граничными условиями, представленными на рис. 4 (правая часть) в наибольшей степени отвечает реальному напряженному состоянию массива Кукисвумчоррского месторождения.

Выводы

Полученные результаты моделирования подтверждают возможный механизм формирования горизонтальных компонент поля напряжений (в настоящее время обычно называемых тектоническими) в массивах пород, которые существенно превышают по величине вертикальные компоненты гравитационной природы. При этом наибольшее соответствие моделируемой ситуации реальному напряженному состоянию массива пород в условиях Кукисвумчоррского месторождения наблюдается при нагружении нижней грани массива распределенной нагрузкой и закреплении выходов разломов на дневную поверхность. Это означает, что процесс постоянной подпитки энергией через зоны глубинных разломов принципиально возможен и те разломы, по которым этот процесс происходит, целесообразно называть ***активными***. Подвижки берегов разломов, по которым в настоящее время принято оценивать степень активности разломов, следует рассматривать в общем случае как следствие процессов передачи энергии от глубинных слоев Земли.

Литература

1. Геодинамическое районирование недр: метод. указания / М-во угольной пром-ти СССР; ВНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела; Кузбас. политехн. ин-т. Л., 1990.
2. Геомеханика: в 2 ч. / Э. В. Каспарьян и др. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2016. Ч. I. 271 с.; Ч. II. 322 с.
3. Кокс А., Харт Р. Тектоника плит: пер. с англ. М.: Мир, 1989.
4. Кузнецов Н. Н., Федотова Ю. В. Исследование энергонасыщенности расчетных моделей месторождений Хибинского массива // Теория и практика современной науки: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. (7–8 октября, 2015 г.) / Ин-т стратегических исследований. М.: Перо, 2015. С. 129–136.
5. Кузьмин Ю. О., Жуков В. С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2004.
6. Летников Ф. А. Синергетика процессов в зонах глубинных разломов // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: К 40-летию создания М. В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. 2009. Т. 2.
7. Марков Г. А. О модели формирования избыточных горизонтальных напряжений в горных породах под влиянием восходящих движений земной коры // Природа и методология определения тектонических напряжений в верхней части земной коры. Апатиты: КФ АН СССР, 1982.
8. Ребецкий Ю. Л. Разлом — особое геофизическое тело в земной коре // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: К 40-летию создания М. В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. 2009, Т. 2.
9. Тектонические напряжения и устойчивость горных выработок / И. А. Турчанинов и др. Л.: Наука, 1978, 256 с.
10. Турчанинов Г. А. Марков В. И. Иванов О проявлениях горного давления в капитальных и подготовительных выработках на апатитовом руднике Расвумчорр // Технология разработки рудных месторождений Заполярья. М.-Л.: Наука, 1964. С. 71–74.
11. Федотова Ю. В. Каспарьян Э. В. Геомеханические исследования Саамского разлома: материалы III конф. Ассоциации научных обществ Мурманской области и VI научной сессии Геологического института КНЦ РАН, посвященных Дню российской науки (Апатиты, 9–10 февраля 2015 г.) 2015. С. 34–41.

Н. Е. Козлов [1,2], Е. Н. Фомина, Е. В. Мартынов[1,2], Н. О. Сорохтин[1,2,3], Т. С. Марчук[1]

[1]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, kozlov@geoksc.apatity.ru, kozlovne@afmgtu.apatity.ru*

[2]*Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, Апатиты*

[3]*Институт океанологии РАН, Москва*

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИНЕ СВОЕОБРАЗИЯ СОСТАВА ПОРОД КЕЙВСКОГО ДОМЕНА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Кейвский домен отличается от других структур Кольского региона своеобразием состава метаморфических комплексов, наличием в его пределах древнейших для региона щелочных гранитов и ассоциирующих с ними габбро-анортозитов, а также уникальных месторождений полезных ископаемых. Ранее было показано, что в пределах Кейвской структуры встречаются метаосадочные образования, по содержанию титана, а также отношению Al_2O_3/SiO_2 отличные как от метаосадочных раннедокембрийских породных

ассоциаций Кольского региона, так и от фанерозойских осадочных комплексов [2]. Исследование, проведенное с привлечением дополнительных фактических данных по архейским структурам региона (около 1200 полных силикатных анализов), подтверждает правильность этого вывода (рис. 1). Фоновое значение содержания титана в метаосадочных породах архея Кольского региона меньше, чем в аналогичных образованиях Кейв.

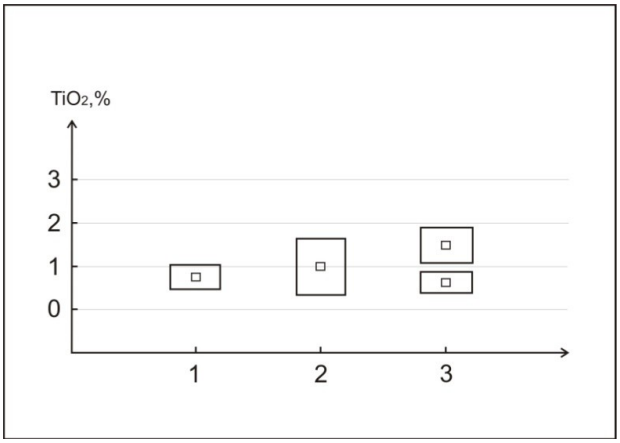


Рис. 1. Медианные и фоновые значения содержания TiO_2 в архейских метаосадочных образованиях Кольского региона (1) и Кейвской структуры (2), а также в кейвских метаосадочных породах, разделенных на подгруппы с повышенным (> 1 %) и «нормальным» (< 1 %) содержанием TiO_2 (3). Расчеты по методике [9]

Эти особенности могли определяться их постседиментационными изменениями в результате регионально проявленных метасоматических преобразований, что уже предполагалось ранее [5]. В настоящей работе была предпринята попытка поиска обобщенного показателя (тренда), описывающего характер этих изменений. Для решения этой задачи был использован метод поиска отличий в заданных рядах совокупностей при введенном исследователем отношении частичного порядка. Для исследования вещественного состава горных пород Кейвского домена была использована следующая модель. Домен представлен совокупностью объектов, входящих в его состав $D = \{D_i\}$. Каждый из этих объектов D_i охарактеризован выборкой химических составов слагающих его пород $X_i = \{X_{ij}\}$ в признаковом пространстве размерности n, где n — число параметров химического состава. Для оценки качества описания разбиения домена $D = \{D_i\}$, а также для дальнейшего исследования поставленных перед нами задач, с помощью совокупности выборок $X = \{X_i\}$ можно использовать один из следующих критериев: «сильный», «слабый» и их комбинацию; «сильный» — для непересекающихся выпуклых оболочек и «слабый» — для пересекающих.

Первым шагом решения задачи была оценка степени полноты информации об объекте, т. е. возможность разбиения D с помощью X. Для этого рассматривались выпуклые оболочки множества выборок $\{X_i\}$, а именно $\{co(X_i)\}$, где $co(X_i) = \{\Sigma_j \alpha_j * X_{ij} \mid \alpha_j > = 0 \ \forall j, \ \Sigma_j \alpha_j = 1\}$. В этом случае расстояние между двумя выпуклыми оболочками $co(X_i)$ и $co(X_j)$ определяется как $\rho(co(X_i),co(X_j)) = \min d(x,y)$, где $x \in co(X_i)$, $y \in co(X_j)$ и $d(x,y)$ — евклидово расстояние между векторами **x** и **y**. Оптимальным является такое описание X, для которого любые две пары $co(X_i)$ и $co(X_j)$ не пересекаются, т. е. $\rho(co(X_i),co(X_j)) > 0$ («сильный» критерий). Алгоритм проверки отсутствия пересечений выпуклых оболочек (алгоритм «полоска») приведен в работе [8]. В случае наличия пересечений можно использовать так называемый «слабый» критерий. Он заключается в следующем. Вычисляется статистика Пури-Сена-Тамуры между всеми пересекающимися парами X_i и X_j. И если при выбранном уровне значимости δ ее значение больше критического, то реализуется «слабый» критерий. В противном случае описание разбиения D с помощью X некорректно.

Для описания характера изменения параметров химического состава горных пород под воздействием различного рода геологических процессов была использована система обобщенных показателей [1]. В качестве обобщенных показателей выбирались линейные функции, характеризующие собой тренды изменения параметров вещественного состава породных ассоциаций в заданных рядах совокупностей этих ассоциаций, охарактеризованные выборками химических составов пород, на основе введенных исследователем на них отношений частичного порядка [2, 4, 6]. Суть метода построения системы обобщенных показателей заключается в следующем. Для каждого из отношений частичного порядка строится отношение линейного порядка (если оно существует), описание которого представлено соответствующим обобщенным показателем. Такой показатель находим в результате решения задачи максимизации функционала $J = \max_c \min_U (\Lambda(c,Z_i), \Lambda(c,Z_j))$, где Z_i и Z_j — многомерные случайные величины, соответствующие i-й и j-й выборкам; $U = \{<Z_i,Z_j> \mid Z_i<Z_j\}$ — отношение частичного порядка; $<Z_i,Z_j>$ — пары случайных величин; $Z_i<Z_j - Z_i$ предшествует Z_j для отношения U, Λ — ранговая статистика Пури-Сена-Тамуры [7]; c — вектор коэффициентов линейной функции (обобщенного показателя).

Для решения поставленной задачи нами был использован метод Нелдера — Мида [10]. В случае если при выбранном уровне значимости α (обычно выбирают α, равным 0,05 или 0,01) квантиль χ^2-распределения с одной степенью свободы меньше вычисленного J, то делается вывод о существовании линейного порядка, представленного вектором c, соответствующего заданному частичному U.

Особо следует подчеркнуть, что в настоящей работе изучались метаморфиты, по особенностям состава соответствующие осадочным образованиям [5, 6]. Это определило малый объем использованных в работе анализов

пород лебяжинской свиты, сложенной, как известно, преимущественно метавулканитами. Заметим, что возможная ошибка реконструкции первичной природы при решении поставленных в работе задач не являлась принципиальной. Определяющим было то, что сравнивались однотипные в рамках принятой петрогеохимической систематики породы. На первом этапе решения задачи качестве информационной основы были выбраны однотипные одновозрастные образования, а именно метапелиты червуртской свиты Кейвской серии (выборка включала более 450). В качестве обязательного условия при решении данной задачи было задано одновременное возрастание содержание титана и величины отношения Al_2O_3/SiO_2. Чтобы исключить влияние дометаморфических процессов и эволюции состава пород в ходе геологического времени, в качестве основы для решения данной задачи были выбраны однотипные одновозрастные образования, а именно метапелиты червуртской свиты Кейвской серии (более 450 полных силикатных анализов). Такой выбор был обусловлен тем, что данная свита при довольно значительной мощности наиболее отчетливо выделяется в кейвском разрезе максимальным развитием метапелитов, реконструкция которых наиболее достоверна. Такой показатель был найден (рис. 2, А). Он описывает процесс, который кроме существенного привноса титана сопровождался одновременным возрастанием содержания CaO и уменьшением содержания Al_2O_3, ΣFe и Na_2O. Необходимо подчеркнуть, что полученный тренд не связан в гипергенными процессами, для которых характерно сходное поведение титана с алюминием и железом, особенно отчетливо проявленное при формировании кор выветривания.

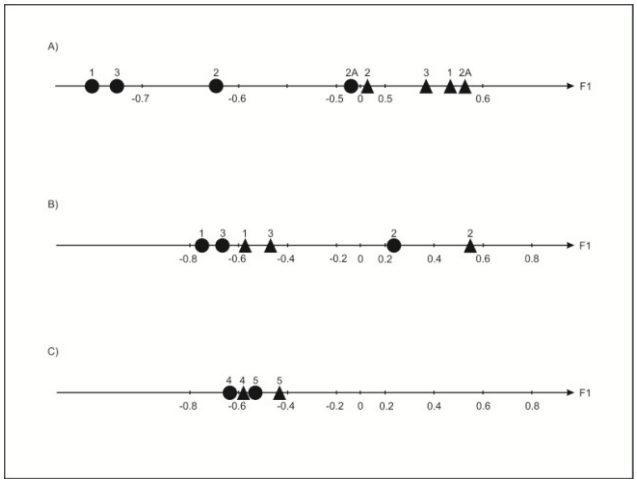


Рис. 2. Положение медиан состава различных групп метаосадочных пород Кейвского домена на обобщенном показателе (тренде)

$F_1 = -0{,}09SiO_2 + 0{,}93TiO_2 + 0{,}05Al_2O_3/SiO_2 - 0{,}26Al_2O_3 - 0{,}11;$
$\Sigma Fe - 0{,}06MnO - 0{,}08\ MgO + 0{,}12\ CaO - 0{,}13Na_2O - 0{,}01K_2O.$

Кружками показаны относительно менее измененные, треугольниками — более измененные породы. Цифрами на всех рисунках обозначены метаосадочные породы лебяжинской (1), червуртской (2), песцовотундровской и снежноборской (3) толщ, а также метаморфиты детальных разрезов в приконтактовых со щелочными гранитами зон в пределах лебяжинских (4) и червуртских (5) образований; 2А — метапелиты червуртской толщи. Буквами на рисунке обозначены породы, разделенные на подгруппы по содержанию TiO_2 (А), степени близости к массивам щелочных гранитов (В). С — данные для пород, отобранных непосредственно в зоне контактов со щелочными гранитами и разделенных на условно более или менее измененные по результатам петрографического изучения

Положение на данном обобщенном показателе точек составов пород всех толщ разреза Кейвского домена, взятых на удалении или вблизи щелочных гранитов, соответствует положению менее или более титанистых пород, тем самым подтверждая предположение о метасоматической переработке последних (рис. 2В). Тот факт, что метасоматической переработке, связанной, вероятнее всего, с архейскими комплексами щелочных гранитов, подвержены все метаосадочные образования Кейв, что подтверждается и прямыми геологическими наблюдениями о взаимоотношения лебяжинских и червуртских породных комплексов со щелочными гранитами (рис. 2, С), позволяет говорить об их архейском возрасте.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Своеобразие вещественного состава пород Кейвской структуры определялось регионально проявленными метасоматическими процессами, которые, кроме привноса TiO_2, приводили к выносу Al_2O_3, Na_2O и ΣFe при незначительном варьировании содержания остальных петрогенных элементов. Подобные изменения состава, выявленные для пород различных уровней разреза Кейвской структуры, нельзя объяснить влиянием гипергенных процессов, для которых характерно сходное поведение титана, алюминия и железа, что особенно отчетливо проявлено при формировании кор выветривания.

2. В направлении к щелочным гранитам в супракрустальных комплексах наблюдается усиление влияния метасоматических процессов, что находит отражение в изменении химического состава пород. Для метаморфитов лебяжинской и червуртской толщ это подтверждается также прямыми петрографическими и геологическими наблюдениями. Тот факт, что процессы, связанные со щелочными гранитами, для которых зафиксировано время внедрения 2751 ± 41 млн лет [6], затрагивают весь разрез Кейвской структуры, свидетельствует об архейском возрасте формирования ее протолитов.

Работа выполнена в Геологическом институте Кольского научного центра РАН по государственному заказу № 0231-2015-0007.

Литература
1. Авен П. О., Мучник И. Б., Ослон А. А Функциональное шкалирование. М.: Наука, 1988. 182 с.
2. Геология архея Балтийского щита / Н. Е. Козлов и др. СПб.: Наука, 2006. 329 с.
3. Мартынов Е. В. Реконструкция обстановок формирования протолитов метаморфических комплексов докембрия на основе статистического моделирования их характеристик по петрогеохимическим данным: автореферат дис. … канд. геол.-мин. наук. СПб., 1997. 23 с.
4. Метод реконструкции геодинамических обстановок формирования комплексов докембрия с учетом эволюции химического состава мантии / Е. В. Мартынов и др. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 3 (26). С. 22–27.
5. Особенности вещественного состава Кейвского домена (Кольский полуостров) / Н. Е. Козлов и др. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 2 (25). С. 30–38.
6. Позднеархеский возраст кислых метавулканитов района Малых Кейв (Кольский полуостров) / О. А. Беляев и др. // ДАН. 2001. Т. 379, № 5. С. 651–654.
7. Справочник по математическим методам в геологии / Д. А. Родионов и др. М.: Недра, 1987. 335 с.
8. Фомин В. Н. Математическая теория обучаемых опознающих систем. Л.: Изд-во ЛГУ, 1976. 235 с.
9. Юфа Б. Я., Гурвич Ю. М. Применение медианы и квартилей для оценки нормальных и аномальных значений геохимического поля // Геохимия. 1964. № 8. С. 817–824.
10. Nelder J. A., Mead R. A. Simplex Method for Function Minimmization // Computer J. 1964. No. 7. P. 308–313.

В. Е. Колесников, С. М. Карпов, А. Н. Шевцов
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, vk51@list.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЭЛЕКТРОДНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ МЕТОДОМ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА КОЛЧЕДАННОМ ПРОЯВЛЕНИИ «АНОМАЛИЯ № 29», ЮЖНОЕ ПРИХИБИНЬЕ

В полевой период 2016 г. коллективом сотрудников ГИ КНЦ РАН выполнены исследовательские электроразведочные работы методом сопротивлений с использованием многоэлектродной установки на колчеданных рудопроявлениях Апатитского и Кировского районов. Целью работ являлось испытание возможностей схемы многоэлектродного электропрофилирования к определению пространственного положения электропроводящего рудного тела. Предварительные результаты по одному из таких объектов приводятся ниже.

Участок «Аномалия 29» расположен в 5 км на СЗ от жд. ст. Апатиты, к западу от промышленной площадки фабрики АНОФ-2 (рис. 1). Данное рудопроявление было выявлено в результате поисково-разведочных работ на сульфидную серу в конце 1930-х гг. Залежь является наиболее удаленной от контакта со щелочным интрузивом Хибин проявлением стратиформных сульфидных руд ИВСЗ [2].

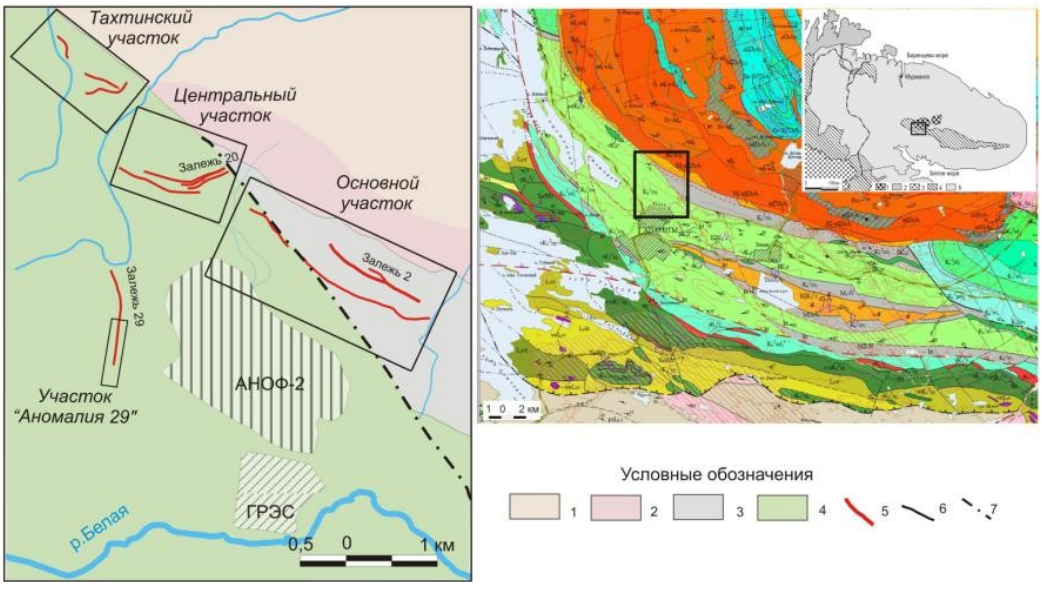


Рис. 1. Схема расположения участков рудного узла Западные Пирротины.
Породы Хибинского массива: нефелиновые сиениты (1), сиениты и фениты (2); вулканогенно-осадочные породы ИВСЗ — нижняя ильмозерская свита (3), верхняя ильмозерская свита (4); рудные тела колчеданных руд (5); границы пород (6); тектонические нарушения (7), геологическая основа [3]

В геоморфологическом отношении участок представляет собой частично заболоченный, типично мореный ландшафт. Мощность наносов составляет порядка 2–4 м. Коренных обнажений не наблюдается. Породы, слагающие данный район, представлены хлорит-серицитовыми и графитовыми сланцами с пластами метабазальтов и телами габбро-амфиболитов. Разведочными работами на сульфидную серу было выявлено несколько сближенных геофизических аномалий линзовидных форм [2]. Одна из аномалий была заверена несколькими горными выработками и одной скважиной. Было вскрыто колчеданное оруденение общей мощностью 15–20 м (рис. 2, *а*). Среди этой зоны выделяются рудные тела с содержанием 20 и более мас. % сульфидной серы. Контакты рудных тел постепенные, наиболее обогащены центральные части. Текстуры руд полосчатые, полосчато-вкрапленные, отмечаются прослои брекчиевых руд (рис. 2, *б*). Мощность брекчиевых руд составляет порядка 1 м. Эти руды представляют собой мелкие до 2–3 см обломки «полосчатых пиритов», реже — пирит-углеродистых сланцев, сцементированных кварцсульфидной массой.

Минеральный состав руд данного участка коренным образом отличается от состава руд проявлений, расположенных вблизи контакта со щелочной интрузией Хибин. Доминантным минералом здесь выступает пирит разных генетических типов, отражающих полихронный и полигенный характер развития данной колчеданной залежи: осадочно-диагенетический, автобластический, метасоматический и метаморфогенный. Генерации пирита резко отличаются друг от друга морфологией, составом и физическими свойствами. Установлены признаки золотой минерализации в брекчиевых рудах в виде мелких неправильных выделений в связи с пиритами первого генотипа. Со второй и третьей генерацией пирита тесно связаны рудные минералы полиметаллической нагрузки: пирротин, сфалерит, халькопирит, галенит.

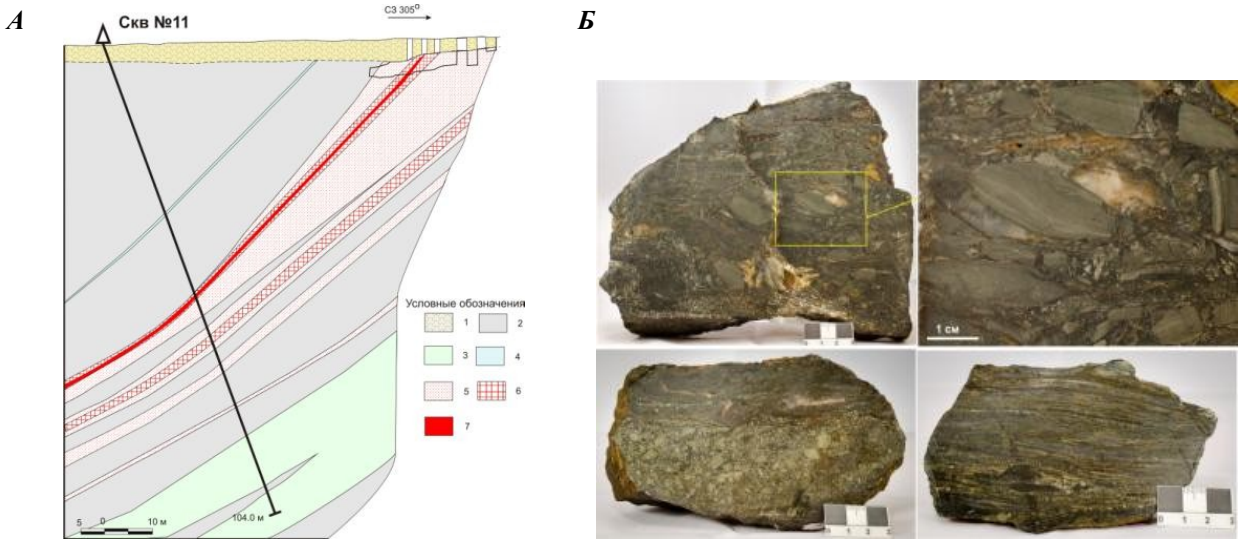


Рис. 2. Геологический разрез по скважине [2] (*А*) и основные текстурные типы руд (*Б*).
А: 1 — рыхлые мореные отложения; 2 — метаморфические сланцы; 3 — метабазальты и их туфы; 4 — габбро-амфиболиты; 5–7 — сульфидное оруденение: бедное (S до 15 %), среднее (15–20 %) и богатое (> 20 %).
Б: типы руд — брекчиевые (сверху), контакт между разными типами руд и полосчатые руды (снизу)

Полевые электроразведочные работы на объекте проводились по методике внутреннего скользящего контакта (МВСК), разработанной А. А. Жамалетдиновым в 1970-е гг. [4]. Указанная методика выполнения полевых работ является комбинированной схемой профилирования и зондирования и предусматривает использование многоэлектродной электроразведочной установки. Установка МВСК представляет собой комбинацию питающей линии *AB* и приемной «косы». «Коса» включает в себя электрод *N*, соединенный с каждым из нескольких расположенных на разных расстояниях от него электродов *M*. Через питающую линию происходит подача электрического тока в изучаемую среду. Сигнал регистрируется на каждой паре «электрод M_i — электрод *N*».

Данная методика позволяет проводить исследование среды не только вдоль профиля, но и на глубину благодаря изменяемой конфигурации установок. Измерение сигнала на приемных электродах с изменением расстояния между питающим электродом *A* и приемным электродом *M* («внутренний скользящий контакт» в приемной линии) дает информацию об изменении свойств среды с глубиной (зондирование). Перемещение установки с фиксированными расстояниями между электродами вдоль профиля с регулярным шагом позволяет проводить исследования электропроводности вдоль дневной поверхности (профилирование) [1].

Таким образом, изучение геологической среды вдоль профиля с одновременным глубинным просвечиванием на каждой его точке позволяет проводить двухмерное исследование верхней части геоэлектрического разреза.

В ходе работ на участке «Аномалия № 29» использована установка с восемью парами приемных электродов (диапазон глубинности — 3–37 м). Изучен профиль, простирающийся с юго-востока на северо-запад, протяженностью 650 м (фактически данные получены на участке протяженностью 470 м). Шаг профилирования составил 25 м, всего пройдено 20 шагов (пикетов). С целью компенсации несимметричности используемой установки относительно питающей линии работы на профиле выполнены также в обратном направлении.

По итогам полевых работ получен массив значений кажущегося сопротивления, который позволяет сделать первичную качественную оценку исследуемого объекта, в т.ч. приблизительной глубины залегания верхней кромки, видимую мощность, направление падения относительно профиля (рис. 3).

Решение одномерной обратной задачи выполнялось с применением программы, разработанной В. Э. Асмингом специально для МВСК. Особенностью данной программы является вариация алгоритма расчета потенциала электрического поля над горизонтально-слоистой средой в зависимости от расположения электродов в установке (изменение конфигурации от двух- (потенциальной) через трех- к четырехэлектродной). Массив данных был разбит на части, каждая из которых образовывала кривую электрического зондирования для каждого положения установки на профиле. Для каждой части выполнялся подбор горизонтально-слоистой модели способом минимизации среднеквадратичного отклонения между вычисленными для подобранной модели значениями кажущегося сопротивления и экспериментальными данными.

Количество слоев было ограничено количеством разносов *AM* установки (в данном случае восемью). Полученная в ходе решения одномерной обратной задачи совокупность подобранных одномерных разрезов с помощью интерполяции трансформирована в квазидвумерный разрез сопротивлений (рис. 4).

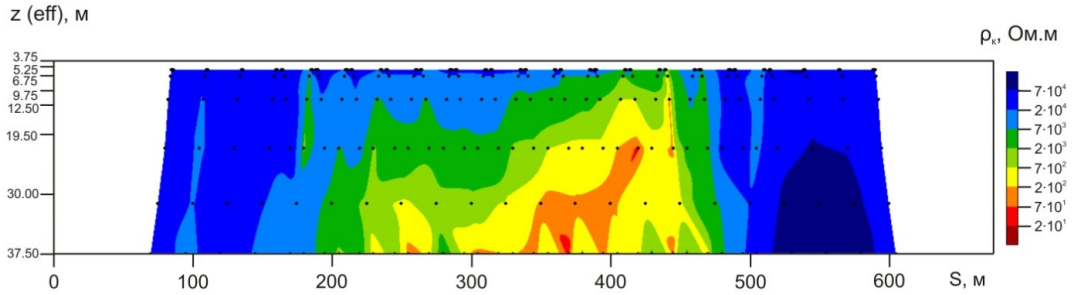


Рис. 3. Псевдоразрез кажущегося сопротивления

По разрезу видно, что рудопроявление отобразилось на нем в виде блока с низким удельным электрическим сопротивлением. Горизонтальная проекция блока на профиль прослеживается от отметки 355 м в нижней его части, отмеченной на максимальной глубине зондирования, до 380–400 м на верхней кромке при глубине 10 м. Направление падения юго-восточной кромки блока на юго-восток, что соответствует форме сульфидной залежи на геологическом разрезе (рис. 2, *А*).

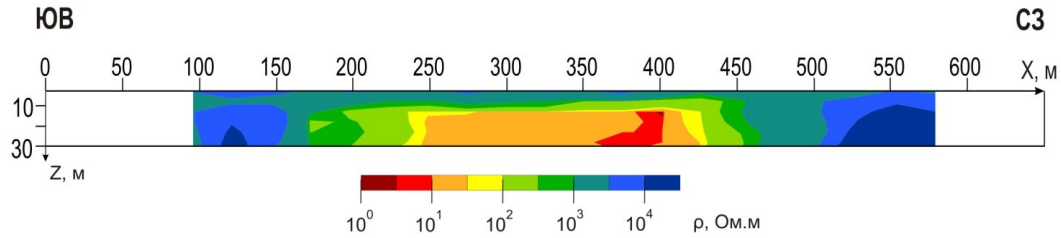


Рис. 4. Разрез сопротивлений по результатам решения одномерной обратной задачи (программа В. Э. Асминга, 1999)

Результаты проведенного исследования показывают, что сульфидное рудопроявление «Аномалия № 29» хорошо проявилось на разрезе удельного сопротивления. Положение и форма электропроводящего блока соответствует имеющейся геологической информации об исследуемом объекте.

Таким образом, многоэлектродное электропрофилирование методом сопротивлений может быть использовано для локализации электропроводящего рудного тела и определения направления его падения.

Однако полученной на данном этапе исследования информации недостаточно для построения пространственной картины положения рудопроявления. Для этого необходимо дополнительно провести измерения на сети профилей и выполнить детальные измерения с меньшим шагом по профилям. Эти задачи будут выполняться в дальнейшем ходе исследования.

Авторы выражают искреннюю признательность А. А. Жамалетдинову — автору МВСК за плодотворное обсуждение полученных результатов и ценные критические замечания, а также благодарят А. А. Скороходова за активное участие в подготовке и проведении измерений с многоэлектродными установками.

Литература
1. Геофизические методы (учебное пособие по полевой геофизической практике) / В. Н. Глазнев и др. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2004. 66 с.
2. Константов С. В., Соболев И. И., Суровцева О. Е. Южный контакт Хибинского массива. Район Айкуайвенчорр-Вудъяврчорр-Тахтарвумчорр: отчет о геолого-разведочных работах на сульфиды железа в 1931–1934 гг. // Фонды ГИ КНЦ РАН. 1935. 408 с.
3. Ремизова А. М. Геологическая карта Мурманской области. Л. Q-36-III, IV / МУР ТФИ. Апатиты. 2007.
4. Строение проводящих зон гранулитового пояса на примере участка Абер-Ярш / А. А. Жамалетдинов и др. // Геофизические исследования северо-восточной части Балтийского щита. Апатиты: КФАН СССР, 1976. С. 51–59.

А. А. Компанченко, А. В. Волошин
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, komp-alena@yandex.ru

МИНЕРАЛЬНЫЕ ФОРМЫ V, Cr, Ti И Sc В ПРОТЕРОЗОЙСКИХ КОЛЧЕДАННЫХ ПРОЯВЛЕНИЯХ КОЛЬСКОГО РЕГИОНА

В последние годы в результате исследований минералогии колчеданных руд Кольского региона был выявлен необычный для таких образований тип минерализации — V-Cr-Ti-Sc-тип [2, 3, 4], который не характерен для фанерозойских колчеданных руд, он проявляется только в докембрийских образованиях. Невыясненным остается генетическая позиция минералов, содержащих перечисленные элементы, а также источник этих элементов. Поэтому в данной работе на примере других докембрийских минеральных месторождениях мира, содержащих минерализацию, подобную таковой в колчеданных рудах Кольского региона, мы попробуем разобраться, какие процессы могли повлиять на образование подобных типов минерализации на наших объектах.

Введение

В качестве примера минеральных месторождений с V-Cr-Ti-Sc-типом минерализации нами были выбраны несколько объектов, в которых минералогия данного типа максимально приближена к таковым для Кольского региона. Все минеральные фазы V, Cr, Ti и Sc из перечисленных ниже объектов приведены в сравнительной таблице.

В пределах Кольского региона нами будут рассматриваться наиболее изученные колчеданные проявления участка Пирротиновое ущелье (Прихибинье) [2] и участка Брагино (Южная Печенга) [3]. Оба объекта представляют собой проявления массивных, полосчатых, брекчированных и вкрапленных пирротиновых руд. Они располагаются в нижнепротерозойской рифтогенной структуре Печенга — Имандра — Варзуга. Район месторождения Пирротиновое ущелье расположен в полосе контакта щелочных пород Хибинского массива с породами ИВСЗ. Участок Брагино расположен в осевой части на юго-восточном блоке ЮПСЗ.

Минералы V, Ti, Cr и Sc в разных протерозойских месторождениях Кольского региона и мира

Минерал	Кольский регион		Финляндия, Виханти	Норвегия, Биггеярви	Канада, Дэдхорс Крик	Индия, Рампура Агуча
	Прихибинье	Южная Печенга				
V	**Kar**, **Mukh**, **Cou**, **Glm**, Cri	**Cou**, **Nol**, **Kyz**, **Rsc**, Chr, Cri, Rt, Phl, Chl	**Kar, Shchb**, **Cou**, **Nol**, **Kyz, Schr**, **Berd**, **Tiv**	Cri	Aeg-**Nat**, Cri, Rt	**Kar**,**Cou**, **Schr**
Cr	Cou	**Chr**, Cou, Nol, Kyz, Cri	Cou	**Chr**, Cri, Chl	Cri	Cou
Ti	**Rt**, **Ilm**, **Ttn**, **Cri**	**Rt**, **Ilm**, **Cri**, **Kyz**	**Rt**, **Kyz**, **Schr**, **Berd**, **Tiv**	**Cri**	**Rt**, **I-Rt**, **Ilm**, **Cri**	**Rt**
Sc	Cri	**Ttv**, **Jer**, Cri		**Ttv**, Cri	Aeg-**Jer**	

Примечание. Kar — карелианит, Shchb — щербинаит, Cou — кульсонит, Nol — ноланит, Berd — бердесинскиит, Schr — шрейерит, Kyz — кызылкумит, Tiv — тиванит, Chr — хромит, Cri — группа кричтонита, Rt — рутил, I-Rt — ильменорутил, Ilm — ильменит, Rsc — роскоэлит, Phl — флогопит, Chl — гр. хлорита, Glm — голдманит, Mukh — мухинит, Aeg — эгирин, Nat — наталиит, Jer — джервисит, Ttv — тортвейтит, Ttn — титанит. Жирным выделены собственные минеральные фазы указанных элементов.

Ванадиевая минерализация

В колчеданных рудах Кольского региона ванадий проявляет тесную связь с хромом и титаном. Причем, если собственные минералы ванадия в них многочисленны, то из собственных фаз хрома известен только хромит ($Fe(Cr,V)_2O_4$). Хром встречается в качестве изоморфной примеси в ванадиевых минералах.

Ванадиевая минерализация в колчеданных рудах Пирротинового ущелья представлена четырьмя собственными минеральными видами: карелианитом (V_2O_3), кульсонитом (FeV_2O_4), мухинитом ($Ca_2(Al_2V^{3+})[Si_2O_7][SiO_4]O(OH)$) и голдманитом ($Ca_3V^{3+}{}_2(SiO_4)_3$). Ванадий в качестве существенной примеси установлен в других минералах этой ассоциации: минералах группы кричтонита, гроссуляре, диопсиде и титаните [2]. Ванадиевое минералообразование, по данным [2], проходило в две стадии:

- стадия 1 — кристаллизация первичных оксидных ванадиевых фаз (карелианита, кульсонита), связанная с региональным метаморфизмом сульфидных высокоуглеродистых пород;
- стадия 2 — кристаллизация ванадиевых и ванадийсодержащих кальциевых силикатов (мухинит, голдманит) на регрессивной стадии метаморфизма в результате кремнеземисто-кальциевого метасоматоза с формированием типичных минералов скарновой ассоциации.

В колчеданных рудах участка Брагино ванадий тесно связан не только с хромом, но и с титаном. Среди собственных фаз ванадия выявлены кульсонит, сложные оксиды с участием Ti и Fe ноланит ($(V^{3+},Fe^{3+},Fe^{2+},Ti)_{10}O_{14}(OH)_2$) и кызылкумит ($Ti_2V^{3+}O_5(OH)$), и ванадиевая слюда роскоэлит ($KV^{3+}{}_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$). Ванадий в качестве значительной примеси отмечен в минералах группы кричтонита и в рутиле, а также в ильмените, флогопите, минералах группы хлорита и других пока не идентифицированных минеральных фазах. В кристаллах кульсонита нами были обнаружены участки с повышенным содержанием хрома, которые являются реликтами первичного хромита, при метаморфизме колчеданных руд, послужившем источником хрома в составе кульсонита и других минералов.

Примечательно, что и в случае с Пирротиновым ущельем, и с Брагино, в силикатных минералах, явно имеющих более позднее происхождение относительно оксидных минералов, роль ванадия значительно преобладает над хромом, последний чаще всего даже не обнаруживается в этих фазах. Хром входит в качестве примеси в основном в оксидные минеральные формы.

Титановая минерализация

В колчеданных рудах Кольского региона простые соединения титана — рутил и ильменит и сложные оксиды — титанаты, широко распространенные минералы группы кричтонита. В отличие от хрома, титан представлен не только собственными оксидными, но и силикатными формами — титанитом.

Минералы группы кричтонита относятся к сложным оксидам с общей структурной формулой: $^{XII}A^{VI}B^{IV}T_2{}^{VI}C_{18}(O)_{38}$. Систематика и номенклатура минералов группы кричтонита основана на заселенности крупными А-катионами (Sr — кричтонит, Pb — сенаит, Ca — ловерингит, Na — ландауит, K — матиасит, LREE — давидит-(Ce) или давидит-(La), Ba — линдслейит) [4]. Для Пирротинового ущелья среди минералов группы кричтонита выявлены: давидит-(La), давидит-(Ce), ловерингит и линдслейит [4]. Также среди минералов титана на данном месторождении широко распространен титанит.

Для участка Брагино характерна несколько другая ассоциация минералов группы кричтонита и она включает собственно кричтонит, сенаит, давидит-(La), давидит-(Ce), линдслейит. Наиболее распространенными являются сенаит и кричтонит [4].

Характерной особенностью всех минералов группы кричтонита, установленных в колчеданных рудах Кольского региона, является повышенное содержание ванадия — до 18 мас. % V_2O_3 и скандия — до 3 мас. % Sc_2O_3. В них также отмечается и хром — до 9 мас. % Cr_2O_3 [4].

Следует отметить необычное поведение рутила в колчеданных рудах Брагино. В его составе отмечены необычно высокие концентрации ванадия – до 10 мас. % V_2O_3, а также вольфрама. В некоторых зональных индивидах рутила отмечаются зоны с содержанием WO_3 до 13 мас. %. Подобные рутилы описаны только в метаморфических комплексах Прибайкалья [65]. В ассоциации с рутилом установлена и собственная фаза вольфрама — ферберит ($FeWO_4$), минерал группы вольфрамита. Вольфрам в небольших количествах отмечается в составе кызылкумита.

Скандиевая минерализация

Совершенно неожиданными стали находки собственных фаз скандия в колчеданных рудах Южной Печенги — тортвейтта ($Sc_2Si_2O_7$) и джервисита ($NaScSi_2O_6$) — скандиевого аналога эгирина. В качестве примеси скандий отмечается в минералах группы кричтонита и кызылкумите. В Кольском регионе тортвейтит известен только в редкометалльных пегматитах Колмозерского поля пегматитов [1]. Джервисит — редкий минерал семейства пироксенов. Известно всего несколько проявлений этого минерала: Дэдхорс Крик, Канада и несколько точек минерализации в Италии. В этих месторождениях появление скандиевых фаз связывают с постмагматической стадией становления гранитных интрузий [7, 10].

В колчеданных рудах Пирротинового ущелья скандий присутствует в качестве примеси в минералах группы кричтонита, а собственные фазы скандия пока не установлены. По аналогии с Брагино, можно ожидать находки скандиевых фаз в колчеданных рудах Прихибинья.

В качестве примера других минеральных месторождений с подобным типом минерализации нами были выбраны:

1. Колчеданно-полиметаллическое месторождение Виханти [5]. Месторождение Виханти локализовано в северо-западном окончании Главного сульфидного пояса Финляндии в составе так называемого рудного комплекса Лампинсаари. Это месторождение, как и другие, расположенные в Свекофеннском поясе Балтийского щита, является раннепротерозойским аналогом месторождений типа куроко. Ванадиевая минерализация приурочена именно к пирит-пирротиновым рудам. Это простые оксиды ванадия — карелианит и щербинаит (V_2O_5), Fe-V-оксиды — кульсонит и ноланит, а также Ti-V оксиды — шрейерит ($V_2^{3+}Ti_3O_9$), кызылкумит, бердесинскиит ($V_2^{3+}TiO_5$), тиванит ($TiV^{3+}O_3(OH)$). Ванадий проявляет тесную связь с титаном, хром встречается в качестве незначительных примесей. По мнению авторов, образование собственных минералов ванадия в колчеданных рудах месторождения Виханти произошло при их метаморфогенной регенерации и пирротинизации за счет переработки пород и руд, обогащенных ванадием [5].

2. Проявление давидит-ловерингитовой минерализации Биггеярви, Норвегия [9]. Оно находится в пределах раннепротерозойского вулканогенно-осадочного пояса Каутокейно, в самой северной части Норвегии — Финнмарке. Породы были деформированы во время Свеко-Карельского орогена и метаморфизованы в амфиболитовой фации. Минерализация Биггеярви включает в себя урановую, скандиевую и редкоземельную в альбитовых фельзитах в одной из нижних частей вулканогенно-осадочного пояса Каутокейно. Происхождение этих пород остается невыясненным. Породы состоят более чем на 90 % из альбита, содержат также Cr- и V-содержащие разновидности минералов ряда давидит-ловерингит, кальцит, кварц, мусковит, хромит и рутил. В качестве акцессориев встречаются La-Ce-карбонаты, монацит, ортит, тортвейтит, коффинит, богатый хромом минерал группы хлорита и др. Высокие содержания скандия в породе представляют экономический интерес [9].

3. Комплекс вулкано-кластических брекчий Дедхорс Грик, Канада [10]. Он размещается в архейских метаосадочных и метавулканических породах зеленокаменного пояса Шрейбер-Уайт Ривер, смежного с протерозойским щелочным комплексом Колдвелл. Главные минералы представлены альбитом, калиевым полевым шпатом, кварцем, кальцитом и фенакитом. Акцессорные минералы: минералы ряда эгирин-джервисит и эгирин-наталиит, алланит, барит, барилит, коффинит, Ca-Mn силикаты, Nb-V-рутил, пирит, торит, тортвейтит, ксенотим, ванадийсодержащий кричтонит и др. Источником Cr-Nb-V-Ti-ассоциации авторами считается обогащенный этими элементами CO_2-содержащий «гранитный» щелочной флюид [10].

4. Pb-Zn-(Ag) месторождение Рампура Агуча, Индия [8]. Стратиформное месторождение Рампура Агуча локализовано в вулканогенно-осадочных породах пояса Бхилвара на контакте с архейским бассейном. Пояс Бхилвара — это мощная толща метаосадочных пород, которая формировалась в процессе внутрикратонного рифтогенеза архейского фундамента около 2,0 млрд лет назад. Cr-V-минерализация проявляется главным образом в графит-силлиманит-слюдистых сланцах, обогащенным ванадием и никелем. Главными минералами, включающими Cr и V, являются минералы ряда простых оксидов карелианит-эсколаит (Cr_2O_3) и минералы группы шпинели ряда хромит-кульсонит. Ванадий вместе с титаном образует минерал шрейерит, а также входит в качестве примеси в рутил. Считается, что месторождение Рампура Агуча метаморфизовано в условиях, близких к амфиболитовой стадии. Источником Cr и V авторы считают толщи черных сланцев, при метаморфизме которых эти элементы освобождались из органического вещества и образовывали собственные минеральные фазы [8].

Заключение. Впервые выявлена уникальная полифазная V-Cr-Ti-Sc-минерализация в колчеданных рудах Кольского региона. Она представлена собственными редкими оксидными и силикатными минеральными фазами. Данный тип минерализации проявлен (в разной степени дифференциации) во многих минеральных месторождениях, связанных с протерозойскими рифтогенными комплексами. Проявление V-Cr-Ti-минерализации связывается нами с метаморфическими преобразованиями руд. В колчеданных рудах Виханти и Рампура Агуча отсутствуют данные о Sc-минерализации, что может быть также связано с недостаточной изученностью объектов. В колчеданных рудах Кольского региона V-Cr-Ti-минерализация пространственно тесно связана со скандиевой. Сравнение спектра минералов V, Cr, Ti и Sc колчеданных руд Кольского региона с таковыми других месторождений показало, что все рассмотренные объекты имеют как общие черты минералогии, так и различия, связанные с локальными особенностями вмещающих комплексов и наложенных процессов минералообразования. Мы считаем, что развитие похожих типов минерализации в рассмотренных объектах связано с особой V-Sc металлогенической специализацией протерозойских вулканогенно-осадочных комплексов. В результате минералогических исследований выявлен широкий спектр минералов с видообразующей ролью V и Sc. В этом списке кызылкумит, ноланит и роскоэлит — минералы, которые впервые установлены в Кольском регионе, а джервисит — это первая находка в России.

Литература

1. Волошин А. В., Гордиенко В. В., Пахомовский Я. А. О скандиевой минерализации и первой находке тортвейтита $Sc_2Si_2O_7$ в гранитных пегматитах Кольского полуострова // ДАН СССР. 1991. Т. 318, № 4.
2. Волошин А. В., Савченко Е. Э., Селиванова Е. А. Минералы ванадия в рудах колчеданного месторождения Пирротиновое ущелье (Прихибинье, Кольский полуостров) // Зап. РМО. 2013. № 3. С. 83–99.

3. Компанченко А. А., Волошин А. В., Базай А. В. Ванадиевая минерализация в колчеданных проявлениях — новый тип для Южно-Печенгской структурной зоны, Кольский регион // Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования: материалы конф. 2015. С. 325–326.
4. Минералы группы кричтонита в колчеданных рудах и рудных метасоматитах протерозойских структур Кольского региона / С. М. Карпов и др. // Зап. РМО. 2016. № 5. С. 39–56.
5. Сергеева Н. Е., Еремин Н. И., Дергачев А. Л. Ванадиевая минерализация в рудах колчеданно-полиметаллического месторождения Виханти (Финляндия) // ДАН. 2011. Т. 436, № 6. С. 800–803.
6. V-Cr-Nb-W-содержащие рутилы из метаморфических пород с Cr-V-минерализацией (Слюдянский комплекс, Южное Прибайкалье) / Л. З. Резницкий // Зап. РМО. 2016. Ч. 145, вып. 4. С. 61–78.
7. Cascandite and jervisite, two new scandium silicates from Baveno, Italy / M. Mellini et al. // American Mineralogist. 1982. Vol. 67. P. 599–603.
8. Holler W., Stumpfl E. F. Cr-V oxides from the Rampura Agucha Pb-Zn-(Ag) deposit, Rajasthan, India // The Canadian Mineralogist. 1995. Vol. 33. P. 745–752.
9. Olerud A. Davidite-loveringite in early Proterozoic albite felsites in Finnmark, north Norway // Mineralogical Magazine. 1988. Vol. 52. P. 400–402.
10. Potte E. G., Mitchell R. H. Mineralogy of the Deadhorse Creek volcaniclastic breccia complex, northwestern Ontario, Canada // Contrib. to Mineralogy and Petrology. 2005. 150 (2). P. 212–229.

Н. М. Кудряшов[1], А. В. Волошин[1], О. В. Удоратина[2]
[1]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, nik@geoksc.apatity.ru*
[2]*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, udoratina@geo.komisc.ru*

ВЫСОКОГАФНИЕВЫЙ ЦИРКОН ИЗ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВАСИН-МЫЛЬК (КОЛЬСКИЙ РЕГИОН)

Введение

Цирконий и гафний имеют практические одинаковые химические свойства, обладают сходными ионными радиусами и зарядом (R_{Zr}^{+4} = 0,84 Å и R_{Hf}^{+4} = 0,83Å), представляя собой одну из самых когерентных пар в геохимических системах. В природе широко распространен циркон ($ZrSiO_4$), который встречается в тех или иных количествах практически во всех горных породах. Гафний входит в структуру циркона в разных количествах, изоморфно замещая цирконий в кристаллической решетке. Для циркона из различных по генезису пород, содержания HfO_2 обычно не превышают 5 вес. %, в то же время в гранитах, обогащенных редкоземельными элементами, а также в гранитных пегматитах с редкометалльной минерализацией описаны случаи значительного обогащения циркона гафнием, приближая его состав к гафнону. Гафнон ($HfSiO_4$) очень редкий минерал, который был обнаружен и описан в танталсодержащих гранитных пегматитах провинции Замбези (Мозамбик) [11].

В настоящее время известны работы, где рассматриваются процессы эволюции циркон-гафноновой системы как на уровне изучения отдельных зон в гранитных пегматитах, так и на уровне исследования единичных зерен циркона, обогащенных гафнием [6, 12, 17, 26, 28]. При этом большое внимание при кристаллизации циркона в пегматитовых системах уделяется бору, фтору, фосфору, щелочным элементам и воде [16, 22, 23, 24, 25]. Также широко используются экспериментальные работы по определению растворимости циркона с разным содержанием гафния [9, 10, 20]. В настоящей работе дана краткая минералогическая характеристика высокогафниевого циркона месторождения Васин-Мыльк и обсуждается возможный сценарий его образования.

Геологическое строение месторождения Васин-Мыльк

Месторождение Васин-Мыльк расположено в пределах зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья, который приурочен к центральной части сутурной зоны, отделяющей Мурманский домен от Центрально-Кольского и Кейвского доменов (рис. 1, врезка). Пояс сложен осадочно-вулканогенными породами коматиит-толеитовой и базальт-андезит-дацитовой серий позднеархейского возраста 2,9–2,7 млрд лет, которые прорываются интрузиями базит-гипербазитов, кварцевых порфиров и высокомагнезиальных гранитоидов с возрастом 2,8–2,7 млрд лет. Массивы турмалиновых и микроклиновых гранитов вместе с гранитными пегматитами интрудируют все перечисленные комплексы пояса, завершая его длительную эволюцию. Оценка возраста пегматитов месторождения Васин-Мыльк установлена при определении изотопного состава микролита U-Pb (ID TIMS) методом и составила 2454 ± 8 млн лет [5].

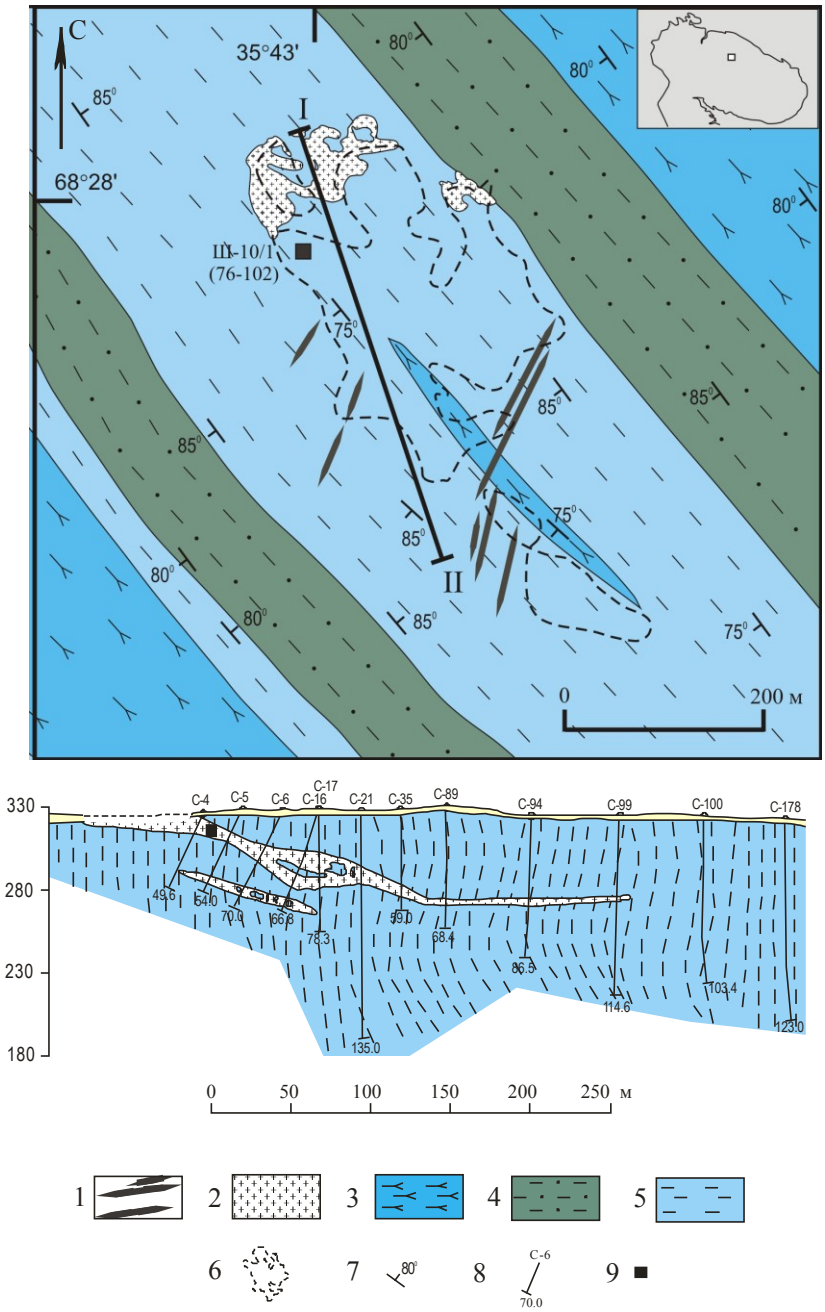


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и разрез редкометалльного пегматитового месторождения Васин-Мыльк [9]:
1 — дайки долеритов; 2 — пегматитовые жилы; 3 — метагаббро; 4 — метаэффузивы кислого и среднего состава; 5 — амфиболиты; 6 — контуры пегматитовых жил на глубине; 7 — элементы залегания сланцеватости; 8 — номер и глубина скважины; 9 — место отбора пробы. Врезка в правом углу — местоположение участка

Пегматитовое поле месторождения Васин-Мыльк с продуктивной ассоциацией лепидолит-альбит-микроклин-сподумен-поллуцит расположено среди амфиболитов в северо-западной части пояса и является одним из крупнейших месторождений цезия в мире. В поллуците сосредоточена основная масса Cs, попутными полезными компонентами пегматитов являются Li, Be, Ta, Nb. Незначительные по масштабу участки выходов пегматитов на поверхность прослежены на глубину при прохождении шурфов и скважин. Месторождение представлено субпараллельными пологими зональными жилами протяженностью до 220 м при мощности в среднем 5 м и падением 10–30° на юго-восток (рис. 1). Среди большого видового разнообразия акцессорных минералов, содержащихся в пегматитах, наряду с поллуцитом распространены минералы группы колумбита-танталита, симпсонит, торолит, бехиерит, холтит, микролит, циркон [1, 2, 7, 8].

При изучении образцов крупно- и среднезернистых альбитизированных пегматитов из шурфа № 10/1 (рис. 1) высокогафниевый циркон был обнаружен в участках тонкозернистого грейзена альбит-лепидолит-

кварцевого состава. Кристаллы циркона находятся в тесной ассоциации с холтитом и стибиотанталитом, представляя собой идиоморфные, практически без трещин зерна октаэдрического габитуса размером около 500 мкм розовато-желтого и желто-оранжевого цвета (рис. 2). Химический состав в центральных частях кристаллов циркона приведен в таблице. В краевых частях циркона содержания HfO_2 достигают 35–40 мас. %. Для высокогафниевого циркона характерны очень низкие содержания урана (< 1 ppm) и редкоземельных элементов.

Химический состав высокогафниевого циркона из шурфа № 10/1
месторождения Васин-Мыльк, мас. %

Номер пробы	ZrO_2	HfO_2	SiO_2	Ta_2O_5
857	45,85	21,96	29,15	3,09
858	42,12	29,68	28,38	0,30
859	45,33	22,74	29,37	2,64
860	48,33	21,44	29,74	0,41
861	42,02	30,62	28,65	0,28



Рис. 2. Кристаллы высокогафниевого циркона из редкометалльного месторождения Васин-Мыльк

Внутреннее строение

Исследования внутреннего строения высокогафниевого циркона показало наличие в нем как тонкой эвгедральной зональности, характеризующейся чередованием тончайших темных и светлых полос, так и грубой зональности (рис. 3). Светлые зоны имеют повышенные содержания гафния по сравнению с темными. Включения в цирконе представлены, главным образом, танталитом, также в зернах циркона отмечаются мелкие включения кварца и апатита.

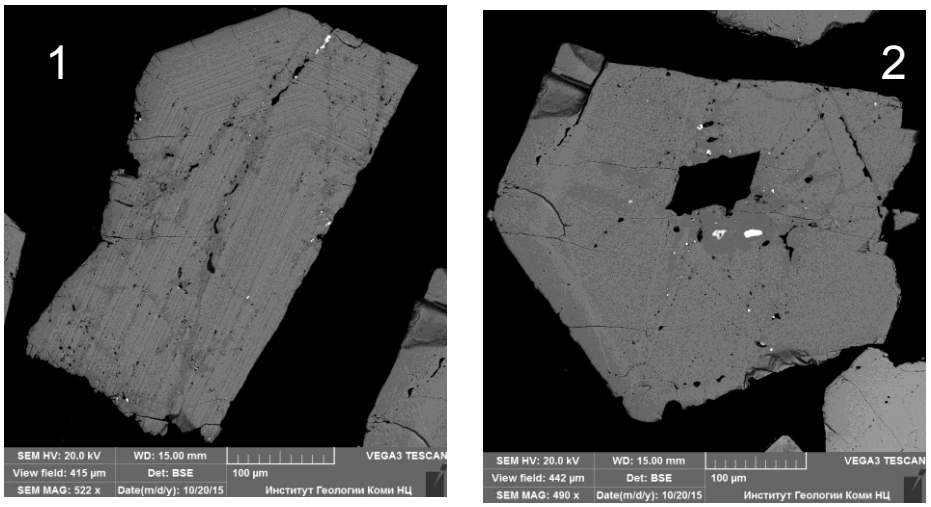


Рис. 3. Микрофотографии кристаллов циркона в режиме отраженных электронов.
1 — циркон с тонкой эвгедральной зональностью; 2 — циркон с грубой зональностью. Исследования проводились на спектральном электронном микроскопе Tescan Vega 3 с энергодисперсионным спектрометрометром X-MAX 50 мм, Oxfords Instruments (ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН, аналитик С. С. Шевчук)

Рамановские спектры циркона

Сравнение положения рамановских пиков высокогафниевого циркона с эталонным цирконом и гафноном показывает, что главные пики исследованного циркона сдвинуты в сторону больших значений относительно эталонного циркона и в сторону меньших значений относительно эталонного гафнона, занимая тем самым среднее положение (рис. 4).

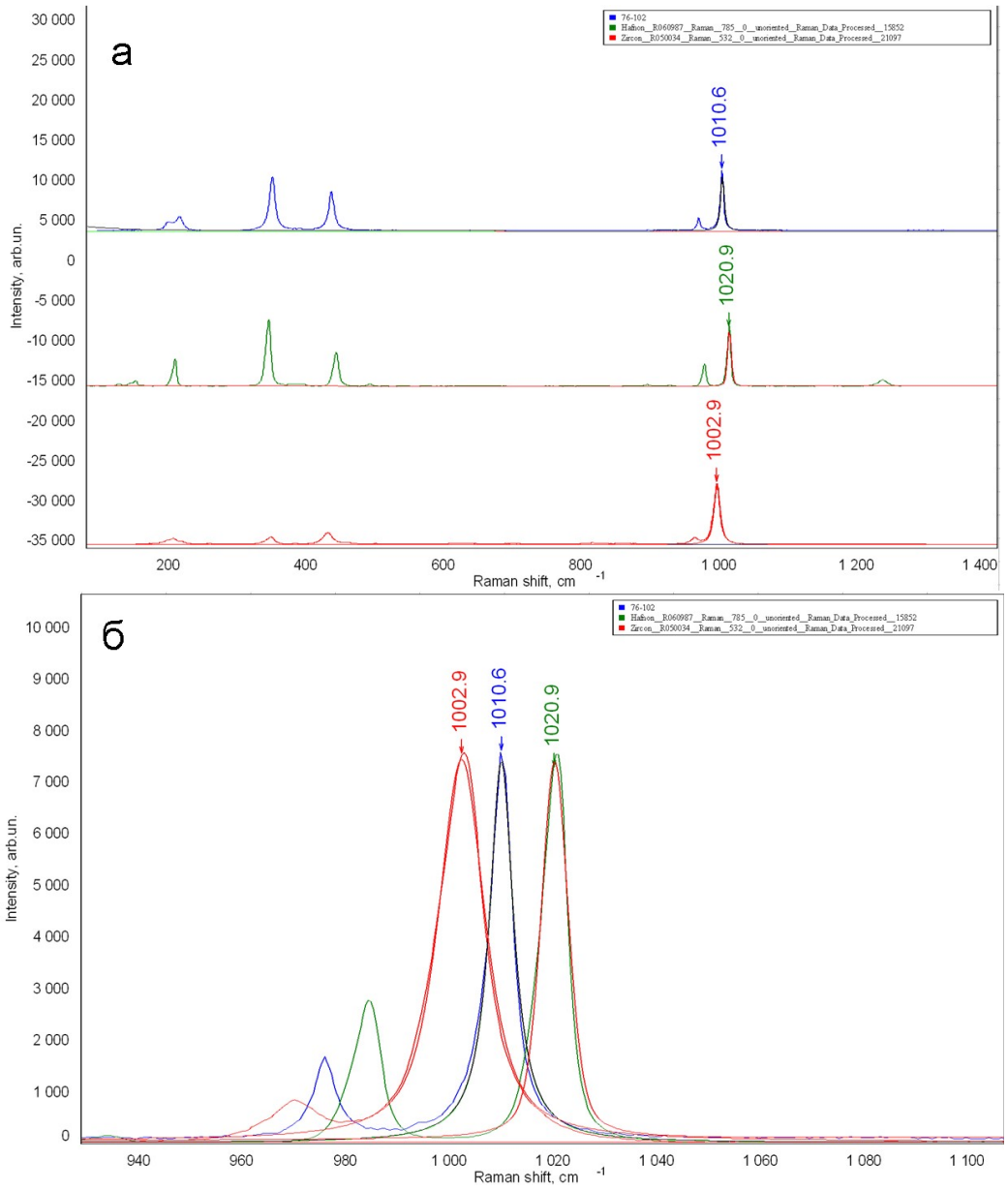


Рис. 4. Рамановские спектры гафниевого циркона, эталонных циркона и гафнона:
а — спектр основных пиков; б — спектр главного пика. Красный цвет пика — эталонный циркон;
зеленый пик — эталонный гафнон; синий пик — высокогафниевый циркон.
Регистрация спектров проводилась на спектрометре LabRam HR 800 (ЦКП «Геонаука»
ИГ Коми НЦ УрО РАН, аналитик С. С. Исаенко)

Обсуждение и выводы

Поскольку гафний входит в структуру циркона, изоморфно замещая цирконий в кристаллической решетке, циркон не может существенно обогащаться гафнием при магматической кристаллизации [15]. Гафний имеет более высокое сродство к гранитному расплаву, чем цирконий [26]. Высокие концентрации гафния обычно отражают фракционирование Zr/Hf в гранитной магме, где циркон из пегматитов значительно обогащен гафнием по сравнению с гранитом [9, 13]. Тенденция фракционирования Zr/Hf в серии циркон-гафнон традиционно объясняется на основе дифференциальной растворимости двух фаз этих элементов в насыщенных глиноземом гранитных расплавах [19]. Основным фактором, который может влиять на растворимость циркона и гафнона в расплавах является фракционная кристаллизация гранитной магмы, где происходит изменение

состава расплава и его температуры. Другими факторами могут являться буферные эффекты Zr-несущих фаз и роль флюсов, таких как Li, F и B [15, 20]. Экспериментальные исследования растворимости циркона и гафнона в силикатных расплавах различного состава показали, что растворимость как циркона, так и гафнона уменьшается с увеличением насыщения оксидом алюминия безводных и водных расплавов. При магматической кристаллизации, высокое молярное отношение Al/[Ca + Na + K] > 1,0 (индекс ASI > 1,0) уменьшит значение Zr/Hf в поздних стадиях кристаллизации магм и приведет к обогащению гафнием позднекристаллизующегося циркона [4, 20, 28]. Экспериментальные работы также показали, что к высоким содержаниям гафния в цирконе может приводить и низкая температура высокоглиноземистого расплава [20].

Изученный высокогафниевый циркон кристаллизовался в Al-насыщенном расплаве, поскольку находится в тесной ассоциации с альбитом, сподуменом, лепидолитом, холтитом. С помощью Ti-термометра [27] были оценены температуры кристаллизации высокогафниевого циркона в диапазоне 350–470 °C (измерения проводились на масс-спектрометре SHRIMP RG (Стэнфордский университет, США). Эта температура практически в два раза ниже температуры циркона, кристаллизующегося из магматического расплава. Обычно в качестве флюсовых компонентов в пегматитах выступают H_2O, B, F и P [21]. Экспериментально подтверждена положительная зависимость растворимости циркона и гафнона от содержания фтора и бора в насыщенных глиноземом расплавах [14, 18]. В зонах развития высокогафниевого циркона широко распространены B-содержащие минералы, включающие эльбаит (группа турмалина) и холтит (группа дюмортьерита).

Таким образом, кристаллизация глиноземистых минералов (сподумена, лепидолита) из насыщенного глиноземом расплава в сочетании с флюсовыми элементами (B, Li и F) способствовала сильному фракционированию Zr/Hf-отношения и кристаллизации циркона с высоким содержанием гафния на поздних стадиях эволюции редкометалльных пегматитов месторождения Васин-Мыльк.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-05-00367. Госзадание № 0231-2015-0005.

Литература

1. Волошин А. В., Пахомовский А. Я., Залкинд О. А. Исследование химического состава и ИК-спектроскопии холтита // Минеральные ассоциации и минералы магматических комплексов Кольского полуострова. Апатиты, 1987. С. 14–34.
2. Волошин А. В., Пахомовский А. Я. Минералогия тантала и ниобия в редкометалльных пегматитах. Л.: Наука, 1988. 240 с.
3. Геология рудных районов Мурманской области / В. И. Пожиленко и др. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
4. Коренева В. Н., Зарайский Г. П. Экспериментальное исследование растворимости высокогафниевых цирконов в гранитном расплаве с фтором // Вестник Отделения наук о Земле РАН: электрон. науч.-информ. журн. 2003. № 1 (21). URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/informbul-1/magm-28.pdf
5. Кудряшов Н. М., Лялина Л. М., Апанасевич Е. А. Возраст редкометалльных пегматитов месторождения Васин-Мыльк (Кольский регион): результаты геохронологического U-Pb-исследования микролита // ДАН. 2015. Т. 461, № 4. С. 437–441.
6. О формах нахождения тантала и сопутствующих химических элементов-примесей в высокогафниевом цирконе / В. В. Гордиенко и др. // ЗВМО. 1999. № 2. С. 83–93.
7. Соседко А. Ф. Материалы по геологии и геохимии гранитных пегматитов. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 152 с.
8. Холтит (первая находка в СССР) и его взаимоотношения с другими минералами тантала в редкометалльных пегматитах / А. В. Волошин и др. // ЗВМО. 1977. Вып. 3. С. 337–347.
9. Цирконий-гафниевый индикатор фракционирования редкометальных гранитов / Г. П. Зарайский и др. // Петрология. 2009. Т. 17, № 1. С. 28–25.
10. Экспериментальное изучение системы H_3BO_3-NaF-SiO_2-H_2O при 350–800 °C и 1–2 кбар методом синтетических флюидных включений / И. С. Перетяжко и др. // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 4. С. 450–472.
11. Correia Neves J. M., Lopes Nunes J. E., Sahama T. G. High hafnium members of the zircon-hafnon series from the granite pegmatites of Zambézia, Mozambique // Contrib. to Mineralogy and Petrology. 1974. Vol. 48. P. 73–80.
12. Černý P., Siivola J. The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba XII. hafnian zircon // Canadian Mineralogist. 1980. Vol. 18. P. 313–321.
13. Černý P., Meintzer R. E., Anderson A. J. Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data of mechanisms // Canadian Mineralogist. 1985. Vol. 23. P. 381–421.
14. Effects of fluorine on the solubilities of Nb, Ta, Zr and Hf minerals in highly fluxed water-saturated haplogranitic melts / A. A. Aseri et al. // Ore Geology Reviews. 2015. Vol. 64. P. 736–746.
15. Ellison A. J., Hess P. C. Solution behavior of +4 cations in high silica melts: petrologic and geochemical implications // Contrib. to Mineralogy and Petrology. 1986. Vol. 94. P. 343–351.
16. Experimental study of boron solubility and speciation in the Na_2O-B_2O_3-SiO_2-H_2O system / S. Z. Smirnov et al. // Chemical Geology. 2005. Vol. 223. P. 16–34.
17. Hafnian zircon from the apical part of the Suzhou granite, China / R. C. Wang et al. // Canadian Mineralogist. 1996. Vol. 34. P. 1001–1010.

18. Keppler P. Influence of fluorine on the enrichment of high field strength trace elements in granitic rocks // Contrib. to Mineralogy and Petrology. 1993. Vol. 114. P. 479–488.
19. Linnen R. L., Cuney M. Granite-related rare-element deposits and experimental constraints on Ta-Nb-W-Sn-Zr-Hf mineralization / R. L. Linnen, I. M. Samson, Eds. // Rare-Element Geochemistry and Mineral Deposits. 2005. Vol. 17. P. 70–102.
20. Linnen R. L., Keppler H. Melt composition control of Zr-Hf fractionation in magmatic processes // Geochim. Cosmochim. Acta. 2002. Vol. 66. P. 3293–3301.
21. London D. Estimating abundances of volatile and other mobile components in evolved silicic melts through mineral-melt equilibria // J. Petrology. 1997. Vol. 38. P. 1691–1706.
22. London D. Internal differentiation of rare-element pegmatites: Effects of boron, phosphorus and fluorine // Geochim. Cosmochim. Acta. 1987. Vol. 51. P. 403–420.
23. London D. The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatites // Canadian Mineralogist. 1992. Vol. 30. P. 499–540.
24. Thomas R., Förster H-J., Heinrich W. The behavior of boron in a peraluminous granite-pegmatite system and associated hydrothermal solutions: a melt and fluid-inclusion study // Contrib. to Mineralogy and Petrology. 2003. Vol. 144. P. 457–472.
25. Van Lichtervelde M., Holtz F., Hanchar J. M. Solubility of manganotantalite, zircon and hafnon in highly fluxed peralkaline to peraluminous pegmatitic melts // Contrib. to Mineralogy and Petrology. 2010. Vol. 160. P. 17–32.
26. Wang X., Griffin W. L., Chen J. Hf contents and Zr/Hf ratios in granitic zircons // Geochemical J. 2010. Vol. 44. P. 65–72.
27. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // Contrib. to Mineralogy and Petrology. 2006. Vol. 151. P. 413–433.
28. Yin R., Wang R., Ai-Cheng Zhang. Extreme fractionation from zircon to hafnon in the Koktokay. No. 1 granitic pegmatite, Altai, northwestern China // American Mineralogist. 2013. Vol. 98. P. 714–1724.

С. К. Кузнецов, Н. Н. Тимонина
Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, kuznetsov@geo.komisc.ru

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ТИМАНО-СЕВЕРОУРАЛЬСКОГО РЕГИОНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ОСВОЕНИЯ

К арктической зоне Тимано-Североуральского региона относится Ненецкий автономный округ Архангельской области, Воркутинский и, частично, Усинский, Интинский и Усть-Цилемский районы Республики Коми. В этой зоне находятся месторождения нефти и газа, угля, разрабатывающиеся в течение уже многих лет и играющие важнейшую роль в социально-экономическом развитии территорий. Кроме того, на Северном Тимане, Полярном Урале, Пай-Хое, о. Вайгач, арх. Новая Земля известны месторождения и проявления хромовых и марганцевых руд, полиметаллов, меди, никеля, молибдена, золота, алмазов, барита, флюорита, сведения о которых изложены во многих работах [1–4, 8 и др.].

В арктическую зону входит значительная территория Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (рис.). В Ненецком автономном округе, Усинском и Воркутинском районах Республики Коми выявлено более 130 нефтяных, газонефтяных, газоконденсатных месторождений [5, 7 и др.]. Имеется целый ряд перспективных, но еще слабо изученные площадей, где могут быть открыты новые месторождения. В частности, в Усинском районе это Денисовская впадина, Харьяга-Усинский и Колвависовский нефтегазоносные районы, в Воркутинском районе — Коротаихинский, Воркутинский, Кочмесский и другие районы. Большой интерес представляют районы Ненецкого автономного округа и шельфа Баренцева моря.

Наряду с нефтью и газом большое значение имеют месторождения угля Печорского бассейна, сосредоточенные в Воркутинском районе Республики Коми и восточной части Ненецкого автономного округа. Угольные месторождения приурочены в основном к Предуральскому краевому прогибу, Каратаихинской и Карской впадинам. В арктическую зону входят Воркутский, Хальмеръюский углепромышленные районы, Карский, Коротаихинский и северная площадь Шарьюско-Адзьвинского угленосных районов, в пределах которых находятся многочисленные угольные проявления и разведанные месторождения энергетических и коксующихся углей [2 и др.]. Ресурсы углей категории $P_1+P_2+P_3$ составляют 154,6 млрд т, из них коксующихся — 20,8 млрд т; запасы категории $A+B+C_1$ — 5,2 млрд т, из них коксующихся — 2,9 млрд т. Основная часть запасов углей, в том числе коксующихся, находится в Воркутинском районе Республики Коми. Площади распространения коксующихся углей охватывают Хальмерьюский угольный район и восточную часть Воркутского района.

На Полярном Урале в пределах Войкаросыньинского и Райизского ультрабазитовых массивов имеются перспективные площади и проявления хромовых руд. Выделяется Хойлинско-Лагортинский рудный узел, включающий Хойлинское, Кечьпельское, Харотское, Верхнелагортинское рудные поля. В непосредственной близости от хромовых проявлений, на западном склоне Полярного Урала, выделяется Собско-Пальникский баритоносный район. В северной части Полярного Урала выявлено Саурипейское проявление меди, относящееся к типу медистых песчаников. В качестве попутного компонента в нем присутствует серебро.

В Енганепэ-Манитанырдском районе известны коренные проявления золота, наряду с которыми имеются небольшие по запасам золотоносные россыпи (Есто-Шор, Изья-Вож и др.).

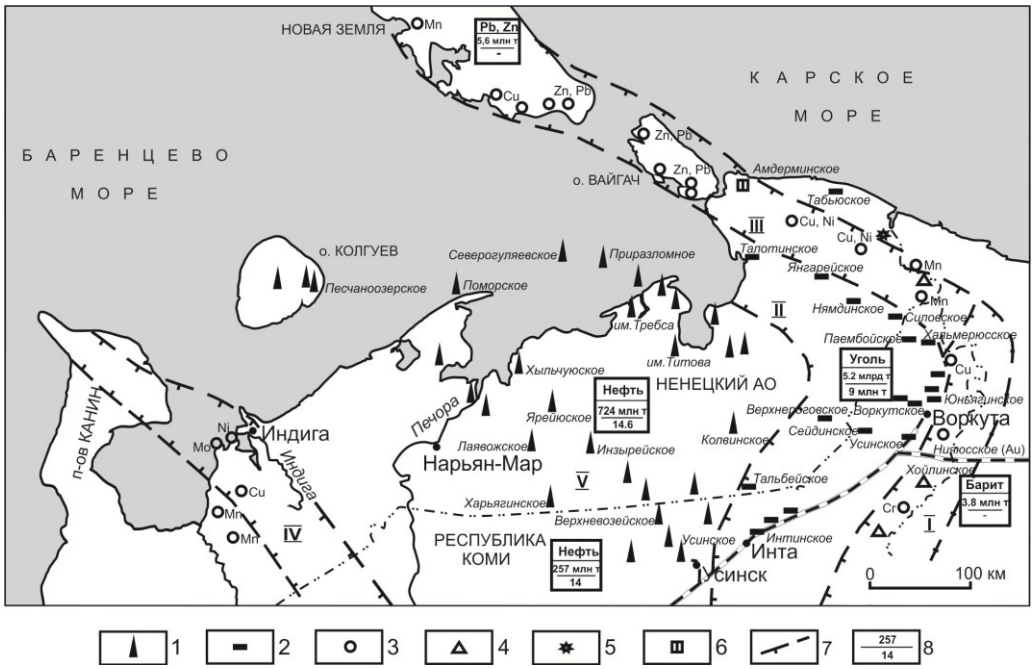


Схема размещения месторождений полезных ископаемых в арктической зоне Тимано-Североуральского региона:
1 — месторождения нефти и газа; 2 — угольные месторождения; 3 — месторождения и проявления металлических полезных ископаемых; 4 — месторождения барита; 5 — проявления алмазов; 6 — месторождения флюорита; 7 — границы Западно-Уральской и Центрально-Уральской (Центрально-Уральского поднятия) минерагенических зон (I), Предуральской минерагенической зоны, включая Печорский угольный бассейн (II), Пайхойско-Новоземельской минерагенической зоны (III), Канино-Тиманской минерагенической зоны (IV), Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (V); 8 — запасы полезных ископаемых (под чертой — объемы добычи 2015 г.)

На Пай-Хое, в его юго-восточной части — в Кара-Силовском рудном узле, выявлены многочисленные проявления карбонатных и оксидных марганцевых руд (Юбилейное, Нядейское и др.). В районе р. Кара известны баритовые проявления. Здесь же выделяется Карский бокситоносный узел, включающий Карскую, Терибейскую и Силоваяхинскую площади.

В центральной зоне Пай-Хоя выявлен целый ряд медно-никелевых проявлений. Кроме того, на Пай-Хое широко развита флюоритовая минерализация. Наиболее крупным является Амдерминское месторождение. Чистые разности флюорита пригодны для синтеза оптических монокристаллов. В северной части Пай-Хоя имеются проявления алмазов, связанные с Карской астроблемой.

На Северном Тимане выделяется Северо-Тиманский рудный район. Здесь известно большое количество проявлений и точек медной, молибденовой, медно-никелевой минерализации. В бассейне р. Пеша выявлена Пешская марганцевоносная площадь с Безмошицким и Прищатиницким проявлениями. Вдоль всего Тимана, включая его северное окончание, протягивается Тиманская алмазоносная зона, в пределах которой известны находки алмазов в четвертичных отложениях.

На о. Вайгач, в основном на его юго-западном побережье (Лямчинский рудный узел), известны небольшие свинцово-цинковые проявления (Раздельное, Красное, Пайгото, Талата-Сале, Цинковый Нос). В рудах присутствуют примеси кадмия, серебра, германия, золота. В северо-западной части о. Вайгач выявлен Соболевский меденосный узел, включающий ряд мелких проявлений.

На арх. Новая Земля, на юго-западной оконечности Южного острова, выделяется крупный Рогачевско-Тайнинский марганцеворудный район. В северо-западной части Южного острова широко развита свинцово-цинковая минерализация. Наиболее крупным является Безымянинский рудный узел, в пределах которого находится Павловское месторождение. Сопутствующими компонентами в свинцово-цинковых рудах являются серебро, кадмий, а также сурьма, таллий, индий, германий. Вдоль юго-западного побережья острова прослеживается Костиншарская рудная зона, включающая мелкие медные проявления. На Северном острове Новой Земли выделяется Адмиралтейская марганцевоносная зона карбонатных и кремнисто-карбонатных руд.

Наряду с ранее отмеченными полезными ископаемыми, на Северном Тимане, Полярном Урале, Пай-Хое и в других районах имеются проявления камнесамоцветного сырья, горного хрусталя, строительных

материалов (глины, пески, песчано-гравийные смеси, гравий, щебень, сырье для производства цемента и бетонных изделий и др.).

Следует заметить, что многие арктические территории Тимано-Североуральского региона изучены относительно слабо, проведена лишь оценка ресурсного потенциала различных полезных ископаемых. К числу перспективных и заслуживающих дальнейшего изучения, наряду с нефтегазоносными площадями, можно отнести Коротаихинский угленосный район (высококачественные угли), Северо-Тиманский район (марганец, медь, никель, молибден), Кара-Силовский и другие районы Пай-Хоя (марганец, никель, медь), Безымянинский и Рогачевско-Тайнинский районы Новой Земли (полиметаллы, марганец), Хойлинско-Лагортинский и Манитанырдский районы Полярного Урала (хром, золото).

В настоящее время наиболее востребованными являются месторождения нефти и газа, подавляющая часть которых находится в распределенном фонде недр. Ежегодные объемы добычи нефти в арктической зоне Тимано-Печорской провинции составляют около 25 млн т, и в перспективе возможно увеличение нефтедобычи.

Разрабатываются угольные месторождения Воркутинского района: Воркутское, Воргашорское (шахты «Заполярная», «Воркутинская», «Воргашорская», «Комсомольская», разрез «Юньягинский»). Ежегодная добыча угля в последнее время составляет 13,0–14,6 млн т. В 2016 г. в связи с аварией на шахте «Северная» добыча сократилась до 10,8 млн т. Угли используются в энергетической и коксохимической промышленности, основными потребителями являются Череповецкий, Новолипецкий, Нижнетагильский, Магнитогорский металлургические комбинаты, Московский коксогазовый завод, предприятия энергетики и коммунально-бытового хозяйства. Значительные запасы угля позволяют увеличить объемы добычи как за счет флангов и глубоких горизонтов действующих шахт, так и за счет введения в разработку новых месторождений (Усинского, Нижне- и Верхнесырьягинского и др.). Однако существует ряд проблем, связанных с качеством, себестоимостью и реализацией угля, что ограничивает развитие угледобычи.

Из месторождений других твердых полезных ископаемых в стадии подготовки к эксплуатации находится Павловское месторождение свинцово-цинковых руд на Новой Земле. При благоприятных условиях, наличии спроса и приемлемых цен может быть возобновлена эксплуатация Хойлинского баритового месторождения на Полярном Урале, Амдерминского флюоритового месторождения на Пай-Хое. На последнем возможна селективная добыча высококачественного флюорита для производства оптических изделий.

Таким образом, арктическая зона Тимано-Североуральского региона характеризуется значительным ресурсным потенциалом различных полезных ископаемых, прежде всего нефти, газа, угля. Имеются перспективные площади, где возможно открытие новых месторождений. При освоении арктической зоны большое значение имеют уже существующие населенные пункты: Воркута, Нарьян-Мар, Амдерма, Индига. Важным фактором роста является ведущаяся разработка нефтегазовых и угольных месторождений, способствующая обживанию территорий и вовлечению в промышленный оборот месторождений других полезных ископаемых.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, проект № 45 «Нефтегазовые и минеральные ресурсы арктических территорий Республики Коми и Ненецкого автономного округа, перспективы их освоения», проекта № 15-15-5-73 Уральского отделения РАН «Георесурсы арктических территорий Тимано-Уральского региона и перспективы их освоения».

Литература

1. Геология и полезные ископаемые России: в 6 т. Т. 1: Запад России и Урал. Кн. 2: Урал / ред. О. А. Кондиайн; соред.: А. А. Беляев, А. Н. Мельгунов, Н. А. Румянцева. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. 584 с.
2. Кузнецов С.К., Тимонина Н.Н., Кузнецов Д.С. Ресурсный и стоимостной потенциал полезных ископаемых арктической зоны Тимано-Североуральского региона // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2016, № 11. С. 31–39.
3. Недра Северо-Запада Российской Федерации / В. А. Коровкин и др. СПб.: Изд-во С.-Петерб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2003. 520 с.
4. Основные черты геологического строения и минерально-сырьевой потенциал Северного, Приполярного и Полярного Урала / ред. А. Ф. Морозов, О. В. Петров, А. Н. Мельгунов. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 274 с.
5. Результаты оценки начальных суммарных ресурсов углеводородного сырья Республики Коми / А. В. Куранов и др. // Горн. журн. 2013. № 9. С. 57–61.
6. Состояние и проблемы освоения сырьевой базы угля и горючих сланцев / А. П. Боровинских др. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 4. С. 60–65.
7. Сырьевая база нефти и газа Тимано-Печорской провинции и перспективы их освоения / О. М. Прищепа и др. // Проблемы воспроизводства запасов нефти и газа в современных условиях: сб. ст., посвященный 85-летию ВНИГРИ. 2014. С. 32–38.
8. Твердые полезные ископаемые архипелагов и островов арктической континентальной окраины Евразии / гл. ред. В. Д. Каминский, отв. ред. В. И. Ушаков, В. Д. Крюков; ФГУП ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга. СПб., 2010. 336 с. (Тр. НИИГА — ВНИИОкеангеология, т. 216).

В. С. Куликов, А. К. Полин, В. В. Куликова
Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, vkulikova@yandex.ru

ОБЗОРНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ ДОКЕМБРИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ ХРОНОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРИ ИХ СОСТАВЛЕНИИ

В Институте геологии Карельского научного центра РАН в 2016 г. составлена новая версия обзорной геологической карты (ОГК) Республики Карелии и прилегающих районов. В работе участвовали специалисты из большинства подразделений института. Территория для новой карты обусловливалась принадлежностью к природной стране Фенноскандии, которая в конце XIX в. была выделена в пределах Северной Европы, а ее контуры, в т. ч. восточная граница с Русской (Восточно-Европейской) равниной, предлагаются авторами в новом варианте (рис. 1). Исходя из принципа открытой природной границы гидрографического типа, она проводится по системе морей, озер и рек, окаймляющей Фенноскандинавский щит, и отчетливо наблюдается визуально, при этом за редким исключением содержит некоторые элементы административного ограничения. Общая протяженность этой границы на территории России составляет 2460 км, площадь российской части Фенноскандии — 415 000 км^2, или 22,5 % природной страны.

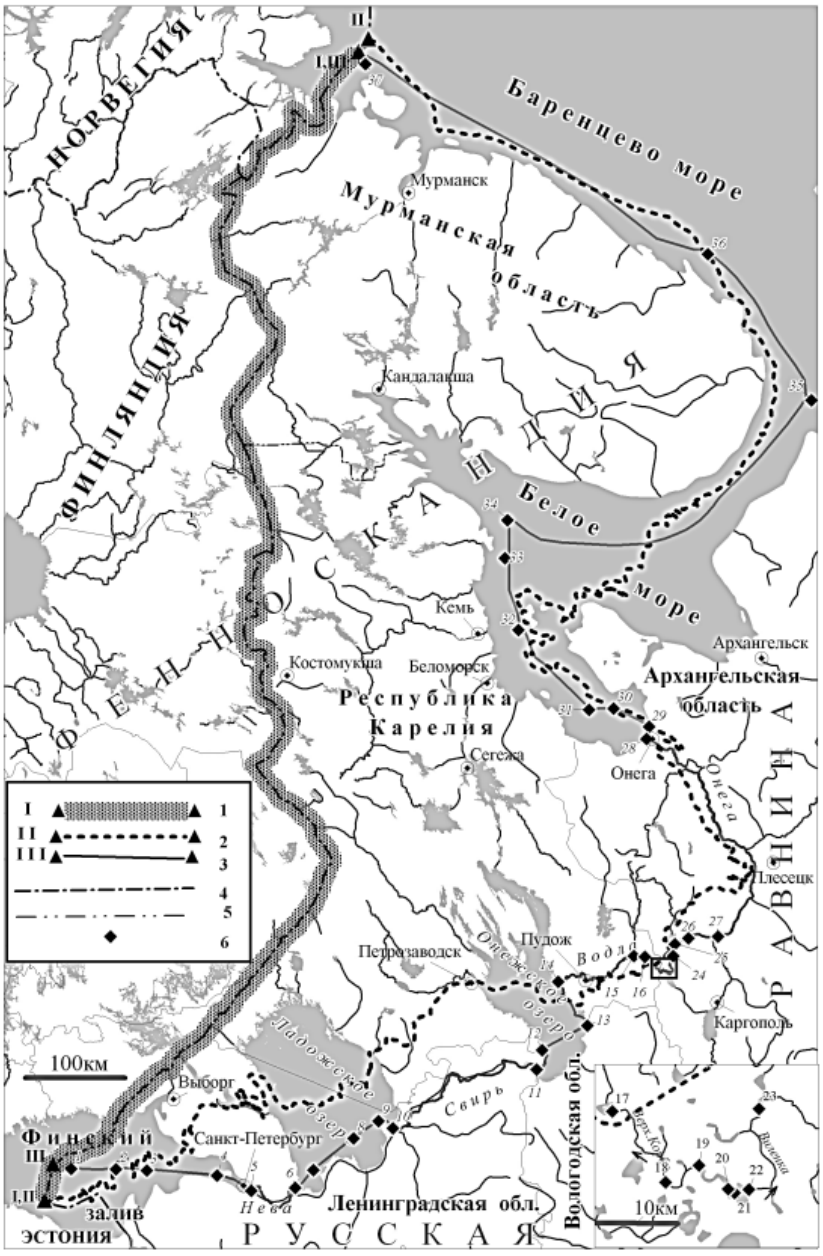
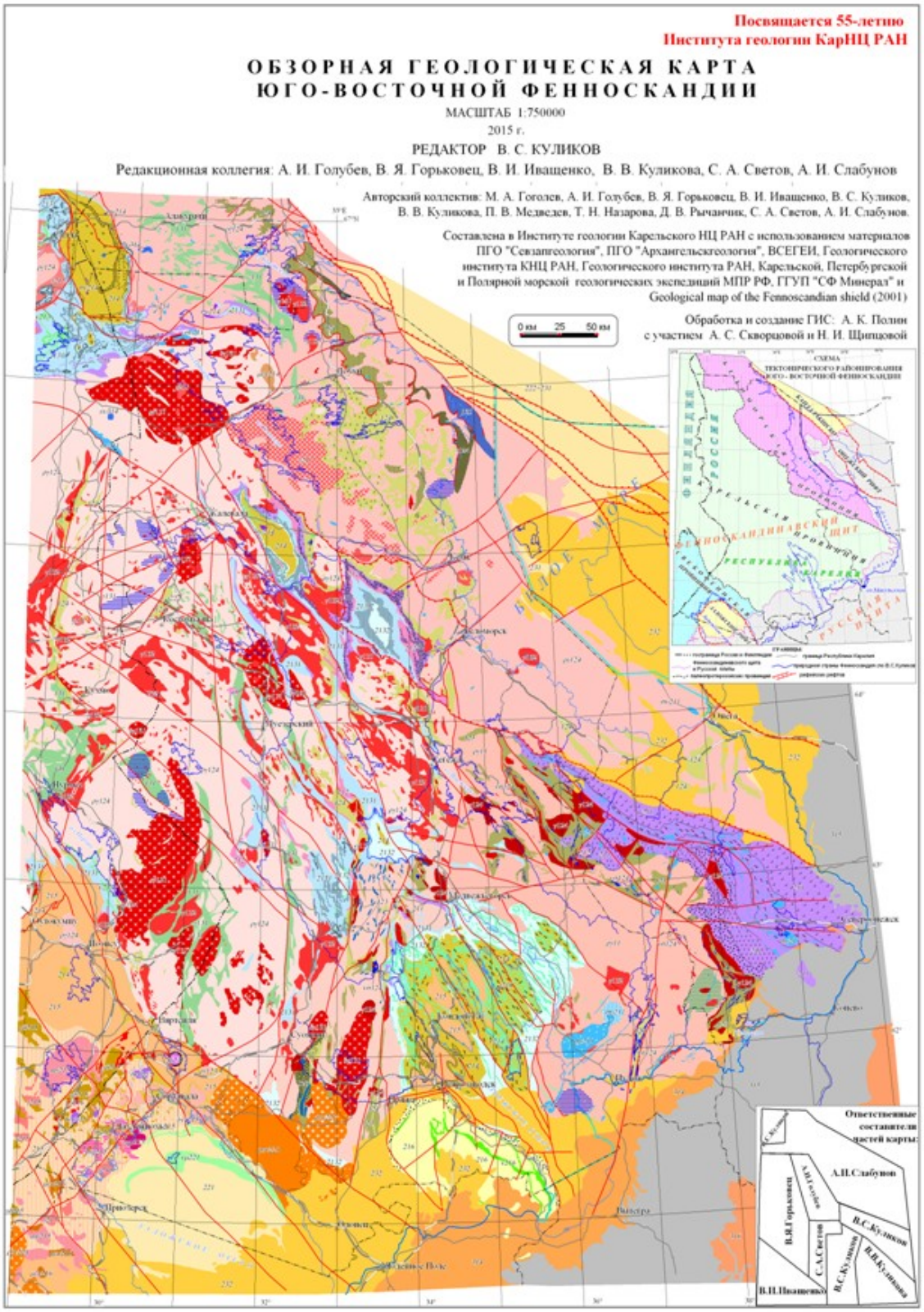


Рис. 1. Границы: 1 — государственная Российской Федерации и стран Северной Европы; 2 — геологическая Фенноскандинавского щита; 3 — гипотетическая природной страны Фенноскандия; 4 — субъектов Российской Федерации; 5 — устаревшая РФ и Эстонии, 6 — природные маркеры

Коллективом авторов при составлении ОГК (рис. 2) использованы материалы многолетних геологических и геофизических исследований региона с применением современных ГИС-технологий [1, 3, 6, 7, 11 и др.], отражающие его изученность рассматриваемых территорий по состоянию на конец XX — начало XXI вв., а также новые геологические, геофизические, геохронологические (около 300 U-Pb и Sm-Nd датировок) и петрологические данные.



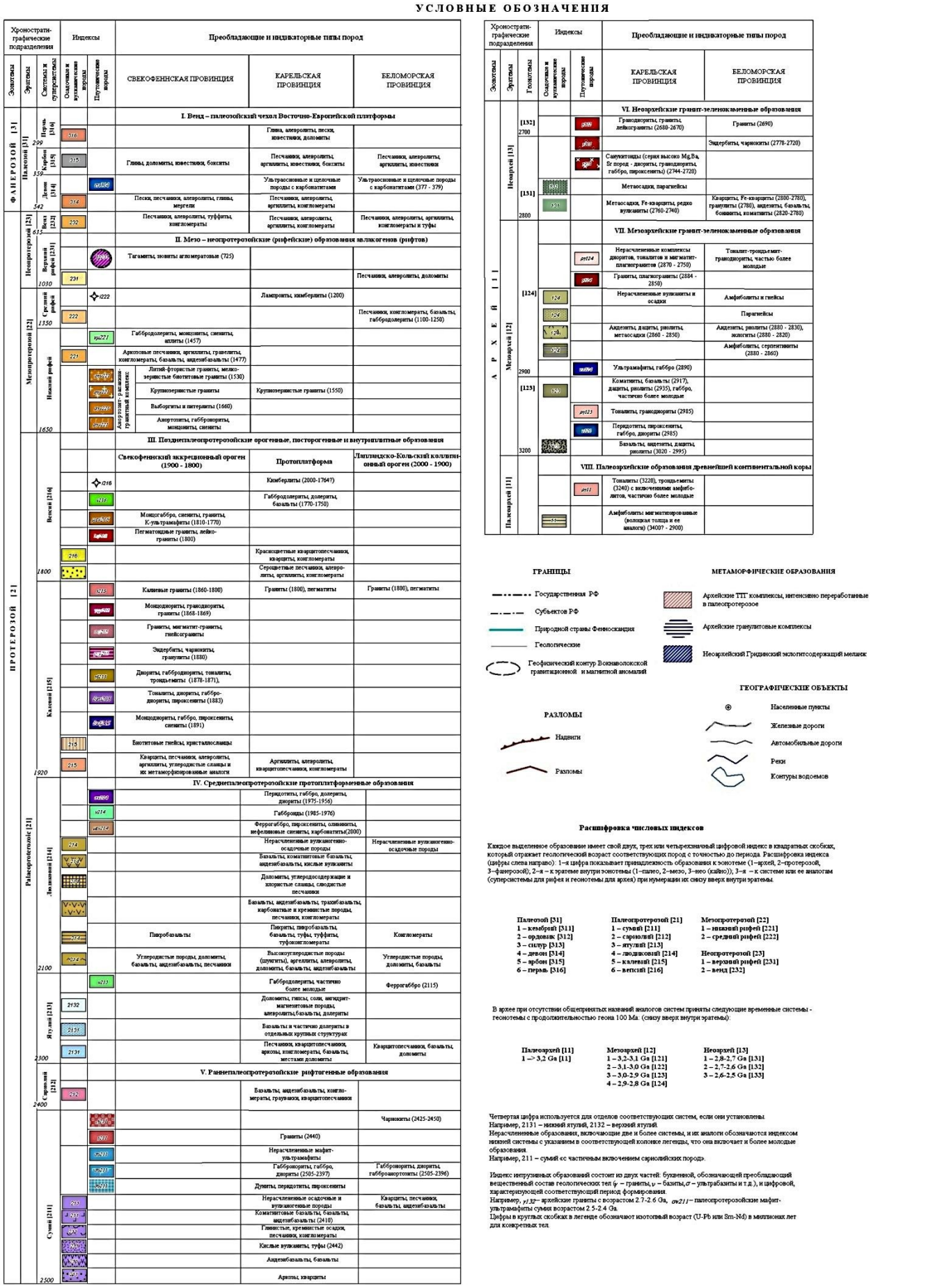


Рис. 2 Новая геологическая карта Карелии

Избраны неординарные подходы к составлению карт докембрийских комплексов с использованием авторской хроностратиграфической схемы докембрия региона, учитывающей важные составные элементы Международной стратиграфической шкалы (МСШ), Общей стратиграфической шкалы России (ОСШ) и Региональной стратиграфической схемы нижнего докембрия СЗ СССР [2]. Новая схема включила стратоны трех рангов: 1 — эонотемы, 2 — эратемы, 3 — системы и их аналоги. Подразделения 1-го и 2-го рангов в основном соответствуют по объему и границам МСШ [12]. Подразделения 3-го ранга, в связи с их неодинаковой степенью изученности и отсутствием достаточного количества геологических и геохронологических данных, получили разные наименования. Для палеозоя и венда они отнесены к системам МСШ и ОСШ [9], для мезо- и неопротерозоя — к суперсистемам, а для архея — к геонотемам.

Для расчленения геологического времени на отрезки, сопоставимые как в докембрии, так и фанерозое, использован единый подход [6]. В палеозое и мезозое такими наиболее значимыми временными отрезками являются геологические периоды со средней продолжительностью около 56 млн лет (при колебаниях от 28 до 80 млн лет), обоснованные палеонтологическими и изохронными данными [9, 12]. В палеопротерозое 6 надгоризонтов (от сумия до вепсия) региональной стратиграфической схемы СЗ СССР в среднем имеют длительность около 100 млн лет каждый [1] и рассматриваются как системы [2, 8, 10]. В. Рамсей еще в 1907 г. также называл образования некоторых из них системами (например, ятулийская и калевийская). В мезо- и неопротерозое в России пока не выделено систем за исключением венда (эдиакария, по МСШ), поэтому В. С. Куликов предлагает временно использовать термин «суперсистема» для нижнего, среднего и верхнего рифея вместо принятых в ОСШ одноименных «эратем». Длительность их формирования как продолжительных «систем» протерозоя по МСШ [12], которые в нашей схеме не используются, — от 200 до 350 млн лет, которая экстремальна для протерозоя, предполагается дальнейшее их изучение и более детальное расчленение.

Полученный за последние годы значительный объем геохронологических данных (более 200 датировок) по архейским магматическим комплексам как в России, так и в Финляндии позволяет разделять архейские эратемы на геонотемы продолжительностью 100 млн лет. *Этот термин впервые вводится в стратиграфическую номенклатуру и применяется в составлении геологических карт докембрийских регионов. По своему рангу геонотема приравнивается к системе палеопротерозоя, т. е. предлагаемая хроностратиграфическая схема нижнего докембрия становится сопоставимой по структуре и ранжированию стратонов с фанерозойскими стратиграфическими шкалами России и мира* [6]. При составлении легенд к обзорным геологическим картам масштабов 1 :500 000–2 500 000 (рис. 2) каждому стратону ранга системы предлагается придать свой цвет и последовательность в протерозое (от древних к молодым), которые соответствуют цветовой гамме радуги в направлении от фиолетовых к синим, зеленым и желтым (как в мезо- и кайнозое МСШ), а в архее использовать зеленоватые оттенки, близкие к нижнему палеозою МСШ.

Выделенный на ОГК стратон имеет свой двух- или трехзначный цифровой индекс, который отражает геологический возраст соответствующих пород с точностью до эратемы или системы (ее аналога). Цифры в индексе показывают (слева направо):

- **первая** — эонотему (1 — архей, 2 — протерозой. 3 — фанерозой);
- **вторая** — эратему внутри эонотемы (1 — палео-, 2 — мезо-, 3 — нео (кайно));
- **третья** — систему или ее аналоги (суперсистемы для рифея и геонотемы для архея) при нумерации их снизу вверх внутри соответствующей эратемы, например, это актуально при отсутствии общепринятых наименований в архее.

Применительно к нижнему докембрию Фенноскандии используются следующие интервалы (периоды) и их цифровые индексы: палеоархей (более 3,2 млрд лет — **11**); мезоархей (3,2–3,1 — **121**, 3,1–3,0 — **122**, 3,0–2.9 — **123**, 2.9–2.8 — **124**); неоархей (2,8–2,7 — **131**, 2,7–2,6 — **132**, 2,6–2,5 — **133**); палеопротерозой (сумий — **211**, сариолий — **212**, ятулий — **213**, людиковий — **214**, калевий — **215**, вепсий — **216**). Другие составные части систем и геонотем (отдельные свиты и маркирующие горизонты) выделяются особым крапом на цветовом поле соответствующих стратонов.

Цветовая окраска интрузивных образований принципиально не отличается от таковой на государственных геологических картах России. Она традиционно связывается с вещественным составом магматитов: синие и фиолетовые цвета соответствуют ультрабазитам, зеленые — базитам, коричневые — диоритам, красные — гранитоидам и оранжевые — щелочным породам. Индекс интрузивных комплексов состоит из двух частей: буквенной (греческий алфавит), обозначающей преобладающий их вещественный состав (γ — гранитоиды, ν — базиты, σ — ультрабазиты и т. д.), и цифровой, характеризующей период формирования. Метаморфические комплексы на карте показываются ограниченно с использованием различных видов цветной штриховки.

В легенде матричного типа в применении к Геологической карте юго-восточной Фенноскандии (см. рис. 2) особо выделяются главные геотектонические этапы развития земной коры региона со следующими временными рубежами (в млрд лет): древнее 3,2 — палеоархейский (древнейшая континентальная кора); 3,0–2,5 —мезо-, неоархейский (гранит-зеленокаменные области); 2,5–2,3 — раннепалеопротерозойский (сумийско-сариолийская рифтогенная система); 2,3–1,92 — среднепалеопротерозойский (ятулийско-людиковийская протоплатформа); 2,0–1,8 — средне-позднепалеопротерозойский (орогении: коллизионная в Беломорской провинции и аккреционная в Ладожской при сохранении протоплатформенного режима в Карельской провинции); 1,8–1,65 — позднепалеопротерозойский (посторогенное развитие); 1,65–0,65 — мезо-неопротерозойский (рифейские авлакогены); 0,65–0,26 — венд-палеозойский (Восточно-Европейская платформа).

Таким образом, с использованием разработанной хроностратиграфической схемы составлена новая геологическая карта Юго-Восточной Фенноскандии [2] , которая позволит существенно усовершенствовать стратегию изучения ЮВ Фенноскандинавского щита и прилегающих к нему территорий.

Литература

1. Геология Карелии / отв. ред. В. А. Соколов. Л.: Наука, 1987. 231 с.
2. Геологическая карта ЮВ Фенноскандии масштаба 1:750 000: новые подходы к составлению / В. С. Куликов и др. // Труды Карельского научного центра РАН, 2017. DOI: 10.17076/geo444.
3. Государственная геологическая карта масштаба 1:1 000 000 (лист Петрозаводск) / ред. Ю. Б. Богданов. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.
4. История Земли в галактических и солнечных циклах / В. В. Куликова и др. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2005. 250 с.
5. Куликов В. С., Куликова В. В. О национальной стратиграфической шкале нижнего докембрия России. Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства. М., 2013. С. 66–67.
6. Международный стратиграфический справочник. М: ГЕОС, 2002. 38 с.
7. Металлогеническая карта российской части Фенноскандинавского щита масштаба 1:1000 000 / М. А. Корсакова и др. 2007.
8. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2011. 438 с.
9. Стратиграфический кодекс России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 48 с.
10. Hanski E.J., Melezhik V.A. Litho- and Chronostratigraphy of the Palaeproterozoic Karelian Formations. Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Berlin: Springer. 2012. Vol. 1. P. 39–53.
11. Geological map of the Fennoscandian shield 1: 2 000 000 / Eds Koistinen et al. Helsinki, 2001.
12. Ogg J., Ogg G., Gradstein F. The Concise Geologic Time Scale. Cambridge, 2008. 177 p.

В. В. Куликова, В. С. Куликов

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, vkulikova@yandex.ru

НЕКОТОРЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ЮГО-ВОСТОКА ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА НА ПРИМЕРЕ ПАЛЕОАРХЕЙСКОГО (?) ВОДЛОЗЕРСКОГО БЛОКА

Анализ тектонического строения Карело-Кольского региона с позиции геометрии фракталов свидетельствует о его многоуровневой структуре:

1) *n*-1-площадные — центральных (скрытых) зон кольцевых образований (будущих блоков);
2) *n*-линейные фракталы — мезоархейских 1-го и 2-го типа зеленокаменных поясов (ЗП);
3) *n*-2-площадные — типа Водлозерского блока — «снежинок Коха»;
4) *n*-1-линейные — палеопротерозойских (сумийских) рифтов;
5) *n*-1-площадные — центральных (ядерных) зон блоков (магматических плутонов Бураковского типа).

Авторами при изучении особенностей геологической границы природной страны Фенноскандия и Русской плиты были установлены определяемые из Космоса (Google Earth) специфические кольцевые структуры, одной из которых вследствие ее информативности присвоено название — геологическая Кенозерская кольцевая «космическая» структура (ГКККС) диаметром около 80 км. При уточнении границы фанерозойских комплексов северного края плиты она оказалась графическим стандартом, который был использован при геометризации территории всего Карело-Кольского региона. Возможно, это определенное геологическое явление, обусловленное особыми *первичными* (эопалеоархейскими?) структурами земной коры. Авторы полагают, что понять его можно с учетом эмпирического природного моделирования, в частности, наблюдения над первоначально замерзающими морскими и речными водоемами (рис. 1) с формированием геометрически правильных круглых, овальных и, реже, других форм льдин. Для объяснения этого явления

выдвинут ряд гипотез относительно динамики их образования на остывающей поверхности воды в спокойных условиях или при турбулентном и ламинарном течении, но всегда в присутствии волнения (см. рис. 1).

Доказано [2, 4], что при легком волнении поверхности водоема (моря или реки) льдообразование исходит из многих центров с формированием дисков блинчатого льда диаметром от 30–50 см до 3 м, толщиной до 10–15 см, с приподнятыми краями вследствие удара — торошения льдин одна о другую (см. рис. 1). Это блинчатый лед (Pancake ice), являющийся наиболее распространенной начальной формой льда в море. Крупные диски образуются путем спаивания дисков блинчатого льда, который может образовываться на легкой волне из ледяного сала, шуги или снежуры, а также в результате разлома склянки, ниласа и серого льда или в условиях *большой зыби.* Блинчатый лед может также образовываться на некоторой глубине *на поверхности раздела между водными массами с различными физическими характеристиками*.

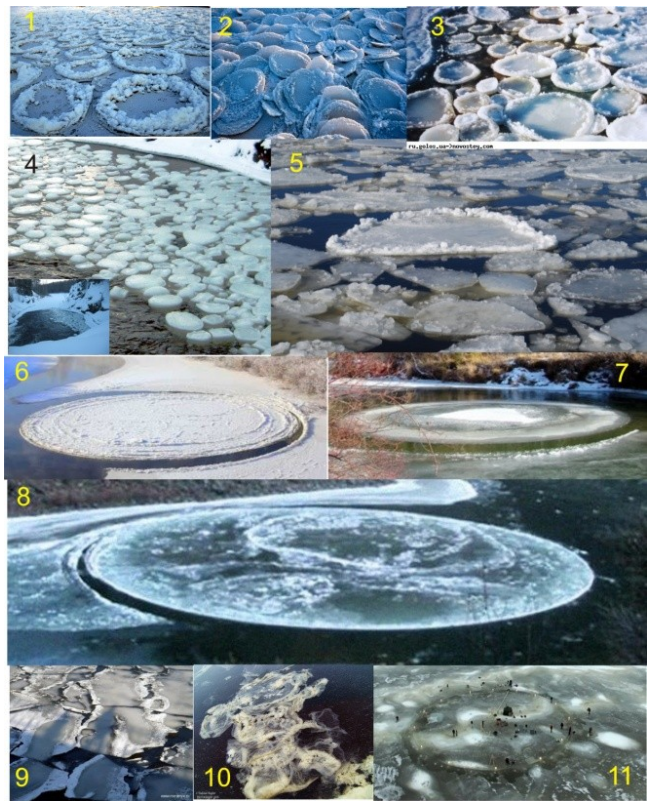


Рис. 1. Структура образования льдин (ледяных блоков) на спокойной поверхности воды Онежского озера (1, 2) и под сливом водопада Кивач, р. Суна (4); 1 и 4 — фото Е. В. Кузнецовой, 2012 г.; 3–11 — информация из Интернета

Волнение воды стимулирует формирование первичного ледяного «блинчатого» покрова и сопоставимо [5] с подобием деформационных волн в литосфере. Авторы, на основании многолетних исследований на юго-востоке Фенноскандинавского щита на примере Водлозерского блока, склоняются к тому, что первоначальные границы фрагментов палеоархейской коры представляли собой тектонические структуры, формирующиеся по подобию начального застывания воды в активном водоеме (*n*-1-площадные фракталы 1-го типа). Структуры типа ГКККС могут оказаться тем «блинчатым» первичным фундаментальным основанием блоков (рис. 2). При этом ГКККС, располагаясь на подвижной перегретой астеносфере, также выполняли вращательное движение по или против часовой стрелки. Его динамика могла быть обусловлена присутствием воронки в центре каждого «кольца», или формирование последних происходило в зонах сочленении граней «снежинок» — ячеек Бенара, уходящих корнями в астеносферу и стимулирующих эти движения. Длительность существования этих структур ограничивается возникновением ранних ЗП (мезоархейских) или *n*-линейных фракталов — 1-го и 2-го типа, а также *n*-площадных — типа Водлозерского блока — «снежинок Коха» (см. рис. 2).

Экстраполируя соотношения диаметр — толщина льда при его замерзании на водной поверхности на земную кору, можно предположить, что первоначальные размеры намечающегося литосферного блока были диаметром ~ 150–240 км и толщиной – 12,5 км по окаймляющим его дискретным ЗП, которые сопряженно переходят друг в друга. Специфика их конфигурации свидетельствует о сложных тектонических процессах, сопровождающих разрыв литосферы в мезоархее. Являясь по своему происхождению нелинейными динамическими системами, отдельные ЗП-структуры самоорганизуются в «пояса», создающие «сеть», в которой ее составляющие проявляют свойства фракталов. Рисунок ЗП (рис. 3) вокруг каждого блока наилучшим образом соответствует определению фрактала:

1) по Мандельброту [1], фрактал: от лат. fractus — *дробный* и frangere — *ломать*, или суть фрактала — «изломанное», нерегулярное множество;

2) состоящий из фрагментов.

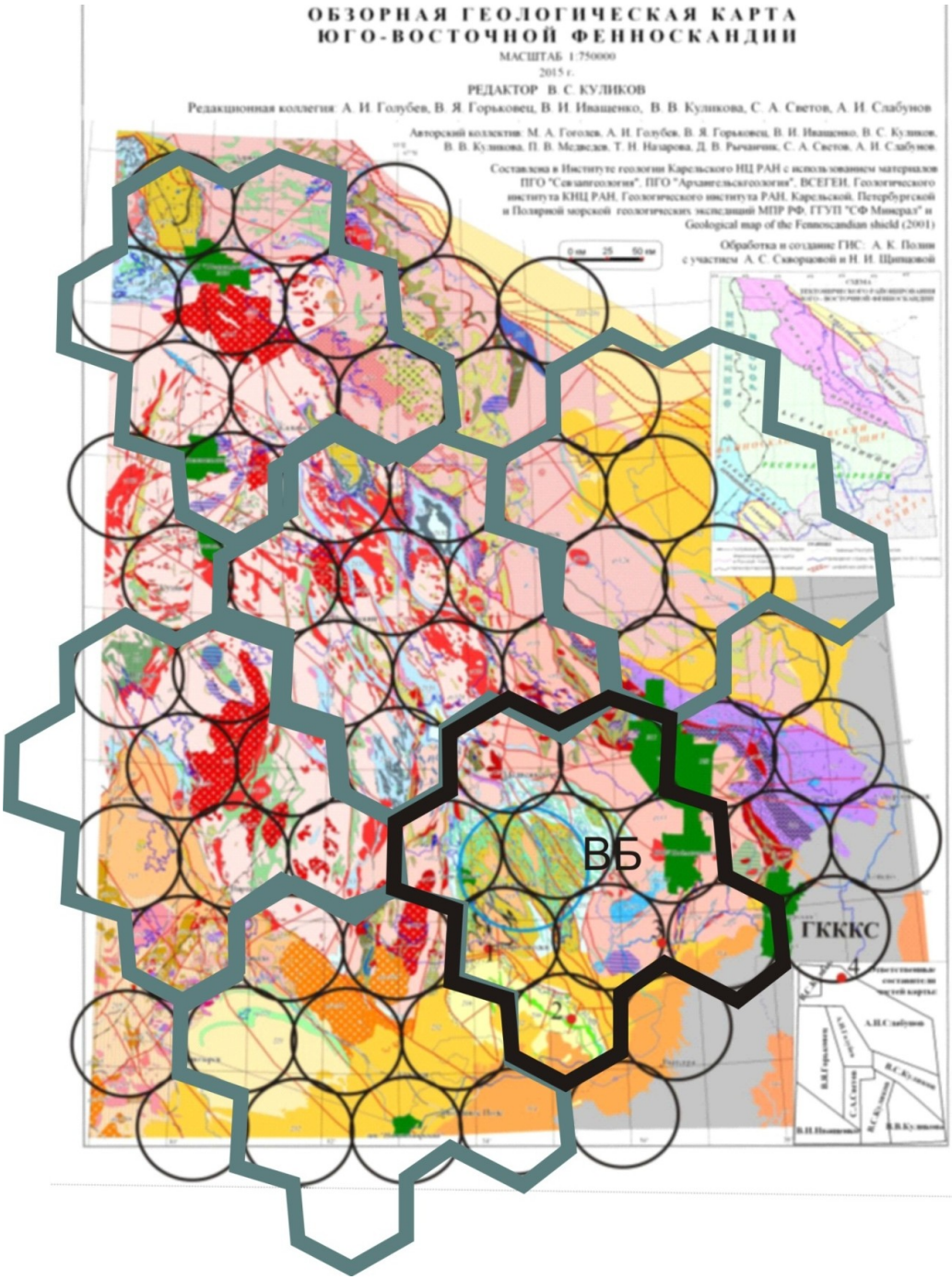


Рис. 2. Обзорная геологическая карта Карелии. Условные обозначения см. на рис. 2 в статье В. С. Куликова с соавторами (настоящий сборник). Геометризация выполнена ГККС, из подобия которых образуются «снежинки Коха» — блоки

Форма блока по сохранившимся северным и северо-восточным границам может быть реставрирована (рис. 2, 3), при этом обнаруживается, что их краевые зоны по деформациям [3] сопоставимы с тектоникой крупных льдин, вращающихся в определенном направлении. Зеленокаменные пояса, окружающие блоки — «снежинки Коха», состоят из отдельных простых сходящихся разломов в виде равносторонних углов (L — ~ 10 км), которые часто скрыты многочисленными небольшими телами поздних неоархейских гранитов. Центральные части (ядра, аттракторы) блоков идентифицировались только в палеопротерозое за счет внедрения крупных мафит-ультрамафитовых расслоенных плутонов (Бураковский — в Водлозерском блоке (рис. 3, части 2, 3А), Кийостровский — в Маленгском, интрузивы Олангской группы Северной Карелии (Киваккa, Ципринга, Луккулайсваара) – в Пяозерском, Мончегорский плутон — в Центрально-Кольском и т. д.)(рис. 3, часть 3Б).

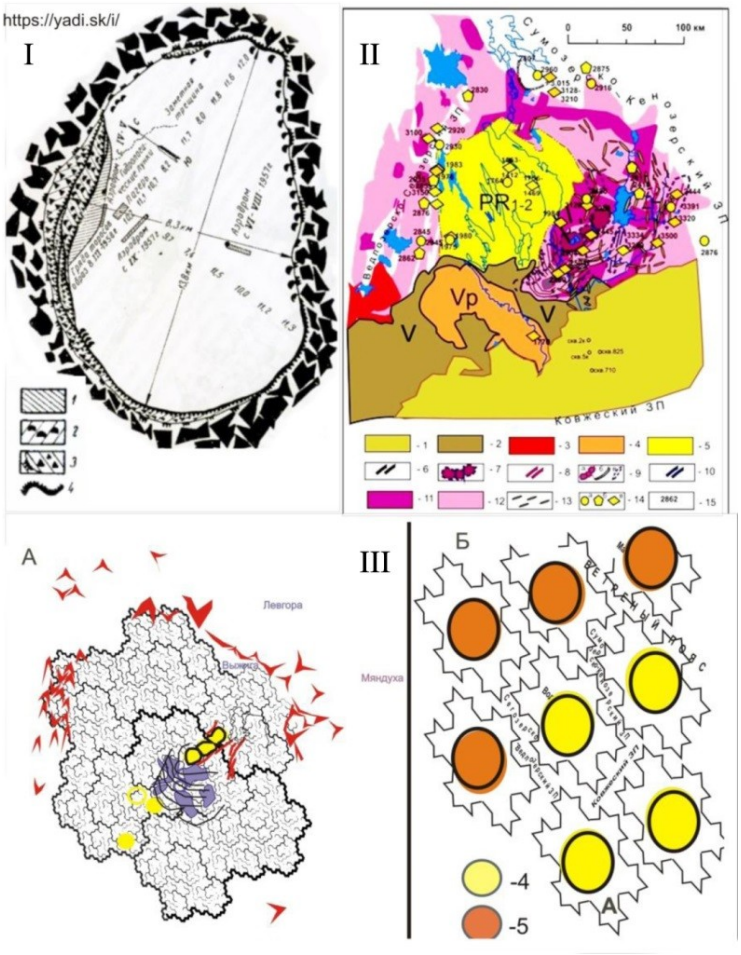


Рис. 3.
Схема I: льдины, сопоставимой с формой Водлозерского блока (ледяной остров СП-6:
1 — многолетний припай, *2* — многолетний припай со сглаженными торосами, *3* — припай с молодыми торосами, *4* — гряды торосов (https://yadi.sk/i/dhNO7UWu3Fi3vW). ВБ в эволюции от палеоархея до девона (составили В. В. Куликова и В. С. Куликов, 2011 г.).
Фанерозой, 1 — девонские нерасчлененные образования. Неопротерозой (венд или эдиакарий), 2 — песчаники, конгломераты, аргиллиты. Мезопротерозой (рифей), 3 — граниты рапакиви. Палеопротерозой, 4–6: 4 — кварцитопесчаники, силлы долеритов (вепсий или статерий); 5 — нерасчлененный комплекс осадков, в т. ч. доломитов, шунгитов с предположительно рифейской фауной и солей, вулканитов, долеритов, метасоматитов и др. (ятулий — людиковий или рясий — орозирий);
6 – дайки и силлы долеритов пудожгорского типа.
Интрузивы и дайки (сумий-сариолий, сидерий), 7–9: 7 — Бураковский расслоенный плутон; 8 — Авдеевская, Шальская и др. дайки габбро-норитов; 9 — внутрикоровая магнитная аномалия остаточного расплава Бураковского плутона (а), поверхностные «волны» вокруг нее (б), выделенные поля гранулитового метаморфизма по геофизическим и геологическим данным. Мезоархей (?), 10 — нерасчлененный комплекс даек, в том числе габбронориты. Нео- и мезоархей нерасчлененные, 11 — пегматиты, граниты, трондьемиты на территории Водлозерского блока. Палеоархей, 12–15: 12 — нерасчлененный комплекс ТТГ (тоналиты, трондьемиты, диоритоиды); 13 — останцы и реликты древнейших амфиболитов Фенноскандинавского щита — волоцкая свита; 14 — изотопные возрасты, полученные Sm-Nd (а), Pb-Pb и Pb-U по цирконам и бадделеитам (б), K-Ar по биотиту и мусковиту (в) методами; 15 — изотопный возраст, млн лет (Ма).
Звездочки — места находок минерализации Mn.
Схема III: А — Водлозерский блок в виде «снежинки Коха» — «птички» (фрагменты мезоархейских ЗП);
Б — странные аттракторы — ядра блоков на коматиитовой (4) и бонинитовой (5) астеносфере

Их можно рассматривать как аттракторы (аттрактор динамической системы — притягивающее, замкнутое, инвариантное множество в ее фазовом пространстве [1]), возникновение которых обусловлено предыдущей динамикой астеносферы, выступающей в роли неистощенной части мантии — поставщика крупных порций магмы (плюмов) соответствующего состава. Авторы используют термин, предполагая, что это: 1) устойчивые особые точки для местоположения плутонов; 2) нерегулярные (сложные, неустойчивые) траектории быстро расходящихся систем, которые остаются на аттракторе (привязаны к нему), или системы

разломов на *утолщенной* литосфере, контролируемые точечной динамикой астеносферы. Исторические деформации ЗП обусловлены разноплановой колебательной динамикой астеносферы с формированием разновозрастных плюмов, тенденцией их вертикального и горизонтального смещения, а также последовательным вырождением во времени, что способствовало смещению и вращению блоков с «торошением» и разрушением их краевых зон.

На примере геометрического рисунка границ наиболее сохранившегося архейского Водлозерского и других блоков, контролируемых мезоархейскими ЗП на Фенноскандинавском щите, особенностей строения центральных (ядерных) зон блоков как связующих звеньев (аттракторов) с тектоническими швами палеопротерозоя авторы попытались наметить механизм создания ансамбля магматических комплексов нетрадиционным способом, расширяющим перспективы как геодинамических построений, так и возможности открытия новых месторождений.

Литература

1. Мальденброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: ИКИ, 2002. 656 с.
2. Марченко А. В. Проблемы торошения морских льдов // Проблемы механики. 2002. № 3. С. 67–129. URL: http://www.rusmechanics.ru/3/articles/marchenko.pdf
3. Ханчук А. И., Мартынов Ю. А. Тектоника и магматизм границ скольжения океанических и континентальных литосферных плит // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: материалы всерос. конф. с междунар. участием (Владивосток, 20–23 сентября 2011 г.). Владивосток: Дальнаука, 2011. 457 с.
4. Хименков А. Н., Брушков А. В. Введение в структурную криологию. М.: Наука, 2006. 279 с.
5. Sherman S. I. Deformation waves as a trigger mechanism of seismic activity in seismic zones of the continental lithosphere // Geodynamics & Tectonophysics. 2013. 4 (2). P. 83–117. doi:10.5800/GT2013420093.

К. В. Лобанов[1], М. В. Чичеров[1], В. И. Старостин[2]

[1]*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, lobanov@igem.ru*

[2]*Геологический факультет Московского государственного университета им. М. В.Ломоносова, Москва*

КОРРЕЛЯЦИЯ ПЕТРОЛОГИЧЕСКИХ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО МЕТАМОРФИЧЕСКИМ ПОРОДАМ В РАЗРЕЗЕ КОЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ

В разрезе Кольской сверхглубокой скважины в зональности среднепротерозойского метаморфизма выделены четыре фации: пренит-пумпеллиитовая (0–1400 м); зеленосланцевая (1400–4900 м); эпидот-амфиболитовая (4900–6000 м); амфиболитовая (6000–12262 м) [2]. На основе специализированной документации керна, сопоставления текстур и структур метаморфических пород с их минеральными ассоциациями, изучения пространственной ориентировки минералов установлено, что в соответствии с общей температурной зональностью метаморфизма интенсивность деформации и перекристаллизации пород увеличивается вниз по разрезу [4]. До глубины 4340 м проявления дислокационного метаморфизма ограничены сравнительно узкими тектоническими швами, внутреннее строение которых определяется в основном составом исходных пород. Ниже этой отметки влияние литологического состава отходит на второй план. Все породы подвергаются рассланцеванию, которое сопровождается появлением деформационных кристаллобластических структур и анизотропии пород. В нижней части северопеченгской серии и в кольской установлено проявление регрессивного метаморфизма зеленосланцевой фации.

Пренит-пумпеллиитовая фация установлена только в верхней части разреза СГ-3, а ее парагенезисы минералов характеризуются устойчивостью хлорита с пренитом в верхних интервалах и пумпеллиита с эпидотом и стильпномеланом. Фация зеленых сланцев охватывает почти всю пильгуярвинскую и лучломпольскую свиты, характеризуется ассоциацией метаморфических минералов (хлорит + эпидот + актинолит + биотит + альбит). Верхняя граница эпидот-амфиболитовой фации совпадает с кровлей куэтсъярвинской вулканогенной толщи. Породы представлены сравнительно однородными сланцеватыми амфиболитами без реликтовых структур. Амфиболитовая фация в метабазитах северопеченгской серии представлена наиболее низкотемпературными разностями, вплотную примыкающими к эпидот-амфиболитовой фации. Сюда относится большая часть амфиболитов ахмалахтинской свиты и кольской серии архея [2].

Определение температур метаморфизма по составам сосуществующих минералов и минеральным ассоциациям подтверждает общее повышение интенсивности процесса с глубиной (рис. 1). Средняя температура метаморфизма вулканитов в верхней части разреза СГ-3 — 300 °С (пренит-пумпеллиитовая фация), а конец зеленосланцевой фации (4900 м) — 450 °С. В интервале эпидот-амфиболитовой фации (4900–6000 м) она составляет 550 °С, а в пределах амфиболитовой фации (низы северопеченгской серии и архейская кольская серия) температуры метаморфизма от 550 до 650 °С (6000–12000 м) [4].

По разрезу скважины были рассчитаны средние величины петрофизических параметров для 540 образцов метабазитов из северопеченгской и кольской серий для интервалов пород различных

метаморфических фаций с целью выявления корреляции между петрологическими показателями условий метаморфизма, основанными на составах метаморфических минералов, и петрофизическими параметрами, отражающими литологический состав пород, степень их преобразования при прогрессивном метаморфизме. Были рассчитаны плотность, скорости Vp и Vs, а также температура Дебая, которые были пересчитаны методом средневзвешенного для интервалов каждой фации местаморфизма по разрезу СГ-3.

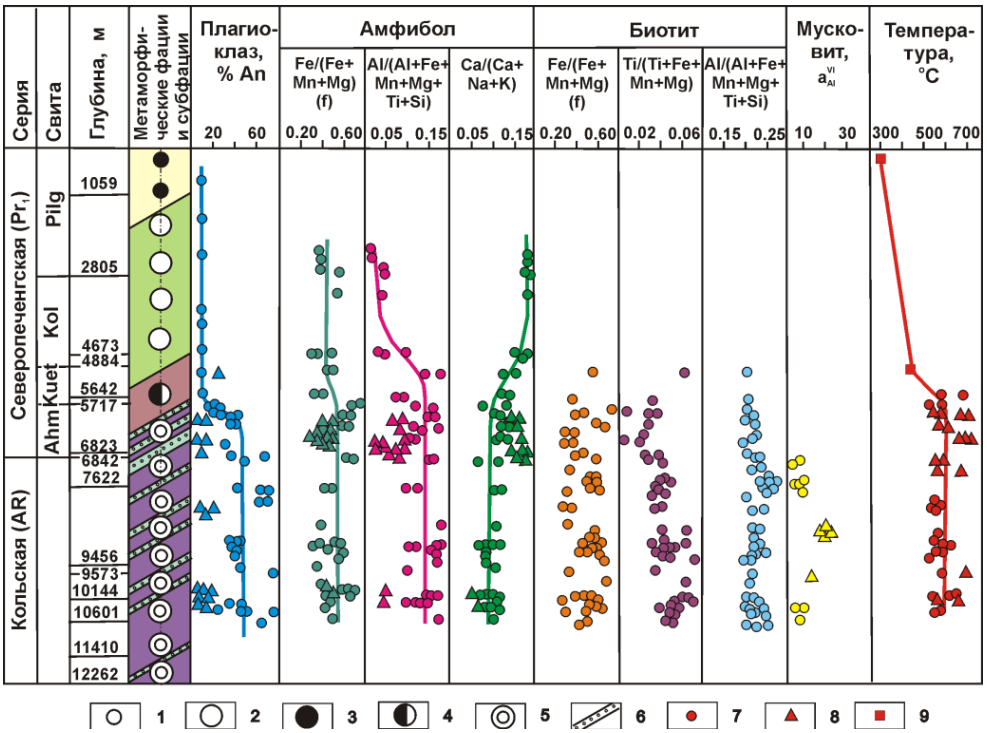


Рис. 1. Вертикальная зональность метаморфизма и изменение составов минералов в разрезе СГ-3 [4]. Свиты раннепротерозой-северопеченгской серии: pilg — пильгуярви, kol — колосйоки, kuet — куэтсъярви, ahm — ахмалахти. 1–5 — метаморфические фации прогрессивного метаморфизма: 1 — пренит-пумпеллиитовая, 2, 3 — зеленосланцевая (2 — эпидот-хлоритовая и 3 — биотит-актинолитовая субфации), 4 — эпидот-амфиболитовая, 5 — амфиболитовая. 6 — регрессивная зеленосланцевая фация. 7–9 — составы метаморфических минералов: 7 — прогрессивного этапа, 8 — регрессивного этапа. 9 — температуры метаморфизма, основанные на ассоциациях минералов и по экспериментальным данным, остальные значения температур даны по различным двуминеральным геотермометрам [4, 5]

По плотности метабазитов вниз по разрезу СГ-3а наблюдается увеличение от 3,05 (пренит-пумпеллиитовая фация) до 3,04 (зеленосланцевая), 3,06 (эпидот-амфиболитовая) и 3,08 г/см^3 (амфиболитовая) фаций метаморфизма. Значения же скоростей Vp и Vs вниз по разрезу уменьшаются от 6,32 и 3,49 до 5,30 и 2,82 км/с соответственно. Несмотря на то, что при повышении степени метаморфизма в метабазитах должны возрастать значения скоростей упругих волн для образцов керна извлеченных на поверхность и измеренных в стандартных лабораторных условиях при насыщении их водой микротрещин и пор не удалось получить реальные значения скоростей для глубоких горизонтов разреза СГ-3 [5].

Для корреляции петрологических и петрофизических данных по зональности метаморфизма была рассчитана температура Дебая, которая является важнейшим параметром вещества, отражающим устойчивость его структуры, прочность связей между отдельными ее элементами и связи между теплоемкостью многоатомного твердого тела и его коэффициентами упругости. Изменение внешних условий становления горных пород, как и любое событие, приведшее к необратимым преобразованиям структуры, вызывает и изменение характеристической температуры Дебая, измеряемой в градусах Кельвина. Расчет ее можно производить на основе данных о следующих свойствах твердого тела: плотности (ρ), скорости продольных (Vp) и поперечных (Vsi, Vs$_2$) ультразвуковых волн, средней атомной массы для силикатных пород. Региональный метаморфизм существенно меняет параметры пород, а абсолютная температуры Дебая параметр увеличивается по мере возрастания термодинамических условий метаморфизма от зеленосланцевой фации к амфиболитовой [6].

Для метабазитов по разрезу скважины для образцов керна (в насыщенном водой состоянии) температура Дебая составила для пренит-пумпеллиитовой фации 488 К, зеленосланцевой — 476 К, эпидот-амфиболитовой — 427 К, амфиболитовой — 396 К. Подобное уменьшение значений температуры Дебая вниз по разрезу обусловлено общим понижением средних величин скоростей Vp и Vs вследствие декомпрессии керна при подъеме на поверхность и определением величин этих скоростей в лабораторных условиях, а не in situ.

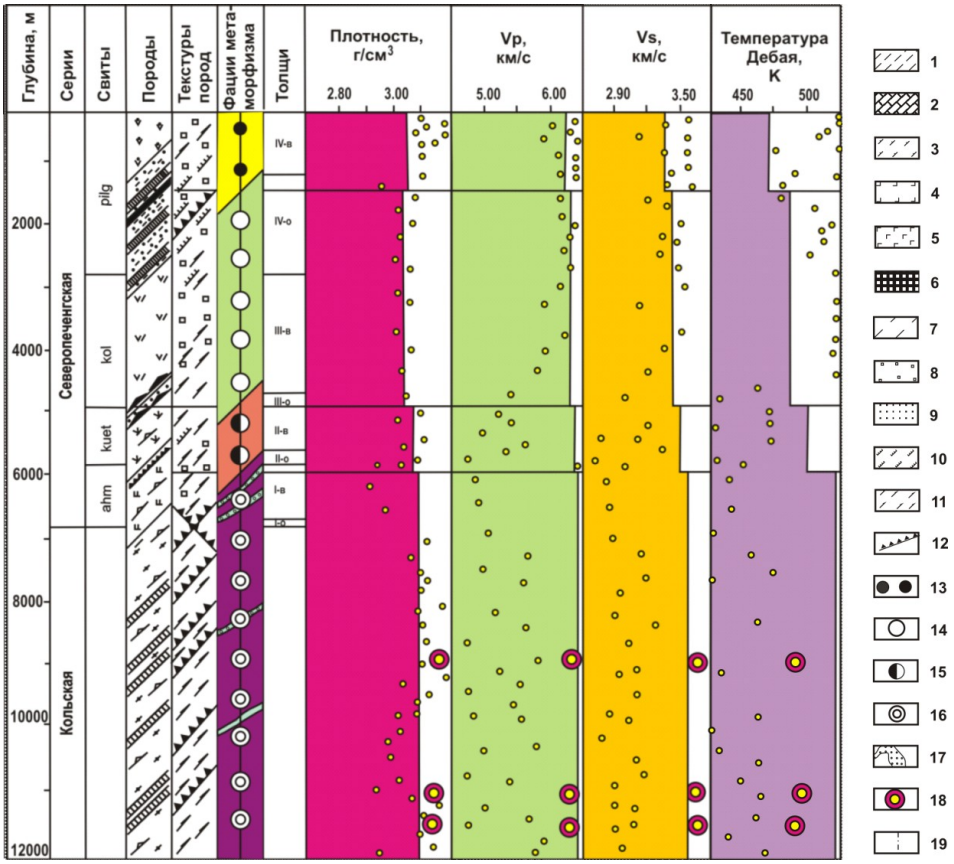


Рис. 2. Изменение вертикальной метаморфической зональности и петрофизических параметров метабазитов в разрезе СГ-3 [5].
Исходные породы: 1 — песчаники, аргиллиты; 2 — карбонатные породы; 3 — основные туфы; 4 — основные лавы; 5 — основные интрузивные породы; 6 — ультраосновные интрузивные породы. Текстуры пород: 7 — массивные и шаровые реликтовые; 8 — слоистые реликтовые; 9 — слоисто-сланцеватые; 10 — кристаллически-сланцеватые; 11 — катакластические. Метаморфические фации прогрессивного метаморфизма: 12 — пренит-пумпеллиитовая; 13, 14 — зеленосланцевые субфации: эпидот-хлоритовая (13), биотит-актинолитовая (14); 15 — эпидот-амфиболитовая; 16 — амфиболитовая; 17 — регрессивная зеленосланцевая фация; 18 — места отбора опорных образцов и их номера; 19 — ось скважины

Изучение опорных образцов керна СГ-3 и их аналогов с поверхности показало, что на больших глубинах 7–12 км присутствуют амфиболиты с нормальной для таких пород плотностью 3,05–3,08 г/см^3, Vp — 6,29–6,50 км/с и Vs — 3,31–3,45 км/с [1, 5].

На основании этих данных были проведены расчеты средних скоростей Vp и Vs для метабазитов вниз по разрезу СГ-3, которые показали, что их значения возрастают от 6,25 и 3,22 до 6,55 и 3,58 км/с соответственно. Значения температуры Дебая по метабазитам составили для пренит-пумпеллиитовой фации — 471 К, зеленосланцевой — 486 К, эпидот-амфиболитовой — 498 К, амфиболитовой — 523 К [6].

Установлено, что по разрезу Кольской сверхглубокой скважины при переходе от пренит-пумпеллиитовой фации регионального метаморфизма к амфиболитовой происходит увеличение температуры Дебая, что отражает возрастание термодинамических условий метаморфизма.

Литература

1. Интегральная геодинамическая модель Печенгского рудного района на основе корреляции геологических, петрологических и петрофизических данных по Кольской сверхглубокой скважине и опорному профилю на поверхности / К. В. Лобанов и др. // Современные проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 258–300.
2. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинной структуры континентальной коры бурением Кольской сверхглубокой скважины / ред. Е. А. Козловский. М.: Недра, 1984. 490 с.
3. Лобанов К. В., Жариков А. В., Чичеров М. В. Корреляция петрологических и петрофизических данных по метаморфической зональности в разрезе Кольской сверхглубокой скважины // Петрография магматических и метаморфических горных пород: материалы XII Всерос. петрограф. совещ. с участием зарубежных ученых (Петрозаводск, 15–20 сентября 2015 г.). Петрозаводск, 2015. С. 451–454.

4. Соотношения между деформациями, метаморфизмом и петрофизическими свойствами пород в Печенгском рудном районе / В. И. Казанский и др. // Внутреннее строение рудоносных докембрийских разломов. М.: Наука, 1985. С. 6–46.
5. Сопоставление архейских пород из разреза Кольской сверхглубокой скважины и их аналогов с поверхности по результатам структурно-петрологических, петрофизических и нейтронографических исследований / К. В. Лобанов и др. // Петрология. 2002. Т. 10, № 1. С. 30–45.
6. Структурно-петрофизический анализ месторождений полезных ископаемых / А. А. Бурмистров и др. М. МАКС Пресс, 2009, 408 с.

Ю. Н. Нерадовский
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, nerad@geoksc.apatity.ru

О ГЕНЕЗИСЕ КИАНИТА В СТАВРОЛИТОВЫХ СЛАНЦАХ КЕЙВ

Ставролитовые сланцы с кианитом приурочены к пачке Г в разрезе Больших Кейв [2]. Мощности их слоев достигают 250 м. Наибольшие концентрации кианита наблюдаются в нижней части разреза пачки, где содержание кианита составляет 15–20 %. Кианито-ставролитовые сланцы резко отличаются от кианитовых сланцев продуктивной пачки А минеральным, химическим составом и текстурой пород и морфологией кианита. Минеральный состав ставролитовых сланцев, %: кварц — 30–70, плагиоклаз (олигоклаз-андезин № 29-32) — 5–10, ставролит — 10–25, мусковит — 30–50, рутил — 1–3, ильменит — 2—5, хлорит, монацит, апатит, циркон, графит и др. Химический состав, %: SiO_2 — 62,92, TiO_2 — 1,94, Al_2O_3 — 23,36, Fe_2O_3 — 1,84, FeO — 1,84, MgO — 0,2, CaO — 0,78, Na_2O — 2,13, Ka_2O — 1,80, P_2O_5 — 0,10, H_2O^+ — 2,21, H_2^- — 0,26; менее 0,01 %: S, Cu, Ni, Co, Zn, CO_2, Pb — 0,001.

Кианито-ставролитовые сланцы имеют преимущественно порфиробластовую текстуру, обусловленную развитием метакристаллов ставролита, кианита и плагиоклаза в тонкозернистой кварцево-мусковитовой основной массе (далее субстрате) (рис.1–2). Все перечисленные минералы обладают отчетливой кристаллизационной зональностью (рис. 3). Зональность ставролита ранее исследована [5].



Рис. 1. Порфиробластические кианито-ставролитовые сланцы: темное — ставролит, белое — плагиоклаз, серое – субстрат. Фото штуфа

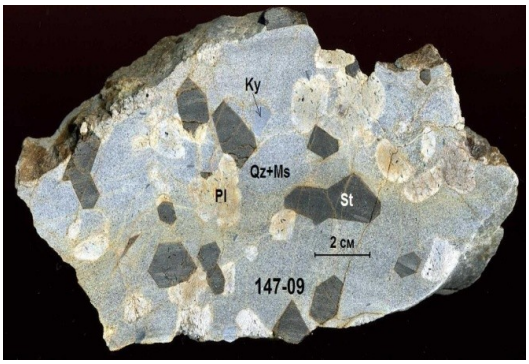
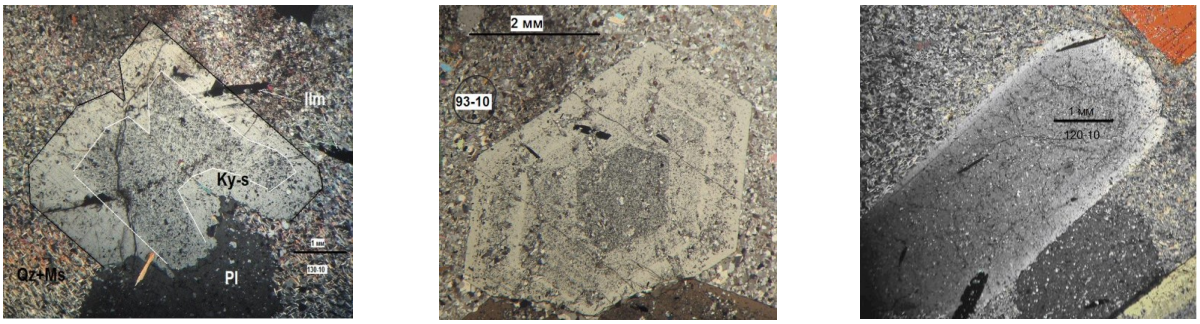


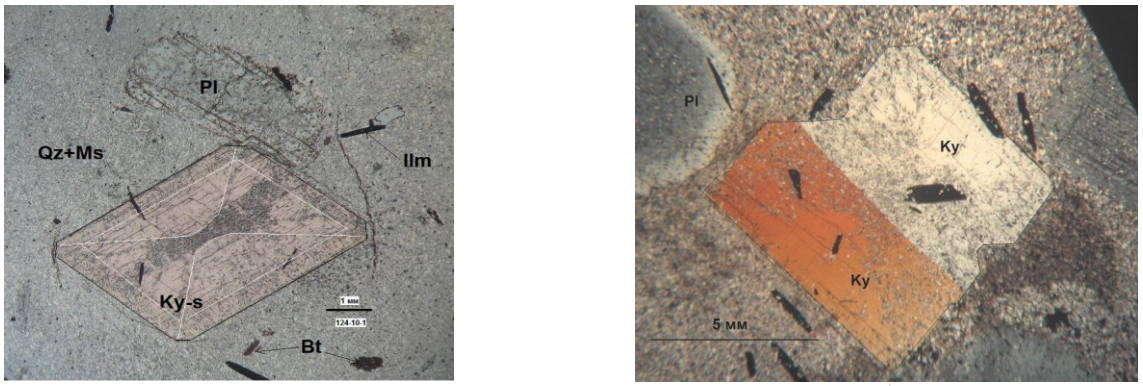
Рис. 2. Порфиробластовая текстура кианито-ставролитового сланца: Ky — кианит, St — ставролит, Qz+Ms — субстрат. Скан-изображение пришлифованного разреза штуфа



а *б* *в*

Рис. 3. Примеры зональности в кристаллах кианита (*а*), ставролита (*б*) и плагиоклаза (*в*) из кианито-ставролитовых сланцев. Фото в проходящем свете. Николи +

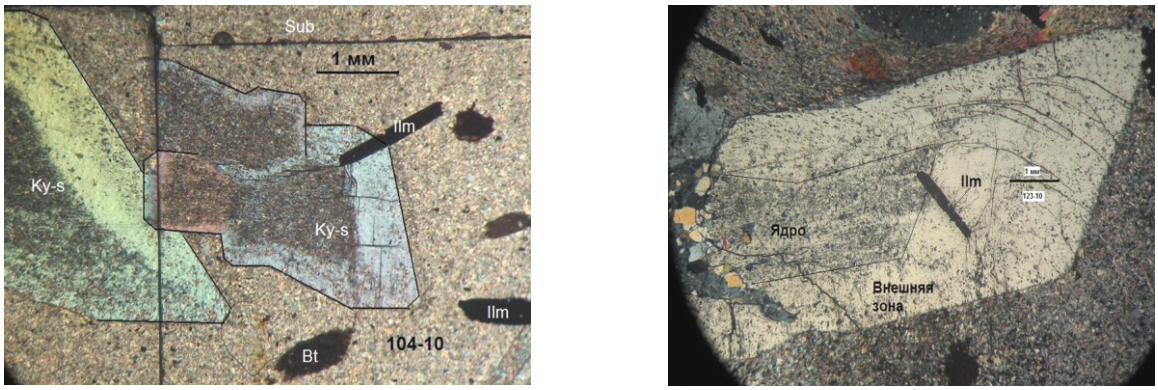
Кристаллы кианита в рассматриваемых породах хорошо ограничены и часто сдвойникованы (рис. 4). Исследования методом прикладного гониометра [4] показали, что на кристаллах наиболее развиты грани вертикального пояса: b (010), a (100) и M (1$\bar{1}$0) и грани вершины: Q (120) f (021). Двойники простые по оси [001] с двойниковой плоскостью по грани *m* — (100). По некоторым параметрам кристаллы похожи на голубой кианит в контактных зонах [1].



а *б*

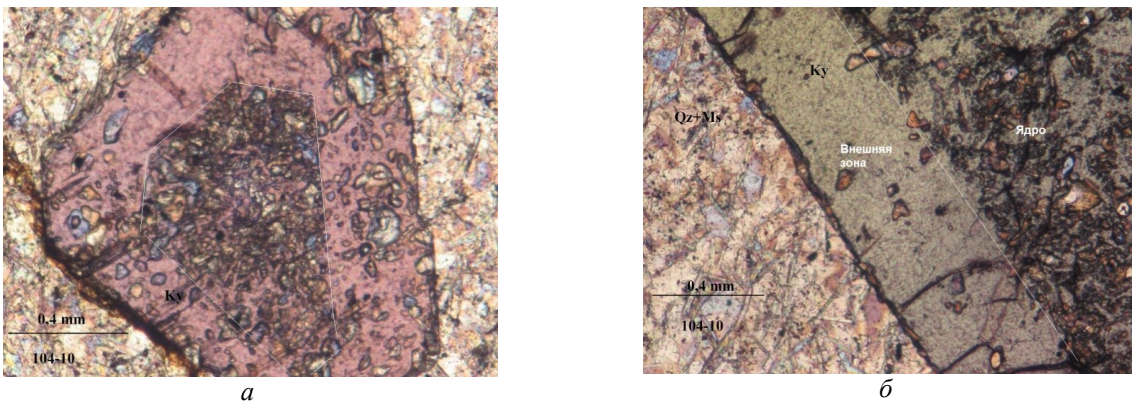
Рис. 4. Монокристалл (*а*) и двойник (*б*) кианита (Ky, Ky-s) в ставролитовых сланцах.
Фото шлифов, а - николи //, б+. Qz+Ms — субстрат, Ilm — ильменит, Bt — биотит, Pl — плагиоклаз

Все кристаллы кианита в кианито-ставролитовых сланцах имеют зональное строение. Исследование зональности показало, что она обусловлена не изменением химического состава кианита, а неравномерным распределением включений кварца в кианите (рис. 4–5). Включения наиболее густо насыщают центральную часть кристаллов (рис. 5–6). В продольном разрезе кристаллов видно, что наибольший объем включений кварца приходится на корневую часть, а по мере роста кристалла область с включениями кварца уменьшается и выклинивается (рис. 7). Внешние зоны кристаллов в основном не содержат включений кварца или содержат весьма незначительно (рис. 6).



а *б*

Рис. 5. Зональность в кристаллах кианита (Ky-s) в ставролитовых сланцах: ядра кристаллов постоянно густо насыщены включениями. Фото в проходящем свете. Николи +. Sub — субстрат, Ilm — ильменит, Bt — биотит



а *б*

Рис. 6. Неравномерное распределение включений кварца в ядре (*а*) и во внешней зоне кристалла (*б*) кианита (Ky).
Фото в проходящем свете. Николи // Qz+Ms — субстрат

Исследование условий образования включений кварца показало, что они возникли в результате захвата кианитом части субстрата при зарождении кианита. Субстрат сланцев состоит в основном из кварца и мусковита. В начальной стадии образования кианита кристаллизация его происходила за счет метасоматического замещения преимущественно мусковита.

Поскольку мусковит имеет пластинчатые кристаллы, то кианит, замещая его, «прорезал» кварцевую часть субстрата и захватывал нерастворенные части кварца. В связи с этим образовалась сетчатая структура кианита, с многочисленными реликтовыми включениями кварца (рис. 8). Такие образования соответствуют «пойкилитам», когда метакристалл развивался с замещением одного из компонентов среды [3].

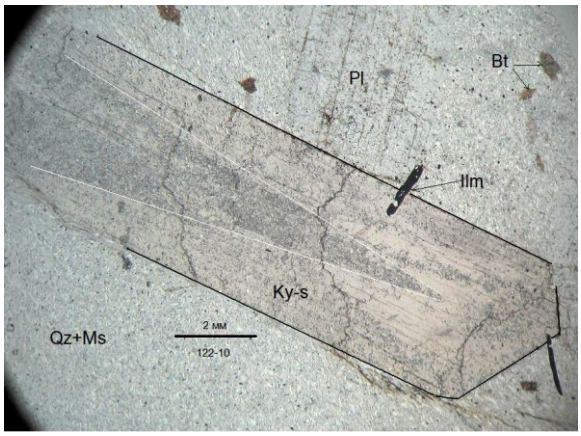


Рис. 7. Распределение включений кварца (темное) в продольном сечении монокристалла кианита (Ky-s): наблюдается постепенное выклинивание области включений кварца по направлению к головке кристалла. Фото шлифа. Николи //. Qz+Ms — субстрат, Ilm — ильменит, Pl — плагиоклаз, Bt — биотит

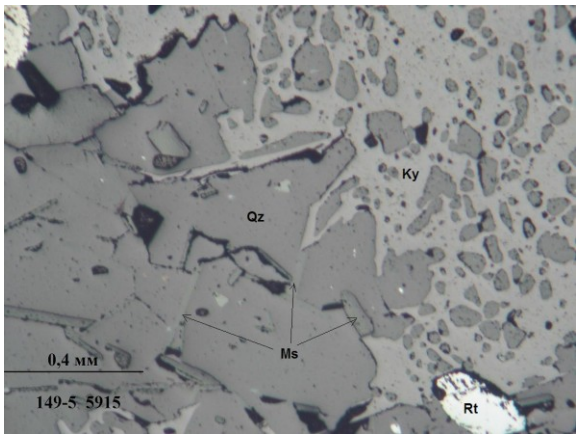


Рис. 8. Пример кристаллизации кианита (Ky) по пластинкам мусковита (Ms) между зернами кварца (Qz) и образование пойкилита. Rt — рутил. Фото в отраженном свете

На заключительной стадии выделения кианита кристаллизация шла с равномерным полным замещением и мусковита и кварца, поэтому образовалась зона чистого кианита без включений (рис. 6).

Еще одной генетической особенностью кианита в ставролитовых сланцах является способность его образовывать удлиненные кристаллы с расщепленными вершинами (рис. 4, *в*, 9). В таких кристаллах зоны, насыщенные включениями кварца, присутствуют вдоль всего кристалла во всех его частях, но имеют разрывы (рис. 10). Пластические деформации кианита и расщепление его кристаллов по двойниковой плоскости наблюдалось ранее И. В. Бельковым [1]. Образование расщепленных кристаллов свидетельствует о наложении динамических нагрузок на кристаллы в период кристаллизации и высокой скорости роста их по удлинению. Этому могло способствовать пластическое течение сланцев в период метаморфизма. Признаки пластического течения установлены на примере кристаллизации двойников ставролита [6].

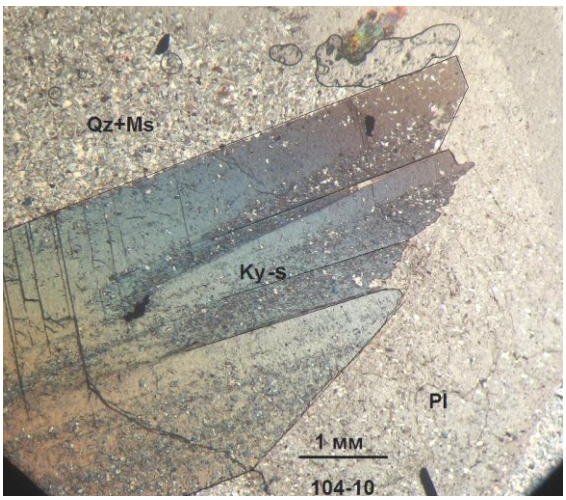


Рис. 9. Головка расщепленного кристалла кианита. Шлиф, николи +

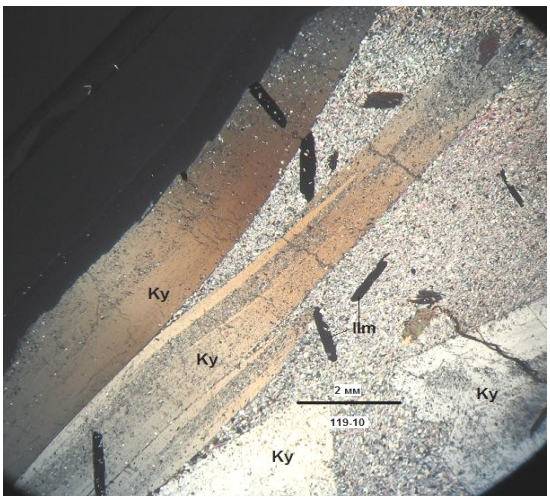


Рис. 10. Продольный разрез расщепленного кристалла кианита с полосами включений кварца по всей длине кристалла, видны признаки разрыва зон с включениями. Шлиф, николи +

Кристаллы кианита в процессе роста пересекали ставролит с выделением реакционных каемок в виде хлоритокварцевых жилок (рис. 11). Подобные взаимоотношения позволяют считать, что выделение кианита в ставролитовых сланцах произошло позднее ставролита [3, 7].

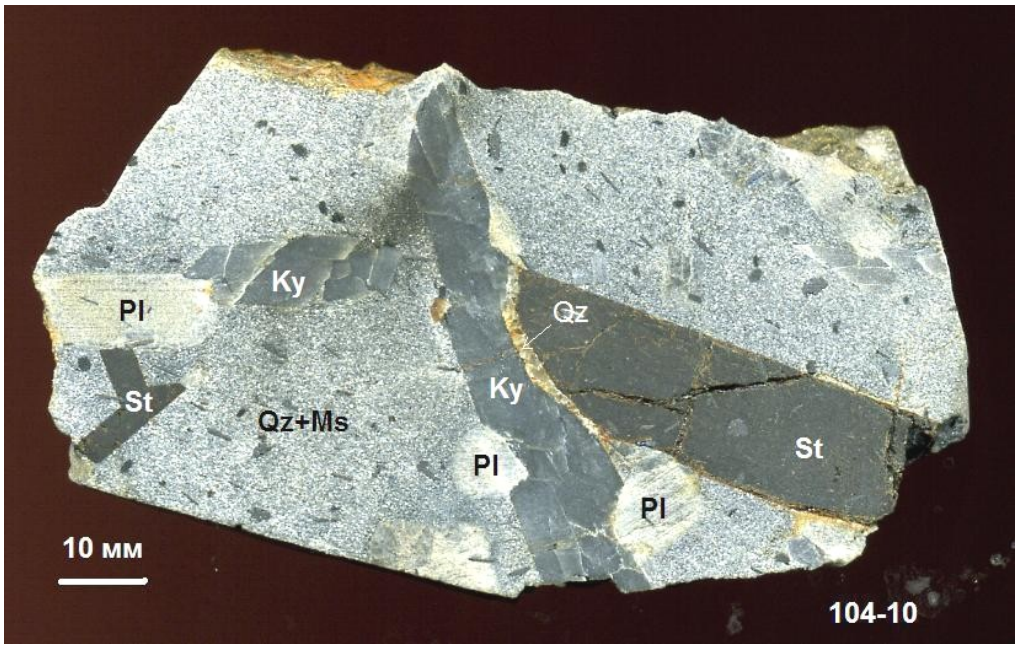


Рис.11. Пересечение кристаллом кианита (Ky) кристалла ставролита (St):
в зоне контакта видны выделения кварца (Qz); в кианите вростки плагиоклаза (Pl).
Скан-изображение пришлифованного штуфа

В целом кристаллизация кианита, очевидно, происходила гидротермальным путем из межпоровых растворов, циркулировавших по контакту минералов субстрата [3]. Доказательством этому является выделение вторичного кварца и хлорита в зоне контакта ставролита и кианита. При замещении ставролита кианитом образовывался избыток кремнезема и железа, не входящих в структуру кианита, которые отлагались в виде кварца и хлорита в зоне реакции. В результате реакции кианита с мусковитом неизбежно образовывался избыток калия в растворах, а поскольку он не мог войти в кианит, то начал отлагаться плагиоклаз, который частично реагировал с уже образованным кианитом (рис. 12). Таким образом, замещение кианитом мусковита, кварца и ставролита сопровождалось высвобождением кремния, железа и натрия, что приводило к закономерному образованию нового более позднего парагенезиса кварца, хлорита и плагиоклаза.

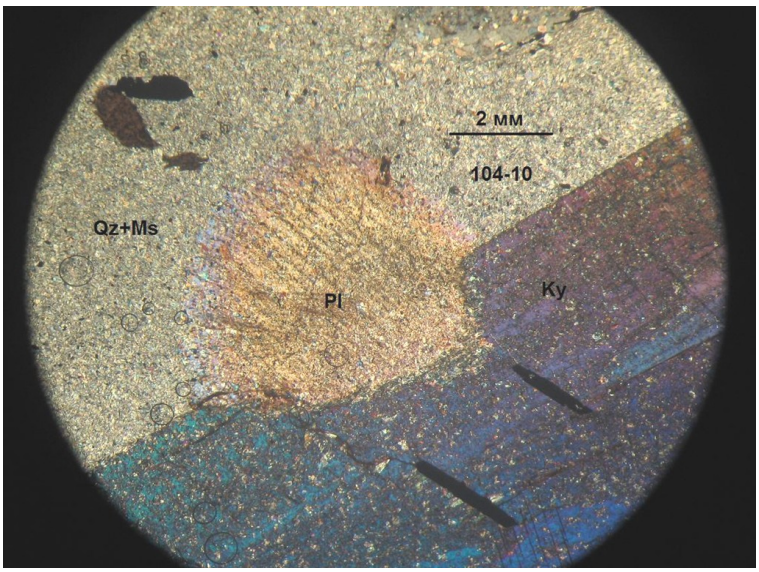


Рис. 12. Замещение кианита (Ky) плагиоклазом (Pl): наблюдается «срезание» зоны роста в кианите.
Qz+Ms — субстрат. Шлиф, николи +

Выводы

Образование кианита в ставролитовых сланцах происходило из гидротермальных растворов путем метасоматического замещения кварц-мусковитового субстрата. Кианит образовался за счет замещения мусковита, кварца и ставролита. Метасоматическое замещение кианитом мусковита, кварца и ставролита сопровождалось высвобождением кремния, железа и натрия, что приводило к образованию позднего парагенезиса кварца, хлорита и плагиоклаза.

Замещение субстрата кианитом происходило неравномерно в две стадии. На первой стадии наблюдалось более активное растворение мусковита, захват кианитом включений кварца, на второй стадии мусковит и кварц растворялись одновременно и кристаллизовался гомогенный кианит. Стадийный рост обусловил развитие кристаллизационной зональности кианита.

Литература

1. Бельков И. В. Кианит из контактовых зон Кейвских кианитовых сланцев // Материалы по минералогии Кольского полуострова. Кировск: Выборг. тип., 1959. Вып.1. С.135–148.
2. Бельков И. В. Кианитовые сланцы Кейв. Геологическое строение, кристаллические сланцы и кианитовые руды. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 321 с.
3. Григорьев Д. П., Жабин А. Г. Онтогения минералов (индивиды). М.: Наука, 1975. 339 с.
4. Кристаллы кианита из месторождений Новая Шуурурта и Тяпш-Манюк (Кейвы Кольский полуостров) / Ю. Н. Нерадовский и др. // ЗРМО. 2014. Ч. CXLIII, № 2. С. 116–126.
5. Нерадовский Ю. Н., Войтеховский Ю. Л. Зональность ставролита из кристаллических сланцев Больших Кейв. Кольский полуостров // Труды КарНЦ РАН, сер. Геология докембрия. 2012. № 3. С. 110–122.
6. Нерадовский Ю. Н. К вопросу образования двойников ставролита в метаморфических породах (на примере кристаллических сланцев Кейв, Кольский п-ов) // Минерал. журн. 2011. Т. 33, № 4. С. 39–44.
7. Чесноков Б. В. Относительный возраст минеральных индивидов и агрегатов. М.: Недра, 1974. 105 с.

А. А. Никонов[1], Д. С. Зыков[2]

[1]*Институт физики Земли РАН, Москва, nikonov@ifz.ru*

[2]*Геологический институт РАН, Москва, zykov58@yandex.ru*

О ПРИЗНАКАХ МОЩНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ВОСТОЧНОМ СЕКТОРЕ МУРМАНСКОЙ ЗОНЫ (ЛИНИЯ КАРПИНСКОГО)

Мурманское побережье — одно из крупнейших в Европе и самое крупное в европейской части России морфоструктурное образование, отражающее глубинную разломную структуру на границе Восточно-Европейской платформы (выступа Фенноскандинавского щита в ее основе) и Западно-Арктической платформы, погруженной под воды Северного Ледовитого океана. Эта, выделенная столетие назад А. П. Карпинским, крупнейшая структурно-геологическая граница («линия Карпинского») рассматривается теперь как глубинная шовная структура на севере Европы. По мере изучения ее активность в разных пространственно и по времени проявлениях обнаруживается все в большей мере и сложности [1, 3, 4, 5]. Геодинамическая активность зоны в новейшее время и в голоцене (примерно за 13–12 тыс. лет) также оказывается неординарной. В последние десятилетия с развитием на Фенноскандинавском щите, в его зарубежной и российской частях, новых подходов к изучению исторических землетрясений и новых способов обнаружения и параметризации землетрясений доисторического периода, выяснилось, что в течение 12 тыс. лет в зоне возникали многие сильные землетрясения. Недавно зона на всем 500-километровом протяжении впервые была представлена как сейсмолинеамент, т. е. как активный сейсмогенерирующий разлом с очагами землетрясений разрушительной силы, с $M \geq 6$, и подразделена на три сектора — Западный, Центральный и Восточный — по числу выявленных сильных землетрясений (суммарной выделенной энергии) [5]. Рассматриваемый здесь Восточный сектор выделяется особой изрезанностью (изломами) береговой линии (рис. 1).

Здесь контуры берега отражают морфоструктуру, сложные соотношения массивов архейских и протерозойских пород и их раздробление новейшими блоковыми перемещениями. Разломы ориентировки северо-запада и северо-востока и их пересечения определяют общий облик побережья и кинематику смещений новейшего времени [1, 4]. Здесь зафиксированы выразительные как сейсмотектонические, так и сейсмо-гравитационные скальные и в рыхлых отложениях нарушения. Они рассмотрены последовательно по 3 из 4 изученных участков.

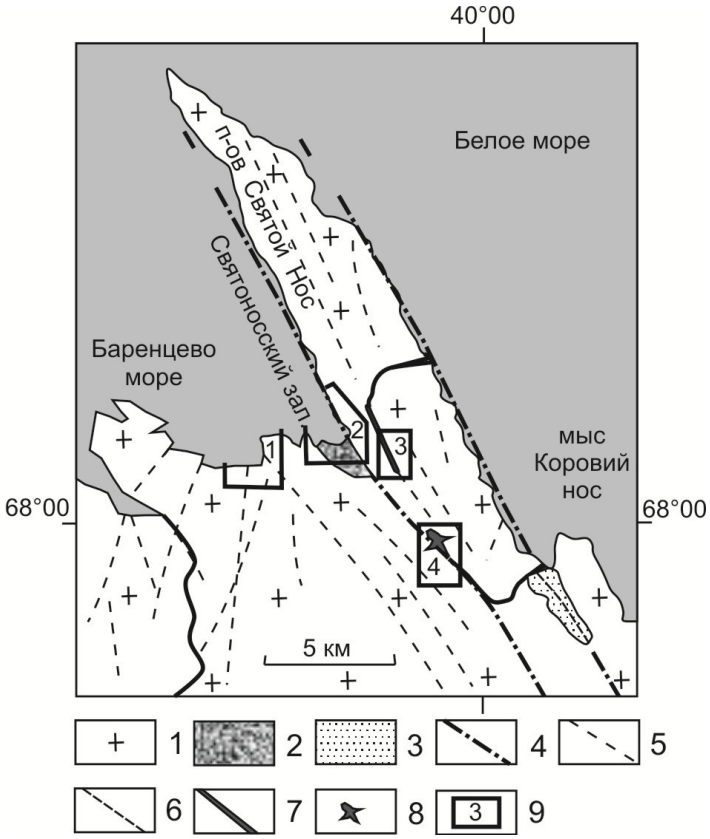


Рис. 1. Схема расположения исследуемых объектов в районе мыса Святой Нос:
1 — кристаллические породы архея; 2 — рифейские песчаники в грабене; 3 — позднеледниковые галечники; 4 — главные Святоносские разломы; 5 — второстепенные разрывы; 6 — крупный позднеледниковый разрыв; 7 — каньоновидная долина; 8 — морфоструктура с рассеченным рельефом и сейсмонарушениями; 9 — обследованные участки и их номера

Участок юг Святоносского залива у мыса Чаичий **(№ 1).** Мыс представляет скальный вертикально обрывающийся к морю выступ со слабо наклонной к морю неровной площадкой высотой 18–20 м. Площадка сечется свежим разрывом с отчетливой плоскостью скольжения северо-западного — юго-восточного простирания (рис. 2). Поднято и, вероятно, смещено левосторонне юго-западнее ближайшее к обрыву крыло. Разрыв-сейсмодислокация свежий, позднеголоценовый.



Рис. 2. Мыс Чаичий. Скальная площадка рассечена свежей трещиной-разрывом северо-западного простирания со смещением по вертикали (взброс приморского блока) и по горизонтали

В нескольких сотнях метров к юго-западу, на низменном берегу местного залива, коренные породы выходят в цоколе и частью на поверхность двухметровойм песчаной незаливаемой террасы. Скальные выходы расколоты свежими трещинами северо-восточного простирания шириной по несколько дециметров, на них остроугольные обломки размером до 1×0,5 м, без заглаживания прибоем (рис. 3).



Рис. 3. Небольшой залив к востоку от мыса Чаичий. На переднем и среднем планах выходы скальных пород в цоколе низкой террасы с развалами и выбросами остроугольных глыб

Объяснить свежие разрывы и разброс глыб на низкой ровной поверхности иначе, чем сейсмическим воздействием, невозможно. Разрыв, по всей вероятности, сопряжен с подобным на самом мысу. Сила сейсмического воздействия в обоих случаях определяется I ≈ VIII баллов. Возраст террасы ≤ 1–2 тыс. л. н., нарушение могло возникнуть немного раньше.

Участок южного замыкания Святоносского залива (№ 2). Высокоподнятый блок п-ова Святой Нос ограничен с юго-запада зоной крупного разлома, который тянется к северо-западу вдоль его подножья под водой (см. рис. 1). Под нижним скальным обрывом на бенче лежит серия скальных блоково-обломочных отбросов-развалов к юго-западу (рис. 4). Развалы свежие, образовались за счет обрушения именно обрыва внизу склона, ибо выше склоны выполаживаются и сплошь задернованы. Сильная трещиноватость архейских пород в обрыве связана с близостью к продольной зоне разлома. Блоки и обломки в развалах остроугольны, без следов обработки прибоем, что указывает на очень молодой возраст отбросов-развалов, вряд ли более 1–2 тыс. л. н. Связь серии нарушений с землетрясением более, чем вероятна. Подобного объема и габитуса отбросы-развалы отвечают землетрясениям I ≥ VIII баллов.



Рис. 4. Основание юго-западного борта массива п-ова Святой Нос в вершине одноименного залива. Выделяется серия молодых вдольбереговых блоковых отбросов-развалов со стенки на бенч

В вершинной части Святоносского залива на юго-запад в протерозойских песчаниках выработана абразионная платформа. Непосредственно под склоном выходящей к морю низкой террасы, в тылу штранда, она прорезана рваной трещиной шириной 5–10 см, длиной ≥70 м по азимуту З–280°. Ее края, хотя она у кромки высокой воды, морем не обработаны.

Южная часть Святоносского залива в его вершине обрамлена обращенным к ЮЮВ склоном платообразного массива архейских пород высотой 80–90 м с двумя ярусами и двумя типами нарушений (рис. 5). На краю плато и в верхней части склон крутой скальный с мощными навалами крупных скальных обломков поздне- и послеледникового времени,



Рис. 5. Вершина Святоносского залива. Серия скальных развалов на верхнем ярусе склона и в нижнем ярусе оползневые нарушения на склоне голоценовой террасы вплоть до бенча

Такие скальные развалы порождаются обычно сотрясениями силой не менее VIII баллов. Нижняя часть того же общего склона занята террасой высотой 35 м над у. м. трансгрессии фолас с возрастом около 9 тыс. л. н. Задернованный склон к морю имеет наклон приблизительно 30°. В цоколе террасы выходят прочные песчаники протерозоя с наклоном до 30° *внутрь* склона, перекрытые мощной суглинисто-обломочной мореной. Склон, в общем, устойчивый, прорезан срывами-осовами разной степени свежести, т. е. разного возраста, с омоложением вниз. Центральная часть протяжения террасы сверху до высоты около 12–10 м над у. м. взрезана древним крупным цирком, почти полностью заросшим. По нему произошло смещение поверхности террасы на 1–2 м к подножью. В нижней части цирк-оползень осложнен другим, также древним оползнем, который у бровки террасы и в средине склона обновлен относительно свежими срывами. Крупные древние оползни можно отнести ко времени после регрессии фолас, примерно 7–5 тыс. л. н. В верхней части абрадированного задернованного склона его продольно прорезают 2–3 закола-отрыва с опусканием-отделением смещенных тел в пределах 1 м каждое. Они могли возникнуть при регрессии тапес, не позднее 5 тыс. л. н. Наконец, в нижних примерно 10 м склона, и только на северо-западном крае двух ранних оползней, вверх до бровки террасового уступа, отчетливо проявились совсем молодые, незаросшие срывы-оплывины. Расположение отрывов и воронок-ложбин в основании оползневых тел гирляндами в поперечных склону ложбинах и, главное, не с налеганием верхних на нижние, а со срезанием нижними верхних (лестницей) служит показателем разрастания нарушений от верхних к нижним, скорее всего, импульсно. Нижняя, поздняя генерация малых оползней была выброшена на тыловую часть бенча и затем подрезана, как и склон, волноприбойным уступом, что указывает на недавнее, в пределах 1–2 тыс. лет, возникновение этой генерации. Явная группированность по типу и времени (степени давности) поверхностных нарушений указывает на их развитие не постепенно, длительно, но импульсами с омертвением (до очередного импульса). Самыми мощными и ранними, с последующими обновлениями, можно признать скальные развалы по кромке и склону верхнего плато. Крупные оползни у бровки и наверху склона террасы фолас, вероятно, возникли 8 ± 1 тыс. л. н. при латеральном воздействии I ≥ VIII баллов. Заколы-отрывы на абрадированном склоне террасы в высотном интервале 25–12 м могли образоваться и при VII–VIII-балльных воздействиях после 7–5 тыс. л. н. Наконец, свежие, самые молодые осовы-оплывины имеют возраст первые тысячи лет.

Всего на побережье по южному обрамлению Святоносского залива выявлено не менее 5 пунктов (9 точек) со свежими сейсмодеформациями, две из которых разрывные, а остальные сейсмогравитационные. Все они тяготеют к береговой линии, в двух местах находятся на абразионной платформе и в трех — в тылу штранда. Учитывая

отсутствие сколько-нибудь существенных следов абразионной обработки острых краев разрывов и на блоках развалов в пределах прибойной зоны, приходится считать возраст обнаруженных нарушений 1,5 ± 1 тыс. л. н. По сумме признаков на соседних участках 1 и 2, прежде всего, по разрывам в скальных породах на юге и отбросам-развалам со скальной стенки у подножья борта Святоносского залива, сила позднего сейсмического события определяется I = VIII (±0,5) баллов, а M = 6,2 (±0,3). Ранние землетрясения могли быть мощнее.

Участок к юго-востоку от вершины Святоносского залива **(№ 4).** Здесь на высоком, 160–170 м над у. м., скальном плато отчетливо выражена группа разрывных нарушений в сопровождении блоковых обвалов и навалов (рис. 6, вид к юго-юго-востоку). На переднем плане последние, площадью по 100 м^2 каждое, от боковых обрывов спускаются к дну впадины навстречу друг другу. Слева обвал отброшен от стенки с уклоном к озеру, а справа отделен от скального выступа отрывом-расщелением, по которому прибортовое крыло опущено на 1–2 м, и ниже идет развал. Продолжение разрыва-расщеления прослеживается на другом, дальнем борту треугольного в плане озера (средний план на рис. 6). Щель разрыва — глубиной 5–10 м и шириной по верху 1–2 м, на заднем плане двойная, протягивается не менее, чем на 70 м. Это типичная, вероятно, среднеголоценовая, группа сейсмодислокаций. По обоим бокам рассеченного скального массива-выступа и здесь возникли крупно-глыбовые развалы. На этом участке, таким образом, фиксируется комплекс разрывных и сейсмогравитационных деформаций, типичных для эпицентральных областей землетрясений силой около IX баллов.



Рис. 6. Скальное плато с ледниковой обработкой к юго-востоку от вершины Святоносского залива. В центре морфоструктура с сейсмонарушениями, рвами и сейсмогравитационными обвалами

Обобщение

Полученные к настоящему времени полевые материалы по Восточному сектору Мурманской зоны (приведенные здесь вкратце и не полностью) позволяют считать, что и в этом, дальнем, секторе зона в неотектонический период была активна тектонически, а в поздне- и послеледниковый периоды также и сейсмически. Сильные землетрясения позднеледниковья здесь пока не параметризованы, тогда как в послеледниковье выделяются две очаговые области с событиями I = VIII–IX баллов: более сильное в 6 км к юго-юго-востоку от вершины Святоносского залива в среднем голоцене, другое — севернее, в вершине Святоносского залива, 1.5±1 тыс. л. н. Магнитуды событий M = 6,2 (±0,3) и M ~ 6,5. Очаги обоих событий пространственно и, вероятно, генетически связаны с подвижками по западному Святоносскому разлому северо-западного простирания с признаками левостороннего сдвига.

Авторы признательны Л. Д. Флейфель и Л. Е. Борисовой за техническую помощь.

Литература

1. Зыков Д. С. Геоморфологические признаки проявления горизонтальной компоненты неотектонических движений вдоль границы Балтийского щита и Западно-Арктической платформы (Мурманская обл.) // Геоморфология. 2015. № 3. С. 27–38.
2. Зыков Д. С., Полещук А. В., Никонов А. А. Морфоструктура пограничной зоны между Балтийским щитом и Западно-Арктической платформой как отражение взаимодействия геодинамических систем // Геоморфология. 2017. № 2. С. 79–89.

3. Зыков Д. С., Полещук А. В., Никонов А. А. Отражение взаимодействия геодинамических систем в морфоструктуре пограничной области между Балтийским щитом ВЕП и Западно-Арктической платформой // Тектоника современных и древних океанов и окраин: XLIX Тектоническое совещ. М., 2017. С. 144–148.
4. Никонов А. А., Зыков Д. С, Флейфель Л. Д. О распространении и структуре осадочных толщ рифея вдоль Мурманского побережья // Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона: тр. всерос. Ферсмановской сессии. Апатиты, 2015. С. 146–150.
5. Никонов А. А., Шварев С. В. Сейсмолинеаменты и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности: материалы междунар. конф. (23–25 сентября 2015 г., Нерюнгри). 2015. С. 243–251.

Т. Л. Паникоровский[1,2], В. Н. Яковенчук[2], Г. Ю. Иванюк[2], С. В. Кривовичев[1,2]
[1]*Кафедра кристаллографии, Институт наук о Земле, СПбГУ, taras.panikorovsky@spbu.ru*
[2]*Кольский научный центр РАН*

СТРУКТУРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ВЕЗУВИАНА ИЗ СКАРНОИДОВ КОВДОРСКОГО МАССИВА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

В породах Ковдорского щелочного массива (рис. 1) отмечено значительное разнообразие везувиана, связанного в основном со скарноидами флогопитового комплекса. Известны, как минимум, три различных типа его выделений: мелкозернистые агрегаты яблочно-зеленого везувиана (рис. 2, Б) с включениями паргасита и флогопита [3]; среднезернистые агрегаты бурого везувиана — 20–60 об. %, (рис. 2, А) с крупными порфиробластами глаголевита — 40–60 об. % [1]; короткопризматические темно-коричневые кристаллы REE-содержащего везувиана — до 5 мм в диаметре (рис. 2, В) с темно-оранжевыми оторочками гидратированного везувиана (1–2 мм в толщину), вкрапленные в крупнозернистый кальцит в ассоциации с андрадитом [2].

Благодаря особенностям кристаллической структуры везувиана (рис. 3А) этот минерал может выступать в роли надежного геотермометра [4, 7]: **высокотемпературный везувиан** (400–850 °С) имеет симметрию *P*4/*nnc*, **среднетемпературный** (300–400 °С) — *P*4/*n*, а **низкотемпературный** — *P*4/*n* (аномально двуосные мероэдрические двойники) и *P*4*nc*. Изменение симметрии по схемам *P*4/*nnc* → *P*4/*n* или *P*4/*nnc* → *P*4*nc* осуществляется благодаря упорядочению катионов в позициях тетрагональной антипризмы *X*4 и тетрагональной пирамиды *Y*1 (см. рис. 3, А). Эти позиции располагаются в каналах структуры в последовательности *Y*1-*X*4-*X*4-*Y*1. Ввиду коротких расстояний между соседними *X*4 и *Y*1 позициями, составляющих величину порядка 1.3 Å, заселенность каждой из позиций для разновидности *P*4/*nnc* не превышает 50 %. В низкосимметричных разновидностях заселенность канальных позиций отлична от единицы, а заселенности позиций *Y*1A и *X*4B равны, как и заселенности позиций *X*4A и *Y*1B. Суммарная заселенность позиций *Y*1A и *Y*1B, *X*4A и *X*4B составляет 100 %.

В данной работе представлены результаты изучения раннего яблочно-зеленого везувиана (kov-green) и более позднего бурого везувиана (kov-brown-1, kov-brown-2) из везувиан-глаголевитовой породы (рис. 2, А), а также наиболее позднего темно-коричневого везувиана (kov-brown-3) с оторочками оранжевого везувиана (kov-orange-1, kov-orange-2) из кальцитовой сегрегации (рис. 2, В) с помощью монокристальных дифрактометров Agilent Technologies SuperNova и Bruker Apex DUO (половина сферы дифракционных данных, MoK_α-излучение, шаг сканирования — 1°, время экспозиции — 30–60 с на снимок) в диапазонах углов 2θ = 5,0–60,0°. Поправки на поглощение введены полуэмпирически при помощи алгоритмов, встроенных в программы CrysAlisPro [6] и APEX2 [5]. Уточнение структур проводилось при помощи программы SHELXL [8]. Параметры элементарной ячейки исследуемых образцов приведены в таблице.

Параметры элементарной ячейки, количество систематических нарушений, пространственная группа и порядок кристаллизации ковдорского везувиана.

Образец	Систематические нарушения для пр. гр. *P*4/*n* и *P*4*nc*	Пространственная группа	Параметр		Порядок кристаллизации
			a	*c*	
kov-green	274	*P*4*nc*	15,6051	11,8595	1
kov-brown-1	304	*P*4/*n*	15,7051	11,9015	2
kov-brown-2	194	*P*4/*n*	15,7092	11,8940	3
kov-brown-3	110	*P*4/*n*	15,8213	11,9209	4
kov-orange-1	19	*P*4/*n*	15,8591	11,9686	5
kov-orange-2	1	*P*4/*nnc*	15,9247	11,9661	6

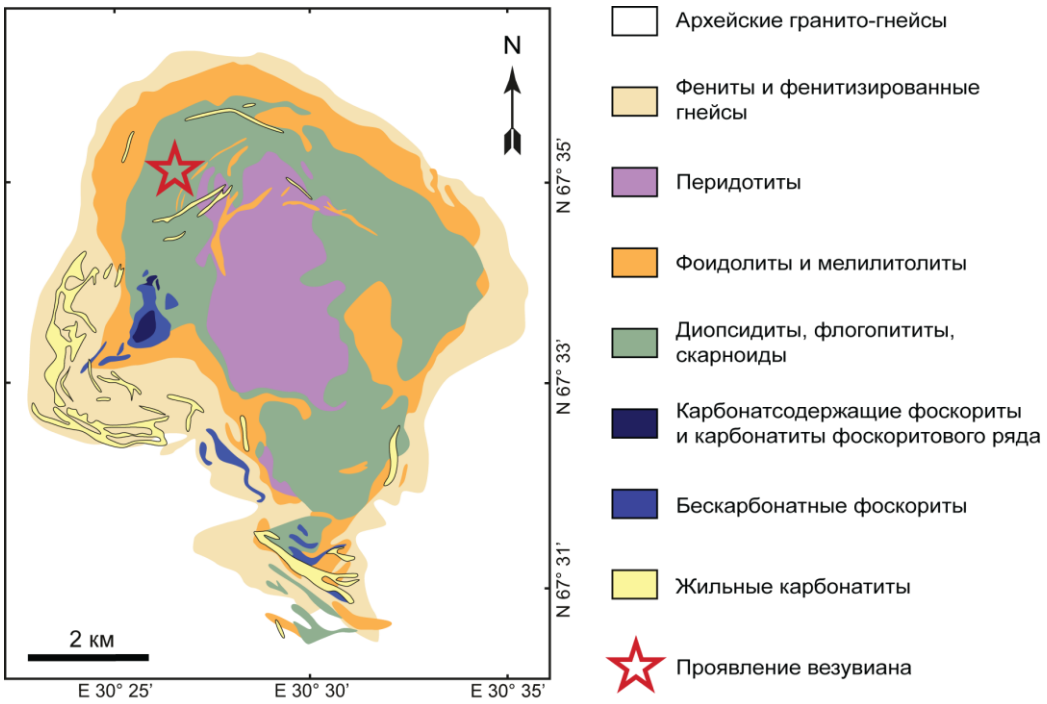


Рис. 1. Положение везувиановых пород в Ковдорском массиве [9]

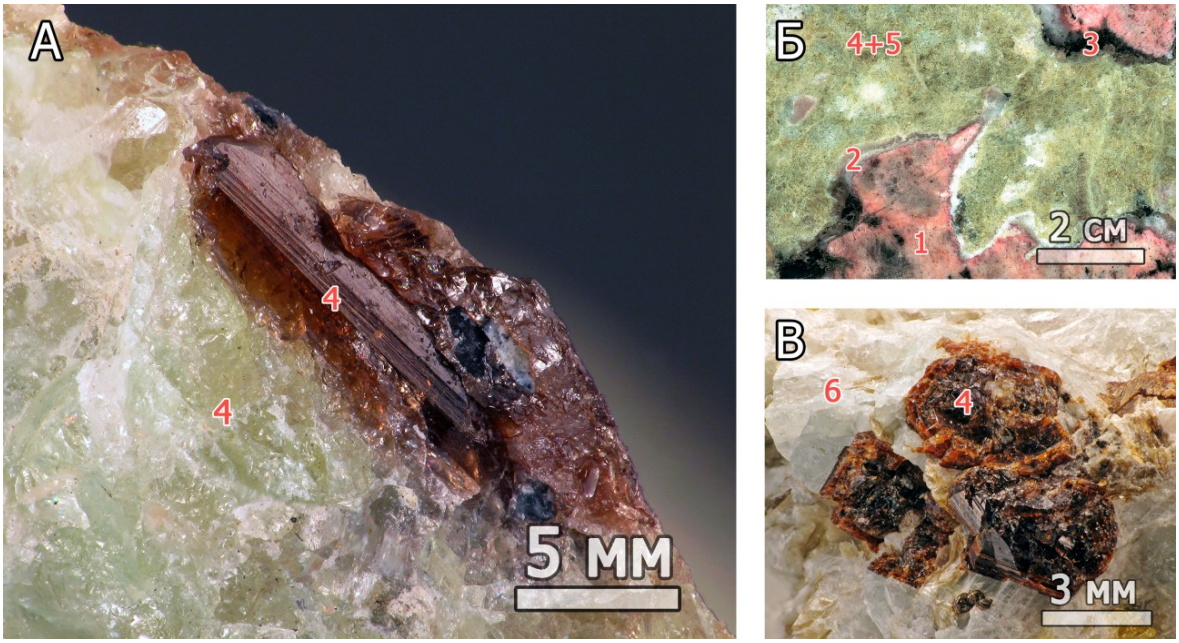


Рис. 2. Зеленый и бурый *REE*-содержащий везувиан из везувиан-глаголевитовой породы (А); яблочно-зеленый везувиан из паргасит-везувиановой породы (Б), оторочки гидратированного оранжевого везувиана вокруг зональных кристаллов *REE*-содержащего везувиана (В).
Условные обозначения: 1 — нефелин, 2 — гоннардит, 3 — биотит, 4 — везувиан, 5 — паргасит, 6 — кальцит

Уточнение кристаллической структуры изученных образцов показало уменьшение степени упорядоченности в катионных стержнях (позиции *Y*1-*X*4-*X*4-*Y*1) в ряду с 1 по 6, что указывает на повышение симметрии кристаллической структуры везувиана со временем. Одновременно с симметризацией структуры (вследствие увеличения температуры?) возрастает содержание редкоземельных элементов в составе везувиана, что обусловливает линейное увеличение параметров *a* и *c* элементарной ячейки минерала (рис. 3, Б).

Повышение симметрии структуры ковдорского везувиана с течением времени и увеличение доли редкоземельных элементов в его составе, вероятно, связано с изменением скарноидов карбонатитовыми расплавами, обусловившими как редкоземельную специализацию позднего везувиана так и его сравнительно высокотемпературную кристаллизацию (400–600 по сравнению с 250 °С для более раннего зеленого везувиана).

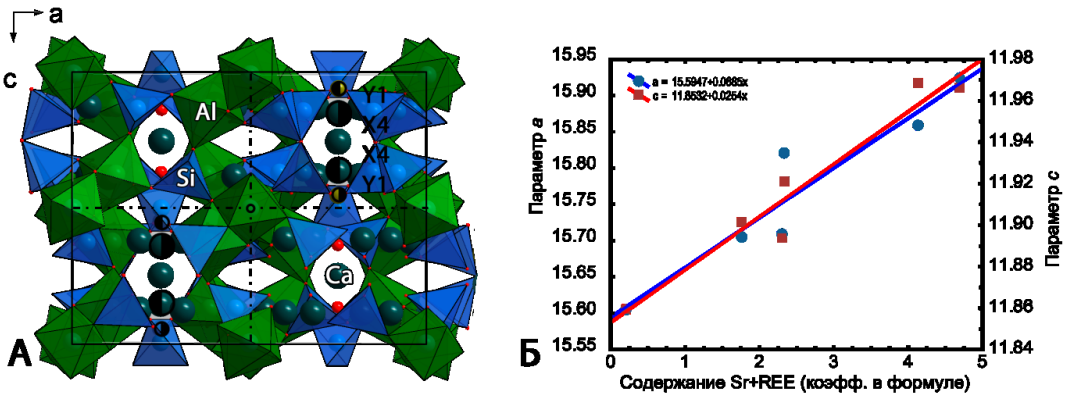


Рис. 3. Положение катионных стержней *Y*1-*X*4-*X*4-*Y*1в кристаллической структуре везувиана (А) и зависимость параметров его элементарной ячейки от содержания редкоземельных элементов (Б)

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для ведущих научных школ РФ (НШ-10005.2016.5).

Литература

1. Иванюк Г. Ю., Яковенчук В. Н., Пахомовский Я. А. Ковдор. Апатиты, 2002. 325 с.
2. Каверин С. В., Краснова Н. В., Тарасенко Ю. Н. К минералогии апомелилитовых пород Ковдорского массива // Минералогия и геохимия. Вопросы генезиса эндогенных месторождений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. Вып. 7.
3. Серёдкин М. В. Петрология железорудного и флогопитового месторождений Ковдорского массива: автореферат дис. … геол.-минер. наук. М., 2001. 32 с.
4. Allen F. M., Burnham C. W. A comprehensive structure-model for vesuvianite: symmetry variations and crystal growth // Can. Mineral. 1992. Vol. 30. P. 1–18.
5. Bruker-AXS. APEX2. Version 2014.11-0. Madison, Wisconsin, 2014.
6. CrysAlisPro, Agilent Technologies, Version 1.171.36.20 release 27-06-2012.
7. Gnos E., Armbruster T. Relationship among metamorphic grade, vesuvianite “rod polytypism”, and vesuvianite composition // Amer. Mineral. 2006. Vol. 91. P. 862–870.
8. Sheldrick, G. M. A short history of SHELX // Acta Cryst. 2008. A64. P. 112.
9. 3D mineralogical mapping of the Kovdor phoscorite–carbonatite complex (Russia) / J. A. Mikhailova et al. // Miner. Deposita. 2016. Vol. 51. P. 131–149.

Петровский М. Н., Петровская Л. С.
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, petrovskiy@geoksc.apatity.ru

НЕОАРХЕЙСКИЕ ИНТРУЗИВНЫЕ МАССИВЫ ШОШОНИТОВОЙ СЕРИИ В КОЛЬСКОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ПРОВИНЦИИ: ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Введение

Магматизм этапов кратонизации земной коры отличается широким проявлением высококалиевых, высокожелезистых субщелочных и щелочных пород известных как породы латитовых (монцонитовых) или шошонитовых серий [8, 21, 22, 24]. Они характеризуются необычным составом темноцветных минералов, в них присутствуют высокожелезистые амфиболы, слюды, пироксены и оливины. К шошонитовой серии в Кольской щелочной провинции мы относим интрузивные массивы так называемого Иоканьгского комплекса: Иоканьгский, Островной и Порт-Артурский. Впервые в Кольской щелочной провинции эти интрузии субщелочных и щелочных высококалиевых, высокожелезистых пород были установлены в конце 1940-х — начале 1950-х гг.

История изучения

В конце 1940-х гг. в связи с проектируемым строительством Кольской железной дороги (стройка № 509 МВД), которая должна была связать Кировскую железную дорогу с востоком Кольского п-ова по линии Титан — Кейвы — Поной с ответвлением на погост Иоканьгский и пос. Гремиха, возникла острая необходимость всестороннего изучения природных богатств в полосе шириной 20 км вдоль железнодорожной трассы (по 10 км в стороны от линии трассы). Провести данные исследования Президиум АН СССР поручил Кольскому филиалу АН СССР. В первую очередь необходимо было исследовать почти неизученный восточный отрезок полосы

трассы от Кейв до устья р. Иоканьга и п-ова Святой Нос. Для выполнения поручения Президиума АН СССР Кольским филиалом в 1949 г. была организованна комплексная экспедиция в составе восьми отрядов. Начальником экспедиции был назначен завотделом геологии КФАН СССР к. г.-м. н. А. А. Чумаков. Непосредственно вдоль линии трассы работало пять геологических отрядов, ими руководили м. н. с. геологического отдела А. М. Иванов, Д. Д. Мирская, А. И. Морозов, П. Л. Соколов и Б. А. Юдин; седьмой — почвенно-геоботанический отряд под руководством Н. П. Белова и П. М. Медведева занимался выявлением площадей, пригодных для сельскохозяйственного производства; восьмой — гидроэнергетический — под руководством В. К. Шапошникова занимался изучением характера р. Иоканьги в нижнем течении с целью строительства гидроэлектростанции. Шестой — Особый геологический отряд вдоль линии трассы не работал, он проводил исследования недавно открытого месторождения сподумена на Потчемвараке, руководила Особым отрядом аспирант КФАН И. В. Гинзбург. Работы экспедиции вдоль линии трассы Кейвы — пос. Гремиха проводились в течении трех полевых сезонов — с 1949 по 1951 гг.

В результате этих работ Д. Д. Мирской в 1949 г. был открыт и описан Островной массив, а в 1951 г. — Иоканьгский и Порт-Артурский массивы субщелочных трахитоидных порфиробластических биотит-амфиболовых с авгитом монцонитов, кварцевых монцонитов и сиенитов и граносиенитов [9–12, 5, 18–21]. Д. Д. Мирская сразу, с первых своих наблюдений, стала считать, что породы этих массивов сформировались в результате калиевого метасоматоза различных по составу первичных пород (габбро-амфиболитов, гнейсов и олигоклазовых гранитов). Свою точку зрения она не изменила и со временем, хотя ее коллеги по экспедиции (А. М. Иванов, А. И. Морозов, Б. А. Юдин) изначально придерживались противоположной — магматической точки зрения на генезис этих массивов. В дальнейшем И. Д. Батиевой эти интрузии были объединены в Иоканьгский комплекс лепидомелан-феррогастингситовых гранитоидов и отнесены к формации щелочных гранитов [2].

В середине 1980-х гг. В. Р. Ветрин и Б. А. Шлайфштейн пересмотрели формационную принадлежность Иоканьгского массива, а соответственно, и всего Иоканьгского комплекса. Породы Иоканьгского массива были ими отнесены к древнейшим рапакивиобразным гранитам, внедрению которым предшествовало становление Погеръявргского комплекса «габбро-лабрадоритов», с которым они образуют единую магматическую ассоциацию [3, 4]. В начале наших работ по изучению Островного массива их воззрений придерживались и мы [12, 13], но наши исследования геологии и петрологии Островного массива, тщательные изучение и анализ фондовых материалов и опубликованных литературных источников по Иоканьгскому комплексу позволили выявить ошибочность таких воззрений. Теперь более подробно рассмотрим три главные ошибки при интерпретации фактических данных, которые и привели к этим заблуждениям.

Первая ошибка — это то, что Погерьявргский интрузивный комплекс имеет позднеархейский возраст и сложен габбро-лабрадоритами. До публикаций В. Р. Ветрина и Б. А. Шлайфштейна считалось, что он является габбро-диабазовым и имеет протерозойский возраст, и там ни кем и никогда не выделялись габбро-лабрадориты. Геологи А. М. Иванов и Б. А. Юдин, изучавшие Погерьявргский комплекс, описывали его как протерозойский габбро-диабазовый, сложенный мезократовыми среднезернистыми пойкилоофитовыми оливиновыми габбро-диабазами, в которых не фиксируется каких-либо метаморфических изменений [6, 7, 18, 20]. Кроме того, всегда исследователи отмечали сходство в составе и строении разрезов Погерьявра и силлов пойкилоофитовых долеритов Мурманского побережья, а также отличие в минеральном и химическом составе габбро-диабазов Погерьявра от габбро-лабрадоритов Кольского п-ова [6, 7, 5, 15, 16, 18, 20]. В настоящее время возраст пойкилоофитовых долеритов определен как раннепротерозойский, он равен 1908 ± 60 млн лет [1].

Вторая ошибка — это то, что породы Иоканьгского массива прорывают породы Погерьявргского комплекса. Впервые такое утверждение встречается в монографии И. Д. Батиевой [2], а затем в упомянутых выше публикациях В. Р. Ветрина и Б. А. Шлайфштейна. Но А. М. Иванов и Б. А. Юдин, которые непосредственно работали на Погерьявргском и Иоканьгском массивах, всегда описывали воздействие основной магмы Погерьявргского комплекса на породы Иоканьгского массива и указывали на развитие по контакту этих интрузий мощной зоны регенерированных порфировидных гранитов, которые прорывают, как породы Погерьявргского комплекса, так и породы Иоканьгского массива [6, 7, 18–20]. Как писал Б. А. Юдин в своей работе [20]: «Таким образом, габбро-диабазы, несомненно, моложе гранитоидов Иоканьгского массива и гнейсов кейвской серии».

Третья ошибка, это то, что Иоканьгский массив в основном сложен порфировидными гранитами, которые сходны с гранитами рапакиви, эта неточность у В. Р. Ветрина и Б. А. Шлайфштейна, по-видимому, возникла из-за того, что изученные ими образцы пород — это порфировидные гранофировые граниты [3, 4]. Но согласно работам Д. Д. Мирской, А. М. Иванова и Б. А. Юдина [6, 7, 18–20], порфировидные гранофировые граниты являются регенерированными, образовавшимися в результате воздействия основной магмы Погерьявргского комплекса на монцониты и сиениты Иоканьгского комплекса. Вот эти-то вторичные граниты и близки по составу гранитам рапакиви. Если сравнить расположение образцов, приводимых на карте в статье [3], с расположением тела регенерированных гранитов на (рис. 1), то они почти совпадут. Хотя нужно отметить, в более поздней статье [4] авторы указывают, что в Иоканьгском массиве преобладающим распространением пользуются и монциниты.

Геологическая характеристика Иоканьгского и Островного массивов

Согласно литературным и фондовым данным, Иоканьгский массив представляет собой шток, выраженный на поверхности земли в виде вытянутого в меридиональном направлении овала размерами около 8×16 км (рис. 1). Массив имеет автономную структуру, сложен двумя интрузивными фазами и разбит разломами на четыре крупных блока. Вмещающими породами для Иоканьгского массива являются мигматит-граниты и эндербиты с возрастом 2,79 млрд лет [17].

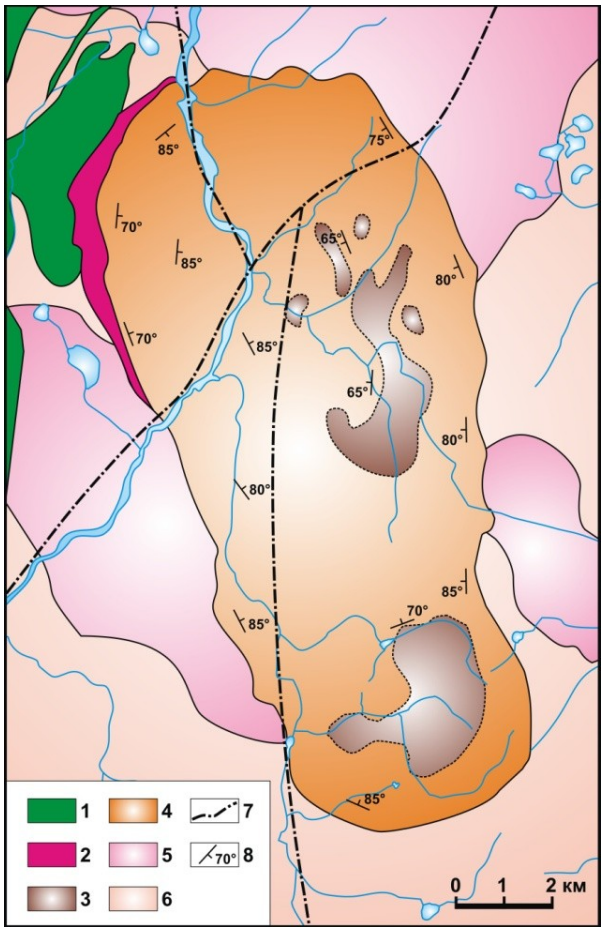


Рис. 1. Схема геологического строения Иоканьгского массива карта построена авторами по литературным и фондовым материалам КФАН СССР и СЗГТУ:
1 — габбро-долериты Погеръяврского комплекса; 2 — регенерированные граниты; 3–4 — породы Иоканьгского массива: 3 — щелочные кварцевые сиениты, 4 — субщелочные монцониты; 5 — мигматит-граниты; 6 — эндербиты; 7 — разломы; 8 — элементы залегания трахитоидности

Первая (главная) фаза представлена крупнозернистыми порфировидными оливин-геденбергитовыми и геденбергит-лепидомелан-гастингситовыми монцонитами и кварцевыми монцонитами. Породы трахитоидные, трахитоидность обусловлена ориентировкой таблитчатых вкрапленников полевых шпатов. Падение трахитоидности к центру массива, под углами 65–85°. Контакты пород данной фазы массива с вмещающими породами — резкие, секущие, субвертикальные. Во вмещающих породах наблюдаются многочисленные жилы монцонитов. Вдоль контактов с монцонитами во вмещающих породах наблюдается зона калиевого метасоматоза, выраженная в развитии порфиробласткалиевого полевого шпата. Мощность этой зоны около 50 м.

Вторая фаза представлена щелочными кварцевыми сиенитами, развитыми в пределах наиболее крупного восточного блока массива (рис. 1). Размер тел колеблется от сотен метров до 3 км. Кварцевые сиениты среднезернистые, массивные эгирин-авгит — амфибол — лепидомелановые.

Петрохимически породы Иоканьгского массива характеризуются следующими особенностями: содержание SiO_2 варьирует от 55 до 65 мас. %, а по насыщенности кремнеземом — от оливин-нормативных (модальных) до кварцнормативных (модальных); железистость пород варьирует от 58 до 70 атм. %, а коэффициент агпаитности — от 0,67 до 1,05; для них характерно высокое содержание K_2O, равное 5,25–7,11 мас. %. На TAS-диаграмме (рис. 2) породы Иоканьгского массив образуют ряд от монцонитов до кварцевых сиенитов. На этой же диаграмме видно, что породы Иоканьгского и Островного массивов близки по составу и характеризуются сходными трендами дифференциации, а регенерированные граниты не имеют генетической связи с исходной магмой Иоканьгского массива.

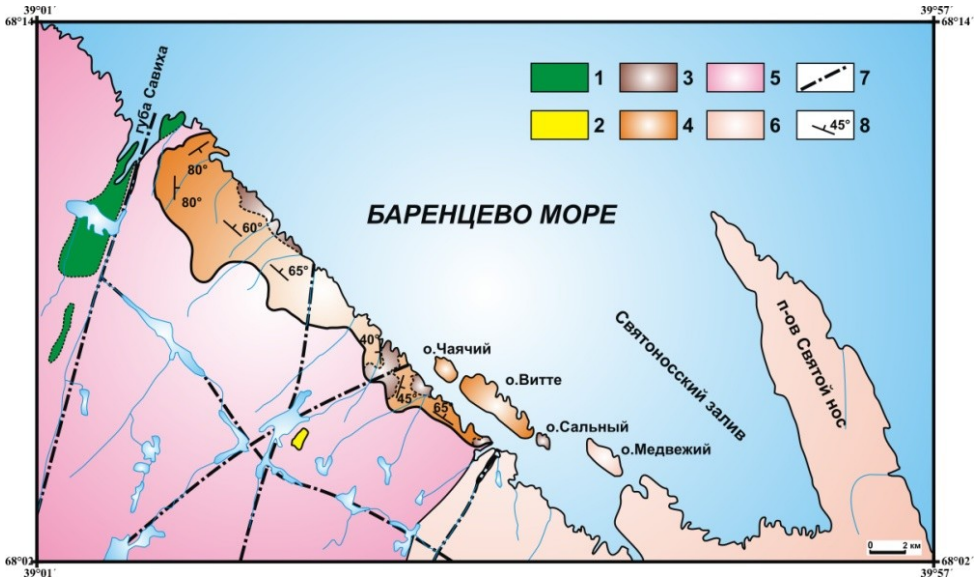


Рис. 2. Диаграмма TAS для пород шошонитовой формации.
Массив Островной: 1 — породы 1-й фазы, 2 — породы 2-й фазы; Иоканьгский массив: 3 — породы 1-й фазы, 4 — породы 2-й фазы; 5 — регенерированные порфировидные гранофировые граниты; 6 — тренд дифференциации пород Островного массива; 7 — тренд дифференциации пород Иоканьгского массива

Регенерированные граниты с Иоканьгским массивом связывает только то, что породы Иоканьгского массива послужили субстратом для выплавления их расплава под воздействием основной магмы Погеръяврского комплекса.

Массив Островной, по-видимому, является более крупных интрузивом, чем Иоканьгский массив, его площадь оценивается более чем в 180 км^2 (а Иоканьгского около 130 км^2) [13]. Он расположен в прибрежной зоне Мурманского домена на отрезке протяженностью 25 км от города Островной до губы Савиха. По-видимому, основная часть массива размещается на дне Баренцева моря, потому что, по данным Д. Д. Мирской [9–11], порфировидными и кварцевыми монцонитами и сиенитами сложены острова Сальный, Витте и Чаячий (рис. 3).

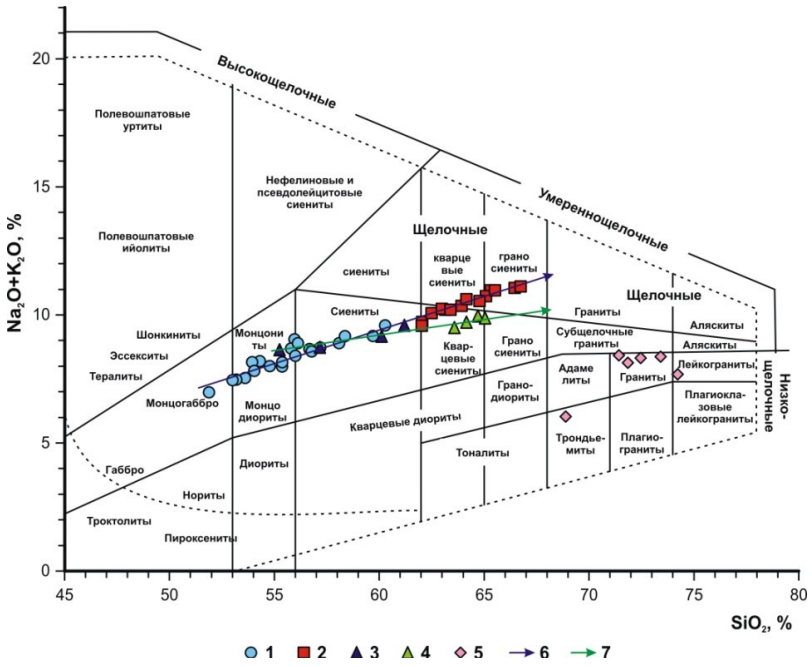
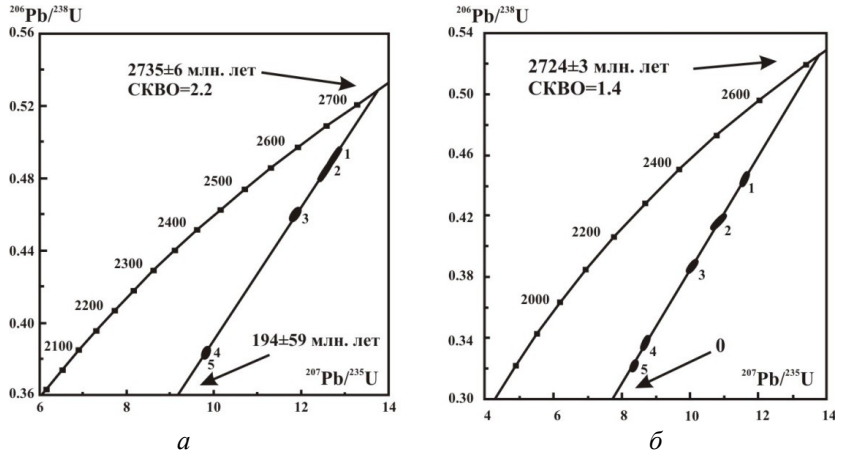


Рис. 3. Схема геологического строения Островного массива, построена по личным наблюдениям и литературным данным
1 — пойкилоофитовые долериты; 2 — щелочные породы Панэяврского массива; 3 — щелочные кварцевые сиениты 2-й фазы Островного массива; 4 — нерасчлененные монцогаббро, монцониты и кварцевые монцониты 1-й фазы Островного массива; 5 — мигматит-граниты; 6 — гранитоиды ТТГ-формации; 7 — разломы; элементы залегания трахитоидности

Вмещающими породами для него являются в различной степени мигматизированные плагиограниты и тоналиты ТТГ (тоналит-троньдьемит-гнейсовой) формации и лейкократовые мигматит-граниты позднеархейского возраста. Массив обладает автономной внутренней структурой и четкими, секущими, интрузивными контактами. Вмещающие породы в приконтактовых частях испытали калиевый метасоматоз, выраженный в развитии порфиробласт микроклина, интенсивность его быстро затухает при удалении от контактов. Ширина приконтактового ореола варьирует в пределах 20–40 м.

Согласно геологическим наблюдениям массив имеет полифазное строение. Первая (главная) фаза представлена крупнопорфировидными трахитоидными мелано-мезократовыми монцонитоидами, варьирующими по составу от безкварцевых до кварцевых монцонитов, с участками мафических пород, достигающими по протяженности 100 м и мощности 15 м и сложенными монцогаббро. Внутренняя структура пород 1-й фазы массива характеризуется плоскостной ориентировкой уплощенных по (010) кристаллов ортоклаза, субпараллельной контактовым плоскостям. Углы падения трахитоидности в приконтактовых частях крутые — до 80°, а по мере удаления от контактов выполаживаются до 60 . Размер порфировых кристаллов ортоклаза достигает 6 см в поперечнике. Возраст кварцевых монцонитов, определенный U-Pb методом по пяти группам цирконов, равен 2735 ± 6 млн лет (рис. 4, *а*).



а *б*

Рис. 4. Изотопные U–Pb-диаграммы с конкордией для цирконов из монцонитов (а) и щелочных кварцевых сиенитов (б) Островного массива [13]

Вторая фаза (ряд осложняющих мелких интрузий, см. рис. 3) представлена мезократовыми, реже лейкократовыми среднезернистыми массивными щелочными кварцевыми сиенитами. Возраст кварцевых сиенитов, определенный U-Pb-методом по пяти группам цирконов, равен 2724 ± 3 млн лет (рис. 4, *б*).

Петрохимически породы массива характеризуются следующими особенностями: содержание SiO_2 варьирует от 52 до 67 мас. %, а по насыщенности кремнеземом, от оливин-нормативных (модальных) до кварц-нормативных (модальных); железистость пород варьирует от 63 до 84 атм. %, а коэффициент агпаитности — от 0,60 до 1,10; для них характерно высокое содержание K_2O, равное 4,57–8.03 мас. %. Породы массива по соотношению натрия и калия относятся к калиевой серии n = 31,87–44,59 атм. %. На TAS-диаграмме породы Островного массива образуют ряд от монцогаббро до щелочного граносиенита (рис. 4) и сходны по типу дифференциации с породами Иоканьгского массива.

Литература

1. Арзамасцев А. А., Федотов Ж. А., Арзамасцева Л. В. Дайковый магматизм северо-восточной части Балтийского щита. СПб.: Наука, 2009. 383 с.
2. Батиева И. Д. Петрология щелочных гранитоидов Кольского полуострова. Л.: Наука, 1976. 224 с.
3. Ветрин В. Р. Древнейшие рапакивиобразные граниты Кольского полуострова // ДАН СССР. 1987. Т. 292, № 5. С. 1223–1228.
4. Ветрин В. Р., Шлайфштейн Б. А. Петрология гранитов Иоканьгского массива (Кольский полуостров) // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. 1986. № 5. С. 39-49.
5. Геология и полезные ископаемые Святого Носа и низовьев реки Иоканьга (Кольский полуостров) / А. А. Чумаков и др.; КФАН СССР: [Апатитовая гора, Мурманская область, 1949. 442 с.] // Архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 1. Ед. хр. 325.
6. Иванов А. М. Геология и петрография района оз. Погерьявр: отчет о работах 1949 г. в нижнем течении реки Иоканьга / Кольский филиал АН СССР. [Кировск, 1950. 86 с.] // НА КНЦ РАН. Ф. 2. Оп. 13. Ед. хр. 10.
7. Иванов А. М. Материалы к геологии северо-восточной части Кольского п-ова // Вопросы геологии и минералогии Кольского полуострова. М.-Л.: АН СССР, 1960. Вып. 2. С. 7-28.
8. Кривдик С. Г., Орса В. И., Брянский В. П. Фаялит-геденбергитовые сиениты юго-восточной части Корсунь-Новомиргородского плутона // Геол. журн. 1988. № 6. С. 43-53.

9. Мирская Д. Д. Геология и полезные ископаемые северо-восточной части Кольского полуострова (район Гремиха — Иоканьга) / КФАН СССР. [Кировск, 1950. 125 с.] // НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 1. Ед. хр. 323.
10. Мирская Д. Д. К вопросу о происхождении порфиробластических микроклиновых гранитов на северо-востоке Кольского полуострова (район Гремиха-Иоканьга) // Вопросы геологии и минералогии Кольского полуострова. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. Вып. 2. С. 29-37.
11. Мирская Д. Д., Морозов А. И. Геолого-петрографический очерк левобережья среднего течения реки Иоканьги (район оз. Рапъявр): научный отчет / КФАН СССР. [Кировск, 1951. 157 с.] // НА КНЦ РАН. Ф. 2. Оп. 1. Ед. хр. 29.
12. Морозов А. И., Юдин Б. А. Геология и полезные ископаемые восточного участка железнодорожной трассы п. Титан — п. Иоканьга: научный отчет / КФАН СССР. [Кировск, 1951. 337 с.] // НА КНЦ РАН. Ф. 2. Оп. 1. Ед. хр. 32.
13. Петровский М. Н., Петровская Л. С. Петрология высокожелезистых кварцевых монцонитов-монцогранодиоритов Островного массива, Кольский полуостров // ЗРМО. 2009. № 4. С. 11–31.
14. Петровский М. Н., Петровская Л. С., Баянова Т. Б. Геология, возраст и предполагаемый источник магм Островного массива рапакивиобразных кварцевых монцонитов-монцогранодиориов Мурманского домена // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерагения Северо-Запада России: материалы всерос. конф. (Петрозаводск, 12-15 ноября 2007 г.). Петрозаводск, 2007. С. 299–303.
15. Синицын А. В. О геологическом положении и возрасте изверженного комплекса основных пород Восточно-Мурманского побережья // ДАН СССР. 1963. Т. 151, № 4. С. 930–933.
16. Синицын А. В. О распределении микроэлементов в дифференцированной интрузии долеритов губы Ивановской (Восточно-Мурманское побережье) // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. 1965. № 7. С. 50–64.
17. Эндербиты района Гремихи Мурманского архейского домена: U-Pb и Sm-Nd данные / М. Н. Петровский и др. // ДАН. 2008. Т. 418, № 1. С. 90–94.
18. Юдин Б. А. Геология и полезные ископаемые северо-восточной части Кольского полуострова (район нижнего течения реки Иоканьга): научный отчет / КФАН СССР. [Кировск, 1950. 110 с.] // Архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 1. Ед. хр. 324.
19. Юдин Б. А. Комплекс габбро-диабазов озер Юпэчкесты-Погеръявр в северо-восточной части Кольского полуострова // Материалы по геологии и металлогении Кольского полуострова. Апатиты: КФАН СССР, 1972. Вып. 4. С. 87–91.
20. Юдин Б. А. О метаморфизме основных пород и контактовых явлениях в районе нижнего и среднего течения р. Иоканьги // Вопросы геологии и минералогии Кольского полустрова. М.-Л.: АН СССР, 1958. Вып. 1. С. 95–110.
21. Юдин Б. А., Федченко В. Ф. Петрохимическая и металлогеническая характеристика комплекса габбро-диабазов озер Юпэчкесты-Погеръявр // Материалы по геологии и металлогении Кольского полуострова. Апатиты: КФАН СССР, 1971. Вып. 3. С. 142–155.
22. Dall'Agnol R., Scaillet B., Pichavant M. An experimental study of a lower Proterozoic A-type granite from the eastern Amazonian Craton, Brazil // J. Petrology. 1999. Vol. 40, No. 11. P. 1673–1698.
23. Derivation of the 1,0–0,9 Ga ferro-potassic A-type granitoids of southern Norway by extreme differentiation from basic magmas / Auwera J. Vander et al. // Precambr. Research. 2003. Vol. 124. P. 107–148.
24. Shoshonitic liquid line of descent from diorite to granite: the late Precambrian postcollisional Tismana pluton (south Carpathians, Romania) / J. C. Duchesne et al. // Lithos. 1998. Vol. 45. P. 281–303.

А. Н. Конилов[1], В. И. Пожиленко[2], К. В. Ван[3]
[1]*Геологический институт РАН, Москва, chalma@bk.ru*
[2]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, pozhil@geoksc.apatity.ru*
[3]*Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка*

МИНЕРАЛЫ ПРОГРАДНОГО И РЕТРОГРАДНОГО МЕТАМОРФИЗМА В ЭКЛОГИТАХ ЁНСКОГО СЕГМЕНТА БЕЛОМОРЬЯ: НОВЫЕ ДАННЫЕ

Введение

В пределах Ёнского сегмента Беломорского подвижного пояса (или Беломорского составного террейна), кроме известных уже и достаточно детально изученных проявлений эклогитов (Широкая и Узкая Салма, Куру-Ваара, Кох-озеро), было выявлено в гранатовых амфиболитах большое количество участков (около 80) [3, 4, 5] с реликтами возможных эклогитов или «апоэклогитов» — гранат-пироксен-амфиболовых пород с пироксен-плагиоклазовыми симплектитами [4, 5], характерных для измененных эклогитов. В более чем 30 из них предполагалась высокая вероятность нахождения реликтов омфацита. К настоящему времени проведены исследования с разной детальностью образцов из 17 участков. Это обнажения под номерами 238, 242, 929, 931, 1644, 1659, 1689, 1695 (рис. 1). Наиболее детально изучена серия образцов под номером 931 из района г. Куропачья.

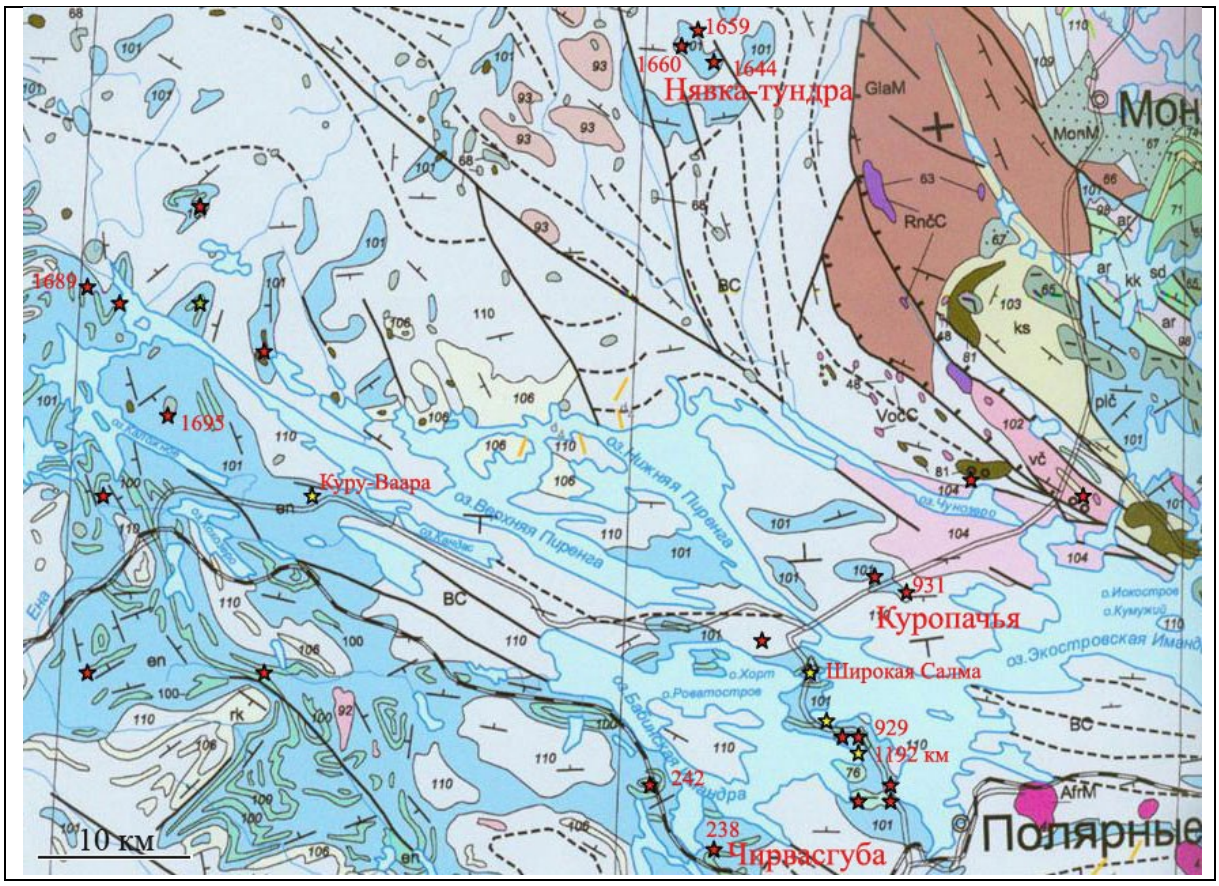


Рис. 1. Геологическая карта фрагмента Ёнского сегмента Беломорья по [1] с указанными точками выходов эклогитов, изученных многими исследователями (желтые звездочки) и выявленных одним из авторов этой статьи [3] (красные звездочки)

Цель работы — определить принадлежность новых коренных выходов симплектитовых гранат-пироксеновых амфиболитов к эклогитам и выявить в симплектитизированных эклогитах минералы проградного и ретроградного метаморфизма.

Задачи работы: 1) определение минерального состава апоэклогитов и их взаимоотношений;

2) определение химического состава породообразующих минералов и минералов примесей;

3) определение минерального и химического состава включений в разных минералах;

4) определение последовательности минералообразования.

Методы: петрографическое изучение шлифов с разной степенью детальности; микрозондовый анализ породообразующих минералов, минералов-примесей и минералов-включений; фотографирование наиболее информационных участков исследуемых шлифов.

Результаты: сделано более 300 микрозондовых анализов минералов и более 100 фотографий.

Структурное положение объектов исследования. Тела амфиболитов, в которых были выявлены реликты эклогитов, имеют разную морфологию. На участке г. Куропачья (т. н. 931) это изолированные тела: северо-западное — пластообразное, срезанное разломами, а юго-восточное напоминает срезанную килевую часть синформы. На участках Чирвасгубы (т. н. 238), Нявка-тундры (т. н. 1644, 1659, 1660), Узкая Салма (т. н. 929) крупные тела амфиболитов пластообразные, а мелкие — либо пластообразные, либо линзовидные (будинаж-структуры). На участках района горы Бабинская Имандра (т. н. 242) гранатовые амфиболиты в виде протяженных пластообразных тел, облекающих центральное изометричное тело размером около 1,7×1,1 км. На участках с т. н. 1689 и 1695, расположенных к северо-западу от карьера Куру-Ваара, тела гранатовых амфиболитов будинированы и интенсивно мигматизированы в краевых частях. Структурная ситуация очень похожа на строение карьера Куру-Ваара.

Сложены тела в разной степени рассланцованными полевошпатовыми и гранатовыми амфиболитами с реликтами среди них линзовидных и пластообразных тел метагипербазитов (метакоматиитов). Границы тел амфиболитов резкие. В краевых частях обычно наблюдается наложенная сланцеватость и полосчатость. Залегают тела амфиболитов среди биотитовых и амфибол-биотитовых гнейсов, гранитонейсов и мигматитов. В отдельных участках среди гнейсов наблюдаются зоны полиагматитов, а также линзовидные и маломощные пластообразные тела полосчатых мигматитов по амфиболитам.

Региональные и локальные процессы. В пределах Ёнского сегмента крайне неоднородно проявились интенсивные многоактные неоархейские и палеопротерозойские процессы деформации (вплоть до образования зон ультрабластомилонитизации и линеаризации), метаморфизма [6], мигматизации и гранитизации (где амфиболиты, как реликты, как-бы «плавают в тоналито-гнейсовом субстрате») [2]. Поэтому различная сохранность омфацита и CPx-Pl симплектитов по омфациту в гранат-пироксеновых амфиболитах обусловлена количеством и степенью наложенных преобразований (процессов). Соответственно:

- в центральных частях крупных и даже небольших тел при наличии CPx-Pl симплектитов по омфациту лучше сохраняются минералы проградного этапа метаморфизма — пренит и пумпеллиит (во включениях) ранней стадии и омфацит и гранат эклогитовой стадии;
- в участках интенсивной амфиболизации без рассланцевания CPx-Pl симплектиты превращены в Амф-Пл симплектиты, а при последующей эпидотизации — в Ep-Pl симплектиты;
- в участках с интенсивным рассланцеванием структура пород становится гетерогранобластовой, теряется одновременность погасания зерен CPx и Pl в симплектитах;
- в участках с интенсивной мигматизацией и гранитизацией гранат-пироксеновые амфиболиты превращены в полевошпатовые амфиболиты и, естественно, CPx-Pl симплектиты там отсутствуют.

Краткая петрографическая характеристика (текстуры, структуры, главные породообразущие минералы и минералы-примеси, включения минералов). Симплектитизированные эклогиты — кварц-, ±плагиоклаз-, амфибол-, пироксен-, гранатсодержащая порода. Содержит включения рутила, титанита и оксидов железа. В клинопироксен-плагиоклазовых симплектитах клинопироксен частично замещен амфиболом. Структура порфиробластическая, гетерогранобластовая, симплектитовая.

В комбинированных шлифах (как в образце 1644-3, так и в образце 1644-2) среди неамфиболизированных участков клинопироксен-плагиоклазовых симплектитов были выявлены и проанализированы реликты омфацита (содержание Na_2O = 5,0–5,1 вес. %), а также мелкие зерна ортопироксена. В центрах реликтов омфацита присутствуют структуры распада. Ламелли (светлые полосочки), вероятно, представлены ортопироксеном. Структуры распада лучше проявляются в реликтах омфацита в шлифе 1644-2.

В шлифе 238-1л сохранились реликты омфацита. Между гранатом и кварцем клинопироксен-плагиоклазовые декомпрессионные короны. В гранате многочисленные включения кварца и, кроме того, включения рутила, ильменита, апатита, циркона и омфацита.

В комбинированном шлифе 931-1-1 среди клинопироксен-плагиоклазовых симплектитов выявлены реликты омфацита. Вокруг зерен граната наблюдаются декомпрессионные пироксен-плагиоклазовые каймы. Плагиоклаз в симплектитах представлен олигоклазом № 15–25. Клинопироксен участками замещен амфиболом. В гранате многочисленные включения представлены в основном кварцем, отмечены зерна рутила и ассоциация «актинолит (Act) + пумпеллиит (Pmp) ± эпидот (Ep)». В отдельных участках по трещинам в гранате развивается роговая обманка.

В комбинированном шлифе 931-1-2 среди клинопироксен-плагиоклазовых симплектитов выявлено реликтов омфацита гораздо больше, чем в шлифе 931-1-1. В некоторых участках омфацит имеет прямые контакты с гранатом. В гранате многочисленные включения кварца, есть включение сульфидов (сросток пентландита, пирита и халькопирита). Амфибол развивается по пироксену и представлен бурой роговой обманкой, плагиоклаз — олигоклазом № 25.

В дополнительной серии шлифов эклогитов г. Куропачья (931-5-7 и др.) наряду с прекрасными симплектитами выявлены реликты омфацита (до 28 % молей жадеита), а также включения пренита и пумпеллиита в гранате. Возле зерен пренита и пумпеллиита отсутствуют трещинки, что позволяет однозначно интерпретировать их как реликтовые минералы ранней стадии проградного метаморфизма. Но самое интересное, что в шлифе наряду с клинопироксенами присутствует много мелких зерен анортита с включениями ванадий-хромистой шпинели, которые рассматриваются как магматические минералы. В шлифе из образца точки, расположенной примерно в 20 м от рассмотренной выше, кроме реликтов омфацита, пренита и пумпеллиита в гранате и клинопироксена в симплектитах, присутствует ортопироксен как в симплектите так и в коронах вокруг кварца, который рассматривается как минерал гранулитовой фации метаморфизма ретроградного этапа.

В шлифе Кур-1 из эклогитов в амфиболитах, расположенных к северо-западу от г. Куропачья на общей BSE-панораме шлифа видно большое количество ильменита. Это отличает Kur1 от эклогитов 931y5/6, 931y5/7 и гранулитов 931y5/5 г. Куропачья. На Салме такие породы с большим количеством ильменита выделялись как Fe-Ti-эклогитоподобные породы. Матрикс шлифа Кур-1 — Qtz, Pl, Cpx, Ilm, Rt, Ep, low-Al amphibole, Zrn. В гранате включения — Qtz, пренит, Pl(An), Ep, титанит вокруг рутила, мусковит, кальцит, пирит и Ni-пирротин.

Обсуждение и выводы. Сохранность минералов проградной стадии низкотемпературной пренит-пумпеллиитовой фации метаморфизма (пренита, пумпеллиита, актинолита и эпидота) во включении в гранате свидетельствует о достаточно быстром захоронении протолита эклогитов. Сохранность этих же минералов наряду с сохранностью омфацита в клинопироксен-плагиоклазовых симплектитах может свидетельствовать и о достаточно быстрой эксгумации эклогитов.

Наличие структур распада в омфаците (ламели ортопироксена) и ортопироксена в клинопироксен-плагиоклазовых симплектитах Нявка-Тундры свидетельствует об их образовании при ретроградном метаморфизме в условиях высокобарических гранулитовой, а затем амфиболитовой фаций.

Сохранность в вышерассмотренных образцах первичного высокобарического парагенезиса (гранат + омфацит + рутил + кварц) и включение зерна омфацита в гранате позволяет утверждать, что симплектитовые апоэклогиты Чирвасгубы, г. Куропачья и Нявка-Тундры и других участков являются продуктами декомпрессионных изменений эклогитов.

Ретроградные изменения проявились в симплектитизации омфацита, позднее — в амфиболизации пироксенов, появлении биотита и хлорита, а в более измененных разновидностях — кварца и плагиоклаза. Интенсивно проявленные процессы ретроградного метаморфизма, рассланцевания, мигматизации и гранитизации превратили эклогиты в гранатовые, а затем в полевошпатовые амфиболиты, а в краевых частях в полосчатые полевошпатовые амфиболиты.

Отнесение выше рассмотренных образцов к эклогитам значительно расширяет область распространения эклогитов — как минимум до 50 км вкрест простирания структуры. Широкое распространение эклогитов в Ёнском сегменте противоречит интерпретации о локальной приуроченности их к сдвиговой зоне. Полученные данные также противоречат интерпретации сонахождения граната и омфацита как непарагенной ассоциации, когда омфацит рассматривается как синмагматический минерал (порфировые кристаллы в лавах), а гранат — как метаморфический минерал, кристаллизовавшийся на проградной стадии метаморфизма. Также нельзя рассматривать эти эклогиты как отторженцы нижней коры, поскольку сохранились минералы ранних стадий проградного метаморфизма.

Литература

1. Геологическая карта Кольского региона (северо-восточная часть Балтийского щита) масштаба 1:500000 / гл. ред. Ф. П. Митрофанов; авт.-сост.: В. В. Балаганский и др. Апатиты: КГИЛЦ, 1996.
2. Геология рудных районов Мурманской области / В. И.Пожиленко и др. ;под ред. Ф. П. Митрофанова, Н. И Бичука. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
3. Пожиленко В. И. К проблеме эклогитов Ёнского сегмента Беломорского составного террейна (северо-восток Фенноскандинавского щита) // Геологическая история, возможные механизмы и проблемы формирования впадин с субокеанической и аномально тонкой корой в провинциях с континентальной литосферой: материалы 45 (XLV) тектонического совещ. М.: ГЕОС, 2013. С. 163–167.
4. Пожиленко В. И., Конилов А. Н., Ван К. В. Эклогиты северо-восточной части Ёнского сегмента Беломорья: новые данные // Региональная геология, минералогия и полезные ископаемые Кольского полуострова: тр. XIII Всерос. (с междунар. участием) Ферсмановской научной сессии, посвящённой 50-летию Дня геолога (Апатиты, 4–5 апреля 2016 г.). Апатиты: K & M, 2016. С. 118–122.
5. Пожиленко В. И., Конилов А. Н., Ван К. В. Минералы эклогитов северо-восточной части Ёнского сегмента Беломорья: новые данные // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле: материалы 17-й междунар. конф. (Москва, 26–28 сентября, Борок 30 сентября 2016 г.). М.: ИГЕМ РАН, 2016. С. 279–282.
6. Пожиленко В. И. Метаморфизм гнейсов Ёнского сегмента Беломорского подвижного пояса // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле: материалы 17-й междунар. конф. (Москва, 26–28 сентября, Борок 30 сентября 2016 г.). М.: ИГЕМ РАН, 2016. С. 275–278.

А. С. Потокин[1], Д. Г. Степенщиков[2], А. Ф. Усов[1], Ю. Л. Войтеховский[2]

[1]*Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, electric.pulse@mail.ru; usov@admksc.apatity.ru*

[2]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, stepen@geoksc.apatity.ru; woyt@geoksc.apatity.ru*

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АБРАЗИВНОГО ГРАНАТОВОГО ПРОДУКТА ИЗ ГРАНАТОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД ЗАПАДНЫХ КЕЙВ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ И АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ)

Введение

Исследования по разрушению и измельчению гранатов с помощью электроимпульсной дезинтеграции материалов крайне ограничены, поэтому исследования в данной области являются достаточно актуальной научной проблемой. Способ электроимпульсного разрушения отличает высокая энергетическая эффективность и уникальные технологические особенности, позволяющие его универсально использовать в процессах добычи и переработки различного минерального сырья и технических материалов [2]. В 1970-х гг. по заказу 6-го Главка Мингео РСФСР (ВШПО) на базе КРДЭ № 121 в Медвежьегорске проводились испытания опытно-экспериментальных установок КНЦ РАН для переработки руд с кристаллоограночным сырьем. В том числе оценивалось вскрытие кристаллов граната месторождения Китель, Карелия, которое, предположительно, рассматривалось как ограночное сырье. При электроимпульсной дезинтеграции гранаты эффективно вскрывались с высокой сохранностью от разрушения, но ввиду высокой трещиноватости кристаллов гранат мог быть пригоден только как абразивное сырье. В 2017 г. Геологическим институтом КНЦ РАН и Центром физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН впервые выполнены предварительные исследования

по электроимпульсной дезинтеграции породы с месторождения Макзабак для получения мономинерального продукта, свободного от включений. Данные исследования позволяют получить объективную оценку потенциала использования кейвских гранатов как высококачественного абразивного продукта для различных сфер применения.

Электроимпульсные установки для дробления горных пород (аппаратурное обеспечение)

Физической основой электроимпульсного способа разрушения материалов является разрушение объекта под действием силовых полей, генерируемых каналом электрического пробоя твердого тела при импульсном выделении в нем энергии накопителя. Электротехническая часть установок включает в себя два относительно самостоятельных блока: зарядное устройство (ЗУ) с элементами, позволяющими управлять процессом заряда и частотой следования импульсов, и генератор импульсов высокого напряжения на основе разряда емкостного накопителя энергии (ГИН). Спецификой работы электротехнического оборудования в электроимпульсной технологии является применение высоких напряжений (350–500 кВ и выше) и динамический режим работы емкостного накопителя энергии: заряд-разряд на малоомную нагрузку, каким является канал разряда, с высокой частотой следования импульсов (применительно к задаче достижения максимальной производительности процесса достижимо до 20–30 имп/с). Лабораторными исследованиями и испытаниями в производственных условиях демонстрационных установок КНЦ РАН «Кварц-ДК» (КРДЭ № 121 Мингео, г. Медвежьегорск), «Кварц-М» (Малышевское РУ, г. Асбест) и комплексной установки совместной разработки КНЦ РАН, НИИ ВН и «Механобр» («Союзкварцсамоцвет» Мингео) доказана высокая эффективность электроимпульсного способа извлечения кристаллов граната рубина, изумруда и др. В России в различных исследовательских организациях проводились работы по изысканию возможностей механизации процесса извлечения кристаллосырья с применением химического растворения, ультразвукового разрушения, разрушения вмещающих горных пород знакопеременными температурными полями и др. Однако указанные работы так и не вышли из стадий лабораторных исследований.

Несмотря на исключительно высокую технологическую эффективность и большой объем выполненных работ по созданию электротехнического оборудования, производственное использование электроимпульсной технологии сдерживается, в основном, из-за недостаточно удовлетворительных удельных энергетических и массогабаритных характеристик электроимпульсных установок, прежде всего относящихся к электротехническому обеспечению способа [4]. Последние достижения в технологии изготовления источников питания высокого напряжения по схеме высокочастотного преобразования напряжения (ВЧП) обеспечили существенное (на порядок и более) уменьшение их массогабаритных характеристик и рост КПД энергопреобразования по сравнению с их аналогами, которые выпускались всего один-два десятилетие назад. Адаптация к режимам электроимпульсного разрушения материалов современной элементной базы высоковольтной электроники и электротехники уже сейчас позволяет создать компактные электроимпульсные установки [3]. На основе российских разработок, реализованных и развитых в Исследовательском центре Карлсруэ (FZK) (Германия), фирма SelFrag (Швейцария) организовала производство электроимпульсных установок для различных применений с относительно невысокой производительностью — минералогические исследования, дезинтеграция поликремния, утилизация технических и бытовых отходов. Дальнейшее совершенствование установок в сторону повышения их мощности позволит расширить производственное использование электроимпульсного способа разрушения материалов.

Технологическое опробование метода электроимпульсной дезинтеграции (ЭИД) для получения абразивного гранатового продукта

Для оценки целесообразности использования кейвских гранатов месторождения Макзабак в качестве потенциального абразивного сырья Геологическим институтом и Центром физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН впервые были проведены исследования по электроимпульсной дезинтеграции кристаллов граната для возможности получения мономинерального продукта, свободного от включений слюдита.

Исходным материалом для исследования являлись несколько штуфов слюдяного сланца из месторождения г. Макзапахк, Западные Кейвы, содержащих полногранные кристаллы граната альмандина ромбододекаэдрического габитуса размером до 50 мм. Электроимпульсная дезинтеграция породы предусматривала две операции:

1) выделение кристаллов граната из гранатсодержащей породы для оценки эффективности их вскрытия (отделения от вмещающей породы — слюдита);

2) дезинтеграцию кристаллов для выявления возможности выделения из кристаллов примесей слюдита для получения мономинерального продукта, пригодного для получения абразивной крошки. На стадии вскрытия кристаллов образец руды фиксировался в специальной кювете.

Процесс дробления длился до полного высвобождения кристаллов граната.

Опыты показали, что крупные и мелкие кристаллы граната хорошо выделяются из породы с минимальными примазками слюдита. Дробление крупных кристаллов проводилось до размеров 20–30 мм и дальнейшее их измельчение граната проводилось в дезинтеграционной порционной камере закрытого типа с электродной системой «острие — полусфера». Измельчение проводилось в дождевой воде (повышенное удельное сопротивление уменьшает потери с электропроводностью воды), далее продукт был высушен и расситован. Измельченный материал был проанализирован на содержание мономинерального продукта и его

распределение по классам крупности (табл. 1). Анализ фракций проводился визуально, как непосредственно (для крупных фракций +10 и –10…+3), так и под бинокуляром. В крупных фракциях анализу подвергались все осколки, а в мелких была проведена выборка примерно из 1000 зерен. Подсчитывалось общее число осколков (зерен) и число зерен чистого граната. Если опираться на результаты анализа, то можно говорить о том, что доля чистого граната во фракции размера –1…+0,5 достигает 90 % (рис.). Свободная слюда в виде отдельных зерен редко наблюдается во всех фракциях, кроме самой мелкой.

Таблица 1

Распределение продукта измельчения гранатов по классам крупности, мм

Гранатовый продукт	+10	–10…+3	–3…+1	–1…+0,5	–0,5…+0,25	–0,25…+0	Всего
Вес, г	83,55	90,74	38,54	7,05	9,03	10,96	239,87*
Содержание, %	34,8	37,8	16,1	2,94	3,76	4,56	100
Выход чистого граната, %	–	18	44	89	85	Не опр.	

*Потери продукта с тонкой взвесью составили 4 % от исходной навески в 250 г.



Продукт электроимпульсной дезинтеграции граната, фракция –1…+0,5

Промышленный потенциал Кейвских месторождений граната

Кристаллические сланцы обнаружены в Зап. Кейвах О. А. Воробьевой в 1928 г. Тогда же найдены месторождения абразивных гранатов: г. Тахлинтуайв — О. А.Воробьевой в 1928 г., г. Макзапахк (Макзабак) — В. И. Влодавцем в 1931 г., г. Березовая I (г. Круглая), г. Березовая II и ЮЗ оз. Ровозеро — М. Д. Вагаповой и Т. Л. Никольской в 1933 г. В 1939-40 гг. Л. Я. Харитоновым подсчитаны их запасы. Геологическое строение и промышленный потенциал известных месторождений граната в Зап. Кейвах сходны. С экономической точки зрения абразивные гранаты Западных Кейв не столь ликвидны, как руды платиновых металлов, но если провести детальную оценку качества гранатов из различных месторождений Западных Кейв и убедиться в их пригодности для использования в промышленном масштабе, то освоение может оказаться рентабельным для предприятий среднего и малого бизнеса (табл. 2) [1].

Таблица 2

Оценка стоимости гранатов Кейвских месторождений исходя из разведанных запасов в пересчете на рыночную стоимость гранатового песка

Месторождение	Размер кристаллов, см	Оценка запасов, тыс. т		Общая стоимость месторождения*, млрд руб.	Средняя продуктовая ценность*, млрд руб.
Тахлинтуайв	до 10	150 (по Влодавецу)	80 (по Харитонову)	3,3 (по Влодавецу) 1,76 (по Харитонову)	2,53
Макзапахк	от 3 до 30	300 (по Влодавецу)	48 (по Харитонову)	6,6 (по Влодавецу) 1,05 (по Харитонову)	3,82
Ровозеро	от 2 до 8	120 (по Вагаповой)		2,64	
Березовая II	от 3 до 15	330 (по Вагаповой)	10200 (по Харитонову)	7,26 (по Вагаповой) 224,4 (по Харитонову)	115,8
Березовая I	Аналогично по геологическому строению и запасам Березовая II				115,8
				Всего	240,6

*При пересчете на стоимость гранатового песка Mesh 80, 120 в России на 2017 г. (22 тыс. руб/т) (ООО «ПМ-Ресурс» Санкт-Петербург, http://www.pm-resurs.ru/prodaga-granatovogo-peska).

Опыт КНЦ РАН в разработке физических основ способа и технических средств электроимпульсной дезинтеграции, начиная с исходной крупности в 250–300 мм, позволяет ставить вопрос о целесообразности разработки опытных установок этого класса с решением вопросов обогатительного цикла и проведением

укрупненных технологических исследований. Для вскрытия кристаллов граната могут быть использованы камеры крупного измельчения с производительностью до 5–10 т/ч. Для измельчения граната может быть адаптирован большой набор измельчительных аппаратов электроимпульсной дезинтеграции [5] на производительность до 1 т/ч (на один канал высоковольтных импульсов). При реализации проводимых в настоящее время работ по совершенствованию электротехнических средств электроимпульсного разрушения на основе импульсного трансформирования можно будет создавать автономные мобильные электротехнологические комплексы (мини-фабрики) для получения гранатового продукта непосредственно на месте разработки месторождения.

Литература

1. Войтеховский Ю. Л. Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов // Материалы V Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Апатиты: КНЦ РАН, 2013. 210 с.
2. Курец В. И., Усов А. Ф., Цукерман В. А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 324 с.
3. Усов А. Ф., Потокин А. С. Концептуальные решения для создания компактных мобильных технологических комплексов на основе электроимпульсного способа разрушения материалов // Горн. информ.-аналит. бюл.: [науч.-техн. журн.]. 2013. № 2. С. 260–269.
4. Усов А. Ф., Потокин А. С. О стратегии разработки и освоения электротехнического оборудования для технологий электроимпульсного разрушения материалов // Материалы Всерос. (с междунар. участием) конф. по физике низкотемпературной плазмы «ФНТП-2011» (Петрозаводск, 21–27 июня 2011 г.). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. Т. 2. С. 62–69.
5. The experience in development of technique and technology of electric pulse disintegration of rocks and ores / A. Usov et al. // TMS Annual Meeting. 2016. P. 325–332.

В. В. Пуха[1], В. А. Нивин[1], А. М. Асавин[2]

[1]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, puha.vyacheslav@mail.ru*

[2]*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, Москва*

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГАЗОНОСНОСТИ ЛОВОЗЕРСКОГО РЕДКОМЕТАЛЛЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Выделение природных горючих и взрывоопасных газов водородно-углеводородного состава в рудничную атмосферу является одним из факторов, влияющих на безопасность отработки Ловозерского месторождения лопарита подземным способом. Изучение этих газов здесь было инициировано горнодобывающим предприятием в 1980 г. после неоднократно зафиксированных случаев их возгорания при проходке горных выработок и вспышек при движении электровозов. Проведенными в последующие 5 лет Геологическим институтом Кольского филиала АН СССР (ныне — Кольского научного центра РАН) исследованиями были установлены два основных морфотипа природных газов: окклюдированные, находящиеся преимущественно в вакуолях флюидных микровключений в минералах, и свободные, заполняющие системы в той или иной степени связанных трещин, главным образом микротрещин, и другие полости в породах [2, 3 и др.]. Было показано, что именно и только свободные газы при выходе их скоплений или путей миграции на дневную поверхность, вскрытии шпуром, скважиной или горной выработкой самопроизвольно (спонтанно) выделяются из породного массива и в ряде случаев могут создавать повышенные концентрации горючих и взрывоопасных компонентов в атмосфере подземных горных выработок.

Для таких выделений чаще всего характерно сочетание преобладающего фильтрационного и диффузионного истечения газов. Выявлены значительные пространственно-временные вариации состава газовой фазы. После этого полноценные газометрические исследования на Ловозерском месторождении длительное время не осуществлялись. Лишь в 2016 г. ГИ КНЦ РАН проведено доизучение его газоносности по заказу ООО «Ловозерский ГОК». При этом основное внимание было уделено ранее почти не исследованному участку «Кедыквырпахк». Основные результаты этих работ и приводятся в данном сообщении.

Наиболее информативным методом изучения свободных газов на месторождении признан шпуровой, суть которого заключается в бурении горизонтального шпура диаметром около 40 мм и глубиной 1,5–2 м в стенке горной выработки и герметизации его тем или иным способом на расстоянии 20–40 см от устья сразу после окончания бурения. Через герметизирующее устройство или цементную пробку проходят одна или две трубки, позволяющие определять концентрации газовых компонентов в изолированной части шпура переносными газоанализаторами, с помощью простых приспособлений отбирать пробы газовоздушной смеси для последующего лабораторного анализа, измерять дебит шпура и величину избыточного давления газовой фазы. Для измерения концентраций горючих газов непосредственно в атмосфере горных выработок и в шпурах использовались современные портативные газоанализаторы. Так, объемные концентрации H_2 определялись

с помощью ФП22 производства НПОДО «ФАРМЭК» и ВГ-3, разработанного в СКБ МИФИ, а CH_4 — с применением другой модификации ФП22, инфракрасного газоанализатора ПГА-4 (производитель ЗАО НПП «Электронстандарт») и, реже, ГНОМ-1 (производство ООО НПК «ОЛЬДАМ»). ВГ-3 использовался также для изучения временны*х* вариаций выделения водорода. Температура и влажность воздуха, атмосферное давление и скорость движения вентиляционной струи измерялись портативной метеостанцией Kestrel-4500 и термогигрометром ИВТМ-7 М. Манометры НМ-60-2,5 кРа-1,5-Т3 и НМ-60-60 кРа-1,5-Т3 применялись для измерения величины избыточного по отношению к атмосферному давления газа. Полезная информация о характере суточных вариаций концентраций горючих газов в исходящих вентиляционных струях была получена в ходе тестирования беспроводной сенсорной сети, включающей сенсорные газовые датчики и другие элементы сети, и также беспроводной системы сбора данных. Пробы рудничного воздуха и газовой смеси из шпуров для последующего лабораторного анализа на газовом хроматографе ГАЗОХРОМ-3101 отбирались традиционным способом — путем вытеснения из 250-миллилитровой бутылки (или стеклянной бюретки) служащего затвором насыщенного раствора поваренной соли в дистиллированной воде.

Содержания метана и водорода (835 и 795 соответственно определений переносными газоанализаторами и по 80 хроматографических), при необходимости и возможности, избыточные по отношению к атмосферному давлению/разрежению, измерялись в технологических шпурах в проходческих и очистных забоях, а также пробуренных специально для газометрических наблюдений в стенках ранее пройденных выработок. В большинстве случаев концентрации каждого из горючих компонентов оказались меньше 0,1 об. % и лишь в единичных случаях превышают 1,0 об. %. На участке «Кедыквырпахк» (западный фланг рудного горизонта II-4) содержания H_2 и CH_4 в целом несколько выше по сравнению с восточной частью этого же пласта и рудной залежью I-4. По вновь полученным данным, среднее отношение CH_4/H_2 в шпуровых газах при содержании горючих компонентов более 0,1 об. % получилось ниже (около 3), чем рассчитанные по результатам предшествующих работ (~ 1,5). Из 73 замеров избыточного давления газов в загерметизированных сразу после бурения шпурах таковое было зафиксировано только в двух забоях (2,5 и 0,25 кПа). В 27 случаях, напротив, регистрировалось разрежение от −0,1 до −1,25 кПа.

Ранее выявленная неравномерность локализации свободных газов в массиве без какой-либо закономерности в пределах от долей метра до первых метров подтверждается новыми наблюдениями, например, расположением шпуров с разными содержаниями водорода и метана в очистных и проходческих забоях. При расстоянии между параллельными шпурами 20–30 см концентрации газов могут различаться на три порядка величины. Крайне неравномерно распределение горючих газов наблюдается и на шкале в сотни метров, например, по падению рудной залежи II-4 на западном фланге месторождения, где специально для газометрических наблюдений в стенках восстающих было пробурено 49 шпуров с интервалом между ними от 15 до 25 м (рис. 1). Здесь прослеживается увеличение в целом газонасыщенности пород от гор. +500 м до гор. +324 м. Далее с глубиной этот показатель снова уменьшается. В пределах каждой панели концентрации газов в шпурах также достаточно широко и неодинаково варьируют. При неоднократных (с интервалом от 6 суток до 2,5 месяцев) замерах в одном и том же шпуре можно видеть как нарастание со временем концентрации газов в канале шпура, например в шпурах с 27 по 35 (рис. 1в) и с 21 по 24 (рис. 1, г), так и (реже) снижение (шп. 45, 47 на рис. 1, б). Иногда (шп. 2, 6 на рис. 1, д) при уменьшении концентрации H_2 наблюдается почти синхронное увеличение CH_4.

Как и ранее, новые газометрические наблюдения не выявили визуальных или каких-то иных различий, например, по положению относительно рудной залежи, минералогическому составу, структуре и текстуре пород (за исключением некоторых пегматитов), по степени и характеру трещиноватости участков породного массива с относительно повышенным газовыделением от тех, где выделение газов не обнаруживалось. Тем самым подтверждаются предположения о газовых коллекторах преимущественно трещинного типа с преобладанием невидимых или слабо различимых невооруженным глазом микротрещин или (по другим классификациям) узких (величина раскрытия доли миллиметра) макротрещин разной степени протяженности. Более широкие и протяженные трещины, а также ослабленные (тектонического или иного происхождения) зоны в породах для такого рода газовых резервуаров могут играть дренирующую роль. Анализ длительного временного ряда динамики концентраций водорода в атмосфере горной выработки позволяет предполагать, что выделение газа происходит из двух слабо взаимосвязанных в породах систем трещин, характеризующихся различными параметрами фильтрации, одна из которых опосредованно контролирует вариации фоновой концентрации, а вторая – барогенные превышения концентрации [1].

В ходе последних газометрических наблюдений столкнулись и с другим, ранее не встречавшимся, мало распространенным, типом коллекторов горючих газов в породах. Это разной величины (от нескольких миллиметров до десятков сантиметров в поперечнике) изолированные или слабо связанные между собой, часто заполненные водой или рассолом, пустоты и полости в зональных пегматитах с явно выраженной гидротермальной стадией развития. При благоприятных условиях (вскрытия снизу) в верхней (прикровельной) части полостей горючие газы сохраняются в концентрациях до десятков процентов по объему.

Концентрации метана и водорода в атмосфере горных выработок (в действующих забоях и исходящих вентиляционных струях) составляют преимущественно тысячные и сотые доли процента по объему и лишь в 15 и 3 из более чем полутора сотен определений CH_4 и H_2 выше 0,1 об. % соответственно.

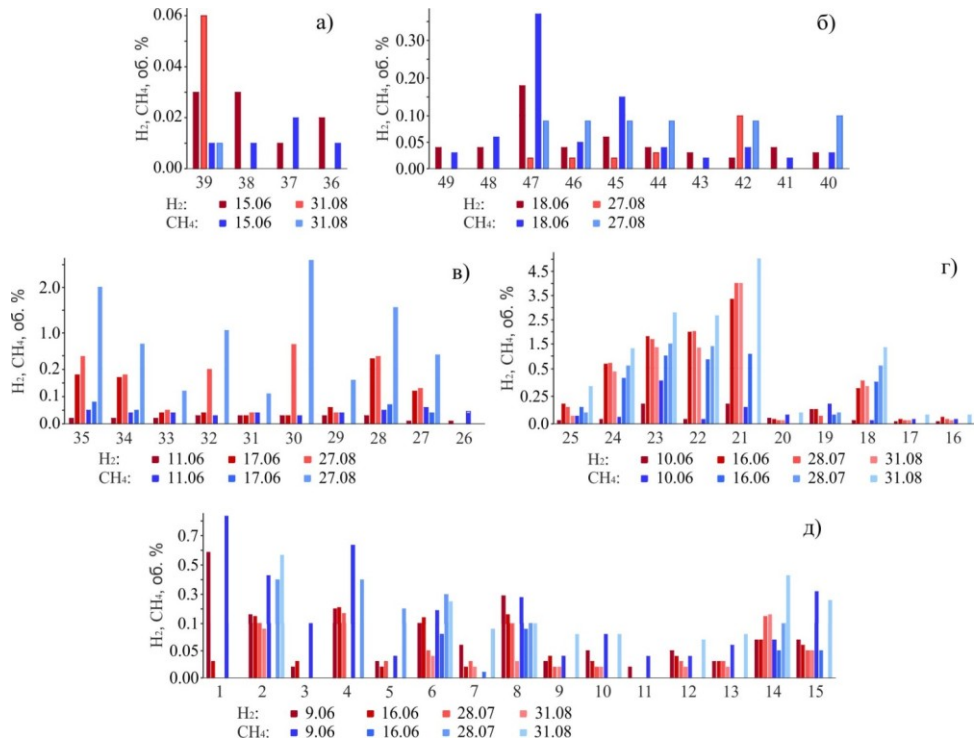


Рис. 1. Вариации в пространстве (по падению рудного горизонта II-4) и времени (даты замеров показаны в условных обозначениях) концентраций метана и водорода в газометрических шпурах в стенках восстающих 4/11 (а), 14/13 (б), 32/15 (в), 47/22 (г) и 45/25 (д). Направление падения пласта — справа налево

Данные, полученные в ходе тестирования беспроводной сенсорной сети, согласуются с результатами наблюдений 30-летней давности и также свидетельствуют о том, что большая часть природных горючих компонентов выделяется в рудничную атмосферу при взрывных работах (рис. 2) и удаляется вместе с другими газообразными продуктами взрывания.

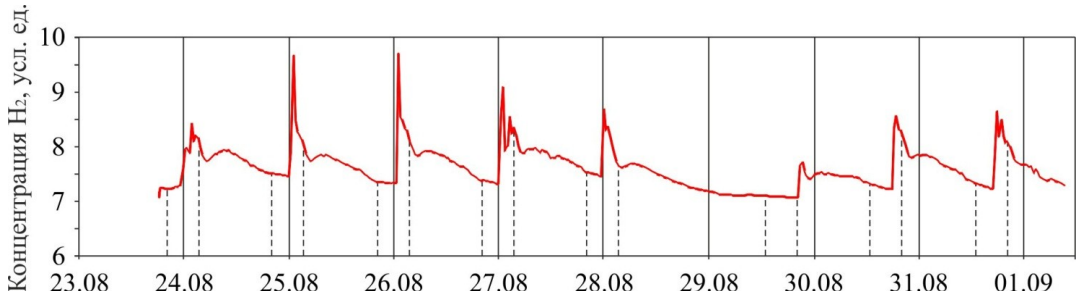


Рис. 2. Динамика изменения содержания водорода в воздухе исходящей вентиляционной струи шт. 11-зап., между восст. 11/11 и 11/12 (уч. «Кедыквырпахк») в августе — начале сентября 2016 г. Пунктирными вертикальными линиями обозначены начало и конец смены взрывания

Отсутствие явных закономерностей локализации свободных газов в пределах Ловозерского месторождения обусловлено, по-видимому, высокой мобильностью газов этого морфотипа, хаотичностью в пространственном размещении их коллекторов и постоянным изменением напряженно-деформированного состояния локальных участков массива. Выявленная «пятнистость» их распределения свидетельствует о преимущественно неправильной форме и сильно варьирующих размерах микротрещиноватых резервуаров, содержащих скопления свободных газов и окруженных относительно более плотными и менее проницаемыми породами.

Таким образом, проведенными в 2016 г. исследованиями не выявлено принципиальных различий характера локализации и выделения свободных газов, концентраций метана и водорода в рудничном воздухе на отрабатываемых в настоящее время участках Ловозерского месторождения по сравнению с отработанными ранее. Поэтому представляется целесообразным сохранить без значительных изменений действующие в настоящее время «Специальные мероприятия газового режима» на подземном руднике «Карнасурт» ООО «Ловозерский ГОК», поскольку предусмотренные в них меры, основными из которых

являются контроль состава рудничной атмосферы и соблюдение норм проветривания, вполне способны обеспечить газобезопасное ведение горных работ. Принимая во внимание отсутствие интенсивных внезапных выбросов и суфлярных выделений горючих газов, инертность породной и рудной пыли, нет необходимости распространять газовый режим на весь подземный рудник. Достаточно его введение лишь в отдельных горных выработках. Повышение концентраций горючих газов в рудничном воздухе с большей долей вероятности возможно в периоды понижения атмосферного давления, на участках и в блоках, где в данный момент фиксируются динамические проявления горного давления и повышенная сейсмическая активность, при вскрытии тел пегматитов и гидротермалитов, в тупиковых непроветриваемых выработках, особенно восстающих, при пересечении шпуром, скважиной или горной выработкой изолированных трещин или других полостей с застойными водами.

Работа выполнялась по заказу ООО «Ловозерский ГОК» (договор № 17–16 от 20 января 2016 г.) при частичной поддержке гранта РФФИ 09-05-00754а (рук. А. В. Ловчиков) и Программы Президиума РАН «Арктика», проект 6.

Литература

1. Динамика концентрации молекулярного водорода в горной выработке подземного рудника (Ловозерское редкометалльное месторождение, Кольский полуостров) / В. А. Нивин и др. // ДАН. 2016. Т. 471, № 4. С. 475–478.
2. Икорский С. В., Нивин В. А. Газы свободной фазы в породах Ловозерского щелочного массива (Кольский полуостров) // ДАН СССР. 1983. Т. 269, № 4.С. 934–936.
3. Нивин В. А. Природные газы рудного месторождения Ловозерского щелочного массива: автореферат дис. … канд. геол.-мин. наук. М., 1988. 35 с.

Л. А. Сим[1], А. В. Маринин[1], Д. В. Жиров[2]
[1]*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, sim@ifz.ru, marinin@ifz.ru*
[2]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, zhirov@geoksc.apatity.ru*

НОВЫЕ ДАННЫЕ О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Многолетние полевые исследования тектонических напряжений в восточной части Фенноскандинавского щита на Кольском п-ове были обобщены в работе [6]. Реконструкции тектонических напряжений производились кинематическим методом [2] и методом катакластического анализа [3]. В отдельных точках наблюдения восстановлены тектонические напряжения по трещиноватости в четвертичных отложениях с помощью методики выделения сколовых сопряженных трещин [1]. Были проведены дополнительные полевые исследования в 2012, 2015 и 2016 гг. За это время был существенно пополнен банк данных по Хибинскому массиву (тектонофизические исследования в подземных выработках рудника «Кировский»), по Ковдорскому массиву (реконструкция тектонических напряжений по ориентированному керну в скважинах на штаффелитовом месторождении) и в обрамлении массивов центрального типа. К настоящему времени в базу данных внесено более 1000 индикаторов палеонапряжений, в том числе 459 с кинематической информацией на поверхности разрывных нарушений (зеркала скольжения). Все собранные данные были систематизированы и конвертированы для дальнейшего расчета по алгоритму метода катакластического анализа [3]. На основе собранных полевых тектонофизических данных с использованием программы STRESSgeol произведена реконструкция локальных стресс-состояний и соответствующих им геодинамических типов напряженного состояния. В результате получены количественные характеристики этих стресс-состояний: положение осей главных напряжений и коэффициент Лоде-Надаи.

Определение локальных стресс-состояний по Ковдорскому и Хибинскому массивам показало большое разнообразие осей главных нормальных напряжений на обоих массивах. В Ковдорском массиве резко преобладает обстановка горизонтального сдвига и его сочетания. В пределах этого массива характерны различные ориентировки осей главных напряжений и лишь слабо выделяются два направления действия максимального сжатия — северо-западное и север-северо-восточное. В пределах Хибинского массива полученные определения локальных стресс-состояний показали наибольшее разнообразие (рис. 1). Эти определения не дают возможности найти общее поле напряжений ни по одному из массивов.

По сравнению с меняющимися ориентировками осей главных напряжений более устойчив и информативен геодинамический тип напряженного состояния (по положению осей на зенит). На рис. 2 представлены результаты анализа геодинамических типов напряженного состояния по всем определениям локальных стресс-состояний Кольского полуострова (слева), Хибинского массива (в центре) и для Кольского полуострова без Хибинского массива (справа). Хорошо видно, что на Кольском полуострове доминирует режим горизонтального сдвига, а для Хибинского массива режимы горизонтального сдвига и горизонтального сжатия

близки по своей значимости. Полученный небольшой массив данных по геодинамическому режиму Кольского полуострова подтверждает полученные ранее при региональных тектонофизических исследованиях результаты о доминировании геодинамической обстановки горизонтального сдвига (сдвиговое поле напряжений) на восточной части Фенноскандинавского щита [5].

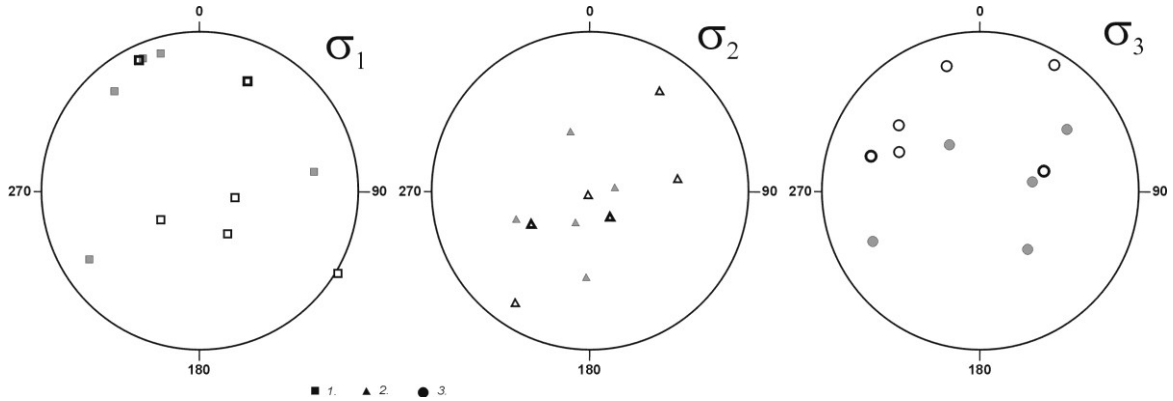


Рис. 1. Круговые диаграммы (стереографическая проекция на верхнюю полусферу) положения осей главных напряжений в пределах рудников Хибинского массива по данным реконструкции локальных стресс-тензоров с использованием метода катакластического анализа. Значками показаны оси сжимающих напряжений: *1* — минимальных (σ_1); *2* — промежуточных (σ_2); *3* — максимальных (σ_3). Цвет заливки значков меняется для определений, полученных на разных рудниках: «Кировский» (черная), «Центральный» (серая), «Восточный» (без заливки с толстой линией) и «Олений ручей» (без заливки с тонкой линией)

Проведенная реконструкция палеострес-состояний в пределах массивов центрального типа показывает контрастность и неоднородность напряженно-деформированного состояния. Причинами могут являться автономная тектоника, поскольку в массивах накапливаются напряжения выше, чем во вмещающей раме, то они могут реализоваться приоритетно и относительно независимо. Существенное влияние оказывает сложная эволюция и характер взаимодействия различных частей массива (интрузивных фаз) с вмещающими породами.

Таблица ориентации осей главных нормальных напряжений Кольского п-ова
(без Хибинского и Ковдорского массивов)

Номер точки	Координаты (с. ш., в. д.)		σ_1		σ_2		σ_3		Тип напряженного состояния	μσ	Этап
16426	67°07.88'	32°29.00'	311	23	48	15	167	62	Горизонтальное растяжение	-0,49	1
12420	67°28.04'	32°25.63'	0	28	126	48	253	29	Горизонтальный сдвиг	-0,06	А
12420	67°28.04'	32°25.63'	226	12	326	40	123	48	Горизонтальное растяжение со сдвигом	-0,2	Б
12421	67°28.04'	32°25.62'	213	10	318	53	117	35	Горизонтальный сдвиг	0,19	1
12422	67°30.61'	32°20.73'	160	17	260	30	44	54	Горизонтальное растяжение	-0,23	1
12403	67°34.78'	32°30.60'	12	0	282	90	102	0	Горизонтальный сдвиг	0,12	1
12417	67°35.95'	31°09.87'	54	0	324	74	144	17	То же	-0,05	А
12417	67°35.95'	31°09.87'	300	6	201	59	34	31	«	0,07	Б
12407	67°36.49'	32°01.27'	54	0	324	68	144	22	«	-0,09	1
12418	67°37.26'	31°10.30'	300	6	76	82	210	6	«	-0,05	1
10524	68°22.05'	33°22.19'	236	22	138	84	139	16	«	0,15	1
16433	68°54.63'	33°08.01'	214	52	341	25	84	27	Горизонтальное сжатие	-0,03	1
16432	68°54.63'	33°07.92'	178	25	290	40	65	41	Горизонтальное растяжение со сдвигом	-0,07	1
16431	68°54.70'	33°07.85'	292	0	22	61	202	30	Горизонтальный сдвиг	-0,1	1
16434	68°55.65'	33°09.09'	229	46	337	17	82	39	Сдвиг в вертикальной плоскости	0,38	1
10523	68°55.97'	33°05.34'	114	6	238	80	23	9	Горизонтальный сдвиг	-0,08	1

Примечание: σ_1 — минимальное (девиаторное) растяжение, σ_2 — промежуточное и σ_3 — максимальное сжимающее напряжене, μσ — коэффициент Лоде — Надаи для реконструированных методом катакластического анализа этапов деформирования.

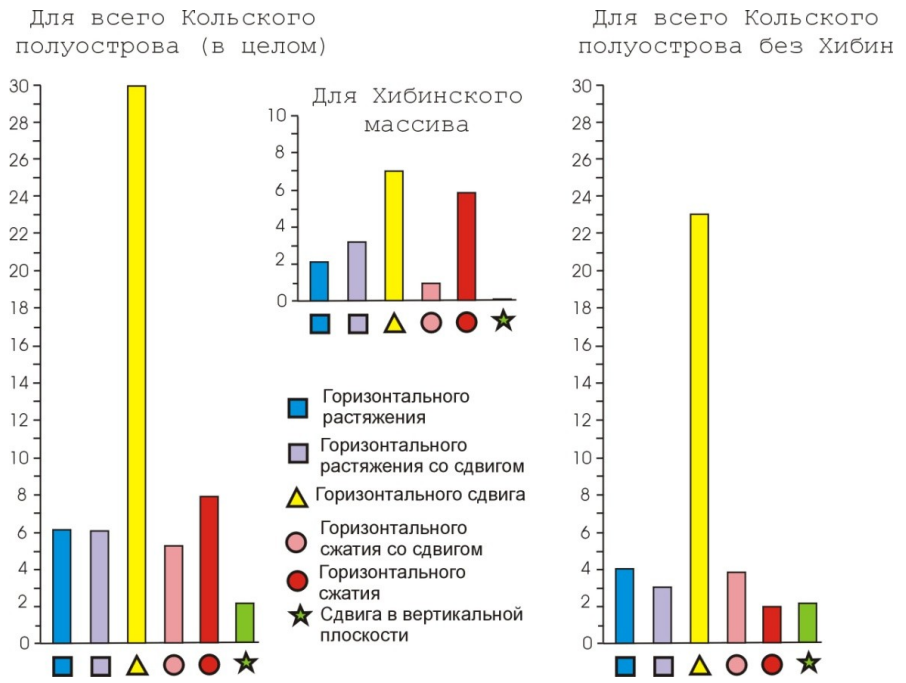


Рис. 2. Геодинамические типы напряженного состояния в пределах Кольского п-ова по данным реконструкции геологических индикаторов напряжения. На диаграммах показано количество локальных стресс-состояний с определенным типом напряженного состояния

Литература

1. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.
2. Гущенко О. И. Кинематический принцип реконструкции направлений главных напряжений (по геологическим и сейсмологическим данным) // ДАН СССР, сер. геофиз. 1975. Т. 225. № 3. С. 557–560.
3. Ребецкий Ю. Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов. М.: Академкнига. 2007. 406 с.
4. Реконструкция палео- и современных напряжений на Ковдорском бадделеит-апатит-магнетитовом месторождении / Д. В. Жиров и др. // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: материалы докл. Третьей тектонофизической конф. М.: ИФЗ РАН, 2012. Т. 2. С. 299–303.
5. Сим Л. А. Влияние глобального тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Европы // М. В. Гзовский и развитие тектонофизики. М.: Наука, 2000. С. 326–350.
6. Сим Л. А., Жиров Д. В., Маринин А. В. Реконструкция напряженно-деформированного состояния восточной части Балтийского щита // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т. 2, № 3. С. 219–243.

З. И. Слуковский[1], В. А. Даувальтер[2]

[1]*Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, slukovsky87@gmail.com*

[2]*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, vladimir@inep.ksc.ru*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКАНИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА В ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОЕМОВ СЕВЕРА РОССИИ

Современным исследователям, занимающимся проблемами загрязнения окружающей среды, необходимо использовать любые новые аналитические возможности, позволяющие глубже понимать природу поведения тех или иных загрязняющих веществ (ЗВ) в основных компонентах лито-, гидро- и биосферы. Одними из таких ключевых компонентов являются донные отложения (ДО) водных объектов любого ранга и величины, учитывая, что они тесно связаны со всеми указанными оболочками Земли. Многочисленные работы авторов данной публикации связаны с изучением процессов накопления тяжелых металлов (ТМ) как наиболее опасных загрязнителей окружающей среды в ДО водных объектов, расположенных на территории Мурманской обл. и Республики Карелии [3, 4, 9, 10–12]. Попадая в водную среду от антропогенных источников (промышленные предприятия, транспорт, сельское хозяйство) и далее в пресноводные осадки, ТМ неизбежно влияют на развитие гидробионтов, что приводит к деградации их видового состава, уменьшению численности и биомассы, а также накоплению ЗВ в их телах. Конечным звеном в миграции загрязнителей по цепям питания живых организмов может быть человек.

Стоит отметить, что на формирование химического состава ДО водных объектов значительное влияние оказывают геохимические особенности коренных пород исследуемой территории (природный фактор), поэтому определение техногенного статуса ТМ является важнейшей задачей экологической геохимии. Аномальные концентрации ЗВ могут быть связаны не только с антропогенной нагрузкой на гидроэкосистемы, но и с естественным природным фоном исследуемых микроэлементов, входящих в качестве примесей в состав различных минералов. ТМ (Pb, Cd, As, Ni, V и т. д.) и другие потенциально экологически опасные элементы (U, Cs) входят в качестве примесей в различные минеральные образования, имеющие магматический, метаморфический, гидротермальный или другой генезис, и являются основными источниками поступления указанных выше микроэлементов в поверхностные воды, ДО и почвы. Подобные исследования особенно актуальны, когда речь идет о проведении эколого-геохимических работ на техногенно нарушенных, в том числе урбанизированных территориях и промышленных зонах [6], так как аномально высокие концентрации того или иного элемента могут иметь двойственную природу, связанную, как с геологическим, так и с антропогенным фактором (рис. 1).

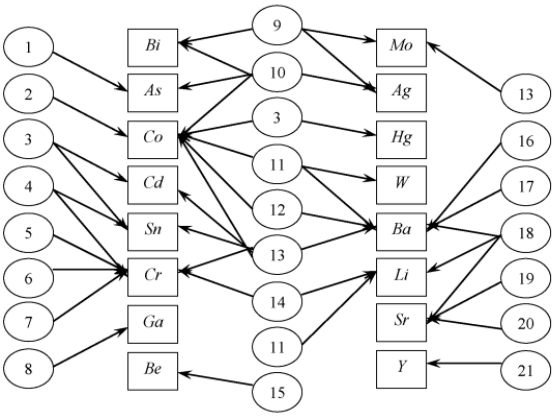


Рис. 1. Микроэлементы, поступающие с примесями минералов в ДО урбанизированных аквасистем Подмосковья:
1 — марказит, 2 — доломит, 3 — сфалерит, 4 — ратовкит, 5 — ильменит, 6 — магнетит, 7 — галлуазит, 8 — гиббсит, 9 — галенит, 10 — пирит, 11 — вад, 12 — асболан, 13 — минералы семейства кремнеземы, 14 — турмалин, 15 — альмандин, 16 — полевые шпаты, 17 — каолинит, 18 — гидробиотит, 19 — ангидрит, 20 — кальцит, 21 — монациты [6]

С точки зрения экологической интерпретации результатов исследований, описанных разными авторами, используются процедуры биоиндикации [5], связанной с выявлением реакции повышенных концентраций элементов на жизнедеятельность определенных организмов, нормирование по фоновому содержанию изучаемого элемента или по концентрации индикационных элементов, в роли которых могут выступать Fe, Al, Ca, Li, Cs [1, 2, 13, 14], а также определение форм нахождения элементов, в первую очередь, легкорастворимых (водорастворимых, подвижных и связанных с карбонатами и образованиями Fe и Mn) [15].

Кроме указанных методов и подходов широкое применение в изучении ДО водных объектов Севера России, может найти электронная микроскопия с дополнительной возможностью анализа состава исследуемого вещества современных осадочных образований. Аналогичные работы уже проводились на Кольском п-ове, в том числе с участием авторов [7, 8]. В данной публикации представляются новые данные по исследованию ДО небольшого

оз. Ламба, расположенного в черте г. Петрозаводска (Республика Карелия), и крупнейшего озера Мурманской обл. Имандра. Изучение образцов проб ДО осуществлялось при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) VEGA II LSH с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 на базе аналитической лаборатории Института геологии КарНЦ РАН (Петрозаводск). Важным методическим моментом при изучении образцов проб стало увеличение времени набора спектра в точках анализа до 600 с (вместо «стандартных» 60–90), что определило относительно положительный результат проведенных исследований.

Результаты исследования ДО оз. Ламба выявили значительное накопление V в изученных пресноводных осадках [10]. Отмечается более чем 40-кратное превышение содержания этого элемента над региональным геохимическим фоном, что стало следствием длительного загрязнения экосистемы оз. Ламба выбросами Петрозаводской ТЭЦ, расположенной в 0,5 км от водоема и использующей в качестве топлива мазут. Химический анализ позволил также установить корреляцию между концентрациями в ДО V и ряда других элементов, в том числе Fe и P. В оз. Ламба ДО на глубине от 0 до 55 см представлены органо-железистыми и лимонитовыми сапропелями, в которых концентрация суммарного Fe колеблется от 9,1 до 23,8 %. Основными минералами-концентраторами V выступают железистые образования (гётит, лимонит, в меньшей степени — вивианит). Концентрация V в них может достигать 0,9 вес. %, где наряду с S, Si, P, Al и Ca, V выступает в роли примесного элемента, адсорбированного минералами Fe (рис. 2).

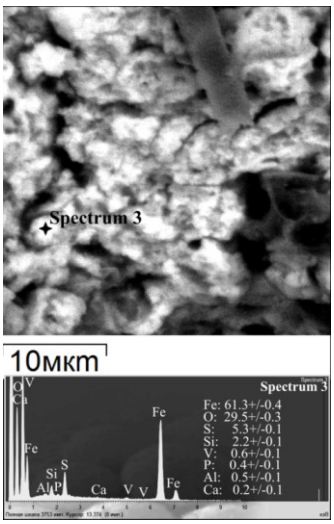


Рис. 2. Электронное изображение железистых образований ДО оз. Ламба и их химический состав

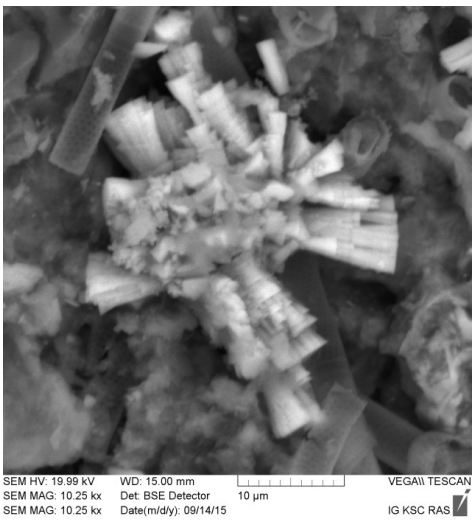


Рис. 3. Электронное изображение кристалла вивианита из ДО оз. Ламба (Петрозаводск)

Незначительное содержание V (около 0,1 вес. %) обнаружено в химическом составе вивианита — фосфата Fe, образующегося в восстановительных условиях при непосредственном участии микроорганизмов (рис. 3).

Анализ нескольких образцов ДО оз. Имандра с высоким содержанием Fe (до 32 %) и в ряде случаев P установил, что Fe в основном связано с минералом магнетитом, а вернее его разновидностью Cr-магнетитом (рис. 4), в котором содержание Cr колеблется примерно от 5 до 10 %. Источниками сноса этих минералов могут быть породы Мончегорского плутона и Оленегорские железистые кварциты. В отдельных зернах обнаружены примеси Ni и Cu, что может быть связано с антропогенным фактором формирования химического состава ДО оз. Имандра, учитывая, что именно эти ТМ являются основными ЗВ озер Мурманской обл. [3, 4, 12]. Кроме того, в ДО оз. Имандра изучены единичные зерна таких минералов, как касситерит, самородное серебро, барит и биотит, в которых обнаружены примеси ТМ (Pb, Zn, Cu, W). Скорее всего, эти примеси имеют природное происхождение.

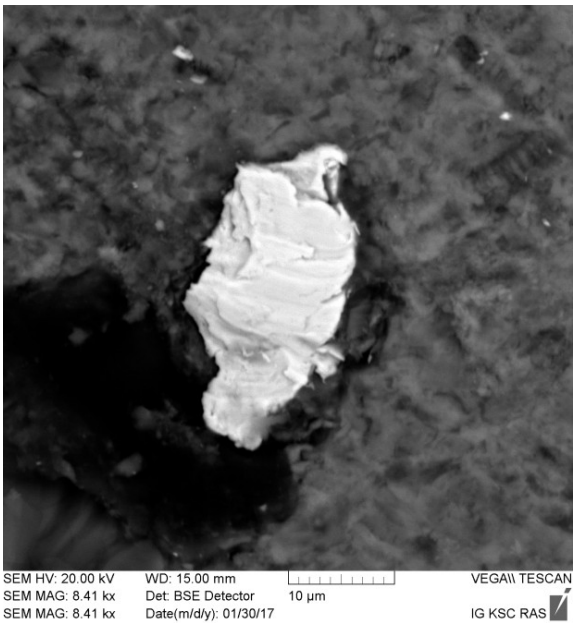


Рис. 4. Электронное изображение Cr-магнетита с содержанием хрома более 10 % и присутствием Ni в количестве 0,2 % из ДО оз. Имандра (Зашеечная губа)

Таким образом, применение сканирующего электронного микроскопа с дополнительным микроанализатором при проведении эколого-геохимических исследований может выявить как основные фазы-носители ЗВ в ДО, так и природные примеси ТМ в различных минералах, входящих в состав исследуемых геологических образцов. Безусловно, основной интерес в этом случае представляют исследования водных объектов, подверженных антропогенной нагрузке, однако подобный анализ необходим для условно чистых районов для оценки уровня природного фона того или иного элемента в современных осадочных формациях.

Литература
1. Водяницкий Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный и-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008. 164 с.
2. Гапеева М. В., Законнов В. В., Гапеев А.А. Локализация и распределение тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ Верхней Волги // Водные ресурсы. 1997. № 2. С. 174–180.
3. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
4. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А., Денисов Д. Б. Тенденции изменения содержания тяжелых металлов в донных отложениях озер Севера Фенноскандии в последние столетия // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 9. С. 62–75.
5. Ивантер Э. В., Медведев Н. В. Экологическая токсикология природных популяций птиц и млекопитающих Севера. М.: Наука, 2007. 229 с.
6. Латушкина Е. Н., Рассказов А. А. Минералогический генезис микроэлементов современных донных осадков рек урбанизированных территорий, испытывающих высокую техногенную нагрузку (на примере Москвы-реки и малых рек Московской области) // Вестник Бурятского государственного университета. 2013. № 4. С. 16–24.
7. Нерадовский Ю. Н., Даувальтер В. А., Савченко Е. Э. Генезис фрамбоидального пирита в современных осадках озер (Кольский полуостров) // ЗРМО. 2009. Ч. CXXXVIII, № 6. С. 50–55.
8. О кристаллах вивианита в донных отложениях Онежского озера / А. С. Медведев и др. // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии: 2 т.: тр. IX междунар. биогеохим. шк. Барнаул, 2015. Т. 1. С. 256–258.
9. Свидетельства цирконовой природы кадмиевых аномалий в донных отложениях литорали северной части Ладожского озера / Э. В. Ивантер и др. // ДАН. 2016. Т. 468, № 5. С. 562–565.
10. Слуковский З. И., Медведев А. С. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях озер Четырехверстного и Ламбы (г. Петрозаводск, Республика Карелия) // Экологическая химия. 2015. № 1. С. 56–62.
11. Слуковский З. И., Светов С. А. Геохимические индикаторы техногенного загрязнения донных отложений малых рек в урбанизированной среде // География и природные ресурсы. 2016. № 1. С. 38–45.
12. Chemical composition of lake sediments along a pollution gradient in a Subarctic watercourse / V. Dauvalter et al. // J. Environmental Science and Health, part A. 2011. № 46. P. 1020–1033.
13. Loring D. H. Lithium — a new approach for the granulometric normalization of trace metal data // Marine Chemistry. 1990. Vol. 29. P. 155–168.
14. Regional background concentrations of heavy metals (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) in coastal sediments of the South Sea of Korea / Y. Song et al. // Science of The Total Environment. 2014. Vol. 482–483. P. 80–91.
15. Tessier A., Campbell P., Bisson M. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals // Analytical chemistry. 1979. Vol. 51, No. 7. P. 844–851.

В. А. Токарева, В. С. Кузнецов
Воронежский государственный университет, Воронеж, vikaczech@gmail.com, voronezhpodkl@inbox.ru

ХАРАКТЕРИСТИКА ШЛИХОВЫХ МИНЕРАЛОВ БЕЛОРЕЧЕНСКОГО ПОЛИГОНА ПРАКТИК (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

Шлиховая съемка является одним из важнейших методов поисков россыпных месторождений полезных ископаемых. Вместе с тем, изучение минералов шлихов как легкой, так и тяжелой фракции позволяет решать важные генетические вопросы, в частности установление областей питания и проводить реконструкцию палеофациальных условий условий седиментации. Материалы для данного исследования были получены при проведении полевых исследований 2016 г. в районе Белореченского полигона практик, расположенного в среднем течении бассейна реки Белой, в 59 км южнее г. Майкоп на трассе Майкоп — Гузерипль. Было отобрано для изучения три шлиховых пробы: из р. Белая и ее правых притоков — р. Сюк и руч. Кленовый, расположенных в районе базы практик ЮФУ «Белая речка»,

В геологическом строении района принимает участие широкий спектр разновозрастных (палеозой-мезозой) метаморфических (преобладают кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы), осадочных (песчаники, аргиллиты, известняки) и магматических пород (серпентиниты по ультраосновным породам, гранитоиды) [2, 3].

Отобранные шлиховые пробы были перечищены в чашках с использованием тяжелой жидкости (бромоформ) и проведена магнитная и электромагнитная сепарация. Полученные минеральные фракции, различные по физическим свойствам, изучались под бинокуляром с отбором минеральных зерен для проведения микрорентгеноспектральных исследований. Результаты исследований показали, что шлиховые пробы характеризуются значительным разнообразием минерального состава. Ниже приводится характеристика шлиховых минералов Белореченского полигона практик.

Пирит. В изученных шлиховых пробах пирит представлен кристаллами латунно-желтого цвета, с побежалостью, кубического облика, отмечается штриховка на гранях (руч. Сюк). Также встречаются угловатые обломки кристаллов с раковистым изломом (рис. 1, а) и окатанные сростки мелких (20–40 мкм) кристаллов пирита. Химический состав пирита близок к стехиометрическому. Отмечаются незначительные примеси висмута и цинка.

Халькопирит в шлихах встречается редко. Среди изученных проб встречено одно зерно неправильной угловатой формы (руч. Сюк) латунно-желтого цвета, с пестрой побежалостью и зеленоватым отливом. В химическом составе халькопирита отмечается примесь молибдена (1 %).

Сфалерит. В изученных шлиховых пробах встречено единичное зерно (руч. Сюк). Представляет собой вытянутый призматический кристалл со ступенчатым изломом (выколки по спайности) коричневого цвета. Учитывая малую миграционную способность сульфидов в водных потоках (первые километры) следует предположить близость коренных источников сноса к местам пробоотбора.

Магнетит. Встречен во всех изученных шлиховых пробах, чаще всего в виде кристаллов октаэдрической формы. В пробе из р.Белой встречены кристаллы неправильной формы и обломки кристаллов, часто окатанные, черного цвета. В пробе из руч. Кленовый магнетит представлен кристаллами октаэдрического габитуса (рис. 1, б) черного цвета. В пробе из руч. Сюк встречаются агрегаты кристаллов магнетита в виде сплошных зернистых масс округлой формы. Химический состав магнетита близок к стехиометрическому.

Хромит встречен в шлиховой пробе из руч. Сюк. Представлен обломками кристаллов неправильной формы, часто трещиноватыми, просвечивающими красно-коричневым цветом. Химический анализ (табл. 1) показал наличие примесей марганца, магния и алюминия.

Рутил отмечается во всех исследованных шлиховых пробах. Представлен длиннопризматическими (дитетрагональная призма) (рис. 1, в) столбчатыми кристаллами и их обломками, и кристаллами неправильной формы, часто окатанными зернами темно-вишневого или густо-красного цвета (центральные зоны кристаллов характеризуется более яркой окраской, чем краевые). Химический состав рутила близок к стехиометрическому (табл. 1).

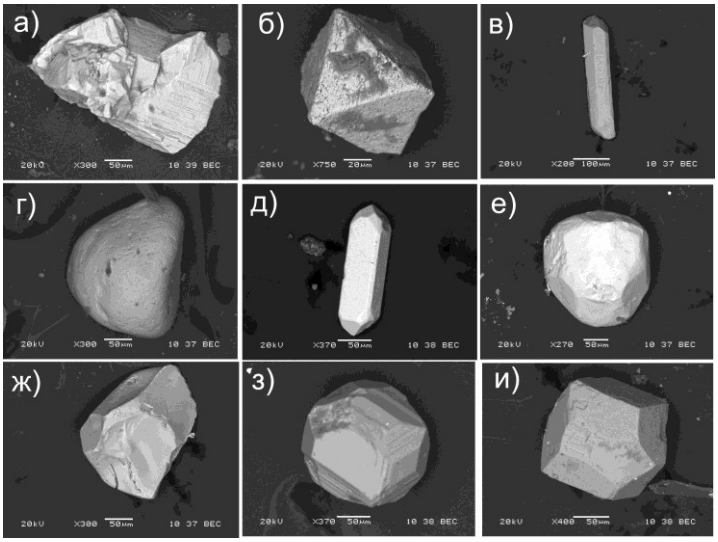


Рис. 1. Минералы шлихов Белореченского полигона практик
(растровый электронный микроскоп — Jeol 6380 LV, ВГУ, аналитик — Н. С. Базиков)

Таблица 1

Химические составы шлиховых минералов, мас. %

Химическое соединение	Ильменит	Рутил	Циркон	Циркон	Циркон	Хромит
MgO	1,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
Al_2O_3	0,5	0,00	0,00	0,22	0,00	3,94
SiO_2	0,00	0.36	28,88	30,13	28,72	1,08
CaO	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO_2	52,75	98,07	0,00	0,00	0,00	0,00
V_2O_5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr_2O_3	0,83	0,00	0,00	67,58	0,00	65,32
MnO	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	1,34
FeO	42,96	0,78	0,00	0,00	0,00	27,28
ZrO_2	0,00	0,00	67,94	0,00	65,10	0,00
Ce_2O_3	0,00	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00
HfO_2	0,00	0,00	2,46	2,07	1,26	0,00
Сумма	99,54	99,21	100,00	0,00	95,08	97,86

Примечание. Химические составы минеральных фаз были получены с помощью энергодисперсионной приставки INCA 250 (ВГУ), аналитик Н. С. Базиков.

Ильменит в изученных пробах встречается достаточно часто как в виде угловатых обломков кристаллов черного цвета с раковистым изломом (р. Белая), так и в виде окатанных округлых зерен, измененных экзогенными процессами, непрозрачных, коричневого цвета (рис. 1, г, ж). Химический анализ (табл. 1) показал в неокатанных кристаллах наличие значимых примесей Mg и Cr, что может свидетельствовать о попадании ильменита в шлихи из ультраосновных пород, развитых в районе проводимых работ. В то же время окатанные зерна сильно изменены (лейкоксенизированны), что указывает на их длительное нахождение в экзогенных условиях. Сильная окатанность зерен ильменита, их гладкая поверхность характерна для прибрежно-морских россыпей, в то время как в аллювии ильменит обычно слабо или вовсе не окатан [4]. Указанные особенности свидетельствует о поступлении их в шлихи из пород промежуточного коллектора, в роли которого могут выступать юрские песчаники, представленные в районе работ.

Апатит. В шлихах (руч. Сюк) встречен в виде обломков кристаллов неправильной формы бледно-зеленого цвета. Неокатанность зерен указывает на незначительное расстояние переноса. По химическому составу соответствует фторапатиту.

Циркон описан во всех шлиховых пробах. Выделяется два различных его типа. Первый тип представлен преимущественно хорошо оформленными длиннопризматическими полупрозрачными кристаллами желто-коричневого оттенка (рис. 1, д) с дипирамидальными окончаниями (цирконовый тип). Коэффициент удлинения составляет 4–8. Ко второму типу относятся реже встречающиеся слабоокатанные изометричные формы широкого разнообразия как насыщенного желто-коричневого цвета, так и прозрачные с коэффициентом удлинения 1–2 (рис. 1, е). Цирконы из гранодиоритов и диоритов характеризуются сложной огранкой вершин кристаллов с острыми дипирамидами, с коэффициентом удлинения, близким к 2, и отношением Zr/Hf = 29,6–38,5 (описаны в пробе из руч. Кленовый). Циркон короткопризматического облика с коэффициентом удлинения меньше 2 характерен для щелочных пород, в нем отмечается повышенное отношение Zr/Hf = 51 (описаны в пробе из р. Белая). Циркон удлиненно-призматической формы с коэффициентом удлинения 8–12 типичен для приконтактовых частей интрузий и жильных пород (руч. Кленовый) и характеризуется отношением Zr/Hf = 71,2. Таким образом, установлены различия в химическом составе выделенных типов цирконов. В частности, наиболее высокие отношения Zr/Hf характерны для полупрозрачных цирконов удлиненно-призматической формы с коэффициентом удлинения 8–12 и непрозрачных цирконов короткопризматического облика с коэффициентом удлинения меньше 2. Цирконы из гранитов, с коэффициентом удлинения, близким к 2, характеризуется пониженными отношениями Zr/Hf.

Барит. В изученных шлихах встречается часто (в пробе из руч. Сюк преобладает) в виде призматических кристаллов и их окатанных обломков белого цвета. Столь хорошая сохранность зерен свидетельствует о незначительной удаленности коренного источника (первые километры) [4], так как барит относится к минералам малой миграционной способности.

Гранаты встречены во всех изученных шлиховых пробах. Представлены преимущественно хорошо образованными изометричными кристаллами, реже — окатанными зернами неправильной формы и угловатыми обломками кристаллов с раковистым изломом. По результатам химического анализа (табл. 2) выделяется три группы гранатов (рис. 2).

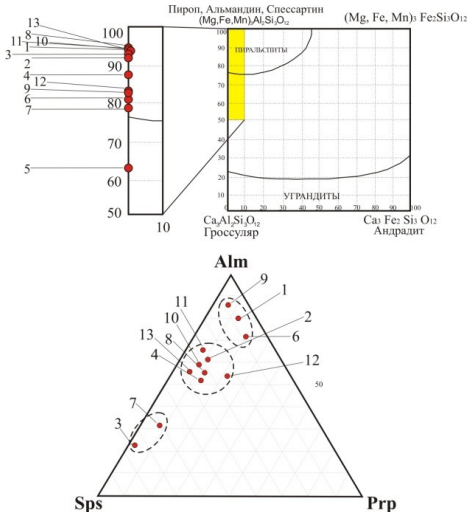


Рис. 2. Положение составов гранатов на диаграммах пиральспиты-гроссуляр-андрадит [1] и Prp-Alm-Sps

Первая группа, с преобладанием альмандинового минала, характеризуется насыщенным желто-оранжевым цветом, представлена как зернами неправильной формы, так и окатанными. Гранаты альмандинового состава, вероятнее всего, попали в шлихи при разрушении метаморфических пород Даховского кристаллического массива. В то же время окатанные зерна (руч. Сюк) свидетельствуют об их длительном

нахождении в экзогенных условиях и указывают на размыв промежуточного коллектора, в роли которого могут выступать встречающиеся на площади водосбора юрские песчаники. Ко II группе относятся наиболее часто встречающиеся гранаты альмандин-спессартинового состава, представленные правильными кристаллами красно-коричневого цвета (рис. 1, з). Гранаты такого состава часто являются акцессорными минералами гранитов и пегматитов. В III группу отнесены гранаты с преобладанием спессартинового компонента. Представлена хорошо образованными кристаллами ярко-оранжевого цвета (рис. 1, и). Спессартин является характерным минералом гранитных пегматитов. Гранаты II и III групп, вероятнее всего, попадали в шлихи из гранитоидов Даховского кристаллического массива.

Таблица 2

Химические составы гранатов, мас. %

SiO_2	35,75	37,99	32,91	37,9	32,77	40,06	37,64	39,51	38,41	40,26	37,55	38,51	36,43
Al_2O_3	19,96	21,52	18,37	22,31	17,55	22,17	21,13	22,56	21,85	22,3	20,99	22,5	20
FeO	36,32	25,66	21,65	22,05	25,7	25,88	13,77	23,03	29,84	23,42	27,42	21,7	26,13
MnO	3,36	9,84	24,62	12,55	13,09	2,35	19,42	11,02	2,83	10,78	10,6	8,11	14,13
MgO	2,87	2,18	0,62	2,62	0,86	3,8	1,26	2,35	1,32	1,72	1,51	4	1,51
CaO	1,75	2,49	1,7	3,89	10,02	5,77	6,61	1,53	5,51	1,52	1,93	5,19	1,8
Миналы, %													
Andr	0,01	0,00	0,02	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Grs	0,05	0,07	0,04	0,11	0,21	0,17	0,19	0,05	0,17	0,05	0,06	0,15	0,05
Alm	0,79	0,54	0,19	0,41	0,20	0,55	0,23	0,48	0,70	0,51	0,60	0,41	0,50
Sps	0,08	0,23	0,63	0,29	0,34	0,06	0,45	0,28	0,07	0,28	0,25	0,19	0,33
Prp	0,12	0,09	0,03	0,11	0,04	0,16	0,05	0,10	0,06	0,08	0,06	0,16	0,06

Примечание. Химические составы минеральных фаз были получены с помощью энергодисперсионной приставки INCA 250 (ВГУ), аналитик Н. С. Базиков.

Таким образом, изучение минералов шлихов, их морфологии и особенностей химического состава позволяют сделать вывод о разнообразии коренных пород в областях денудации как магматических различного петрографического состава, так и метаморфических и осадочных, последние из которых являются промежуточным коллектором для современных россыпных минералов.

Литература

1. Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. М.: Изд-во иностран. лит., 1953. 561 с.
2. Грановский А. Г., Закрутин В. В. Метаморфические комплексы и магматические формации Белореченского полигона геологической практики: в 2 ч. Ч. I. Ростов на/Д: Изд-во РГУ, 1997. 345 с.
3. Грановский А. Г., Закрутин В. В. Метаморфические комплексы и магматические формации Белореченского полигона геологической практики: в 2 ч. Ч. II. Ростов на/Д: Изд-во РГУ, 1997. 294 с.
4. Родыгина В. Г. Шлиховые поиски и минералогия россыпей (шлиховой метод): учеб. пособие. Томск: Изд-во науч.-техн. лит., 2007. 402 с.

В. Т. Филатова

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, filatova@geoksc.apatity.ru

ЦАГИНСКИЙ ГАББРО-ЛАБРАДОРИТОВЫЙ МАССИВ: ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ

Цагинский массив, расположенный в пределах северо-востока Балтийского щита и представленный титаномагнетитовыми рудами с попутным ванадием, на протяжении многих лет привлекает внимание исследователей как с точки зрения своего строения, так и рудоносности. Ранее при поисках богатых руд в районе исследований работы проводились фрагментарно. Внимание преимущественно уделялось изучению близповерхностных магнитных даек, которые имеют незначительное распространение. В силу этого не было получено полного знания о структуре массива и, в итоге, постоянно возникали противоречивые мнения о его глубинном строении и рудоносности. Для района Цагинского массива автором впервые была осуществлена интерпретация гравитационного поля в трехмерном варианте с использованием сейсмических данных в целях изучения его глубинного строения. Полученные результаты позволили впервые получить количественные оценки глубины залегания подошвы массива и оценить масштабы его простирания, а также выделить в пределах массива тела с аномальной плотностью, которые можно объяснить присутствием пород с богатым титаномагнетитовым оруденением.

Цагинский массив расположен в юго-западной краевой части Кейвской структуры, имеет неоархейский возраст, приурочен к глубинному разлому меридионального простирания: с запада ограничен гнейсогранитами Центрально-Кольского блока, а с юга — Панским массивом (рис. 1). Строение глубинной части массива не изучено. Центральная часть массива сложена крупно- и гигантозернистыми габбро, лабрадоритами и существенно титаномагнетитовыми рудами [6]. Слои титаномагнетитовых руд чередуются в разрезе с гигантозернистыми габбро и лабрадоритами. При этом эндоконтактовые зоны сложены среднезернистыми габбро и габбро-норитами со шлирами вкрапленных титаномагнетитовых руд. Ранее допускалось, что подошва Цагинского массива имеет желобообразную форму, протягивающуюся в меридиональном направлении с падением бортов к центру под углом 30–40° [6].

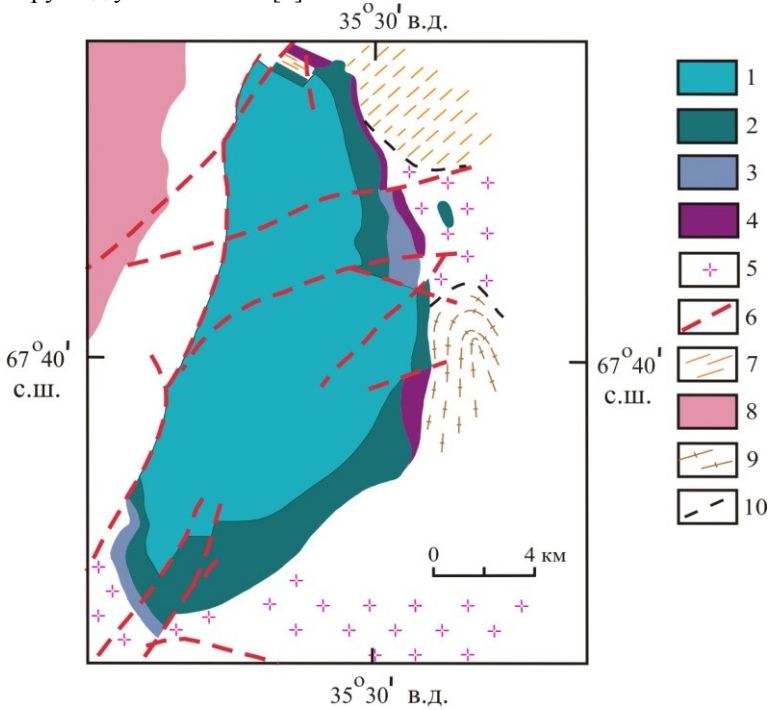


Рис. 1. Схема геологического строения Цагинского массива:
1 — габбро-лабрадориты, лабрадориты; 2 — преимущественно габбро и габбро-нориты «краевого комплекса»; 3 — сиенитизированные габбро и габбро-нориты «краевого комплекса»; 4 — сиениты, гранито-сиениты; 5 — щелочные граниты; 6 — гнейсы Кейвской структуры; 7 — нерасчлененный комплекс биотитовых, биотит-амфиболовых, амфиболовых гнейсов; 8 — плагиомикроклиновые и микроклин-плагиоклазовые граниты Центрально-Кольского блока; 9 — разрывные нарушения; 10 — условные границы

На территории распространения массива в разные периоды было выполнено бурение (до 200–300 м) и комплекс геофизических работ (сейсморазведка, гравитационные и магнитные съемки, электроразведка). Систематизация петрофизических данных по району показала, что титаномагнетитовые руды массива обладают повышенной плотностью по сравнению с вмещающими породами [1, 7]. Плотность изменяется в следующих интервалах, г/см^3: руды сплошные — 4,33–4,69; богатые вкрапленные — 3,81–4,26; бедные вкрапленные — 2,77–3,77; лабрадориты — 2,75–2,80; габбро-лабрадориты — 2,83–2,96; габбро крупнозернистые — 2,80–2,98; габбро и габбро-нориты среднезернистые — 2,82–3,15. Плотность пород обрамления Цагинского массива изменяется в интервале — 2,58–2,67 г/см^3. По данным бурения выявляется специфическая особенность месторождения: с глубиной количество титаномагнетитовых слоев и их мощность увеличивается [2, 4].

Как показали исследования обогатимости титановых руд региона, для получения высококачественных титаномагнетитовых концентратов при высокой степени извлечения (до 80 %) руды Цагинского массива находятся в группе наиболее перспективных (состав концентратов, вес. %: $Fe_{вал}$ — 58–59, TiO_2 — 11–12, V_2O_5 — 0,5) [4]. Несмотря на большой комплекс работ, выполненный в пределах массива, слабая обнаженность и недостаточная разведанность не позволили осуществить интерпретацию внутреннего строения столь интересного объекта в полной мере и сформировать более точное представление о его морфологии, геолого-структурной позиции и его рудоносности.

В целях изучения общей структуры Цагинского массива и ориентировки будущих поисково-разведочных работ была построена объемная плотностная модель района исследований. В качестве исходных данных использовалось наблюденное поле Δg масштаба 1:50000, данные бурения и результаты сейсморазведочных работ МОГТ. Построение вероятностного распределение гравиактивных масс под поверхностью наблюдения проводилось с учетом имеющихся данных о геологическом строении массива, плотностных характеристик пород и руд, а также полученных оценок мощности массива.

Для оценки глубины залегания подошвы Цагинского массива использовались корреляционные методы интерпретации геофизических аномалий [3]. При прогнозировании опорного рельефа, описывающего нижнюю границу гравиактивного слоя Цагинского массива, было использовано 27 эталонных точек, в каждой из которых задавалось значение поля; $\Delta g\ (x, y)$ и глубина залегания нижней кромки массива $H\ (x, y)$, которая была оценена по данным сейсморазведки. Построенный прогнозный рельеф нижней кромки Цаги показал, что мощность массива может достигать 3,0–3,5 км (рис. 2). В плане рельеф имеет форму, вытянутую в меридиональном направлении. В целом наблюдается корреляция с проводимой на поверхности границей габбро-лабрадоритового массива, но при этом гравиактивная толща продолжается в северном и восточном направлении за пределы границ массива, устанавливаемых на эрозионной поверхности. По конфигурации рельефа интрузив можно разделить на две области — северную и южную, которые смещены относительно друг друга в широтном направлении и их мощность может достигать 3,5 км. В западной части массива, на границе с гранитогнейсами Центрально-Кольского блока, мощность повсеместно не превышает 2,5 км; в центральной его части (в зоне смещения северного и южного секторов массива) мощность около 3 км.

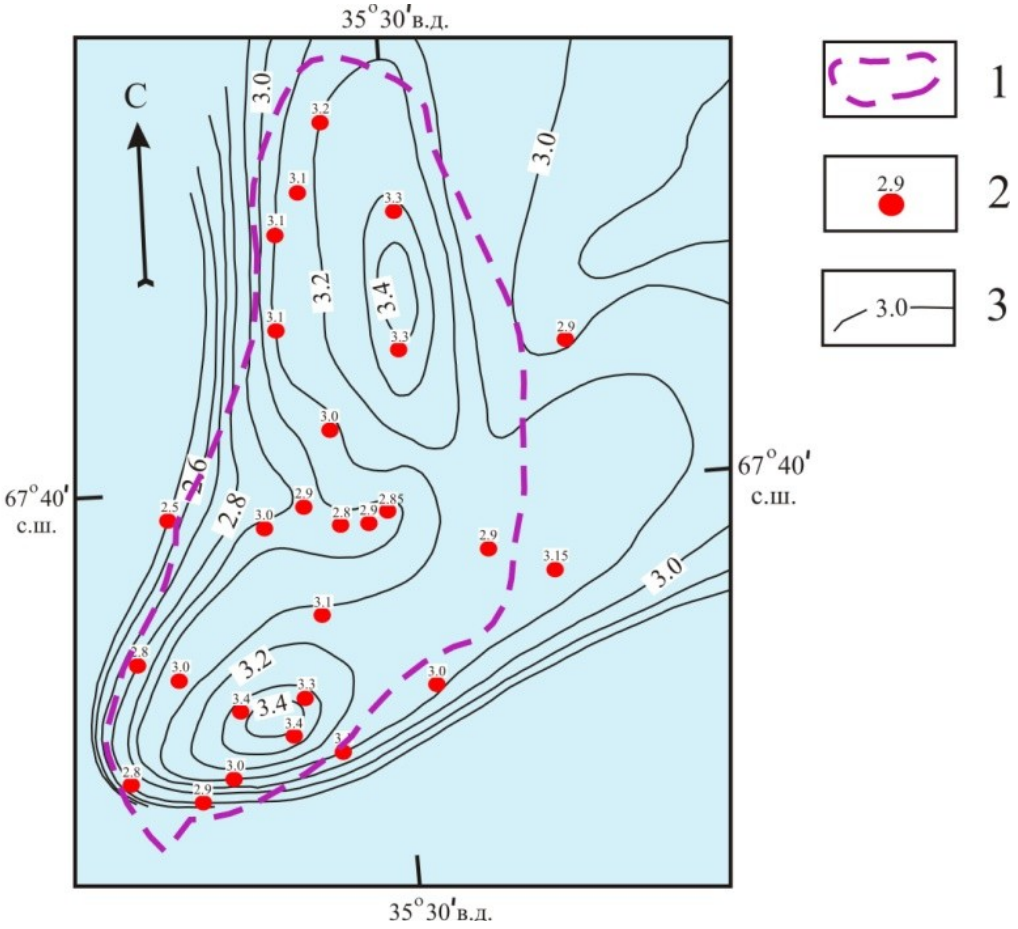


Рис. 2. Прогнозная оценка глубины залегания нижней границы Цагинского массива, полученная в результате применения корреляционных методов интерпретации:
1 — граница массива, показанная на схеме геологического строения района (рис. 1);
2 — положение эталонной точки и мощность массива, км; 3 — изолинии опорного горизонта, км

В целях исключения влияния регионального фона, обусловленного глубинным строением района исследования, а также выделения гравитационного эффекта непосредственно Цагинского массива дополнительно был рассчитан вертикальный градиент силы тяжести — W_{zz} по значениям исходного поля Δg. Поскольку в наблюдаемых аномалиях Δg отражения отдельных особенностей строения региона наложены друг на друга и смешаны, использование карт W_{zz} позволяет более четко очерчивать контуры локальных объектов. При этом распределение локальных аномалий вертикального градиента может подчеркнуть простирание геологических объектов, которое затушевано в исходных данных более сильными аномалиями другого простирания.

Схема распределения значений рассчитанного вертикального градиента силы тяжести на территории изучаемого района (рис. 3) показала, что в пределах Цагинского массива четко выделяется гравитационный эффект двух крупных блоков, расположенных в северной и южной частях массива. Распределение положительных изолиний градиента W_{zz} позволяет уверенно очертить контуры этих локальных объектов.

Результаты расчетов показывают, что блоки смещены относительно друг друга, северный блок имеет меридиональное простирание, а южный — по направлению «юго-запад — северо-восток». Выделенные блоки вносят основной вклад в гравитационное поле района, а в наблюдаемых аномалиях W_{zz} преимущественно находит отражение влияние нижнего и среднего горизонтов гравиактивной толщи Цаги. При этом гравитационный эффект от северного блока распространяется в северном направлении, а от южного — в северо- восточном направлении за пределы известных границ массива на значительное расстояние. В центральной части массива участок слабых отрицательных аномалий градиента W_{zz}, разделяющий выделенные блоки, маркирует область утонения Цагинского массива и имеет северо-восточное простирание.

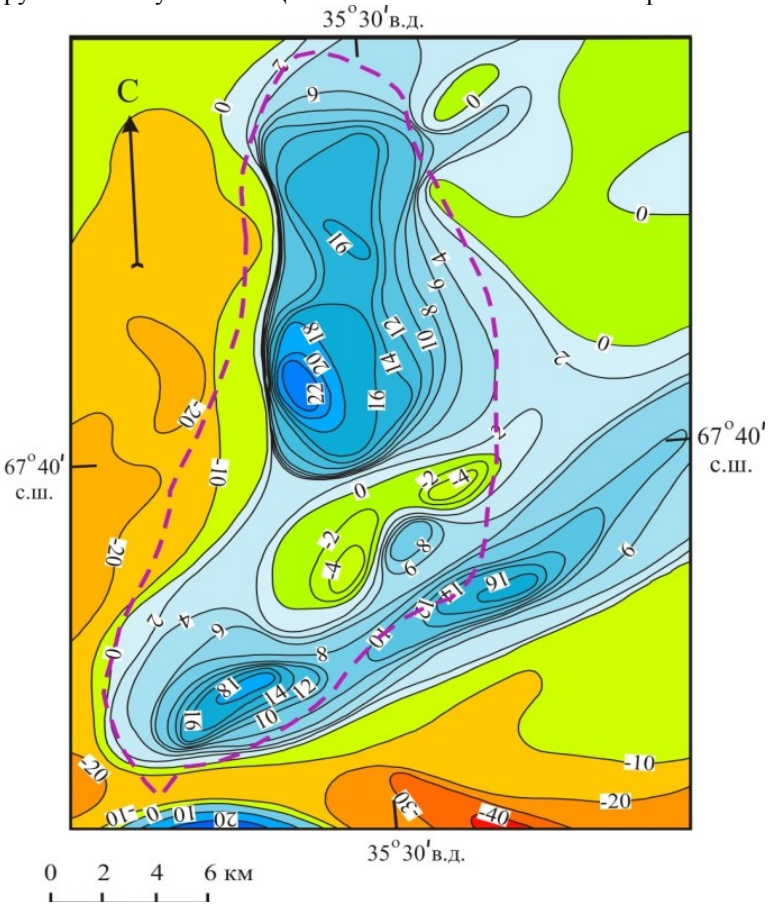


Рис. 3. Схема распределения вертикального градиента силы тяжести W_{zz}, рассчитанного по значениям исходного поля Δg. Изолинии градиента W_{zz} представлены в этвешах (E). Граница Цагинского массива, показанная на схеме геологического строения района (рис. 1), отмечена пунктирной линией

Расчет плотностной модели Цагинского массива выполнялся на базе решения обратной трехмерной задачи гравиразведки для горизонтального слоя с вертикальным градиентом плотности [5]. Вертикальный градиент представляет собой весовую функцию, вид которой непосредственно зависит от оценки мощности массива, а также от характера распределения аномалий градиента силы тяжести — W_{zz}. Полученная объемная плотностная модель Цагинского массива позволяет представить его в виде пластиноподобного тела, мощность которого в основном варьирует от 3 до 3,5 км, а плотность пород изменяется в интервале 2,87–3,02 г/см^3. Положение нижней границы физической модели коррелируется с рассчитанным прогнозным горизонтом, описывающим рельеф нижней кромки Цаги. Данные плотностной модели указывают на продолжение массива в северном и восточном направлениях при пологом погружении под гнейсы и щелочные граниты Кейвской структуры и при уменьшении его мощности до 3 км. При этом однозначно определяется положение западного контакта Цагинского массива. Следует принять во внимание, что в действительности нижний контакт массива с гнейсогранитами может иметь весьма сложную конфигурацию в виде остроугольных апофиз или уступов-языков. Не исключено, что на отдельных участках мощность массива может доходить до 3,8 км.

На рис. 4 приведены схемы распределения плотностных неоднородностей в интервале глубин 0–1,5 км, в пределах которых наиболее отчетливо наблюдается контрастность в распределении плотностных неоднородностей. Для больших глубин построенные схемы выглядят более приглушенными и сглаженными. Полученные результаты, как мы видим, подтверждают существующие представления о дифференцированном строении массива. Согласно результатам (рис. 2–4), массив делится на две зоны — северную и южную, для которых разделение наиболее отчетливо начинает проявляться с глубины 0,5 км.

На глубинах более чем 1 км наблюдается смещение северной зоны относительно южной в субширотном направлении. Центральная часть массива, сложенная преимущественно габбро-лабрадоритами и лабрадоритами с включением титаномагнетитовых руд, просматривается в физической модели по значениям плотности в интервале 2,87–2,92 г/см^3 до глубин 1,0–1,3 км. Ниже присутствует второй комплекс пород с плотностью 2,97–3,00 г/см^3 и мощностью до 2 км. В пределах выделенных комплексов установлены тела с аномальной плотностью 3,02–3,04 г/см^3 и мощностью около 0,5–2,0 км. Эти тела размещены на глубине 0,1–0,4 км, лишь в южной половине массива одно из самых крупных тел выходит на поверхность. Краевой комплекс массива, сложенный преимущественно габбро и габбро-норитами со шлирами вкрапленных титаномагнетитовых руд, четко прослеживается в плотностной модели в виде узких зон с плотностью 2,87–2,92 г/см^3 в интервале глубин 0–0,5 км на западном и южном контактах Цаги с вмещающими породами.

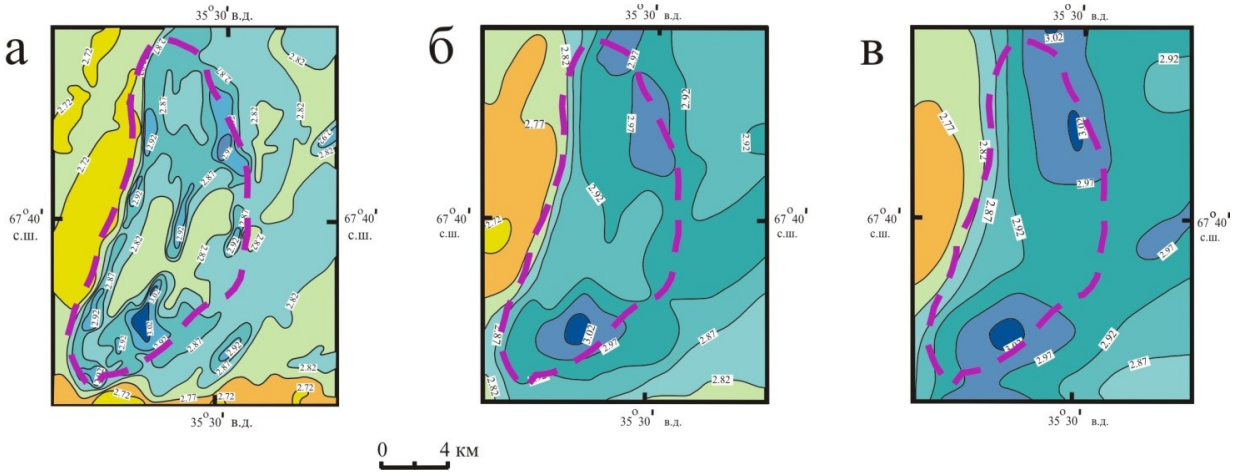


Рис. 4. Схема распределения плотностных неоднородностей в интервале глубин:
а — 0–0,5 км; б — 0,5–1,0 км; в — 1,0–1,5 км.
Изолинии плотностных схем представлены в граммах на метр кубический. Пунктирная линия красного цвета определяет границу массива, показанную на схеме геологического строения района (рис. 1)

Таким образом, выполненный комплекс исследований, включающий совместную интерпретацию гравитационного поля и сейсморазведочных данных, позволил представить Цагинский массив в виде слоистого пластиноподобного тела мощностью до 3,5–3,8 км. В центральной части массива наблюдается утонение его толщи до 3 км, протягивающееся полосой через всю структуру в северо-восточном направлении с видимой мощностью около 3,0 км. Данные плотностной модели указывают на продолжение массива в северном и восточном направлениях за пределы границы, показанной на геологической карте. Также можно предположить, что к востоку среди гнейсов и щелочных гранитов расположен еще один массив основных пород, не выходящий на поверхность и связанный единством происхождения с Цагинским массивом. На глубинах 0,1–0,4 км от поверхности выявлены тела с аномальной плотностью и мощностью от 0,5 до 2 км, которые не отражены на эрозионном срезе. Полученные значения плотности пород в аномальных зонах (3,02–3,04 г/см^3) могут говорить о том, что в пределах этих участков существенно увеличивается как количество слоев титаномагнетитовых руд и их мощность, так и объем вкрапленных руд. Наибольший практический интерес представляет самая крупная зона в южной части массива, в пределах которой тело с аномальной плотностью практически выходит на поверхность. Мощность данного объекта достигает 1,8 км, площадь его проекции на дневную поверхность — около 4 км^2, а запасы руды могут составить (16–20)·10^3 млн т. В северной части интрузива наблюдается аналогичное по масштабам скрытое тело с аномальными значениями плотности, глубина залегания его верхней кромки может достигать 100 м. Проведенные исследования позволяют значительно расширить перспективы массива на окисные железо-титановые руды за счет выявленных аномальных зон.

Литература

1. Верба В. В., Гаскельберг В. Г., Зайцев В. Г. Петрофизическая характеристика докембрийских комплексов северо-восточной части Кольского полуострова // Петрофизическая характеристика советской части Балтийского щита. Апатиты: КФАН СССР, 1976. С. 34–38.
2. Геология рудных районов Мурманской области / В. И. Пожиленко и др. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
3. Каратаев Г. И., Ватлин Б. П., Захарова Т. Л. Методика комплексной геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Новосибирск: Наука, 1973. 165 с.
4. Минеральные месторождения Кольского полуострова / Г. И. Горбунов и др. Л: Наука, 1981. 272 с.
5. Филатова В. Т. Новые данные о глубинном строении Цагинского габбро-лабрадоритового массива (Кольский полуостров) // Разведка и охрана недр. 2016. № 7. С. 14–19.

6. Юдин Б. А. Габбро-лабрадоритовая формация Кольского полуострова и ее металлогения. Л.: Наука, 1980. 168 с.
7. Юдин Б. А., Кацеблин П. Л. Петрофизические особенности нижнепротерозойских габбро-лабрадоритовых массивов Кольского полуострова // Петрофизическая характеристика советской части Балтийского щита. Апатиты: КФАН СССР, 1976. С. 50–52.

Н. В. Шаров
Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: sharov@krc.karelia.ru

АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ

В августе 1954 г. с помощью разработанного ленинградскими учеными метода «пироповой съемки» Л. А. Попугаевой найдена ***первая в Якутии кимберлитовая трубка***, названная «Зарница». Уже к концу 1955 г. открыто 15 коренных месторождений алмазов. В 1956 г. начали промышленную разработку трубки «Мир» и вокруг нее образовался поселок «Мирный», который за два года вырос до размеров города. Начиная с 1960-х гг. в Якутии ежегодно добывается алмазов на сумму, превышающую 1 млрд долл. К настоящему времени там насчитывается более 200 кимберлитовых месторождений алмазов, что составляет около 80 % месторождений алмазов в мире, среди них около 50 % уже разведано или находится в состоянии разведки [2].

Компании «АЛРОСА» принадлежат крупнейшие месторождения: трубка Удачная (запас 209 млн карат), трубка Юбилейная (запас 100 млн. карат), трубка Интернациональная (запас 50 млн карат), трубка Айхал (запас 33 млн. карат), трубка Нюрбинская (запас 60 млн карат). Сейчас компания «АЛРОСА» занимает второе место в мире после компании Де Бирс и её доля составляет 25 % от мировой добычи. Хотя в Якутии к настоящему времени геологами найдено более 200 кимберлитовых жил, а также около 50 россыпных месторождений, но разрабатываются только 8 трубок: Удачная, Интернациональная, Мир, Юбилейная, Зарница, Айхал, Комсомольская, Нюрбинская. Добыча алмазов в Якутии также ведется на россыпных месторождениях: Маят, Биллях, Моргогор, Эбелях, Гусиный. При нынешнем уровне добычи алмазов разведанных месторождений должно хватить на 30 лет [4].

Архангельская алмазоносная провинция (ААП). Для поиска трубок взрыва применяются различные геофизические методы, в основном это комплексирование магнито- и электроразведки [3]. Несмотря на широкое применение и определенную результативность перечисленных методов (на территории ААП открыто более 50 трубок взрыва, из которых более 15 — алмазоносные, трубки взрыва не всегда могут быть однозначно выделены традиционными методами. Трудности поиска обусловлены: эрозией наиболее намагниченной кратерной части; слабой намагниченностью наиболее продуктивных пород; возможными малыми размерами трубок; наличием объектов «помех»; вероятностью пропуска слабых магнитных аномалий даже при высокоточной магниторазведке; практическим отсутствием определенных параметров, характерных именно трубкам взрыва [3].

В феврале 1980 г. обнаружена первая кимберлитовая трубка «Поморская». Возраст кимберлитовых трубок здесь достигает 400−600 млн лет. ***Месторождение им. М. В. Ломоносова*** — это крупнейшее коренное месторождение алмазов в европейской части России. Месторождение включает в себя 6 кимберлитовых трубок: Архангельская (запас 60 млн карат), им. Карпинского-1, им. Карпинского-2, Пионерская, Поморская, им. Ломоносова. Они растянулись цепочкой почти на 10 км. Общий запас алмазного сырья здесь составляет более 115 млн карат.

Месторождение алмазов им. В. П. Гриба (Верхотинское месторождение) расположено на территории Мезенского района Архангельской обл., расположено в 130 км к северо-востоку от Архангельска и в 30 км от алмазного месторождения им. М. В. Ломоносова. Включает в себя только одну кимберлитовую трубку, которая открыта в феврале 1996 г. и названа тоже именем В. П. Гриба. Доразведка месторождения завершена в 2010 г. Приблизительные запасы полезных ископаемых месторождения составляют 100 млн карат. Фирма «Лукойл» предполагает добывать в течение 16 лет открытым способом (разработка карьером) на глубину до 460 м, а остальные — подземным. Диаметр кимберлитовой трубки составляет 1,6 км.

Метод микросейсмического зондирования (ММЗ), разрабатываемый в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН [4, 5], основан на способности волн Релея увеличивать свою интенсивность при прохождении низкоскоростных неоднородностей и уменьшать при прохождении высокоскоростных. При этом, при расположении неоднородности на определенной глубине, соответствующее изменение интенсивности будет ощущаться на поверхности. О глубине залегания неоднородности можно судить из того, что волна наиболее ярко «реагирует» на неоднородность при ее залегании на глубине, близкой к половине длины волны. Все перечисленные особенности подтверждены экспериментально и на численных моделях. Следовательно, по последовательным замерам микросейсмических колебаний, можно получить информацию о строении геологической среды.

Проверка применимости ММЗ для выделения трубок взрыва ААП проведена на трубке им. Ломоносова (рис. 1, 2), размер которй составляет 400×500 м. Замеры микросейсмических колебаний проводились вдоль

профилей, пересекающих трубку. Шаг между пунктами замеров — 50 м, время регистрации микросейсмических колебаний — 90 мин [1]. Главными преимуществами ММЗ являются простота реализации и возможность выделения скоростных неоднородностей с вертикальными и субвертикальными границами, приемлемая чувствительность метода, относительно высокая точность определения субвертикальных границ больших объектов. При этом ММЗ позволяет получить представление о наличии субвертикальных границ исследуемого объекта и оценить относительные изменения скоростных свойств.

Основными недостатками метода являются: невозможность выделения горизонтальных границ, низкая разрешающая способность по вертикали, отсутствие абсолютных физических величин в результатах, необходимость привлечения дисперсионной кривой. Результаты ММЗ отражают детальную структуру трубки взрыва и вмещающей среды, а также дополняют применяющиеся на практике другие геофизические методы.

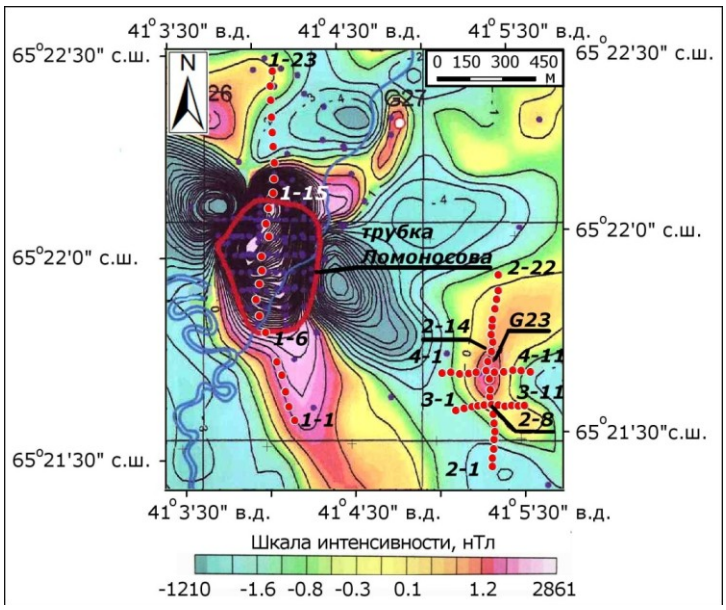


Рис. 1. Карта магнитного поля в окрестности трубки им. М. В. Ломоносова и магнитной аномалии G23 с пунктами замеров микросейсмы



Рис. 2. Проверка сейсмической аппаратуры на идентичность, июль 2016 г.

Разработка месторождений трубок Архангельской и им. Карпинского-1 рассчитана до 2026 г. ПАО «Севералмаз», основным акционером которой является компания «АЛРОСА» (рис. 3, 4). В 2016 г. планируется добыть 2238 тыс. карат. К 2020 г. ГОК будет добывать более 5 млн карат.

В 2016 г. персонал ПАО «Севералмаза» насчитывал 1700 человек. В 2014 г. добыто 1638 тыс. карат, в 2015 г. — 1920, в 2016 г. — 2238 тыс. карат.

В 2015 г. «Севералмаз» отработал с положительным финансовым результатом, чистая прибыль составила 277 млн руб., продукции реализовано на 83 млн долл. В этом же году предприятие перечислило в бюджет Архангельской обл 1,128 млрд руб.

Разрабатывают 2 трубки из 6 перспективных, а к 2020 г. планируется ввести третью — «Пионерскую».



Рис. 3. Разработка месторождений ПАО «Севералмаз» трубок Архангельской и им. Карпинского-1 в 2016 г.



Рис. 4. Готовая продукция ПАО «Севералмаз»

Литература

1. Данилов К. Б. Адаптация метода микросейсмического зондирования для выделения кимберлитовых трубок взрыва на территории Архангельской области // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки. 2010. № 4. С. 10–14.
2. Костицын В. И. Лариса Попугаева — первооткрыватель алмазов в России / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. 232 с.
3. 5Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: Правда Севера, 2004. 283 с.
4. Пат. 2271554 Российская Федерация / Горбатиков А. В. 2006. Бюл. № 7.
5. Применение метода микросейсмического зондирования для изучения строения погребенной трубки взрыва / А. В. Горбатиков и др. // ДАН. 2009. Т. 428, № 4. С. 526–530.

Э. В. Шипилов
Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Мурманск, shipilov@pgi.ru

О ПРИЗНАКАХ ПРОЯВЛЕНИЯ ВТОРИЧНОГО СПРЕДИНГА НА ЭТАПЕ ФОРМИРОВАНИЯ КАНАДСКОГО БАССЕЙНА (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА)

Изучение возраста базальтоидного магматизма в литосфере арх. Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) в совокупности с анализом структуры аномального магнитного поля позволило выяснить пространственно-временные особенности его проявлений и обосновать геодинамическую обусловленность полосовых магнитных аномалий в контексте эволюционных преобразований Арктического региона.

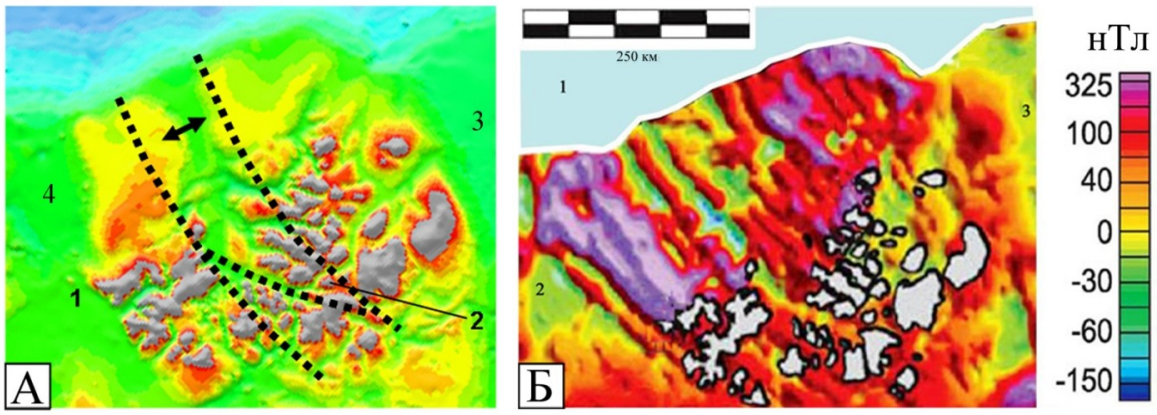


Рис. 1. Батиметрия и аномальное магнитное поле архипелага ЗФИ.
А — батиметрическая схема (IBCAO) и положения срединной (рифтовой) зоны раздела (пунктирные линии) с предполагаемым растяжением (стрелки): 1 — о. Земля Александры, 2 — о. Хейса, 3 – желоб Святой Анны, 4 — желоб Франц-Виктория.
Б — схема, иллюстрирующая линейный характер положительных аномалий магнитного поля: 1 — котловина Нансена Евразийского бассейна, 2 — желоб Франц-Виктория, 3 — желоб Святой Анны

На батиметрических и геологической картах довольно отчетливо просматривается, что в генеральном композиционном отношении арх. ЗФИ разделен проливом Маркома (с серией субпараллельных ему узких проливов и его северо-западным продолжением, между о-вами Артура и Харли) на две главных группировки островов — юго-западную и северо-восточную (рис. 1, А). Таким же образом разобщен на две части и шельфовый сегмент архипелага, обращенный к котловине Нансена, с некоторым отклонением к северу разделяющей их условной полосы. Это заключение подтверждаются и при анализе карты аномального магнитного поля северной части Баренцевоморской окраины. На ней преобладающие полосовые магнитные аномалии архипелага и его окружающего шельфа имеют северо-западные простирания, а отмеченная выше осевая разделительная зона отчетливо выражена сближенными положительными линейными аномалиями на отрицательном фоне (рис. 1, Б).

Трапповый магматизм J-K-возраста отмечается не только на арх. ЗФИ, но и фиксируется по геолого-геофизическим данным в шельфовых районах Баренцевоморской континентальной окраины, а в Восточно-Баренцевском мегапрогибе вскрыт скважиной Лудловская [12]. В последнем он проявлен преимущественно в виде силлов. На сводово-блоковом поднятии ЗФИ этот базальтоидный магматизм установлен практически во всех его возможных формах, которые сохранились, несмотря на масштабные денудационно-эрозионные процессы, связанные с кайнозойским аплифтом и экзарационной деятельностью ледников.

Рассмотрение структуры аномального магнитного поля показывает, что его главной особенностью является полосовой характер с наличием протяженных (до 400–450 км) положительных линейных аномалий северо-западного простирания. Интенсивность некоторых из них может достигать в северо-западной половине сводово-блокового поднятия, особенно в его шельфом сегменте, свыше 300 нТл, а в юго-восточной части интенсивность значений этих аномалий ослабевает, снижаясь до менее 100 нТл с тенденцией нарушения их непрерывности. Исследователи высказывают мнения, что в структуре аномального магнитного поля, таким образом, получили отображение многочисленные тела даек базальтоидов, пронизывающие разрез поднятия ЗФИ. Однако наибольшее количество даек установлено только на о-вах Хейса, Греэм-Белл, Земля Вильчека, а единичные их проявления отмечены лишь на некоторых о-вах Галля, Чамп и др. Поэтому, вероятнее всего, что в аномальном магнитном поле зафиксированы и многочисленные подводящие магматические каналы, поставлявшие расплавы для значительно более распространенных и преобладающих по площади силлов и покровов бронирующих разрезы отложений большинства островов архипелага и прилегающих шельфовых районов.

Другая особенность аномального магнитного поля с точки зрения районирования заключается в его дифференцированности в генеральном плане на две значительных по размерам области — юго-западную и северо-восточную, превосходящую первую по площади почти в два раза. В обеих отмечается присутствие, особенно в шельфовом сегменте (соседствующим с Евразийским бассейном), довольно крупных, по всей видимости, объединенных и сливающихся, аномалий наиболее высокой для поднятия ЗФИ интенсивности — около 300 нТл. Эти две области разобщены полосой с наиболее четко выраженными на фоне отрицательных значений 3–4 протяженными положительными аномалиями средней интенсивности. В осевой зоне полосы отмечается сближение двух линейных аномалий, которые, сливаясь, протягиваются вплоть до о-ва Хейса. Однако их продолжение имеет тенденцию к выклиниванию в районе юго-восточной оконечности о-ва Галля. Характерно, что на северо-западном шельфе архипелага вдоль отмеченных сближенных положительных аномалий осевой зоны на геологической схеме [3] получил отображение канал, выработанный в триасовых и меловых образованиях и заполненный верхнепалеогеновыми — нижнемиоценовыми отложениями.

Две выделенные области с высокими значениями изометричных аномалий магнитного поля, как показывают материалы геологических съемок разных лет, в т. ч. и наши, представлены преобладающими среди других форм проявления базальтоидного магматизма телами покровов и силлов, причем с наиболее древними радиологическими возрастами (раннемезозойскими). Так, по различным радиологическим датировкам (в основном K/Ar, реже $^{40}Ar/^{39}$, Sm/Nd, Pb/Pb), опубликованным в работе [5], для юго-западной области здесь имеются значения от 221,5 (Земля Георга) до 207,9 млн лет (Земля Александры), а для северо-восточной – от 220 млн лет (о. Рудольфа) до 180,9–187 (о-ва Рудольфа и Джексона). Естественно, что в этих областях имеются магматические проявления и более молодых эпох. Например, возраст некоторых силлов из скважин Северная и Нагурская по U/Pb-датировкам оценивается в 122,7 и 122,2±1,1 млн. лет соответственно [17].

Отмеченные особенности приуроченности наиболее ранних проявлений базальтоидного магматизма к краевым частям выделенных областей подтверждаются результатами наших исследований [2, 6, 11]. Так, на о. Земля Александры (юго-западная область) мы располагаем $^{40}Ar/^{39}Ar$-датировками методом ступенчатого прогрева по минеральным фракциям трех покровов в двух разрезах. В первом из них для нижнего покрова миндалекаменных плагиоклазовых базальтов со столбчатой отдельностью получены значения 189,9±3,1 млн лет. Возраст среднего покрова базальтов и долеритов с глыбовой отдельностью оценивается в 156,5±5,3 млн лет. Самый верхний покров гигантостолбчатых базальтов имеет среднее взвешенное значение возраста по двум минералам (pl и pi) 135±4 млн лет. По второму разрезу возраст нижнего покрова составляет 196,5±6,3 млн лет (pl), средний — 152,6±14,5 (pl) и верхний — 131,2±5,9 млн лет (среднее взвешенное по pl и pi).

Судя по всему, последовательная наложенность покровов, видимая мощность которых составляет от 15–35 м и более, обусловила в результате контрастную выраженность ареала положительных магнитных аномалий.

Заметим, что в скважине Нагурской в интервале глубин 1300–3200 м вскрыты четыре сила, имеющих также раннемезозойский (юрский) возраст — 151±11, 192±13, 170±12 и 203±14 млн лет (K-Ar метод, вал) [1]. Наши данные по возрасту покрова базальтов о. Гукера, формирующего плато Седова, — 189,1±11,4 млн лет (pl) — также подтверждают изложенную схему пространственной приуроченности раннемезозойских базальтоидов в контексте районирования аномального магнитного поля.

Теперь обратимся к возрасту толеитового магматизма срединной зоны архипелага, разделяющей описанные выше области с наиболее древними датировками рассматриваемого магматизма. В этом отношении наибольший интерес представляет о. Хейса, на котором были изучены покров, дайки и силлы. $^{40}Ar/^{39}Ar$-возраст образца из базальтового покрова, бронирующего о. Хейса так же, как и о. Ферсмана, оценивается в 128,8±12,1 млн лет (pi). Нижний силл был внедрен в осадочный разрез острова 126,2±2,8, а верхний — 131,6±2,4 млн лет назад. Дайки острова расположены субпараллельно друг другу, за исключением дайки «Сквозная», дистанция между ними составляет 2–4 км. Наиболее молодая дайка острова — «Аметистовая» имеет возраст 125,2±5,5 млн лет, а наиболее древняя «Сквозная» — 138,1±2,6 млн лет. Возраст даек «Кривая» и «Разбитая» — 133,5±4,1 и 133,8±3,4 млн лет. Все приведенные новые значения $^{40}Ar/^{39}Ar$-возрастов — средние взвешенные значения по pl и pi. Для одного из силлов была опубликована цифра возраста 137±16 млн лет (Sm/Nd), для дайки «Сквозная» — 124±1 ($^{40}Ar/^{39}Ar$, вал) [5], для дайки «Разбитая» — 138±10 млн лет (K-Ar, вал) [14]. Следует подчеркнуть, что за исключением дайки «Аметистовая» все остальные дайки о-ва Хейса являются более древними по отношению к покрову острова.

Изложенное выше позволяет заключить, что акцентированная локализация даек о. Хейса в зоне раздела двух областей, их субпараллельное простирание, сближенные значения возрастов и отражение в полосовом характере магнитного поля указывают на существование на временном отрезке валанжин — баррем (ранний мел) довольно отчетливо проработанной тектонической полосы растяжения, обусловленной, судя по всему, начальным развитием рифтовой зоны (рис. 2). С учетом присутствия в литосфере ЗФИ линеаментов северо-восточной ориентировки, обусловленных завуалированными либо скрытыми нарушениями, пересекающих простирание отмеченной полосы растяжения, они по своему положению напоминают некоторое подобие трансформных разломов.

Примечательно, что, видимо, именно эта срединная зона растяжения отражена в трендах изменения химического состава базитов вкрест ее простирания [3]: от низкокалиевых платобазальтовых траппов окружения до субщелочных толеитов в пределах отмеченной зоны [2]. Наряду с этим, результаты выполненных нами исследований [6] показали, что генерация первичных расплавов базальтов дайки о-ва Хейса происходила

в более глубинных условиях (около 110 км) и при более высокой температуре магмогенерации (1600 °С), чем первичных расплавов более древних базальтов Земли Александры (75–100 км при 1450–1550 °С). Это свидетельствует о вскрытии в результате деструкции и растяжения литосферы ЗФИ на данной фазе развития, обусловленной внедрением дайковых комплексов, более глубинных уровней магмогенерации, чем на этапе первоначального раскола литосферы (с внедрением силлов и излиянием покровов) в преддверии образования Канадского бассейна, что хорошо согласуется с геодинамическими реконструкциями [4].

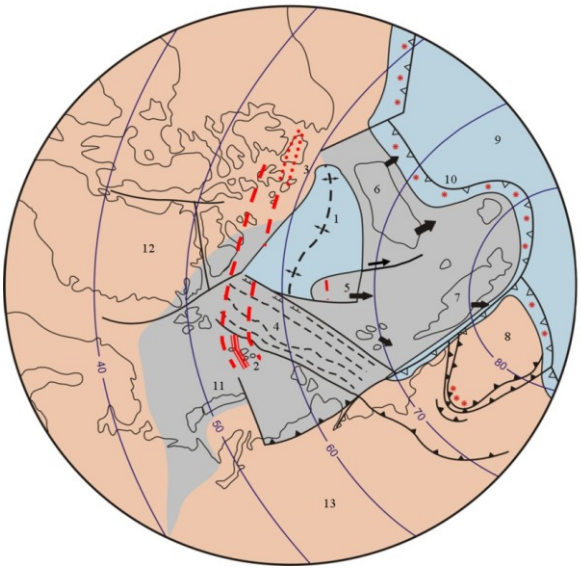


Рис. 2. Палеогеодинамическая реконструкция Арктики на ~ 130 млн лет [4] с изменениями:
1 — Канадский бассейн и его осевой спрединговый центр; 2 — архипелаг ЗФИ и его срединная рифтовая зона; 3 — юрско-меловой грабен Эглингтон; 4 — блоки будущих хребтов Альфа-Менделеева и Ломоносова; 5 — поднятие Чукотское и Нортвинд; 6 — Аляска; 7 — Чукотка; 8 — Омолон; 9 — Пацифик; 10 — зоны субдукции и островные дуги; 11 — Новая Земля; 12 — Гренландия; 13 — Евразия. Красные пунктирные линии — предполагаемое продолжение пояса даек ЗФИ — Канадский Арктический архипелаг. Затемненная площадь в центре — палеоконтинент Арктида. Стрелки — основные направления смещений

Вместе с тем, следует отметить и то, что несогласие на сейсмических разрезах с возрастом около 130–136 млн лет на окраинах Канадского бассейна [15], обусловленное наиболее активной фазой растяжения литосферы, достаточно определенно сопоставляется с общим интервалом возрастов группы базальтовых даек о. Хейса.

В интерпретационном аспекте по своему имиджу в структуре аномального магнитного поля арх. ЗФИ выделенная зона раздела весьма напоминает ситуацию со спрединговым центром хребта Гаккеля в области его сочленения с Лаптевоморской окраиной. Исходя из общей палеотектонической обстановки [4, 10, 7] рассматриваемая зона арх. ЗФИ согласуется по простиранию с полосой даек островов Королевы Элизабет и могла сочленяться с протяженным юрско-меловым грабеном Эглингтон Канадского Арктического архипелага (рис. 2). В такой трактовке тектонической позиции эта трансрегиональная зона растяжения, ориентированная субпараллельно оси спрединга в Канадском бассейне, в геодинамическом отношении может интерпретироваться как фрагмент или след «неудавшегося» (вторичного и не получившего развитие) спредингового центра. Судя по всему, он возник в результате либо кратковременного перескока оси спрединга, либо как его звено в поле рассеянного спрединга на соответствующем этапе эволюции Канадского бассейна. И в этом контексте можно провести аналогии с эволюцией Северной Атлантики, где, как отмечалось [8–10, 13], перескок и отмирание спрединговых центров в кайнозое было нередким, если не сказать обычным, явлением.

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта по Программе Президиума РАН «Арктика».

Литература

1. Возраст траппов Земли Франца-Иосифа / А. Н. Тараховский и др. // ДАН СССР. 1982. Т. 266, № 4. С. 965–969.
2. Карякин Ю. В., Шипилов Э. В. Геохимическая специализация и $^{40}Ar/^{39}Ar$-возраст базальтоидного магматизма островов Земля Александры, Нортбрук, Гукера и Хейса (архипелаг Земля Франца-Иосифа) // ДАН. 2009. Т. 425, № 2. С. 213–217.
3. Кораго Е. А., Евдокимов А. Н., Столбов Н. М. Позднемезозойский и кайнозойский базитовый магматизм северо-запада континентальной окраины Евразии / ВНИИОкеангеология. СПБ., 2010. 174 с.

4. Лобковский Л. И., Шипилов Э. В., Кононов М. В. Геодинамическая модель верхнемантийной конвекции и преобразования литосферы Арктики в мезозое и кайнозое // Физика Земли. 2013. № 6. С. 20–38.
5. Магнитные параметры и вариации состава магматических пород архипелага Земля Франца-Иосифа / А. Л. Пискарев и др. // Физика Земли. 2009. № 2. С. 66–83.
6. Физико-химические параметры платобазальтового магматизма архипелага Земля Франца-Иосифа (данные по расплавным включениям) / В. А. Симонов и др. // Петрология литосферы и происхождение алмаза: материалы междунар. симп. / Сиб. отделение РАН. Новосибирск, 2008. С. 223–224.
7. Шипилов Э. В. Базальтоидный магматизм и сдвиговая тектоника Арктической континентальной окраины Евразии в приложении к начальному этапу геодинамической эволюции Амеразийского бассейна // Геология и геофизика. 2016. № 12. С. 2115–2142.
8. Шипилов Э. В. Генерации спрединговых впадин и стадии распада вегенеровской Пангеи в геодинамической эволюции Арктического океана // Геотектоника. 2008. № 2. С. 32–54.
9. Шипилов Э. В. Генерации, стадии и специфика геодинамической эволюции молодого океанообразования в Арктике // ДАН. 2005. Т. 402, № 3. С. 375–379.
10. Шипилов Э. В. К тектоногеодинамической эволюции континентальных окраин Арктики в эпохи молодого океанообразования // Геотектоника. 2004. № 5. С. 26–52.
11. Шипилов Э. В., Карякин Ю. В. Баренцевоморская магматическая провинция: геолого-геофизические свидетельства и новые результаты определения $^{40}Ar/^{39}Ar$-возраста // ДАН. 2011. Т. 439, № 3. С. 376–382.
12. Шипилов Э. В. Позднемезозойский магматизм и кайнозойские тектонические деформации Баренцевоморской континентальной окраины: влияние на распределение углеводородного потенциала // Геотектоника, 2015. № 1. С. 60-85.
13. Шипилов Э. В., Шкарубо С. И., Разницин Ю. Н. Неотектоника северной части Норвежско-Гренландского бассейна (особенности строения и развития хребта Книповича и Поморского периокеанического прогиба) // ДАН. 2006. Т. 410, № 4. С. 506–511.
14. Dibner V. D. Geology of Franz Josef Land // Norsk Polarinstitutt. Meddelelser. 1998. No. 146. 190 p.
15. Highlights of Petroleum and Crustal Framework of the Beaufort-Mackenzie Basin: Key Results from BeaufortSPAN East Phases I and II Surveys / M. G. Dinkelman et al. // Canadian Society of Exploration Geophysicists (CSEG), Recorder. 2008. Vol. 33. No. 9. P. 22–25.
16. On the origin of the Amerasia Basin and the High Arctic Large Igneous Province – Results of new aeromagnetic data / A. Døssing et al. // Earth and Planetary Science Letters. 2013. 363. P. 219–230.
17. U-Pb geochronology of Cretaceous magmatism on Svalbard and Franz Josef Land, Barents Sea Large Igneous Province F. / Corfu et al. // Geol. Mag. 2013. Vol. 150 (6). P. 1127–1135.

Э. В. Шипилов[1], С. И. Шкарубо[2]
[1]*Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Мурманск, shipilov@pgi.ru*
[2]*ОАО МАГЭ, Мурманск, sergeysh@mage.ru*

О ДУПЛЕТНОМ РИФТИНГЕ В ПАЛЕОЗОЙСКОЙ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЮЖНО-БАРЕНЦЕВСКОГО СВЕРХГЛУБОКОГО БАССЕЙНА

Одним из проблемных вопросов тектоники и геодинамики является разработка обоснованных современными данными геологии и геофизики моделей образования и развития сверхглубоких осадочных бассейнов, к которым в Арктике прежде всего относится Восточно-Баренцевский с его крупными и гигантскими по запасам месторождениями углеводородов [11, 15].

В пределах окраинно-континентального обрамления глубоководного океанического «треугольника» Арктики получили развитие три глубочайших рифтогенных осадочных мегабассейна: Свердрупский (Канадский Арктический архипелаг), Северо-Чукотский и Восточно-Баренцевский. Мощность осадочного чехла в них составляет от 12–14 до 18–22 км. Депоцентры этих бассейнов в генеральном плане имеют субпараллельное простирание по отношению друг к другу. Они локализованы либо в пределах развития поясов каледонид-элсмирид или их ответвлений, либо в поле их «влияния» и непосредственной близости.

В Восточно-Баренцевском мегабассейне по результатам проведения комплекса разноплановых геолого-геофизических исследований в структуре фундамента намечены контуры палеорифтовой (троговой) системы, состоящей из нескольких звеньев. В рельефе поверхности фундамента здесь выделены впадины и прогибы с глубинами 16–20 км [6, 12, 14, 16, 18], разделенные перемычками — Южно- и Северо-Баренцевская, Северо-Новоземельский и Святой Анны. В поперечных сечениях западные борта их более пологие, чем восточные. При этом основную часть осадочно-вулканогенного выполнения (до 14–15 км) бассейнов, с палерифтовой системой в основании, составляют терригенные отложения поздней перми — мезозоя. Среди подстилающих эту терригенную толщу образований относительно уверенно выделяются комплексы перми — карбона и позднего девона.

Однако проблема возраста и генезиса этой гигантской по протяженности и мощности толщи бассейна, в особенности доверхнедевонской, до сих пор остается предметом научных дискуссий [2, 3, 5, 6, 9]. Причина этого заключается в том, что стратиграфическая привязка отражающих горизонтов более древних комплексов отложений является проблематичной в связи с большой глубиной залегания и отсутствием непрерывной корреляции сейсмических данных.

Вместе с тем, как показывают исследования, средне-позднепалеозойские рифтогенные структуры получили довольно широкое развитие на Баренцевоморской континентальной окраине (рис. 1). На Шпицбергене с девона по средний карбон был сформирован крупный Западно-Шпицбергенский грабен. Главная фаза растяжения и грабенообразования после свальбардской складчатости соответствует башкирскому веку [19]. Самое крупное несогласие в позднем палеозое на о. Медвежий в западной части Баренцева моря относится к серпуховско-башкирскому времени (324 млн лет) и объясняется рифтовой активизацией в прилегающих районах.

Этапы рифтогенного развития практически всех крупных прогибов в западной части Баренцева моря (Нордкапского, Тиддли и др.) связаны с поздним девоном и ранним — средним карбоном [19]. Платформенный режим с развитием обширного карбонатного шельфа в западной части Баренцева моря установился в позднем карбоне и продолжался до поздней перми.

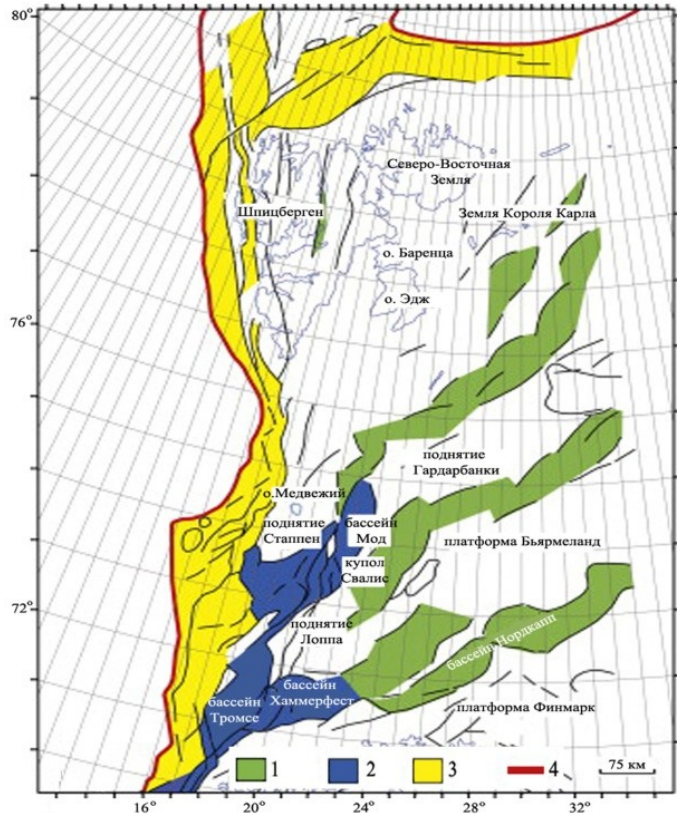


Рис. 1. Фазы рифтинга в структурах западной части Баренцевоморской континентальной окраины [19].
1 — карбон; 2 — поздняя юра — ранний мел; 3 — поздний мел — палеоцен;
4 — граница континентальной и океанической коры

На востоке региона, в пределах Новой Земли, в среднем-позднем девоне был сформирован рифтогенный прогиб, который, скорей всего, входил в состав Восточно-Баренцевской троговой системы, но был инверсирован на рубеже триаса — юры (возможно и ранее?) в результате складчато-надвиговых процессов [1, 2].

На Печорской плите и ее акваториальном продолжении рифтовая активизация завершилась в позднем девоне [5].

В настоящее время наиболее распространено мнение о допозднефранском времени рифтогенеза в восточном секторе Баренцева моря. Обоснование этого традиционно базируется на сейсмостратиграфической экстраполяции опорных сейсмических горизонтов Печорской плиты в пределы Южно-Баренцевской впадины и соответствующей временной привязке тектонических событий. При этом время их проявления распространяется практически на весь регион без каких-либо изменений, несмотря на неуверенную корреляцию палеозойских горизонтов в осевой зоне Восточно-Баренцевского мегабассейна, особенно ниже горизонта Ia, наиболее древнего из подтвержденных бурением на Адмиралтейском поднятии. Это связано с экранированием сейсмического сигнала базальтоидными интрузиями, насыщающими разрез пермско-триасовой и ниже залегающих толщ.

Исходя из общерегиональной геологической ситуации и визуальной оценки на сейсмических разрезах в Южно-Баренцевской впадине можно выделить три группы аномальных сейсмических горизонтов, обусловленных проявлениями магматизма. Это позднедевонские эффузивы, залегающие практически и преимущественно горизонтально в низах разреза. В средней части выделяется группа хаотически расположенных тел магматических образований, соответствующих возрасту базальтоидов Коротаихинского прогиба. Третья группа хаотических тел силлов и даек соотносится по абсолютным датировкам с юрско-меловым этапом магматизма, наиболее широко и отчетливо проявившимся в Баренцевоморском регионе.

Зона сочленения Печорской плиты и Южно-Баренцевской впадины (юго-восточный борт палеорифта) является единственным местом, где были получены наиболее типичные разрезы [4, 8], с высокоамплитудными листрическими сбросами и ротационными блоками, подтверждающие рифтовую природу Восточно-Баренцевской системы и характеризующие время рифтогенеза как допозднефранское. На западном борту палеорифта таких контрастных разломно-блоковых структур ранее не отмечалось.

В работе [17] нами было высказано мнение об асимметрии строения Южно-Баренцевской впадины, обусловленной асинхронностью проявления рифтогенных процессов в ее западной и восточной бортовых зонах, которое обосновывалось следующими соображениями.

Стратификация опорных горизонтов на сейсмических разрезах, характеризующих западную бортовую зону рифтовой системы, базируется на основе увязки с сейсмическими данными по прилегающему Норвежскому сектору Баренцева моря, опирающимися на данные бурения в районе Финмаркенской платформы [17].

С учетом данных по норвежской части шельфа возраст горизонтов нижней части осадочного чехла Южно-Баренцевского бассейна (в западной его части) был пересмотрен и изменился в сторону омоложения [17]. Это, в свою очередь, повлекло за собой изменения в хронологической датировке тектонических событий, в частности, возраста палеозойского рифтогенеза. В результате, в пределах юго-западной бортовой зоны рассматриваемого бассейна, включающей склон Центрально-Баренцевского поднятия, возраст рифтогенного грабенообразования оценен как раннекаменноугольный-башкирский. В наиболее активных приразломных зонах этот процесс, возможно, продолжался до перми. Подобная картина характерна и для более глубокой части троговой системы. Изложенное находит подтверждение и отчетливо иллюстрируется на недавно полученном глубинном сейсмическом разрезе МАГЭ (рис. 2).

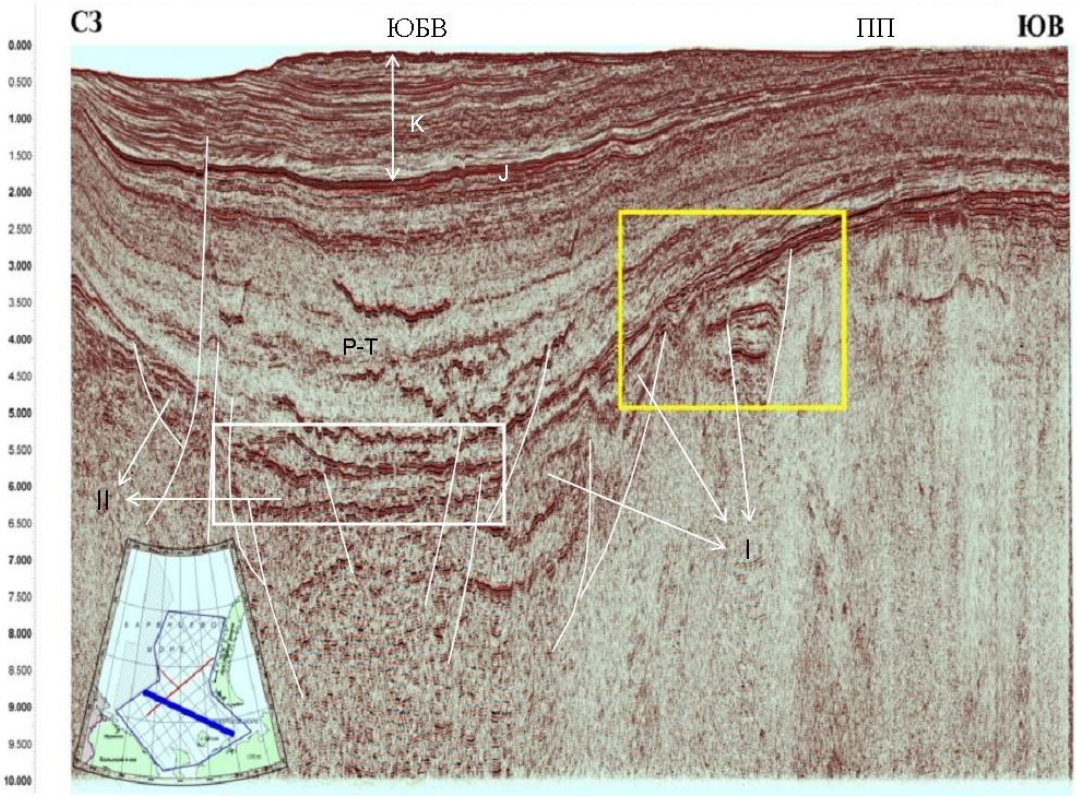


Рис. 2. Сейсмический разрез [4], иллюстрирующий строение Южно-Баренцевской впадины (ЮБВ) и характер ее сочленения с Печорской плитой (ПП) (интерпретация авторов):
I — структуры растяжения (полуграбены) допозднедевонской (?) генерации рифтинга;
II — рифтогенные структуры допозднекаменноугольной генерации.
В пермско-триасовом комплексе и ниже распространены хаотические аномальные рефлекторы, обусловленные базальтоидными интрузиями. Консолидированная кора в осевой зоне представлена коромантийной смесью

Эти события синхронны этапам растяжения и грабенообразования на Норвежском шельфе, в Северном море, Южной Англии и Свердрупском бассейне Канады (динантская и стефанская фазы — ранний карбон и касимовско-гжельское время соответственно).

Таким образом, позднепалеозойские рифтогенные структуры западной и юго-восточной частей Южно-Баренцевской впадины по времени проявления своего формирования являются разновозрастными: в основном допозднекаменноугольными и допозднедевонскими соответственно. Все отмеченное обусловило асимметричный профиль в строении и асинхронность развития бортовых зон рифтовой системы. В мезозойское время под влиянием формирования складчато-надвиговой структуры Новой Земли [1, 6], а также в кайнозое в связи со становлением океанических спрединговых бассейнов [7, 10, 13] асимметрия рифтогенного прогиба стала еще более контрастной.

Статья подготовлена в рамках выполнения Программы (Минприроды, Роснедра) по составлению Государственной геологической карты РФ (серия Северо-Карско-Баренцевоморская масштаба 1:1 000 000) третьего поколения.

Литература

1. Богданов Н. А., Хаин В. Е., Шипилов Э. В. Раннемезозойская геодинамика Баренцево-Карского региона // ДАН. 1997. Т. 357, № 4. С. 511–515.
2. Верба М. Л., Рослов Ю. В., Сакулина Т. С. Новая Земля в структуре Обско-Баренцевского осадочного мегабассейна по результатам работ на опорном профиле 2-АР // Разведка и охрана недр. 2005. № 1. С. 6–9.
3. История геологического развития Восточно-Баренцевского региона в палеозое по данным компьютерного моделирования / М. В. Коротаев и др. // ДАН. 1998. Т. 359, № 5. С. 654–658.
4. Казанин Г. С., Шкарубо С. И., Журавлев В. А. Подготовка комплектов Госгеолкарты-1000 третьего поколения на Баренцево-Карском и Лаптевоморском шельфе: состояние, проблемы, перспективы // Состояние и перспективы развития государственного геологического картографирования территории РФ и ее континентального шельфа: материалы междунар. рабоч. совещ. [Электронный ресурс]. СПб., 2015.
5. Малышев Н. А., Шипилов Э. В. Геодинамическая эволюция Европейского Северо-Востока в девоне // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2002. № 11. С. 2–4.
6. Объяснительная записка к Тектонической карте Баренцева моря и северной части Европейской России. Масштаб 1:2 500 000 / В. И. Богацкий и др. М.: Ин-т литосферы РАН, 1996, 94 с.
7. Палеогеографические обстановки и тектонические деформации Баренцевоморской континентальной окраины в кайнозое / Э. В. Шипилов и др. // ДАН. 2006. Т. 407, № 3. С. 378–383.
8. Региональные сейсморазведочные работы в Арктических морях — основные результаты нового этапа и дальнейшие перспективы / Г. С. Казанин и др. // Геология нефти и газа. 2011. № 6. С. 90–98.
9. Устрицкий В. И. Возраст и генезис Восточно-Баренцевского мегапрогиба // Геология полярных областей Земли: материалы XLII Тектонического совещ. М.: Геос., 2009. Т. 2. С. 253–256.
10. Шипилов Э. В. Генерации, стадии и специфика геодинамической эволюции молодого океанообразования в Арктике // ДАН. 2005. Т. 402, № 3. С. 375–379.
11. Шипилов Э. В., Мурзин Р. Р. Месторождения углеводородного сырья западной части Российского шельфа Арктики: геология и закономерности размещения // Геология нефти и газа. 2001. № 4. С. 6–19.
12. Шипилов Э. В., Сенин Б. В. Глубинное строение дна Баренцева моря // Геотектоника. 1988. № 6. С. 96–100.
13. Шипилов Э. В., Шкарубо С. И., Разницин Ю. Н. Неотектоника северной части Норвежско-Гренландского бассейна (особенности строения и развития хребта Книповича и Поморского периокеанического прогиба) // ДАН. 2006. Т. 410, № 4. С. 506–511.
14. Шипилов Э. В., Юнов А. Ю., Моссур А. П. Строение Баренцево-Карской зоны перехода от континента к океану в связи с деструктивными процессами // Геология и геофизика. 1990. № 5. С. 13–19.
15. Шипилов Э. В., Юнов А. Ю. О генезисе антиклинальных структур месторождений углеводородов восточной части Баренцева моря // ДАН. 1995. Т. 342, № 1. С. 87–88.
16. Шкарубо С. И., Шипилов Э. В. Тектоника Западно-Арктической платформы // Разведка и охрана недр. 2007. № 9. С. 32–47.
17. Bogolepov A. K., Shipilov E. V. Tectonic evolution of the East Barents Paleorift System // EAGE 58th conference and technical exhibition. Extended abstracts book. Amsterdam, 1996. Vol. 2. A017.
18. Deep structure of the western sector of Eurasian-Arctic continent-to-ocean transition zone / A. K. Bogolepov et al. // International Geology Review. 1992. Vol. 34, No. 3. P. 240–249.
19. Structural Elements of the Norwegian continental shelf. Part 1: The Barents Sea Region / R. H. Gabrielsen et al. // NPD-bulletin N 6. Norway: Oliedirektoratet, 1990. 33 p.

А. Н. Юричев, К. С. Гулимов
Томский государственный университет, Томск, juratur@sibmail.com

СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АРГЫСУКСКОГО ГАББРОВОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ЗАПАД ВОСТОЧНОГО САЯНА)

Аргысукский массив расположен в пределах Канской глыбы северо-западной части Восточного Саяна. Выделен он сравнительно недавно: в 2008 г. А. Н. Смагиным по результатам поисково-разведочных работ на Pt-Cu-Ni-оруденение в данном районе. Небольшой по размерам массив (3×3,5 км^2) исключительно габбрового состава локализован на водоразделе истоков рек Аргысук и Анжа, северо-восточнее крупного Талажинского расслоенного плагиодунит-троктолит-анортозит-габбрового массива [1, 3], саттелитом от которого, как показываются предыдущие петрологические исследования, он, вероятно, и является [4]. Характер аэромагнитного поля на исследуемой территории (по данным А. Н. Смагина, 2008 г.) указывает на наличие в нижней части Аргысукского массива пластины ультрамафитов и их практически полную сохранность в результате крайне слабого современного эрозионного среза последних. Учитывая, что весь массив полностью находится в контурах контрастной аэромагнитной аномалии, характеристики которой свойственны только рудоносным ультрамафитам в пределах Канской глыбы, а также наличие по результатам ГСР 1978–1981 гг. контрастного по содержанию (0,01 %) и короткого (1,5 км) потока рассеяния Ni, можно выделить ультрамафиты массива, скрытые на глубине под превалирующими на поверхности габбро, в ранг весьма перспективных на обнаружение промышленных концентраций Cu и Ni.

Габброиды массива представлены от мелано- (оливин-пироксен-роговообманковых) до лейкократовых (преимущественно плагиоклазовых) разностей, которые в различной степени подверглись вторичным преобразованиям (амфиболизации, хлоритизации). Они обычно имеют массивную текстуру, однако в лейкократовых разностях нередко обнаруживают трахитоидную, обусловленную субпараллельной ориентировкой призматических зерен плагиоклаза. Основная масса мелко-, среднезернистая габбро-офитовая с размерами зерен 1,0–3,5 мм. Габбро сложены главным образом оливином — хризолитом ($Fa_{19–21}$) ~5–25 %, плагиоклазом — лабрадором ($An_{57–70}$) ~50–70 % и клинопироксеном – до 30 %, встречаются коричнево-бурая роговая обманка, биотит. Из вторичных минералов отмечаются уралит, актинолит и хлорит. Рудные минералы распределены неравномерно и занимают до 5 %.

В процессе изучения минерального состава габброидов массива с использованием электронного сканирующего микроскопа Tescan Vega II LMU, оборудованного энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si (Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным спектрометром INCA Wave 700 (ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ), авторами была расширена база химических анализов для охарактеризованных ранее сульфидных минералов (пирит, пирротин, халькопирит, железистый халькопирит, пентландит) [2] (табл. 1), а также впервые выявлены и описаны новые для данного массива разновидности сульфидов: галенит, железистый сфалерит, миллерит, борнит, халькозин.

Таблица 1

Химический состав главных сульфидов из габброидов Аргысукского массива, мас. %

Порода	Номер образца	S	Fe	Ni	Co	Cu
1	2	3	4	5	6	7
Пирит						
Ол-габбро	151-3-4	52,69	47,31	-	-	-
Ол-габбро	151-3-8	52,75	47,25	-	-	-
Ол-габбро	2141-3-1	53,69	46,31	-	-	-
Ол-габбро	2141-3-3	53,69	46,31	-	-	-
Ол-габбро	2141-3-4	54,44	45,09	0,47	-	-
Габбро	2144-2-5	53,24	46,76	-	-	-
Габбро	2144-2-1	52,97	47,03	-	-	-
Габбро	2144-3-1	53,34	46,66	-	-	-
Габбро	2146-5-1	52,45	47,55	-	-	-
	Среднее (9)	53,25	46,70			
Пирротин						
Ол-габбро	2141-2-5	37,97	60,01	2,03	-	-
Ол-габбро	2141-1-2	38,48	61,26	0,26	-	-
Ол-габбро	151-3-1	36,65	63,35	-	-	-
Ол-габбро	151-3-2	36,47	63,53	-	-	-
Ол-габбро	151-3-5	36,38	63,62	-	-	-
Ол-габбро	151-3-6	36,45	63,55	-	-	-

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Ол-габбро	151-4-2	36,49	63,51	-	-	-
Ол-габбро	151-5-1	36,85	63,15	-	-	-
Ол-габбро	151-5-3	36,56	63,44	-	-	-
Ол-габбро	151-5-5	36,73	63,27	-	-	-
Ол-габбро	151-6-2	36,39	63,61	-	-	-
Ол-габбро	2141-1-1	36,75	63,25	-	-	-
Ол-габбро	2141-1-4	37,89	62,11	-	-	-
Ол-габбро	2141-2-1	39,29	60,71	-	-	-
Метагаббро	41/5-4-1	38,78	61,22	-	-	-
	Среднее (15)	37,21	62,64			
Пентландит						
Габбро	2144-3-3	36,54	32,89	30,57	-	-
Ол-габбро	151-3-3	33,40	36,10	28,16	2,34	-
Ол-габбро	151-3-7	33,81	34,25	29,28	2,66	-
Ол-габбро	151-4-3	33,56	35,74	28,23	2,48	-
Ол-габбро	151-5-6	33,36	35,99	27,98	2,68	-
Ол-габбро	151-6-3	33,29	36,54	28,03	2,14	-
Ол-габбро	2141-1-3	34,35	31,34	29,93	4,38	-
Ол-габбро	2141-2-2	33,51	31,51	31,16	3,83	-
	Среднее (8)	33,98	34,29	29,17	2,93	
Железистый халькопирит						
Ол-габбро	151-9-1	35,30	40,94	-	-	23,76
Ол-габбро	151-9-2	35,34	41,14	-	-	23,52
	Среднее (2)	35,32	41,04			23,64
Халькопирит						
Ол-габбро	151-5-4	34,68	31,00	-	-	34,33
Ол-габбро	2141-2-3	34,84	30,14	0,27	-	34,75
Ол-габбро	2141-2-4	36,36	29,31	-	-	34,33
Ол-габбро	2127-3-1	34,32	31,21	-	-	34,47
Габбро	2144-2-4	34,27	30,53	-	-	35,20
Габбро	2144-6-1	35,35	29,90	-	-	34,76
Метагаббро	152-2-1	34,65	30,46	-	-	34,89
Метагаббро	152-2-2	34,99	30,38	-	-	34,63
	Среднее (8)	34,93	30,37			34,67

Галенит выявлен в виде «сыпи» самостоятельных мелких (до 0,01 мм) округлых зерен, обособляющихся вокруг более крупных зерен пирротина и пентландита. В химическом составе нередко отмечается примесь железа до 0,58 % (табл. 2, рисунок).

Таблица 2

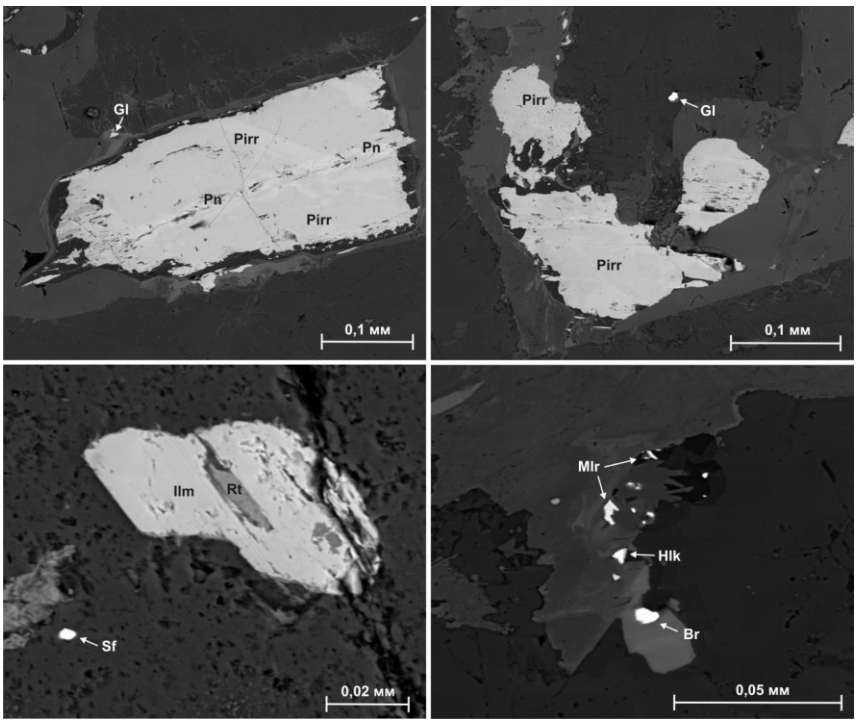
Химический состав второстепенных сульфидов из габброидов Аргысукского массива, мас. %

Минерал	Порода	Номер образца	S	Fe	Ni	Cu	Pb	Zn
Халькозин	Ол-габбро	151-7-1	23,13	2,70	1,18	72,99	-	-
Борнит	Ол-габбро	151-8-2	26,38	10,11	-	63,51	-	-
Миллерит	Ол-габбро	151-8-3	34,73	1,15	60,02	4,10	-	-
Сфалерит	Метагаббро	41/5-8-1	33,69	3,07	-	-	-	63,23
Галенит	Ол-габбро	151-4-1	13,00	0,58	-	-	86,42	-
	Габбро	2144-10-1	12,89	-	-	-	87,11	-

Железистый сфалерит (содержание Fe до 3 %) отмечен единожды в метагаббро в виде самостоятельного мелкого зерна размером ~4 мкм неподалеку от зерен мангонильменита и рутила.

Миллерит, борнит и халькозин выявлены в тесной ассоциации друг с другом в виде «сыпи» мелких (первые микроны) однообразных округлых зерен, диагностируемых только путем применения метода рентгеноспектрального анализа (табл. 2, рис.). Нередко они также ассоциируют с агрегативными неправильными выделениями халькопирита.

Формирование выявленных впервые сульфидных минералов авторы склоны связывать с эпимагматическими гидротермальными процессами.



Микрофотографии сульфидной минерализации (режим BSE) из габброидов Аргысукского массива: Pirr — пирротин; Pn — пентландит; Gl — галенит; Sf — сфалерит; Hlk — халькозин; Br — борнит; Mlr — миллерит; Ilm — ильменит; Rt — рутил

Таким образом, полученные результаты позволили к настоящему времени расширить рудную минералогию Аргысукского массива с 7 до 12 разновидностей сульфидов, а также отметить их высокое сходство с таковой минерализацией из троктолитов и оливиновых габброидов эталонного Талажинского массива [1, 3]. Исследования в этом направлении продолжаются.

Литература

1. Юричев А. Н. Геолого-генетическая модель образования и потенциальная рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов талажинского и кулибинского комплексов Восточного Саяна: автореф. дис. … канд. геол.-мин. наук. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 22 с.
2. Юричев А. Н. Рудная минерализация габброидов Аргысукского массива (северо-запад Восточного Саяна) // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, № 7. С. 35–45.
3. Юричев А. Н., Чернышов А. И., Конников Э. Г. Талажинский плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровый массив Восточного Саяна: петрогеохимические особенности и проблемы рудоносности // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 2. С. 219–236.
4. Юричев А. Н., Чернышов А. И. Талажинский и Аргысукский массивы: общность петролого-геохимических черт (северо-запад Восточного Саяна) // Изв. ТПУ. 2015. Т. 326, № 1. С. 40–49.

Ю. Н. Яковлев, Ю. Н. Нерадовский, Я. А. Пахомовский, Е. Э. Савченко
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, nerad@geoksc.apatity.ru

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВОВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В РАЗРЕЗЕ КОЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ (СГ-3)

В течение проходки СГ-3 и после ее завершения нами проводилось изучение рудной минерализации вскрытого разреза. Этот процесс усилил и привлек внимание других исследователей после находки сотрудниками ВНИИгеосистем самородного золота на глубине около 10 км. Был опубликован ряд новых сообщений на эту тему [1, 4–6]. Наиболее полное исследование золотоносности всего разреза СГ-3 предпринято А. А. Кременецким с соавторами [2]. Ими определено содержание Au в большом количестве проб по всему разрезу СГ-3 и установлено, что его повышенным содержанием обладают несколько интервалов в протерозойском комплексе разреза, но особенно — в верхней части архейского, где чаще всего повышенные концентрации Au фиксируются в горизонтах (пластах) амфиболитов и реже — гнейсов. При этом максимальные концентрации Au составляют 220–370 мг/т, т. е. значительно меньше, чем отмечено ВНИИгеосистем.

Нами также было предпринято дополнительное изучение части разреза СГ-3. Исследовались содержания элементов платиновой группы (ЭПГ), Au и Ag. Было показано, что в «рудоносном» горизонте архейского комплекса (10–11 км разреза) из числа ЭПГ фиксируется только Pd (до 16 г/т), а также Au (до 6 г/т), но присутствует значительное количество Ag (до 460 г/т). Эти данные сопоставимы с рудами других Cu-Ni-провинций Кольского п-ова, но обладают повышенным содержанием Ag [7].

Настоящая работа состоит из двух частей: 1) краткой характеристики изменения химического состава главных сульфидов и оксидов разреза СГ-3; 2) собственно перечня анализов этих минералов (всего около 600). Последний содержит порядковые номера для каждого из них, а также номера образцов и глубины их нахождения согласно общему каталогу образцов, составленному геологической службой Кольской ГРЭ. Всего приведено более 600 анализов минералов, выполненных в лаборатории физических методов исследования ГИ КНЦ РАН Я. А. Пахомовским и Е. Э. Савченко. Все анализы располагаются сверху вниз по разрезу. Заметим, что данная работа характеризует лишь небольшую часть состава рудных минералов, обнаруженных в разрезе, который насчитывает более 50 видов и разновидностей [2]. А ведь есть еще и силикатная составляющая руд, которой мы намерены посвятить следующую публикацию.

Основные особенности составов сульфидов и оксидов разреза СГ-3

1. Пирротин. Имеется 35 анализов пирротина из пород и руд протерозойского и 50 — из архейского комплексов разреза. В разнообразных породах и рудах протерозойского комплекса вариации содержаний основных компонентов (S и Fe) невелики и в целом составляют 1–2 % каждого. Более разнообразны содержания Ni и Co. Так, содержания Ni в пирротине протерозойского комплекса изменяются от 0,08–0,11 (обр. № 5896 и 6881 свиты ждановская и заполярнинская) до 1,8 % (обр. 17779 риодацитов). А в подавляющей части образцов оно составляет 0,3–0,5 % и не обнаруживает какой-либо закономерности от глубины нахождения. Содержание Co изменяется в меньших пределах и носит случайный характер. В одном образце пирротина из протерозойского комплекса обнаружена примесь платины в количестве 0,2 % (обр. 20631, гл. 6378,4 м — свита маярвинская) Кроме того, в той же маярвинской свите в пирротине обнаружена незначительная примесь меди (до 0,3 %, обр. 20738).

Состав пирротина архейского комплекса разреза более разнообразен. Так, содержание серы в нем изменяется от 36,5 до 40,9 % на небольших участках разреза (соответственно обр. 44541, гл. 7625,4 м и обр. 26638, гл. 7926,0 м), а содержание железа — от 57,5 до 61,2 % (обр. 36028 и 41697 на интервале 9689,7–11479,4 м). Не менее значительно изменяется и содержание Ni — от 0,2–1,5 % в верхах разреза до 2–3 % в средней его части и до 6 % на глубине (обр. 41465, гл. 11819,5 м). Правда, примесь Ni (и в меньшей степени Co) возрастает и уменьшается неравномерно, а в определенной зависимости от состава рудоносных пород: в общем случае в амфиболитах выше, чем в гнейсах. Эти данные свидетельствуют о проявлении изоморфизма металлов в составе пирротина, которое в целом увеличивается с глубиной, но зависит также от состава вмещающих пород.

2. Пентландит распространен в породах СГ-3 значительно меньше, чем пирротин, что связано с его преимущественным развитием в гипербазитах. Так, в протерозойском комплексе разреза имеющиеся анализы представляют преимущественно гипербазиты ждановской свиты. Здесь состав пентландита в целом соответствует таковому для Печенгского рудного поля: он достаточно стабилен и содержит небольшую примесь Co (1–3 %). Состав пентландита архейского комплекса более разнообразен. При относительно стабильном содержании S, он обладает значительными вариациями содержаний Fe, Ni и Co, которые определяются их изоморфизмом. Так, содержание Fe в пентландите изменяется преимущественно от 28–32 до 25-27 %, Ni — от 36–40 до 27–28 %, а Co — в целом от 0,1 до 14–16 %. При этом «аномальные» содержания металлов наблюдаются как в верхней, так и в нижней частях разреза (например, обр. 22769, гл. 6970,1 м., обр. 37700, гл. 10147 м). Четкой зависимости состава пентландита от глубины его нахождения в разрезе СГ-3 не обнаруживается. Но заметим, что в самой нижней части разреза (на глубине 11,2 км) пентландит обладает очень низким содержанием Co (обр. 40900 и 41465).

3. Халькопирит. Как и для пентландита, основная часть анализов представляет архейский комплекс разреза СГ-3, а для протерозойского имеется всего 7 анализов — из ждановской и маярвинской свит. Здесь состав халькопирита близок стандартному и отличается стабильностью; иногда в нем наблюдается незначительная примесь кадмия (0,01–0,03 %). Для разреза архейского комплекса имеется около 60 анализов халькопирита, что в целом отвечает его распространенности в породах комплекса. Но и здесь халькопирит отличается стабильностью состава: изменение содержания всех главных компонентов находится в пределах 1–2 %. Примеси Ni и Co носят случайный характер и в основном незначительны. Но в двух образцах халькопирита (37700 и 38566, глубины 10147,6 и 10477,4 м) обнаружена примесь платины, соответственно 0,058 и 0,078 %. Это подтверждает своеобразие состава рудной минерализации в данном блоке (10,1–11,2 км разреза), о чем упоминалось выше.

4. Пирит. Для пирита из протерозойского комплекса разреза СГ-3 анализов нет: он здесь встречается очень редко.

В архейском комплексе он распространен широко, и для него имеется более 60 анализов (табл. п. 4.2). Здесь он характеризуется непостоянством состава и наличием постоянной примеси Ni и Co. Так, колебания в содержании серы и железа достигают 3–4 %, содержание примеси никеля изменяется от 0,08–4,4 %, а кобальта — от следов до 5,9 %. Максимальное содержание никеля установлено в образцах 32660 (гл. 8996,4 м) и 40869 (гл. 11250,8 м), а кобальта — в образцах 26638 (гл. 7926,6 м), 35901 (гл. 9670,2 м) и 41864 (гл. 11562,4 м). При этом пирит из образцов, расположенных по соседству с указанными, также отличается повышенными

содержаниями Ni и Co (0,7–2 %). Таким образом, для интервала разреза 8,0–11,5 км и пирит оказывается «аномальным» по содержанию Ni и Co.

5. Борнит представлен всего 17 анализами, из которых 7 протерозойского комплекса и 10 архейского. Для борнита протерозойского комплекса характерна чистота состава и отсутствие примесей, изменение содержаний основных компонентов находится в пределах 1–2 %. Для борнита архейского комплекса характерны заметно бóльшие изменения содержаний основных компонентов (до 2,0–2,6 %), а также наличие незначительных примесей Ni, Co и Ag. Однако имеющихся данных недостаточно для выявления каких-либо закономерностей изменения состава минерала от глубины нахождения в разрезе. Можно отметить лишь бóльший разброс содержаний на глубинах более 10 км (обр. 11–17 в табл., п. 5).

6. Сфалерит. Имеется всего 21 анализ сфалерита, примерно поровну из обоих комплексов разреза. Для сфалерита протерозойского комплекса характерно наличие примесей легких элементов, среди которых наиболее частой является небольшая примесь кадмия (до 1,3 %). В архейском комплексе разреза количество примесей уменьшается, но содержание кадмия возрастает до 2–7 % на глубине 10–11 км. Здесь же содержание цинка изменяется от 53 до 65 % (увеличивается с глубиной). Среди других примесей сохраняется только незначительная примесь Co (до 0,3 %). В целом, имеющиеся данные позволяют отметить следующие особенности развития сфалерита: во-первых, в архейском комплексе наблюдается повышенное содержание кадмия, которое сопровождается соответствующими понижениями содержания цинка и отчасти железа, во-вторых, эти максимальные изменения состава приходятся на интервал 10–11,8 км разреза, т. е. в основном на интервал **Г** в нашей интерпретации.

7. Арсениды никеля и кобальта представлены немногочисленными анализами кобальтина и зигенита. Первый из них установлен только в породах протерозойского комплекса (ждановская свита) и характеризуется постоянной примесью никеля (до 5–7 %). Последние два анализа из самых низов свиты по содержанию Fe, Ni и Co соответствуют глаукодоту, а не кобальтину.

Зигенит распространен в обоих комплексах разреза, но чаще встречается в архейском. В первом он относительно стабилен по составу, а во втором отличается резкими колебаниями содержаний Ni и Co и повышенными — Fe (до 22 %).

Среди других сульфидов имеются 3 анализа галенита, по одному — алтаита, виоларита и аргентопентландита, которые установлены как в протерозойском (ждановская свита), так и в архейском комплексах разреза (вторая и третья толщи).

Оксиды и некоторые редкие минералы

1. Магнетит — имеется 65 анализов минерала, из них 44 — для различных свит протерозойского комплекса и 21 — для толщ архейского комплекса. Во многих анализах определилась сумма Fe_2O_3 и FeO, так что вариации двух- и трехвалентного Fe отдельно рассмотреть невозможно. Что же касается примесей, то наиболее существенные (в пределах 1–7 %) характерны для TiO_2 и гораздо меньше (до 1–3 %) для Cr_2O_3 и еще более низкое (до 0,5 %) — для Al_2O_3. В протерозойском комплексе до глубины 4,7 км (свиты матертская и ждановская) содержание TiO_2 в магнетите незначительно (менее 0,5 %), а ниже (начиная с лучломпольской свиты) возрастает до 4–6 %, затем снова резко уменьшается и далее на протяжении протерозойского и архейского комплексов не превышает 1 %. Содержание Cr_2O_3 сильно варьирует: в верхних свитах не более 0,5 %, в лучломпольской и пирттиярвинской нередко возрастает до 3–4 %, а ниже в основном не превышает 1 % (за исключением нижних частей кувернерннйокской свиты). Кроме того, в протерозойском комплексе магнетит содержит небольшую примесь SiO_2 (как правило, до 0,5 %). В архейском комплексе разреза все примеси сокращаются до 0,1–0,5 %,лишь иногда содержание Al_2O_3 увеличивается до 1,2 %. Так что в целом магнетит разреза СГ-3 характеризуется относительной чистотой состава (за исключением некоторых интервалов протерозойского комплекса).

2. Гематит — для него имеются анализы только из протерозойского комплекса разреза (34 анализа), которые в целом обладают стабильностью содержания Fe_2O_3 и наличием тех же примесей, что и для магнетита, только в ином количестве. Так, примесь TiO_2 (до 3–7 %) в гематите из риодацитов возрастает до 10–12 % в лучломпольской и пирттиярвинской свитах, а ниже по разрезу вновь уменьшается до 2–3 %. Примеси Cr_2O_3 и Al_2O_3 на всем протяжении не превышают 1 %, а примесь SiO_2 всюду менее 1 %.

3. Ильменит — для него имеется 47 анализов (12 — для протерозойского и 35 — для архейского комплекса). В целом в составе ильменита характерно преобладание TiO_2 над Fe_2O_3 на 8–10 %. Из числа примесей наиболее существенно постоянное содержание MnO (от 1 до 6 % и иногда до 10 % в пирттиярвинской свите). В архейском комплексе содержание MnO менее 5 %, а на глубинах свыше 11,5 км — даже менее 2,5–2,0 %. Из числа других примесей часто присутствуют MgO, CeO и SiO_2, но каждого не более 0,5 %. В целом можно сказать, что ильменит разреза СГ-3 обладает стабильностью и относительной чистотой химического состава.

4. Рутил — имеется всего 16 анализов минерала, из них только 2 — из архейского комплекса (образцы 15 и 16). Минералу свойственна чистота химического состава: общее количество примесей всюду не превышает 1 1,5 %. Среди них преобладают Fe_2O_3, Cr_2O_3, CaO и SiO_2.

5. Титанит (сфен) распространен главным образом в архейском комплексе разреза (13 из имеющихся 17 анализов). Минерал отличается стабильностью и чистотой химического состава: наиболее существенной является примесь Al_2O_3 (до 1,5–2,8 %), максимальное количество которого характерно для глубин более 10 км; часто встречается незначительное количество FeO (менее 1 %). Из числа второстепенных и редких минералов в

разрезе СГ-3 обнаружены гранат, рутил, хромшпинелиды и монацит — практически все из архейского комплекса. Особый интерес из них представляет монацит (анализ 8, табл. 13), содержащий высокое количество лантаноидов (> 53 %), а также U и Th (~ 5 %). Характерно, что монацит обнаружен на глубине 10,4 км (образец 38522), т. е. в блоке **Г** нашей интерпретации разреза архейского комплекса, в котором ранее отмечалась примесь Pt в халькопирите (обр. 37700 и 38566, на глубинах 10147,6 м и 10477,4 м соответственно).

ПЕРЕЧЕНЬ АНАЛИЗОВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ РАЗРЕЗА СГ-3

А. Сульфиды и их аналоги

1. Пирротин

1.1. Протерозойский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер образца	2964	3582	5079	5110	5565	5723	5724	5856	6610
S	39,30	28,90	38,80	39,40	39,85	39,10	40,484	39,20	40,227
Fe	59,60	60,00	60,00	60,20	59,90	60,00	58,711	60,20	59,599
Ni	0,09	0,19	0,16	0,66	0,68	0,70	0,640	0,08	0,615
Co	0,00	0,00	0,02	0,00	0,38	0,00	0,000	0,00	0,078
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000
Σ	98,99	99,09	98,98	100,26	100,81	99,80	99,835	99,48	100,513
Глубина	984,1	1142,6	1538,9	1544,0	1643,5	1667,8	1668,1	1690,5	1835,2

Примечание: 1–2 — свита матертская, 3–9 — свита ждановская.

№ п/п	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Номер образца	6881	9907	10707	10717	10836	10896а	10998	11227	11440
S	39,00	39,55	39,362	39,362	39,869	39,077	38,673	38,746	39,75
Fe	60,01	60,10	60,405	60,405	60,881	60,695	60,913	60,526	59,75
Ni	0,12	0,30	0,338	0,338	0,154	0,154	0,354	0,443	0,14
Co	0,02	0,07	0,179	0,179	0,134	0,156	0,205	0,109	0,11
Cu	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
Σ	99,15	100,2	100,284	100,284	100,038	100,082	100,125	99,824	99,75
Глубина	1869,8	2620,2	2812,0	2814,6	2839,6	2839,6	2867,4	2925,7	2976,6

Примечание: 10–11 — свита ждановская, 12–18 — свита заполярнинская.

№ п/п	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Номер образца	11479	12020	12838	14103	17564	44571	17779	17806	17820а
S	38,994	39,040	38,50	38,00	39,67	38,494	40,18	39,16	38,86
Fe	60,811	60,404	60,83	60,50	60,17	60,840	58,29	60,44	60,87
Ni	0,330	0,464	0,34	0,19	0,18	0,229	1,80	0,21	0,24
Co	0,291	0,285	0,15	0,03	0,04	0,180	0,12	0,17	0,09
Cu	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0,16	0,06	0,00
Σ	100,426	100,193	99,82	98,72	99,46	99,743	100,55	100,04	100,06
Глубина	2983,4	3117,5	3336,1	3758,4	4555,2	7648,1	4679,8	4691,1	4698,0

Примечание: 19–24 – свита заполярнинская, 25–27 – риодациты.

№ п/п	28	29	30	31	32	33	34	35
Номер образца	17820б	18095	20588	20631	20709	20728а	20728б	20727
S	38,93	38,19	39,90	39,32	40,39	40,36	40,90	41,00
Fe	60,87	62,10	59,93	59,32	59,68	58,98	58,50	57,60
Ni	0,38	0,40	0,16	0,52	0,38	0,34	0,30	0,38
Co	0,00	0,00	0,34	0,12	0,28	0,25	0,24	0,25
Cu	0,00	0,00	0,04	Pt-0,20	0,13	0,29	0,02	0,02
Σ	100,18	100,69	99,48	99,48	100,86	100,22	99,96	99,25
Глубина	4698,0	4777,0	6378,4	6378,4	6403,6	6408,0	6408,0	6408,0

Примечание: 28 — риодациты, 29 — свита лучломпольская; 30–35 — свита маярвинская.

1.2. Архейский комплекс

№ п/п	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Номер образца	22513	22769	22778	22739	22794	23560	24151	23575	44131а
S	40,11	38,536	39,46	38,668	39,08	39,111	38,340	38,894	36,489
Fe	58,44	59,681	58,47	57,822	59,18	60,007	60,650	57,757	62,090
Ni	0,43	0,793	1,30	1,708	0,94	0,858	0,417	3,014	0,301
Co	0,09	0,187	0,04	0,000	0,16	0,000	0,000	0,055	0,047
Cu	0,00	–	0,01	0,000	0,05	0,000	0,000	0,003	0,079
Σ	99,07	99,197	99,28	98,198	99,41	99,976	99,407	99,723	99,006
Глубина	6940,2	6970,1	6978,4	6879,6	6981,5	7346,3	7454,6	7350,3	7625,4

№ п/п	45	46	47	48	49	50	51	52
Номер образца	44541б	26514	26633а	26633б	26638	28247а	28247б	28247в
S	36,490	39,172	40,384	38,922	40,912	39,453	39,576	40,370
Fe	62,090	57,427	55,800	56,097	56,018	57,143	58,061	56,957
Ni	0,301	2,939	3,248	3,885	3,708	3,014	3,015	2,639
Co	0,047	0,044	0,033	0,022	0,696	0,000	0,000	0,000
Cu	0,079	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Σ	99,007	99,582	99,465	98,866	100,704	99,610	100,652	99,966
Глубина	7626,4	7896,4	7926,0	7926,0	7926,7	8243,5	8243,5	8243,5

№ п/п	53	54	55	56	57	58	59	60	61
Номер образца	28553	28928	31077	33583	34653	35459	35496	35836	35944
S	39,294	40,249	41,821	39,643	38,942	38,594	39,500	38,486	38,832
Fe	60,763	59,396	57,949	59,769	60,779	59,985	59,093	61,043	58,481
Ni	0,139	0,610	0,360	0,29	0,012	1,349	1,438	0,000	2,405
Co	0,055	0,000	0,314	0,044	0,111	0,200	0,256	0,020	0,146
Cu	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	–	0,000	0,000	0,000
Σ	100,251	100,255	100,494	99,485	99,845	100,128	100,287	99,549	99,864
Глубина	8310,9	8408,4	8714,4	9047,8	9241,9	9470,5	9481,8	9651,5	9673,3

№ п/п	62	63	64	65	66	67	68	69
Номер образца	36023	3640	37478	42585	37700а	37700б	38547	38566а
S	40,512	40,438	40,956	38,808	38,347	38,789	39,586	38,624
Fe	57,549	29,449	56,720	58,156	59,475	59,461	57,209	59,483
Ni	2,656	0,030	2,548	2,362	1,928	1,124	3,055	1,154
Co	0,000	0,062	0,056	0,000	0,222	0,218	0,156	0,132
Cu	0,000	0,000	0,000	0,129	0,340	–	0,000	–
Σ	100,717	99,979	100,280	99,455	100,312	100,092	100,006	99,207
Глубина	9683,7	9865,5	10098,7	10137,8	10147,6	10147,6	10474,4	10477,4

№ п/п	70	71	72	73	74	75	76	77
Номер образца	38566б	38569	43065	38830	43115	39198	39892	43452
S	38,880	38,500	39,025	39,005	38,554	40,166	38,825	39,754
Fe	59,774	59,601	59,393	60,947	60,853	60,000	58,011	57,428
Ni	1,373	1,346	0,868	0,423	0,474	0,019	2,931	2,586
Co	0,180	0,173	0,188	0,178	0,011	0,056	0,000	0,201
Cu	–	–	0,425	0,000	0,099	0,000	0,000	0,000
Σ	100,207	99,620	100,899	100,553	99,991	100,241	99,767	99,969
Глубина	10477,4	10477,8	10551,2	10557,8	10600,8	10683,2	10903,7	11334,2

№ п/п	78	79	80	81	82	83	84	85
Номер образца	41409а	41409б	41642	41697	41864	43853	41465	44402
S	38,986	39,994	40,351	38,405	39,277	39,588	39,244	39,212
Fe	59,301	59,117	58,308	61,226	59,796	60,167	54,349	58,445
Ni	1,729	0,954	1,355	0,641	1,573	0,333	6,439	3,184
Co	0,038	0,164	0,145	0,223	0,000	0,167	0,022	0,000
Cu	–	–	0,000	0,000	–	0,000	0,000	0,000
Σ	100,054	100,220	100,139	100,495	100,646	100,646	100,255	100,841
Глубина	11412,3	11412,3	11473,9	11479,4	10562,4	11562,4	11767,4	12054,2

2. Пентландит

2.1. Протерозойский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6
Номер образца	855	5110	5565	5724	6610	22778
S	33,85	35,50	35,00	33,225	33,137	33,670
Fe	28,42	29,00	29,00	30,069	29,414	29,530
Ni	35,17	35,00	35,00	35,241	36,221	35,260
Co	0,03	2,00	1,10	1,779	1,556	2,800
Cu	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,005
Σ	100,45	101,50	100,10	100,314	100,328	101,265
Глубина	361,0	1544,0	1643,5	1667,5	1811,2	5975,0

2.2. Архейский комплекс

№ п/п	7	8	9	10	11	12	13	14
Номер образца	22769	23560	23575	23793	24467	23514	26630	26639а
S	32,433	32,650	32,500	32,50	32,812	32,96	33,269	32,370
Fe	23,304	32,990	28,082	29,56	26,959	28,18	27,812	28,420
Ni	27,752	34,067	38,606	36,62	40,477	37,68	37,015	38,003
Co	16,396	0,027	0,499	1,33	0,011	1,06	2,037	0,350
Cu	–	0,000	0,001	0,00	0,589	0,00	0,137	0,000
Σ	99,885	99,734	99,688	100,01	100,848	99,28	100,270	99,142
Глубина	6970,1	7346,3	7350,3	7379,6	7508,6	7896,4	7925,4	7926,0

№ п/п	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Номер образца	26633б	26638	28247а	28247б	35850	35901	35944	36023	43381
S	34,09	33,065	33,164	33,107	32,645	32,760	33,090	33,080	31,451
Fe	27,55	27,745	29,460	30,361	22,506	31,436	28,857	28,845	25,885
Ni	37,29	37,846	36,481	37,514	44,375	35,505	35,690	38,275	39,709
Co	0,35	0,972	0,189	0,044	0,465	0,752	2,304	0,709	0,964
Cu	0,00	0,135	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,090
Σ	99,28	99,763	99,294	101,026	99,991	100,453	99,941	100,903	99,099
Глубина	7926,0	7926,6	8247,5	8247,5	9654,7	9670	9673,3	9683,7	9805,5

№ п/п	24	25	26	27	28	29	30	31
Номер образца	37478	37700	38547	39163	39892	40900	43452	41465
S	34,442	32,052	33,456	33,853	33,363	32,306	33,343	32,528
Fe	28,987	25,890	28,263	25,242	31,949	26,273	27,587	29,646
Ni	33,789	27,453	34,822	34,522	34,653	40,872	33,352	38,417
Co	3,342	14,637	3,781	6,676	0,011	0,177	5,781	0,022
Cu	0,000	–	–	–	–	0,000	0,000	0,000
Σ	100,560	100,032	100,322	100,293	99,976	99,728	100,463	100,619
Глубина	10098,7	10147,6	10474,4	10663,5	10903,7	11257,2	11394,2	11819,5

3. Халькопирит

3.1. Протерозойский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
Номер образца	3582	5723	5724	6610	12020	20486	20777
S	34,55	34,65	35,087	35,822	34,983	35,01	35,02
Fe	30,80	30,65	30,338	30,016	31,231	30,00	30,56
Ni	0,01	0,00	0,000	0,000	0,042	0,00	0,00
Co	Cd 0,01	Cd 0,03	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
Cu	34,26	33,93	34,941	35,060	33,645	34,87	34,00
Σ	99,65	99,26	100,376	100,898	99,901	99,88	99,58
Глубина	1149,63	1667,5	1667,5	1811,2	3117,5	6352,4	6462,0

3.2. Архейский комплекс

№ п/п	8	9	10	11	12	13	14	17	18
№ образца	22706	22713	22769	22788	22794	23560	23575	24210	24467
S	34,868	35,248	35,409	34,679	35,01	35,555	34,776	34,784	35,068
Fe	30,535	30,306	29,978	30,337	30,00	30,414	30,778	30,575	31,290
Ni	0,000	0,000	0,064	0,000	<0,00	0,000	0,137	0,065	0,018
Co	0,000	0,000	0,060	0,000	<0,01	0,000	0,041	0,000	0,000
Cu	34,602	34,541	34,586	34,558	34,87	34,192	34,093	34,463	34,207
Σ	100,005	100,095	100,097	99,574	100,78	100,161	99,825	99,907	100,553
Глубина	6946,0	6949,5	6970,1	6978,5	6981,5	7346,5	7350,3	7462,7	7508,6

№ п/п	19	20	21	22	23	24	25	26
Номер образца	44541	44567а	44567б	26630	26638	28247а	28247б	28247в
S	34,579	35,166	34,814	35,000	35,102	35,087	35,255	35,043
Fe	31,061	30,989	32,016	30,695	30,714	30,385	30,509	30,757
Ni	0,011	0,034	0,030	0,130	0,000	0,080	0,011	0,080
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	33,656	34,512	32,977	33,986	33,986	34,179	34,414	33,965
Σ	99,307	100,701	99,837	99,475	99,802	99,701	100,189	99,845
Глубина	7622,0	7646,0	7646,0	7925,4	7926,6	8247,5	8247,5	8247,5

№ п/п	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Номер образца	31077	31079	31088	31148	32027	33583	35459	35496	42255
S	35,515	34,271	35,169	34,309	34,603	35,664	34,692	33,531	34,884
Fe	29,920	30299	30,453	30,964	30,289	30,230	30,423	30,802	30,152
Ni	0,011	0,000	0,000	0,000	0,055	0,000	0,077	0,000	0,152
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	–	0,000	0,000
Cu	33,661	34,191	34,567	34,098	33,579	33,589	34,590	34,705	33,957
Σ	99,107	99,701	100,179	99,971	99,326	99,483	99,782	99,038	99,145
Глубина	8714,4	8715,0	8717,7	8732,4	8970,0	9047,8	9470,5	9481,8	9484,0

№ п/п	36	37	38	39	40	41	42	43
Номер образца	36246	37459	42585б	37700а	37700б	38262	38514	38547
S	34,788	35,407	34,883	34,845	34,926	35,069	35,040	35,258
Fe	30,748	30,508	31,995	30,394	30,358	30,595	30,065	30841
Ni	0,000	0,000	0,099	0,154	0,146	0,000	0,019	0,324
Co	0,000	0,000	0,005	0,018	0,016	0,000	0,000	0,031
Cu	34,968	34,393	32,371	34,448	34,440	34,611	34,369	34,389
Σ	100,504	100,308	99,347	99,917	99,886	100,215	99,493	100,843
Глубина	9770,1	10088,4	10137,8	10147,6	10147,6	10282,2	10359,0	10474,4

№ п/п	44	45	46	47	48	49	50	51
Номер образца	38566	38830	43065	43115	43381	39198	39792	39797
S	34,920	35,879	34,935	34,863	34,568	35,055	35,451	35,506
Fe	30,357	32,992	29,823	30,239	30,666	30,967	29,939	29,750
Ni	0,096	0,105	0,070	0,000	0,071	0,000	0,011	0,011
Co	0,037	0,041	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010
Cu	34,707	31,247	34,607	34,972	33,972	34,400	34,896	35,156
Σ	100195	100,284	99,462	99,383	99,277	100,422-	100,337	100,433
Глубина	10477,4	10557,8	10551,2	10600,8	10679,4	10683,202	10799,7	10866,2

№ п/п	52	53	54	55	56	57	58	59
Номер образца	40560	40658	43452	41409а	41409б	41465	41642	38569
S	34,543	35,145	37,236	34,764	34,875	33,54	35,411	34,745
Fe	31,937	31,937	30,024	30,391	30,218	32,329	30,688	30,363
Ni	0,000	0,000	0,151	0,196	0,137	0,220	0,011	0,075
Co	0,000	0,000	0,000	0,030	0,039	0,011	0,000	–
Cu	34,811	33,307	32,835	34,382	34,542	33,275	34,399	34,620
Σ	99,544	100,389	100,246	99,763	99,811	99,380	100,509	99,803
Глубина	10921,8	11141,3	11394,2	11412,9	11412,9	11419,5	11473,9	10477,8

№ п/п	60	61	62	63	64	65	66	67
Номер образца	41697	43853	43886	44067	44247	44326	44402	44929
S	35,040	34,056	34,577	35,012	35,394	35,488	33,861	34,900
Fe	30,367	30,637	30,283	30,353	28,884	31,648	31,479	30,411
Ni	0,081	0,115	0,111	0,072	0,000	0,000	0,162	–
Co	0,010	0,000	0,000	–	0,000	0,000	0,000	0,029
Cu	34,265	35,255	34,086	34,606	36,016	32,616	34,941	34,593
Σ	99,763	100,063	99,047	100,023	100,294	100,031	100,443	99,933
Глубина	11479,4	11563,7	11770,7	11945,7	11981,8	12008,0	12054,2	12181,3

4. Пирит

4.1. Протерозойский комплекс

Анализы отсутствуют.

4.2. Архейский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер образца	22713	22769	22788а	22788б	23560	23575	24418а	24418б	44571
S	52,860	53,100	53,370	53,208	53,437	53,676	53,138	53,236	52,730
Fe	46,877	46,827	44,847	44,981	46,091	44,146	44,245	46,550	43,933
Ni	0,000	0,183	0,000	0,000	0,201	1,623	0,000	0,000	0,000
Co	0,056	0,274	1,388	1,811	0,069	0,854	1,800	0,000	2,946
Cu	0,000	-	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	0,000	0,000
Σ	99,793	100,384	99,605	100,000	99,798	100,337	99,203	99,786	99,629
Глубина	6949,5	6970,1	6978,7	6978,7	7346,3	7350,3	7500,8	7500,8	7648,1

№ п/п	10	11	12	13	14	15	16	17
Номер образца	26633а	26633б	26633в	26633г	26638	28247а	28247б	28553
S	53,155	53,296	53,012	52,992	53,715	52,959	53,661	53,169
Fe	40,849	40,857	45,591	45,506	42,277	46,486	43,718	45,761
Ni	0,617	0,642	0,012	0,012	0,029	0,364	0,127	0,438
Co	5,990	5,934	0,922	0,865	4,816	0,034	3,229	1,118
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,000	0,000	0,025
Σ	100,611	100,729	99,537	99,375	100,928	99,843	100,732	100,511
Глубина	7926,0	7926,0	7926,0	7926,0	7926,6	8247,5	8247,5	8310,9

№ п/п	18	19	20	21	22	23	24	25
Номер образца	28928	29326а	29326б	32027	32660	42255	35850а	35850б
S	53,636	53,667	53,445	52,922	52,968	52,985	54,648	54,434
Fe	45,541	44,627	45,809	46,336	41,902	46,057	42,797	45,202
Ni	1,326	0,345	0,793	0,089	4,127	0,296	1,810	0,485
Co	0,000	2,303	0,000	0,059	0,818	0,000	1,866	0,345
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Σ	100,539	100,942	100,047	99,390	99,815	99,338	101,121	100,466
Глубина	8408,4	8451,3	8451,3	8970,0	8996,4	9484,0	9654,7	9654,7

№ п/п	26	27	28	29	30	31	32	33
Номер образца	35901	35944	36023	42381	37199	42585	37700	38262а
S	53,282	53,661	53,216	53,401	53,242	53,209	50,952	53,172
Fe	42,240	43,009	46,509	45,224	45,900	45,610	47,787	46,371
Ni	1,118	0,052	0,176	0,235	0,053	0,026	–	0,126
Co	4,022	3,788	0,218	0,820	1,452	0,034	1,582	0,692
Cu	0,000	0,000	0,000	0,118	–	0,467	–	0,000
Σ	100,662	100,520	100,119	99,438	100,647	99,346	100,321	100,361
Глубина	9670,2	9673,3	9683,7	9805,5	10003,5	10137,8	10147,6	10282,2

№ п/п	34	35	36	37	38	39	40	41
Номер образца	38262б	38514	43065	39006	43381	39198а	39198б	39792
S	52,944	53,643	53,820	53,438	53,623	53,623	52,878	53,629
Fe	45,222	46,444	45,823	44,269	45,224	46,451	45,702	46,449
Ni	0,037	0,025	0,000	–	0,235	0,000	0,000	0,000
Co	2,076	0,080	1,005	2,484	0,820	0,000	1,384	0,034
Cu	0,000	0,000	0,000	–	0,118	0,000	0,000	0,000
Σ	100,279	100,192	100,648	100,191	99,438	100,074	99,964	100,112
Глубина	10282,2	10359,0	10551,0	10615,8	10679,4	10638,2	10638,2	10799,7

№ п/п	42	43	44	45	46	47	48	49
Номер образца	39892	40562	39964	40869а	40869б	40879а	40879б	41465а
S	53,641	53,878	53,438	52,762	53,508	53,333	53,440	53,382
Fe	45,789	45,888	46,498	46,394	41,991	46,411	43,615	46,101
Ni	0,012	0,000	0,136	0,012	4,388	0,012	3,026	0,000
Co	0,578	0,000	–	0,184	0,971	0,381	0,289	0,164
Cu	0,000	0,000	–	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Σ	100,000	99,766	100,072	99,362	100,748	100,137	100,370	99,647
Глубина	10903,7	10922,0	10,949,4	11250,8	11250,8	11252,9	11252,9	11419,5

№ п/п	50	51	52	53	54	55	56	57
Номер образца	41465б	41465в	4465г	41465д	41409	44067	41534	41642 з
S	53,609	53,477	53,221	53,305	53,270	53,109	53,039	53,153
Fe	45,715	46,610	43,892	46,707	43,676	46,378	46,353	46,380
Ni	0,112	0,114	0,168	0,381	–	–	0,582	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,917	–	0,612	0,750
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	–	–	0,000	0,000
Σ	99,436	100,201	99,281	100,393	99,863	99,481	100,586	100,283
Глубина	11419,5	11419,5	11419,5	11419,5	11422,9	11445,7	11446,2	11473,9

№ п/п	58	59	60	61	62	63	64
Номер образца	41642к	41864	43853	43866	44402	44927	44929
S	52,585	53,180	53741	53,217	53,623	53,211	52,851
Fe	45,030	44,260	46,413	46,689	46,451	46,250	46,585
Ni	0,000	–	0,000	0,000	0,000	0,098	0,118
Co	1,915	3,351	0,693	0,043	0,000	–	–
Cu	0,000	–	0,000	0,000	0,000	–	–
Σ	99,530	100,791	100,847	99,945	100,074	99,559	99,554
Глубина	11479,9	11562,4	11767,4	11768,2	10054,2	12180,8	12181,3

5. Борнит

5.1. Протерозойский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
Номер образца	18512	18714	18749	18812	20777а	20777б	22235
S	24,510	25,934	25,086	25,532	26,89	26,91	25,18
Fe	11,443	11,283	10,465	11,523	11,98	11,95	10,94
Cu	64,260	61,886	64,241	62,355	60,29	60,35	63,24
Co	–	–	–	–	–	–	–
Ni	–	–	–	–	–	–	–
Ag	–	–	–	–	–	–	–
Σ	100,213	99,103	99,792	99,410	99,16	99,21	99,36
Глубина	4921,1	5078,5	5111,3	5132,4	6462,0	6462,0	6761,6

5.2. Архейский комплекс

№ п/п	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Номер образца	22706	31078	31088	37459	39797	40557	40560	40658	44247а	44247б
S	25,655	25,318	25,400	28,810	26,330	25,445	26,859	25,633	28,143	28,135
Fe	12,132	11,488	12,112	11,202	10,131	12,005	12,255	11,372	11,893	11,985
Cu	61,983	61,865	62,533	63,301	63,755	62,520	60,686	62,992	59,927	59,945
Co	–	–	–	–	0,028	–	–	–	–	–
Ni	0,053	–	–	–	–	–	0,026	–	–	–
Ag	–	0,413	–	–	–	–	–	–	–	–
Σ	99,823	99,084	100,045	100,313	100,244	99,970	99,826	99,997	100,063	100,065
Глубина	6946,3	8715,0	8717,6	10088,4	10866,2	10921,1	10821,8	11141,3	11981,3	11981,3

6. Сфалерит

6.1. Протерозойский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер образца	3582	10630	17779	17806	18488	20486	20631а	20638б	21081а	21081б
S	33,71	33,50	32,36	33,20	32,58	34,16	32,53	33,20	33,37	32,38
Fe	6,00	0,20	3,72	6,07	2,22	3,16	5,49	3,11	4,56	1,72
Zn	60,00	66,00	61,37	61,06	64,20	62,40	60,62	63,61	60,70	63,97
Cd	0,29	–	1,29	0,32	0,02	0,03	0,11	–	0,00	0,00
Ni	–	–	0,14	–	–	–	0,10	–	0,15	0,22
Co	–	–	0,33	0,16	–	–	–	0,08	0,00	0,00
Cu	–	–	0,70	0,13	0,83	–	0,91	0,10	1,57	1,68
Pb	–	–	–	–	–	0,22	–	–	–	–
Σ	100,00	99,70	99,91	100,94	99,85	101,97	99,76	100,10	100,35	99,97
Глубина	1149,6	2770,8	4680,0	4691,1	4900,4	6372,4	6379,0	6536,2	6536,2	6536,2

6.2. Архейский комплекс

№ п/п	11	12	13	14	15	16	17	18
Номер образца	44567а	44567б	44567в	34637	35496	37700	39198	39889
S	34,201	34,400	35,896	34,781	32,075	33,530	33,961	32,853
Fe	10,811	11,186	10,333	6,288	7,344	10,516	7,165	1,409
Zn	52,619	53,871	53,078	59,436	57,809	53,221	58,118	65,949
Cd	1,618	1,292	1,378	0,140	1,760	2,285	0,494	0,110
Ni	–	–	–	–	–	–	0,014	–
Co	–	–	–	–	–	0,292	–	–
Cu	–	–	–	–	–	–	0,011	–
Pb	–	–	–	–	–	–	–	–
Σ	99,244	100,689	100,558	100,655	98,988	99,834	99,763	100,321
Глубина	7646,6	7646,6	7646,6	8714,4	9481,8	10147,6	10683,2	10802,3

№ п/п	19	20	21
Номер образца	41534	43866	43886
S	31,607	33,402	33,403
Fe	6,066	3,086	4,006
Zn	61,622	62,937	62,037
Cd	0,312	–	–
Ni	-–	–	–
Co	0,125	–	–
Cu	–	–	–
Pb	–	–	–
Σ	99,932	99,425	99,446
Глубина	11446,2	11762,5	11776,7

7. Молибденит

№ п/п	1	2	3	4
Номер образца	22513	38170	38569	41591
S	41,76	40,134	40,418	41,201
Se	0,06	0,098	0,080	0,000
Mo	59,16	60,239	59,641	59,143
Σ	100,98	100,465	99,641	100,344
Глубина	6940,2	10255,5	10477,8	11469,4

8. Арсениды (сульфоарсениды) Ni и Co (кобальтин, зигенит и др.), а также прочие минералы (галенит, виоларит, аргентопентландит)

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер образца	6573а	6573б	6573в	6610а	6610б	6610в	10633а	10633б	10633в	10635а	10635б
S	20,0	20,0	20,0	20,309	20,484	20,449	19,3	19,3	20,1	18,9	19,1
As	46,0	46,1	45,6	43,370	45,458	45,531	45,6	45,7	45,1	47,5	48,1
Fe	5,0	3,0	4,5	5,748	4,578	5,628	4,5	4,6	4,5	29,7	30,0
Ni	6,0	5,0	6,5	7,984	5,452	6,965	6,5	5,1	4,2	0,3	0,3
Co	24,5	25,0	25,1	22,789	23,261	22,747	25,1	26,4	27,0	3,9	3,5
Σ	101,5	101,1	101,7	100,200	99,233	101,320	101,0	101,1	100,9	100,3	101,0
Глубина	1805,4	1805,4	1805,4	1811,2	1811,2	1811,2	2770,9	2770,9	2770,9	2771,2	2771,2

Примечание: 1–9 — кобальтин, 10–11 — глаукодот.

№ п/п	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер образца	2048	20684	20727	23575	26514	2690	26633	28247	36023
S	41,06	41,97	42,12	43,385	42,283	43,344	41,658	43,312	40,661
Fe	0,90	3,00	5,07	19,528	17,023	13,076	22,921	22,390	15,011
Ni	27,25	26,19	18,07	28,129	28,242	25,844	29,383	27,766	29,146
Co	29,75	29,07	34,15	8,463	12,817	17,245	5,396	6,355	15,023
Cu	0,80	–	0,07	–	–	0,194	–	–	–
Σ	99,76	100,23	99,48	99,505	100,365	99,703	99,558	99,823	99,841
Глубина	6352,4	6375,4	6408,0	7350,3	7896,4	7925,4	7926,0	8243,3	9683,7

Примечание: 12–20 — зигенит: 12–14 — протерозойский комплекс, 15–20 — архейский комплекс.

Прочие сульфиды

№ п/п	1	2	3	4	5	6
Номер образца	10630	29275	37756	10630	38514	35496
S	13,42	13,00	13,551	–	40,330	35,432
Fe	–	–	0,220	–	8,934	35,479
Ni	–	–	–	–	44,444	19,479
Co	–	–	–	–	6,800	0,254
Bi	0,29	–	–	0,26	–	–
Pb	84,98	86,95	85,921	57,88	–	–
Ag	0,05	0,26	–	–	–	13,804
Te	–	–	–	30,66	–	–
Σ	99,74	100,21	99,692	88,60	100,508	99,091
Глубина	2770,8	7182,2	10185,0	2770,8	10359,0	9481,8

Примечание: 1–3 — галенит, 4 — алтаит, 5 — виоларит, 6 — аргентопентландит.

Б. Анализы оксидов и редких минералов в разрезе СГ-3

9. Магнетит

9.1. Протерозойский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Номер образца	5110	5210	17814	17816	17816	17873	17892а	17892б
Fe_2O_3 FeO	93,0	93,5	92,54	92,70	92,65	91,95	92,19	92,09
TiO_2	–	–	0,04	–	–	–	0,04	0,06
Cr_2O_3	0,05	0,11	0,03	–	–	–	–	0,13
Al_2O_3	–	–	0,12	–	–	0,10	0,11	0,12
MnO	–	–	–	0,02	0,01	–	0,06	–
MgO	–	–	–	–	–	0,08	–	0,17
Na_2O	–	–	–	–	–	–	–	–
K_2O	–	–	–	–	–	–	–	–
ZnO	–	–	CaO=0,02	–	–	–	–	CaO=0,04
V_2O_3	–	–	–	0,02	0,01	0,03	–	–
SiO_2	–	–	0,25	–	–	0,20	0,31	0,37
Σ	93,65	99,61	93,00	92,74	92,67	92,36	92,71	92,98
Глубина	1344,4	1573,1	4695,2	4696,1	4696,1	4718,0	4724,9	4724,9

№ п/п	9	10	11	12	13	14	15	16
Номер образца	18025	18027	18054	18239а	18239б	18267	18916	18332а
Fe_2O_3	92,83	92,58	92,90	87,97	82,03	88,90	92,01	91,74
FeO								
TiO_2	–	–	–	3,25	6,36	4,25	0,00	–
Cr_2O_3	–	–	–	0,32	3,98	0,06	0,02	–
Al_2O_3	–	0,08	0,07	0,21	0,15	0,18	0,11	0,09
MnO	–	0,02	0,02	0,04	0,06	0,05	–	–
MgO	0,05	–	–	0,07	–	–	–	–
Na_2O	–	–	–	–	–	–	–	–
K_2O	–	–	–	–	–	–	–	–
ZnO	–	–	CaO=0,03	–	CaO=0,04	–	–	–
V_2O_3	0,03	–	0,04	0,12	0,11	0,09	–	–
SiO_2	0,12	–	0,26	0,68	0,48	0,62	0,37	0,71
Σ	93,03	92,68	93,32	92,70	93,17	94,15	92,51	92,54
Глубина	4756,5	4756,8	4761,8	4833,8	4833,8	4840,0	4850,6	4853,4

№ п/п	17	18	19	20	21	22	23	24
Номер образца	18332б	18391	18438	18470	18488а	18488б	18512	18521
Fe_2O_3	92,31	91,56	92,30	89,86	92,96	93,36	92,44	92,29
FeO								
TiO_2	–	0,05	–	0,30	0,10	0,00	–	0,06
Cr_2O_3	0,18	0,12	0,04	3,75	0,04	–	–	–
Al_2O_3	0,10	–	–	0,15	–	–	0,09	0,11
MnO	–	–	–	0,09	0,03	–	–	–
MgO	0,03	–	–	0,08	–	–	–	–
CaO	–	0,04	–	0,8	–	–	0,06	0,20
K_2O+Na_2O	–	–	–	–	–	–	–	–
V_2O_3	–	–	0,09	0,12	0,09	–	0,11	–
SiO_2	0,44	0,36	0,10	0,45	0,59	0,22	0,14	0,27
Σ	93,06	91,93	92,53	94,99	94,07	93,71	92,84	92,93
Глубина	4853,4	4883,7	4878,2	4881,2	4900,4	4900,4	4921,1	4923,0

№ п/п	25	26	27	28	29	30	31	32
Номер образца	18609	18624	18625	18670а	18670б	18714	18749а	18749б
Fe_2O_3	91,96	91,63	91,83	91,97	91,55	93,00	91,79	91,88
FeO								
TiO_2	–	0,06	0,06	0,56	0,37	0,05	0,05	0,29
Cr_2O_3	0,08	0,04	–	0,24	0,26	0,05	–	0,05
Al_2O_3	0,18	0,13	0,36	0,20	0,14	–	0,14	0,16
MnO	0,04	–	0,02	–	–	0,09	–	0,02
MgO	0,13	–	0,20	0,11	0,18	–	–	–
Na_2O+K_2O	–	–	–	–	–	–	–	–
CaO	–	0,04	0,05	0,16	0,33	0,10	0,06	0,06
V_2O_3	0,16	0,17	0,40	0,20	0,23	0,17	0,12	0,28
SiO_2	0,55	0,40	0,80	0,32	0,29	–	0,52	0,45
Σ	93,10	92,47	93,72	93,16	93,40	93,46	92,38	93,19
Глубина	4958,4	5000,5	5000,6	5044,5	5044,5	5078,9	5111,3	5111,3

№ п/п	33	34	35	36	37	38	39	40
Номер образца	18812а	18812б	18860	18904	19004	10030	19036	19141
Fe_2O_3	91,94	91,68	92,19	91,40	91,96	91,81	91,60	92,75
FeO								
TiO_2	0,08	0,08	0,04	0,13	0,03	0,07	0,14	–
Cr_2O_3	0,07	0,11	–	0,20	0,02	–	–	0,02
Al_2O_3	0,06	0,20	0,15	0,20	0,18	0,23	0,27	0,29
MnO	–	–	–	0,01	0,05	0,04	0,08	–
MgO	–	–	–	–	–	–	0,10	–
Na_2O+K_2O	–	–	–	–	–	–	–	–
CaO	0,05	0,04	0,07	0,04	–	0,04	–	–
V_2O_3	0,20	0,27	0,10	0,08	0,08	0,16	0,08	0,06
SiO_2	0,67	0,22	0,27	0,53	0,47	0,57	0,48	0,76
Σ	93,07	92,60	92,82	92,59	92,59	92,92	92,75	93,88
Глубина	5162,4	5162,4	5201,5	5333,3	5433,4	5501,8	5502,6	5564,0

№ п/п	41	42	43	44
Номер образца	19330	19333а	19333б	19340а
Fe_2O_3	92,08	92,03	91,38	91,87
FeO				
TiO_2	–	–	–	–
Cr_2O_3	0,03	3,98	0,08	–
Al_2O_3	0,12	0,15	0,20	0,11
MnO	0,04	0,06	–	–
MgO	–	–	–	–
CaO	–	–	–	–
Na_2O+K_2O	–	–	–	–
V_2O_3	0,07	0,13	0,03	0,06
SiO_2	0,42	0,88	1,04	0,61
Σ	92,76	93,14	92,73	93,30
Глубина	5706,5	5708,1	5708,1	5709,0

9.2. Архейский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Номер образца	44541	42255	42381	42585	38514	39797	43115	39452
Fe_2O_3	68,91	67,87	68,91	68,91	93,262	93,617	68,42	93,777
FeO	31,02	30,66	30,86	31,14			30,81	
TiO_2	0,04	–	0,07	0,02	0,015	0,001	0,09	–
Cr_2O_3	0,06	0,04	0,07	–	–	–	–	–
Al_2O_3	0,27	1,27	0,13	0,34	–	–	0,23	–
MnO	0,03	–	0,02	–	0,060	0,013	0,03	0,027
MgO	0,13	–	0,22	0,05	–	–	–	–
CaO	–	–	–	–	0,161	–	–	–
V_2O_3	–	0,81	–	–	–	–	Zn–0,14	–
SiO_2	–	0,04	0,26	–	–	–	–	–
Σ	100,46	100,69	100,54	100,46	93,498	93,631	99,72	93,804
Глубина	7626,4	9484,0	9805,5	10137,8	10359,0	10366,2	10600,8	10623,2

№ п/п	9	10	11	12	13	14	15	16
Номер образца	37700	39198	39792	4149	41465	41642	43886	41864
Fe_2O_3	91,590	93,709	94,263	93,205	93,216	93,377	68,31	91,477
FeO							30,53	
TiO_2	–	0,076	–	0,072	–	–	0,02	0,030
Cr_2O_3	0,328	0,038	–	0,263	–	–	0,03	0,159
Al_2O_3	–	–	–	–	–	–	0,10	–
MnO	0,054	–	–	–	–	–	0,03	–
MgO	0,078	–	–	–	–	–	0,14	–
CaO	–	–	–	0,012	–	–	–	–
V_2O_3	–	Ni–0,016	–	–	–	–	Zn–0,08	–
SiO_2	0,473	–	–	0,234	–	–	–	0,230
Σ	92,523	93,839	94,263	93,786	93,216	93,377	99,24	91,896
Глубина	10147,6	10683,2	10799,4	11412,9	11419,5	11473,9	11768,6	11562,4

№ п/п	17	18	19	20	21
Номер образца	40562	42247	44402а	44402б	44929
Fe_2O_3	91,610	67,73	67,95	64,67	91,618
FeO		30,70	31,50	29,42	
TiO_2	0,035	0,17	0,06	–	–
Cr_2O_3	–	–	1,17	0,48	–
Al_2O_3	0,078	0,07	0,16	–	0,120
MnO	0,037	0,05	–	–	–
MgO	0,127	0,040	–	–	0,024
CaO	0,074	–	–	–	–
V_2O_3	–	0,020	0,51	–	–
SiO_2	–	–	–	–	0,570
Σ	91,961	99,14	101,35	94,57	92,332
Глубина	10922,0	11981,8	12054,8	12054,8	12181,3

10. Гематит

10.1. Протерозойский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Номер образца	17767	17814	17884	18179а	18179б	18316	18332а	18332б
Fe_2O_3	98,00	97,69	99,49	98,61	96,00	92,80	99,16	92,49
TiO_2	2,62	1,30	0,80	0,80	3,20	6,34	0,06	7,94
Cr_2O_3	0,30	–	–	–	0,23	0,06	–	0,04
Al_2O_3	–	0,18	0,10	0,10	0,21	0,10	0,17	0,13
V_2O_3	–	0,08	0,12	0,12	0,11	–	–	0,14
MnO	–	–	0,03	0,03	–	0,02	–	–
MgO	–	–	–	0,13	–	–	–	–
CaO	–	0,06	0,06	0,05	0,06	–	–	–
SiO_2	–	0,64	0,31	0,44	0,73	0,58	0,45	0,51
Σ	100,92	99,95	99,86	100,28	100,54	99,90	99,84	100,65
Глубина	4631,6	4695,2	4724,9	4808,9	4808,9	4850,6	4855,0	4855,0

№ п/п	9	10	11	12	13	14	15	16
Номер образца	19332в	18370	18391а	18391б	18412	18423	18438	18438
Fe_2O_3	92,53	99,91	99,39	93,14	99,14	97,04	99,62	90,88
TiO_2	5,48	0,03	0,05	7,18	0,02	10,29	0,04	6,24
Cr_2O_3	0,03	–	0,07	0,26	–	0,11	–	1,82
Al_2O_3	0,22	0,24	–	0,16	0,04	0,14	–	0,22
V_2O_3	0,13	0,08	0,10	0,14	0,13	0,38	0,07	0,21
MnO	0,03	–	–	0,04	0,06	0,02	–	0,11
MgO	–	–	–	0,08	–	–	–	–
CaO	0,03	0,02	0,02	–	–	0,02	–	–
SiO_2	0,95	0,62	0,21	0,19	0,70	0,55	0,11	0,49
Σ	99,40	100,80	99,84	101,19	100,09	98,55	99,84	100,07
Глубина	4855,0	4861,0	4863,7	4863,7	4865,9	4867,2	4873,2	4881,2

№ п/п	17	18	19	20	21	22	23	24
Номер образца	18670	18714	18904	19004	19030	19036	19141	19220
Fe_2O_3	99,62	99,36	98,06	86,17	88,27	92,15	9085	91,28
TiO_2	–	–	1,06	12,73	10,47	7,01	8,37	7,95
Cr_2O_3	–	–	0,29	–	–	–	0,03	0,04
Al_2O_3	–	–	0,11	0,11	0,24	0,16	0,24	0,24
V_2O_3	–	–	0,15	0,19	0,28	0,20	0,15	–
MnO	–	–	0,02	0,21	0,39	0,33	0,17	–
MgO	–	–	0,18	0,01	–	–	–	–
CaO	0,17	0,04	–	–	0,02	–	–	–
SiO_2	0,37	-–	0,46	0,41	0,43	0,26	0,73	1,00
Σ	100,16	99,40	100,33	99,83	100,20	100,11	100,54	100,51
Глубина	5044,5	5078,9	5333,3	5491,4	5501,8	5502,6	5564,0	5669,6

№ п/п	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
№ образца	19299	19314а	19314б	19326а	19326б	19333а	19333б	19340а	19340б	19357
Fe_2O_3	98,27	94,29	98,74	98,91	97,63	95,78	99,56	94,34	100,04	99,09
TiO_2	–	2,50	–	6,20	0,00	3,93	–	3,33	–	–
Cr_2O_3	–	0,02	0,02	1,23	1,28	0,15	0,08	–	0,02	–
Al_2O_3	0,12	0,25	0,26	0,15	0,16	0,33	0,20	0,08	0,09	0,15
V_2O_3	0,02	0,02	0,02	0,20	0,21	0,09	0,03	0,16	0,09	0,05
MnO	–	–	–	0,06	0,06	–	–	–	–	–
MgO	0,34	–	–	–	–	–	–	–	–	–
CaO	0,14	–	–	–	–	–	–	–	–	–
SiO_2	0,13	0,92	0,96	0,64	0,66	0,83	1,04	0,86	0,52	1,04
Σ	99,02	98,00	100,00	102,39	100,00	100,51	100,91	98,77	100,76	100,33
Глубина	5695,4	5697,9	5697,9	5704,7	5704,7	5708,1	5708,1	5709,0	5709,0	5715,2

11. Ильменит

11.1. Протерозойский комплекс

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер образца	12020	18512	18521	18537	18609	18624	18625	18749	20489	20777а	20777б
Fe_2O_3	45,867	43,44	43,58	42,75	45,04	40,48	36,72	40,58	42,20	43,60	44,50
TiO_2	52,092	52,01	52,17	52,62	51,75	51,83	52,19	53,03	52,80	54,05	54,60
Cr_2O_3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Al_2O_3	0,104	0,14	0,16	0,13	0,07	0,09	0,21	0,23	0,08	0,10	–
MnO	0,511	3,29	2,78	3,51	2,43	6,54	10,05	6,09	5,15	1,90	1,74
MgO	0,288	0,12	0,12	0,08	0,12	–	0,10	–	0,04	0,10	0,10
CaO	–	0,04	0,08	0,10	–	0,04	0,11	–	–	–	–
ZnO	0,018	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
SiO_2	–	0,30	0,21	0,68	0,86	0,31	0,54	0,56	–	–	–
Σ	99,880	99,34	99,10	99,87	100,27	99,29	99,82	100,49	100,27	99,75	100,94
Глубина	3117,5	4921,1	4923,0	4925,0	4958,4	5000,5	5000,6	5111,3	6382,6	6462,0	6462,0

11.2. Архейский комплекс

№ п/п	12	13	14	15	16	17	18	19
Номер образца	22519	22706	22769	22788	24151а	24151б	24210	24418
Fe_2O_3	44,42	44,376	44,129	42,396	45,577	44,863	45,958	41,004
TiO_2	54,38	53,134	54,171	52,562	53,714	54,785	53,012	52,343
Cr_2O_3	0,05	–	–	–	–	–	–	–
Al_2O_3	–	–	0,152	0,133	–	–	0,060	0,144
MnO	2,26	1,900	1,132	4,660	3,509	2,749	1,017	5,868
MgO	–	–	0,131	0,090	0,149	0,148	0,179	–
CaO	–	0,140	0,050	0,077	–	–	0,041	0,058
ZnO	–	–	–	–	–	–	–	–
SiO_2	–	–	0,414	0,325	–	–	0,177	0,277
V_2O_3	0,03	–	–	0,088	–	–	–	–
Σ	101,14	99,550	100,179	100,331	102,949	102,645	100,444	99,634
Глубина	6840,2	6946,2	6970,1	6978,5	7434,6	7454,6	7467,0	7500,8

№ п/п	20	21	22	23	24	25	26	27
Номер образца	44563	44571	25217	21983	31077	31088	31148	31470
Fe_2O_3	44,739	45,730	42,798	40,573	46,657	44,989	46,466	42,970
TiO_2	52,328	51,838	54,357	54,335	51,232	52,289	51,819	52,729
Cr_2O_3	–	–	–	–	–	–	–	–
Al_2O_3	0,110	0,035	–	0,098	–	0,068	–	–
MnO	2,389	2,135	2,590	4,379	0,908	1,974	1,584	3,263
MgO	–	–	0,036	–	–	0,077	0,176	–
CaO	0,121	0,062	–	0,040	–	0,127	0,045	–
ZnO	–	–	–	–	–	–	–	–
SiO_2	0,349	0,335	–	0,361	-	0,396	0,190	–
V_2O_3	–	–	–	-	-	-	-	–
Σ	100,030	100,135	99,781	99,786	98,797	99,920	100,270	98,962
Глубина	7645,0	7648,1	7768,9	8009,1	8714,4	8717,7	8732,6	8820,2

№ п/п	28	29	30	31	32	33	34	35
Номер образца	32027	33392	34104	35850	37199	38586	38830	39944
Fe_2O_3	45,508	45,449	43,945	47,717	44,022	46,667	44,645	46,844
TiO_2	52,889	52,527	52,814	51,161	53,261	52,084	52,924	51,994
Cr_2O_3	–	–	–	–	–	–	–	–
Al_2O_3	0,123	–	–	–	0,075	0,388	–	–
MnO	1,590	2,166	3,312	1,060	2,377	0,564	1,585	2,004
MgO	–	–	–	–	0,108	0,108	0,376	–
CaO	–	–	–	–	0,049	0,017	–	–
ZnO	–	–	–	–	0,058	–	–	–
V_2O_3	0,056	–	–	–	–	–	–	–
SiO_2	0,333	–	–	–	0,234	0,489	–	–
Σ	100,499	100,142	100,071	99,938	100,184	100,315	99,530	100,842
Глубина	8970,0	8983,6	9135,6	9654,7	10003,5	10427,4	10542,8	10919,6

№ п/п	36	37	38	39	40	41	42	43
Номер образца	40562	41409а	41409б	41534а	41534б	43853	43886	44820
Fe_2O_3	43,369	42,563	42,938	45,873	46,082	47,444	44,060	46,055
TiO_2	52,170	52,552	52,426	51,180	51,127	49,099	53,141	52,931
Cr_2O_3	–	0,135	0,104	–	–	–	0,022	–
Al_2O_3	0,063	0,152	0,074	0,065	–	–	–	–
MnO	2,890	3,767	4,046	2,470	2,409	2,530	2,012	0,387
MgO	0,227	0,247	0,162	0,088	-	–	0,219	0,531
CaO	0,189	–	–	0,046	0,031	–	–	–
ZnO	–	0,074	–	–	–	–	–	0,078
V_2O_3	–	–	–	0,221	0,121	–	–	–
SiO_2	0,386	0,306	0,299	0,314	0,138	–	0,065	–
Σ	99,294	99,847	100,083	100,257	99,908	99,073	99,519	99,982
Глубина	10921,0	11412,3	11412,3	11446,2	11446,2	11767,4	11768,6	11804,1

№ п/п	44	45	46	47
Номер образца	44247	44314	44326	44402
Fe_2O_3	46,123	45,486	46,504	47,754
TiO_2	51,403	52,580	52,006	51,419
Cr_2O_3	–	0,036	–	–
Al_2O_3	–	–	–	–
MnO	2,056	1,359	1,507	0,664
MgO	0,148	0,925	0,364	0,080
CaO	–	–	–	–
ZnO	–	–	–	–
V_2O_3	–	NiO=0,031	–	–
SiO_2	–	0,059	–	–
Σ	99,730	99,876	100,381	99,917
Глубина	11981,8	12006,3	12010,1	12054,2

11. Титанит (сфен)

11.1. Протерозойский комплекс

№ п/п	1	2	3
Номер образца	17782	17892	19360
TiO_2	39,28	38,09	37,22
SiO_2	30,72	30,85	31,48
CaO	28,26	27,07	28,21
FeO	0,68	1,23	0,66
Cr_2O_3	–	–	0,02
Al_2O_3	0,94	1,53	1,70
MnO	0,07	0,06	0,04
MgO	–	0,49	0,08
Σ	99,95	99,26	99,41
Глубина	4680,0	4724,9	5716,6

11.2. Архейский комплекс

№ п/п	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер образца	22706	25217	28853	33392	34104	36246	37199	4222585
TiO_2	39,541	38,079	37,567	37,523	39,101	39,089	39,198	39,140
SiO_2	30,588	30,916	31,067	32,257	30,484	30,667	30,213	29522
CaO	28,784	28,600	29,246	28,077	28,956	29,051	27,675	29,500
FeO	0,297	0,649	0,541	0,363	0,475	1,045	0,811	–
Cr_2O_3	–	–	–	–	–	–	0,063	–
Al_2O_3	1,008	1,836	0,847	1,790	–	–	1,782	0,850
MnO	0,063	0,056	–	–	–	–	0,069	–
MgO	–	–	–	–	–	–	–	0,540
Σ	100,281	100,136	99,268	100,990	99,016	99,852	99,761	99,552
Глубина	6846,9	7768,9	8263,0	8983,6	9135,6	9770,1	10003,5	10137,8

№ п/п	12	13	14	15	16	17
Номер образца	43381	39944	40562	39968	43853	43886
TiO_2	38,150	39,044	38,184	38,700	39,050	38,050
SiO_2	30,450	31,402	31,255	30,079	30,500	31,250
CaO	28,700	29,082	28,330	27,430	28,850	29,450
FeO	0,500	0,644	0,740	0,836	0,450	0,750
Cr_2O_3	0,050	–	0,040	–	–	–
Al_2O_3	1,080	–	1,428	2,807	1,150	0,950
MnO	0,050	0,080	0,076	0,055	0,070	0,070
MgO	–	–	–	0,041	–	–
Σ	98,980	100,252	100,053	99,948	100,070	100,250
Глубина	10679,4	10819,6	10922,0	10945,0	11767,8	11770,7

12. Рутил

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
Номер образца	17814	17893	17998	18156	18179а	18179б	18391	18423
TiO_2	97,56	97,51	98,46	97,66	98,52	98,80	97,74	99,32
Fe_2O_3	0,57	0,89	0,65	0,45	0,72	0,58	0,68	–
Cr_2O_3	0,05	0,04	0,07	0,09	0,26	0,05	0,16	–
Al_2O_3	0,11	–	0,19	0,20	0,12	0,08	0,19	–
V_2O_3	–	–	–	–	–	–	–	–
MnO	0,06	–	–	–	–	–	–	–
MgO	–	–	–	0,12	–	–	–	–
CaO	0,04	0,37	0,35	0,32	0,09	0,04	–	–
SiO_2	0,73	0,24	0,58	0,65	0,37	0,45	0,40	0,62
Σ	99,12	99,05	100,30	99,49	100,02	100,00	99,22	99,94
Глубина	4695,2	4724,9	4777,4	4793,7	4808,9	4808,9	4863,7	4867,2

№ п/п	9	10	11	12	13	14	15	16
Номер образца	19036	19141	19299	19326	19357	19360	25217	31470
TiO_2	97,61	97,12	98,02	96,17	98,75	98,16	98,255	99,826
Fe_2O_3	0,78	1,91	0,46	0,34	0,60	1,09	0,980	0,129
Cr_2O_3	–	–	0,03	–	–	0,04	–	–
Al_2O_3	0,18	0,20	0,18	0,17		0,06	0,047	–
V_2O_3	0,21	0,11	–	–	–	0,04	–	–
MnO	–	–	–	–	–	–	–	0,027
MgO	0,08	0,07	0,44	–	–	0,08	–	–
CaO		0,01	0,03	0,06	0,03	0,02	–	–
SiO_2	0,31	0,27	0,26	0,94	0,38	0,25	–	–
Σ	99,17	99,69	99,42	97,68	99,76	99,74	99,382	99,982
Глубина	5502,6	5564,0	5695,4	5704,7	5715,2	5716,6	7968,4	8820,2

13. Второстепенные и редкие минералы

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
Номер образца	22769	32027	41465	26983	26630	5210	35944
SiO_2	36,501	37,933	37,905	0,398	FeO-16,200	–	0,037
Fe_2O_3	34,055	29,472	31,387	–	30,324	16,22	33,261
Cr_2O_3	–	0,037	–	0,049	32,319	32,02	26,955
Al_2O_3	21,298	20,084	20,544	0,087	5,290	42,54	6,482
CaO	2,562	7,241	5,080	–	0,257	7,77	0,094
MnO	2,430	2,277	1,959	Zn-0,184	0,688	3,84	1,700
MgO	2,838	2,711	2,595	0,037	0,149	0,10	0,546
TiO_2	–	–	–	99,211	–	1,14	0,282
V_2O_3	–	–	–	0,043	–	–	–
Σ	99,684	99,755	99,470	99,960	98,227	100,78	99,357
Глубина	6970,7	8970,0	11418,3	8009,1	7925,4	1573,0	9673,3

№ п/п	8
Номер образца	38522
SiO_2	0,501
Al_2O_3	0,416
P_2O_5	29,096
CaO	0,547
MnO	0,057
FeO	0,295
ΣTR_2O	53,213
ΣThU	4,957
Σ	100,288
Глубина	10427,4

Примечание: 1–3 — гранат, 4 — рутил, 5–7 — хромшпинелиды; 8 — монацит.

Заключение

Изложенные данные о составе главных и некоторых второстепенных рудных минералов позволяют сделать следующие выводы.

1. Все главные сульфидные минералы обнаруживают закономерные изменения с глубиной разреза СГ-3, что характерно в основном для архейской его части, тогда как для протерозойской количество анализов либо недостаточно, либо они отсутствуют; можно отметить лишь своеобразие составов некоторых оксидов. В целом для архейского комплекса содержание серы (и отчасти As) большинства минералов остаётся стабильным, а содержание металлов сильно варьирует, подчиняясь закону изоморфного замещения, и, вероятно, зависит от глубины нахождения образцов.
2. Для некоторых минералов характерны «критические» интервалы разреза архейского комплекса, для которых отмечаются либо повышенные, либо пониженные содержания отдельных элементов.
3. Некоторые интервалы разреза характеризуются наличием благородных металлов в составе сульфидов (например, платины в халькопирите), что подтверждает ранние представления о наличии на глубине 10–11 км своеобразного «рудного горизонта».
4. Дальнейшие более детальные исследования этого феномена разреза СГ-3 никем не предпринимались. Но эти данные позволяют считать, что далеко не все «сюрпризы» глубоких горизонтов земной коры раскрыты, и будущих исследователей наверняка ждут новые открытия.

Литература

1. Архейский комплекс в разрезе СГ-3 / ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты: КНЦ РАН, 1991. 186 с.
2. Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследований / под ред. В. П. Орлова и Н. П. Лаверова. М.: МФ Технонефтегаз, 1998. 260 с.
3. Кольская сверхглубокая скважина / под ред. Е. А. Козловского. М.: Недра, 1984. 490 с.
4. Митрофанов Ф. П., Дистлер В. В., Яковлев Ю. Н. Кольский регион — новая платинометалльная провинция // Геология и генезис месторождений платиновых металлов: тез. докл. / ИГЕМ РАН. М., 1992. С. 9–10.
5. Необычные минеральные ассоциации на нижних горизонтах Кольской сверхглубокой скважины / В. И. Казанский и др. // Геология рудных месторождений. 1989. № 6. С. 75–82.
6. Рудоносность глубинных зон древней континентальной земной коры / Е. А. Козловский и др. // Советская геология. 1988. № 9. С. 3–11.
7. Яковлев Ю. Н. Комплексное оруденение в базит-гипербазитах из разреза СГ-3 // Разведка и охрана недр 1995. № 1. С. 18–20.

Секция 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

К. В. Балякин, А. М. Калинкин, Е. В. Калинкина
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, kalinkin@chemy.kolasc.net.ru

ПЕРЕВОД БАДДЕЛЕИТА В КИСЛОТОРАСТВОРИМУЮ ФОРМУ МЕТОДОМ СПЕКАНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ РЕАГЕНТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ

Введение

Объектом исследования в данной работе является бадделеитовый концентрат (БК), производимый ОАО «Ковдорский ГОК», который является единственным в РФ сырьевым источником циркония. Бадделеит (природный диоксид циркония) — химически весьма инертный минерал. Для получения циркониевых соединений и высокочистого ZrO_2 цирконий из БК должен быть переведен в раствор. В ИХТРЭМС КНЦ РАН предложены способы переработки БК, основанные на его спекании с карбонатом кальция при температуре 1150–1200 °С с получением растворимого в кислоте цирконата кальция [3, 5]. Их недостатком являются жесткие условия перевода бадделеита в $CaZrO_3$ при спекании. Синтез кислоторастворимого цирконата натрия из БК и соды с приемлемой скоростью также протекает при достаточно высоких температурах (не ниже 1100–1200 °С) [4]. В этой связи существенным является снижение температуры и сокращение продолжительности спекания, что может быть достигнуто в результате предварительной механической активации (МА) компонентов [4]. Целью работы является сопоставление способов перевода бадделеита в кислоторастворимую форму методом спекания с карбонатом кальция, содой или гидроксидом натрия с использованием предварительной механоактивации.

Экспериментальная часть

В экспериментах использовали БК марки «ПБ-0», $CaCO_3$ «чда», CaO «ч», $CaCl_2$ «ч», Na_2CO_3 «ч» и NaOH «ч». Содержание суммы ($ZrO_2 + HfO_2$) в БК составило 98,5 %. МА проводили в центробежно-планетарной мельнице АГО-2 при центробежном факторе 40 g в воздушной атмосфере. В качестве мелющих тел использовали стальные шары диаметром 8 мм. Соотношение массы шаров к массе загрузки составляло 20:1. В барабан помещали 200 г стальных шаров диаметром 8 мм и 10 г образца. После каждых 2 мин МА мельницу выключали и загрузку перемешивали. Для минимизации намола (тонкодисперсного железа за счет самоистирания материала мельницы) применяли предварительную футеровку барабанов и шаров по методике [2]. Нагрев смесей выполнялся в электропечи SNOL 6,7/1300 в корундовых тиглях в воздушной среде. Степень образования цирконата кальция определяли по массе сухого остатка бадделеита после солянокислотного разложения спека и фильтрации суспензии. Дополнительный контроль осуществляли по содержанию циркония в фильтрате. В жидкой фазе Zr определяли фотометрически по стандартной методике, основанной на его взаимодействии с реактивом арсеназо I.

Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 (CuK_α-излучение). Съемка рентгенограмм проводилась с шагом 0,02 °(2θ), время накопления сигнала в каждой точке — 1 с. Комплексный термический анализ (ДТА, ТГ и ДТГ) выполняли на установке NETZSCH STA 409 PC/PG. Результаты получены в режиме нагрева образца со скоростью 10 °С/мин. Удельную поверхность определяли методом низкотемпературной адсорбции азота с помощью анализатора Flow-Sorb II 2300 (Micromeritics).

Результаты и их обсуждение

Ранее нами показано, что МА существенно ускоряет взаимодействие БК с кальцитом: механическая обработка в планетарной мельнице в течение 10–12 мин стехиометрической смеси бадделеита и $CaCO_3$ с добавкой в качестве плавня $CaCl_2$ и последующее прокаливание при температуре 900–950 °С продолжительностью 5 ч позволяет диоксид циркония из БК перевести в кислоторазложимый цирконат кальция на 95–98 % [7]. Установлено, что совместная МА БК и кальцита более эффективна, чем раздельная. Таким образом, в случае получения $CaZrO_3$ из бадделеита МА позволяет снизить температуру прокаливания на 250 °С при обеспечении высокой степени образования цирконата кальция.

В смесях (БК + Na_2CO_3) соду по отношению к бадделеиту брали с 5 %-м избытком в сравнении со стехиометрическим количеством. По данным термического анализа, предварительная МА смеси БК и соды существенно интенсифицирует взаимодействие компонентов при нагревании. Ход термогравиметрических кривых (не приведены) указывает на то, что в случае МА-смеси основная убыль массы в результате разложения соды протекает в интервале, сдвинутом примерно на 150 °С в сторону меньших температур по сравнению

с исходной смесью. Ускорение разложения соды под влиянием МА и понижение температуры образования Na_2ZrO_3 подтверждаются также данными дифференциального термического анализа: эндоэффекты плавления и разложения соды в случае механоактивированной и исходной смесей расположены в области температур 650–950 и 840–1050 °С соответственно (рис. 1).

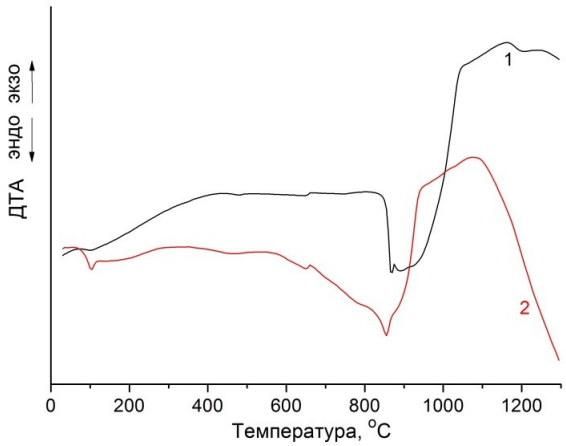


Рис. 1. Кривые ДТА смесей БК и соды: 1 — исходная смесь; 2 — после 10 мин совместной МА

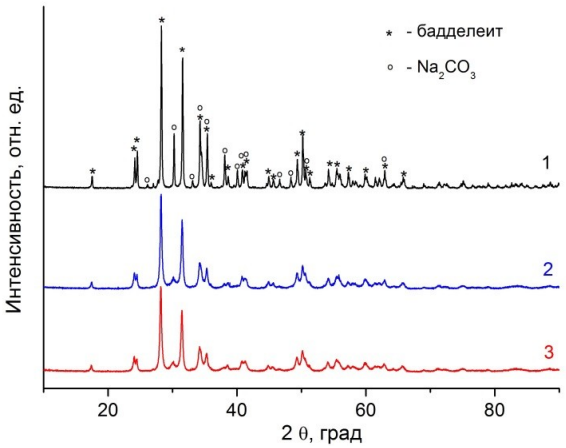


Рис. 2. Рентгенограммы смеси БК и соды: 1 — исходная; 2 — после 5 мин совместной МА; 3 — после 10 мин совместной МА

Совместная МА БК и соды приводит к их заметной аморфизации, причем в большей степени для Na_2CO_3 (рис. 2). Из рис. 2 также следует, что увеличение времени МА с 5 до 10 мин приводит лишь к небольшому снижению интенсивности и уширению рефлексов реагентов по сравнению с первыми 5 мин МА. Нами проведена также раздельная МА БК (без соды) для выяснения влияния режима МА на процесс последующего образования цирконата натрия при спекании. Механоактивированный БК смешивался с содой (5 % избыток соды по отношению к стехиометрическому), и полученная смесь прокаливалась. По данным РФА (не приведены), в отличие от совместной МА с содой раздельная МА бадделеита приводит не только аморфизации минерала, но и частичному фазовому превращению моноклинного ZrO_2 в тетрагональную модификацию. Фазовое превращение с образованием тетрагонального ZrO_2 объясняется более интенсивным подводом механической энергии к диоксиду циркония при раздельной МА [6].

Влияние времени и режима МА, а также продолжительности и температуры прокаливания на степень разложения БК при спекании с содой показано на рис. 3 и 4. Совместная МА БК и соды в течение 10 мин и последующее нагревание при 900 °С в течение 2 ч позволяет более чем на 90 % перевести бадделеит в Na_2ZrO_3 (рис. 3). Для исходной смеси степень разложения БК при этих условиях составляет около 40 %. Наибольшее увеличение интенсивности взаимодействия БК и соды наблюдается в первые 5 мин МА (рис. 4). При увеличении времени МА до 10 мин прирост скорости образования цирконата натрия снижается, по-видимому, вследствие релаксационных процессов.

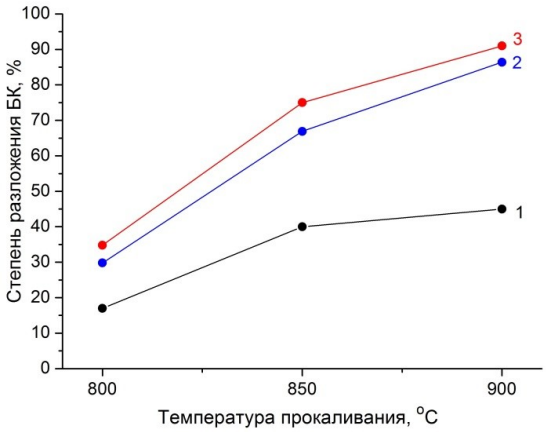


Рис. 3. Степень разложения БК при спекании с содой в зависимости от температуры прокаливания: 1 — без МА; 2 — после 10 мин раздельной МА; 3 — после 10 мин совместной МА. Продолжительность прокаливания — 2 ч

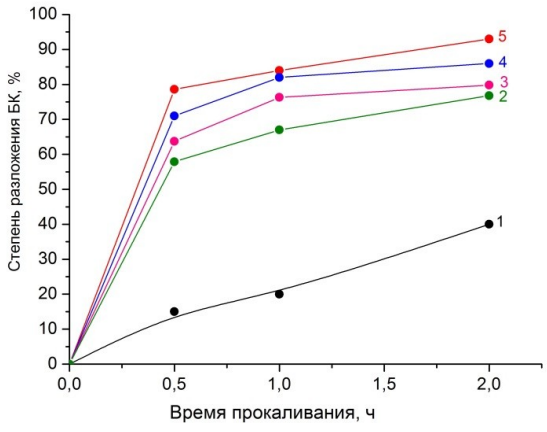


Рис. 4. Степень разложения БК при спекании с содой в зависимости от времени прокаливания при 900 °С: 1 — без МА; 2 — после 5 мин раздельной МА; 3 — после 5 мин совместной МА; 4 — после 10 мин раздельной МА; 5 — после 10 мин совместной МА

Согласно полученным результатам совместная МА предпочтительна по сравнению с раздельной (рис. 3 и 4). Ускорение химической реакции за счет предварительной МА реагентов является результатом действия двух основных факторов: 1) уменьшения размеров частиц, которое сопровождается ростом межфазной поверхности; 2) возникновения дефектов кристаллической решетки, приводящих к накоплению избыточной энергии, уменьшающей эффективную энергию активации химического превращения. При раздельной МА бадделеит подвергается более интенсивной механической обработке по сравнению с совместной МА, что приводит к заметно более выраженным структурным изменениям.

Вместе с тем, согласно полученным данным, удельная поверхность бадделеита после 10 мин раздельной МА составила 4,3 $м^2/г$, а аналогичная величина для минерала, выделенного из смеси с содой после 10 мин совместной МА, равнялась 11,2 $м^2/г$. Более эффективное диспергирование бадделеита в присутствии соды, по-видимому, объясняется уменьшением скорости противоположного процесса — агрегации частиц минерала. Из двух указанных факторов в данном случае, вероятно, первый является преобладающим, что и объясняет повышенную степень разложения БК при совместной МА по сравнению с раздельной.

Для смеси БК с твердым NaOH (содержание NaOH в смеси соответствовало 10 %-му избытку по отношению к стехиометрическому в расчете на образование Na_2ZrO_3) определена степень образования цирконата натрия в зависимости от следующих параметров: 1) продолжительность МА; 2) температура прокаливания механоактивированной смеси; 3) время прокаливания. Показано, что предварительная МА смеси БК и NaOH в течение 4 мин и последующее нагревание при 600 °С в течение 4 ч позволяет достичь 90 % разложения БК с переводом его в цирконат натрия. Для смеси без применения МА степень разложения БК при этих условиях составляет 42 % (рис. 5).

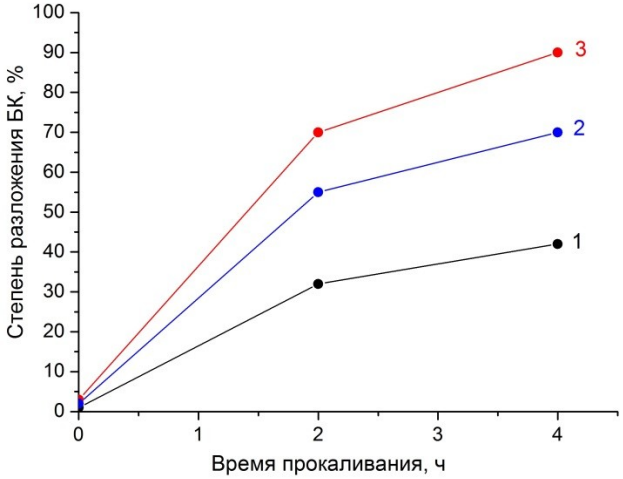


Рис. 5. Степень разложения БК при спекании с гидроксидом натрия в зависимости от времени прокаливания при 600 °С:
1 — без МА; 2 — после 2 мин совместной МА; 3 — после 4 мин совместной МА

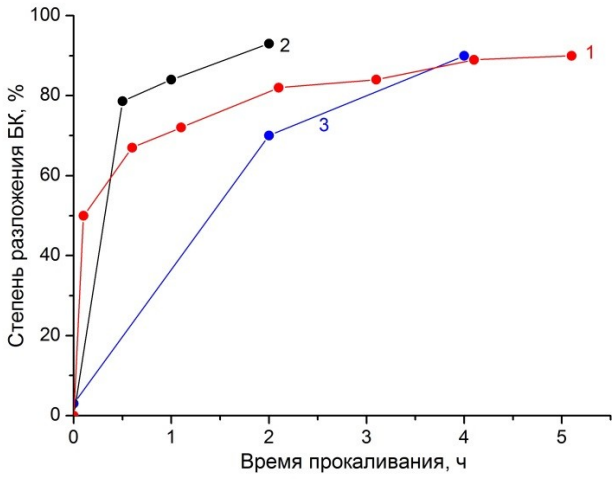


Рис. 6. Степень разложения БК при спекании с разными реагентами: 1 — с карбонатом кальция после 10 мин совместной МА при 900 °С в присутствии хлорида кальция; 2 — с содой после 10 мин совместной МА при 900 °С; 3 — с гидроксидом натрия после 4 мин совместной МА при 600 °С

На рис. 6 представлены полученные нами данные по зависимости степени разложения БК при прокаливании механоактивированных смесей бадделеита с $CaCO_3$ (с добавкой $CaCl_2$), Na_2CO_3 и NaOH от продолжительности нагревания. Для достижения степени вскрытия БК ~90 % в случае гидроксида натрия требуется МА в течение 4 мин и прокаливание 4 ч при 600 °С. Примерно такая же степень разложения БК в случае соды и кальцита может быть достигнута после 10 мин МА с последующим нагреванием при более высокой температуре (900 °С) в течение 2 и 5 ч соответственно. С учетом высокой стоимости натриевой щелочи и соды, а также трудностей, связанных с обеспечением специальных условий хранения и работы с NaOH, вероятно, наиболее рациональным является метод спекания с кальцитом в присутствии хлорида кальция.

Выводы

Предварительная МА существенно интенсифицирует взаимодействие бадделеита с кальцитом, содой или гидроксидом натрия при последующем спекании смеси реагентов. Как следствие, высокий выход целевого продукта, цирконата кальция или натрия может быть обеспечен при заметно более низких температурах по сравнению со спеканием без применения МА. Показано, что совместная МА реагентов более эффективна, чем раздельная. Среди трех рассмотренных вариантов разложения БК с применением МА предпочтение, по-видимому, следует отдать способу спекания с карбонатом кальция с добавкой $CaCl_2$.

Литература
1. Аввакумов Е. Г., Гусев А. А. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья. Новосибирск: Гео, 2009. 155 с.
2. А. с. 1375328 СССР, МКИ В 02 С 17/08. Способ обработки диэлектрических материалов / В. В. Зырянов и др. № 4066543/31-33; заявл. 05.05.86; опубл. 23.02.88, Бюл. № 7. С. 39.
3. Воскобойников Н. Б., Скиба Г. С. Получение высокочистого диоксида циркония из бадделеита // ЖПХ. 1994. Т. 69, № 5. С. 723–726.
4. Новое отечественное циркониевое сырье и способы его переработки / М. А. Коленкова и др. М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1980. 47 с.
5. О возможности комплексной переработки бадделеитового концентрата / В. Н. Лебедев и др. // ЖПХ. 2004. Т. 77, №. 5. С. 712–714.
6. Твердофазные превращения моноклинного оксида циркония при механической обработке в аппаратах различного типа / П. Н. Кузнецов и др .// Химия в инт. уст. разв. 2004. Т. 12, № 7. С. 193–199.
7. Пат. 2508412 Российская Федерация, МПК С 22 В 34/14, 3/10 (2006.01). Способ переработки бадделеитового концентрата / А. М. Калинкин, К. В. Балякин, Е. В. Калинкина; Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья Кол. науч. центра РАН. № 2012146947/02; заявл. 02.11.12; опубл. 27.02.14, Бюл. № 6.

С. В. Бастрыгина[1], А. С. Заверткин[2], Ю. Н. Нерадовский[3]
[1]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В.Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, bastr_sv@chemy.kolasc.net.ru*
[2]*Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск*
[3]*Институт геологии КНЦ РАН, Апатиты*

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ТАЛЬКОВЫХ ПОРОД КАРЕЛИИ МЕТОДАМИ РУДНОЙ МИКРОСКОПИИ

Тальксодержащие породы Карелии широко применяются как сырьевой материал многоцелевого назначения. Тальковые руды в основном используются в качестве сырья для получения талька, а тальковый камень — в качестве теплозащитных блоков для изготовления каминов и предметов бытового назначения, футеровочных материалов, наполнителей в композиционных материалах, для производства керамических изделий с улучшенными свойствами и др. [1–3].

Наиболее известными месторождениями талькового камня являются Турган-Койван-Аллуста и Каллиево-Муренанваара Сегозерской группы, а тальковых руд – Светлоозерское. Эти месторождения хорошо изучены в геологическом плане [4, 5] с утвержденными запасами.

Главными породообразующими минералами, входящими в состав тальксодержащих пород, являются тальк, хлорит, карбонаты, тремолит. Карбонатные минералы представлены, главным образом, доломитом; кроме того, в незначительном количестве присутствует брейнерит и кальцит. Рудными минералами являются магнетит и ильменит, среднее содержание которых обычно не превышает 3 %, и поэтому их распределение подробно не изучалось.

В настоящей работе представлены результаты изучения различных тальксодержащих пород методами рудной микроскопии, позволяющими более детально исследовать содержание и распределение рудных минералов в породе.

Для проведения исследований было отобрано 5 проб тальковых пород с различных месторождений: четыре пробы (1–4) тальковых руд Центральной залежи Светлоозерского месторождения и 1 проба (5) талько-хлоритовых сланцев (ТХС) месторождения Каллиево-Муренанваара Сегозерской группы, представленные различными природными типами.

Проба 1 (ТП-6) — тальк-хлорит-карбонатные породы, участками с серпентином, зеленовато-серые мелкозернистые массивные. Материал пробы сборный по скважинам.

Проба 2 (ТП-7) — тальк-хлорит-карбонатные породы, зеленовато-серые порфировидные, в основной массе крупно-среднезернистые, массивные. Материал пробы сборный по скважинам.

Проба 3 (скв. 4) — тальк-карбонатные породы, участками с небольшим количеством хлорита, зеленовато-серые, с розоватым оттенком (за счет доломита), мелкозернистые массивные. Материал отобран со скв. 4, интервал опробования — 41,1–46,6 м.

Проба 4 (скв. 7) — тальк-карбонатные породы, участками с небольшим количеством хлорита, зеленовато-розовато-серого цвета, плойчатые. Материал отобран с скв. 7, интервал опробования — 35,5–40,6 м.

Проба 5 (ТХС) — талько-хлоритовый сланец. Проба отобрана на месторождении Калиево-Муренанваара. По данным разведочных работ, она имеет состав, %: тальк — 45–46, хлорит — 32–35, карбонаты (брейнерит, доломит, магнезит) — 18–27, рудные минералы — до 3.

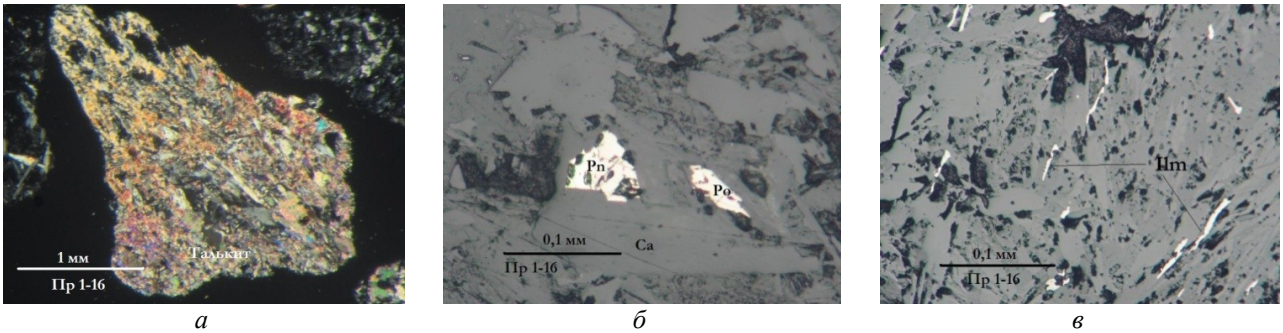
Согласно химическому составу (табл.), все пробы представляют собой высокомагнезиальные породы с большим количеством кристаллизационной воды, характерной для серпентинитов и талькитов. По этим признакам пробы 1–2 являются преимущественно тальковыми, а пробы 3–5 — с примесью серпентина. По содержанию CO_2 все пробы близки по содержанию карбонатного минерала, но по CaO видно, что пробы 1–2, вероятно, обеднены кальцитом, а пробы 3–5 — обогащены, таким образом, распределение магнезиального карбоната может быть обратным. По содержанию железа и титана пробы различаются незначительно, поэтому не следует ожидать аномального увеличения примесей рудных минералов окисного типа в какой-либо из них. Примесь серы в целом незначительна, содержание сульфидов не может превышать 1–2 %.

Химический состав проб

Содержание оксидов, мас. %												
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	TiO_2	MnO	Na_2O	K_2O	S	CO_2	п.п.п.
ТП-6												
34,98	2,25	5,56	6,89	2,54	28,53	0,19	0,207	0,01	<0,01	0,06	7,43	17,28
ТП-7												
36,70	1,46	3,84	7,32	0,94	29,87	0,18	0,166	<0,01	<0,01	0,15	6,42	17,86
Скважины 4 и 7												
39,56	3,40	3,87	8,04	4,62	25,99	0,28	0,166	<0,01	<0,01	0,03	5,98	12,98
ТХС												
36,23	6,23	9,91	4,40	7,72	24,60	0,30	0,16	0,22	0,10	0,24	5,35	9,78

Для изучения распределения рудных минералов в сланцах был проведен минералогический анализ при помощи микроскопов ПОЛАМ Р-213 и Ultraphot-3, результаты которого приведены ниже.

Проба 1 (ТП-6) представлена преимущественно мелкозернистыми сланцевыми тальковыми и карбонатно-тальк-амфиболовыми (тремолитовыми) породами (рис. 1, *а*) с вкрапленностью магнетита, ильменита и сульфидов (рис. 1, *б*, *в*), отличается от других проб пониженным содержанием магнетита и повышенным содержанием сульфидов (пирротина). Наблюдается развитие ильменита в зонах сланцеватости и появление никелина (присутствие As). Размеры зерен рудных минералов менее 0,05 мм.



а *б* *в*

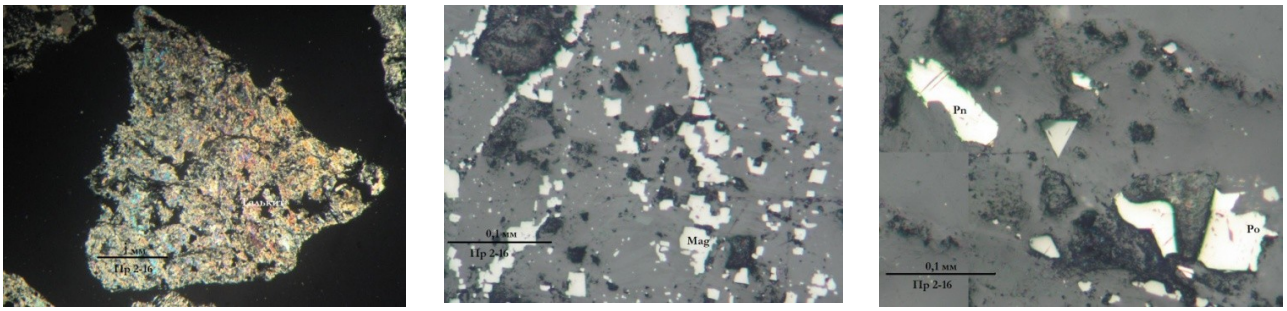
Рис. 1. Минеральные фазы пробы ТП-6:
а — текстура талькита; *б* — вкрапленность пирротина и пентландита в тальк-карбонат-амфиболовом сланце; *в* — таблитчатые зерна ильменита в амфиболовом сланце

Проба 2 (ТП-7) представлена также существенно тальковыми сланцами (рис. 2, *а*) с вкрапленностью магнетита (рис. 2, *б*) и сульфидов (рис. 2, *в*). Характеризуется повышенным содержанием магнетита, местами до 10 %. В ядрах зерен магнетита наблюдается присутствие хромшпинелидов, т.е. сланец образован по ультраосновной породе. Характерна вкрапленность пентландита, что выдает никеленосный тип ультраосновных пород, по которым развиты сланцы. Примесь сульфидов сложена в основном пентландитом и пирротином в единичных зернах.

Проба 3 (скв. 4) представлена преимущественно карбонатно-тальковыми сланцами (рис. 3, *а*) с примесью кварц-амфиболовых сланцев (рис. 3, *б*, *в*). Последние, как правило, не содержат примесей рудных минералов, а в карбонатно-тальковых сланцах присутствует примесь магнетита, ильменита и редкие зерна халькопирита (рис. 3, *г*). В отдельных зернах талькита наблюдается примесь серпентина (рис. 3, *д*), а в ядрах магнетита сохранились реликты хромшпинелидов (рис. 3, *е*), что указывает на первичный состав серпентинизированных ультраосновных пород, типа перидотита, замещенных тальком и тремолитом. Проба отличается повышенным содержанием ильменита, а также крупными размерами зерен магнетита.

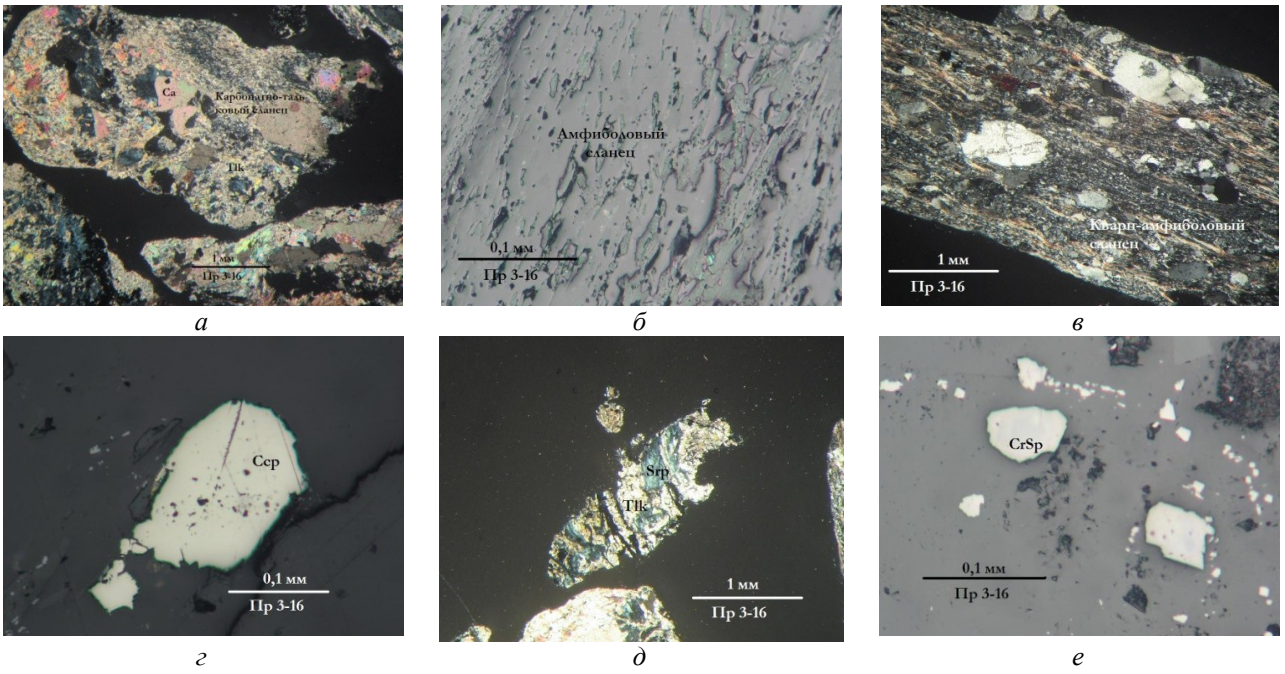
Проба 4 (скв. 7) представлена в основном карбонатно-тальковым составом. Эти минералы развивались по серпентиниту, который сохранился в некоторых частицах (рис. 4, *а*). Судя по составу реликтов, можно полагать, что серпентинит и затем карбонатно-тальковые сланцы образованы по оливиниту или перидотиту, что

соответствует их химическому составу. Проба отличается низким содержанием примесей рудных минералов, которые сконцентрированы в основном в карбонате (рис. 4, *б*). В ней также отмечаются признаки окисления первичных сульфидов, образование пирита (рис. 4, *в*) и виоларита.



а *б* *в*

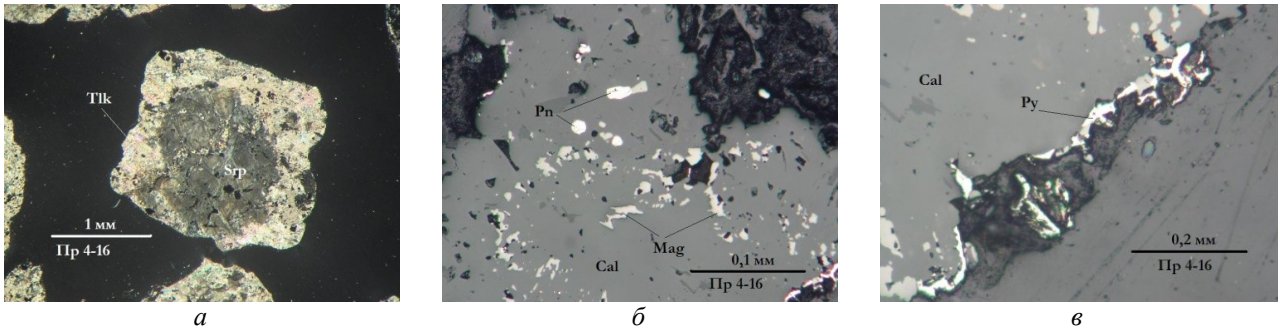
Рис. 2. Минеральные фазы пробы ТП-7:
а — тонкозернистая структура талькита; *б* — повышенное количество магнетита в карбонате;
в — пирротин и пентландит в тальк-карбонатном сланце



а *б* *в*

г *д* *е*

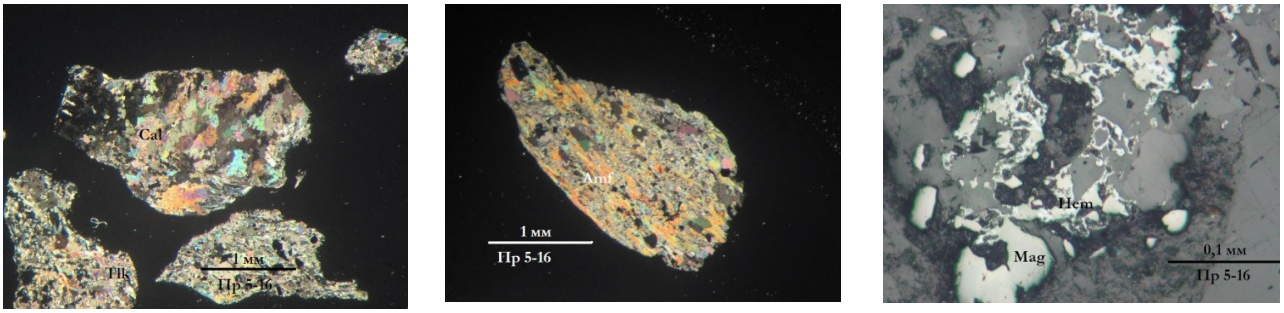
Рис. 3. Минеральные фазы пробы скважины 4:
а — карбонатно-тальковый сланец; — амфиболовый сланец, характерно отсутствие включений сульфидов;
в — кварц-амфиболовый сланец; *г* — вкрапленник халькопирита; *д* — реликты серпентинита в тальките;
е — зерна магнетита с ядрами хромшпинелида



а *б* *в*

Рис. 4. Минеральные фазы пробы скважины 7
а – серпентин по оливиниту слагает ядро тальковой частицы; б – вкрапленность пентландита и магнетита в карбонате; в – прожилки пирита в карбонате

Проба 5 (ТХС) представлена в основном тальк-карбонатно-тремолитовыми породами, при этом карбонатно-тальковые породы имеют массивную текстуру (рис. 5, *а*), а амфиболовые — сланцевую (рис. 5, *б*). Во всех породах присутствует незначительное количество магнетита и пирита. Характерно развитие гематита по магнетиту, что указывает на окисление (рис. 5, *в*). При исследовании в отраженном свете рудной составляющей устанавливается ильменорутил, форма минерала удлиненная: шестоватые зерна имеют максимальную длину 0,8 мм. Имеется магнетит (до 2 %), халькопирит и пирит, единичные зерна гематита и мартит, местами замещающий магнетит. Для всех рудных минералов характерны следы замещения и поверхностного окисления (как побежалость в халькопирите). Пирит в сростках с кварцем преобладает.



а *б* *в*

Рис. 5. Минеральные фазы пробы ТХС:
а — тальковые и карбонатные частицы породы, преимущественно массивное строение; *б* — амфиболовая частица породы, видна сланцевая текстура; *в* — развитие прожилков гематита по магнетиту

На основании проведенных минералогических исследований установлено, что рудные минералы неравномерно распределены в различных типах сланцев. В представленных пробах их содержание составляет от 1 до 10 %. Таким образом, с помощью методов рудной микроскопии можно с высокой степенью достоверности определять вид и количество рудных минералов и прогнозировать свойства тальксодержащих пород.

Литература

1. Завёрткин А. С., Фролов П. В. Применение обогащенных серпентинизированных коматитов для футеровки печей // Современные методы технической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения-2012): материалы междунар. совещ. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 255–256.
2. Соколов В. И. Талько-хлоритовые сланцы Карелии и пути их комплексного использования. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1995. 128 с.
3. Талько-хлоритовые сланцы как сырье для получения керамической плитки / В. П. Ильина и др. // Использование природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: материалы Второй междунар. науч. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 80–82.
4. Фролов П. В., Фурман В. Н. Светлоозерское проявление руд железистого талька — эталонный объект комплексных месторождений зеленокаменных поясов Карелии // Геология и полезные ископаемые. Петрозаводск, 2003. Вып. 6. С. 58–66.
5. Фурман В. Н., Афонина Е. Н. Отчет о результатах поисков тальковых руд и тальк-хлоритового камня в Республике Карелия в 1990-1994 г // Фонды КГЭ. Петрозаводск, 1995.

О. А. Белогурова, М. А. Саварина, Т. В. Шарай
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, belog_tp@chemy.kolasc.net.ru

ОГНЕУПОРЫ ИЗ КИАНИТОВОЙ РУДЫ И КАРБИДИЗИРОВАННЫХ ГРАНУЛ

Современный подход при освоении месторождений предполагает выявление закономерностей распределения полезных компонентов в сырье, разработку способов их разделения и извлечения и соответствующее использование. В связи с этим особо следует определять пути эффективного использования некондиционного и обедненного сырья.

Цель работы — получение огнеупорного материала из кианитовой руды Кейвского месторождения при использовании в шихте карбидизированных гранул.

Химический состав руды (мас. %): Al_2O_3 — 40,94, SiO_2 — 53,0, K_2O — 1,31, CaO — 1,57, TiO_2 — 1,16, Fe_2O_3 — 0,58, C — 2,33. Минеральный состав руды: кианит — 65, кварц — 25, остальное — примеси сопутствующих силикатов.

В качестве углеродной составляющей шихты для гранул использован бой графитовых стержней. Антиоксидант — алюминиевая пудра марки ПАП-1.

Карботермические реакции в условиях восстановительной среды для псевдозакрытой системы Al_2O_3-SiO_2-C приводят к образованию SiC. В процессе карбидизации происходит восстановление кварца, присутствующего в примеси к руде и кристобалита, выделившегося в процессе муллитизации. Реакции для диоксида и монооксида кремния, согласно термодинамическим расчетам, приведены в работе [1]:

$$SiO_{2(тв)} + 3C_{(тв)} = SiC_{(тв)} + 2CO_{(г)},$$
$$SiO_{(г)} + 2C_{(тв)} = SiC_{(тв)} + CO_{(г)},$$
$$2SiO_{(г)} + C_{(тв)} = SiC_{(тв)} + SiO_{2(тв)},$$
$$SiO_{(г)} + 3CO_{(г)} = SiC_{(тв)} + 2CO_{2(г)},$$
$$3SiO_{(г)} + CO_{(г)} = SiC_{(тв)} + 2SiO_{2(тв)},$$
$$SiO_{(г)} + 3CO_{(г)} = SiC_{(тв)} + 2CO_{2(г)}.$$

Некоторые из этих реакций способствуют воспроизведению SiO, CO и SiO_2:

$$SiO_{2(тв)} + C_{(тв)} \rightarrow SiO_{(г)} + CO_{(г)},$$
$$SiO_{2(тв)} + CO_{(г)} \rightarrow SiO_{(г)} + CO_{2\,(г)},$$
$$CO_{2(г)} + C_{(тв)} = 2CO_{(г)},$$
$$SiO_{2(тв)} + 2C_{(тв)} \rightarrow Si_{(тв)} + 2CO_{(г)},$$
$$2CO_{(г)} + 3Si_{(тв)} = 2SiC_{(тв)} + SiO_{2(тв)}.$$

Поверхностная структура углеродной частицы выглядит как множественные складчатые листы, что и обеспечивает большую площадь поверхности (рис. 1).

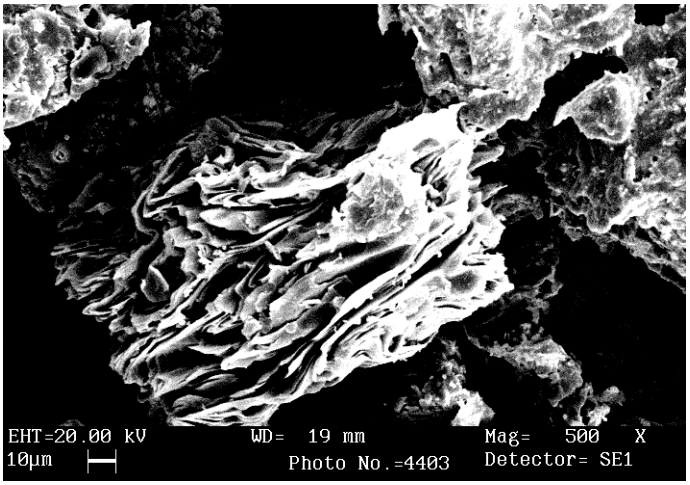


Рис. 1. SEM-микрофотография поверхностной структуры углеродной частицы (аналитик, канд. хим. наук В. В. Семушин)

Улавливание газообразного монооксида кремния и связывание его в карбид происходит на поверхности углеродных частиц. При высоком их содержании общая площадь становится больше, и доля кремния, задерживаемого в системе, возрастает. Диффузия $SiO_г$ в объеме образца способствует переносу кремния по поровому пространству. На процесс влияют: размер частиц, наличие тесного контакта и тип углеродного восстановителя.

Для преодоления интенсивного окисления углерода в состав шихты вводят антиоксидант — алюминиевую пудру марки ПАП-1 по ГОСТ 5494.

Разная плотность огнеупорного заполнителя и графита вызывает так называемое «всплывание» последнего. Особое внимание уделяли перемешиванию шихты при введении связки лигносульфоната (ЛСТ). Для равномерного распределения связующего необходимо вылеживание массы.

Подготовка к грануляции включала следующие этапы: 1) кианитовую руду смешивали с половиной количества углерода и алюминиевой пудрой; 2) вводили ЛСТ; 3) вылеживали 2 ч; 4) вводили остаток углерода; 5) вылеживали; 6) сушили в естественных условиях. Гранулы обжигали в графитовых тиглях и засыпке из коксика при температуре 1350 °C, выдержка при конечной температуре 2 ч.

Важное место при формировании структуры материала принадлежит модифицирующим добавкам. Карбид кремния обладает более высокой теплопроводностью, более низким коэффициентом термического расширения и отсутствием анизотропии (λ = 30 Вт/(м·К), $\alpha = 3{,}6 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$) по сравнению с муллитом (λ = 3–3,5 Вт/(м·К), $\alpha_а = 5{,}2 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$, $\alpha_в = 7{,}1 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$, $\alpha_с = 2{,}4 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$ при температуре 298–1098 К). Это создает предпосылки к уменьшению температурного градиента, напряжений внутри изделия при нагреве и охлаждении.

При получении высокотермостойких форстеритсодержащих материалов нами было показано, что эффективность структурирующего воздействия карбида кремния увеличивается при совместном введении с отходом производства ферросилиция (ОПФ), основной составляющей которого является кремний [2, 3]. Последний в результате реакционного спекания в восстановительной среде взаимодействует с монооксидом углерода, в качестве продукта реакции получается карбид кремния.

Фактором, определяющим многие физико-технические характеристики изделий, наряду с операциями смешивания шихты и связующего, прессования, термообработки, является фракционный состав компонентов. Их ситовой анализ с целью определения содержания частиц в отдельных классах крупности осуществляли с помощью следующего набора сит: 0,063; 0,1; 0,16; 0,2; 0,315; 0,4; 0,63; 1; 1,6. Распределение частиц, исходя из гранулометрического состава, приведено на рис. 2.

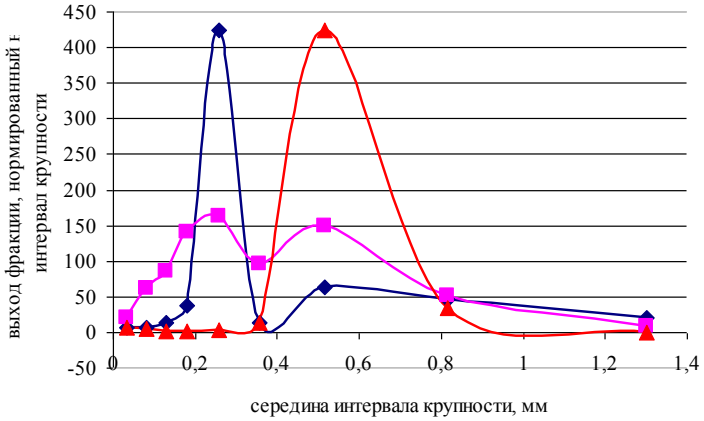


Рис. 2. Распределение частиц шихты по размеру: прямоугольники — карбидизированные гранулы; ромбы — кианитовая руда; треугольники — карбид кремния

Анализ дифференциальных кривых распределения частиц в исходных материалах показал, что фракционный состав кианитовой руды в основном включает частицы с размерами –1,6 + 0,4 мм (92 %), максимум приходится на частицы –0,315 + 0,2 мм (49 %). Для карбида кремния преимущественная фракция –0,63 + 0,4 мм составляет 98 %. Преобладающий размер для гранул – 0,63 + 0,2 мм (61,5 %). Таким образом, большая часть частиц полидисперсной смеси находится в диапазоне фракций –0,63 + 0,2 мм. Достаточно однородный гранулометрический состав основных компонентов позволит получить качественную шихту при их последовательном введении и перемешивании.

В нашей работе шихта для получения огнеупорного материала содержала различные соотношения сырой кианитовой руды, карбидизированных гранул, карбида кремния и отхода производства ферросилиция.

Основные технологические этапы: 1) гранулы смешивали с ОПФ и ЛСТ, 2) вылеживали 2 ч, 3) вводили крупную фракцию SiC, 4) вылеживали, вводили кианитовую руду и при необходимости ЛСТ, 5) вылеживали, 6) образцы прессовали под нагрузкой 700 кгс/см^2, 7) сушка в естественных условиях, 8) восстановительный обжиг при температуре 1450 °С с выдержкой 2 ч.

Кианитовая руда в шихте частично или полностью введена в виде фракции менее 0,063 мм, полученной при обработке на вибромельнице.

Графическая интерпретация влияния гранулометрического состава шихты на кажущуюся плотность, изменение объема и прочности приведена на рис. 3–5.

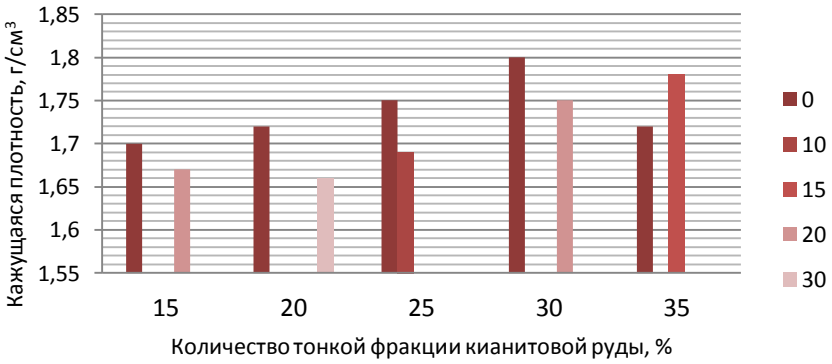


Рис. 3. Зависимость показателя кажущейся плотности от фракционного состава кианитовой руды. В легенде указано количество крупной фракции кианитовой руды

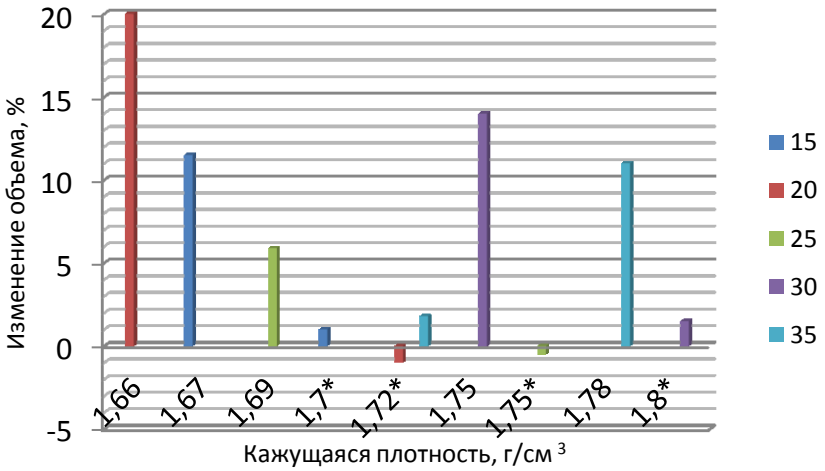


Рис. 4. Зависимость показателя изменения объема образца после термообработки от кажущейся плотности и фракционного состава кианитовой руды в шихте. В легенде указано количество кианитовой руды фракции менее 0,063 мм в шихте: □□□ — общее количество руды 50 %; □□ — общее количество руды 35 %, * — в шихте вся кианитовая руда менее 0,063 мм

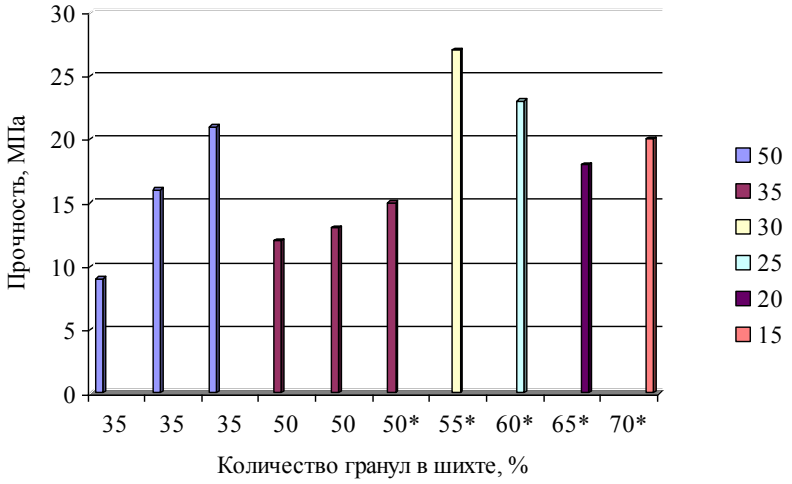


Рис. 5. Зависимость показателя прочности образца после термообработки от количества карбидизированных гранул и фракционного состава кианитовой руды в шихте. В легенде указано количество кианитовой руды в шихте: * — в шихте вся кианитовая руда менее 0,063 мм

Кажущаяся плотность увеличивается от 1,66 до 1,75 г/см^3, водопоглощение уменьшается. Показатель открытой пористости более высокий у образцов с крупной фракцией кианитовой руды в шихте, по сравнению с тонкой составляющей. Отметим, что введение кианитовой руды фракции менее 0,063 мм уменьшает показатель изменения объема ($\Delta V = V_2/V_1$, где V_2 — объем обожженного образца, V_1 — объем сырого образца). Для образцов, содержащих 25 % тонкой фракции руды, ΔV = 0,99–1. Их размер не изменяется после обжига, тогда как образцы с крупной фракцией увеличиваются в 1,07–1,19 раза, то есть на 8–20 %. Прочность более высокая у образцов, содержащих 25–30 % сырой кианитовой руды фракции менее 0,063 мм. Следовательно, для получения более высоких показателей физико-технических свойств необходимо подвергать часть кианитовой руды измельчению до фракции 0,063 в вибромельнице или истирателе.

Литература

1. Белогурова О. А., Гришин Н. Н. Высокотермостойкие муллитографитовые материалы // Огнеупоры и техническая керамика. 2008. № 9. С. 35–39.
2. Белогурова О. А., Гришин Н. Н. Фазообразование в муллитографитовых огнеупорах // Огнеупоры и техническая керамика. 2010. № 7–8. С. 48–55.
3. Гришин Н. Н., Белогурова О. А. Высокотермостойкие форстеритовые материалы // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. № 1. С. 30–37.

Т. П. Белогурова[1], Ю. Н. Нерадовский[2], И. А. Миханошина[1]
[1]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, belog_tp@chemy.kolasc.net.ru*
[2]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА МЕТОДАМИ РУДНОЙ МИКРОСКОПИИ

В последние годы в связи с ростом цен на нефть и газ постоянно возрастает доля угля в топливно-энергетическом балансе страны. Однако для полномасштабного возвращения угля в энергетику необходимы новые технологии его добычи, переработки и сжигания. В настоящее время в угольной энергетике наиболее распространенным является способ сжигания углей в виде пылеугольного топлива (ПУТ). Для снижения отрицательного воздействия продуктов сгорания на окружающую среду предлагается также способ сжигания угля в виде водоугольной суспензии (ВУС). Поэтому угольные технологии, связанные с высокодисперсным измельчением углей, становятся все более приоритетными и востребованными.

В настоящей работе рассмотрены вопросы высокоэнергетического воздействия на уголь в процессе приготовления ПУТ и ВУС путем помола на шаровой барабанной мельнице и последующего доизмельчения на дезинтеграторе (ПУТ) или гравитационном генераторе кавитации (ВУС). Исследования выполнялись на образцах водоугольного топлива (ВУТ), приготовленного из антрацита АО «Сибирский антрацит» и бурого угля Беловского разреза (Кузбасс). Для проведения исследований пробы при различных способах обработки были подготовлены на экспериментальном стенде в Институте теплофизики СО РАН, с которым Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН проводит совместные исследования в рамках договора о сотрудничестве. Дезинтегратор, используемый в эксперименте, описан в работе [5]. Кавитационная обработка ВУС производилась на гидродинамическом генераторе кавитации роторного типа, разработчиками которого являются сотрудники ИТ СО РАН [9].

Пробам ВУТ по виду угля и способу его подготовки были присвоены следующие обозначения:

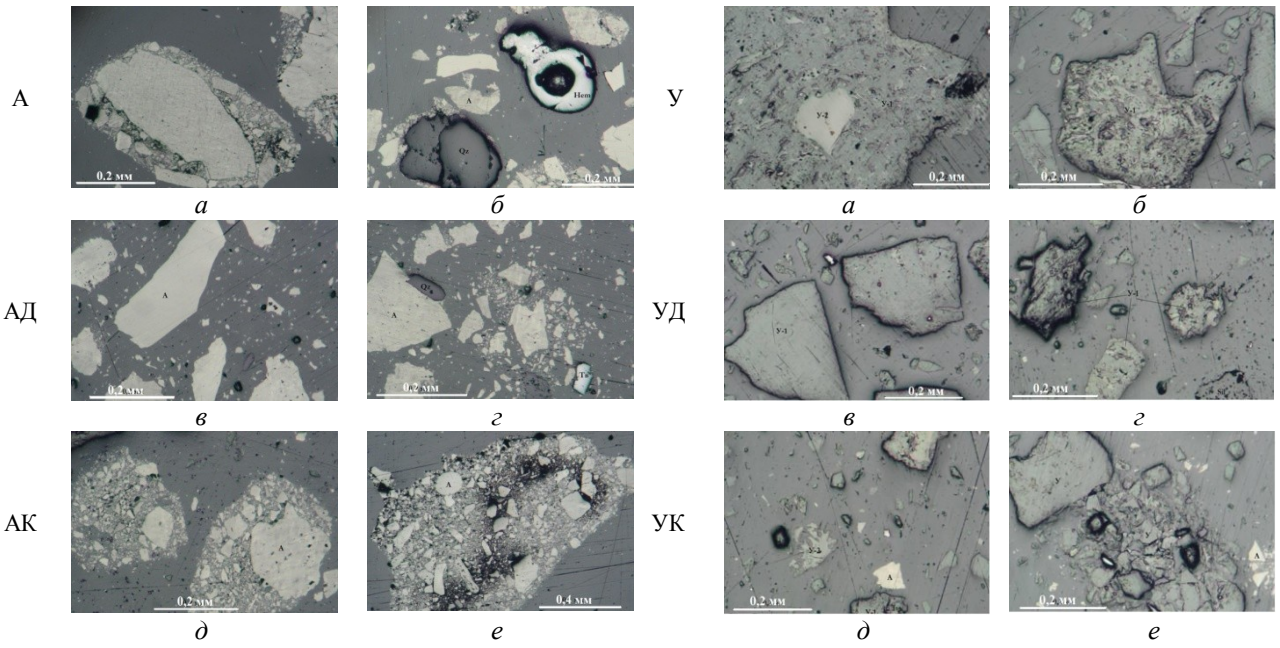
1 — А (антрацит, измельченный на шаровой барабанной мельнице);
2 — АД (антрацит, с доизмельчением на дезинтеграторе);
3 — АК (антрацит, с доизмельчением на генераторе кавитации);
4 — У (уголь из Беловского разреза, измельченный на шаровой барабанной мельнице);
5 — УД (уголь из Беловского разреза, с доизмельчением на дезинтеграторе);
6 — УК (уголь из Беловского разреза, с доизмельчением на генераторе кавитации).

Для исследования неорганической минеральной части угля обычно применяют методы химического, электронно-зондового, рентгенометрического и фазового анализа [1, 6]. Однако этими методами невозможно исследовать механизм формирования тонких частиц как при подготовке ПУТ, так и при оценке качества его сгорания. Поэтому нами использованы оптические методы исследования в отраженном свете, широко применяемые для анализа минерального сырья [1]. Отражательная способность углефицированных осадков успешно применяется при изучении катагенеза органического вещества [7, 10]. Исследования в отраженном поляризованном свете обладают рядом преимуществ перед «слепыми» методами: они позволяют, во-первых, диагностировать все минеральные фазы — как неорганические, так и органические — с высоким разрешением, во-вторых, изучать морфологию частиц и минеральных агрегатов, в-третьих, систематизировать минеральные органические минеральные фазы по степени углефикации и т. д. Следует отметить, что препараты, используемые в рудной микроскопии, могут быть использованы и в электронных микроскопах.

Методика определения минерального состава твердой составляющей продуктов состоит из двух стадий исследований. Сначала исследования проб проводятся в порошках, которые просматриваются под бинокуляром МБС-10, затем на основе порошкового материала с помощью эпоксидной смолы изготавливаются капсулы с последующей приполировкой. Исследования выполняются на микроскопах отраженного света ПОЛАМ Р-312(ЛОМО), Ultraphot-3(Opton) и др. с увеличением до 1500^x, разрешением до 0,2 мкм. Диагностика минералов основана на применении оптических и других физических свойств, а также на сопоставлении с эталонными минералами [1, 3, 8]. Магнитность минералов определяется методом магнитной порошкографии [2]. Измерение размеров зерен выполняется насадкой МОВ-1-15^x к оптическим микроскопам, минимальный размер измеряемого зерна составляет 0,0025 мм. Измерение количества минералов проводится на основе стандартных таблиц по методу С. А. Вахромеева. Фотографирование выполняется цифровой камерой Canon Pover Shot A520 с компьютерной обработкой изображения.

На рисунке представлены основные минеральные фазы проб ВУТ из антрацита и угля Беловского разреза при различных видах обработки.

Проба А — антрацит, измельченный на шаровой мельнице, представлена графитоподобным веществом с размером зерен 0,05-1,0 мм. Присутствующая в незначительном количестве фракция менее 0,05 мм образует каемки на более крупных зернах (на рис. А-*а*). В пробе антрацита также присутствуют примеси кварца, гематита, пирита и твердой фазы в объеме 1–3 % (на рис. А-*б*).



Минеральные фазы углей:
А-а — крупные зерна антрацита с налипшими пылевидными частицами; А-б — частицы силикатов и гематита в антраците; АД-в — крупные зерна антрацита; АД-г — мелкие зерна антрацита; АК-д — комочки пылевидных частиц антрацита (флокулы); АК-е – комок мелких частиц антрацита; У-а — частица угля высокой степени метаморфизма в обломке бурого угля; У-б — неоднородные частицы угля Беловского разреза с примесью силикатов; УД-в — однородные частицы угля Беловского разреза; УД-г – обломки угля Беловского разреза с примесью силикатов; УК-д – обломки угля Беловского разреза с разной степенью углефикации; УК-е — комочки пылевидных частиц бурого угля

Проба АД — антрацит с доизмельчением на дезинтеграторе, характеризуется, по сравнению с пробой А, уменьшением максимального размера зерен до 0,6 мм (на рис. АД-в). При этом значительно увеличивается общее количество частиц мелких классов. Примеси в пробе аналогичны примесям пробы А, их количество не превышает 3 % по объему. Мелкие зерна антрацита склонны агрегироваться в небольшие комочки, но массовой флокуляции не наблюдается (на рис. АД-*г*).

Проба АК — антрацит с кавитационной обработкой, характеризуется большим количеством тонких частиц, проявляющих тенденцию к образованию флокул размером менее 50 мкм (на рис. АК-*д*). Эти флокулы либо налипают на крупные частицы антрацита, либо образуют самостоятельные комочки (на рис. АК-*е*). Вероятно, это объясняется тем, что частицы графита обладают высокой электропроводностью и способностью электризоваться.

Проба У — уголь из Беловского разреза, измельченный на шаровой мельнице, относится к бурому углю. Это подтверждается низким коэффициентом отражения витринита и остатками растительного происхождения. В составе бурого угля в незначительном количестве присутствуют частицы более высокой степени метаморфизма (на рис. У-*а*). В целом в пробе угля много однородных и чистых частиц, но в небольшом количестве (≈ 1 %) встречаются неоднородные частицы с примесью силикатов, сульфидов и оксидов (на рис. У-*б*).

Проба УД – угля, доизмельченного на дезинтеграторе, характеризуется, по сравнению с пробой У, резким уменьшением размера частиц. Наибольшая крупность их составляет 0.2 мм. Частицы угля в основном однородные (рис. УД-в), но в небольшом количестве присутствуют обломки с примесью силикатов (рис. УД-г). Существенного окомкования частиц в пробе не наблюдается, что может свидетельствовать о рациональном способе измельчения угля.

Проба УК — уголь после кавитации, представляет собой тонкодисперсный материал с большим количеством пылевидной фракции. В пробе встречаются частицы угля с различной степенью углефикации (на рис. УК-*д*). Особенностью измельчения является интенсивное образование пылевидных частиц размером менее 0,05 мм, которые образуют многочисленные комочки (флокулы), как и в пробе АК (рис. УК-*е*).

На основании проведенных минералогических исследований с помощью методов рудной микроскопии установлено, что и дезинтеграция, и кавитационная обработка являются эффективными способами измельчения угля. Оба способа позволяют повысить дисперсность угля до уровня микропомола. При этом при доизмельчении угольной суспензии кавитацией содержание частиц малых размеров значительно выше, чем при использовании дезинтегратора. С помощью методов рудной микроскопии также выявлено, что после кавитационной обработки большинство частиц обеих проб угля приобретают форму скола, для которой характерно термодинамически неравновесное состояние. На основании этого можно сделать вывод о том, что

под воздействием температуры морфологические особенности таких частиц угля будут изменяться быстрее, поэтому горение топлива будет происходить более эффективно.

Таким образом, с помощью методов рудной микроскопии можно с большой степенью достоверности определять рациональную технологию подготовки сырья и прогнозировать свойства полученных материалов.

Литература

1. Гинзбрук А. И. Методы минералогических исследований: справочник / под ред. А. И. Гинзбрука. М.: Недра, 1985. 480 с.
2. Грабовский М. А., Жерденко О. Н. Исследование рудных минералов методом магнитной порошкографии // Геология рудных месторождений. 1965. № 1. С. 99–104.
3. Диагностические свойства рудных минералов / С. А. Юшко и др. М.: Недра, 1975. 285 с.
4. Идентификация минеральных микрокомпонентов неорганической части канско-ачинских углей / А. С. Заворин и др. // Изв. Том. Политехн. ун-та. 2006. Т. 309, № 4. С. 123–129.
5. Использование механоактивированных углей микропомола в энергетике / А. П. Бурдуков и др. // Ползуновский вестник. 2010. № 1. С. 93–98.
6. Казакова О. А., Заворин А. С., Казаков А. В. Состав неорганической части угля Таловского месторождения Томской области // Изв. Том. Политехн. ун-та. 2011. Т. 318, № 4. С. 49–52.
7. Макарова И. Р., Суханов А. А. Методические аспекты изучения катагенеза сапропелевого органического вещества в связи с оценкой нефтегазоносности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. Т. 6, № 1. С. 1–18.
8. Нерадовский Ю. Н. Рудная минераграфия: учеб. пособие. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2009. 84 с.
9. Пат. 2346733 Российская Федерация, МПК[7] B 01 F 003/12, B 01 F 011/00. Генератор кавитации / Мальцев Л. И., Петрова Е. А., Самахов А. А., Парфенов А. Н. БИ. 2009. № 5.
10. Фомин А. Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских (юра, триас) и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна: автореф. дис. … докт. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2005. 30 с.

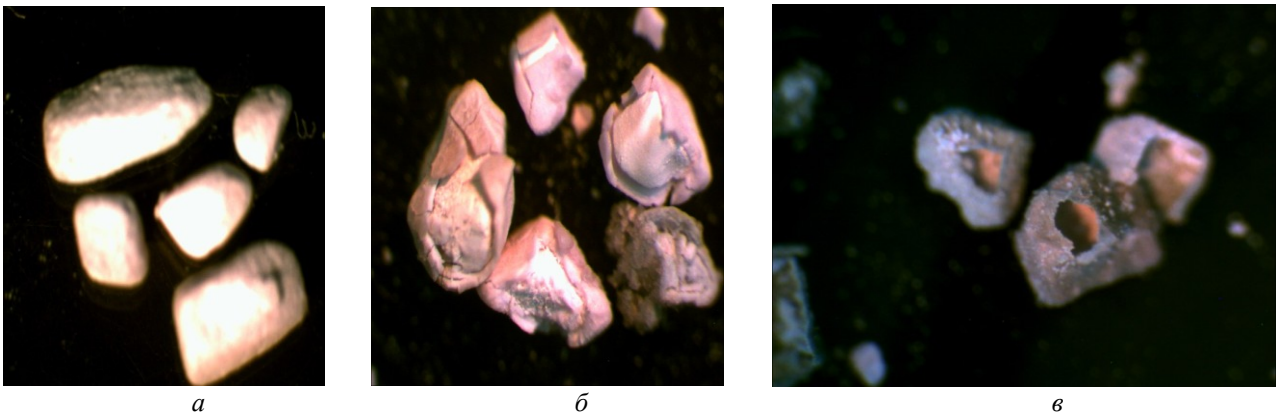
М. М. Годнева, М. П. Рыськина

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН Апатиты, motov@chemy.kolasc.net.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ФТОРИДА НЕОДИМА В СЕРНОКИСЛОЙ СРЕДЕ

Изучено фазообразование при комнатной температуре из сернокислых растворов, содержащих 2,5–14,7 мас. % TiO_2 с мольными отношениями (м. о.) $SO_3/Ti = 2$ и 5, $Nd/Ti = 0{,}2$ и 0,5 путем добавления фтористо-водородной кислоты до м. о. $F/Ti = 4$, 5 и 6. Полученные осадки изучали под микроскопами МБС-1 и Leica DM-2500P. Рентгенограммы образцов записывали на приборе ДРФ-2 (графитовый монохроматор, CuK_α-излучение), а ИК-спектры в области 400–3800 см$^{-1}$ с помощью ИК Фурье спектрометра Nicolet 6700.

В осадках отмечены розового цвета, характерного для трехвалентного неодима, капсулы, состоящие из ядра и оболочки (рис. 1, *а*). Состав ядра зависит от условий синтеза (от м. о. F/Ti в исходном растворе).



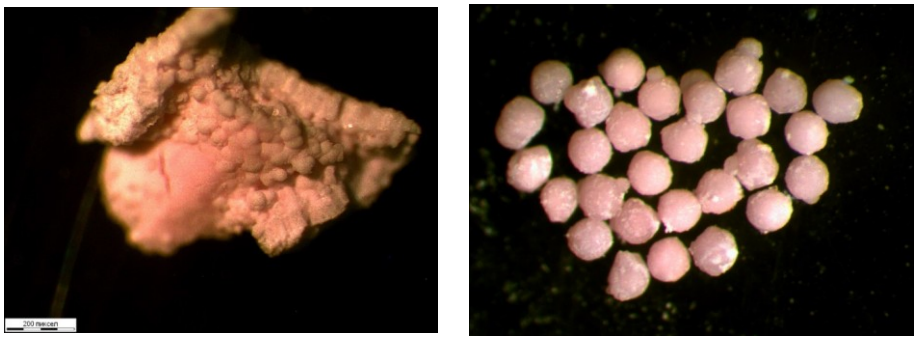
а *б* *в*

Рис. 1. Микрофотографии капсулы. Исходный раствор с м. о. $F/Ti = 6$:
а — общий вид, *б* — капсулы с ядром, *в* — капсула с удаленным ядром. Увеличение х32–56

При м. о. $F/Ti = 6$ капсулы имеют сравнительно тонкую оболочку и крупное легко рассыпающееся ядро (рис. 1, *б*), после удаления которого в розовой оболочке образуется полость (рис. 1, *в*). Такие структуры называют погремушечными или структурами «желток в яйце» [2]. Рентгенограммы оболочки и ядра

идентичны. В них отражены сильные линии NdF_3 (фаза I) [2] и примесь аморфной фазы, содержащей, по данным ИК-спектроскопии, сульфат-ион. При длительном выдерживании (около 10 лет) оболочка становится черно-серой (рис. 1, *в*). Вероятно, NdF_3 при длительном хранении на воздухе подвергается медленному гидролизу с образованием одного из оксидов, что подтверждается потемнением поверхности капсул. Фаза I при температуре 20 °С более аморфизована, чем при 75 °С [12]. Как было отмечено ранее, при осаждении фторида из растворов получаются гелеобразные осадки, плохо фильтрующиеся и плохо отмывающиеся от анионов [3].

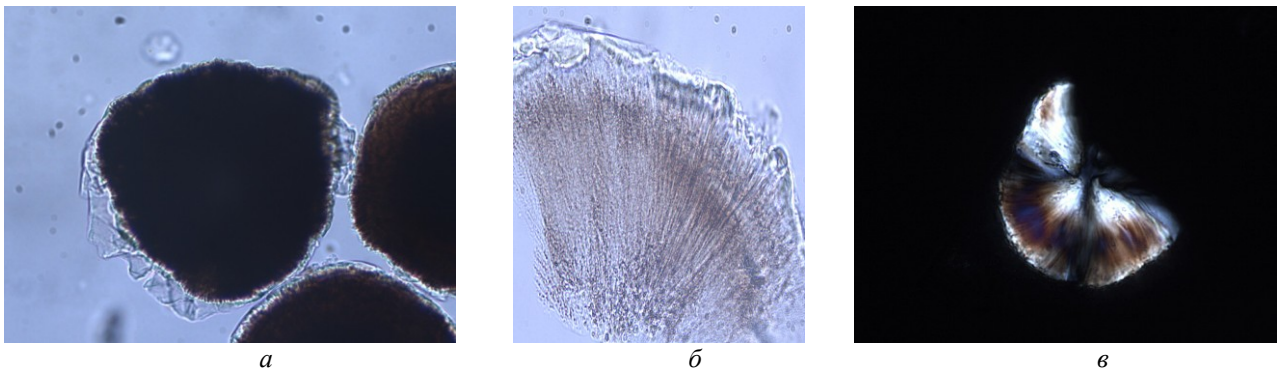
При м. о. F/Ti = 4 капсулы имеют более толстую оболочку, чем при м. о. F/Ti = 6, но состав оболочек одинаков. На внутренней поверхности оболочки формируется множество мелких сферолитоподобных частиц (шариков) (рис. 2, *а*, *б*), состоящих в основном из белого (голубоватого) цвета анизотропного материала с показателями преломления Ng = 1,536 + 0,005 и Np = 1,524 + 0,005 (рис. 3, *б*, *в*) с волнистым погасанием, характерным для физически деформированных (напряженных) кристаллов [4]. В меньшем количестве в шариках присутствуют изотропные зерна NdF_3. Шарики покрыты, в свою очередь, тончайшей оболочкой (рис. 3, *а*). Состав оболочки шариков и анизотропного материала не установлен. Помимо капсул осадки содержали примесь еще одной фазы неизвестного состава.



а *б*

Рис. 2. Микрофотографии формирования ядер в капсуле в исходном растворе с м. о. F/Ti = 4. Внутренняя сторона капсулы (*а*) и ядра *(б*). Увеличение х32-56

Частицы микро- и наноразмеров помимо пространственных характеристик могут обладать внутренней полой структурой в виде нанотрубок или в форме ядро-оболочка. В целом наноматериалы с многоуровневой внутренней структурой делят в числе прочих на «ядро — полая оболочка» и многооболочечные и многостенные [2]. Частицы, наблюдаемые в данной работе для соединений с неодимом, не относятся к наноматериалам. Это микрочастицы с внутренней ядро-оболочка структурой, которая ранее для него не была известна. Погремушечные структуры ранее получали несколькими методами: с применением коллоидного раствора и вытравливанием промежуточного слоя SiO_2 с использованием разницы в скорости диффузии. Наличие частиц ядро-оболочка приписывают также Оствальдовскому старению, когда молекулы маленьких кристаллов диффундируют и рекристаллизуются на поверхности больших кристаллических частиц [2]. Однако кристалличность NdF_3 низкая. Вероятно, образование структуры ядро-оболочка вызвано наличием промежуточного коллоидного содержащего титан раствора, из которого в итоге формируется аморфная фаза.



а *б* *в*

Рис. 3. Микрофотографии ядер, образовавшихся в растворе с м. о. F/Ti = 4:
а — общий вид (увеличение~60); *б*, *в* — фрагменты ядра (увеличение х600); *в* — при скрещенных николях

Полые микроструктуры привлекают значительное внимание за счет выдающихся свойств: разнообразной внутренней структуры, гибкого химического состава, большой удельной поверхности и многофазных анизотропных границ разделов. Однако исследования пока в самой начальной точке своего развития [2]. Многоуровневые сложные структуры обладают огромным потенциалом в энергетике, защите окружающей среды, биоинженерии и многих других областях науки.

Литература
1. Исследование взаимодействия в системе Nd_2O_3-TiO_2-H_2SO_4-HF-H_2O при 75 °С / Е. Б. Панасенко и др. // ЖНХ. 1988. Т. 33, № 12. С. 3171–3175.
2. Меледин А. А., Сивов Р. Полые наноматериалы с многоуровневой внутренней структурой: [из кеша Google]. URL: www.nanometer.ru/2010/07/15/12791485338975_215354.htm
3. Редкие и рассеянные элементы. Химия и химическая технология / ред. С. С. Коровин. М.: МИСИС, 1996. Т. 1. 376 с.
4. Стойбер Р., Морзе С. Определение кристаллов под микроскопом. М.: Мир, 1974. 107 с.

Н. Н. Гришин, А. Г. Иванова
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, grishin@chemy.kolase.net.ru

ПЕРЕРАБОТКА КИАНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ РУДЫ КЕЙВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЛИНОЗЕМА

Россия — второй в мире производитель алюминия, но обеспеченность отечественным глиноземом металлургических заводов составляет около 45 %, остальной глинозем ввозят из-за рубежа. Мы изучаем методы переработки природных кианитов Мурманской обл. с целью получения глинозема в виде двух модификаций гамма и альфа (корунд). Использовали кианитовый концентрат Al_2O_3 — 56,5 %, SiO_2 — 40 % при содержании железа в нем порядка 0,24 мас. %, K_2O — 0,08 мас. %, TiO_2 — 0,45 мас. %. Проводили исследования карботермического восстановления кианитовой руды и кианитового концентрата, в результате чего был получен высокоглиноземистый продукт с 95 %-м содержанием Al_2O_3 [1]. Изучали также применение бифторидной технологии обогащения кианитового концентрата, что позволило получить корундовый концентрат с содержанием Al_2O_3 более 99 % и с выходом по Al_2O_3 95 % [2, 3]. Получены патенты переработки кианитового концентрата методом карботермического восстановления и методом фторидной технологии [7, 8].

Для переработки высококремнистых алюмосиликатов (более 6 % кремнезема) применяют способ спекания [6]. Алюмосиликаты спекают с солями щелочных и щелочноземельных металлов, получая твёрдые алюминаты, которые затем выщелачивают. При нейтрализации полученного щелочного раствора, добавлением кислоты, получают осадок гидроокиси алюминия, который отфильтровывают, промывают и отправляют на заключительную кальцинацию. Обезвоживание гидроокиси алюминия при заключительной кальцинации является завершающей операцией производства глинозема, которую осуществляют в печах при температуре 850–1300 °С. При нагреве происходят последовательно следующие структурные превращения:

$$Al(OH)_3 \xrightarrow{200\ ^\circ C} AlOOH \xrightarrow{850–1000\ ^\circ C} \gamma\text{-}Al_2O_3 \xrightarrow{1100–1300\ ^\circ C} \alpha\text{-}Al_2O_3$$

Для проведения исследований использовали шихту, содержащую кианитовый концентрат, соду (Na_2CO_3) и негашеную известь (CaO), учитывая следующие соотношения $Na_2O/Al_2O_3 = 1{,}05$ и $CaO/SiO_2 = 2{,}00$ [4, 9]. Полученный состав измельчали на виброистирателе в течение 2 мин до фракции 0,063 мм. Из полученной смеси были отпрессованы образцы при давлении 140 кг/см^2. Первичный обжиг мы проводили при разных температурах, наиболее чистый продукт с большим содержанием Al_2O_3 получился при обжиге с температурой 1410 °С. На начальных этапах обезвоживание гидроокиси алюминия осуществляли при 850 °С, получаемый продукт содержал до 100 % γ-Al_2O_3. Для образования корунда α-Al_2O_3 в получаемом материале температуру заключительной кальцинации необходимо увеличить.

В следующих исследованиях обжиг проводили при температуре 1410 °С с выдержкой 1,5 ч при максимальной температуре, а заключительную кальцинацию осуществляли при температуре 1100–1200 °С. Результаты представлены на рис. 1. Получен глинозем с содержанием 99 % Al_2O_3 после заключительной кальцинации при 1100–1200 °С с выдержкой 2 ч, выход оксида алюминия составил 64 %. Для увеличения выхода основного продукта и уменьшения содержание примесей SiO_2, CaO, TiO_2 в получаемом материале необходимо более детально изучить технологию получения глинозема.

Эффективность способов получения глинозема, основанных на связывании кремнезема в двухкальциевый силикат, в значительной степени определяется степенью взаимодействия последнего с алюминатно-щелочными растворами и продуктами этого взаимодействия. В результате этого взаимодействия содержание кремнезема в алюминатном растворе увеличивается. Происходят потери глинозема и щелочи с образованием в процессе выщелачивания натриевых гидроалюмосиликатов $Na_2O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}(1{,}7-1{,}9)SiO_2{\cdot}H_2O$ и гидрогранатов (содержащих переменное количество SiO_2 и H_2O) $3CaO{\cdot}Al_2O_3\ SiO_2(6-2n)H_2O$, обладающих небольшой растворимостью и переходящих в отвальный шлам, что приводит к снижению извлечения глинозема из сырья.

Ввиду меньшей растворимости в щелочно-алюминитном растворе β-модификации двухкальциевого силиката по сравнению с α-модификацией, для технологии производства глинозема наибольшее значение имеет получение спека с максимальным содержанием β-модификации двухкальциевого силиката.

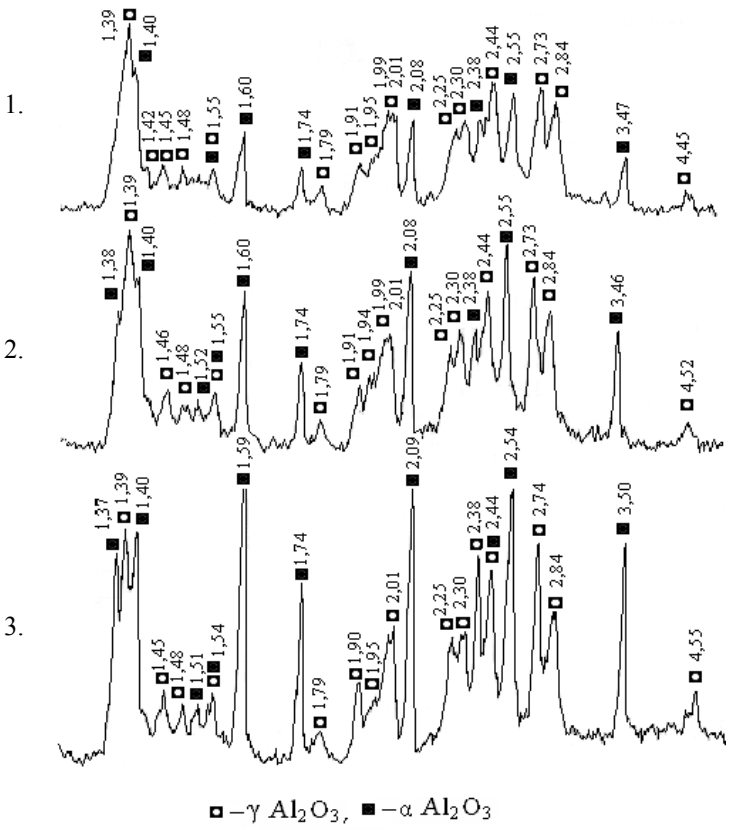


Рис. 1. Рентгенограммы материалов после обжига при 1410°С с выдержкой 1,5 ч при максимальной температуре и заключительной кальцинацией:
1 — при 1100 °С с выдержкой 1 ч (20–25 % α-Al_2O_3 и около 75–80 % γ-Al_2O_3); 2 — при 1100 °С с выдержкой 2 ч (до 40 % α-Al_2O_3 и около 60 % γ-Al_2O_3); 3 — при 1200 °С с выдержкой 2 ч (70–80 % α-Al_2O_3)

При охлаждении двухкальциевого силиката последовательность полиморфных превращений имеет вид $\acute{\alpha}_H$ $\acute{\alpha}_L$ β, при этом температура перехода из $\acute{\alpha}_H$ в $\acute{\alpha}_L$ составляет 1160 °С, из $\acute{\alpha}_L$ в β составляет 680–620 °С.

Учитывая последовательность и температуры переходов полиморфных модификаций двухкальциевого силиката спек, предлагают выдерживать при температурном режиме 1160 и 680–620 °С в течение времени, необходимого для образования максимального количества β-модификации двухкальциевого силиката [5]. Это обеспечивает увеличение на 2–4 % извлечения оксида алюминия.

Мы осуществили ряд экспериментов, учитывая предложенную выше зависимость переходов полиморфных модификаций двухкальциевого силиката. Образцы были изготовлены из описанного выше состава шихты. Обжиг проводили при температуре 1410 °С с выдержкой при максимальной температуре 1,5 ч. При охлаждении также осуществляли выдержку по 30 мин при температуре 1160 и 650 °С. Заключительная кальцинация проводилась при 1100 °С с выдержкой 1 час при максимальной температуре. В результате был получен материал с высоким содержанием глинозема в виде корунда α-Al_2O_3 (таблица, рис. 2).

Изменения, внесенные в технологию получения спека, позволили увеличить выход оксида алюминия.

Химический состав полученных материалов

Компонент	Концентрация		Компонент	Концентрация	
	Образец 1	Образец 2		Образец 1	Образец 2
Al_2O_3	99,81	99,6	CaO	0,04	0,22
NaCl	–	0,02	TiO_2	0,01	0,02
SiO_2	0,06	0,08	Fe_2O_3	0,01	0,01
S	0,02	0,02	Cl	0,01	–
K_2O	0,03	0,03	Выход Al_2O_3, %	71	76

Используемые нами технологии, включающие метод спекания высококремнистых алюмосиликатов, позволили получить из кианитового концентрата материалы с высоким содержанием корунда, который может найти весьма обширную сферу применения. Корунд является одним из перспективных материалов для изготовления пористой керамики, подложек для мембранных процессов, так как характеризуется высокой прочностью, огнеупорностью, коррозионной стойкостью, стойкостью к химически активным средам и биоинертностью.

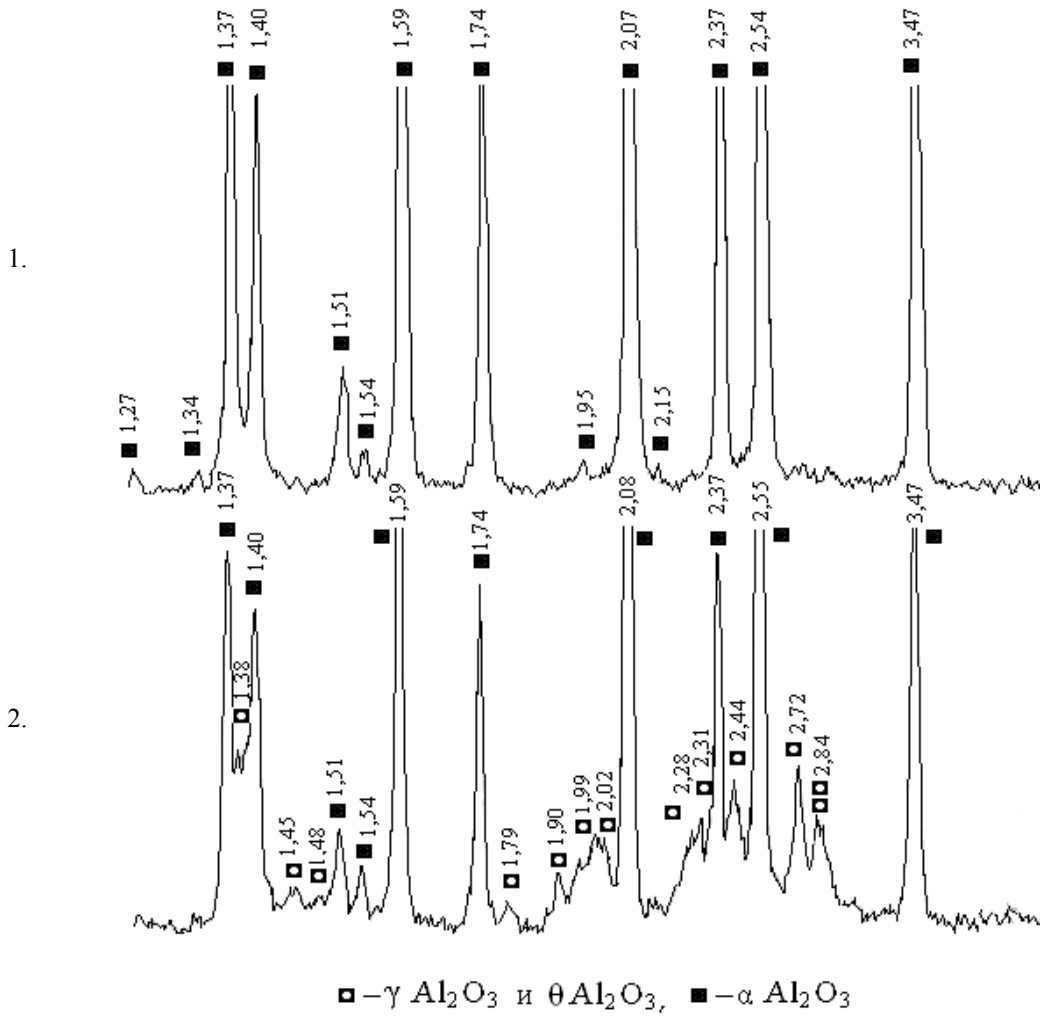


Рис. 2. Рентгенограммы материалов после обжига при температуре 1410 °С с выдержкой 1,5 ч при максимальной температуре и выдержкой при охлаждении по 30 мин. при температуре 1160 и 650 °С. Заключительная кальцинация при температуре 1100 °С с выдержкой 1 ч. Содержание корунда в образцах, %: 1 — 100, 2 — 85

Далее нами планируется разработать замкнутую технологическую схему комплексной переработки кианитовых руд, гарантирующую экологическую безопасность окружающей среды и обеспечивающую высокую степень извлечения алюминия с суммарным содержанием примесей порядка 0,03 % с получением полупродукта, пригодного для использования его в действующем производстве металлического алюминия и его сплавов.

Литература

1. Гришин Н. Н., Белогурова О. А, Иванова А. Г. Обогащение кианита путем карботермического восстановления // Новые огнеупоры: сырьевые материалы. 2010. № 5. С. 11–20.
2. Комплексное восстановление кианитовой руды Кейвского месторождения / Н. Н. Гришин и др. // Технология металлов. 2013. № 7. С. 3–10.
3. Переработка кианитовой руды с использованием фторидных технологий / Н. Н. Гришин и др. // Технология металлов. 2013. № 9. С. 3–11.
4. Пат. 2327642 Российская Федерация, МПК C01F 7/38, (2006.1). Шихта для получения глинозема / Сенюта А. С., Давыдов И. В., Голованов А. А., Дьяченко М. Г.; ОАО «РУСАЛ Всероссийский алюминиево-магниевый институт». № 2006147418/15; заявл. 29.12.06, опубл. 27.06.08., Бюл № 18.
5. Пат. 2364572 Российская Федерация, МПК C01F 7/38 (2006.1) Способ получения алюминийсодержащего спека / Александров В. В, Александров А. В). № 2008104587/15; заявл. 06.02.08, опубл.20. 08.09., Бюл. № 23.
6. Пат. 2446103 Российская Федерация, МПК C01F /06, C01F 7/38 (2006.1). Способ получения глинозема из кианитового концентрата / Никитин М. В., Сизяков В. М.; ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г. В. Плеханова (Технический Университет)». № 2010132509/05; заявл. 02.08.10, опубл. 27.03.12., Бюл. № 9.

7. Пат. 2489503 Российская Федерация, МПК, C22B 5/10 (2006.01). Способ переработки кианитового концентрата / Гришин Н. Н., Иванова А. Г., Беологурова О. А.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья. Кол. науч. центра РАН. № 2012109300/02; заявл. 12.03.12; опубл. 10.08.13. Бюл. № 22.
8. Пат. 2518807 Российская Федерация, МПК C22B 21/00, C22B 3/10, C01F 7/00 (2006.01). Способ переработки кианитового концентрата / Гришин Н. Н., Иванова А. Г.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья. Кол. науч. центра РАН. № 2013101401/02; заявл. 30.01.13; опубл. 10.06.14., Бюл. № 16.
9. Яшунин П. В., Киселев В. П. Кианиты — перспективное комплексное сырье алюминиевой промышленности // Труды ВАМИ. 1973. Т. 85. С. 113–116.

Н. Н. Гришин, Т. В. Кочеткова
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, grishin@chemy.kolase.net.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КЕРАМОВЕРМИКУЛИТА

Вермикулит является одним из перспективных теплоизоляционных материалов. Он химически нейтрален по отношению к металлу, медленно расплавляется и спекается в области контакта с жидкой сталью, обладает низкой объемной массой и коэффициентом теплопроводности. Получающийся после термообработки вспученный вермикулит обладает низкой объемной массой, повышенной огнестойкостью, низкой теплопроводностью, высокой звукопоглощающей способностью. Это определяет широкие возможности его использования в самых различных сферах.

Для обеспечения эффективной тепловой изоляции применяют вспученный вермикулит с размером зерна не более 3 мм и достаточно высокой степенью обогащения (объемная масса не более 200 кг/м^3). Однако температура плавления всех вермикулитов ниже температуры разливаемой стали, вследствие чего они не могут обеспечить длительную тепловую изоляцию металла. Исходя из этого следует, что для длительной тепловой изоляции металла стоит использовать более огнеупорные вермикулитовые смеси [3, 4]. Использование в качестве связки в изготовлении керамовермикулитовых плит огнеупорной глины позволяет увеличить эксплуатационную температуру применения вермикулита до 1400 °С.

На лабораторном уровне были проведены исследования по получению высокотемпературных фаз непосредственно в вермикулите. Химический состав сырого вермикулита, мас. %: SiO_2 — 34,38; Al_2O_3 — 11,22; $\sum FeO + Fe_2O_3$ — 6,70; CaO — 1,24; MgO — 24,82; TiO_2 — 0,56; K_2O — 0,27; Cr_2O_3 — 0,11; MnO — 0,06; NiO — 0,08; п.п.п. — 20,50.

Для лабораторных исследований использовали NaO «чда» и $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ «ч» в виде химических реактивов. Химический состав глинозема с Кандалакшиского алюминиевого завода, мас. %: Al_2O_3 — ≈ 99,5; Fe_2O_3 — ≈ 0,03; $K_2O + Na_2O$ — ≈ 0,3–0,4.

Для проведения исследований во вспученный вермикулит Ковдорского месторождения фракции 1,2–2,5 мм вводили следующую смесь:

1) 20 мас. % NaOH + 40 мас. % $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$;
2) 20 мас. % NaOH + 40 мас. % глинозем;
3) 10 мас. % NaOH + 40 мас. % глинозем;
4) 5 мас. % NaOH + 40 мас. % глинозем + 40 мас. % $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$;
5) 3 мас. % NaOH + 40 мас. % глинозем + 40 мас. % $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

Составы прокручивали в барабане 30 мин для равномерного смешивания массы. Смеси обжигали при 1200 °С с выдержкой при конечной температуре 2 ч. В табл. 1 представлены сведения о составах модифицированного вермикулита, температуре обжига и основных кристаллических фазах, образовавшихся после обжига. Основными высокотемпературными кристаллическими фазами модифицированного вермикулита, обожженного при 1200 °С, являются: шпинель ($MgAl_2O_4$) с $T_{пл}$ — 2030 °С; форстерит (Mg_2SiO_4) с $T_{пл}$ — 1890 °С, кристобалит (SiO_2) с $T_{пл}$ — 1713 °С, муллит ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) с $T_{пл}$ — 1810 °С, α-Al_2O_3 с $T_{пл}$ — 2050 °С. Полученный модифицированный вермикулит пропускали через сито 1 мм и добавляли в огнеупорную глину Боровичско-Любытинской группы месторождений. Основным компонентом этих огнеупорных глин является каолинит, характеризующийся высокой дисперсностью, что предопределяет высокую пластичность сырья. Используемая глина имеет число пластичности 18–23, формовочную влажность 28–42 % и огнеупорность 1680 °С.

Химический состав глины, мас. %: Al_2O_3 — 34.89; Fe_2O_3 — 2,19; SiO_2 — 57,34; CaO — 0,8; MgO — 0,7; TiO_2 — 2,16; $Na_2O + K_2O$ — 1,22; п.п.п. — 0,7 [1]. При нагревании каолин подвергается муллитизации. Муллит имеет высокую температуру плавления и повышенную механическую прочность. Известно, что муллит формируется в двухкомпонентной системе Al_2O_3-SiO_2 при температуре выше 1400 °С. В трех- и более компонентных системах, содержащих Na_2O, K_2O, CaO, TiO_2, которые присутствуют в природных материалах, температура образования муллита снижается вследствие появления жидкой фазы при относительно низкой температуре обжига [2].

Массу, перемешивали в барабанах в течение 30 мин, увлажняли до формовочной влажности 10–13 % и прессовали при давлении 140 кг/см^2. Отпрессованные образцы сушили при 110 °С до постоянного веса и обжигали при 1250–1450 °С с выдержкой при конечной температуре 1 ч.

Таблица 1

Составы модифицированного вермикулита и его кристаллические фазы после обжига при температуре 1200 °С

Номер состава	Состав модифицированного вермикулита				Кристаллические фазы
	вермикулит, 100 мас. %	мас. % сверх 100 %			
		NaOH	глинозем	$Al_2(SO_4)_3\ 18H_2O$	
1	Вспученный	20	–	40	шпинель $MgAl_2O_4$ +++, форстерит Mg_2SiO_4 ++++ нефелин $NaAlSiO_4$ +++
2	То же	20	40	–	шпинель $MgAl_2O_4$ +++, нефелин NaAlSiO4 ++++ форстерит Mg_2SiO_4 ++, дяоюдаоит $NaAl_{11}O_{17}$ +
3	«	10	40	–	форстерит +++, шпинель $MgAl_2O_4$ ++, α-Al_2O_3 ++
4	«	5	40	40	форстерит ++, шпинель $MgAl_2O_4$ +++, α-Al_2O_3 ++ энстатит +++, муллит +
5	«	3	40	40	форстерит +++, шпинель $MgAl_2O_4$ ++++, α-Al_2O_3 ++ энстатит ++, муллит +

Примечание. Плюс обозначает интенсивность пиков на рентгенограмме.

На основе модифицированного вермикулита и огнеупорной глины получены высокотемпературные материалы. Введение модифицированного вермикулита № 3, № 4 увеличивает температуру обжига образцов до 1450 °С. Образцы после обжига форму не потеряли, оплавлений нет, пористые. Плотность образцов от 1.92–1.66 г/см^3, предел прочности при сжатии от 13.47–15.24 МПа. Введение модифицированного вермикулита № 5 увеличивает температуру обжига образцов до 1400 °С, плотность образцов 1.58 г/см^3, предел прочности при сжатии 11.04 МПа. Основными высокотемпературными, кристаллическими фазами являются муллит, шпинель, кордиерит, кристобалит. При 1450 °С образцы расплавились. Введение модифицированного вермикулита № 1 и № 2 в массу увеличивает количество стеклофазы в образцах при 1300 °С. Образцы имеют оплавленную, деформированную поверхность и высокую плотность.

Введение от 20 до 5 % NaOH в модифицированный вермикулит не целесообразно, так как образуется большое количество аморфной фазы, а интенсивность основных пиков кристаллических фаз (форстерита, шпинели и корунда) уменьшается. Образцы начинают оплавляться. У образцов № 3–4 при 1450 °С исчезает кордиерит, кристаллические фазы представлены муллитом, шпинелью и появляется аморфная фаза.

В табл. 2 приведены физико-технические свойства керамовермикулита, на основе огнеупорной глины и модифицированного вермикулита. На рис. 1 представлена рентгенограмма керамовермикулита № 4, состоящего из 60 % глины огнеупорной и 40 % модифицированного вермикулита № 5 (вермикулит вспученный – 100 мас. %; глинозем – 40 мас. % сверх 100 %; $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, – 40 мас. % сверх 100 %; NaOH – 3 мас. % сверх 100 %).

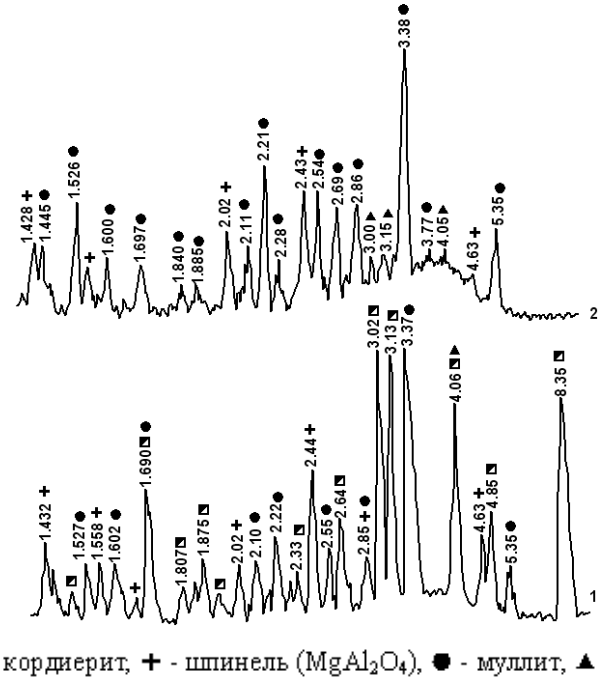


Рис. 1. Рентгенограмма керамовермикулита с модифицированным вермикулитом, обожженного при тепературе 1400 (1) и 1450 °С (2) с выдержкой при конечной температуре 1 ч

Таблица 2

Физико-технические свойства керамовермикулита на основе огнеупорной глины и модифицированного вермикулита

Номер состава	Глина, мас. %	Модифицированный вермикулит		Формовочная влажность массы, %	Температура обжига, °С	Усадка, %		Предел прочности при сжатии, МПа	Плотность, г/см^2
		мас. %	номер			воздушная	огневая		
1	80	20	1	13.7	1250	0.3	6.0	67.42	1.94
1	80	20	1	13.7	1300	0.7	1.0	26.06	1.66
2	80	20	2	11.4	1250	0.7	6.29	59.68	1.99
2	80	20	2	11.4	1300	0.3	1.99	22.84	1.74
3	80	20	3	12.3	1350	0.66	5.96	51.54	1.88
3	80	20	3	12.3	1400	0.49	5.79	41.03	1.85
3	80	20	3	12.3	1450	0.66	6.62	15.24	1.92
4	**60**	**40**	**5**	**12.4**	**1350**	**0.99**	**3.64**	**45.50**	**1.96**
4	**60**	**40**	**5**	**12.4**	**1400**	**0.33**	**2.66**	**39.16**	**1.82**
4	**60**	**40**	**5**	**12.4**	**1450**	**0.66**	**1.33**	**13.47**	**1.66**
5	60	40	4	12.7	1350	0.66	3.64	29.27	1.75
5	60	40	4	12.7	1400	0.99	0.67	11.04	1.58
5	60	40	4	12.7	1450	Образцы вспучились, форму потеряли, стекло на поверхности			

Примечание. У образцов под номером 4 определяли теплопроводность при температуре: 1350 °С — 0,375 Вт/м·°С, плотность — 1,96 г/см^2; 1400 °С — 0,298 Вт/м·°С, плотность — 1,82 г/см^2; 1450 °С — 0,190 Вт/м·°С, плотность — 1,66 г/см^2.

Физико-химические исследования фазовых превращений керамовермикулитовых смесей показали, что при использовании модифицированного вермикулита и огнеупорной глины путем подбора компонентов можно получить составы с высокими огнеупорными свойствами, содержащими в результате обжига такие кристаллические фазы, как кордиерит, муллит, кристобалит и шпинель.

Литература

1. Синтез высокотемпературных фаз на вермикулитовом заполнителе Н. Н. Щербина и др. // Стекло и керамика. 2014. № 6. С. 20–24.
2. Стреллов К. К., Кащеев И. Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. М.: Металлургия, 1996. С. 172–185.
3. Суворов С. А., Скурихин В. В. Высокотемпературные теплоизоляционные материалы на основе вермикулита // Огнеупоры и техническая керамика. 2002. № 12. С. 24–31.
4. Суворов С. А., Скурихин В. В. Физико-химические исследования и свойства интегрированных высокотемпературных теплоизоляционных материалов // Новые огнеупоры. 2004. № 2. С. 44–52.

Н. Н. Гришин, Е. Ю. Ракитина

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, grishin@chemy.kolasc.net.ru

НОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТИТАНОМАГНЕТИТОВ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Цель работы — разработка бездоменного процесса получения из титаномагнетитов металлического железа с содержанием Fe более 99 % (патент РФ № 2385962), титана и ванадия или их соединений (патент РФ № 2606813).

По стоимости (173 млрд долл. США) титан занимает пятое место после угля, газа, нефти и железа [2]. Оказавшись после 1991 г. наследницей мощной перерабатывающей промышленности, Россия, попала в полную зависимость от поставок из Украины ильменитового и рутилового концентратов [3]. В Мурманской обл. известно 13 месторождений титана, суммарные запасы которых оцениваются в 3,7 млрд т при средних содержаниях в руде от 1,08 до 11,12 TiO_2, перспективные запасы — в 6 млрд т [4]. В современной России после распада Советского Союза, занимавшего первое место в мире по производству металлического титана и его сплавов и второе (после США) по потреблению титановой продукции, сложился очевидный дисбаланс между его производством и наличием крупных сырьевых источников титана, которые остаются не освоенными с советского периода [5]. По разведанным запасам титана Россия занимает первое место в мире.

В России и за рубежом создан большой научный задел по переработке нетрадиционного сырья по титану, в частности титаномагнетитовых руд [6]. Нами проводились исследования по переработке титаномагнетитовых концентратов месторождений Хибинского и Гремяха-Вырмес (рис. 1–6).

Состав титаномагнетитовых концентратов, мас. %, первое число обозначает месторождение Хибинское, второе — Гремяха-Вырмес: SiO_2 — 3,6, 1,3; TiO_2 — 8,82, 11,7; $Fe_2O_{3общ}$ — 80,67, 81,7; MgO — 0,46, 0,36; Al_2O_3 — 4,5, 1,83; MnO — 0,22, 0,36; Cr_2O_3 — 0,05, –; CaO — 0,7, 0,4; V_2O_5 — 0,7, 0,4; Na_2O — –, 8,26; K_2O — –, 0,27; P_2O_5 — 0,01, 0,27; $S_{общ}$ — 0,29 (аналитик Щур Т. Е.).

На рис. 1, 2 приведены зерна титаномагнетита месторождений Гремяха-Вырмес и Хибинского, на рис. 3 представлена фотография смеси совместного помола шихты, состоящей из титаномагнетита, углерода и щелочи согласно патенту РФ № 2385962. На рис. 4 начало укрупнения частиц восстановленного железа и срастания его с титанистой фазой. На рис. 5 — окончательно восстановленное железо в исходной матрице. Из рис. 6 следует, что примеси в порошке железа представляют собой отдельную фазу и повторным магнитным обогащением можно повысить содержание железа в конечном продукте.

Опытным путем было установлено, что крупность частиц не влияет на степень восстановления железа до железа металлического. Это связано с тем, что за счет «дырок» во вмещающей матрице (SiO_2) восстановительный эффект передается по ней гораздо эффективнее, чем диффундирует сам восстановитель.

Что касается наших разработок в области магнитного обогащения сырья Кольского п-ова об этом можно почитать в одном из наших предыдущих сообщений [1].

По данным исследования химического состава малообъемной технологической пробы по четырем скважинам Колвицкого месторождения (67, 68, 69, 70) установлено: SiO_2 — 2,75, TiO_2 — 11,42, Al_2O_3 — 8,17, Fe_2O_3 — 41,17, FeO — 28,85, MnO — 0,19, MgO — 4,87, CaO — 0,46, Na_2O — 0,15, K_2O — 0,03, H_2O^+ — 0,08, H_2O^- — 0, S — 0,48, Ni — 0,12, Cu — 0,29, Co — 0,038, Cr_2O_3 — 0,024, V_2O_5 — 0,34. Сумма — 99,45.

В составе руды главные минералы: титаномагнетит (+ульвошпинель) — 42–77 % (среднее 58,9), ильменит — 4–10 % (среднее 8,3), шпинель (плеонаст) — 3–12 % (среднее 7,5), примеси: магнетит — менее 1 %, сульфиды — 2–5 % (среднее 4,3), графит — единичные зерна (далее е. з.). В сульфидной массе главные минералы присутствуют постоянно: пирротин, пентландит, халькопирит, кубанит; второстепенные — присутствуют не во всех образцах: валлериит, макинавит, виоларит, борнит; редкие — встречаются в единичных образцах: сфалерит, халькозин, алтаит, неопределенные фазы.

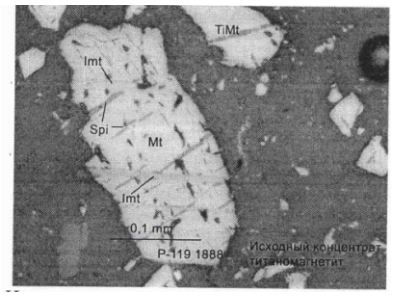


Рис. 1. Неизменное зерно титаномагнетита Гремяха-Вырмес

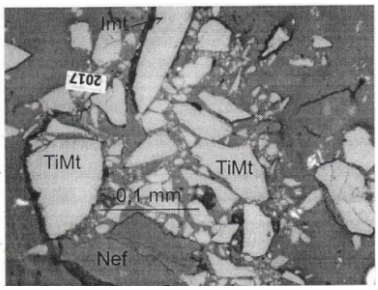


Рис. 2. Общий вид концентрата Хибинского титаномагнетита(TiMt)

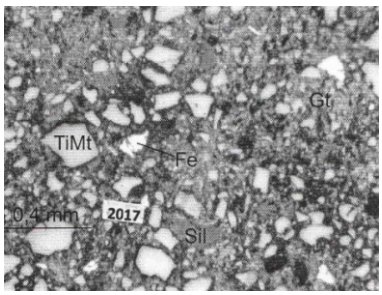


Рис. 3. Шихта после совместного помола

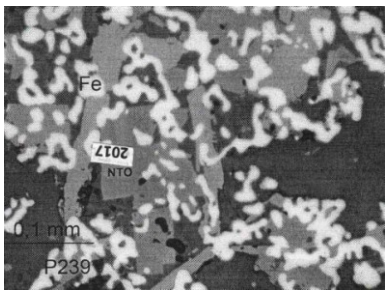


Рис. 4. Начало укрупнения частиц железа (Fe) в срастании с титанистой фазой (титаномагнетит + C + Na_2CO_3; T = 1250 °C)

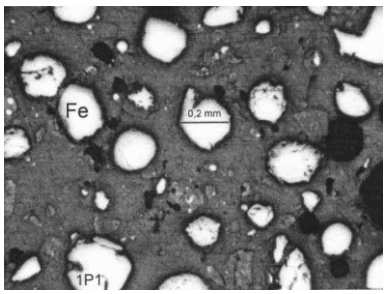


Рис. 5. Глобулы частиц железа (титаномагнетит + C + Na_2CO_3; T = 1300 °C), Fe — железо металлическое

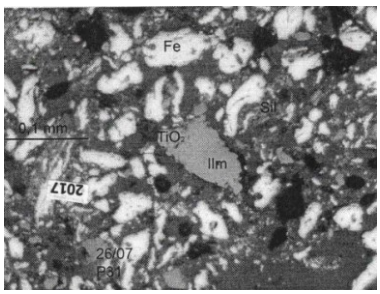


Рис. 6. Порошок железа (титаномагнетит + C + Na_2CO_3; T = 700 °C), Fe — железо металлическое, Ilm — ильменит, Sil — силикаты

Магнитная сепарация руды привела к разделению металлов в соответствии с минеральным составом. В магнитную фракцию перешли: титаномагнетит — до 90–95 %, 1 % сульфидов и 5 % силикатов, а в немагнитную — ильменит 15–20 %, сульфиды — 5–10 %, шпинель и силикаты — 70–80 %.

Химический состав магнитного концентрата, %: SiO_2 — 1,05; TiO_2 — 9,87; Al_2O_3 — 3,4; Fe_2O_3 — 48,27; FeO — 32,90; MnO — 0,19; MgO — 2,63; CaO — 0; Na_2O — 0,08; K_2O — 0,02; H_2O^+ — 0,14; H_2O^- — 0, S — 0,14; Ni — 0,08; Cu — 0,17; Co — 0,028; Cr_2O_3 — 0,021; V_2O_5 — 0,52. Сумма — 99,51.

Химический состав немагнитного остатка пробы, %: SiO_2 — 11,13; TiO_2 — 16,09; Al_2O_3 — 25,64; Fe_2O_3 — 10,43; FeO — 16,29; MnO — 0,24; MgO — 12,88; CaO — 2,13; Na_2O — 0,5; K_2O — 0,09; H_2O^+ — 0,23; H_2O^- — 0,78; S — 1,74; Ni — 0,3; Cu — 0,97; Co — 0,081; Cr_2O_3 — 0,01; V_2O_5 — 0,025. Сумма — 99,53.

Магнитная фракция получается низкосернистой, поскольку сульфиды — троилит, пентландит, халькопирит и др. — немагнитны, в магнитную фракцию переходит только титаномагнетит и ульвошпинель, а ильменит преимущественно уходит в немагнитную фракцию, поскольку в титаномагнетите мало вростков ильменита (табл.). Ванадий практически полностью перешел в магнитную фракцию, поскольку он сконцентрирован в титаномагнетите и ульвошпинели.

Распределение элементов в магнитных и немагнитных фракциях

Компонент	Км-12 (руда)	Км-13 (МК)	Км-12 (НМК)	Компонент	Км-12 (руда)	Км-13 (МК)	Км-12 (НМК)
TiO_2	11,42	9,87	16,09	$S_{общ}$	0,48	0,14	1,74
Al_2O_3	8,17	3,4	25,64	Ni	0,12	0,08	0,3
Fe_2O_3	41,17	48,27	10,43	Cu	0,29	0,17	0,97
FeO	28,85	32,9	16,29	Co	0,038	0,028	0,081
MgO	4,87	2,63	12,88	V_2O_5	0,34	0,52	0,025

Таким образом, магнитная сепарация позволяет получить из Колвицкой руды два продукта:

1. Магнетит-ульвошпинелевый, высокожелезистый, с содержанием железа — 81,17 % (Fe_2O_3 — 48,27; FeO — 32,90), TiO_2 — 9,87 % и содержанием V_2O_5 — 0,52 %. В этот продукт переходит около 75 % массы руды, и он является комплексным сырьем для получения железа, титана и ванадия.

2. Сульфидно-ильменитовый, с содержанием TiO_2 — 16,09 %, никеля — 0,3 %, меди — 0,97 % и серы — 1,74 % с высоким содержанием шпинели. В этот продукт переходит около 25 % массы руды, и он является комплексным сырьем для получения никеля, меди, кобальта и титана. Поскольку в него переходит вся шпинель, то следует ожидать, что здесь концентрируется и вредная примесь — Zn.

Таким образом, на стадии магнитной сепарации сульфитизированной руды (Колвицкое месторождение) достигаются: перевод ванадия в один продукт, который является предметом исследований методом карботермического восстановления для получения чистого железа; отделение цветных металлов и «ильменитового» титана в отдельный концентрат, который необходимо исследовать флотационным методом для отделения сульфидов от ильменита. По такой методике переработки ванадийсодержащего железотитанового концентрата повышается степень извлечения металлического железа в железосодержащий концентрат до 99,2 % при его улучшенной структуре и повышается степень извлечения оксида титана в титанооксидный концентрат до 97 %. Способ обеспечивает высокую (до 92 %) степень извлечения ванадия в его концентрат при содержании ванадия в металлическом железе 0,02–0,03 %, в нем используются более дешевые и доступные реагенты. Заявляемый способ относительно прост и может быть реализован с использованием стандартного оборудования.

Разработан новый способ получения нитрида титана через титанат натрия, минуя металлический титан (рис. 7).

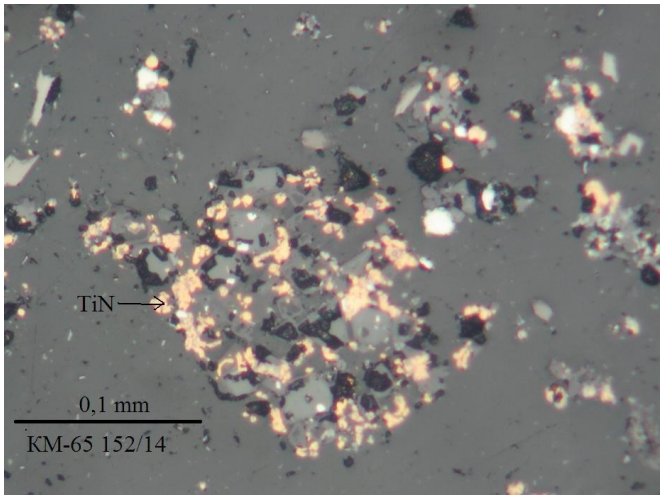


Рис. 7. Нитрид титана (розовое)

Литература

1. Гришин Н. Н., Войтеховский Ю. Л., Нерадовский Ю. Н. Принципы переработки концентратов из природного сырья Кольского региона // Материалы III конференции Ассоциации научных обществ Мурманской области и VI научной сессии Геологического института КНЦ РАН, посвященных Дню российской науки. (Апатиты, 9–10 февраля 2015 г.). URL: http://geoksc.apatity.ru/images/stories/Print/День%20науки_2015.pdf

2. Неженский И. А., Богданов Ю. В. Сравнительный стоимостный анализ минерально-сырьевой базы мира // Минеральные ресурсы России. 2002. № 5. С. 43–49.
3. Покалов В. Т. Проблемы сырьевой базы легирующих металлов // Минеральные ресурсы России. 2003. № 5–6. С. 8–11.
4. Рикошинский А. Е. Мировой рынок пигментного диоксида титана. Снабженец 2004 г. № 4 (410). С. 164–168.
5. Тигунов Л. П., Быховский Л. З., Зубков Л. Б.Титановые руды России: состояние и перспективы освоения. М.: ФГУП ВИМС, 2005. 104 с.
6. Шабалин Л. И. Геолого-технологические типы титаномагнетитовых руд и перспективы их использования в России // Руды и металлы. 1990. № 2. С. 37–48.

С. В. Дрогобужская[1], А. И. Новиков[1], Т. Б. Баянова[2], Л. М. Лялина[2]
[1]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН Апатиты, Drogo_sv@chemy.kolasc.net.ru*
[2]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, tamara@geoksc.apatity.ru*

ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛОВ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ЛАЗЕРНЫМ ПРОБООТБОРОМ

Современные методы локального анализа позволяют проводить исследования микрообъектов для решения задач геологии и геохимии. Фундаментальные исследования в этой области основаны на измерениях концентраций изотопов редких и рассеянных элементов и оценке их распределений в породах и в отдельных зернах акцессорных минералов. На основе этих данных оценивается термальная история пород, проводится расшифровка эволюции коры и мантии Земли, изучаются процессы их строения и последовательности формирования, а также процессы миграции элементов. Современные исследования по изучению распределения элементов базируются на масс-спектрометрических измерениях и определяются наличием соответствующих приборов и методик анализа. Среди методов локального анализа можно выделить термоионную (TIMS), вторично-ионную масс-спектрометрию (ионный зонд, SIMS) и масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой в сочетании с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) на приборах высокого и низкого разрешения. Перечисленные методы, кроме ICP-MS, являются очень дорогостоящими, громоздкими и, как следствие, малодоступными, поэтому современные исследования по определению редких элементов базируются на масс-спектрометрических измерениях, главными из которых являются приборы с индуктивно-связанной плазмой, обеспечивающие многоэлементный анализ с низкими пределами обнаружения. Использование метода лазерной абляции обеспечивает прямой анализ минералов. Среди последних наиболее интересны акцессорные минералы циркон и бадделеит для изучения распределения редких и редкоземельных элементов (REE), а также пирит, пирротин и другие сульфиды для определения элементов платиновой группы (EPG) и др.

Цель научно-исследовательской работы состояла в определении концентраций и оценке распределений REE, Hf, U, Th, Y, Ti и EPG в вышеперечисленных минералах, выделенных из различных пород арктического региона и др.

Для исследования морфологии образцов использовали метод электронной (LEO-1450) и оптической (LEICA OM 2500 P с камерой LEICA DFC 290) спектроскопии, местоположение локального анализа на кристаллах выбирали на основании анализа их оптических изображений. Измерения элементов проводили методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре ELAN 9000 DRC-e (Perkin Elmer) с использованием лазерного испарителя UP-266 MACRO (New Wave Research) с длиной волны 266 нм. Лазерную абляцию проводили в атмосфере аргона в точке диаметром от 35 до 155 мкм или при сканировании в линию шириной 35 и 70 мкм с частотой повторения импульсов 10 Гц (длительность импульса 4 нс) и энергией в импульсе от 14 до 18 Дж/см^2. Для градуировки прибора при анализе циркона и бадделеита использовали силикатный образец NIST SRM 612 с концентрацией микроэлементов порядка 40 ppm [14], при анализе сульфидов нормирование проводили на матричные элементы (Fe, As др.). Для расширения диапазона линейности изменяли диаметр лазерного пучка при постоянстве остальных параметров, коэффициент корреляции соответствовал 0,999. Для всех определяемых элементов среднее квадратичное отклонение (СКО) не превышало 15 %, а минимальная погрешность достигнута при сканировании в «линию». Предел определения изучаемых микроэлементов в 0,01 ppm достигается при диаметре лазерного пучка, равном 155 мкм, что сопоставимо с имеющимися данными [21]. Для оценки правильности методики использовали NIST SRM 610 с концентрацией микроэлементов порядка 400 ppm и международные стандартные образцы природного циркона 91500 (возраст 1065 млн лет, выделен из сиенитов (Renfrew), Онтарио, Канада), TEMORA 1 (возраст 416 млн лет, из габбро-диоритов, Тасмания, Австралия) и Mud Tank (возраст 732 млн лет, из карбонатитов, Strangways Range, Северная территория, Австралия). Результаты представлены на рис. 1. Сравнение результатов анализа стандартных природных цирконов с литературными данными показало хорошую воспроизводимость. На рисунке представлены полученные спектры распределений REE (нормированы согласно [16]) и данные различных зарубежных лабораторий. В таблице приведены результаты сравнительного анализа макроэлементов циркона независимыми методами — LA-ICP-MS и рентгеновского микроанализа на Cameca MS-46.

Сравнение результатов определения основных элементов LA-ICP-MS и микрозонда (CAMECA MS-46)

Образец	06-БТ-2-8-1П		06-ВТ-2-8-5	
Элемент, %	LA-ICP-MS	Cameca MS-46	LA-ICP-MS	Cameca MS-46
SiO_2	32,18	32,59	30,43	30,23
Y_2O_3	1,05	0,81	0,82	0,84
ZrO_2	64,1	63,1	65,07	63,51
HfO_2	3,36	3,02	3,46	3,54
ThO_2	0,018	0,20	0,0023	–
Сумма	100,7	99,7	99,8	100,1

Примечание. LA-ICP-MS — ИХТРЭМС КНЦ РАН, микрозонд Cameca MC-46 — ГИ КНЦ РАН.

Выбор циркона (силиката циркония) в качестве объекта исследования связан с тем, что это уникальный минерал, входящий в состав большого числа пород, образующийся в различных условиях, что делает его привлекательным для изучения распределения микроэлементов [7]. Для него характерна высокая температура закрытия U-Pb-системы и высокие концентрации родительского урана, дочернего гафния, а также REE, особенно HREE, которые важны в определении геохронологии циркона и интерпретации геологических возрастов. Циркон может образовывать самостоятельные индивиды или встречается в виде включений в других минералах, его размеры и внутренняя неоднородность приводят к необходимости применения локальных методов анализа [3, 7]. Новая разработанная методика применена для исследования циркона, выделенного из основных и кислых гранулитов и гранат-амфиболовых гнейсов Лапландского пояса, гранулитов внутригранитных пегматитов Кейвской зоны, габбро-анортозитов Кандалакшской и Колвицкой зоны и др. Некоторые образцы были использованы для межлабораторных исследований. Концентрации REE, измеренные на ELAN 9000 DRC-e были сопоставлены с данными других лабораторий — ЦИИ ВСЕГЕИ («ELEMENT-2» с лазерной приставкой New Wave DUV 193, Санкт-Петербург) и ЯФ ФТИАН (Cameca IMS-4F, метод вторичной ионной масс-спектрометрии (SIMS), Ярославль), показали хорошую воспроизводимость и позволили провести валидацию методики [4].

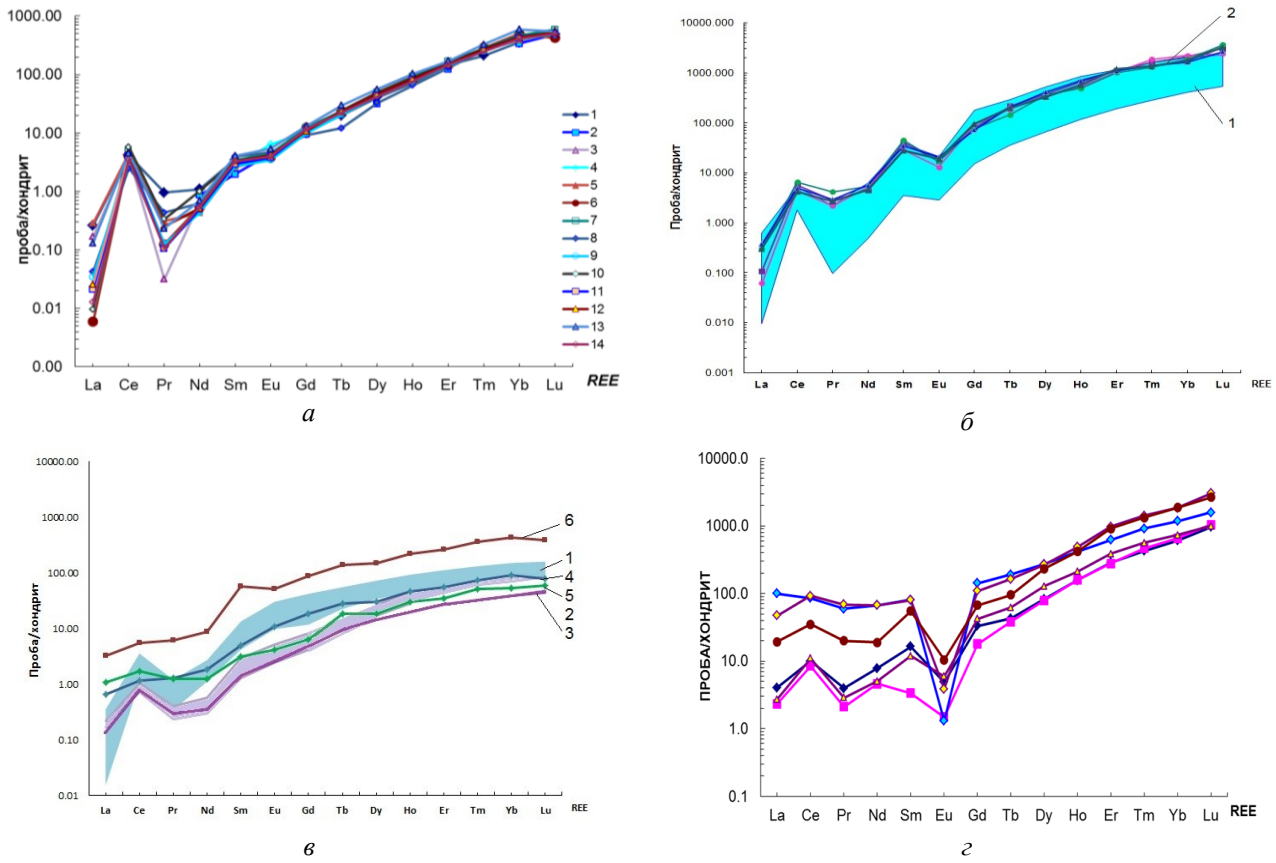


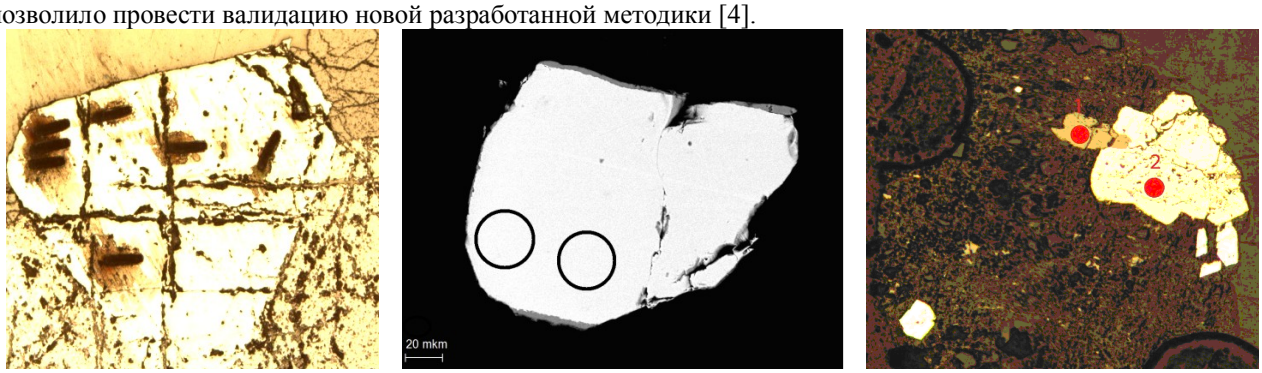
Рис. 1. Результаты определения REE, нормированных на хондрит [16], в стандартном образце: *а* — 91500 (1 — в данной работе, 2 — [18], 3 — [11], 4 — [5], 5 — [17], 6 — [21], 7–11 — [19], 12 — [13], 13 — [6], 14 — [12]; *б* — TEMORA (1–4 — [20]; 5–10 — в данной работе); *в* — Mud Tank, (1 — [20], 2 — [10], 3 — [15], 4–6 — в данной работе); *г* — бадделеит из габбронорит-анортозита (г. Мончетундра)

Другой акцессорный минерал — бадделеит (диоксид циркония), является более важным минералом, но менее распространенным. И если для циркона изучение микроэлементного состава — широко применяемая практика, то для бадделеита геохимические характеристики изучены мало и данные по его составу весьма противоречивы. Бадделеит также используют как минерал-геохронометр для датирования основных и щелочных пород [1–2, 8–9, 15]. В ходе работы были получены новые данные по элементному составу бадделеита (REE, Hf, U, Th, Y, Ti) из базитов Мончегорского плутона (2,5 млрд лет) и карбонатитов Ковдорского и Вуориярви (380 млн лет) месторождений (некоторые данные представлены на рис. 1).

На рис. 2 показан внешний вид некоторых минералов с зонами, где проводились исследования.

Сульфидные минералы интересны с точки зрения распределения EPG, Au и Ag. LA-ICP-MS анализ пирита и арсенопирита отразил, что, кроме Au и Ag, в минеральных зернах встречаются Rh, Ir и нет Ru, Pd и Os. В зерне пирита Rh и Ir могут присутствовать одновременно или только один из элементов, в зернах арсенопирита диагностируются только отдельно. В некоторых зернах пирита вместе с Ir найдены небольшие количества Pt.

Проведенные исследования отразили возможность использования метода LA-ICP-MS (ELAN 9000 DRC-e) для элементного анализа минералов. Сравнение новых экспериментальных данных, полученных в результате анализа природного циркона с другими методами анализа (ЦИИ ВСЕГЕИ, ЯФ ФТИАН) с разной степенью локальности, а также анализ международных стандартов циркона и сравнение с данными других лабораторий позволило провести валидацию новой разработанной методики [4].



а *б* *в*

Рис. 2. Внешний вид кристаллов циркона с кратерами (*а*), бадделеита (*б*), арсенопирита (*в*1) и пирита (*в*2) с точками пробоотбора (отраженный свет)

Авторы выражают благодарность М. П. Рыськиной за помощь в фотосъемке образцов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00305, Программы Президиума РАН № 4.

Литература

1. Баянова Т. Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб.: Наука, 2004. 174 с.
2. Баянова Т. Б. // Петрология. 2006. Т. 14, № 2. С. 203–216.
3. Костицын Ю. А., Белоусова Е. А., Бортников Н. С. и др. // ДАН. 2009. Т. 428, № 5. С. 654–658.
4. Николаев А. И., Дрогобужская С. В., Баянова Т. Б. и др. // ДАН. 2015. Т. 470, № 4. С. 448–452.
5. Belousova E. A., Griffin W. L., O'Reilly S. Y. et al. // Contributions to Mineralogy and Petrology, 2002. Vol. 143. P. 602–622.
6. GeoReM. URL: http://georem.mpch-mainz.gwdg.de/sample_query.asp (дата обращения 15.05.2014).
7. Hanchar E., Hoskin P. Zircon. Reviews in Mineralogy & Geochemistry. 2003. Vol. 53. 500 p.
8. Heaman L. M. // Chemical Geology. 2009. V.261. P. 43–52.
9. Heaman L. M., Le Cheminant A. N. // Chemical Geology. 1993. Vol. 110. P. 95–126.
10. Hoskin P. W. O., Ireland T. R. // Geology. 2000. Vol. 28, No. 7. 627–630.
11. Hoskin P. W. O. // J. Trace and Microprobe Techniques. 1998. Vol. 16. P. 301–326.
12. Iizuka N., Hirata T. // Geochemical J. 2004. Vol. 38. P. 229–241.
13. Nesbitt R. W., Hirata T., Butler I. B. et al. // Geostandards Newsletter. 1997. Vol. 20, No. 2. P. 231–243.
14. Pearce N. J. G., Perkins W. T., Westgate J. A. et al. // Geostandards Newsletter. 1997. Vol. 21. No. 1. P. 115–144.
15. Rodionov N., Belyatsky B., Antonov A. et al. // Gondwana Res. 2012. Vol. 21. P. 728–744.
16. Sun S-S., McDonough W. F. Magmatism in ocean basins. // Geol. Soc. London Spec. Publ. 1989. Vol. 42. P. 313–345.
17. Whitehouse M. J, Platt J. A. // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2003. Vol. 145. P. 61–74.
18. Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F. et al. // Geostandards Newsletter. 1995. Vol. 19. P. 1–23.
19. Wiedenbeck M., Hanchar J. M., Greenwood et al. // Geostand. Geoanal. Res. 2004. Vol. 28. No. 1. P. 9–39.
20. Yuan H. L., Gao S., Dai M-N. et al. // Chemical Geology. 2008. Vol. 247. P. 100–118.
21. Yuan H. L., Gao S., Liu X. M. et al. // Geostand. Geoanal. Res. 2004. Vol. 28. P. 353–370.

А. М. Калинкин, Б. И. Гуревич, Е. В. Калинкина, В. В. Тюкавкина, Е. К. Серова
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, kalinkin@chemy.kolasc.net.ru

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА И РУДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Введение

Комбинирование портландцемента (ПЦ) и различных техногенных минеральных добавок широко применяется в строительном материаловедении [5]. Это позволяет экономить материальные и энергетические ресурсы, а также при правильном подборе микронаполнителей и соответствующей подготовке композиции не только не снизить, но и улучшить вяжущие свойства по отношению к «неразбавленному» ПЦ. В частности, одним из способов повышения марочности цементов является механоактивация (МА) [1, 3]. Добавка к ПЦ минеральных концентратов позволяет получать специальные цементы. Например, композиционное вяжущее, полученное совместной МА ПЦ и бадделеита, по прочности и средней плотности цементного камня пригодно для защиты от γ-излучения [4]. Целью данной работы является изучение вяжущих свойств механоактивированных композиций на основе клинкера с добавками концентратов руд Кольского п-ова.

Экспериментальная часть

В качестве минеральных добавок использовали: железорудный концентрат (ЖРК) ОАО «Олкон», бадделеитовый концентрат (БК) АО «Ковдорский ГОК» и титаномагнетитовый концентрат (ТК) АО «Апатит». Для приготовления композиций применяли портландцементный клинкер Савинского завода и природный гипс (Архангельская обл.). Химические составы клинкера, гипса, а также минеральных добавок приведены в таблице. Минеральный состав ЖРК, мас. %: магнетит — 91,0–92,0, гематит — 1,0–2,0, кварц — 2,0–3,0, амфибол — 0,5–1,0, пироксен — 0,3–0,5, полевой шпат — 0,5–1,0, прочие — 0,2–0,5. ТК содержал 90–95 мас. % титаномагнетита, остальное — примеси нефелина, эгирина и др. БК представлял собой практически мономинеральную фракцию природного моноклинного диоксида циркония (бадделеита).

Химический состав компонентов композиционных вяжущих, мас. %

Компонент	SiO_2	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	SO_3
Клинкер	22,65	4,96	–	3,27	63,35	2,12	1,0	0,67	–	0,30	1,14
Гипс*	–	–	–	–	25,25	–	–	–	–	–	43,37
ЖРК	7,75	0,40	26,70	63,40	0,60	0,80	0,06	0,06	0,05	0,02	–
БК**	0,35	0,04	–	0,13	1,54	0,25	–	–	0,06	0,14	0,21
ТК	2,50	1,15	40,50	34,50	1,65	0,65	0,60	0,40	15,50	0,40	–

*Помимо указанных компонентов содержание H_2O — 18,9 %.
**В составе БК содержится 97,28 % ($ZrO_2 + HfO_2$).

В композициях содержание рудного концентрата (в мас. %) (P) рассчитывали по отношению к его смеси с клинкером. Гипс добавляли во всех случаях из расчета 5 мас. % по отношению к суммарному количеству клинкера и рудного концентрата. Совместную МА композиций (ПЦ + рудный концентрат) проводили в лабораторной центробежно-планетарной мельнице АГО-2 [2] в воздушной среде при центробежном факторе 40 g. Условия МА: мелющие тела — стальные шары диаметром 8 мм; отношение массы шаров к массе измельчаемого образца — 6:1.

Предварительную МА композиции, включающую БК, проводили в течение 150 с, остальных композиций — в течение 270 с. Среда МА — воздух. Удельную поверхность порошков определяли методом воздухопроницаемости. Все образцы размером 1.41×1.41×1.41 см изготавливались из теста нормальной густоты. Образцы твердели на воздухе при влажности 95–100 % и температуре 20 ± 2 °С.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены зависимости удельной поверхности ($S_{уд}$) ПЦ и рудных концентратов от продолжительности их раздельной МА в указанных выше условиях в планетарной мельнице АГО-2. Кривые $S_{уд}$ от времени механической обработки для ПЦ, БК и ТК достаточно близки, в то время как для ЖРК отмечаются пониженные значения удельной поверхности.

При тонком измельчении $S_{уд}$ порошков зависит от скоростей двух противоположно направленных процессов — разрушения частиц и их агрегации [9]. Скорость диспергирования для всех компонентов композиций закономерно снижается с увеличением продолжительности МА (рис. 1), что свидетельствует об усилении процессов агрегации. Известно, что при МА в аппаратах повышенной мощности кинетика диспергирования имеет свои особенности. На начальном этапе МА скорость роста $S_{уд}$ обратно пропорциональна твердости и прочности веществ. Однако при больших энергонапряженностях, что характерно

для планетарных мельниц, очень быстро размер частиц снижается до значений, при которых образование трещин и хрупкое разрушение прекращается. В результате на фоне значительного увеличения удельной поверхностной энергии порошка в условиях большого числа контактов между частицами начинает усиливаться образование их агрегатов и связанный с этим переход в состояние пластического течения. Важно отметить, что именно в состоянии пластического течения, прежде всего в поверхностных слоях частиц, интенсивно генерируются дефекты, ответственные за реакционную способность материала (дислокации, точечные дефекты и др.), хотя с точки зрения диспергирования этот процесс вреден, поскольку вносит отрицательный вклад в рост удельной поверхности и требует дополнительных затрат энергии [2].

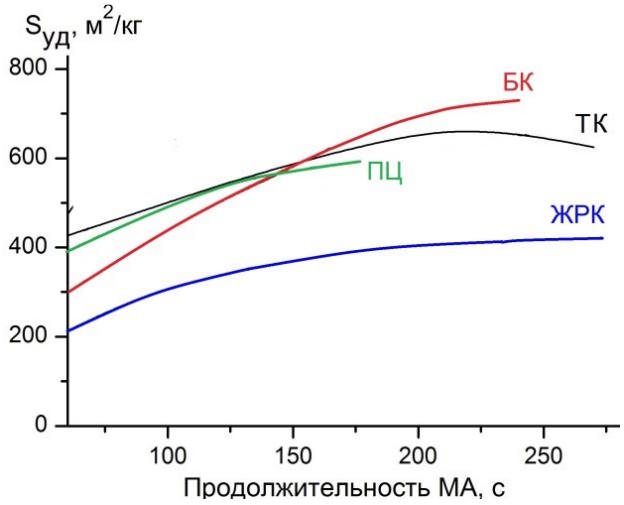


Рис. 1. Зависимость удельной поверхности ПЦ и рудных концентратов от продолжительности МА

Твердость по Моосу магнетита (титаномагнетита) и бадделеита равна 6,0 и 6,5 соответственно [8]. Основу клинкера составляет трехкальциевый силикат алит Ca_3SiO_5. Нам не удалось найти в литературе информации о твердости алита, но в качестве оценки твердость клинкера принята примерной равной твердости минерала хартрурита Ca_3SiO_5 — 6,0 [7].Таким образом, твердости всех главных компонентов смешанных цементов находятся в достаточно узком интервале 6,0–6,5. Это означает, что ход кривых $S_{уд}$ (рис. 1) в основном определяется процессами агрегации и пластического течения, которые зависят от структурно-химических особенностей минеральных фаз. ЖРК, по-видимому, обладает наибольшей склонностью к агрегации.

Согласно данным рентгенофазового анализа при МА всех изученных композиций, происходит снижение интенсивностей и уширение рефлексов исходных твердых фаз, новых соединений не обнаружено. На рис. 2 приведены рентгенограммы исходного ЖРК и образца концентрата, механоактивированного в течение 300 с (без добавления ПЦ). Анализ уширения пиков магнетита после МА, проведенный с использованием метода Вильямсона — Холла, показал, что средний размер кристаллитов минерала составляет 62 ± 10 нм, а величина микродеформаций решетки — 0,20 ± 0,05 %. Следовательно, в результате механической обработки поверхность магнетита по сравнению с исходным минералом обладает повышенной дефектностью как за счет увеличения межкристаллитных границ, так и за счет структурных нарушений, включая дислокации и точечные дефекты.

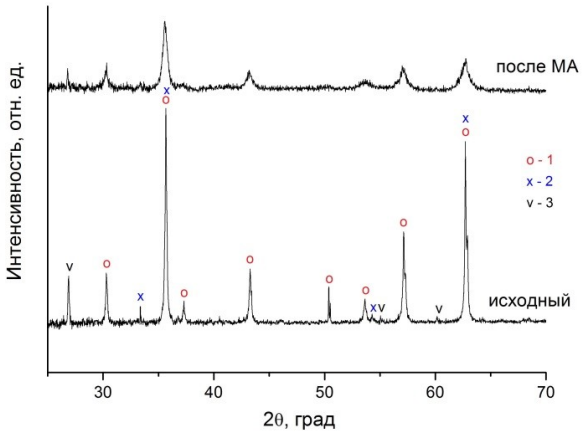


Рис. 2. Рентгенограммы исходного и механоактивированного ЖРК. Минеральные фазы: 1 — магнетит; 2 — гематит; 3 — α-кварц

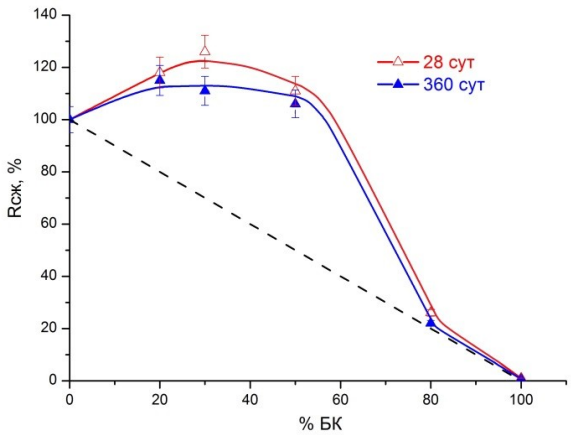


Рис. 3. Зависимость относительной прочности при сжатии композиции (ПЦ + БК) в возрасте 28 и 360 сут от содержания БК (пунктир — см. текст)

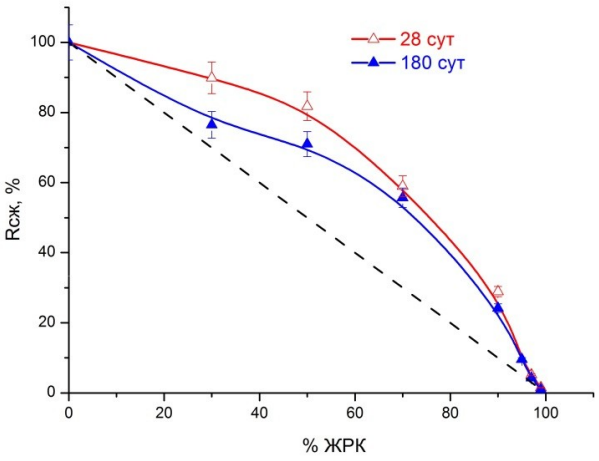


Рис. 4. Зависимость относительной прочности при сжатии композиции (ПЦ + ЖРК) в возрасте 28 и 180 сут от содержания ЖРК (пунктир — см. текст)

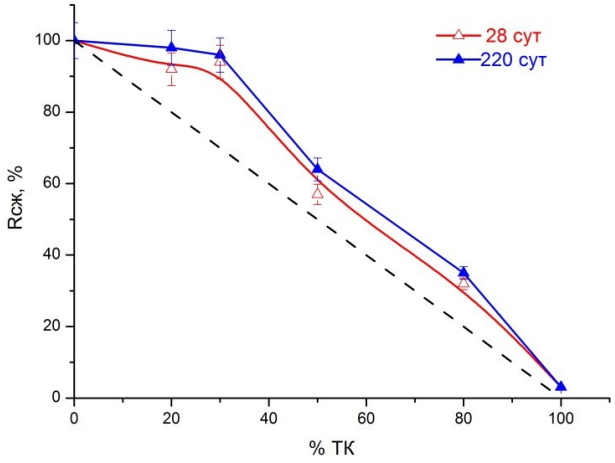


Рис. 5. Зависимость относительной прочности при сжатии композиции (ПЦ+ТК) в возрасте 28 и 220 сут от содержания ТК (пунктир — см. текст)

Можно ожидать подобных изменений и в случае совместной МА ПЦ с ЖРК и другими рудными концентратами, однако их количественная оценка существенно осложняется наложением дифракционных максимумов добавок и клинкерных минералов.

Зависимости относительной прочности при сжатии ($R_{сж}$) образцов изученных композиций (ПЦ + рудный концентрат) в средние (28 сут) и дальние (360, 220 или 180 сут) сроки твердения от содержания в ней рудного концентрата приведены на рис. 3–5. Прочность выражена в процентах по отношению к прочности образца бездобавочного ПЦ, механоактивированного в таких же условиях и твердевшего в течение такого же времени.

Следует отметить, что в случае композиции (ПЦ + БК) при содержании рудного концентрата 20–50 % для указанных сроков твердения наблюдаются значения $R_{сж}$ выше 100 %, т. е., несмотря на «разбавление» ПЦ, прочность в абсолютном значении возрастает (рис. 3). Что касается твердения смешанных вяжущих с применением ЖРК и ТК, то для всех составов и сроков твердения получаем прочность, превосходящую расчетную величину $R_{сж}$, в первом приближении условно считая, что прочность продуктов твердения цемента линейно зависит от содержания добавки. Другими словами, если принять прочность бездобавочного ПЦ за 100 %, то в композиционном цементе, содержащем Р% минеральной добавки, по расчету $R_{сж} = P \cdot 100$ %. Соответствующие такому расчету пунктирные линии полностью лежат ниже данных эксперимента (рис. 3–5).

Как отмечено выше, композиционное вяжущее на основе БК и ПЦ может применяться для защиты от γ-излучения. Специальными характеристиками обладает также композиция (ПЦ + ТК). Согласно полученным нами данным, средняя плотность образцов этой композиции (28 сут) возрастает с увеличением доли ТК в смеси от 2280 кг/м^3 (0 % ТК) до 2810 кг/м^3 (50 % ТК) при значениях $R_{сж}$ для последних в возрасте 28–220 сут, равных 39,1–45,0 МПа. Это позволяет рекомендовать данную композицию для получения особо тяжелых бетонов.

Таким образом, все исследованные рудные концентраты при условии применения МА являются активизаторами твердения ПЦ. Рост прочности композиционных цементов в сравнении с бездобавочным ПЦ, вероятно, происходит вследствие появления дефектов на поверхности частиц минеральных добавок при механической обработке, которые служат активными центрами, ускоряющими гидратацию клинкерных минералов по механизму гетерогенного зародышебразования [6]. Активность добавок зависит от кристаллохимических свойств минералов и других факторов, включая $S_{уд}$ механоактивированных твердых фаз. Удельные поверхности компонентов композиции после их совместной обработки в мельнице определить достаточно сложно. Вместе с тем, следует отметить, что магнетит и титаномагнетит имеют не только сходный химический состав, но структуру (кубическая решетка). Это согласуется с подобным характером зависимости относительной прочности при сжатии от состава композиции для ЖРК (рис. 4) и ТК (рис. 5). Повышенная, по сравнению ЖРК и ТК, активность БК (рис. 3), по-видимому, объясняется структурно-химическими особенностями бадделеита, который представляет собой диоксид циркония моноклинной модификации.

Литература

1. Аввакумов Е. Г., Гусев А. А. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья. Новосибирск, Гео: 2009. 155 с.
2. Аввакумов Е. Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. 305 с.
3. Бикбау М. Я., Молчанов В. Н., Чень Лун. Производство механохимически активированных цементов (вяжущих) низкой водопотребности // Цемент и его применение. 2008. № 3. С. 80–87.
4. Влияние механоактивации бадделеитового концентрата на его вяжущие свойства в составе смешанных цементов / Б. И. Гуревич и др. // ЖПХ. 2011. Т. 84, № 5. С. 736–737.

5. Георгичны З. Новые цементы и технологии производства альтернативных вяжущих // Цемент и его применение. 2013. № 2. С. 40–45.
6. Ле Су Г., Бен Хаха М. Влияние наполнителя на гидратацию портландцемента в ранний период // Цемент и его применение. 2012. № 4. С. 46–51.
7. Миндат.орг. URL: www.mindat.org/min-1828.html.
8. Поваренных А. С. Твердость минералов. Киев: Изд-во АН УССР, 1963. 304 с.
9. Ходаков Г. С. Физика измельчения. М.: Наука, 1972. 307 с.

Е. В. Калинкина, Б. И. Гуревич, А. М. Калинкин, В. В. Тюкавкина, Е. С. Серова
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, kalinkina@chemy.kolasc.net.ru

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ СЕРПЕНТИНСОДЕРЖАЩИХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ НА ИХ ВЯЖУЩИЕ СВОЙСТВА

Введение

Серпентиниты являются одними из самых распространенных компонентов земных пород и в огромных количествах входят в состав отходов горнопромышленного комплекса. На территории одной только Мурманской обл. запасы хвостов обогащения медно-никелевых руд, основой которых являются серпентиниты, составляют более 250 млн т с годовым приростом в 7 млн т [2]. Один из лучших подходов в решении проблемы утилизации техногенных отходов — это вовлечение их в повторное использование, в т. ч. в стройиндустрии, с увеличением объемов переработки. Работами многих исследователей, ведущихся с первой половины прошлого столетия [4], установлена возможность получения вяжущего на основе обожженного серпентина.

Серпентиновые минералы — водные силикаты магния — относятся к природным слоистым силикатам и в структурном отношении сходны с каолинитом [6]. В естественном состоянии они инертны, для перевода в активное состояние их необходимо подвергнуть обезвоживанию до частичной или полной потери структурной воды [3]. Многочисленными исследованиями установлено, что прокаливание тонкоизмельченного серпентина в интервале температур 500–700 °С ведет к дегидроксилированию минерала и образованию промежуточных метастабильных фаз. В результате этих процессов формируется дефектная кристаллическая структура, в значительной степени увеличивается гидратационная активность серпентина, наблюдается проявление вяжущих свойств.

В данной работе впервые предпринята попытка использовать серпентинитовые отходы без их предварительного обжига и обеспечить повышение активности за счет механохимической активации (МА) в планетарной мельнице. МА увеличивает дисперсность частиц сырья и сопровождается существенными структурными изменениями, связанными с разупорядочением октаэдрических слоев и искажениями тетраэдрических сеток серпентина. При этом происходит частичная или полная потеря структурной воды [8]. Целью работы является установление принципиальной возможности использования местных серпентинсодержащих отходов без их предварительного обжига в том состоянии, в котором они находятся в отвалах, для получения вяжущих.

Экспериментальная часть

Объектами исследования являются хвосты обогащения (ХО) медно-никелевых руд Печенгского рудного поля Кольского п-ова и мономинеральная фракция антигорита (тривиальное название — серпофит, валовая формула $Mg_5Fe(OH)_8[Si_4O_{10}]$) из массива Пильгуярви. Химический состав сырьевых материалов приведен в таблице.

Химический состав сырьевых материалов, мас. %

Компонент	SiO_2	MgO	Fe_2O_3	FeO	CaO	Al_2O_3	NiO	Na_2O	K_2O	MnO	CO_2	S	H_2O
ХО	35,64	25,2	6,42	12,63	2,16	3,29	0,19	0,39	0,6	0,21	0,50	1,3	7,40
Антигорит	38,74	33,82	3,99	8,83	0,66	1,29	0,04	0,06	0,05	0,19	0,13	–	11,01

Помимо антигорита, содержание которого в данной партии ХО составляет 70 ± 5 мас. %, присутствуют также тальк, оливины, пироксены, магнетит и в незначительных количествах карбонаты и сульфидные минералы (пирротин, пирит, пентландит, халькопирит).

Мономинеральную фракцию антигорита исследовали с целью лучшего понимания характера процессов, протекающих при МА серпентинсодержащего сырья и влияющих на формирование вяжущих свойств.

Для определения влияния МА на увеличение химической активности изучали степень выщелачивания ионов магния и кремния из механоактивированного серпентинсодержащего сырья при его взаимодействии с водой. Гидратационную активность продуктов активации определяли по пределам прочности при сжатии образцов-кубиков (активизатор — вода) при нормальном твердении.

В последние годы серпентиновые минералы рассматривают как перспективное средство для улавливания, хранения и утилизации техногенных выбросов диоксида углерода в атмосферу [10]. Утилизировать образующиеся карбонатсодержащие силикатные фазы предлагается в том числе и в строительной отрасли. Ранее мы показали, что серпентин и ряд других силикатов активно поглощают CO_2 из атмосферы при интенсивных механических воздействиях [5]. При этом может наблюдаться существенное увеличение вяжущих свойств силикатного сырья [7]. Для проверки этого предположения механохимическую обработку серпентиновых образцов проводили в двух атмосферах — воздуха и CO_2.

Образцы ХО и антигорита в исходном состоянии перед МА представляли собой мелкодисперсные порошки с величиной $S_{уд}$ 1,44 и 1,63 м^2/г соответственно (по данным метода тепловой десорбции азота). МА проводили в лабораторной центробежно-планетарной мельнице АГО-2 [1] при центробежном факторе 40g. В качестве мелющих тел использовали стальные шары диаметром 8 мм. Отношение массы шаров к массе измельчаемого образца составляло 6:1, продолжительность МА — 4–10 мин. При изучении структурно-химических изменений антигорита под влиянием МА, чтобы усилить механохимическое воздействие на образец, использовали соотношение шары: загрузка 20:1, время МА — до 30 мин.

Методика МА в атмосфере воздуха и CO_2 описана в работе [5].

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 (CuK_α-излучение). ИК-спектры снимались на Фурье ИК-спектрометре Nicolet 6700 FTIR в таблетках бромида калия. Содержание CO_2 в образцах определяли с помощью анализатора ELTRA CS-2000.

При изучении взаимодействия механоактивированного серпентина с водой использовали соотношение Т:Ж равное 1:40, выщелачивание проводили на магнитной мешалке в течение 5 ч при комнатной температуре (20–22 °С). После проведения взаимодействия твердую фазу отделяли фильтрованием, фильтрат анализировали на содержание Mg, Si, Al, Ca, Fe, K методом атомно-эмиссионного анализа с индуктивно связанной плазмой на приборе OPTIMA 8300.

Для определения вяжущих свойств механоактивированного сырья изготавливались кубики с размерами 1,41×1,41×1,41 см из теста пластичной консистенции, которые твердели в воздушно-сухих и влажных условиях при температуре 20–22 °С. В качестве затворителя использовали воду. Прочность при сжатии $R_{сж}$ определяли как среднее значение для трех образцов.

Результаты и их обсуждение

Зависимость величины удельной поверхности антигорита и ХО от времени МА показана на рис. 1. При «умеренном» механохимическом воздействии (отношение массы загрузки к массе шаров 1:6) дисперсность порошков плавно возрастает приблизительно до 30 м^2/г, выходя на плато к 8–10 мин МА. Если увеличить энергетическую эффективность измельчения уменьшением отношения массы загрузки к массе шаров до 1:20, то максимальная удельная поверхность достигается в течение первых 2 мин, а затем резко снижается за счет образования агрегированных частиц. Атмосфера МА (воздух или CO_2) не оказывает существенного влияния на ход кривых.

Способность антигорита механохимически поглощать CO_2 из атмосферы в виде искаженных карбонатных ионов [5], показана на рис. 2.

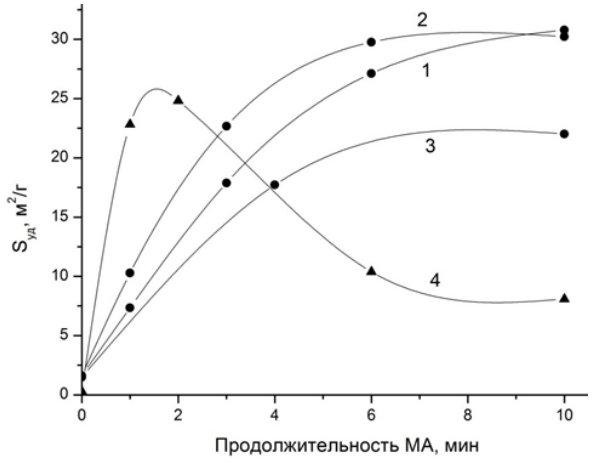


Рис. 1. Зависимость $S_{уд}$ от времени МА:
1, 2 — антигорит, МА на воздухе и в CO_2 соответственно, при отношении массы загрузки к массе шаров 1:6;
3 — ХО, МА на воздухе при отношении массы загрузки к массе шаров 1:6; 4 — антигорит, МА на воздухе при отношении массы загрузки к массе шаров 1:20

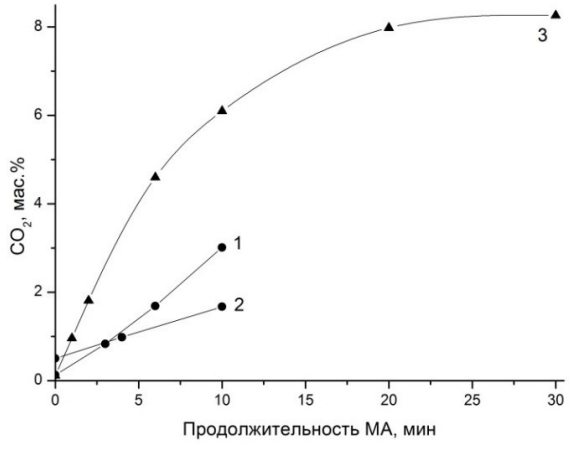


Рис. 2. Зависимость степени поглощения CO_2 от времени МА:
1, 2 — антигорит и ХО соответственно, МА при отношении массы загрузки к массе шаров 1:6;
3 — антигорит, МА при отношении массы загрузки к массе шаров 1:20

Условия МА, использованные для получения материала, на котором изучались цементные свойства хвостов и антигорита (отношение «загрузка : шары» — 1:6, время МА — 10 мин), дают степень поглощения 1,6–3,0 мас. % CO_2. С целью определить потенциальные возможности серпентина к поглощению CO_2 были проведены эксперименты по «насыщению» серпентина карбонатом до значений, близких к «предельным». Для этого использовали более «жесткие» условия МА в планетарной мельнице (отношение загрузка : шары — 1:20, время МА — 30 мин), а также применяли механическую обработку в ступке, которая характеризуется преимущественно сдвиговым типом воздействия. С помощью такой механической обработки удалось получить образцы, содержащие 8,3 и 12,8 мас. % CO_2 соответственно (время истирания серпентина в ступке ~ 50 ч, образец поглощал атмосферный CO_2 из воздуха лаборатории).

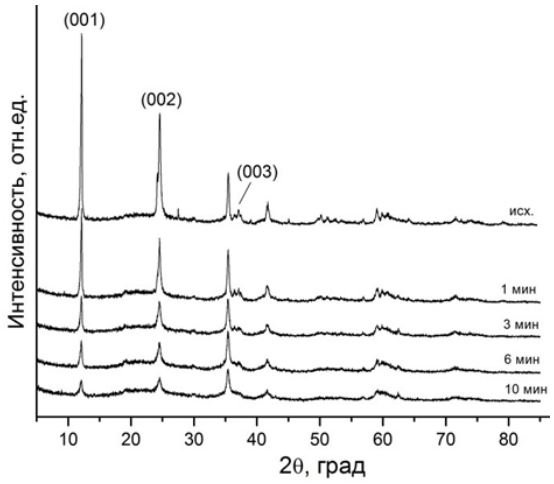


Рис. 3. Рентгенограммы антигорита после МА в мельнице АГО-2 в воздушной среде

После 10 мин активации антигорита наблюдается существенное разупорядочивание его структуры: уменьшаются интенсивности базальных рефлексов (001, 002, 003) в сравнении с остальными. Это указывает на преимущественное разрушение кристаллической решетки по плоскостям совершенной спайности, т. е. перпендикулярно оси *c* (аналогично поведению каолинита в работе [6]). При использовании более «жестких» условий МА (отношение загрузка : шары — 1:20) продукт активации переходит в полностью рентгеноаморфное состояние уже через 6 мин МА (рентгенограмма не приведена). При активации в среде CO_2 процессы аморфизации серпентина, по данным РФА, несколько тормозятся.

Как отмечено выше, необходимым условием возникновения у серпентина вяжущих свойств является потеря структурной воды. Обжиг ведет к удалению адсорбированной влаги и в пределе к полному дегидроксилированию минерала. МА в энергонапряженных мельницах также ведет к деструкции серпентина с частичным или полным обезвоживанием. После обработки в планетарной мельнице АГО-2 в течение 30 мин антигорит превращается в рентгеноаморфное вещество, термический анализ продукта активации показывает отсутствие эндотермических эффектов удаления адсорбированной и структурной воды (рис. 4, справа).

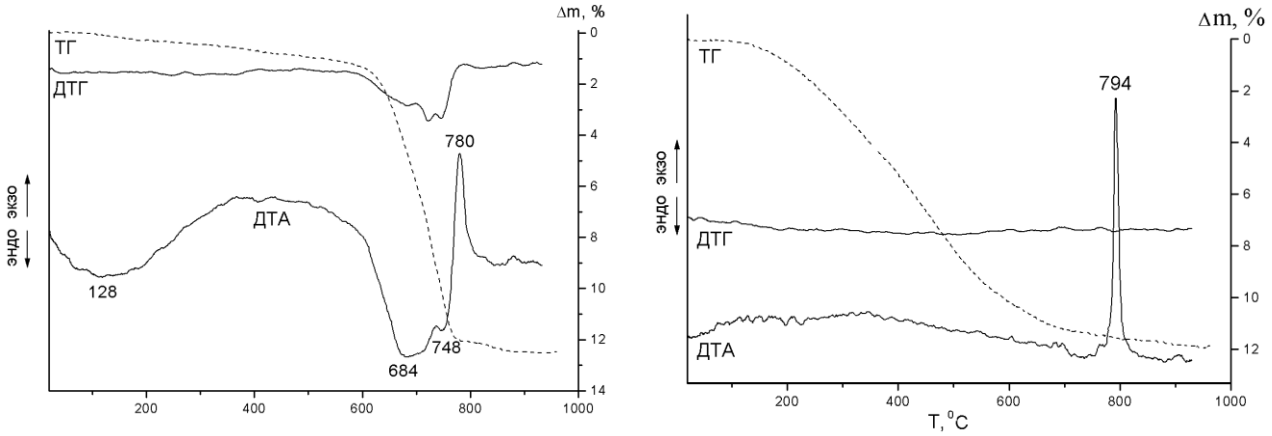


Рис. 4. Результаты термического анализа исходного (слева) и механоактивированного в течение 30 мин на воздухе (справа) антигорита

Выщелачиванию подвергали образцы антигорита и ХО после МА в планетарной мельнице (атмосфера МА — воздух и CO_2) в течение 10 мин при соотношении загрузка : шары 1:6. Эти условия МА использовали также при изучении вяжущих свойств серпентинсодержащего сырья. Согласно данным РФА (рис. 3) и ТА (не приведены), образцы представляли собой частично аморфизированный антигорит, количество структурной воды уменьшилось на 22 % по сравнению с исходным образцом. При этих условиях МА степень перехода в раствор магния составила 4 %, кремния — 0,4 % от исходного содержания в навеске. Для полностью аморфизированного образца антигорита степень выщелачивания магния достигала 11 %. Механоактивация в атмосфере диоксида углерода не приводит к облегчению перехода в раствор компонентов сырья, хотя в случае ХО некоторое преимущество есть.

Согласно нашим данным, механоактивированный антигорит, затворенный водой, твердеет как в воздушно-сухих, так и во влажных условиях по механизму, сходному с твердением обожженного серпентина [4]. Прочность при сжатии 28-суточных образцов, твердеющих на воздухе, достигает 3,5 МПа, что несколько выше, чем во влажных условиях (2,2–2,4 МПа).

Механоактивированные ХО при твердении в аналогичных условиях дают более высокую прочность: при твердении на воздухе — до 9 МПа, во влажных условиях — до 5 МПа. Существенное влияние на прочность оказывает продолжительность МА ХО: при увеличении времени МА от 240 с ($S_{уд}$ ~1050 м^2/кг) до 10 мин ($S_{уд}$ ~1280 м^2/кг) $R_{сж}$ увеличивается в 2–4 раза.

Повышенная прочность ХО по сравнению с антигоритом при затворении водой объясняется, по-видимому, присутствием в их составе других минералов, поставляющих в твердеющую композицию дополнительные количества растворимых кремния, алюминия и других компонентов. В этом случае может действовать синергетический эффект, положительно влияющий на прочностные свойства.

Следует отметить, что МА в атмосфере CO_2 исходного серпентинсодержащего сырья не оказывает заметного влияния на изменение прочности цементного камня, как это было в случае МА магнезиально-железистого шлака [7], несмотря на хорошо выраженную способность серпентина поглощать CO_2.

Таким образом, мы показали принципиальную возможность проявления вяжущих свойств изначально инертным серпентинсодержащим сырьем после его МА без термообработки с применением в качестве активизатора воды. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение геополимерных материалов на основе механоактивированного серпентинового сырья, затворяемого щелочными агентами.

Литература

1. Аввакумов Е. Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. 305 с.
2. Баюрова Ю. Л., Макаров Д. В. Искусственные геохимические барьеры для решения экологических и технологических задач // Научный вестник. 2013. № 7 (40). С. 9–17.
3. Боженов П. И., Сальникова В. С. О вяжущих свойствах некоторых природных минералов // Сборник научных трудов по химии и технологии силикатов / под ред. Ю. М. Бутта. 1956.
4. Будников П. П., Мчедлов-Петросян О. Н. Проявление гидравлических вяжущих свойств у обезвоженного серпентинита // ДАН СССР. 1950/7. № 3. С. 539–540.
5. Исследование сорбционных свойств механоактивированного серпентина по отношению к катионам меди (II) / Е. В.Калинкина и др. // Геоэкология. 2012. № 3. С. 229–236.
6. Лаптева Е. С., Юсупов Т. С., Бергер А. С. Физико-химические изменения слоистых силикатов в процессе механической активации. Новосибирск: Наука, 1981. 87 с.
7. Механохимическая активация магнезиально-железистых шлаков в среде углекислого газа и их свойства А. М. Калинкин и др. // ЖПХ. 2009. Т. 82, № 8. С. 1251–1255.
8. Молчанов В. И., Юсупов Т. С. Физические и химические свойства тонкодиспергированных минералов. М.: Недра, 1981. 160 с.
9. Тарасевич Ю. И. Строение и химия поверхности слоистых силикатов. Киев: Наукова думка, 1988. 247 с.
10. Улавливание и хранение двуокиси углерода: спец. докл. МГЭИК / Б. Метц и др.; Межправительственная группа экспертов по изменению климата. 2005.

В. Н. Колосов, М. Н. Мирошниченко, В. М. Орлов

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, tantal@chemy.kolasc.net.ru

ПОВЕДЕНИЕ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ В ПРОЦЕССЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА ПАРАМИ МАГНИЯ

Вольфрам и молибден получают в промышленном масштабе только методами порошковой металлургии, при этом существующие технологии являются сложными, многостадийными и имеют ограничение по величине удельной поверхности получаемых порошков [2]. Недостатки традиционных технологий способствуют поиску альтернативных методов получения. Ранее было показано, что порошки этих металлов с удельной поверхностью до 20 м$^2\cdot$г$^{-1}$ могут быть получены восстановлением их оксидных соединений парами магния [3, 5]. Пары магния проникают внутрь частицы оксидного соединения по микротрещинам, и восстановление происходит в объеме частицы без разрушения ее каркаса. В результате продукт восстановления представляет собой чередование прослоек тугоплавкого оксида MgO и частиц вольфрама или молибдена. После выщелачивания MgO растворами минеральных кислот отмытый порошок характеризуется мезопористой структурой.

Цель настоящей работы — изучение влияния состава оксидных соединений вольфрама и молибдена на поведение продуктов реакций в процессе восстановления оксидных соединений парами магния.

В качестве исходных реагентов использовали WO_3 («ч»), MoO_3 («ч»), $MgMoO_4$, $CaMoO_4$, $MgWO_4$, $CaWO_4$ и Ca_3WO_6. Двойные оксиды синтезировали методом спекания $CaCO_3$ («чда») или $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2(H_2O)_2$

(«чда») с MoO_3 («ч») или WO_3 («ч»). Аппаратура и методика проведения экспериментов аналогичны использованным ранее [3, 5]. Подробная схема установки приведена в работе [3]. Процесс вели в атмосфере паров магния и аргона («ВЧ»). Емкость с магнием («М95») устанавливали на дно реакционного стакана. Навески оксидных соединений массой 3 г загружали в металлические тигли, которые помещали в контейнер, устанавливаемый над емкостью с магнием. Над тиглями устанавливали экран, расстояние от которого до поверхности оксида составляло 27–30 мм. Реакционный стакан закрывали крышкой, в центре которой имеется отверстие для чехла термопары. Сборку помещали в реторту из нержавеющей стали, которую герметизировали, вакуумировали, наполняли инертным газом и нагревали до требуемой температуры при закрытой крышке реакционного стакана, чтобы избежать потери магния. Процесс вели в температурном интервале 700–800 °С при остаточном давлении аргона 5–15 кПа. Рентгенофазовый анализ (РФА) продуктов реакций проводили на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-6000 (Cu*K*α-излучение).

В интервале рабочих температур исходные вещества и продукты их восстановления, кроме магния и триоксида молибдена, имеют упругость паров не более 10^{-15} Па [1, 6]. При восстановлении MoO_3 его упругость паров существенно выше и находится на уровне 10^2–10^3 Па [6]. Таким образом, можно было ожидать, что за счет сублимации триоксида молибдена часть продуктов реакции после его восстановления может располагаться вне тигля, в который он был загружен. В других случаях, ввиду низкой упругости паров исходных реагентов и образующихся продуктов, реакционная масса должна полностью оставаться в тигле.

Однако после восстановления в приведенных выше условиях не только MoO_3, но и остальных соединений молибдена, а также некоторых соединений вольфрама на внутренней боковой поверхности тиглей выше уровня загрузки, на поверхности реакционной массы и на поверхностях экранов, были обнаружены плотные отложения вещества белого цвета (рис. 1). Фазовый состав этого вещества и других продуктов реакций представлен на рис. 2. Согласно данным РФА, белое вещество во всех отложениях представляло собой чистый оксид магния. Реакционная масса под коркой из оксида магния после восстановления WO_3 и MoO_3 представляла собой порошок вольфрама или молибдена, после восстановления $MgWO_4$ и $MgMoO_4$ — вольфрам или молибден с небольшой примесью MgO, а после восстановления $CaMoO_4$ — смесь из Mo и CaO с небольшой примесью MgO. В то же время после восстановления в аналогичных условиях $CaWO_4$ и Ca_3WO_6 разделения продуктов реакций и выделений оксида магния вне реакционной зоны не происходит. Реакционная масса в этих случаях представляла собой однородный порошок, содержащий смесь вольфрама и оксидов кальция и магния в отношении, соответствующем стехиометрии реакций взаимодействия этих соединений с магнием.

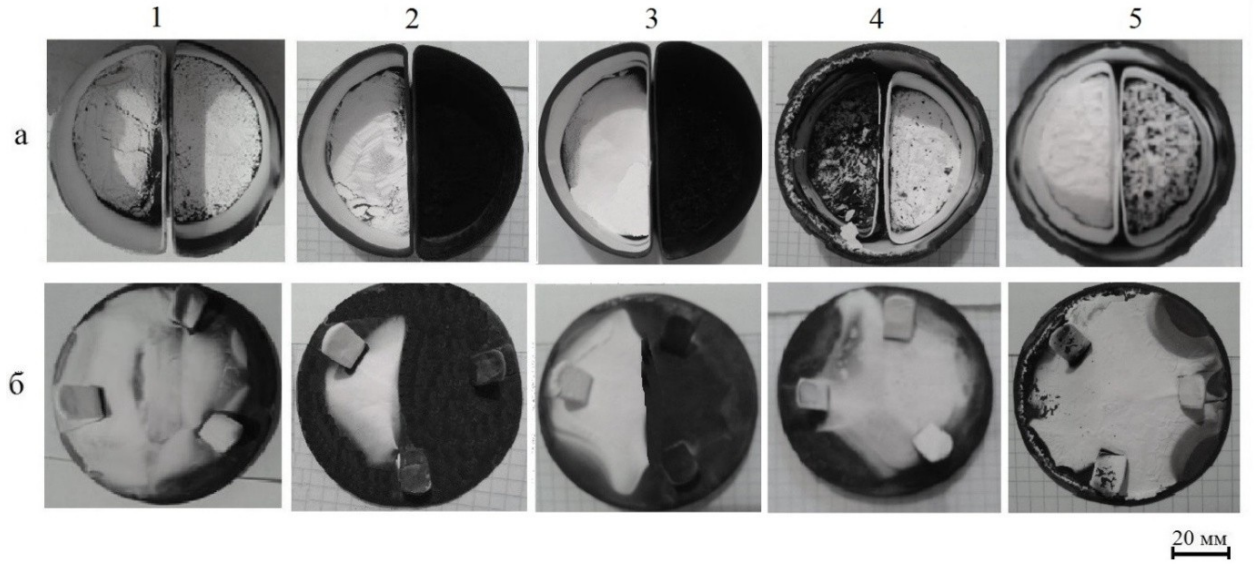


Рис. 1. Тигли с реакционной массой (а) и соответствующие им экраны (б) после восстановления. Исходные оксидные соединения: WO_3 (левые тигли, 1а–3а), $MgWO_4$ (правый тигель, 1а), $CaWO_4$ (правый тигель, 2а), Ca_3WO_6 (правый тигель, 3а), MoO_3 (левый тигель, 4а), $MgMoO_4$ (левый тигель 5а), $CaMoO_4$ (правый тигель, 5а). Остаточное давление в реакторе: 1, 3 и 4 — 15 кПа; 2 и 5 — 10 кПа. Температура в реакторе 740 °С

Разделение продуктов реакций, которое наблюдалось при восстановлении парами магния оксидных соединений молибдена и вольфрама, носит неординарный характер. Наиболее очевидные причины его возникновения, такие как испарение и сублимация реагентов или продуктов, маловероятны. При температуре протекания реакций упругость паров оксида магния не превышает 10^{-17} Па, а его диссоциация превалирует над возгонкой вплоть до температуры 2200 °С [4]. Поэтому испарение и сублимация MgO невозможны. Разделение по зонам продуктов реакций восстановления магнием приведенных выше соединений также не может быть обусловлено их летучестью. После восстановления WO_3 и $MgWO_4$ содержание вольфрама в отложениях MgO

как непосредственно на поверхности реакционной массы, так и на поверхности экранов не превышало 0,02–0,04 мас. %. После восстановления соединений молибдена содержание молибдена во всех отложениях MgO не превышало 0,1–0,2 мас. %. Увеличение скорости массопереноса вещества, обладающего малой упругостью пара, в замкнутой системе в газовой среде при градиенте температуры может происходить в результате химических транспортных реакций [9]. Однако при восстановлении исследованных соединений протекание транспортных реакций вряд ли возможно, так как во всех системах отсутствуют вещества, способные образовать летучие соединения с оксидом магния. Кроме того, перепад температуры между зоной возможного образования летучего соединения и зоной его разложения незначителен, особенно в случае образования корки из MgO непосредственно на поверхности реакционной массы.

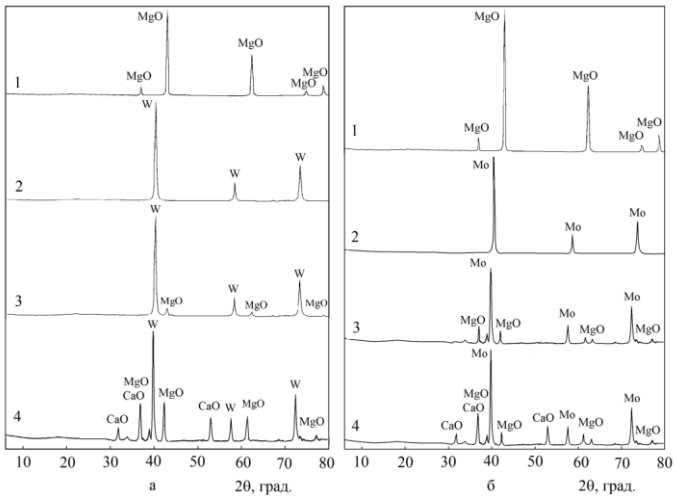


Рис. 2. Дифрактограммы белого вещества на экране после восстановления WO_3 (1а) и MoO_3 (1б), реакционной массы под коркой MgO после восстановления WO_3 (2а), MoO_3 (2б), $MgWO_4$ (3а), $MgMoO_4$ (3б) и $CaMoO_4$ (4б) и однородной реакционной массы после восстановления $CaWO_4$ (4а)

Обнаруженный при восстановлении парами магния оксидных соединений вольфрама и молибдена эффект разделения продуктов реакций, характеризующихся высокой температурой плавления и низкой упругостью паров, при температуре намного ниже температуры их плавления нигде в известной литературе не упоминается. Нами установлено, что его проявление коррелирует с количеством тепла ΔQ, выделяющегося на единицу массы стехиометрической шихты. Имеется пороговое значение ΔQ, меньше которого эффект отсутствует. Для исследованных оксидных соединений вольфрама и молибдена разделение продуктов реакций происходит только при значениях $\Delta Q \geq 2400$ кДж·кг$^{-1}$. Возможно, при этом создаются условия для осуществления реакции без непосредственного физического контакта реагирующих веществ посредством переноса электронов. Такой процесс наблюдался ранее другими исследователями при восстановлении кальцием оксидов Nb_2O_5 и TiO_2 в расплавах солей [7, 8], однако для аргументированного объяснения обнаруженного эффекта разделения продуктов реакций необходимо проведение дополнительных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект 16-03-00620.

Литература

1. Казенас Е. К. Термодинамика испарения двойных оксидов. М.: Наука, 2004. 551 с.
2. Каламазов Р. У., Цветков Ю. В., Кальков А. А. Высокодисперсные порошки вольфрама и молибдена. М.: Металлургия, 1988. 257 с.
3. Колосов В. Н., Мирошниченко М. Н., Орлов В. М. Влияние химического состава прекурсора и условий восстановления на фазовый состав и свойства магниетермических порошков вольфрама // Неорганические материалы. 2016. Т. 52, № 8. С. 945–852.
4. Куликов И. С. Термическая диссоциация соединений. М.: Металлургия, 1969. 576 с.
5. Орлов В. М., Колосов В. Н. Магниетермическое восстановление кислородных соединений вольфрама и молибдена // ДАН. 2016. Т. 468, № 3. С. 288–292.
6. Таблицы физических величин / под ред. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.
7. Okabe T. H., Park I., Waseda J. Y. Production of niobium powder by electronically mediated reaction (EMR) using calcium as a reductant // J. Alloys and Compounds. 1999. Vol. 288. P. 200–210.
8. Park I., Abiko T., Okabe T. H. Production of titanium powder directly from TiO_2 in $CaCl_2$ through an electronically mediated reaction (EMR) // J. Physics and Chemistry of Solids. 2005. No. 2–4. P. 410–413.
9. Schafer H. Chemische Transportreaktionen. Der Transport anorganischer Stoffe über die Gasphase und seine Anwendungen, Weinheim: Chemie, 1961.

Н. К. Манакова, О. В. Суворова
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты
manakova@chemy.kolasc.net.ru

ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЛОЧНЫХ ПЕНОСИЛИКАТОВ

Экологическая безопасность при добыче и переработке минерального сырья является объектом пристального внимания многих исследователей в наши дни. Значительные объемы отвальных пород и хвостов обогащения создают серьезные экономические и экологические проблемы в горнопромышленных районах. Последствия этого воздействия очень сложно и дорого устранить.

Вместе с тем, при комплексной переработке апатит-нефелиновых и эвдиалитовых руд на глинозем и другие материалы в качестве побочного продукта образуется большое количество кремнеземсодержащих отходов, которые необходимо перерабатывать, например, в строительные материалы.

Одним из наиболее эффективных строительных теплоизоляционных материалов, имеющих уникальный набор свойств и широкую область применения, является пеностекло. В нашей стране производство пеностекла остается недостаточно налажено и связано это в основном со сложностью технологического процесса [4, 5].

В настоящее время широко изучаются технологии пеносиликатных материалов — аналогов пеностекла. Такие материалы обладают рядом преимуществ — экологичны, негорючи, с относительно низкой себестоимостью. Для их получения используются различные виды кремнеземсодержащего сырья как природного, так и техногенного происхождения [6, 8, 9, 11, 12].

Цель работы заключалась в физико-химическом и экспериментальном обосновании получения блочных пеносиликатов с равномерной структурой и повышенной прочностью. Ранее нами проводились исследования по возможности получения пеносиликатных материалов на основе микрокремнезема из эвдиалитовых руд. Были исследованы составы и условия получения блочных пеноматериалов [7]. Полученные материалы обладают низкой прочностью и неравномерной структурой.

Для улучшения структуры и технических свойств проводилась корректировка составов путем введения модифицирующих добавок.

Согласно литературным данным, введение водостойких и прочных добавок, например апатит-нефелиновых отходов и диопсида, улучшает технические свойства готового продукта за счет возможного проникновения и распределения добавок в пустотах кристаллической структуры и микроструктуры [1– 3].

В работе использовались:

1) проба кремнеземсодержащего продукта, полученного при переработке эвдиалитовых руд и представляющего собой тонкодисперсный порошок серо-белого цвета с удельной поверхностью 17157 $см^2/г$, насыпной плотностью 523 $кг/м^3$;

2) отходы обогащения апатит-нефелиновых руд с удельной поверхностью 4363 $см^2/г$. Основным компонентом тонкодисперсных отходов является нефелин (55–65 мас. %);

3) диопсид Ковдорского месторождения с удельной поверхностью 4050 $см^2/г$, насыпной плотностью 940 $кг/м^3$;

4) хвосты обогащения вермикулитовых руд с удельной поверхностью 1512 $см^2/г$ и насыпной плотностью 1090 $кг/м^3$. Отходы характеризуются мелилит-слюдяно-оливино-диопсид-карбонатным составом, в котором второстепенными минералами являются апатит и магнетит. Содержание минералов, мас. %: карбонаты — 28–30, диопсид и оливин — 21–23, слюды — 25–27 [10].

Химический состав используемых исходных материалов приведен в таблице.

Химический состав сырья

Компоненты	Содержание оксидов, мас.%									
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	Na_2O	K_2O	ZrO_2
Мкр	69,90	0,78	0,91	2,03	0,91	0,45	0,04	0,32	–	4,28
АНХ	35,98	4,43	16,60	12,22	9,13	1,25	4,11	10,77	4,59	–
Диопсид	45,87	0,58	1,15	3,12	23,66	16,00	–	4,15	0,12	–
ХВР	27,48	0,32	0,93	10,98	11,25	28,29	3,21	0,27	0,2	–

Примечание. Мкр — микрокремнезем (продукт переработки эвдиалитовых руд), АНХ — апатит-нефелиновые отходы, ХВР — хвосты обогащения вермикулитовых руд.

Пеносиликатные материалы получали путем приготовления жидкостекольной композиции из шихты состава, мас. %: кремнеземсодержащий продукт — 68, гидроксид натрия (в пересчете на Na_2O) — 17, апатит-нефелиновые отходы фракции –1 мм — 15, диопсид или хвосты обогащения вермикулитовых руд фракции – 0,05 мм — 5–30 (сверх 100 %).

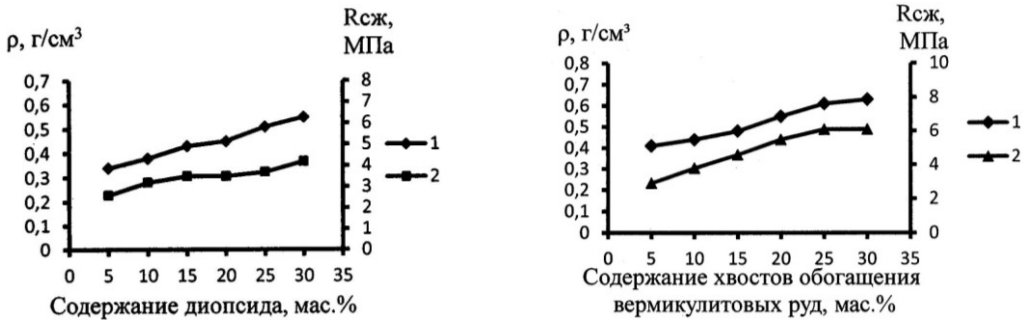
Компоненты шихты тщательно перемешивали, добавляли гидроксид натрия и методом пластического формования готовили образцы в виде цилиндров, которые затем укладывали в керамические разъемные формы и после сушки на воздухе подвергали вспучиванию при температуре 650 °С в течение 25–30 мин. Для стабилизации пены осуществляли резкое снижение температуры на 100–150 °С в течение 5–7 мин с дальнейшим медленным охлаждением до температуры окружающей среды со скоростью 0.4–0,6 °С/мин.

Исследования влияния диопсида на технические свойства пеносиликатов показали, что его введение приводит к увеличению прочностных характеристик в среднем в 2 раза при некотором увеличении плотности (0,55 г/см³) пеносиликатов. При введении диопсида в количестве 30 % (сверх 100 %) прочность материала составляет 4,2 МПа (рис. 1, *а*).

Добавление измельченных хвостов обогащения вермикулитовых руд в количестве 25–30 % (сверх 100 %) позволяет получить пеносиликаты с равномерной пористой структурой и прочностью до 6 МПа. Однако плотность таких силикатов превышает 0,6 г/см³, что может негативным образом повлиять на теплопроводность материала (рис. 1, *б*).

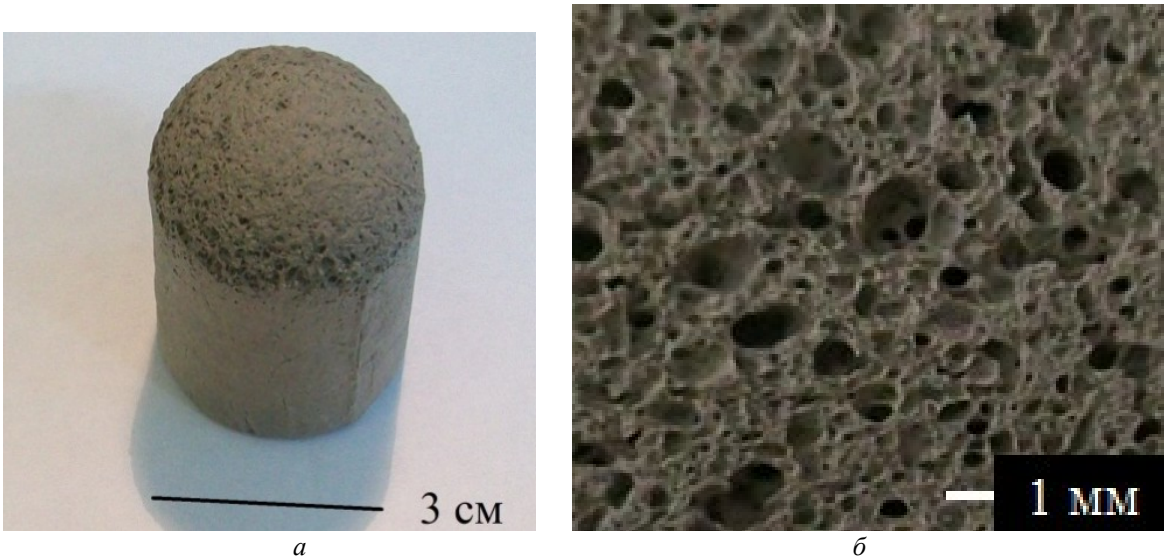
Вместе с тем замечено, что добавка измельченного диопсида и хвостов обогащения вермикулитовых руд способствует снижению водопоглощения готового материала в 2–3 раза.

В результате рассмотрения комплекса свойств пеносиликатов установлено оптимальное содержание диопсида или отходов обогащения вермикулитовых руд 10–20 % (сверх 100 %). При оптимальных условиях получены пеносиликаты с достаточно низкой плотностью 0,3–0,55 г/см³, высокой прочностью до 5–6 МПа, теплопроводностью 0,09–0,107 Вт/м·К и относительно низким водопоглощением. Внешний вид и макроструктура пеносиликата представлены на рис. 2.



а *б*

Рис. 1. Зависимость плотности (1) и прочности (2) пеносиликатов от количества диопсида (*а*) и хвостов обогащения вермикулитовых руд (*б*)



а *б*

Рис. 2. Образец (*а*) и макроструктура пеносиликата (*б*) на основе микрокремнезема из эвдиалитовых руд

Полученные блочные материалы легко поддаются механической обработке и могут быть рекомендованы для использования в строительстве для тепловой изоляции стен, кровли, чердачных перекрытий, полов зданий и сооружений.

Литература
1. Альперович И. А. // Строительные материалы. 1998. № 2. С. 22–23.
2. Верещагин В. И., Борило Л. П., Козик А. В. Пористые композиционные материалы на основе жидкого стекла и природных силикатов // Стекло и керамика. 2002. № 9. С. 26–28.
3. Керамические материалы на основе диопсида / В. И. Верещагин и др. // Стекло и керамика. 2010. № 11. С. 13–16.
4. Кетов А. А., Конев А. В., Саулин Д. В. Тенденции развития технологии пеностекла // Строительные материалы. 2007. № 9. С. 28–31.
5. Кетов А. А., Толмачев А. В. Пеностекло — технологические реалии и рынок // Строительные материалы. 2015. № 1. С. 17–23.
6. Кутугин В. А., Лотов В. А., Ревенко В. В. Пеностекло на основе природного и техногенного аморфного кремнезема // Техника и технология силикатов. 2016. № 3. С. 24–28.
7. Манакова Н. К. Оптимизация технологических режимов получения пеносиликатных материалов // Труды Кольского научного центра РАН: спецвып. «Химия и материаловедение»: материалы II Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной памяти акад. В. Т. Калинникова «Исследования и разработки в области химии и технологии функциональных материалов». Апатиты, 2015. С. 565–567.
8. Манакова Н. К. Суворова О. В. Теплоизоляционный материал на основе кремнеземсодержащих отходов переработки рудного сырья Кольского полуострова // ЖПХ. Т. 85, № 11. 2012. С. 1741–1745.
9. Никитин А. И., Казанцева Л. К. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов Потанинского месторождения // Строительные материалы. 2014. № 8. С. 34–36.
10. Особенности гранулометрического и минерального составов, инженерно-геологических и радиационно-гигиенических свойств лежалых хвостов вермикулитовой обогатительной фабрики ОАО «Ковдорслюда» / В. В. Лащук и др. // Научные основы химии и технологии переработки комплексного сырья и синтеза на его основе функциональных материалов: материалы всерос. науч. конф. с междунар. участием. Апатиты, 2008. Ч. 2. С. 163–167.
11. Пеностекло из механоактивированных цеолитсодержащих пород / Л. К. Казанцева и др. // Стекло и керамика. 2013. № 10. С. 18–22.
12. Теплоизоляционный материал на основе опокового сырья / Л. К. Казанцева и др. // Строительные материалы. 2013. № 4. С. 1–4.

М. Р. Мухтаров, Р. Д. Шайхуллин
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, boss.law@bk.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОР ПО РАЗМЕРАМ В 1D, 2D И 3D ЦИФРОВЫХ МИКРОТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ МЕРГЕЛЯ С ИХНОГЕННОЙ ПОРИСТОСТЬЮ

Одним из важнейших параметров, характеризующих природные и искусственные минеральные агрегаты, является пористость. На данный момент времени известно большое число экспериментальных методов, основанных на измерении физических свойств пористых сред, обусловленных наличием открытой пористости. К ним относятся методы измерения проницаемости, капиллярных, сорбционных и других свойств пористых сред [6]. С развитием микроскопических методов высокого разрешения, а также цифровых технологий получения и обработки изображений, все большую актуальность приобретают визуальные методы измерения геометрических характеристик пор для описании реальной структуры порового пространства. Компьютерная обработка изображений дает ряд преимуществ и открывает новые, недоступные при ручной обработке возможности в получении информации о внутренней структуре минеральных агрегатов. Коллекции цифровых микроснимков помогают упростить рабочий процесс, особенно когда требуется проанализировать сотни однотипных шлифов с одной определенной целью.

Существенным преимуществом метода компьютерной микротомографии является возможность анализа трехмерной внутренней структуры неоднородных сред. Метод позволяет решать огромное разнообразие прикладных и фундаментальных геологических задач, позволяет полностью визуализировать породу в 3D-изображении и рассчитать многие ее свойства, связанные с различием в рентгеновской плотности материалов, выделить трещины, поры, каверны, включения [3].

В общем случае объем горной пород является суммой объемов минерального скелета и пор, заполненных флюидами. Имеется достаточно много прямых экспериментальных исследований, свидетельствующих о том, что распределение размеров зерен горных пород подчиняется логнормальному закону [4, 7, 9]. Большей частью выводы о распределении пор по размерам получены на основе измерений проницаемости в системе открытых пор. Логнормальный закон распределения размеров пор и природа этой закономерности исследованы, например, в работах [7, 8, 10, 11].

Одним из известнейших методов является анализ горных пород под микроскопом. Суть метода заключается в измерении линейных размеров пор в плоскости среза материала (шлифов и пришлифовок) и вычислении на основании полученных результатов геометрических линейных (1D) и площадных (2D) характеристик поровой структуры [2, 5].

В нашем исследовании мы решили провести измерения 1D, 2D и 3D геометрических характеристик пор на основе трехмерных изображений внутренней структуры мергеля из нижнепермских отложений, полученных методом рентгеновской компьютерной микротомографии (рис. 1). Компьютерная томография образца проводилась на микро- и нанофокусной исследовательской рентгеновской системе для компьютерной томографии V|tome|X S 240 (оператор Е. О. Стаценко).

Из цифрового 3D-изображения мы выделили шесть 2D-срезов. Количественные измерения размеров пор выполнялись по всем 6 томографическим срезам (рис. 2) в 3 перпендикулярных направлениях (X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2).

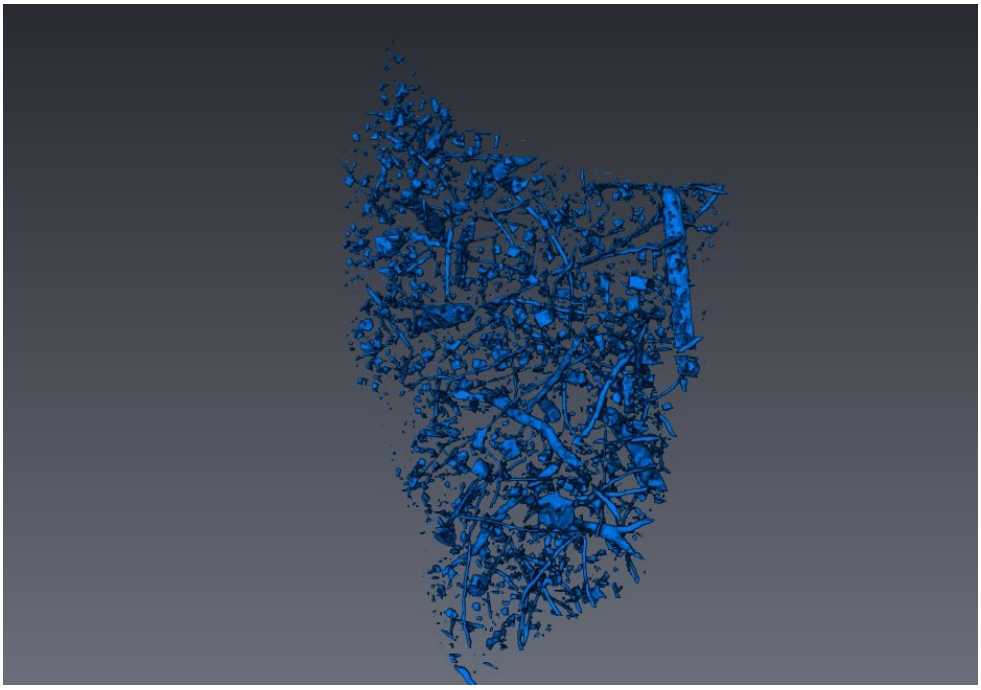


Рис. 1. 3D-проекция ихногенной поровой структуры мергеля нижнепермского возраста (приказанский район)

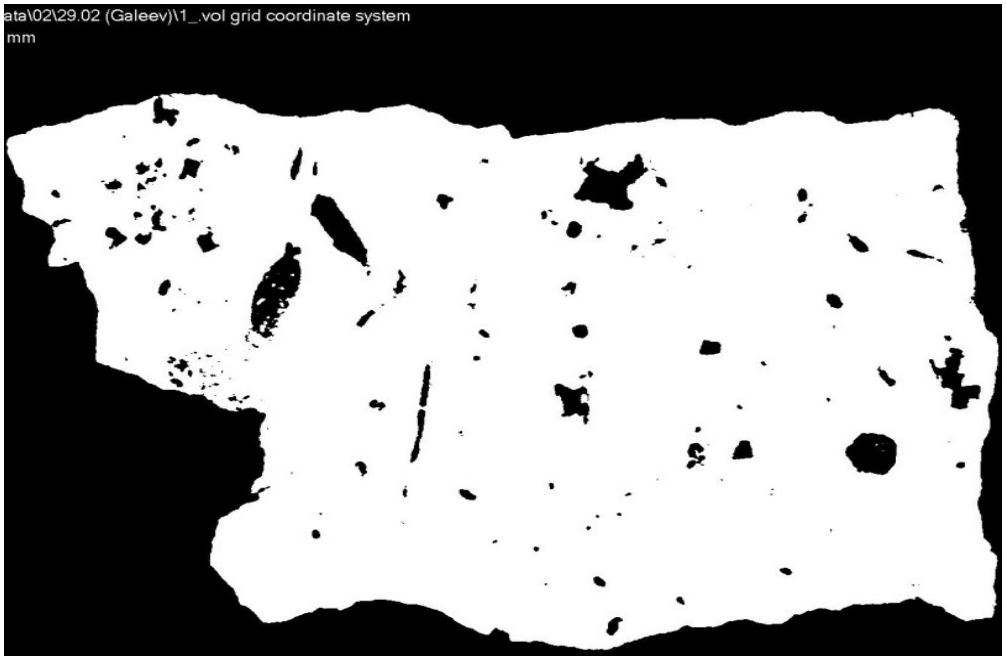


Рис. 2. Бинаризованное изображение 2D среза образца мергеля.(сечение X1)

Для получения статистически достоверных выводов по разным методикам рекомендуется использовать выборку объемом от 150 до 1000 пор [1,4]. Обработка микрофотографии для измерений производилась в программном комплексе ImageJ. При геометрических измерениях по плоским срезам мы приняли во внимание методические рекомендации, высказанные Войтеховским [2]. Для измерения диаметров пор с помощью инструмента «линия», мы провели серию взаимно параллельных и перпендикулярных индикатрис через наиболее характерные участки изображений. Количество пор по отдельным сечениям, измеренных двумя методами, составляло 800–1100 пор, при этом была отмечена высокая степень однородности распределения их размеров в разных сечениях.

Измерение площадей пор также производилось в программе ImageJ с помощью инструмента «полигонные измерения». Измерение объемов 5869 пор было проведено с помощью редактора *Avizo Fire*. Результаты распределения пор по размерам представлены на рис. 3.

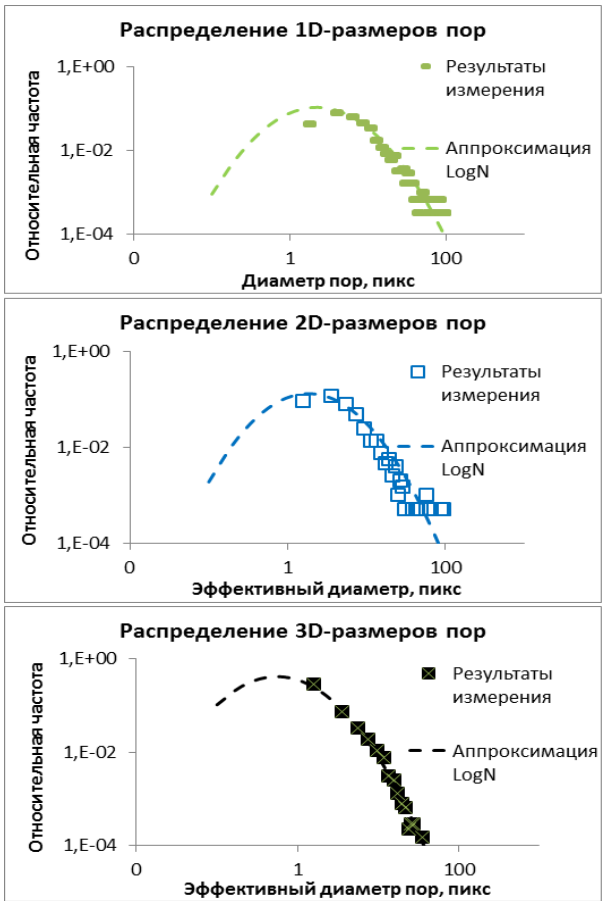


Рис.3. Распределение линейных, площадных и объемных размеров пор в образце мергеля

Проведенные измерения 1D, 2D и 3D размеров пор позволяют говорить о том, что они подчиняются, в целом, логнормальному распределению, Следует отметить, что на рисунке 3 меры площадей и объемов для удобства сравнения выражены через одномерную характеристику «эффективный диаметр», который эквивалентен длине стороны квадратного пикселя, или ребра кубического вокселя. Таким образом, некоторое сходство распределений в этом представлении не должно служить основанием для утверждения о том, что 1D, 2D и 3D-размеры пор имеют сопоставимые параметры распределений.

Литература

1. Богомолова А. Ф., Орлова Н. А. Количественная характеристика структуры порового пространства // Прикладная механика и техническая физика. М.: Изд-во СО РАН, 1961. № 4. С. 77–81.
2. Войтеховский Ю. Л. Технологическая минералогия и модальный анализ горных пород под микроскопом // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов: материалы Третьего Российского семинара. Петрозаводск: ГИ КНЦ РАН, 2009. С. 16–20.
3. Жуковская Е. А., Лопушняк Ю. М. Использование рентгеновской томографии при исследовании терригенных и карбонатных коллекторов // Геология и геофизика. 2008. С. 24–31.
4. Королев В. Ю. О распределении размеров частиц при дроблении // Информатика и ее применение. М.: Изд-во ФИЦ «Информатика и управление» РАН, 2009. № 3, т. 3. С. 60–68.

5. Макарова И. А. Оценка пористой структуры строительных материалов: методические указания. Братск: Изд-во БрГТУ, 2003. 28 с.
6. Медведева А. В., Мордасов Д. М., Мордасов М. М. Классификация методов контроля пористости материалов // Вестник ТГТУ. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2012. № 3, т. 18. С. 749–754.
7. Назаров Д. В., Тепляшин Т. М. Анализ данных ртутной порометрии образцов керна из терригенного коллектора Восточной Сибири // Проблемы геологии и освоения недр: сб. науч. тр. Томск: НИТПУ, 2013. Т. 3. С. 305–306.
8. Романов Н. А., Номоев А. В., Калашников С. В. Исследование функций распределения наночастиц по размерам. Механизм образования наночастиц, полученных методом испарения электронным пучком // Вестник Бурятского государственного университета. Химия, физика. Улан-Удэ: БГУ, 2013. № 3. С. 93–99.
9. Сендек С. В., Чернышев К. Е. Теоретические обоснования анализа распределений концентраций золота в рудах гидротермальных месторождений // Зап. горн. журн. СПб.: Изд-во СПбГоУ, 2015. Т. 212. С. 30–39.
10. Limpert E, Stahel WA., Abbt M. Log-normal distributions across the sciences — keys and clues // Bioscie. 2001. 51. P. 341–352.
11. Limpert E. Stahel WA. Problems with Using the Normal Distribution — and Ways to Improve Quality and Efficiency of Data Analysis. PLoS ONE. 2011. 6(7): e21403. doi:10.1371/journal.pone.0021403.

В. М. Орлов, В. Н. Колосов, Т. Ю. Прохорова, М. Н. Мирошниченко, М. В. Крыжанов
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты
orlov@chemy.kolasc.net.ru

ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ИЗ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

На сегодняшний день лопаритовый концентрат является практически единственным отечественным источником сырья для получения металлического тантала. Основное количество тантала в виде порошка применяется в производстве объемно-пористых конденсаторов. Для танталовых конденсаторов характерны высокая надежность, малые токи утечки и большая величина заряда на единицу объема [9]. По форме частиц танталовые порошки, используемые для производства конденсаторов, можно разделить на два типа — с осколочной и развитой формой частиц. Первые получают из слитков высокочистого металла методом гидрирования — размола — дегидрирования. Для получения вторых применяют два способа: натриетермическое восстановление гептафторотанталата калия (K_2TaF_7) и магниетермическое восстановление пентаоксида тантала, позволяющее получать порошки с большей удельной поверхностью. Порошки с осколочной формой частиц используют в основном для изготовления конденсаторов, применяющихся в аппаратуре специального назначения и требующей наибольшей надежности. Порошки с развитой формой частиц характеризуются большой величиной удельной поверхности и соответственно, более высоким удельным зарядом изготовленных из них анодов. Натриетермические порошки обычно используют для изготовления конденсаторов с удельным зарядом до 70000 мкКл·г$^{-1}$. Для конденсаторов с более высоким удельным зарядом (до 150 000 мкКл·г$^{-1}$) применяют порошки, полученные магниетермическим восстановлением.

Нами выполнены исследования по получению всех трех типов конденсаторных порошков с использованием в качестве исходного сырья продуктов переработки лопаритового концентрата. Получение на конечной стадии переработки концентрата такого высокотехнологического продукта, как конденсаторный порошок, сделает переработку экономически более эффективной.

Порошки с осколочной формой частиц

Важной характеристикой конденсаторного порошка любого типа является величина удельного заряда. Наиболее перспективными для повышения удельного заряда порошков с осколочной формой частиц являются порошки, полученные агломерацией мелкодисперсных частиц. При относительно большой величине поверхности они отличаются хорошей текучестью и обеспечивают меньшую усадку анодов в процессе спекания. Благодаря наличию крупных пор между агломератами аноды из этих порошков имеют лучшие частотные характеристики [4].

Для получения агломерированных порошков с осколочной формой частиц нами разработана оригинальная технология, не требующая для своей реализации сложного оборудования, и организован выпуск опытных партий порошков с различными характеристиками, удовлетворяющими требованиям потребителей. Принципиальная технологическая схема процесса приведена на рис. 1.

Особенностями разработанной технологии являются:

- использование в качестве источника водорода гидрида титана, что обеспечивает высокую чистоту газа и позволяет вести процесс насыщения металла водородом в оптимальных условиях;
- отсутствие операции классификации порошков после измельчения гидрида;

- совмещение процессов дегидрирования и агломерации;
- утилизация водорода, выделяющегося в процессе дегидрирования с последующим его использованием для получения гидрида.

Выпускаются опытные партии порошков с величиной удельного заряда 5000–7000 мкКл·г$^{-1}$, напряжением пробоя до 200 В и током утечки не более 0,0003 мкА·мкКл$^{-1}$.

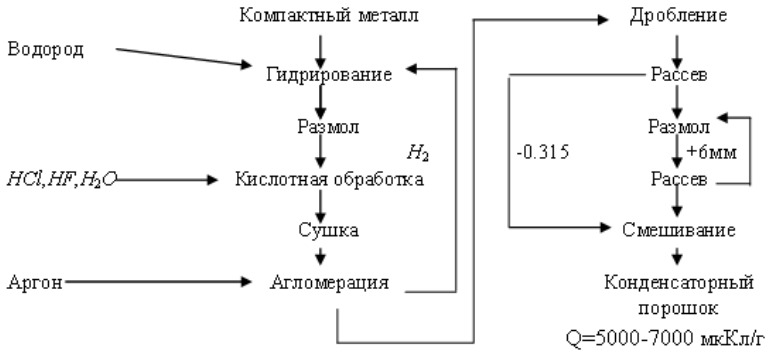


Рис. 1. Технологическая схема процесса получения агломерированных конденсаторных порошков с осколочной формой частиц

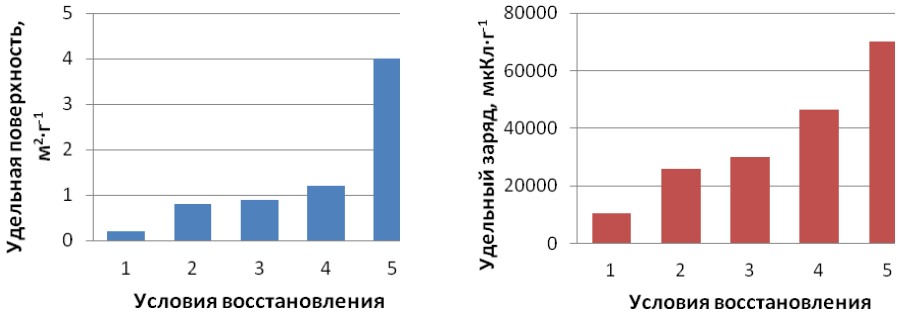
Натриетермические танталовые порошки

Выполненные нами исследования показали, что наиболее перспективным для получения натриетермических порошков является восстановление из расплава, содержащего гептафторотанталат калия. В данном процессе характеристики получаемого порошка можно контролировать концентрацией K_2TaF_7 в расплаве, составом расплава, температурой процесса и скоростью подачи натрия в расплав.

Освоение процесса в опытном масштабе проводили на модельной установке с реактором восстановления из нержавеющей стали диаметром 300 мм и высотой 900 мм и реакционным стаканом из никеля объемом 30 л. Реактор рассчитан на восстановление 10–12 кг K_2TaF_7 в одном цикле.

С целью уменьшения загрязнения порошка тантала продуктами коррозии реакционного стакана был разработан процесс восстановления с применением на начальной стадии защитного гарнисажного слоя [5]. В качестве гарнисажа служила часть соли-разбавителя (NaCl), которую размещали у дна и стенок реакционного стакана, а в центр загружали смесь K_2TaF_7 и NaCl в мольном отношении 1:3, температура плавления которой 600 °С. Благодаря такому решению на начальной стадии восстановления фторсодержащий расплав не контактировал с реакционным стаканом, а скорость подачи натрия увеличилась в 3–4 раза. Содержание никеля в порошках уменьшилось до 0,0005–0,001 %, а удельная поверхность получаемого порошка тантала увеличилась до 0,7 м^2·г$^{-1}$.

Дальнейшее увеличение поверхности порошков и, соответственно, удельного заряда анодов конденсаторов было достигнуто благодаря использованию расплавов с повышенным содержанием кислорода [1, 6] и соли-разбавителя (NaCl), содержащей серу в количестве 0,01 % [7]. Зависимость удельной поверхности получаемых порошков от условий восстановления и удельного заряда изготовленных из них анодов приведены на рис. 2. Для придания необходимой текучести и насыпной плотности порошок гранулировали методом окатывания [8] или виброуплотнением [2], а затем термообрабатывали в вакууме при температуре 1250–1350 °С. Агломерированные таким образом порошки раскисляли термообработкой в смеси с магнием при 800 °С в течение 1 ч [8].



а *б*

Рис. 2. Удельная поверхность порошков (*а*) и удельный заряд анодов (*б*) в зависимости от условий натриетермического восстановления.

Условия восстановления: 1 — соотношение K_2TaF_7:NaCl = 1:6; 2 — гарнисаж, K_2TaF_7:NaCl = 1:6; 3 — K_2TaF_7:NaCl = 1:36; 4 — гарнисаж, добавка в расплав кислородсодержащих соединений, K_2TaF_7:NaCl = 1:6; 5 — гарнисаж, добавка в расплав кислород- и серосодержащих соединений, K_2TaF_7:NaCl = 1:6

Выполненные исследования позволили создать основы технологии танталовых натриетермических конденсаторных порошков с удельным зарядом до 70 000 мкКл·г$^{-1}$. Принципиальная технологическая схема приведена на рис. 3. Разработаны технические условия ТУ ТЦАФ.6700093.001 на натриетермические порошки с удельным зарядом от 10 000 до 70 000 мкКл·г$^{-1}$.



Рис. 3. Технологическая схема получения танталовых натриетермических конденсаторных порошков с удельным зарядом до 70000 мкКл·г$^{-1}$

Магниетермические танталовые порошки

Реакция восстановления пентаоксида тантала магнием сопровождается большим тепловыделением (1701 кДж на 1 кг шихты). Чтобы контролировать температуру в реакторе, восстановление ведут парами магния. Отличительной чертой порошков тантала, полученных этим способом, помимо большой удельной поверхности, достигающей 15 м^2·г$^{-1}$, являются высокая насыпная плотность (2–3 г·см$^{-3}$) и неплохая текучесть.

Выполненные нами исследования позволили определить условия восстановления для получения порошков с удельной поверхностью 5–12 м^2·г$^{-1}$ [3]. Содержание кислорода в порошках не превышало его количества в поверхностном оксиде — 0,003 г на 1 м^2 порошка. Полученные порошки, как видно из рис. 4, представлены пористыми губчатыми частицами. Удельный заряд анодов, изготовленных из порошков с удельной поверхностью на уровне 5 м^2·г$^{-1}$, после спекания в интервале температур 1150–1250 °С составлял 150 000–90 000 мкКл·г$^{-1}$ соответственно. Продолжается работа по совершенствованию технологии магниетермических танталовых конденсаторных порошков.

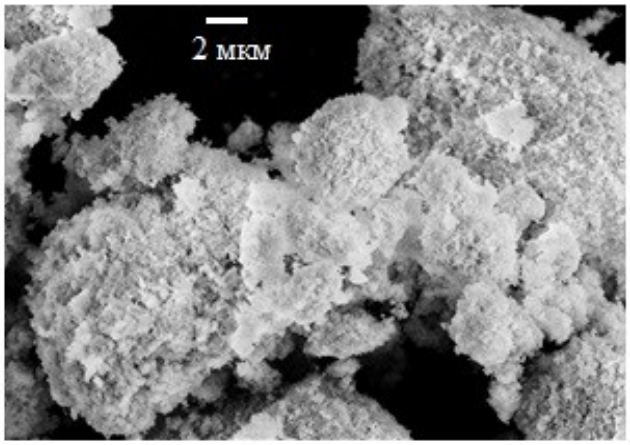


Рис. 4. СЭМ-изображение магниетермического порошка с удельной поверхностью 6 м^2·г$^{-1}$

Таким образом, на базе отечественного сырья разработаны основы технологии практически всех классов танталовых конденсаторных порошков, используемых современной промышленностью.

Литература

1. Влияние содержания кислорода в солевом расплаве на характеристики натриетермических танталовых порошков / В. Н. Колосов и др. // Металлы. 2009. № 1. С. 99–104.
2. Влияние условий агломерации натриетермических танталовых порошков на их характеристики / Т. Ю. Прохорова и др. // Металлы. 2014. № 4. С. 86–89.

3. Орлов В. М., Крыжанов М. В. Получение порошков восстановлением пентаоксида тантала парами магния // Новые подходы в химической технологии минерального сырья. Применение экстракции и сорбции: материалы 2-й Российской конф. (Санкт-Петербург, 3-6 июня 2013 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 2013. Ч. 1. С. 159–161.
4. Орлов В. М., Рюнгенен Т. И., Новичков В. Ю. Оптимизация пористой структуры анодов электролитических конденсаторов // Порошковая металлургия. 1986. № 11. С. 27–31.
5. Пат. 2284248 Российская Федерация, МПК B22F 9/18, C22B 34/24. Способ получения порошка вентильного металла / Орлов В. М., Колосов В. Н., Прохорова, Т. Ю., Мирошниченко М. Н.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья Кол. науч. центра РАН. № 2005109744/02; заявл. 04.04.2005; опубл. 27.09.2006, Бюл. № 27.
6. Пат. 2384390 Российская Федерация, МПК B22F 9/18, C22B 34/24 (2006.01). Способ получения порошка тантала или ниобия / Колосов В. Н., Орлов В. М., Маслобоева С. М., Мирошниченко М. Н., Прохорова Т. Ю.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья Кол. науч. центра РАН. № 2008125386/02; заявл. 20.06.2008; опубл. 20.03.2010, Бюл. № 8.
7. Пат. 2409450 Российская Федерация, МПК B22F 9/18 (2006.01). Способ получения порошка вентильного металла / Колосов В. Н., Мирошниченко М. Н., Орлов В. М., Прохорова Т. Ю.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья Кол. науч. центра РАН. № 2009125110/02; заявл. 30.06.2009; опубл. 20.01.2011, Бюл.№ 2.
8. Получение танталовых конденсаторных порошков с высокоразвитой поверхностью / В. М. Орлов и др. // Химическая технология. 2007. Т. 8, № 2. С. 62–65.
9. Mosheim E. Tantalum and niobium: annual review of statistics / E. Mosheim // T. I. C. bulletin. 2003. № 116. P. 2–8.

В. М. Орлов, М. В. Крыжанов
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты
orlov@chemy.kolasc.net.ru

ОСОБЕННОСТИ МАГНИЕТЕРМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ Ta И Nb

Способ получения порошков тантала и ниобия с развитой поверхностью путем восстановления пентаоксидов данных металлов магнием, согласно реакциям $Me_2O_5 + 5Mg = 2Me + 5MgO$ (Me — Ta или Nb), был предложен для производства танталовых и ниобиевых конденсаторов с высоким удельным зарядом [5]. Вследствие высокой адиабатической температуры реакций (Ta — 2317 °C; Nb — 2385 °C [2]) восстановление, как правило, ведут парами магния, регулируя скорость их поступления в зону реакции температурой процесса и остаточным давлением в реакторе.

Авторами работы [6] на примере исследования восстановленной частицы пентаоксида тантала показано, что в ее объеме образуются наночастицы тантала, разделенные прослойками MgO. После выщелачивания оксида магния растворами кислот остается пористый металлический каркас, по форме подобный исходной частице пентаоксида.

Реализация такого механизма образования металлического порошка позволила кратно увеличить удельную поверхность порошков данных металлов путем использования в качестве прекурсора для восстановления танталатов или ниобатов магния [3, 4].

Данная работа посвящена рассмотрению характерных особенностей магниетермических порошков тантала и ниобия, полученных восстановлением парами магния их оксидных соединений.

Исходными материалами для восстановления служили пентаоксид тантала с удельной поверхностью 2,6–8,4 $м^2 \cdot г^{-1}$ и Nb_2O_5 с удельной поверхностью 2,5 и 4,1 $м^2 \cdot г^{-1}$ производства ОАО «Соликамский магниевый завод», а также порошки продуктов синтеза $Mg_4Ta_2O_9$ и $Mg_4Nb_2O_9$ с удельной поверхностью 0,2–0,7 $м^2 \cdot г^{-1}$; восстановителем — магний МГ 95 по ГОСТ 804-93 производства ОАО «Соликамский магниевый завод».

Для восстановления использовали реактор, представляющий собой реторту из нержавеющей стали. Контейнер с восстанавливаемым материалом размещали в стальном реакционном стакане, снабженном максимально плотно закрывающейся стальной крышкой, над емкостью с магнием. Восстановление вели при температуре 800 °C в вакууме 10 Па или при температуре 830 °C и остаточном давлении аргона 5–20 кПа. Подробное описание аппаратуры и методика восстановления парами магния приведены в работе [4].

После завершения процесса продукты реакции извлекали и обрабатывали раствором азотной кислоты (15 мас. %), полученный порошок промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции раствора и сушили на воздухе при температуре 60–75 °C.

Фазовый состав продуктов реакции исследовали с помощью рентгеновского дифрактометра XRD-6000 фирмы Shimadzu (CuK_α-излучение) с использованием базы данных PDF-2. Величину удельной поверхности порошков измеряли адсорбционным статическим методом БЕТ, а параметры пористости — методом BJH на приборе Micromeritics TriStar II 3020. Термогравиметрические измерения при окислении порошков в процессе их нагрева до 800 °C осуществляли при помощи синхронного термического анализатора

NETZSCH STA 409 PC/PG в динамическом режиме в среде воздуха, продуваемого со скоростью 30 мл·мин$^{-1}$, в корундовом тигле с использованием навески 15–40 мг при скорости нагрева 10 °С/ мин$^{-1}$.

Следствием особенностей формирования частиц металла при магниетермическом восстановлении оксидных соединений тантала и ниобия является мезопористая структура полученных порошков (рис. 1, 2). Как следует из зависимостей, приведенных на рис. 1, основную часть поверхности порошков, полученных восстановлением двойных оксидов, обеспечивает поверхность мезопор диаметром менее 10 (для порошков тантала) или менее 5 нм (в случае порошков ниобия).

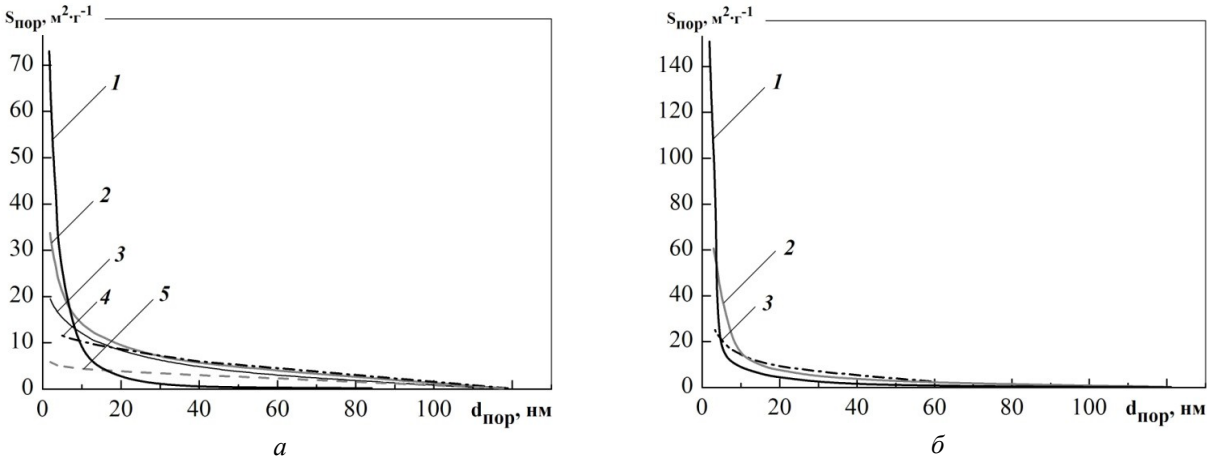


Рис. 1. Зависимость суммарной поверхности пор ($S_{пор}$) от их среднего диаметра ($d_{пор}$) порошков тантала (*а*) и ниобия (*б*).
Удельная поверхность, м^2·г$^{-1}$: а — 77 (*1*), 34 (*2*), 20 (*3*), 12 (*4*), 6,0 (*5*); *б* — 152 (*1*), 60 (*2*), 27 (*3*).
Прекурсор: *а* — танталаты Mg (*1–3*), пентаоксид Ta (*4*, *5*); б — ниобаты Mg (*1*, *2*), пентаоксид Nb (*3*)

Вид изотерм адсорбции-десорбции порошков приведен на рис. 2. Он соответствует типу IV по классификации IUPAC, характерному для мезопористых веществ, которые представляют собой неупорядоченные агрегаты пластинчатых частиц, образующих поры щелевидной формы [7], что подтверждает предложенный в работе [6] механизм образования частицы металла.

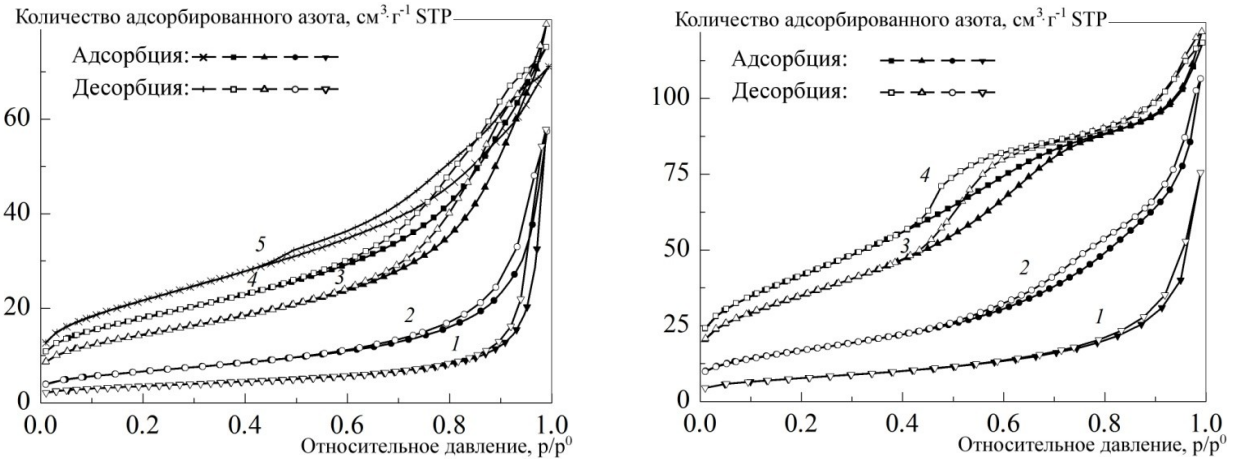


Рис. 2. Изотермы адсорбции-десорбции порошков тантала (*а*) и (*б*) ниобия.
STP — стандартные температура и давление
Удельная поверхность, м^2·г$^{-1}$: *а* — 12 (1), 23 (*2*), 50 (*3*), 64 (*4*), 77(*5*); *б* — 27 (*1*), 60 (*2*), 127 (*3*), 152 (*4*).
Прекурсор: *а* — пентаоксид Ta (1), танталаты Mg (*2–5*); *б* — пентаоксид Nb (*1*), ниобаты Mg (*2–4*)

Следствием мезопористой структуры магниетермических порошков является их аномально высокая насыпная плотность, которая для порошков Ta и Nb с удельной поверхностью 60–80 и 140-150 м^2·г$^{-1}$ достигала 1,6 и 0,8 г·см$^{-3}$ соответственно. Для сравнения: насыпная плотность порошков Ta и Nb с удельной поверхностью на уровне 30 м^2·г$^{-1}$, полученных восстановлением пентахлорида водородом с использованием плазменного генератора, составляет всего 0,2–0,3 г·см$^{-3}$ [1].

Мезопористая структура обуславливает также высокую сорбционную способность полученных порошков. В таблице приведено изменение содержания влаги после пребывания на воздухе порошков тантала, предварительно высушенных в вакуумном шкафу при температуре 70 °С в течение 8 ч.

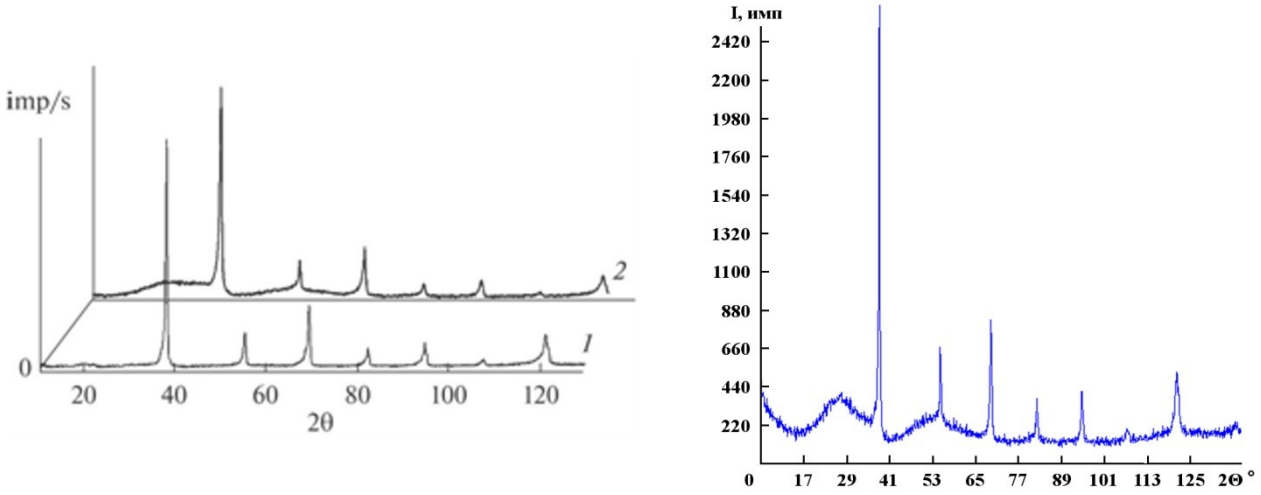
Содержание влаги в порошках Та в зависимости от времени выдержки на воздухе

№ п/п	S_{Ta}, $м^2 \cdot г^{-1}$	Концентрация H_2O, % после выдержки, ч						№ п/п	S_{Ta}, $м^2 \cdot г^{-1}$	Концентрация H_2O, % после выдержки, ч					
		1	4	7	24	48	480			1	4	7	24	48	480
1	19	0,2	0,2	0,2	–	–	0,3	3	64	0,9	1,1	1,2	–	1,3	1,6
2	53	0,8	0,9	–	1,0	–	1,1	4	84	1,1	1,6	–	–	1,7	2,1

Видно, что содержание H_2O в порошках существенно зависит от их удельной поверхности. Наличие сорбированной воды вносит ошибку в определение содержания водорода, особенно в порошках поверхностью более 20 $м^2 \cdot г^{-1}$; так для порошков 2–4, представленных в таблице, количество водорода, обусловленное присутствием H_2O, может составить примерно 0,1–0,2 %.

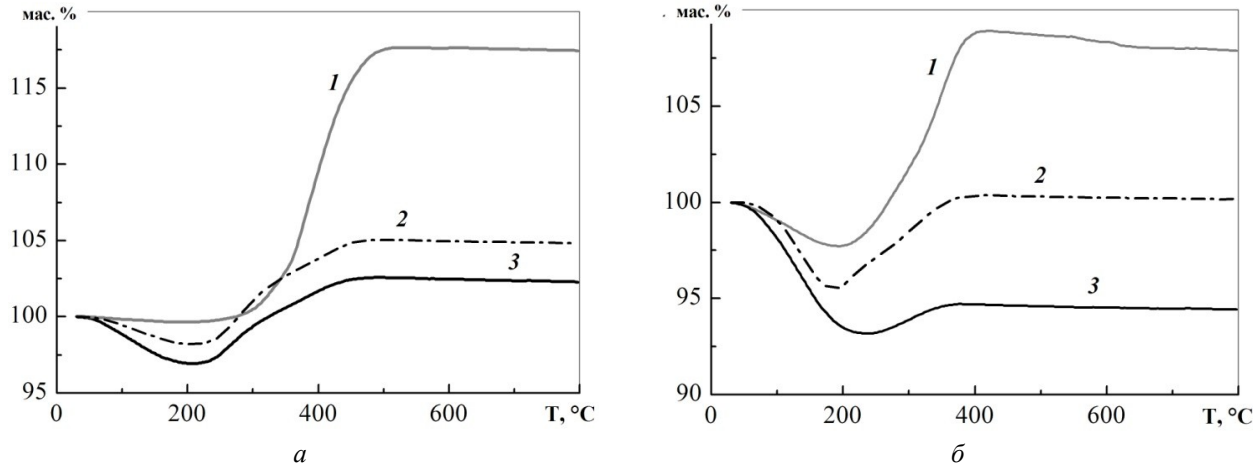
Вследствие высокой сорбционной способности в ряде случаев наблюдалось повышенное содержание углерода. Десорбция органических соединений и диоксида углерода путем выдержки порошка в высоком вакууме при температуре 200–300 °С позволяла снизить содержание углерода до уровня менее 0,01 %.

На поверхности тантала и ниобия всегда имеется слой аморфного поверхностного оксида. Поэтому рентгенограммы порошков с большой удельной поверхностью отличаются наличием диффузного рассеивания, обусловленного присутствием этого оксида (рис. 3).



а *б*

Рис. 3. Рентгенограммы порошков тантала (*а*) и ниобия (*б*).
Удельная поверхность, $м^2 \cdot г^{-1}$: *а* — 27 (*1*) и 66 (*2*); *б* — 122



а *б*

Рис. 4. Изменение массы образцов при окислении порошков тантала (*а*) и ниобия (*б*).
Удельная поверхность, $м^2 \cdot г^{-1}$: *а* —— 10 (*1*), 53 (*2*), 74 (*3*); *б* — 52 (*1*), 123 (*2*), 155 (*3*)

Для оценки его количества использовали данные ТГА по изменению массы порошков в процессе их окисления (рис. 4). Она показала, что в порошках тантала с удельной поверхностью 10, 53 и 75 $м^2 \cdot г^{-1}$ содержание пентаоксида составляет 18,7, 68,8 и 74,5 % соответственно, а в порошках ниобия с удельной поверхностью 52, 123 и 155 $м^2 \cdot г^{-1}$ — 73,8, 88,7 и 96,5 % соответственно. Таким образом, полученные порошки, по существу, представляют собой двухкомпонентный композит металл — аморфный оксид, соотношение компонентов которого зависит от удельной поверхности порошка.

Литература

1. Исаева Н. В. Плазмохимические порошки тантала и ниобия для производства электролитических конденсаторов // Перспективные материалы: спецвып. 2008. № 5. С. 402–407.
2. Крыжанов М. В., Орлов В. М., Сухоруков В. В. Термодинамическое моделирование магнийтермического восстановления ниобия и тантала из пентаоксидов // ЖПХ. 2010. Т. 83, вып. 3. С. 381–385.
3. Орлов В. М., Крыжанов М. В. Влияние состава прекурсора и условий восстановления на характеристики магниетермических порошков ниобия // Металлы. 2016. № 4. С. 20–26.
4. Орлов В.М., Крыжанов М. В. Получение нанопорошков тантала магниетермическим восстановлением танталатов // Металлы. 2015. № 4. С. 93–97.
5. Пат. 6171363 США, МПК[7] B22F 9/22. Method for producing tantallum/niobium metal powders by the reduction of their oxides with gaseous magnesium / L. N Shekhter, T. B. Tripp, L. L. Lanin; H. C. Starck. Inc., Newton, MA. 09/073488; заявл. 06.05.98; опубл. 08.01.01.
6. Kinetics of nanoscale structure development during Mg-vapour reduction of tantalum oxide / R. Müller et al. // Intern. J. Material Res. 2007. Vol. 98, Issue 11. P. 1138-1145.
7. Reporting physisorption data for gas/solid systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity (Recommendations 1984) / K.S.W. Sing et al. // Pure and Applied Chemistry. 1985. Vol. 57, No. 4. P. 603–619.

А. А. Пак, Р. Н. Сухорукова
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты
pak@chemy.kolasc.net.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ В ЯЧЕИСТОМ БЕТОНЕ

Одним из наиболее эффективных конструкционно-теплоизоляционных материалов и по сегодняшний день остается ячеистый бетон, который получается в результате твердения смеси вяжущего вещества (цемент, известь) и мелкозернистого кремнеземистого компонента (кварцевый песок, зола, золошлаковые смеси и др.). В ячеистом бетоне возможно максимальное использование местного минерального и техногенного сырья [2].

В лаборатории бетонов отдела технологии строительных материалов ИХТРЭМС КНЦ РАН выполнены экспериментальные исследования по получению ячеистого бетона с использованием в качестве кремнеземистого компонента наиболее массоемких видов техногенного сырья Мурманской обл.: кварцевых отходов переработки железорудного сырья ОАО «Олкон», золошлаковой смеси Апатитской ТЭЦ, хвостов апатитонефелиновой флотации ОАО «Апатит»[1].

Кварцевые отходы являются мелкозернистым (модуль крупности —1,1–1,3) побочным продуктом при переработке железной руды и состоят в основном из кварца. Средний минеральный состав отходов, %: кварц — 59,65; полевой шпат — 12,67; амфибол и пироксен — 17,48; слюды (мусковит, биотит) — 1,09; гематит — 3,25; гранат — 0,33; сростки минералов — 5,40; прочие — 0,13. Характерной особенностью отходов является наличие в них недоизвлеченных рудных минералов (гематит и магнетит) в количестве до 15 % в пересчете на металлическое железо. Химический состав кварцевых отходов, %: SiO_2 — 65,89; Fe_2O_3 — 18,90; FeO — 0,77; Al_2O_3 — 3,50; CaO — 3,50; MgO — 2,60; TiO_2 — 0,11; P_2O_5 — 0,06; SO_3 — 0,085; Na_2O — 0,83; K_2O — 0,83; п.п.п. — 0,44. По основным показателям кварцевые отходы удовлетворяют требованиям Инструкции по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80.

Золошлаковая смесь (ЗШС) Апатитской ТЭЦ образуется в результате высокотемпературного сжигания (при 1200–1300 °С) каменных углей, измельченных до порошкообразного состояния. По гранулометрическому составу ЗШС Апатитской ТЭЦ относится к мелкозернистому типу смесей и представлена преимущественно тонкодисперсной зольной составляющей: содержание фракций менее 0,16 мм составляет 95,5 %. Зерна шлака крупнее 5 мм практически отсутствуют. Химический состав ЗШС характеризуется содержанием следующих оксидов, %: SiO_2 — 54,70; Fe_2O_3 — 13,74; FeO — 1,39; Al_2O_3 — 16,71; CaO — 1,88; MgO — 2.36; TiO_2 — 1,06; P_2O_5 — 0,27; SO_3 — 0,72; Na_2O —1,23; K_2O —1,44; C — 1,02; п.п.п. — 2,31. ЗШС состоит в основном из стеклофазы шарообразной формы (48 %) и спека из мелкопористых агрегатов (49 %), примеси кварца (1 %) и карбоната (3 %). По основным показателям свойств ЗШС удовлетворяет требованиям ГОСТ 25592 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия».

К числу наиболее распространенных промышленных отходов Мурманской обл. относятся хвосты апатитовой флотации (ХАФ) ОАО «Апатит». По внешнему виду они представляют собой мелкий песок светло-серого цвета. Отобранная партия ХАФ имела следующий минеральный состав, %: нефелин — 48,5; эгирин — 28,5; апатит — 8,7; полевые шпаты — 3,0; сфен — 4,3; титаномагнетит — 4,0; нефелин видоизмененный — 3,0; Химический состав ХАФ представлен оксидами, %: SiO_2 — 36,70; Fe_2O_3 — 8,02; FeO — 1,96; Al_2O_3 — 21,58; CaO — 6,974; MgO — 1,68; TiO_2 — 4,76; P_2O_5 — 3,94; SO_3 — 0,054; Na_2O — 8,92; K_2O — 4,83; п.п.п. — 1,24. Результаты химического и минерального анализов показывают, что по основным показателям ХАФ не удовлетворяет требованиям ГОСТ 25485 «Бетоны ячеистые. Технические условия» и Инструкции СН 277-80, предъявляемые к кремнеземистым компонентам. Прежде всего это относится к низкому содержанию SiO_2 (36,7 вместо требуемых 60 %). В ХАФ суммарное содержание $Na_2O + K_2O$ составляет 13,75 % (из них Na_2O — 8,92 %), в то время как нормируемое стандартом содержание щелочей в пересчете на Na_2O не должно превышать 2 %.

При подборе составов газобетонных смесей использовали смешанное вяжущее, состоящее из портландцемента Пикалевского цементного завода Цем I 42,5Н и известково-песчаного вяжущего (ИПВ), получаемого в ОАО «Оленегорский завод силикатного кирпича» совместным помолом в шаровой мельнице негашеной извести и кварцевых отходов ОАО «Олкон» в соотношении 1:1. Тонкость помола — 220–250 $м^2/кг$, общая активность по содержанию CaO + MgO — 25–35 %. При проведении экспериментов все кремнеземистые компоненты, за исключением золошлаковой смеси, домалывались до тонкости 260–300 $м^2/кг$. ЗШС применялись после просеивания через сито с ячейкой 5 мм. В качестве газообразователя применялась алюминиевая пудра марки ПАП-I в виде водной суспензии. В качестве контрольной характеристики были приняты плотность и прочность при сжатии, от которых в прямой зависимости находятся все остальные физико-механические свойства ячеистого бетона. На рис. 1 представлены результаты прочностных испытаний стандартных образцов-кубов размером 70,7×70,7×70,7 мм из газобетона на различных кремнеземистых компонентах после автоклавной обработки по режиму 3+8+4 ч при давлении пара 0,8 МПа. Образцы изготавливались из газобетонных смесей трех составов, приведенных в таблице.

Исходные параметры и составы газобетонных смесей

Исходные параметры смеси		Материалы, %			
Расчетная плотность бетона, $кг/м^3$	Пластичность смеси по Суттарду, см	Портландцемент	ИПВ	Кремнеземистый компонент	Алюминиевая пудра
400	25–28	20	35	45	0,11
700	22–24	40	10	50	0,06
1000	20–22	50	–	50	0,06

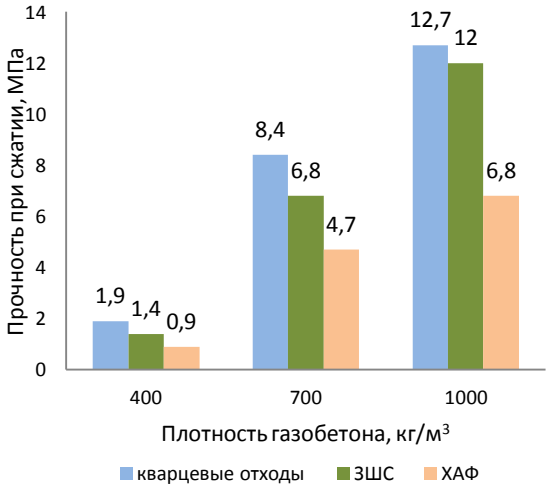


Рис. 1. Прочность газобетона на различных кремнеземистых компонентах

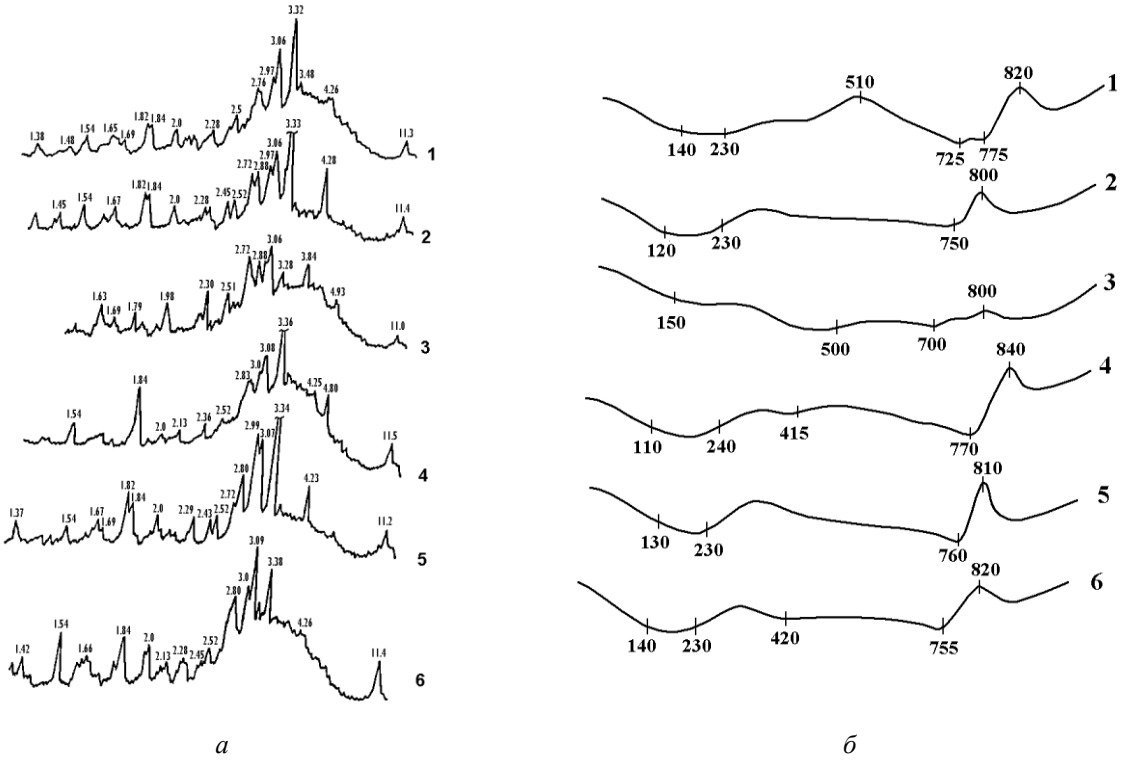
Как видно из рис. 1, по прочностным показателям газобетон на ХАФ во всех составах уступает бетонам на других материалах. Таким образом, выполненные эксперименты позволяют рекомендовать в качестве кремнеземистого компонента для получения ячеистого бетона кварцевые отходы ОАО «Олкон» и золошлаковую смесь Апатитской ТЭЦ.

С целью повышения прочностных свойств газобетона на некондиционном техногенном сырье, какими являются ХАФ, исследовали эффективность введения в состав газобетонной смеси микрокремнезема, являющегося побочным продуктом азотно-кислотной переработки апатитонефелинового концентрата и хвостов апатитовой флотации на глинозем, соду, поташ. Микрокремнезем в основном состоит из кремнезема (80–94 %), причем в наиболее активной, аморфной форме. В качестве примесей присутствуют микроклин, эгирин, в небольших количествах — неразложившийся нефелин. В виде единичных зерен отмечаются титаномагнетит, кальцит, апатит, пластинки слюды.

Удельная поверхность, определенная на приборе ПСХ-8, составила 2000 $м^2/кг$.

Эксперименты показали, что эффективность добавки 10–15 % микрокремнезема в составы на ХАФ значительно выше, чем на ЗШС и кварцевых отходах, что выражается в практическом равенстве прочностных показателей всех трех видов бетонов: кварцевых отходах, ЗШС и ХАФ ($R_{сж}$ = 1,5, 1,8 и 1,2 МПа соответственно). При этом показатели плотностей для газобетонов на трех кремнеземистых заполнителях близки друг другу, составляя 467, 444 и 429 $кг/м^3$ соответственно.

Важнейшие строительно-технические свойства бетонов при прочих равных условиях в значительной мере зависят от фазового состава цементирующего вещества, образующегося при твердении этих материалов [3]. Выполненные исследования показали, что независимо от вида заполнителя основной составляющей в газобетоне является тоберморит. На рентгенограммах (рис. 2) хорошо прослеживаются его дифракционные максимумы: 11,3, 3,07, 2,97, 2,80, 1,84 А° (рис. 2, *а*). Наличие тоберморита подтверждается и экзоэффектами при температурах от 810 до 850 °С (рис. 2, *б*). Следует отметить, что при сравнении составов газобетона на ЗШС, кварцевых отходах и ХАФ наблюдается постепенное уменьшение экзотермического пика (рис. 2, *б*, кривые 1, 2, 3), который для состава на ХАФ выражен очень слабо, что свидетельствует о явном сокращении в бетоне количества образующегося тоберморита. На рентгенограммах, помимо тоберморита, идентифицируются кристаллические составляющие кремнеземистых компонентов (рис. 2, *а*). Для газобетона на ЗШС наиболее четко выделяется кварц с дифракционными максимумами: 4,26, 3,32, 2,50, 2,27, 1,81, 1,54 и 1,37 А°. Для газобетона на кварцевых отходах ОАО «Олкон» наблюдаются дифракционные рефлексы, характерные для кристаллического кварца и гематита: 3,66, 2,70, 2,52, 2,46, 2,20, 1,84, 1,67, 1,45 А°. На рентгенограмме газобетона на ХАФ четко выделяется нефелин с дифракционными максимумами: 3,84, 3,28, 3,00, 2,88, 2,30, 1,52 А°.



а *б*

Рис. 2. Рентгенограммы (*а*) и термограммы (*б*) газобетона на различных заполнителях:
1 — ЗШС, 2 — кварцевые отходы, 3 — ХАФ; 4, 5, 6 — то же с добавкой 15 % микрокремнезема



Рис. 3. Газобетонные блоки автоклавного твердения

Как видно из рентгенограмм (рис. 2, *а*, кривые 1, 2, 4, 5), добавка микрокремнезема в составы на ЗШС и кварцевых отходах не вносит заметных изменений. В то же время добавка микрокремнезема в составы на ХАФ приводит к увеличению интенсивности дифракционных максимумов тоберморита (рис. 2, *а*, кривая 6) и экзоэффекта при 820–840 °С на термограммах (рис. 2, *б*, кривые 3, 6), что указывает на образование большего его количества. Таким образом, введение в ХАФ 10–15 % микрокремнезема позволяет использовать их в ячеистых бетонах в качестве кремнеземистого компонента.

В ОАО «Оленегорский завод силикатного кирпича» была выпущена опытная партия мелких стеновых блоков из газобетона на основе кварцевых отходов ОАО «Олкон». На рис. 3 представлены стеновые блоки размерами 200×300×600 мм из газобетона автоклавного твердения в производственном цехе ОАО «ОЗСК».

Литература

1. Бутт Ю. М., Рашкович Л. Н. Твердение вяжущих при повышенных температурах. М., 1965. 223 с.
2. Пак А. А., Крашенинников О. Н., Сухорукова Р. Н. Газобетон на основе техногенного сырья Кольского горнопромышленного комплекса. Апатиты: КНЦ РАН, 2000. 84 с.

Т. Ю. Прохорова, В. М. Орлов

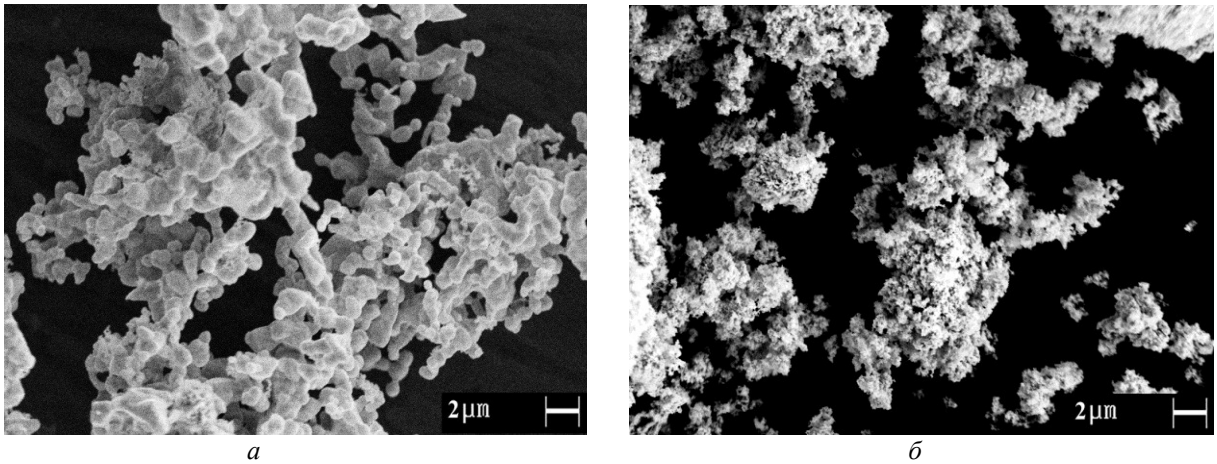
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты

tantal@chemy.kolasc.net.ru

МОДИФИКАЦИЯ ПЕРВИЧНЫХ МЕТАЛЛОТЕРМИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ТАНТАЛА И НИОБИЯ

В настоящее время основным способом получения танталовых и ниобиевых порошков является металлотермическое восстановление. Такие порошки используют для изготовления анодов конденсаторов с большим удельным зарядом. В промышленности применяют два метода — натриетермическое восстановление гептафторотанталата (гептафторониобата) калия и магниетермическое восстановление оксидных соединений тантала и ниобия, в основном, их пентаоксидов [7, 8].

Важнейшей характеристикой конденсаторных порошков является величина удельной поверхности. Удельная поверхность дендритных порошков натриетермического восстановления достигает 5 $м^2 \cdot г^{-1}$. Ее величина обратно пропорциональна размеру частиц и составляющих их фрагментов (рис. 1), а фактор формы оказывает незначительное влияние. Порошки, полученные магниетермическим восстановлением оксидных соединений тантала и ниобия, имеют значительно большую удельную поверхность (тантал — до 80 $м^2 \cdot г^{-1}$, ниобий — до 150 $м^2 \cdot г^{-1}$) и характеризуются мезопористой структурой [2, 4]. При относительно крупном размере частиц поверхность такого порошка определяется поверхностью внутренних пор (рис. 2).



а *б*

Рис. 1. Микрофотография танталового порошка натриетермического восстановления гептафторотанталата калия с удельной поверхностью 0,2 (*а*) и 3,1 (*б*) $м^2 \cdot г^{-1}$

Несмотря на различия в морфологии порошков натриетермического и магниетермического восстановления, способы модификации первичных порошков во многом похожи: и те, и другие легируют ингибиторами спекания, термообрабатывают для корректировки поверхности, улучшения текучести, увеличения насыпной плотности, при необходимости раскисляют термообработкой в присутствии металла-геттера.

Для максимального сохранения удельной поверхности в процессе спекания натриетермические порошки легируют ортофосфорной кислотой в количестве до 0,01 мас. % в пересчете на фосфор. Такого количества фосфора достаточно при легировании порошков с удельной поверхностью на уровне 3 $м^2 \cdot г^{-1}$. Однако

проведенные исследования показали, что его может быть недостаточно при больших значениях удельной поверхности (рис. 3). Основываясь на результатах проведенных исследований, было предложено легировать магниетермические порошки фосфором в количестве 0,05 мас. %.

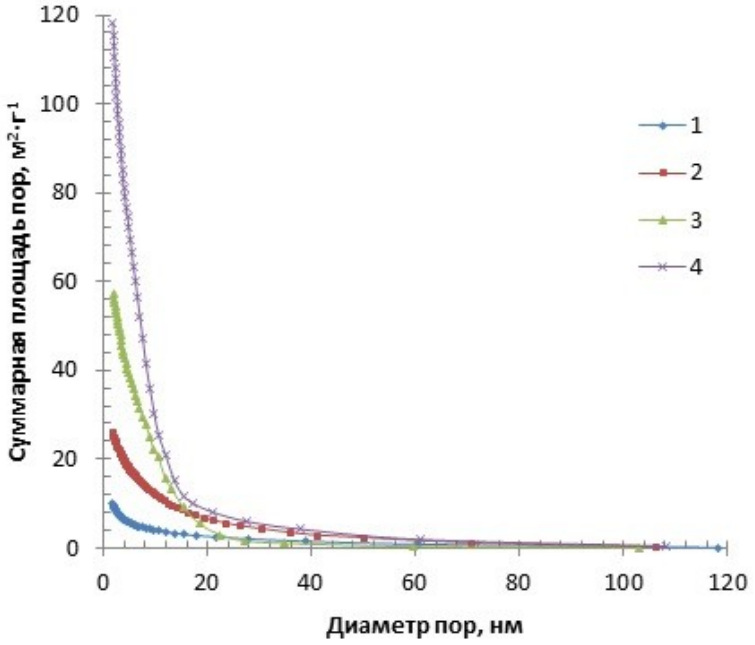


Рис. 2. Суммарные кривые распределения внутренних пор в частицах мезопористых порошков тантала и ниобия $S_{БЭТ}$, $м^2 \cdot г^{-1}$ (прекурсор):1 — 10,5 (Ta_2O_5); 2 — 27 ($MgTa_2O_6$); 3 — 57 ($Mg_4Ta_2O_9$); 4 — 120 ($Mg_4Nb_2O_9$)

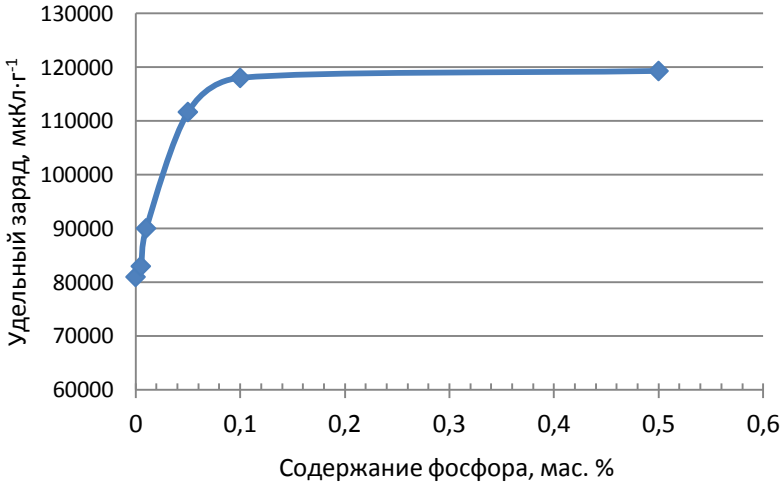
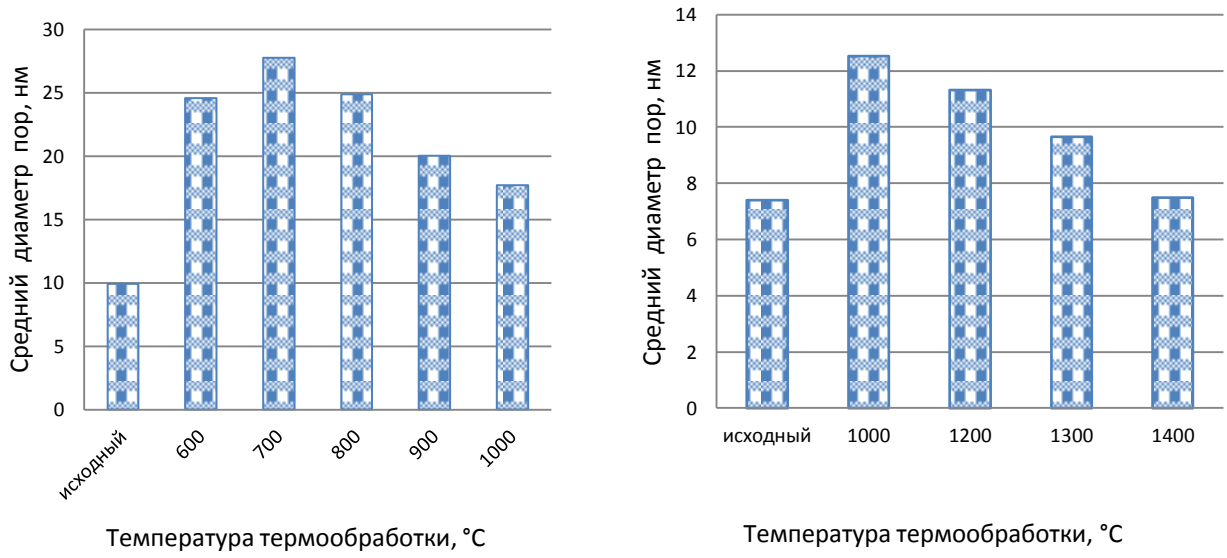


Рис. 3. Зависимость удельного заряда анодов от содержания фосфора в порошке.
Исходный порошок: S — 27 $м^2 \cdot г^{-1}$, температура спекания анодов — 1150 °С, выдержка — 15 мин

Натриетермические порошки характеризуются плохой текучестью и низкой насыпной плотностью. Для улучшения этих параметров первичные порошки подвергают термообработке, что неизбежно приводит к сокращению поверхности. При термообработке уменьшение поверхности связано, прежде всего, с укрупнением частиц, образованием между ними перешейков. В зависимости от величины исходной поверхности и, следовательно, удельного заряда применяют различные способы компактирования порошка перед термообработкой. Первичные порошки с удельной поверхностью менее 0,5 $м^2 \cdot г^{-1}$ прессуют в таблетки плотностью 4 $г \cdot см^{-3}$, затем спекают при температуре 1300–1350 °С в вакууме. Для порошков с большей удельной поверхностью такой метод неэффективен, так как не удается добиться приемлемой текучести порошка без значительных потерь удельного заряда. Целесообразней подвергать термообработке предварительно гранулированный методом окатывания [3] или экструзией с виброуплотнением [1] порошок. Исследования показали, что предварительно гранулированные порошки при равных условиях термообработки обладают гораздо лучшей текучестью.

Первичные магниетермические порошки, в отличие от натриетермических, обладают приемлемой текучестью и имеют большую насыпную плотность, однако такие порошки тоже подвергают термообработке. Во-первых, значительная доля поверхности магниетермических порошков приходится на поверхность пор диаметром до 10–15 нм, которые зарастают в процессе спекания анодов и последующего анодирования. Термообработка позволяет изменить распределение пор в порошке, увеличить средний диаметр пор. Во-вторых, в аноде из термообработанного порошка формируется бимодальное распределение пор с мелкими порами внутри агломератов и более крупными порами между ними, что способствует лучшему проникновению электролита в объем анода [6]. Нами была исследована возможность коррекции удельной поверхности магниетермических порошков тантала и ниобия путем термообработки, как самих порошков, так и непосредственно продуктов восстановления (реакционной массы). На рис. 4 на примере порошка ниобия, полученного восстановлением ниобата магния состава $Mg_4Nb_2O_9$, показано, как меняется средний размер пор в порошке после термообработки реакционной массы и отмытого порошка.



а *б*

Рис. 4. Средний диаметр пор в порошках ниобия в зависимости от температуры термообработки:
а – порошка; б – реакционной массы

Оба варианта термообработки способствуют увеличению среднего диаметра пор в порошке. Наибольшее значение (28 нм) было получено после термообработки порошка при температуре 700 °С.

Термообработка порошков с развитой поверхностью приводит к необходимости проведения операции раскисления, так как на поверхности тантала и ниобия всегда присутствует слой оксида, который при нагревании диффундирует в объем металла. В результате количество кислорода в термообработанном порошке значительно превышает количество, соответствующее уменьшенной поверхности. В качестве металла-геттера обычно используют магний. Раскисление ведут в смеси с магнием или в его парах при температуре 800–850 °С [5]. В отличие от термообработки порошка, термообработка реакционной массы позволяет корректировать поверхность без увеличения содержания кислорода. Его количество в термообработанном порошке не превышало, содержащееся в естественном поверхностном оксидном слое (3 мг·м$^{-2}$).

Предложенные технологические операции по модификации первичных металлотермических порошков тантала и ниобия позволяют получать конденсаторные порошки в широком интервале значений удельного заряда.

Литература

1. Влияние условий агломерации натриетермических танталовых порошков на их характеристики / Т. Ю. Прохорова и др. // Металлы. 2014. № 4. С. 86–89.
2. Орлов В. М., Крыжанов М. В. Влияние состава прекурсора и условий восстановления на характеристики магниетермических порошков ниобия // Металлы. 2016. № 4. С. 20–26.
3. Получение танталовых конденсаторных порошков с высокоразвитой поверхностью / В. М. Орлов и др. // Химическая технология. 2007. Т. 8, № 2. С. 62–65.
4. Орлов В. М., Крыжанов М. В., Князева А. И. Порошки тантала с мезопористой структурой // Физикохимия поверхности и защита металлов. 2016. Т. 52, № 5. С. 500–504.
5. Пат. 2397843 РФ, МПК B22F9/22, 1/02, C22B34/24 (2006.01). Способ получения ниобиевых и танталовых порошков / Х. Хаас, У. Бартманн, Т. Комея, Н. Сато; Х. К. Штарк ГмбХ унд Ко. КГ (DE), Х. К. Штарк Лтд. (JP). № 2006141282/02; Заявл. 09.04.2005; Опубл. 27.08.2010.

6. Пат. 2414990 РФ, МПК[7] B22F 1/00, H01G 9/042. Танталовый порошок для изготовления конденсаторов с твердым электролитом / Хаас Х., Бартманн У.; Х. К. Штарк ГмбХ унд Ко. № 2007116851/02; Заявл. 24.09.2005; Опубл. 20.11.08.
7. Пат. 8801829 США, МПК[7] B22F 9/22. Method for production of niobium and tantalum powder / Haas H. et al; H. C. Starck GmbH & Co. № 910220; Заявл. 22.10.10; Опубл. 12.08.14.
8. Получение порошков тантала натриетермическим восстановлением термообработанного на воздухе гептафторотанталата калия / В. Н. Колосов и др. // Неорганические материалы. 2015. Т. 51, № 2. С. 157–162.

Т. А. Седнева, Э. П. Локшин
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты
sedneva@chemy.kolasc.net.ru

О ПОЛИМОРФИЗМЕ ДИОКСИДА ТИТАНА

Диоксид титана имеет три кристаллические модификации: анатаз, брукит и рутил. Практически наибольшее значение имеют анатаз и рутил, кристаллизующиеся в тетрагональной сингонии с альтернативными формами с координацией 6:3. Брукит кристаллизуется в ромбической сингонии. Анатаз и брукит рассматриваются как стабилизированные полиморфные модификации TiO_2 [1].

Модификации TiO_2 значительно отличаются по физико-химическим и потребительским свойствам. Существует ряд областей применения, в которых важно получать TiO_2 в заданной кристаллической модификации. К их числу относятся получение пигментов и фотокаталитически активных материалов на основе TiO_2. Знание закономерностей фазовых переходов и получение TiO_2 с определенным типом кристаллической структуры, представляют не только научный интерес, но и являются важной технической задачей.

На Кольском п-ове имеется разнообразное титансодержащее сырье: лопарит, перовскит, титаномагнетит, сфен. При использовании методов переработки, в которых в качестве промежуточного или конечного продукта получаются продукты на основе TiO_2, часто оказывается важным получать менее химически устойчивый анатаз, исключив образование трудно разлагаемого рутила. Установлено, что в гидротермальных условиях при относительно небольших изменениях условий азотнокислотной обработки сфенового концентрата [4] и солянокислотной обработки титаномагнетитового концентрата [9] получались продукты с различным соотношением анатаза и рутила. Доля анатаза немного повышалась при уменьшении температуры кислотного разложения минералов. В попытке ускорить кислотное вскрытие минералов к растворам азотной и соляной кислот добавляли фторсодержащие соединения. Оказалось, что в этом случае при оптимальном расходе фторсодержащих добавок весь TiO_2 можно получить в виде анатаза. Это определило интерес к изучению особенностей фазовой трансформации диоксида титана.

Плотность природных рутила и анатаза изменяется в достаточно широких пределах, составляя 4,2–5,6 и 3,82–3,95 г·см$^{-3}$ соответственно. При этом плотность рутила возрастает с увеличением содержания изоморфно замещающих титан(IV) ниобия(V) и тантала(V), а плотность анатаза — с увеличением содержания железа и других примесей. Плотность реактивного рутила отличается незначительно, составляя 4,235–4,26 г·см$^{-3}$, в то время как плотность реактивного анатаза 3,84–4,05 г·см$^{-3}$. Такое колебание плотностей может определяться только различием составов, получавшихся по различным технологиям продуктов. Таким образом, как анатаз, так и рутил являются фазами переменного состава. Примеси могут входить в состав анионной или/и катионной подрешеток. Распространенные анионные примеси — OH^-, SO_4^{2-}, F^-, PO_4^{3-}. Круг катионных примесей широк.

Нагрев при атмосферном давлении приводит к превращению анатаза в рутил. На основе анализа многочисленных литературных данных и результатов собственных исследований показано, что переход анатаза в рутил определяется протеканием химических превращений, приводящих к снижению содержания примесей в анатазе с их выделением в самостоятельную фазу. Основные типы экспериментально установленных химических превращений, приводящих к превращению анатаза в рутил, обобщены в работе [2]. Это — гидротермальная перекристаллизация в водных средах, перекристаллизация в плавнях (в качестве плавней исследовались B_2O_3, ванадаты щелочных металлов, $K_2Cr_2O_7$, $Ba_3(BO_3)_2$, NaF, LiCl, $ZnCl_2$, CaF_2, $CaCl_2$, соли фосфорной кислоты и др.), высокотемпературная термообработка. При низкотемпературной гидротермальной обработке в результате протекания процессов растворения-осаждения достигалось снижение содержания примесей в анионной подрешетке. Влияние анионных примесей на устойчивость анатаза определяется прочностью образуемых ими комплексов. Способность Ti(IV) к комплексообразованию в водных растворах возрастает в ряду $NO_3^- < Cl^- < OH^- < SO_4^{2-} < F^- \approx PO_4^{3-}$. Относительно низкая стойкость комплексов, образуемых титаном с ионами NO_3^-, позволяет провести перекристаллизацию анатаза в рутил в азотнокислых растворах даже при комнатной температуре [12]. Попытки получения гидротермальной обработкой рутила из анатаза,

содержащего образующие с титаном значительно более прочные комплексы примеси F^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, были безуспешными. Переход содержавшего примеси F^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-} анатаза в рутил достигался лишь высокотемпературной обработкой. При этом примеси фтора и сульфата удалялись в газовую фазу [3, 10], а фосфат-ион, как видно из рис. 1, выделялся в фазу твердого раствора на основе $5TiO_2 \cdot 3P_2O_5$ [6].

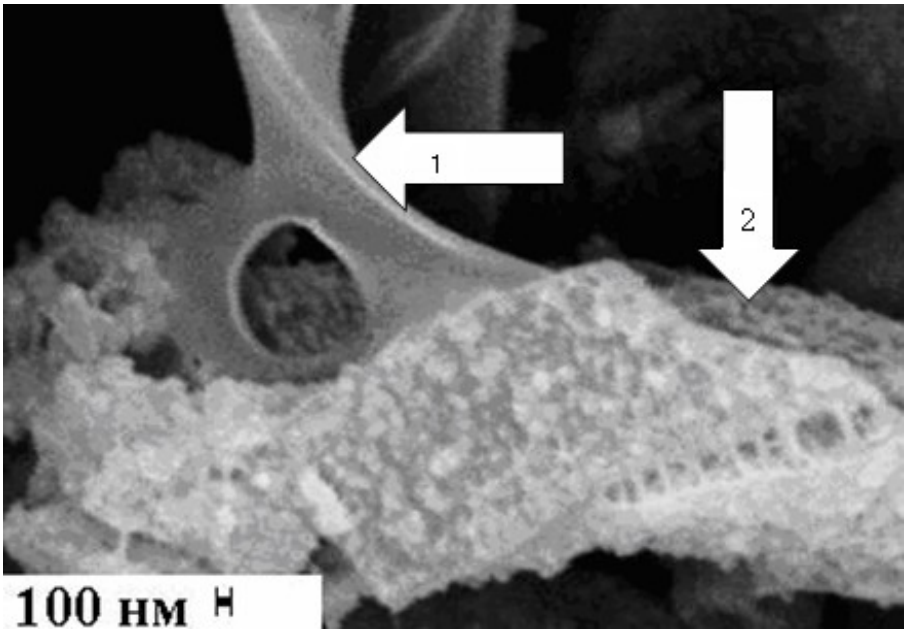


Рис. 1. Морфология образца TiO_2, содержащего 2 мас. % PO_4^{3-}, термообработанного при температуре 900 °С: 1 – Твёрдый раствор на основе $5TiO_2 \cdot 3P_2O_5$; 2 – TiO_2 (53 % рутила + 47 % анатаза)

При исходном содержании в анатазе 0,06–2,00 F^- или 0,1–0,154 мас. % SO_4^{2-} образование рутила наблюдалось после снижения в процессе термообработки F^- до ≈ 0,02 [8], а SO_4^{2-} до 0,007–0,008 мас. % [10].

С целью разработки эффективных фотокаталитически активных материалов на основе TiO_2 выполнены систематические исследования закономерностей перехода анатаза в рутил из прекурсоров, содержавших катионные примеси Zn^{2+}, Al^{3+}, Ce^{3+}, Nb^{5+}, W^{6+}, Fe^{3+}, Co^{2+} в широких пределах при неизбежном содержании сопутствующих анионных примесей. Прекурсоры синтезировали при аммиачном гидролизе стабилизированного $TiCl_4$ с дозированным содержанием солей модифицирующих катионов. Хорошо промытые осадки прокаливали при температурах от 80 до 1150 °С. Продукты синтеза идентифицировали методами химического, ДТА и РФА (состав, структура).

В процессе совместного гидролиза в аммиачной воде соосаждались рентгеноаморфные осадки гидроксидов титана и модифицирующих компонентов, при термообработке которых проходило образование фаз на основе TiO_2 и сопутствующих компонентов (рис. 2, 3).

Установлено, что дегидратация и удаление летучих примесей в основном завершается к 400 °С [6, 7, 11, 12]. При дальнейшем нагревании составов анатазной структуры продолжают выделяться анионные примеси в виде газообразных продуктов, что приводит к уменьшению массы образцов. Исследование термического разложения рентгеноаморфного оксогидроксида титана, не содержавшего легирующие катионы, показало, что переход в анатаз наблюдается при нагреве до температуры 412,2 °С, при этом потеря массы составляла 21 отн. %. Дальнейший нагрев до температуры 1150 °С приводил к потере массы 0,84 отн. %. Эта потеря обусловлена отгонкой воды, образующейся по реакции: $2OH^- \rightarrow O^{2-} + H_2O$, что указывает на образование нестехиометрического анатаза $TiO_{1,952}(OH)_{0,096}$. Дальнейшая относительно небольшая потеря анатазом гидроксильных групп (≈0,15–0,2 отн. %) определяла переход антаза в рутил. В легированных образцах также в отдельную фазу начинает выделяться легирующий компонент, если его концентрация превышает растворимость в твердой фазе на основе диоксида титана. По мере снижения концентрации примесей в титансодержащей фазе образуется продукт рутильной структуры. Формируемая третья фаза представляет собой оксид легирующего компонента (Al, Ce, W) или/и титанат легирующего компонента (Zn, Nb, Fe, Co). В случае вольфрама при высокотемпературной обработке в некоторой степени из WO_3 частично удаляется кислород [5], что приводит к специфическому окрашиванию.

Температура образования анатаза при термическом распаде рентгеноаморфных легированных оксогидроксидов зависит от вида легирующего компонента. Она, как правило, возрастает по мере увеличения его концентрации (рис. 3, таблица).

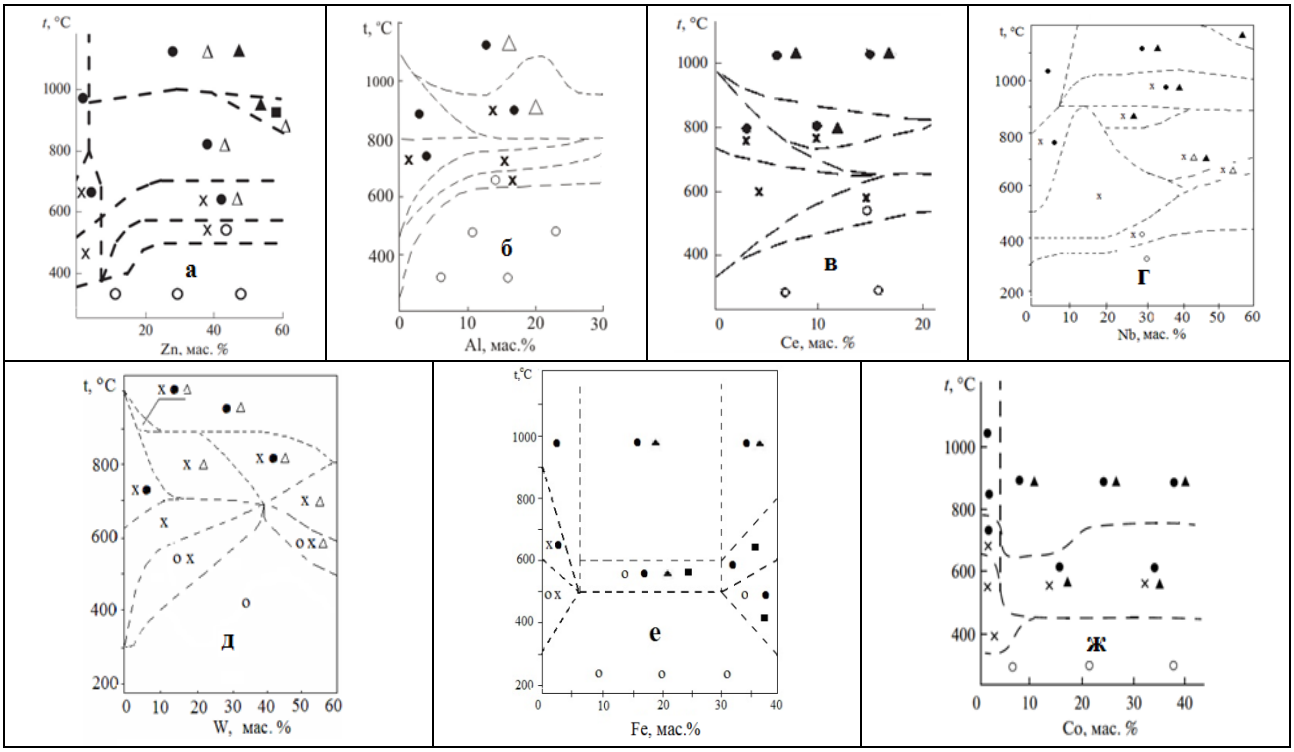


Рис. 2. Зависимость фазового состава от содержания легирующего металла.
Фазы: о — рентгеноаморфная; х — анатаз; ● — рутил; Δ — а ($ZnTiO_3$), б (α-Al_2O_3), г (Nb_2O_5), д (WO_3*); ▲ — а (Zn_2TiO_4), б (CeO_2), г ($TiNb_2O_7$), е (Fe_2TiO_5), ж ($CoTiO_3$); ■ — а ($Zn_2Ti_3O_8$), е (Fe_2O_3)

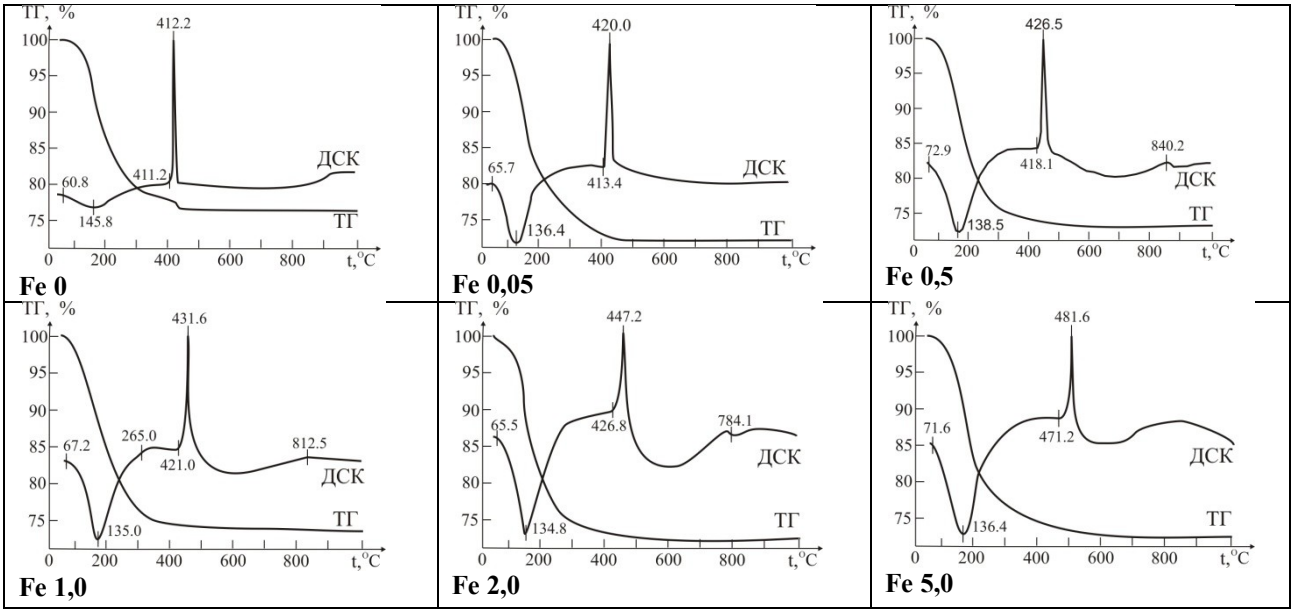


Рис. 3. Термограммы легированных железом прекурсоров (содержание Fe относительно TiO_2, мас. %)

Образование содержащей легирующий компонент твердой фазы протекает медленно, так как определяется диффузионными процессами в твердой фазе. При этом в определенном интервале температур одновременно регистрируется сосуществование анатаза и рутила. Это характерно для всех изученных систем. Так, при введении 1–20 мас. % цинка анатаз и рутил одновременно существовали при температуре 600 °С; при легировании 0,5 мас. % алюминия это наблюдалось в интервале температур 500–800 °С, а при содержании 5–30 мас. % при 800 °С; при легировании 1 мас. % церия — в интервале температур 800–900 °С, а при 20 мас. % церия — в интервале температур 700–800 °С; при легировании 0,35–3,5 мас. % ниобия — в интервале температур 600–800 °С; при легировании 0,5–2 мас.% вольфрама — в интервале температур 600–800 °С; при легировании 0,25 мас. % железа — в интервале температур 700–800 °С, а при содержании 2–5 мас. % — при температуре 600 °С; при легировании 1 мас. % кобальта — в интервале температур 600–700 °С, а при содержании кобальта 5 мас. % — при 500–600 °С [7, 11].

Зависимость температуры образования анатаза из рентгеноаморфных оксогидроксидов от содержания легирующего компонента

Легирующий компонент	Температура образования анатаза (°С) при содержании компонента (мас. %)							
	0	0,05	0,5	1,0	2,0	5,0	10	15
Zn	412,2	–	–	436,9	–	473,9	511,7	–
Fe	412,2	420,0	426,5	431,6	447,2	481,6	510,4	557,8
Co	–	–	424,3	–	–	475,9	507,9	518,5

При низких концентрациях легирующего компонента отдельная твердая фаза, содержащая его, может не образовываться, если концентрация легирующего компонента меньше растворимости в твердом продукте на основе диоксида титана. При небольшом превышении предела растворимости она не может быть определена методом РФА из-за малого количества образующейся фазы.

При использовании в качестве шихты не содержавшего легирующие примеси диоксида титана осч 7–3 выращенные аналогичным методом монокристаллы диоксида титана имели только структуру рутила [1, 7].

Выводы

Анатаз и, как правило, рутил представляют собой широкий класс соединений, содержащих оксид титана и достаточно высокие концентрации анионных или/и катионных компонентов.

Переход анатаза в рутил не является полиморфным превращением, поскольку полиморфное превращение, являясь фазовым переходом первого рода, должно проходить при постоянной температуре. Этот переход определяется протеканием различных химических процессов, всегда приводящих к снижению содержания примесей в продукте. При этом содержание анионных примесей в рутиле всегда минимально, но он может содержать заметные концентрации катионных примесей, особенно тех, размер катионного радиуса которых мало отличается от размера катионного радиуса титана, например, катионов Ni^{2+}, Fe^{3+}, Nb^{5+}.

Широкая номенклатура примесей в анатазе определяет различие условий, при которых достигается переход анатаза в рутил, в том числе температур перехода при термообработке.

Переход рутила в анатаз возможен только при увеличении содержания примесей в продукте, что может быть достигнуто только при его химической переработке.

Можно полагать, что всё сказанное об анатазе относится и к брукиту.

Литература

1. Грунин В. С. и др. // ДАН СССР. 1982. Т. 268, № 3. С. 686–687.
2. Локшин Э. П., Седнева Т. А. // ЖОХ, 2011. Т. 81, № 9. С. 1409–1414.
3. Локшин Э. П., Седнева Т. А. // ЖПХ. 2006. Т. 79, № 8. С. 1238–1241.
4. Локшин Э. П., Седнева Т. А., Тихомирова И. А. // ЖПХ. 2004. Т. 77, № 7. С. 1057–1065.
5. Седнева Т. А. и др. // ДАН. 2012. Т. 443, № 2. С. 195–197
6. Седнева Т. А. и др. // НМ. 2008. Т. 44. № 7. С. 830–840.
7. Седнева Т. А. и др. // НМ. 2013. Т. 49. № 4. С. 382-389; 2016. Т. 52, № 2. С. 187–196.
8. Седнева Т. А. и др. // ПМ. 2007. № 6. С. 49–55.
9. Седнева Т. А. и др. // ХТ. 2010. № 6. С. 349–359.
10. Седнева Т. А. и др. // ХТ. 2009. №. 6. С. 325–331.
11. Седнева Т. А., Локшин Э. П., Беликов М. Л. // НМ. 2011. Т. 47, № 11. С. 1323–1332; 2013. Т. 49, № 8. С. 786–794; 2016. Т. 52, № 10. С. 1081–1090; 2016. Т. 52, № 12. С. 1343–1352.
12. Shin Hyunho, Jung Hyun Suk, Hong Kug Sun // Chem. Lett. 2004. Vol. 33, No. 10. P. 1382–1383.

О. В. Суворова[1], Д. В. Макаров[2], В. А. Кумарова[1], Д. А. Некипелов[2]

[1]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты*
suvorova@chemy.kolasc.net.ru

[2]*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ С ПОВЫШЕННЫМИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

В последние годы проблеме вовлечения отходов ГМК в производство керамических строительных материалов уделяется повышенное внимание в нашей стране и за рубежом [3, 5, 6, 8–12]. Для получения керамических материалов применяются хвосты обогащения железных руд, боратовой руды, красный шлам бокситового производства, карбонатные опоки, отходы углеобогащения предприятий, отходы обогащения молибденовых руд, хвосты извлечения кобальтового концентрата и др. На их основе получены эффективные керамические камни, пустотелые изделия, облицовочные плитки повышенной прочности и другие материалы.

Накопленные в Мурманской обл. огромные объемы хвостов обогащения медно-никелевых руд, на 60 % состоящие из различных разновидностей серпентинов, также представляют собой ценное техногенное сырье для промышленности строительных и технических материалов. В частности, еще в 1966 г. была обоснована возможность их применения в производстве кислотоупорных и износоустойчивых керамических изделий [1]. Хвосты обогащения медно-никелевых руд могут быть использованы для получения различных строительных и технических материалов: диопсидовой, периклаз-монтичеллитовой, кислотоупорной керамики, микронаполнителей в бетоны, пигментов [2].

Целью настоящей работы было определение условий получения керамических строительных материалов с повышенными физико-механическими показателями, высокой морозостойкостью и улучшенными декоративными характеристиками на основе хвостов обогащения медно-никелевых руд без использования первичного сырья — глин.

Исследования проводили с керамическими массами ранее разработанного состава — отходами обогащения руд, мас. %: медно-никелевых — 40, апатитонефелиновых — 40 и железных — 20 [4]. Химический состав этих отходов представлен в таблице. Керамические материалы указанного состава имеют высокие физико-механические характеристики при недостаточном значении морозостойкости.

Физико-химические процессы, протекающие при обжиге керамических образцов, рассмотрим на примере микроскопического исследования шлифа образца, обожженного при 1050 °С (рис. 1). Стекло представляет собой темную непрозрачную массу с красноватым оттенком, что, вероятно, свидетельствует о значительном количестве оксидов железа в его составе (рис. 1, *а*). Взаимодействие нефелина — основного компонента хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд и кварца, преобладающего в составе хвостов обогащения железных руд, приводит к появлению полевых шпатов. Так, плагиоклазы образуют таблитчатые и призматические зерна размерами до 100 мкм (рис. 1, *б*). В заметных количествах кварц присутствует и как самостоятельная фаза, образуя зерна неправильной формы (рис. 1, *в*). Темноцветные минералы (пироксены и амфиболы) в сумме слагают 5–10 % шлифа (рис. 1, *г*, *е*). Магнетит, содержащийся в хвостах обогащения медно-никелевых и железных руд, при обжиге частично окисляется до гематита (рис. 1, *д*).

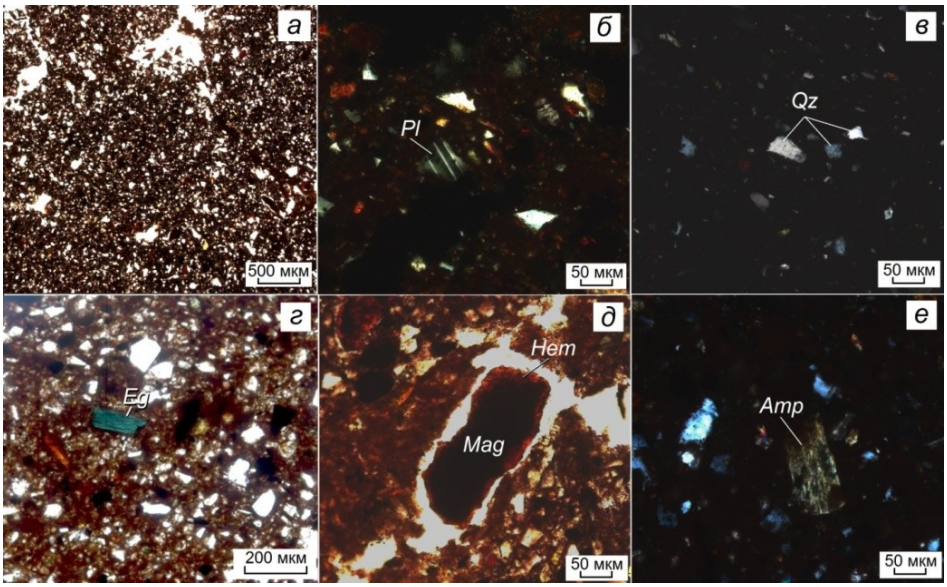


Рис. 1. Микрофотографии образца керамики.
Общий вид шлифа, николи II (*а*); плагиоклаз с полисинтетическими двойниками, николи + (*б*); зерна кварца, николи + (*в*); крупное зерно эгирина, николи II (*г*); магнетит с каймой гематита, николи II (*д*); зерно амфибола, «съедаемое» стеклом, николи + (*е*)

Химический состав отходов обогащения медно-никелевых (1), апатит-нефелиновых (2) и железных руд (3)

№ п/п	Содержание, %									
	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2+FeO+MnO	Fe_2O_3	CaO+MgO	Na_2O+K_2O	P_2O_5	Ni+Cu+Co	SO_3	п.п.п.
1	50.7	8.0	1.1	12.4	20.5	4.8	-	0.25	0.8	1.6
2	42.6	20.5	1.3	6.0	8.4	14.2	5.9	-	-	1.1
3	67.5	3.6	0.9	19.4	6.3	1.7	0.1	-	0.1	0.4

Исследования морозостойкости кирпича, полученного методом полусухого прессования из глин десятков месторождений, проведенные рядом ученых, свидетельствуют о том, что зачастую даже при оптимальных технологических параметрах производства и использовании традиционного сырья кирпич имеет

низкую морозостойкость. Поэтому наши исследования были направлены на обоснование возможности повышения морозостойкости материалов.

Для получения качественных керамических материалов необходимо обеспечение оптимальной упаковки частиц и сочетание размеров пор в конечном продукте. Керамические изделия, полученные методом полусухого прессования, зачастую характеризуются крупнопористой структурой. Большинство пор являются сообщающимися и представляют собой поровые каналы. Такие каналообразующие открытые поры отрицательно влияют на технические свойства материала, поскольку капиллярного давления в них достаточно для удерживания воды, которая при замораживании приводит к разрушению материала.

Традиционным способом формирования необходимой пористости является введение в состав шихты выгорающих добавок. Изменяя количество, дисперсность и вид добавок, можно регулировать технические свойства готового продукта. Известно, что порошок каменного угля способствует повышению пористости изделий, более равномерному обжигу, росту сопротивляемости материала к разрыву и трещиностойкости при сушке. Введение карбонатита в шихту способствует интенсификации процесса жидкофазного спекания, что в свою очередь, обусловливает менее пористую текстуру образца. С целью улучшения технологических свойств изделий в полидисперсную систему вводили добавки (уголь, карбонатит), а также варьировали крупностью материала, используя в качестве одного из компонентов отходы обогащения железных руд различных фракций.

Проведенные исследования показали, что материалы без введения добавки имеют минимальную морозостойкость, незначительно увеличивает морозостойкость введение угля и карбонатита в состав шихты. Наибольшая морозостойкость достигается в случае использования в качестве одного из компонентов отходов обогащения железных руд крупностью –2 мм (более 40 циклов). Это свидетельствует о том, что управление гранулометрическим составом обеспечивает оптимальную упаковку частиц и сочетание размеров пор.

Особое значение при замораживании имеет тонкость черепка, т. е. наличие пустот. Миграция влаги из атмосферы в кирпичной кладке происходит за счет капиллярного всасывания. В этом случае большое значение имеет плотность поверхностного слоя керамики. Одним из способов повышения плотности керамики является нанесение водонерастворимой пленки. В эксперименте использовали метод создания на поверхности кирпича тонкослойного покрытия из гидролизованных поверхностных Si-OH групп и замещения их катионами. Для получения катионообменной композиции суспензию из отходов обогащения медно-никелевых руд обрабатывали водным раствором — побочным продуктом солянокислотного разложения хвостов обогащения вермикулитовых руд. Затем отпрессованные при давлении 20 МПа образцы керамики окунали в полученную суспензию, сушили и обжигали при температуре 950–1100 °С. Полученные таким образом керамические материалы были испытаны по стандартным методикам. По прочностным показателям данные образцы не уступают образцам без окунания, но превосходят их значения по морозостойкости в 4–5 раз. Кроме того, улучшаются декоративные характеристики изделий.

Вместе с тем, метод улучшения морозостойкости материалов повышением плотности поверхности керамики имеет недостаток, связанный с возможностью механических повреждений поверхностного слоя кирпича в период строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

Другим перспективным направлением повышения морозостойкости является способ получения керамических материалов с использованием гранулированных пресс-порошков, предложенный А. Ю. Столбоушкиным [7]. Им было показано, что при обжиге керамических материалов на основе малопластичного техногенного и природного сырья происходит формирование в ядре пор с размерами 0,04–4,4 мкм и образование значительного количества замкнутых макропор по границам гранул.

Рациональный гранулометрический состав пресс-порошков обеспечивается гранулированием материала в турболопастных смесителях-грануляторах.

Образцы для исследований готовили следующим образом. Сырьевые компоненты измельчали до удельной поверхности 3000 $см^2$/г. Получение гранулированных пресс-порошков осуществляли в смесителе-грануляторе ТЛ-020 при скорости вращения смесительного ротора 2800 об/мин и увлажнении шихты 10–20 %. Грануляция порошка обеспечивает плотную упаковку при прессовании сырца. Внешний вид материала представлен на рис. 2.

Для формирования матричной структуры керамических материалов в качестве связующего (опудривающий слой) использовали глиноподобную часть шихты — хвосты обогащения медно-никелевых руд в количестве 10–15 %. Соотношение гранул и связующего определяется распределением размеров и упаковкой зерен заполнителя. Из полученных пресс-порошков при формовочной влажности были отпрессованы при давлении 20 МПа образцы-цилиндры. После сушки при 105 °С образцы обжигали при температурах 950, 1000, 1050 и 1100 °С с изотермической выдержкой в течение 1 часа. Далее осуществляли снижение температуры до 500 °С со скоростью 2–3,5 °С/мин. Остывание проводили в печи в течение 8 ч.

Проведенные предварительные испытания образцов после обжига на прочность при сжатии и морозостойкость показали перспективность использования агрегации (гранулирования) пресс-порошков из техногенных отходов в технологии керамических строительных материалов. Морозостойкость таких материалов (более 50 циклов) превышает это значение для материалов, полученных традиционным технологическим способом. Кроме того, формирование матричной структуры керамического материала оказывает положительное влияние и на прочностные характеристики изделий. Происходит незначительное превышение прочности на сжатие — до 118 МПа при температуре обжига 1050 °С.

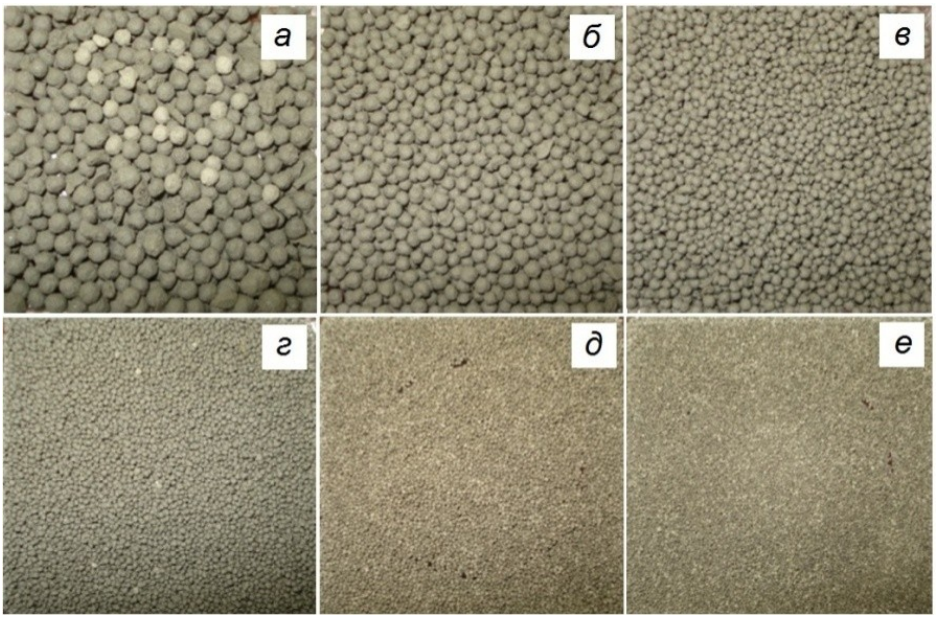


Рис. 2. Гранулированная керамическая масса крупностью, мм: +3 (*а*); +2 (*б*); +1 (*в*); +0,63 (*г*); +0,5 (*д*); –0,5 (*е*)

Таким образом, решение проблемы низкой морозостойкости керамических изделий из техногенного сырья, полученных методом полусухого прессования, возможно за счет формирования оптимальной структуры материала. Наибольшую морозостойкость материалы разработанного состава показали в случае использования грануляции исходного сырья.

Литература

1. Глодин Ю. Н. Отходы (хвосты) флотации медно-никелевых руд как сырьевой материал для производства кислотоупорных и износоустойчивых керамических изделий // Труды НИИ Стройкерамики. 1966. Вып. 26. С. 37–59.
2. Изменение технологических свойств слоистых силикатов в составе горнопромышленных отходов в процессе хранения / В. Н. Макаров и др. // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности. СПб.: Изд-во БГТУ, 2000. С. 368–370.
3. Керамические камни компрессионного формования на основе опок и отходов обогащения / В. Д. Котляр и др. // Строительные материалы. 2013. № 4. С.44–46.
4. Обоснование возможности получения керамических строительных материалов из отходов горнопромышленного комплекса / О. В. Суворова и др. // Техника и технология силикатов. 2012. № 2. С. 19–25.
5. Особенности поровой структуры стеновых керамических материалов на основе углеотходов / А. Ю. Столбоушкин и др. // Строительные материалы. 2014. № 4. С. 46–51.
6. Пат. 2566156 Российская Федерация, МПК C04B 33/132. Керамическая масса / Котляр В. Д., Землянская А. Г., Котляр А. В., Терехина Ю. В., Козлов А. В., Устинов А. В.; Ростов. гос. строит. ун-т. № 2014141862/03; заявл. 16.10.2014; опубл. 20.10.2015. Бюл. № 29.
7. Столбоушкин А. Ю. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья: дис. … докт. техн. наук. Новосибирск, 2014. 365 с.
8. Фомина О. А., Столбоушкин А. Ю. Формирование рациональной поровой структуры стеновой керамики из шламистых железорудных отходов // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 14–19.
9. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material — A review / P. Muñoz Velasco et al. // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 63. P. 97–107.
10. Kavas T. Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick // Building and Environment. 2006. Vol. 41, No. 12. P. 1779–1783.
11. Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings / Y. Chen et al. // Construction and Building Materials. 2011. V. 25. P. 2107–2111.
12. Zhang L. Production of bricks from waste materials — A review // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 47. P. 643–655.

В. В. Тюкавкина, А. Г. Касиков, Б. И. Гуревич
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты
e-mail: tukav_vv@chemy.kolasc.net.ru

РОЛЬ АМОРФНОГО КРЕМНЕЗЕМА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ МАГНЕЗИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТОГО ШЛАКА, В ПРОЦЕССАХ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ОКСИХЛОРИДНОГО МАГНЕЗИАЛЬНОГО ЦЕМЕНТА

Широкое применение магнезиальных вяжущих в строительном производстве ограничено в виду их низкой водостойкости. Использование ультрадисперсных добавок позволяет получать строительные материалы с повышенными конструкционными и технико-эксплуатационными характеристиками. Наиболее широко применяется в производстве строительных материалов диоксид кремния [3, 4, 5]. Более ранними исследованиями установлено, что введение в состав магнезиального вяжущего растворов солянокислотного выщелачивания шлака, состоящих из золя кремневой кислоты и сульфатов железа и магния, способствует формированию в цементном камне триоксигидрохлорида магния [2]. Определено, что использование порошков аморфного кремнезема, полученных из отвального магнезиально-железистого шлака Кольской ГМК комбината «Печенганикель», в составе композиции на основе каустического магнезита и раствора хлористого магния способствует повышению водостойкости затвердевшего камня [2].

Задачей настоящего исследования являлось изучение влияния добавки диоксида кремния, полученного при сернокислотном выщелачивании отвального магнезиально-железистого шлака, на процессы твердения и фазовый состав магнезиального оксихлоридного вяжущего.

Для установления участия добавки аморфного диоксида кремния в процессах, происходящих при твердении оксихлоридного магнезиального цемента, были изучены изменения во времени фазового состава затвердевшего цементного камня. Фазовый состав гидратированных материалов определяли с помощью рентгенофазового и дифференциально-термического методов анализа. Структуру затвердевшего материала и состав фаз изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа.

В данной работе использовали порошок кремнезема с удельной поверхностью 385 $м^2/г$, при этом объем пор составлял 0,1701 $см^3/г$, их диаметр и глубина — 2,89 и 2,58 нм соотвнтственно (измеряли методом тепловой десорбции азота). Порошок кремнезема имел аморфную структуру, светло-желтый цвет, содержал 91,7 мас. % SiO_2 и 2,41 мас. % Fe_2O_3, потери кристаллизационной воды, по данным ДТА, составляли 5,73 мас. %.

В качестве вяжущего применяли порошок магнезитовый каустический (ПМК) ОАО «Комбинат Магнезит» следующего химического состава, мас. %: 82,9 MgO; 1,23 CaO; 0,9 SiO_2; 1,27 Fe_2O_3; 0,29 Al_2O_3; 5,95 — потери при прокаливании. Для затворения магнезиальных вяжущих применяли раствор хлористого магния плотностью 1,21 $г/см^3$.

Для изучения процессов, происходящих при твердении оксихлоридного цемента модифицированного аморфным кремнеземом, готовились образцы из цементного теста пластичной консистенции размерами 2×2×2 см, которые в течение 1 сут. твердели на воздухе в формах, далее одна часть образцов твердела на воздухе, а другая в воде. Через определенные промежутки времени образцы испытывали на прочность при сжатии, затем из центра образца отбирали часть материала для дальнейших исследований.

Содержание диоксида кремния в составе вяжущего составляло 1–10 мас. %. Водостойкость (коэффициент размягчения) вяжущего оценивали отношением прочности материала в возрасте 28 сут., насыщенного водой ($R_{сж.\ нас}$) к прочности сухого материала($R_{сж.\ сух}$). Влияние добавки кремнезема на основные свойства магнезиального вяжущего приведены в таблице.

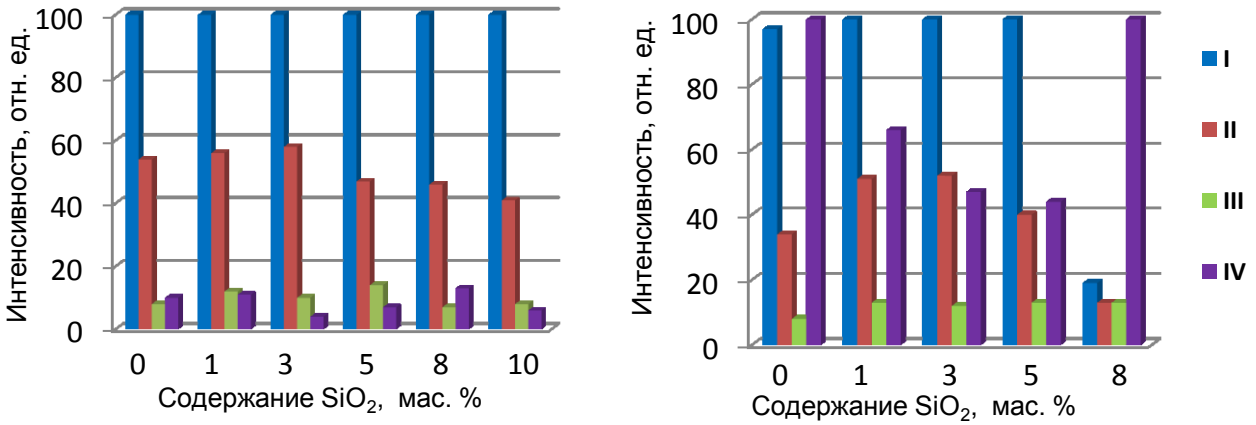
Состав и свойства магнезиального вяжущего модифицированного добавкой тонкодисперсного диоксида кремния

Номер состава	Состав, мас.%			Прочность при сжатии, МПа, через твердение, сут				Коэффициент размягчения $R_{сж.\ нас}$ / $R_{сж.\ сух}$	Плотность, $г/см^3$, 28 сут
	SiO_2	ПМК	$MgCl_2$	на воздухе			в воде		
				1	28	90	28		
1	–	57	43	35,5	51,6	55,6	24,0	0,45	1,88
2	1	56,5	42,5	40,1	54,1	57,9	36,7	0,68	1,88
3	3	55	42	37,7	58,7	67,2	44,7	0,76	1,86
4	5	54	41	30,0	49,2	58,2	47,2	0,96	1,83
5	6	53	41	29,2	46,9	55,4	39,1	0,83	1,80
6	8	49	43	22,6	44,0	45,4	29,9	0,68	1,72
7	10	46	44	26,7	40,6	39,2	27,4	0,67	1,70

Из представленных данных видно, что введение в состав магнезиального вяжущего аморфного диоксида кремния способствует повышению водостойкости затвердевшего камня. Наибольший коэффициент размягчения магнезиального вяжущего соответствует составу, содержащему 5 мас. % SiO_2. Прочность образцов, твердеющих на воздухе, при содержании SiO_2 до 3 мас. % повышается, при дальнейшем увеличении уменьшается.

Исследования физико-химических процессов гидратации и продуктов твердения магнезиального вяжущего показали, что изменение основных свойств вяжущего связаны с различиями фазового состава и структуры продуктов твердения. В первые сутки твердения фазовый состав затвердевшего материала, по данным рентгенофазового анализа, представлен новообразованной фазой $5MgO{\cdot}MgC_{l2}{\cdot}13H_2O$. При дальнейшем твердении по мере изменения концентрации исходных веществ происходит перекристаллизация пентаоксигидрохлорида магния в триоксигидрохлорид магния. Этот процесс сопровождается выделением гидроксида магния.

На рентгенограммах образцов, твердевших в течение 28 сут, помимо пентаоксигидрохлорида магния, присутствуют рефлексы, принадлежащие $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, $Mg(OH)_2$, при этом значительная часть MgO остается не прореагировавшей. С увеличением содержания диоксида кремния в составе вяжущего до 5 мас. % интенсивность рефлексов, принадлежащих $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ и $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, увеличивается. Состав затвердевшего магнезиального камня при твердении в воде характеризуется тем же набором фаз, что и при твердении на воздухе, однако количественный состав существенно отличается. Интенсивность рентгеновских максимумов продуктов твердения магнезиального вяжущего в воде и на воздухе в зависимости от содержания кремнезема приведена на гистограмме (рис. 1). Из приведенных данных видно, что при твердении в воде интенсивность рентгеновских максимумов, принадлежащих $Mg(OH)_2$, существенно возрастает. При твердении в воде каустический магнезит гидратируется преимущественно с образованием брусита. Введение в состав магнезиального вяжущего порошка кремнезема способствует формированию оксигидрохлоридов магния и снижает образование $Mg(OH)_2$. Наименьшее количество брусита образуется в образцах с добавкой 1–6 мас. % кремнезема. Повышенное содержание в магнезиальном камне $Mg(OH)_2$ способствует снижению прочности и увеличению склонности к растрескиванию, а повышенное содержание триоксигидрохлорида магния обеспечивает более высокий коэффициент водостойкости.



а *б*

Рис. 1. Гистограмма интенсивностей рефлексов рентгеновских максимумов продуктов твердения в зависимости от содержания SiO_2. Образцы твердели в течение 28 сут: *а* — на воздухе, *б* — в воде. Условные обозначения: I — MgO; II — $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$; III — $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$; IV — $Mg(OH)_2$

Наряду с основными продуктами твердения вяжущего модифицированного добавкой кремнезема в его составе обнаружено комплексное оксигидрохлоридное соединение оксидов магния и кремния переменного состава: $xMgO{\cdot}ySiO_2{\cdot}MgCl_2{\cdot}zH_2O$ ($x = 0{,}3–1{,}7$, $y = 0{,}1–1{,}2$, $z = 1{,}2–3{,}8$), которое способствует повышению водостойкости. Проведенными исследованиями установлено, что на образование новых соединений при гидратации каустического магнезита расходуется только часть оксида магния, другая часть играет роль наполнителя. К 90 сут твердения образцов на воздухе состав продуктов существенно не меняется, 43–56 мас. % MgO остается не прореагировавшей.

Результаты рентгенофазового анализа продуктов твердения магнезиального вяжущего подтверждаются данными дифференциально-термического анализа. Анализ термогравиметрического исследования образцов свидетельствует о протекании целого ряда процессов дегидратации, которые отчетливо отражены ярко выраженными эндотермическими эффектами на кривых ДТА (рис. 2). Эндоэффект при 370 °С для образцов, твердеющих на воздухе, и для образцов при 390 °С, твердеющих в воде, присутствует на всех термограммах, его интенсивность свидетельствует об образовании оксихлоридного комплекса, а также $Mg(OH)_2$. Его увеличение и сдвиг на 20 °С в область более высоких температур при твердении в воде указывает на образование брусита.

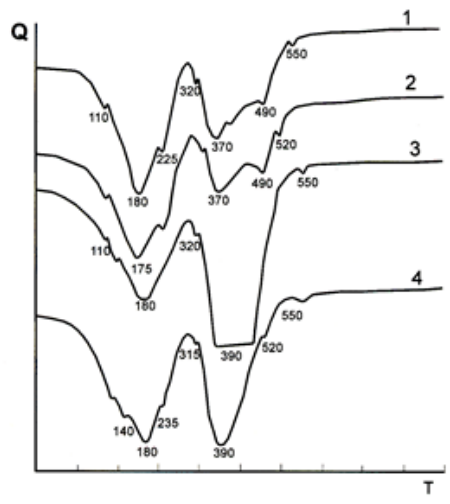
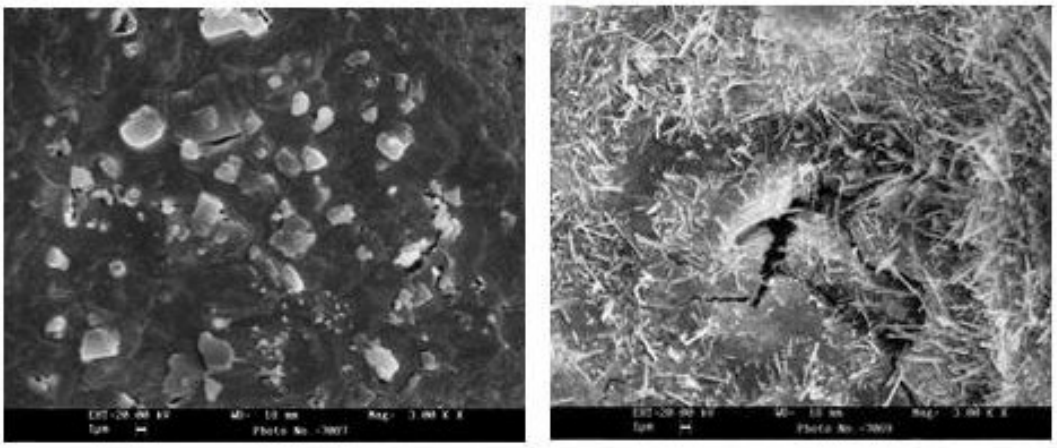


Рис. 2. Термограммы образцов магнезиального вяжущего через 28 сут твердения на воздухе (1, 2), в воде (3, 4), без добавки SiO_2 (1, 3), с добавкой 5 % мас. % SiO_2 (2, 4). *Q* — дифференциальный тепловой эффект; *T* — температура, °С

Электронно-микроскопические исследования показали, структура затвердевшего цементного камня неоднородная, слабо раскристаллизованная с включениями периклаза и микротрещинами шириной до 2 мкм. На микрофотографии магнезиального камня с добавкой кремнезема видны хорошо оформленные игольчатые структуры кристаллогидратов длиной не более 5 мкм и толщиной до 200 нм, которые выполняют армирующую роль в структуре цементной матрицы (рис. 3).



а *б*

Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки магнезиального камня, модифицированного добавкой аморфного кремнезема, коэффициент увеличения 3000:
а — участок со слабо раскристаллизованной структурой и включениями периклаза (белые зерна);
б — кристаллогидраты пентаоксигидрохлорида магния

Таким образом, проведенные исследования показали, что структура магнезиального камня модифицированного добавкой кремнезема, формируется в основном пента-, триоксигидрохлоридами магния и гидроксидом магния. Добавка тонкодисперсного кремнезема в составе магнезиального вяжущего способствует связыванию MgO в комплексное оксигидрохлоридное соединение оксидов магния и кремния, характеризующееся повышенной водостойкостью. Установлено, что изменения основных свойств вяжущего связаны с различиями фазового состава и структуры продуктов твердения. Увеличение содержания пентаоксигидрохлорида магния в составе вяжущего способствует росту прочности вяжущего. Повышенное содержание в магнезиальном камне $Mg(OH)_2$ приводит к снижению прочности и увеличению склонности к растрескиванию, а прирост содержания триоксигидрохлорида магния и образование оксигидрохлоридного соединения магния и кремния обеспечивают более высокий коэффициент водостойкости.

Литература

1. Водостойкие магнезиальные вяжущие на основе продуктов переработки шлака цветной металлургии / А. Г. Касиков и др. // Строительные материалы. 2013. № 11. С.70–73.
2. Получение аморфного кремнезема из шлаков цветной металлургии и его использование для магнезиальных вяжущих В. В. Тюкавкина и др. // Химическая технология. 2014. № 3. С. 167–172.
3. Потапов В. В., Шитиков Е. С., Трутнев Е. С. Использование золей и порошков кремнезема, полученных из гидротермальных растворов, как нанодобавок в цементы // Химическая технология. 2010. Т. 11. № 10. С. 597–604.
4. Роль аморфного микрокремнезема в процессах структурообразования и упрочнения бетонов / В. В. Бабков и др. // Строительные материалы. 2010. № 6. С. 44–46.
5. Reaction products of MgO and microsilica cementitious materials at different temperatures / Wei Jiangxiong, Yu Qijun, Zhang Wensheng, Zhang Hongtao // J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. 2011. Vol. 26, No. 4. C. 745–748.

Секция 4. ГОРНОЕ ДЕЛО И ОБОГАЩЕНИЕ

Н. Н. Абрамов
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, abramov@goi.kolasc.net.ru

К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ЧАСТОТНЫМ СПЕКТРАМ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Процесс заколообразования горной породы в стенах и кровле подземных горных выработок является закономерным сопутствующим явлением при строительстве и эксплуатации подземных сооружений. Он обусловлен комплексным влиянием на состояние массива процессов перераспределения напряжений, выветривания, а также техногенных воздействий, формирующих, в конечном итоге, слой нарушенных пород приконтурного массива. При отсутствии соответствующего крепления выработок заколообразование может стать серьезной причиной потери устойчивости сооружений, снижающей безопасность и работоспособность подземных объектов. В процессе строительства подземных сооружений образование заколов контролируется визуально и с помощью простукивания обнажений выработок с последующим механическим обрушением заколов. Однако в процессе эксплуатации сооружений не всегда это становится возможным, поэтому информация о формировании потенциальных зон заколообразования является достаточно актуальной.

На данном этапе работ оценены возможности методов спектральной сейсмики для локализации участков потенциального заколообразования на обнажениях выработок.

Рассматривая скальный массив как блочную среду, наделенную упругими свойствами, можно допустить, что поведение этой среды при внешних воздействиях будет аналогично поведению динамической колебательной системы. Результаты, полученные при ультразвуковых испытаниях образцов пород в лабораторных условиях [2, 3] показывают, что присутствие трещин приводит к более интенсивному затуханию колебательного процесса в образце и снижению величины добротности колебательной системы, определяемой как $\Omega_i = \dfrac{f_0}{\Delta f}$, (1)

где Δf — ширина амплитудной резонансной кривой Δf по уровню $1/\sqrt{2}$ =0,7 с частотой резонанса f_0.

При этом чем больше количество трещин (степень трещиноватости), тем меньше величина добротности системы. Таким образом, добротность как свойство колебательной системы (блочный скальный массив), определяющее полосу резонанса, может быть определена в качестве показателя динамической устойчивости массива при прохождении через него упругих волн.

С другой стороны, результаты контроля параметров сейсмических волн от производства массовых взрывов на карьерах [1], также показывают снижение амплитуд смещений и «размытость» спектров частот проходящих волн на участках повышенно-трещиноватых и раздробленных пород с появлением меньших по амплитуде частотных пиков спектра в области высоких частот. Приведенные примеры указывают на наличие взаимосвязи показателей частотных спектров проходящих упругих волн и степени нарушенности скального массива.

При сейсмопросвечивании породного целика Верхнетуломской ГЭС (рис. 1, 2, *а*) было установлено, что спектральные максимумы сейсмических колебаний, возбуждаемые в массиве пород, характеризуют состояние блоков породы непосредственно примыкающих к обнажению выработок в точке установки приемника (рис. 2, *б*).

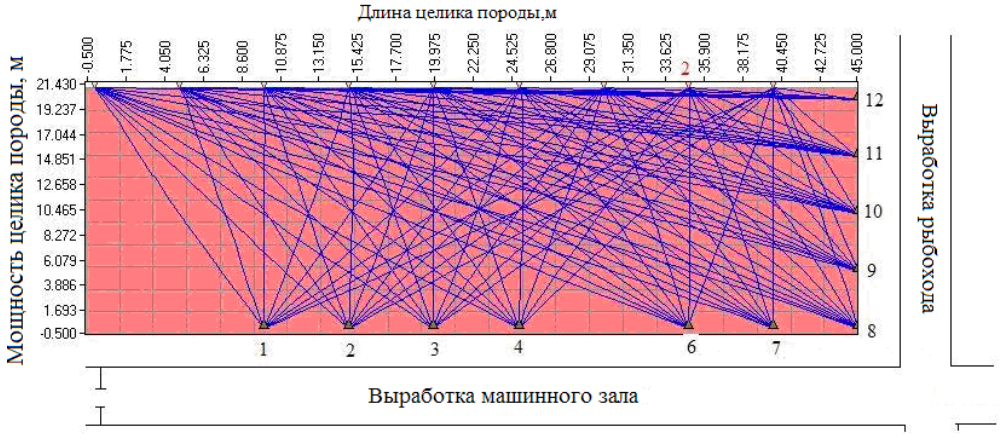
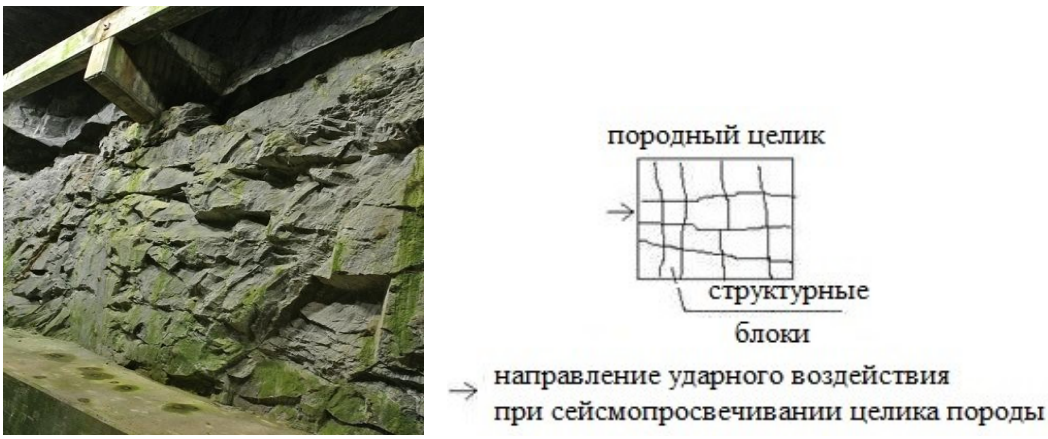


Рис. 1. Схема сейсмопросвечивания целика породы:
1–12 — точки установки сейсмодатчиков в машинном зале и выработке рыбохода



а *б*

Рис. 2. Блочность массива (*а*) и структурная схема массива пород (*б*) при сейсмопросвечивании

Степень свободы блоковых отдельностей массива, определяющая степень ослабления массива, как было указано выше, может быть описана показателем динамической устойчивости (1). Снижение величины этого показателя указывает на наличие трещин и ослабление приконтурного массива за счет снижения плотности межблоковых связей. Как показали результаты сейсмопросвечивания, для более мелких отдельностей, диагностируемых по амплитудно-частотным характеристикам (АЧХ) сейсмических сигналов, более высокими значениями частот спектра f_0, с большей склонностью к заколообразованию, будут обладать блоки с меньшими значениями показателя Ω. На рис. 3 представлены примеры АЧХ в обследуемом целике породы по 13 сейсмическим лучам на базе просвечивания около 20 м.

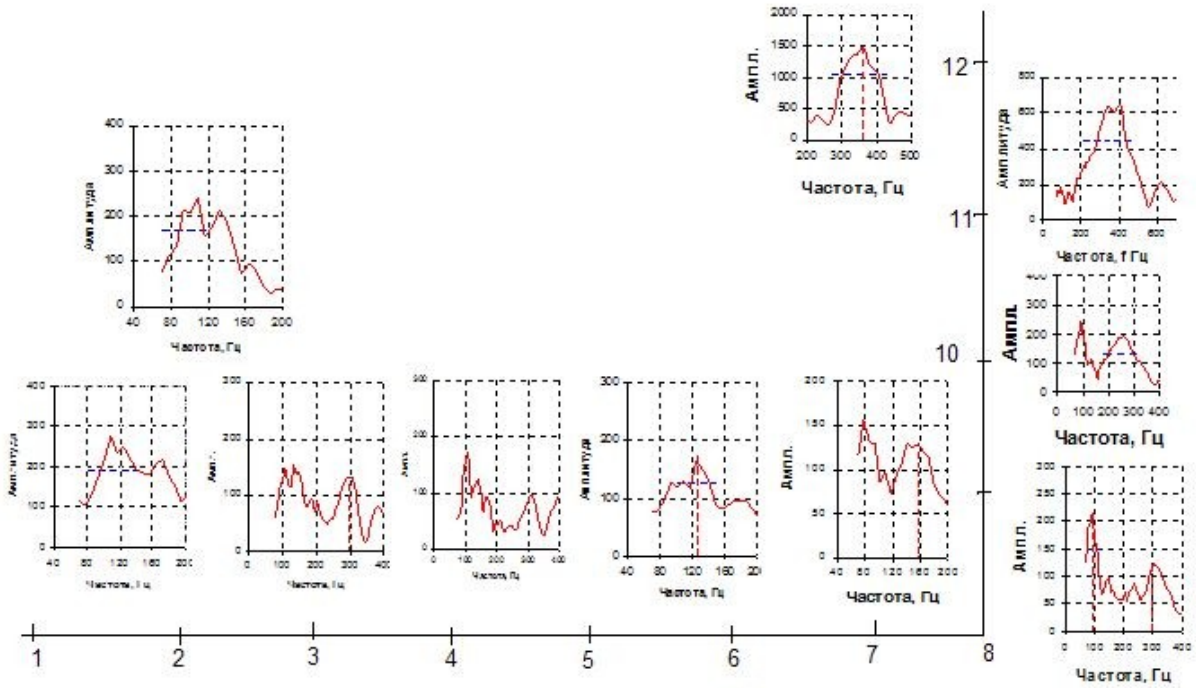
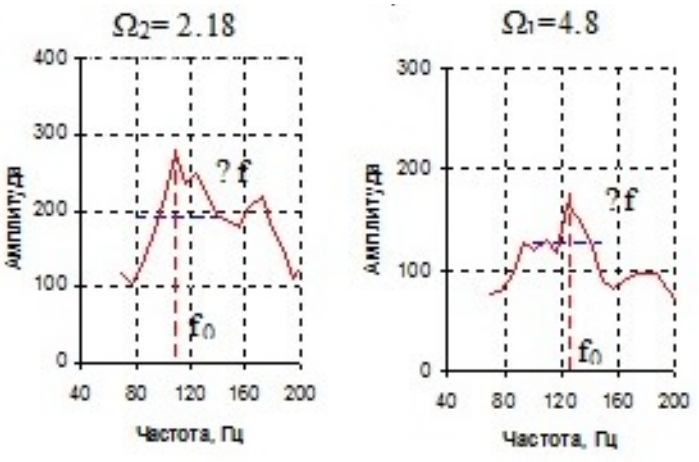


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики в точках установки сейсмоприемников при инициировании сейсмических волн в точке 2 (обозначена красным цветом на рис. 1): 1–12 — точки установки сейсмодатчиков в машинном зале и в выработке рыбохода

Для большего понимания представленных данных для расчетов величин Ω_i на рис. 4 представлены АЧХ для двух участков, точки 1 (*а*) и 6 (*б*). Как было упомянуто ранее, предпосылками отнесения участка обнажения массива к потенциально опасному по заколоопасности являются снижение показателя Ω_i при высокой частоте f_0.

На рис. 5 представлено корреляционное поле точек показателей Ω_i и f_0 по данным натурных наблюдений. Красным цветом выделены точки, отвечающие данному условию. Как видно из приведенных данных, такое состояние с наименьшими значениями Ω_i = 2,29–3,27 и f_0=250–350 Гц прослеживается на участках массива в выработке рыбохода на сопряжениях с другими выработками точки 8–12. Данный вывод хорошо согласуется

с результатами предыдущих исследований в процессе мониторинга, когда эти участки были определены как опасные с использованием других методов оценки и дополнительно подкреплены анкерами с шайбами и стягивающими гайками (рис. 6).



а *б*

Рис. 4. АЧХ сейсмосигнала для двух точек приема сейсмоволны на контуре выработок 1 (*а*) и 6 (*б*).

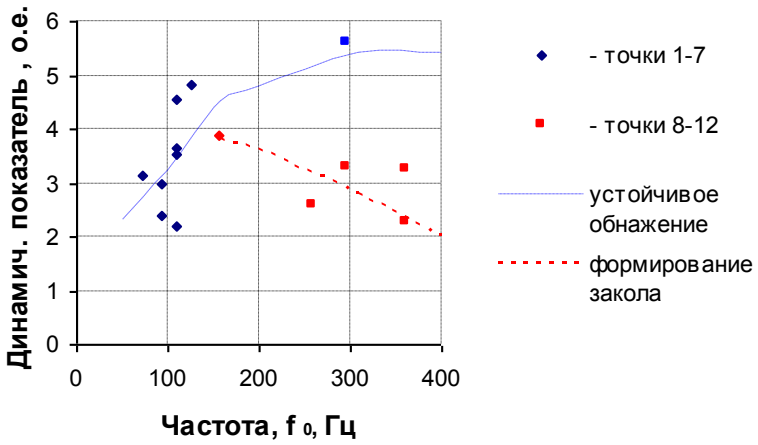


Рис. 5. Расчетные значения показателя Ω_i для различных величин f_0 по данным натурных наблюдений



Рис. 6. Крепь на участке точки 12 выработки рыбохода

Разработанная методика диагностики потенциально опасных по заколообразованию участков массива показала свою работоспособность и включена в систему геомониторинга подземных сооружений ГЭС. Разработка количественных значений для границ вариации предложенных показателей устойчивости приконтурного массива требует проведения дальнейших исследований.

Литература

1. Вознесенский А. С., Куткин Я. О., Красилов М. Н. О возможности определения резерва прочности анкерного крепления кровли методами неразрушающего контроля // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. XX Всерос. конф. с участием иностранных ученых (7–11 октября 2013 г., г. Новосибирск). 2013. С. 337–342.
2. К вопросу оценки качества дробления взорванной горной массы при производстве буровзрывных работ в карьерных условиях / В. А. Фокин и др. // Горн. журн. 2013. № 12. С. 44–48.
3. Оценка возможности описания тектонических нарушений угольных пластов сейсмическим методом / А. В. Анциферов и др. // Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine. 2012. № 10. С. 309–326.

С. А. Гусак, Ю. Г. Смирнов, А. О. Орлов
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, gusnat52@mail.ru

ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ РОССИИ

Перспектива разработки месторождений полезных ископаемых обусловлена необходимостью освоения минерально-сырьевых ресурсов арктического Севера, специфические условия разработки и освоения которых связаны с наличием многолетнемерзлых пород, сурового климата и слаборазвитой инфраструктуры. Новые месторождения полезных ископаемых на арктическом Севере России расположены на огромной территории от Архангельской области до Чукотки. В настоящей статье кратко охарактеризована проблема энергообеспечения ряда перспективных месторождений полезных ископаемых: медно-порфировое месторождение «Песчанка» в Чукотском автономном округе; комплексное редкометалльное месторождение «Томтор» и золоторудное месторождение «Кючус» в Республике Саха (Якутия); Павловское полиметаллическое месторождение на арх. Новая Земля. В контексте данной проблемы рассмотрены предпосылки использования атомных станций малой мощности (АСММ) при освоении и разработке указанных месторождений.

Проблема энергообеспечения перспективных месторождений

Несмотря на исключительную привлекательность рассмотренных уникальных месторождений золота, цветных и редкоземельных металлов, практическое отсутствие или слаборазвитая энергетическая инфраструктура являются главными причинами, по которым перспективные проекты освоения этих месторождений до сих пор остаются не реализованными. Так, например, введение в строй столь крупного промышленного производства, как Баимский ГОК на месторождении «Песчанка», упирается в существенное ограничение, связанное с необхимостью организации поставки большого количества электроэнергии по приемлемым ценам. Учитывая, что операционные затраты, связанные с металлургическим переделом, почти полностью обусловлены расходами на электроэнергию, организация металлургического передела будет рентабельной только при низких тарифах на электроэнергию. Поэтому для реализации проекта требуется надежный источник поставки больших объемов электроэнергии и ключевой задачей является определение энергоисточника, способного обеспечить ГОК установленной мощностью более 200 МВт с тарифами 4–6 руб/кВт·ч вместо 11–12 руб/кВт·ч [8].

Месторождения «Томтор» и «Кючус» расположены в районе, который относится к Северному энергетическому району Якутии (зона децентрализованной энергетики), где электроснабжение потребителей осуществляется в основном от дизельных электростанций (ДЭС) небольшой мощности. Эти энергоисточники работают только на дальнепривозном дизельном топливе, и их эксплуатация связана с высокими затратами материальных средств и труда при недостаточной надежности электроснабжения. Указанные факторы в сочетании с большой долей потребления дизельного топлива и сложностью транспортных схем его поставок обусловливают высокую себестоимость энергетической продукции и высокие тарифы на электроэнергию. Так, в 2011 г. средняя стоимость электроэнергии, вырабатываемой на ДЭС, составляла 21,5 руб/кВт·ч, а по отдельным дизельным станциям Якутии себестоимость доходила до 90 руб/кВт·ч [3]. Сильная зависимость энергоизолированных районов от внешних поставщиков дизельного топлива определяет специфику республиканской тарифной политики, которая вынуждает потребителей промышленного сектора строить собственные генерирующие мощности. Энергетические потребности при освоении Томторского и Кючусского месторождений, которые оцениваются электрической нагрузкой до 27 и 22 МВт соответственно [7], также обусловливают необходимость создания собственных энергоисточников, в качестве которых предлагается использовать ДЭС с поэтапным увеличением их мощности [5].

Вместе с тем, высокая стоимость электроэнергии, вырабатываемой на ДЭС, а также имеющиеся проблемы с завозом дизельного топлива, не позволяют однозначно утверждать, что данный вариант энергоснабжения месторождений в изолированных энергетических районах является оптимальным.

Говоря о Павловском месторождении, можно отметить, что в экономическом отношении район месторождения практически не освоен и лишен инфраструктуры. В настоящее время энергоснабжение потребителей на Новой Земле осуществляется от котельной и дизельной электростанции, на которых работают военнослужащие. Топливо для этих энергоисточников централизованно завозит Министерство обороны РФ. Поэтому до недавнего времени тарифы на тепло, электроэнергию и воду устанавливались на месте. В соответствии с планами освоения Павловского месторождения в качестве базового варианта энергообеспечения объектов инфраструктуры горнопромышленного предприятия рассматривалось использование газотурбинных установок, работающих на сжиженном природном газе (СПГ). В зависимости от производственных мощностей горнопромышленного предприятия требуемая электрическая мощность оценивается в 30–40 МВт [2]. Перспективы реализации такого варианта энергоснабжения в значительной мере определяются двумя обстоятельствами — возможностью и целесообразностью создания портового комплекса, оснащенного инфраструктурой приема-хранения СПГ и реализацией масштабного проекта «Ямал СПГ», который может быть использован для поставки СПГ на Новую Землю. Таким образом, практическое исполнение варианта энергообеспечения при освоении и разработке Павловского месторождения на основе газотурбинных установок предполагает развитие инвестиционной деятельности на основе коммерческого партнерства между компаниями, которые осуществляют добычу и переработку свинцово-цинковых руд месторождения, с одной стороны, и производство сжиженного природного газа, с другой.

Предпосылки использования атомных станций малой мощности при освоении арктических месторождений полезных ископаемых

В рамках исследований по обоснованию различных вариантов развития энергоснабжения удаленных и труднодоступных территорий восточных регионов России [4, 6, 7] была выполнена оценка эффективности различных вариантов децентрализованного энергоснабжения:

- мини-ТЭЦ на местных видах топлива;
- дизельные электростанции и газотурбинные установки с отбором тепла;
- возобновляемые источники энергии;
- атомные станции малой мощности.

На основе результатов этих исследований был сделан вывод о том, что для перспективных горнопромышленных предприятий, расположенных в арктической зоне, где отсутствует энергетическая инфраструктура, в качестве альтернативы традиционному варианту с использованием органического топлива следует рассматривать строительство атомных станций малой мощности. Рациональным местом размещения АСММ являются труднодоступные районы со сложной схемой доставки топлива и со значительным перспективным ростом электрических нагрузок, связанным с разработкой месторождений полезных ископаемых. Оценка сравнительной эффективности использования АСММ и энергоисточников на органическом топливе позволила определить граничные значения себестоимости производства электроэнергии для достижения конкурентоспособности АСММ:

- как автономного энергоисточника — 13–17 руб/кВт·ч;
- в локальной энергосистеме — 4–6 руб/кВт·ч.

Для оценки возможности использования атомных энергоисточников в решении задачи энергообеспечения месторождений был выполнен анализ инновационных проектов АСММ, представленных в работе [1]. Рассмотренные ранее перспективные электрические нагрузки новых горнопромышленных предприятий позволяют выделить два диапазона требуемой единичной мощности атомных энергоблоков: 6–20 МВт для месторождений «Томтор», «Кючус» и «Павловское» и 50–100 МВт для горнопромышленного предприятия на месторождении «Песчанка». Анализ проектов АСММ с учетом этих требований показал, что на сегодня в России сформирован широкий спектр современных разработок, которые базируются на опыте проектирования и эксплуатации судовых реакторных установок и которые могут быть использованы для обеспечения потенциальных потребителей в необходимом энергетическом диапазоне.

Многолетний опыт работ по проектированию АСММ показал, что органически присущая судовым реакторным установкам компактность открывает возможности для существенного сокращения капитальных затрат в условиях стационарной энергетики. Немаловажно и то, что технология атомного судостроения дает возможность организации серийного производства энергоблоков на основе использования унифицированного оборудования, агрегатов и компонентов. Проработки последних лет показали возможность создания на базе освоенных технических решений и технологий транспортных реакторов атомных источников в широком диапазоне малой мощности. По данным Росатома на 2015 г. [1], прогнозируемая стоимость электроэнергии варьируется в диапазоне от 10,9 до 12,9 руб/кВт·ч для перспективных инновационных проектов АСММ электрической мощностью до 20 МВт и от 1,5 до 4,3 руб/кВт·ч для АСММ электрической мощностью свыше 20 МВт. Эти данные позволяют говорить о возможной экономической эффективности реакторных установок малой мощности при решении проблемы энергообеспечения перспективных арктических месторождений полезных ископаемых.

Вследствие малой единичной мощности капитальные инвестиции в проекты АСММ существенно меньше инвестиций, требуемых для проектов АЭС с реакторами большой единичной мощности. Кроме того, АСММ позволяют при относительно небольших капитальных затратах на строительство каждого энергоблока поэтапно наращивать суммарную мощность атомной станции путем добавления новых энергоблоков. Такой подход минимизирует связанные с проектом финансовые риски, а значит, может быть привлекательным для частных инвесторов и энергетических компаний.

Заключение

Проблема энергоснабжения при освоении арктических месторождений полезных ископаемых, расположенных на труднодоступных и удаленных территориях, определяет объективную необходимость развития локальной энергетики на основе использования автономных источников энергии с целью обеспечения надежного и бесперебойного энергообеспечения потребителей энергии.

В качестве одного из перспективных вариантов энергоснабжения потребителей в арктических регионах России рассматривается использование АСММ, строительство которых наиболее целесообразно в регионах, где значительная часть территории расположена либо в зоне децентрализованного энергоснабжения, либо в пределах локальных энергосистем и где роль малой энергетики в обеспечении надежного энергоснабжения является определяющей. Целесообразность и эффективность использования атомных энергоисточников в значительной мере определяется конкурентоспособностью по сравнению с альтернативными источниками энергии, которая должна способствовать привлечению внешних инвестиций и развитию государственно-частного партнерства для осуществления совместных проектов.

Литература

1. Адамов Е. О. Состояние разработок АСММ в мире и России, приоритеты и перспективы их создания. URL: http://www.innov-rosatom.ru/files/articles/5e334977fec5bf72d 7dedcb904a914c0.pdf (дата обращения: 06.10.2015).
2. Лукин А. П. Проект «Павловское». Создание на архипелаге Новая Земля горнодобывающего производственного комплекса по добыче и переработке свинцово-цинковых руд. URL: http://www.innov-rosatom.ru/files/articles/aad130851e21bd886f2756c9184c 7308.pdf (дата обращения: 21.04.2016).
3. О проектной Программе оптимизации локальной энергетики Республики Саха (Якутия) на период до 2017 года: постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 3 сентября 2011 г. № 424. URL: http://energy.csti.yar.ru/documents/14/1420140055_1_424.pdf (дата обращения: 17.05.2015).
4. Освоение минерально-сырьевых ресурсов Севера: варианты энергоснабжения / И. Ю. Иванова и др. // Регион: экономика и социология. 2011. № 4. С. 187–199.
5. Разработка схемы и программы развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2014–2018 гг. URL: http://www.sakha.gov.ru/node/174822 (дата обращения: 17.05.2015).
6. Роль атомных станций малой мощности в зонах децентрализованного энергоснабжения на Востоке России / Б. Г. Санеев и др. // Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики / под ред. акад. РАН А. А. Саркисова. М.: Наука, 2011. С. 88–100.
7. Сравнительная эффективность использования атомных станций малой мощности в локальных энергосистемах на востоке России / Н. И. Воропай и др. // Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики: в 2 т. Т. 2 / под ред. акад. РАН А. А. Саркисова. М.: Академ-Принт, 2015. С. 59–71.
8. Стратегия социально-экономического развития Чукотского автономного округа до 2030 года. URL: http://чукотка.рф/power/priority_areas/priorities_for_development/development-strategy.php (дата обращения: 27.04.2016).

А. Ю. Дьяков, А. И. Калашник

Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, dyakov@goi.kolasc.net.ru, kalashnik@goi.kolasc.net.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, ИНДУЦИРОВАННОГО ГЕОРАДАРНЫМ ЗОНДИРОВАНИЕМ В ОКРЕСТНОСТИ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СКАЛЬНОГО МАССИВА

Трещиноватость скального массива (ориентировка, частота, тип и вид трещин) оказывает существенное влияние на формирование состояния и иерархично-блочной структуры скальных пород, что, в свою очередь, определяет устойчивость обнажений при ведении открытых горных работ [2, 3].

Исследование взаимосвязи волновых характеристик электромагнитного сигнала с состоянием трещиноватого массива скальных пород позволяет получить основу для количественной интерпретации данных георадиолокации, а также для анализа волновых картин радарограмм в целях выделения неоднородностей (зон трещиноватости — полости различной формы и заполнения (воздух, вода), видоизмененные породы).

Целью данной работы являлось моделирование электромагнитного поля, индуцированного георадарным зондированием на участках скальных пород с основными типами неоднородностей, для понимания механизма формирования особенностей волновых характеристик сигнала, наблюдаемых на экспериментальных радарограммах.

В подповерхностной георадиолокации распространение электромагнитных волн метрового и дециметрового диапазона в геологической среде-диэлектрике описывается уравнениями Максвелла:

$$\nabla^2 E - \frac{\varepsilon \partial \vec{E}}{c^2 \partial t^2} - \mu_0 \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = 0,$$

где $\vec{E}$ — напряженность электрического поля, В/м; ε — действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости (безразмерная величина); c — скорость распространения электромагнитной волны в пространстве, м/с; μ_0 — магнитная проницаемость среды, Г/м; σ — проводимость, См/м.

На входе среды генерируется электромагнитный импульс, а на выходе среды приемной антенной воспринимается отклик среды — совокупность волн, отличающихся друг от друга временами пробега, интенсивностью и формой. В кинематических и динамических характеристиках этих волн и содержится информация о среде. Для георадиолокации — это двойные времена пробега электромагнитных волн до границы раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью, информация о потерях, связанных с токами проводимости, информация о дисперсии фазовых скоростей в среде [1, 4].

Для выявления влияния на состояние массива пород нарушений крупного порядка, которые, в свою очередь, влияют на процессы взрывного разрушения, сдвижение, обвалы и другие проявления горного давления, выполнено моделирование работы георадара на участке карьера с горизонтальной разломной структурой. Расчеты выполнены методом конечных разностей во временной области с использованием программ GPRMAX и MATGPR [5–8].

На рис. 1 (*а–е*) представлены результаты имитационного моделирования работы георадара над горизонтальной зоной неоднородности антенной 100 МГц. В левой части рис. 1, *а*, представлены типичные горизонтальные структурные неоднородности на уступах карьера. Геометрическая схема модели представлена разрезом фрагмента уступа размером 20×15 м (рис. 1, *б*) с зоной неоднородности длиной 2 м и мощностью 0,1 м. Диэлектрическая проницаемость вмещающих монолитных пород принята 6 ед. (значение диэлектрической проницаемости, согласно справочным данным физических свойств горных пород, находится в диапазоне 4–8 ед.), а нарушенной структуры для контрастности получаемых данных в два раза больше — 12 ед. Анализ необработанной синтетической радарограммы (рис. 1, *в*) позволил выявить амплитудные изменения волновой формы сигнала, отраженной от верхней и нижней границы неоднородности. При пересечении границ неоднородности образовались два гиперболических отражения, не позволяющие определить истинные размеры неоднородности. На рис. 1, *г*, представлена волновая форма сигнала (трасса), проходящая непосредственно посередине неоднородности, которая содержит истинное отражение от объекта, а на рис. 1, *д*, «хвосты» гипербол в месте, указанном зелеными стрелками. Для восстановления истинного положения объекта применена процедура миграции. На рис. 1, *е*, представлена обработанная радарограмма, где фактический радиообраз объекта почти в 5 раз превышает истинные размеры, что связано с использованием низкочастотной антенны 100 МГц и большой длиной волны. Для устранения этого эффекта применяется процедура деконволюкции, которая служит для сжатия импульсов сигнала и повышения разрешающей способности. Моделирование этого участка высокочастотной антенной 500 МГц позволило получить более «четкую» картину ввиду лучшей разрешающей способности антенны. Анализ волновой картины синтетической радарограммы позволил уверенно определить вершины гиперболических отражений, которые образовываются на концах неоднородности. Таким образом, при приближении к горизонтальной неоднородности в массиве скальных пород на радарограмме заблаговременно проявляются отражения в виде «хвостов» гипербол от одного и второго угла объекта. С повышением частоты антенны уменьшаются возможности обследования глубоких объектов, но в то же время увеличивается детальность обследования.

Моделирование электромагнитного поля, индуцируемого георадарным зондированием этого участка антенной 800 МГц, позволило наиболее детально определить положение верхней и нижней границы неоднородности, но с более слабыми амплитудными значениями по сравнению с антеннами 500 и 100 МГц, хвосты гипербол выражены в виде слабоамплитудных всплесков.

По результатам имитационного моделирования работы георадара над зоной неоднородности, находящейся под углом 45° к поверхности антенной 100 МГц, выявлены амплитудные изменения волновой формы сигнала, отраженной от неоднородности. При пересечении краев неоднородности, как и в случае с горизонтальным положением, образуются два гиперболических отражения, которые маскируют полезный сигнал, что необходимо учитывать при обработке и интерпретации радарограмм.

На рис. 2, *а–е*, представлены результаты имитационного моделирования работы георадара над вертикальной зоной неоднородности антенной 100 МГц в тех же условиях, что и для случая с горизонтальной структурой, зона неоднородности длинной 0,1 м и мощностью 2 м. Анализ необработанной синтетической радарограммы (рис. 2, *в*) позволил выявить амплитудные изменения волновой формы сигнала, отраженного только от верхней и нижней границы неоднородности. При пересечении границ неоднородности, так же как и в случае горизонтального положения, образовались два гиперболических отражения без отражений от остальной части объекта.

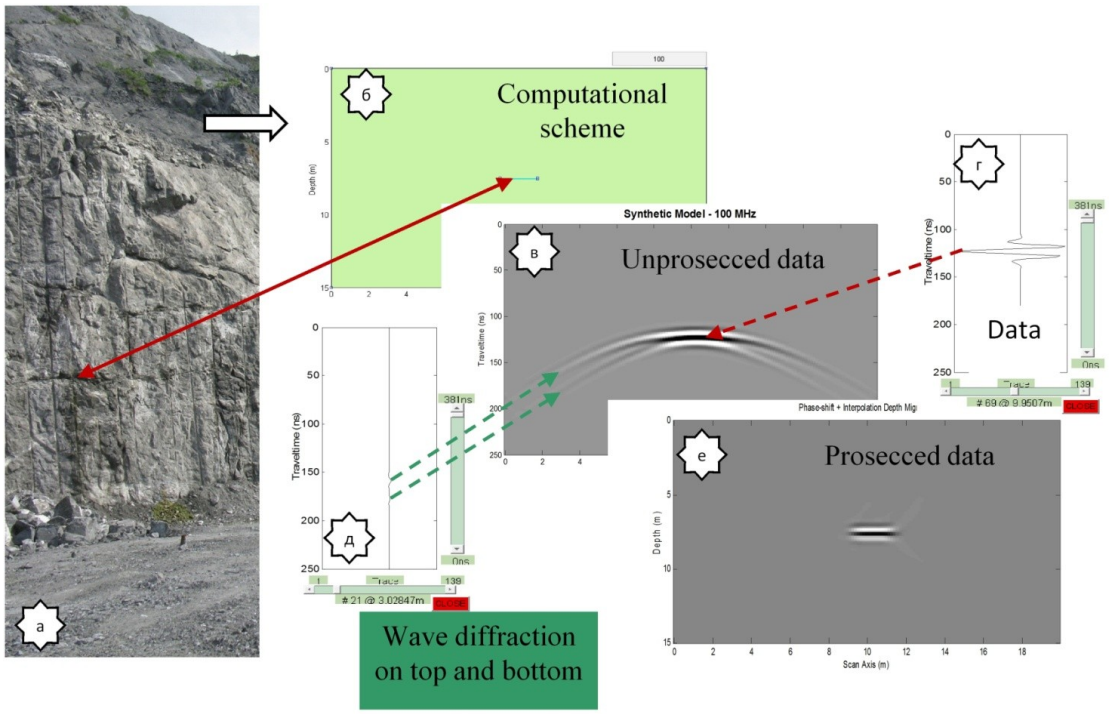


Рис. 1. Результаты моделирования электромагнитного поля, индуцируемого георадарным зондированием, в окрестности горизонтальной неоднородности

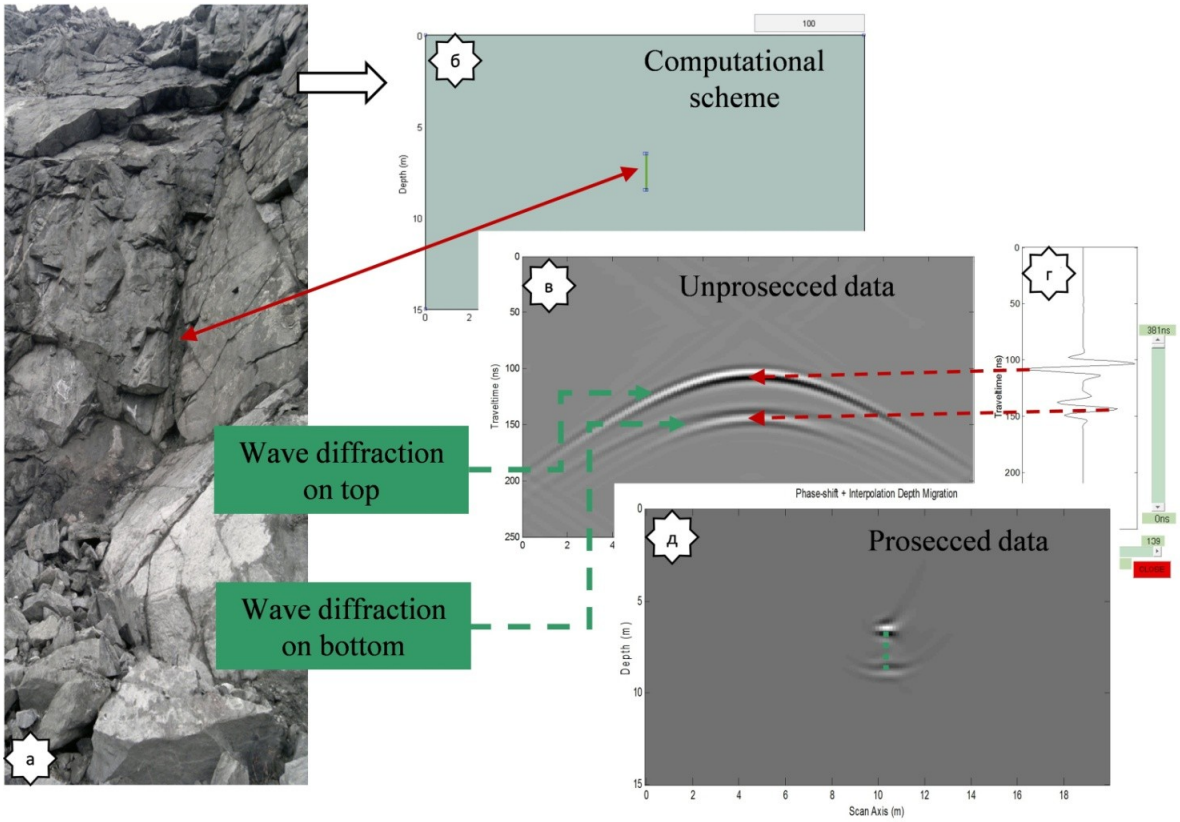


Рис. 2. Результаты моделирования электромагнитного поля, индуцируемого георадарным зондированием, в окрестности вертикальной неоднородности

На рис. 2, *г*, представлена волновая форма сигнала (трасса), проходящая непосредственно посередине неоднородности, которая содержит отражение только от концов объекта, т. е. фактически мы видим только начало и конец неоднородности.

Разная фаза амплитудных всплесков сигнала обусловлена изменением диэлектрической проницаемости объекта: в первом случае переход волны из меньшего (ненарушенного массива диэлектрическая проницаемость равна 6 ед.) значения в большее (нарушенный массив диэлектрическая проницаемость равна 12 ед.), а затем

наоборот (переход из 12 в 6 ед.). На рис. 2, *д*, представлена обработанная радарограмма, где мы видим только начало и конец неоднородности в виде отражений от локальных объектов, что затрудняет интерпретацию вертикальных объектов, а в отдельных случаях и вовсе приводит к невозможности определения.

Таким образом, в результате имитационного моделирования установлен механизм формирования особенностей волновой картины осей синфазности и амплитудных характеристик сигнала радарограммы скальных пород, ослабленных разнонаклонной неоднородностью. Выявлено, что по мере приближения к вертикальной или наклонной (равно как и горизонтальной) неоднородности в массиве скальных пород на радарограмме заблаговременно проявляются отражения в виде «хвостов» гипербол от границ неоднородности. Тем самым теоретически обоснованы принципы идентификации горизонтальных, наклонных и вертикальных зон неоднородностей и структурных нарушений в скальном массиве по волновым данным экспериментальных радарограмм посредством анализа осей синфазности сигналов.

Литература

1. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. М.: Изд-во МГУ, 2005. 153 с.
2. Исследования георадарами структуры и текущего состояния горных пород, слагающих уступы основного карьера Ковдорского ГОКа / А. И. Калашник и др. // Горн. журн. 2014. № 4. С.60–64.
3. Калашник А. И., Дьяков А. Ю. Оценка нарушенности скальных пород уступа карьера электромагнитным зондированием // Горн. информ.-аналит. бюл.: [Глубокие карьеры: спецвып. № 56] .2015. С. 230–238.
4. Подповерхностная радиолокация / М. И. Финкельштейн и др. М., 1994. 216 с.
5. Antonis G. Modeling ground penetrating radar using GprMax // Construction and Building Material. 2005. Vol. 19. P. 755–762.
6. Bano M. Constant dielectric losses of ground-penetrating radar waves // Geophysics. 1996. no. 124. p. 279–288.
7. Bentner A., Moore W., Antolovich M. Focusing ground penetrating radar images // Progress in Electromagnetics Res. 2011. No. 19. P. 183–195.
8. 5Topographic migration of 2D and 3D ground-penetrating radar data considering variable velocities / N. Allroggen et al. // Near Surface Geophysics. 2015. Vol. 13. P. 253–259.

А. С. Калюжный, А. В. Земцовский

Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, anton26@goi.kolasc.net.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ КАРЬЕРНОЙ ВЫЕМКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ОЛЕНИЙ РУЧЕЙ»

Месторождение «Олений ручей» расположено в юго-восточной части Хибинского массива, приурочено к участку выклинивания пород ийолит-уртитового комплекса. Рудная залежь простирается в сторону северо-востока с азимутом 35–40°. Протяженность рудной залежи составляет в среднем 3,2 км. Отмечается увеличение угла падения всех структурных элементов продуктивной зоны в направлении северо-восточного фланга месторождения от 30–40° на юго-западном фланге до 60–70° на северо-восточном [2]. По высотным отметкам выделяются верхняя зона рудопроявления, отрабатываемая открытым способом, и нижняя, залегающая на глубине более 1 км, отработка которой намечена подземным способом.

Основным элементом, оказывающим влияние на изменчивость параметров структурной нарушенности, является Главный разлом, мощность его зоны составляет порядка 1,5–2 м. На верхних горизонтах рудной залежи разлом располагается в лежачем боку, а на нижних – в пределах рудных тел нижнего яруса [2].

Вмещающие породы в преобладающем большинстве представлены ийолитами, уртитами, рисчорритами и мельтейгитами. Предел прочности пород вмещающего массива на одноосное сжатие составляет 100–300 МПа, руды — 60–120 МПа, коэффициент хрупкости — 6–12. Таким образом, вмещающие породы прибортового массива относятся к категории прочных скальных.

В середине 1980-х гг. был проведен комплекс исследований по определению уровня действующих напряжений в массиве пород. В пределах данного месторождения было выделено три характерные зоны [3]:

I — слабонапряженная зона ($\sigma_{max} \leq 20$ МПа), от поверхности до глубины 400 м;

II — средненапряженная зона (20 МПа $< \sigma_{max} <$ 40 МПа), от 400 до 1000 м;

III – сильнонапряженная зона ($\sigma_{max} \geq 40$ МПа), свыше 1000 м.

Необходимо также отметить, что с глубины 400 м от дневной поверхности месторождение отнесено к удароопасным.

Для исследования состояния массива в окрестности карьерной выемки месторождения «Олений ручей» был применен метод численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород. Моделирование было проведено методом конечных элементов и выполнено с использованием программного комплекса SigmaGT, созданного в Горном институте КНЦ РАН [1].

Ввиду схожести физических свойств вмещающих пород решено объединить все литологические разности в один тип. Руды также объединены в одну усредненную категорию. Породы Главного разлома

значительно слабее основных типов пород, а его мощность составляет в среднем 2 м. Характеристики основных категорий пород принятые в модели представлены в таблице.

Усредненные характеристики типов пород

Категория	Модуль упругости, 10^4 МПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м^3
Вмещающие породы	7,00	0,20	2650
Руда	4,00	0,35	3000
Породы Главного разлома	0,14	0,35	3000

На основе имеющихся данных о горно-геологической и геомеханической средах разработаны численные модели для расчета напряженно-деформируемого состояния прибортового массива пород в окрестности карьера рудника «Олений ручей». Размеры моделей в плане составили 5050×3050 м, высота — 1400 м. Модель разбита на 592 974 элементов с 616 000 узлами. В непосредственной близости от карьера располагается Ньоркпахкский карьер, а Главный разлом пересекает участок борта карьера со стороны лежачего бока рудного тела как это показано на рис. 1.

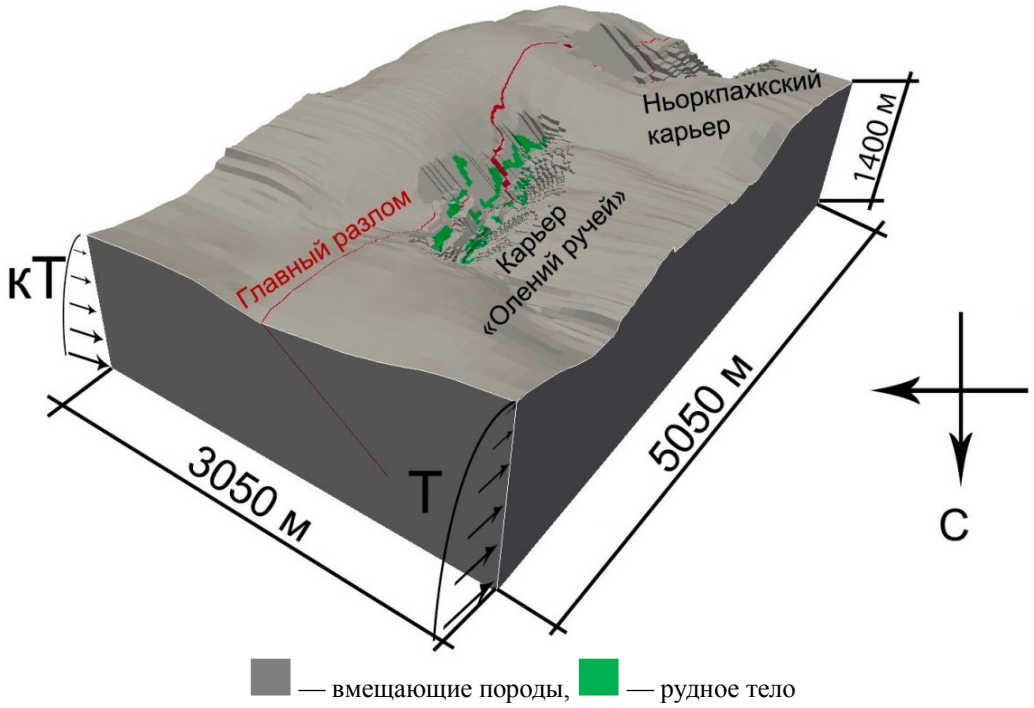


Рис. 1. Схема конечноэлементной модели массива пород месторождения Олений ручей с учетом карьера и главного разлома

Граничные условия для модели задавались на основе данных о трех зонах действующих в массиве напряжений [3]. На северо-восточную границу модели приложены усилия T, возрастающие от 1 МПа на дневной поверхности, до 40 МПа на нулевой отметке и 60 МПа на уровне дна модели; на юго-восточной границе задавали kT на тех же высотных плоскостях, где k — коэффициент бокового отпора, равный 0,65. Все остальные грани, кроме верхней, были закреплены.

Для более полного анализа геомеханических условий были рассмотрены следующие расчетные варианты:

- начальное состояние массива, без карьерных выемок;
- массив с карьерными выемками, имеющими текущее положение;
- модель с конечными контурами карьеров.

При начальном состоянии массива без карьерных выемок концентрации максимальной компоненты напряжений σ_{max} отмечаются лишь в долинах, что видно на продольном сечении по простиранию рудных тел (рис. 2, *а*). На поперечном сечении вкрест простирания рудных тел наблюдается значительное снижение σ_{max} до 7–10 МПа в зоне влияния Главного разлома (рис. 2, *б*).

Анализируя текущее состояние формирования карьерной выемки, на продольном сечении выделяются зоны концентрации σ_{max} до 45 МПа в сопряжении нижнего уступа и дна карьера, а также в районе долины (рис. 3, *а*). На поперечном сечении наблюдается аналогичное явление со снижением компоненты σ_{max} в зоне влияния Главного разлома до 3–4 МПа (рис. 3, *б*)

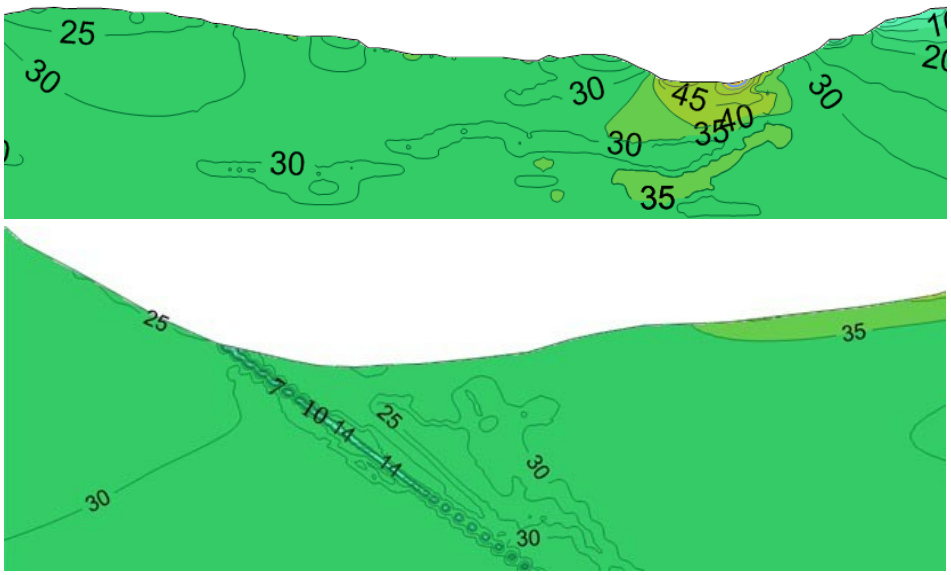


Рис. 2. Максимальные напряжения σ_{max} для условий исходного рельефа:
а — продольное сечение по простиранию рудных тел; *б* — поперечное сечение вкрест простирания рудных тел

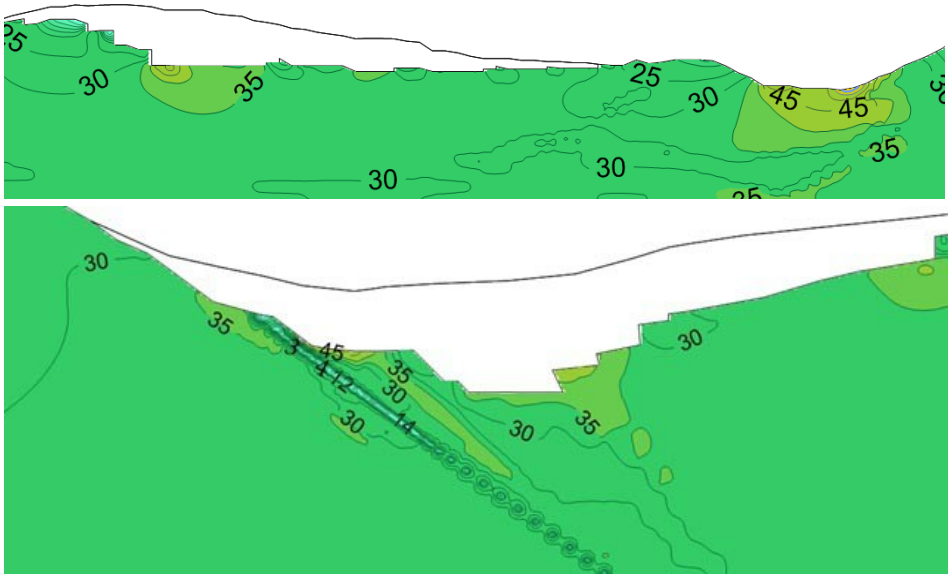


Рис. 3. Максимальные напряжения σ_{max} для условий существующей карьерной выемки:
а — продольное сечение; *б* — поперечное сечение

Из анализов результатов численного моделирования на продольном сечении (рис. 4, *а*) видно, что в верхней части карьера, где контур карьера сформирован в выпуклой форме, наблюдается снижение компоненты σ_{max} до 7–10 МПа, а под дном — увеличение до 50 МПа. На поперечном сечении модели (рис. 4, *б*) наблюдается аналогичная ситуация, где концентрация напряжений σ_{max} под дном карьера достигает 55–60 МПа, при этом в районе дна карьера, откуда начинает прослеживаться Главный разлом, σ_{max} составляет 15–20 МПа и уменьшается с глубиной.

Таким образом, максимальная компонента действующих напряжений σ_{max} составляет до 55–60 МПа в дне карьера, что немного меньше ½ среднего предела прочности вмещающих пород на сжатие, в результате чего проявление в динамической форме горного давления маловероятно.

Ввиду того, что Главный разом пересекающий участок борта карьера, находится со стороны лежачего бока рудного тела, а в некоторых местах он расположен в непосредственной близости от контура, то возникает необходимость рассмотреть такой случай более детально. Для исследования состояния данного участка борта карьера проанализируем минимальную компоненту главных напряжений σ_{min}. При этом в случае ее (σ_{min}) неблагоприятного ориентирования и при условии близкого или превышающего по абсолютному значению предел прочности на растяжение вмещающих пород, возможно формирование трещины отрыва, что в свою очередь может негативно отразиться на устойчивости уступа или групп уступов.



Рис. 4. Максимальные напряжения σ_{max} для условий проектного контура карьерной выемки:
а —продольное сечение; *б* — поперечное сечение

На рис. 5 представлено сечение вкрест простирания рудных тел, где разлом располагается вблизи сформированного контура карьера. Компонента σ_{min} принимает отрицательные значения вблизи Главного разлома, т. е. в зоне его влияния возникают растягивающие напряжения, что может привести к раскрытию трещин. При этом абсолютные значения σ_{min} близки к пределу прочности на растяжение вмещающих пород. Для более полного анализа на рис. 5 в центре концентрации σ_{min} нанесены линии, указывающие направление формирования площадок раскрытия потенциальных трещин. Видно, что положение возможных раскрытых трещин в этой плоскости имеет горизонтальное и субгоризонтальное направление. В перпендикулярной плоскости сечения данного участка наклон площадок, формирующих потенциальные трещины, изменяется от 25 до 40°.

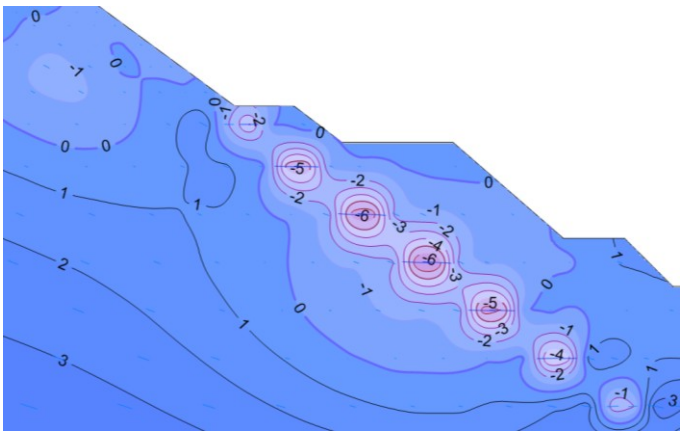


Рис. 5. Распределение минимальных напряжений σ_{min} вблизи Главного разлома

Таким образом, формирование трещин вследствие растягивающих напряжений возможно лишь в ненарушенном или слабонарушенном прибортовом массиве со стороны лежачего бока рудной залежи при близком (5–20 м) расположении Главного разлома к конечному контуру, при этом возникновение потенциальных призм обрушения маловероятно ввиду неблагоприятного направления раскрытия трещин.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. При формировании карьерной выемки в условиях гравитационно-тектонического поля напряжений концентрации максимальных напряжений σ_{max} образуются в местах сопряжения нижнего уступа и под дном карьера.

2. Значение максимальной компоненты σ_{max} не превышает ½ предела прочности вмещающих пород на одноосное сжатие, в результате чего проявление горного давления в динамических формах маловероятно.

3. Формирование трещин отрыва как следствие действия растягивающих напряжений в массиве пород возможно, но ввиду направления падения трещин вдоль линии простирания борта карьера образование потенциально неустойчивых блоков при данных размерах и форме карьерной выемки маловероятно.

Литература
1. Методика регионального прогноза удароопасности и состояния массива пород и выбора технических решений по обеспечению безопасности и эффективности горных работ / А. А. Козырев и др. // Инновационный потенциал Кольской науки. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 52–56.
2. Рыбин В. В., Калюжный А. С., Потапов Д. А. Геомеханическое обоснование параметров борта карьера на месторождении «Олений ручей» и мониторинг его устойчивости // Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: докл. Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием 24–27 сентября 2013 г. / Российская академия наук, Отделение наук о земле РАН, Горный ин-т Кольского научного центра РАН. Апатиты; СПб., 2013. С. 180–187.
3. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах / А. А. Козырев и др. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 159 с.

Э. В. Каспарьян, Ю. В. Федотова, Н. Н. Кузнецов
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, fjulia@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

Введение

С целью отражения особенностей геомеханического состояния массивов пород при разработке месторождений полезных ископаемых в каждом конкретном случае необходимо выполнять геодинамическое районирование недр [1], которое включает как выделение крупных структур — разломов и определение степени их активности, так и определение компонентов поля естественных напряжений.

При этом под геодинамически активными структурами, по современным представлениям, обычно понимаются разрывные нарушения, для которых в современный период наблюдаются существенные перемещения (деформации) и связанные с ними изменения (развитие малоамплитудных разрывов, флексур, послойных нарушений, раздувов и пережимов слоев и пластов и т. д.) геологической среды. Наиболее активными движениями обычно отличаются структуры самых крупных масштабных рангов, однако максимальная концентрация напряжений чаще приурочена к структурам среднего или самого мелкого масштабного ранга (более «молодым» в ряду иерархической подчиненности) [3, 9].

При ведении подземных горных работ наличие разрывных нарушений в пределах отрабатываемого месторождения приводят к рискам возникновения горных ударов регионального и локального происхождения, внезапных выбросов или обрушений кровли и других опасных событий геодинамической природы, или геодинамическим рискам. Причем зоны сопряжения геодинамически активных структур представляют собой наиболее опасные участки недр.

В последние годы внимание исследователей к вопросам влияния крупных структур на формирование напряженно-деформированного состояния массивов пород усилилось. Некоторые исследователи [5, 8] считают зоны глубинных разломов уникальными геологическими структурами, в которых происходит поглощение и трансформация подводимой извне механической энергии, при этом особые свойства тела разлома, в частности, пониженная плотность и повышенная деформируемость, могут приводить к выдавливанию материала-заполнителя разлома и его поднятию вверх по разрезу [6].

Развивая эти мысли, можно прийти к заключению, что если такие поднятия в силу каких-либо причин затруднены, то горизонтальные компоненты напряжений, обусловленных весом колонки внутриразломных пород, принципиально могут привести к формированию в нем деформаций растяжения и, в случае их достаточной величины, к раздвиганию бортов разлома. В свою очередь, силы давления на борта разлома теоретически будут вызывать в соседних структурных блоках, разделяемых разломом, избыточные напряжения, нормальные к плоскости разлома. Таким образом, направление избыточных напряжений будет определяться ориентацией разлома в пространстве. Если с этих позиций рассматривать не одиночный разлом, а системы разломов, то тогда становится понятным формирование в структурных блоках горизонтальных напряжений, общего поля напряжений и их различия в зависимости от ориентации.

Подобные причины формирования горизонтальных напряжений в массиве пород представляются достаточно реальными с точки зрения общего механизма. Однако если принимать во внимание величины реальных горизонтальных напряжений, которые фиксируются в массивах пород, то собственного веса столба пород внутри разлома для их достижения явно недостаточно. Исходя из этого, нами было выдвинуто предположение о постоянной подпитке энергией массивов пород из нижележащих слоев Земли, в первую очередь по глубинным разломам [11].

Эти вопросы имеют особую актуальность для массива пород Хибинских апатит-нефелиновых месторождений, где, как известно, впервые были обнаружены, измерены и опубликованы данные о весьма высоких горизонтальных напряжениях [2, 7, 10], обусловливающих активное проявление геодинамических проявлений горного давления в виде горных ударов и техногенных землетрясений.

С целью подтверждения высказанной гипотезы о постоянной энергетической подпитке массивов пород были выполнены исследования формирования полей напряжений вблизи разломов методом математического моделирования при различных вариантах граничных условий применительно к геомеханической ситуации, характерной для отрабатываемых апатит-нефелиновых месторождений Хибинского массива.

Объект исследования

В качестве основных объектов исследования изменений естественного поля напряжений массива горных пород вблизи разломов выбраны два месторождения апатит-нефелиновых руд Хибинского щелочного интрузива центрального типа — Кукисвумчоррское и Юкспорское, отрабатываемые Объединенным Кировским рудником (ОКР) АО «Апатит». Основными разломными структурами на данных месторождениях являются Северный и Саамский разломы.

Кукисвумчоррское и Юкспорское месторождения представляют собой части единой Кукисвумчорр-Расвумчоррской рудной залежи юго-западного рудного поля. Рельеф района Кукисвумчоррского и Юкспорского месторождений можно охарактеризовать, как сильно расчлененный: горный массив поднимается над окружающей холмистой равниной в среднем на 400–700 м (максимум на 1100 м) и разделен глубоко врезанными долинами преимущественно субширотного простирания. Северный разлом является северо-западной границей Кукисвумчоррского месторождения. Разлом, залегающий практически отвесно, вкрест простирания рудного тела на глубину ориентировочно 40 км, имеет сложное строение и мощность до 200 м. Саамский разлом является одновременно восточной границей Кукисвумчоррского месторождения и западной границей Юкспорского месторождения. Он залегает также практически отвесно вкрест простирания рудного тела на глубину ориентировочно 30 км. Разлом имеет сходное с Северным разломом строение и мощность до 136 м. Верхняя часть разломной зоны в пределах шахтного поля ОКР АО «Апатит» снята горными работами в Саамском карьере до глубины около 200 м.

Методы исследования и описание моделей

Исследования проводились с помощью численного моделирования методом конечных элементов в плоской постановке. Расчеты выполнены с использованием пробной версии программного обеспечения RS2 (Phase 2 9.0). Участок моделирования представляет собой гористую местность с высотами от 1000 до 1300 м, расчлененную двумя разломами. Первый (моделирует Северный разлом) имеет мощность около 200 м и квазипараллельные границы, второй (моделирует Саамский разлом) — конусовидной формы с мощностью от 300 м на поверхности до 80 м на глубине (рис. 1). На основании данных экспериментальных исследований [4] были заданы следующие средние значения физико-механических свойств блоков модели: разломные зоны (обозначены желтым цветом): собственный вес — 1,3 г/см^3; модуль упругости — 1,00 ГПа; коэффициент Пуассона — 0,49. Вмещающие породы (обозначены серым цветом): собственный вес — 2,5 г/см^3; модуль упругости — 72,2 ГПа; коэффициент Пуассона — 0,28. В модели учитывалось действие веса пород, при этом боковой отпор моделировался закреплением боковых граней модели. Верхняя (дневная поверхность) и нижняя грани принимались свободными, закрепленными или нагруженными в зависимости от конкретных вариантов граничных условий. С целью решения поставленных задач рассматривалось три варианта граничных условий.

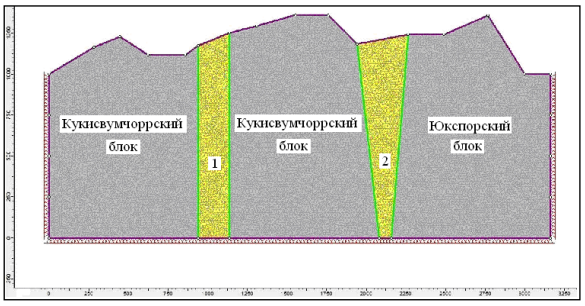


Рис. 1. Модель исследуемого участка массива пород:
Северный (1) и Саамский разломы (2)

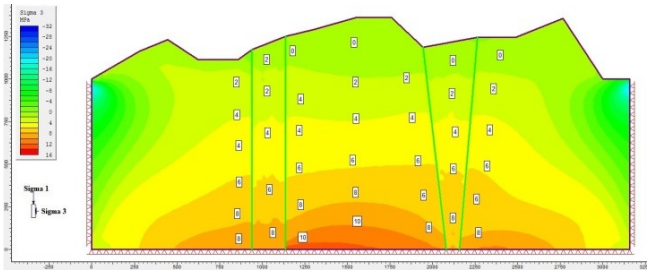


Рис. 2. I вариант. Распределение напряжений σ_3
в массиве пород в окрестности разломов
(цифры — величины напряжений в МПа)

Результаты исследований

I вариант. Верхняя грань модели свободна на всем своем протяжении, нижняя грань полностью закреплена. При этом моделируется случай, когда массив пород и разломы нагружаются только гравитационными силами (рис. 2). Как следует из данных рис. 2, в этом случае величины горизонтальных напряжений в межразломном пространстве не превышают 6 МПа.

II вариант. В этом варианте по нижней грани разломов приложена сосредоточенная нагрузка *F*, равная 150 МПа, а верхняя грань модели свободна на всем протяжении (рис. 3) или закреплена в области выхода разломов (рис. 4).

Из данных рис. 3 и 4 следует, что величины горизонтальных напряжений в межразломном массиве пород и в самих разломах изменяются незначительно при свободном и закрепленном состоянии разломов на поверхности.

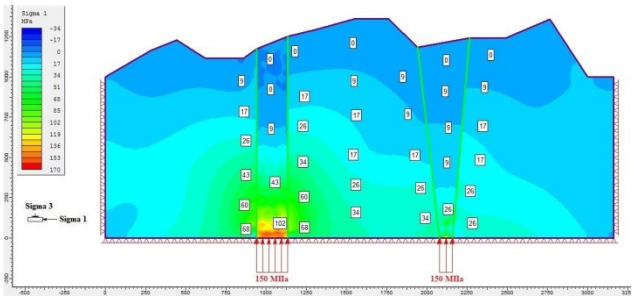


Рис. 3. II вариант. Распределение напряжений σ_1 в массиве пород при свободной поверхности (цифры – величины напряжений в МПа)

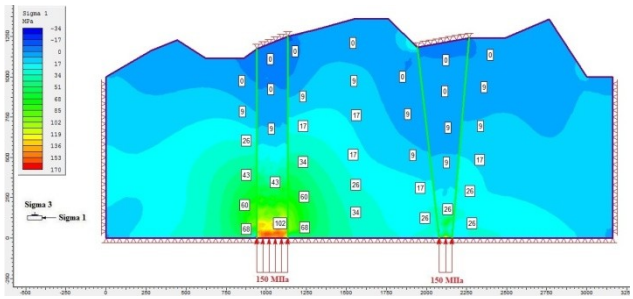


Рис. 4. II вариант. Распределение напряжений σ_1 в массиве пород при закреплении выходов разломов (цифры – величины напряжений в МПа)

Учитывая, что приложение нагрузок только к разломам маловероятно для тектонических условий каких-либо реальных участков массива пород, был рассмотрен III вариант моделей, когда нагрузка F, равная 150 МПа, приложена на всем протяжении нижней грани модели, а верхняя грань модели свободна на всем протяжении (рис. 5) или закреплена в области выхода разломов на дневную поверхность (рис. 6).

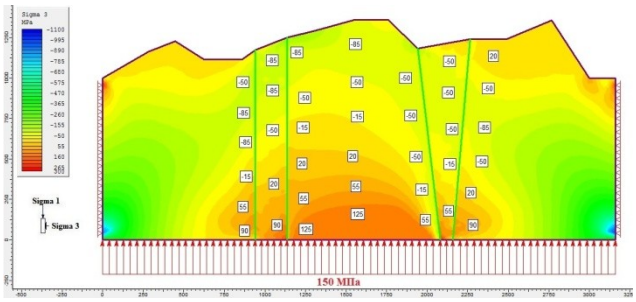


Рис. 5. III вариант. Распределение напряжений σ_3 в массиве пород при свободной поверхности (цифры – величины напряжений в МПа)

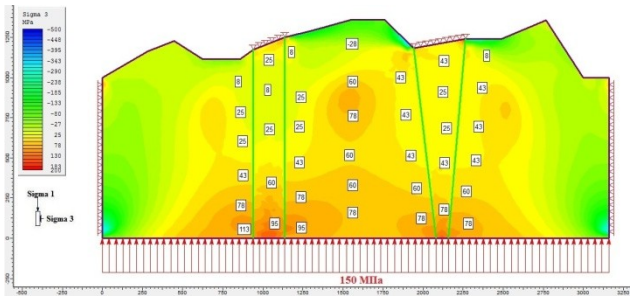


Рис. 6. III вариант. Распределение напряжений σ_3 в массиве пород при закреплении выходов разломов (цифры – величины напряжений в МПа)

Из данных рис. 5 следует, что при рассмотренных граничных условиях и, в частности, свободных выходах разломов, в межразломном массиве появляются существенные растягивающие горизонтальные напряжения. В то же время при закреплении выходов разломов (рис. 6) на большей части межразломного пространства наблюдается сжатие в пределах 25–80 МПа.

Таким образом, изменение граничных условий, особенно в части характера приложения нагрузок к нижней грани модели, весьма существенно изменяет распределение горизонтальных напряжений в моделируемом пространстве (между разломами), и модель с граничными условиями, представленными на рис. 6 в наибольшей степени отвечает реальному напряжённому состоянию массива Кукисвумчоррского месторождения.

Выводы

Полученные результаты моделирования подтверждают возможный механизм формирования горизонтальных компонент поля напряжений (в настоящее время обычно называемых тектоническими) в массивах пород, которые существенно превышают по величине вертикальные компоненты гравитационной природы. При этом наибольшее соответствие моделируемой ситуации реальному напряженному состоянию массива пород в условиях Кукисвумчоррского месторождения наблюдается при нагружении нижней грани массива распределенной нагрузкой и закреплении выходов разломов на дневную поверхность. Это означает, что принципиально процесс постоянной подпитки энергией через зоны глубинных разломов возможен и те разломы, по которым этот процесс происходит, целесообразно называть ***активными***. Подвижки берегов разломов, по которым в настоящее время принято оценивать степень активности разломов, следует рассматривать в общем случае как следствие процессов передачи энергии от глубинных слоёв Земли.

Литература

1. Геодинамическое районирование недр: методические указания / М-во угольной пром-ти СССР; Всесоюз. ордена Трудового Красного Знамени НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела, Кузбасский политехнический ин-т. Л., 1990.

2. Геомеханика: учебник:в 2 ч. / Э. В.Каспарьян и др. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2016. Ч. I. 271 с.; Ч. II. 322 с.
3. Кокс А., Харт Р. Тектоника плит: пер. с англ. М.: Мир, 1989.
4. Кузнецов Н. Н., Федотова Ю. В. Исследование энергонасыщенности расчетных моделей месторождений Хибинского массива // Теория и практика современной науки: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. (7–8 октября, 2015 г.). М.: Ин-т стратегических исследований/Перо, 2015. С. 129–136.
5. Кузьмин Ю. О., Жуков В. С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2004.
6. Летников Ф. А. Синергетика процессов в зонах глубинных разломов // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. 2009. Т. 2.
7. Марков Г. А. О модели формирования избыточных горизонтальных напряжений в горных породах под влиянием восходящих движений земной коры // Природа и методология определения тектонических напряжений в верхней части земной коры. Апатиты: КФ АН СССР, 1982.
8. Ребецкий Ю. Л. Разлом — особое геофизическое тело в земной коре // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. 2009. Т. 2.
9. Тектонические напряжения и устойчивость горных выработок / И. А. Турчанинов и др. Л.: Наука, 1978, 256 с.
10. Турчанинов И. А., Марков Г. А., Иванов В. И. О проявлениях горного давления в капитальных и подготовительных выработках на апатитовом руднике Расвумчорр // Технология разработки рудных месторождений Заполярья. М.-Л.: Наука, 1964. С. 71–74.
11. Федотова Ю. В., Каспарьян Э. В. Геомеханические исследования Саамского разлома // Материалы III конференции Ассоциации научных обществ Мурманской области и VI научной сессии Геологического института КНЦ РАН, посвященных Дню российской науки (Апатиты, 9–10 февраля 2015 г.). 2015. С. 34–41.

С. А. Козырев, В. Н. Камянский
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, skozirev@goi.kolasc.net.ru, kamyanski@goi.kolasc.net.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРИБОРТОВУЮ ОБЛАСТЬ УСТУПА

Одним из наиболее негативных эффектов взрыва при отбойке горной массы является чрезмерная нарушенность приконтурной области массива, напрямую влияющая как на устойчивость бортов карьера, так и на условия взрывания последующих выемочных единиц.

Минимизация законтурных разрушений при производстве взрывных работ на карьерах может быть достигнута путем выбора определенной схемы коммутации взрывной сети, представляющей собой совокупность средств взрывания и специальных соединительных компонентов, связывающих средства взрывания между собой и с внешним источником энергии.

В последнее десятилетие в связи с развитием взрывных технологий на многих предприятиях, разрабатывающих месторождения полезных ископаемых открытым способом, осуществлен переход на схемы короткозамедленного взрывания, в которых в роли соединительных компонентов выступают неэлектрические системы инициирования (НСИ). Обуривание взрывных блоков происходит по квадратной либо шахматной сетке, при этом схемы коммутации зарядов при использовании в поверхностной взрывной сети НСИ могут быть различными. В связи с этим взрывные диагонали могут быть ориентированы по отношению к вмещающему массиву различным образом. Соответственно угол между массивом и взрывной диагональю (отбиваемым слоем) может меняться в широких пределах. В соответствии с вышеизложенным целью исследования является установление влияния ориентации отбиваемого слоя на состояние приконтурного массива при различных интервалах замедления между скважинными зарядами.

Для учета этих факторов было выполнено математическое моделирование в программном продукте Ansys Autodyn, реализующего МКЭ для решения задач сложной нелинейной динамики твердых тел, жидкостей, газов и их взаимодействия. Одной из главных уникальных особенностей данного расчетного модуля является хорошо разработанный алгоритм связывания различных решателей. Алгоритм связывания эйлеровой расчетной сетки с лагранжевой делает возможным решение задач взаимодействия течения жидкостей и газов с твердыми телами [1].

Методы исследований и результаты

С целью определения влияния направления отбойки на законтурные разрушения разработана модель взрывания скважинных зарядов в двухмерной постановке. В модели рассматриваются углы сопряжения отбиваемого слоя с вмещающим массивом 75°, 90° и 105°. На рис. 1 приведен пример исходной геометрии модели с углом наклона отбиваемого слоя 75°. Интервалы замедления между скважинными зарядами в ряду — 67 и 17 мс, между рядами — 42 мс. В качестве взрывчатого вещества выбрано ANFO (ρ = 930 кг/м³; D = 4160 м/с; Q = 2500 МДж/м^3; P = 5,15 ГПа). Тип горной породы – апатит-нефелиновая руда (ρ = 3000 кг/м³; $V_р$ = 4200 м/с; $\sigma_{сж}$ = 160 МПа; $\sigma_р$ = 16 МПа; υ = 0.25; G = 25 ГПа). Основные этапы моделирования включают: построение геометрии, дискретизацию геометрии расчетной сеткой, задание начальных и граничных условий.



а *б*

Рис. 1. Исходная геометрия модели:
а — с одним рядом скважин; *б* — с двумя рядами

В качестве уравнения состояния взрывчатого вещества выбрано уравнение Джонса — Уилкинса — Ли (JWL), описывающее поведение продуктов детонации (1):

$$P = A\left(1 - \frac{w}{R_1 V}\right)\mathrm{e}^{-R_1 V} + \mathrm{B}\left(1 - \frac{w}{R_2 V}\right)\mathrm{e}^{-R_2 V} + \frac{wE}{V}, \quad (1)$$

где P — давление продуктов детонации, Па; V — относительный удельный объем; E — удельная внутренняя энергия, Дж/м^3; A, B, R_1, R_2, w — эмпирические константы.

Для ANFO значения параметров равны: A — 49,46 ГПа; B — 1,89 ГПа; R_1—3,91; R_2 — 1,12; w — 0,33. Подробное описание уравнения представлено в работе [2].

В качестве уравнения состояния горной породы выбрано уравнение состояния пористых сред, дополненное уравнением ударной адиабаты (2):

$$U_s = C_0 + S_1 U_p + S_2 U_p^2, \quad (2)$$

где C_0 — скорость звука в породе, м/с; $U_\text{р}$ — массовая скорость, м/с; S_1, S_2, — эмпирические константы, $S_1 = 1{,}5$; $S_2 = 0$.

Прочность горной породы описывается RHT-моделью прочности (Riedel-Hiermaier-Thoma), которая описывает поведение упругопластического тела с упрочнением. Подробное описание модели приведено в работах [4, 5].

Для того чтобы моделируемый процесс разрушения отражал реальную картину, необходим учет естественной неоднородности материала модели, что достигается введением вероятностного закона распределения начальных отклонений прочностных свойств в рассматриваемом объеме. В данном случае процесс разрушения приобретает вероятностный характер, что наиболее полно соответствует реальному процессу разрушения. В качестве функции распределения вероятности используется закон распределения Мотта для фрагментации твердых сред, представленный в виде (3):

$$P(\varepsilon) = 1 - e^{\left[-\frac{C}{\gamma}(e^{\gamma\varepsilon}-1)\right]}, \quad (3)$$

где P — вероятность возникновения трещины; ε — деформация; γ — дисперсия; C — постоянная материала [3].

Массив моделируется путем привязки геометрии к лагранжевому решателю, а взрывчатое вещество, продукты детонации и окружающая среда — посредством многокомпонентного эйлерового решателя.

На рис. 2 приведена картина распределения поля тангенциальных напряжений и трещинообразования от взрыва ряда скважин, взрываемых с замедлением 67 мс, на рис. 3 — при взрыве двух рядов с тем же замедлением, на рис. 4 — при взрыве двух рядов с замедлением 17 мс.

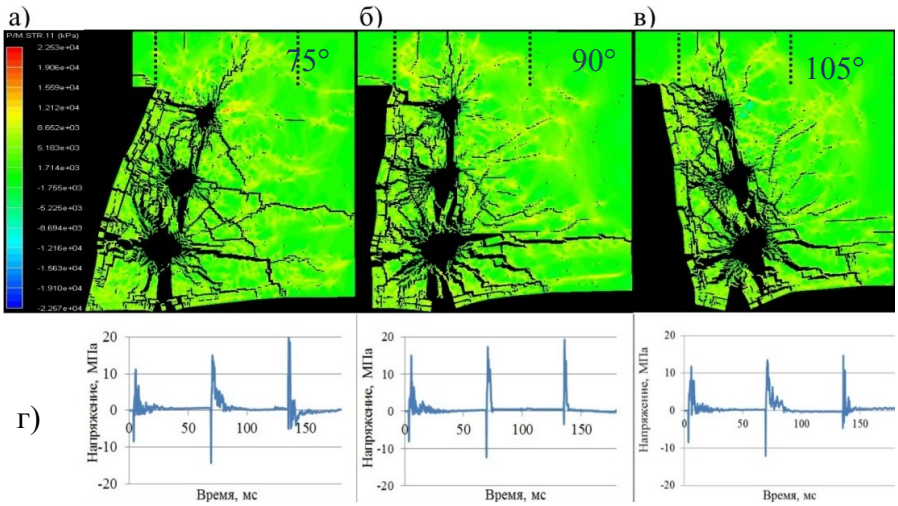


Рис. 2. Развитие зон разрушения при взрыве одного ряда скважин с замедлением между скважинами 67 мс (а, б, в) и эпюры тангенциальных напряжений (г) при различной ориентировке направления отбойки

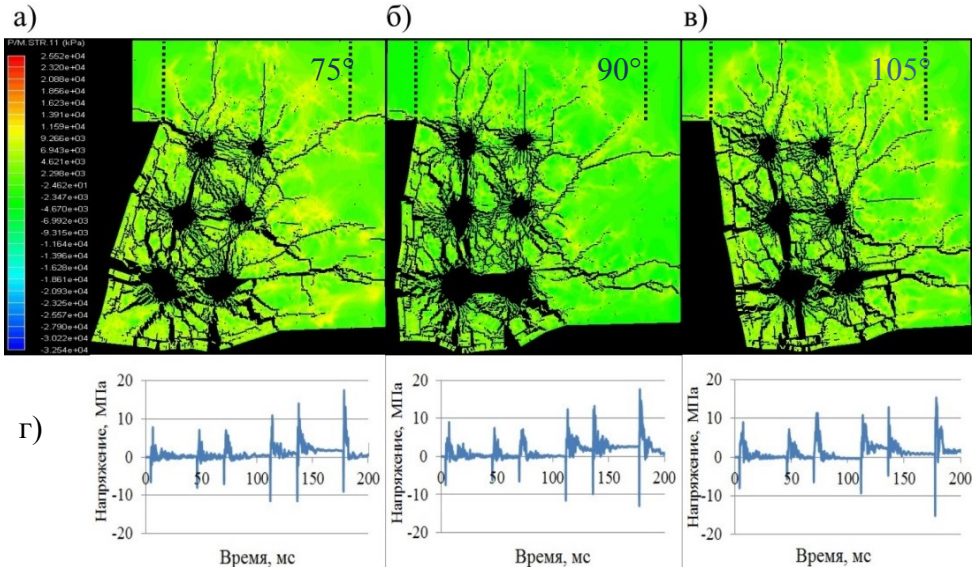


Рис. 3. Развитие зон разрушения при взрыве двух рядов скважин с замедлением между скважинами 67 мс и между рядами 42 мс (а, б, в) и эпюры тангенциальных напряжений (г) при различной ориентировке направления отбойки

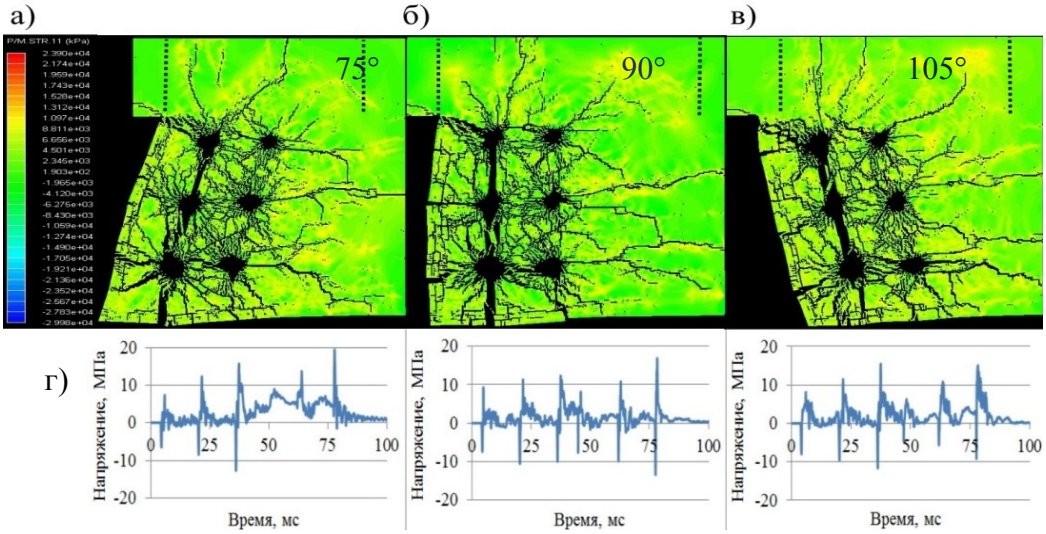


Рис. 4. Развитие зон разрушения при взрыве двух рядов скважин с замедлением между скважинами 17 мс и между рядами 42 мс (а, б, в) и эпюры тангенциальных напряжений (г) при различной ориентировке направления отбойки

Анализ распределения полей напряжений при взрыве одного ряда скважин с замедлением 67 мс показывает, что размер зоны повышенных напряжений составляет приблизительно 105, 85 и 65 радиусов заряда при углах 75°, 90° и 105° соответственно, а тангенциальные напряжения для этих углов составляют 20, 19 и 15 МПа.

При взрыве двух рядов скважин при угле 75° зона повышенных напряжений увеличивается и имеет размеры 160 радиусов зарядов, при углах 90° и 105° — 150 и 130 радиусов заряда соответственно, а пиковые значения тангенциальных напряжений при этом составляют 18 МПа при углах 75° и 90° и 15 МПа при 105°.

При рассмотрении взрыва скважинных зарядов с замедлением 17 мс установлено, что зона повышенных напряжений составляет 150, 170 и 140 радиусов заряда при углах отбиваемого слоя 75°, 90° и 105°; пиковые значения напряжений составляют 20,18 и 15 МПа при углах 75°, 90° и 105°.

Выводы

По результатам численного моделирования установлено, что пространственное положение взрывных диагоналей влияет на НДС приконтурного массива горных пород. Из представленных данных следует, что наименее сейсмоопасной является схема взрывания с расположением рядов скважин под углом 105° к борту уступа. При этом уровень напряжений в законтурном массиве снижается на 20–30 % по сравнению с другими направлениями отбойки. Взрывание второго и последующих рядов приводит к увеличению зоны трещинообразования.

Литература
1. Ansys inc. Autodyn. Explicit software for non-linear dynamics: theory manual // Ansys inc. 2005. 235 p.
2. 2Determination of detonation products equation of state from cylinder test: analytical model and numerical analysis / P. M. Elek et al. // Thermal science. 2015. Vol. 19, No. 1. P. 35–48.
3. Mott N. F. A theory of the fragmentation of shells and bombs. Ministry of Supply AC4035. 1963.
4. Penetration of reinforced concrete by BETA-B-500. Numerical analysis using a new macroscopic concrete model for hydrocodes / W. Riedel et al. // Proc. 9th Intern. Symp. on interaction of the effects of munitions with structures. Berlin, 1999. P. 315–322.
5. Yun S. H., Park T. Multi-psysics blast analysis of reinforced high strength concrete // J. civil engineering. 2013. Vol. 17, No. 7. P.777–788.

С. А. Козырев, И. А. Аленичев, Е. А. Усачев, А. В. Соколов
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, skozirev@goi.kolasc.net.ru, igor-alenichev@ya.ru

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА БОРТАХ КАРЬЕРА РУДНИКА «ЖЕЛЕЗНЫЙ»

В связи с увеличением глубины действующего карьера рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК», времени его отработки и постоянного проведения массовых взрывов одной из главных задач является обеспечение долговременной устойчивости породных уступов как рабочих, так и поставленных в конечное положение. Несмотря на достигнутые успехи по обеспечению сейсмобезопасных параметров взрывных работ, в карьере происходят различного рода деформации в виде вывалов и осыпей трещиноватых и дезинтегрированных пород, оползней-обрушений, клиновидных (призматических) обрушений, плоскостных обрушений.

Всего по данным службы мониторинга устойчивости уступов рудника «Железный», на начало 2017 года составлено 22 паспорта потерь устойчивости как отдельных уступов, так и их групп. Анализ представленной информации показывает, что потери устойчивости связаны как со свободным обрушением, так и от воздействия технологических взрывов. В качестве примера, на рис. 1 показаны обрушения, произошедшие во время выполнения сейсмозамеров в 2016 г. Поэтому достаточно важной является оценка критичности динамического нагружения породных уступов карьера «Железный» при производстве массовых взрывов.

Оценку степени критичности динамического нагружения породных уступов при производстве массовых взрывов в карьерных условиях производили по двум критериям: скорости смещения, определяющей степень нарушенности массива горных пород при прохождении сейсмовзрывной волны, и ускорения непосредственно в прибортовой части массива, способного за счет действия инерционных сил изменять начальное состояние породы и привести к местным обрушениям, отдельным вывалам кусков породы и дополнительному раскрытию естественных трещин.

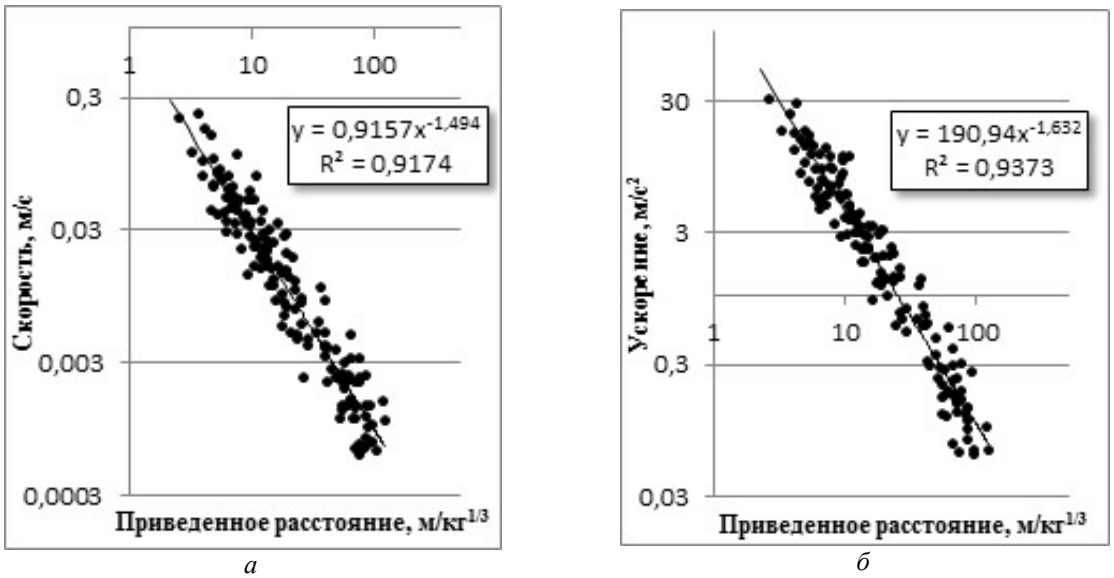
Для оценки степени критичности динамического нагружения породных уступов выполнены длительные сейсмонаблюдения в условиях карьера рудника «Железный». Измерения проводили с использованием комплекта аппаратуры фирмы «Instantel» (Канада), включающего 8-канальный сейсмоизмеритель «MinimatePlus» (серия III) и стандартные трехкомпонентные сейсмоприемники (ISEE версия, рабочий диапазон частот 2–250 Гц). Полученные результаты обрабатывали с помощью специализированного программного обеспечения «Blast ware advanced module» (Канада) по методике, которая основана на общеизвестных предпосылках о сейсмическом эффекте взрыва М. А. Садовского [1, 2, 3].



а *б*

Рис. 1. Фотографии деформаций уступов:
а — во время и *б* — через 15–30 мин после производства массовых взрывов

По результатам обработки порядка 108 сейсмограмм построены зависимости скорости смещения и ускорения от приведенного расстояния (рис. 2).



а *б*

Рис. 2. Зависимости скорости смещения (*а*) и ускорения (*б*) от приведенного расстояния

Обработка результатов измерений позволила получить следующие эмпирические зависимости:

- для скорости смещения, м/с:

$$\upsilon = \frac{0{,}9157}{(0{,}3 \cdot N)^{1{,}477/3}} \left(\frac{\sqrt[3]{Q_\Sigma}}{r} \right)^{1{,}494}; \; \upsilon = 0{,}9157 \left(\frac{\sqrt[3]{Q_{\text{ст(max)}}}}{r} \right)^{1{,}494}, \tag{1}$$

- для ускорения, м/с^2:

$$a = \frac{190{,}94}{(0{,}3 \cdot N)^{1{,}617/3}} \left(\frac{\sqrt[3]{Q_\Sigma}}{r} \right)^{1{,}632}; \; a = 190{,}94 \left(\frac{\sqrt[3]{Q_{\text{ст(max)}}}}{r} \right)^{1{,}632}, \tag{2}$$

- радиус сейсмоопасной зоны, м:

$$r = \frac{0{,}943 \cdot \sqrt[3]{Q_{\text{ст(max)}}}}{\upsilon^{0{,}669}}, \text{ м},$$

где Q_Σ — общая масса взрывчатого вещества на блоке, кг; $Q_{\text{ст(max)}}$ — максимальное количество взрывчатых веществ на ступень замедления, кг; N — количество ступеней замедления на блоке, шт; r — ближайшее расстояние от места взрыва до сейсмодатчика, м.

Зная допустимые скорости смещения для данного типа пород, можно определить радиус сейсмоопасной зоны. В качестве примера выполнен расчет зоны проявления остаточных деформаций для карбонатитов при ***допустимой скорости смещения*** $V_{\text{доп}}$ = 12 см/с и массе взрывчатых веществ на ступень замедления — 2200 кг.

$$R = \frac{0{,}943 \cdot \sqrt[3]{Q_{\text{ст(max)}}}}{\upsilon^{0{,}669}} = \frac{0{,}943 \cdot \sqrt[3]{2200}}{0{,}12^{0{,}669}} = 50{,}6 \text{ м} \cdot$$

Полученные значения зоны разуплотнения и остаточных деформаций удовлетворительно совпадают с реальным разуплотнением зафиксированном на карьере рудника «Железный» (рис. 3).

Устойчивость породных откосов зависит от силы инерции, возникающей в элементах откоса в результате прохождения сейсмических волн. Поскольку любой механический колебательный процесс является результатом действия внешней силы, а ее величина определяется величиной ускорения, в качестве базового параметра оценки интенсивности динамического воздействия принимается величина ускорения внешней силы (α, м/с^2).

Как правило, наибольшему сейсмическому воздействию подвержены вышележащие от взрыва уступы, в откосах которых и происходят обрушения. При такой схеме воздействия сейсмовзрывной волны ускорения, полученные на поверхности вышележащего уступа, не будут соответствовать ускорениям во внутренних точках массива самого уступа. Для подтверждения этого положения были выполнены замеры на поверхности уступа с помощью комплекта аппаратуры фирмы «Instantel» вблизи скважин сейсмического мониторинга системы ISS. Результаты замеров сравнивались с данными, полученными данной системой (рис. 4). Результаты измерений представлены в таблице.



Рис. 3. Вспучивание и разуплотнение массива за контуром отбойки

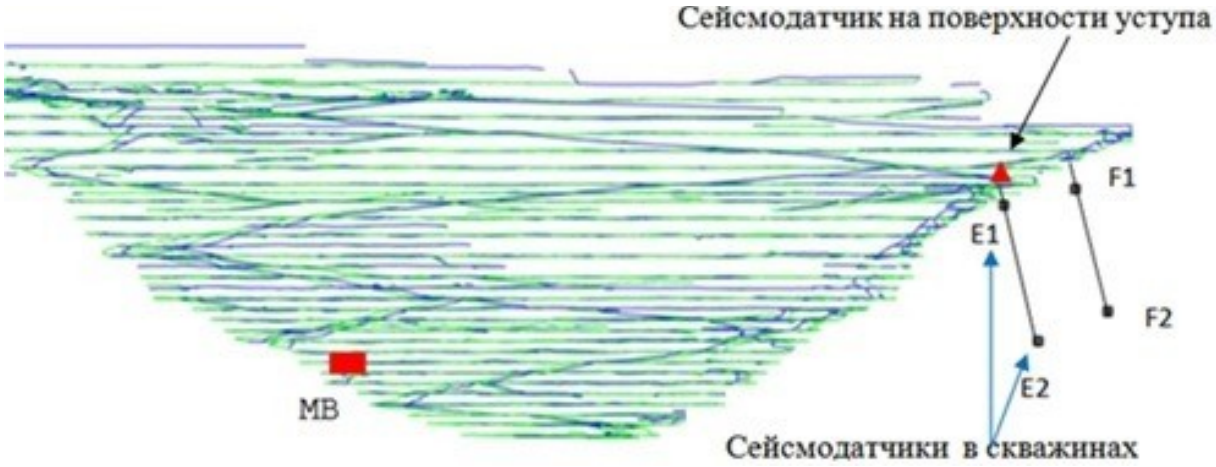


Рис. 4. Схема сейсмоизмерений на поверхности уступа и в глубине массива при производстве массовых взрывов

Результаты измерений на поверхности уступа и в глубине массива при производстве массовых взрывов на горизонтах -185 и +118 м

Место взрыва	Смещение, мм	Скорость, мм/с	Ускорение, мм/с^2
ДКК (поверхность, уступ +144 м)			
Блок -185 м	0,0290	1,445	168,4
Блок +118 м	0,0392	2,405	193,1
Е1 (-113 м)			
Блок -185 м	0,0020	0,143	38,2
Блок +118 м	0,0088	0,441	77,9
Е2 (-80 м)			
Блок -185 м	0,0010	0,274	114,8
Блок +118 м	0,0024	0,473	171,9

Сравнение результатов измерений на поверхности и в точке Е1 показывает, что при взрыве на гор. -185 м на глубине 30 м от поверхности по скорости смещения их значения на поверхности отличаются в 10 раз, а по ускорению — в 4,4 раза, а при взрыве на гор. +118 м — по скорости смещения — в 5,5 раза, по ускорению — в 2,5 раза. То есть коэффициент усиления на поверхности зависит от направления прихода сейсмической волны и может отличаться в два раза.

Поэтому для дальнейших расчетов были приняты следующие допущения. Коэффициент усиления принят как среднее между измеренным и расчетным. С учетом этого коэффициента эмпирические формулы для расчета ускорений (2) преобразованы к следующему виду:

$$a = 286{,}13\left(\frac{\sqrt[3]{0{,}431 Q_{\text{ст(max)}}}}{r}\right)^{1{,}601}, \text{ м/с}^2.$$

Таким образом, зная допустимые ускорения применительно к устойчивости уступа, можно оперативно корректировать максимальное количество взрывчатых веществ на ступень замедления и тем самым уменьшить вероятность потери устойчивости уступов или групп уступов.

Выводы

В результате сейсмического мониторинга массовых взрывов на карьере рудника «Железный» определены эмпирические зависимости скоростей смещения и ускорения смещения породных уступов от приведенного расстояния. С их помощью с достаточной точностью можно определить степень нарушенности, а следовательно и радиус сейсмоопасной зоны, а также оценить вероятность потери устойчивости уступов или групп уступов.

Литература

1. Садовский М. А. О местном действии взрыва // Труды Сейсмологич. ин-та АН СССР. 1941. Вып. 111. С. 20.
2. Садовский, М. А. Простейшие приемы определения сейсмической опасности при взрывах. М.: ИГД им. А. А. Скочинского АН СССР, 1946. 29 с.
3. Фокин В. А. Методические аспекты анализа технологической информации при производстве буровзрывных работ в условиях карьеров / Горн. ин-т КНЦ РАН. Апатиты, 2015. 133 с.

С. А. Козырев, П. В. Амосов

Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия, vosoma@goi.kolasc.net.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОВЕТРИВАНИЯ ОДИНОЧНОЙ ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКИ С УЧЕТОМ УТЕЧКИ-ПОДСОСА ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ЗОНУ ОБРУШЕНИЯ

Применение высокопроизводительных систем разработки с обрушением руды и покрывающих пород при добыче полезных ископаемых на мощных месторождениях приводит к образованию зон обрушения. Образование аэродинамической связи горных выработок с поверхностью через зону обрушения оказывает существенное влияние на вентиляционную систему рудника. Утечка воздуха или подсос проявляются в том, что они изменяют количество доходящего до забоев воздуха и нарушают планируемый воздухообмен в блоках и отдельных забоях. Изучению явлений, связанных с фильтрационными процессами, протекающими в пористых средах обрушенных зон, посвящено значительное количество исследований, которые были направлены в основном на установление количественных значений суммарных утечек по отдельным участкам, блокам и в целом по руднику. Однако до настоящего времени недостаточно изучен вопрос проветривания тупиковой выработки, соприкасающейся со стороны ее торца с обрушенными рудами и породами при наличии утечки-подсоса воздуха через зону обрушения.

Данные условия характерны для системы разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды, в которой проветривание выработок, расположенных сбоку от основной выработки, осуществляется посредством эжектирующего действия вентиляционной струи воздуха, проходящей в основной выработке, проветриваемой за счет общешахтной депрессии. При этом утечка максимально проявляется в летний, самый тяжелый для вентиляции период года[*], когда более 40 % подаваемого в рудник воздуха теряется, не доходя до эксплуатационных участков, а подсос — в зимний период.

Эффективность выноса вредных примесей из тупикового забоя зависит от геометрических параметров горной выработки и ее длины. Основным параметром, помимо геометрических характеристик выработки, влияющим на эффективность проветривания за счет механизма турбулентной диффузии, является скорость воздуха в примыкающей основной выработке. Влияние утечки-подсоса воздуха через зону обрушения при

[*] Алехичев С. П., Пучков Л. А. Аэродинамика зон обрушения и расчет блоковых утечек воздуха. Л.: Наука, 1968. 67 с.

проветривании тупиковой выработки, соприкасающейся с обрушенными рудами и породами, с учетом указанного выше механизма переноса ранее практически не учитывалось.

На данном этапе исследований рассмотрена длина тупиковой выработки 20 м, при которой, согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых», не допускается проветривание за счет турбулентной диффузии. Строго говоря, наличие в тупиковой выработке утечки-подсоса воздуха переводит процесс ее проветривания в другую категорию, поскольку помимо механизма турбулентной диффузии начинает «работать» целенаправленный конвективный перенос, обусловленный не только движением воздуха по основной выработке.

Моделирование процесса проветривания одиночной тупиковой выработки с учетом утечки-подсоса в зону обрушения выполнено на упрощенной геометрии, когда все горные выработки представлены в форме прямоугольных параллелепипедов. Область моделирования (см. рис. 1) включает основную выработку размером 30×5×5 м и перпендикулярную ей тупиковую выработку с тем же самым поперечным сечением 5×5 м и размером 20 м вдоль оси *Y*. Вся моделируемая область построена из трех сопряженных проницаемыми границами объемов: основная выработка (I), сопряженная с ней первая часть тупиковой выработки (II) и вторая часть тупиковой выработки (III). Направление воздушного потока в основной выработке выбрано вдоль оси *X*. Направление утечки — вдоль оси *Y*.

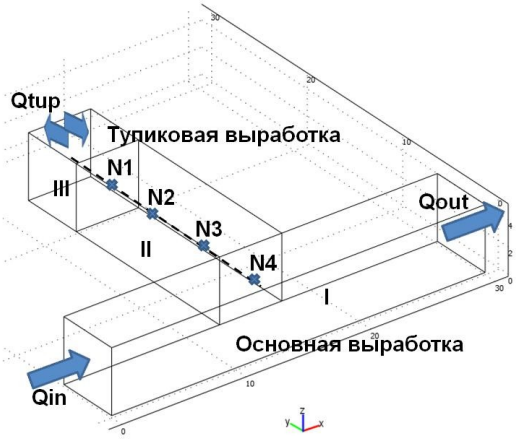


Рис. 1. Геометрия моделируемой области (основная выработка 30×5×5 м, тупиковая выработка 20×5×5 м) и точки контроля концентрации загрязнения (N1, N2, N3, N4)

Применительно к системе разработки с подэтажным обрушением, применяемой на подземных рудниках АО «Апатит», для одиночной тупиковой выработки, соприкасающейся с обрушенными рудами и породами, по данным депрессионной съемки[**], величина утечки в среднем составляет 0,02–0,07 м^3/с. Указанный диапазон значений был использован авторами при моделировании процесса проветривания, в т. ч. и при учете подсоса.

Расход воздуха, поступающего в основную выработку Q_{in}, рассмотрен в диапазоне от 6,25 до 50,0 м^3/с. Для каждого варианта выбранного расхода воздуха Q_{in} рассмотрено пять ситуаций, различающихся расходами воздуха через зону обрушения Q_{tup}: базовый (без утечки воздуха $Q_{tup} = 0$); утечка-подсос составляет ±0,02 м^3/с; утечка-подсос составляет ±0,07 м^3/с.

На первом этапе моделирования выполнялся расчет аэродинамических процессов в горных выработках с привлечением стандартной (k–ε)-модели турбулентности, а на втором этапе моделировался процесс выноса вредных примесей заданной начальной концентрации из выработки путем решения конвективно-диффузионного уравнения и выбора осредненного по объему моделирования коэффициента турбулентной динамической вязкости с переходом к коэффициенту турбулентной диффузии через число Прандтля — Шмидта. Для выполнения расчетов была использована программа COMSOL.

При выполнении расчетов и последующего анализа результатов принято, что уровень C_0 начального загрязнения атмосферы второй части (III) тупиковой выработки равен 125 ПДК (по условным окислам углерода). Численное интегрирование нестационарного конвективно-диффузионного уравнения переноса пассивной примеси завершалось по достижении во всей области моделирования концентрации на уровне ПДК.

Основной целью исследования являлось определение влияния утечки-подсоса воздуха на время достижения нормативного уровня загазованности в тупиковой выработке по сравнению с базовой ситуацией $Q_{tup} = 0$.

Результаты расчетов времени проветривания T в соответствии с указанными выше расходами воздуха на входе основной выработки Q_{in} и утечки-подсоса через торец тупиковой Q_{tup} представлены в графической форме на рис. 2. Все графики рис. 2 с коэффициентами достоверности R^2 не ниже 0,987 аппроксимируются степенной функцией $T = A \cdot Q_{in}^{-B}$ со своими коэффициентами аппроксимации A и B для рассматриваемых вариантов утечки-подсоса. Результаты аппроксимации приведены в таблице.

[**] Там же.

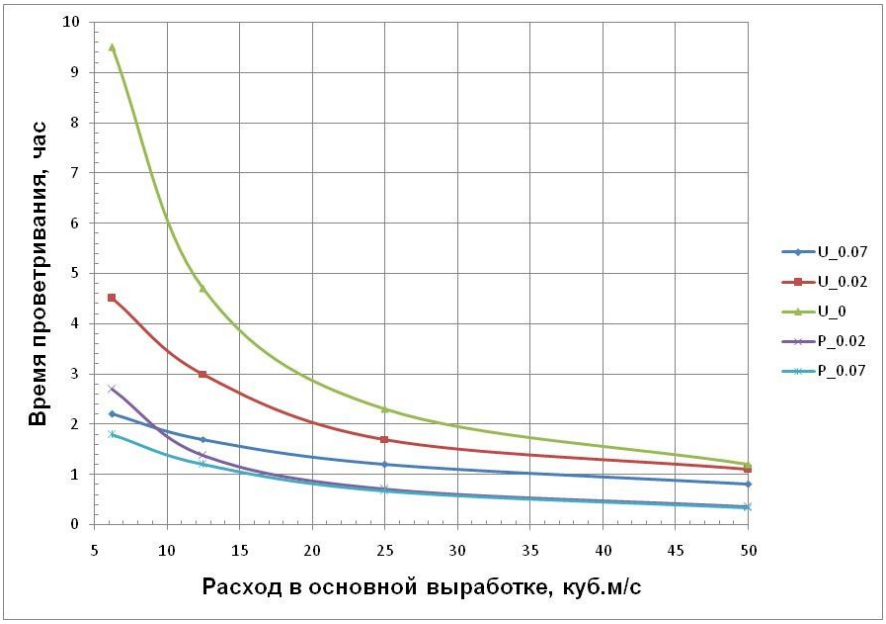


Рис. 2. Прогнозное время проветривания тупиковой выработки в зависимости от расхода воздуха в основной выработке с учетом утечки(U)-подсоса(P) через зону обрушения

Коэффициенты аппроксимации степенной функции $T = A \cdot Q_{\text{in}}^{-B}$ времени проветривания T тупиковой выработки в зависимости от расхода воздуха Q_{in} по основной выработке при вариации утечки-подсоса Q_{tup}

Q_{tup}, м^3/с	A	B	R^2	Q_{tup}, м^3/с	A	B	R^2
Утечка –0,07	5,592	0,48	0,990	Подсос +0,02	16,410	0,98	0,999
Утечка –0,02	16,340	0,69	0,996	Подсос +0,07	8,395	0,80	0,987
0	58,650	0,99	0,999				

Из расчетов следует, что максимальное время проветривания имеет место при отсутствии утечки-подсоса. В этом случае время проветривания меняется от самого продолжительного (почти 9,5 ч) при минимальном значении Q_{in} до 1,2 ч при максимальном расходе воздуха по основной выработке. При учете утечки-подсоса имеем существенное снижение времени проветривания. Причем эффект подсоса более существенный. В первую очередь в терминах абсолютных величин этот эффект имеет место при малых расходах воздуха по основной выработке. Например, при минимальном расходе воздуха по основной выработке при утечке 0.02 м^3/с время проветривания сокращается до 4,5 ч, тогда как подсос при том же уровне расхода обеспечивает нормативную чистоту в тупиковой выработке уже через 2,7 ч. Дальнейшее увеличение расхода утечки-подсоса до 0,07 м^3/с еще больше сокращает время проветривания: в случае утечки до 2,2 ч, а при подсосе до 1,8 ч.

При максимальном расходе воздуха по основной выработке при утечке 0,02 м^3/с время проветривания сокращается с 1,2 до 1.1 ч, тогда как подсос при том же уровне расхода обеспечивает достижение уровня ПДК в тупиковой выработке уже через 0,35 ч. Дальнейшее увеличение расхода утечки-подсоса до 0,07 м^3/с приводит к сокращению времени проветривания: в случае утечки до 0,8 ч, а при подсосе всего лишь до 0,34 ч. Представляется, что действительно подсос воздуха является более эффективным средством сокращения времени проветривания.

Динамика процесса проветривания в точках контроля, расположенных вдоль оси Y на центральной оси тупиковой выработки с координатами 5 (N4), 10 (N3), 15 (N2) и 20 (N1) м вдоль указанной оси (рис. 1), представлена на рис. 3 (*а*, *б*) для ситуации, когда расход воздуха в основной выработке составлял 12,5 м^3/с, а величина утечки-подсоса равна 0,07 м^3/с.

Анализ результатов для всех расходов воздуха в основной выработке показывает, что поведение кривых динамики концентрации в точках контроля N4, N3 и N2 при наличии утечки-подсоса похожее: сначала достаточно быстрый рост, а затем медленное монотонное снижение. При этом в случае подсоса максимальное значение концентрации превышает аналогичное значение при наличии утечки, что естественно, поскольку при подсосе все загрязнение перемещается в направлении основной выработки. Кроме того, указанное превышение определяется расходом воздуха по основной выработке: оно больше при малых расходах. Максимальное же отличие в поведении кривых динамики концентрации имеет место в точке N1. В случае утечки прогнозируется монотонное снижение уровня концентрации, тогда как при подсосе на начальном этапе проветривания имеет место волнообразное поведение кривых. Такой вид графиков можно объяснить только складывающейся при наличии подсоса в пространстве контролируемой точки структурой скоростного поля.

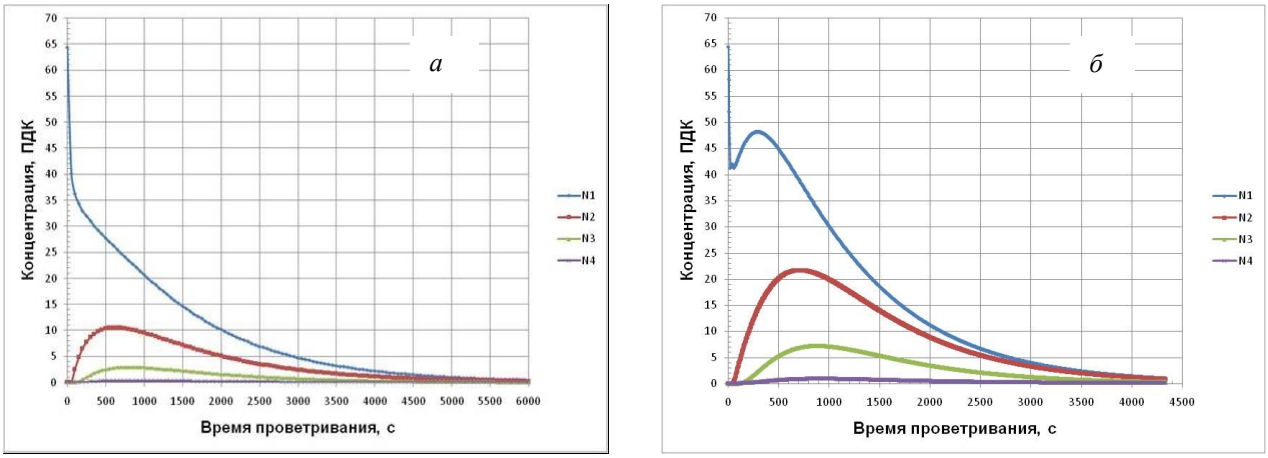


Рис. 3. Динамика концентрации в точках контроля при расходе воздуха в основной выработке 12,5 м^3/с: *а* — утечка -0,07 и *б* — подсос +0,07 м^3/с

Таким образом, на базе построенных компьютерных моделей (в трехмерной постановке) выполнено исследование процесса проветривания тупиковой выработки протяженностью 20 м при вариации как расхода воздуха в основной выработке от 6,25 до 50,0 м^3/с, так и величины утечки-подсоса через зону обрушения от 0,0 до 0,07 м^3/с.

Анализ прогнозных значений времени проветривания тупиковой выработки в рассмотренном диапазоне расходов воздуха свидетельствует:

- подсос воздуха по сравнению с утечкой является более эффективным средством сокращения времени проветривания;
- рост расхода воздуха в сквозной выработке сокращает время проветривания до достижения ПДК и при этом расчетные графические зависимости хорошо аппроксимируются степенной функцией;
- при принятых величинах утечек-подсосов и расходов воздуха наибольшее влияние в абсолютных величинах на время проветривания проявляется при малых расходах воздуха в основной выработке.

А. А. Козырев, В. И. Панин, О. Г. Журавлева
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, kozar@goi.kolasc.net.ru

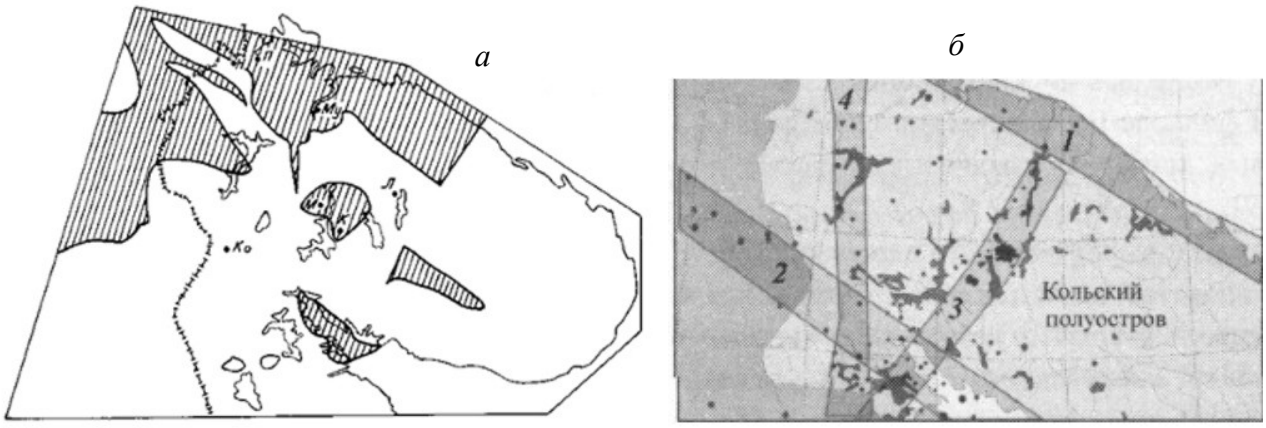
ЭНЕРГООБМЕН В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ХИБИНСКИХ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Каждая геологическая среда обладает определенным энергетическим потенциалом, уровень которого зависит от параметров напряженного состояния пород в массиве и который определяет все геомеханические трансформации в горнотехнической системе [2, 3, 5].

Основным источником этой энергонасыщенности являются латентные напряжения, появившиеся при генезисе пород, палео- и современные тектонические процессы совместно с техногенными нагрузками. Накопившаяся в геологической среде горнотехнических систем энергия определяет основные закономерности эволюции этих систем, наблюдаемыми проявлениями которой являются деформации пород в массиве и сейсмичность. При этом деформации характеризуют процессы концентрации энергии, а сейсмичность — степень ее релаксации, что в совокупности определяет некоторые стороны энергообмена.

К настоящему времени по сейсмичности в горнотехнических системах Хибинского массива накоплено достаточно информации для анализа его энергонасыщенности и ее динамики в процессе развития горных работ.

Ранее в Горном институте КНЦ РАН аналитическими исследованиями выполнен анализ энергонасыщенности геологической среды Кольского п-ова: построены карты энергонасыщенности с учетом основных тектонических структур, выделены аномально энергонасыщенные районы (рис. 1, *а*), удовлетворительно совпадающие с сейсмогенными зонами (рис. 1, *б*), в которых произошли крупные техногенные землетрясения [5, 7]. Дело в том, что Хибинский и Ловозерский массивы, являясь наиболее энергонасыщенными районами на территории Кольского п-ова, вмещают в себя мощные горнотехнические системы, в геомеханических пространствах которых всегда имеют место участки с высокими концентрациями напряжений и сильные триггеры в виде технологических взрывов.



К — Кировск, Ко — Ковдор, Л — Ловозеро,
М — Мончегорск, Му — Мурманск,
Н — Никель, П — Печенга

1 — Мурманская, *2* — Кандалакшская,
3 — Хибино-Ловозерская, *4* — Кандалакшско-Варангерская сейсмогенные зоны

Рис. 1. Зоны повышенной энергонасыщенности в массивах горных пород (*а*) на территории Кольского полуострова и главные сейсмогенные зоны (*б*)

Энергетический класс наиболее сильных сейсмических событий при отработке апатитовых месторождений Хибинского массива $K = 9–11$. Примеры техногенных землетрясений в районе Кировского рудника: в 1989 г. с магнитудой $M \approx 4{,}2$ [5], что соответствует сейсмической энергии 10^{11} Дж; в 2010 г. с магнитудой $M_L = 3{,}5$ [2] и энергией $9 \cdot 10^9$Дж (по данным Бюро геофизического мониторинга АО «Апатит»). В Ловозерском массиве на редкометалльном руднике «Умбозеро» в 1999 г. произошло крупное техногенное землетрясение с магнитудой $M = 4{,}4$ и энергией порядка 10^{12} Дж [5].

Площадь подготовки таких событий обычно имеет линейные размеры от сотен метров до нескольких километров. Соотношение между магнитудой M и энергией E землетрясения может быть выражено с помощью одного из известных эмпирических соотношений, например, по формуле Гутенберга — Рихтера [6]:

$$\lg E(\text{эрг}) = 1{,}5M + 11{,}8 . \qquad (1)$$

По расчетам по формуле (1), для произошедших наиболее сильных сейсмических событий с магнитудой от 3,5 до 4,5 энергетический класс составляет от 9 до 12. Такие события в шахтной сейсмологии оцениваются как весьма опасные по проявлениям разрушений и на поверхности, и в подземных выработках.

Согласно современным представлениям о геологической среде, рудник с вмещающим его участком массива является открытой динамической нелинейной природно-технической системой, функционирование которой сопровождается чередованием периодов адаптации и бифуркаций (катастроф).

Прогноз опасности горно-тектонического удара или техногенного землетрясения, т. е. катастрофы, сводится к определению пространственно-временных границ опасных участков и уровня их критического состояния. Профилактика этих событий должна обеспечивать либо как можно больший период адаптационного функционирования системы, либо контролируемый выход из критического состояния, т. е. своевременную управляемую разрядку накопившихся напряжений (энергии).

Важное методологическое значение при этом имеет «фоновый принцип» (фоновая общесистемная закономерность), который позволяет при определенных условиях по изучению фона судить о состоянии системы. С этой целью проанализированы сейсмические события энергетического класса $K = 3–8$, зарегистрированные на Кировском (Кр) и на Расвумчоррском рудниках.

На Кукисвумчоррском крыле Кр в среднем регистрируется 2000 сейсмических событий в год. Среднее суммарное энерговыделение $2{,}4 \cdot 10^8$ Дж в год.

На Юкспорском крыле Кр до 2015 г. в среднем регистрировалось 3500 событий в год (среднегодовое энерговыделение — $0{,}9 \cdot 10^8$ Дж). В 2015–2016 гг. наблюдался значительный рост числа событий, приуроченных к консоли необрушенных пород висячего бока, что свидетельствует о формировании обрушения консоли. С учетом данных за 2015–2016 гг. среднегодовое энерговыделение составило $2{,}3 \cdot 10^8$Дж.

Наиболее высокий фон на Расвумчоррском руднике, где в среднем регистрируется 4000 событий в год, Среднегодовое энерговыделение — $4{,}7 \cdot 10^8$ Дж.

Экспериментальными определениями напряжений в нетронутом массиве пород установлены различные значения субгоризонтальных напряжений, причем наиболее высокие — на Расвумчоррском руднике (месторождение «Апатитовый цирк»). На Юкспорском и Кукисвумчоррском месторождениях субгоризонтальные тектонические напряжения во вмещающих породах достигают 60 МПа на отметках до 600 м от поверхности, на Расвумчоррском руднике — 70 МПа. В рудной залежи уровень напряжений несколько ниже (табл. 1). Максимальная глубина для всех месторождений H составляет 600 м, удельный вес пород γ принят одинаковым — 2,7 т/м^3.

Таблица 1

Величина главных напряжений на месторождениях подземных рудников АО «Апатит» , МПа

Рудник	Во вмещающих породах			В рудном теле		
	σ_1	σ_2	σ_3	σ_1	σ_2	σ_3
Расвумчоррский рудник	70	28	16	50	27	16
Юкспорское крыло Кр	60	24	16	40	22	16
Кукисвумчоррское крыло Кр	60	24	16	40	22	16

С учетом установленного уровня действующих в массиве напряжений выполнена приближенная оценка величины запасенной потенциальной энергии W в пределах шахтных полей рассматриваемых месторождений.

Удельная упругая энергия вычисляется по формуле

$$w = \frac{1}{2E}\left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu\left(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3\right)\right]. \quad (2)$$

Результаты расчетов представлены на рис. 2. Использованы значения модуля Юнга $E = 5\cdot10^4$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}25$. В табл. 2 представлены суммарные объемы вмещающих пород и рудного тела, используемые в дальнейших расчетах.

Таблица 2

Суммарный объем (V) вмещающих пород и рудного тела, м^3

Расвумчоррский рудник	Юкспорское крыло Кр	Кукисвумчоррское крыло Кр
$8{,}64\cdot10^8$	$6{,}30\cdot10^8$	$7{,}16\cdot10^8$

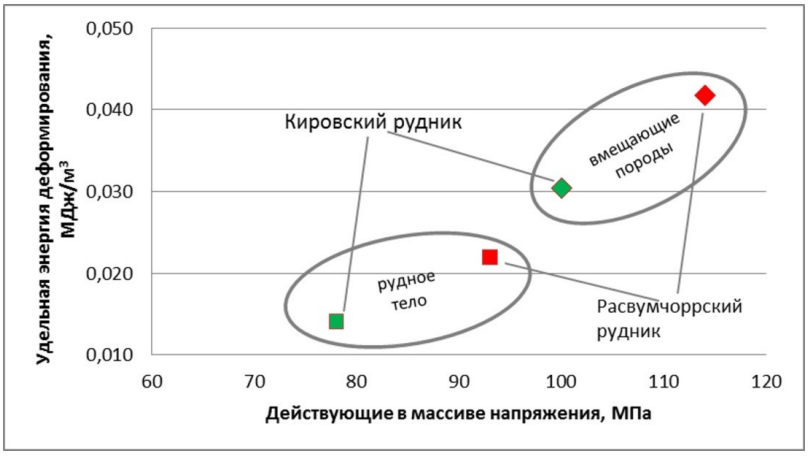


Рис. 2. Удельная упругая энергия вмещающих пород и рудного тела. Значения для Кукисвумчоррской и Юкспорской части рудника приняты одинаковыми

Запасенная потенциальная энергия пропорциональна объему:

$$W = wV \quad (3)$$

Результаты расчетов потенциальной энергии в пределах шахтных полей представлены на рис. 3.

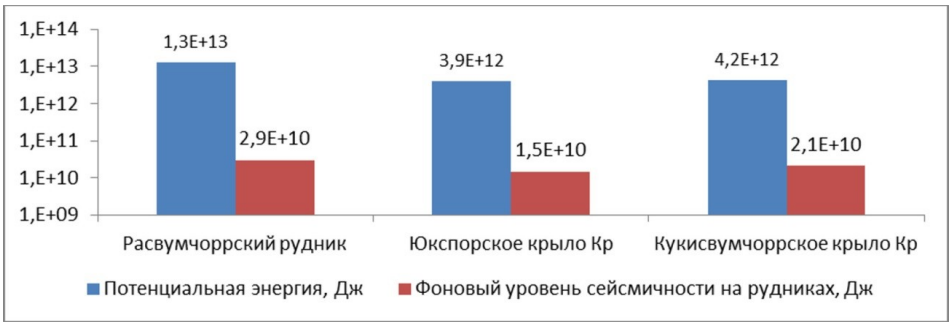


Рис. 3. Потенциальная энергия в пределах шахтных полей и фоновый уровень сейсмичности на рудниках.

Фоновый уровень сейсмичности на рудниках определен с учетом сроков их работы (с 1929 г. — Кукисвумчоррское крыло Кр, с 1954 г. — Юкспорское крыло Кр и Расвумчоррский рудник).

Соотношение выделившейся сейсмической и потенциальной энергии в пределах рудных полей апатитовых рудников составляет порядка 1 %, что удовлетворительно согласуется с данными об излучаемой энергии при взрыве в твердой породе [1].

Удельная энергия пропорциональна квадрату действующих напряжений (5):

$$w = \frac{[\sigma_c]^2}{2E}. \quad (4)$$

Предел прочности пород рудного тела при одноосном сжатии составляет величину $[\sigma_c]$ = 160 МПа, следовательно, критическая удельная энергия для них: $w_\bullet$ = 0,256 МДж/м^3. Значения удельной упругой энергии на порядок ниже критической удельной энергии и не превышают 0,022 МДж/м^3 (рис. 2). Аналогично и для вмещающих пород: критическая удельная энергия составляет $w_\bullet$ = 0,4 МДж/м^3, тогда как значение удельной упругой энергии не превышает 0,042 МДж/м^3 (рис. 2), т. е. также на порядок ниже критической.

Таким образом, значение удельной упругой энергии примерно в 10 раз меньше критической энергии для руд и пород. Следовательно, при отсутствии техногенной нагрузки и соответствующей концентрации напряжений в рудах и породах накоплено энергии, недостаточной для перехода массива в неустойчивое состояние в виде реализации катастрофических сейсмических событий.

Как установлено ранее, критические значения напряжений, при которых может произойти разрушение, например, в выработке, примерно в три раза превышают фоновые напряжения в массиве горных пород, т. е. критическая удельная энергия в высоконапряженном участке массива примерно в 10 раз превышает удельную энергию в ненапряженном массиве.

Несмотря на оценку в целом сейсмического режима на территории Мурманской обл. как стабильно невысокого [7], геодинамический риск при разработке удароопасных Хибинских и Ловозерских месторождений может существенно повлиять на безопасность горных работ, что и подтверждается соответствующей практикой.

Также, очевидно, не стоит пренебрегать опасностью мощных тектонических землетрясений, поскольку в «живой» земле всегда могут иметь место локальные концентрации напряжений и различного рода триггеры.

Таким образом, выполненный анализ показал, что энергонасыщенность геологической среды является важным фактором, определяющим геомеханическую ситуацию в горнотехнической системе и соответственно безопасность горных работ.

Проявления геодинамических процессов в геологической среде горнотехнических систем осуществляются только за счет параметров деформирования и сейсмичности, при этом доля регистрируемой сейсмической энергии составляет порядка 1 %. Очевидно, большая часть энергии идет на деформирование и разрушение горных пород в массиве, выделение тепла, выброс породы и др. Использование энергетических параметров деформационных процессов может существенно повысить прогностические возможности соответствующих наблюдений, для чего необходимо продолжить исследования по энергообмену в геологической среде горнотехнических систем.

Литература

1. Адушкин В. В. Сейсмичность взрывных работ на территории Европейской части России // Физика Земли. 2013. № 2. С. 110–130.
2. Кропоткин П. Н., Поляк Б. Г. Энергетический баланс Земли // Земная кора сейсмоопасных зон. Верхняя мантия. М.: Наука, 1973. № 11. С. 7–24.
3. Пономарев В. С. Энергонасыщенность геологической среды. М.: Наука. 2008. 380 с.
4. Сейсмичность Кольского полуострова по инструментальным данным С. В. Баранов и др. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы Шестой междунар. сейсмол. шк. 2011. С. 47–51.
5. Сейсмичность при горных работах / А. А. Козырев и др. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 325 с.
6. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 344 с.
7. Современная сейсмичность на территории Мурманской области и ее проявление в горнопромышленных зонах Ю. А.Виноградов и др. // ФТПРПИ. 2016. № 1. С. 62–70.

А. А. Козырев, И. Э. Семенова, И. М. Аветисян
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, kozar@goi.kolasc.net.ru

ПРОГНОЗ УДАРООПАСНОСТИ ПРИ ВЫЕМКЕ ЗАПАСОВ БЛОКА-ЦЕЛИКА МЕЖДУ ПОДЗЕМНЫМИ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ ЮКСПОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И САМСКИМ КАРЬЕРОМ

В последние годы наращивание объемов добываемой руды на месторождениях АО «Апатит» происходит за счет увеличения доли подземных горных работ. Наибольшая нагрузка в этом плане ложится на Объединенный Кировский рудник (ОКР), обеспечивающий основную долю добычи полезных ископаемых. При этом неизбежное углубление горных работ и их интенсификация приводит к повышению как фонового уровня напряжений, так и к увеличению по площади и абсолютным величинам зон концентрации напряжений в окрестности продвигающихся фронтов горных работ и элементов горной технологии. В таких условиях ведение горных работ требует соответствующего геомеханического обоснования.

Объектом данного исследования является зона стыковки подземных горных работ Юкспорского месторождения с Саамским карьером на горизонте +170 м, расположенная в северо-западной части месторождения. Северо-западной и юго-восточной границами данной зоны можно считать Саамский разлом и разрез 4. Так как Юкспорское месторождение относится к склонным и опасным по горным ударам [2], то в соответствии с «Указаниями…» [3] блоки-целики отрабатываются по специальному техническому регламенту, в котором разрабатываются мероприятия по предотвращению вредных проявлений горного давления, обосновывается выбор места расположения и размеров стыковочной секции, технология работ при ее отработке, способ поддержания горных выработок и порядок контроля состояния массива.

Для оценки особенностей напряженно-деформированного состояния (НДС) в окрестности фактических очистных выемок и прогнозных расчетов НДС была использована конечно-элементная модель Юкспорского месторождения, разработанная с учетом основных геологических и горнотехнических факторов. Моделирование проведено в программном приложении Sigma GT, разработанном в Горном институте КНЦ РАН [1]. При постановке расчетных вариантов учтено изменение конфигурации очистной выемки на всех рабочих горизонтах Юкспорского месторождения, фактическое положение бровки обрушения, параметры Саамского разлома и геометрия карьера.

Анализ результатов численного моделирования фактического НДС в зоне стыковки Юкспорского месторождения и Саамского карьера показал, что основными геомеханическими особенностями на данном участке массива являются:

- высокая тектоническая напряженность массива горных пород на гор. +170 м, что предопределяет высокую вероятность проявлений горного давления в динамических формах;
- переориентировка действующих тектонических напряжений в зоне стыковки подземных и открытых горных работ в направлении, близком вкрест простирания рудного тела;
- наличие мощной сейсмоактивной разломной структуры, Саамского разлома, в окрестности которого формируется контрастное поле напряжений с областями растяжений по минимальной компоненте;
- необходимость ведения работ на уменьшающийся целик.

Рассмотрим изменение распределения напряжений σ_{max} на подэтажах гор. +170 м Юкспорского месторождения в окрестности зоны стыковки с Саамским карьером в процессе отработки запасов.

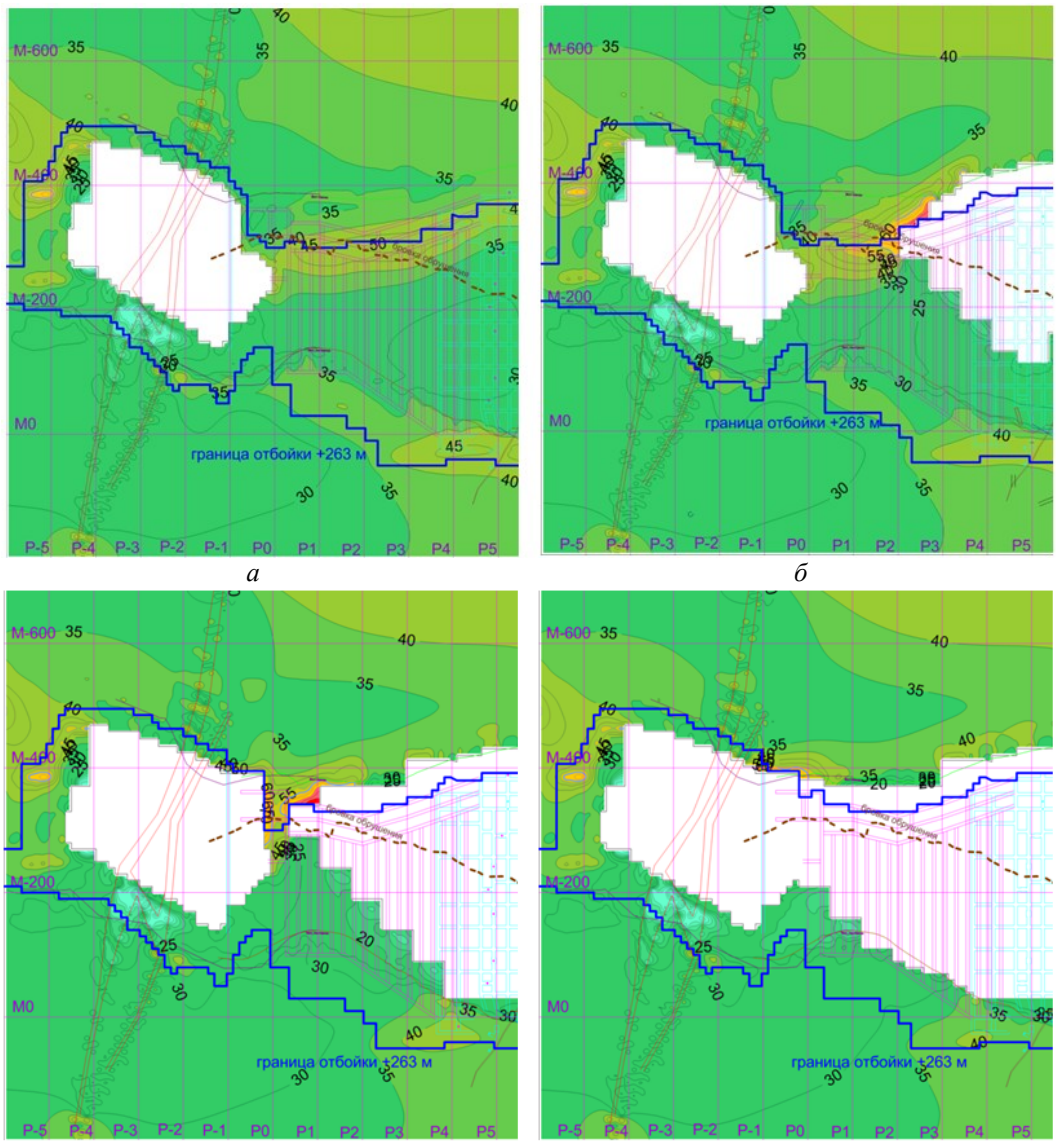
Напряженное состояние участка массива при формировании блока-целика на гор.+234 м характеризуется уровнем сжимающих напряжений 35–40 МПа во вмещающем массиве с ориентировкой σ_{max} под углами 20–30° к простиранию рудной залежи на удалении от рудного тела (рис., часть *а*). Непосредственно между фронтами работ происходит переориентировка напряжений в направлении, близком вкрест простирания рудного тела, с повышением среднего уровня напряжений до 40–50 МПа, а в зонах концентрации до 60–70 МПа. Зона максимальной концентрации σ_{max} приурочена к опережающему фронту подземных горных работ гор. +234 м в висячем боку рудной залежи.

При моделировании дальнейшего развития горных работ повышается средний уровень максимального сжатия в породах блока-целика до 50–55 МПа (рис., часть *б*), происходит и постепенное увеличение напряжений под фронтом работ вышележащего подэтажа в висячем боку рудной залежи на горизонтах +211 и +188 м.

После имитации формирования стыковочной секции на гор. +234 м значения σ_{max} в самой секции более 55–65 МПа, наибольший прирост наблюдается у границы вновь отбитой секции (рис., часть *в*). К лежачему боку происходит разгрузка массива до уровня 25 МПа. На гор. +211 м формируется более выраженная зона концентрации напряжений под фронтом вышележащего подэтажа с величинами σ_{max} до 60–65 МПа.

При дальнейшем развитии работ на подэтажах и сбойке с карьером на подэтаже +234 м наблюдается полная разгрузка массива на данном подэтаже (рис., часть *г*). На нижележащих подэтажах имеет место незначительный рост напряжений.

При моделировании стыковочной секции на подэтаже +188 м прирост σ_{max} незначительный, возможны разрушения нединамического характера, так как в районе Саамского разлома имеются зоны растягивающих напряжений.



а *б*

в *г*

Распределение σ_{max} на подэтаже +234 м на разных стадиях отработки запасов:
а — состояние горных работ на IV квартал 2017 г.; *б* — развитие горных работ на подэтаже;
в — формирование стыковочной секции; *г* — сбойка с карьером на подэтаже

После сбойки с карьером на всех подэтажах массив стыковочный зоны разгружен. Разгрузка на подэтаже +211 м при моделировании ступенчатого фронта работ избыточная, поэтому рекомендуется по возможности вести доработку запасов единым фронтом от висячего бока к лежачему.

Также было рассмотрено распределение расчетных категорий состояния выработок на подэтажах. Установлено, что в породах блока-целика в связи с переориентировкой действия σ_{max} более высокая категория опасности фиксируется для выработок штрекового направления, причем ситуация усугубляется по мере приближения фронта подземных горных работ к борту карьера.

Выработки ортового направления характеризуются в основном категорией В и А, при развитии горных работ общий фон отношения $\sigma_д/\sigma_{сж}$ уменьшается до 0,2–0,3, что в средне- и слабоустойчивых породах может привести к вывалам пород по трещинам. Зоны с категорией Г (и на минимальных площадях Д) прогнозируются при формировании стыковочной секции на гор. +234 м и при подходе к Саамскому разлому на нижнем подэтаже +188 м. То есть выработки ортового направления в целом будут устойчивы при выполнении ряда мероприятий по разгрузке массива и креплению выработок. Следует иметь в виду, что результаты моделирования не учитывают параметров трещиноватости пород. Эти данные будут уточняться при проходке выработок, что в некоторой степени может менять прогнозную картину.

Выработки штрекового направления будут находиться в худших условиях. Уже при достижении размеров блока-целика состояние штреков характеризуется на значительной площади между фронтами работ категорией Г, причем под фронтом вышележащей отбойки формируется зона с категорией Д. Удароопасность штреков на подэтажах значительно снижается только после сбойки с карьером.

На откаточном гор. +170 м состояние выработок штрекового направления только усугубляется по мере развития горных работ. Происходит миграция зоны с категорией состояния Д вслед за подвиганием фронта отбойки на подэтажах, и увеличиваются численные значения отношения $\sigma_д/\sigma_{сж}$ до 1,2–1,3. Рекомендуется при проведении разгрузочных мероприятий и креплении выработок штрекового направления на откаточном горизонте учитывать увеличение удароопасности массива пород по мере отработки блока-целика гор. +170 м.

После отработки стыковочной секции на подэтажах основная часть выработок как ортового, так и штрекового направления, расположенных в защищенных зонах, будет находиться в лучших условиях. Так, для значительного числа выработок ортового направления будут характерны категории А и В, поэтому желательно минимизировать объем проходки выработок в этой области до формирования разгрузочной зоны, что обеспечит их более устойчивое состояние и позволит снизить расходы на крепление и профилактические мероприятия.

Таким образом, с точки зрения действующих максимальных сжимающих напряжений наиболее удароопасными будут участки массива, находящиеся у фронта опережающей разгрузочной зоны в висячем боку рудной залежи и под ней. Для обеспечения возможности проходки выработок в защищенной от высоких напряжений области величина опережения разгрузочной зоны должна составлять не менее 30 м.

В связи с переориентировкой действующих тектонических напряжений в зоне стыковки подземных и открытых горных работ в направлении, близком вкрест простирания рудного тела, целесообразно ведение горных работ с отрезкой по висячему боку рудной залежи. Ведение горных работ необходимо осуществлять ступенчатым в плане фронтом в пределах защитных углов до стыковки с карьером. Ступенчатый фронт очистных работ в горизонтальной плоскости должен формироваться в пределах защитного угла 45°. Стыковку с карьером следует осуществлять в висячем боку рудной залежи, предварительно отбив секцию у борта карьера для выравнивания, так как в противном случае стыковка с карьером осложняется наличием выступающего участка борта. После стыковки с карьером доработку запасов целесообразно вести единым фронтом от висячего бока к лежачему без оставления целиков.

Литература

1. Козырев А. А., Семенова И. Э., Шестов А. А. Методика экспертной оценки геомеханического состояния удароопасных участков рудных месторождений // Инновационные технологии и современные методы инженерного обеспечения горно-обогатительного производства. Апатиты, 2010. С. 17–20.
2. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатит-нефелиновые месторождения). Апатиты; Кировск, 2016. 119 с.
3. Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам: федер. нормы и правила в области промышленной безопасности: приказ Ростехнадзора от 2 декабря 2013 г. № 576. 2013.

А. А. Козырев, И. Э. Семенова, А. В. Земцовский
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, skozirev@goi.kolasc.net.ru

ОБ ОЦЕНКЕ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ЖДАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ждановское месторождение медно-никелевых руд располагается в северо-западной части Кольского п-ова и разрабатывается рудником «Северный», входящим в состав АО «Кольская ГМК».

Месторождение представлено несколькими рудными телами, имеющими пластообразную форму с раздувами и пережимами. Средняя мощность рудных тел составляет 23 м, а средний угол падения 40° [6]. Важной особенностью строения всех рудных тел является то, что руда с повышенным содержанием полезного компонента приурочена к лежачему боку. При этом в лежачем боку, в тектонической зоне, богатые эпигенетические руды граничат с вмещающими туфогенно-осадочными породами. Руда и вмещающие породы разбиты дизъюнктивными нарушениями и межпластовыми тектоническими зонами [2, 4]. Однако в целом массив можно охарактеризовать как устойчивый.

До недавнего времени запасы Ждановского месторождения отрабатывались карьером. В настоящее время осуществлен переход от открытого способа разработки месторождения к подземному. На руднике применяются следующие системы разработки: камерно-целиковые [5] и подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды [2, 4].

Для оценки удароопасности массива Ждановского месторождения необходимо установить возможность накопления им упругой энергии и способность к хрупкому разрушению слагающих его горных пород. Важно также оценить величину действующих в массиве напряжений. Если породы крепкие и хрупкие, а величина действующих напряжений составляет более половины предела прочности на сжатие, месторождение или его часть может быть отнесено к склонным или опасным по горным ударам.

На первом этапе исследований были определены свойства пород Ждановского месторождения. В табл. 1 приведены результаты измерений.

Таблица 1

Упруго-плотностные свойства пород

Название породы	Плотность, т/м^3	Коэффициент Пуассона	Модуль Юнга, ГПа
Филлиты	2,81	0,27	77,3
Диабазы	2,72	0,32	73,4
Перидотиты	2,91	0,31	72,2

Исследуемые образцы представлены высокоупругими горными породами, плотность которых находится в пределах от 2,72 до 2,91 т/м^3, коэффициент Пуассона — от 0,27 до 0,32, модуль Юнга — от 72,2 до 77,3 ГПа.

Результаты определения прочности на сжатие, растяжение и коэффициента хрупкости $K_{хр} = \sigma_{сж}/\sigma_р$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Средние значения прочностных свойств пород

Порода	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Коэффициент хрупкости породы
Филлиты тонкозернистые слоистые, частично обладающие анизотропными свойствами (ЮВРТ)	203	14	14
Филлиты тонкозернистые слоистые (ЮВРТ)	204	15	14
Филлиты мелкозернистые (ЮЗРТ)	198	11	18
Диабазы мелкозернистые (ЦРТ)	112	17	7
Диабазы мелкозернистые с прослойками карбонатных минералов и анизотропными свойствами (ЦРТ)	140	15	9
Перидотиты мелкозернистые массивные (ЮЗРТ)	108	10	10
Перидотиты мелкозернистые массивные (ЦРТ)	181	10	18

По полученным данным видно, что породы являются прочными. Так, прочность пород на сжатие колеблется от 100 до 200 МПа, а прочность на растяжение от 10 до 17 МПа. Коэффициент хрупкости большинства типов пород достаточно высок и достигает значений 10, а в некоторых случаях и превышает эту величину, кроме мелкозернистых диабазов, для которых этот показатель равен 7–9. Необходимо отметить, что образцы пород были отобраны из штуфов.

Результатам определения физико-механических и прочностных свойств показывают, что исследованные породы обладают высокими значениям параметров прочности и упругости, что говорит о способности пород к накоплению упругой энергии. Кроме того, они обладают высоким коэффициентом хрупкости, что свидетельствует о склонности пород к хрупкому разрушению. Таким образом, породы и руды месторождения являются склонными к горным ударам.

На следующем этапе определялись величины действующих в массиве напряжений. Анализ результатов предыдущих исследований показал, что некоторые специалисты относят исходное поле напряжений в нетронутом массиве Ждановского месторождения к гравитационному типу и утверждают, что вертикальная составляющая поля напряжений является определяющей в вопросах безопасности отработки запасов месторождений. Так, в работе [3] представлены результаты ультразвукового определения напряженного состояния массива на глубине 660 м, которые показали, что в массиве пород максимальными являются вертикальные напряжения, а горизонтальные напряжения в разных направлениях равны между собой и по величине меньше вертикальных.

Однако известны работы, в которых представлены данные, опровергающие гипотезу о гравитационном типе напряженного состояния Ждановского месторождения. Так, измерения напряжений методом щелевой разгрузки, выполненные сотрудниками ИГД СО РАН и АО «Кольской ГМК» [1], свидетельствуют о наличии горизонтальной составляющей тензора напряжений, превышающей вертикальную. Кроме того, при визуальном обследовании выработок на месторождении отмечались разрушения в кровле и на сопряжении стенок с кровлей (пята свода). Такой характер разрушения контура выработки характерен при превалирующем действии горизонтальных напряжений.

Нами проведены определения напряжений, действующих в массиве, методом разгрузки в торцевых измерений. Измерительная станция была выбрана в погрузочно-разгрузочной камере 2 в районе транспортного квершлага на горизонте –440 м. Выработка пройдена в слаботрещиноватых мелкозернистых диабазах.

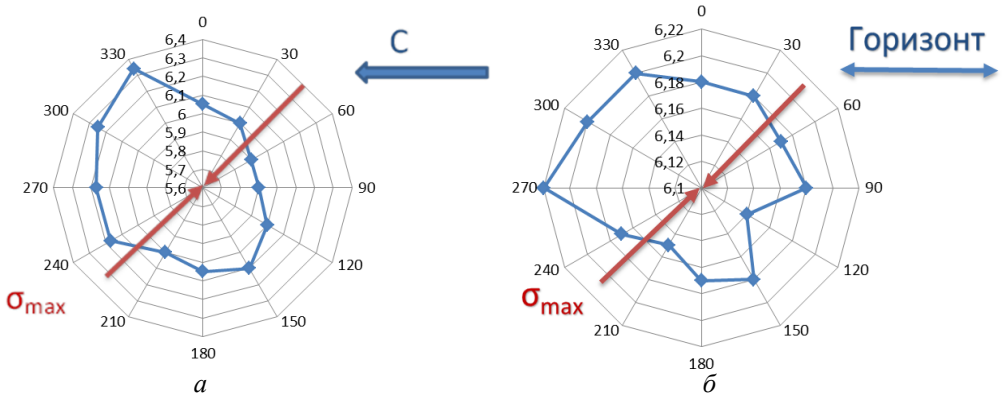
Выбранное место удалено от влияния фронтов очистных работ и крупных геологических нарушений, которые могли бы привести к искажениям в результатах определений природных напряжений.

В результате установлены значения и ориентировка компонент главных напряжений. Максимальная компонента главных напряжений σ_{max} составляет 56 МПа, азимут вектора максимальной компоненты равен 123°, угол вектора σ_{max} с горизонтальной плоскостью — около 20°. Минимальная компонента σ_{min} — 14 МПа. Если бы поле напряжений Ждановского месторождения было гравитационным, то уровень максимальных напряжений σ_{max} для исследуемого участка составил ≈ 9 МПа ($\sigma_{max} = \gamma H$, где $\gamma \approx 3$ т/м^3 — вес пород, $H \approx 300$ м — глубина). Таким образом, полученные результаты как по абсолютным величинам, так и по направлению действия σ_{max} подтверждают гипотезу о гравитационно-тектоническом поле напряжений на месторождении.

Для подтверждения направления максимальной компоненты главных напряжений были определены скорости продольных волн в массиве в зависимости от угла расположения ультразвукового зонда в скважине, то есть зонд вращали вокруг оси скважины и через каждые 30° измеряли скорость на стенке скважины. Результаты определений представлены в виде диаграмм на рисунке.

Радиус окружностей на диаграммах соответствует значениям скоростей в км/с. Градусы, нанесенные по кругу, соответствуют повороту зонда в скважине при измерениях. Рисунок (часть *а*) соответствует вертикальной скважине, т. е. распределению скоростей в горизонтальной плоскости. Предполагается, что направления, в которых зарегистрированы наименьшие скорости по контуру скважины, соответствуют направлению действия максимальных сжимающих напряжений. На рисунке (часть *а*) синей стрелкой нанесено направление на север, как из него видно, минимальные скорости зарегистрированы при повороте зонда на углы 60 и 210°. Следовательно, векторы максимальных напряжений будут ориентированы приблизительно по линии 45–235° (векторы максимальных напряжений показаны красными стрелками). Такое направления векторов соответствует азимуту 135°, что с учетом погрешности измерений соответствует данным, полученным в результате измерений напряжений методом разгрузки.

Часть *б* рисунка соответствует горизонтальной скважине, т. е. распределению скоростей в вертикальной плоскости. Минимальные скорости были зарегистрированы при углах поворота зонда на 60, 120, 210°. Результат измерений при угле 120° можно не учитывать, так как на противоположной стенке скважины было зарегистрировано одно из максимальных значений скорости. Таким образом, векторы максимальных напряжений будут ориентированы приблизительно по линии 45–235° (рис., часть *б*). С учетом линии горизонта, нанесенного на диаграмме синими стрелками, угол наклона векторов к горизонту равен приблизительно 45°, что качественно подтверждает данные, полученные в результате измерений напряжений методом разгрузки.



а *б*

Величины скорости продольных волн при различных положениях зонда
в вертикальной (*а*) и горизонтальной скважинах (*б*)

Выводы

Массив Ждановского месторождения сложен высокоупругими и прочными породами, склонными к хрупкому разрушению.

Первые результаты измерений напряжений свидетельствуют о наличии тектонических напряжений в массиве и дают основание предполагать гравитационно-тектонический тип напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород месторождения. При этом полученные прогнозные величины напряжений до отметки -440 м не превышают 0,5 $\sigma_{сж}$, что позволяет считать массив месторождений до данной отметки не удароопасным. Однако основываясь на данных по Кольской сверхглубокой скважине, а также измерениях напряжений в тектонически напряженных массивах, можно утверждать об увеличении действующих в массиве горизонтальных напряжений с глубиной. С учетом склонности пород месторождений к хрупкому разрушению на глубинах ниже отметки –440 м возможны проявления горного давления в динамической форме, а при определенных условиях и горные удары.

Для более обоснованной оценки параметров НДС Ждановского месторождения необходимо продолжить измерения на различных участках массива.

Литература
1. Геомеханическая оценка состояния массива при ведении горных работ на Ждановском месторождении подземным способом / В. А. Еременко и др. // Горн. информ.-аналит. бюл. 2010. № 11. С. 271–282.
2. Кузьмин Е. В., Савич И. Н., Юров А. А. К вопросу о выборе технологии для рудника «Северный-глубокий» комбината «Печенганикель» // Горн. информ.-аналит. бюл. 2003. № 3. С. 98–99.
3. Ловчиков А. В., Удалов А. Е., Белявский Ю. Г. Напряженное состояние пород в верхних слоях земной коры по данным натурных измерений в рудниках вблизи скважины СГ-3 // Вестник МГТУ. 2007. Т. 10, № 2. С. 267–272.
4. Оптимизация конструктивных и технологических решений при подземной разработке медно-никелевых руд Ждановского месторождения // И. Н. Савич и др. // Горн. журн. 2011. № 11. С. 33–36.
5. Серяков В. М., Еременко В. А. Оценка устойчивости вмещающего массива при подземной отработке юго-западного рудного тела Ждановского месторождения // Горн. информ.-аналит. бюл. 2010. № 11. С. 353–356.
6. Проектные решения по ремонту рудоспуска и приемного бункера в камере дробления № 2 дробильно-бункерного комплекса скипового ствола рудника «Северный» ОАО «Кольская ГМК» / Д. А. Федоровский и др. // Горный вестник. 2012. Т. 1, № 95-1 (1). С. 274–277.

А. В. Корниенко, А. С. Шишкин
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В ГГИС MINEFRAME

Маркшейдерские работы являются неотъемлемой и важной частью всех стадий горного производства. Выполнение маркшейдерских работ — трудоемкий процесс, включающий в себя комплекс полевых измерений и последующие расчеты на их основе. Применение горно-геологических информационных систем (ГГИС) позволяет значительно упростить обработку результатов маркшейдерских измерений, при этом системно решая также технологические и геологические задачи.

ГГИС MINEFRAME [1, 2] реализует комплекс программных средств автоматизации маркшейдерского обеспечения горных работ. В состав комплекса входят:

- ведение каталога маркшейдерских точек;
- расчет координат точек методами прямой и обратной засечки;
- расчет и уравнивание теодолитных ходов;
- обработка результатов технического нивелирования;
- обработка результатов тахеометрической съемки;
- средства для выполнения контрольных измерений на основе моделей объектов;
- подсчет объемов по палетке.
- построение профилей подземных горных выработок, автомобильных дорог и железнодорожных путей.

Каталог координат маркшейдерских точек предназначен для ведения базы данных (БД) маркшейдерского обоснования и реализует функции добавления, удаления, редактирования, объединения точек в подгруппы и перемещения точек между ними, различные режимы отображения информации о маркшейдерских точках, а также функцию быстрого поиска точки по имени. Предусмотрен также настраиваемый импорт данных из файлов различных форматов.

Для пополнения БД маркшейдерских точек можно воспользоваться реализованными средствами расчета координат точек методами прямой и обратной засечки. Расчеты выполняются на основе заданных пользователем пределов погрешностей.

Также предусмотрен модуль расчета и уравнивания теодолитных ходов, позволяющий обрабатывать замкнутые, разомкнутые и висячие ходы. Предусмотрен алгоритм распределения невязок в случае, если ход опирается на две точки с известными координатами или точку с известными координатами и известный дирекционный угол.

Одним из способов актуализации моделей объектов горной технологии является обработка результатов тахеометрической съемки. С этой целью реализован соответствующий инструмент, позволяющий рассчитать координаты точек как одной съемки, так и последовательной их серии. Для корректного добавления результатов расчета предусмотрена настройка соответствия кодов рассчитываемых точек структурным линиям моделей объектов. Данные для расчета могут быть введены вручную либо импортироваться из файлов электронных тахеометров различных производителей.

Для уточнения высотных отметок различных пунктов предусмотрен модуль обработки результатов технического нивелирования. Модуль позволяет обрабатывать измерения, выполненные для замкнутых, разомкнутых и висячих ходов. Предусмотрена настройка точности определения допустимой невязки как по длине хода, так и по количеству штативов, что позволяет выполнять расчеты различных классов точности.

Для выполнения контрольных и вспомогательных измерений на основе моделей объектов горной технологии предусмотрен такой инструмент, как «виртуальный теодолит». С его помощью имеется возможность определить линейные и угловые величины между различными точками в моделях объектов и маркшейдерскими пунктами из каталога. Полученные измерения могут быть экспортированы и использованы для выноса результатов моделирования в натуру (например, проекта на бурение скважин взрывного блока).

Инструмент расчета слоевых объемов по палетке позволяет определить объемы широкого спектра горно-геологических объектов. В основе инструмента лежит метод, заключающийся в представлении объемного тела в виде совокупности простых геометрических фигур — прямоугольных параллелепипедов. Общий объем тела определяется как сумма объемов составляющих его параллелепипедов.

В общем виде алгоритм расчета объемов по палетке можно представить так:

1. В некоторой плоскости (как правило, это плоскость *XY*) накладывается прямоугольная сетка, или палетка, из узлов которой исходят лучи ортогонально плоскости сетки (рис. 1, *а*).

2. Лучи пронизывают встречающиеся на их пути треугольные грани каркасных моделей. Таким образом, находятся точки пересечения лучей с моделями геологических тел, карьерами и др. (рис. 1, *б*).

3. Две точки пересечения с одним и тем же объектом дают нам положение нижнего и верхнего основания параллелепипеда. Сумма высот параллелепипедов, умноженная на площадь ячейки палетки, и дает искомый объем (рис. 1, *в*).

Результаты вычислений при помощи инструмента расчета слоевых объемов по палетке могут быть представлены в редакторе Geotech-3D системы MINEFRAME в табличном виде и в виде сетки объемов:

1. В табличном виде: результаты вычислений выводятся в итоговую таблицу окна инструмента, в которой представлена информация по распределению объемов насыпи, выемки и полезного ископаемого по горизонтам.

2. В виде сетки объёмов: результаты вычислений накладываются на палетку и отображают данные по распределению объемных показателей в узлах палетки (рис. 2). В одной ячейке сетки объемов могут быть выведены суммарные данные по одному или нескольким узлам палетки. Кроме суммарного объема, в каждой ячейке сетки объемов отображается информация о суммарной площади и средней мощности насыпи, выемки и полезного ископаемого по совокупности узлов палетки, попавших в ячейку. Для более наглядного представления результатов сетка раскрашивается в соответствии с содержанием в ней того или иного элемента объема.

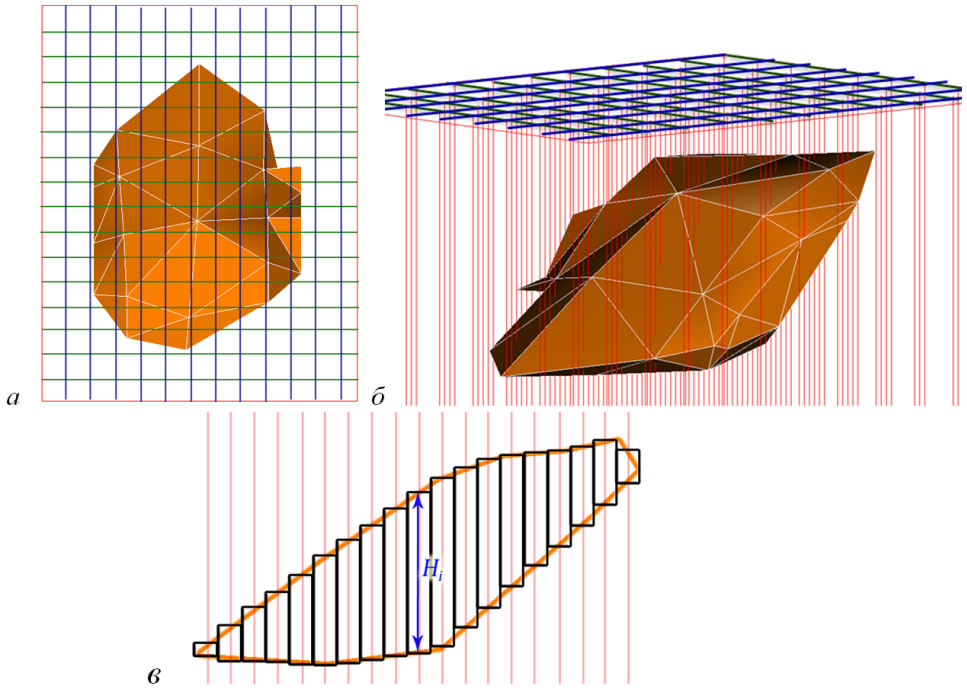


Рис. 1. Иллюстрации к алгоритму расчета объемов по палетке:
а — палетка, наложенная на объект в плоскости *XY*; *б* — вертикальные лучи, выходящие из узлов палетки и пронизывающие объект; *в* — построение параллелепипедов для определения объема тела

С целью автоматизированного формирования профилей при подземном и открытом способе разработки создан соответствующий инструмент. Он позволяет формировать профили автодорог, железнодорожный путей и подземных горных выработок с использованием соответствующих моделей. Предусмотрена настройка отображаемых в таблице профиля данных и их совмещение со схемой выработки/дороги. Информация, выведенная в таблицу, может быть экспортирована в Excel.

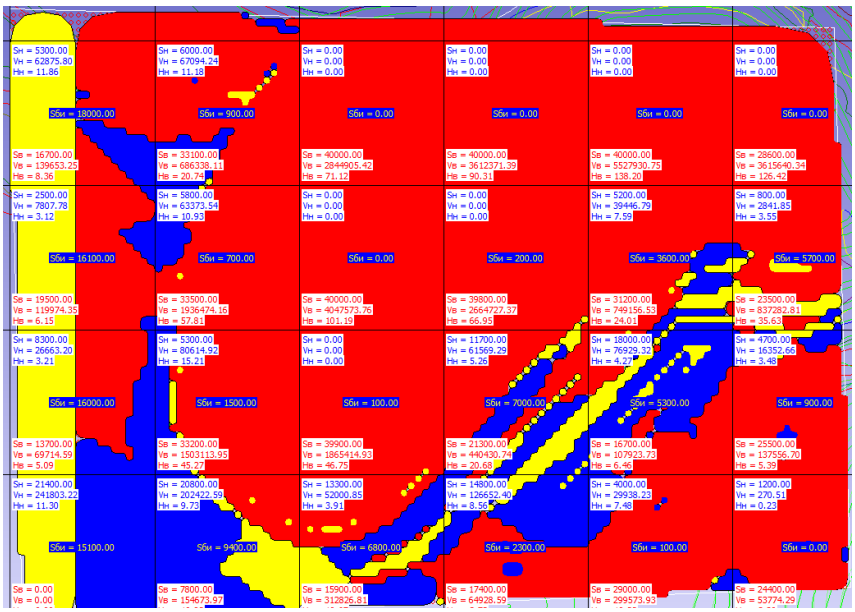


Рис. 2. Сетка объемов, построенная по результатам вычислений инструмента «Слоевые объемы по палетке»

Для расчета и уравнивания геодезических сетей реализован соответствующий алгоритм, позволяющий определять координаты неизвестных станций и выполнять оценку точности результатов, при условии выполнения избыточных измерений. В основе расчета лежит параметрический метод уравнивания, базирующийся на методе наименьших квадратов. Ведутся работы по совершенствованию интерфейса пользователя для данного инструмента.

Литература

1. Лукичёв С. В., Наговицын О. В. Автоматизированное решение задач горного производства в системе MINEFRAME // Горная техника: каталог-справочник. 2014. № 2 (14). С. 38–42.
2. Подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ в системе MINEFRAME / С. В. Лукичёв и др. // Горн. журн. 2015. № 8. С. 53–57.

А. В. Ловчиков[1], В. Э. Асминг[2]

[1]*Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, vocson@goi.kolasc.net.ru*

[2]*Кольский филиал Единой геофизической службы РАН, Апатиты, asmingve@mail.ru*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ЛОВОЗЕРСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Ловозерское редкометалльное месторождение отрабатывается в настоящее время рудником «Карнасурт» на двух маломощных (мощность по 1 м каждая), пластообразных пологопадающих (угол падения 10–15° к горизонту) рудных залежах, расположенных параллельно на расстоянии 90–110 м по вертикали друг от друга, выходящих на склоны гор Карнасурт и Кедыквырпахк и уходящих наклонно вглубь массива. Рудник «Карнасурт» эксплуатируется с 1951 г. Поскольку при выемке залежей применяется сплошная система разработки без обрушения покрывающих пород и с поддержанием подработанных породных толщ постоянными рудными целиками, площадь выработанного пространства на руднике непрерывно возрастает на 100–150 тыс. м^2/год. В текущий момент протяженность горных выработок по нижней залежи составляет 6,5 км по простиранию и до 1,2 км по падению. По верхней залежи она меньше — 3,1 км по простиранию и 0,8 км по падению. Глубина горных работ по нижней залежи составляет от 50 м вблизи поверхности до 600–650 м на нижних горизонтах, по верхней залежи — от 50 м до 350 м до поверхности.

Ловозерское месторождение отнесено Ростехнадзором РФ к склонным и опасным по горным ударам. В последние десятилетия в пределах шахтного поля рудника «Карнасурт» зарегистрировано более полутора десятков землетрясений с магнитудами M_L = 1,0–2,8, с разрушением целиков и горных выработок. Сейсмологический контроль на руднике осуществляется двумя сейсмостанциями, расположенными в отработанных частях нижней залежи на расстоянии 2 км друг от друга (рис. 1), установленных на глубинах соответственно 210 и 270 м от поверхности.

Точность локации сильных сейсмических событий этими двумя станциями обеспечивается в пределах в среднем ±300 м. В настоящее время такая точность устраивает руководство рудника, так как уточнение локации событий производится посредством визуальных наблюдений. Сильные сейсмические события

сопровождаются разрушениями выработок и целиков. Поскольку применяемая система разработки позволяет обеспечить свободный доступ к любой точке выработанного пространства, визуальные наблюдения позволяют правильно определить место происшедших геодинамических событий по разрушениям целиков и выработок. Однако в дальнейшем планируется значительное расширение площади выработанного пространства рудника как по верхней, так и по нижней залежам. К 2035 г. планируется увеличить площадь отработки до 8,5 км по простиранию и до 2 км по падению на каждой из залежей. Очевидно, что существующих двух сейсмостанций, даже с учетом возможностей визуальных наблюдений в горных выработках, будет недостаточно для уверенной локации сейсмических событий на шахтном поле рудника.

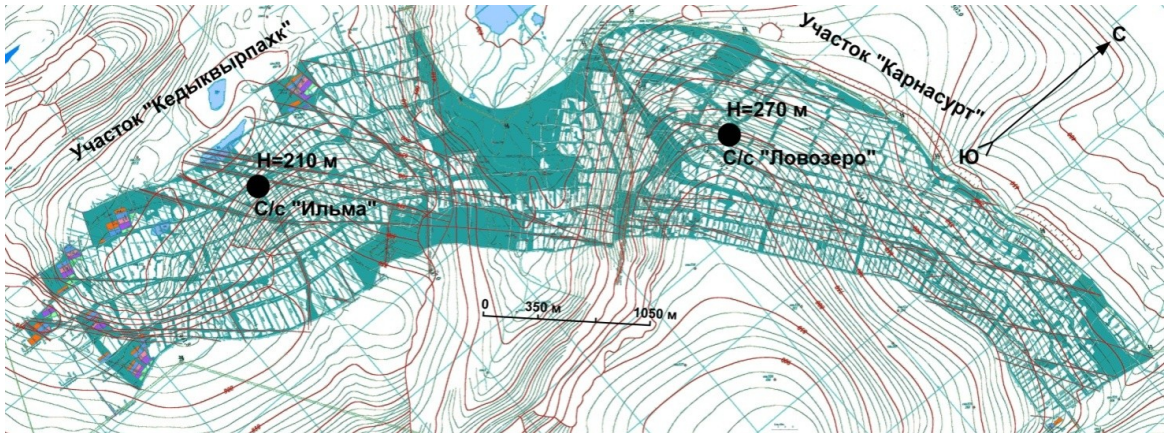


Рис. 1. Схема расположения сейсмостанций «Ловозеро» и «Ильма»
в пределах шахтного поля рудника «Карнасурт»

При планировании увеличения количества сейсмостанций с развитием горных работ на руднике должны выдерживаться следующие основные принципы: 1) сейсмологическая сеть должна контролировать все шахтное поле рудника; 2) количество сейсмостанций в подземных выработках должно быть минимальным; 3) точность локации сейсмических сигналов должна обеспечиваться в пределах порядка ±300 м. Второй принцип очевиден и обусловлен экономическими соображениями, поскольку оборудование сейсмопавильонов и прокладка многокилометровых кабельных линий связи по горным выработкам требует значительных материальных затрат. Третий принцип связан с тем, что даже при легкости и доступности визуальных наблюдений, при площади возможных проявлений горного давления ~ 17 км^2 по каждой из рудных залежей, сейсмологические наблюдения должны давать хотя бы приблизительные представления о местонахождении очага сейсмических событий, которое в дальнейшем может быть уточнено при помощи визуальных наблюдений.

Развитие горных работ на руднике в дальнейшем планируется вести одновременно на двух залежах, расположенных в пространстве параллельно друг другу на расстоянии ~ 100 м по вертикали. При проектировании сети сейсмологических наблюдений следует иметь в виду, что все сейсмические события в массиве происходят вблизи либо в области продвигающихся забоев очистных выработок, главным образом на нижней рудной залежи. Очевидно, павильоны сейсмологических наблюдений целесообразно размещать в пределах расположенной более глубоко от поверхности нижней залежи, поскольку целики и выработки в ней более нагружены, вследствие чего в них более вероятны динамические проявления горного давления, которые необходимо контролировать. Схематический план развития горных работ по нижней рудной залежи II-4 приведен на рис. 2. Как видно из него, развитие горных работ по нижней залежи II-4 на участке «Карнасурт» планируется вести на нижние горизонты, до гор. 0 м (в настоящее время выемка залежи заканчивается на гор. +290 м), а на участке «Кедыквырпахк» — на верхние горизонты до отметки +700 м, поскольку очистные работы на этом участке начались на самых нижних горизонтах (с отметки +290 м) и к текущему моменту эти нижние горизонты залежи уже отработаны.

При планировании размещения сейсмостанций в пределах шахтного поля рудника было проведено моделирование возможных погрешностей локации сейсмических событий в зависимости от предполагаемой конфигурации сети сейсмических станций. Погрешность локации определяется неточностью измерения времен приходов сейсмических волн на станции (как минимум, один шаг дискретизации сигнала), неточностью определения азимутов на события по поляризации Р-волны, а также возможным несоответствием используемой скоростной модели реальным скоростям сейсмических волн в среде.

Для моделирования в точках среды в окрестности станций генерировались синтетические «сейсмические события», рассчитывались времена приходов волн от них на станции и азимуты. В них вносились случайные ошибки, соответствующие указанным выше неточностям. Затем по этим искаженным данным проводилась локация сейсмического события. Расхождение между результатом локации и исходным положением «события» и является оценкой ошибки локации. Эта оценка усреднялась по большому количеству случайных испытаний. Использовались следующие параметры: погрешность измерения времени Р-волны $\Delta t_P = 0{,}025$ с (1 отсчет при шаге дискретизации 40 отсч/с), погрешность оценки азимута $\Delta\alpha = 5°$, неточность скорости Р-волны — 0,1 км/с.

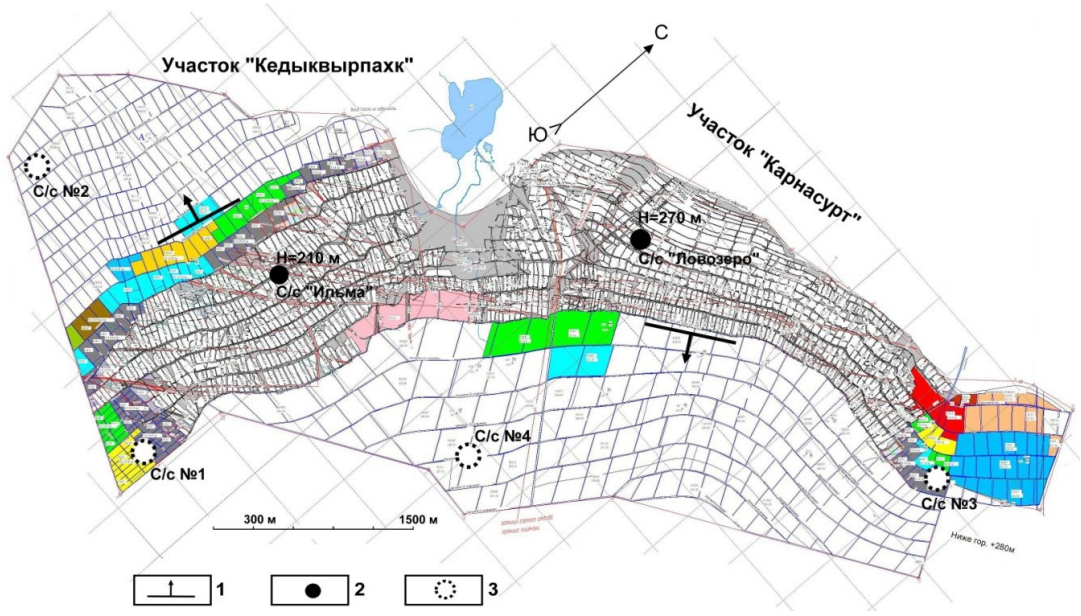
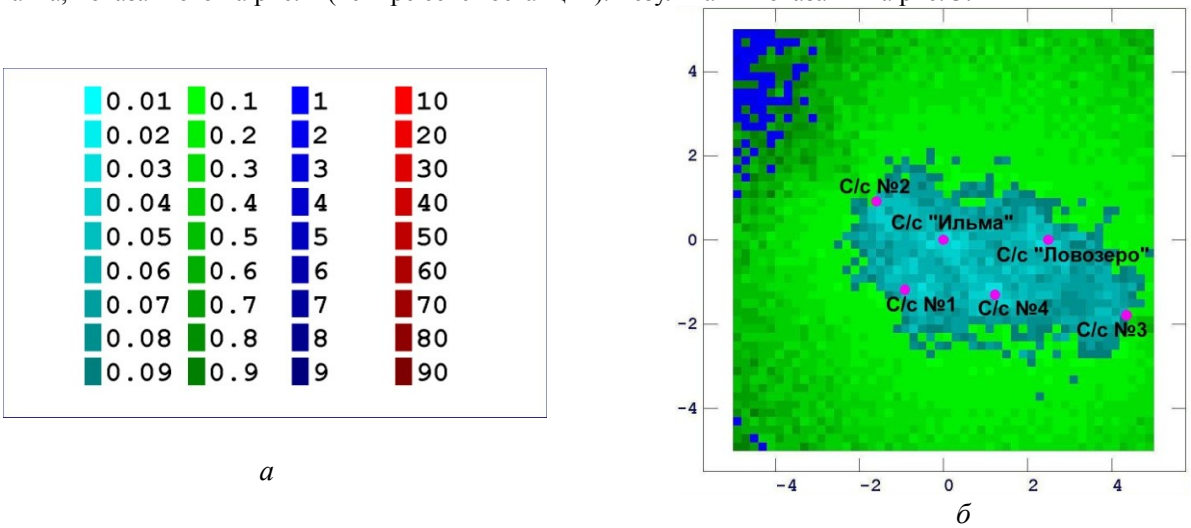


Рис. 2. Схема развития горных работ по нижней отрабатываемой залежи II-4:
1 — направление развития работ; 2 — действующие сейсмостанции;
3 — места расположения новых сейсмостанций)

Возможные погрешности локации были рассчитаны для нескольких вариантов размещения сейсмостанций, в том числе для исходного размещения (для двух имеющихся станций) и для окончательного варианта, показанного на рис. 2 (четыре сейсмостанции). Результаты показаны на рис. 3.



а *б*

Рис. 3. Результаты расчетов погрешностей локации для различных конфигураций сейсмических станций при моделировании:
а — легенда (величина погрешности локации, км); *б* — распределение погрешностей локации для сети из 6 станций, расположенных в соответствии с рис. 2

Результаты моделирования, которые приведены на рис. 3, показывают, что для уверенной локации сейсмических событий на шахтном поле рудника необходимо к двум существующим сейсмостанциям (рис. 1) добавить еще, как минимум, по две станции на каждом из участков «Карнасурт» и «Кедыквырпахк». Приблизительное местонахождение необходимых новых сейсмостанций показано на рис. 2. Из них одну сейсмостанцию целесообразно установить на нижних горизонтах южного фланга участка «Кедыквырпахк» (рис. 2) уже в настоящее время, так как положение горных выработок там в дальнейшем не изменится. Другую сейсмостанцию целесообразно поставить вблизи крайнего западного фланга на верхних горизонтах участках «Кедыквырпахк» (рис. 2), куда будут развиваться очистные работы по выемке рудной залежи в ближайшие годы. Установка этой станции возможна через определенный период времени в соответствии с развитием горных работ. Целесообразное расположение новых станций на участке «Карнасурт» показано на рис. 2. Одну из них, на восточном фланге участка, можно установить уже в ближайшее время, так как положение горных работ там практически поставлено в конечное положение. Другую станцию, близкую к южному флангу участка

«Карнасурт», можно установить через несколько лет, по мере развития горных работ. Приведенная сеть сейсмических станций (рис. 2) позволит контролировать сейсмические события в массиве рудника «Карнасурт».

Выводы

Приведены результаты исследований по размещению сейсмостанций на весьма обширном шахтном поле рудника «Карнасурт» с учетом точности локации возможных сейсмических событий в массиве и развития горных работ на период до 2035 г. Показано, что для уверенной регистрации и локации событий в дальнейшем необходима установка, как минимум, еще двух сейсмических станций на каждом из участков шахтного поля рудника.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 15-05-04323.

С. В. Лукичев, О. В. Наговицын
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, lu24@goi.kolasc.net.ru, Nagovitsyn@goi.kolasc.net.ru

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В основе современных методов инженерного обеспечения горных работ для решения геологических, маркшейдерских и технологических задач лежит использование трехмерных цифровых моделей, включающих информацию о геометрических размерах объекта, пространственном положении, физико-механических, технологических и технико-экономических свойствах объектов горной технологии. Структура и состав цифровых моделей и баз данных (БД), программные средства создания и управление ими, методы решения прикладных задач, способы визуализации моделей и подготовки на их основе технологической документации формируют компьютерную технологию работы с пространственной геотехнологической информацией. На сегодняшний день известно достаточно много развитых горно-геологических информационных систем (ГГИС), представленных как зарубежными системами, так и российскими и стран СНГ. Кроме того, имеется множество программ, которые решают узкоспециализированные задачи, например: автоматизация проектирования массовых взрывов, решение маркшейдерских и геодезических задач, оптимизация параметров вентиляционных сетей, расчет напряженно-деформированного состояния массива горных пород и т. д.

Разработанная в ГоИ КНЦ РАН ГГИС MINEFRAME является одним из представителей специального программного обеспечения для горной промышленности, на ее примере можно рассмотреть, из каких частей она состоит и как решаются задачи геологического моделирования, маркшейдерского обеспечения, проектирования и планирования горных работ [1, 3, 6]. ГГИС MINEFRAME состоит из нескольких компонентов (приложений):

1. Редактор БД геохимического опробования (ГХО) GEOTOOLS — многооконный специализированный редактор, предназначенный для работы с многокомпонентными пробами из скважин и выработок (борозд, траншей, профилей). В своем составе он имеет средства экспорта, импорта данных, их сортировки и выборки, группировки проб для выделения кондиционных и сортовых интервалов, составления отчетов.

2. GEOTECH-3D является основным компонентом ГГИС MINEFRAME. Программа предназначена для визуализации моделей объектов горной технологии (ОГТ) и предоставления необходимого графического интерфейса при решении задач геологического моделирования, планирования, проектирования и сопровождения горных работ. Для реализации этих возможностей имеются программные средства создания цифровых моделей: геологических проб, маркшейдерских точек, рудных тел, горных выработок, выемочных единиц, конструктивных элементов и узлов системы разработки, природных и техногенных поверхностей (топоповерхности, карьеры, отвалы).

3. Редактор БД ГТО — MINEGEAR обеспечивает работу с БД горного оборудовании, запасных частей, расходных материалах. Имеется функционал формирования технологических комплексов, используемых в процессе планирования горных работ. При составлении месячного графика работы горного оборудования БД ГТО служит источником информации о типах, списочном составе и производительности ГТО, графике планово-предупредительных ремонтов. БД ГТО содержит сведения о производителях техники и расходных материалов, типах и моделях оборудования, его основные технологические характеристики и параметры, единицы их измерения.

4. Программа обслуживания баз данных – GEOUSERS **обеспечивает работу с БД коллективного пользования, которая становится основным источником горно-геологической информации на предприятии, что, в свою очередь, выдвигает ряд требований для обеспечения сохранности данных:** использование надежного SQL сервера управления БД; ограничение круга специалистов, имеющих доступ к БД (достигается формированием списка пользователей и процедуры аутентификации); разграничение уровня доступа специалистов различного профиля к моделям объектов, хранящимся в БД; наличие средств архивирования, восстановления и ремонта БД.

Реализация геоинформационного подхода к решению задач горного производства заключается в создании программных средств и инструментов, позволяющих решать задачи моделирования ОГТ, а на основе их использования — проектировать и планировать горные работы, учитывать объемы и качество

добываемого ПИ, создавать горную графическую документацию. Сложные инструменты и программные модули ГГИС основаны на едином моделирующем ядре, унифицированном доступе к объектам, хранящимся в БД, и единообразном пользовательском интерфейсе. За все время развития системы разработано множество инструментов и модулей, входящих в автоматизированные рабочие места маркшейдеров, геологов, горных технологов.

В качестве примера можно привести небольшой обзор наиболее значимых модулей и инструментов ГГИС, а также возможности, которые они предоставляют для решения задач проектирования и планирования горных работ.

Геологическое моделирование. Цель геологического моделирования состоит в том, чтобы на основе ГХО построить трехмерные модели геологической среды, которые будут использованы для подсчета запасов ПИ, при проектировании и планировании горных работ. Модель сети ГХО состоит из набора скважин, борозд, траншей, для каждой из которых существует список проб, которые, в свою очередь, содержат список компонентов ПИ со значениями содержаний или иных характеристик. Для нахождения зависимостей, описывающих изменчивость содержания полезного компонента, используются методы теории пространственной переменной — геостатистики, являющейся мощным инструментом для получения наиболее достоверной информации о запасах полезных ископаемых, оптимального планирования их отработки и проведения геолого-разведочных работ. Инструменты геостатистического анализа позволяют проводить полный цикл исследований месторождения с целью получения значений содержания полезных компонентов в любой точке массива в пределах рудных тел, включающий подбор теоретических вариограмм по направлениям и осуществление перекрестной проверки математической модели изменчивости.

Модуль маркшейдерских расчетов. Основой для решения маркшейдерских задач является БД (каталог) точек маркшейдерского обоснования (маркшейдерских точек). С помощью маркшейдерского редактора решаются такие задачи, как: пополнение и редактирование каталога маркшейдерских точек, нахождение дирекционного угла, определение координат точки методом прямой и обратной засечки, расчет и уравнивание теодолитного хода, обработка результатов тахеометрической съемки. Результаты расчета в виде моделей маркшейдерских объектов отображаются в трехмерном моделируемом пространстве, что обеспечивает визуальный контроль над выполненными вычислительными операциями.

Проектирование горных работ. К проектной части относятся средства геометрического моделирования и, в частности, инструменты моделирования открытых и подземных горных выработок. Они позволяют задать точную форму и размеры моделей, добавлять и удалять их части, проверить их взаиморасположение в трехмерном пространстве. Существуют средства автоматизированного построения бровок, берм и площадок, съездов, траншей и насыпей, подземных выработок, секций, блоков. С их помощью решаются такие задачи, как создание бортов карьеров с параметрами, заданными их конструкцией; формирование схем вскрытия ОГР и ПГР; построение моделей насыпных сооружений, в том числе отвалов. При проектировании горных работ, в ГГИС MINEFRAME осуществляется уточнение фактического состояния горных работ и создание проектных моделей технологических объектов. Для контроля технологических процессов (проходка горных выработок, подготовка выемочных единиц) исходное состояние для проектирования должно быть представлено моделями фактических объектов, создаваемых маркшейдерской службой предприятия.

Проектирование массовых взрывов на ОГР и ПГР. Процесс проектирования взрывного блока на открытых работах состоит из следующих этапов: создание трехмерной модели взрывного блока; расчет основных параметров буровзрывных работ; автоматизированное размещение моделей скважин; использование моделей скважинных зарядов; формирование схемы коммутации; подготовка текстовой и графической документации, входящей в проект МВ [2]. Инструмент проектирования МВ для подземных работ позволяет решать следующие задачи: учет геотехнологических объектов, попадающих в область проектирования, при формировании веера скважин; загрузка фактических данных по обуренным скважинам; создание, редактирование и привязка конструкций зарядов к скважинам; заряжание скважин на основе заданных шаблонов; создание модели границы отбойки; формирование отчетной документации по проекту массового взрыва.

Инструменты для планирования горных работ. Планирование горных работ является одним из важнейших процессов, который определяет последовательность работ в рабочей зоне карьера, порядок подготовительных и очистных работ [4]. Для решения задач планирования предназначены инструменты вариантной оценки объемных и качественных показателей выемочных единиц, построения графиков работы оборудования, управления рудопотоками и др.

Планирование слоевой выемки ПГР. Модуль планирования подземных горных работ для системы разработки со слоевой выемкой обеспечивает возможность проведения многовариантного анализа горнотехнических условий, возникших на момент начала процесса планирования. Это позволяет оперативно определять параметры производительности, показатели потерь и разубоживания ПИ и качества руд в целом, оценивать особенности применения различных вариантов развития горных работ, подбирать технологическое оборудование. На основе сформированного плана горных работ производится расчет технико-экономических показателей по основным технологическим процессам добычи ПИ.

Планирование проходки. Модуль планирования проходки позволяет задавать очередность проведения подземных выработок с учетом: выбора типа планируемых объектов — линейные и камерные горные

выработки подземных горизонтов и блоков; выбора направления в пространстве проходки выработки, скорости проведения для линейных и камерных выработок, количества забоев в одновременной работе; выбора очередности проведения выработок; планирования проходки с заданного сечения или времени.

Закладочные работы. Закладка выработанного пространства является важной частью технологии ведения горных работ на многих подземных рудниках. Автоматизированные инструменты инженерного обеспечения работ по закладке выработанного пространства подземного рудника решают следующие задачи: работа с перемычками, ограничивающими закладочные секции; создание моделей закладочных секций; формирование актов передачи/возврата секций под закладку; формирование графических материалов; формирование паспорта искусственной кровли; трассировка трубопроводов закладочной смеси; фильтрация (выборка) секций: по дате; по слоям; по горизонтам/по блокам.

Визуализация и мониторинг. Немаловажными являются программные средства визуализации и мониторинга техногенных и природных процессов, связанных с ведением горных работ. Так, геомеханический мониторинг, представленный расчетными полями напряжений и деформаций, а также данными мониторинга сейсмоакустических событий с возможностью использования в едином моделируемом пространстве геологической, технологической и геомеханической информации позволяют принимать более взвешенные технологические и организационные решения, направленные на повышение безопасности и эффективности отработки удароопасных месторождений [5]. ГГИС MINEFRAME находится в постоянном развитии, в последнее время были реализованы новые инструменты для решения технологических задач, среди них можно отметить следующее.

Инструменты для определения параметров залегания рудных тел и пластов — для расчета используются триангуляционные модели. Проводится анализ поверхностей модели и на его основе выделяются такие части, как кровля (висячий бок), почва (лежачий бок) и торцевые части каркасной модели. На основе этого анализа проводится определение углов падения лежачего и висячего боков, значения мощности (нормальной, вертикальной или горизонтальной). Они вносятся в блочную модель и могут быть впоследствии визуализированы или подвергнуты статистической обработке для выделения и подсчета кондиционных запасов.

Анализ горно-геологических условий залегания проводится на каркасных моделях геологических объектов на заданной системе разрезов и горизонтов. Определяются такие характеристики, как горизонтальная площадь рудного тела на этих горизонтах и разрезах с учетом целиков, горизонтальная и нормальная мощность рудного тела и прослоев пустых пород. Результатом является сводная таблица рассчитанных характеристик, необходимая для планирования подземных горных работ.

Набор опробования необходим для расчета показателей качества полезного ископаемого заданных объектов горной технологии (геологические тела и выемочные единицы) на основе данных геохимического и геофизического опробования. Может использоваться для расчета качественных показателей для объектов в случаях, когда опробование не попадает внутрь объекта (для планируемой выемки).

Создание маркшейдерского замера — для расчетов плановых и фактических показателей добычи на основе моделей объектов горной технологии и геологии. Инструмент позволяет подготовить информацию по подземным горным выработкам, пройденным за отчетный период. Данные включают: дату проходки, участок, блок, слой, точка привязки замера, привязка на начало отчетного периода, привязка на конец отчетного периода, длина проходки, средняя ширина выработки, паспортная ширина, объем фактический и объем, принятый в оплату.

Разработанные средства компьютерного моделирования, проектирования и планирования горных работ системы MINEFRAME обеспечивают возможность автоматизированного решения задач горного производства при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Инструменты системы позволяют реализовать современные методические подходы к автоматизированному проектированию, планированию и инженерному сопровождению горных работ.

Литература

1. Лукичев С. В., Наговицын О. В. Системный подход к решению задач горной технологии на основе моделирования ее объектов и процессов // Проблемы недропользования. Екатеринбург, 2016. № 4. С. 141–151.
2. Лукичев С. В., Шишкин А. С., Гурин К. П. Реализация алгоритма моделирования границы отрыва при проектировании скважинной отбойки // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 192–197.
3. Наговицын О. В., Лукичёв С. В. Горно-геологические информационные системы — история развития и современное состояние. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 196 с.
4. Модуль планирования горнопроходческих работ в программном комплексе MINEFRAME / С. В.Лукичев и др. // Горн. информ.о-аналит. бюл.: [науч.-техн. журн.]. 2014. № 7. С. 268–272.
5. Подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ в системе MINEFRAME С. В. Лукичёв и др. // Горн. журн. 2015. № 8. С. 53–57.
6. Kapageridis I. K. Current State of Integrated Software Solutions for the Mining Industry // The Masterbulder / 2009. April. P. 78–82.

М. В. Мелихов[1], Г. В. Чащинов[2]
[1]*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, mmelikhov@inbox.ru*
[2]*ООО «НПК "Геополимер"», Ковдор*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СКЕЙЛИНГ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА ОТ КАМНЕПАДОВ

В настоящее время карьерный автотранспорт наиболее востребован в горнопромышленных странах: на его долю в России и странах СНГ приходится более 75 %, в США, Канаде и Южной Америке — более 85 %, а в Австралии — практически 100 % всех грузопотоков [1]. Обеспечение безопасных условий его работы является обязательным требованием [3] к проекту разработки месторождений полезных ископаемых.

Главным поражающим фактором в горном деле по-прежнему остаются скально-обвальные явления. Согласно международной статистике, ежегодно с ними связано 24 % [5] (в России — 19,6–50 % [2]) от общего числа смертельных инцидентов. На карьерах они проявляются в виде просадок, селей, оползней и разновидностей камнепадов (осыпей, обвалов, вывалов, обрушений). Среди них широко распространены последние, которые представляют наибольшую угрозу для жизнеобеспечения операторов техники в связи с мгновенной скоростью протекания явления, свободным перемещением породных масс в пространстве и низкой несущей способностью персональных защитных устройств.

В сфере строительства существуют следующие инженерные методы борьбы с камнепадами:

1) изменение конфигурации участка (перепланировка/разнос);
2) внедрение средств инженерной защиты (активной/пассивной);
3) оборка или обезопашивание откосов (скейлинг).

Изменение конфигурации участка является наиболее надежным решением, принятие которого целесообразно при значительных объемах нарушенных массивов, в особенности, когда не требуется реконструкция объектов инфраструктуры карьера. При сохранении угрозы камнепадов, когда объемы нарушенных пород не велики, технически верным решением будет внедрение активных/пассивных средств инженерной защиты. Активная защита при условии правильного учета всех влияющих факторов предотвращает развитие опасных подвижек блоков пород путем их закрепления, тем самым обеспечивая высокий уровень безопасности объекта и сохранение его проектной конфигурации. Пассивная защита достигается строительством пропускных и улавливающих сооружений, которые препятствуют падению камней в рабочее пространство карьера. Самым дешевым методом борьбы с камнепадами является скейлинг (термин, согласно американскому толковому словарю 1968 г., дословно переводится на русский язык как «*удаление сыпучих горных пород с кровли или стен горных выработок»* и является профессиональным). Технология скейлинг представляет собой принудительно управляемое удаление неустойчивых блоков пород с поверхности откосов вручную или механизированным способом с помощью буровзрывного оборудования и средств гидромеханизации. Ее применение наиболее выгодно при малом сроке службы сооружения, как правило, до 3–5 лет. Стоит отметить, что при выборе любого из методов борьбы с камнепадами следует изначально руководствоваться его целевым назначением, а затем экономическими затратами.

Традиционным способом открытой геотехнологии в борьбе с камнепадами при поверхностном залегании неустойчивых пород остается механический скейлинг с использованием экскаваторной техники. Однако несмотря на высокую производительность, он годится только для обслуживания откосов на транспортных горизонтах. Также известны технологии с применением других видов строительной техники, включая специфические способы (буровзрывной скейлинг, бурогидроскейлинг, артобстрел-скейлинг). В свою очередь, ручной скейлинг осуществляется методом промышленного альпинизма, для которого характерно высокое качество работ. Исходя из объемов работ, механический скейлинг целесообразен для обслуживания карьера целиком, а ручной — для его локальных зон, где сохраняется аварийность и отсутствует доступ для горной техники.



Рис. 1. План участка работ (АО «Ковдорский ГОК», 2016 г.)

Достаточный опыт работ по технологии скейлинг-методом промышленного альпинизма имеет ООО «НПК "Геополимер"» совместно с Горным институтом КНЦ РАН, обеспечивающим их научно-методическое сопровождение. Технология нами успешно внедрена в основном при строительстве олимпийских объектов в Сочи. Также она апробирована на одном из крупнейших отечественных карьеров современности — карьере «Железный» АО «Ковдорский ГОК» (рис. 1). Аварийное состояние его участка площадью 105 тыс. м² было вызвано ежедневным падением породных отдельностей на нижнюю автотранспортную берму, а выбор технологии ручного скейлинга обусловлен малым сроком его существования в связи с предстоящим разносом бортов. Проект работ разработан в соответствии с действующей нормативно-технической документацией. Методика их проведения регламентирована техническим заданием, с учетом инженерно-геологического строения массива и особенностей эксплуатируемого карьера. В состав проекта вошли: осмотр состояния уступов; оценка условий безопасности; планировка участка; технология работ и определение нагрузок на используемые конструкции.

На основании результатов ранее выполненных инженерных изысканий (АО «МГРЭ», Геологическим и Горным институтами КНЦ РАН, 2013 г.) определено, что данный участок сложен крепкими породами (табл. 1) и попадает под влияние клиновидных деформаций, которые проявились в виде осыпей-обвалов. После проведения визуального осмотра выявлено: 1) полная заполненность предохранительных берм упавшими породами под углом 36–38° в сторону выемочного пространства; 2) наличие на всех бермах большого количества неустойчиво лежащих валунов; 3) образование заколов в локальных местах откосов.

Таблица 1

Физико-механические свойства горных пород на участке производства работ

Горные породы	Плотность ρ, т/м^3	Предел прочности при, МПа		Параметры паспорта прочности		Скорость продольной волны V_p, км/с	Упругие характеристики	
		сжатии $\sigma_{сж}$	растяжении $\sigma_р$	сцепление C, МПа	Угол внутреннего трения φ, град.		модуль Юнга E, МПа	коэффициент Пуассона ν
Пироксенит	3,14	81,54	6,25	20,50	36,76	5,11	7,25	0,21
Оливинит	3,19	103,33	9,32	27,32	33,73	6,13	10,62	0,23

При обследовании нижней и верхней автотранспортных берм отобрано 50 наиболее крупных образцов из лежащих блоков пород, вычислены их объемные параметры и оценены опасные значения для местной автотехники. Самый крупный валун имел объем 6,63 м³ (размеры 2×1,95×1,7 м), а часто встречаемые — 0,01–0,38 м³. По законам кинематики движения падающего тела установлено, что при срыве камня с бровки верхнего транспортного горизонта достаточно его объема свыше 0,03 м³ (размерами 13,5 см) для нанесения серьезного ущерба кабине оператора автотехники, защищенной устройством FOPS Level II. Все неустойчиво залегающие куски породы, превышающие эти размеры, рекомендовалось ликвидировать.

Планировка участка производства работ состояла из следующих мероприятий: обозначения его границ; установления сигнальных ограждений, запрещающих знаков и защитных ограждений; определения мест для складирования материалов и оборудования; создания наблюдательных пунктов, а также определения фронта работ.

Технология работ заключалась в применении комплекса ручного оборудования: перфоратора Hilti SDS-Max, разжимного клина КР2, металлических ломов и лопат. Участок делился на сектора, а подвигание фронта работ осуществлялось последовательно вдоль уступа. Изначально производилась напорная гидромеханизация бровки верхнего уступа при помощи карьерной поливочной машины для снижения запыленности и повышения производительности работ. С целью реализации поставленной задачи сконструирована передвижная платформа (рис. 2), состоящая из несущих элементов и покровного материала. Платформа закреплялась в устойчивом массиве съемными анкерами и перемещалась до следующего сектора с помощью бульдозерной техники. При ее проектировании учитывались статические и динамические нагрузки, а методические расчеты велись в соответствии с техническими указаниями по усилению пути на скально-обвальных участках [4]. Анкер, работающий в этих условиях на срез и вырыв, рассчитывался на нагрузку, приходящуюся от веса полотна сетки и промальпиниста вместе со снаряжением. На 13 установленных анкеров действовала нагрузка от трех сеточных полотен, а нагрузка от промальпиниста распределена на 2 анкера. Расчет его прочности на срез проводился на определении касательных напряжений, возникающих в поперечном сечении, а на вырыв — вертикальной составляющей, при этом учитывался собственный вес платформы, а также сила трения по площади основания анкера. Результаты расчетов приведены в табл. 2–3.

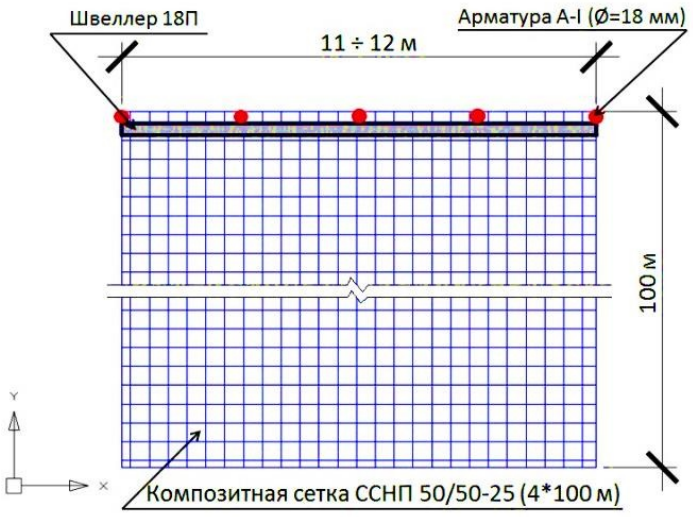


Рис. 2. Схема передвижной платформы

Таблица 2

Основные результаты расчета несущего анкера на срез

Параметр	Условное обозначение	Значение
Допускаемое напряжение каждого анкера по пределу текучести	σr, кгс/см²	2400
Расчетная поперечная нагрузка на анкер	Q, кгс	107
Площадь среза стержня арматурной стали *A-I*	$F_{ср}$, см²	2,54
Рабочее напряжение анкера на срез	$\tau_{ср}$, кгс/см²	42,1
Допускаемое напряжение анкера на срез	$[\tau_{ср}]$, кгс/см²	1800
Коэффициент запаса при работе арматуры на срез	$K_{зап}$, ед.	0,75
Проверка: $K_{зап} \cdot \sigma r > \tau_{ср}$ или $[\tau_{ср}] > \tau_{ср} = Q/F_{ср}$ (1800 > 42,1 кгс/см²) — условие прочности на срез *выполняется*.		

Покровная сетка препятствовала падению камней на промальпинистов и наращивалась по мере завершения работ на каждом уступе. Критериями выбора ее модели явились: подходящая размерность ячеек (35 мм), достаточная несущая способность (до 3,1 кг), легкий вес (300 г/м²), низкая цена (60 руб./м²) и оптимальные размеры рулона (4*100 м). При обосновании сетки оценены требуемые параметры ее конструкции в зависимости от формы камней. Геометрическими расчетами установлено, что при одинаковом весе наибольшую проникающую способность сквозь ее ячейку имеют камни кубической, затем округлой и тетраэдральной форм (в заданных условиях при опасной массе камня 170 г их размерность следующая: 37.9; 47.0 и 77.3 мм, соответственно).

Таблица 3

Основные результаты расчета несущего анкера на вырыв

Параметр	Условное обозначение	Значение
Вес конструкции, приходящийся на один анкер	$G_к$, кг	15
Вес горных пород в зоне воздействия анкера	$G_{гп}$, кг	178,6
Вертикальная составляющая	$N_в$, кгс	80,8
Проверка: $(G_{гп} + G_к)/N_в$ (2,4 > 1,1÷1,2) — условие прочности на вырыв *выполняется*.		

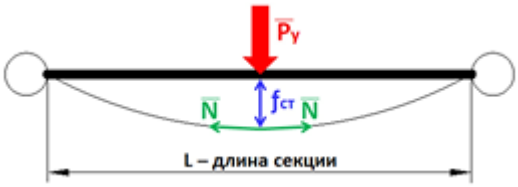


Рис. 3. Схема к расчету динамических нагрузок на покровную сетку [4]

Несущая способность сетки определена по результатам расчета силового воздействия, возникающего при ударе. Расчетная схема показана на рис. 3, а результаты приведены в табл. 4.

В процессе выполнения промышленных работ случаев производственного травматизма не зафиксировано, а после их завершения признаков камнепада на автотранспортной берме не наблюдалось в течение контрольного времени (рис. 4).

Таблица 4

Основные результаты расчета динамических нагрузок на покровную сетку

Параметр	Условное обозначение	Значение
Усилие на разрыв ячейки (по данным лабораторных испытаний)	$N_{разр}$, кН	1,226
Длина секции	L, м	12
Скорость (max) взаимодействия камня с сеткой	$V_{мах}$, м/с	21,7
Масса камня	m, кг	3,1
Кинетическая энергия падения камня	E, кДж	0,7
Стрела прогиба сетки при растяжении	$f_{ст}$, м	0,78
Сила удара камня об ограждение	$P_у$, кН	0,2
Растягивающее усилие в нити (ячейке) при ударе	$N_д$, кН	0,9
Коэффициент запаса сетки	$K_{зап}$, ед.	1,3
Проверка: $K_{зап} \cdot N_д \leq [N_{разр}]$ (1,17≤ 1,226) — условие прочности на разрыв *выполняется.*		



Рис. 4. Результаты промышленных работ (вид с гор.+118 м)

Заключение

Совместный опыт компании ООО «НПК "ГеоПолимер"» и Горного института КНЦ РАН подтвердил пригодность технологии скейлинг-методом промышленного альпинизма в условиях открытых горных работ. Основные выводы заключаются в следующем.

1. В практике открытых горных работ механическое обслуживание уступов с целью профилактики камнепадов реализуется только на транспортных горизонтах, в то время как на смежных между ними уступах мероприятия в полном объеме не осуществимы вследствие их плохого состояния и больших трудозатрат. В результате предохранительные бермы перестают выполнять свои прямые функции, что создает реальную угрозу для жизнеобеспечения карьерной техники. Решение проблемы на аварийных участках возможно путем ручного скейлинга или применения геотехнологий, в том числе безлюдных, на основе спецтехники и скреперного оборудования, а также увеличения проектной ширины площадок или внедрения средств инженерной защиты (укрепляющих материалов, улавливающих сеток или высоких ограждений заборного типа, искусственных берм или галерей и т. д.).
2. Применение технологии ручного скейлинга целесообразно только для обслуживания локальных зон карьера. На аварийном участке площадью до 100 тыс. м² выполнение работ по этой технологии обеспечивает высокое качество и приемлемую производительность при ее низкой стоимости. Средняя фактическая производительность без учета всех остановок в работе составила 1750 м²/сут, а стоимость работ — примерно в 25 раз ниже средней цены по монтажу кольчужных противокамнепадных сеток.
3. Натурными наблюдениями выявлено: средства напорной гидромеханизации значительно повышают производительность работ и улучшают их условия проведения; эффективность ручного скейлинга снижается при переходе с крутонаклонных откосов на вертикальные и пологие по техническим соображениям; полное обслуживание предохранительных берм вручную невыполнимо из-за крупной блочности лежащих пород, где следует использовать средства механизации.
4. При работе промальпинистов на высоких уступах следует использовать временную защиту из покровных материалов с такой конструкцией, которая обеспечит их безопасность от падающих сверху камней. На 30-метровых уступах применение синтетической сетки типа ССНП защищает от камней весом до 3,1 кг. К проектированию рекомендуются материалы с большей стойкостью к изгибающим нагрузкам.

Литература

1. Анистратов Ю. И., Анистратов К. Ю., Щадов М. И. Справочник по открытым горным работам / НТЦ «Горное дело». М., 2010. 700 с.
2. Годовой отчет о деятельности Ростехнадзора в 2015 г. / ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности». М., 2016. 361 с.
3. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых / Ростехнадзор. 2014. 136 с.
4. Технические указания по усилению пути на скально-обвальных участках / ОАО «Российские железные дороги». 2009. 160 с.
5. International Mining Fatality Database (2008): Project Report / Produced by: Patrick MacNeill. NSW Department (Australia), 33 pages.

Г. В. Митрофанова, В. А. Иванова

Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, gera@goi.kolasc.net.ru, ivanovava@goi.kolasc.net.ru

ОКСИЭТИЛИРОВАННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ — РЕГУЛЯТОРЫ ФЛОТАЦИИ АПАТИТА

Флотация играет ведущую роль в комбинированных технологиях переработки комплексных апатитсодержащих руд. Одна из сложных задач, решаемых при обогащении руд Ковдорского месторождения, — селективное разделение двух минералов, апатита и кальцита, обладающих близкими флотационными свойствами. Кроме того, технология переработки таких руд предусматривает использование оборотных вод, характеризующихся большим солесодержанием. Оборотная вода, используемая при обогащении апатит-карбонатных руд Ковдорского месторождения содержит до 60 мг/л ионов жесткости, из них 25–30 мг/л приходится на ионы кальция. В таких условиях эффективность действия традиционно используемых при флотации апатита карбоксильных собирателей резко снижается и получение требуемых технологических показателей невозможно без применения вспомогательных реагентов.

Так, на примере флотации немагнитной фракции апатит-карбонат-силикатной руды Ковдорского месторождения (10,2 % P_2O_5, 27,9 % MgO) показано, что при использовании только жирнокислотного собирателя ЖКТМ не удается получить качественный апатитовый концентрат. Содержание P_2O_5 в пенном продукте второй перечистки, полученном при расходе ЖКТМ 120–200 г/т, не превышает 21–22 % при извлечении P_2O_5 всего 42–52 % соответственно.

В качестве реагентов, повышающих эффективность действия основного карбоксильного собирателя используют неионогенные вещества, положительный эффект действия которых проявляется на всех участках флотационного процесса: на границах раздела газ — жидкость, твердое тело — жидкость. Известно, что их совместное применение с ионогенными собирателями в качестве соадсорбирующегося вещества увеличивает гидрофобность разделяемых минеральных частиц [2], изменяет прочность закрепления карбоксильного собирателя на породообразующих минералах [3], позволяет эффективно осуществлять флотацию руды при пониженной температуре пульпы [5].

При флотации апатита из апатит-карбонатной руды в настоящее время используют этоксилаты нонилфенолов (АФ), флотационные свойства которых в значительной степени зависят от степени оксиэтилирования. Ранее проведенными исследованиями показано, что этоксилаты нонилфенолов с низким числом оксиэтильных групп скорее следует рассматривать как дополнительный собиратель, усиливающий гидрофобизующее действие жирнокислотного собирателя при их совместном применении. Этоксилаты с более высокой степенью оксиэтилирования повышают активность жирнокислотного собирателя за счет их способности диспергировать образующиеся во флотационной пульпе кальциевые мыла, увеличивают прочность закрепления собирателя на поверхности минерала, увеличивают диспергацию воздушной фазы во флотационной пульпе [1].

Несмотря на то, что этоксилаты нонилфенолов не являются опасными по степени воздействия на организм человека (3-й и 4-й класс опасности), данный класс соединений относится к биологически «жестким» ПАВ и характеризуется токсичностью продуктов биоразложения по отношению к водным организмам. Ввиду этого в качестве альтернативы используемым реагентам рассмотрены биологически «мягкие» с экологической точки зрения этоксилаты алифатических спиртов.

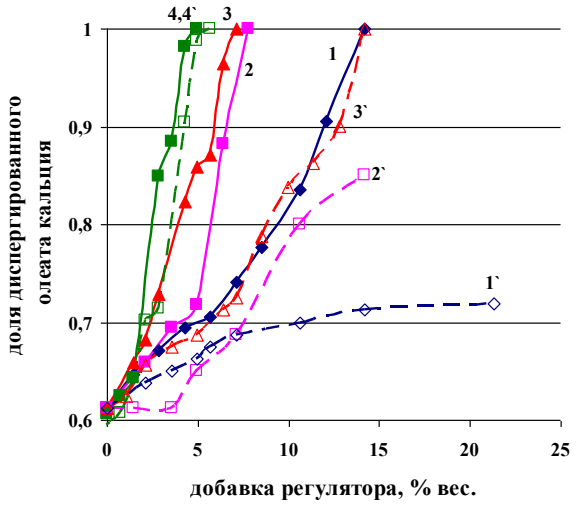
Проведено сравнение физико-химических и флотационных свойств ряда этоксилатов нонилфенолов АФ 9-n (I) и алифатических спиртов ОС-n (II) с одинаковой степенью оксиэтилирования.

$$C_9H_{19}\text{-}C_6H_4\text{-}O(CH_2CH_2O)_nH \qquad \textbf{I}$$

$$RO\text{-}(CH_2\text{-}CH_2O)_nH \qquad \textbf{II}$$

где R — насыщенный углеводородный радикал состава $_{12}$-C_{14}, n — число этоксигрупп: n = 2, 4, 6, 8, 10.

При флотации на оборотной воде с высоким содержанием ионов кальция важным фактором, определяющим активность жирнокислотного собирателя, является дисперсность их кальциевых мыл. Изучено влияние рассматриваемых оксиэтилированных соединений на состояние в растворе кальциевых солей олеиновой кислоты. Результаты исследований показали, что этоксилаты алифатических спиртов более эффективно диспергируют кальциевые мыла по сравнению с этоксилатами нонилфенолов (рисунок). Так, при жесткости раствора 13,4 мг-экв/л ионов Ca^{2+} добавки 5–13 % вес. этих реагентов достаточно для диспергации практически всего олеата кальция. За счет образования на поверхности частиц кальциевого мыла ассоциатов с оксиэтилированными реагентами создается защитный слой, содержащий значительное количество молекул воды, связанных с оксиэтильными группами водородными связями. Этот гидрофильный слой и препятствует коагуляции кальциевой соли олеиновой кислоты [4]. Возможность образования таких ассоциатов косвенно подтверждается полученными ранее данными по мицеллообразованию в растворах олеата натрия с добавками оксиэтилированных соединений [1].



Диспергация олеата кальция оксиэтилированными соединениями (Ca^{2+}=13,4 мг-экв/л):
1 — ОС-2; 1' — АФ 9-2; 2 — ОС-4; 2' — АФ 9-4; 3 — ОС-6; 3' — АФ 9-6; 5 — ОС-10; 5' — АФ 9-10

В процессе флотации этоксилаты нонилфенолов и алифатических спиртов адсорбируются на поверхности минералов наряду с карбоксильным собирателем. При этом часть активных центров на поверхности минералов становится недоступна для закрепления собирателя. Изучена адсорбция рассматриваемых регуляторов на поверхности чистых минералов — апатита и кальцита, и проведена оценка влияния этих реагентов на адсорбцию олеиновой кислоты (табл. 1). Полученные результаты показали, что практически все этоксилаты адсорбируются на кальците в большей степени по сравнению с апатитом. Присутствие этих реагентов в растворе в количестве 50 на 50 (моль) совместно с олеиновой кислотой снижает абсолютное количество адсорбированного на минералах собирателя. При этом, поскольку сами этоксилаты предпочтительно адсорбируются на кальците, добавка этих соединений изменяет соотношение закрепившегося на апатите и кальците олеата натрия. Большее количество олеата натрия адсорбируется на апатите.

Таблица 1

Адсорбция оксиэтилированных соединений и олеата натрия на минералах, t = 20 °C, pH = 10

Реагент	Адсорбция, $A \cdot 10^{-6}$, моль/г вещества		Реагент	Адсорбция, $A \cdot 10^{-6}$, моль/г вещества	
	на апатите	на кальците		на апатите	на кальците
ОС-2	3,53	4,05	Олеат натрия	4,75	5,94
АФ 9-2	6,98	7,05	Олеат ОС-2	2,65	1,95
ОС-6	4,36	5,01	Олеат АФ 9-2	2,65	4,05
АФ 9-6	3,44	4,81	Олеат ОС-6	3,79	1,75
ОС-10	5,26	5,35	Олеат АФ 9-6	2,62	1,48
АФ 9-10	4,42	4,16	Олеат ОС-10	2,66	2,08
			Олеат АФ 9-10	3,16	4,54

Данные по адсорбции согласуются с результатами, полученными при изучении гидрофобизирующего действия карбоксильного собирателя по отношению к апатиту и кальциту. Проведена оценка прочности закрепления олеата натрия на минералах, определяющая эффективность флотационного разделения апатита и кальцита, методом беспенной флотации минералов в условиях десорбции (смена жидкой фазы — 50 %) (табл. 2). Выявлено, что все рассматриваемые этоксилаты влияют на количество и прочность закрепления собирателя на апатите — выход апатита в пенный продукт увеличивается при добавлении к олеату натрия 30 % регулятора, как в нормальных условиях, так и в условиях десорбции. По-видимому, именно эти свойства обеспечивают необходимую селективность разделения апатит-кальцитового минерального комплекса, что подтверждается результатами флотации апатит-карбонатной руды в условиях высокого (~60 мг/л) содержания во флотоводе солей жесткости (табл. 3).

Таблица 2

Результаты флотации апатита в трубке Халимонда при фиксированном расходе олеата натрия $8 \cdot 10^{-6}$ моль/л

Реагент	Выход апатита, %		Δ^*	Реагент	Выход апатита, %		Δ^*
	Нормальные условия	Условия десорбции			Нормальные условия	Условия десорбции	
OlNa	80	35	45	OlNa + ОС-6	97	75	22
OlNa + АФ 9-2	98	87	11	OlNa + АФ 9-10	94	70	24
OlNa + ОС-2	80	60	20	OlNa + ОС-10	91	55	33
OlNa + АФ 9-6	98	74	24				

*Δ — разность выхода апатита и кальцита в одинаковых условиях флотации.

Таблица 3

Результаты флотации апатит-карбонатной руды в открытом цикле на флотоводе (Ca^{2+} + Mg^{2+} ~ 60 мг/л)

Регулятор	Пенный ОФ, %			Пенный II пер, %		
	γ	P_2O_5		γ	P_2O_5	
		β	ε		β	ε
ОС-2	50,6	17,58	94,6	19,1	36,10	73,4
АФ 9-2	64,9	13,83	95,5	29,8	26,76	84,8
ОС-6	53,3	15,26	96,3	17,0	38,00	68,7
АФ 9-6	57,4	15,71	95,9	17,2	38,11	69,7
ОС-10	62,0	14,65	96,6	16,8	38,49	68,8
АФ 9-10	59,4	15,23	96,2	16,1	38,75	66,4

Примечание. Расход ЖКТМ 140 г/т.

Результаты, полученные в лабораторных условиях подтверждены опытно-промышленными испытаниями на модульной установке лаборатории обогащения ЦИА и ОПР ОАО «Ковдорский ГОК» (табл. 4). Был опробован режим с использованием в качестве регулятора этоксилата алифатических спиртов C_{12}-C_{14} со степенью оксиэтилирования n = 4 (ОС-4) взамен фабричного регулятора — смеси этоксилатов нонилфенолов. Флотация велась на оборотной воде на руде с содержанием в среднем 9,8–10,4 % P_2O_5, 10,5–11,0 CO_2 и модулем карбонатности 1,08–1,05. Расход жидкого стекла (417 и 423 г/т), соды (400 г/т) и ЖКТМ (171 и 173 г/т) примерно одинаков в фабричном и испытуемом режимах.

Таблица 4

Средние показатели получения апатитового концентрата

Расход регулятора, г/т	Апатитовый концентрат, %			Хвосты	Извлечение P_2O_5, %
	Выход	β P_2O_5	β MgO	β P_2O_5, %	
Фабричный реагентный режим					
166	20,72	37,2	1,54	2,6	78,84
Испытуемый реагентный режим					
148	22,99	36,7	1,66	2,6	80,63

Результаты опытно-промышленных испытаний показали, что полученный в фабричном режиме концентрат по содержанию P_2O_5 на 0,5 % выше: 37,2 % против 36,7 % в испытуемом, а по извлечению P_2O_5 на 1,8 % ниже. При приведении технологических показателей к равному по содержанию P_2O_5 концентрату (37 %) показатели по извлечению практически одинаковые – 79,48 и 79,65 %. При этом требуемый расход ОС-4 ниже по сравнению с фабричным регулятором на ~12 %.

Таким образом, этоксилаты алифатических спиртов (ОС-4) могут заменить фабричную смесь регуляторов из класса этоксилатов нонилфенолов без снижения показателей обогащения.

Использование биологически «мягких» этоксилатов алифатических спиртов позволит повысить экологическую безопасность апатитового производства при сохранении технологических показателей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-45-510867 р_а.

Литература

1. Иванова В. А., Митрофанова Г. В., Таран А. Е. Роль этоксилатов изононилфенола при селективной флотации труднообогатимого апатит-карбонатного минерального сырья // Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли — формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов: сб. докл. всерос. науч.-техн. конф. с участием иностранных специалистов, (13–15 октября 2014 г. Апатиты). СПб.: Реноме, 2014. Т. 1. С.194–201.
2. Курков А. В., Горохов И. Н. Пастухова И. В. Регулирующее действие органических межмолекулярных ассоциатов с водородной связью при флотации несульфидных минералов. // Горн. журн. 2011. № 2. С. 44–48.
3. Филиппова Л. О., Шапошникова Е. Л. Влияние дополнительного неиногенного собирателя на адсорбцию олеата натрия на поверхности кальцийсодержащих минералов в условиях повышенных температур // ГИАБ-1997. № 2. Р. 195–198.
4. Шенфельд Н. Неионогенные моющие средства. М.: Химия, 1965. 488 с.
5. Ivanova V. A, Mitrofanova G. V., Perunkova T. N. Flotation of apatite-nepheline ore by fat acid collector with circulating water // Mining in the Arctic: Proc. St.-Petersburg, 2005. P. 255–260.

Р. М. Никитин, В. Ф. Скороходов, А. С. Степанникова, В. В. Бирюков
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, remnik@yandex.ru

ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ЗАВИСИМОСТИ УДЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ГАЗОВОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗЫ И ТОЛЩИНЫ АДСОРБЦИОННОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПУЗЫРЬКОВ ВОЗДУХА ОТ ВИДА И КОНЦЕНТРАЦИИ СОБИРАТЕЛЯ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДНОЙ ДИСПЕРСИИ ВОЗДУХА

Принципы, положенные в основу использования активированной водной дисперсии воздуха (АВДВ) при флотации минералов, предполагают формирование адсорбционных слоев (пленок) гетерополярных ПАВ на поверхности диспергированных пузырьков воздуха. При пропускании воздуха через раствор ПАВ в процессе приготовления АВДВ, помимо образования пузырьковой фазы с диспергацией, зависящей от типа и концентрации гетерополярного ПАВ, должно наблюдаться перераспределение его концентрации в растворе. В растворе концентрация ПАВ должна уменьшаться, а на поверхности пузырьков воздуха — увеличиваться.

Для исследования зависимости удельной площади поверхности раздела газ — жидкость фазы и толщины адсорбционной пленки на поверхности пузырьков от вида и концентрации собирателя при приготовлении АВДВ использовалась лабораторная установка, схема которой представлена на рис. 1.

Исследования зависимостей удельной площади поверхности раздела газовой и жидкой фазы и толщины адсорбционной пленки на поверхности пузырьков от вида и концентрации флотационного реагента при приготовлении АВДВ проводились с использованием растворов МДТМ (мыло дистиллированного таллового масла), ЖКТМ (жирная кислота таллового масла), аэрофлота (соединение соли дитиофосфорной кислоты) и олеиновой кислоты. Исходные растворы каждого реагента были приготовлены на основе дистиллированной воды с концентрациями 10, 15, 20 и 25 мг/л.

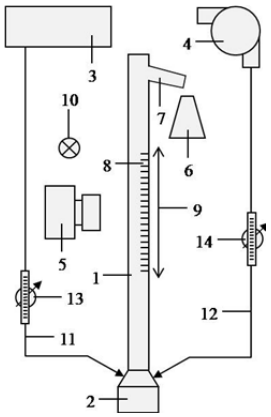


Рис. 1. Схема лабораторной установки:
1 — колонка из оргстекла; 2 — струйный диспергатор;
3 — емкость для исходного раствора реагента; 4 — воздуходувка;
5 — фотокамера; 6 — емкость для приема пены; 7 — желоб стока пены; 8 — шкала; 9 — черный экран; 10 — галогенная лампа подсветки; 11 — магистраль подачи исходного раствора;
12 — магистраль подачи воздуха; 13 — ротаметр для контроля расхода исходного раствора;
14 — ротаметр для контроля расхода воздуха

При проведении опытов емкость (3) заполнялась исходным раствором реагента в количестве, необходимом для того, чтобы заполнить колонку до верхнего уровня желоба стока пены (7) и обеспечить поступление исходного раствора в колонку в ходе опыта. Все опыты проводились при постоянных расходах исходного раствора реагента $Q_{\text{sol}} = 1{,}50 \cdot 10^{-6}$ м^3/с и воздуха $Q_{\text{air}} = 5{,}56 \cdot 10^{-6}$ м^3/с. Расходы исходного раствора и воздуха контролировались ротаметрами 13 и 14. По истечении 2–3 мин стационарной работы флотационной установки производили отбор пены через слив пенного продукта. Одновременно осуществляли фотографирование зоны объема флотационной установки, расположенной на две трети высоты флотационной колонки. На рис. 2 приведены фрагменты образцов снимков диспергированной газовой фазы при различных концентрациях.

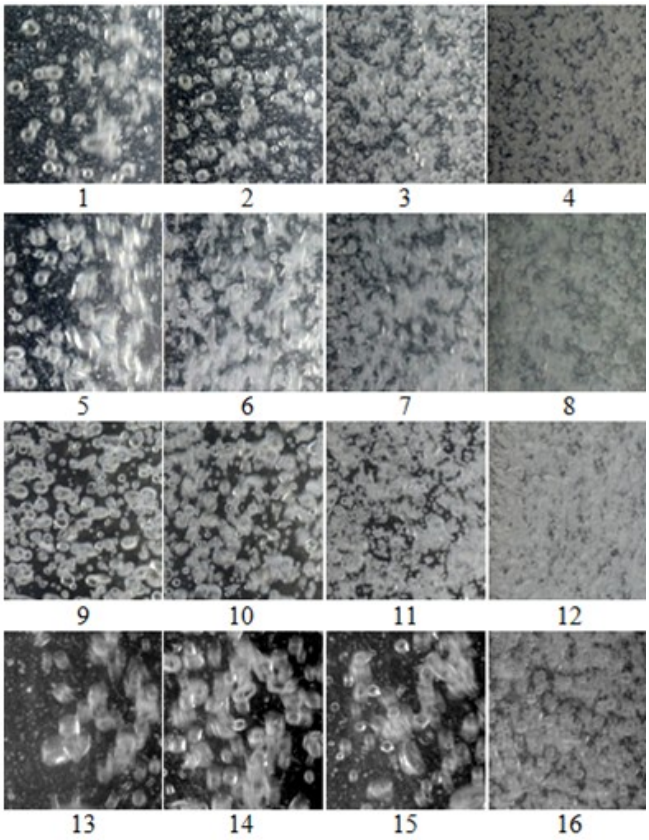


Рис. 2. Фрагменты образцов снимков диспергированной газовой фазы при концентрациях 10, 15, 20, 25 мг/л:
1–4 — МДТМ; 5–8 — ЖКТМ; 9–12 — аэрофлот; 13–16 — олеиновая кислота

Обработка полученных результатов состояла в проведении имидж-анализа снимков с целью статистического расчета размеров пузырьков воздуха и аппаратного анализа (фотоколориметрия или другие инструментальные методы анализа), выполненного после разрушения пены конечного раствора для определения концентрации гетерополярного ПАВ C_2 (мг/л). Первичными параметрами оценки явились концентрация гетерополярного ПАВ в исходном растворе C_1 (мг/л); расход исходного раствора Q_{sol}, расход воздуха Q_{sol}. В ходе имидж-анализа линейные размеры пузырьков масштабировались в соответствии с делениями шкалы и отображаемыми размерами проекции снимка на дисплее компьютера. Значения размеров полуосей фиксировались, а после обработки всего изображения рассчитывалось их среднее по выборке. Таким образом, для растворов каждого реагента с различными концентрациями были получены экспериментальные данные, включающие: q_1, q_2, q_3 — количества сплюснутых, вытянутых и сферических пузырьков в выборке имидж-анализа (шт.); a_1, b_1 — средние по выборке горизонтальные и вертикальные полуоси сплюснутых пузырьков [мм]; a_2b_2 — средние по выборке горизонтальные и вертикальные полуоси вытянутых пузырьков (мм); r — средний по выборке радиус сферических пузырьков (мм).

Оценка удельной площади поверхности раздела газ — жидкость производилась из предположения о сферичности пузырьков воздуха и с учетом результатов имидж-анализа. Расчетные формулы 1 и 2 были выведены из первичных данных эксперимента и известных стереометрических соотношений для эллипсоида вращения:

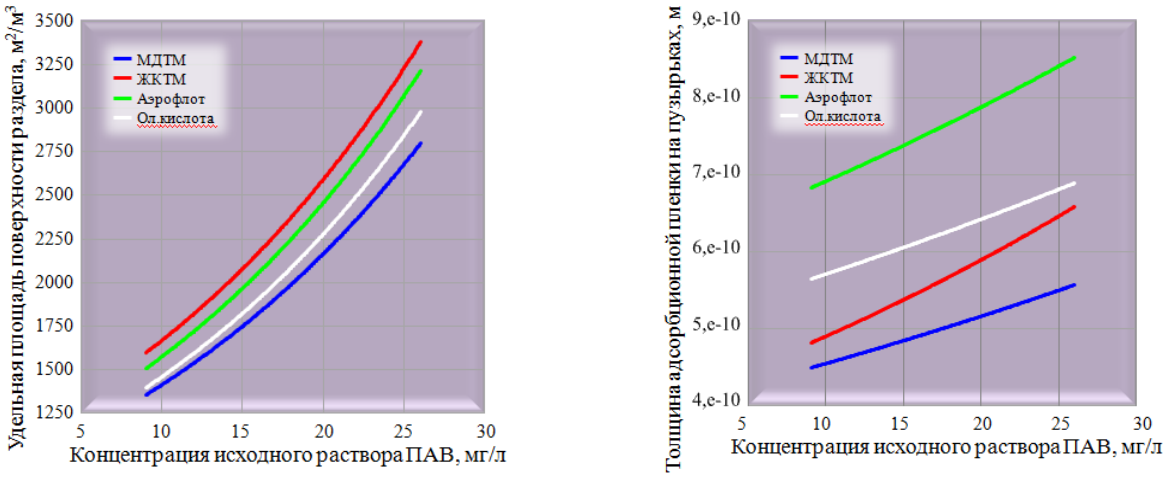
$$S'_{a/l} = \frac{3Q_{air}}{r(Q_{sol}+Q_{air})}\left[\frac{м^2}{м^3}\right], \quad (1)$$

$$S''_{a/l} = \frac{Q_{air}(q_1S_1+q_2S_2+q_3S_3)}{(Q_{sol}+Q_{air})(q_1V_1+q_2V_2+q_3V_3)}\left[\frac{м^2}{м^3}\right]. \quad (2)$$

Для оценки толщины адсорбционной пленки было получено нелинейное кубическое уравнение связи ее величины с результатами имидж-анализа и данными эксперимента (3). Выделением групповых коэффициентов данное уравнение было приведено к каноническому виду и решено методом Кардано [2]:

$$q_1\left(l^3 + l^2(2a_1 + b_1) + l(2a_1b_1 + a_1^2)\right) + q_2\left(l^3 + l^2(2a_2 + b_2) + l(2a_2b_2 + a_2^2)\right) + q_3(l^3 + 3rl^2 + 3r^2l) = \\ = \frac{3V_{rg}Q_{sol}(q_1V_1+q_2V_2+q_3V_3)}{4\pi Q_{air}V_к}. \quad (3)$$

На основе результатов опытов и оценки удельной площади поверхности раздела газ — жидкость и толщины адсорбционной пленки, образующейся на пузырьках воздуха при приготовлении АВДВ, были получены их аналитические зависимости от концентрации флотационного реагента при приготовлении АВДВ. Результаты опытов и расчетные данные представлены в таблице и на рис. 3.



а *б*

Рис. 3. Зависимость удельной площади поверхности газ — жидкость (*а*) и толщины адсорбционной пленки на поверхности пузырьков (*б*) от концентрации реагента при приготовлении АВДВ

Апробация приведенного подхода к оценке удельной площади поверхности газ — жидкость показала, что для различных концентраций реагентов учет несферичности пузырьков позволяет уточнить результат расчета, проведенного из предположения об абсолютной сферичности пузырьков, более чем на 10 %.

Установлено, что для всех используемых при проведении опытов реагентов данные зависимости носят экспоненциальный, возрастающий характер. При этом ни в одном из опытов, о чем свидетельствует монотонность графиков, не были достигнуты значения критической концентрация мицеллообразования для используемых реагентов и значения максимальной адсорбции реагентов на поверхности пузырьков. Полученные значения толщины адсорбционной пленки порядка 10–10 м свидетельствуют об образовании, по меньшей мере, мономолекулярного слоя реагента на поверхности пузырьков в АВДВ.

Определение удельной площади поверхности раздела газовой и жидкой фазы
и толщины адсорбционной пленки на поверхности пузырьков

№ п/п	Реагент	C_1, мг/л	q_1, шт.	a_1, мм	b_1, мм	q_2, шт.	a_2, мм	b_2, мм	q_3, шт.	r, мм	C_2, мг/л	S'', $м^2/м^3$	l, м
1	МДТМ	10	35	2,2	1,4	53	1,3	2,5	12	1,8	13	1411	4,597e-10
2	То же	15	41	1,7	1,1	48	1,0	1,8	11	1,5	19	1783	4,837e-10
3	«	20	42	1,4	1,0	48	0,8	1,6	10	1,2	25	2129	5,062e-10
4	«	25	44	1,1	0,8	49	0,6	1,2	7	1,0	32	2705	5,575e-10
5	ЖКТМ	10	40	1,4	1,2	52	1,3	1,6	8	1,7	14	1688	5,047e-10
6	То же	15	37	1,2	0,9	47	0,8	1,3	16	1,5	20	2074	5,160e-10
7	«	20	40	1,1	0,7	51	0,7	1,2	9	1,3	27	2539	5,936e-10
8	«	25	36	0,8	0,6	46	0,5	0,9	18	0,9	35	3285	6,529e-10
9	Аэрофлот	10	43	1,7	1,3	48	1,2	1,8	9	1,8	15	1588	6,736e-10
10	То же	15	43	1,4	1,1	54	1,0	1,5	3	1,6	22	1942	7,713e-10
11	«	20	39	1,0	0,8	51	0,9	1,2	10	1,0	29	2464	7,798e-10
12	«	25	44	0,9	0,7	50	0,6	1,0	6	0,9	37	3082	8,348e-10
13	Олеиновая кислота	10	35	1,7	1,3	52	1,6	1,8	13	1,6	14	1466	5,814e-10
14	То же	15	44	1,4	1,1	49	1,2	1,6	7	1,4	20	1817	5,874e-10
15	«	20	35	1,2	0,9	50	0,8	1,3	15	1,2	27	2298	6,528e-10
16	«	25	40	1,1	0,7	47	0,6	1,0	13	0,9	34	2843	6,816e-10

Выявлены зависимости удельной площади поверхности раздела газ — жидкость и толщины адсорбционной пленки на поверхности пузырьков от вида и концентрации гетерополярного ПАВ при приготовлении АВДВ. При исследованиях использовался метод оценки этих величин, разработанный в ходе выполнения работы.

Показано, что увеличение концентрации реагента в исходном растворе достаточно в широком диапазоне не приводит к достижению максимальных значений адсорбции, что обеспечивает возможности управления характеристиками АВДВ и, следовательно, режимами флотации на стадии приготовления АВДВ. Установлено, что условиями приготовления АВДВ в значительной мере определяется аэрация пульпы, зависящая от используемого реагента. Так, при увеличении концентрации в 2,5 раза величина удельной площади поверхности раздела газ — жидкость в случае использования МДТМ возрастает в 1,7 раза, а в случае применения ЖКТМ, аэрофлота и олеиновой кислоты — почти в 2 раза.

Результаты оценки не претендуют на получение абсолютно точных значений определяемых величин и, скорее, носят не количественный, а качественно-количественный характер. Это обусловлено тем, что получаемые данные характеризуют мгновенное состояние газожидкостной смеси и во многом зависят от техники фотосъемки и имидж-анализа. Точность последнего возможно повысить применением специальных технических устройств, предназначенных для его проведения. Кроме того, источником повышения точности метода является увеличение выборки пузырьков в опыте и количества опытов, проводимых в одних и тех же условиях, т. е. снижение статистических погрешностей. Также недостатком метода является то, что в нем не учитывается вынос реагента в конечный раствор механическим путем и в каналах Плато [1]. Однако очевидна возможность применения метода в исследовательских и технологических целях для получения информации о распределении газовой фазы и степени готовности АВДВ в объеме ее приготовления. Предлагаемый подход значительно упрощает способы получения численных оценок адсорбции реагента на поверхности раздела газ — жидкость, для чего в каждом опыте достаточно знать молярную массу используемого реагента.

Литература

1. Волков В. А. Коллоидная химия, Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Лань, 2015. 660 с.
2. Фильчаков П. Ф. Справочник по высшей математике. Киев: Наукова думка, 1974. 743 с.

В. В. Рыбин, С. Н. Савченко
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, rybin@goi.kolasc.net.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ КОВДОРСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ НАТУРНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Введение

В течение последних 30 лет Горным институтом Кольского научого центра РАН проводятся исследования, целью которых является изучение возможностей увеличения углов наклона бортов карьеров в массивах прочных скальных пород [4, 7]. Одним из основных объектов, на котором выполняются исследования прибортового скального массива, является карьер рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК»,

где удалось обосновать возможность формирования высоких вертикальных уступов, при этом величина генерального угла борта карьера составляет от 45° до 60° в зависимости от инженерно-геологических и геомеханических условий [2, 6]. Полученный результат объясняется учетом параметров напряженного состояния массива пород, которые оказывают влияние на устойчивость бортов и уступов в сторону ее увеличения при соответствующих условиях. Многочисленными измерениями, выполненными методом разгрузки в варианте торцевых измерений, показано, что в прибортовом массиве пород действует поле напряжений гравитационно-тектонического вида. К настоящему времени проведено более 25 измерений непосредственно с уступов карьера на специальных наблюдательных станциях с использованием горизонтальных скважин [3, 8]. Вместе с тем, возникает задача повышения достоверности полученных результатов, что возможно путем сопоставления полученных данных о параметрах действующего поля напряжений в массиве с результатами, полученными другими независимыми методами. Также актуальна задача определения направления действия максимальной компоненты главных напряжений в нетронутом массиве на «бесконечности». Для решения этой задачи можно использовать результаты измерений параметров напряженного состояния методом разгрузки в прибортовом массиве.

Для *решения задачи повышения достоверности полученных результатов*, воспользуемся данными дискования керна исследовательских скважин.

В табл. 1 представлены параметры напряженного состояния массива пород по результатам измерений методом разгрузки в сравнении с расчетными напряжениями в массиве исходя из собственного веса вышележащих пород (в последующих рассуждениях растягивающие напряжения принимаются положительными, сжимающие — отрицательными). На рис. 1 показан внешний вид части керна исследовательских скважин наблюдательных станций Н/С-1 и Н/С-10, пройденных в карбонатитах (табл. 1).

Таблица 1

Параметры напряженного состояния массива пород по результатам измерений методом разгрузки

Станция, горизонт, год измерений, участок борта карьера	Глубина, м	Параметры напряженного состояния массива пород по результатам измерений методом разгрузки, МПа			Расчетные напряжения в массиве исходя из собственного веса вышележащих пород	
		σ_{max}	σ_{min}	$B\sigma_{max}$, град.	$\sigma_{верт}^{ср}$, МПа	$\sigma_{гор}^{ср}$, МПа
Н/С-1: +94 м, 2000, СВ	163	–20	–4	18	–5	–1,6
Н/С-10: +25 м, 2007, СЗ	237	–24	–14	–15	–7,1	–2,3

Примечание: $B\sigma_{max}$ — наклон вектора σ_{max} к горизонту.

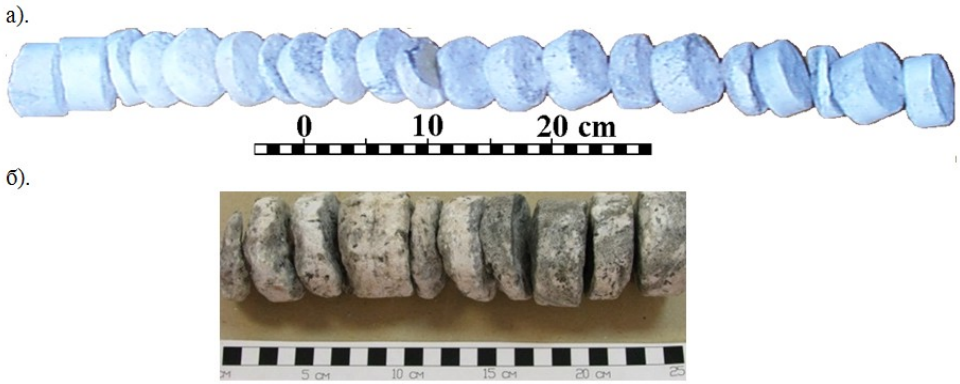


Рис. 1. Дискование керна исследовательских скважин наблюдательных станций № 1, пройденной на гор. +94 м на северо-восточном участке борта карьера (а), и № 10, пройденной на гор. +25 м на северо-западном участке борта карьера (б)

В обоих случаях диаметр керна 58 мм, керн разделен на диски толщиной от 5 до 35 мм, некоторые столбики керна имеют характерную выпукло-вогнутую форму. Проявление дискования керна в исследовательских скважинах позволяет оценить параметры действующих в массиве пород напряжений.

Рассмотрим напряжения, возникающие в основании керна при бурении горизонтальных скважин на некоторой глубине *H*. Пусть на бесконечности в вертикальных сечениях действуют напряжения [9]:

$$\sigma_x^{\infty} = -(T + \lambda\gamma_p H);\ \sigma_y^{\infty} = -\gamma_p H, \qquad (1)$$

где *T* — тектоническая составляющая, $\lambda = \nu/(1 - \nu)$ — боковой отпор пород, ν — коэффициент Пуассона, γ_p — удельный вес пород.

Под действием этих напряжений в центре основания керна возникают сжимающие напряжения [1]:

$$\sigma_x = K\sigma_x^{\infty};\ \sigma_y = K\sigma_y^{\infty};\ K = 1{,}5\,. \tag{2}$$

Выражение для растягивающих напряжений имеет следующий вид:

$$\sigma_z = -A(\sigma_x^{\infty} + \sigma_y^{\infty}), \tag{3}$$

величина A определяется следующим образом [1]:

$$A = 0{,}32(\exp(-0{,}2\frac{d}{t}) \tag{4}$$

где d — диаметр керна, t — толщина диска.

Величина деформаций определяется следующим образом:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\left(\sigma_z - \nu\left(\sigma_x + \sigma_e\right)\right)\right] = \frac{-1}{E}\left[K\left(A+\nu\right)\left(T + \lambda\gamma_{\text{р}}H\right)\right]. \tag{5}$$

С другой стороны величина критических значений ε_z имеет вид:

$$\varepsilon_z = \frac{\lfloor \sigma_{\text{р}} \rfloor}{E}, \tag{6}$$

где $\lfloor \sigma_{\text{р}} \rfloor$ — предельные напряжения при одноосном растяжении.

Из выражений (5) и (6) получаем условие начала разрушения (дискования керна), из которого находим величину тектонических напряжений:

$$T = \frac{\lfloor \sigma_{\text{р}} \rfloor}{K(A+\nu)} - \left(1+\lambda\right)\gamma_{\text{р}}H\,. \tag{7}$$

Рассмотрим примеры:

Пример 1. Наблюдательная станция Н/С-1. Глубина бурения H — 163 м, диаметр керна d — 57 мм, толщина дисков t — 15–20 мм, коэффициент Пуассона ν — 0,2, удельный вес пород $\gamma_{\text{р}}$ — 2,7 т/м^3, $\lfloor \sigma_{\text{р}} \rfloor$ — 6 МПа. Подставив эти значения величин в (7) с учетом формулы (3), получим T = 16,4 МПа. Если учесть то обстоятельство, что при измерениях получено совместное действие тектонических и гравитационных сил, то наш результат должен быть: $\sigma_{max} = -(T + \lambda\gamma_{\text{р}}H) = -(16{,}4 + 1{,}1) = -17{,}5$ МПа; $\sigma_{min} = -\lambda\gamma_{\text{р}}H = -4{,}4$ МПа.

По результатам измерений методом разгрузки получено: $\sigma_{max} = -20$ МПа; $\sigma_{min} = -4$ МПа.

Пример 2. Наблюдательная станция Н/С-10. Глубина бурения H — 237 м, диаметр керна d — 57 мм, толщина дисков t — 15–25 мм, коэффициент Пуассона ν — 0,2, удельный вес пород $\gamma_{\text{р}}$ — 2,7 т/м^3, $\lfloor \sigma_{\text{р}} \rfloor$ — 6 МПа. Подставив эти значения величин в (7) с учttом формулы (3), получим T = –18,53 МПа. Если учесть то обстоятельство, что при измерениях получено совместное действие тектонических и гравитационных сил, то наш результат должен быть: $\sigma_{max} = -(T + \lambda\gamma_{\text{р}}H) = -(18{,}53 + 2) = -20{,}53$ МПа; $\sigma_{min} = -\lambda\gamma_{\text{р}}H = -8$ МПа.

По результатам измерений методом разгрузки получено: $\sigma_{max} = -24$ МПа; $\sigma_{min} = -14$ МПа.

Измеренные и расчttные значения главных напряжений отличаются на 12,5 и 14 %, что вполне возможно в силу того, что величины толщин дисков взяты приближttнно. Таким образом, имеется достаточное соответствие между результатами измерений напряжений в прибортовом массиве методом разгрузки и дискования керна, что повышает их достоверность.

Для *решения задачи определения направления действия максимальной компоненты главных напряжений в нетронутом массиве на «бесконечности»* введем следующие предположения:

а) полагаем, что на некоторой глубине контур карьера в плане представляет эллипс с полуосями a и b;

б) конформное отображение внешности эллипса на внутренность единичного круга осуществляет функция:

$$\omega(\varsigma) = R\left(\varsigma + \frac{m}{\varsigma}\right), \tag{8}$$

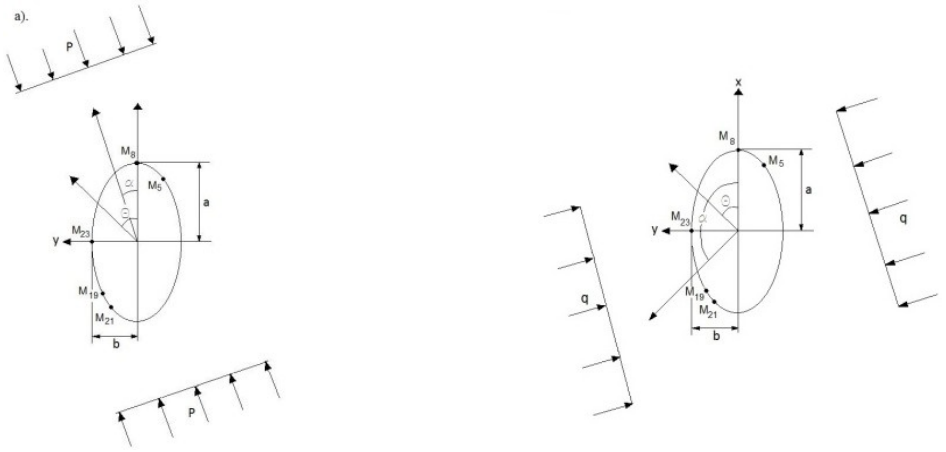
где $m = \frac{a-b}{a+b}$, ς — точка внутри внешности эллиптического отверстия, R – радиус этой точки.

При R и ς, равным 1, получаем контур заданного эллиптического отверстия.

Тогда при действии на «бесконечности» напряжений $\sigma_x^{\infty} = -p$ (рис. 2) имеем тангенциальные напряжения на контуре отверстия [5]:

$$\sigma_\theta = p\frac{1 - m^2 + 2m\cdot\cos\ 2\alpha - 2\cos\ 2(\theta-\alpha)}{1 - 2m\cdot\cos\ 2\theta + m^2}, \tag{9}$$

где θ — угол между осью *OX* и точкой на контуре эллипса, α — угол между осью *OX* и направлением действия напряжений $\sigma_x^{\infty} = -p$.



а *б*

Рис. 2. Схема для определения напряжений: при действии сил $\sigma_x^{\infty} = -p$ (*а*) и $\sigma_y^{\infty} = -q$ (*б*)

При действии на «бесконечности» сил $\sigma_y^{\infty} = -q$ (рис. 2, *б*) имеем тангенциальные напряжения на контуре отверстия:

$$\sigma_\theta = q\frac{1-m^2-2m\cdot\cos\ 2\alpha+2\cos\ 2(\theta-\alpha)}{1-2m\cdot\cos\ 2\theta+m^2}, \qquad (10)$$

где θ — угол между осью *OX* и точкой на контуре эллипса, α — угол между осью *OX* и направлением действия напряжений $\sigma_y^{\infty} = -q$.

При совместном действии сил $\sigma_x^{\infty} = -p$ и $\sigma_y^{\infty} = -q$ имеем тангенциальные напряжения на контуре отверстия:

$$\sigma_\theta = p\frac{1-m^2+2m\cdot\cos\ 2\alpha-2\cos\cdot 2(\theta-\alpha)}{1-2m\cdot\cos\ 2\theta+m^2}+q\frac{1-m^2-2m\cdot\cos\ 2\alpha+2\cos\ 2(\theta-\alpha)}{1-2m\cdot\cos\ 2\theta+m^2}. \qquad (11)$$

Для определения величин p и q из выражения (4) необходимо иметь две точки на контуре эллиптического отверстия, полученные экспериментальным путем. При этом следует решить систему уравнений:

$$\sigma_\theta^{(1)} = p\frac{1-m^2+2m\cdot\cos\ 2\alpha-2\cos\ 2(\theta_1-\alpha)}{1-2m\cdot\cos\ 2\theta_1+m^2}+q\frac{1-m^2-2m\cdot\cos\ 2\alpha+2\cos\ 2(\theta_1-\alpha)}{1-2m\cdot\cos\ 2\theta_1+m^2} \qquad (12)$$

$$\sigma_\theta^{(2)} = p\frac{1-m^2+2m\cdot\cos\ 2\alpha-2\cos\ 2(\theta_2-\alpha)}{1-2m\cdot\cos\ 2\theta_2+m^2}+q\frac{1-m^2-2m\cdot\cos\ 2\alpha+2\cos\ 2(\theta_2-\alpha)}{1-2m\cdot\cos\ 2\theta_2+m^2}.$$

В табл. 2 представлены параметры напряженного состояния массива пород, полученные по результатам измерений методом разгрузки.

Таблица 2

Параметры напряженного состояния массива по результатам измерений методом разгрузки

Условное обозначение станции, горизонт, год измерений, участок борта карьера	Глубина *H*, м	Параметры напряженного состояния массива пород по результатам измерений методом разгрузки, МПа	
		σ_{max}	σ_{min}
M_5 — Н/С-5, +40 м, 2005, СВ	217	–13	–4
M_8 —Н/С-8, +10 м, 2007, С	247	–20	–3
M_{19} — Н/С-19, +40 м, 2011, Ю	175	–3	–7
M_{21} — Н/С-21, +10 м, 2012, Ю	250	–28	–4
M_{23} — Н/С-23, +70 м, 2012, ЮЗ	170	–24	–9

В рассматриваемой задаче при последующих рассуждениях в полярных координатах σ_θ соответствует σ_{max}.

Рассмотрим несколько примеров.

По нашим данным имеем a = 5 усл. ед.; b = 3,5 усл. ед., следовательно, m = 0,1765. Из табл. 2 для точки M_8 получаем $\alpha = 0$, $\theta = 0$, $\sigma_\theta = -20$ МПа; для точки M_{23} соответственно $\alpha = 0$, $\theta = 90°$, $\sigma_\theta = -24$ МПа. Отсюда из выражения (12) получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} -p + 3{,}858q = -20 \\ 2{,}4p - q = -24 \end{cases}$$

Решение данной системы уравнений: $p = -13{,}63$ МПа, $q = -8{,}72$МПа.

Возьмем теперь точки M_8 и M_{21}, для которой $\alpha = 0$, $\theta = 150°$, $\sigma_\theta = 28$ МПа.

Отсюда система уравнений:

$$\begin{cases} -p + 3{,}858q = -20 \\ 0{,}377p + 1{,}887q = -28 \end{cases}$$

Решение системы уравнений: $p = -20{,}96$ МПа, $q = -10{,}63$ МПа.

Рассматривая точки M_5 со значениями $\alpha = 0$, $\theta = -27°$, $\sigma_\theta = -13$ МПа и M_{19} с параметрами $\alpha = 0$, $\theta = 140°$, $\sigma_\theta = -13$ МПа, имеем систему:

$$\begin{cases} 0{,}177p + 2{,}177q = -13 \\ 1{,}004p + 0{,}994q = -13 \end{cases}$$

Получаем решение в виде: $p = -7{,}66$ МПа, $q = -5{,}35$ МПа.

Если взять среднее значение отношения p/q по нашим расчетам, то получим p/q = 1,656. По результатам определения напряженного состояния в окрестности карьерной выемки, выполненного с учетом геологического строения Ковдорской интрузии $p = -1{,}05$ усл. ед., $q = -0{,}85$ усл. ед. [10]. Здесь отношение p/q равно 1,235. Иными словами, относительная погрешность к наибольшему значению отношений составляет 25 %. Во всех рассматриваемых случаях мы получили $p>q$, т. е., в направлении длинной оси карьера действуют большие напряжения, чем в направлении короткой (рис. 3).

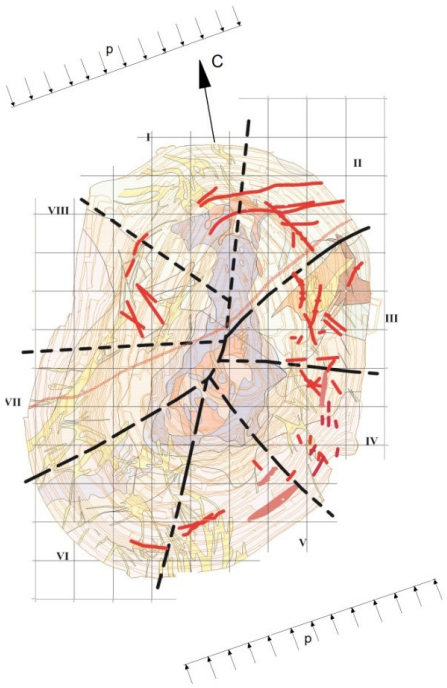


Рис. 3. Ориентация максимальной компоненты главных напряжений на «бесконечности» в нетронутом массиве Ковдорского рудного узла: разными цветами обозначены различные типы руд и вмещающих пород; красными линиями обозначены крупные структурные нарушения в переделах карьера; черными пунктирными линиями — границы инженерно-геологических секторов (обозначены римскими цифрами)

Выводы

1. Имеется достаточное соответствие между результатами измерений напряжений в прибортовом массиве методом разгрузки и дискования керна (расхождение до 14 %), что повышает достоверность определения их параметров.
2. На «бесконечности» направление действия σ_{max}, ориентировочно, север — юг (рис. 3).

Литература
1. Иванов В. И., Белов Н. И. Численное моделирование напряженного состояния забоя скважины при изучении процесса дискования керна // ФТПРПИ. 1992. № 6.
2. Инженерно-геологические аспекты проектирования глубокого карьера Ковдорского ГОКа / М. В. Епифанова и др. // Горн. журн. 2007. № 9. С. 30–33.
3. Козырев А. А., Рыбин В. В., Константинов К. Н. Оценка геомеханического состояния законтурного массива горных пород в борту карьера комплексом инструментальных методов // Горн. информ.-аналит. бюл. 2012. № 10. С. 113–119.
4. Концепция формирования нерабочих бортов глубоких карьеров Кольского Заполярья / Н. Н. Мельников и др. // Горн. журн. 2004. № 9. С. 45–50.
5. Мусхелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. 707 с.
6. Обоснование рациональной конструкции конечного борта карьера рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» / А. А. Козырев и др. // Горн. информ.-аналит. бюл. 2004. № 3. С. 243–250.
7. Обеспечение устойчивости бортов карьеров в предельном положении / А. А. Козырев и др. // Безопасность труда в промышленности. 2003. № 10. С. 41–44.
8. Рыбин В. В., Козырев А. А., Данилов И. В. Определение параметров напряженного состояния приконтурного массива пород на карьерах Кольского полуострова // Горн. информ.-аналит. бюл. 2009. № 10. С. 402–405.
9. Савченко С. Н. Оценка величины горизонтальных тектонических напряжений по данным кернового бурения Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 // ФТПРПИ. 2003. № 4. С. 19–26.
10. Савченко С. Н. Распределение горизонтальных тектонических напряжений в Ковдорском рудном районе // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 214–220.

В. Ф. Скороходов, С. П. Месяц, С. П. Остапенко
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, skorohodov@goi.kolasc.net.ru

СОВРЕМЕННЫЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Разработка новых высокоэффективных и экономичных технологических и технических решений для очистки сточных вод является одной из актуальных экологических задач.

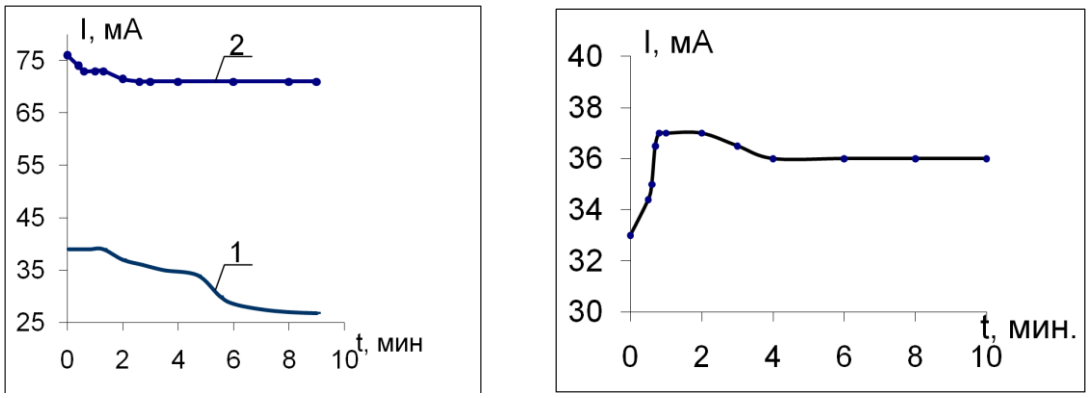
Как правило, в сточных водах присутствуют нефтепродукты, тонкодисперсные вещества, представленные тонкой минеральной фазой и растворенными химическими соединениями, находящимися в этих водах в катионной и анионной формах. Рассматриваемая система отличается агрегативной и кинетической устойчивостью. Вода практически не осветляется простым отстаиванием. Агрегативная устойчивость обусловлена способностью мельчайших частиц иметь свой двойной электрический слой ионов и сольватных оболочек, а кинетическая устойчивость вызывается способностью частиц противостоять силе тяжести, т. е. каждая частица тонкодисперсной фазы подвержена действию двух противоположных сил — силы тяжести и силы диффузии, препятствующей ей. Картина усугубляется увеличением вязкости системы, что связано, в свою очередь, с усилением влияния сил трения. Чтобы вывести представленную систему из равновесия, необходимо частицы укрупнить их агрегацией, уменьшив их заряд поверхности, чтобы сила тяжести образовавшихся агрегатов преобладала над остальными силами. С этой целью применяются различные коагулянты. Вторая часть дисперсной системы представлена нефтепродуктами. Их можно отнести к коллоидной части рассматриваемой системы. Эти частицы должны легко входить в состав мицелл, не оказывая на них солюбилизирующего действия из-за относительно малых концентраций. Многие исследователи отмечают образование ассоциаций из минеральных составляющих и органических веществ. С увеличением степени гидрофобности минеральных взвесей способность к образованию мицелл в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) должна увеличиваться. Следует ожидать изменение гидрофобности твердой фазы в этом случае и сложный состав мицелл при наличии в воде нефтепродуктов.

Следовательно, одним из решений эффективной очистки сточных вод является выбор условий коагуляции, т. е. сюда можно отнести выбор недефицитного коагулянта, неспособного накапливаться в очищаемой воде и выбор условий применения коагулянта. На наш взгляд, этим условиям удовлетворяют в первую очередь неорганические коагулянты.

Для данной работы со сбросами из вторичного отстойника хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК» были использованы такие коагулянты как железный и медный купорос. При работе учитывалось, что недостаток коагулянта вызывал плохие результаты из-за астабилизации частиц загрязнений, а подача коагулянта при их неполном гидролизе вызывала их перерасход. При избытке коагулянта возникал ряд негативных явлений: неполный их гидролиз, перезарядка частиц и новая стабилизация суспензии, что требовало переизбытка регуляторов коагуляции, в первую очередь повышенный расход щелочи, так как в этом случае наблюдалась рестабилизация суспензий.

Введение в очищаемую воду поверхностно-активных веществ (ПАВ) значительно сокращает время образования флоккул (рис. 1, *а*), причем имеет значение порядок введения реагентов. Так, при введении ПАВ до коагулянта порог коагуляции достигался за 0,5 мин, а при изменении порядка подачи реагентов время образования флоккул увеличивалось до 1,5 мин. На наш взгляд, интересной представляется зависимость, приведенная на рис. 1, *б*, где показано поведение флоккул в зависимости от времени.

Увеличение силы тока свидетельствует об укрупнении флоккул до определенного предела по времени, затем кривая выполаживается, после чего наблюдается изменение величины силы тока, которое свидетельствует об уплотнении флоккул, в дальнейшем интенсивность проходящего света падает, вызывая уменьшение силы тока в цепи. Этот процесс, как видно, значительно растянут во времени.



а *б*

Рис. 1. Кинетика осаждения «взвешенных» после введения медного купороса (*а*) и образованных флоккул (*б*): 1, 2 — коагулянт введен до и после ПАВ соответственно

Дополнительная степень очистки вод от примесей разной природы достигается при использовании сорбентов с развитой поверхностью. В Горном институте КНЦ РАН разработана экономичная технология получения модифицированных сорбентов на основе вермикулита Ковдорского месторождения. Совокупность функциональных характеристик данных сорбентов позволяет использовать их при очистке вод предлагаемым способом в качестве:

- агента, участвующего в формировании и регулировании дисперсного состава газовой фазы;
- стабилизатора газовой фазы при флотации в АВДВ (активированной водной дисперсии воздуха);
- сорбента неполярных соединений (нефть, нефтепродукты, неионогенные органические вещества), а также для извлечения катионов и анионов (катионы железа, тяжелых металлов, аммония, анионы нитратов, хлоридов и др.).

Параллельно с испытаниями неорганических коагулянтов было исследовано влияние полиакриламида марки Праестол 2540 на коагуляционные процессы как при его индивидуальном введении, так и при совместном с медным купоросом (концентрация Праестола 2540 — 2 мг/л). Применение Праестола 2540 без неорганических коагулянтов не дало положительных результатов, введение его совместно с медным купоросом улучшало результаты очистки рассматриваемых сточных вод.

Учитывая значительную площадь сгущения для осветления сфлокулированной системы и интенсификацию флоккулообразования с вводом ПАВ, сопровождаемую гидрофобизацией флоккул, вместо операции сгущения была испытана флотация образованных флоккул. В качестве ПАВ использовались жирнокислотные собиратели, применяемые на ОАО «Ковдорский ГОК».

В настоящее время флотация осадков чаще всего проводится в машинах колонного типа. Эта же операция используется для извлечения предварительно скоагулированных катионов цветных металлов из стоков. Известен способ ионной флотации, где удаляются ионы тяжелых металлов в машинах пенной сепарации. Эти же машины применяются для очистки сточных вод от тонких взвесей и тонкодисперсных продуктов. Для аэрации жидкости в этих аппаратах используются механические или пневматические аэрирующие устройства.

Сепаратор с механическим аэрирующим устройством, разработанный во ВНИИЖТ, применяется для очистки вод, получаемых при промывке железнодорожных цистерн, в процессах пропитки шпал. Недостатком этого способа является невысокая степень очистки, применение механического диспергатора. Используются также флотофлокуляционные способы очистки сточных вод с применением колонных флотомашин, где производится гидрофобизационная активизация поверхности взвесей при помощи высокомолекулярных полимеров. Одним из существенных недостатков этого решения является несовершенство применяемых диспергаторов. Механические или пневмомеханические флотомашины мало применимы для очистки сточных вод из-за разрушения уже образованных флоккул, что ведет к ухудшению показателей очистки.

Принцип очистки сточных вод, используемый в данной работе, заключается в создании благоприятных условий коагуляции примесей и последующей флотации флоккул в машинах, где они не разрушаются, т. е. создаются условия выделения флоккул в пенный продукт.

Предлагаемый способ очистки сточных вод от загрязнений позволяет значительно сократить необходимую площадь сгущения. В отличие от классической флотации, где для эффективного разделения минеральных компонентов подвергают обработке реагентами минеральную поверхность, отводя газовым пузырькам роль транспортирующего агента, здесь особое внимание уделяется формированию поверхностных характеристик газовой фазы. Первоначальное насыщение газом раствора реагентов при его концентрации, равной или превышающей критическую концентрацию мицеллообразования, позволяет получить двухфазную систему, стабильную по дисперсному составу газовой фазы, и при равных расходах газовой фазы получается большая ее удельная поверхность, так как образуются пузырьки меньших размеров.

Насыщение раствора реагентов диспергированным газом в условиях, близких к ККМ, обеспечивает время выдержки двухфазной системы, необходимое для образования предельной адсорбции. Последующий ввод жидкой фазы в такую систему способствует удалению готовых активированных пузырьков из зоны их образования, снижению коалесцентных явлений, предотвращению расслоения жидкой и газовой фаз, увеличению удельной поверхности газовой фазы. Интенсификация флотации при использовании активированной водной дисперсии воздуха (АВДВ) была применена и при удалении из сточных вод скоагулированных примесей, в состав которых входили нефтепродукты. Для исследуемого типа очищаемых вод были подобраны оптимальные условия хлопьеобразования в присутствии ПАВ и расходов АВДВ для эффективного удаления флоккул из очищаемой воды.

Для транспортировки образующихся агрегатов в разделительной камере созданы гидродинамические условия, обеспечивающие их выход в пенный продукт.

Полученные показатели очистки сточных вод с применением АВДВ подтвердили возможность получения высокой степени очистки по содержанию в них загрязняющих веществ.

Как известно, основными техническими проблемами, связанными с загрязнением окружающей среды, являются: использование устаревших технологий, морально и физически изношенного оборудования, чрезмерное водопотребление; отсутствие мощностей для предварительной очистки или рециркуляции воды; прямой сброс воды во внешние системы водоочистки или непосредственно в гидросферу.

Ранее выполненные исследования по извлечению загрязнений из сбрасываемых стоков послужили основой для создания нового технологического комплекса по очистке сточных вод. В качестве базового аппарата технологического комплекса была взята флотационная машина для разделения руд в активированных водных дисперсиях воздуха (АВДВ).

Исследования проводились на отобранных сбросах из вторичного отстойника хвостохранилища ОАО «Ковдорский ГОК». Пробы сбросов отбирались в разные дни и анализировались на содержание: «взвешенных», «сухого остатка», NH_4^+, NO_3^-, NO_2^-, Cl^-, нефтепродуктов, SO_4^{2-}, P_2O_5, $Fe_{общ}$, Mn^{2+}, Cu^{2+}. Диапазон колебаний содержаний таких загрязнений, как «взвешенные», NO_3^-, Cl^-, нефтепродуктов в каждой пробе довольно значительный, концентрации остальных загрязняющих компонентов изменялись в небольшом диапазоне.

На первом этапе исследований ставилась задача образования агрегатов, включающих присутствующие в сточных водах в растворенном виде компоненты, удаление которых из очищаемых вод позволит достигать высокой степени очистки. Для решения этой задачи коагулирующие добавки и сорбент дозировались в контактный чан. Обеспечение оптимальных условий образования флоккул достигалось расходом коагулянта и регулятора среды и минимальной скоростью вращения мешалки в контактном чане (90 об/мин). Подача сорбента, обладающего катионной и анионной активностью, а также значительной нефтеемкостью, дополнительно способствовала снижению концентраций загрязняющих компонентов в очищаемых сбросах.

Для интенсификации процесса извлечения образованных флоккул и отработанного сорбента аппарат АВДВ был реконструирован путем установки к флотационной машине отделения подготовительной аэрации. Взаимодействие сорбента с загрязнениями, находящимися в сточной воде, в присутствии активированных пузырьков воздуха приводит к образованию сложных комплексов, поверхность которых способна взаимодействовать с присутствующими в сточных водах примесями, являясь дополнительными центрами укрупнения образованных комплексов, которые в дальнейшем поступают в разделительную камеру флотационной машины.

Анализ результатов наглядно показывает принципиальную возможность очистки сбросов от загрязняющих веществ и достижение значений близких или меньших ПДК по всем загрязняющим компонентам.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 0232-2014-0023.

С. В. Терещенко, Д. Н. Павлишина, С. А. Алексеева, А. И. Ракаев
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, tereshchenko@goi.kolasc.net.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДКОНЦЕНТРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РУД

Количество основного полезного компонента в рудной массе, поступающей на обогатительные фабрики, неуклонно снижается, что обусловлено исчерпанием запасов богатых и легкодоступных руд, усложнением горно-геологических условий отработки залежей, применением высокопроизводительного добычного оборудования. Кроме того на сегодняшний день накоплены значительные объемы техногенных месторождений, сформированных породами с забортовым содержанием. Принимая во внимание тот факт, что технологические параметры разработки залежей месторождения на различных временных отрезках изменялись, то содержание полезного компонента в отвалах может быть соизмеримо с качеством бедных руд.

Экологическая составляющая работы минерально-сырьевого комплекса на сегодняшний день приобретает не меньшее значение: снижение качества перерабатываем руд приведет к увеличению отходов горного предприятия. В связи с чем задача «привлечения внимания общества к вопросам экологического развития Российской Федерации, сохранения биологического разнообразия и обеспечения экологической безопасности*» отмечена как приоритетная на государственном уровне, и в рамках стратегии развития государства 2017 год объявлен Годом экологии. Все это предполагает необходимость совершенствования технологии переработки рудной массы — поиска путей, обеспечивающих экономически эффективную, экологически сбалансированную технологию переработки бедных руд.

Одним из перспективных направлений, обеспечивающих решение данной задачи, является включение в технологию добычи и переработки процесса предварительного обогащения (предконцентрации), реализуемого с использованием гравитационных, магнитных и радиометрических методов. Проведенные в Горном институте КНЦ РАН исследования показали возможность использования процессов тяжелосредной, люминесцентной и магнитной сепарации в качестве способов предконцентрации и переработки апатитсодержащих, хромитовых, лопаритовых, маложелезистых руд и пород, а также отходов горного производства, находящихся в отвалах вскрышных пород.

Тяжелосредная сепарация (ТСС) является эффективным методом предконцентрации хромовых руд. Основными особенностями этих руд являются: высокая массовая доля полезного минерала в руде, значительные различия плотности хромита и вмещающих пород, необходимость получения кускового товарного концентрата с содержанием $Cr_2O_3 > 40$ %.

Применение тяжелосредной сепарации для хромовых руд Сопчеозерского месторождения (Кольский п-ов) [3] позволило на начальной стадии: выделить крупнокусковой (-100 мм) концентрат с содержанием Cr_2O_3 около 40 %, по своим параметрам пригодный для получения ферросплавов; вывести из технологического процесса 22,5 % пород с содержанием 6,3 % Cr_2O_3, обеспечив снижение объемов обогащения на 57 % (табл. 1).

Таблица 1

Показатели обогащения хромитов при использовании методов крупнокускового разделения руды, %

Продукт	Гравитационная сепарация (ТСС)			Комбинированная сепарация (ТСС и РРС)		
	Выход	Cr_2O_3	Извлечение	Выход	Cr_2O_3	Извлечение
Кусковой концентрат	34,5	40,3	58,8	35,5	41,0	61,1
Кусковые хвосты	22,5	6,3	5,9	29,3	5,0	6,3
Промпродукт	43,0	18,9	34,3	35,2	22,1	32,6
Исходная руда	100,0	23,8	100,0	100,0	23,8	100,0

Для хромитовых руд Сопчеозерского месторождения также выполнена оценка радиометрической обогатимости. С учетом проведенных исследований разработана комбинированная схема обогащения хромитов: рентгенорадиометрическая сепарация (РРС) рудной массы крупностью -150+50 мм для выделения крупнокусковых отвальных хвостов с содержанием Cr_2O_3 на уровне 5 %, тяжелосредная сепарация на фракции крупностью -50+5 мм для получения крупнокускового концентрата, содержащего 41 % Cr_2O_3, ориентировочное извлечение полезного компонента в который составит 62 %.

Методы ТСС и РРС решают близкие технологические задачи, и каждый из них имеет свои преимущества, благодаря чему они являются не конкурирующими, а дополняющими друг друга процессами в комбинированных схемах. Установлено, что при комбинированной схеме кускового обогащения наблюдается улучшение технологических показателей: увеличивается выход кускового концентрата и содержание в нем полезного компонента, обеспечивается снижение потерь Cr_2O_3 с кусковыми хвостами ТСС и РРС (табл. 1).

* Указ Президента РФ «О проведении в Российской Федерации Года экологии» от 05.01.2016 № 7.

Использование тяжелосредной сепарации для предварительного обогащения хромовых руд месторождения Рай-Из (Полярный Урал) крупностью -70+5мм позволило получить крупнокусковой концентрат с содержанием Cr_2O_3 48,9 % при извлечении 58,9 % и отвальные крупнокусковые хвосты, содержащие Cr_2O_3 3,2 % при извлечении 3,8 % [4]. Результаты проведенных исследований явились основанием для разработки технологического регламента, по которому в пос. Магнитка Челябинской обл. введена в строй обогатительная фабрика.

Целесообразность включения процессов предконцентрации в технологию добычи и переработки лопаритовых руд обусловлена особенностями геологического строения залежей. Ввод в эксплуатацию производительного добычного оборудования значительно увеличивает уровень разубоживания вмещающими породами, способствующий снижению содержания лопарита в руде, поступающей на обогатительную фабрику, с 3–4 до 1,8–2,5 %. Изучение эффективности использования ТСС для подготовки лопаритовых руд к обогащению показали возможность повышения качества исходной руды в 2,2 раза (с 1,8 до 3,95 %), при этом содержание лопарита в легкой (отвальной) фракции не превышает 0,5–0,55 %, что находится на уровне отвальных мелкозернистых хвостов Карнасуртской фабрики [1].

Кроме гравитационных методов для предконцентрации руд используют радиометрические методы (РМ), основанные на регистрации различий в реакции горных пород при их облучении излучением широкого энергетического диапазона, обладающие определенной универсальностью и экспрессностью.

Для апатитовых месторождений Хибинского массива предконцентрация реализуется посредством покусковой рентгенолюминесцентной (РЛ) сепарации. Целесообразность использования в качестве разделительного признака люминесценции обусловлена способностью основного полезного минерала — апатита — при определенных условиях интенсивно люминесцировать [9]. Исследования апатитсодержащих руд Хибинских месторождений [2, 5, 8–10] показали, что использование рентгенолюминесцентной сепарации (РЛС) обеспечивает на ранней стадии технологического процесса (в «голове» обогатительного процесса) возможность выделения более 20 % пустых и слабоминерализованных пород, повышая при этом в 1,2–1,63 раза содержание P_2O_5 в продукте, направляемом на обогащение (табл. 2).

Таблица 2

Результаты рентгенрадиометрического разделения апатитсодержащих руд Хибинского массива

Месторождение	Исходное содержание P_2O_5, %	Хвосты РЛС, %		Коэффициент предконцентрации
		Выход	Содержание P_2O_5	
Ньоркпахк	10,17	27,27	1,22	1,33
Коашва	16,61	23,09	1,26	1,30
Кукисвумчорр	12,02	24,1	1,09	1,29
Олений Ручей	5,5	27,35	1,05	1,31
	10,11	36,9	0,86	1,54
	4,7	56,58	2,41	1,63
Партомчорр	6,07	21,9	1,57	1,20
	6,61	36,27	2,89	1,32

Маложелезистые руды Ковдорского месторождения характеризуются низким содержанием железа магнитного, и их переработка по традиционной технологии может быть сопряжена с повышением затрат. Предварительная концентрация данного вида минерального сырья предполагает применение комплексной схемы предварительного обогащения, где на первом этапе реализуется магнитная сепарация (табл. 3) с получением трех продуктов: магнитной фракции, промпродукта и хвостового продукта, характеризующегося низким содержанием железа магнитного, менее 5 %. Второй этап основан на использовании люминесцентных характеристик разделяемого сырья и получении апатитового концентрата и хвостового продукта. Обогащенный продукт кусковой магнитной сепарации, а также концентрат рентгенолюминесцентной сепарации направляется на магнитную обогатительную фабрику для получения железорудного концентрата и последующего, в соответствии с существующей технологией, апатитового и бадделеитового концентратов на апатит-бадделеитовой обогатительной фабрике. Реализация люминесцентного метода разделения не была осуществлена из-за отсутствия необходимого оборудования. Включение в технологию добычи и переработки процессов предварительного обогащения оказывает существенное, положительное влияние:

- на технологический процесс – процессы дробления, измельчения и флотации;
- на экологическую обстановку в районе ГОКов за счет снижения количества отходов обогащения, возможности вторичного использования отходов предконцентрации;
- на экономическую составляющую, обусловленную снижением себестоимости обогащения.

Например, проведенные сравнительные исследования дробимости и измельчаемости апатитсодержащих руд Хибинского массива, прошедших и не прошедших сепарацию, показали снижение на 44 % энергозатрат на дробление 1 т обогащенной в процессе предконцентрации руды и на 5 % при ее измельчении от соответствующих величин при обработке исходной руды [3, 11].

Таблица 3

Технологические показатели магнитного разделения
маложелезистых руд Ковдорского месторождения, крупность -70+40 мм

Продукт	Выход продукта разделения, %	Содержание, %	
		$Fe_{общ.}$	P_2O_5
Магнитный продукт	41,1	18,41	7,63
Породный продукт	12,9	4,61	0,63
Промпродукт	54,0	3,74	3,46
Исходная руда	100,0	9,88	4,81

Таким образом, проведенные исследования наглядно демонстрируют, что использование предконцентрации минерального сырья, несомненно, способствует росту технологической эффективности процессов переработки руд при снижении негативной нагрузки горных предприятий на экологию.

Литература

1. Вывод крупнокусковых хвостов на стадии рудоподготовки при обогащении редкометалльных руд / А. И. Ракаев и др. // Инновационные процессы в технологиях комплексной, экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья: материалы междунар. совещ. «Плаксинские чтения — 2009» / Ин-т горного дела СО РАН. Новосибирск, 2009. С. 119–120.
2. Исследования по приоритетным направлениям переработки минерального сырья / С. В. Терещенко и др. // Горн. информ.-аналит. бюл.: [науч.-техн. журн.]. 2015. № 6. С. 105–112.
3. Комплексная рудоподготовка в технологии обогащения бедных апатит-нефелиновых руд / С. В. Терещенко и др. // Горн. информ.-аналит. бюл.: [науч.-техн. журн.]. 2015. № 1. С. 35–41.
4. Освоение месторождений хромитовых руд Полярного Урала / А. И. Ракаев и др. // Горн. журн. 2007. № 11. С. 53–56.
5. Поисковые исследования по радиометрической сепарации бедных апатитовых руд Хибинского массива / Б. С. Лагов и др. ; Лаб. и технол. исслед. и обогащ. мин. сырья. // Отечественный и производственный опыт / ВИЭМС. 1984. Вып. 5. С. 8–15.
6. Разработка технологии переработки хромитового сырья / С. П. Кормилицын и др. // Балтийские металлы. 2003. Вып. 1. С. 15–17.
7. Терещенко С. В., Денисов Г. А., Марчевская В. В. Радиометрические методы опробования и сепарации минерального сырья. СПб.: МАНЭБ, 2005. 264 с.
8. Терещенко С. В., Марчевская В. В. Рациональное недропользование на основе разработки месторождений с применением радиометрическое предконцентрации полезных ископаемых // Маркшейдерия и недропользование. 2002. № 3. С. 32–40;
9. Терещенко С. В. Основные положения люминесцентной сепарации минерального сырья. Апатиты: КФ ПетрГУ, 2002. 145 с.
10. Формирование руды повышенного качества из добытой рудной массы — одно из условий рациональной технологии ее переработки / С. В. Терещенко и др. // Вестник МГТУ. 1998. Т. 1, № 3. С. 111–118.
11. Эколого-технологические аспекты разделительного принципа управления качеством руд / С. В. Терещенко и др. // Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли — формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов: сб. докл. РАН / Горн. ин-т КНЦ РАН. СПб.: Реноме, 2014. С. 226–234.

С. В. Терещенко[1], С. А. Алексеева[1], Е. В. Черноусенко[1], Ю. Н. Нерадовский[2]

[1]*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, tereshchenko@goi.kolasc.net.ru*

[2]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты*

К ПРОБЛЕМЕ ОБОГАЩЕНИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

На территории Мурманской обл. известно более 10 месторождений железотитановых руд, в том числе к собственно титаномагнетитовым и титаномагнетит-ильменитовым месторождениям относятся: Гремяха-Вырмес, Ачинское, Магазин-Устюрт, Магнетитовый Лог, Цагинское, Колвицкое, Имандровское, Мончетундровское, а также мелкие месторождения в пределах действующих горнорудных предприятий: Печенгское (в Пильгуярвинском интрузиве), Хибинское и Мончеплутон (Габбро 10).

Отношение к титаномагнетитовым рудам в настоящее время неоднозначное, и они не в полную меру используются промышленностью. Основной проблемой является высокое содержание в рудах титана. В настоящее время металлургическим методом перерабатываются только низкотитанистые руды ($Fe/TiO_2 > 8$).

Из числа Кольских месторождений только три являются низкотитанистыми или железованадиевыми (отношение Fe/TiO_2 = 15–23): Ачинское, Магазин-Устюрт и Магнетитовый Лог. Все они находятся в Кейвах и являются в настоящее время труднодоступными, но с развитием инфраструктуры на северо-востоке Кольского п-ова могут быть вовлечены в разработку.

Другие месторождения относятся к среднетитанистым или железотитанованадиевым (отношение Fe/TiO_2 = 4–6): Гремяха-Вырмес, Цагинский, Центральный, Колвицкое и др. Эти месторождения изучены лучше, чем первые, и находятся в хорошо освоенных районах, где либо уже существует развитая сеть коммуникаций, либо намечается освоение. Однако в связи с высоким содержанием титана они не могут быть переработаны по обычной металлургической технологии.

В КНЦ РАН Геологическим институтом, совместно институтами ИХТРЭМС и ГоИ проводятся исследования новой технологии переработки среднетитанистых титаномагнетитовых руд. В настоящее время исследованы руды трех месторождений Кольского региона: Колвицкого, Гремяха-Вырмесского и Хибинского. Лабораторными исследованиями доказана возможность получения из концентрата среднетитанистого титаномагнетита пирометаллургическим способом четырех типов порошков: железа Fe — 98,74 %; титаната натрия TiO_2 — 57,63…67,48; V_2O_5 —3,12…8–46 %; ванадата титана Ti — 66,19…74,27; V — 21,02…22,65 % и нитрида титана Ti — 70,98…79,81 %; V — 0,40…2,54 % [3]. Все они удовлетворяют требованиям промышленности по рудам, т. е. могут представлять готовые товарные продукты. Полученные данные показали, что для переработки титаномагнетита пирометаллургическим способом химический состав не имеет значения, поэтому любое месторождение, из указанных выше, может быть использовано в качестве базового для укрупненных технологических испытаний.

На примере Колвицкого месторождения установлено, что титаномагнетитовые руды обладают высоким комплексным потенциалом и представляют редкое сочетание железотитанованадиевых руд ильменит-титаномагнетитового типа с сульфидным медно-никелевым и малосульфидным платинометалльным оруденением [2]. Разработанные ранее технологии не учитывали необходимость получения сульфидного платинометалльного концентрата.

Материалом для исследований служила технологическая проба титаномагнетитовой руды Колвицкого месторождения, отобранная в 2014 г из керна поисково-разведочных скважин. Данная проба богата по титаномагнетиту и представлена кернами и штуфами густовкрапленных и сплошных руд. Содержание основных рудных минералов составило: титаномагнетита — 75–93 %, ильменита — до 20 %, сульфидов — 1–5 % (пирротин, пентландит, борнит, кубанит, валлериит, макинавит, виоларит, сфалерит, халькозин). Химический состав руды по основным компонентам, %: $Fe_{общ}$ — 51, FeO — 32,2, Fe_2O_3 — 37,2, TiO_2 — 11,1, Cu — 0,124, Ni — 0,07, S — 0,25, V_2O_5 — 0,5; БМ — 0,234 г/т, ЭПГ — 0,028 г/т.

В практике обогащения для переработки титаномагнетитовых руд чаще всего применяются комбинированные схемы. На первой стадии выделяется железорудный концентрат с использованием сухой или мокрой магнитной сепарации, далее из немагнитной фракции получают ильменитовый, сульфидный и другие концентраты.

Для исследуемой пробы на материале крупностью -60 мм изучена возможность применения кускового магнитного обогащения [2]. По результатам исследований выделены несколько фракций, отличающихся магнитной восприимчивостью:

1. Во фракции с магнитной восприимчивостью более $500 \cdot 10^{-4}$ ед. СИ аккумулируются в основном сплошные руды с содержанием титаномагнетита 75–95 %, ильменита — 0–20 %. Ее выход составил около 52 %, по своему качеству ($Fe_{общ}$ = 55,2 %) она не является готовым продуктом и требует дальнейшей переработки.

2. Фракция с магнитной восприимчивостью $200–500 \cdot 10^{-4}$ ед. СИ объединяет преимущественно средние и богатые вкрапленные руды. В средних рудах содержание титаномагнетита составляет 35–45 %, ильменита — 0–10 %; в богатых — 45–75 и 0–25 % соответственно. Выход продукта составил около 40 %.

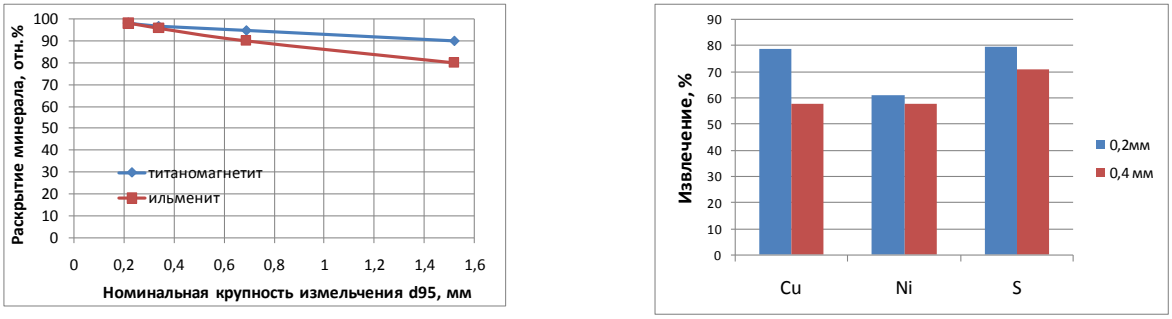
3. Во фракции, имеющей магнитную восприимчивость менее $200 \cdot 10^{-4}$ ед. СИ**,** в основном сосредоточены вмещающие породы, представленные пироксенитами, оливинитами и кристаллическими сланцами плагиоклаз-гранат-пироксенового состава. По содержанию рудных минералов титаномагнетита и ильменита (0–5 %) этот продукт в целом можно отнести к хвостам обогащения, но присутствие сульфидной минерализации не позволяет это сделать с учетом комплексности использования руд. Выход фракции составил около 7 %.

Сульфиды встречаются во всех породах и типах руд. Содержание сульфидов варьирует от единичных зерен до 2–5 %.

Решение о перспективности применения кусковой сепарации может быть принято после проведения исследований на пробе руды, соответствующей промышленному типу. Сепарация позволяет выделить фракцию, практически не содержащую в своем составе титаномагнетита и ильменита, которая может быть выведена в отвал или обогащаться на отдельной ветке, при условии, если ее выход будет составлять не менее 20–30 %.

Большое внимание в работе уделялось мелкозернистому обогащению. Для выбора необходимой крупности обогащения проведено изучение кинетики измельчения руды. Исходная навеска измельчалась в мельнице периодического действия при различном времени. Затем проводился гранулометрический анализ каждого продукта измельчения, определялась номинальная крупность продукта (d_{95}) и степень раскрытия титаномагнетита и ильменита (рис. 1, *а*).

Кинетика раскрытия ильменита близка таковой для титаномагнетита, однако характеризуется рядом особенностей. Зерна ильменита в руде имеют размер в интервале 1–3 мм, а титаномагнетита – 2–10 мм, поэтому в начальные периоды измельчения раскрытие ильменита отстает от титаномагнетита. Если у титаномагнетита доля свободных зерен составляет 90 % уже при крупности измельчения 1,4 мм, то ильменит достигает таких значений при измельчении до 0,6 мм. Начиная с крупности измельчения -0,4 мм титаномагнетит и ильменит имеют практически одинаковый высокий уровень раскрытия, соответствующий 95–96 % доли их свободных зерен.



а *б*

Рис. 1. Влияние крупности измельчения на раскрытие титаномагнетита и ильменита (*а*) и извлечение ценных компонентов в черновой сульфидный концентрат (*б*)

Учитывая полученные результаты раскрытия, проведены сравнительные исследования по обогащению продукта крупностью -0,4 и -0,2 мм.

Магнитное обогащение проводилось на мокром магнитном сепараторе 120Т при напряженности магнитного поля 900 Э. Результаты разделения оказались близки между собой: в обоих случаях получен титаномагнетитовый концентрат с содержанием $Fe_{общ}$ более 60 % и извлечением 88–89 %.

Магнитная сепарация позволяет получить два продукта:

1) магнетит-ульвошпинелевый, высокожелезистый с содержанием $Fe_{общ}$ 60–61,5 %, TiO_2 — 9,6 %, V_2O_5 — 0,54. В этот продукт переходит около 75 % массы руды, он является комплексным сырьем для получения железа, титана и ванадия. Полученный титаномагнетитовый концентрат по качеству превосходит концентрат марки «Стандарт», выпускаемый на АО «Апатит» (содержание $Fe_{общ}$ = 55–60 %, TiO_2 = 13,5 %);

2) сульфидно-ильменитовый (немагнитная фракция) с содержанием TiO_2 12,5–13,5 %, никеля — 0,1 %, меди — 0,28 % и серы — 0,5–0,6 %. В этот продукт переходит около 25 % массы руды, он является комплексным сырьем для получения никеля, меди, кобальта и титана, а также благородных металлов.

Следующий этап обогащения включает переработку немагнитного продукта. Для получения из него сульфидного и ильменитового концентратов может быть использовано как флотационное, так и гравитационное обогащение. Исследования показали, что использование гравитационных методов для обогащения немагнитной фракции не позволяет сконцентрировать сульфиды в каком-либо из продуктов либо получить продукты, не содержащие сульфидов: они практически равномерно распределяются по всем фракциям. В связи с этим немагнитная фракция направлялась сразу на сульфидную флотацию.

Для получения сульфидного концентрата использовался набор реагентов, применяемых для флотации сульфидных медно-никелевых руд. Исследовано несколько режимов флотационного обогащения при крупности исходного продукта -0,4 и -0,2 мм. При выборе крупности учитывалось достаточное раскрытие сульфидов (до 90 %) и возможность получения ильменита из камерного продукта флотации гравитационными методами. Лучшие показатели получены при крупности -0,2 мм (рис. 1, *б*). Извлечение Cu, Ni и S в черновой сульфидный концентрат в этом случае составило 78,9, 61,1 и 79,6 % соответственно при содержании 1,88, 0,61, 4,35.

Потери сульфидов в камерном продукте флотации в основном связаны со сростками с силикатами. Силикатная часть продукта состоит из пироксена и оливина, в которых эпизодически присутствуют включения сульфидов (рис. 2).

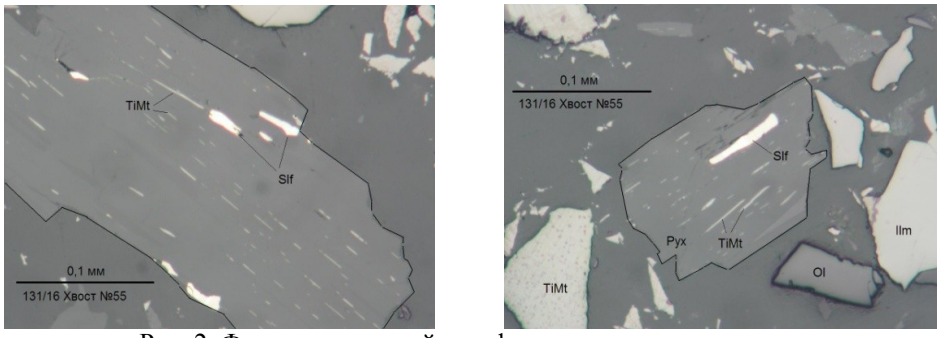


Рис. 2. Формы включений сульфидов в пироксенах
(TiMt — титаномагнетит; Ilm — ильменит; Slf — сульфиды; Ol – оливин; Pyx – пироксен)

Применение двух перечистных операций для повышения качества чернового концентрата позволило повысить содержание Cu до 4 %, Ni до 1,5 %, S до 11 % и в сумме БМ и ЭПГ до 6,4 г/т (рис. 3). При этом произошло увеличение концентрации цветных металлов (Cu, Ni) в пенном продукте относительно исходного (немагнитной фракции) в 14 раз. В отличие от цветных металлов концентрация благородных возросла менее значительно: Ag — в 8 раз, Au — в 6, Pt — в 3, Pd — в 6, Ru — в 1,5, Rh — в 2,5 раза. Особенно значительно концентрируются серебро, золото и палладий.

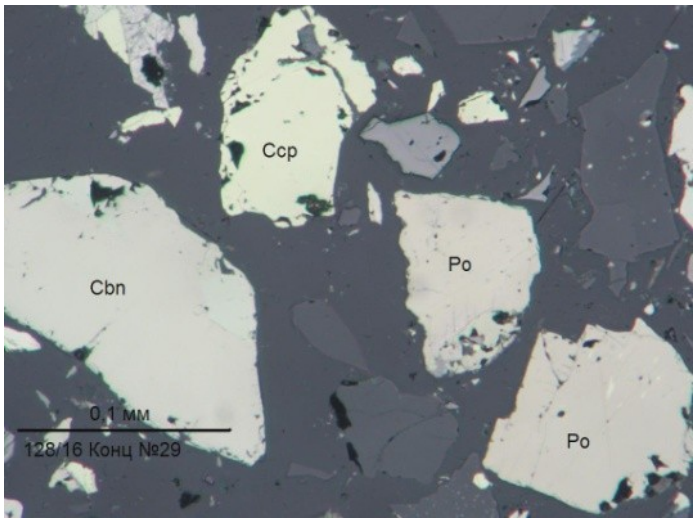


Рис. 3. Общий вид зерен минералов в сульфидном концентрате
(Po — пирротин, Ccp — халькопирит, Cbn — кубанит)

Оценена возможность получения сульфидного концентрата более высокого качества. При увеличении числа перечисток и использовании депрессора силикатных минералов получен концентрат с содержанием меди, никеля и серы 10,87, 4,71 и 27,34 % соответственно.

Для получения ильменитового концентрата начаты исследования как по флотационному, так и гравитационному извлечению ильменита, поскольку последний метод является более дешевым и экологически чистым в сравнении с флотацией. Экспериментальная часть еще не закончена, но уже сейчас можно сказать, что, используя цепочку винтовой сепаратор — концентрационный стол возможно получение концентратов, содержащих порядка 40 % TiO_2.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о возможности получения из титаномагнетитовых руд Колвицкого месторождения трех концентратов — титаномагнетитового, ильменитового и сульфидного. Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование режимов разделения и разработку эффективной технологии обогащения руд данного месторождения.

Литература

1. Изучение магнитных свойств типов руд и пород Колвицкого месторождения для оценки возможности кускового обогащения / С. В. Терещенко и др. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 3. С. 53–56.
2. Комплексные титаномагнетитовые руды Колвицкогоместорождения (Кольский п-ов) / Ю. Л. Войтеховский и др. // Региональная геология, минералогия и полезные ископаемые Кольского полуострова: труды XIII Всерос. (с междунар. участием) Ферсмановской научной сессии, посвящённой 50-летию Дня геолога (Апатиты, 4–5 апреля 2016 г.) / гл. ред. Ю. Л. Войтеховский. Апатиты: K & M, 2016. С. 67–69.
3. Новые порошковые материалы на основе титаномагнетитов / Н. Н. Гришин и др. // Исследования и разработки в области химии и технологии функциональных материалов: материалы 2-й Всерос. конф. с междунар. участием (Апатиты, 25–27 ноября 2015 г.) / ИХТРЭМС КНЦ РАН. Апатиты, 2015.

О. В. Белогородцев, Е. Е. Хомкин
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, O_Belogorodzev@mail.ru, Sonne.z@mail.ru

ВЫБОР ВАРИАНТА РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ВВОДЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ГЛУБОКОГО ГОРИЗОНТА

Оптимальную производственную мощность подземного рудника, участка или горизонта невозможно обеспечить без прогнозирования конкретной геомеханической и горнотехнической обстановки, в которой планируется вести горные работы.

Значительный рост объемов подземной разработки месторождений полезных ископаемых (ПИ) влечет за собой ускоренный ввод новых горизонтов. Увеличение объемов горно-проходческих работ, крепления горных выработок, извлекаемой рудной массы ускоряет понижение глубины горных работ.

С глубиной изменяются свойства и характер сдвижения горных пород, характер проявления горного давления, что осложняет добычу руды и ухудшает условия разработки. Требуется системный подход к выбору параметров систем разработки и порядка выемки запасов в рудничном поле на основе оценки и прогнозирования последствий перераспределения горного давления в разрабатываемом массиве в процессе ведения горных работ для обеспечения устойчивости горных конструкций, безопасности работ, полноты и экономичности извлечения из недр. Чем ближе система к реальности, тем больше вероятность спрогнозировать развитие горных работ и возможность их корректировки при необходимости.

При эксплуатации апатит-нефелиновых месторождений Хибинского массива наиболее эффективна технология подземной добычи руды, основанная на применении вариантов систем разработки с массовым обрушением руды и вмещающих пород с применением комплексов самоходного оборудования. Восполнение выбывающих мощностей подземных рудников производится за счет ввода в эксплуатацию глубоких горизонтов месторождений: гор. +90 м Кукисвумчоррского, +170 м Юкспорского и гор. +310 м Апатитового цирка, склонных и опасных по горным ударам. Выбор и обоснование эффективной технологической схемы развития горных работ подземного горизонта невозможно без геомеханической оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива, произведенной по геолого-маркшейдерским данным, обработанным с использованием современных горно-геологических информационных систем (ГГИС) [45].

В качестве примера для выбора рационального варианта развития горных работ до начала отработки запасов руды рассмотрен гор. +90 м Кукисвумчоррского месторождения, главной особенностью геомеханического состояния массива пород которого является действие максимальных тектонических напряжений практически вкрест простирания рудного тела, особенно в центральной части месторождения. Для геомеханического обоснования рациональной выемки запасов гор. +90 м, склонного и опасного по горным ударам, в программном комплексе (ПК) Sigma GT выполнено моделирование НДС массива пород месторождения при разных вариантах конфигурации очистной выемки, технологии подземных горных работ и учетом бровки обрушения покрывающих горных пород.

В настоящее время на горизонте +90 м Кукисвумчоррского месторождения пройдены все основные горные выработки откаточного горизонта и ведутся подготовительно-нарезные работы в вырезном блоке 12/15. Первоначально отбойка и выемка запасов предусматривается в отрезных штреках, по центру блока в висячем боку рудной залежи, для образования разгрузочной зоны, которая позволит снизить величину действующих тектонических напряжений и обеспечит контакт с обрушенными породами вышележащего гор. +170 м.

При сравнении вариантов системы с обрушением руды и вмещающих пород в условиях отработки запасов гор. +90 м и развития работ в висячем боку месторождения исследования, проведенные ГоИ КНЦ РАН в рамках разработки регламента отработки запасов гор. +90 м Кукисвумчоррского месторождения Кировского рудника установили:

- при применении системы разработки с подэтажным обрушением из-за конфигурации очистного пространства значения максимальных сжимающих напряжений распределены более равномерно по подэтажам. Размеры зон концентрации и величины σ_{max} в них меньше, чем при применении системы разработки с этажным обрушением, где зона концентрации σ_{max} с величинами до 120 МПа формируется на горизонте днища.
- эффект защиты массива в средней части рудного тела от действия высоких сжимающих напряжений выше при применении системы с подэтажным обрушением, причем зона разгрузки в этом случае позволяет защитить не только подэтажи, но и выработки откаточного горизонта.
- применение системы разработки с этажным обрушением руды обусловливает высокую изрезанность массива на горизонте траншейного днища, где наблюдается одновременное действие в массиве высоких сжимающих и критических растягивающих напряжений. Данный фактор оказывает негативное влияние на устойчивость как массива в целом, так и отдельных выработок.

Таким образом, при применении системы с этажным обрушением руды прогнозируется более высокий уровень и площадь зон концентрации напряжений σ_{max}, а также пригрузка выработок днища. Поэтому рекомендуется вести работы по созданию опережающей разгрузочной зоны в висячем боку рудной залежи системой с подэтажным обрушением руды.

На основании исследований, выполненных ГоИ КНЦ РАН в рамках разработки регламента отработки запасов гор. +90 м Кукисвумчоррского месторождения Кировского рудника и проведённых с использованием компьютерной технологии инженерного обеспечения горных работ в ГГИС MINEFRAME [2–5], текущего состояния и календарного плана развития очистной выемки глубоких горизонтов, обоснована оптимальная конструкция и параметры подземной геотехнологии:

- определен рациональный порядок отработки запасов гор. +90 м, в том числе вырезного блока 12/15 гор. +90 м, конструктивные границы и конфигурация отбиваемых секций на подэтажах (рис. 1);
- выявлены участки локализации вариантов систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород и их удельный вес (рис. 2);
- по цифровым блочным моделям определены объемы балансовых и отбиваемых запасов руды;

- в модуле текущего планирования горно-проходческих работ произведен автоматизированный подсчет объемов горных выработок в пределах технологических зон и в целом по гор. +90 м, в том числе по вырезному блоку 12/15;
- обоснованы оптимальные параметры вариантов систем разработки с обрушением руды и вмещающих, позволяющие снизить величину эксплуатационных потерь и разубоживания руды и увеличить прибыль;
- с помощью средств компьютерного моделирования определены объем горных выработок и конфигурация отбиваемых секций при формировании разгрузочной зоны в висячем боку рудной залежи гор.+90 м Кукисвумчоррского месторождения;
- обосновано технологическое оборудование и его количество, порядок ведения горных работ для достижения проектной годовой мощности очистного блока;
- для достижения нормативных показателей извлечения разработана оптимальная планограмма выпуска руды для системы разработки с этажным обрушением и траншейным днищем;
- произведена технико-экономическая оценка возможных вариантов систем разработки и схем транспортирования руды при отработке Кукисвумчоррского месторождения.

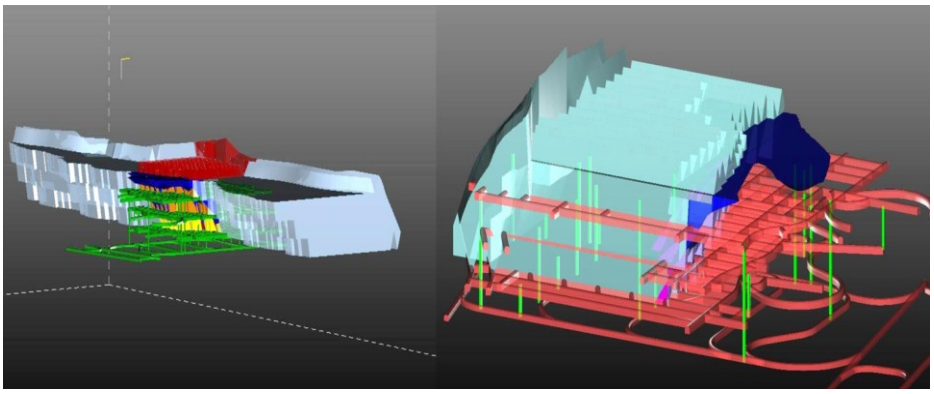


Рис. 1. Цифровая каркасная модель вырезного блока 12/15 гор.+90 м в ГГИС MINEFRAME

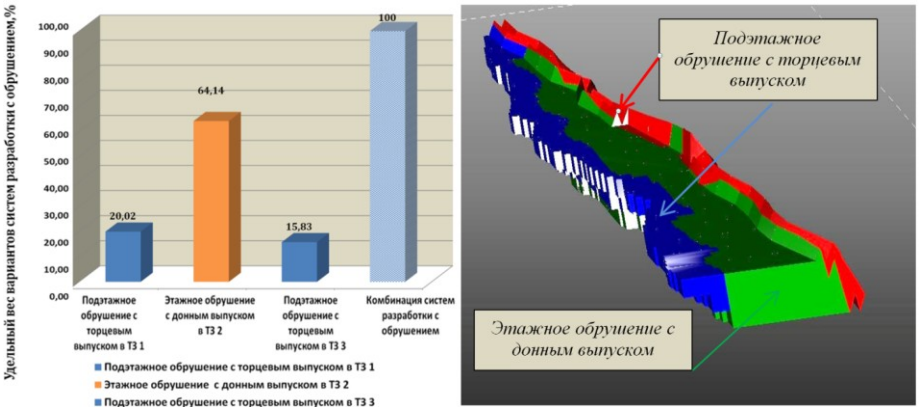


Рис. 2. Удельный вес вариантов систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород гор. +90 м Кукисвумчоррского месторождения. Цифровая каркасная модель отбиваемых запасов в технологических зонах

Заключение

В результате выполненного комплекса исследований при выборе рационального варианта развития горных работ при отработке запасов глубокого гор. +90 м Кукисвумчоррского месторождения можно сделать следующие выводы:

1. По геомеханическим условиям отработку запасов гор. +90 м по всему рудному телу производить с использованием системы подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды, что обеспечит меньший уровень концентрации сжимающих напряжений у фронта опережающей разгрузочной зоны и непосредственно под ней, более планомерную выемку запасов, минимизацию сейсмического воздействия на массив, а также позволит избежать изрезанности массива при траншейном днище системы разработки с этажным обрушением руды и вмещающих пород, где формируются зоны концентрации сжимающих напряжений и растягивающие напряжения в целиках, защищенных от высоких напряжений.

2. На основании проведенных горнотехнической и геомеханической прогнозных оценок вариантов развития горных работ в сложных горно-геологических условиях определены возможности совершенствования технологии горных работ на больших глубинах, позволяющие повысить технический уровень и промышленную безопасность горных работ.

3. Разработанные в Горном институте КНЦ РАН программные средства в ГГИС MINEFRAME и ПК Sigma GT обеспечивают системный подход к инженерно-геологическому исследованию проблем разработки месторождений полезных ископаемых. В результате разработанных методических подходов к выбору и обоснованию рационального варианта развития горных работ с компьютерным моделированием объектов горной технологии происходит снижение трудозатрат на выполнение горно-геологической, геомеханической, технологической и экономической частей рабочих проектов горных предприятий, что обеспечивает условия для повышения эффективности работы горного предприятия.

Литература

1. Белогородцев О. В., Громов Е. В., Мельник В. Б. Обоснование систем разработки и их конструктивных параметров в условиях интенсификации добычи при отработке запасов глубоких горизонтов мощных рудных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюл.: [науч.-техн. журн.]. 2016. № 4. С. 122–130.
2. Белогородцев О. В., Наговицын О. В., Савин Е. М. Модуль планирования горнопроходческих работ в программном комплексе MINEFRAME // Горн. информ.-аналит. бюл.: [науч.-техн. журн.]. 2014. № 7. С. 86–94.
3. Лукичев С. В., Белогородцев О. В., Громов Е. В. Решение задач определения запасов руды, показателей конструктивных потерь и разубоживания при подземной разработке месторождений в объемной постановке на основе компьютерного моделирования горно-геологических объектов // Горн. информ.-аналит. бюл.: [науч.-техн. журн.]. 2016. № 4. С. 199–210.
4. Наговицын О. В., Лукичев С. В. Горно-геологические информационные системы — история развития и современное состояние. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 196 с.
5. Подходы к решению задач проектирования и планирования горных работ в системе MINFRAME / С. В. Лукичёв и др. // Горн. журн. 2015. № 8. С. 53–57.

М. С. Хохуля, А. С. Опалев, А. В. Фомин, В. В. Бирюков
Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, mike@goi.kolasc.net.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ И РАЗРАБОТКИ НОВОГО ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Научно-технический прогресс в области обогащения полезных ископаемых предполагает освоение новейших технологических процессов и внедрение нового высокопроизводительного и более эффективного оборудования, позволяющего вовлекать в переработку ранее считавшееся нерентабельным бедное и труднообогатимое сырье и техногенные отходы производства.

В настоящее время масштабы перерабатываемых руд настолько велики, что даже небольшое улучшение технологических показателей приводит к существенному экономическому эффекту. Однако в условиях постоянного снижения содержания полезных компонентов в добываемых рудах требуются разработка и внедрение более совершенных и эффективных технологий, основанных на инновационных методах и подходах переработки минерального сырья, экономический эффект от внедрения которых должен многократно превзойти постоянно растущие затраты на производство выпускаемой продукции. При этом общие принципы интенсификации технологических процессов обогащения сводятся к использованию совокупности факторов, эффективно влияющих на скорость процесса и выход продуктов [3, 4].

Комплекс инженерно-консультационных услуг коммерческого характера по подготовке и обеспечению процесса производства, обслуживанию сооружений, эксплуатации хозяйственных объектов и реализации продукции называется инжинирингом [1].

Инжиниринг охватывает все этапы инновационного цикла. Инжиниринг как род деятельности находится между наукой и производством, формируя технологическую (в том числе техническую) базу производственной деятельности. Основой инжиниринга является разработка, изменение (в целях улучшения) и контроль воплощения в жизнь технологических, организационных и финансово-экономических моделей технических систем (объектов) в соответствии с поставленными целями.

Вопросы корректного выбора оборудования и технологий при новом проектировании, проблемы и вопросы модернизации уже существующих фабрик необходимо решать с использованием инжинирингового подхода к созданию конкурентоспособных горнодобывающих предприятий и технологической экспертизы как главного инструмента в принятии решений по реконструкции оборудования и технологических процессов работающих производств.

В последние годы сформировалась и выделилась в самостоятельную дисциплину инжиниринга новая — интенсификация процессов («process intensification»). Что она подразумевает? Это, прежде всего, новое оборудование и методики, благодаря которым возможно создавать компактные, энергетически эффективные и безопасные производства.

Речь идет не только об уменьшении размеров заводов и оборудования. Интенсификацией считается и существенное увеличение производительности на том же оборудовании, и значительное уменьшение энергозатрат, потерь или количества побочных продуктов при производстве [2].

Создание новых инвестиционно привлекательных проектов разработки месторождений полезных ископаемых и проектирование новых обогатительных предприятий требует разработки новых энерго-ресурсоэффективных технологических схем, для чего в настоящее время широко используется компьютерное моделирование.

В решении задач совершенствования процессов переработки полезных ископаемых можно отметить несколько путей использования информационных систем:

- аккумулирование в специализированных базах данных накопленной в ходе многолетних исследований информации о геолого-минералогическом составе рудного сырья, а также о физических, химических и физико-химических свойствах минералов, входящих в его состав;
- создание специализированных баз знаний о методах переработки минерального сырья с известными физическими, химическими и физико-химическими свойствами;
- совершенствование существующего технологического оборудования и разработка новых разделительных аппаратов с использованием специализированных CAD-CAM-CAE-комплексов, позволяющих в рамках единой программной среды совместить средства автоматизированного проектирования оборудования со средствами компьютерного моделирования физических процессов, в нем протекающих;
- разработка моделей и создание автоматизированных систем управления технологическими аппаратами и технологическими цепями переработки в рамках различных подразделений обогатительных предприятий;
- имитационное моделирование технологических цепей обогатительных производств с целью определения наиболее эффективных режимов реализации производственных процессов.

Применение компьютерных CAD/CAM/CAE-комплексов позволяет в кратчайшие сроки решить триединую задачу расчета, изготовления и автоматизации новых процессов и аппаратов. Одним из наиболее широко применяемых программных комплексов, позволяющих создавать CFD-модели течений, является пакет ANSYS Fluent, включающий инструментарий для создания двух- и трехмерных расчетных областей геометрических моделей, сеточные генераторы, расчетные модули и блоки обработки результатов расчетов [2].

Для повышения полноты извлечения ценных компонентов существующими методами обогащения необходимо получение новых знаний о гидродинамике процессов разделения и создание на этой основе обогатительных аппаратов, обеспечивающих вовлечение в переработку руд сложного вещественного состава. Решение данной проблемы возможно при условии применения последних достижений в области такой фундаментальной науки, как гидродинамика гетерогенных сред.

Исследования большинства процессов разделения минеральных комплексов, происходящих в многофазных средах: жидкость — твердое, жидкость — газ и жидкость — газ — твердое, затрагивают вопросы, связанные с изучением гидродинамики многофазных потоков. На гидродинамические характеристики потоков в рабочих объемах обогатительных аппаратов значительное влияние оказывают их конструктивные особенности, определяющие соотношения удельных объемов и скоростей различных дисперсных фаз, а в отдельных случаях также и интенсивность их перемешивания. Изменение гидродинамической структуры потоков оказывает воздействие на характер движения фаз в аппарате, время их пребывания и т. д.

Под разработкой CFD-модели подразумевается процесс компьютерного представления таких составляющих, как геометрия исследуемого объекта, расчетная сетка рассматриваемой геометрии, граничные условия и физические свойств материалов, модели турбулентности, а также параметры численного решения системы уравнений Навье — Стокса и Эйлера. При использовании CFD-технологий появляется возможность использования полной трехмерной геометрической модели. При этом нет необходимости упрощать физические процессы в течениях взаимодействующих фаз. Поля концентраций и скорости движения отдельных фаз и потоков могут рассчитываться в любом количестве локальных точек в рабочем пространстве исследуемого аппарата.

На базе методов вычислительной гидродинамики с использованием компьютерного моделирования в среде ANSYS Fluent выполнялось определение эффективности конструкции гидравлического сепаратора. В ходе исследований производилась оценка гидродинамических характеристик процесса разделения, были получены распределения минеральных частиц в аппарате и сделан прогноз показателей обогащения в сепараторах различной конструкции при различных режимах их работы.

На рис. 1 приведены распределения минеральных частиц по крупности в рабочих объемах сепараторов.

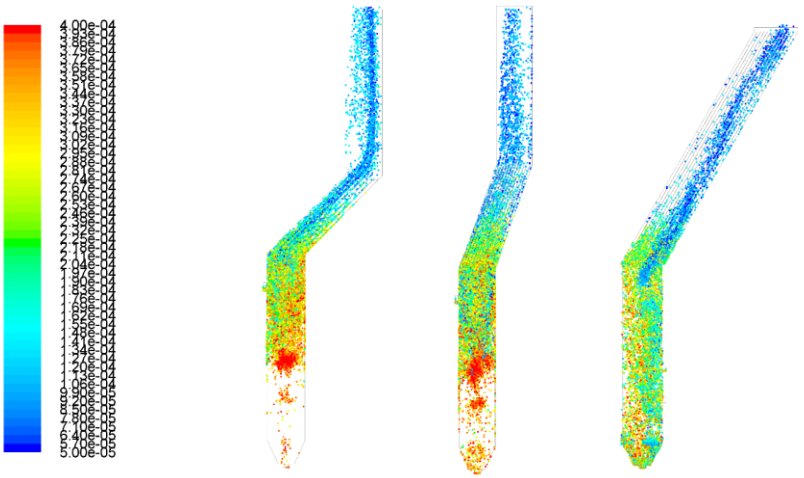
Оценка адекватности разработанных моделей выполнялась на основе результатов технологических экспериментов, условия которых совпадали с условиями моделирования. Значение абсолютного отклонения экспериментальных данных от результатов моделирования по выходу материала в продукты обогащения и содержанию полезного компонента в них не превысило 5 %, что подтверждает достоверность разработанных моделей.

Результаты вычислительных экспериментов показали эффективность использования гидравлического сепаратора с удлиненной секцией пластин, наклоненных под углом 60°. Сравнение показателей обогащения на данной конфигурации аппарата с таковыми на гидравлическом сепараторе без наклонных вставок также подтверждает целесообразность использования новой конструкции.

Таким образом, моделирование методами вычислительной гидродинамики позволило обосновать выбор конструктивных элементов гидравлического сепаратора и способствовало повышению технологических показателей извлечения тонких минеральных частиц по сравнению со стандартной конструкцией аппарата без наклонных пластин.

В программном комплексе ANSYS создана аналитическая модель течения ферромагнитной суспензии в корпусе магнитно-гравитационного сепаратора, расчетная сетка которого созданная в CAD-программе

Gambit, представлена на рис. 2. В условиях восходящего закрученного водного потока, безградиентного или слабоградиентного осевого магнитного поля в цилиндроконическом корпусе аппарата возникает магнитно-стабилизированный ожиженный слой ферромагнитных частиц, создающий благоприятные условия для протекания процесса разделения.



а *б* *в*

Рис. 1. Графическое распределение отслеживаемых частиц по их диаметру (м) в расчетном объеме моделей рассматриваемых аппаратов с углом наклона пластин 45° (*а*), 70° (*б*), 60° (*в*)

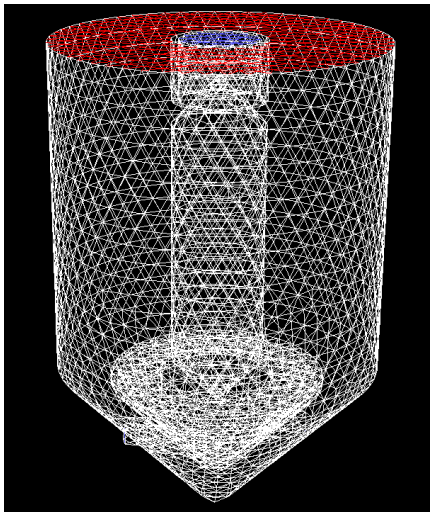


Рис. 2. Расчетная сетка трехмерной геометрии магнитно-гравитационного сепаратора

Таким образом, CFD-модели потенциально обладают более высокой точностью и значительно большей информативностью. Поэтому вычислительный эксперимент на основе CFD-моделей приближается по своим качествам к натурному эксперименту, что позволяет дополнить или заменить его для получения новых данных, в частности, в виде критериальных зависимостей.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием по теме 0232-2014-0023.

Литература

1. Осика Л. Современный инжиниринг: определение и предметная область // Профессиональный журнал. 2010, апрель. № 4/76.
2. Степаненко А. И., Бауман А. В. Модернизация и реконструкция обогатительных фабрик. Инжиниринг и оборудование. Новосибирск: Гормашэкспорт, 2012. 47 с. URL: http://gmexp.ru/info/
3. Тихонов О. Н. Введение в динамику массопереноса процессов обогатительной технологии. Л.: Недра, 1973. 240 с.
4. Тихонов О. Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. М.: Недра, 1984. 200 с.
5. ANSYS. URL: http://www.ansys.com/Products

М. С., Хохуля[1], И. В. Карпов[1], Т. А. Конторина[1], Л. Г. Герасимова[2], А. И. Николаев[2]
[1]*Горный институт КНЦ РАН, , Апатиты mike@goi.kolasc.net.ru*
[2]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН, Апатиты*

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРОВСКИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА И ЕГО ПЕРЕРАБОТКА С ПОЛУЧЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ

Развитие экономики России на устойчивом уровне в перспективном плане может быть обеспечено преимущественно за счет минерально-ресурсного потенциала. Существенная роль в нем должна принадлежать титану и редким металлам, которые не только широко применяются в ряде традиционных отраслей в промышленности: металлургии, нефтехимии, производстве красок, стекла, керамики, огнеупоров и др., но и незаменимы во многих высоких технологиях. Без широкого применения редких металлов и титана невозможен научно-технический прогресс и поддержание на должном уровне обороноспособности страны [4].

Африкандское перовскитовое месторождение считается одним из наиболее перспективных и изученных объектов редкометалльного сырья. В пределах месторождения выделены несколько типов руд: амфиболовые и среднезернистые рудные пироксениты, рудные оливиниты, пегматиты рудные щелочные, пегматиты слюдяные. Выделенные разновидности нескольких типов руд отличаются друг от друга содержанием рудных и нерудных минералов, вкрапленностью перовскита и степенью дезинтеграции. Общие запасы руд месторождения составляют 626,2 млн т, в которых сосредоточено до 52,2 млн т TiO_2. Среднее содержание диоксида титана в рудах составляет 9,2 %, причем в центральной части месторождения, где сосредоточено 50 млн т руды, или 6,5 млн т TiO_2,оно находится на уровне 13 %.

На основании ранее выполненных исследований проведен анализ лабораторных и опытно-промышленных работ по обогащению перовскитовой руды и предложена принципиальная технологическая схема ее переработки [3]. Она учитывает особенности вещественного состава руды, раскрываемость ценных минералов и их физико-химические свойства и предусматривает на начальных стадиях процесса использование гравитационного метода разделения немагнитного продукта магнитной сепарации, позволяющего получать отвальные хвосты и черновой перовскитовый концентрат, доводка которого будет осуществляться в дальнейшем флотацией.

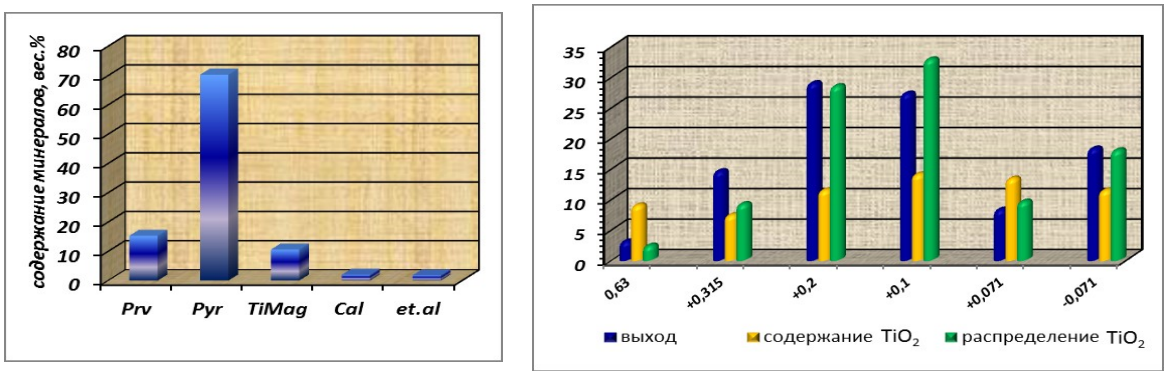
Минералогический и гранулометрический анализ исходной руды

Характеристика вещественного состава руды представлена на рис. 1. Минеральный состав руды показал присутствие в ней более 15 % перовскита, 10,6 % титаномагнетита и около 71,0 % темноцветных минералов (пироксены — около 64,0 %, амфиболы ~ 6,0 % и слюды ~ 1.0 %). Незначительную часть пробы (порядка 3,0 %) составляют кальцит, полевой шпат, реже нефелин с присутствием единичных зерен сфена и оливина (рис. 1, *а*).

Доля раскрытой фазы перовскита в руде составляет около 85 % (в классах крупнее 0,5 мм доля сростков составляет около 21–22 %, менее 0,5 мм — 4–5 %). Сростковая фаза перовскита связана чаще всего с пироксенами, кальцитом, полевым шпатом, титаномагнетитом, иногда со сфеном.

Показано, что для более полного извлечения перовскита и титаномагнетита необходимая крупность измельчения, при которой достигается раскрытие их зерен, составляет 0,315 мм. При более грубом измельчении часть титаномагнетита будет теряться с немагнитной фракцией, а потери перовскита будут связаны с отвальными хвостами. При более тонком измельчении увеличиваются потери ценных компонентов со шламами.

Результаты гранулометрического состава руды, измельченной в шаровой мельнице в оптимальном режиме (рис. 1, *б*), показывают, что выход класса +0,315 мм составляет 17,5 % с распределением в него 11,4 % TiO_2. Количество материала, сосредоточенного в самой мелкой фракции -0,071 мм, не превышает и 20 %, что должно благоприятно отразиться на технологических показателях обогащении при реализации гравитационных методов разделения. В более мелких фракциях содержание полезного компонента начинает плавно уменьшаться, достигая 7,89 % TiO_2 в классе -0,071 мм.



а *б*

Рис. 1. Характеристика вещественного состава перовскитовой руды:
а — минеральный состав (Prv — перовскит, Pyr — пироксены, TiMag — титаномагнетит, Cal — кальцит, et al. —— прочие); *б* — распределение TiO_2 по классам крупности в измельченной руде

Различие в значениях плотности между рудными минералами — от 5 г/см^3 (титаномагнетит, магнетит) и породообразующими — до 2,7 г/см^3 (кальцит, полевой шпат, нефелин), содержание в руде темноцветных — промежуточной плотности (перовскит, роговая обманка, диопсид, эгирин и т. д.) предопределяет использование гравитационного процесса, как наиболее эффективного для выделения в черновой концентрат перовскита.

Гравитационное обогащение

Изученные минералого-технологические особенности перовскитовой руды позволили разработать схему обогащения, которая включает в себя ее измельчение руды до крупности, не превышающей 20 % класса -0.071 мм, магнитную сепарацию в слабом поле для выделения титаномагнетитового концентрата, цикл гравитационного обогащения немагнитной фракции магнитной сепарации с получением чернового перовскитового концентрата, промпродукта и отвальных хвостов с последующими доизмельчением и доводкой промпродукта гравитации и чернового концентрата.

В отличие от традиционной схемы магнитно-флотационного обогащения, когда до конечной крупности (до 60 % кл. -0.071 мм) измельчалась вся исходная руда, предложенный вариант обеспечивает более рациональную схему измельчения с учетом физико-механических свойств минералов, их вкрапленности, твердости и степени раскрытия, что отражается на уменьшении переизмельчения и ошламования руды.

Особенностями разработанной гравитационной схемы являются:

- использование винтовой сепарации в голове схемы для получения чернового продукта (основной цикл) и отвальных хвостов (контрольная операция). Двухстадиальная винтовая сепарация оказалась наиболее эффективной в условиях разделения минеральных частиц с сопоставимыми значениями плотности;
- в последний отсек винтового сепаратора выделяются шламы со значительным (более 15) соотношением Ж:Т, что обеспечивает частичное обесшламливание чернового перовскитового концентрата;
- тяжелая фракция винтовых сепараторов перечищалась на концентрационных столах, что позволило получить высокую степень концентрации TiO_2 в выделяемом концентрате (4,8–4,9). Объединение винтовых сепараторов и концентрационных столов в последовательную цепочку наиболее полно соответствует принципу гравитационного обогащения, согласно которому перечистку продуктов предыдущей операции целесообразно проводить на аппаратах, отличающихся видом и величиной сил, действующих на разделяемые частицы;
- в разработанной схеме отсутствуют значительные циркулирующие нагрузки, что существенно упрощает технологию обогащения, позволяет использовать оборудование при оптимальных нагрузках по питанию, облегчает контроль и управление технологическим процессом.

Технологические показатели получения перовскитового концентрата из немагнитной фракции магнитной сепарации на основе ее гравитационного обогащения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты гравитационного обогащения перовскитовой руды

Продукт	Выход, %	Содержание TiO_2, %	Извлечение TiO_2, %
Титаномагнетитовый концентрат	11,2	8,67	8,5
Гравитационный концентрат	7,3	50,0	32,3
Промпродукт (на флотацию)	35,7	13,21	41,8
Циркулирующий продукт	11,9	5,85	6,2
Шламы	5,7	7,59	3,8
Отвальные хвосты	28,2	2,93	7,4
Исходная руда	100,0	11,28	100,0

Данные табл. 1 показывают принципиальную возможность получения кондиционного перовскитового концентрата методами гравитационного обогащения с использованием потоков малой толщины (винтовая сепарация, концентрация на столе). Полученный промпродукт требует дальнейшей доводки флотацией.

Доводка гравитационного концентрата

Образцы перовскитовых концентратов, полученные по гравитационной технологии обогащения, оценивались рентгенофлуоресцентным анализом. В табл. 2 приведены результаты этих анализов по основным химическим компонентам.

Таблица 2

Химический состав образцов перовскитового концентрата, %

Номер образца	TiO_2	CaO	SiO_2	Fe_2O_3	Nb_2O_5	Ta_2O_5	P_2O_5	∑РЗЭ	ThO_2
1	50,6	30,5	3,4	2,9	1,2	0,15	0,45	4,79	0,05
2	50,0	29,5	6,7	4,0	1,0	0,14	0,1	4,95	0,05
3	50,8	30,9	4,7	3,6	1,2	0,14	-	4,63	0,07

После доизмельчения определенных навесок перовскитового концентрата в шаровой мельнице до крупности менее 60 мкм они подвергались кислотной обработке с использованием серной и азотной кислот.

Условия разложения в автоклаве 40 %-й HNO_3: *t* — 175 °С, τ — 5 ч, Т:$V_ж$ = 1:5,5

Процесс проводится в автоклаве для повышения скорости разложения перовскита. При взаимодействии перовскита с азотной кислотой в жидкую фазу выщелачиваются практически все элементы составляющие перовскит — титан, редкие металлы, кальций, РЗЭ и др. Из-за низкой растворимости титан, ниобий и тантал осаждаются в виде гидроксидов. Медленнее протекает выщелачивание экранированных элементов — кальция, РЗЭ, которые устойчивы в азотнокислотной среде, благодаря чему происходит их отделение от осадка. Проведение процесса разложения в автоклаве приводит к получению осадка рутильной структуры. Степень разложения концентрата в условиях азотнокислотного разложения достигает 92–95 %. Выделенный при этом рутил, содержащий осадок, можно использовать в качестве сырья (синтетический рутил) для получения металлического титана по хлоридной технологии. Фильтрат, содержащий кальций, РЗЭ и торий, перерабатывается известным способом с получением концентрата РЗЭ и железоториевого кека [2, 3].

Условия разложения перовскитового концентрата 80 %-й H_2SO_4: *t* — 165-175 °С, τ — 9 ч, Т:$V_ж$= 1:4

Процесс проводится при атмосферном давлении. При взаимодействии перовскита с серной кислотой титан, редкие металлы и железо, кальций, РЗЭ и др. вначале выщелачиваются в жидкую фазу, а затем осаждаются в виде сульфатных соединений титана, РМ, кальция, РЗЭ. Для отделения из осадка титановой фазы проводилась обработка полученного поликомпонентного осадка водой при температуре 50-65 °С и Т:$V_в$ = 1:2. Полученный титановый раствор содержал, г/л: TiO_2 – 135,1; H_2SO_4 – 1080. Степень разложения перовскита (по извлечению титана в сернокислотную жидкую фазу) без учета потерь с промводой после отмывки сульфатного остатка составляет 92 %. Титансодержащий раствор использовался для выделения титанил сульфата моногидрата, который используется для получения пигментного диоксида титана и другой титансодержащей продукции (сорбенты, дубители, наполнители клеев и герметиков и др.). Влажный кальций-редкоземельный осадок перерабатывается известным способом с получением сульфата кальция (титаногипса) и концентрата РЗЭ [5].

Выводы

Разработанная технологическая схема обеспечивает получение в голове процесса обогащения гравитационного перовскитового концентрата, содержащего до 50 % TiO_2 с извлечением более 32 % диоксида титана при одновременном выделении до 30 % отвальных хвостов и части шламов. Это более чем в 2 раза сокращает фронт последующей флотации за счет снижения нагрузки по питанию при снижении расхода флотационных реагентов.

Показана возможность кислотной переработки гравитационного концентрата с получением различных видов титановой продукции и концентрата редкоземельных металлов.

Дальнейшие работы по развитию предложенной комбинированной схемы будут связаны с разработкой режима флотации промпродукта и оптимизацией цикла гравитационного обогащения, с целью повышения технологических показателей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН по стратегическим направлениям развития науки № 3 «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны РФ».

Литература

1. Влияние минералого-технологических особенностей перовскитовой руды Африкандского месторождения на выбор комбинированной технологии ее обогащения / М. С. Хохуля и др. // Проблемы комплексного освоения георесурсов: ГИАБ: спецвып. 2016. № 21. С. 344–354.
2. Выделение тория при переработке хлоридных растворов в технологии перовскита / В. Г. Майоров и др. // Цветные металлы. 2005. № 3. С. 85–87.
3. Николаев А. И., Калинников В. Т. Попутное производство РЗМ при переработке перовскитового концентрата Африкандского месторождения // Цветные металлы. 2013. № 3. С. 58–63.
4. Николаева О. А. Сравнительная геолого-экономическая оценка месторождений титана России // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2016: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. / Ин-т экон. проблем КНЦ РАН. Апатиты, 2016. С. 216–220.
5. Перовскитовый концентрат — перспективное нетрадиционное сырье для производства титановой и редкометалльной продукции / А. И. Николаев и др. // Комплексное использование минерального сырья. 2015. № 2. С. 26–34.

Секция 5. ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АВРОРАЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

В. И. Демин[1], А. Р. Анциферова[2], О. М. Чаус[2]
[1]*Полярный геофизический институт, Апатиты, demin@pgia.ru*
[2]*Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Мурманск*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ «ОСТРОВА ТЕПЛА» НА ТЕМПЕРАТУРУ ВОЗДУХА НА ГОРОДСКОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ В МУРМАНСКЕ

На Кольском п-ове последние десятилетия XX в. и начало XXI в. характеризуются значительными изменениями климатических параметров. Если исходить из базового периода 1961–1990 гг., то за последние 26 лет (1991–2016 гг.) климатическая норма среднегодовой температуры в г. Мурманске была превышена в 24 случаях. Это говорит о быстром потеплении климата в городе. С другой стороны, возникает вопрос, в какой степени это потепление вызвано глобальными и региональными процессами, а в какой техногенным (тепловым) воздействием города. Эти изменения фиксируются на гидрометеорологической станции (ГМС) «Мурманск», расположенной в черте города с более чем 300-тысячным населением. В климатологии хорошо известно, что воздух в городской застройке обычно теплее, чем в окружающей сельской местности из-за так называемого городского «острова тепла». Городское строительство всегда сопровождается существенным изменением радиационных, термических, влажностных и аэродинамических характеристик ландшафта, а в процессах жизнедеятельности потребляется большое количество тепловой и электрической энергии с ее последующим выделением в атмосферу. Как следствие, обусловленный антропогенным фактором «остров тепла» в той или иной степени должен обнаруживаться во всех (даже небольших) городах и как составляющая содержаться в количественных показателях климатических изменений. Необходимость оценки данного эффекта обусловлена включением ГМС «Мурманск» в Глобальную систему наблюдений за климатом (ГСНК).

Метеорологические наблюдения в городе начались в 1917 г., однако из переносов станции климатическая однородность ряда была нарушена. С ноября 1935 г. положение метеорологической площадки не изменилось. Благодаря этому становится возможным отследить долговременную эволюцию городского «острова тепла». Действительно, одной из главных причин его формирования является большая площадь всевозможных искусственных поверхностей (здания, дороги и т. д.), радиационные и теплофизические свойства которых отличаются от характерных для данного ландшафта. По этой причине «остров тепла» усиливается вместе с растущим городом. На практике эта связь отражается в виде ряда статистических зависимостей между интенсивностью «острова тепла» и числом жителей в городе или его геометрическими характеристиками (горизонтальные размеры, индекс открытости неба, соотношение ширины и высоты уличных каньонов и т. д.) [4].

Строительство Мурманска началось в 1915 г. Во время Великой Отечественной войны преимущественно деревянный город был полностью сожжен (остались только отдельные каменные здания), и с 1944 г. его отстраивали заново. Значительное расширение территории Мурманска пришлось на 1970-е — начало 1980-х гг. В 1989 г. население города достигло 470 тыс. чел. С начала 1990 гг. последовал сильный экономический спад, снижение объемов промышленного производства, потребления тепло- и электроэнергии, значительный отток населения (почти на треть), активное строительство в городе было фактически остановлено. Если исходить из данной динамики, можно предположить, что интенсивность «острова тепла» в Мурманске усиливалась к 1990-м гг., а в дальнейшем изменялась слабо.

«Остров тепла» обнаруживается по положительной разности температур воздуха на городской и фоновой ГМС. Однако в случае Мурманска такое сопоставление температур оказывается неинформативным: город расположен вблизи границы суши и Баренцева моря, где наблюдаются сильные горизонтальные градиенты температуры. Даже микрорайоны в пределах города отличаются по термическому режиму [7]. В результате этого ГМС «Мурманск» оказывается теплее одних окружающих фоновых районов и холоднее других, причем знак этой разности может меняться в зависимости от сезона. Появление и усиление «острова тепла» можно обнаружить только по большей скорости потепления в городе.

Ближайшей к Мурманску фоновой станцией является ГМС «Полярное». С 1913 г. она расположена на пустынном Екатерининском острове в Кольском заливе в 30 км к северу. С 1950 г. для сравнения могут быть использованы данные фоновой ГМС «Ура-Губа», удаленной на 38 км к северо-западу от ГМС «Мурманск», ГМС «Падун» (в 63 км к юго-западу) и ГМС «Териберка» (88 км на северо-восток). Использование нескольких станций, расположенных вокруг города, необходимо для уменьшения эффектов, создаваемых сменами макроциркуляционных эпох. Действительно, в зависимости от характера макроциркуляционных процессов в конкретном месяце, сезоне или группе лет создаются температурные аномалии различной географической локализации. Положение сравниваемых станций относительно зон крупных аномалий оказывает влияние на временной ход разности температур между ними. Кроме того, микроклиматические особенности

проявляется в определенных погодных условиях, повторяемость которых меняется в зависимости от доминирующих циркуляционных процессов. Например, в последние десятилетия скорость ветра на подавляющем большинстве станций, расположенных на севере ЕТР, в том числе и на Кольском п-ове, уменьшается [1], что сопровождается усилением обусловленных микроклиматом разностей температур.

В качестве характеристики климатических изменений принято использовать угловой коэффициент в уравнении линейного тренда температуры, определенный по методу наименьших квадратов (МНК) [5]. Значения данных коэффициентов для трендов средних сезонных температур на ГМС «Мурманск» и ближайших к ней фоновых ГМС в период 1950–2015 гг. приведены в таблице.

Сравнение углов наклона линейных трендов сезонных температур
на Кольском п-ове в период с 1961–2015 гг. (обозначения в тексте)

ГМС	Зима		Весна		Лето		Осень	
	b	*SS*	*b*	*SS*	*b*	*SS*	*b*	*SS*
Мурманск	0,0247	206,2127	0,0299	139,6777	0,0066	102,4741	0,0219	126,0333
Полярное	0,0218	131,5004	0,0273	124,5795	0,0045	102,7878	0,0192	111,7557
Ура-Губа	0,0201	179,8936	0,0304	141,8520	0,0060	99,6935	0,0197	122,9391
Падун	0,0329	270,6981	0,0305	129,5160	0,0034	102,0221	0,0200	133,8530
Териберка	0,0240	127,6399	0,0284	133,1406	0,0068	123,0531	0,0247	98,2966
SSp	****	915,9448	****	668,7659	****	530,0306	****	592,8778
SSc	0,0247	918,2286	0,0293	668,9524	0,0055	530,2334	0,0211	593,3678
****	Нулевая гипотеза: все углы наклона одинаковы							
	$F(4,313) = 0,1951$		$F(4,317) = 0,0221$		$F(4,318) = 0,0304$		$F(4,318) = 0,0657$	
	$p = 0,9409$		$p = 0,9990$		$p = 0,9982$		$p = 0,9920$	

Выделение сезонов на Кольском п-ове: зима — ноябрь — март, весна — апрель и май, лето — июнь, июль, август, осень — сентябрь и октябрь.

Значения углов наклона линейных регрессий на выбранных ГМС численно отличаются, однако в МНК коэффициенты уравнения регрессии определяются с некоторой погрешностью. По этой причине в математической статистике существует процедура сравнения углов наклона (см., например, [6]). Эта процедура является необходимой еще и потому, что климатические архивы содержат ошибочные значения, которые не выглядят выбросами и не выявляются при первичной проверке. Такие технические ошибки в исходных данных могут сказаться на расчете коэффициентов линейных регрессий. Их численному различию будет необоснованно придан физический смысл.

Процедура сравнения наклонов нескольких регрессий приведена в работе [9]. По всем уравнениям регрессий вычисляется объединенная остаточная оценка дисперсии SS_p, а по уравнению регрессии, построенному по объединенной выборке, рассчитывается остаточная регрессия SS_c. По полученным данным рассчитывается параметр

$$F = \frac{\dfrac{SS_c - SS_p}{k-1}}{\dfrac{SS_p}{DF_p}},$$

который сравнивается с критическим значением $F_{кр}$ при степенях свободы $k - 1$ (k — число регрессий), и $DF_p = \sum_{i=1}^{k}(n_i - 2)$. Нулевая гипотеза (углы наклона равны $b_1 = b_2 = \ldots = b_k$) отвергается, если $F > F_{кр}$.

Результаты расчета приведены в таблице. Во всех случаях уровень значимости p принимает довольно большие значения, чтобы можно было отвергнуть гипотезу о совпадении углов наклона. Линии регрессии для выбранных ГМС параллельны, а скорости потепления в период 1950–2015 гг. следует считать одинаковыми: 0,0247, 0,0293, 0,0055 и 0,0211 °С/год для зимы, весны, лета* и осени соответственно. Признаков более быстрого потепления на ГМС «Мурманск» не обнаружено ни в одном из сезонов. Результат не изменится, если провести множественные попарные сравнения скоростей потепления на ГМС «Мурманск» со скоростями потепления на окружающих фоновых ГМС.

Полученный результат, безусловно, не может рассматриваться как отрицание возможности существования в г. Мурманске «острова тепла». Можно уверенно говорить лишь о незначительном влиянии города на тепловой режим в окрестностях ГМС «Мурманск». Это может быть вызвано как локальными особенностями положения ГМС «Мурманск» (вне зоны плотной городской застройки), небольшой повторяемостью благоприятных метеорологических условий, способствующих проявлению «острова тепла»,

* Для лета тренд не является статистически значимым.

так и его общей слабой интенсивностью. Вместе с тем, использованный в работе метод не дает ответа на вопрос об отсутствии «острова тепла» в других районах города, не освещенных регулярными метеорологическими наблюдениями. Так, например, используя полевые измерения температуры на территории города зимой 2014 г., авторами работы [8] сделан вывод о существовании в г. Мурманске зимой «острова тепла» интенсивностью до 3 °С, который захватывает и район ГМС «Мурманск». К сожалению, этот результат был получен сравнением очень короткой серии измерений в пунктах, расположенных в разных геоморфологических условиях, и без учета естественной микроклиматической изменчивости температуры, которая в условиях города может быть весьма значительной. На территории Мурманска и вокруг него наблюдается очень сложный холмистый рельеф. Минимальные высоты соответствуют уровню моря, а максимальные достигают 300 м. Из-за стоковых течений в холодное полугодие (ночью — во все сезоны) происходит перераспределение холодного воздуха с появлением теплых областей на возвышенных участках и «озер холода» в понижениях. По результатам измерений, проводимых в 2014–2017 г. в фоновых районах Кольского п-ова, разность температуры между верхними частями холмов и окружающими его равнинами даже в условиях слабовсхолмленного района может достигать 5–15 °С зимой и доходить в отдельных случаях до 5–8 °С летом [2, 3]. На термический режим города оказывает влияние близость к Кольскому заливу, а также различное расстояние от северных и южных районов города до незамерзающей акватории Баренцева моря. Так как эти факторы, способствующие формированию пространственных неоднородностей в поле температуры воздуха, в работе [8] не были учтены, говорить об антропогенном характере обнаруженных аномалий некорректно и вопрос о существовании «острова тепла» в других районах Мурманска (кроме территории ГМС «Мурманск») следует считать открытым до проведения масштабного комплекса микроклиматических измерений в городе и в схожих по ландшафту фоновых районах.

Измерения температуры воздуха на ГМС «Мурманск», несмотря на ее положение внутри крупного города с более чем 300-тысячным населением, можно считать репрезентативными для задач региональной и глобальной климатологии.

Литература

1. Баранова А. А., Голод М. П., Мещерская А. В. Изменение градуированных скоростей ветра на территории России во второй половине XX века // Труды ГГО. Вып. 556. С. 116–138.
2. Влияние рельефа на формирование «острова тепла» в г. Апатиты / В. И. Демин и др. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. № 2. С. 95–106.
3. Геоморфологические факторы формирования «острова тепла» в г. Апатиты / В. И. Демин и др. // Physics of Auroral Phenomena: Proc. XXXIX Annual Seminar. Apatity, 2016. P. 154–157.
4. Оке Т. Р. Климаты пограничного слоя. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 360 с.
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменение климата / НИЦ «Планета». М.: Росгидромет, 2008. 230 с.
6. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. М.: Изд-во иностран. лит., 1956. 664 с.
7. Яковлев Б. А. Климат Мурманска. М.: Гидрометеоиздат, 1972. 106 с.
8. Experimental research of urban heat island effect for the biggest arctic cities / M. I.Varentsov et al. // Arctic Frontiers: Industry and Environment (Tromsø, Norway 24–29 January 2016). URL: http://www.arcticfrontiers.com/downloads/arctic–frontiers–2016/presentations–4/poster–presentations–6/1249–3235531–mikail–varentsov/file.
9. Zar H. J. Biostatistical Analysis. New Jersey: Pearson, 2009. 946 p.

Б. В. Козелов

Полярный геофизический институт, Мурманск, boris.kozelov@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СКЕЙЛИНГА МАГНИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ПО ДАННЫМ АВРОРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Введение

Полярные сияния — это свечение атмосферных газов на высотах 100–200 км, вызванное многочисленными процессами в околоземном космическом пространстве, заполненном магнитосферно-ионосферной плазмой. В области, где наблюдаются полярные сияния, в авроральной области, процессы магнитосферно-ионосферного взаимодействия происходят наиболее активно [18]. Различного рода неоднородности и нестационарности, возникающие в магнитосферной плазме на разных высотах, проецируются в авроральную зону ионосферы посредством продольных втекающих и вытекающих токов и, таким образом, несут свойства магнитосферы в ионосферу. Другими словами, полярные сияния являются отражением процессов, происходящих в магнитосферно-ионосферной системе, которая, в свою очередь, находится под воздействием солнечного ветра и солнечной активности. Наряду с детальным анализом отдельных плазменных процессов, значительный интерес представляет исследование общей коллективной динамики магнитосферно-ионосферной системы. Динамические режимы, переходные процессы, флуктуации, самоподобие (скейлинг) в открытых диссипативных системах,

к которым относится магнитосферно-ионосферная система Земли, могут быть рассмотрены с помощью методов нелинейной динамики. Оптические наблюдения структуры полярных сияний дают обширный материал для такого рода исследований, позволивших прийти к важным выводам, краткий обзор которых приводится в данной работе.

Признаки самоорганизованной критичности

Системы, в которых происходят флуктуации параметров в значительном диапазоне пространственных и временных масштабов, обычно называют турбулентными. В этом смысле магнитосферно-ионосферная система является турбулентной. Однако турбулентность в магнитосферно-ионосферной плазме имеет особенности, которые не могут быть объяснены существующими теоретическими моделями [3, 7]. В качестве альтернативы в работе [5] был предложен сценарий, в котором перемежающаяся турбулентность в плазме формируется в ходе нелинейной эволюции многомасштабных когерентных структур. Индивидуальные процессы в плазме объединяются этим сценарием в единое самоорганизованно-критическое (СК) состояние [16].

Согласно определениям, приведенным в работах [2, 10], СК состояние — это: универсальное свойство пороговых систем с большим числом степеней свободы; основные в системе взаимодействия локальны; в системе имеется тенденция к формированию лавинообразных переходных процессов, возникающих при приближении системы к критическому состоянию. В СК состоянии все масштабы взаимодействуют друг с другом, и динамика системы на различных пространственных масштабах является самоподобной. Самоподобие проявляется в виде степенных зависимостей различных характеристик от пространственного/временного масштаба и определенных соотношений между степенными показателями. Оптические наблюдения полярных сияний, двумерные по своей природе, — лучшие данные для такого анализа динамики магнитосферно-ионосферной системы [11, 12].

По данным наземных и спутниковых оптических наблюдений, в работе [15] получено, что статистические распределения пространственно-временных характеристик индивидуальных пятен аврорального свечения на ночной стороне авроральной зоны во время суббуревых активизаций имеют степенной вид для масштабов более 1 с по времени жизни и более 8 км^2 по площади. При этом диапазон степенного вида плотности распределения для интегральных интенсивностей индивидуальных событий достигает 10 десятичных порядков (рис. 1), что является экспериментальным подтверждением гипотезы о существовании режима самоорганизованной критичности в магнитосферно-ионосферной плазме. Соотношения между полученными степенными показателями также свидетельствуют в пользу этой гипотезы. Накопленные к настоящему времени данные более совершенных цифровых камер [17] позволяют надеяться на уточнение границы степенных распределений со стороны малых масштабов и на выявление более тонких динамических эффектов.

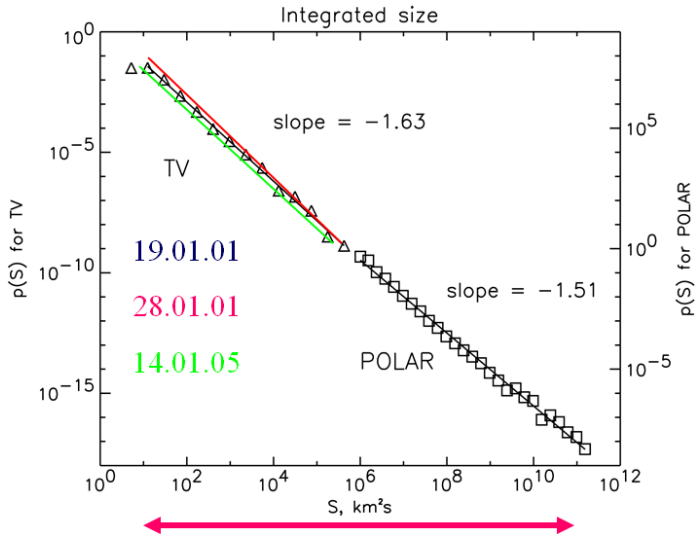
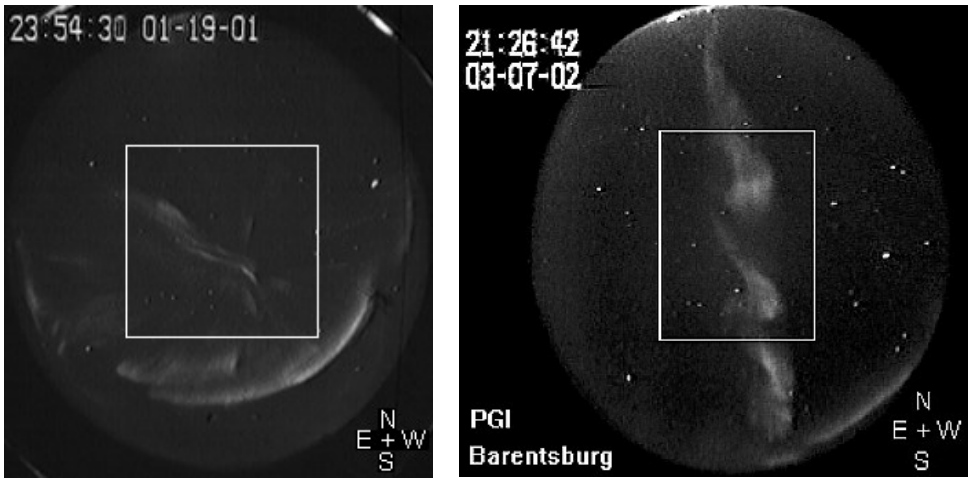


Рис. 1. Плотность распределения интегральной интенсивности индивидуальных пятен полярных сияний во время суббуревых активизации [13]

Проявления турбулентности

До сих пор нет четкого разделения между СК состоянием и турбулентностью. Проявлениями перемежающейся турбулентности [7] считают: степенной спектр флуктуаций; негауссов вид плотности распределения флуктуаций (PDF) в некотором диапазоне масштабов; возможность коллапса PDF для разных масштабов на универсальную кривую; рост эксцесса PDF с уменьшением пространственного масштаба; степенные участки в структурных функциях нескольких первых порядков; нелинейную зависимость степенного показателя для структурной функции от порядка и др. При анализе лабораторных данных обычно считается, что наблюдаемые флуктуации во времени являются пространственными. При использовании оптических ТВ данных это предположение не нужно, так как имеем пространственное двумерное изображение.

По данным наземных телевизионных наблюдений ПГИ, в обс. Баренцбург были исследованы статистические свойства флуктуаций интенсивности полярных сияний в различных условиях: во время суббуревой активизации и в трансполярной дуге [11, 12]. Были рассчитаны распределения плотности вероятности флуктуаций интенсивности на пространственных масштабах 1,5–100 км. Показано, что эти распределения имеют негауссову форму, причем эксцесс распределений растет с уменьшением пространственного масштаба. Анализ обобщенной структурной функции [7] исследуемых пространственных флуктуаций показал [14], что для первых 6 статистических моментов на масштабах 3–20 км наблюдается самоподобие (степенная зависимость статистического момента от масштаба). Оказалось, что рассчитанные показатели этих степенных зависимостей линейно зависят от номера момента для первых трех моментов с отклонением от линейной зависимости для старших моментов. Полученные статистические закономерности могут быть интерпретированы как свидетельство режима перемежающейся турбулентности в магнитосферно-ионосферной плазме, приводящего к образованию би- или мульти-фрактальных структур в полярных сияниях (рис. 2).



а *б*

Рис. 2. Структуры, демонстрирующие признаки турбулентности:
а — во время суббуревой активизации; *б* — во время активизиции трансполярной дуги

Таким образом, по данным наземных оптических наблюдений, в том числе и на одном наборе данных, было показано, что структура и динамика авроральных интенсификаций обладают статистическими свойствами, характерными как для систем вблизи состояния самоорганизованной критичности, так и для турбулентных систем. Тем самым подтверждается возможное единство этих двух классов систем.

В дальнейшем анализ флуктуаций электрического поля по данным низковысотных спутников [8, 9] показал следующее: электрические поля на масштабах 0,5–256 км в ионосфере полярной шапки обладают свойствами масштабирования; характеристики масштабирования оказываются близкими для электрических полей в полярной шапке и авроральной зоне; среднеквадратичные амплитуды электрических флуктуаций в полярной шапке не обнаруживают явной связи с изменчивостью солнечного ветра, и, таким образом, не являются отражением структуры турбулентного солнечного ветра; распределение по области полярной шапки турбулентных электрических флуктуаций и их интенсивность контролируются By и Bz-компонентами межпланетного магнитного поля. Эти выводы свидетельствуют о том, что наиболее вероятный механизм турбулизации в полярной шапке связан со сдвигами скорости крупномасштабной конвекции в области открытых магнитных силовых линий, как это имеет место на закрытых магнитных силовых линиях в авроральной зоне.

Выводы

Оптические наблюдения структуры полярных сияний дают важную информацию для исследования как отдельных процессов в околоземной плазме, так и общей коллективной динамики системы солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера. Полученные из анализа оптических данных характеристики самоподобия (скейлинга) могут быть использованы при планировании новых космических экспериментов [6] и построении адекватных прикладных моделей околоземного космического пространства [11].

Литература

1. Чернышов А. А., Могилевский М. М., Козелов Б. В. Фрактальный подход к описанию авроральной области // Физика плазмы. 2013. Т. 39, № 7. С. 636–646.
2. Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality // Phys. Rev. 1988. A. 38. P. 364–374.
3. Borovsky J. E. Funsten H. O. MHD turbulence in the Earth's plasma sheet: Dynamics, dissipation and driving // J. Geophys. Res. 2003. No. 108. P. 1284, doi:10.1029/ 2002JA009625.

4. Branches of electrostatic turbulence inside solitary plasma structures in the auroral ionosphere / I. V. Golovchanskaya et al. // Phys. Plasmas. 2014. No. 21, 082903. doi:10.1063/1.4891668.
5. Chang T. Self-organized criticality, multi-fractal spectra, sporadic localized reconnections and intermittent turbulence in the magnetotail // Phys. Plasmas. 1999. No. 6. P. 4137–4145.
6. Data-derived spatiotemporal resolution constraints for global auroral imagers / V. M. Uritsky et al. // J. Geophys. Res. 2010. 115, A09205, doi:10.1029/2010JA015365.
7. Frisch U. Turbulence: The Legacy of A. N .Kolmogorov. New York: Cambridge University Press, 1995.
8. Golovchanskaya I. V., Kozelov B. V. On the origin of electric turbulence in the polar cap ionosphere // J. Geophys. Res. 2010. Vol. 115, A09321, doi: 10.1029/2009JA014632.
9. Golovchanskaya I. V., Ostapenko A. A., Kozelov B. V. Relationship between the high-latitude electric and magnetic turbulence and the Birkeland field-aligned currents // J. Geophys. Res. 2006. Vol. 111, N.A12, A12301. 10.1029/2006JA011835.
10. Jensen H. J. Self-Organized Criticality: Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
11. Kozelov B. V. Fractal approach to description of the auroral structure // Annales Geophysicae. 2003. 21(9). 2011–2023.
12. Kozelov B. V., Golovchanskaya, I. V. Derivation of aurora scaling parameters from ground-based imaging observations: Numerical tests // J. Geophys. Res. 2010. Vol. 115, A02204, doi:10.1029/ 2009JA014484.
13. Kozelov B. V., Golovchanskaya I. V. Mingalev O. V. Inverse cascade in the structure of substorm aurora and non-linear dynamics of field-aligned current filaments // Ann. Geophys. 2011. Vol. 29. P. 1349–1354. doi:10.5194/ angeo-29-1349-2011.
14. Kozelov B. V., Golovchanskaya I. V. Scaling of electric field fluctuations associated with the aurora during northward IMF // Geophys. Res. Lett. 2006. Vol. 33, L20109, doi:10.1029/2006GL027798.
15. Kozelov B. V., Uritsky V. M., Klimas A. J. Power law probability distributions of multiscale auroral dynamics from ground-based TV observations // Geophys. Res. Lett. 2004. Vol. 31. L20804.
16. Milovanov A. V., Zelenyi L. M. Nonequilibrium stationary states in the earth's magnetotail: Stochastic acceleration processes and nonthermal distribution functions // Adv. Space Res. 2002. Vol. 30 (12): 2667–2674.
17. Multi-scale auroral observations in Apatity: winter 2010-2011 / B. V. Kozelov et al. // Geosci. Instrum. Method. Data Syst. 2012. Vol. 1. P. 1–6. URL: www.geosci-instrum-method-data-syst.net/1/1/2012/doi:10.5194/ gi-1-1-2012.
18. Relationship between substorm auroras and processes in the near-Earth magnetotail / A. G. Yahnin et al. // Space Sci. Rev. 2006. Vol. 122. P. 97–106.

К. Г. Орлов, И. В. Мингалёв, В. С. Мингалёв
Полярный геофизический институт, Апатиты

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛЕЙ, РАЗРАБОТАННЫХ В ПОЛЯРНОМ ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

Введение

Бурное развитие вычислительной техники позволяет для исследования общей циркуляции атмосферы Земли применять метод численного моделирования. Настоящая работа посвящена обзору математических моделей общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли, разработанных в Полярном геофизическом институте, сюда также включены опубликованные работы, в которых описываются результаты приложения этих моделей к исследованиям динамики нижней и средней атмосферы Земли как на региональном уровне, так и в глобальном масштабе.

Региональная модель общей циркуляции атмосферы Земли и ее применение

В течение последних примерно 10 лет в Полярном геофизическом институте разрабатывалась, усовершенствовалась и использовалась численная региональная модель горизонтального и вертикального ветра в нижней атмосфере Земли, подробное описание которой можно найти в работах [4, 5], содержащих подробную запись моделирующих уравнений. В этой модели атмосферный газ рассматривается как смесь воздуха и водяного пара, в которой могут присутствовать аэрозоли двух видов: микрокапли воды и микрочастицы льда. Частицы аэрозолей считаются движущимися относительно смеси воздуха и водяного пара со скоростями осаждения. Температура смеси и микрочастиц аэрозолей принята одинаковой. Считается, что аэрозоль из микрокапель воды может присутствовать только при насыщенности водяного пара и температуре не ниже температуры замерзания воды (273,15 K), аэрозоль из частиц льда — только при насыщенности водяного пара и температуре, не превышающей точку плавления льда (273,15 K). При температуре среды 273,15 K смесь не может увеличиться, пока не расплавятся все частицы льда, и не может уменьшиться, пока не замерзнут все капли воды. Модель основана на численном интегрировании полной системы уравнений динамики смеси вязкого сжимаемого газа и аэрозольных частиц из воды и льда. В этой системе учитываются процессы нагрева-охлаждения воздуха как за счет поглощения-испускания инфракрасного излучения, так и за счет фазовых

переходов водяного пара в микрокапли воды и частицы льда. Учитывается также оседание микрокапель воды и частиц льда в поле силы тяжести Земли.

Областью моделирования является часть шарового слоя над ограниченным участком земной поверхности, которая по высоте простирается от 0 до 15 км, по долготе имеет протяжение 36°, по широте — 25°. Шаги расчетной сетки модели по высоте — 200 м, по широте и долготе — 0,04°. Обсуждаемая математическая модель позволяет рассчитывать зависящие от времени пространственно трехмерные распределения плотностей воздуха, водяного пара, микрокапель воды и частиц льда, зональной, меридиональной и вертикальной компонент скорости смеси воздуха и водяного пара, а также температуры атмосферного газа в области моделирования на отрезках времени порядка суток и более. При этом начальные и граничные условия могут задаваться довольно произвольно и отражать геофизическую обстановку моделируемых событий.

Исследование зарождения полярных циклонов при помощи региональной модели

Разработанная в ПГИ и кратко описанная выше региональная модель атмосферной циркуляции применялась для исследования причин, вызывающих зарождение полярных циклонов. Результаты этих исследований были изложены в серии публикаций, в частности в работах [2, 3, 6, 7, 11, 12]. Авторами этих работ была высказана и подтверждена численными расчетами гипотеза о том, что полярный циклон может сформироваться в результате развития неустойчивости сдвигового течения в арктическом фронте при появлении возмущения в виде изогнутого (выпуклого) участка этого фронта. В этих работах даны результаты расчетов, полученные при разных сочетаниях начальных и граничных условий.

Исследование зарождения тропических циклонов при помощи региональной модели

Разработанная в ПГИ региональная модель атмосферной циркуляции, кратко описанная выше, применялась и для исследования причин, вызывающих начальное зарождение тропических циклонов. Результаты этих исследований были изложены в серии публикаций [1, 9, 10, 13–17]. Предварительно был проведен анализ данных спутниковых наблюдений в микроволновом и инфракрасном диапазонах, полученных при помощи СВЧ-радиометрических приборов SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager), установленных на космических аппаратах серии DMSP (Defense Meteorological Satellite Program). На основе этих данных сотрудниками отдела исследований Земли из космоса ИКИ РАН сформирована постоянно обновляемая база (электронная коллекция ИКИ РАН «GLOBAL-Field»), содержащая сведения о глобальных радиотепловых полях Земли. Проведенный анализ позволил высказать гипотезу о том, что тропические циклоны могут возникать в результате развития неустойчивости течения насыщенных влагой воздушных масс в окрестности внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), когда в ее очертаниях возникают выпуклые участки длиной 800–1000 км с отклонениями к северу или к югу на 200–300 км. Известно, что внутритропическая зона конвергенции является промежуточной областью преимущественно зональных ветров барической ложбины между пассатами Северного и Южного полушарий шириной несколько сотен километров. Ее отождествляют со статистически значимой границей между двумя циркуляционными ячейками Хедли. Из наблюдений известно, что в ВЗК зональная компонента ветра, направленная преимущественно в западном направлении, увеличивается при приближении к центру ВЗК. Меридиональная компонента направлена к центру ВЗК на высотах менее 3 км и от центра ВЗК на высотах более 3 км. Вертикальная компонента ветра над ВЗК направлена вверх. Результаты численного моделирования [1, 9, 10, 13–17] подтвердили первоначально высказанную гипотезу. Здесь были приведены данные расчетов, полученные при разных сочетаниях начальных и граничных условий.

Глобальная модель общей циркуляции атмосферы Земли, разработанная в ПГИ

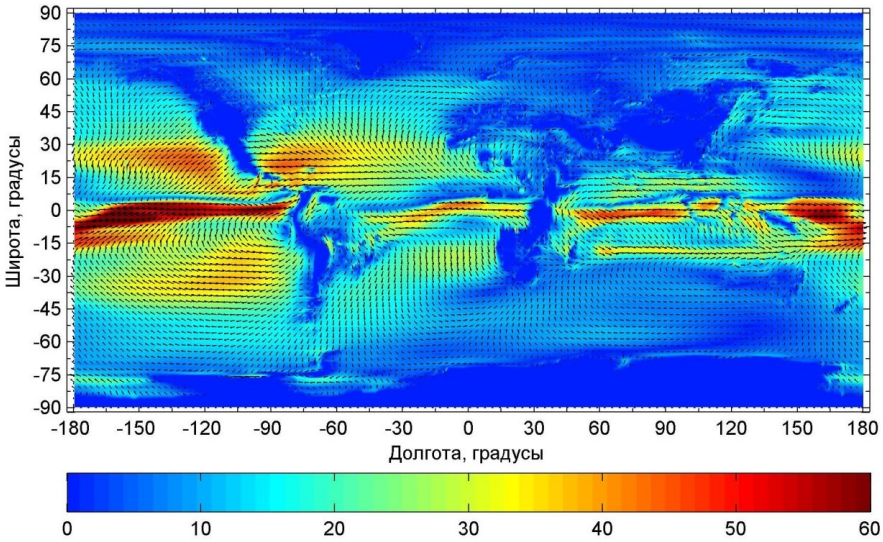
Созданная сотрудниками ПГИ модель общей циркуляции атмосферы Земли основана на численном решении полной системы уравнений газовой динамики на трехмерной пространственной сетке с разрешением по горизонту 0,47°. В этой модели учитываются несферичность поверхности Земли и ее рельеф, а также отличие поля тяготения Земли от сферически симметричного поля. В настоящей версии модели используется упрощенный способ расчета скорости нагрева-охлаждения атмосферы за счет поглощения-испускания электромагнитного излучения (так называемое релаксационное приближение). Главное внимание уделяется процессам формирования и эволюции крупномасштабных сдвиговых течений в нижней тропосфере, а также процессам развития возмущений в этих течениях, которые приводят к разрушению сдвиговых течений и формированию крупномасштабных циклонических вихрей. Данная модель построена с учетом фазовых переходов водяного пара в микрокапли воды и частицы льда и с учетом оседания этих капель и частиц льда в поле силы тяжести. Описание подобной модели для ограниченного участка земной поверхности подробно изложено в работе [5].

Область моделирования простирается от поверхности до высоты 95 км на полюсах и до 75 км — на экваторе. В этой модели используется регулярная пространственная сетка в сферических координатах. Шаги сетки составляют 0,47° по горизонту и 200 м — по высоте. Сетка имеет 768 узлов по долготе и 384 узла по широте. Для численного решения системы уравнений использовалась явная разностная схема, детально

описанная в работе [8] и хорошо себя зарекомендовавшая при расчетах динамики сложных трехмерных течений сжимаемого газа.

Авторами было проведено моделирование процесса установления общей циркуляции атмосферы Земли для различных условий. Ниже приведены результаты для даты 16 января.

Через 4900 часов физического времени качественная картина циркуляции имеет следующие особенности. На рисунке изображен горизонтальный ветер на высоте 1 км. В тропических широтах обоих полушарий горизонтальный ветер направлен преимущественно к экватору и на запад, образуя пассаты.



Горизонтальный ветер на высоте 1 км через 4900 часов после начала моделирования

Таким образом, в районе экватора образуется область, где имеет место сдвиговое течение, она называется внутритропической зоной конвергенции. В области умеренных широт обоих полушарий горизонтальный ветер направлен преимущественно к полюсам и на восток, а в полярных областях обоих полушарий горизонтальный ветер направлен преимущественно к экватору и на запад. Около 65° широты в Северном и Южном полушариях образуется сдвиговое течение, называемое арктическим фронтом. С некоторой периодичностью арктический фронт разрушается, а затем появляется снова, что хорошо согласуется с наблюдениями. Таким образом, на высоте 1 км можно наблюдать наличие трех ячеек циркуляции в Северном полушарии (приполюсная ячейка, ячейка Феррeля и ячейка Хэдли) и трех ячеек циркуляции в Южном полушарии.

Заключение

В ПГИ за последние примерно два десятилетия были разработаны несколько математических моделей крупномасштабной трехмерной циркуляции нижней и средней атмосферы Земли, в том числе региональная модель земной атмосферы, а также несколько вариантов глобальной модели атмосферной циркуляции. Эти модели основаны на численном решении систем нестационарных трехмерных уравнений переноса, записанных в гидродинамическом приближении. Отличительной чертой всех этих математических моделей является то, что в них вертикальная скорость газа находится не из условия гидростатического равновесия, а путем численного решения полного уравнения движения для вертикальной компоненты скорости без пренебрежения какими-либо членами, т. е. модели являются негидростатическими. Благодаря именно негидростатичности разработанных в ПГИ математических моделей атмосферы удалось воспроизвести в расчетах и объяснить физически многие важные наблюдаемые экспериментально особенности поведения крупномасштабной трехмерной циркуляции атмосферы Земли.

Литература

1. Влияние геометрии течения воздушных масс в области внутритропической зоны конвергенции на процесс формирования циклонических вихрей / И. В. Мингалев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 4. С. 154–161.
2. Возможность предсказания образования тропических циклонов и ураганов по данным спутниковых наблюдений / И. В. Мингалев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 3. С. 290–296.
3. Механизм возникновения циклонических возмущений в области ВЗК и их раннее обнаружение / И. В. Мингалев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7, № 1. С. 112–125.

4. Мингалев И. В., Орлов К. Г., Мингалев В. С. Механизм формирования полярных циклонов и возможность их предсказания по данным спутниковых наблюдений // Космические исследования. 2012. Т. 50, № 2. С. 166–175.
5. Мингалев И. В., Орлов К. Г., Мингалев В. С. Механизм формирования полярных циклонов и возможность их прогноза // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 255–262.
6. Мингалев И. В., Орлов К. Г., Мингалев В. С. Моделирование зарождения вихревых течений в арктической атмосфере // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: материалы XII Междунар. науч. конф. (Мурманск, 6–8 ноября 2014 г.). М.: ГЕОС, 2014. Вып. 12. С. 215–219.
7. Мингалев И. В., Орлов К. Г., Мингалев В. С. Моделирование циклонической деятельности в атмосфере северных регионов // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Апатиты, 2–5 октября 2012 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 2012. Ч. 2. С. 46–50.
8. Обобщение монотонной гибридной схемы второго порядка для уравнений газовой динамики на случай нерегулярной пространственной сетки / В. С. Мингалев и др. // ЖВМ и МФ. 2010. Т. 50, № 5. С. 923–936.
9. Численное моделирование формирования циклонических вихревых течений в области внутритропической зоны конвергенции и их раннее обнаружение / И. В. Мингалев [и др.] // Космические исследования. 2012. Т. 50, № 3. С. 242–257.
10. A simulation study of the formation of large-scale cyclonic and anticyclonic vortices in the vicinity of the intertropical convergence zone / I. V. Mingalev [et al.] // ISRN Geophysics. 2013. Article ID 215362. 12 p.
11. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S. A modeling study of the initial formation of polar lows in the vicinity of the arctic front // Advances in Meteorology. 2014. Vol. 2014. Article ID 970547. 10 p. URL:http://dx.doi.org/10.1155/2014/970547.
12. Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V.S. Simulation study of the mechanism of the formation of polar cyclones at high latitudes of the northern hemisphere // Proc. of the 36 th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena (Apatity, 26February – 1 March 2013). Apatity: KSC RAS, 2013. P. 193–196.
13. Numerical modeling of the initial formation of cyclonic vortices at tropical latitudes / I.V. Mingalev [et al.] // Atmospheric and Climate Sciences. 2014. Vol. 4. P. 899–906. URL: http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.45079.
14. Numerical modeling of the initial stage of the origin of cyclonic vortices in the vicinity of the intertropical convergence zone / I. V. Mingalev [et al.] // Proc. of the 37 th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 25–28 February, 2014. Apatity: KSC RAS, 2014. P. 113–116.
15. Numerical simulation of the initial stage of the formation of large-scale cyclonic vortices in the vicinity of the intratropical convergence zone / I. V. Mingalev [et al.] // Proc. of the 36 th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena (Apatity, 26 February – 1 March, 2013). Apatity: KSC RAS, 2013. P. 189–192.
16. Simulation study of the initial stage of the origin of cyclonic and anticyclonic pairs in the intratropical convergence zone / I. V. Mingalev et al. // Proc. of the 34 th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena (Apatity, 1–4 March 2011). Apatity: KSC RAS, 2011. P. 189–192.
17. Time-dependent modeling of the initial stage of the formation of cyclones in the intertropical convergence zone of the northern hemisphere / I. V. Mingalev et al. // Proc. of the 33rd Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena (Apatity, 2–5 March, 2010). Apatity: KSC RAS, PGI. 2011. P.182–185.

В. В. Сафаргалеев
Полярный геофизический институт, Апатиты, Vladimir.safargaleev@pgia.ru

РОЛЬ НАБЛЮДЕНИЙ В АРКТИКЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Введение

Слово «погода» не нуждается в особой расшифровке, поскольку любой процесс в земной атмосфере уже можно назвать погодой. По мере развития космической техники рамки человеческой деятельности раздвинулись в космос, и актуальным стало изучение процессов в околоземном космическом пространстве, названных по аналогии «космической погодой». Было установлено, что определяющую роль в формировании космической погоды играет Солнце. Совокупность событий, посредством которых реализуется это влияние, называют «солнечно-земными связями».

Солнечно-земные связи разделяют на два типа: стационарные связи, существующие постоянно и определяемые какими-то неизменными свойствами Солнца и Земли, и нестационарные связи, возникающие в результате вариаций солнечной активности. Возмущения в околоземном космическом пространстве, то есть собственно космическая погода, обусловлены вариациями солнечной активности. В этом случае реализуются нестационарные солнечно-земные связи. Результатом стационарных связей является установившаяся структура околоземного космического пространства — магнитосферно-ионосферная система в целом, плазменный слой магнитосферного хвоста и магнитопауза. На самом деле структура магнитосферы более сложная. Плазменный слой выделен здесь потому, что подавляющее большинство возмущений развивается именно в нем.

Магнитопауза ограждает нас от прямого воздействия испускаемого Солнцем потока плазмы (солнечного ветра). Взаимодействие солнечного ветра с магнитопаузой является важнейшим звеном нестационарных солнечно-земных связей. Глобальной задачей, стоящей перед исследователями космической погоды, является прослеживание и изучение всей сложной цепочки процессов, составляющих суть нестационарных связей.

1. Зачем и как нужно изучать космическую погоду

Как и для обычной погоды, для погоды космической присущи явления типа ветров (движение плазмы), дождей (потоки высыпающихся частиц), изменений температуры и давления (только не воздуха, а космической плазмы). В космосе также бывают бури и ураганы. В первую очередь вариациям космической погоды подвержены космические аппараты (далее КА). Согласно работе [1], воздействие факторов космической погоды на КА может приводить:

- к накоплению поверхностного и объемного зарядов на КА, способных изменить свойства материалов КА и вывести из строя радиоэлектронную аппаратуру;
- к ухудшению и потере связи (в разной степени, но практически на всех частотах);
- к погрешности позиционирования объектов спутниковыми навигационными системами;
- к изменению характеристик орбит низкоорбитальных КА вплоть до схода с орбиты;
- к радиационному воздействию на космонавтов.

В наземном сегменте это может приводить:

- к ухудшению и потере связи между наземными пунктами и управляемыми КА;
- к появлению наведенных токов в протяженных проводниках, повышающих вероятность нештатной ситуации в электросетях и системах автоматики железных дорог;
- к радиационному воздействию на экипажи и пассажиров трансполярных авиарейсов.

Из сказанного понятно, что фундаментальные научные исследования космической погоды как таковой, а также нестационарных солнечно-земных связей как основы для ее прогнозирования — это путь к решению важной практической задачи — парированию негативного влияния космической погоды на космические и наземные объекты. Основой для таких исследований (как, впрочем, и для любых других) является экспериментальный материал. Коль скоро речь идет о возмущениях в околоземном космическом пространстве, логично предположить, что экспериментальным материалом для их исследований должны быть спутниковые данные. Однако спутниковые наблюдения не лишены недостатков и представляют, по сути, мгновенные точечные измерения. Двигаясь по орбитам, спутники проходят интересующую нас область за несколько минут, затем уходят из нее и возвращаются через несколько часов или даже дней. Редки ситуации, когда спутник оказывается в нужном месте и в нужное время. В отличие от спутников, наземные данные позволяют проследить развитие процессов за более длительный промежуток времени, включающий, что особенно важно, предысторию явления. Кроме того, анализ данных наземных наблюдений является более выгодным с точки зрения баланса между стоимостью и эффективностью способом экспериментального изучения ряда процессов в ближнем космосе. Остается только понять, в каком месте следует устанавливать аппаратуру и какую именно.

2. Авроральная зона и область каспа

На рис. 1 представлены типичные пространственные распределения некоторых геофизических параметров. Верхняя панель — вариации X-компоненты геомагнитного поля на выделенных красным цветом станциях меридиональной цепочки магнитометров сети IMAGE. Видно, что максимум возмущений сосредоточен в относительно небольшом интервале широт. Это означает, что вызвавший их ионосферный электрический ток имеет вид узкой струи азимутального направления, получившей название «авроральный электроджет». Вариации электроджета обусловлены вариациями проводимости ионосферной плазмы вследствие изменений интенсивности и жесткости потока высыпающихся в ионосферу заряженных частиц.

Центральная панель на рис. 1 — вариации энергии и потока высыпающихся в ионосферу заряженных частиц вдоль участка траектории низкоорбитального спутника (показан на карте слева). Видно, что наиболее интенсивные потоки частиц наблюдаются в том же интервале широт, где «сосредоточены» геомагнитные возмущения. Энергия частиц здесь тоже больше, чем вне интервала. Часть частиц, попав в верхние слои атмосферы, производит свечение (полярные сияния), визуализируя тем самым форму, размеры и положение области наиболее интенсивных возмущений.

Пространственное распределение сияний в данных высокоорбитальных спутников POLAR и IMAGE представлено на нижней панели рис. 1. Занятая свечением область имеет вид кольца, что подтверждает предсказания, сделанные ранее по наземным наблюдениям [2]. Область получила название овала полярных сияний. Расположенный под овалом сияний кольцеобразный участок земной поверхности называется авроральной зоной. Полюсная и экваториальная границы авроральной зоны на данном географическом меридиане не фиксированы, а могут меняться в зависимости от времени суток и уровня геомагнитной активности, который определяется состоянием межпланетной среды. При любых условиях обсерватории Полярного геофизического института на Кольском п-ове располагаются в авроральной зоне, то есть как раз в эпицентре возмущений космической погоды. Термин «эпицентр» употреблен не случайно, так как источник возмущений, вызывающих усиление потока высыпающихся частиц и, как следствие, вариации геомагнитного поля, находится не на Земле и не в ионосфере, а далеко в космосе, в плазменном слое магнитосферного хвоста.

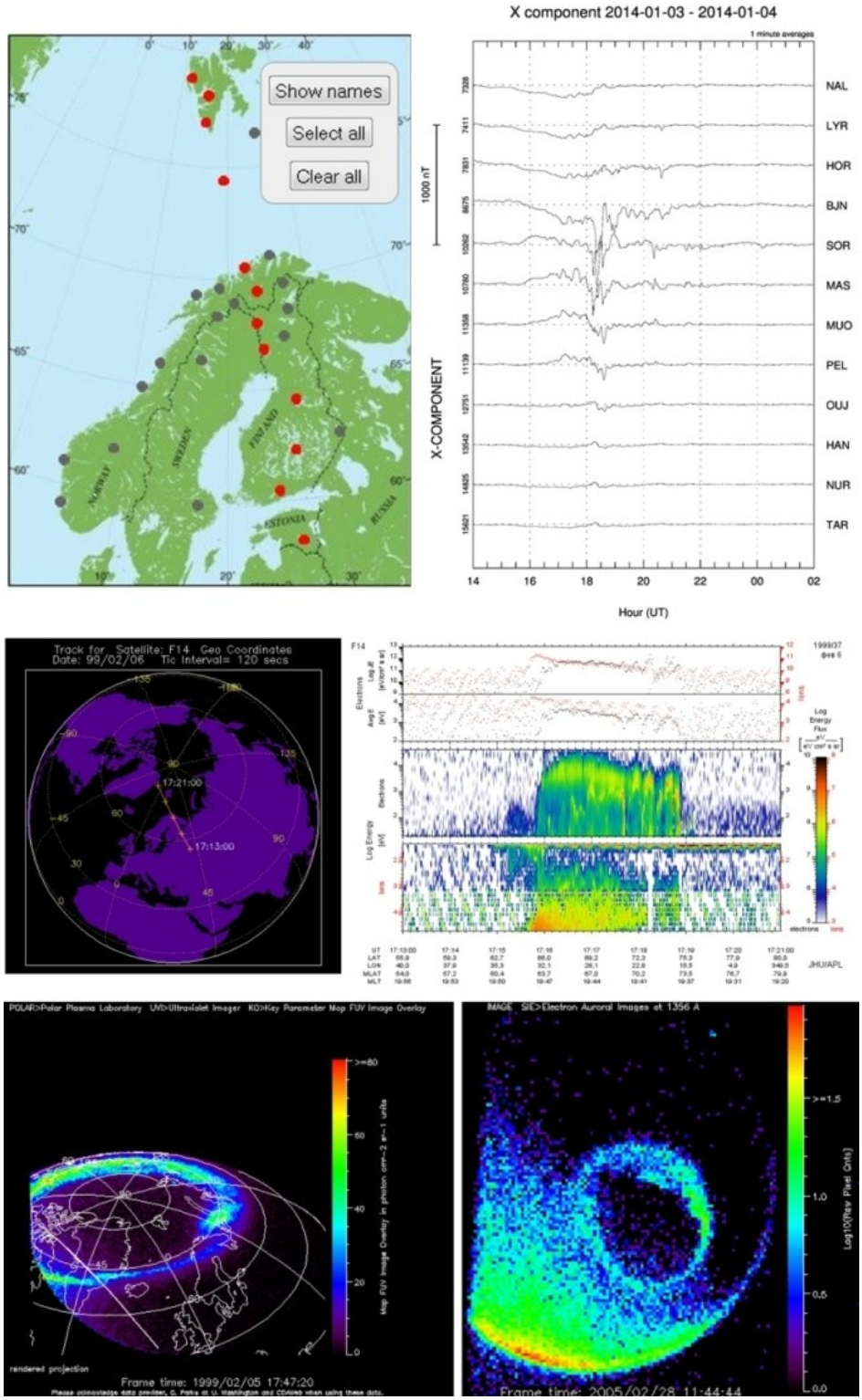


Рис. 1. Положение и форма авроральной зоны по данным скандинавской сети магнитометров, характеру высыпающихся частиц на низкоорбитальном спутнике и распределению полярных сияний на снимках спутников POLAR и IMAGE

Земная магнитосфера является главным результатом стационарных солнечно-земных связей и представляет собой гигантскую полость в солнечном ветре, образовавшуюся в результате взаимодействия потока солнечно-ветровой плазмы с геомагнитным полем. Полость имеет форму яйца, но сильно вытянута с ночной стороны Земли по направлению движения солнечного ветра (рис. 2). Эта ночная часть магнитосферы называется хвостом. Спутниковые измерения показывают, что в поперечном сечении хвост состоит из плазменного слоя и двух долей, где плазма отсутствует, а магнитные силовые линии параллельны плазменному слою и вытянуты в антисолнечном направлении настолько далеко, что их предполагают разомкнутыми (рис. 2).

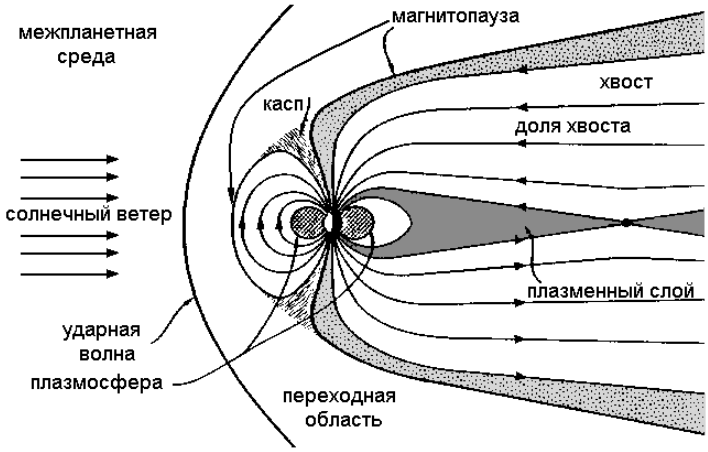


Рис. 2. Структура околоземного космического пространства (магнитосферы),
сформировавшаяся в результате взаимодействия потока плазмы солнечного ветра с геомагнитным полем

Пронизывающие плазменный слой силовые линии геомагнитного поля замкнуты: они выходят из Южного полушария и входят в Северное именно в авроральных зонах. Эти силовые линии не просто связывают авроральную ионосферу с плазменным слоем, но и обеспечивают перенос информации о происходящих в нем процессах наземному наблюдателю. Перенос осуществляется двумя агентами — заряженными частицами, которые, по законам физики, «привязаны» к силовой линии, как бусинки, нанизанные на нитку, и волнами определенного типа, распространяющимися преимущественно вдоль силовых линий (волны Альфвена). Установленная у подножия этих силовых линий оптическая аппаратура и радары измеряют ионосферные последствия высыпающихся из плазменного слоя частиц (свечение ночного неба и вариации ионосферной плазмы соответственно), а индукционные магнитометры регистрируют приходящие оттуда же альвеновские волны в виде пульсаций герцового диапазона. Эти наземные легко получаемые дешевые данные позволяют ученому судить о процессах в далеком космосе даже без дорогостоящей спутниковой поддержки.

Изменчивость космической погоды подразумевает постоянную энергетическую подпитку процессов извне. Экспериментально показано, что подпитка осуществляется из межпланетной среды за счет нестационарных солнечно-земных связей. Граница магнитосферы — магнитопауза надежно защищает околоземное космическое пространство от прямого проникновения солнечного ветра за исключением двух особых точек — каспов (рис. 2). Стенки каспа (рис. 3) являются продолжением магнитных силовых линий, формирующих магнитопаузу, где и происходит взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой, то есть реализуются нестационарные солнечно-земные связи. В ходе суточного вращения Земли под каспом оказывается арх. Шпицберген (рис. 3). Здесь у Полярного геофизического института есть еще один пункт стационарного наблюдения — обсерватория «Баренцбург» с соответствующей оптической и магнитометрической аппаратурой. Заметим, что касп проходит над Баренцбургом в околополуденные часы. В зимние месяцы на Шпицбергене темно даже днем, и это дает геофизикам уникальную возможность исследовать процессы, так или иначе связанные с переносом энергии из солнечного ветра в околоземное космическое пространство, через динамику дневных полярных сияний [3]. Если плазменный слой магнитосферы образно назвать кухней космической погоды, то касп в этой терминологии представляет форточку, через которую на кухню подается топливо.

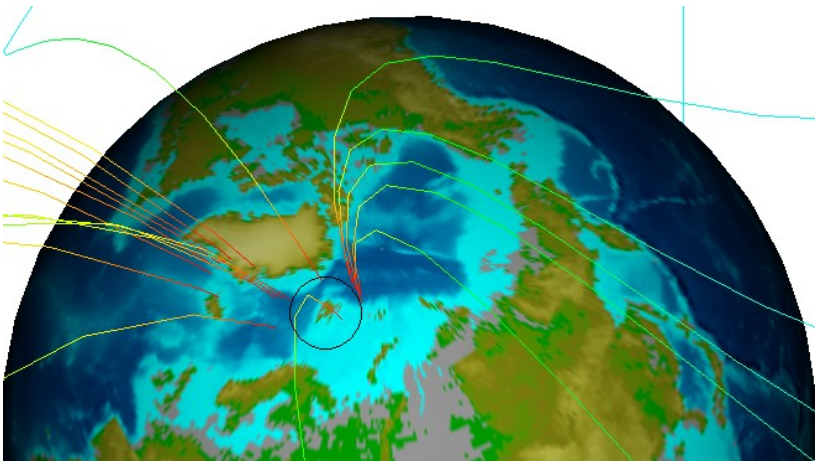


Рис. 3. Схематичное изображение каспа в момент его прохождений над арх. Шпицберген

3. Исследования космической погоды за рубежом и в России

Размещенная в области каспа и в авроральной зоне аппаратура позволяет эффективно изучать космическую погоду средствами наземного базирования, а регулярные наблюдения в этих областях создают предпосылки для ее прогнозирования. Прямые и косвенные потери от влияния космической погоды на системы земной цивилизации измеряются миллиардами долларов, а стоимость мероприятий по их парированию оцениваются примерно 500 млн долл. в год [1]. В арктической зоне США и Канады реализован крупномасштабный проект наземной поддержки группировки спутников THEMIS, задача которого выяснить механизм зарождения наиболее частого катаклизма космической погоды — магнитосферной суббури. Мировая ассоциация SuperDARN обеспечивает почти полное покрытие Арктики радарными измерениями скорости конвекции ионосферной плазмы — важного индикатора нестационарных солнечно-земных связей. Архипелаг Шпицберген превратился в международную платформу по изучению явлений в каспе, в состав которой входят научные организации даже из Индии и Китая, не имеющие заметного опыта в геофизических исследованиях. Финский проект MIRACLE представляет сеть магнитных, оптических, риометрических и радарных наблюдений на севере Скандинавского п-ова. Продолжается финансирование работ на нагревных стендах HAARP на Аляске и EISCAT в Норвегии, одна из задач которых исследование возможности искусственной стимуляции электронных высыпаний из магнитосферы. Издается регулярный международный специализированный журнал «Space weather», проходят ежегодные конференции.

На территории России Полярный геофизический институт является единственной организацией, осуществляющей комплексные научные исследования (в том числе и мониторинг) в авроральной зоне и на Шпицбергене. Финансирование исследований на Кольском п-ове регулярно сокращается, а на Шпицбергене и вовсе прекращено.

Литература

1. Центр прогнозов космической погоды / С. П. Гайдаш и др. // Практические аспекты гелиогеофизики / ред. А. А. Петрукович, А. М. Мерзлый, С. Ю. Хабибуллин. М.: ИКИ РАН, 2016. С. 22–32.
2. Fritz H. Das Polarlight. Leipzig: Brockhaus, 1881. 76 p
3. Магнитные и оптические измерения и признаки пересоединения в области каспа / В. В. Сафаргалеев // УФН. 2015. Т. 185, № 6. С. 655–663.

Секция 6. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ СЕВЕРА

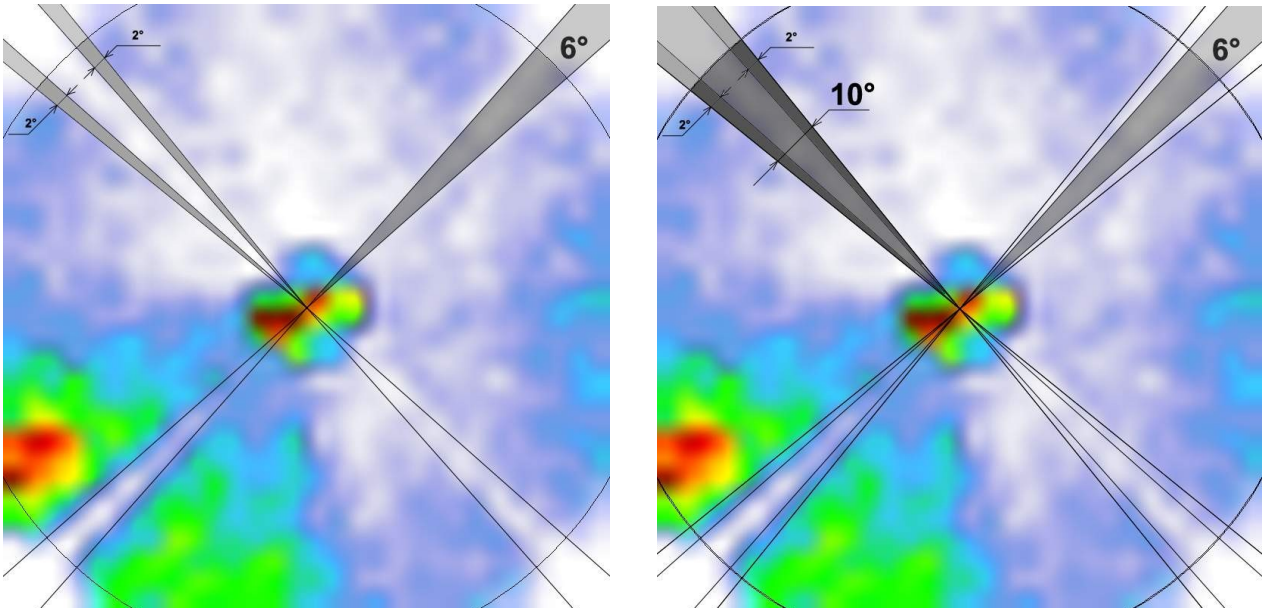
А. В. Бурцев
Центр физико-технических проблем энергеики Севера КНЦ РАН, Апатиты, a.burtsev@tehnonord.ru

ОПЫТ РЕГИСТРАЦИИ ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ С ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА СРЕДСТВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Системы мониторинга за атмосферными возмущениями приобретают все большую актуальность, потому что атмосферные явления (геомагнитные возмущения, грозовая активность и др.) связаны с протеканием больших объемов энергии [1–3]. Это влияет на элементы высоковольтной сети как напрямую [4], так и с точки зрения электромагнитной совместимости [5]. Такие воздействия способны привести к аварийным ситуациям в сети и повреждениям дорогостоящего высоковольтного оборудования, цепей релейной защиты и автоматики [6].

Затраты на выполнение грозозащитных мероприятий воздушных линий электропередачи достаточно высоки и обусловлены, в большей степени, интенсивностью грозовой деятельности в регионе. Без мониторинга грозовой активности невозможно дать объективную оценку необходимым грозозащитным мероприятиям. В некоторых случаях они могут быть не оправданы, а в других, наоборот, необходимы. До недавнего времени на территории Кольского п-ова регистрация грозовой активности осуществлялась только визуальным и слуховым методами, что не давало объективной картины грозовой активности. С 2013 г. в лаборатории Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН проводят анализ грозовой активности в Мурманской обл. для объективной оценки молниезащиты объектов электроэнергетики. В качестве регистратора грозовой активности используется система из двух грозопеленгаторов Boltek StormTracker. При проведении мониторинга подобного явления были выявлены погрешности регистрации атмосферных разрядов, что поставило задачу корректировки результатов грозовой деятельности.

В процессе анализа регистраций грозовой активности 2014–2016 ггг. были выявлены выраженные неравномерности распределения грозовых разрядов, имеющих системный характер в виде участков, расположенных по диагоналям (рис. 1), в которых не зарегистрированы разряды (пустоты). Как выяснилось, источником такой погрешности является особенность приемной полярной антенны, конструкция которой экранирует указанные области.



а *б*

Рис. 1. Области, нуждающиеся в корректировке:
а — пустая область 6° и области пониженной концентрации 2°; *б* — суммарная нелинейная область 10°

Для устранения выявленных диагональных пустот была установлена дополнительная система грозопеленгации с идентичными компонентами. Ключевым параметром при корректировке результатов является точная синхронизация по времени двух установленных систем. Использование поставляемого в комплекте с антенной программного обеспечения (ПО) не позволяет использовать синхронизацию нескольких устройств, поэтому принято решение самостоятельно разработать собственное ПО, которое будет построено по

принципу клиент — сервер. Клиентский модуль будет регистрировать грозовые разряды так же, как и серверный модуль, но информацию о времени события будет брать с сервера.

Вертикальная и горизонтальная симметричность пустот позволяет рассматривать любую четверть полученной карты. При детальном изучении пустых участков можно выделить несколько особенностей. Ширина указанной пустоты составляет около 6°. На границе между пустотой и областью с зарегистрированными разрядами находится область с пониженной концентрацией разрядов, ширина которой составляет 2°. Суммарно область в 10° является областью с нелинейным распределением. Оставшиеся две области по 35° в рассматриваемой четверти для упрощения будем считать областями с линейным распределением.

Для корректировки полученных результатов вторая аналогичная система регистрации атмосферных разрядов установлена в том же месте, где установлена первая система, но с поворотом полярной антенны на 45° относительно первой. Если наложить зарегистрированные разряды с одной системы на разряды со второй системы, полученные нелинейные и пустые области взаимно компенсируются (рис. 2).

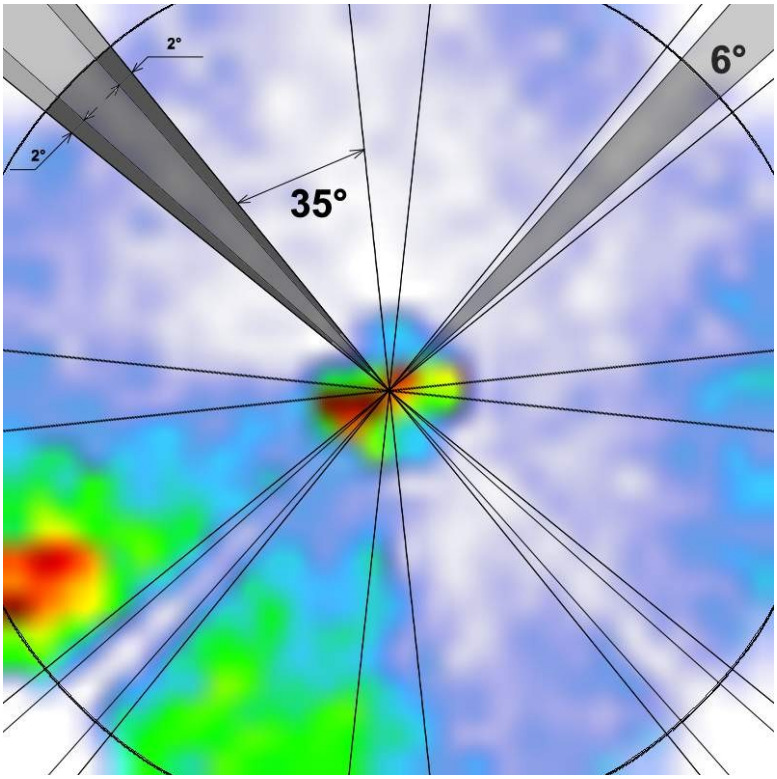


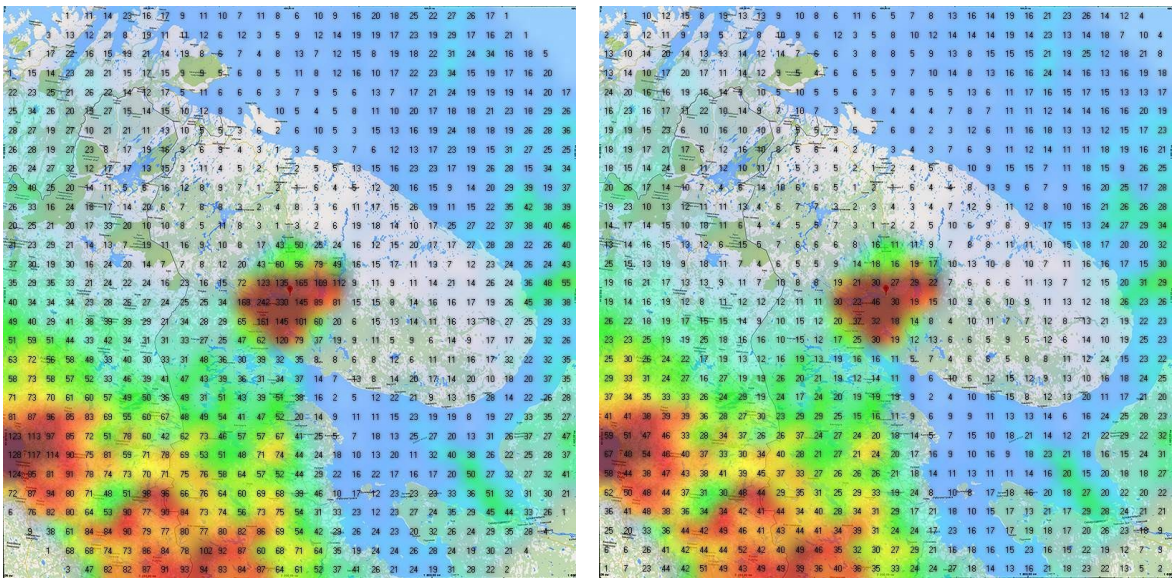
Рис. 2. Компенсация областей с пустотами и нелинейным распределением

В линейных пересекающихся областях размером 35° результирующие значения координат атмосферных разрядов можно получить расчетом среднего арифметического значения. В областях шириной 2° и 6° результирующие значения принимаются с той антенны, которая полностью перекрывает эту область.

С учетом разработанного алгоритма проведена корректировка грозовых сезонов 2015 и 2016 гг. В связи с этим была полностью переработана географическая карта Мурманской обл. и прилежащих территорий и акваторий для точного визуального представления распределения на ней атмосферных разрядов. Статистика грозовых разрядов за сезоны 2014–2016 гг. сведена в таблице. За указанный период представлены суммарные и среднегодовые карты распределения разрядов и грозовых часов (рис. 3). На картах распределения сознательно не учитываются междуоблачные разряды, так как принято считать, что они не представляют опасности для объектов электроэнергетики.

Статистика грозовых разрядов за период 2014–2016 гг.

Разряды молнии на землю		Междуоблачные разряды	
CG+	CG-	IC+	IC-
58366 (32,6 %)/(100 %)		120564 (67,4 %)/(100 %)	
18320 (31,4 %)	40046 (68,6 %)	56234 (46,6 %)	64330 (53,4 %)
10,2 %	22,4 %	31,4 %	(36 %)
Всего разрядов молнии — 178930 (100 %)			



а *б*

Рис. 3. Суммарное распределение атмосферных разрядов (*а*) и грозовых часов (*б*) за 2014–2016 гг.

Таким образом, выявленные отклонения при регистрации в виде пустот по диагоналям квадрата карты, получаемые из-за конструктивной особенности приемной антенны, полностью устранены с помощью дополнительного грозопеленгатора и специально разработанного алгоритма корректировки. По итогам корректировки проведен анализ грозовой активности за 2014–2016 гг. и представлены карты распределения атмосферных разрядов и грозовых часов за каждый год, среднегодовые и суммарные значения распределения за три года. Предполагается использование полученных карт для выявления участков, представляющих особую грозовую опасность для объектов электроэнергетики.

Литература

1. Бурцев А. В., Невретдинов Ю. М. Результаты регистрации грозовых разрядов на территории Кольского полуострова в 2014 году // Труды Кольского научного центра РАН. 2015. № 28. С. 65–71.
2. Бурцев А. В., Невретдинов Ю. М., Сытина А. Н. Опыт регистрации грозовой активности на территории Кольского полуострова // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. № 2 (17). С. 130–137.
3. Ефимов Б., Сахаров Я., Селиванов В. Геомагнитные штормы. Исследование воздействий на энергосистему Карелии и Кольского полуострова // Новости ЭлектроТехники. 2013. № 2 (80). С. 30–33.
4. Ефимов Б., Селиванов В., Гумерова Н. Оптимизация грозозащитных мероприятий на ВЛ по критериям требований к надежности электроснабжения // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 4. С. 54–58.
5. Ефимов Б. В., Якубович М. В., Фастий Г. П. Наведенные напряжения на воздушных линиях при неоднородных трассах сближения // Электрические станции. 2002. № 8, С. 32.
6. Невретдинов Ю. М., Карпов А. С., Фастий Г. П. Совершенствование защиты линий связи от влияния токов в высоковольтной сети // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 1. С. 65–69.

В. В. Ивонин, А. Н. Данилин

Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, ivoninviktor@mail.ru

НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГРУНТАХ ПРИ СТЕКАНИИ ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ С ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

Заземляющее устройство (ЗУ) является важным элементом любой энергосистемы в отношении защиты людей и оборудования от внутренних перенапряжений, а также от внешних, вызванных разрядами молний. Основное требование к данным устройствам — минимальные значения их сопротивления относительно удаленной земли для обеспечения достаточно низкого потенциала на них. Известно, что сопротивление ЗУ зависит от его конструкции и удельного сопротивления окружающего грунта. Грунт представляет собой совокупность веществ, включающих воду, воздух, гравий, песок, глину, минеральные и органические соединения. Свойства этих веществ влияют на электрические характеристики грунта. И хотя характеристики пробоя жидких, твердых и газообразных диэлектриков хорошо изучены, физическая модель, которая была бы универсальной

в отношении характеристик пробоя составных грунтов еще не разработана. Поэтому изучению электромагнитных процессов, протекающих в заземлителях и прилегающих к ним грунтах, уделяют большое внимание, особенно в районах с высоким удельным сопротивлением грунта, к которым относится Кольский п-ов.

Исследования растекания импульсного тока с заземлителей в различных грунтах проводятся как в лабораториях, так и в полевых условиях достаточно давно, начиная с сороковых годов прошлого столетия [7, 10, 11]. При растекании больших импульсных токов в грунте как электрические свойства самого грунта, так и характеристики ЗУ могут существенно отличаться от величин, полученных при растекании слабого стационарного тока [4]. Это связано с ионизацией грунта вблизи электрода и образованием искровых каналов, что приводит к заметному снижению удельного сопротивления грунта ρ. При увеличении импульсного тока в грунте происходит ионизация, в результате чего сопротивление заземления уменьшается, а динамическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) становится нелинейной. Причиной ионизации является достаточно сильное электрическое поле проводимости $E = \rho j$, которое возникает при растекании импульсного тока с плотностью j с одиночного заземлителя.

Сотрудниками Центра физико-технических проблем энергетики Севера (ЦФТПЭС КНЦ РАН) совместно с Объединенным институтом высоких температур РАН (ОИВТ РАН) были исследованы процессы искрообразования во влажном кварцевом песке с электродами шаровой формы, с электродами в виде дисков и с электродами в виде уголков [2, 5]. На рис. 1 показан типичный процесс образования искровых каналов в песке вблизи края дискового электрода диаметром 21,5 мм толщиной 1 мм, прислоненного к окну. Следует отметить, что наблюдаемые разряды не являются скользящими разрядами вдоль поверхности стекла, поскольку песок и стекло имеют примерно одинаковую диэлектрическую проницаемость. Эти разряды являются разрядами в песке вблизи поверхности стекла.

На рис. 2 показаны осциллограммы тока и напряжения, а также динамическое сопротивление заземления дискового электрода при амплитуде импульсного напряжения U = 30 кВ и длительности импульса подаваемого напряжения τ =50 мкс. Процесс искрообразования начинается на нелинейной стадии растекания импульсного тока вблизи его максимума, когда dU/dI < 0, а сопротивление электрода в песке спадает почти до минимума. Опыты с импульсами напряжения минимальной длительности показали, что процесс искрообразования при напряжении U = 30 кВ начинает развиваться при длительности импульса τ =10 мкс и происходит за время 2–4 мкс. При этом сопротивление заземления падает примерно в два раза.

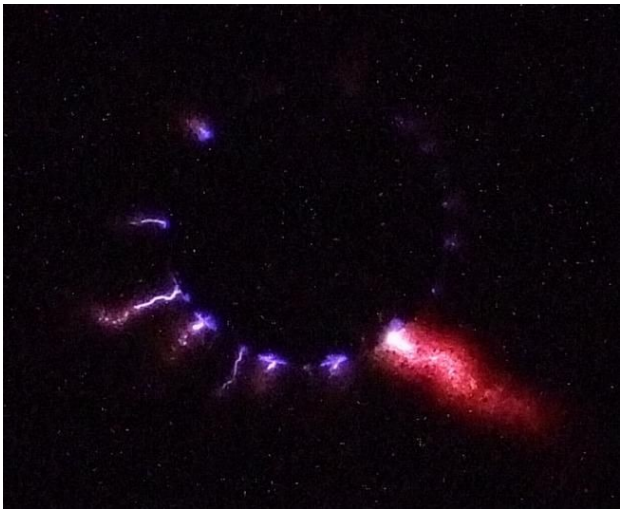


Рис. 1 Фотография искр в кварцевом песке с дискового электрода

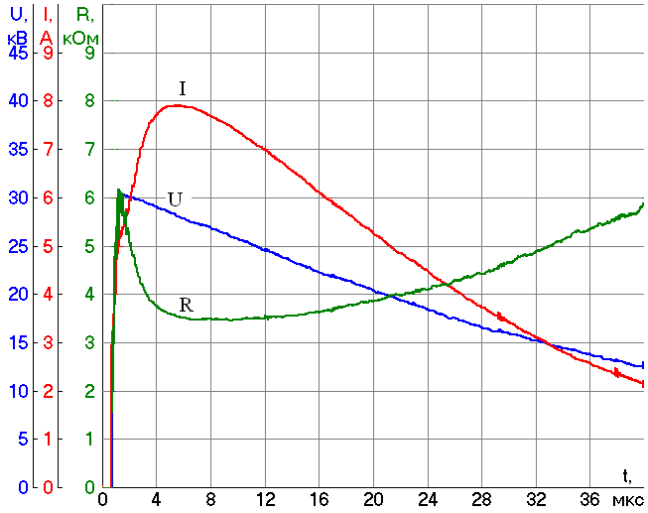


Рис. 2 Осциллограммы напряжения U, тока I и динамического сопротивления R

Задержка процесса начала искрообразования от начала подачи импульса напряжения определяется временем развития ионизационно-перегревной неустойчивости [7, 8] во влажном песке, которая больше времени развития ионизационно-перегревной неустойчивости в атмосферном воздухе. Последнее связано с тем, что неустойчивость во влажном песке развивается при повышенном давлении в смеси воздуха с парами воды. С ростом и напряжения, и длительности импульса тока длина искровых каналов увеличивается. Также увеличивается яркость их свечения, которая носит факельный характер, что связано с повышением энерговклада в образующийся плазменный канал. При увеличении длительности импульсов напряжения более 80 мкс динамическое сопротивление заземления выходит на минимальное значение, которое остается постоянным при дальнейшем увеличении длительности импульса. На дисковом электроде толщиной 3 мм образования плазменных каналов также носят факельный характер, однако плазменные каналы фиксируются при большей амплитуде напряжения и большей длительности импульсов. Ионизация на краях дисковых электродов носит многоискровой характер и наблюдается при плотностях тока $J > J_C$, где $J_C \sim 0{,}5$ А/см^2 — критическая плотность тока развития ионизационно-перегревной неустойчивости, полученная из данных

по динамическим ВАХ во влажном песке [6, 8, 9]. Критическое поле ионизации в неоднородном поле *Ec* лежит в диапазоне 8–15 кВ/см и зависит от влажности песка.

Процессы искрообразования более выражены на заземлителях в виде уголков размером 35×35 мм с резко неоднородным электрическим полем на краях (рис. 3). Осциллограммы токов и напряжений на уголковых электродах при различных длительностях импульсов напряжения аналогичны осциллограммам на дисковых электродах. Процесс искрообразования начинается на электродах в местах с наибольшей плотностью тока, где максимальна неоднородность электрического поля [3]. При влажности песка 10 % образование плазменных каналов носит факельный характер, как и на дисковых электродах. Однако при влажности песка 20 % образуются контрагированные искровые каналы. При амплитуде импульсов напряжения U = 30 кВ светящиеся искровые каналы были зафиксированы при минимальной длительности импульсов напряжения τ = 5 мкс. В этом случае максимум импульсов тока наблюдался на осциллограммах на первой микросекунде, что намного раньше, чем достигается минимум сопротивления для уголкового электрода. Плотность тока и напряженность электрического поля на остриях велики даже при сравнительно низких амплитудах прикладываемого импульса напряжения, и в этом случае начало искрообразования, практически, не имеет задержки. Интенсивность искрообразования, зафиксированная оптическими методами, повышается с увеличением напряжения. При увеличении длительности импульса напряжения образуются более яркие и более протяженные контрагированные искровые каналы. В резко неоднородном электрическом поле области ионизации вблизи поверхности электрода сильно локализованы, что при большой плотности тока $J >> J_C$ приводит к существенному увеличению энерговклада в канал разряда. Повышение влажности грунта, как и увеличение плотности тока, способствует росту скорости гибели электронов в канале разряда, что приводит к наблюдаемому увеличению контракции тока.

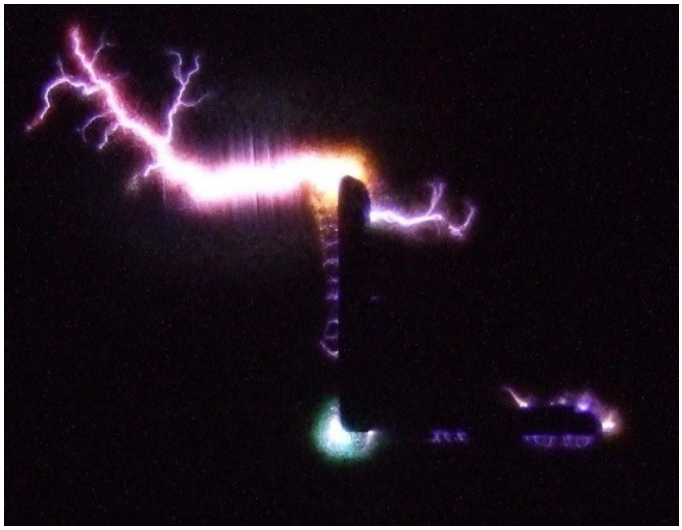


Рис. 3 Фотография искр в кварцевом песке вокруг уголкового электрода

Очевидно, что точное моделирование переходных характеристик грунтов и анализ растекания токов вокруг ЗУ является актуальной задачей в энергетике. Однако расчет сопротивления ЗУ является сложной задачей из-за сложной структуры и нелинейной вольт-амперной характеристики грунтов. В настоящее время разработан ряд моделей ионизационных процессов в увлажненном грунте вблизи и на поверхности подземного проводника при подаче на него импульсного напряжения величиной, превышающей порог начала искрообразования в грунте [1]. Предложенные модели основаны на том, что вокруг проводника в грунте, при напряженностях поля, превышающих критическое значение, начинается ионизационный процесс и возникает многослойная ионизированная зона грунта с плавно изменяющейся проводимостью в зависимости от градиента напряженности. При этом модель на такой основе применяется как для протяженных проводников с резко неоднородным полем, так и для проводников с однородным полем — полусфер. Математическая модель этого процесса во всех фазах протекания тока с проводника в грунт предложена авторами с взаимными уточнениями с учетом гистерезисного процесса в стадиях нарастания и спада импульсного тока.

Как уже упоминалось ранее, все разработанные модели основаны на двух допущениях:

- искровые процессы в грунтах начинаются при напряженности электрического поля, превышающей критическое значение, и искровые каналы будут развиваться до тех пор, пока напряженность поля не станет меньше критической;
- искровые процессы развиваются симметрично вокруг электрода, образуя сплошную зону искрообразования.

Как видно из приведенных результатов экспериментальных исследований в случае неоднородного электрического поля вокруг электрода при небольших значениях амплитуды приложенного импульса искровые

каналы будут образовываться исключительно в месте наибольшего значения напряженности электрического поля, т.е. на краях электрода, а не симметрично вокруг всего электрода. Из этого можно сделать вывод о том, что необходимо провести уточнение разработанных ранее динамических моделей нелинейных процессов в грунтах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-38-00443).

Литература

1. Данилин А. Н., Ивонин В. В. Динамическая модель импульсного сопротивления сосредоточенных электродов // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. № 5–13 (39). С. 18–24.
2. Данилин А. Н., Ивонин В. В., Куклин Д. В. Лабораторные исследования процессов искрообразования в увлажненном грунте в зависимости от амплитуды и длительности импульсного напряжения на заземленном устройстве // Труды Кольского научного центра РАН. 2013. № 4 (17). С. 38–55.
3. Ивонин В. В. Ионизация грунта при растекании нелинейных импульсов токов с заземлителей // Электроэнергетика глазами молодежи: тр. VI междунар. науч.-техн. конф. / отв. ред. В. В. Тютиков. 2015. С. 474–477.
4. Колобов В. В., Баранник М. Б., Селиванов В. Н. Новый прибор для измерения сопротивления заземляющих устройств опор ВЛ импульсным методом // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. № 5–13 (39). С. 38–55.
5. Оптические изображения искровых каналов при растекании импульсных токов в грунте / В. В. Ивонин и др. // Успехи прикладной физики. 2016. Т. 4, № 4. С. 355–361.
6. Оптические исследования искровых каналов в грунте при растекании импульсного тока / В. В. Ивонин и др. // Прикладная физика. 2015. № 4. С. 50–53.
7. Рябкова Е. Я. Заземления в установках высокого напряжения. М.: Энергия, 1978.
8. J. Physics D: Applied Physics / L. M. Vasilyak et al. 2015. Vol. 48, No. 28. P. 285201.
9. Optical investigations of pulsed sparks in soil near electrode / V. Ya. Pecherkin et al. // J. Physics: Conference Series. 2015. Vol. 653, No. 1. P. 012151.
10. Sunde E. D. Earth Conduction Effects in Transmission Systems / Van Nostrand Co. New York, 1949.
11. Uman M. A. The Art and Science of Lightning Protection. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

А. С. Карпов, В. В. Ярошевич
Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, info@ien.kolasc.net.ru, yaroshevich_vera@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И ГОРОДСКИХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Обследование и анализ распределительных сетей различных объектов техносферы Мурманской обл. (Мончегорского, Апатитского, Кандалакшского, Ковдорского энергорайонов и др.) показали, что системы электроснабжения городских и промышленных потребителей являются сильно разветвленными, и это создает проблемы в обеспечении потребителей качественной электроэнергией и низкий уровень надежности электроснабжения [1–3]. Распределительные сети этих энергорайонов являются самыми проблемными в электроэнергетике области и требуют серьезных преобразований и инвестиций.

Особенностями анализируемых распределительных сетей (356/10–0,4 кВ), расположенных в условиях Крайнего Севера и Арктики, являются:

- разнородная плотность электрических нагрузок;
- значительный срок эксплуатации, достигающий 30–40 и более лет;
- большинство потребителей получают некачественную электроэнергию, как показали результаты мониторинговых регистраций [3, 11, 13];
- несимметрия фазных напряжений;
- завышенные потери электроэнергии.

В таких сложных и разветвленных схемах [7] трудно обеспечить нормальное функционирование электрических сетей в установившихся режимах. Неизбежны также аварийные ситуации, обусловленные старением изоляции кабелей, износом электрооборудования, ошибками технического персонала при многократных оперативных переключениях и другими разнообразными причинами. Предотвращение развития аварийных ситуаций в значительной степени связано с надежным срабатыванием коммутационного электрооборудования при локализации поврежденных участков сети [4].

Существующие методы оценки функционирования и электромагнитной совместимости различного электрооборудования ориентированы в основном на электрические сети высокого напряжения. В то же время специфика процессов в системах электроснабжения среднего и низкого напряжения с разветвленной сетевой структурой недостаточно подробно изучена.

Были проведены мониторинговые обследования схем электроснабжения ряда действующих объектов Мурманской обл. (муниципальные электрические сети городов и промышленных предприятий городов Апатиты, Ковдор, Мончегорск, поселков Ревда, Ловозеро и др.) Были получены данные о реальных условиях эксплуатации электрооборудования, показателях качества электроэнергии, и определены источники опасных электромагнитных воздействий.

Для проведения мониторинговых исследований использовались сертифицированные средства измерения, регистраторы серии «Парма», а также универсальный измерительный комплекс на основе измерительного блока LCard (разработка ЦФТПЭС КНЦ РАН) [12]. Универсальный измерительный комплекс предназначен для одновременной синхронной регистрации токов и напряжений на разных присоединениях. Блок-схема измерительного комплекса приведена на рис. 1. Схема и пример подключения оборудования для проведения мониторинговых регистраций представлены на рис. 2.

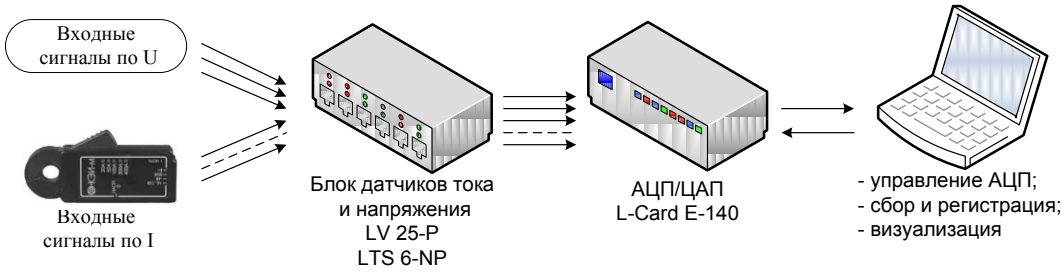
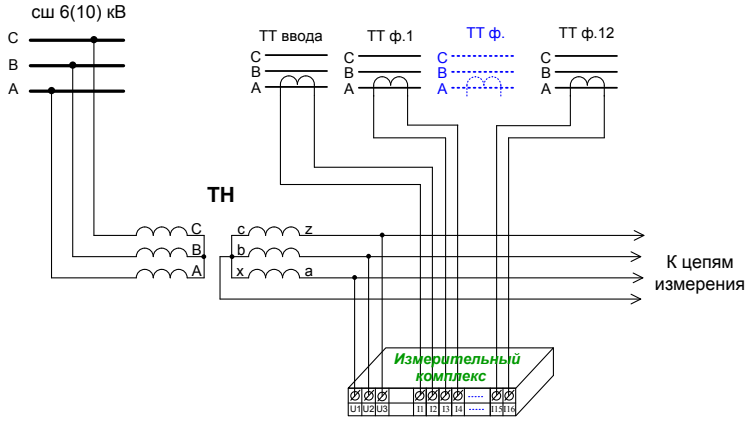


Рис. 1. Блок-схема измерительного комплекса, разработанного ЦФТПЭС КНЦ РАН



а



б

Рис. 2. Схема (*а*) и пример проведения мониторинговых регистраций (*б*)

Анализ результатов мониторинга режимов эксплуатации существующих разветвленных сетей вышеперечисленных объектов позволил определить направление дальнейших исследований в части модернизации схем электроснабжения с учетом специфики Крайнего Севера для повышения их электромагнитной совместимости.

По опыту обследования Центром физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН на высоковольтных подстанциях энергосистемы Северо-Западной зоны России был выявлен ряд следующих особенностей [1, 3, 5, 6, 8]:

1. Для трехфазной трехпроводной сети можно считать, что на всех трех фазах нагрузка одинакова и напряжение, соответственно, симметрично. Однако в четырехпроводной сети 0,38 кВ произведено разделение фаз, и однофазная нагрузка может дать большую нессимметрию. Причем в этом случае поиск источника связан с определением потока мощности гармонического искажения, следовательно, появляется необходимость регистрации не только напряжения, но и тока.

2. При обследовании крупных подстанций, например, такой как ПС-40А (г. Ковдор), Западной группы подстанций МРСК Северо-Запада «Колэнерго» необходима регистрация тока на большом числе фидеров (до 10 фидеров на секции). Особенностью таких подстанций является то, что на одной секции шин могут быть не только фидеры городских сетей (или аналогичных, с чисто активной нагрузкой), но и фидеры крупных промышленных предприятий, поэтому возможна эмиссия «некачественной» электроэнергии от крупных предприятий с мощным оборудованием в городские сети.

3. Для крупных промышленных предприятий является нормой использование устройств с искажающей нагрузкой (например, мощных двигателей, насосов, печей, мельниц и др.) не постоянно, а короткий промежуток времени с перерывами до нескольких суток и даже недель. И для выявления их влияния кратковременных регистраций (неделя или месяц) может быть недостаточно. Таким образом, появление искажений носит несистемный характер (как, например, в сети ПС-40А).

4. Проблема качества является актуальной для распределительной сети 6–35 кВ, а также 0,4 кВ в связи с длительным отсутствием контроля за качеством электроэнергии и с ограниченностью средств защиты от искажающих факторов.

5. Контроль показателей качества электроэнергии осуществляется в основном по напряжению и не дает подробной информации об источниках, которые искажают электроэнергию.

6. Значительные трудности возникают при выявлении источников искажений напряжения. Невозможность синхронизированной регистрации напряжения на секции и всех токов на каждом подключении к исследуемой системе шин. Поэтому при определении источника искажений требуется большой объем сопоставительных измерений.

Результаты исследования и публикации в данной области показывают, что часто возникают проблемы во взаимоотношениях между электроснабжающей организацией и потребителями электрической энергии. В основном требования к обеспечению электроэнергией надлежащего качества предъявляются к энергоснабжающей организации. Взаимоотношения между электроснабжающей организацией и потребителями регулируются договорами на поставку электроэнергии.

Поскольку в большинстве случаев источником искажения является специфическая нагрузка отдельных потребителей [9, 10], необходимо выполнение следующих задач:

1) периодический контроль показателей качества электроэнергии в точках общего подключения потребителей;

2) локализация неизвестного источника (-ов) искажений;

3) получение доказательной базы для юридических разбирательств.

При большом числе потребителей, подключенных к точке общего подключения, и искажающей нагрузке у части потребителей возникает проблема формирования финансовых отношений между потребителями и поставщиками электроэнергии. Решение этой проблемы предполагает формирование механизма определения неустоек за искажающее действие и компенсацию за потребление некачественной электроэнергии.

Решение проблемы повышения качества электроэнергии связано с необходимостью локализации источников искажения кривых токов и напряжений и созданием механизмов стимулирования мероприятий, обеспечивающих качество электроэнергии.

Литература

1. Анализ влияния несимметричных режимов нагрузки на условия работы гидрогенераторов каскада Нивских ГЭС / А. С. Карпов и др. // Вестник МГТУ. Мурманск, 2007. Т. 10, № 4. С. 519–523.
2. Анализ результатов мониторинговых регистраций качества электроэнергии / В. В. Ярошевич и др. // Вестник МГТУ. Мурманск, 2014. Т. 17, № 1. С. 67–76.
3. Бурцев А. В., Невретдинов Ю. М., Фастий Г. П. Результаты экспериментальных регистраций грозовой активности на Кольском полуострове // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 4. С. 680–689.
4. Дуговые перенапряжения при переходе однофазных замыканий на землю в двойные / Б. В. Ефимов и др. // Электрика. 2008. № 5. С. 8–11.
5. Карпов А. С., Веселов А. Е., Ярошевич В. В. Технико-экономическая оценка эффективности привлечения синхронных электродвигателей предприятий к генерации реактивной мощности // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 1. С. 83–88.

6. Карпов А. С., Невретдинов Ю. М., Фастий Г. П Совершенствование защиты линий связи от влияния токов в высоковольтной сети // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 1. С. 65–69.
7. Обзор электропотребления разветвленной электрической сети напряжением 10/0,4 кВ Кольского научного центра Российской академии наук / Ю. А. Арефьева и др. // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. 2015. Вып. 10. С. 24–336.
8. Проблемы диагностирования контуров электроэнергетических объектов при низкой проводимости грунта / А. С. Карпов и др. // Технологии электромагнитной совместимости. М., 2007. № 4 (23), С. 29–36
9. Проблемы локализации источников искажений электроэнергии и определение вклада подключенных потребителей в искажение или нормализацию качества электроэнергии / В. В. Ярошевич и др. // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. Вып. 1. С. 126–139.
10. Шиханов И. С., Карпов А. С., Ярошевич В. В. Применение среды LabView для решения проблем электромагнитной совместимости // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. науч.-техн. ст. / Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева; А. Б. Дарьенково. Н. Новгород, 2016. С. 183–188.
11. Ярошевич В. В., Карпов А. С. Выявление направлений развития сетей 6–35 кВ на основе опыта мониторинговых исследования показателей качества электроэнергии высоковольтной сети Северо-Запада России // Интеллектуальные энергосистемы: материалы I Междунар. форума / Нац. исслед. Томский политехн. ун-т. 2013. Т. 1. С. 163–168.
12. Ярошевич В. В., Карпов А. С., Юшков М. Г. Обоснование технического решения для разработки программно-аппаратного комплекса, способного локализовать источники искажения электроэнергии // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. 4/(19). С. 102–106.
13. Ярошевич В. В., Невретдинов Ю. М., Фастий Г. П. Анализ регистрации показателей качества электроэнергии на шинах питающих подстанция // Вестник МГТУ. Мурманск, 2009. Т. 12, № 1. С. 58–64.

В. В. Колобов, М. Б. Баранник
Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, 1_i@mail.ru, maxbar@ien.kolasc.net.ru

ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ЦФТПЭС С ГИ КНЦ РАН И ИХТРЭМС РАН В СОЗДАНИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НИР

Разработка и создание генераторов для глубинных электромагнитных зондирований

Успех электромагнитных зондирований определяется, прежде всего, возможностью проведения исследований на максимально больших глубинах, что может достигаться как за счет больших разносов между питающими и приемными линиями и максимально низкого частотного диапазона, так и за счет мощности излучающих устройств. Мощность источника определяется размерами питающих линий и силой тока в них. ГИ КНЦ РАН в сотрудничестве с ЦФТПЭС КНЦ РАН с 2005 г. развивает исследования по глубинному зондированию земной коры с применением в качестве питающих линий высоковольтных линий электропередачи (ЛЭП). В отличие от мировой практики использования ЛЭП в режимах, близких к постоянному току, творческий коллектив развивает оригинальное направление тензорного частотного зондирования Земли с применением двух взаимно ортогональных ЛЭП в диапазоне крайне низких и сверхнизких частот (КНЧ-СНЧ) — от 0,1 до 200 Гц с применением в качестве источника токов генераторов большой мощности.

С 2006 г. исследования выполняются в рамках международного эксперимента FENICS (Fennoscandian Electrical conductivity from results of soundings with Natural I (and) Controlled Sources). В экспериментах FENICS используются две взаимно ортогональные заземленные линии: субширотная — ВЛ 330 кВ ПС Выходной — Серебрянская ГЭС (Л-401) протяженностью 109 км и субмеридиональная — ЛЭП 154 кВ Л-153/154 длиной 120 км.

Первый КНЧ-СНЧ-генератор «Энергия-1», разработанный ЦФТПЭС для эксперимента FENICS-2007, имел выходную мощность 100 кВт при максимальном напряжении на выходе до 500 В. Генератор формировал в излучающих ЛЭП ток в форме меандра с амплитудой до 150 А. Недостатком генератора являлось отсутствие гальванической развязки между выходом инвертора и входными цепями, что требовало разземления нейтрали питающего трансформатора собственных нужд подстанции.

В 2009 г. был разработан генератор нового поколения — «Энергия-2» [3] мощностью до 200 кВт и выходным напряжением до 1000 В. Выход генератора гальванически развязан с питающей сетью. Инвертор на основе современных мощных высоковольтных IGBT-модулей, работающий в режиме широтно-импульсной модуляции, позволяет формировать в излучающих ЛЭП ток произвольной формы, в частности синусоидальной.

Главное преимущество синусоидальной формы тока в излучающих линиях — отсутствие в спектре сигнала других частот. Формирование синусоидального тока в линии с высокой точностью и стабильностью заданной частоты облегчает обработку и фильтрацию получаемых на приемных станциях сигналов, что особенно важно при проведении зондирований на дальних и сверхдальних разносах, когда отношение сигнал —

помеха мало. Кроме того, сигнал синусоидальной формы обеспечивает минимальное воздействие на кабельные линии связи и каналы телеметрии, находящиеся в зоне влияния излучающей ЛЭП.

Генератор «Энергия-2» в настоящее время является единственным в мире электроразведочным генератором большой мощности с произвольной формой выходного тока. Он использовался при проведении экспериментов FENICS-2009 и FENICS-2014 (рис. 1, а). Сила тока в излучающих ЛЭП достигала 250 А, что позволило выполнить наблюдения приемными станциями на удалениях до 900 км. Проведенные эксперименты позволили осуществить глубинное зондирование в условиях волновой зоны в широком диапазоне низких частот (0,1–200 Гц) и достичь больших глубин зондирования (50–70 км) в условиях плохо проводящего кристаллического фундамента [1, 2].

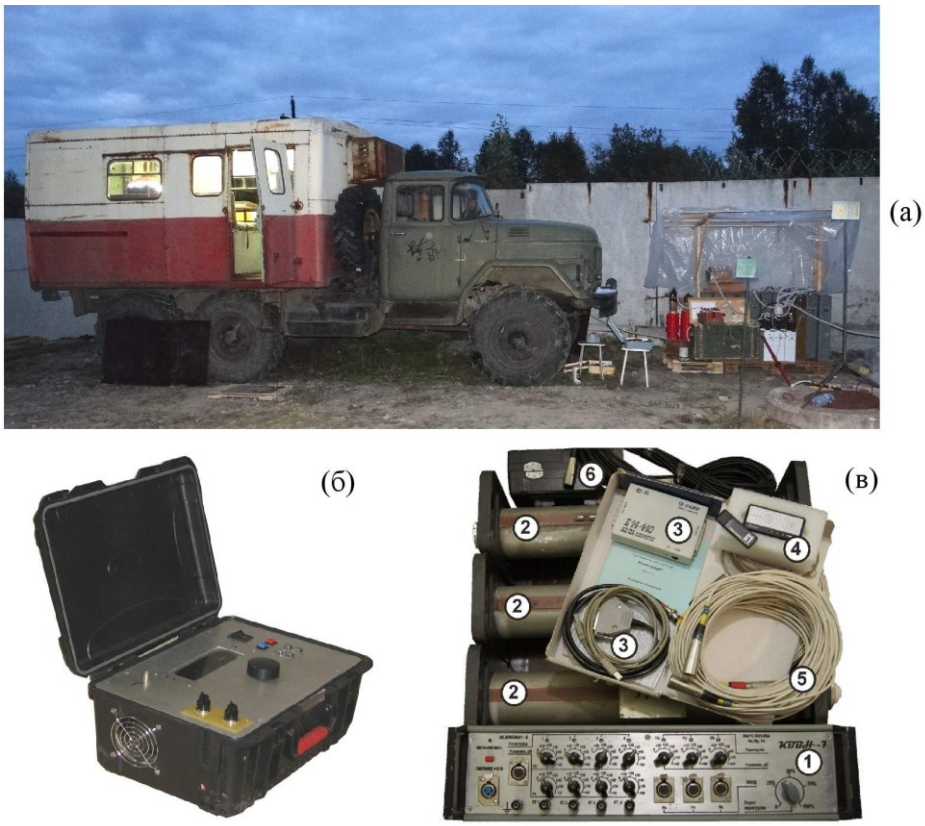


Рис. 1. Внешний вид кунга генератора «Энергия-2» на ПС «Выходной» (а),
КНЧ-генератора «Энергия-3» (б) и станции КВВН-7 (в):
1 — измерительный блок; 2 — индукционные датчики; 3 — АЦП E14 440 и кабели к нему; 4 — GPS-приемник BT-359; 5 — фидера магнитных индукционных датчиков; 6 — фидера электрических каналов

Увеличение силы сигнала при использовании в качестве излучающих линий высоковольтных ЛЭП может быть получено не только применением мощного генераторного устройства, но и накоплением в приемнике многократно повторяющихся сигналов слабого источника. Соотношение «сигнал — шум» при этом увеличивается пропорционально корню квадратному от числа посылок. С учетом этого в 2012 г. в ЦФТПЭС КНЦ РАН был разработан портативный генератор КНЧ-СНЧ-диапазона «Энергия-3» мощностью 2 кВт и выходным напряжением до 300 В для проведения глубинного зондирования земной коры при поисках полезных ископаемых с использованием в качестве излучающей линии высоковольтной ЛЭП [3]. Вес генератора (рис. 1, б) не превышает 10 кг, что облегчает его доставку к месту эксперимента. Генератор питается от сети 220 В, что значительно упрощает схему и процедуру его подключения на подстанции, а малая мощность исключает проблемы электромагнитной совместимости излучающей ЛЭП с кабельными линиями связи и коммуникациями.

Генератор «Энергия-3» использовался в ходе эксперимента «НУР-2012» на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Генератор подключался к ЛЭП ВЛ-220 «Уренгой — Пангоды» протяженностью 114 км. Максимальная сила тока в линии достигала 15 А, что обеспечило дальность уверенной регистрации сигналов приемными станциями до 110 км [5].

В 2010 г. был разработан не имеющий аналогов генератор направленного действия «Энергия-2М» мощностью до 30 кВт, позволяющий формировать в двух ортогональных заземленных линиях сигналы одной частоты с независимой регулировкой фазы и амплитуды и тем самым создавать регулируемую диаграмму направленности излучения. Генератор «Энергия-2М» предназначен для направленного тензорного глубинного

электромагнитного зондирования земной коры и для поиска глубоко залегающих рудных объектов с оценкой их элементов залегания. В 2011 г. проведены полевые испытания генератора на трех эталонных рудных объектах Мончегорского района — участки «Морошковый», «Сопча», «Ниттис» [3].

Эффективность электромагнитных зондирований определяется не только мощностью генераторов и параметрами излучающих линий, но и совершенством измерительной техники, применяемой для регистрации сигналов на полевых точках. Поэтому одновременно с созданием электроразведочных генераторов различной мощности коллектив ЦФТПЭС КНЦ РАН разработал семиканальную цифровую станцию КВВН-7 (рис. 1, в), в которой использована самая современная элементная база — операционные усилители с предельно низким значением внутреннего шума и высокочастотные аналого-цифровые преобразователи с большим динамическим диапазоном. Основным показателем качества магнитотеллурических станций является уровень собственных шумов магнитных датчиков. По своим шумовым характеристикам станция КВВН-7 практически не уступает лучшим мировым стандартам [3]. Станция КВВН-7 использовалась во всех упомянутых экспериментах.

Результаты проведенных исследований в области создания генераторной техники для глубинных электромагнитных зондирований, в том числе с использованием в качестве излучающих линий высоковольтных ЛЭП, послужили материалом для монографии «Генераторно-измерительный комплекс "Энергия" для электромагнитного зондирования литосферы и мониторинга сейсмоактивных зон» [3], опубликованной совместным авторским коллективом ЦФТПЭС и ГИ КНЦ РАН в 2013 г.

Модернизация газового масс-спектрометра

В 2016 г. сотрудниками ЦФТПЭС КНЦ РАН были начаты работы по модернизации масс-спектрометра МИ-1201ИГ, используемого в ГИ КНЦ РАН для измерения изотопного состава инертных газов. Были полностью модернизированы блок управления электромагнитом, электрометрический усилитель, счетчик ионов и датчик магнитного поля масс-анализатора. Комплексная модернизация позволила повысить разрешающую способность и стабильность работы измерительной системы масс-спектрометра.

На основе новейшей элементной базы разработан блок электрометрического усилителя (рис. 2, *а*), в котором был применен оригинальный метод выравнивания электрического поля вдоль поверхности высокоомного измерительного резистора, что позволило минимизировать суммарную паразитную емкость измерительной цепи и, соответственно, постоянную времени. Рабочий диапазон токов нового электрометра составляет от 1 фА до 70 пА.



а

б

Рис. 2. Головка электрометра с платой нового электрометрического усилителя (*а*) и новый блок управления масс-спектрометром МИ-1201ИГ (*б*)

В счетчике ионов был использован ранее нигде не применявшийся метод измерения одновременно двух параметров — числа ионов и тока умножителя, что позволило достоверно регистрировать от 1 до 4·107 ионов в секунду.

Для стабилизации магнитного поля масс-анализатора ранее в качестве первичного датчика использовался элемент холла. Значительные шумы датчика такого типа не позволяли обеспечить минимальный шум отклоняющего магнитного поля масс-анализатора. Была разработана новая система управления электромагнитом (рис. 2, *б*), которая при сканировании области поиска частиц определяет точное значение

магнитного поля по краям области сканирования, а далее стабилизирует ток магнита в диапазоне сканирования. Такое решение обеспечило минимальные шумы магнитного поля масс-анализатора.

В 2017 г. начаты работы по написанию программы автоматического определения содержания He3/He4. Программный комплекс полностью управляет измерительными системами и электромагнитом масс-спектрометра и обеспечивает автоматический поиск и выделение необходимой массы измеряемого вещества.

Разработка испытательного стенда для снятия вольтамперных характеристик оксидно-цинковых варисторов

С 2015 г. ЦФТПЭС КНЦ РАН сотрудничает с ИХТРЭМС РАН в научно-исследовательских работах по созданию оксидно-цинковой (ZnO) керамики, применяемой в нелинейных элементах высоковольтных ограничителей перенапряжений (ОПН). Сотрудниками ЦФТПЭС КНЦ РАН разработан специализированный стенд, позволяющий снимать вольтамперные характеристики ZnO варисторов в широком диапазон токов — от 0.01 мА до 100 А с высокой разрешающей способностью. Диапазон регистрации напряжения при этом составляет до 10 кВ.

Литература

1. Глубинные электромагнитные зондирования литосферы восточной части Балтийского (Фенноскандинавского) щита в поле мощных контролируемых источников и промышленных ЛЭП (эксперимент FENICS) / А. А. Жамалетдинов и др. // Физика Земли. 2011. № 1. С. 4–26.
2. Исследование взаимодействия электромагнитных волн КНЧ-СНЧ диапазона (0,1–200 Гц) с земной корой и ионосферой в поле промышленных линий электропередачи (эксперимент «FENICS») / А. А. Жамалетдинов и др. // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14, № 2. С. 5–49.
3. Колобов В. В., Баранник М. Б., Жамалетдинов А. А. Генераторно-измерительный комплекс «Энергия» для электромагнитного зондирования литосферы и мониторинга сейсмоактивных зон. СПб., 2013. 240 с.
4. Получение высоковольтной варисторной керамики ZnO / О. Г. Громов и др. // Неорганические материалы. 2015. Т. 51, № 5. С. 572–575.
5. Электромагнитное зондирование земной коры в районе сверхглубоких скважин ЯНАО в полях естественных и контролируемых источников / А. А. Жамалетдинов и др. // Физика Земли. 2013. № 6. С. 99–115.

О. Е. Коновалова

Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, konovalova@ien.kolasc. net.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА, КАК БАЗИС ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ (SMART GRID)

В настоящее время у многих на слуху такое понятие, как Smart Grids — «умные или интеллектуальные электрические сети». Несмотря на отсутствие общепринятого определения, Smart Grids можно охарактеризовать как «автоматизированную энергетическую систему, обеспечивающую в режиме реального времени двусторонний поток электрической энергии и информации между электрическими станциями и устройствами и включающую в себя все генерирующие источники, магистральные и распределительные сети и всех потребителей электрической энергии, управляемых единой сетью информационно-управляющих устройств и систем» [1]. В России еще только определяются подходы к созданию «интеллектуальных энергетических сетей» (ИЭС). И это задача непростая, межотраслевая, требующая вовлечения большого количества специалистов и материальных средств. За рубежом внедрение «интеллектуальных энергосетей» идет уже не первый год. В большинстве стран финансирование осуществляется государством, энергетическими и крупными компаниями — производителями электрооборудования, а также компаниями, работающими в сфере информационно-коммуникационных технологий. Так, ежегодно для стимулирования внедрения технологий Smart Grids в Китае тратится 70 млрд долл., в США — 19 млрд долл., в Индии — 10 млрд долл., Европейском Союзе — 7 млрд долл. [1].

В России этот процесс только начинается, государство поддерживает внедрение новых технологий. В рамках стратегии энергетического развития сетевыми компаниями (Федеральной сетевой компанией (ФСК) и «Холдингом "Межрегиональные распределительные сетевые компании"» («Холдинг "МРСК"»)) разработана программа «Умная энергетика", которая может стать основой «интеллектуальной» электроэнергетической системы РФ. Реализацией этой программы занимается ОАО «Холдинг "МРСК"» — лидер по внедрению инновационных технологий в электросетевом распределительном комплексе, созданный в 2008 г. путем выделения из ОАО РАО «ЕЭС России». В его состав входят межрегиональные распределительные сетевые компании, научно-исследовательские и проектно-конструкторские институты, строительные и сбытовые организации.

Преобразования в существующей энергосистеме для достижения оптимального результата должны носить комплексный характер и затрагивать все элементы цепочки от производителя до потребителя, включая контроль и мониторинг с использованием современных IT-технологий. Это позволит решить следующие задачи:

- минимизировать потери и получить максимальную прибыль при передаче энергии;
- обеспечить надежное и качественное электроснабжение потребителей;
- повысить экологическую и промышленную безопасность генерирующих объектов;
- снизить общесистемные затраты за счет оптимизации структуры генерирующих мощностей;
- усовершенствовать процессы управления энергосистемой;
- интегрировать и распределять энергию из альтернативных источников;
- в автоматическом режиме диагностировать и устранять возникающие проблемы;
- снизить цены на электроэнергию за счет повышения эффективности операционной и рыночной деятельности.

На территории Мурманской обл. также сделаны первые шаги по внедрению новейших технологий в энергетический сектор.

На Кольском п-ове действует 17 ГЭС, принадлежащих филиалу «Кольский» ПАО ТГК-1, более половины из которых старше 50 лет. Степень изношенности основных производственных фондов по большинству ГЭС превышает 40 %, а в отдельных случаях достигает 70 %, поэтому поддержание технического состояния ГЭС на должном уровне, замена и модернизация устаревшего энергетического оборудования на современное с более высоким КПД и позволяющее работать в автоматическом режиме может рассматриваться как базис для перехода в будущем к «интеллектуальной энергосистеме». В последнее время ТГК-1 уделяет этому все большее внимание.

С 2007 по 2012 гг. завершено техническое перевооружение и модернизация трех ГЭС на реке Нива в рамках инвестиционной программы ПАО «ТГК-1» в Мурманской обл., целью которой являлось увеличение мощностей Каскада Нивских ГЭС и повышение надежности используемого оборудования. За это время заменены главные однофазные трансформаторы Нива ГЭС-2, произведена модернизация гидроагрегатов с заменой рабочих колес на Ниве ГЭС-3, осуществлен капитальный ремонт четырех гидроагрегатов.

С 1 ноября 2012 г. начался проект масштабной модернизации гидроагрегатов Иовской ГЭС, также входящей в Каскад Нивских ГЭС. В январе 2014 г. введен в эксплуатацию первый модернизированный гидроагрегат, построенный австрийской фирмой Andritz Hydro мощностью 48 МВт, а в ноябре — второй. Вместо турбин пропеллерного типа были установлены более эффективные поворотно-лопастные с семью лопастями. Была реконструирована также система управления, теперь станция работает в автоматическом режиме и управляется с головной станции Каскада Нива ГЭС-3. Модернизация позволила повысить КПД (с 75 до 96 %) и надежность станции.

С 2007 по 2015 гг. на Каскаде Пазских ГЭС неоднократно проводились текущие и плановые ремонты гидроагрегатов, завершен капитальный ремонт первого гидроагрегата на Борисоглебской ГЭС с реконструкцией регулятора скорости, автоматизировано управление, введены новые каналы телемеханики и связи. В настоящее время все ГЭС Каскада работают в автоматическом режиме. Управление станциями осуществляется с диспетчерского пульта, расположенного на ГЭС Раякоски. Через Пазский Каскад осуществляется экспорт электроэнергии в Финляндию и Норвегию.

Сегодня ведется масштабная реконструкция Верхне-Туломской ГЭС Каскада Туломских и Серебрянских ГЭС с заменой основного и вспомогательного гидротурбинного и гидрогенераторного оборудования, а также модернизацией проточного тракта гидротурбин, оборудования распределительного устройства, заменой силовых трансформаторов с ВН 10 кВ, модернизацией гидромеханического оборудования. Модернизируется система гидроизмерений, автоматизированная система управления (агрегатный и станционный уровень) с обеспечением возможности дистанционного управления основным и вспомогательным оборудованием, создается система контроля вибрации гидроагрегатов.

Ведутся работы по реконструкции водосброса Нижне-Туломской ГЭС с поэтапной заменой всех элементов для обеспечения безопасной и надежной работы станции.

На территории Кольского п-ова уже создана система обмена технологической информации с автоматизированной системой Системного оператора (СОТИ АССО). Завершены работы по созданию собственных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) протяженностью 1300 км, которые объединяют в единую сеть 17 гидроэлектростанций и 2 тепловые станции (Апатитскую и Мурманскую) с управлением филиала «Кольский» ПАО «ТГК-1». ВОЛС — это часть проекта информационно-технологической системы управления, которая, наряду с цифровыми автоматическими телефонными станциями (АТС) и спутниковыми каналами связи, обеспечит оперативный обмен информацией между всеми подразделениями филиала, управлением и системным оператором. Это повысит надежность и эффективность работы всех энергообъектов.

Но технического перевооружения и замены оборудования на самих электростанциях недостаточно для создания основ «интеллектуальной энергосистемы». Необходимо обратить внимание и на электросетевое хозяйство. На территории области действуют такие филиалы электросетевых компаний как филиал ПАО «ФСК ЕЭС» — Карельское ПМЭС (Публичное акционерное общество Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы — Карельское предприятие магистральных электрических сетей) и филиал ПАО «МРСК Северо-Запада» — «Колэнерго». В ведении ПАО «ФСК ЕЭС» — Карельское ПМЭС находятся в основном электрические сети напряжением 330 кВ и небольшое количество сетей 110–150 кВ, а также 11 подстанций (ПС). Филиал ПАО «МРСК Северо-Запада» — «Колэнерго» осуществляет передачу и распределение электроэнергии по электрическим сетям 0,4–6(10)–35–110–150 кВ.

Возрастная структура электрических сетей энергосистемы Мурманской обл. характеризуется крайне высокой изношенностью оборудования. Так, линии электропередачи напряжением 330 кВ протяженностью 945 км в одноцепном исчислении (это 83,6 % от общей длины ЛЭП 330 кВ) отработали более 25 лет, в том числе 365 км (32 %) находятся в эксплуатации свыше 40 лет.

Из ЛЭП напряжением 150 кВ, принадлежащих «МРСК Северо-Запада» — «Колэнерго», 71,7 % от общей протяженности были построены более 40 лет назад, все подстанции 150 кВ, принадлежащие филиалу, имеют возраст более 25 лет, при этом почти половина ПС (48,6 %) находится в эксплуатации более 35 лет.

Еще худшая ситуация складывается в распределительной сети напряжением 35 кВ, где доля ПС и трансформаторов, находящихся в эксплуатации более 35 лет, составляет 56,3 % (27 подстанций) и 39,3 % от общей протяженности ЛЭП 35 кВ отработали более 40 лет [4].

Наличие в энергосистеме Мурманской обл. большого количества электротехнического оборудования, выработавшего нормативный срок службы, приводит к увеличению аварийности, потерь и недоотпуску электроэнергии.

Но филиалы сетевых компаний последовательно выполняют свои инвестиционные программы. Так, за период 2011–2015 гг. на территории Кольского п-ова были построены и введены в эксплуатацию следующие электросетевые объекты:

- ПС 150/35/6 кВ «Олений ручей» мощностью 2×63 МВА;
- ПС 110/10 кВ № 92 «Кашкаранцы» мощностью 1×2,5 МВА;
- ПС 110/6 кВ № 37 «Олкон», взамен аналогичной, без изменения установленной мощности 2×10 МВА;
- ПС 110 кВ «Хариус озеро» мощностью 2×10 МВА.

Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» в 2012 г. завершил работы по расширению открытого распределительного устройства (ОРУ) 110 кВ на подстанции 330 кВ «Оленегорск». Там установлено современное оборудование: элегазовые выключатели, разъединители, трансформаторы тока, шинные опоры, микропроцессорные устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики системы связи. Подстанция 330 кВ Оленегорск обеспечивает электроснабжение двух городов Мурманской обл. — Мончегорска и Оленегорска. А в 2016 г. «ФСК ЕЭС» модернизировал подстанцию «Выходной», где были установлены новые трансформаторы тока 330 кВ, элегазовые выключатели взамен воздушных, отремонтирован пункт управления подстанцией и создана физико-химическая лаборатория. Подстанция является узловой и обеспечивает электроэнергией Мурманск, Североморск, Печенгу и близлежащие поселки.

Для повышения пропускной способности и надежности работы сети 330 кВ на транзите Колэнерго — Карелэнерго — Ленэнерго в настоящее время ведется строительство второй ЛЭП 330 кВ Кольская АЭС — ПС 330 кВ Княжегубская — ПС 330 кВ Лоухи — ПС 330 кВ Путкинская — ПС 330 кВ Онда — ПС 330 кВ Петрозаводская, а также ПС 330 кВ Петрозаводская — ПС 330 кВ Сясь — ПС 330 кВ Тихвин. Уже построена часть линии от Кольской АЭС до ПС Лоухи и две новые подстанции, в 2016 г. намечался ввод отрезка воздушной линии от ПС Лоухи до ПС Петрозаводская [4]. А к 2018 г. ожидается ввод второй ВЛ 330 кВ на участке от ПС 330 кВ Петрозаводск до ПС 330 кВ Тихвин — Литейный.

Также ОАО «ФСК ЕЭС» разрабатываются проекты по оснащению электрической сети 330 кВ энергосистемы Республики Карелия элементами «интеллектуальных энергетических сетей» — устройствами FACTS (управляемыми устройствами продольной компенсации, статическими тиристорными компенсаторами) для повышения качества стабилизации уровней напряжения в электрической сети региона и увеличения пропускной способности.

По данным на 2013 г., «МРСК Северо-Запада» обеспечило цифровыми каналами связи в Мурманской обл. 53 ПС 110-220 кВ из 81 и 11 из 47 ПС 35 кВ и ввело в промышленную эксплуатацию оперативно-информационный комплекс (ОИК) РСДУ-2, который будет служить для сбора, обработки и обмена информацией как с существующих устройств телемеханики, так и с вновь вводимых. Внедрение комплекса стало первым шагом на пути к созданию современного диспетчерского пульта сетевого предприятия [2]. Еще в 2010 г. была введена Автоматизированная информационная система процесса технологического присоединения потребителей, на основе которой в 2012 г. была разработана и принята в промышленную эксплуатацию подсистема «Отображение энергообъектов в системе GOOGLE».

В 2016 г. введено в эксплуатацию 24,14 км линий электропередачи и 125,12 МВА трансформаторной мощности.

В рамках своей инвестиционной программы «МРСК Северо-Запада» на территории Кольского п-ова планирует освоить в 2017 г. — 734, а 2018 г. — 821 млн руб. [2]. Но пока массовое старение и износ электросетевого оборудования опережает темпы реконструкции и модернизации. По оценкам специалистов, сетевому хозяйству необходима комплексная реконструкция (частично с демонтажем и сооружением новых объектов) и значительно большие капиталовложения.

Выводы

1. На сегодняшний день в России еще не предложена полная концепция «интеллектуальной энергосистемы».
2. Реализация в жизнь такого проекта сопряжена со значительными трудностями — технологическими, ресурсными, нормативно-правовыми др., однако первые шаги в этом направлении уже сделаны. На Кольском

п-ове есть опыт внедрения элементов интеллектуальных сетей в энергосистему (волоконно-оптические линии связи, цифровые автоматические телефонные станции, автоматизированная система управления с обеспечением возможности дистанционного управления основным и вспомогательным оборудованием, цифровые подстанции, оперативно-информационный комплекс (ОИК) РСДУ-2).

3. В Мурманской обла. идет процесс реконструкции и модернизации энергетического оборудования гидроэлектростанций и сетевого хозяйства, являющийся базисом будущей «интеллектуальной энергосистемы».

Литература

1. Волкова И. О. Кобец Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.
2. 3Годовой отчет ОАО «МРСК Северо-Запада» по результатам работы за 2013 год. URL: http://www.kamas.ru/netcat_files/File/MRSK%20SZ/3_%20Godovoy%20otchet%20za%202013%20god.pdf (дата обращения 06.02.2017).
3. 2Гомонов К. Г. Перспективы и экономическая эффективность внедрения интеллектуальных энергосетей в России и мире // Вестник РУДН, сер. Экономика. 2015. № 2. С. 25–35.
4. Схема и программа развития электроэнергетики Мурманской области на период 2017–2021 гг. URL: http://minenergo.gov-murman.ru/documents/cel_prog/gos/ (дата обращения 07.02.2017).

Н. М. Кузнецов

Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, kuzn55@mail.ru

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Государственная политика по энергосбережению в бюджетном секторе Российской Федерации проводится по следующим направлениям:

- система управления, которая предусматривает наличие показателей подведомственных учреждений;
- технологическое регулирование, включающее эксплуатационные требования по энергоэффективности к подведомственным учреждениям;
- финансовые стимулы и обеспечение финансирования, привлечение внебюджетных средств в рамках энергосервиса;
- поддерживающие механизмы (внедрение энергетических деклараций).

Показатели внедрения наилучших доступных технологий [2] в регионах Северного экономического района Северо-Западного федерального округа приведены на рис. 1.

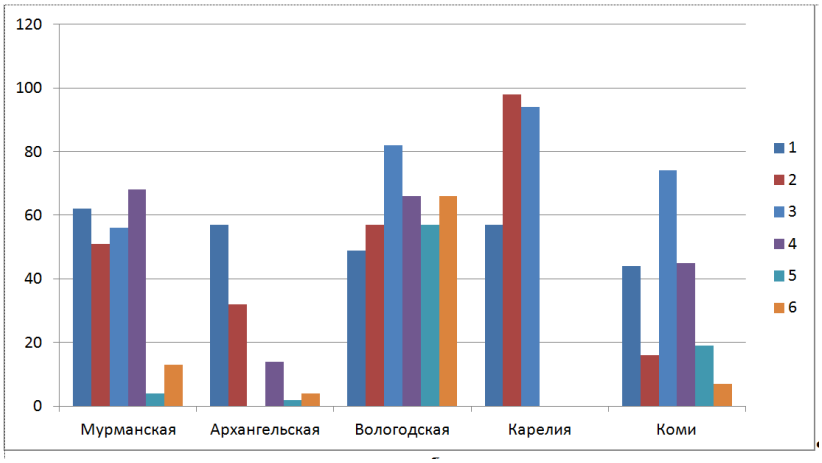


Рис. 1. Показатели внедрения наилучших доступных технологий в 2013 г. (%):
1 — доля светоточек, использующих современные источники света со светоотдачей не менее 80 лм/Вт;
2 — доля светоточек, работающих в составе осветительных автоматизированных систем управления;
3 — доля МКД, оснащенных приборами учета тепла; 4 — доля БУ, оснащенных приборами учета тепла;
5 — доля внедрения автоматических ИТП в МКД; 6 — доля внедрения автоматических ИТП в БУ

В соответствии с задачами и приоритетами государственной политики в сфере развития энергетической отрасли Российской Федерации в Мурманской обл. утверждена долгосрочная целевая программа по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. Координатор программы — Министерство энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Мурманской обл., дирекция —

Государственное бюджетное учреждение «Агентство энергетической эффективности Мурманской области». Основными мероприятиями региональной программы энергосбережения являются [1]:

- финансирование проектов в области энергосбережения,
- энергетические обследования зданий,
- финансирование программ в области энергосбережения,
- формирование системы автоматизации процессов энергопотребления,
- разработка технико-экономических обоснований,
- организация обучения специалистов в области энергоэффективности,
- пропаганда государственной политики в области энергосбережения,
- пропаганда энергоэффективного образа жизни населения.

Валовой региональный продукт (ВРП) Мурманской обл. в 2014 г. составил 320275,7 млн руб. в текущих ценах (0,5 % суммарного объема ВРП регионов России и 5,4 % суммарного объема ВРП регионов Северо-Западного федерального округа). Реальный объем ВРП области за 2014 г. возрос на 1,3 % (за 2013 г. — на 0,8 %). В 2013 г. энергоемкость ВРП Мурманской обл. составила 23,6 кг у. т/тыс. руб. (рис. 2).

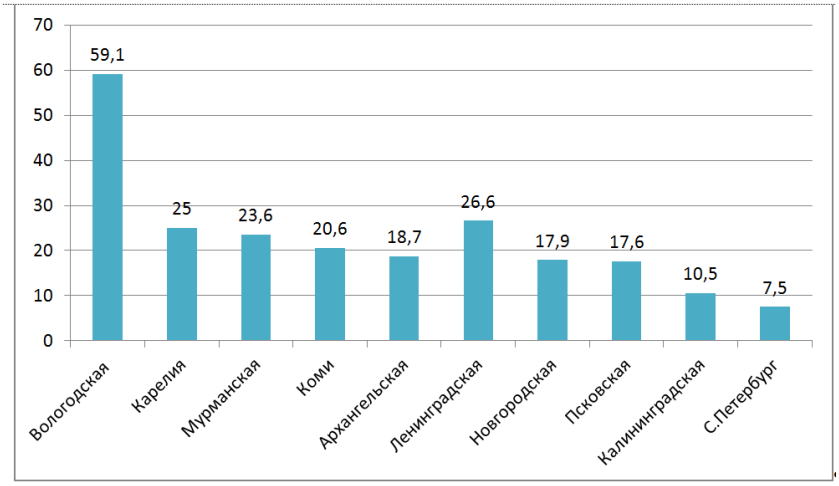


Рис. 2. Энергоемкость валового регионального продукта, кг у. т/тыс. руб

Такого результата удалось добиться за счет высокого рейтинга региональной программы по энергосбережению, что позволило привлечь в 2013 г. значительные средства из федерального бюджета на реализацию региональных энергоэффективных мероприятий 374,6 млн руб. (таблица). Внебюджетные инвестиции в рамках программы энергосбережения составили более 2 млрд руб., инвестиции по схеме энергосервиса — 73,89 млн руб. В 2014 г. резко упал объем привлечения внебюджетного финансирования в рамках энергосервисных контрактов (16,63 млн руб.).

Инвестиции в программы энергосбережения Северного экономического района СЗФО, млн руб.

Инвестиции	Мурманская обл.	Архангельская обл.	Вологодская обл.	Республика Карелия	Республика Коми
Бюджетные средства	374,6	443,3	42,0	2,0	10,5
Внебюджетные инвестиции	2111,4	961,9	0	н/д	410,5

Реализованы проекты, направленные на энергосбережение и повышение энергоэффективности [4]: модернизация системы уличного освещения с применением энергоэффективных источников; выполнение работ по реконструкции систем отопления очистных сооружений; установка станции управления насосным агрегатом на водозаборе; реконструкция системы теплоснабжения МКД; реконструкция индивидуальных тепловых пунктов с автоматизированной регулировкой температурного режима в бюджетных учреждениях и МКД; выполнение работ по монтажу оборудования и вводу в эксплуатацию тепловой насосной станции очистных сооружений; установка частотно-регулируемых приводов. В удаленных сельских поселениях Терского района реализуется проект по установке автономных энергетических установок, использующих энергию ветра и солнца, для обеспечения жителей электрической энергией. При этом сокращается объем потребляемого топлива и дизельных масел на 50 % [5]. Выполняются работы по энергетическим обследованиям многоквартирных домов и в бюджетной сфере с составлением энергопаспортов.

Для повышения эффективного управления энергопотреблением в городах Мурманской обл. с 2013 г. в рамках проекта ENERU (программа Коларктик — программа сотрудничества Европейский инструмент содействия и партнерства) проводится работа по созданию сети делового сотрудничества с привлечением компаний, муниципалитетов, образовательных и научных учреждений Баренц-региона [3]. Модель сотрудничества, создаваемая в рамках проекта, построена на основе концепции тройной спирали, которая является отображением новых экономических процессов: экономика знаний; глобализация; интеграция деятельности государств и корпораций; новые средства коммуникаций и технологий; сетевые формы организации. Преимуществом Мурманской обл. как части Баренцева региона является географическое положение, способствующее сотрудничеству между северными территориями Скандинавских стран и России.

Первоочередными задачами по повышению энергоэффективности в регионе являются:

- достижение нормативных эксплуатационных характеристик на существующих источниках энергии за счет их модернизации и реконструкции;
- обеспечение существующей потребности в электрической и тепловой энергии на базе оптимизации загрузки энергетических мощностей;
- вывод из эксплуатации неэффективных источников энергии;
- обеспечение соответствия новых источников энергии современным требованиям энергоэффективности;
- создание комплекса экономических мер, позволяющих использовать избыточную электроэнергию на нужды электроотопления.

Литература

1. Гноевский В. Н. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Мурманской области // Повышение энергетической эффективности в региональной энергетике Мурманской области: сб. ст. по материалам «ENES-2014» / отв. ред. Н. М. Кузнецов. М.: Перо, 2015. С. 4–7.
2. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2014 г. М., 2015. 139 с.
3. Клюкин А. М., Кузнецов Н. М., Трибуналов С. Н. Международное сотрудничество по повышению эффективного управления энергопотреблением в Баренц-регионе // Труды Кольского научного центра. РАН. Энергетика. 2014. Вып. 7/(26). С. 93–97.
4. Повышение энергетической эффективности в региональной энергетике Мурманской области: сб. ст. по материалам «ENES-2014» / отв. ред. Н. М. Кузнецов. М.: Перо, 2015. 40 с.
5. Fedorov O. V., Kuznetsov M. M. Alternative energy sources for remote customers // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 6 (123). С. 141–144.

В. А. Минин

Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, minin@ien.kolasc.net.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА — ОДНО ИЗ ВОЗМОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Суммарный годовой расход топливно-энергетических ресурсов в Мурманской обл. составляет около 10 млн т условного топлива (т у. т.), из них 40 % приходится на ресурсы ядерного топлива, используемые на Кольской АЭС. Около 22 % представляют собой гидроэнергоресурсы, преобразуемые в электроэнергию на 17 ГЭС региона. Остальные 38 % — органическое топливо (мазут, уголь, светлые нефтепродукты, газ и др.), которое сжигается на котельных и ТЭЦ, расходуется на технологические нужды в промышленности, на транспорте и т. д.

В целом топливно-энергетический баланс Мурманской обл. характеризуется высокой долей энергоресурсов, производимых без сжигания органического топлива (62 %). Это значительно снижает нагрузку на магистральный железнодорожный транспорт и благотворно сказывается на экологической ситуации в регионе. Вместе с тем, Мурманская обл. относится к числу районов с высоким уровнем потребления электрической энергии на душу населения — около 16 тыс. кВт·ч/(чел. год), то есть вдвое больше, чем в среднем по стране. Это определяется высокой энергоемкостью предприятий горнопромышленного комплекса и цветной металлургии.

Кольский п-ов располагает большими запасами возобновляемых источников энергии [1] (ветра, солнца, малых рек, морских приливов, волн и др.), которые в перспективе могут дополнить традиционные источники энергии (ядерное и органическое топливо, гидроэнергию). По приоритетности возможного практического использования возобновляемых источников энергии на передний план выдвигается энергия ветра.

Технические ресурсы ветра только в прибрежных районах Баренцева и Белого морей оцениваются в 360 млрд кВт·ч [2], что в 18 раз больше, чем технические гидроэнергоресурсы региона, использование

которых долгое время составляет основу заполярной энергетики. Предпосылками, благоприятствующими применению ветроэнергетических установок в Мурманской обл., являются [1–2]: высокий потенциал ветра (рис. 1) и зимний максимум интенсивности ветра (рис. 2), наличие в энергосистеме 17 ГЭС с водохранилищами, позволяющими накапливать воду за счет работы ВЭУ в период активных ветров и срабатывать ее при ослаблении ветра. Именно наличие ГЭС и возможность их работы в компенсационном режиме создают на Кольском п-ове уникальные условия для крупномасштабного использования этого возобновляемого энергоресурса.

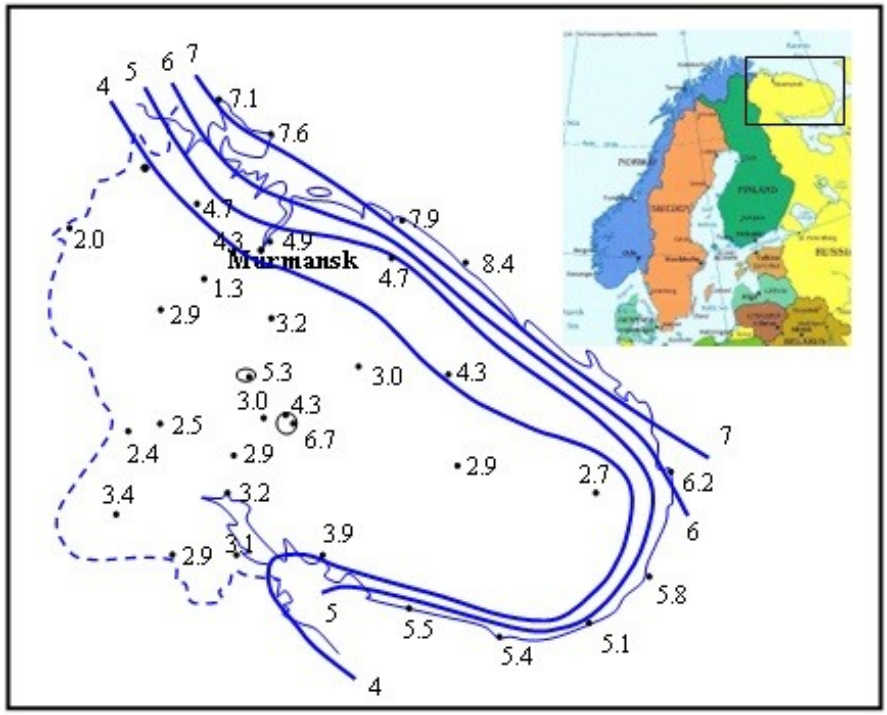


Рис. 1. Средние многолетние скорости ветра (м/с) на высоте 10 м от поверхности земли в условиях открытой ровной местности

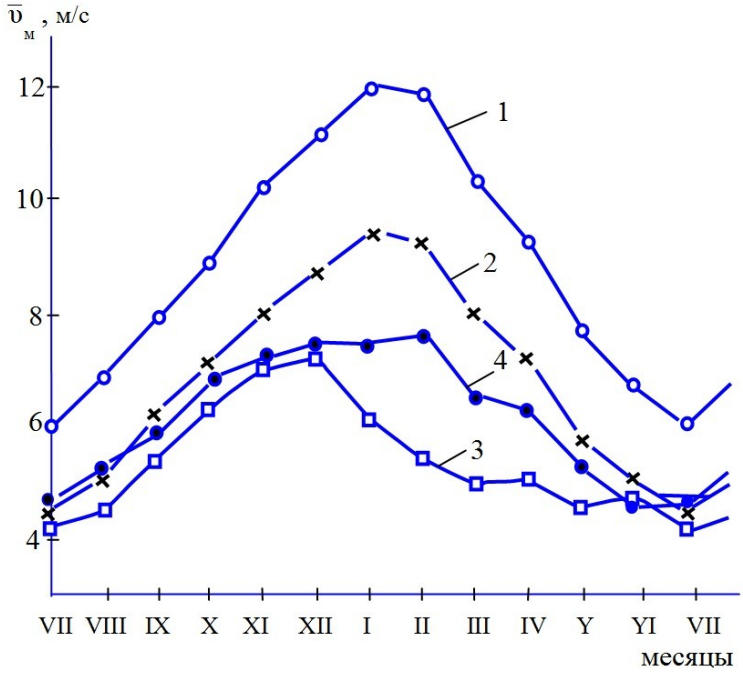


Рис. 2. Годовой ход среднемесячных скоростей ветра на островах (1, метеостанция о. Харлов) и побережье Баренцева моря (2, Дальние Зеленцы), на побережье Белого моря (3, Чаваньга) и на плато в Хибинских горах (4, Центральная)

Основными направлениями развития ветроэнергетики на Кольском п-ове могут быть:

- работа ветропарков в составе энергосистемы (системная ветроэнергетика);
- применение ВЭУ для энергоснабжения удаленных изолированных потребителей (автономная ветроэнергетика);
- участие ВЭУ в теплоснабжении потребителей.

Работа ветропарков в составе энергосистемы перспективна благодаря тому, что верхние водохранилища пяти из шести каскадов ГЭС Кольской энергосистемы обладают емкостью, достаточной как для ведения многолетнего регулирования на ГЭС, так и для участия в выравнивании непостоянства поступления энергии от ветропарков. Особо благоприятными возможностями для аккумулирования энергии в интересах ветроэнергетики располагают Териберское, Серебрянское и Туломское водохранилища. Большая полезная емкость водохранилищ обеспечивает возможность создания значительных запасов энергии, а высокие напоры (113, 76 и 55 м соответственно) делают каждый запасенный кубометр воды весьма энергоэффективным.

Именно в этом районе в ходе выполненных исследований выделено четыре первоочередных площадки для сооружения ветропарков в районе населенных пунктов Лодейное, Териберка и Туманный суммарной мощностью 270 МВт. Технико-экономическая оценка перспектив внедрения ветропарков в структуру Кольской энергосистемы была выполнена по показателю чистого дисконтированного дохода (ЧДД). Этот показатель позволяет учесть инфляцию (обесценивание финансовых средств во времени) и сопоставить в едином масштабе цен инвестиции и последующие доходы за ряд лет. Расчеты показали, что если принять во внимание снижение инфляции в 2017–2018 гг. до 4–5 %, а далее – до 2–3 %. , то дисконтированный срок окупаемости ветропарков, работающих в прибрежных районах Кольского п-ова, может составить 10–12 лет при сроке службы ВЭУ около 20 лет.

Применение ВЭУ для энергоснабжения автономных потребителей перспективно в прибрежных районах Мурманской обл., где имеется большое число удаленных изолированных населенных пунктов (метеостанций, маяков, пограничных застав, объектов Северного флота, рыболовецких колхозов и др.), энергоснабжение которых осуществляется от местных дизельных электростанций и котельных установок. Себестоимость электрической и тепловой энергии, вырабатываемой на таких энергоустановках, в 6–10 раз выше, чем при централизованном энергоснабжении, в первую очередь, за счет дороговизны жидкого топлива (40–60 руб/т у. т.), доставляемого с большими транспортными издержками. Участие ветроэнергетических установок в покрытии графиков электрической и тепловой нагрузки может способствовать экономии топлива, снижению себестоимости вырабатываемой энергии.

Перспективность использования ветровой энергии на нужды теплоснабжения на Кольском п-ове определяется наличием предпосылок, благоприятствующих такому использованию энергии ветра. В первую очередь это продолжительный отопительный сезон (около 9–10 месяцев) и зимний максимум интенсивности ветра, совпадающий с максимум потребности в тепловой энергии со стороны потребителей. Применение ВЭУ позволит превратить ветер из отрицательного климатического фактора, определяющего повышенные теплопотери, в полноценный источник тепловой энергии, способствующий экономии дорогостоящего топлива. При использовании энергии ветра для отопления не обязательны высокие требования к качеству энергии, вырабатываемой ВЭУ. Не критичным становится основной недостаток ветровой энергии — непостоянство во времени, так как имеющие место колебания мощности ВЭУ сглаживаются за счет аккумулирующей способности собственно системы теплоснабжения и отапливаемых зданий.

Технико-экономическая оценка перспектив использования ВЭУ на нужды электро- и теплоснабжения автономных потребителей, выполненная по критерию минимума приведенных затрат, показала, что вовлечение ветроэнергетических установок для этих целей может обеспечить экономию топлива до 50–60 % от годового расхода, снижение себестоимости вырабатываемой электрической и тепловой энергии на 20–30 % и улучшение экологической ситуации в регионе. Минимум приведенных затрат и себестоимости энергии комплексов «ДЭС + ВЭУ» и «котельная + ВЭУ» обеспечивается при мощности ВЭУ, равной 70–80 % от мощности традиционного источника.

Литература

1. Минин В. А. Ресурсы нетрадиционных и возобновляемых источников энергии Мурманской области и приоритеты их использования // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 1. С. 94–101.
2. Энергия ветра — перспективный возобновляемый энергоресурс Мурманской области: препринт / В. А. Минин и др. Апатиты: КНЦ РАН, 2006. 73 с.

В. Н. Селиванов, Я. А. Сахаров
Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, selivanov@ien.kolasc.net.ru
Полярный геофизический институт, Апатиты, sakharov@pgia.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

В Арктическом регионе России существуют особые условия окружающей среды, которые непосредственно влияют на надежность работы электрических подстанций — геоиндуктированные токи (ГИТ), возникающие в протяженных электрических сетях в периоды геомагнитных возмущений, вызванных вспышками на Солнце [1]. В настоящее время этот фактор в России никак не учитывается при проектировании системообразующих подстанций в высоких широтах.

В результате возмущения магнитного поля в удаленных точках на поверхности Земли наводятся разности потенциалов. ГИТ возникают, когда две эти удаленные точки соединяются проводником. В случае электрической сети роль проводника играет многопроводная линия электропередачи, которая соединена с землей через выводы обмоток трансформаторов, нейтрали которых заземлены на подстанциях. При характерной частоте от 0,001 до 0,1 Гц амплитуда ГИТ может достигать 300 А. При протекании такого квазипостоянного тока в протяженной электрической сети с глухозаземленной нейтралью кривая намагничивания трансформаторов может сместиться, что приведет к полупериодному насыщению их сердечников. Это приводит к многократному возрастанию токов намагничивания, что, в свою очередь, приводит к нарушениям симметрии передачи энергии по фазам, появлению высших гармоник, перегреву стали сердечников, резкому росту вибраций, и в конечном итоге, к ускоренному старению изоляции силовых трансформаторов и нарушениям электроснабжения. Кроме того, геомагнитное воздействие носит кумулятивный эффект, снижая срок службы трансформатора. В итоге при наиболее опасных геомагнитных возмущениях в некоторых энергосистемах возможно возникновение серьезных аварий, подобных тем, что произошли в конце прошлого века в пик геомагнитной активности в северных районах США и Канады, а также в Скандинавии [3].

ЦФТПЭС КНЦ РАН совместно с ПГИ проводит работы по исследованию влияния геомагнитных бурь (ГМБ) на состояние энергетических сетей и трансформаторных подстанций на Кольском п-ове и в Карелии с использованием разработанной региональной системы мониторинга ГИТ [2]. Для исследования выбраны подстанции в Кондопоге, Лоухах, Апатитах и Мурманске на магистральной линии 330 кВ и подстанция в пос. Ревда на линии 110 кВ. Такой выбор точек измерения позволяет при развитии магнитосферного возмущения исследовать распределение ГИТ по широте на магистральной линии, ориентированной с юга на север, а также регистрировать ГИТ в линии, направленной с запада на восток.

Система мониторинга позволяет проводить регистрацию квазипостоянных токов в нейтралях трансформаторов, а также контролировать содержание гармоник в сети. Записываются следующие составляющие полного тока в нейтрали, полученные разложением в ряд Фурье с интегрированием на временном интервале 0,1 с:

- постоянная составляющая, несущая информацию непосредственно о ГИТ. Также содержит сигнал смещения нуля датчика тока, обусловленный остаточной индукцией в магнитопроводе и температурным дрейфом;
- амплитудные значения токов первой, второй и третьей гармоники, которые позволяют оценить изменение гармонического состава полного тока в нейтрали при протекании ГИТ значительной амплитуды. В нормальном режиме токи второй и третьей гармоники пренебрежимо малы, поэтому можно считать, что их рост обусловлен только искажением из-за замагничивания магнитопровода ГИТ. Ток первой гармоники и в рабочем режиме может достигать ощутимых значений за счет различных несимметрий в энергосистеме и трансформаторе.

Кроме того, регистрируются мгновенные значения токов, протекающих в нейтралях при различного рода переходных процессах, например, коммутациях, коротких замыканиях или грозовых воздействиях. Кривая тока содержит 256 точек при частоте дискретизации 14400 Гц, то есть можно получить сигнал длительностью 18 мс (почти период промышленной частоты). Блок записи мгновенных значений срабатывает по условию превышения некоторого порогового значения производной от тока нейтрали в данный момент времени.

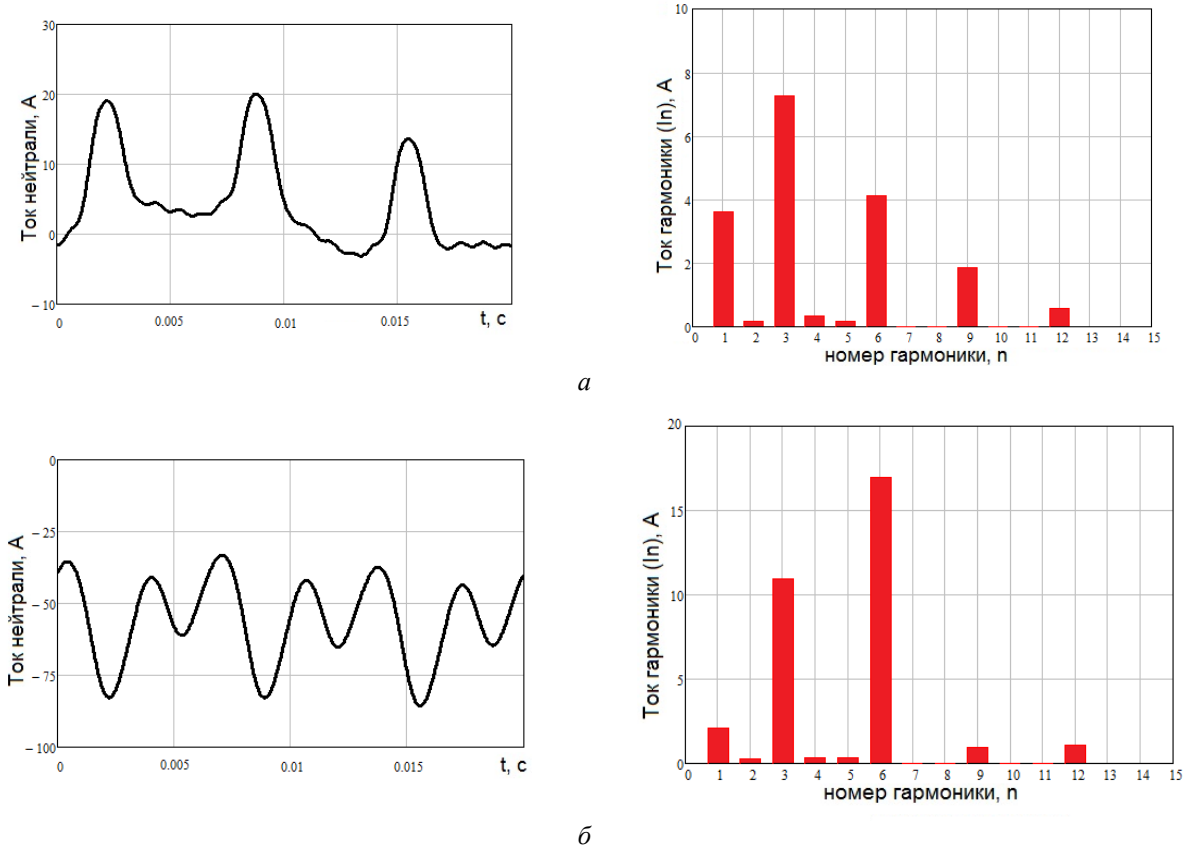
С 2011 г. система мониторинга зарегистрировала порядка 100 запусков блока записи мгновенных значений, обусловленных воздействием ГИТ, причем все события произошли на подстанции в Лоухах. Эта подстанция введена в строй в 2009 г., и на ней установлены два автотрансформатора мощностью 125 МВА производства фирмы Areva Enerji Endustrisi (Турция). На вводимых в последние годы подстанциях зачастую устанавливают автотрансформаторы импортного производства, при создании которых одним из основных критериев является экономическая целесообразность. Магнитопроводы таких трансформаторов спроектированы для работы в предельных режимах, когда рабочая точка находится вблизи точки насыщения.

В периоды сильных геомагнитных возмущений ГИТ через нейтрали подстанции Лоухи достигает значений 50 А, при этом содержание третьей гармоники в токе нейтрали повышается в десятки раз. В то же время на подстанции «Выходной», где установлен автотрансформатор типа АТДЦТН мощностью 250 МВА, при ГИТ порядка 100 А содержание третьей гармоники в токе нейтрали изменяется только в пять раз. Таким образом, можно констатировать более быстрое и глубокое насыщение трансформатора на подстанции «Лоухи».

Примеры регистрации мгновенных значений тока в нейтрали трансформатора в Лоухах и его спектр представлены на рис. 1. Уже из приведенных иллюстраций видно, что гармоники тока нейтрали растут

непропорционально с ростом ГИТ. При больших значениях ГИТ магнитопровод трансформатора намагничивается, что приводит к резкому росту 6-й, четной гармоники нулевой последовательности

По результатам обработки порядка 40 кривых тока в нейтрали были построены зависимости токов гармоник от ГИТ, показанные на рис. 2. Использовались только регистрации при ГИТ от 20 до 60 А. При меньших токах значительную погрешность вносят сигналы смещения первичного датчика (температурный дрейф, остаточное намагничивание магнитопровода клещей). Эту погрешность практически невозможно устранить, так как она лежит в том же частотном диапазоне, что и ГИТ.



а

б

Рис. 1. Кривая и спектр тока в нейтрали трансформатора при ГИТ 4,5 (*а*) и 56 (*б*) А

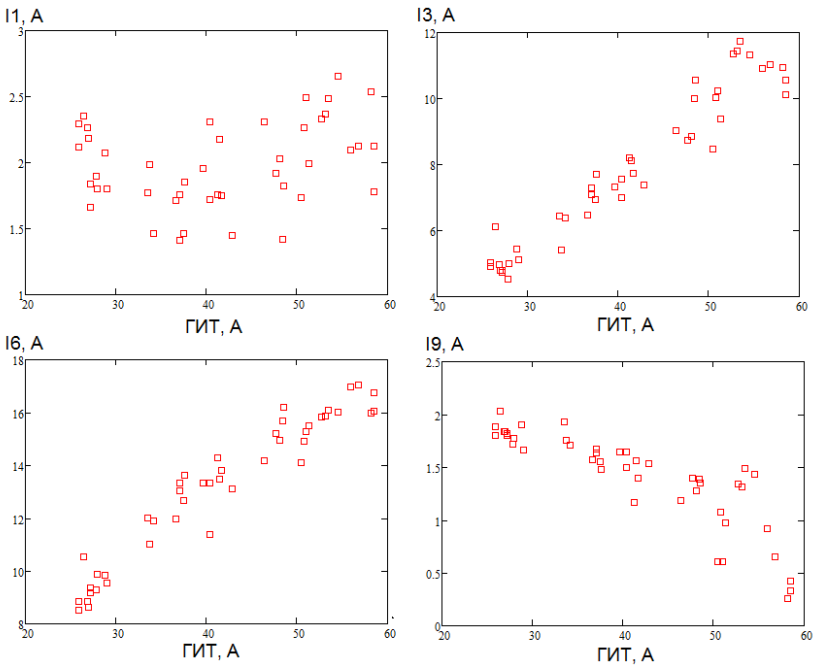


Рис. 2. Зависимости амплитуд токов гармоник в нейтрали трансформаторов от величины ГИТ

В идеально симметричной трехфазной схеме в токе нейтрали должны отсутствовать гармоники прямой (гармоники с номерами 3k-2, где k изменяется от 1 до бесконечности) и обратной последовательностей (3*k*-1), так как в разных фазах между этими гармониками взаимная разность фаз составляет 120 градусов, поэтому сумма таких токов равна нулю. Гармоники нулевой последовательности (3k) синфазны, поэтому ток нейтрали равен утроенному значению фазных токов.

Кроме того, если вольт-амперные характеристики всех элементов схемы являются симметричными, то в токе нейтрали должны отсутствовать также четные гармоники. Появление таких гармоник в токе нейтрали означает, что ВАХ трансформатора сместилась в результате намагничивания магнитопровода квазипостоянным током ГИТ.

Реальные трехфазные электрические сети не являются симметричными. Бывают несимметрии фазных напряжений и нагрузок (токов), а также несимметрии магнитных потоков в магнитопроводах трансформаторов. Именно поэтому в нейтрали всегда присутствует ток первой гармоники, значение которого меняется в зависимости от режима работы автотрансформатора и его нагрузки.

Как видно из приведенных зависимостей, ток первой гармоники не зависит от ГИТ, токи 3 и 6 гармоник растут линейно, то есть их относительное содержание в токе нейтрали остается неизменным в данном диапазоне изменения ГИТ. Поведение девятой гармоники требует изучения, так как и абсолютное и относительное содержание ее в токе нейтрали с ростом тока намагничивания снижается, причем по степенному закону с показателем порядка от 2 до 5. Как показывают предварительные исследования, такой эффект объясняется резонансно-волновыми явлениями в линиях электропередачи 330 кВ, питающих подстанцию Лоухи. Резонансный колебательный контур включает нелинейно зависящую от тока индуктивность трансформатора и две воздушные линии с распределенными параметрами длиной порядка 100 км каждая. При определенных соотношениях длины воздушной линии и частоты гармоники, а также в зависимости от величины намагничивания трансформатора квазипостоянным током, в линии возможно возникновение разного рода резонансов токов и напряжений, которые приводят к относительному «усилению» или «ослаблению» отдельных гармоник.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Мурманской области (проект № 17-48-510199 р_север_а).

Литература

1. Ефимов Б., Сахаров Я., Селиванов В. Геомагнитные штормы. Исследование воздействий на энергосистему Карелии и Кольского полуострова // Новости ЭлектроТехники. 2013. № 2 (80). С. 30–33.
2. Система регистрации геоиндуктированных токов в нейтралях силовых автотрансформаторов / М. Б. Баранник // ПТЭ. 2012. № 1. С. 118–123.
3. Boteler D. Geomagnetic Effects on Power Systems // Electrification IEEE Magazine. 2015. Vol. 3, No. 4. P. 4–7.

Секция 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ

П. В. Амосов[1], А. А. Бакланов[2,3], В. А. Маслобоев[4]
[1]*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты, vosoma@goi.kolasc.net.ru*
[2]*Всемирная метеорологическая организация, aabaklanov@yahoo.com*
[3]*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, aabaklanov@yahoo.com*
[4]*Кольский научный центр РАН, Апатиты*

ЭФФЕКТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА АПАТИТЫ ОТ ПЫЛЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ УЧАСТКОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА АНОФ-2

Последний отчет ООН «Global assessment of sand and dust storms» [5] Генеральной Ассамблее ООН отметил пыление от техногенных песчаных поверхностей (хвостохранилища и пр.) как одну из важных проблем атмосферного загрязнения населенных пунктов. Результаты предыдущих исследований авторов показали [1], что при фиксированной скорости ветра рост высоты пылящей поверхности вызывает увеличение концентрации мультидисперсной пыли вниз по потоку. В текущем году авторы на базе собственного методического подхода [3] завершают цикл исследований по изучению влияния скорости ветра (от 5 до 23 м/с) в районе хвостохранилища на уровень загрязнения атмосферы пылью при фиксированной, например максимальной проектной, высоте хвостохранилища. Основные результаты исследований, осуществляемых методами численного моделирования в трехмерной постановке, обобщены и направлены в редакцию одного из российских журналов горного профиля.

Для дальнейшего понимания результатов излагаемого материала необходимо сделать некоторые пояснения. В численных экспериментах по турбулентному переносу мультидисперсной пыли размером до 70 мкм в качестве источника пыления задавалась вся площадь пляжа хвостохранилища, но при анализе результатов расчетов (в терминах концентрации пыли) вводился корректирующий коэффициент, учитывающий только пылящую площадь. По данным специалистов компании ЗАО «Механобр Инжиниринг», по результатам натурных наблюдений в 2006–2008 гг. площадь пыления составляла, по одним данным, 10,9 га и, по другим, 8,2 га [4]. В условиях, когда имеется большая неопределенность в задании конкретных участков пыления на поверхности пляжа на момент фиксации пылевых бурь при сильном северо-западном ветре, такой подход через корректирующий коэффициент достаточно объективен: вполне логично задавать процент пылящей поверхности от всей площади пляжа хвостохранилища.

При анализе результатов расчетов внимание авторов было акцентировано на поинтервальные и суммарные значения концентрации пыли в ячейке модели (она соответствует центру г. Апатиты на высоте +2 м от поверхности), рассчитанные для зависимости Д. Л. Вестфалем с соавторами [6] и схемы DEAD [3]. На рис. 1 представлены графики суммарной концентрации пыли в обсуждаемой ячейке для указанных подходов описания процесса пыления в зависимости от референтной скорости ветра U_{10} на высоте +10 м от основания модели.

ПДК по пыли в соответствии с действующими гигиеническими нормативами ГН 2.1.6.1338-03 [2], содержащей двуокись кремния в интервале 20–70 %, в качестве максимальной разовой концентрации составляет 0,3 мг/м^3.

Из представленных на рис. 1 кривых видно, что для условия нулевой влажности песка (максимальная интенсивность пыления) при скоростях ветра менее 8 м/с превышение порогового уровня загрязнения не прогнозируется, однако дальнейший рост скорости ветра будет приводить к росту концентрации пыли и постепенному превышению значения ПДК, а при штормовых ветрах это превышение становится уже значительным.

Заметим, что, согласно указанному выше отчету ЗАО «Механобр Инжиниринг» [4], значения скорости ветра выше 8 м/с хотя и редки (вероятность превышения менее 5 %), но возможны. Поэтому противопылевые мероприятия экологических служб АО «Апатит» на хвостохранилище АНОФ-2 по снижению площади пыления, безусловно, необходимы и полезны. Представляется, что даже при штормовом северо-западном ветре (20–23 м/с) снижение площади пыления на пляже хвостохранилища до 1 га должно обеспечить нормативную чистоту атмосферы г. Апатиты.

На текущем этапе исследований авторами предпринята попытка оценить уровень загрязнения атмосферы в районе г. Апатиты, если источник пыления не усреднять по поверхности пляжа хвостохранилища, а рассматривать его дискретным. В качестве референтной скорости ветра на высоте +10 м над основанием модели принято значение 23 м/с, т. е. штормовой ветер, при котором прогнозируется максимальное загрязнение атмосферы. Из бесконечного количества возможных вариантов дискретного распределения источников пыления рассмотрено всего четыре варианта (см. рис. 2) «компактного» расположения участков пыления прямоугольной формы размером 500×200 м (т. е. те же 10 га): Site I, Site II (продольные), Site III и Site IV

(боковые). Естественно, что в этой ситуации для каждого участка пыления выполнены оценки всех параметров, необходимых для расчета интенсивности пыления (осредненная горизонтальная компонента скорости ветра на высоте +10 м над участком пыления и динамическая скорость).

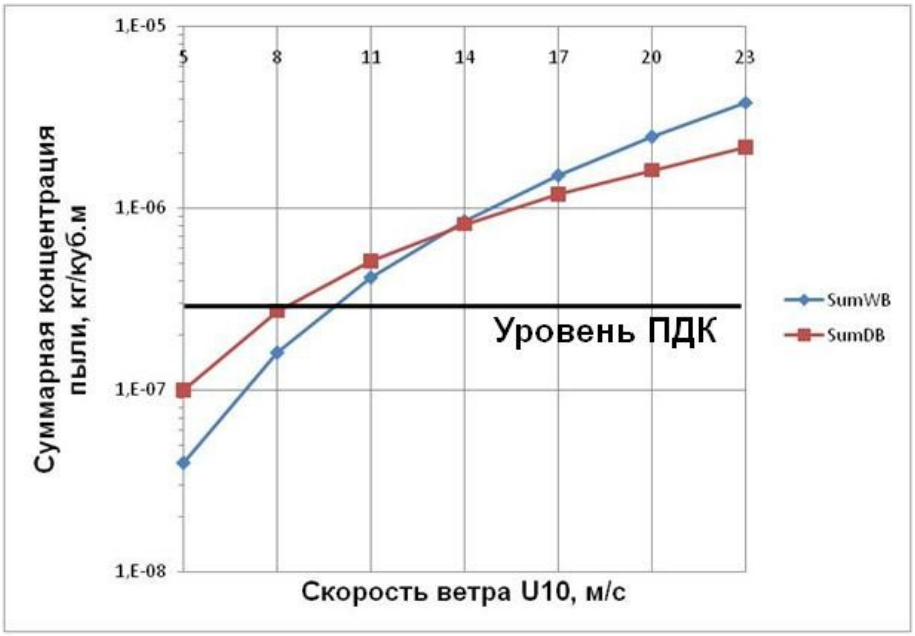


Рис. 1. Расчетные значения суммарной концентрации пыли в зависимости от скорости ветрового потока на референтной высоте для площади пылящей поверхности 10,9 га

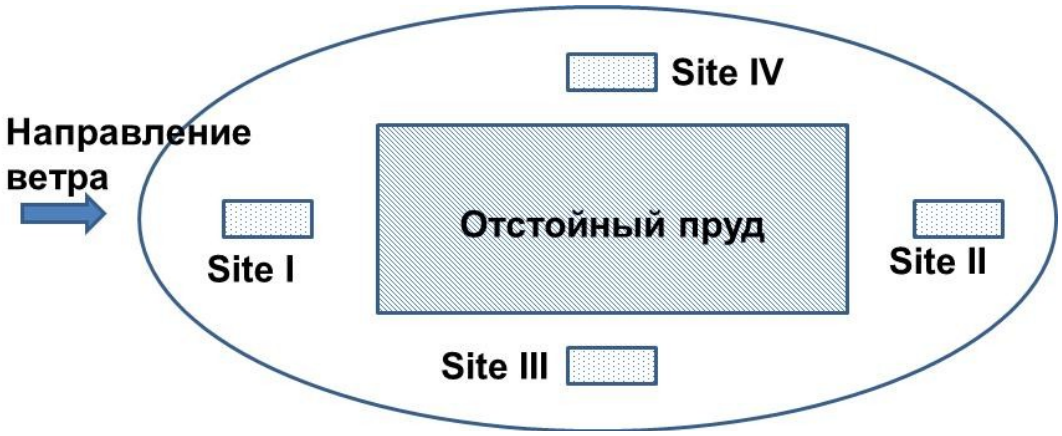


Рис. 2. Схематичное расположение на территории хвостохранилища участков пылящей поверхности при вариации их местоположения

Оказалось, что значения динамической скорости минимальны для продольных участков Site I и Site II (2,223 и 2,213 м/с соответственно) и максимальны для боковых участков Site III и Site IV (2,459 и 2,562 м/с соответственно). Оценки интенсивности пыления, рассчитанные для зависимости Westphal et al. [6], показали следующие результаты для участков Site I, Site II, Site III и Site IV: $7{,}08 \cdot 10^{-4}$, $6{,}96 \cdot 10^{-4}$, $1{,}06 \cdot 10^{-3}$ и $1{,}25 \cdot 10^{-3}$ кг/(м^2·с) соответственно. Представляется, что возможными причинами в различиях значений указанных расчетных параметров для продольных (Site I и Site II) и боковых (Site III и Site IV) участков пыления могут быть следующие:

- неоднородность поля скорости для продольных и боковых участков, связанная с принятой в модели формой хвостохранилища (верхняя половина усеченного эллипсоида при соотношении продольного и поперечного размера 2:1);
- наличие в модели вблизи участка Site IV возвышенности, которая является предгорьем Хибин.

Результаты выполненных оценок загрязнения атмосферы для каждого указанного выше участка пыления представлены в форме пространственного распределения суммарной концентрации пыли в поперечном направлении к ветровому потоку (см. рис. 3). Рассматриваемое сечение проходит через центр модели г. Апатиты на высоте +2 м от поверхности, что позволяет сравнивать результаты оценок загрязнения атмосферы при штормовом ветре (рис. 1 и 3).

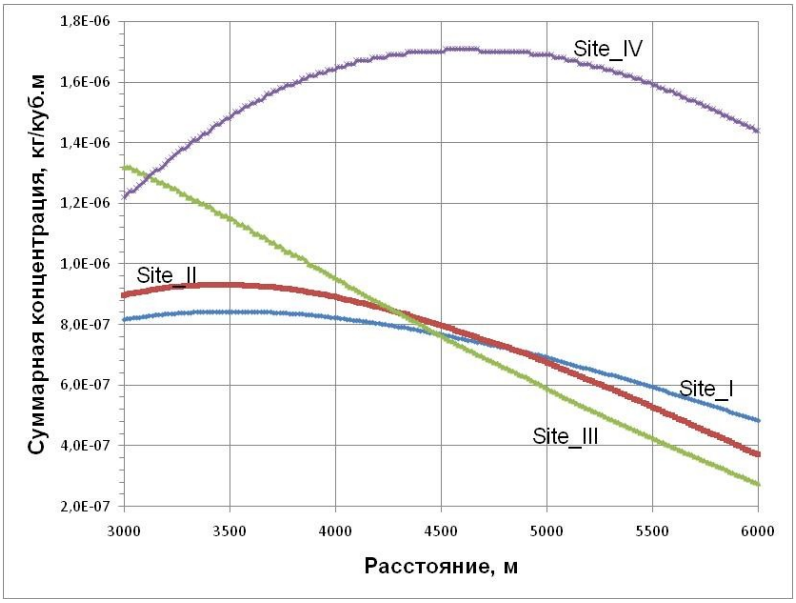


Рис. 3. Пространственное распределение суммарной концентрации пыли в поперечном направлении к ветровому потоку при вариации местоположения участков пылящей поверхности

Анализ поведения представленных кривых позволяет обратить внимание на следующие моменты:

- имеет место превышение уровня ПДК по пыли (0,3 мг/м^3) во всем рассматриваемом сечении для любого участка пыления;
- для центральной части модели г. Апатиты наиболее серьезное превышение уровня ПДК прогнозируется для участка пыления Site IV. В этом отношении остальные рассмотренные участки пыления равноценно менее опасны (практически вдвое);
- оба продольных участка пыления Site I и Site II, а также боковой Site III оказывают максимально негативное воздействие на район, называемый Старые Апатиты, что объясняется влиянием предгорьем Хибин на формирующуюся структуру поля скорости.

Таким образом, в работе представлены результаты двух задач по исследованию загрязнения приземного слоя атмосферы при максимальной проектной высоте пляжа хвостохранилища АНОФ-2:

- влияние скорости ветрового потока в интервале 5–23 м/с для условия равномерного пыления;
- эффект дискретных участков пыления при штормовом ветре.

1. Результаты анализа численных экспериментов по прогнозу загрязнения атмосферы г. Апатиты при вариации скорости набегающего потока в диапазоне 5–23 м/с с учетом равномерно распределенной реальной площади пыления (порядка 10 га) свидетельствуют о следующем:

- при скорости ветра до 8 м/с не прогнозируются ситуации превышения ПДК по пыли в г. Апатиты, но при более высокой скорости ветра, продолжительном отсутствии осадков и сохранении реальной площади пыления будет иметь место существенное превышение уровня ПДК;
- соблюдение условия санитарно-гигиенических норм при штормовых ветрах (20–23 м/с) возможно обеспечить за счет сокращения текущей площади пыления (закрепление пылящих поверхностей, рекультивация и т. д.), по крайней мере, на порядок.

2. Учет потенциального дискретного расположения источников пыления при штормовой скорости ветра также подтверждает прогноз превышения загрязнения уровня ПДК для г. Апатиты. При этом наиболее опасным в целом для города является боковое расположение участков пыления со стороны предгорья Хибин (Site IV), что позволяет, прежде всего, рекомендовать природоохранным подразделениям АО «Апатит» обратить особое внимание на эту часть хвостохранилища. Для остальных потенциальных участков пыления в наиболее сложном положении по уровню загрязнения атмосферы оказывается район Старых Апатитов, что объясняется структурой поля скорости. Снижение площади пыления рассматриваемых участков от 3 до 6 раз позволит уменьшить содержание пыли в атмосфере г. Апатиты даже при штормовом ветре на уровень ПДК.

Литература

1. Амосов П., Бакланов А., Ригина О. Численное моделирование процессов пыления хвостохранилищ. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 109 с.
2. ГН 2.16.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/42/42030/ (дата обращения 12.11 2016).
3. Маслобоев В. А., Бакланов А. А., Амосов П. В. Эффект скорости ветрового потока на интенсивность пыления хвостохранилища // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 177–182.

4. Реконструкция хвостохранилища до отметки 200 м: проектная документация. 3463-ООС / ЗАО «Механобр инжиниринг»; рук. Смирнов Г. Н.; исп. Григорьева М. Б., Сидоренкова О. И., Яковлева Е. А. СПб., 2010. Т. 6. 279 с.
5. UNEP-WMO-UNCCD, 2016: Global assessment of sand and dust storms / G. E. Shepherd et al.; UNEP. Nairobi, 2016. URL: http://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/global_assessment_of_sand_and_dust_storms.pdf (дата обращения 12.12.2016).
6. Westphal D.L., Toon O.B., Carlson T.N. A Case-Study of Mobilization and Transport of Saharan Dust // Journal of the Atmospheric Sciences. 1988. No. 45. P. 2145-2175.

Н. С. Арешина, А. Г. Касиков
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты
areshina@chemy.kolasc.net.ru

К ВОПРОСУ УТИЛИЗАЦИИ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ПЫЛЕГАЗОВОГО ПОТОКА МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

В Экологической доктрине Российской Федерации определены направления государственной политики в области экологии, в число которых входят рациональное использование невозобновляемых природных ресурсов и снижение загрязнения окружающей среды сбросами и отходами. При этом на предприятиях, перерабатывающих медно-никелевое сырье, по большей части введенных в эксплуатацию в 1940–1980-х гг., вопросам экологической безопасности не уделялось достаточного внимания, а более поздние усовершенствования были направлены в основном на увеличение выпуска готовой продукции. Кроме того, в условиях Арктической зоны Российской Федерации, где расположены крупнейшие медно-никелевые производства, вследствие хрупкости арктических экосистем экологические риски многократно возрастают, что делает задачу рационального использования сырья с одновременным решением вопросов экологически безопасной утилизации отходов производства еще более актуальной.

В ИХТРЭМС КНЦ РАН в течение ряда лет проводятся исследования, направленные на разработку способов утилизации некондиционных продуктов медно-никелевого производства, при этом поставленные задачи включают не только снижение выводимых из технологического цикла растворов и твердофазных отходов, но и обеспечение извлечения ценных компонентов с применением наиболее экологически и экономически обоснованных методов.

Сернокислые растворы системы очистки пылегазового потока на АО «Кольская ГМК» являются одним из таких проблемных продуктов, что обусловлено не только их значительными объемами, но и широкими пределами возможных концентраций серной кислоты и цветных металлов, а также наличием редких элементов в растворе или в твердофазной взвеси.

Анализ известных способов утилизации некондиционных растворов свидетельствует о возможности применения различных методов для их переработки [1–51, 3–6], однако следует учитывать, что на практике важным условием внедрения технологий является минимизация капитальных вложений для их реализации.

Одним из подходов к утилизации некондиционных растворов является их использование взамен товарных реагентов для переработки продуктов, имеющих близкий химический состав. Так, промывную серную кислоту авторами ранее предложено применять в процессе выщелачивания медного огарка, для репульпации железистых кеков и выщелачивания некоторых видов пылей. Комплексное использование сырья обеспечивают схемы, включающие извлечение ценных компонентов с целью их концентрирования и (или) очистки растворов, в результате чего также существенно расширяются возможности их использования в основной технологии.

Исследования показали, что близкий ионный состав растворов промывной серной кислоты мокрой газоочистки и сильнокислых газоходных конденсатов, образующихся на различных участках системы очистки газов, позволяет осуществлять их совместную переработку.

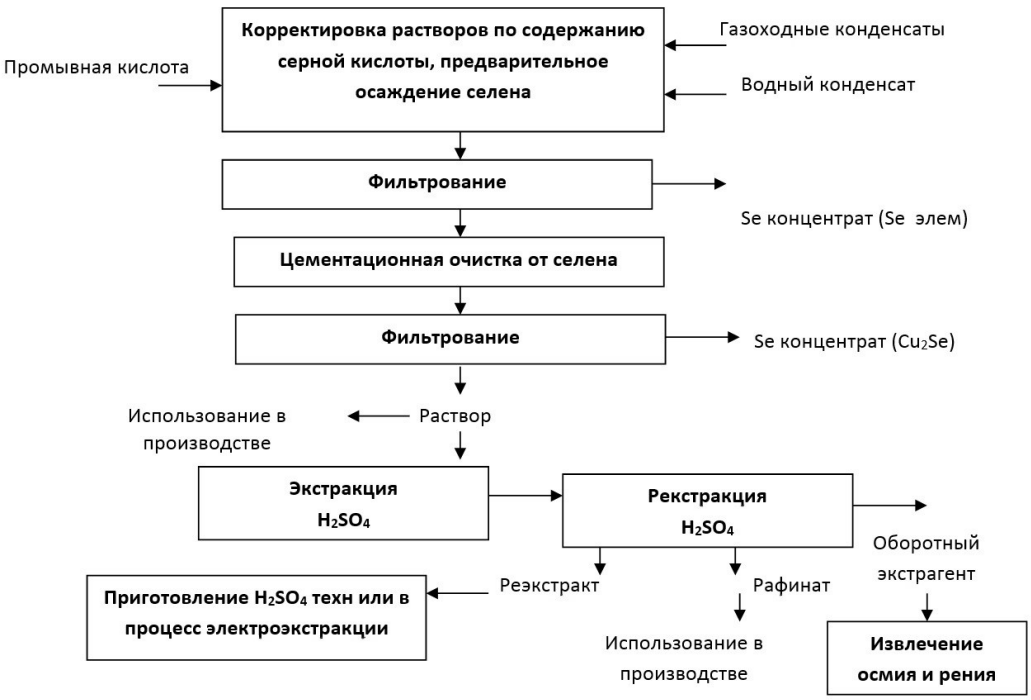
Для извлечения и концентрирования элементов при их низких содержаниях, особенно в случае значительных объемов растворов, сорбционный способ является наиболее предпочтительным. В результате проведенных исследований показана эффективность извлечения цинка и осмия на высокоосновных анионитах Purolite PFA600/4740 и PFA460/4783, при этом рост содержания Cl^- до 36 г/л способствует сорбции. Полученные данные также свидетельствуют о том, что влияние концентрации серной кислоты на извлечение цинка наиболее заметно при низких содержаниях Cl^-, в то время как дополнительное введение хлор-иона делает эту зависимость незначительной. Это очень важно при переработке данного вида растворов, отличающихся широким диапазоном возможных концентраций H_2SO_4. Десорбция водой позволила извлечь в элюат 74–99 % цинка, экспериментально подтверждена также возможность регенерации анионита и его использования в течение длительного времени для цинкоочистки. Степень извлечения осмия, в зависимости от кислотности и содержания хлор-иона составила 78,1–93,0 %, при этом осмий сорбируется необратимо. Дальнейшая переработка смолы с целью извлечения осмия после насыщения смолы по этому элементу может быть проведена методом гидротермальной отгонки, применявшимся ранее для переработки смолы АМП [52].

Следует отметить, что сорбционный способ не может быть рекомендован к использованию для очистки высокоселенистых растворов ($C_{Se} > 10$ г/л) из-за конкурирующего влияния сорбции селена и перераспределению по промежуточным продуктам при элюировании и переработке смолы.

В соответствии с разработанной экстракционной технологией проводится извлечение серной кислоты из растворов смесью, состоящей из 20–40 % третичного амина и октанола-2, в результате чего 60–70 % H_2SO_4 переходит в органическую фазу. Последующая водная реэкстракция обеспечивает получение очищенной кислоты, пригодной для использования в процессе электроэкстракции меди взамен технического реагента или для получения более чистой H_2SO_4. Кроме того, в процессе экстракции происходит концентрирование в органической фазе до 70–80 % содержащегося в растворах осмия и рения. После насыщения экстрагента по содержанию этих элементов они могут быть выделены из него путем щелочной реэкстракции с последующим получением осмиевых и рениевых солей.

Изучение распределения селена при экстракционной переработке растворов показало, что этот элемент более чем на 25 % переходит в сернокислый реэкстракт, ограничивая использование сернокислого раствора в основной технологии. Глубокую очистку растворов от селена предложено проводить методом цементации на медьсодержащем реагенте, в частности, с использованием промежуточных продуктов медно-никелевой технологии — медной стружки и цементной меди. Исследованы основные закономерности извлечения селена методом цементации на медьсодержащих реагентах, в результате чего независимо от содержания Cl^- остаточное содержание этого элемента было снижено до $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ г/л (CH_2SO_4 100–700 г/л). Укрупненные лабораторные испытания подтвердили возможность глубокого извлечения селена цементацией на медьсодержащем реагенте с корректировкой кислотности растворов до содержания серной кислоты не более 700 г/л.

Предложена технологическая схема переработки растворов системы очистки пылегазового потока (рис.), включающая смешивание некондиционных растворов и пульп газоочистки различной кислотности с корректировкой содержания серной кислоты, предварительное выделение твердофазной взвеси и глубокую цементационную очистку. После этого очищенный от селена раствор может быть напрямую использован в основной технологии или направлен на экстракцию для получения серной кислоты и извлечения осмия и рения.



Принципиальная технологическая схема утилизации растворов очистки пылегазовой фазы медно-никелевого производства

Реализация предложенной технологии позволит обеспечить использование всего объема некондиционных растворов и пульп, образующихся в системе очистки пылегазовой фазы, при этом, в зависимости от потребностей предприятия, возможно также получение дополнительной продукции: товарной серной кислоты и редкометалльных соединений в виде первичных концентратов или товарных соединений.

Исследования выполнены при частичной поддержке по Программе фундаментальных исследований Отделения химии и наук о материалах РАН (Программа № 5 «Создание новых видов продукции из минерального и органического сырья»).

Литература
1. Алексеева Р. К., Хатеева Т. Г. Утилизация промывной серной кислоты сернокислотного цеха комбината «Североникель» // Цветные металлы. 1972. № 12. С. 61–62.
2. Пат. 2057071 Российская Федерация, МПК[6]C01G 47/00, 55/00, 28/00.Способ извлечения рения, осмия и мышьяка из ренийсодержащей промывной серной кислоты / Трошкина И. Д. и др.; Московский химико-технолог. ин-т им. Д. И. Менделеева. № 93016631/26;заявл. 31.03.93; опубл.27.03.96, Бюл. № 9.
3. Пат. 2131939 Российская Федерация, МПК[6] C22B 11/00, 3/24. Способ извлечения осмия из ионообменной смолы / Касиков А. Г. и др.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья им. И. В. Тананаева Кол. науч. центра РАН; ОАО «Комбинат "Североникель"». № 98111992/02; заявл. 22.06.98, опубл. 20.06.99, Бюл. № 17.
4. Пат. 2159293 Российская Федерация, МПК[7]C22B 3/20, C01B 17/90. Способ переработки растворов, содержащих серную кислоту и цветные металлы / Мироевский Г. П. и др.; ОАО «Кольская горно-металлургическая компания». № 2000103985/02; заявл. 21.02.00; опубл. 20.11.00, Бюл. № 32.
5. Пат. 2291840 Российская Федерация, МПК C01G 47/00, 55/00 (2006.01). Способ извлечения осмия и рения из промывной серной кислоты / Касиков А. Г. Арешина Н. С., Петрова А. М.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. сырья им. И. В. Тананаева Кол. науч. центра РАН. № 2005108797/15; заявл. 28.03.05; опубл. 20.01.2007, Бюл. № 2.
6. Переработка техногенных отходов / Л. А. Смирнов и др. Екатеринбург: УИПЦ, 2012. 607 с.

Н. А. Артемкина
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, artemkina@inep.ksc.ru

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МХОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Мхи (Bryophyta) нередко доминируют в напочвенном покрове северных экосистем в экстремальных условиях обитания. Экологическая амплитуда их довольно широка, так как они могут жить в воде, на обнаженных скалах, на деревьях и даже в пустынях и степях. Однако большинство видов приурочено к тенистым, влажным местообитаниям. Мхи участвуют в создании особых биоценозов, особенно там, где почти сплошь покрывают почву (*тундра*). Играют большую роль в регулировании водного баланса ландшафтов, так как способны впитывать и удерживать большое количество воды. У зеленых мхов нет *цветков*, корней и проводящей системы, и они не синтезируют истинный лигнин. Было показано, что мхи разлагаются более медленно, чем сосудистые растения в разнообразных экосистемах [3, 4].

Медленное разложение мхов объясняют [11]: 1) низкими концентрациями азота; 2) изобилием мертвых гиалиновых клеток в ткани *сфагновых* мхов. В стеблях они образуют многослойный покров (гиалодерму), в *листовых пластинках* располагаются в ячейках между трубчатыми *хлорофиллоносными* клетками. Это крупные мертвые клетки со спиральными утолщениями внутренней части оболочек и сквозными отверстиями, через которые в них поступает вода. Именно наличием гиалиновых клеток обусловлена большая влагоемкость сфагновых [1]: 3) растворимыми фенольными соединениями, типично производимыми некоторыми бриофитами [8]; 4) нерастворимыми фенольными соединениями, которые могут маскировать целлюлозу и делать ее более стойкой к микробному разложению [12]. С учетом того, что существует много биогеоценозов с доминированием мхов, ответы этих биогеоценозов на любое экологическое воздействие можно в значительной степени объяснить физическими и химическими свойствами доминирующих мхов [10, 11]. В некоторых исследованиях были найдены широкие различия в качестве отмирающих тканей [5, 11] и скорости разложения [3, 6] среди доминирующих мхов.

Определение для различных видов мхов химического состава, наравне со скоростью разложения относительно микросреды обитания, а также темпов роста, могут помочь в выявлении механизмов, управляющих медленным разложением отмершей части бриофитов, которое ведет к их накоплению в некоторых северных экосистемах.

Наше исследование было направлено на определение химического состава четырех видов мхов, произрастающих в центральной части Мурманской обл. В качестве объектов исследования выступали зеленые мхи *Hylocomium splendens* (Hedw.) *Schimp. in B.S.G., Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Polytrichum commune* Hedw. и сфагновые *Sphagnum* spp, входящие в состав видов напочвенного покрова в ельнике кустарничково-зеленомошном, произрастающем в окрестностях оз. Умбозеро (67°29'N 34°32'E) (рис. 1). Главная лесообразующая порода на выбранной площадке — *Picea obovata* Ledeb. Отбор проб производился в трехкратной повторности в конце августа (конец периода вегетации) 2011 г. Мхи отделяли на различные вегетативные части. Разделение производили на текущий прирост (текущий год), частично зеленую часть (последний год) и отмирающую часть (бурая часть). В лаборатории образцы высушивали, затем каждый образец измельчали и просеивали через сито 1 мм. Содержание лигниноподобного вещества, целлюлозы и ADF определяли путем обработки пробы 72 %-й серной кислотой после предварительного кипячения в растворе цетилтриметиламмония бромида в 0,5M H_2SO_4 [9]. Концентрации фенольных соединений устанавливали фотоколориметрическим методом (730 нм) с реактивом Фолина-Чокальтеу, представленным в работе [7].

Содержание химических элементов в растительных образцах определяли после разложения концентрированной азотной кислотой (мокрое озоление), содержание калия — атомно-эмиссионной спектрометрией; других элементов — атомно-абсорбционной спектрометрией (Analyst 800 spectrometer). Азот определяли по Къельдалю, углерод — по Тюрину.



Рис. 1. Схема расположения площадки отбора проб

Состояние наземной растительности качественно характеризует загрязнение воздушного бассейна и почвенного покрова в зоне влияния антропогенной нагрузки, а ее химический состав является индикатором состояния почв на исследуемой территории (табл.). В данной работе для определения уровня стрессовой нагрузки на выбранный объект проведено сопоставление полученных данных содержания определяемых элементов во мхах-фитоиндикаторах с фоновыми значениями, приведенными в монографии [2].

Содержание минеральных элементов (мг/кг), лигниноподобных веществ (%), целлюлозы (%) и фенольных соединений (мг/г) во мхах (n = 3–5)

Химический состав	*Hylocomium splendens*	*Polytrichum commune*	*Pleurozium schreberi*	*Sphagnum* spp.
Al	228,9±16,7	2357,5±142,0	287,0±18,0	208,2±39,8
Mg	921,3±119,4	568,2±43,2	1014,1±45,3	1163,4±72,3
Fe	149,0±86,4	248,6±64,7	146,1±11,4	115,5±11,9
Ca	2944,9±392,5	907,2±151,3	2648,7±78,2	3409,2±605,1
K	5459,7±457,3	6207,1±236,3	5375,4±234,2	7229,2±405,0
Mn	220,5±97,2	245,7±18,2	417,4±92,6	199,5±36,7
Cu	6,3±0,4	7,2±0,5	6,1±0,4	3,7±0,1
Ni	13,9±8,8	5,4±0,4	6,2±1,0	5,7±1,5
Zn	23,5±5,4	20,2±1,3	30,2±2,0	30,2±3,5
N	0,81±0,13	0,81±0,03	0,77±0,06	0,82±0,05
C/N	58±11	55±2	62±6	51±5
Лигниноподобное вещество	18,9±0,8	20,1±2,6	18,1±0,5	2,0±0,2
Целлюлоза	38,1±3,4	32,5±2,7	32,9±1,8	51,8±5,0
Фенольные соединения	1,3±0,1	3,8±0,3	1,6±0,1	3,8±0,4

Примечание. Представлены средние арифметические ± стандартная ошибка.

Валовое содержание тяжелых металлов Cu, Ni и Zn во всех исследуемых растительных пробах находилось ниже предела обнаружения применяемого аналитического оборудования, при пересчете на навеску — ниже 50 мг/кг. Вариабельность содержания тяжелых металлов [2] в растениях фоновых территорий Мурманской обл., мг/кг: мхи Cu — 32; Ni — 17–33; Zn — 184–202.

Вариабельность фонового содержания K в зеленых мхах, произрастающих в сосновых лесах, составляет 3479–13861 мг/кг, в еловых лесах верхний предел поднимается до 10138 мг/кг. Диапазон валового содержания K во мхах на территории выбранного объекта — 5459–7229 мг/кг, что соответствует региональному фону.

Нижний предел фонового содержания Ca, составляющий 1604 мг/кг, отмечен в зеленых мхах, которые произрастают в еловых лесах, для них же характерен верхний предел — 3956 мг/кг. Диапазон валового содержания Ca во мхах на территории выбранного объекта колеблется в пределах 907–3409 мг/кг, что соответствует региональному фону.

Вариабельность фонового содержания Mg в зеленых мхах, произрастающих в сосновых лесах, составляет 693–970 мг/кг, в еловых — верхний предел не поднимается выше 1976 мг/кг. Диапазон валового содержания Mg во мхах на территории объекта — 568–1163 мг/кг, что соответствует региональному фону.

Нижний предел фонового содержания Mn, составляющий 110 мг/кг, отмечен в зеленых мхах, произрастающих в еловых лесах, для них же характерен верхний предел — 919 мг/кг, незначительно отличается от этого значения верхний предел по мхам в ельниках. Диапазон валового содержания Mn во мхах на территории выбранного объекта — 199–417 мг/кг, что соответствует региональному фону.

Максимум фонового содержания Al и Fe в зеленых мхах хвойных лесов Мурманской обл. весьма высок и составляет 3971 мг/кг — для Al, и 2405 мг/кг — для Fe. Диапазон валового содержания Al во мхах на территории выбранного объекта — 208–2357 мг/кг, Fe — 115–248 мг/кг, что также свидетельствует о слабом влиянии дальнего переноса пылевых частиц с эродированных территорий.

Показатель C/N исследуемых видов мхов выступает как индикатор динамики азота в процессах трансформации и формирования органического вещества почвы. По показателю C/N в различных мхах можно предложить следующий ряд:

Pleurozium schreberi (62) > *Hylocomium splendens* (58) > *Polytrichum commune* (55) > *Sphagnum* spp. (51).

Результаты исследований химического состава мхов в зависимости от их возраста представлены на рис. 2. Установили, что максимальное содержание целлюлозы характерно для *Sphagnum* spp., а минимальное для *Polytrichum commune*. Во всех видах мхов количество целлюлозы практически не изменяется (коэффициент вариации (Cv) составляет для *P. schreberi* — 7,4 %, *P. commune* — 10,9 % и *Sphagnum* spp. — 16.6 %).

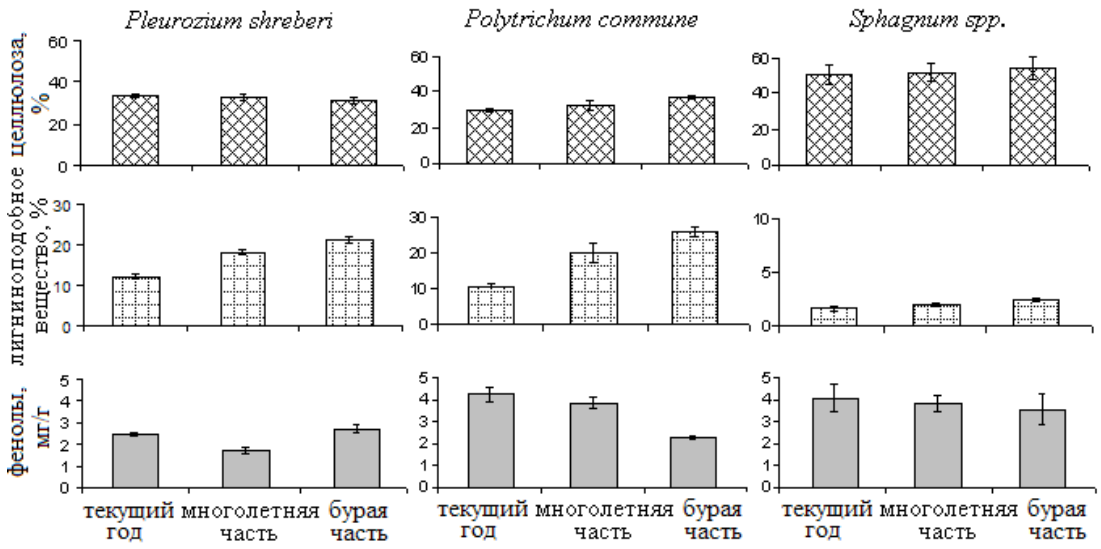


Рис. 2. Химический состав тканей некоторых видов мхов в зависимости от их возраста

Содержание лигниноподобных веществ во мхах возрастает с увеличением возраста органов растений ($p < 0{,}01$), в результате чего по уровню содержания лигниноподобных веществ в отмерших частях растений можно предложить следующий ряд:

Polytrichum commune (25,8 %) > *Pleurozium schreberi* (21,0 %) > *Sphagnum* spp. (2,5 %).

Во мхе *P. schreberi* фенольные соединения имеют наибольшие показатели для частей растения текущего года и отмершей части, а в многолетней части количество фенольных соединений снижается. Для *P. commune* и *Sphagnum* spp. концентрации фенольных соединений уменьшаются в отмерших частях по сравнению с текущим годом ($p < 0{,}005$ и $p < 0{,}3$ соответственно).

Таким образом, установлено, что содержания минеральных элементов для мхов соответствуют региональному фону и исследуемую территорию можно рассматривать как не затронутую воздушным промышленным загрязнением, т. е. чистую. Установили, что содержание фенольных соединений, в том числе лигниноподобных веществ и целлюлозы, значительно изменяется среди видов мхов и зависит от возраста исследуемых органов. *Sphagnum* spp. отличается от других видов максимальными концентрациями целлюлозы (54,4 %) и минимальным содержанием лигниноподобных веществ (2,5 %). Такое разнообразие в химическом составе мхов в дальнейшем может повлиять на процессы трансформации опада и, следовательно, на процессы почвообразования в местах своего произрастания.

Литература
1. Лотова Л. И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений. Изд. 4-е, доп. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 512 с.
2. Рассеянные элементы в бореальных лесах / В. В. Никонов и др.; отв. ред. А. С. Исаев. М.: Наука, 2004. 616 с.
3. An experimental comparison of chemical traits and litter decomposition rates in a diverse range of subarctic bryophyte, lichen and vascular plant species / S. I. Lang et al. // J. Ecology. 2009. Vol. 97. P. 886–900.
4. Are growth forms consistent predictors of leaf litter quality and decomposability across peatlands along a latitudinal gradient? / E. Dorrepaal et al. // J. Ecology. 2005. Vol. 93. P. 817–828.
5. Belyea L. R. Separating the effects of litter quality and microenvironment on decomposition rates in a patterned peatland // Oikos. 1996. Vol. 77. P. 529–539.
6. Johnson L. C., Damman A. W. H. Species-controlled Sphagnum decay on a south Swedish raised bog // Oikos. 1991. Vol. 61. P. 234–242.
7. Phenolic compounds and terpenes in soil organic horizon layers under silver birch, Norway spruce and Scots pine / S. Kanerva et al. // Biology and Fertility of Soils. 2008. Vol. 44, No. 4. P. 547–556.
8. Rasmussen S. Phenylpropanoid metabolism of Sphagnum and nutrient stress // Acta Hortilculturae. 1994. Vol. 381. P. 243–249.
9. Rowland A. P., Roberts J. D. Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using acid-detergent fibre methods // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1994. Vol. 25. No. 3–4. P. 269–277.
10. Shaw A. J., Cox C. J., Boles S. B. Global patterns of peatmoss biodiversity // Molecular Ecology. 2003. Vol. 12. P. 2553–2570.
11. Trade-offs in resource allocation among moss species control decomposition in boreal peatlands / M. R. Turetsky // J. Ecology. 2008. Vol. 96. P. 1297–1305.
12. Verhoeven J. T. A., Liefveld W. M. The ecological significance of organochemical compounds in Sphagnum // Acta Botanica Neerlandica. 1997. Vol. 46. P. 117–130.

В. А. Даувальтер, Н. А. Кашулин
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, vladimir@inep.ksc.ru

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОЕМОВ И ПОЧВЫ НА ВОДОСБОРАХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ КОМБИНАТА «ПЕЧЕНГАНИКЕЛЬ»

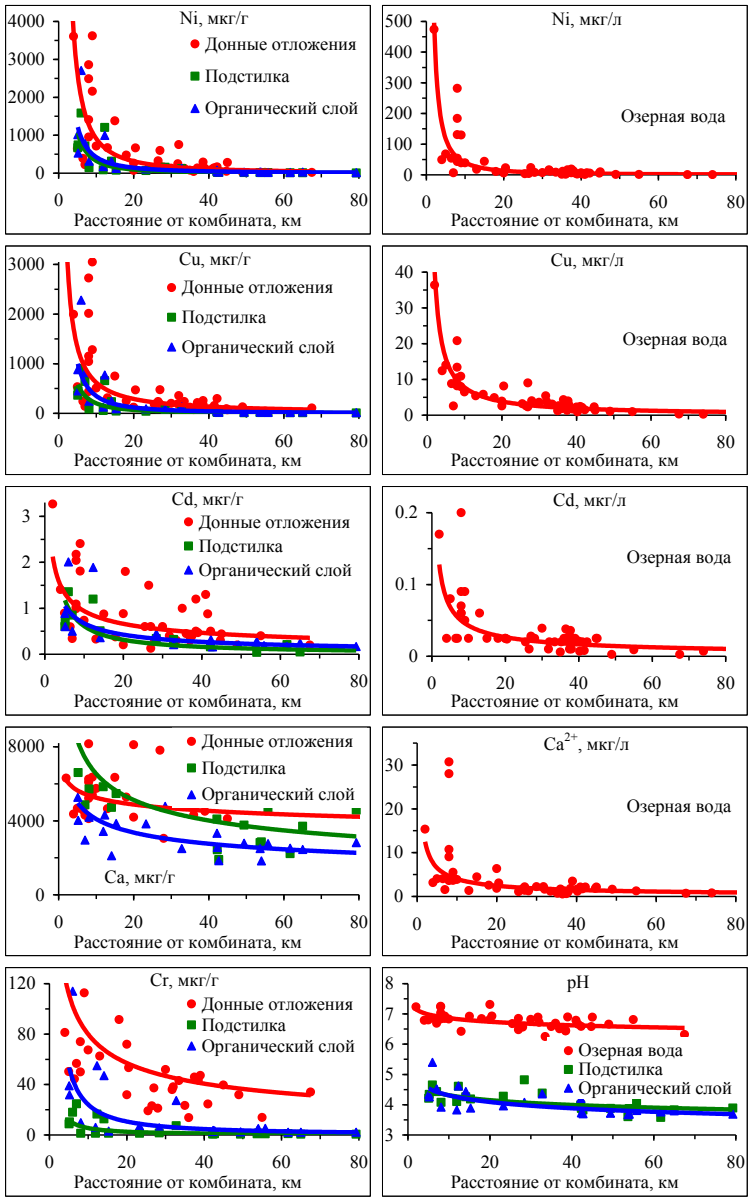
Разработка медно-никелевых месторождений в приграничной территории между Россией, Норвегией и Финляндией началась в 1932 г. канадско-финляндской компанией (после Октябрьской революции территория нынешнего Печенгского района отошла к Финляндии, а после советско-финской войны 1939–1940 гг. вошла в состав СССР). Комбинат «Печенганикель» функционирует с 1946 г., когда в пос. Никель возобновилась переработка местных сульфидно-никелевых руд. В 1959 г. развернулась добыча руд Ждановского месторождения и их переработка на заводе в г. Заполярный. Долговременная антропогенная нагрузка на водосборы озер привела к изменению природных условий формирования химического состава воды и донных отложений водоемов и почвы, а также к увеличению концентраций тяжелых металлов вблизи комбината. В результате горно-металлургической деятельности комбинатом в атмосферу ежегодно выбрасываются сотни тысяч тонн сернистого газа, тысячи тонн пыли, сотни тонн тяжелых металлов (ТМ). На прилегающей к комбинату территории в наземных и водных экосистемах накоплено огромное количество ТМ, а также щелочных и щелочноземельных металлов, выбрасываемых в составе производственной пыли комбината.

По результатам исследований приграничной территории между Россией, Норвегией и Финляндией [2–8, 11, 12, 15–17, 21] проведен анализ распределения элементов в различных звеньях наземных и водных экосистем. Были определены регрессионные зависимости типа $y = kx^a$ содержания элементов (y) в воде и поверхностном слое (0–1 см) донных отложений исследуемых озер, в подстилке и органическом слое почвы (мкг/г) по мере удаления (x) от комбината «Печенганикель». На рисунке приведены графики этих зависимостей некоторых элементов.

Атмосферные выпадения аэрозолей являются главной причиной загрязнения, в том числе и ТМ, наземных и водных экосистем, поверхностных и подземных вод [13]. В фоновых территориях, где в балансе атмосферных выпадений значительная роль принадлежит растворимым формам металлов, с поверхностным стоком выносится до 5 % поступлений свинца и около 30 % поступлений цинка и кадмия [9, 10]. В условиях техногенного загрязнения, когда существенно увеличивается роль твердофазных выпадений, поверхностный вынос сокращается до 1–3 % поступлений Pb и до 10 % Zn и Cu [9]. Остальная часть металлов накапливается в почве. Миграция металлов по почвенному профилю происходит со скоростью 0,1–0,4 см/год и характеризуется быстрым падением концентраций с увеличением глубины [9, 11, 12, 14]. Возможности самоочищения почв от антропогенных накоплений металлов признаются весьма ограниченными [18–20]. Согласно вышеуказанным исследованиям, совокупный вынос металлов (поверхностный сток, почвенные растворы, биологические процессы и др.), при условии прекращения новых поступлений из антропогенных источников, обеспечит в зоне умеренного климата самоочищение загрязненных почв от Pb за период

от 150–200 до 400–500 лет, от Zn, Cd за 100–200 лет. Таким образом, период естественного самоочищения почв и наземных экосистем от загрязняющих металлов можно оценить величиной порядка $n \cdot 10^2$ лет (т. е. сотни лет).

Поверхностные слои донных отложений водоемов отражают аккумулирующий эффект аэротехногенной нагрузки металлов на водосборы, которые зачастую могут не регистрироваться гидрохимическими методами. Пылевые выбросы в атмосферу плавильных цехов комбината «Печенганикель» являются главным источником повышенных концентраций Ni, Cu и Co (в 10–180 раз больше фоновых значений) в поверхностных слоях ДО на расстоянии до 30–40 км (рис). ТМ имеют тесную положительную корреляцию между собой, что свидетельствует о едином антропогенном источнике их поступления и сходных путях миграции.



Распределение концентраций основных загрязняющих элементов в воде (мкг/л) и поверхностном слое (0–1 см) ДО исследуемых озер, в подстилке и органическом слое почвы (мкг/г) по мере удаления от комбината «Печенганикель»

Большая часть ТМ, входящих в состав выбросов и стоков промышленных предприятий, связывается и остается в почве и донных отложениях. Предыдущими исследованиями [2–8, 11, 15–17] было установлено, что пылевые выбросы в атмосферу комбината «Печенганикель» и стоки плавильных цехов, шламоотвалов, хвостохранилищ и рудников являются главными источниками повышенных концентраций Ni, Cu, Co, Cd, Zn, As и Hg в почве и поверхностных слоях ДО озер Печенгского района и приграничных районов Норвегии и Финляндии.

Наибольшие концентрации Ni и Cu, превышающие фоновые значения в 10–25 раз, отмечены в озерах на расстоянии до 10 км от комбината (рис.). Значительное уменьшение концентраций до 3–7 фоновых значений наблюдается на расстоянии до 20–30 км от источника загрязнения. В распределении Co, Cd и As наблюдается

аналогичная закономерность. Наиболее интенсивно загрязняется зона до 10 км. Здесь отмечено превышение концентраций металлов над фоновыми значениями от 2 до 5 раз. По мере удаления от комбината на 20–30 км наблюдается уменьшение концентраций металлов до 2–3 фоновых значений. В целом по результатам исследований 2010 г. отмечено увеличение концентраций практически всех загрязняющих ТМ в поверхностных слоях ДО озер северо-запада Мурманской обл. по сравнению с исследованиями 2002–2004 и 1989–1993 гг. [7].

В состав пыли, выбрасываемой в атмосферу металлургическим производством, входит большое количество главных породообразующих макроэлементов, что проявилось в том, что влияние выбросов комбината сказалось не только в увеличении концентраций ТМ в водных и наземных экосистемах вблизи комбината, но и в увеличении в них содержания щелочных (Na, K) и щелочноземельных (Ca, Mg, Sr) металлов (рис.). Это проявилось в эффекте подщелачивания почвы и воды водоемов, и значения pH воды озер и водных вытяжек подстилки и органического слоя почвы растут по мере приближения к комбинату.

Для всех исследуемых ТМ (Ni, Cu, Co, Cd, Zn, As, Cr, Fe, Mn), а также для Al, щелочных (Na, K) и щелочноземельных (Ca, Mg) металлов отмечена закономерность увеличения содержания элементов в звеньях водных и наземных экосистем: вода — подстилка — органический слой почвы — донные отложения (рис.). Этот процесс увеличения концентраций элементов в звеньях окружающей среды можно сопоставить с явлением биомагнификации, когда происходит увеличение концентрации химических веществ на каждой ступени экологической пирамиды, связанное с тем, что количество поглощаемой организмом пищи намного превышает его собственную массу, а химические вещества выводятся из организма не полностью.

Таким образом, установлено, что выбросы в атмосферу плавильных цехов комбината «Печенганикель» являются главным источником повышенных концентраций ТМ, а также щелочных и щелочноземельных металлов в верхних горизонтах почвы, мхах, поверхностных водах и донных отложениях водоемов на расстоянии до 30–40 км. Наибольшие концентрации Ni и Cu, превышающие фоновые значения до нескольких десятков раз, отмечены в наземных и водных экосистемах на расстоянии до 20 км от комбината. В распределении токсичных халькофильных элементов Cd, As и Hg наблюдается аналогичная закономерность. В целом по результатам исследований в 2000-х гг. отмечено увеличение концентраций практически всех загрязняющих металлов в наземных и водных экосистемах приграничной территории между Россией, Норвегией и Финляндией по сравнению с исследованиями 1990-х гг., что говорит об усилении антропогенной нагрузки в этом регионе. За почти 80-летний период деятельности горно-металлургического комплекса в звеньях окружающей среды (главным образом, в наземных экосистемах — в почвах и растениях, а также в донных отложениях водоемов) накопилось огромное количество ТМ, которое после отмирания растений и разложения органических остатков со склоновым стоком, почвенными и подземными водами в виде органических и неорганических соединений постепенно поступает в водотоки и водоемы. С учетом накопленных ТМ в наземных экосистемах и многолетнего периода их самоочищения, интенсивное поступление ТМ в водоемы будет продолжаться еще не один десяток лет, даже если комбинат «Печенганикель» резко снизит или вообще прекратит их выбросы в окружающую среду.

Литература

1. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Сает и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
2. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
3. Даувальтер В. А. Загрязнение донных отложений водосбора реки Пасвик тяжелыми металлами // Геоэкология. 1997. № 6. С. 43–53.
4. Даувальтер В. А. Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской Субарктики (природоохранные аспекты проблемы): автореф. дис. … докт. геогр. наук. М.: ИВП РАН, 1999. 52 с.
5. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А., Денисов Д. Б. Тенденции изменения содержания тяжелых металлов в донных отложениях озер Севера Фенноскандии в последние столетия // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 9. С. 62–75.
6. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Основные закономерности распределения тяжелых металлов в донных отложениях озер северо-западной части Мурманской области и приграничной территории сопредельных стран // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 1. С. 101–112.
7. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А., Сандимиров С. С. Тенденции изменений химического состава донных отложений пресноводных субарктических и арктических водоемов под влиянием природных и антропогенных факторов // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология Севера. 2012. Вып. 1, № 2 (9). С. 54–87.
8. Даувальтер В. А. Тяжелые металлы в донных отложениях озерно-речной системы озеро Инари — река Пасвик // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, № 4. С. 494–500.
9. Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных системах. М.: Наука, 1993. 253 с.
10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
11. Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения: в 2 ч. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с. Ч. 2. 192 с.

12. Экологический каталог озер Мурманской области. Северо-западная часть Мурманской области и приграничной территории сопредельных стран: в 2 ч. / Н. А. Кашулин и др. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. Ч. 1. 226 с. Ч. 2. 262 с.
13. Яхнин Э. Я., Томилина О. В., Деларов Д. А. Атмосферные выпадения тяжелых металлов и их влияние на экологическое состояние почв // Экологическая химия. 1997. № 6 (4). С. 253–259.
14. Cernic M., Federer P., Borcovec M., Sticher H. Modelling of heavy metal transport in a contaminated soil // J. Environ. Qual. 1994. Vol. 23. P. 1239–1248.
15. Current State of Terrestrial Ecosystems in the Joint Norwegian, Russian and Finnish Border Area in Northern Fennoscandia / Working Paper of the Finnish Forest Research Institute / Eds. J. Derome, T. Myking, P. A. Aarestad. 2008. Vol. 85. 98 p.
16. Dauvalter V. Heavy metals in lake sediments of the Kola Peninsula, Russia // Sci. Tot. Environ. 1994. Vol. 158. P. 51–61.
17. Dauvalter V., Rognerud S. Heavy metals pollution in sediment of the Pasvik River drainage // Chemosphere. 2001. Vol. 42, No 1. P. 9–18.
18. De Vries W., Banker D. J. Manual for calculating critical load of heavy metals for soils and surface water. DLO Winland Staring Centre, Wageningen (The Neterlands). Report No. 114. 1996. 133 p.
19. Decreasing lead levels in the forest floor of the northeastern USA / A. J. Fridland et al. // AMBIO. 1992. Vol. 21. P. 400–430.
20. Miller E. K., Fridland A. J. Lead migration in forest soil. Response to changing atmospheric inputs // Environ. Sci. Technol. 1994. Vol. 28. P. 662–672.
21. Spatial Trends of Trace-Element Contamination in Recently Deposited Lake Sediment Around the Ni-Cu Smelter at Nikel, Kola Peninsula, Russian Arctic / S. Rognerud et al. // AMBIO. 2013. Vol. 42, No. 6. P. 724–736.

В. А. Даувальтер, Н. А. Кашулин
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, vladimir@inep.ksc.ru

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ОЗЕРО ИНАРИ — РЕКА ПАСВИК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Система озеро Инари — река Пасвик образуют самую большую водную систему в северной части Фенноскандии (рис.). Ее водосбор расположен на приграничной территории России, Норвегии и Финляндии. Оз. Инари — третье по величине озеро в Финляндии, площадь озера 1 040 км². Река Пасвик (длина 167 км) вытекает из оз. Инари и впадает в Баренцево море. Река является пограничной между Россией и Норвегией практически на всем протяжении российско-норвежской границы, за исключением крайней северной ее части. Площадь водосбора реки — 20 890 км^2, из которых 69,8 % принадлежит Финляндии, 27,2 % — России, 5 % — Норвегии. Влияние приливов сказывается до 4 км выше устья реки до плотины Борисоглебской ГЭС. Река состоит из речных отрезков и озер, общая протяженность озер — 61,7 км. На реке расположены семь электростанций, пять из них принадлежат России, две — Норвегии. Регулирование стока оз. Инари и р. Пасвик началось в 1951 г. с максимальной установленной амплитудой 2,4 м. Уровень воды оз. Инари понижается в течение зимы, а летом — повышается. Оз. Куэтсъярви, площадь водного зеркала озера 18 км^2, расположено в 4,5 км ниже выпуска сточных вод комбината «Печенганикель» в р. Колосйоки.

Содержание тяжелых металлов (ТМ) в донных отложениях (ДО) системы оз. Инари — р. Пасвик исследовалось в рамках проекта Интеррег IIIA Коларктик. Колонки ДО отбирались в период 2012–2014 гг. на двух станциях оз. Инари глубиной 15 и 42 м (ст. 1 и 2), на пяти водоемах системы р. Пасвик: Хестефосс (ст. 3, глубина 10.5 м), Рускебукта (ст. 4, 15 м), Ваггатем (ст. 5, 19 м), Бьерневатн (ст. 10, 23 м) Скруккебукта (ст. 11, 37 м) и на четырех станциях оз. Куэтсъярви: ст. 6 — Гольфстрим (23 м), ст. 7 — Колосйоки (12 м), ст. 8 — Салмиярви (10 м), ст. 9 — Белый Камень (32 м) (рис.).

Методы отбора колонок ДО, пробоподготовки и химического анализа описаны ранее [1, 2]. Экологическое состояние пресноводной системы оценивалось по методике Л. Хокансона [3], адаптированной к региональным условиям.

Водоемы служат коллекторами всех видов загрязнения. Накапливая сведения о потоках элементов в биосфере, ДО являются важным источником информации о климатических, геохимических, экологических условиях, существовавших на водосборе и в самом водоеме, и позволяют оценить современное экологическое состояние воздушной и водной сред. Для оценки экологического состояния пресноводной системы исследовались концентрации ТМ в ДО в четырех аспектах: 1) фоновые содержания; 2) вертикальное распределение элементов в ДО; 3) концентрации в поверхностных слоях ДО; 4) определение степени загрязнения и риска, создаваемого ТМ, накопленными в ДО водоемов.



Схема отбора проб ДО в водной системе р. Пасвик. Номера станций соответствуют номерам в таблицах

Наибольшие фоновые концентрации большей части ТМ (Ni, Zn, Co, Cd, Hg, As) в ДО отмечены в южной части оз. Куэтсъярви (табл. 1), что обусловлено геохимическими (наличие медно-никелевых сульфидных залежей в юго-восточной части водосбора озера) и морфометрическими особенностями водосбора и самого озера.

Таблица 1

Фоновые концентрации ТМ (мкг/г сух. веса) в ДО системы озеро Инари — река Пасвик,
X — средние значения, s_n — стандартные отклонения, C_n^i — доиндустриальные значения ($X + s_n$)

Номер станции	Озеро, станция	Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg
1	Инари-1	46	48	117	22	0,11	4,6	1,77	0.030
2	Инари-2	48	61	91	22	0,15	4,9	1,62	0.042
3	Хестефосс	36	46	100	21	0,05	6,8	3,95	0.021
4	Рускебукта	62	63	112	26	0,09	12,4	4,37	0.038
5	Ваггатем	55	58	126	30	0,08	9,2	6,01	0.015
6	Куэтсъярви-1	47	39	106	21	0,16	8,4	7,95	0.035
7	Куэтсъярви-2	373	1087	99	43	0,35	4,5	11,06	0.017
8	Куэтсъярви-3	52	66	127	31	0,18	9,2	11,92	0.007
9	Куэтсъярви-4	40	32	80	16	0,10	6,6	2,62	0.049
10	Бьерневатн	42	58	100	27	0,11	11,2	3,36	0.003
11	Скруккебукта	58	64	123	25	0,09	14,0	3,95	0.021
X^*		49	54	108	24	0.11	8,7	4,75	0,026
s_n		8	12	16	5	0.04	3,1	3,16	0,015
C_n^i		60	65	125	30	0.15	12	8	0,040

Примечание. X^* — Статистические параметры определены без учета данных по ст. 7 (Куэтсъярви-2).

Прямые поступления сточных вод комбината «Печенганикель» обусловливают максимальные концентрации всех исследованных ТМ в поверхностных слоях ДО оз. Куэтсъярви (табл. 2). Уменьшение концентраций Ni, Co, Zn, Hg и As в верхних 1–2 см ДО оз. Куэтсъярви объясняется уменьшением сбросов комбинатом «Печенганикель» в последнее десятилетие. Другие элементы (Cu, Cd, Pb) имеют поверхностные максимумы в ДО всех станций оз. Куэтсъярви, что может быть связано с постоянством сброса этих элементов (для Cu — 0,1–0,2 т/год за последнее десятилетие).

Вниз по течению р. Пасвик от места поступления сточных вод наблюдается снижение содержания ТМ в поверхностных слоях ДО. Главными загрязняющими элементами в этих озерах являются ТМ, сбрасываемые в больших количествах в составе сточных вод комбината «Печенганикель» — Ni, Cu, Co, Zn. Халькофильные элементы (Hg, As, Cd) в высоких концентрациях встречены в поверхностных слоях ДО оз. Бьерневатн.

Таблица 2

Концентрации ТМ (мкг/г сух. веса) в поверхностном слое (0–1 см) ДО системы озеро Инари — река Пасвик

Номер станции	Озеро, станция	Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg
1	Инари-1	35	48	124	22	0,62	26,1	8,0	0,084
2	Инари-2	38	53	84	23	0,31	21,2	14,7	0,097
3	Хестефосс	32	37	81	19	0,18	8,8	4,5	0,143
4	Рускебукта	67	70	95	21	0,15	17,2	8,6	0,161
5	Ваггатем	75	87	122	28	0,11	15,6	7,6	0,042
6	Куэтсъярви-1	981	2075	249	109	2,49	34,3	25,0	0,033
7	Куэтсъярви-2	1496	2435	229	129	1,80	45,7	39,2	0,142
8	Куэтсъярви-3	1039	2814	297	150	2,44	38,6	86,7	0,031
9	Куэтсъярви-4	1343	4032	240	184	3,14	36,1	43,1	0,417
10	Бьерневатн	234	397	256	54	0,35	10,3	17,3	0,039
11	Скруккебукта	169	280	127	39	0,27	26,8	6,9	0,017

В озерах вверх по течению р. Пасвик от места поступления сточных вод в поверхностных слоях ДО не отмечено увеличения содержания ТМ, выбрасываемых в атмосферу в значительных количествах комбинатом «Печенганикель» (Ni, Cu, Co, Zn). Однако в этих озерах, особенно в самом большом и наиболее удаленном от комбината «Печенганикель» оз. Инари, обнаружено значительное увеличение концентраций халькофильных элементов (Pb, Cd, Hg и As) в поверхностных слоях ДО.

Геохимические особенности озер (таких как Инари, Бьерневатн, северная часть Куэтсъярви), в первую очередь их олиготрофность, хорошее снабжение придонных слоев воды и верхних слоев ДО растворенным кислородом, большая глубина водоемов, привели к аккумуляции в поверхностных частях ДО озер элементов, чутко реагирующих на изменения окислительно-восстановительного потенциала, — Fe и Mn. Содержание этих подвижных элементов в поверхностных слоях ДО озер превышают кларковые и фоновые в 10–50 раз.

В других озерах отмечено увеличение содержания P в поверхностных слоях ДО, что может говорить о развитии процессов эвтрофирования, связанных с поступлением сточных хозяйственно-бытовых вод и регулированием стока водоемов, приводящим к замедлению скоростей течения, застойным явлениям и, в конечном итоге, аккумуляции биогенных элементов в водных экосистемах. Накопленный в ДО P может являться источником поступления этого биогенного элемента в водную толщу. Результатом эвтрофирования является образование восстановительной обстановки в придонных слоях воды и поверхностных слоях ДО, что вызывает переход в водную толщу в ионной форме элементов, чутко реагирующих на изменение окислительно-восстановительных условий, что ведет к уменьшению содержания в поверхностных слоях ДО в первую очередь Fe и Mn, а также ТМ, сорбированных на поверхности их оксидов и гидрооксидов.

Максимальным риском загрязнения ТМ характеризуется оз. Куэтсъярви (высокие значения степени загрязнения C_d и индекса экологической опасности RI), принимающее водные стоки комбината «Печенганикель» (табл. 3 и 4). Водные объекты, расположенные вверх по течению от места поступления загрязненных вод из оз. Куэтсяярви, характеризуются высокими (оз. Хестефосс) и значительными (озера Инари и Рускебукта) величинами RI. Значительная экологическая опасность загрязнения ТМ характерна для оз. Бьерневатн, расположенного вниз по течению от оз. Куэтсъярви. Остальные исследованные озера (Ваггатем и Скруккебукта) имеют умеренные значения индекса экологической опасности.

Таблица 3

Значения коэффициента (C_f) и степени (C_d) загрязнения ТМ водоемов системы озеро Инари – река Пасвик

Номер станции	Озеро, станция	C_f								C_d
		Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg	
1	Инари-1	0,6	0,7	1,0	0,7	4,2	2,2	1,0	2,1	13
2	Инари-2	0,6	0,8	0,7	0,8	2,1	1,8	1,9	2,4	11
3	Хестефосс	0,5	0,6	0,6	0,6	1,2	0,7	0,6	3,6	8
4	Рускебукта	1,1	1,1	0,8	0,7	1,0	1,5	1,1	4,0	11
5	Ваггатем	1,2	1,3	1,0	0,9	0,7	1,3	1,0	1,1	9
6	Куэтсъярви-1	16,3	31,8	2,0	3,6	16,6	2,9	3,2	0,8	77
7	Куэтсъярви-2	24,9	37,3	1,8	4,3	12,0	3,9	5,0	3,5	93
8	Куэтсъярви-3	17,3	43,1	2,4	5,0	16,3	3,3	11,0	0,8	99
9	Куэтсъярви-4	22,4	61,7	1,9	6,1	21,0	3,1	5,4	10,4	132
10	Бьерневатн	3,9	6,1	2,1	1,8	2,4	0,9	2,2	1,0	20
11	Скруккебукта	2,8	4,3	1,0	1,3	1,8	2,3	0,9	0,4	15

Таблица 4

Значения коэффициента (Er) и индекса (RI) экологической опасности загрязнения ТМ водоемов системы озеро Инари — река Пасвик

Номер станции	Озеро, станция	Er								RI
		Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg	
1	Инари-1	1,2	2,3	1,1	5,6	110,7	11,7	7,6	150,4	291
2	Инари-2	1,6	3,0	0,8	6,5	62,3	10,8	15,8	198,3	299
3	Хестефосс	1,3	2,1	0,8	5,5	37,0	4,5	4,8	290,8	347
4	Рускебукта	2,2	3,1	0,7	4,8	25,3	7,1	7,4	265,0	316
5	Ваггатем	2,7	4,4	1,1	7,2	20,2	7,2	7,3	77,6	128
6	Куэтсъярви-1	33,9	98,9	2,1	26,4	431,4	15,0	23,0	56,6	687
7	Куэтсъярви-2	51,0	114,5	1,9	30,9	306,8	19,7	35,5	243,0	803
8	Куэтсъярви-3	35,2	131,5	2,4	35,7	414,2	16,5	78,0	53,2	767
9	Куэтсъярви-4	47,3	195,5	2,0	45,4	553,1	16,1	40,2	738,3	1638
10	Бьерневатн	8,9	21,0	2,4	14,5	67,7	5,0	17,6	74,9	212
11	Скруккебукта	6,4	14,5	1,1	10,1	51,0	12,7	6,9	32,1	135

При оценке экологического состояния водоемов системы оз. Инари — р. Пасвик установлено, что наибольшую экологическую опасность во всех водоемах составляют высокотоксичные и опасные для гидробионтов не-эссенциальные металлы Hg и Cd. Из приоритетных загрязняющих ТМ, выбрасываемых в атмосферу комбинатом «Печенганикель», только Ni представляет очень высокую экологическую опасность и только в одном водном объекте — оз. Куэтсъярви. В этом наиболее загрязненном водоеме высокие и значительные величины коэффициента экологической опасности имеют Cu, Co и As. В остальных водоемах системы оз. Инари — р. Пасвик металлы, выбрасываемые комбинатом (Ni, Cu, Co, Pb, As), характеризуются умеренной и низкой экологической опасностью для водных экосистем. Во всех водоемах системы оз. Инари — р. Пасвик Zn не представляет экологической опасности для гидробионтов.

Литература

1. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.
2. Даувальтер В. А. Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской Субарктики (природоохранные аспекты проблемы): автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М.: ИВП РАН, 1999. 52 с.
3. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control — a sedimentological approach // Water Res. 1980. 14, 975–1001.

В. В Ершов, Л. Г. Исаева

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, slavo91@gmail.com, isaeva@inep.ksc.ru

КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕДИ, НИКЕЛЯ И СЕРЫ В АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ В ЛЕСАХ ПЕЧЕНГСКОГО РАЙОНА

Воздушное промышленное загрязнение оказывает на природные экосистемы разрушительное воздействие, особенно это проявляется в местах с суровыми естественными условиями среды. Выбросы цветной металлургии негативно влияют на окружающую природную среду. Действие выбросов предприятий — длительный процесс, который длится многие десятки лет [3].

Мурманская обл. — индустриально наиболее развитый регион на Европейском Севере, основными источниками загрязнения воздуха в области являются два гиганта цветной металлургии — предприятия АО «Кольская ГМК» комбинаты «Североникель» и «Печенганикель». Комбинат «Печенганикель» расположен в северо-западной части Мурманской обл. у границы с Норвегией на двух промышленных площадках — в г. Заполярном и пос. Никель. В состав комбината входят два подземных рудника, два карьера, обогатительная фабрика, цех обжига, плавильный и сернокислотный, автотранспортный, железнодорожный и другие цеха обеспечения производства [1]. Основными загрязнителями атмосферы являются металлосодержащая пыль и сернистый ангидрид (рис. 1 и 2). Долговременное воздействие аэротехногенных выбросов привело к значительным нарушениям функционирования лесных экосистем.

Начиная с 1990-х гг. ИППЭС КНЦ РАН принимает активное участие в различных международных проектах, направленных на оценку и мониторинг влияния воздушного загрязнения на лесные биогеоценозы на приграничной с Финляндией и Норвегией территории, позднее, например, в программе международного мониторинга лесов ICP Forests, которая направлена на установление взаимосвязей между состоянием лесных экосистем и природными и антропогенными факторами посредством мониторинга на выбранных пунктах

наблюдения [2]. Для интенсивного мониторинга выбираются площадки постоянного наблюдения (ППН) представляющие наиболее распространенные типы лесов. Примерно в 20 км от комбината «Печенганикель» располагается крайняя северная точка государственного природного заповедника «Пасвик», который находится на границе с Финляндией и Норвегией. Территория заповедника «Пасвик» вытянута узкой полосой вдоль реки Паз. В заповеднике и его окрестностях в 2009 г. по программе ICP Forests было заложено две площадки постоянного наблюдения [1].

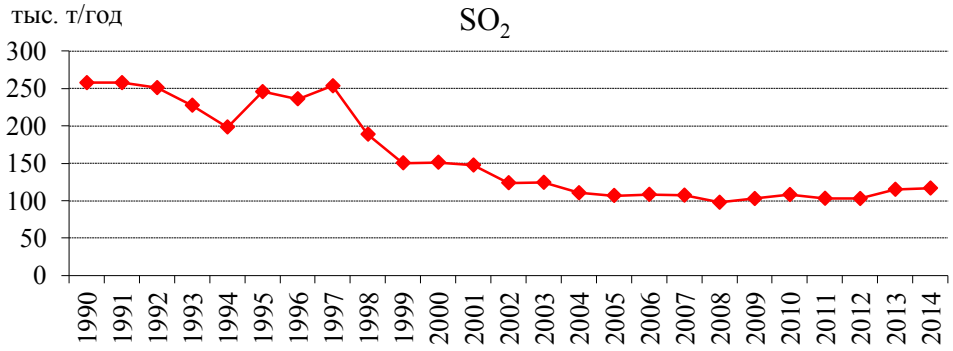


Рис. 1. Динамика выбросов сернистого газа на комбинате «Печенганикель» (данные АО «Кольская ГМК»)

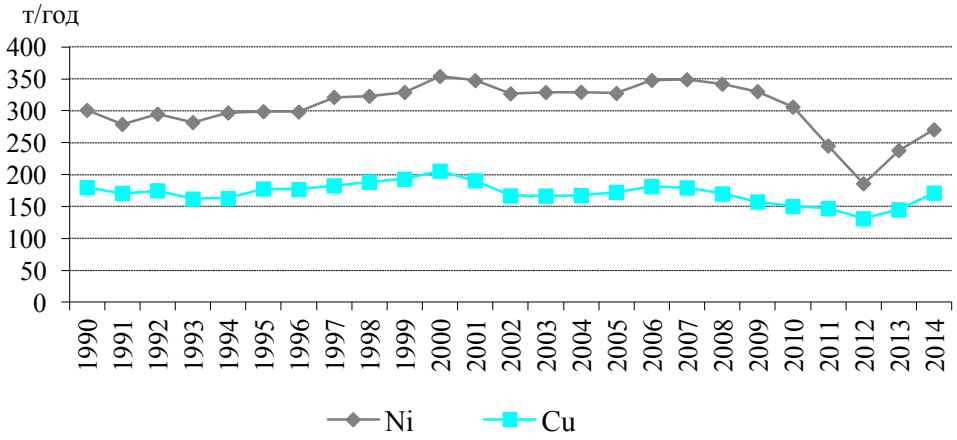


Рис. 2. Динамика выбросов никеля и меди в виде пыли на комбинате «Печенганикель» (данные АО «Кольская ГМК»)

Цель данной статьи — исследование концентраций никеля, меди и сульфатов в атмосферных выпадениях Печенгского района, с учетом влияния полога леса и аэротехногенного загрязнения.

Объектами исследования послужили березовые и сосновые леса разной степени антропогенного нарушения, находящиеся на различном удалении от комбината «Печенганкель» (табл. 1).

Для сбора проб атмосферных выпадений ППН были оборудованы 8 снегосборников (6 — под пологом леса, 2 — на открытой территории) и 23 осадкоприемника (20 — под пологом леса и 3 — на открытой территории) для выпадений в виде дождя. Исследуемый период для площадок 5b-09 и 4p-09 составлял 5 лет (с 2009 по 2013 гг.), для остальных — 1 год (с осени 2004 г. по осень 2005 г.). Атмосферные выпадения отбирались каждые четыре недели, при этом выполнялось измерение объема осадков на каждом приемнике и их общий объем. Осадки с каждого приемника сливались в одну емкость, смешивались, затем отбирали 1 л смешанной пробы на анализ. Для изучения химического состава атмосферных выпадений пробы подвергались глубокой заморозке до начала анализов. Никель и медь определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, сульфаты методом ионообменной хроматографии.

Концентрация меди, никеля и сульфатов на ППН 4p-09, в 75 км от комбината, в атмосферных выпадениях, прошедших сквозь древесный полог, достоверно ($p < 0,05$) в несколько раз выше, чем на открытой территории (табл. 2). Данная тенденция также наблюдается на ППН Rus0 в 45 км от источника загрязнения, в выпадениях в виде дождя. Это объясняется тем, что атмосферные осадки, прошедшие сквозь древесный полог, становятся более концентрированными, сосна играет роль аккумулятора поллютантов. На других площадях постоянного наблюдения, находящихся ближе к источнику загрязнения, взаимосвязь между атмосферными осадками и древесным пологом на открытой территории достоверно ($p > 0,05$) не подтверждена.

Таблица 1

Характеристика площадок постоянного наблюдения

ППН	Расстояние от источника загрязнения, км	Местоположение	Тип леса
5b-09	Запад, 50	Печенгский р-н, территория заповедника «Пасвик»	Березняк разнотравный
4p-09	Юго-запад, 75	Печенгский р-н, окрестности пос. Янискоски	Сосняк зеленомошно-вороничнo-черничный
Rus 0	Юг, 44	Печенгский р-н, пос. Приречный	Сосняк лишайниково-вороничнo-черничный
S05	Юг, 14	Печенгский р-н, окрестности пос. Никель	Сосняк лишайниково-вороничнo-черничный
Rus 1	Запад, 5	Печенгский р-н, окрестности пос. Никель	Сосняк зеленомошно-вороничнo-черничный

Таблица 2

Среднее значение концентраций поллютантов (в мг/л) на ППН в сосновых лесах

ППН	Cu	Ni	SO_4^{2-}	Cu	Ni	SO_4^{2-}
	Снеговые выпадения			Дождевые выпадения		
4p-09 СП*	0,004 ± 0,001	0,003 ± 0,001	2,26 ± 0,42	0,004 ± 0,001	0,004 ± 0,0004	3,48 ± 0,44
4p-09 Открытая территория	0,002 ± 0,0004	0,001 ± 0,0001	0,92 ± 0,22	0,002 ± 0,0004	0,002 ± 0,0002	1,26 ± 0,12
Rus0 СП*	0,007 ± 0,002	0,003 ± 0,001	2,22 ± 1,13	0,004 ± 0,001	0,004 ± 0,001	2,53 ± 0,53
Rus0 Открытая территория	0,006 ± 0,002	0,002 ± 0,001	1,30 ± 0,50	0,002 ± 0,0002	0,002 ± 0,0001	0,97 ± 0,10
S05 СП*	0,07 ± 0,03	0,04 ± 0,02	1,78 ± 0,33	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,005	2,22 ± 0,45
S05 Открытая территория	0,07 ± 0,04	0,03 ± 0,02	1,51 ± 0,17	0,02 ± 0,005	0,01 ± 0,004	1,25 ± 0,30
Rus1 СП*	0,05 ± 0,02	0,04 ± 0,01	1,68 ± 0,40	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	2,71 ± 0,35
Rus1 Открытая территория	0,05 ± 0,02	0,04 ± 0,02	1,75 ± 0,43	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	1,82 ± 0,33
5b-09 СП*	0,004 ± 0,001	0,003 ± 0,001	1,87 ± 0,34	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,01	3,24 ± 0,37
5b-09 Открытая территория	0,002 ± 0,0004	0,001 ± 0,0001	1,27 ± 0,42	0,004 ± 0,001	0,002 ± 0,0004	1,71 ± 0,26

*Атмосферные осадки, прошедшие сквозь полог леса.

Сравнивая ППН 4p-09 и ППН Rus0, можно наблюдать достоверное ($p < 0,05$) снижение в 2 раза концентраций меди в снеговых выпадениях под пологом леса, в 3 раза на открытой территории. Также можно наблюдать небольшое снижение никеля в 2 раза — на открытой территории. В дождевых выпадениях существенные различия в содержании никеля и меди отсутствуют как в осадках прошедших сквозь древесный полог, так и на открытых участках.

По сравнению с ППН S05, находящейся в 14 км от источника загрязнения, концентрация металлов на ППН 4p-09 в снеговых выпадениях, прошедших сквозь полог леса, достоверно ($p < 0,05$) ниже для меди в 16, никеля в 12 раз. На открытой территории тенденция повторяется: для меди — в 32, никеля — в 34, сульфатов — в 2 раза. В дождевых выпадениях также можно наблюдать снижение концентраций тяжелых металлов под пологом леса в 5 раз, а на открытой территории в 7 раз.

Концентрация тяжелых металлов (меди и никеля) на ППН 4p-09 в снеговых выпадениях, прошедших сквозь полог леса, достоверно ($p < 0,05$) в 12 раз ниже, по сравнению с ППН Rus1, находящейся в непосредственной близости от комбината (3 км). Содержание этих же элементов в снеге на открытой территории также снижается: никеля — в 39, меди — в 27 и сульфатов — в 2 раза. Аналогичную картину можно наблюдать и в выпадениях в виде дождя: под пологом леса концентрация никеля и меди меньше в 13 раз, а на открытой территории в 19 и 16 раз соответственно, исключение составляют сульфаты ($p > 0,05$).

Непосредственно в самом заповеднике «Пасвик» находится ППН 5b-09 (табл. 1). Тип леса на данной пробной площади — березняк разнотравный. Как и в сосновых лесах, здесь можно наблюдать влияние полога леса на концентрированность атмосферных осадков: содержание всех элементов достоверно ($p < 0,05$) в несколько раз выше по сравнению с открытой территорией, исключение составляет медь в снеговых выпадениях ($p > 0,05$). Однако в отличие от сосновых лесов в березняке можно увидеть существенные различия в сезонном выпадении осадков. Концентрация меди, никеля и сульфатов в атмосферных осадках, прошедших сквозь древесный полог, в летнее время в 2–3 раза выше, чем в зимнее время. Это объясняется тем, что в летнее время происходит накопление поллютантов на листьях деревьев и смыв их с дождем. При сравнивании концентраций элементов на ППН 5b-09 с ППН Rus0 в зимний период на открытой территории выявлено, что в березняке разнотравном концентрации меди в 3 раза ниже ($p < 0,05$). Анализ концентраций тяжелых металлов в атмосферных выпадениях на открытой территории показал, что содержание меди и никеля на площадке 5b-09 значительно ниже, чем на ППН S05 и Rus1.

Таким образом, анализ состава атмосферных выпадений в березовых и сосновых лесах Печенгского района выявил значительное снижение концентраций никеля и меди при удалении от комбината «Печенганикель». Известно, что частицы тяжелых металлов плохо переносятся аэрогенным путем на дальние расстояния, поэтому загрязнение тяжелыми металлами имеет довольно локальный характер. Сульфаты, наоборот, переносятся на довольно значительные расстояния, поэтому их концентрация, даже на большом удалении от комбината, велика [4]. Для более корректных выводов об аэротехногенной нагрузке на территории Печенгского района и заповедника «Пасвик» требуется расширение сети площадок постоянного наблюдения, их регулярное обслуживание и возобновление мониторинга лесов по программе ISP Forests.

Литература

1. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы / С. И. Ананьева и др.; под общ. ред. О. А. Хлебосоловой. Рязань: Голос губернии, 2012. 92 с.
2. Методика мониторинга лесов по международной программе ICP Forests. М., 2008. 46 с.
3. Цветков В. Ф., Цветков И. В. Промышленное загрязнение окружающей среды и лес: моногр. Архангельск: САФУ, 2012. 312 с.
4. Deposition of sulfate and heavy metals on the Kola Peninsula / D. Jaffe et al. // The Science of the Total Environment. 1995. Vol. 160/161. P. 127–134.

Е. А. Иванова[1], Н. В. Лукина[2]

[1]*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, ivanova@inep.ksc.ru*

[2]*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, lukina@cepl.rssi.ru*

ДИНАМИКА ОПАДА ХВОИ СОСНЫ, ФОРМИРУЮЩЕЙ ДРЕВОСТОИ В ЛЕСАХ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ДИГРЕССИОННОЙ СУКЦЕССИИ

Антропогенное воздействие является важным фактором формирования продуктивности лесных биогеоценозов [1]. Продуктивность древостоя определяет размеры опада, являющегося промежуточным звеном в цепочке продукция — опад — подстилка [3]. В лесных экосистемах древесный опад (около 60 %) является крупнейшим источником органического вещества и элементов питания почвы [3]. Величина годичного опада может быть одним из показателей продуктивности биогеоценозов наряду с суммарной биомассой.

Поступление на почву опада зависит от различных экологических факторов, в том числе от климатических условий, состава древостоя, его прироста, возраста и др. [9]. Сосновые леса Мурманской обл. формируются в экстремальных климатических условиях Севера и дополнительно испытывают значительное антропогенное влияние со стороны предприятий металлургического производства. Крупнейшим источником выбросов сернистого газа и соединений тяжелых металлов в центральной части региона является комбинат «Североникель». Загрязняющие вещества вызывают повреждения ассимилирующего аппарата хвойных древесных растений и дефолиацию деревьев не только в фенологические сроки, что способствует увеличению количества опада [2, 4].

На основе данных многолетнего мониторинга оценивались связи надземной биомассы деревьев с опадом [5–8, 10]. Соотношение опада и биомассы может дать информацию о состоянии древостоя, его способности формировать и аккумулировать органическое вещество. Целью данных исследований является оценка динамики опада хвои сосны, формирующей древостои в лесах на разных стадиях дигрессионной сукцессии.

Исследования выполнялись до 2016 г. на трех мониторинговых площадках, расположенных в 10 км (сосновое кустарничковое редколесье), 30 км (сосняк кустарничково-лишайниковый) от комбината «Североникель» в юго-юго-западном направлении и примерно в 200 км в условиях фона (сосняк лишайниково-кустарничково-зеленомошный). С 2015 г. в лесах, представляющих три стадии сукцессии (фоновые, дефолиирующие и редколесья), заложено по три пробных площади на каждой стадии. По составу древостоя

объекты исследований представляют собой сосновые леса с примесью березы и ели. Леса подвергались в прошлом действию пожаров.

Древесный опад собирался с помощью конических опадоуловителей круглогодично, отбор образцов проводился дважды в год: в октябре и июне. Опадоуловители на учетных площадках ранее были расположены в межкроновых пространствах стохастически, а с 2013 г. — с учетом внутрибиогеоценотического варьирования в меж- и подкроновых пространствах.

В лабораторных условиях опад разбирали на фракции (хвоя, кора, ветки, шишки, семена сосны, лист березы, хвоя ели, семена березы, лист ивы, эпифитные лишайники и неидентифицированные остатки), каждую из которых затем взвешивали. Расчеты проводились на абсолютно сухое вещество. Статистическую обработку данных по фракционному составу опада за период с 1995–2016 гг. проводили с помощью программного обеспечения MS Excel.

Продукция хвои в фоновых, дефолиирующих лесах и редколесьях рассчитывалась с применением коэффициентов уравнений регрессии, полученных на основе измерения модельных деревьев на объектах наших исследований [1]. Для расчета использовались данные по диаметрам деревьев и подроста (от 2,5 см), полученные в ходе картирования проекции крон на мониторинговых площадках в 2015 г. На каждом стационаре постоянного наблюдения заложены учетные площадки прямоугольной формы площадью 1000 м^2 в трех повторностях (общей площадью 3000 м^2). На каждой учетной площадке выполняли сплошной перечет деревьев и подроста, измеряли диаметр деревьев на высоте 1,3 м с помощью мерной вилки. Сравнение соотношения между годичным опадом и продукцией, годичным опадом и общей биомассой хвои сосны в 1995 и 2015 г. рассчитывали на основе оригинальных данных по опаду и диаметра (d) и высоты (h), которые являлись независимыми переменными (d^2h) в аллометрических уравнениях.

Анализ многолетних данных по опаду показал, что в среднем размеры опада сосны (сумма фракций хвои, коры, веток, шишек, семян и микростробил) в период 1995–2016 гг., так же как масса хвои, в сосняках фоновых условий больше (табл. 1), чем в дефолиирующих лесах и техногенных редколесьях. Это можно объяснить как влиянием техногенного загрязнения, при котором ассимилирующие органы сосны обыкновенной преждевременно стареют и опадают, так и тем, что возраст древостоя и фитомасса в фоновых условиях выше, чем в более молодых древостоях дефолиирующих лесов и техногенных редколесий.

Надземная фитомасса в целом составила по расчетам 52,2 т/га в фоновых условиях, 39,7 т/га — в дефолиирующих лесах и 22 т/га — в техногенных редколесьях. Для сравнения: согласно исследованию [6], средняя биомасса в сосновых лесах Финляндии варьирует в пределах 84–175 т/га, по другим источникам, общая фитомасса деревьев в южной Финляндии составляет 137 т/га [7]. Наибольшую долю в составе надземной фитомассы на наших объектах исследований имела древесина — 64,5, 54 и 75 % в фоне, дефолиирующих лесах и редколесьях соответственно. Биомасса хвои (сумма хвои текущего года и многолетней) составила в фоне — 4,3 т/га, в дефолиирущем лесу — 5,1 т/га, в техногенном редколесье — 0,9 т/га (табл. 1).

Таблица 1

Продуктивность сосновых древостоев на разных стадиях техногенной дигрессии, кг/га

Стадия дигрессии	Опад сосны	Биомасса сосны	Хвоя (опад)	Хвоя (биомасса)
Фон	638,7 32,0	52203,0 2798,1	401,5 24,0	4258,1 217,9
Дефолиирующий лес	427,5 36,6	39699,8 3923,2	318,3 31,0	5114,0 429,1
Редколесье	432,2 35,5	22014,1 1426,1	304,3 27,9	902,6 4,3

Примечание. В числителе указано среднее значение, в знаменателе — стандартная ошибка.

В столбцах «опад сосны» и «хвоя (опад)» указаны среднегодовые значения за период 1995–2016 гг., в столбцах «Биомасса сосны» и «Хвоя (биомасса)» — значения за 2015 г.

Кроме того, нами был проведен анализ данных по многолетней динамике массы опада хвои для диагностики состояния сосновых древостоев на разных стадиях техногенной дигрессии, вызванной длительным влиянием воздушного промышленного загрязнения (рис. 1). В фоновых условиях не наблюдается четких тенденций к увеличению или уменьшению массы опада хвои как основной фракции соснового опада в связи со снижением техногенной нагрузки, тогда как в дефолиирующих лесах и техногенных редколесьях наблюдаются четкие тенденции к увеличению массы опада, что может объясняться ослаблением деревьев, вызванным многолетним воздействием загрязнения, а также увеличением возраста и фитомассы древостоев.

Анализ данных соотношения массы опада хвои к биомассе хвои текущего года (приросту) в 2015 г. показал, что этот параметр составил в фоновых условиях 0,4, в дефолиирующих лесах — 0,3, в техногенных редколесьях — 2,4 (рис. 2А). Таким образом, наблюдается значительное увеличение отношения между размерами опадающей хвои и ее живой массой в техногенных редколесьях. В молодых дефолиирующих лесах

это соотношение не отличается от фоновых значений, несмотря на выраженные процессы дефолиации, которой подвержена многолетняя стареющая хвоя.

Сравнение показателей соотношения между годичным опадом и общей биомассой хвои сосны в 1995 и 2015 гг., рассчитанных с применением коэффициентов уравнений регрессии [1], показало, что в фоновых условиях соотношение опада хвои к ее биомассе существенно не изменилось (рис. 2Б).

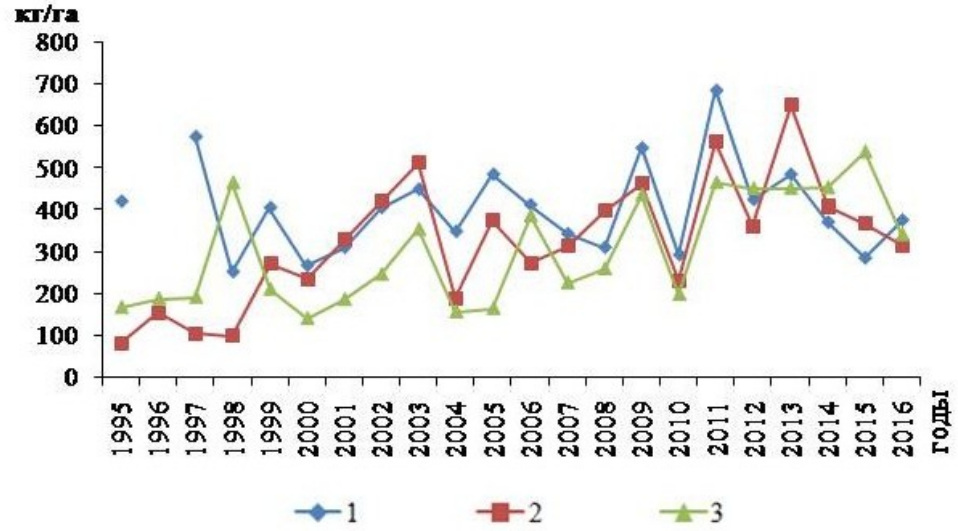


Рис. 1. Динамика массы опада хвои за период 1995–2016 гг. Цифрами обозначены стадии дигрессии:
1 — фоновые условия, 2 — дефолиирующие, 3 — техногенные редколесья

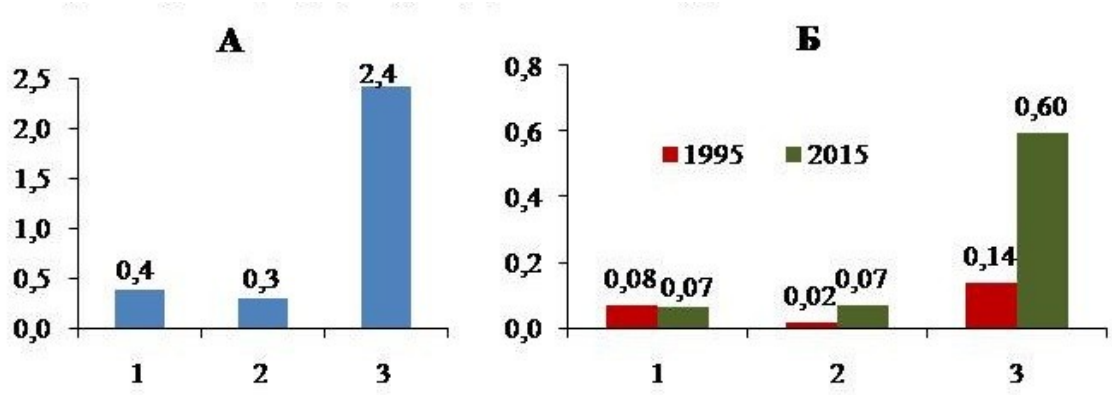


Рис. 2. Отношение массы опада хвои к биомассе хвои:
А — отношение массы опада хвои сосны к биомассе хвои текущего года в 2015 г.;
Б — отношение массы опада хвои сосны к общей биомассе хвои сосны в 1995 и 2015 гг.
Стадии дигрессии: 1 — фоновые условия, 2 — дефолиирующие, 3 — техногенные редколесья

В дефолиирующих лесах и техногенных редколесьях, испытывающих влияние воздушного промышленного загрязнения, наблюдается сходная картина возрастания отношения опада хвои к ее биомассе в целом: в 3,5 раза в дефолиирующих лесах и в 4 раза в техногенном редколесье. Таким образом, в лесах фоновых условий выше как продукция, так и опад хвои, но соотношение опада и биомассы хвои, напротив, ниже. Повышение отношения опада к биомассе в 2015 г. по сравнению с 1995 г. свидетельствует об усилении процесса дефолиации в древостоях дефолиирующих лесов и техногенных редколесий.

Литература

1. Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения: в 2 ч. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с.; Ч. 2. 192 с.
2. Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 316 с.
3. Никонов В. В., Лукина Н. В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: КНЦ РАН, 1994. 315 с.
4. Ярмишко В. Т., Лянгузова И. В. Многолетняя динамика параметров и состояния хвои Pinussylvestris L. в условиях аэротехногенного загрязнения на Европейском Севере // Известия СПбЛТА: науч. журн. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. № 2(203). С. 30–46.

5. Foliar turnover rates in Finland – comparing estimates from needle-cohort and litterfall-biomass methods / B. Ťupek et al. // Boreal Env. Res. Helsinki. 2015. Vol. 20. P. 283–304.
6. Litterfall production and nutrient return of the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland / L. Ukonmaanaho et al. // Boreal Env. Res. Helsinki. 2008. Vol. 13 (suppl. B). P. 67–91.
7. Long-term measurements of the carbon balance of a boreal Scots pine dominated forest ecosystem / H. Ilvesniemi et al. // Boreal Env. Res. Helsinki. 2009. V. 14. P. 731–753.
8. Novák J., Dušek D., Slodičák M. Quantity and quality of litterfall in young oak stands // Journal of forest science. 2014. Vol. 60. No. 6. P. 219–225.
9. Pedersen L. B., Bille-Hansen J. A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce, sitka spruce and beech stands in Denmark // For. Ecol. Manage. 1999. Vol. 114. P. 55–70.
10. Testing dependence between growth and needle litterfall in Scots pine — a case study in northern Finland / A. Lenthonen et al. // Tree Physiology. HeronPublishing — Victoria, Canada. 2008. Vol. 28. P. 1741–1749.

Е. М. Ключникова
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, e.klyuchnikova@gmail.com

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АРКТИКЕ: АНАЛИЗ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Выбор темы исследований продиктован необходимостью разработки и проведения экспертизы идей международных проектов, выдвигаемых на конкурс Программы Коларктик. Основным условием успешности разрабатываемых проектов является их потенциальный вклад в достижение стратегических целей регионального, национального и глобального уровней. Данный подход является актуальным и в свете Стратегии научно-технологического развития РФ, ставящей целью произвести изменения в организации научной, научно-технической и инновационной деятельности [2]. Такой подход позволяет законодательно аргументировать выбор тем и направлений научных исследований.

Необходимость эффективного освоения и использования пространства нашей страны, в том числе Арктической зоны, требует принципиально новых подходов, предполагающих размывание дисциплинарных и отраслевых границ в исследованиях и разработках, и возрастания роли международных стандартов. Стратегия научно-технологического развития ставит перед научными учреждениями задачу получить научные и научно-технические результаты, позволяющие создать технологии противодействия техногенным, биогенным, социокультурным угрозам, эффективно отвечающие на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы. Особую актуальность приобретают исследования в области понимания процессов, происходящих в обществе и природе, которые могут быть использованы для развития природоподобных технологий [2].

Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации (далее — Стратегия)ставит целью комплексное социально-экономическое развитие арктических территорий, базирующееся на развитии науки и технологий, обеспечивающих экологическую безопасность. Документ определяет, что главным драйвером экономического роста в Арктической зоне будет оставаться горная промышленность, которая должна работать на принципах комплексного использования минерального сырья и внедрения современных энергосберегающих технологий. Другим значимым драйвером продолжит оставаться рыбопромышленный комплекс, базирующийся на эффективном использовании основных промысловых видов водных биологических ресурсов, вовлечении в промысел нетрадиционных объектов, использовании биотехнологий и аквакультуры. Стратегия предусматривает объединение ресурсов и возможностей государства, бизнеса, науки и образования для формирования конкурентоспособного научно-технологического сектора в области разработки и внедрения передовых технологий, включая разработку новых или адаптацию существующих к арктическим условиям. Во главу угла должно быть поставлено научное обоснование долгосрочных перспектив и основных направлений развития различных видов деятельности в Арктике. Даны прогноз и оценка последствий глобальных климатических изменений, происходящих в Арктической зоне Российской Федерации. Возможности международного научного сотрудничества для обеспечения участия российских научных организаций в глобальных технологических и исследовательских проектах в Арктике должны быть использованы. Это позволит российской науке не выпасть из глобальной повестки. Для обеспечения экологической безопасности в Арктической зоне Стратегия ставит целью сохранение биоразнообразия в условиях расширения экономической деятельности и глобальных изменений климата, ликвидацию экологического ущерба и минимизацию негативного антропогенного воздействия [3].

По мнению иностранных исследователей, арктическая экономика в ближайшее время столкнется с такими вызовами, как переход к экономике замкнутого цикла, ведущий к снижению потребностей мировой экономики в сырьевых ресурсах, развитие биоэкономики, необходимость искать способы использования специфических природных условий Арктики как ключевого преимущества экономики Арктической зоны [7].

Стратегическая цель Европейского союза по переходу на циркулярную экономику может быть реализована при доступности чистых и экологически сбалансированных биоресурсов (то есть таких ресурсов, которые могут быть безопасно возвращены в окружающую среду в виде биоотходов) [5]. Поэтому уже сейчас актуальным является создание биотехнологий для организации малых локальных хозяйств с многооборотным использованием продукции. Арктическая морская и наземная биоэкономика должна стать одним из центральных столпов экологически и социально устойчивого регионального развития [7].

Как видно из вышеприведенного обзора российские стратегии коррелируют с европейскими в части необходимости развития циркулярной экономики. Фонд Элен Маккартур определяет циркулярную экономику как восстановительную, ставящую цель поддерживать полезность продуктов, компонентов и материалов и сохранить их стоимость [4]. Таким образом, такой подход минимизирует необходимость в новых материалах и энергии при одновременном снижении нагрузки на окружающую среду [5]. В российских документах этому понятию соответствуют цели по комплексному использованию ресурсов, повышению энергоэффективности, снижению экологической нагрузки и ликвидации экологического ущерба. Реализации поставленных целей будут способствовать экологические исследования в следующих направлениях:

- создание технологий биологической переработки отходов в арктических условиях, например, технологий компостирования биологических отходов с последующим использованием их энергетической (биогаз) и питательной (биоудобрения, компост) составляющих;
- создание технологий очистки сбросов и выбросов с последующим возвращением ценных компонент в экономику;
- создание технологий по получению полезных продуктов из отходов;
- создание технологий повторного использования;
- накопление базы знаний и разработка методов экодизайна (исследование всего жизненного цикла продукта и внесение изменений, минимизирующих негативные воздействия продукта в течение всего жизненного цикла) в арктических условиях.

Вторым важным стратегическим направлением является развитие биоэкономики в Арктике. По определению Еврокомиссии, биоэкономика — это часть экономики, использующая возобновляемые биологические ресурсы (растения, леса, рыбы, животные, микроорганизмы) для производства продовольствия, материалов и энергии [6]. Стратегия развития Арктической зоны РФ в качестве приоритетного развития биоэкономики определяет использование водных биоресурсов, поэтому важным направлением экологических исследований может быть изучение условий воспроизводства промысловых биоресурсов и создание технологий по улучшению среды в целях повышения биопродуктивности пресноводных водоемов.

Стратегия прямо указывает на необходимость оценки и прогноза последствий глобальных климатических изменений. Таким образом, выделяется следующее стратегическое направление экологических исследований: оценка и прогноз изменений экосистем в условиях меняющегося климата. Наиболее перспективным должно быть направление исследований, рассматривающее все природные системы в совокупности. Для этого целесообразно применять концепцию экосистемных услуг.

Стратегические документы РФ определяют, что на современном этапе успешная организация научной деятельности требует новых подходов, предполагающих размывание дисциплинарных и отраслевых границ в исследованиях и разработках, возрастания роли международных стандартов [2]. Документы определяют и механизмы такого взаимодействия: объединение ресурсов и возможностей государства, бизнеса, науки и образования; международное научное сотрудничество для обеспечения участия российских научных организаций в глобальных технологических и исследовательских проектах в Арктике [3].

Таким образом, должен быть использован известный механизм тройной спирали инноваций, сформированы сети сотрудничества. Необходимо понимать, что на современном этапе, «сырые» данные, даже прошедшие первичную обработку (проанализированы на предмет пространственного и временного распределения), являются недостаточными для получения ответов на большие вызовы. Для получения таких ответов должны анализироваться нетривиальные наборы первичных данных. Чтобы это стало возможным, должны быть налажены коммуникационные связи внутри научного сообщества, использован междисциплинарный подход. Все это должно привести к конвергенции технологий различных областей, созданию природоподобных технологий и, в конечном итоге, к формированию ответа на большие вызовы, как того требует Стратегия научно-технологического развития РФ [1].

Таким образом, в свете стратегических целей развития Арктической зоны Российской Федерации актуальными направлениями экологических исследований в Арктике являются: использование и переработка отходов; создание биотехнологий для повышения продовольственной и энергетической устойчивости в Арктике; оценка и прогноз состояния природных и техногенных систем Арктики в условиях меняющегося климата. Конечной целью экологических исследований в Арктике должно стать понимание взаимодействия различных экосистем для создания природоподобных технологий. Для осуществления таких исследований должен быть использован системный подход, сформированы междисциплинарные сети сотрудничества, в том числе международные.

Литература
1. Большие вызовы в науке: материалы Санкт-Петербургского междунар. экон. форума. 2016. URL: http://www.forumspb.com/bfx-cc/system/uploads/files/site_session_attr/stenogram_ru/782/16_.pdf
2. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации: утверждена Указом Президента РФ № 642 от 01.12.2016. URL: http://rulaws.ru/president/Ukaz-Prezidenta-RF-ot-01.12.2016-N-642/
3. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года, утверждена Президентом РФ от 08.12.2013. URL: http://arctic.gov.ru
4. Circular economy overview. 2015. URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/overview/concept
5. EEA. Circular economy in Europe. Developing the knowledge base. 2016. URL: http://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe
6. European Commission. Research and Innovation. Bioeconomy. URL: https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm
7. Stępień A. Other futures for arctic economies? Searching for alternatives to resource extraction. 2016. URL: http://lauda.ulapland.fi/bitstream/handle/10024/62539/ Changing%20debate%20-%20ArCticle%203108%20HQ.pdf

М. В. Корнейкова, Н. В. Фокина, А. А. Чапоргина, Е. С. Янышевская
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, NadezdaVF@yandex.ru

АНТИБИОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МИКРОМИЦЕТОВ ФОНОВЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВЫБРОСАМИ АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА ПОЧВ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В ходе эволюции между бактериями и грибами выработались многосторонние сложные взаимоотношения, в которых большую роль играют их метаболиты, такие как ферменты, органические кислоты, биорегуляторы, пигменты, антибиотики [4, 5]. Антибиотики играют важную роль в конкурентных межвидовых взаимоотношениях микроорганизмов [1].

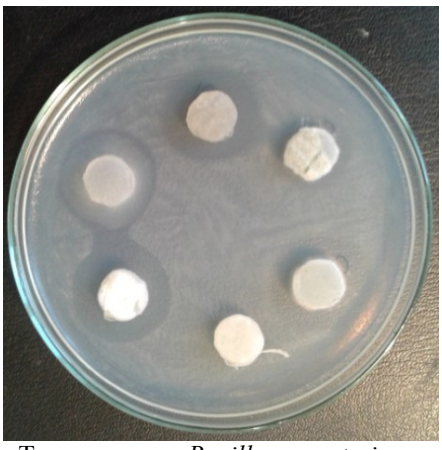
Многие грибы способны синтезировать микотоксины — биологически активные вторичные метаболиты, интегральное действие которых выражается в подавлении роста и развития других организмов. Установлено, что доминирующие в условиях интенсивной антропогенной нагрузки виды грибов синтезируют микотоксины с антибиотическим и фунгицидным действием, что указывает на усиление «метаболического» регулирования микробного сообщества почвы. В качестве побочного эффекта может проявляться фито- и зоотоксическое действие микромицетов в зависимости от спектра биологического действия их микотоксинов [2].

Существуют представления, что для организмов — обитателей экониш, не обильно заселенных и экстремальных по физико-химическим условиям, способность к синтезу антибиотиков мало значима. Их усилия направлены на адаптацию к высокой солености, уровню облучения, температуре, крайним значениям pH и другим параметрам среды. Вместе с тем, в популяциях грибов экстремальных местообитаний можно ожидать присутствие видов, активных в отношении организмов, которые способны к существованию в этих условиях.

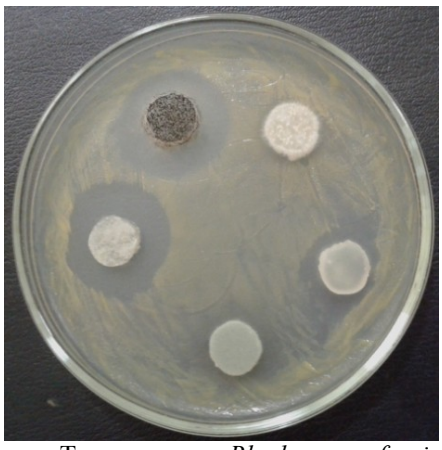
Цель работы — изучить антибиотическую активность микроскопических грибов, выделенных из фоновых и загрязненных выбросами Кандалакшского алюминиевого завода почв, и определить влияние разных концентраций фтора на способность микромицетов синтезировать антибиотики.

В лабораторном опыте по изучению антибиотической активности микроскопических грибов было проанализировано 58 штаммов, выделенных из фоновых и загрязненных почв. Из них 15 штаммов микромицетов (рр. *Aspergillus* (1), *Acremonium* (1), *Cladosporium* (1), *Mucor* (1) и *Penicillium* (11)), обладающих антибиотической активностью, высевали на четыре среды: 1) сусло; 2) сусло +50 мг/л F^-; 3) сусло +100 мг/л F^-; 4) сусло +300 мг/л F^-. В качестве тест-культур были отобраны 4 вида грамположительных (*Bacillusmegaterium, Micrococcussp.*, *Rhodococcusfascians*, *Arthrobacterromosus*) и 2 вида грамотрицательных бактерий (*Pseudomonas fluorescens, Escherichia coli*). В чашки Петри методом поверхностного посева вносили по 0,5 мл бактериальной суспензии на среду МПА или картофельный агар. На засеянные чашки выкладывали блоки с грибами и помещали в термостат при температуре +27 °С (рис.). Измерение зоны ингибирования проводили через 24–48 ч.

Известно, что устойчивость бактерий к антибиотикам может быть связана с особенностями строения их клеточной оболочки. Например, клеточная стенка грамотрицательных микроорганизмов (особенно рода *Pseudomonas*) непроницаема для некоторых бета-лактамных антибиотиков. В то же время аминогликозиды проникают внутрь бактерий посредством кислородозависимой транспортной системы, в связи с этим анаэробы обладают большей устойчивостью к этой группе антибиотиков. Некоторые бактерии, например *E. coli*, становятся не восприимчивыми к действию тетрациклинов, когда приобретают внутримембранный белок, активно выводящий антибиотик из клетки. Так же бактерии способны синтезировать ферменты, разрушающие или блокирующие антибиотик до проявления его активности.



Тест-культура *Bacillus megaterium*



Тест-культура *Rhodococcus fascians*

Чашки с тестовыми культурами и грибными блоками

Лабораторные опыты показали, что грамположительные бактерии более устойчивы к действию антибиотиков, продуцируемых микромицетами, чем грамотрицательные (табл. 1).

Таблица 1

Антибиотическая активность микроскопических грибов

Грибы	Грамположительные бактерии				Грамотрицательные бактерии	
	Bacillus megaterium	*Micrococcus sp.*	*Rhodococcus fascians*	*Arthrobacter romosus*	*Pseudomonas fluorescens*	*Escherichia coli*
Acremonium rutilum	+	–	+	+	–	–
Aspergillus niger	+	+	+	+	+	+
Cladosporium herbarum	–	+	–	–	–	–
Mucor plumbeus	+	–	–	+	–	–
Penicillium aurantiogriseum	+	+	+	+	–	–
P. commune	+	+	–	–	–	–
P. corylophilum	+	–	–	+	–	+
P. dierckxii	+	+	+	+	–	–
P. decumbens	+	–	–	+	–	–
P. jensenii	+	–	+	+	–	+
P. implicatum	+	–	+	+	–	–
P. ochrochloron	–	+	+	–	–	–
P. simplicissimum	+	–	+	+	–	–
P. spinulosum	+	–	+	+	–	+
P. thomii	+	+	+	+	–	+

Примечание: «+» — обладают антибиотической активностью, «–» — не обладают антибиотической активностью.

Тест-культура *Pseudomonas fluorescens* проявила свою чувствительность только по отношению к метаболитам *Aspergillus niger*. Рост *Escherichia coli* также подавляли грибы *Penicillium corylophilum*, *P. spinulosum*, *P. thomii* и *P. jensenii*. Среди грамположительных бактерий наибольшую устойчивость проявил *Micrococcus sp.* Все виды грамположительных бактерий были чувствительны к веществам, выделяемым видами *Aspergillus niger*, *P. thomii*, *P. dierckxii* и *P. aurantiogriseum.*

Ранее в результате серии лабораторных опытов было выявлено, что даже относительно низкие концентрации фтора (50–100 мг/л F^-) достаточно сильно подавляли развитие большинства микроскопических грибов. При концентрации фтора (100 мг/л F^-) грибная биомасса уменьшалась в среднем в 3,5 раза. Под влиянием высоких концентраций фтора (500 мг/л F^-) этот показатель снижался в среднем в четыре раза — до 65 ± 8 мг. Однако у некоторых устойчивых видов биомасса оставалась значительной даже при концентрации фтора 1500 мг/л F^- [3].

При изучении влияния фтора на антибиотическую активность микромицетов было обнаружено, что наибольшую чувствительность проявили грибы *P. spinulosum* и *P. thomii* (табл. 2). У них отмечалось уменьшение зоны ингибирования с 5 до 2 мм со всеми вариантами бактериальных тест-культур. Также были

выявлены микроскопические грибы, которые увеличили свою антибиотическую активность при добавлении фтора. Наиболее устойчивыми из них оказались грибы *P. aurantiogriseum* и *P. ochrochloron*. У 50 % изученных штаммов микромицетов при внесении фтора в среду изменения антибиотической активности не было выявлено.

Таблица 2

Группы микроскопических грибов по влиянию фтора на их антибиотическую активность

Тест-культура	Изменение зоны ингибирования по сравнению с контролем при добавлении фтора		
	увеличивается	не изменяется	уменьшается
Bacillus megaterium	*Penicillium aurantiogriseum*	*Aspergillus niger* *P. jensenii* *P. simplicissimum* *Acremoniumrutilum* *P. implicatum* *Mucor plumbeus*	*P. spinulosum* *P. thomii* *P. dierkcxii* *P. corylophilum* *P. decumbens*
Micrococcus sp.	*P.ochrochloron* *P.commune*	*Cladosporium herbarum* *A. niger* *P. aurantiogriseum*	
Rhodococcus fascians	*P.ochrochloron*	*P. jensenii* *P. simplicissimum* *Acremoniumrutilum* *P. implicatum* *P. dierkcxii* *P. aurantiogriseum*	*P. spinulosum* *P. thomii* *A. niger*
Arthrobacter romosus	*P.simplicissimum* *P.aurantiogriseum* *P.corylophilum*	*A. niger* *P. jensenii* *Acremoniumrutilum* *P. implicatum* *P. thomii* *P. decumbens* *Mucor plumbeus*	*P. spinulosum* *P. dierkcxii*
Pseudomonas fluorescens		*A. niger*	
Escherichia coli		*A. niger* *P. jensenii*	*P. spinulosum* *P. thomii* *P. corylophilum*

Таким образом, из 58 штаммов микроскопических грибов, выделенных из фоновых и загрязненных выбросами алюминиевого завода почв, 15 обладали антибиотической активностью. Гр– бактерии более устойчивы к действию антибиотиков, продуцируемых микромицетами, по сравнению с Гр+. Самой устойчивой к метаболитам микроскопических грибов оказалась тест-культура *Pseudomonas fluorescens.* Добавление фтора (50-300 мг/л F^-) в среду для культивирования микромицетов оказало влияние на их антагонистическую активность в отношении бактерий. Это влияние было не однозначным и различалось для разных видов тест-бактерий и штаммов микромицетов: 50% изученных штаммов не изменяли антибиотическую активность, виды *P. aurantiogriseum* и *P. ochrochloron* усилили ее, а *P .spinulosum* и *P .thomii*, напротив, уменьшили. Наиболее чувствительными к ионам фтора оказались грибы рода *Penicillium*.

Литература

1. Антибиотическая активность бактерий — эндобионтов плодовых тел базидиальных грибов / Т. А. Ефименко и др. // Микробиология. 2016. Т. 85, № 6. С. 740–747.
2. Сенчакова Т. Ю., Свистова И. Д. Спектр биологической активности микромицетов чернозема // Проблемы медицинской микологии. 2009. Т. 11, № 1. С. 30–33.
3. Чапоргина А. А., Корнейкова М. В. Комплексы микроскопических грибов воздуха и почвы в зоне воздействия выбросов Кандалакшского алюминиевого завода // Проблемы арктического региона: труды 14-й Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов. Мурманск, 2014 г. С. 136–142.
4. Leveau J. H., Preston G. M. Bacterial mycophagy: definition and diagnosis of a unique bacterial-fungal interaction // New Phytol. 2007. Vol. 177. P. 859–876.
5. 5Kobayashi D. Y., Crouch J. A. Bacterial/fungal interactions: from pathogens to mutualistic endosymbionts // Annu. Rev. Phytopathol. 2009. Vol. 47. P. 63–82.

М. В. Слуковская[1], И. П. Кременецкая[1], Т. Т. Горбачева[2], Л. А. Иванова[3], С. В. Дрогобужская[1], И. А. Мосендз[1], Е. Ф. Марковская[4]
[1]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты*
[2]*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты*
[3]*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Апатиты*
[4]*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск*

ФАКТОР КОМПЕНСАЦИИ ДЕФИЦИТА МАКРОКОМПОНЕНТОВ В ПОЧВЕННОМ СЛОЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ИМПАКТНОЙ ЗОНЫ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Низкие темпы естественного восстановления растительных сообществ на территориях, подвергшихся аэротехногенному загрязнению тяжелыми металлами в условиях Субарктики, связаны с утратой органического вещества почв, нарушением водного режима и, как следствие, крайне низким содержанием макроэлементов [3, 4]. По состоянию на 2011 г., в зоне 0,5–3,0 км от медно-никелевого комбината АО «Кольская ГМК» (площадка Мончегорск) проективное покрытие естественной растительности составляло 10–15 %, т. е. на значительной части территории наблюдалась полная деградация травяного покрова [1].

С целью восстановления растительного покрова в зоне влияния промышленных выбросов путем восполнения элементов минерального питания коллективом авторов из Кольского научного центра РАН и Петрозаводского государственного университета начиная с 2010 г. в импактной зоне медно-никелевого предприятия возле г. Мончегорска на двух участках апробирован способ фиторемедиации с применением отходов предприятий горнопромышленного комплекса. Эти отходы содержат большое количество кальция и магния, которые относятся к макрокомпонентам почвенного слоя. В работе были использованы материалы, содержащие кальцит (отходы обогащения апатит-магнетитовых руд рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК», Мурманская обл. (КО)), силикаты магния (сунгулит из вмещающих пород Хабозерского месторождения оливинитов, Мурманская обл. (СГ-11), вскрышные породы Халиловского месторождения магнезита, ЗАО «Литосфера», Оренбургская обл. (СМ), вермикулит-сунгулитовые отходы добычи флогопита ОАО «Ковдорслюда» (СГ-13) и отходы переработки флогопита, состоящие в основном из некондиционного флогопита и пустой породы (ФО) [5, 6]. Для создания растительного покрова использовались смеси семян злаковых растений, высеянных в слой гидропонного вермикулитового субстрата [2, 7]. Толщина насыпного мелиоративного слоя составляла 5 см, толщина слоя вермикулитового субстрата — 1 см. В качестве материала сравнения был использован карьерный песок (П).

Поскольку на состояние растительности и микроорганизмов в зоне влияния медно-никелевого комбината влияют преимущественно такие факторы, как содержание в почве макроэлементов, с одной стороны, и содержание тяжелых металлов — с другой, то исследователями были предложены критерии оценки степени токсичности грунта, в которых в расчет бралось содержание обменных форм кальция и магния к содержанию меди или никеля [1]. Для оценки благоприятности грунта в ходе мониторинга экспериментов по фиторемедиации грунта техногенной пустоши данный критерий был модифицирован в модуль токсичности (Мт), определяемый как отношение суммарного содержания меди и никеля к кальцию и магнию в доступных для растений формах, выраженное в мольных единицах.

В данной публикации приведены результаты экспериментов, заложенных в 2011 г. (маркировка «-11») и 2013 г. («-13») на площадке в 0,7 км от медно-никелевого комбината. Грунт является торфяным, содержание углерода составляет 38 %, зольность — 24 %, pH водной вытяжки — 4,31, pH солевой — 3,86. Валовое содержание, /кг: кальция — 1,9, магния — 1,1, меди — 6,4, никеля — 1,6 (данные были получены с использованием оборудования ЦКП «Аналитическая лаборатория» ИЛ КарНЦ РАН). Таким образом, грунт характеризовался экстремально высоким содержанием таких тяжелых металлов, как медь и никель. Основные результаты, полученные при проведении анализа влияния макрокомпонентов на свойства почвенных субстратов, представлены в табл. 1. Все показатели определяли в 2016 г., т. е. по прошествии 3–5 лет от начала эксперимента, в насыпном слое (отходы промышленности и песок) и слое торфа под ним глубиной до 5 см.

Модуль токсичности в варианте с песком является самым высоким из всех вариантов эксперимента, поскольку в нем не содержится, в отличие от горнопромышленных отходов, существенного количества кальция и магния. Самый низкий Мт отмечен для насыпного слоя из КО-11 и СГ-13 ($5 \cdot 10^{-4}$). Самая высокая актуальная кислотность зафиксирована в варианте с песком (табл. 1).

Горнопромышленные отходы оказывают подщелачивающее действие на техногенно загрязненный органогенный грунт, снижая кислотность в слое под ними на 2–3 ед. В то же время флогопитовые отходы не настолько же эффективны с точки зрения увеличения pH, как другие виды отходов.

Эффект подщелачивания связан с поступлением кальция и магния из горнопромышленных отходов в торф (рис. 1). Максимальные концентрации кальция в 5-сантиметровом слое торфа отмечены в варианте КО-11 — 18,6 г/кг, магния в варианте СГ-11 — 5,5 г/кг. Минимальное содержание данных макроэлементов под песком, г/кг: 0,7 — кальция и 0,3 — магния (П-11) и 2,3 — кальция и 0,2 — магния (П-13). Таким образом,

горнопромышленные отходы оказывают выраженный мелиоративный эффект, увеличивая содержание эссенциальных элементов в грунте. Корреляционный анализ выявил тесную взаимосвязь между суммарным содержанием макрокомпонентов в насыпном слое и слое торфа (табл. 2).

Таблица 1

Характеристика почвенных субстратов рекультивационного слоя (м — мелиорант, т — торф)

Минеральный субстрат	Маркировка слоя	Мт	pH_{H2O}	Содержание биодоступных компонентов, мг/кг				Категории
				Mg	Ca	Ni	Cu	
П-13	м	0,09	6,4	390	11280	140	1570	**I**
	т	0,66	5,0	200	2340	125	2675	**I**
П-11	м	0,08	5,5	60	200	7	70	II
	т	0,71	5,0	270	690	40	970	**I**
ФО-13	м	0,019	7,8	525	9235	60	25	III
	т	0,83	4,9	340	1890	160	3060	**I**
СМ-11	м	0,0017	8,1	**7070**	1585	35	18	**IV**
	т	0,19	6,6	**3035**	2450	205	2080	II
КО-11	м	0,0005	8,5	1545	**61080**	8	22	**IV**
	т	0,24	6,3	930	**18620**	110	2620	II
СГ-11	м	0,0005	8,2	**21320**	5470	20	5	**IV**
	т	0,21	7,3	**5450**	2220	340	3410	III
СГ-13	м	0,0014	8,5	4000	8750	20	13	**IV**
	т	0,21	6,1	2850	3030	200	2430	II

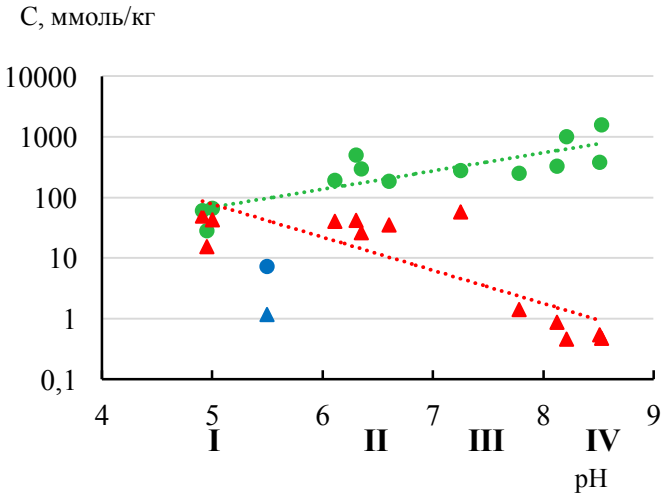


Рис. 1. Диаграмма рассеяния суммарного содержания кальция и магния (зеленые кружки) и меди и никеля (красные треугольники) в зависимости от pH почвенных субстратов. Синими маркерами отмечены данные для опыта П-11

Таблица 2

Результаты корреляционного анализа экспериментальных данных

	(Ca+Mg), торф	Мт	(Ca+Mg), растения	Биомасса
(Ca+Mg), мелиорант	0,96	–0,55	0,76	0,45
Биомасса		–0,66	0,68	

На основании данных рис. 1 выделены четыре категории субстратов в соответствии со степенью благоприятности для произрастания растений. В свою очередь, минеральные субстраты можно отнести к двум группам. В опытах с материалами первой группы (песок и флогопитовые отходы) свойства слоя торфа не претерпевают существенных изменений и относятся к категории **I**. Материалы второй группы (СМ, КО, СГ) соответствуют категории наиболее благоприятных субстратов (**IV**), при этом свойства нижележащего торфа претерпевают существенные изменения, они отнесены к категориям **II** и **III**.

Прямая зависимость между актуальной кислотностью и содержанием меди и никеля как в насыпном слое, так и в торфе под насыпным слоем отсутствовала, несмотря на известный факт изменения доступности

меди и никеля в зависимости от изменения величины pH. Возможно, это связано с особенностями химических и физических свойств разных материалов, из-за чего эта динамика является сугубо индивидуальной для каждого вида отходов и не вполне точно соответствует поведению металлов в простых химических средах. В то же время для суммарного содержания данных компонентов прослеживается тенденция снижения по мере увеличения pH.

По результатам биометрических исследований в июне 2016 г., т. е. через месяц после начала вегетационного сезона, отмечается закономерная положительная корреляция между суммарным содержанием биодоступных макрокомпонентов в слое минерального субстрата и их суммарной концентрацией в растениях, а также между биомассой растений и указанными выше концентрациями кальция и магния. Кроме того, согласно полученным данным, модуль токсичности целесообразно использовать в качестве характеристики почвогрунта в условиях высокого уровня загрязнения природной среды. Наглядным проявлением влияния данных показателей на произрастание растений является внешний вид искусственных фитоценозов (рис. 2).



а *б*

Рис. 2. Внешний вид экспериментальных площадок: *а* — П-11; *б* — СГ-11, КО-11

Заключение

Увеличение содержания макроэлементов в техногенном грунте — важнейшая задача, решение которой во многом определяет результативность мероприятий по фиторемедиации. Многолетние натурные эксперименты на техногенной пустоши показали, что использованные отходы горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности являются, с одной стороны, недорогим эффективным способом мелиорации техногенной пустоши, а с другой — субстратом для развития растительных сообществ.

Литература

1. Евдокимова Г. А., Калабин Г. В., Мозгова Н. П. Содержание и токсичность тяжелых металлов в почвах зоны воздействия воздушных выбросов комбината «Североникель» // Почвоведение. 2011. № 2. С. 261–268.
2. Изменение свойств техногенно загрязненного грунта при использовании карбонатитового мелиоранта в зоне воздействия медно-никелевого комбината / М. В. Слуковская и др. // Труды КарНЦ РАН. 2014. № 6. С. 133–142.
3. Кашулина Г. М., Переверзев В. Н., Литвинова Т. И. Трансформация органического вещества почв в условиях экстремального загрязнения выбросами комбината «Североникель» // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1265–1275.
4. Лукина Н. В., Черненькова Т. В. Техногенные дигрессии в лесах Кольского полуострова // Экология. 2008. № 5. С. 329–337.
5. Приемы адаптивных технологий при создании культурфитоценозов в условиях техногенных ландшафтов Субарктики, загрязненных тяжелыми металлами / В. Т. Калинников и др. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. № 2. С. 80–90.
6. Применение отходов АО «Ковдорский ГОК» для мелиорации загрязненного почвенного слоя / В. В. Лащук и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18, № 2 (3). С. 746–751.
7. Ivanova L. A. Method for biological recultivation of industrial wastelands. Patent WO2011084079 A1. 2011.

П. М. Терентьев, Е. М. Зубова, Н. А. Кашулин, И. М. Королева

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, p_terentjev@inep.ksc.ru

ЕВРОПЕЙСКАЯ КОРЮШКА БАССЕЙНА ОЗЕРА ИМАНДРА

Экспансия аборигенных видов рыб в бассейнах озерно-речных систем Северной Фенноскандии в настоящее время может быть сравнима с процессами интродукции и распространения чуждых видов [6, 10, 12,

17]. Для водоемов Мурманской обл. эта проблема также становится весьма актуальной. В частности, для крупнейшего в области водоема — оз. Имандра, являющегося, кроме того, и одним из интенсивно загрязняемых пресноводных систем региона, в последние десятилетия регистрируются тенденции стремительных перестроек структуры ихтиофауны. Они выражаются в изменениях доминирующих комплексов в составе рыбной части сообщества, когда на смену типичным структуре сообщества рыб арктических водоемов представителям лососевых и сиговых видов приходят менее ценные представители рыбной фауны [5, 16].

Озеро Имандра в доиндустриальный период являлось лососево-сиговым водоемом [3, 9, 13]. В период начала интенсивного промышленного освоения региона статус озера оценивался как ряпушково-сиговое с встречающимся озерным гольцом *Salvelinus alpinus* [3, 5]. При этом на долю корюшки в этот период в уловах приходилось около 0,5 % [73]. Позднее в Бабинской и Йокостровской Имандре в составе рыбной фауны также преобладал сиг и голец. Доля сига в 1972 и 1973 гг. в Бабинской Имандре достигала 56,5 и 37,8 %, а гольца — 33,7 и 44,6 %, соответственно. Для Йокостровсвкой Имандры отмечалась сходная тенденция [8]. В дальнейшем с ухудшением качества вод озера, изменениями гидрологического режима, условий воспроизводства, прессом браконьерского промысла произошло критическое снижение численности сига и практически полное исчезновение арктического гольца [1, 11]. Одной из основных тенденций функционирования фауны рыб рассматриваемого бассейна, начиная со второй половины 1990-х гг., является значительное увлечение численности европейской корюшки в структуре сообщества.

Среди относительно небогатой в видовом отношении фауны рыб Кольского Севера, европейская корюшка *Osmerus eperlanus* является типичным представителем рыбной части сообщества оз. Имандра [2, 3, 4, 14]. Известно, что помимо бассейна оз. Имандра на территории Мурманской обл. европейская корюшка обитает также в оз. Колвицкое и Ковдозерском водохранилище [2]. В водохранилищах бассейна р. Тулома ранее в период 1979–1985 гг. была натурализована онежская корюшка [12]. Впоследствии она распространилась и в бассейне р. Кола, где сейчас достаточно многочисленна (Колозеро, Пулозеро) [16]. Изучению биологии корюшки оз. Имандра ранее не уделялось должного внимания. В материалах отчетов и монографий прошлого века имелись лишь отдельные описания ее общих размерно-весовых показателей и объемов промысловых уловов [3, 4, 7–9, 13]. Однако на протяжении последнего десятилетия ее численность и доля в структуре сообщества Бабинской, Йокостровской и Большой Имандры неуклонно возрастает. В настоящее время ее доля в составе уловов оз. Имандра может достигать 45 %. Доля сига в составе уловов лишь в пределах относительно незагрязненной акватории Бабинской Имандры составляет около 30 %. Кроме того, отмечено увеличение ее размерно-весовых показателей, а также продолжительности жизни.

Основу современной популяции корюшки оз. Имандра составляют рыбы массой 30–60 г, при длине 16–20 см (Бабинская Имандра), 10–40 г и 12–18 см (Йокостровская и Большая Имандра). Наиболее крупные особи в настоящее время отмечаются в северной части Йокостровской Имандры и Бабинской Имандре (вблизи о. Хорт, губа Кунчаст). В последней средние размерные показатели рыб достигают 46 г и 18,5 см. Среди исследованных рыб встречаются особи длиной более 25 см массой свыше 200 г (табл.), что сопоставимо с аналогичными показателями рыб более крупных водоемов (Ладожское озеро, Пяозеро) [2, 15].

Возраст корюшки также имеет тенденцию к росту. Если в предыдущие годы максимальный возраст рыб не превышал пяти лет, то среди представителей современной популяции нередки особи девяти- и десятилетнего возраста (табл.). Отмечено, что в Йокостровской и Большой Имандре преобладают рыбы в возрасте от 4+ до 7+ лет (в среднем от 73 до 85 % от выборки соответственно), в Бабинской – в возрасте 4+ и 5+ лет (80 % от выборки). Корюшка Бабинской Имандры имеет более высокие темпы роста по сравнению с другими плесами озера. Это может быть связано с тем, что плес Бабинская Имандра не подвержен прямому влиянию промышленного загрязнения. В Йокостровской Имандре темпы роста корюшки среди младших возрастных групп наиболее низкие, однако здесь нами были отмечены наиболее возрастные и крупные особи.

Важной особенностью развития данного вида в современных условиях является активное освоение новых мест обитания в придаточных озерно-речных системах бассейна оз. Имандра за счет процессов саморасселения (рис.). Отмеченное нами распространение корюшки в системе р. Большая Белая происходит достаточно стремительными темпами. Если в 2014 г. в уловах оз. Большой Вудъявр присутствовали лишь единичные двухлетние особи, то в 2015 г. численность рыб в уловах возросла практически в 9 раз. Среди выловленных рыб преобладали более крупные экземпляры, возраст которых достигал пяти лет.

Стратегия воспроизводства корюшки, нерест которой происходит весной и приурочен к устьевым участкам рек и ручьев, более выгодна по сравнению с другими видами рыб и мало зависит от колебаний уровня вод оз. Имандра. В условиях отсутствия достаточного количества хищников корюшка стала одним из доминирующих видов в структуре сообщества рыб. Широкий пищевой спектр и увеличение доли крупных особей, переходящих на хищный образ жизни, приводят к закономерному росту ее размерно-весовых показателей [16].

Экспансивная стратегия корюшки и ее активное распространение в пределах придаточных озерно-речных систем бассейна р. Нива и оз. Имандра, очевидно, обусловлена значительным увеличением ее численности в водоеме и необходимостью освоения новых благоприятных для существования мест обитания. Вместе с тем, распространение европейской корюшки в бассейне р. Большая Белая, испытывающей негативное влияние апатитового производства и бытовых сточных вод, может свидетельствовать о невысокой требовательности к качеству вод.

Основные биологические показатели корюшки оз. Имандра за различные периоды исследований (числитель — предельные значения, знаменатель — средняя величина ± стандартное отклонение)

Район	Масса, г	Длина, см	♂:♀	Возраст	Количество, экз.
1961 г. [4]					
Весь водоем	5–53 26	9,5–19,0 14,6	Нет данных	Нет данных	Нет данных
1982 г. [11]					
Йокостровская Имандра	25–110 47	13,5–24,5 16,5	1:1,5	0+…4+	85
1996-1997 гг. [1]					
Йокостровская Имандра	6,8–95 33,8	10,8–22,5 15,8	1:1,7	0+…4+	71
2010–2015 гг. (собственные данные)					
Йокостровская Имандра	5–205 34±22	9,2–25,5 16,4±3,2	1:4,5	1+…10+	617
Бабинская Имандра	4–97 43±18	9,1–24,0 17,9±2,7	1:9	2+…8+	305
Большая Имандра	6–84 31±15	9,5–22,5 15,9±2,3	1:5,2	2+…9+	346
Оз. Большой Вудъявр	7–41 16±6	9–16,6 11,8±1,3	1:1,4	1+…4+	84

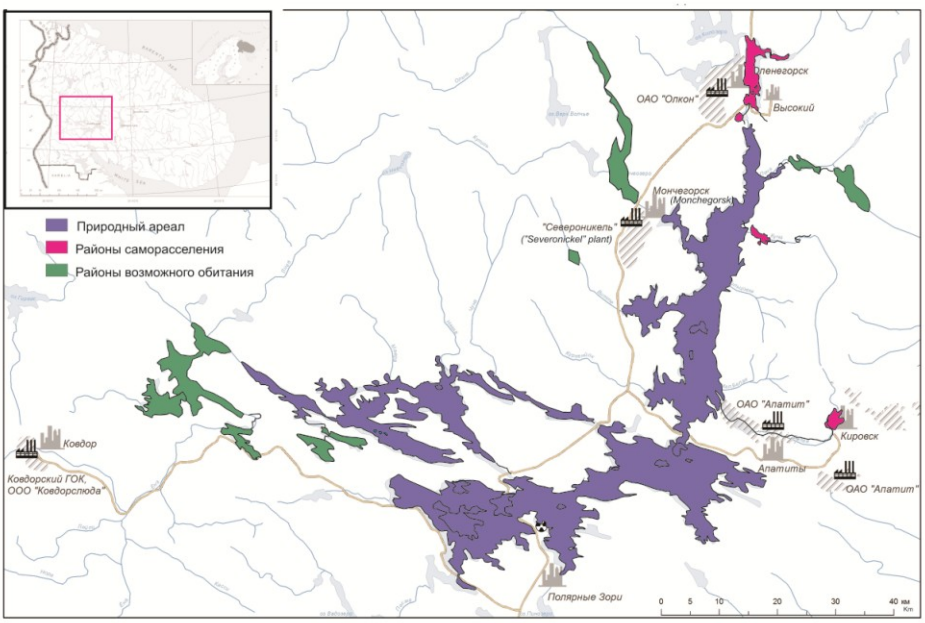


Рис. Распространение европейской корюшки в пределах бассейна оз. Имандра

Указанные особенности обусловливают благоприятные условия к доминированию в составе сообщества рыб крупнейшего бассейна Мурманской обл. Корюшка способна снижать эффективность воспроизводства более ценных видов рыб на фоне значительной межвидовой пищевой конкуренции. Активно расширяя область своего обитания в пределах придаточных систем бассейна оз. Имандра, корюшка способна к образованию в них новых устойчивых и самовоспроизводящихся популяций, включая типичные горные водоемы. Отмечаемые процессы трансформирования рыбной части сообществ рассматриваемого водного объекта значительно снижают ресурсный потенциал водоемов бассейна и их устойчивость в условиях сохраняющейся антропогенной нагрузки и изменений климата.

Литература

1. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / под ред. Т. И. Моисеенко. М.: Наука, 2002. 403 с.
2. Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. / под ред. Ю. С. Решетникова. М.: Наука, 2003. Т. 1. 379 с. Т. 2. 253 с.
3. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран: в 3 ч. 1948. 1381 с.
4. Галкин Г. Г., Колюшев А. А. Покровский В. В. Ихтиофауна водохранилищ и озер Мурманской области // Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 1966. С. 177–193.

5. Современные тенденции изменений пресноводных экосистем Евро-Арктического региона / Н. А. Кашулин и др. // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. Вып. 1. С. 6–53.
6. Карасев А. Б., Пономарев С. В., Еременко О. С. Паразитофауна европейской корюшки Osmerus eperlanus некоторых изолированных озерных популяций северо-европейской части России // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: тр. междунар. конф. 2009. С. 266–269.
7. Комплексное изучение и охрана озера Большая Имандра: отчет / Беляева Г. В., Чижиков В. В., Дольнин Т. В. // Фонды КНЦ РАН. Апатиты. 133 с.
8. Комплексное изучение Йокостровской и Бабинской Имандры и разработка рекомендаций по рациональному использованию водоема: в 2 т.: отчет по НИР (окончат.): 11-72-16 / Чижиков В. В., Воробьева Д. Г., Моисеенко Т. И., Степанов И. Р. 1976. Т. I. 276 с.
9. Крогиус Ф. В. Ихтиологические работы на озере Имандра // Работы Мурманской биологической станции. 1926. Т. 2. С. 150–152.
10. Митенев В. К., Карасев А. Б., Пономарев С. В. Экологические особенности паразитофауны онежского вселенца — корюшки *Osmerus eperlanus* — в Верхнетуломском водохранилище (Кольский регион) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2007. № 1. С. 22–24.
11. Моисеенко Т. И., Яковлев В. А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990. 220 с.
12. Неличик В. А. Биологические особенности корюшки (Osmerus eperlanus eperlanus natio petrovi n. Smirnova), интродуцированной в Верхнетуломское водохранилище // Паразиты и болезни морских и пресноводных рыб Северного бассейна // Сб. науч. тр. ПИНРО. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1998. С. 127–132.
13. Петров В. В. Промысловые рыбы Кольского полуострова // Карело-Мурманский край. 1935. № 8–9. С. 12–18.
14. Смирнов А. Ф. Рыбы озера Имандры // Рыбы озер Кольского полуострова. Петрозаводск, 1977. 96 с
15. Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В. Состояние популяций корюшки *Osmerus eperlanus* Выгозера и Сямозера, сформировавшихся в процессе саморасселения // Вопр. ихтиологии. 2012. Т. 52, № 3. С. 358–364.
16. Терентьев П. М., Кашулин Н. А. Трансформации рыбной части сообществ водоемов Мурманской области // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. Вып. 2. С. 61–100.
17. Invasion of vendace Coregonus albula in a subarctic watercourse / P.-A. Amundsen et al. // Biological Conservation. 1999. Vol. 88. P. 405–413.

И. А. Терентьева, В. А. Даувальтер, Н. А. Кашулин
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, terentjeva@inep.ksc.ru

ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНЫХ УСЛОВИЙ НА МИГРАЦИЮ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ВОДА — ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ»

Данная работа является одним из этапов научно-исследовательских изысканий по изучению влияния кислотно-щелочных условий (pH) на миграцию ряда металлов (Ni, Cu, Co, Zn, Mn, Fe) из донных отложений (ДО) в контактирующие с ними водные массы. Основным объектом исследования является оз. Нюдъявр. Этот водоем и его водосборный бассейн находятся под влиянием долговременного воздействия производственных технологических стоков Мончегорской площадки АО «Кольская ГМК» Многолетняя антропогенная нагрузка привела к серьезным преобразованиям экосистемы водоема и накоплению значительных количеств загрязняющих веществ в ДО [4]. В условиях интенсивного антропогенного воздействия на водоем ДО стали играть значимую роль во внутриводоемных процессах. Они перестали быть фактором улучшения качества воды за счет осаждения и сорбции в них различных загрязняющих веществ (ЗВ). В настоящее время ДО становятся потенциальным источником вторичного загрязнения придонных слоев воды. Процесс десорбции ЗВ из ДО зависит от многих факторов: содержание растворенного кислорода на границе контакта ДО и воды, pH среды, гранулометрический состав ДО, природа элемента-загрязнителя, концентрация органических веществ, гидродинамическая и гидрологическая обстановка в водоеме [5].

Целью данного исследования являлось изучение миграции некоторых металлов из ДО озера в водную среду при различных сценариях изменения pH водной среды, контактирующей с ДО.

Отбор проб ДО для проведения эксперимента производился в середине апреля 2016 г. в северной части оз. Нюдъявр. Необходимым условием при отборе проб ДО являлось предотвращение их повторного загрязнения на всех этапах подготовки. Для эксперимента отбирали наиболее активный, непосредственно участвующий в обменных процессах с поровыми и придонными водами верхний (0–5 см) слой ДО [3]. С помощью отборника гравитационного типа брали илы из 5 точек в районах залегания ДО максимальной мощности (до 2,5 м), где обмен загрязняющими веществами между водной массой и ДО мог характеризоваться экстремальными значениями. Отобранные образцы ДО смешали и поместили в чистый пластиковый контейнер. Объединенная проба ДО для эксперимента составила 7 л. Часть объединенной пробы высушивали при температуре 20±5°C до воздушно-сухого состояния в течение суток [2]. Высушенная проба растиралась в яшмовой ступке и затем использовалась для закладки эксперимента. Методика определения валовых концентраций изучаемых металлов подробно описана ранее [3].

В ходе эксперимента в качестве экстрагентов были использована деионизированная вода, модельные растворы с заданными значениями pH и природная вода, отобранная в Йокостровской Имандре. Выбор экстрагентов для экспериментальных исследований обусловлен следующими причинами:

1. Экстракция деионизированной водой (pH = 5,7 ед.) характеризует степень извлечения легкорастворимых соединений элементов из твердой фазы.

2. Экстракция модельными растворами с заданными значениями pH (5,0, 6,5, 7,0, 7,5, 8,0 ед.) отражает степень извлечения из ДО компонентов при различных кислотно-щелочных условиях; pH модельного раствора создавали с использованием растворов соляной кислоты и щелочи натрия. Брали деионизированную воду с pH = 5,7 и подкисляли до pH = 5,0 с помощью 0,01 N HCl или подщелачивали с помощью 0,01 N NaOH до необходимых значений.

3. Экстракция природными водами (воды Йокостровской Имандры с pH = 7,13) характеризует степень извлечения из ДО элементов маломинерализованными водами, содержащими комплексообразующие вещества природного происхождения. Указанный природный экстрагент позволяет установить направленность обменных процессов в условиях, приближенных к реальным.

Время контакта ДО с жидкой фазой (экстрагентом) в лабораторных условиях составляло 24 ч, 7 дней и 21 день в условиях спокойного состояния системы. Для указанных временных интервалов эксперимент проводился в трех повторностях.

Свежеотобранные ДО навеской 25 г помещали в коническую колбу и приливали экстрагент объемом 250 мл и тщательно перемешивали (соотношение «твердая фаза: жидкость» 1:10) (ГОСТ, 1989). После окончания перемешивания раствор с осадком оставляли на 24 ч, 7 дней, 21 день для отстаивания. По истечении заданного срока отстаивания экстрагент фильтровали для удаления взвешенного материала. Фильтрование вытяжки осуществляли через стекловолоконные фильтры (Glass microfiber filters-GF/C) фирмы Whatman, диаметром 47 мм. В фильтратах вытяжек в этот же день определялся pH-потенциометрическим методом на pH-метр М-80 фирмы Radiometer, Copenhagen. Измерение концентрации металлов в отфильтрованных экспериментальных пробах проводилось методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе ICE-3300 фирмы Thermo.

Водородный показатель воды, поступающей в исследуемое озеро с водосбора (6,4–7,3), с подземными водами (5,5–6,5), с технологического отстойника (южная часть озера) (9,6–10,3) и атмосферными осадками (4,5–5,7), колеблется в широком диапазоне — от 4,5 до 10,3 ед.

Влажность ДО составляла 90,6 %, содержание в их составе органических веществ по данным о потерях при прокаливании — 33,8 %. В пробе ДО для эксперимента валовое содержание элементов в пересчете на влажный грунт, мг/кг равно: Ni — 4921, Cu — 980,9, Co — 66,2, Fe — 2811, Mn — 150, Zn — 24,4.

Установлено, что в эксперименте с деионизированной водой (pH = 5,7) ДО подщелачивали раствор уже в первые сутки до величины pH = 8,9, через неделю pH снижался до 7,9 и сохранялся на этом уровне до окончания эксперимента. Отмечено, что содержание элементов в фильтрате повышается с увеличением времени контакта твердой и жидкой фаз (кроме Zn). Переход легкорастворимых водных форм исследуемых металлов из влажных ДО в раствор при экстракции деионизированной водой незначителен. Процент извлечения для Cu, Ni, Fe при контакте с данным экстрагентом менее 1 %. В пересчете на 1 кг влажных илов концентрация Ni после 21-дневной экстракции — 28,4 мг/кг (0,6 %); Cu — 7,2 мг/кг (0,7 %); Fe — 12,4 мг/кг (0,4 %). На 21-й день эксперимента более высокий процент миграции из ДО наблюдался для таких металлов, как Co — 1,67 мг/кг (2,5 %) и Mn — 4,8 мг/кг (3,1 %). Миграция Zn выше: в деионизированную воду в первые сутки — 1,6 мг/кг (6,7 %).

На основании полученных данных составлен ряд перехода исследуемых элементов в деионизированную воду на 21-е сутки эксперимента:

Zn (4,8 %) > Mn (3,1 %) > Co (2,5 %) > Cu (0,7 %) > Ni (0,6 %) > Fe (0,4 %).

Наибольшей степенью подвижности во влажных и центрифугированных образцах обладает Zn и Mn, наименьшей — Ni, Cu и Fe.

Проба воды, отобранная в Йокостровской Имандре, характеризуется следующим химическим составом: pH — 7,13; минерализация — 74 мг/дм^3, основные катионы, мг/дм^3: Ca^{2+} — 4.2; Mg^{2+} — 1,1; Na^{+} — 14,8; K^{+} — 2,65, основные анионы, мг/дм^3: SO_4^{2-} — 21; $H_2ÑO_3^-$ — 24,4; Cl^- — 5,5, микрокомпоненты, мкг/дм^3: Cu — 8; Ni — 6; Co — 0,1; Fe — 19; Mn — 2,2; Zn — 1,2.

Отмечено, что пробы ДО подщелачивали раствор на первые сутки до pH = 8,2, через 21 день значения pH постепенно снижались до 7,7. Процент выщелачивания металлов природной пробой воды практически всех исследуемых элементов из влажных ДО составлял менее 1 %. С увеличением времени контакта твердой и жидкой фаз в экстракте отмечался рост концентрации металлов (кроме Zn). На 21-е сутки миграция Mn из влажных ДО в природные воды составила 2,3 мг/кг (1,5 %). Среди исследованных нами металлов существенная степень поступления в жидкую фазу из влажных ДО в течение первых суток наблюдалась для Zn 1,8 мг/кг (около 7,5 %). На основании полученных данных составлен ряд перехода исследуемых элементов в природную воду на 21-е сутки эксперимента:

Zn (4,0 %) > Mn (1,5 %) > Ni (0,9 %) > Co (0,6 %)> Cu (0,5 %) > Fe (0,3 %).

В результате экстракции модельными растворами с диапазоном pH от 5,0 до 8,0 установлено, что наибольшие изменения в содержании металлов в ДО происходили при взаимодействии модельного раствора pH = 5,0.

Самый высокий процент диффузии Ni из ДО наблюдался при контакте с модельным раствором (pH = 5,0) на 21-й день эксперимента — 178 мг/кг (3.6 %). При нейтральной реакции среды экспериментальных растворов (pH = 6,5–7,5) поступление Ni из ДО на 21-й день эксперимента составляло 31,3–47,0 мг/кг (0,7–1 %). При смещении реакции контактирующего раствора с ДО в щелочную сторону (pH = 8,0) содержание Ni в фильтрате снизилось до 17,6 мг/кг (0,4 %).

Экспериментальное изучение изменения концентрации Cu в фильтрате вытяжек при различном времени контакта ДО с модельными растворами показало низкий процент поступления в экстракт. По нашим экспериментальным данным, наибольший процент миграции Cu происходит при снижении pH контактирующей среды с ДО. Доля Cu в вытяжке при контакте ДО с модельным раствором pH = 5,0 на 21-й день составила 16,2 мг/кг (1,7 %). При контакте проб ДО с модельными растворами нейтральной реакцией среды (pH = 6,5–7,5) процент миграции Cu не превышал 1 %. При смещении реакции контактирующего раствора с ДО в щелочную сторону (pH = 8,0) процент диффузии из ДО не превышал 0,4 %.

Согласно полученным экспериментальным результатам, самый высокий процент перехода Co из ДО отмечен при взаимодействии с модельным раствором (pH = 5,0). Содержание Co в вытяжке на 21-й день эксперимента достигало 6 мг/кг (9,1 %). При смещении pH растворов в нейтральную сторону (pH = 6,5–7,5) концентрация Co на 21-й день эксперимента в вытяжке составляла 3,8–3,1 мг/кг (4,6–6,4 %). При контакте проб ДО с модельным раствором pH = 8,0 содержание Co в вытяжке на 21-е сутки составило 2,9 мг/кг (4,4 %).

Отмечено, что с увеличением продолжительности контакта твердой и жидкой фаз снижалась концентрация Mn в вытяжке. Наибольшая диффузия Mn наблюдалась при контакте ДО с модельным раствором pH = 5,0 в первые сутки и составила 24,2 мг/кг (16,1 %). На 21-й день эксперимента концентрация Mn в вытяжке снизилась до 14,7 мг/кг (9,8 %). Исходя из экспериментальных данных, с ростом pH модельных растворов снижался процесс извлечения Mn экстрагентом. Так, при контакте модельного раствора (pH = 6,5 ед.) с ДО в первые сутки перешло в раствор 13,5 мг/кг (9 %) Mn, при взаимодействии с модельным раствором (pH = 8,0) только 3,5 мг/кг (2,4 %) от общего содержания в исследуемых ДО.

Из всех исследуемых металлов для Zn не удалось выявить четкой корреляции его поведения в зависимости от изменения pH среды. Исходя из экспериментальных данных более высокие содержания Zn отмечены в первые сутки при контакте ДО с модельными растворами (pH = 6,5–7,0), которые составили 1,6 и 1,9 мг/кг (6,5–7,6 %).

В ходе экспериментальных исследований отмечалась самая низкая миграционная активность Fe. Переход Fe из ДО в раствор составлял сотые доли процента. Только при контакте с модельным раствором (pH = 5,0) ДО за первые сутки десорбция Fe составила 3,8 мг/кг (0,4 %).

По результатам, полученным в ходе проведения лабораторного эксперимента по изучению влияния кислотно-щелочных условий на десорбцию металлов на границе «донные отложения — вода» оз. Нюдъявр (северная часть), можно сделать следующие выводы:

1. Содержание Ni, Cu, Fe при экстракции деионизированной водой составляет незначительную долю от их валового содержания. Выщелачивание легкодоступных форм Zn происходит уже в первые сутки контакта твердой и жидкой фаз, с увеличением продолжительности взаимодействия этих сред происходит обратный процесс сорбции на иловых частицах.

2. Оценка перехода металлов из ДО в раствор при экстракции природными водами показала, что сорбционно-десорбционные процессы в этой системе находятся в некотором равновесии. Низкие концентрации в вытяжке практически всех исследуемых элементов (ниже 1 %) от их валового содержания в ДО позволяют предположить, что основная масса этих металлов находится в прочносвязанном состоянии. Природные воды, содержащие комплексообразующие вещества естественного происхождения (например, гумусовые и фульвовые кислоты, окислы и гидроокислы Fe и Mn) также не способствуют усилению диффузионных процессов.

3. Моделирование процесса влияния pH на миграцию металлов из ДО растворами с заданными величинами показало следующее:

а) изменение величины pH практически не сказывается на миграционной активности Fe, значит, в исследуемом водоеме данный металл находится в виде нерастворимых соединений;

б) наибольшую миграционную активность Zn проявлял в первые сутки эксперимента в диапазоне значений pH 6,5–7,0;

в) снижение величины pH с 8,0 до 5,0 сказывалось, прежде всего, на миграции Mn, который активно поступал из ДО в раствор в первые сутки экспериментальных исследований;

г) содержание элементов-загрязнителей водоема (Ni, Cu, Co) в вытяжке увеличивается по мере продолжительности контакта твердой и жидкой фаз и при снижении величины pH контактирующего с ДО раствора. Наибольшую миграционную активность из этого ряда металлов проявлял Co.

Литература

1. ГОСТ 9.602-89. Водные вытяжки. 1989.
2. ГОСТ Р 56236-2014. Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных Дафния. 2014.
3. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. 242 с.

4. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Эколого-экономическая оценка необходимости извлечения донных отложений оз. Нюдъявр Мончегорского района Мурманской области // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14, № 4. С. 884–891.
5. Количественная и качественная оценка роли донных отложений в процессах формирования состава контактирующих с ними водных масс / Т. Н. Михеева и др. // Георесурсы. 2012. Вып. 50, № 8. С. 51–56.

Ю. Н. Ткаченко
Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, tkachenko@krc.karelia.ru

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОСНЯКОВ

В Карелии, в регионе с наиболее интенсивным лесопользованием в европейской части таежной зоны России, за вторую половину XX в. было заготовлено приблизительно 600 млн $м^3$ древесины. По ориентировочным расчетам, было вырублено порядка 6 млн га лесов, или не менее 2/3 покрытой лесом площади [4]. В результате рубки на больших площадях формируются вторичные лесные сообщества, находящиеся на различных стадиях восстановительной сукцессии [6]. Смена растительного покрова оказывает прямое и косвенное влияние на процессы и скорость трансформации почв и почвенного покрова [2, 3, 7].

Изучение трансформации почв в ходе естественного лесовосстановления после рубки главного пользования проводилось в северотаежной подзоне Карелии, на территории Калевальского и Муезерского районов. Район исследований находится в северной части Западно-Карельской возвышенности, денудационно-тектонический и структурно-денудационный рельеф которой имеет отчетливо грядовый характер с системами гряд общего северо-западного простирания. Формы ледникового и позднеледникового рельефа представлены моренными равнинами, флювиогляциальными озово-дельтовыми системами и озерно-ледниковыми равнинами [5].

В связи с широким распространением почв легкого механического состава на территории северотаежной подзоны Карелии отмечается преобладание сосновых древостоев. В целом на территории Карелии выделяют следующие группы типов леса: лишайниковые, зелено-, долгомошные, сфагновые [8]. Зеленомошный тип леса на территории северной Карелии занимает наибольшую площадь.

В качестве объектов исследования был выбран хронологический ряд пробных площадей), представленный: свежей вырубкой из-под сосняка брусничного, сосновыми молодняками (5, 10 и 40-летние), средневозрастным сосняком (60-летний), приспевающим (90-летний), спелым (140-летний); контролем служил перестойный 220-летний сосняк.

Почвенный покров вырубок характеризуется неоднородностью, что обусловлено влиянием древесных пород, лесозаготовительной техники и т. д. Для изучения морфологических свойств почв закладывались почвенные разрезы в наиболее типичных местах для каждого обследуемого участка. Оценка изменчивости почв проводилась на основании химических и физико-химические показателей, полученных по общепринятым методикам [1].

Исследуемые маломощные подзолы иллювиально-железистые песчаные, сформировавшиеся на водно-ледниковых отложениях, имеют четкое разделение на генетические горизонты: O-E-Bf-B2-BC-C. По химическому составу для этих почв характерна четкая дифференциация профиля по элювиально-иллювиальному типу с биогенным накоплением элементов питания в органогенном горизонте. Минеральная часть почвы обеднена элементами питания. Для почв характерна высокая кислотность, снижающаяся с глубиной.

В результате рубки древостоя и работы техники происходит уничтожение подроста, кустарничков, дерновой растительности, сдираются мхи и лишайники, происходит сдирание лесной подстилки и нарушение верхних минеральных горизонтов. Наблюдается перемешивание органогенных и минеральных почвенных горизонтов между собой, а также с порубочными остатками. Частично сохранившаяся лесная подстилка имеет малую мощность и высокую зольность за счет значительной примеси минеральных частиц. Для почв характерна высокая кислотность, низкая обеспеченность калия и фосфора (табл. 1).

Таблица 1

Варьирование кислотности минеральных горизонтов маломощных подзолов иллювиально-железистых песчаных

Возраст, лет	*n*	min-max	$\bar{x}\pm s$	Возраст, лет	*n*	min-max	$\bar{x}\pm s$
Свежая	8	3,5–4,5	4,0±0,7	40	8	3,6–5,1	4,6±0,7
5	16	3,4–4,4	4,2±0,5	60	7	3,2–5,1	4,6±0,8
10	9	3,5–4,9	4,5±0,6	140	19	2,9–4,7	4,1±0,7
25	4	4,1–4,6	4,4±0,2	220	8	3,0–5,2	4,5±0,9

Спустя 5–10 лет после рубки мелколиственный древостой выходит в первый ярус, увеличивается обилие в напочвенном покрове мелкотравья и светолюбивых злаков, формируется дернина. Для данных экосистем характерно напочвенное поступление растительных остатков. Мощность органогенного горизонта

увеличивается, но четкой дифференциации верхних минеральных горизонтов еще не происходит. Почвенная кислотность в верхней части почвенного профиля снижается до 4,9, происходит увеличение содержания калия и фосфора (табл. 2). Продукты гумификации опада мигрируют в минеральные горизонты профиля.

Таблица 2

Содержание фосфора и калия в минеральных горизонтах подзолов иллювиально-железистых песчаных (мг-экв/100 г)

Возраст, лет	K_2O		P_2O_5	
	min-max	$\bar{x}\pm s$	min-max	$\bar{x}\pm s$
Свежая	1,3–2,1	1,7±0,6	0,9–3,5	2,2±1,9
5	2,0–3,9	2,9±1,0	1,0–30,3	16,9±12,9
10	1,6–2,4	2,1±0,3	1,2–67,8	32,7±33,0
25	2,6–11,4	7,1±4,6	13,5–64,3	34,9±22,9
40	1,1–2,9	1,9±0,8	5,7–50,7	30,9±18,8
60	1,0–2,7	1,7±0,6	1,5–58,8	34,6±22,3
140	0,8–2,3	1,5±0,7	6,7–62,3	23,6±22,3
220	5,2–20,2	12,9±5,5	1,0–100,2	46,7±38,9

В 25–40 лет начинает формироваться экосистема, приближенная к лесной. Происходит увеличение мощности лесной подстилки с четкой дифференциацией на генетические горизонты. Подзолистый горизонт имеет наибольшую выраженность. В составе древостоя увеличивается доля хвойных, а флористический состав напочвенного покрова похож на исходный, увеличивается и почвенная кислотность (3,6). В этот период наступает возраст древостоя с максимальным потреблением элементов минерального питания, содержание калия и фосфора (2,9 и 50,7 мг-экв/100 г), углерода и азота в почве снижается (табл. 3).

На период 50–60 лет после рубки приходится возраст максимального прироста в сосняках, сообщество принимает вид исходного древостоя. Мощность и морфологические характеристики лесной подстилки схожи с естественным древостоем, но все еще высоки. Почвенная кислотность и содержание питательных элементов в почве снижаются. По мере увеличения возраста сосняков различия в основном сводятся к мощности и степени выраженности горизонтов. В перестойных насаждениях мощность органогенного горизонта больше, чем в спелом, но показатель зольности выше в сосняке 140-летнем, что свидетельствует о низкой скорости разложения в 220-летнем сосняке. По морфологическому строению эти почвы схожи. Содержание элементов питания в сосняке перестойном выше, чем в 140-летнем.

Таблица 3

Содержание углерода и азота в подзолах иллювиально-железистых песчаных

Возраст древостоя, лет	*C*, %		*N*, %		*C:N*	
	min-max	$\bar{x}\pm s$	min-max	$\bar{x}\pm s$	min-max	$\bar{x}\pm s$
Свежая вырубка	1,1	1,1±0,02	0,04	0,04±0,03	24,5–141,7	83,1±82,9
5	0,1–1,0	0,5±0,4	0,01–0,11	0,05±0,05	7,3–17,0	12,0±4,1
10	0,2–1,0	0,5±0,4	0,03–0,14	0,08±0,05	4,5–12,3	9,4±4,3
25	0,2–12,5	4,3±5,1	0,10–0,59	0,24±0,23	0,9–23,1	16,8±10,9
40	0,03–0,7	0,4±0,3	0,01–0,07	0,05±0,03	2,6–14,6	7,7±5,9
60	0,1–0,7	0,3±0,3	0,01–0,04	0,03±0,01	4,3–15,3	9,8±5,2
140	0,1–0,9	0,4±0,4	0,003–0,07	0,03±0,03	11,7–43,2	26,2±13,9
220	0,1–1,8	0,7±0,7	0,01–0,08	0,03±0,03	10,0–22,7	17,7±4,9

Проведенные исследования показали, что сплошная рубка древостоя оказывает значительное влияние на почвы, особенно их верхнюю часть, происходит частичное удаление лесной подстилки и перемешивание верхних минеральных горизонтов. Рубка не повлияла на гранулометрический состав почв, который является консервативным показателем. Отмечена взаимосвязь стадий восстановления почв с этапами растительных сукцессий после рубки. Так, на первых стадиях формирования напочвенного покрова наблюдается значительное снижение содержания элементов минерального питания и уменьшение почвенной кислотности верхних горизонтов почв. По мере развития растительного сообщества увеличивается поступление опада лиственных пород и травянистой растительности на поверхность почвы, в результате чего происходит уменьшение зольности органогенного горизонта и обогащение верхних почвенных горизонтов элементами питания. Степень разложения лесной подстилки низкая, о чем свидетельствует широкий диапазон соотношения *C:N*. С ростом хвойного древостоя и смыканием сосновых крон начинает формироваться трудноразлагаемая лесная подстилка, характеризующаяся высокой кислотностью.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН (№ 0220-2014-0008).

Литература
1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почвы: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. Бобровский М. В. Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. 359 с.
3. Втюрин Г. М. Структура почвенного покрова таежной зоны Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1991. 152 с.
4. Громцев А. Н. Основные экологические и хозяйственные последствия антропогенной трансформации лесов в условиях северо-запада таежной зоны России // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы V Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Апатиты: КНЦ РАН. 2014. Ч. 1. С.110–114.
5. Демидов И. Н., Шелехова Т. С. Диатомиты Карелии. Петрозаводск: Кар. науч. центр РАН, 2006. 89 с.
6. К вопросу о разнообразии производных лесов Карелии / А. М. Крышень и др. // Северная Европа в XXI веке: природа, культура, экономика: материалы междунар. конф. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. Т. 1. С. 130–132.
7. Телеснина В. М., Шахин Д. А. Влияние послерубочных лесовосстановительных сукцессий на лесные почвы (на примере песчаных подзолов средней тайги Западной Сибири) // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1999. № 2. С. 37−45.
8. Яковлев Ф. С., Воронова В. С. Типы лесов Карелии и их природное районирование. Петрозаводск: Госиздат Карелия, 1959. 190 с.

А. А. Чапоргина, М. В. Корнейкова
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты,
chaporgina@inep.ksc.ru, korneykova@inep.ksc.ru

НАКОПЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ПАТОГЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ В АНТРОПОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Интенсивная производственная деятельность человека сопровождается, как правило, ухудшением состояния окружающей среды. Под влиянием антропогенных факторов в почвах и сопряженных средах происходит накопление потенциально патогенных грибов (ППГ), представляющих угрозу для здоровья человека. Такие виды микромицетов вызывают микозы у людей с ослабленным иммунитетом. Возникает необходимость изучения влияния антропогенных факторов на накопление ППГ в окружающей среде.

В последние годы в связи с ростом количества микотических заболеваний, вызываемых оппортунистическими грибами, следует обратить внимание на виды из окружающей среды, потенциально способные проявить патогенные свойства. Данные многих исследователей [6, 7] свидетельствуют о возрастании доли ППГ на урбанизированных территориях, в придорожных зонах автомагистралей, местах сельскохозяйственного использования, в районах крупных промышленных предприятий и нефтехимических заводов, что, в свою очередь, отражается на состоянии здоровья людей, проживающих в этих регионах. Причиной этого может быть то, что ППГ виды являются, как правило, эвритопными с широким диапазоном толерантности к экологическим условиям и способностью утилизировать разнообразные субстраты.

К факторам патогенности традиционно относятся такие адаптивные свойства, как способность выдерживать температуру до 37 °С, повышенная способность к адгезии, мицелиально-дрожжевой диморфизм, меланизация клеток, капсуляция, способность к экстраклеточной секреции аспаргиновых протеиназ и фосфолипаз и ряд других свойств. От выраженности этих признаков зависит степень патогенности микромицета [7]. Протеазная активность позволяет грибам разрушать поверхностный роговой слой кожи, фосфолипазная — мембраны клеток тканей человека и активно их инвазировать, т. е. вызывать глубокие микозы. В то же время для выявления потенциальных возбудителей глубоких микозов в первую очередь важно учитывать их устойчивость к температуре в 37 °С.

В последнее время большое внимание уделяется исследованию ферментной активности у грибов — клинических патогенов человека, но очень мало исследований [3, 4], посвященных возможной патогенности грибов, обитающих в почве, воздухе и других средах.

Целью работы было исследование протеазной и фосфолипазной активности, а также способности роста при температуре 37 °С потенциально патогенных видов микромицетов, выделенных из нефтезагрязненных почв Мурманской обл.

Изучение ППГ в почвах осуществляли в условиях полевых модельных опытов на двух объектах исследования. В первом случае опытные площадки были заложены на окультуренном Al-Fe-гумусовом подзоле на территории филиала Всероссийского института растениеводства «Полярная опытная станция». В период 2006–2014 гг. в почву вносили разные нефтепродукты (НП) с низкими, средними и высокими концентрациями: дизельное топливо, газовый конденсат, мазут, отработанное моторное масло и смесь легких и тяжелых НП. Во втором случае исследования проводили в период 2009−2014 гг. в тундровом поясе горы Каскама, которая находится вблизи заповедника Пасвик и имеет места длительного загрязнения НП в результате деятельности воинской части.

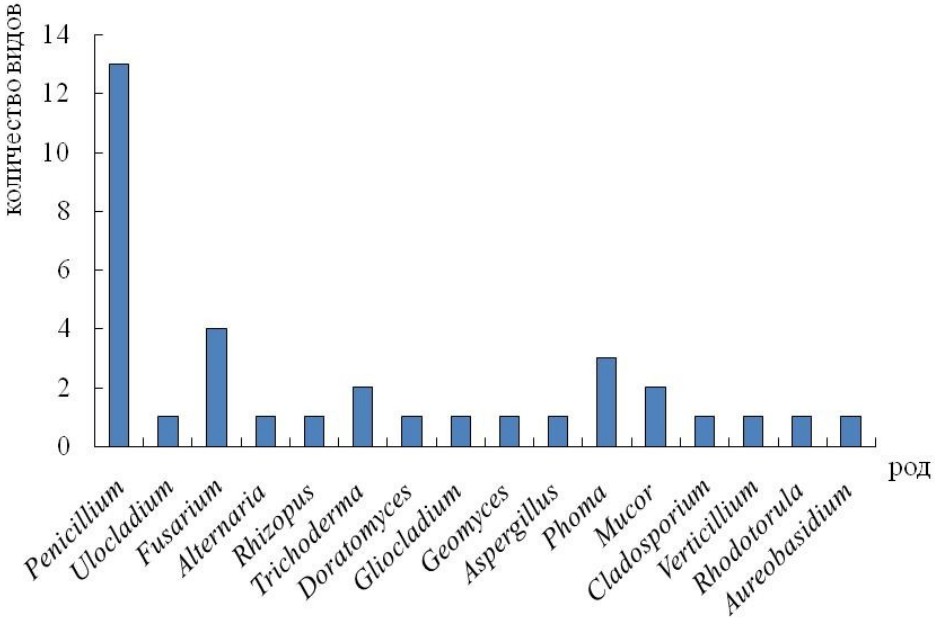
Образцы почв отбирали из слоя 0–10 см. Идентификацию микроскопических грибов осуществляли на основе культурально-морфологических признаков с использованием общепринятых определителей. Видовые названия уточняли по пополняемым спискам видов в базе данных “Species fungorum” (www.indexfungorum.org).

Определение протеазной активности микромицетов проводили на питательной среде с добавлением бычьего сывороточного альбумина [9], фосфолипазной активности — на среде с яичным желтком [12]. После инокуляции чашки инкубировали 10 сут, после чего проводили измерение диаметра колоний и зоны просветления вокруг них (протеазная активность) и зоны преципитации (фосфолипазная активность). Расчет коэффициентов активностей проводили по формуле

$$П = 1 – Дк/Дк + Зп,$$

где П — показатель протеазной/фосфолипазной активности, Дк — диаметр колонии, Зп — зона просветления/преципитации. Способность роста грибов при температуре 37 °С определяли на 7-е сут, предварительно в течение 3 сут подращивая при комнатной температуре. К условно-патогенным относили грибы согласно источникам [1, 5, 8, 11].

Всего в исследованных почвах Мурманской обл. было выделено 95 видов микроскопических грибов, причем 35 культур относились к группе потенциально патогенных. Наибольшее количество видов ППГ было выделено из родов *Penicillium, Fusarium, Phoma, Mucor* и *Trichoderma* (рис.).



Представленность потенциально патогенных грибов по родам в почвах, загрязненных НП

Протеазная активность была выявлена у 17 изолятов (49 %). Коэффициент протеазной активности изменялся от 0 до 0,4. Наиболее существенные значения коэффициента (0,2–0,4) отмечались у 11 видов (табл.). Самыми активными были *Mucor griseocyanus, Penicillium decumbens, P. glabrum, P. simplicissimum, P. viridicatum, Trichoderma viride.*

Фосфолипазная активность обнаружена лишь у 8 культур (23 %). Величина коэффициента фосфолипазной активности изменялась от 0 до 0,3. Изоляты этой группы принадлежали к следующим видам: *Penicillium aurantiogriseum, P. decumbens, P. glabrum, P. janthinellum, P. lanosoviride, P. simplicissimum, P. trzebinskii, Rhizopus nigricans.* Остальные культуры не проявили фосфолипазную активность, следовательно, они не могут проникать вглубь тканей и вызывать глубокие микозы.

При температуре 37 °С рост отмечался у 21 вида (60 %) из 35 тестируемых.

На основании комплексной оценки факторов патогенности было установлено, что 9 культур (26 %) не имели ни одного фактора патогенности, 11 культур (31 %) обладали хотя бы одним фактором патогенности и 10 культур (29 %) обладали двумя факторами патогенности. Наиболее опасными для человека были 5 культур (14 %) микроскопических грибов: *Penicillium aurantiogriseum, Penicillium glabrum, Penicillium janthinellum, Penicillium lanosoviride, Rhizopus nigricans.* У этих видов были выявлены все исследуемые факторы потенциальной патогенности. Они обладали протеазной и фосфолипазной активностью, а также способностью роста при температуре 37 °С. Клинические исследования подтверждают, что данные виды могут вызывать микотоксикозы, а у людей с пониженным иммунным статусом — микозы и аллергические реакции [8, 10].

Таким образом, микроскопические грибы, выделенные из нефтезагрязненных почв, могут представлять опасность для здоровья человека, поскольку многие из них в той или иной степени проявляют свойства патогенности. Необходимо проводить регулярные мониторинговые исследования с целью выявления потенциально опасных видов микроскопических грибов.

Результаты культурального тестирования микромицетов, выделенных из нефтезагрязненных почв Мурманской области

Вид	Активность		Рост при t = 37 °C
	Протеазная	Фосфолипазная	
Alternaria alternata (Fr.) Keissl.	−	−	+
Aspergillus fumigatus Fresen.	−	−	+
Aureobasidium pullulans (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud	−	−	−
Cladosporium cladosporioides (Fresen.) G.A. de Vries	−	−	+
Doratomyces stemonitis (Pers.) F. J. Morton & G. Sm.	−	−	−
Fusarium moniliforme J. Sheld.	−	−	+
F. oxysporum (st.1) Schltdl.	−	−	+
F. oxysporum (st.2) Schltdl.	+	−	+
F. solani (Mart.) Sacc.	−	−	+
Geomyces pannorum (Link) Sigler et J. W. Carmich	−	−	+
Gliocladium catenulatum J.C. Gilman & E.V. Abbott	−	−	+
Mucor griseocyanus Hagem	+	−	+
M. hiemalis Wehmer	−	−	−
Penicillium aurantiogriseum Dierckx	+	+	+
P. decumbens Thom	+	+	−
P. glabrum (Wehmer) Westling	+	+	+
P. janthinellum Biourge	+	+	+
P. lanosocoeruleum Thom	−	−	−
P. lanosoviride Thom	+	+	+
P. martensii Biourge	+	−	+
P. miczynskii K.M. Zaleski	+	−	+
P. simplicissimum (Oudem.) Thom	+	+	−
P. soppi K.M. Zalessky	−	−	−
P. spinulosum Thom	+	−	−
P. trzebinskii K.M. Zaleski	+	+	−
P. viridicatum Westling	+	−	+
Phoma eupyrena Sacc.	−	−	−
Ph. glomerata (Corda) Wollenw. & Hochapfel	−	−	−
Ph. herbarum Westend.	−	−	−
Rhizopus nigricans Ehrenb.	+	+	+
Rhodotorula sp.	−	−	−
Trichoderma koningii Oudem	+	−	+
T. viride Pers.	+	−	+
Ulocladium consortiale (Thum.) E. G. Simmons	−	−	+
Verticillium nigrescens Pethybr	+	−	−

Литература

1. Богомолова Е. В., Кирцидели И. Ю., Миненко Е. А. Потенциально опасные микромицеты жилых помещений // Микология и фитопатология. 2009. Т. 43, вып. 6. С. 506–512.
2. Богомолова Е. В., Миненко Е. А., Кирцидели И. Ю. Потенциальная вирулентность микромицетов, изолированных из музейных помещений // Микология и фитопатология. 2007. Т. 41. Вып. 2. С. 113–119.
3. Кашкин П. Н., Хохряков М. К., Кашкин А. П. Определитель патогенных, токсигенных и вредных для человека грибов. Л.: Медицина, 1979. 272 с.
4. Комплексы почвенных микромицетов в условиях техногенеза / Н. А. Киреева и др. Уфа: Гилем, 2005. 360 с.
5. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.
6. Санитарно-эпидемиологические правила «Безопасность работы с микроорганизмами III-IV групп патогенности (опасности) и возбудителями паразитарных болезней» СП 1.3.2322-08. М., 2008. 51 с.
7. Микроскопические грибы в воздушной среде Санкт-Петербурга / Е. В. Богомолова и др.; под ред. М. А. Бондарцевой СПб.: Химиздат, 2012. 215 с.
8. Саттон Д. А., Фотергилл А. В., Ринальди М. Г. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М.: Мир, 2001. 470 с.
9. Fotedar R., Al-Hedaithy S. S. A. Comparison of phospholipases and proteinase activity in Candida albicans and Candida dubliniensis // Mycoses. 2005. Vol. 48. P. 62–7.
10. Atlas of clinical fungi / G. S. Hoog et al. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre. Utrecht, 2011. CD-ROM vers. 3.1.
11. Hoog G. S. de. Evolution of black yeasts: possible adaptation to the human host // Antonie van Leewenhoek. 1993. Vol. 64. P.122–143.
12. Price M., Wilkinson I. D., Gentry L. O. Plate method for detection of phospholipase activity in Candida albicans // Sabouraudia. 1982. Vol. 20. P. 7–14.

Секция 8. БИОГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М. В. Бурачевская, Т. М. Минкина, С. С. Манджиева, Л. Ю. Маштыкова, В. А. Чаплыгин, К. Р. Уразгильдиева, Г. О. Коркин
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, marina.0911@mail.ru

ФРАКЦИОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ СВИНЦА В ПОЧВЕ, ПОДВЕРЖЕННОЙ АЭРОТЕХНОГЕННЫМ ВЫБРОСАМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Введение

Выбросы НчГРЭС составляют 1 % от общего объема в Российской Федерации и до 58 % от объема выбросов в Ростовской обл., из которых основная часть (99 %) приходится на Новочеркасск и его окрестности [1, 4, 5, 7]. Новочеркасск по величине аэрозольных выбросов загрязняющих веществ включен в приоритетный перечень городов РФ с наиболее высоким уровнем загрязнения.

Выбросы НчГРЭС состоят главным образом из золы, сернистого ангидрида, оксидов азота, сажи (свыше 30 т/год), фтористого водорода (7 кг/год), пятиокиси ванадия (около 8 т/год), оксидов железа (свыше 5 т/год) и тяжелых металлов (среди которых доминируют Cu, Zn и Pb), хромового ангидрида (около 0,1 т/год) и др. В золе содержится до 85 % химических элементов, присутствующих в исходном угле изначально [4]. Pb является одним из приоритетных загрязнителей в Ростовской области [6].

Оценка экологического состояния почв, подверженных загрязнению тяжелыми металлами (ТМ), производится на основе не только общего содержания поллютанта в почве, но и по степени его подвижности и доступности для окружающей среды. Используя методы последовательного фракционирования можно оценить степень загрязнения почв и, тем самым, степень опасности загрязнения. Именно последовательное экстрагирование дает возможность получить наиболее полные данные о формах соединений ТМ, присутствующих в почвах.

Цель — изучение состава соединений Pb методом последовательного фракционирования в почвах, подверженных воздействию аэротехногенных выбросов предприятия.

Объекты и методы

Анализировали почвы мониторинговых площадок, расположенные по линии «генерального направления» ветров на расстоянии 1,6 и 15 км от источника эмиссии. Мониторинговые площадки для наблюдений располагались на участках залежи (1,6 км от НчГРЭС) и целины (15 км от НчГРЭС) и представлены черноземом обыкновенным (Haplic Chernozem). Для исследования содержания металлов в почве образцы отбирались в верхнем 0–20 см слое (табл. 1).

Таблица 1

Физические и химические свойства чернозема обыкновенного карбонатного в слое 0–20 см

Расстояние от НчГРЭС, км	Физ. глина, %	Ил, %	Гумус, %	pH	$CaCO_3$, %	NH_4^+, мг/100 г	P_2O_5, мг/100 г	K_2O, мг/100 г	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$, смоль(+)/кг	ЕКО, смоль(+)/кг
1,6	55,3	30,9	4,5	7,4	0,7	2,9	4,0	30,4	32,1	33,2
15,0	54,3	31,8	4,2	7,6	0,7	2,0	3,7	32,2	32,2	34,4

Для изучения фракционного состава соединений Pb были проанализированы исследуемые почвы методом Миллера в модификации Берти, Джекобс [9]. В химическом фракционировании использовали 5 г почвы, 100-милллитровый центрифужный стакан, 50 мл (еще дополнительно 20 мл при промывании осадка) экстрагируемого раствора. Соединения ТМ извлекались по следующей схеме:

1. Водорастворимые формы ТМ: встряхивание навески исследуемой почвы с 50 мл дистиллированной воды в течение 16 часов (при соотношении почва:раствор 1:10).

2. Обменные формы ТМ: встряхивание почвы с 0,5 М раствором $Ca(NO_3)_2$ с pH, доведенным до 7 насыщенным раствором CaO, 8 часов (при соотношении почва:раствор 1:10).

3. Кислоторастворимые формы ТМ: встряхивание почвы с 0,44 М раствором CH_3COOH и 0,1 МCa $(NO_3)_2$ (pH 2,5), 8 ч (при соотношении почва:раствор 1:10).

4. ТМ, связанные с оксидами Mn: встряхивание почвы с 0,1 М раствором $NH_2OH{\cdot}HCl$ и 0,01 М раствором HNO_3, 30 мин (при соотношении почва:раствор 1:14).

5. ТМ, связанные с органическим веществом: встряхивание почвы с 0,1 М $Na_4P_2O_7$ в течение 24 ч (при соотношении почва:раствор 1:14).

6. ТМ, связанные с аморфными оксидами Fe: встряхивание почвы в темноте 4 ч с раствором 0,175 М $(NH_4)_2C_2O_4$ + 0,1 $MH_2C_2O_4$ (при соотношении почва:раствор 1:14).

7. ТМ, связанные с кристаллическими оксидами Fe: почву с раствором 0,175 М $(NH_4)_2C_2O_4$ + 0,1 $MH_2C_2O_4$ помещают на кипящую водяную баню и под ультрафиолетовую лампу и периодически встряхивают руками (при соотношении почва:раствор 1:14).

8. Остаточная фракция. В почву приливают раствор HF + $HClO_4$, затем $HNO_{3конц}$ (при соотношении почва:раствор 1:25). После производим выпаривание.

Общее содержание ТМ в почве определяли рентген-флюоресцентным методом (с использованием прибора спектроскан МАКС-GV). Анализ содержания ТМ в почвенных вытяжках проводили методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ААС).

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ общего содержания Pb показал, что его уровень в почве на расстоянии 15 км от НчГРЭС (28 мг/кг) ниже ОДК (130 мг/кг) [3], но незначительно превосходит фоновый уровень (22 мг/кг) [8]. Содержание Pb в почве на расстоянии 1,6 км уже в 3 раза превосходит фоновый уровень.

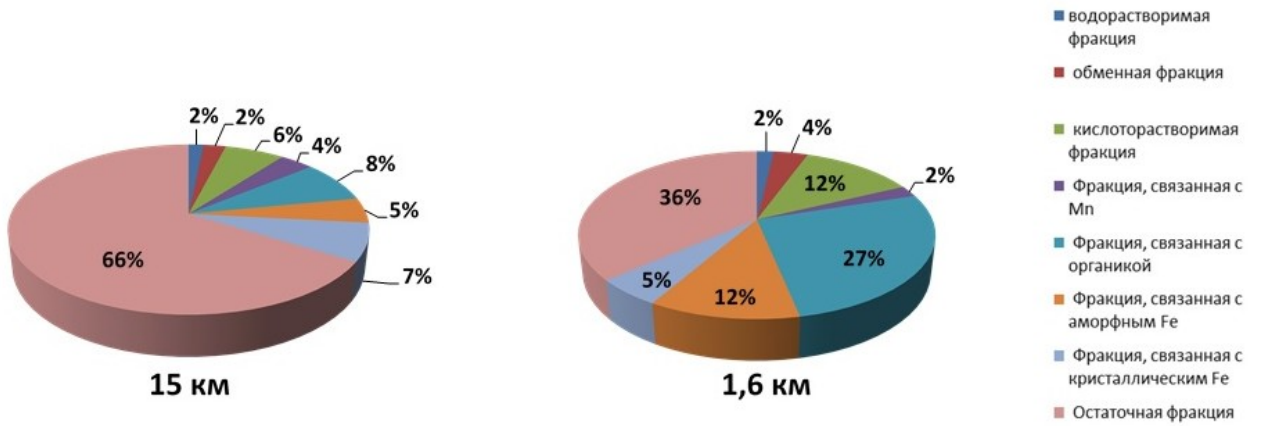
Состав соединений Pb в почвах широко варьирует, что объясняет различие его биологической доступности в геохимических ландшафтах [6]. Pb в почвах является не только халько- и органофилом в гумусированных горизонтах почвы, а также сидеро- и манганофилом в слабогумусированных горизонтах [2]. Выявленное распределение свинца по фракциям в исследованных почвах отвечает данным положениям (табл. 2, рис.).

Таблица 2

Фракционное распределение Pb в черноземе обыкновенном района НчГРЭС по методу Миллера в модификации Берти, Джекобс [9], мг/кг (n = 9)

Фракции	Расстояние от ГРЭС, км		Фракции	Расстояние от ГРЭС, км	
	15,0	1,6		15,0	1,6
Водорастворимая	0,4±0,1	1,2±0,1	Связанная с органикой	2,0±0,3	17,4±3,7
Обменная	0,6±0,1	2,4±0,5	Связанная с аморфным Fe	1,2±0,2	7,5±1,5
Кислоторастворимая	1,6±0,3	8,0±1,3	Связанная с кристаллическим Fe	1,8±0,4	3,4±0,6
Связанная с Mn оксидами	0,9±0,4	1,4±0,5	Остаточная	16,6±3,8	23,7±5,3
Сумма фракций				26,6±2,0	67,2±6,9

Относительное содержание фракции, связанной с органическим веществом, на площадке, подверженной влиянию НчГРЭС, возрастает более чем в 3 раза, по сравнению с отдаленной площадкой (с 8 до 27 %) (рис.). Большая роль органических веществ в закреплении внесенных ионов свинца вызвана высокой способностью металла образовывать внутрикомплексные соединения (хелаты). Pb формирует хелатные комплексы преимущественно с функциональными группами ароматических колец [10]. Отмечается увеличение содержания одних из самых доступных для окружающей среды обменных форм Pb в загрязненной почве в 2 раза, или с 2 до 4 % (рис. 1).



Распределение Pb по фракциям по методу Миллера в модификации Берти, Джекобс [9] в черноземе обыкновенном, расположенном в 15 км и 1,6 км от НчГРЭС, % от суммы фракций

Относительное распределение Pb по фракциям соединений в незагрязненной почве следующее: остаточная >> связанная с органическим веществом > связанная с кристаллическими оксидами Fe > кислоторастворимая ≥ связанная с аморфными оксидами Fe > связанная с Mn ≥ обменная > водорастворимая.

При загрязнении доля металла, связанного с аморфными формами Fe, превышает его количество в окристаллизованных соединениях Fe. В отношении других исследованных форм вышеуказанные закономерности в распределении металла сохраняются: остаточная > связанная с органическим веществом > кислоторастворимая $\geq$ связанная с аморфными оксидами Fe > связанная с кристаллическими оксидами Fe > обменная > связанная с Mn > водорастворимая.

Наибольшее количество ионов Pb находится в остаточной фракции, связанной с алюмосиликатами. На отдаленной от источника загрязнения площадке доля Pb, находящегося в остаточной фракции, составляет 66 %, тогда как на площадке, приближенной к ГРЭС, доля данной фракции уменьшается в 1,8 раза и составляет 36 % (рис.). Одновременно с относительным уменьшением доли металла в остаточной фракции происходит увеличение относительного содержания фракций, связанных с оксидами Fe и Mn, карбонатами и, особенно, органическим веществом. При этом заметно увеличивается (в 2,4 раза) доля фракции, связанной с аморфным железом (рис.).

Таким образом, под влиянием аэрозольных выбросов НчГРЭС существенно увеличивается общее содержание Pb и количество всех образуемых ими форм в почве, прилегающей к источнику эмиссии. Загрязнение почвы вызывает изменение соотношения соединений Pb, отличающихся по прочности связи с несиликатными соединениями железа в сторону увеличения их менее устойчивых форм. Это можно объяснить тем, что большая часть Pb в случае техногенного загрязнения связана с аморфными соединениями Fe. Выявлено ведущее значение органических веществ в аккумуляции Pb в почве.

Исследование выполнено при финансовой поддержки Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 5.948.2017/ПЧ, Российского фонда фундаментальных исследований № 16-35-60055 мол_а_дк.

Литература

1. Антропогенное влияние выбросов Новочеркасской ГРЭС на окружающую среду города и окрестности ГРЭС: отчет о НИР / НГЦЭ И. и М.). Новочеркасск, 1995. 38 с.
2. Водяницкий Ю. Н. Сродство тяжелых металлов и металлоидов к фазам-носителям в почвах // Агрохимия. 2008. № 9. С. 87–94.
3. ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 1 с.
4. Закруткин В. Е., Шкафенко Р. П. Некоторые аспекты распределения свинца в почвах и растениях агроландшафтов Ростовской области // Тяжелые металлы в окружающей среде: материалы междунар. симп. Пущино, 1997. С. 110–117.
5. О состоянии окружающей природной среды г. Новочеркасска в 1997 году: гос. докл. Новочеркасск, 1998. 27 с.
6. Фракционно-групповой состав соединений цинка и свинца как показатель экологического состояния почв С. С. Манджиева и др. // Почвоведение. 2014. № 5. С. 632–640.
7. Экологический паспорт г. Новочеркасска: отчет о результатах крупномасштабных геохимических и радиометрических исследований экологической обстановки. Новочеркасск, 1995. 178 с.
8. Экология Новочеркасска. Проблемы, пути решения / под ред. Н. В. Белоусовой. Ростов-н/Д: СКНЦВШ, 2001. 393 с.
9. Berti W. R., Jacobs L. W. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications // J. Environ. Qual. 1996. No. 25. P. 1025–1032.
10. Quantative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques / A. Manceau, M. A. Marcus, N. Tamura // Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature Geochemistry and Environmental Science. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Washington DC, 2002. No. 49. P. 341–428.

Т. Т. Горбачева, С. И. Мазухина, С. В. Иванов, В. В. Максимова
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, gorbacheva@inep.ksc.ru

ФОРМЫ МИГРАЦИИ АЛЮМИНИЯ В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Институтом проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН регулярно проводятся исследования природных и техногенно измененных природных вод на территории Мурманской обл. Одним из постоянно контролируемых параметров в водных объектах является алюминий. При изучении его миграционной способности и биологической активности определение валового содержания в водной среде признается недостаточным и порою необъективным. Известно, что указанные свойства элемента определяются не столько его общим (валовым) содержанием, сколько соотношением существующих форм его нахождения в исследуемой среде [1]. При анализе форм нахождения Al в составе природных вод первоочередное внимание уделяют его присутствию в виде Al^{3+}: эта форма признается наиболее токсичной для биоты. При биотестировании с применением растительных тестов к наиболее токсичным добавлена и форма $Al(SO_4)_2^+$ [8]. Данные о валовом

составе алюминия в водных пробах, полученные стандартными аналитическими методами (атомно-абсорбционной спектрометрией), дополняются нами результатами физико-химического моделирования (ФХМ) с применением программного комплекса (ПК) «Селектор» версии 2007 г. [4].

Цель данной работы — обобщить результаты ФХМ, полученные в отношении форм миграции Al в разных водных объектах наземных экосистем Кольского п-ова.

Методы исследований

В качестве входных параметров при ФХМ состава вод используются аналитические данные, выраженные в миллиграммах на литр, по каждому из определяемых катионов и анионов основного состава вод. Для предварительного выбора результатов анализа для ФХМ применяется балансовый метод, согласно которому разница между суммой катионов (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+ и H^+) и суммой анионов минеральных кислот (SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-), выраженных в нормальных концентрациях, принимается за концентрацию анионов органических кислот. Наличие в пробе органической матрицы значительно усложняет процесс моделирования из-за ее сложного многокомпонентного состава. Для верификации результатов ФХМ и сопоставления полученных результатов проводится пересчет по каждому параметру в долевые отношения (процентное содержание). Расчет осуществляется на основе молекулярной массы каждой отдельной формы и валового содержания элемента. Валидация результатов основывается на том положении, что суммарное содержание всех определяемых форм элемента должно соответствовать 100 %.

Результаты и обсуждение

Снеговые талые воды. Нарастающая токсичность талых снеговых вод в промышленных и урбанизированных районах РФ повышает значимость расширения методов исследования выпадений зимнего периода. Нами проведен ретроспективный анализ изменения форм миграции алюминия после снижения аэротехногенной нагрузки со стороны крупнейшего в области медно-никелевого комбината (пл. Мончегорск КГМК). Закрытие в 1998 г. цеха плавки медно-никелевой руды способствовало снижению выбросов основных поллютантов на указанной площадке в период с 1990 по 2009 гг: SO_2 (тыс.т) — с 232,5 до 33,5 (в 6,9 раза); Cu (т/год) — с 1813 до 439,3 (в 4 раза); Ni (т/год) — с 2712 до 387 (в 7 раз) [6]. Алюминий является сопутствующим компонентом выбросов.

Снижение аэротехногенной нагрузки существенно повлияло на формы миграции Al с талыми водами, способствуя уменьшению доли простых катионных форм, признающихся наиболее токсичными для биоты, на площадках, удаленных от источника выбросов более чем на 30 км (табл. 1).

Таблица 1

Формы нахождения алюминия в талых снеговых водах

Параметр	Расстояние от источника выбросов			
	Площадка 6, 260 км	Площадка 5, 100 км	Площадка 4, 31 км	Площадка 1, 7 км
pH	5,32	4,82/5,23	4,79/4,90	4,68/4,60
Al	Доля, %			
AlO_2^-	0,5	0,01/0,3	0,01/0,03	0,01/*
$HAlO_2^0$	6,6	0,6/4,9	0,5/0, 9	0,5/0,2
$Al(OH)^{2+}$	45,9	39,1/47,3	37,7/42,0	37,8/29,7
$Al(OH)_2^+$	22,3	6,0/19,2	5,4/7,7	5,3/2,8
$Al(OH)_3^0$	4,7	0,4/3,4	0,3/0,6	0,3/0,1
$Al(OH)_4^-$	0,4	0,01/0,2	0,01/0,02	0,01/*
$Al(OH)_4^+$	*	0,03/0,02	0,02/0,02	0,1/0,1
$Al(SO_4)_2^-$	*	*/*	*/*	*/*
Al^{3+}	19,9	53,9/24,7	56,1/48,7	56,1/67,2

Примечание: в числителе указаны результаты 1995 г., в знаменателе — 2013 г.; «*» — менее 0,01 %.

Перераспределение форм при этом в немалой степени зависело от кислотности талых вод из-за амфотерности свойств Al. На фоновой территории (260 км от источника выбросов по юго-западному градиенту) с наименьшей кислотностью талых вод содержание ионной формы Al было минимальным (не более 20 %). В локальной зоне влияния источника выбросов (7 км) кислотность талых вод после снижения нагрузки повысилась (отмечено снижение pH с 4,68 в 1995г до 4,60 в 2013 г.) — предположительно, из-за снижения подщелачивающего действия пылевых выбросов после модернизации производства. Доля свободной ионной

формы Al при этом повысилась с 56 до 67 %. Можно предположить, что такая высокая доля ионной формы Al при pH < 5 обусловлена ограниченным комплексообразованием с функциональными группами слабых кислот. При повышении кислотности раствора степень диссоциации таких групп снижается.

При повышении pH вод степень связывания металлов в комплексы увеличивается, однако при этом может проявляться конкурирующее действие процессов гидролиза, особенно в случае многозарядных катионов. Наши результаты моделирования такую возможность подтверждают: имеет место перераспределение форм в сторону повышения доли Al в молекулярной форме ($Al(OH)_3$, $HAlO_2$) и в виде гидроксильных комплексов $Al(SO_4)_2^+$ и $Al(OH)^{2+}$ на площадках, где после снижения нагрузки произошло снижение кислотности. Поскольку значения pH в водах не перешли в щелочную область (остались ниже 6), то и доля анионных форм Al (AlO_2^-, $Al(OH)_4^-$) осталась незначимой величиной.

Сходная тенденция влияния pH отмечена нами при повышении минерализации талых снеговых вод в результате применения мелиорантов для рекультивации нарушенных территорий вблизи пл. Мончегорск. Работы проводились начиная с 2003 г. Мончлесхозом под научным руководством ИППЭС. Ярко выраженное снижение доли свободной ионной формы Al наблюдается при повышении pH талых вод в результате известкования. Например, на участке С, где в схему полевого эксперимента включено внесение извести и доломита, доля Al^{3+} снизилась практически до нуля при повышении pH до 8,36 (табл. 2). При повышении pH вод степень связывания металлов в комплексы увеличивается, однако при этом может проявляться конкурирующее действие процессов гидролиза, особенно в случае многозарядных катионов [1]. Наши результаты моделирования такую возможность подтверждают, в частности, относительно перераспределения форм в сторону повышения доли Al в молекулярной форме ($Al(OH)_3$, $HAlO_2$). Повышение щелочности вод в результате известкования вызывает также рост содержания анионных форм Al (AlO_2^-, $Al(OH)_4^-$).

Таблица 2

Формы нахождения алюминия в талых снеговых водах на участках рекультивации техногенных пустошей

Параметр	Участок А	Участок В	Участок С (известкование)	Участок контрольный
pH	5,15	5,06	8,36	5,19
Eh, В	-0,09	-0,07	-0,21	0,91
Форма, %				
AlO_2^-	0,1	0,1	24,7	0,2
$Al(OH)^{2+}$	47,4	45,5	1,3	47,7
$Al(OH)_2^+$	14,6	11,2	7,6	16,9
$Al(OH)_3^0$	2,0	1,2	19,4	2,7
$Al(OH)_4^-$	0,1	*	19,4	0,3
$AlSO_4^+$	*	0,2	*	*
$Al(SO_4)_2^-$	*	*	*	*
Al^{3+}	32,8	40,0	*	28,5
$AlCH_3COO^{2+}$	–	–	*	–
$HAlO_2^0$	2,9	1,8	27,5	3,8

Примечание. Здесь и далее «*» — ≤ 0,01 %.

Дождевые осадки. Другим направлением исследований явилось расширенное изучение химического состава атмосферных выпадений на акваторию Белого моря в виде дождя с добавлением термодинамических параметров низкомолекулярных алифатических кислот (муравьиной и уксусной). Исследования проводились на мониторинговых площадках о. Тонная Луда в Кандалакшском заливе. Ионный баланс дождевых осадков в нормальных концентрациях показал, что противоионами катионной части раствора являются анионы и минеральных и органических кислот, причем сумма анионов органических кислот может быть как соизмерима, так и существенно превышать этот показатель в отношении минеральных кислот. Из летучих органических кислот муравьиная и уксусная кислоты признаются абсолютными доминантами в составе жидкой фазы атмосферы [6]. Их происхождение в атмосферных выпадениях даже на условно-фоновых территориях относят как к биогенным, так и антропогенным источникам [6, 7]. Одним из предполагаемых механизмов реакций формирования кислот в атмосфере является окисление олефинов (ненасыщенных углеводородов), в частности, изопрена, под действием озона. Установлено, что морская поверхность является источником эмиссии олефинов [5], что обусловлено метаболизмом фитопланктонных организмов [9]. Муравьиная и уксусная кислоты как

одноосновные карбоновые кислоты обладают слабой комплексообразующей способностью, поэтому в исследованных нами водах результаты моделирования указывают на доминирование их простых солей (формиатов, ацетатов). Это с большой долей вероятности относится и к Al, доминирующей формой которого является Al^{3+}. Результаты ФХМ (табл. 3) позволили сделать предположение о нахождении состава атмосферных выпадений в метастабильном состоянии при слабом комплексообразовании металлов, что может способствовать токсическому действию на морские организмы.

Таблица 3

Результаты физико-химического моделирования термодинамических расчетов

Параметр	Июль		Сентябрь	
	Анализ Al, мг/л	Термодинамический расчет	Анализ Al, мг/л	Термодинамический расчет
pH	**4,39**		**5,81**	
Al	**0,0048**		**0,0043**	
$Al(OH)^{2+}$		$1{,}62 \cdot 10^{-3}$		0,011
Al^{3+}		$3{,}72 \cdot 10^{-3}$		$1{,}01 \cdot 10^{-3}$
$Al(OH)_2^+$		$5{,}65 \cdot 10^{-5}$		0,0101
$AlCH_3COO^{2+}$		$1{,}18 \cdot 10^{-5}$		$1{,}19 \cdot 10^{-5}$

Почвенные воды. Грунтовое питание малых рек водосбора Белого моря осуществляется преимущественно за счет инфильтрации атмосферных осадков [3]. ПК «Селектор» открыл широкие возможности для изучения процессов миграции алюминия в почвенных условиях и прогноза перераспределения его форм при поступлении в грунтовые воды. Исследования были направлены на изучение форм нахождения Al в мигрируемых водах после прохождения основной части почвенного профиля приморских почв после периода снеготаяния. Отбор проб проводился на п-ове Турий мыс (южное побережье Кольского п-ова, территория водосбора Белого моря). Результатами ФХМ выявлены парцеллярные различия в формах нахождения Al в почвенных водах. В межкроновых пространствах, где кислотность вод при прохождении по почвенному профилю падает практически до нейтрального уровня (pH = 5,1), доминирующей формой является $Al(OH)^{2+}$ (> 50 %). В подкроновых пространствах приморских почв, где внутрипрофильная дифференциация кислотности выражена слабее, доминирующей формой Al является ионная (Al^{3+}). Поскольку ионная форма любого элемента относится к наиболее лабильной, наличие плотных лесных массивов на побережье Белого моря может оказаться причиной загрязнения его грунтовых вод алюминием и представлять опасность при использовании неконтролируемых родниковых вод для питьевых нужд.

Полученные нами результаты моделирования хорошо согласуются с литературными данными относительно доминирующих форм указанных элементов и в поверхностных водах, и в почвенных растворах. Предлагается шире использовать метод ФХМ для прогнозных оценок изменения форм миграции Al и как типоморфного элемента почв, и как компонента локальных выбросов и дальнего переноса.

Литература

1. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 271 с.
2. Мониторинг окружающей среды в зоне влияния АО «Кольская ГМК». URL: http://www.kolagmk.ru/ecology/monitoring.
3. Филатов Н. Н., Тержевик А. Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: Кар. науч. центр РАН, 2007. 349 с.
4. Чудненко К. В. Теория и программное обеспечение метода минимизации термодинамических потенциалов для решения геохимических задач: автореферат дис. докт. геол.-мин. наук. Иркутск, 2007.
5. Bonsang B., Polle C. and Lambert G. Evidence for marine production of isoprene // Geophys.Res. Lett. 1992. Vol. 19. P.1129–1132.
6. Chebbi A. and Carlier P. Carboxylic acids in the troposphere, occurrence, sources and sinks: A review // Atmos. Environ. 1996. Vol. 30. P. 4233–4249.
7. Chemical composition of acid rains in the venezuelan savannah region / E. Sanhueza et al. // Tellus. 1992. Vol. 44B. P. 54–62.
8. Comparison study of five analytical methods for the fractionation and subsequent determination of aluminium in natural water samples / T. Wickstrøm et al. // J. Environ. Monit., 2000. Vol. 2. P. 171–181.
9. Moore R. M., Oram D. E. and Penkett S. A. Production of isoprene by marine phytoplankton cultures // Geophys. Res. Lett. 1994. Vol. 23. P. 2507–2510.

Л. А. Иванова[1], И. П. Кременецкая[2], Т. Т. Горбачева[3],
М. В. Слуковская[2], Е. Ф. Марковская[4], С. В. Дрогобужская[2]
[1]*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Апатиты, ivanova_la@inbox.ru*
[2]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты*
[3]*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, gorbacheva@inep.ksc.ru*
[4]*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск*

РЕАБИЛИТАЦИЯ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОПОННЫХ ЭКСПРЕСС-ТЕХНОЛОГИЙ

В связи с растущим антропогенным воздействием на окружающую среду Мурманской обл. необходимость реабилитации техногенно нарушенных территорий остается актуальной проблемой, имеющей тенденцию к обострению. Одним из наиболее простых и доступных способов восстановления нарушенных территорий является создание на них искусственных фитоценозов, являющихся основой для восстановительной сукцессии наземных экосистем. В неблагоприятных климатических условиях Крайнего Севера создание качественного растительного покрова осложняется низкими осенне-весенними и кратковременно высокими летними температурами, частыми и обильными осадками, аномально коротким вегетационным периодом, сильными ветрами, дефицитом и бедностью почвенных ресурсов. Отдельной проблемой является отсутствие в регионе торфоразработок как источников насыпного грунта для рекультивации земель, трудоемкость и дороговизна мероприятий по повышению плодородия местных почв с исходно низким питательным статусом. В силу указанных причин очень важен поиск, разработка и применение природосберегающих способов формирования высокоустойчивого растительного покрова без изъятия плодородного слоя на других территориях региона, поскольку такое изъятие неизменно переводит их в категорию нарушенных. За период 2004–2016 гг. сотрудниками КНЦ РАН, НП «Технопарк-Апатиты» и ПетрГУ запатентовано несколько инновационных экспресс-технологий создания высококачественного растительного покрова [2–6]:

Технология 1. Способ создания экологически чистого покрытия и питательная среда для его выращивания: пат. 2393665.

Технология 2. Method for biologically recultivating industrial wastelands: International Application No.: PCT/RU2010/000001.

Технология 3. Способ ускоренного формирования и ремонта газонов на основе использования многокомпонентной озеленительной (минерально–растительной) смеси: пат. 2477946.

Технология 4. Способ создания газонной дернины на органо-минеральной основе: пат. 2477947.

Технология 5. Способ создания почвенно-растительного покрова при рекультивации нарушенных земель: пат. 2484613.

В основе предлагаемых подходов лежит комплексное использование многолетних травянистых растений, в том числе аборигенных, местных влагоемких субстратов-почвозаменителей (*технологии 1–5*) и горнопромышленных отходов-мелиорантов (*технология 5*). Разработанные технологии характеризуются универсальностью, поскольку позволяют создавать растительные сообщества как в защищенном, так и в открытом грунте. Это могут быть интерьерные, партерные, садово-парковые, луговые и спортивные газоны, специальные (защитные, экосанитарные) культурфитоценозы, а также зеленые кормовые витаминные коврики для домашних животных и крупного рогатого скота. Применение в качестве влаго- и воздухоемкого гидропонных субстратов (термовермикулита и компостированных древесных опилок) способствует сокращению продолжительности периода прорастания семян до 5 дней (от набухания семян до появления зеленых всходов). Гидропонный способ позволяет вырастить ковровую дернину в условиях открытого грунта Крайнего Севера в течение 14 дней при благоприятных температурах воздуха (10–18 °С), а при пониженных температурах (2–10 °С) — в течение 3 недель. Конечным продуктом являются изумрудно-зеленые, плотные (700–2600 растений на 1 дм^2) травяные ковры размером 2 м^2, весом 10–14 кг.

При сравнении ковровой дернины норвежской фирмы Vieland Ferdigplen, являющейся мировым лидером ковровых газонных технологий, с продукцией, разработанной авторами, была дана высокая оценка инновационному способу. Подчеркнута его простота и универсальность, разумное сочетание «цена — качество — скорость формирования растительного покрова». Особый акцент сделан на широком спектре назначения травяных ковров, эффективности прирастания их дернины к грунту, ее экологичности, легкости, пластичности, высокой жизнеспособности, в том числе на участках со сложным рельефом.

Цель данной работы — оценка пролонгированного эффекта разработанных технологий в полевых экспериментах на нарушенных территориях после предварительно проведенных лабораторных испытаний.

Объекты исследований:

- отвалы отходов рудообогащения (хвостохранилище апатитонефелиновой фабрики-2 АО «Апатит»),
- опытные нефтезагрязненные территории (п. Дровяное),
- техногенные пустоши вблизи медно-никелевого производства (пл. Мончегорск АО «Кольская ГМК»).

Результаты и обсуждение

Апатитонефелиновое хвостохранилище (эксперименты ПАБСИ КНЦ РАН). Пыление хвостохранилищ АО «Апатит» остается главной экологической проблемой г. Апатиты. В конце августа 2006 г. для создания искусственного фитоценоза на модельном экспериментальном участке хвостохранилища (склон северо-западной экспозиции с уклоном 45°) с полностью отсутствующей растительностью была постелена ковровая травяная дернина общей площадью 100 м^2. Размещение осуществлялось поперек склона зигзагообразными шевронами шириной 0,5, длиной 10 м с интервалом между ними 0,5 м. Планировки поверхности склона, его выполаживания и землевания не проводилось. Для создания дернины использована травосмесь из 8 видов растений — *Festuca rubra* L., *Poa pratensis* L., *Lolium perenne* L., *Leymus arenarius* L., *Chamaenerion anqustifolium* (L.) Scop, *Tussilago farfara* L., *Trifolium pratense* L., *Trifolium repens* L.

Исходное состояние дернины: высота травостоя 7 см, плотность 2000,4 ± 102,2 особей на дм^2. Отмечено быстрое (в течение недели) и качественное прирастание ее к песчаной поверхности техногенного грунта. Через 1,5 месяца на исследуемой территории сформировался растительный покров с 50 %-м проективным покрытием поверхности. В процессе дальнейшего развития его структура и состав постепенно усложнялись за счет естественной колонизации пионерной растительностью: *Poa pratensis, Chamaenerion anqustifolium, Tussilago farfara, Trifolium pratense, Achillea millefolium* L., *Senecio dubitabilis* C. Joffrey et Y. L.Chen, *S. Vulgaris* L., *Solidago lapponica* Wither., *Cerastium holosteoides* Fries, *Dicranelle schreberiana* (Hedw.) Hilp. Ex Crum & Anderson, *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Puccinella distans* (Jacq.) Parl., *Rumex accetosella* L., *Rhinanthus serotinus* (Schoenh.) Oborny). При этом происходило интенсивное зарастание внутренних оголенных межполосных участков (табл. 1). К концу третьего года проведения полевого эксперимента общее число видов на экспериментальном участке увеличилось до 20 — с доминированием лугового (50 %) и рудерального (35 %) ценотипов адвентивной флоры, обеспечивающих 100 %-е проективное покрытие модельного склона.

Результаты исследований вошли в «Важнейшие результаты РАН в 2009 г.

Таблица 1

Показатели развития искусственного фитоценоза на отходах рудообогащения АНОФ-2 АО «Апатит»

Год эксперимента	Плотность травостоя, шт/дм^2	Высота травостоя, см	Длина корней, см	Общее число видов	Проективное покрытие, %
2006 (1,5 мес.)	2000,4±102,2	23,7±0,2	12,3±0,3	8 (8; 0)	50,3±3,0
2007	1900,4±94,2	25,4±5,2	22,7±4,3	9 (8; 4)	70,4±4,6
2008	1901,0±102,2	65,4±3,0	52,2±3,4	20 (14; 15)	100,2±23,1

Примечание. В скобках указано число видов внутри травяно-дернового ковра и в межполосных пространствах.

Нефтезагрязненные участки. В 2009–2013 гг. на базе существующей испытательной площадки ООО «ЭкоЦентр» в п. Дровяное силами ПАБСИ, НП «Технопарк-Апатиты» (г. Апатиты) совместно с сотрудниками ООО «САБРУС» (г. Мурманск) были проведены исследования по повышению эффективности биологической очистки почв от нефтезагрязнения. Метод основывался на сочетании ускоренного формирования растительного покрова и применения нефтеразлагающего биопрепарата Микрозим («ПЕТРО ТРИТ»). Специализированная экспериментальная площадка была выполнена в виде 87 деревянных коробов высотой 0,5 м, площадью 1 м^2 и высотой загрузки техногенных субстратов 0,4 м. Эксперименты проводились в 4-кратной повторности с разной степенью загрязнения грунта нефтепродуктами (НП).

В 2010 г. для создания растительного покрова на участках, загрязненных мазутом (содержание НП 4,7 %), применяли экспресс-способ прямого посева. Использовалась следующая травосмесь: *Phleum pratense* L., (25 %), *Bromus inermis* Leyss. (25 %), *Festuca rubra* (20%), *Lolium perenne* (20 %), *Poa pratensis* (10 %). Во всех вариантах опыта отмечено интенсивное прорастание семян. На 6-й день эксперимента был сформирован плотный зеленый растительный покров из проростков высотой 5–7 см, в котором были представлены все использованные виды трав, среди которых доминировала тимофеевка луговая. Анализ полученных результатов показал, что использованный в эксперименте биопрепарат Микрозим способствует существенному улучшению качества сформированного в эксперименте растительного покрова (табл. 2).

Таблица 2

Влияние препарата Микрозим на качественные показатели фитоценоза, сформированного инновационным способом прямого посева на участках, загрязненных мазутом

Вариант	Высота травостоя, см	Длина корней, см	Плотность травостоя, шт/дм^2	Биомасса, г/м^2	Проективное покрытие, %
Контроль (без внесения препарата)	22,3±1,6	19,7±3,2	686, 4±31,2	610,0±31,0	70,4±6,2
Опытный	34,6±2,4	22,0±1,5	1019,7±70,9	883,4±35,4	80,6±3,5

Техногенные пустоши. В 2009–2010 гг. ПАБСИ, ИХТРЭМС, ИППЭС, ГоИ КНЦ РАН, ПетрГУ была проведена серия предварительных лабораторных опытов на грунте техногенной пустоши, отобранной вблизи пл. Мончегорск АО «КГМК». В схему опытов были добавлены экранирующие слои из кварца (контрольный вариант) и карбонатитсодержащие отходы обогащения апатит-магнетитовых руд (опытный вариант). Для их создания применена мелкодисперсная фракция отходов рудника «Железный» (АО «Ковдорский ГОК»), содержащая карбонаты — 30 %, апатит — 10–20 %, магнетит — 10–20 %, флогопит, слюды — 20–30 %. Отмечено активное проникновение корневой системы выращенного травяного покрова в мелиоративный слой из отходов и далее в загрязненный грунт. Это подтвердило эффективность предложенной технологии фиторемедиации высокотоксичного грунта в условиях отсутствия аэротехногенной нагрузки. В 2010–2016 гг. для проведения полевых исследований в условиях продолжающейся аэротехногенной нагрузки были выбраны три экспериментальные площадки (70 опытных делянок, каждая площадью 1 $м^2$) на разном удалении от источника загрязнения. В эксперименте были испытаны технологии 1 и 2. Для формирования растительного покрова использовалась смесь семян из *Festuca rubra*, *f. pratensis* Huds., *Lolium perenne*, *Festulolium smaragdinum*, *Bromus inermis*, *Phleum pratense*, *Agropyron intermedium* (Host.) Beauv.). Схема опытов с применением экранирующего слоя была расширена. Она включала шесть опытных вариантов:

1 — серпентинито-магнезит дробленый;
2 — серпентинито-магнезит термоактивированный (т/а);
3 — сунгулит дробленый;
4 – сунгулит термоактивированный;
5 — карбонатитовые отходы;
6 — флогопитовые отходы —

и два контрольных: контроль 1 (песок) и контроль 2 — без использования мелиоративного слоя.

Каждый вариант включал три повторности, высота слоя промышленных отходов составляла 10 см.

Растения на контрольных делянках без мелиорантов погибли в первый год эксперимента, а в контрольном варианте на песке имели угнетенное состояние. К концу эксперимента растительный покров на участках с экранирующим слоем имел 70–100 %-е проективное покрытие, дернину мощностью 7–8,5 см, мощную корневую систему с проникновением корней в техногенный грунт на глубину 1,5–4,0 см. Отмечена высокая продуктивность надземной массы (0,5–1 кг/$м^2$ или 5–10 т/га).

Приводим информацию для сравнения: урожай зеленой массы многолетних трав в Заполярье составляет 4,0–18,0 т/га [1]. Отмечено пролонгированное действие мелиоративного слоя на жизнеспособность растительного покрова в условиях продолжающейся аэротехногенной нагрузки: за два года корневая система растений полностью освоила слои мелиорантов и проникла на несколько сантиметров в техногенный грунт, что свидетельствует о снижении его токсичности под действием эффекта известкования.

Диапазон сметной стоимости фиторемедиации нарушенных территорий на основе предложенных технологий, оцененный с применением профессиональной сметной программы А0, составляет 3,5–5,0 млн руб/га, что сопоставимо с затратами на применение традиционных методов, предполагающих планировку территории и землевание.

Результаты исследований вошли в «Важнейшие результаты РАН в 2015 году», были поддержаны хозяйственными договорами с АО «Кольская горно-металлургическая компания» № 3097, № 3091, № 3099.

Литература

1. Вихман М. И., Кислых Е. Е., Лисеенко Л. А. Урожайность и качество кормовых трав в зависимости от метеорологических факторов в условиях регулируемого плодородия почв // Агрохимические приемы повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: материалы 40-й Междунар. науч. конф. / ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова. М.: Изд-во ВНИИА, 2006. С. 127–129.
2. Заявка 2011127453 Российская Федерация. Способ создания почвенно-растительного покрова при рекультивации нарушенных земель / Иванова Л. А., Кременецкая М. В, Иноземцева Е., С., Горбачева Т. Т., Корытная О. П. Приоритет 04.07.11.
3. Заявка 2011127455/13(040621) Российская Федерация. Способ ускоренного формирования и ремонта газонов на основе использования многокомпонентной озеленительной (минерально-растительной) смеси / Иванова Л. А., Иноземцева Е. С., Кременецкая М. В. Приоритет 04.07.11.
4. Заявка 2011127457/13(040623) Российская Федерация. Способ создания газонной дернины на органо-минеральной основе / Иванова Л. А., Иноземцева Е. С., Кременецкая М. В. Приоритет 04.07.11.
5. Пат. 2393665 Российская Федерация. Способ создания экологически чистого покрытия и питательная среда для его выращивания / Иванова Л. А. № 2007126884; заявл. 20.01. 09; опубл. 10.07.10, Бюл. № 2.
6. Ivanova L. A. (en) Method for biologically recultivating industrial wastelands = Procédé de remise en culture biologique de terres appauvries sur le plan technogène = Способ биологической рекультивации техногенно-нарушенных земель. Pub. No.: WO/2011/084079. International Application No.:PCT/RU2010/000001. Publication Date: 14.07.2011. International Filing Date: 11.01.2010. IPC: A01B 79/02 (2006.01), A01G 1/00 (2006.01), A01G 31/00 (2006.01).

Г. М. Кашулина[1], Т. И. Литвинова[1], С. В. Дрогобужская[2], Л. А. Баскова[1]
[1]*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Апатиты, galina.kashulina@gmail.com*
[2]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, drogo@mail.ru*

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОСТРОВА ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

Введение

Благодаря своему географическому положению арх. Шпицберген характеризуется уникальным сочетанием факторов почвообразования, обусловливающих формирование специфических серогумусовых грубогумусных почв, отличающихся от хорошо изученных почв ближайшей к нему континентальной Субарктики [2, 4]. Поэтому изучение поведения химических элементов при формировании этих специфических почв в условиях высокой Арктики представляет особый научный интерес. Актуальность исследования биогеохимических особенностей почв Шпицбергена обусловлена и необходимостью определения природных уровней химических элементов в почвах для оценки антропогенного влияния на состояние окружающей среды этой уникальной природной территории.

На основе данных с нескольких десятков разрезов к настоящему времени выявлены основные закономерности распределения основных элементов в профиле почв побережий острова Западный Шпицберген [1, 4]. Преобладающая часть обследованных почв формируется на почвообразующем материале с высоким содержанием SiO_2 и экстремально низком содержании щелочноземельных элементов, особенно Ca. В процессе почвообразования верхний органогенный горизонт серогумусовых грубогумусных почв обогащается главными биогенными элементами — Ca, Mg, P, K и Mn. Причем, несмотря на высокое широтное положение и бедность почвообразующего материала, уровни этих элементов в верхнем органогенном горизонте этих почв, находятся на уровне, свойственном северной части европейского континента. Дифференциация химических элементов в минеральной части профиля серогумусовых грубогумусных почв выражена довольно слабо. Для нее также характерны частые нерегулярные изменения содержания элементов из-за неоднородности почвообразующего материала в пределах профиля, обусловленные сложностью формирования почвообразующего материала в горных условиях, а также частым нарушением профиля почв в результате морозных явлений.

Изучение содержания микроэлементов в почвах Шпицбергена пока немногочисленны. Наиболее значительный массив данных был получен сотрудниками Северо-Западного филиала ГУ НПО «Тайфун» при проведении комплексного мониторинга за состоянием окружающей среды в пос. Баренцбург и его окрестностях [5]. В этих исследованиях с 2002 г. велось определение 11 микроэлементов (As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb и Zn) в двух слоях 0–5 и 5–20 см, т. е., не привязанных к определенному типу почв и их конкретному горизонту. В данном докладе будут представлены результаты определения 22 микроэлементов в образцах основных генетических горизонтов 19 разрезов серогумусовых грубогумусных почв, расположенных на побережьях острова Западный Шпицберген.

Материалы и методы

Для биогеохимической характеристики почв побережий острова Западный Шпицберген было отобрано 55 почвенных образцов из 19 разрезов, заложенных в разных районах острова Западный Шпицберген (в районах Гренфьорда, Исфьорда, Конгрессдален, Колсбей, Биллефьорда и долине реки Грендален) сотрудниками лаборатории почвоведения ПАБСИ КНЦ РАН с 2004 по 2013 гг. Валовые концентрации 22 элементов во фракции менее 1 мм были определены сотрудниками лаборатории химических и оптических методов анализа ИХТРЭМС КНЦ РАН. Пробы разлагались смесью концентрированных азотной и плавиковой кислот в автоклавах DAK-100 с использованием автоклавной микроволновой системы MSW 4 (BERGHOF, Германия). Измерения проводили на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ELAN 9000 DRC-e (Perkin-Elmer, США). Предел обнаружения для разных элементов составлял 0,01–0,0005 мг/кг. Для оценки правильности измерений применяли стандартные образцы: CRM-SOIL-A (High-purity standards, США) и ГСО почв СП-2, СП-3, СДПС, СКР-1, ССК-2, БИЛ-1 (Россия).

Результаты и обсуждение

В таблице представлены основные статистические показатели распределения концентраций всех определенных элементов отдельно для каждого генетического горизонта серогумусовых грубогумусных почв.

Медианы концентраций элементов в почвообразующем материале (оценено по данным анализа образцов горизонта AYaoC, наименее измененного в процессе почвообразования) варьируют в очень широком диапазоне: от 0,09 мг/кг для Hg до 214 мг/кг для Mn. О биогеохимических особенностях почвообразующего материла обследуемого региона можно судить, если сравнить медианы концентраций элементов в почвообразующем материале с их средними содержаниями в литосфере (табл. 1). Только по содержанию 6 элементов (Bi, Cr, Sc, Sn, V и Zn) почвообразующий материал обследуемой территории близок к средним содержаниям в литосфере. Наиболее значительно почвообразующий материал

относительно кларка обогащен Ag (в 16 раз), As (в 8 раз), Se (в 4 раза) и Te (в 28 раз). Менее значительно — от 1,5 до 3 раз — почвообразующий материал в районе исследований обогащен Cd, Hg, Mo, Pb и Sb. В то время как концентрации Co, Cu, Mn, Ni, Rb, Sr и Tl снижены относительно кларка в литосфере. Особенно значительное снижение (более 10 раз) было отмечено для Sr. Экстремально низкое содержание Ca с близкими химическими свойствами в почвах около пос. Баренцбург было отмечено ранее [2]. В отличие от Ca, содержание Sr было значительно ниже кларка литосферы и в почвах из района Биллефьорда, где присутствовали карбонаты [4].

Медиана, минимум и максимум общих концентраций элементов в основных горизонтах серогумусовых грубогумусных почв, а также средние содержания элементов в литосфере по данным В. В. Иванова [1], мг/кг

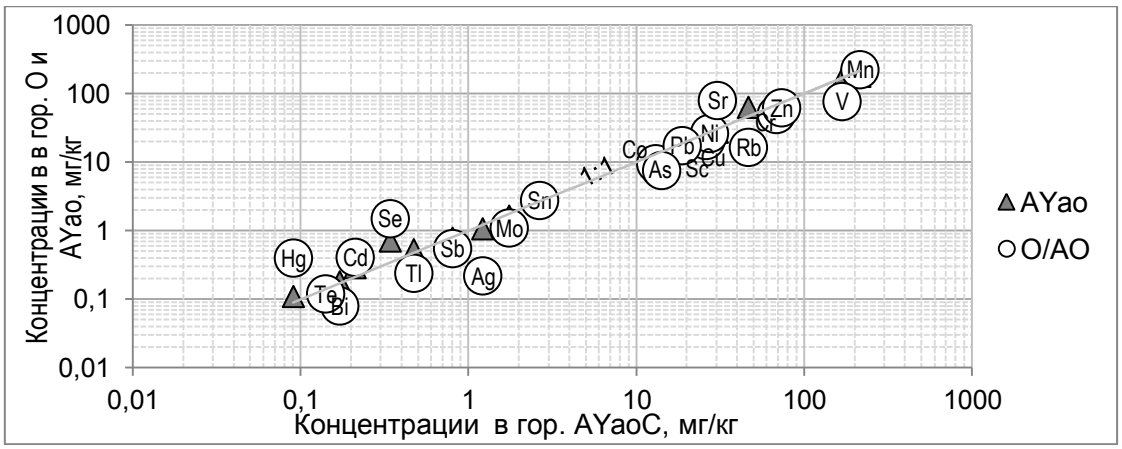
Элемент	Горизонт O/AO			Горизонт AYao			Горизонт AYaoC			Кларк
	медиана	мин	макс	медиана	мин	макс	медиана	мин	макс	
Ag	0,22	< 0,01	0,47	1,07	0,12	3,28	1,21	0,05	4,05	0,073
As	8,01	1,88	13,9	11,9	4,39	18,6	13,8	4,34	28,2	1,8
Bi	0,08	0,01	0,3	0,18	0,02	0,3	0,17	0,04	0,42	0,2
Cd	0,41	0,21	0,83	0,29	0,02	0,9	0,21	0,05	0,74	0,16
Co	9,53	5,03	13,9	11,3	6,59	30,9	13	7,73	28,1	23
Cr	49,8	20,3	72,8	69,8	28,7	143,5	68,1	39,4	132,4	93
Cu	20,8	11,8	60	26,6	16,6	53,5	25,9	17,5	76,3	53
Hg	0,4	0,02	1,28	0,11	< 0,01	1,27	0,09	< 0,01	0,65	0,04
Mn	224,4	82,2	1325	179,8	86,7	1344	214,4	82,8	1348	900
Mo	1,1	0,58	7,39	1,64	0,49	9,44	1,74	0,21	8,71	1,2
Ni	26,3	13,1	48,7	29,7	16,3	42,9	27,2	18,4	44,1	56
Pb	17,5	9,3	41,3	15,3	8,63	43,2	18,7	9,75	33,1	12
Rb	16,5	3,14	24,7	63,4	17	98,6	46,4	9,94	99,5	110
Sb	0,55	0,31	1,31	0,78	0,43	1,54	0,8	0,57	1,64	0,3
Sc	7,59	< 0,01	14,6	12,1	3,28	22,4	14,1	11,5	67,6	17
Se	1,5	< 0,01	4,46	0,71	< 0,01	3,25	0,34	< 0,01	2,8	0,083
Sn	2,77	1,3	42	2,74	1,74	20,9	2,64	1,82	15,9	2,5
Sr	79,7	25,4	89,7	27,5	6,84	67,5	30,3	5,72	85,8	370
Te	0,12	0,08	0,17	0,14	0,04	0,41	0,14	0,04	0,39	0,005
Tl	0,24	0,04	0,71	0,53	0,2	0,66	0,47	0,2	1,0	0,9
V	76,9	28,3	123,6	163,2	44,4	415,9	167,8	47,3	385,8	190
Zn	62,4	36,1	151,3	62,3	35,1	139	73,2	42,7	108,8	68

Однако сравнение с кларками для литосферы, приведенными в таблице, можно рассматривать как ориентировочное, поскольку эти данные различны у разных авторов. Сравнительный анализ уровней концентраций определенных нами элементов с данными, полученными в региональных исследованиях разного масштаба [6, 7], свидетельствует о том, что уровни концентраций большинства элементов (Ag, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Se и Tl) в почвообразующем материале наших разрезов близки по медианам и диапазону варьирования, свойственному почвам северо-востока Европы. Специфическими особенностями химического состава почвообразующего материала на обследованной территории остаются повышенные содержания As и пониженные содержания Mn и Sr. Очень высокие содержания As (до 17 мг/кг при частичной экстракции царской водкой) были обнаружены также в осадочных породах полуостровов Варангер (Норвегия) и Рыбачий [6].

Сравнение с данными мониторинговых наблюдений ГУ НПО «Тайфун» для глубин 5–20 см [5] показали, что полученный нами диапазон варьирования концентраций Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, Cr и Hg в нижних горизонтах почв близок в обоих наборах данных, за исключением As, уровни концентраций которого, в наших исследованиях были в более высоком диапазоне.

Поведение элементов в процессе почвообразования очень хорошо видно на рисунке, где содержание медиан концентраций элементов в верхнем органогенном горизонте (гор. O или AO) и диагностическом серогумусовом грубогумусном горизонте AYao непосредственно сравнивается с их содержанием в нижней части профиля (гор. AYaoC).

Верхний органогенный горизонт O или AO серогумусовых грубогумусных почв формируется из остатков растительности, что способствует значительному обогащению этого горизонта важными биогенными элементами — C, Ca, Mg, Mn, S, P, K и обеднению геогенными элементами — Si, Fe и Al [2]. Концентрации большинства из обсуждаемых здесь элементов в верхнем органогенном горизонте снижены относительно почвообразующего материала. Наиболее значительно (от 2 до 5 раз) в нем снижается содержание Ag, As, Bi, Rb, Sc, Tl и V, в меньшей степени (на 20–30 %) — Co, Cr, Cu, Mo, Sb и Zn. В то же время содержание Cd (в 2 раза), Hg (в 4 раза), Se (в 4 раза) и Sr (в 2,5 раза) выше в гор. AYao, чем в почвообразующем материале. Содержание остальных элементов — Mn, Ni, Pb и Sn — в верхнем органогенном горизонте остается на уровне почвообразующего материала.



Сравнение медиан концентраций элементов в нижней части профиля (гор. AYaoC) с медианами их концентраций в верхнем органогенном горизонте (гор. О или АО) и диагностическом серогумусовом грубогумусном горизонте AYao

Наиболее существенные изменения химического состава диагностического серогумусового горизонта AYao также связаны с аккумуляцией органического вещества (до 13,5 % $C_{орг}$), что обусловливает, как было показано ранее [2], повышение содержания важных биогенных элементов (Mg, P и K) в этом горизонте относительно почвообразующего материала. Для обсуждаемых здесь элементов этому горизонту свойственно очень незначительные отличия по содержанию от нижерасположенных горизонтов. Так, содержания Bi, Cr, Cu, Mo, Sb, Sn, Te, Tl и V в горизонте AYao остаются на уровне почвообразующего материала. Содержание Ag, As, Co, Mn, Pb, Sc, Sr и Zn незначительно (на 10–15 %) снижено относительно нижних горизонтов. Наоборот, содержание Cd, Hg и Se повышено, но менее значительно по сравнению с верхним органогенным горизонтом.

Сравнение наших данных с ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) химических веществ в почве [3] показало, что во всех точках отбора наших образцов содержание Cd, Cu, Ni, Pb и Zn не превышает нормативных значений. Исключением является As, содержания которого в отдельных образцах до 2 раз выше ОДК. О превышении содержания As в почвах в окрестностях пос. Баренцбург свидетельствуют также исследования сотрудников СЗФ НПО «Тайфун». Но, поскольку все наши разрезы находятся за пределами зоны загрязнения, то повышенные уровни As в почвах обусловлены природными биогеохимическими особенностями почв в данном районе.

Литература

1. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: справочник: в 6 кн. М.: Недра, 1994–1997.
2. Кашулина Г. М. Геохимические особенности почв окрестностей Баренцбурга, Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена: материалы VI Междунар. конф. «Комплексные исследования природы Шпицбергена». Апатиты: КНЦ РАН, 2006. Вып. 6. С. 321–330.
3. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: ГН 2.1.7.2042-06 / ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН; Федер. служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека). URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/46/46590/
4. Переверзев В. Н. Почвы побережий фьордов острова Западный Шпицберген. Апатиты: КНЦ РАН, 2012. 122 с.
5. Состояние и тенденции изменения загрязнения окружающей среды в местах хозяйственной деятельности российских предприятий на архипелаге Шпицберген (поселок Баренцбург и сопредельные территории) за период 2002–2010 гг. / Б. Н.Демин и др. СПб: Ротапринт ААНИИ, 2011. 314 с.
6. Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region / C. Reimann et al. // NGU-GTK-CKE special publication. Geological Survey of Norway. Trondheim, 1998. 745 p.
7. Geochemical atlas of eastern Barents region / R. Salminen et al. // J. Geochemical Exploration. 2004. Vol. 83: 1–3. 530 p.

И. П. Кременецкая[1], Л. А. Иванова[2], Т. Т. Горбачева[3], С. А. Алексеева[4], С. В. Дрогобужская[1], В. В. Лащук[1], С. В. Терещенко[4,5]
[1]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты kremen@chemy.kolasc.net.ru*
[2]*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Апатиты, ivanova_la@inbox.ru*
[3]*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, gorbacheva@inep.ksc.ru*
[4]*Горный институт КНЦ РАН, Апатиты*
[5]*Филиал Мурманского арктического государственного университета в городе Апатиты*

ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ИНСТИТУТОВ КНЦ РАН ПРИ РАЗРАБОТКЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Образование техногенных аномалий в зоне влияния металлургических предприятий приводит к неконтролируемой трансформации водных источников за счет поступления элементов-загрязнителей с территории водосбора. Особая актуальность экологических исследований на таких территориях обусловлена их прямым и косвенным влиянием на водоемы, являющиеся источниками питьевого водоснабжения. Таким источником для г. Апатиты с населением 60 тыс. чел. является оз. Имандра.

Объекты исследования

Все результаты данной работы получены коллективом сотрудников из нескольких институтов Кольского научного центра в содружестве с образовательным учреждением — филиалом МАГУ в г. Апатиты. Исследования проводились в зоне влияния аэротехногенных выбросов площадки «Мончегорск» АО «Кольская ГМК» — в радиусе до 5 км на территориях, занятых техногенными пустошами. Особенностью исследуемой территории является ее дренирование двумя водотоками, которые входят в систему водосбора оз. Имандра. Главными компонентами отходящих газов на предприятии являются сернистый газ, медь и никель. Первый компонент является кислотообразующим компонентом, медь и никель в повышенных концентрациях относят к токсикантам.

Оценка сезонной динамики химического состава отдельных водотоков и водоемов в зоне влияния пл. Мончегорск, выполненная сотрудниками ИХТРЭМС, показала, что причинами трансформации их химического состава являются и аэротехногенная нагрузка, и процессы выщелачивания элементов из техногенных грунтов. Сотрудниками этого института наработан положительный опыт очистки таких водных объектов с применением магнезиально-силикатного реагента на основе серпентиновых минералов с доведением остаточных концентраций тяжелых металлов при pH 8,2–8,5 до 10–20 мкг/л. Однако в условиях продолжающейся аэротехногенной нагрузки реабилитация водоемов является невыполнимой задачей без рекультивации почв их береговой зоны. Следствием многолетнего и многокомпонентного загрязнения почв, а также трансформации их гумусного состояния явилась потеря ими буферных свойств, присущих естественным почвам, и переход их в состояние грунтов либо почвогрунтов. Лимитирующими факторами восстановления растительного покрова на техногенных пустошах являются неблагоприятные почвенные условия: дефицит элементов питания (калия, кальция, магния, азота, фосфора, марганца), токсичность тяжелых металлов, практически полное отсутствие органического вещества, низкая влагоемкость, ограниченный банк семян в почве.

Пионерами рекультивации нарушенных территорий Крайнего Севера, подверженных техногенному загрязнению, явились сотрудники Архангельского института леса и лесохимии под руководством В. Ф. Цветкова [3]. Активно занимались проблемой восстановления нарушенных территорий Кольского п-ова сотрудники Университета г. Турку [7, 8]. Анализ особенностей технологий, предложенных на сегодняшний день для реабилитации техногенных грунтов, загрязненных тяжелыми металлами, показал, что фитостабилизация является наиболее приемлемым способом для рекультивации импактной зоны медно-никелевого производства. С экономической точки зрения выбор наиболее приемлемой технологии основан на применении доступных и дешевых материалов, в частности, отходов, складируемых на территории региона. На современном этапе развития общества расширение масштабов нанесения экологического ущерба крайне уязвимым северным территориям признается недопустимым. Отсюда основным сырьем для проведения рекультивационных работ в регионе могут являться горнопромышленные отходы. Следует подчеркнуть, что такие отходы не должны представлять особой ценности как источники сырья для промышленности. Вторым видом сырья могут являться осадки сточных вод предприятий ЖКХ. Горнопромышленные отходы, в отличие от ОСВ, не обладают полноценным почвенным плодородием, поэтому могут использоваться в составе насыпного грунта только как мелиоранты, обладающие выраженным удобрительным эффектом. Однако и в том, и в другом случае технологии рекультивации с применением отходов направлены на рациональное использование природных ресурсов.

Цель данной работы — обобщение опыта решения проблемы рекультивации загрязненных грунтов, предполагающего использование отходов производства и потребления и направленного на снижение выноса токсичных компонентов за пределы техногенно нарушенных территорий.

Многолетний положительный опыт рекультивационных работ на техногенных пустошах в районе комбината «Североникель» (ныне пл. Мончегорск) с использованием сельскохозяйственного и экологического подхода имеет ИППЭС [1–5]. Как наиболее распространенный, дешевый и эффективный способ обезвреживания соединений, потенциально токсичных для биоты почв, в те годы применялось известкование в дозах до 2 т/га. Известкование более высокими дозами извести недопустимо, поскольку резкое повышение pH способствует диспергированию органического вещества и его потерям вследствие ветровой эрозии, повышению концентраций нитрат- и сульфат-ионов и тяжелых металлов в почвенных водах. В настоящее время в мировой практике известкование признается специфическим методом только для корректировки отдельных физико-химических свойств почвы и применяется в весьма ограниченных дозах [9]. Для известкования все чаще применяется доломит или другие известковые материалы, обладающие кислотонейтрализующими, ионообменными и сорбционными свойствами.

В 2003 г. Мончлесхозом под руководством ИППЭС впервые в регионе был применен метод рекультивации техногенных пустошей с применением осадка сточных вод (ОСВ) АО «Мончводоканал». Поскольку основным направлением рекультивации являлось санитарно-гигиеническое, то участки выбирались в непосредственной близости от г. Мончегорска и трассы «Санкт-Петербург — Мурманск». Использован традиционный способ полевого компостирования отходов (ОСВ + карьерный песок + опилки + доломит — 2 т/га) в штабелях под открытым небом (СНиП 2.04.03-85). Внесение доломита привело к пролонгированному повышению pH, а также повышению содержания доступных форм калия, кальция, магния и снижению содержания подвижных форм свинца в насыпном грунте. Выраженного действия на иммобилизацию меди и никеля в грунте на основе ОСВ малые дозы доломита не оказали. Причиной, вероятно, является постоянное инвестирование указанных тяжелых металлов за счет атмосферных выпадений. Международный опыт использования ОСВ свидетельствует о том, что компосты на его основе обладают иммобилизационной способностью, но менее ярко выраженной, чем у минеральных иммобилизаторов [10]. Широкое распространение полученного ИППЭС положительного опыта ограничивается в настоящее время действующим законодательством с жесткими требованиями к предприятиям ЖКХ по депонированию осадка на нарушенных территориях.

Освоение методов рекультивации в промышленных масштабах возможно лишь при наличии дешевых и доступных минеральных материалов. Усилиями сотрудников ГоИ КНЦ РАН проведен обоснованный выбор сырья для получения минеральных субстратов и разработана технология его обогащения. В условиях Мурманской обл. наибольший интерес представляют вермикулит-сунгулитовые отходы добычи флогопита, заскладированные в районе г. Ковдор. Отобраны представительные пробы отходов, исследован их фракционный и минеральный состав, предложены технологии получения материалов различного класса, а именно минеральный субстрат для создания нейтрализующей подложки и продукты обогащения, предназначенные для получения магнезиально-силикатного реагента и термовермикулита.

Создание искусственных фитоценозов на техногенно загрязненных территориях опирается на результаты исследований ПАБСИ в области озеленения городских территорий в условиях Арктической зоны. Для закрепления пылящей поверхности грунта исследуемой территории использованы запатентованные инновационные технологии создания растительного покрова с применением термовермикулита. Мелкая фракция вермикулита с размером частиц 1–2 мм после обжига в оптимальных условиях послужила основой для гидропонных технологий создания растительного покрова, который либо формировали прямым посевом непосредственно в полевых условиях, либо с помощью ковровой травяной дернины, заранее выращенной на специализированной промплощадке и затем постеленной на подготовленный техногенный грунт отвалов. Детальное описание примененных технологий и полученные результаты приведены в данном сборнике в работе Ивановой и др. [6].

В качестве альтернативы известкованию предложено использовать насыпной слой подходящего субстрата, содержащего медленно растворяющиеся минералы, обладающие кислотонейтрализующими свойствами. Такими минералами являются карбонаты и силикаты кальция и магния. Апробированы различные виды материалов, в том числе горнопромышленные отходы предприятий Мурманской и Оренбургской областей. Исследования показали, что наличие в составе мелиорантов соединений магния снижает токсичность тяжелых металлов. Получено подтверждение целесообразности применения кислотонейтрализующих минералов для создания буферного слоя на техногенном грунте.

Опытные работы выполнены в течение 2011–2016 гг. сотрудниками ИХТРЭМС КНЦ РАН, ПАБСИ КНЦ РАН, ИППЭС КНЦ РАН, ГоИ КНЦ РАН, филиалом МАГУ в г. Апатиты при финансовой поддержке АО «Кольская ГМК». В качестве подложки, защищающей корневые системы растений от воздействия токсичного грунта, использованы горнопромышленные отходы, содержащие силикаты и карбонаты кальция и магния. По истечении семи вегетационных сезонов искусственно созданные растительные сообщества характеризуются как экологически устойчивые, имеющие перспективы к самостоятельному существованию и дальнейшему развитию. Их структура и состав постепенно усложняются путем естественной колонизации пионерной растительностью. При этом образуются растительные сообщества, обладающие интенсивным ростом и развитием, мощной корневой системой, высокой продуктивностью, обеспечивающие 100%-е проективное покрытие экспериментальных участков, уже служащих кормовой базой или местообитанием для насекомых и грызунов.

В условиях проведения натурного эксперимента дополнительным негативным фактором, влияющим на сукцессионные процессы, является продолжающееся аэротехногенное воздействие. По этой причине творческий коллектив институтов КНЦ проводит регулярный мониторинг стадий восстановительной сукцессии на рекультивируемых территориях. Результаты мониторинга позволяют планировать принятие своевременных мер для поддержания жизнеспособности созданных растительных сообществ. Продолжаются и расширяются исследования по изучению влияния рекультивации на иммобилизацию тяжелых металлов в пределах техногенно загрязненной территории. В настоящее время имеются научные, материально-технические и организационные предпосылки для углубления и расширения масштаба работ.

Литература

1. Лукина Н. В., Никонов В. В. Деградационные и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах индустриально-развитого региона // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы: материалы совещания. Тула, 2001. С. 532–534.
2. Лукина Н. В., Никонов В. В., Калацкая М. Н. Коррекция питательного режима еловых лесов Севера в условиях аэрального загрязнения методом внесения удобрений // Лесоведение. 2001. № 6. С. 1–11.
3. Цветков В. Ф. К проблеме восстановления леса в зоне влияния промышленных выбросов на Кольском полуострове // Проблемы исследования и охраны природы в регионе Белого моря. Мурманск: Кн. изд-во, 1987. С. 148–156.
4. Лукина Н. В., Никонов В. В. Оптимизация питательного режима почв как фактор восстановления нарушенных лесных экосистем Севера // Лесоведение. 1999. № 2. С. 57–67.
5. Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 316 с.
6. Реабилитация антропогенно нарушенных территорий в условиях Арктики с применением гидропонной экспресс-технологии / Л. А. Иванова и др. // Труды XIV Всерос. (с междунар. участием) Ферсмановской научной сессии, Апатиты, 3–5 апреля 2017. (в печати).
7. Kozlov M. V. Pollution impact on insect biodiversity in boreal forests: evaluation of effects and perspectives of recovery // Disturbance and recovery in Arctic lands: An ecological perspective: Proc. NATO Advanced Research Workshop on Disturbance and recovery of Arctic terrestrial ecosystems, Rovaniemi, Finland, 24-30 September 1995. (NATO ASI series. Partnership subseries 2. Environment: vol. 25) / R. M. M. Crawford (ed.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 213–250.
8. Kozlov M. V., Zvereva E. L., Niemelä P. Effects of soil quality and air pollution on rooting and survival of Salix borealis cuttings // Boreal Environ. Res. 1999. Vol. 4. P. 67–76.
9. Kreutzer K. Effects of forest liming on soil processes // Plant and Soil. 1995. Vol. 168/169. P. 447–470.
10. Vangronsveld J., Clijsters H. A biological test system for the evaluation of metal phytotoxicity and immobilization by additives in metal-contaminated soils // Metal Compounds in Environment and Life, 4 (Interrelation Between Chemistry and Biology) / ed. E. Merian & W. Haerdi. Science and Technology Letters, Northwood, UK. 1992. P. 117–125.

Ю. В. Куприянова, И. С. Любимов, Г. Н. Копцик

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, yuli4k.kupryanowa@yandex.ru, lordolub@gmail.com, koptsikg@mail.ru

БИОДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ КАК ВАЖНЕЙШЕЕ ЗВЕНО БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО ЦИКЛА УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ

Ведущая роль в глобальных изменениях природной среды принадлежит процессам биогеохимического цикла углерода, основанного на постоянном взаимодействии противоположных процессов синтеза и биодеструкции. Процесс аэробной биодеструкции органического вещества почв хорошо отражается показателем биохимического потребления кислорода (БПК) и является важнейшей характеристикой биологической активности почв [3]. Почва — наиболее значимый резервуар органического углерода объемом почти в 1500 Гт в мире и 300 Гт в России и временем пребывания в нем более тысячи лет. Запасы углерода в почве превышают биомассу растительности на планете в 3 раза, а в России, занимающей большую часть Северной Евразии, — в 7,5 раза [2]. Бореальные леса, в том числе в индустриальных регионах Крайнего Севера, служат стоком углерода, однако меняющиеся природные и антропогенные факторы могут привести к дисбалансу продукционных и деструкционных процессов, который сопровождается высвобождением диоксида углерода из почв и мобилизацией накопленных тяжелых металлов.

Цель работы — оценка скорости биодеструкции органического вещества почв сосновых и еловых лесов, испытывающих воздействие атмосферного промышленного загрязнения в Кольской Субарктике.

Объекты и методы

Исследования проводили в лесных экосистемах Кольского полуострова, подверженных атмосферному загрязнению выбросами диоксида серы и тяжелых металлов крупнейших в северной Европе горно-металлургических комбинатов «Печенганикель» и «Североникель». Длительное воздействие атмосферного загрязнения в сочетании с суровыми климатическими условиями привело к техногенной дигрессии лесных экосистем, деградации почв, ослаблению активности почвенной биоты, нарушениям биогеохимических циклов элементов [1, 5, 6, 7]. Объектами исследования послужили основные типы лесных экосистем, занимающие автоморфные позиции ландшафта (табл. 1). В северо-западной части полуострова исследования проводили в фоновом сосняке лишайниковом и в техногенном сосновом редколесье на подзолах иллювиально-железистых (41 и 8 км от ГМК «Печенганикель»). В центральной части полуострова исследовали ельник кустарничково-зеленомошный в условно фоновых условиях и техногенное елово-березовое редколесье (64 и 7 км от ГМК «Североникель»). Почвы — иллювиально- гумусовые подзолы.

Таблица 1

Свойства подзолов лесных экосистем разных стадий техногенной дигрессии

Показатель	Сосняк лишайниковый		Сосняк с березой вороничко-мертвопокровный		Ельник с березой кустарничково-зеленомошный		Елово-березовое вороничное редколесье	
Стадия техногенной дигрессии	Условно фоновый тип		Техногенное редколесье		Условно фоновый тип		Техногенное редколесье	
Расстояние от ГМК, км	41		8		64		7	
Участок	С 41		С 8		Е 64		Е 7	
Горизонт	OFH	BF	OFH	BF	OFH	BHF	OFH	BHF
C, %	31,6	1,7	33,6	0,44	49,9	4,3	38,6	5,5
N, %	0,63	0,08	0,73	0,02	1,2	0,2	1,2	0,26
C:N	59	26	54	23	48	27	39	25
pH_{H_2O}	3,9	4,3	3,9	4,1	5,0	4,2	4,6	4,7
$Ni_{дост}$	12	<DL	236	15	9,2	0,84	250	23
$Cu_{дост}$	2,4	<DL	86	7,0	2,1	3,3	300	10

Скорость минерализации органического вещества подстилок и минеральных горизонтов в фоновых и загрязненных почвах сосновых и еловых лесов определяли в инкубационном эксперименте путем измерения биохимического потребления кислорода (БПК или BOD) [8]. Определение БПК предполагает аэробное разложение углеродсодержащих органических веществ микроорганизмами. Нами был использован метод манометрического определения БПК с помощью системы OxiTop® Control B6M (WTW), который отличается максимальной приближенностью к природным условиям биологического разложения. Экспериментальные измерения проводили в климатической камере KBWF 240 (Binder) при температуре 20 °C и 60–80 %-й полной влагоемкости в течение 10 и 30 сут в трехкратной повторности.

Общее содержание углерода и азота определяли методом сухого сжигания на CHNS-анализаторе Vario EL III (Elementar). Концентрации водорастворимых соединений углерода и азота измеряли в водных вытяжках при соотношении почва : раствор 1:10 на Shimadzu TOC Analyzer. Содержание углерода микробной биомассы определяли методом фумигации-экстракции [9] по разности содержания растворимого углерода в фумигированных в парах хлороформа и нефумигированных свежих образцах почв, лишенных корней. pH измеряли потенциометрически на pH-метре Mettler Toledo Seven Multi. Концентрации доступных Ni и Cu определяли в вытяжках 1 М раствором CH_3COONH_4 с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS 7500a, Agilent).

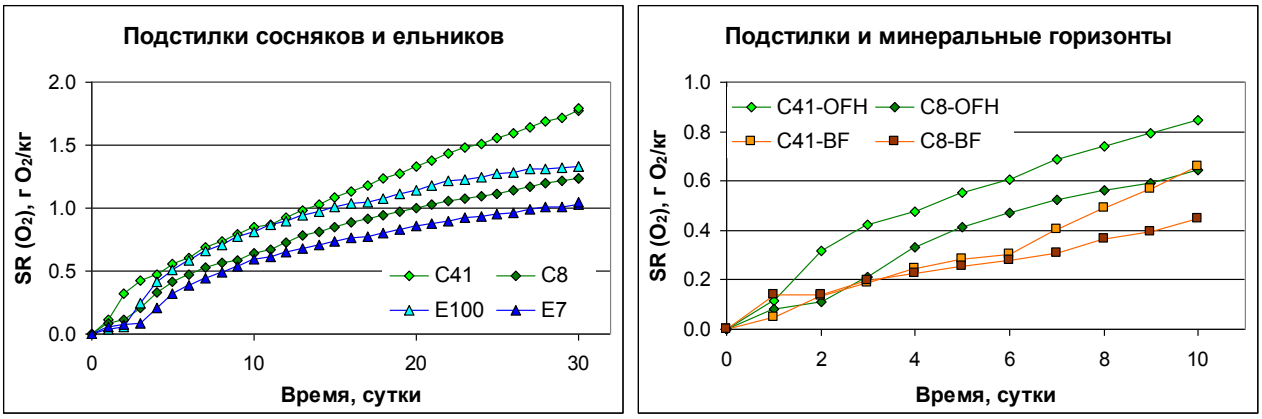
Результаты и обсуждение

В фоновых условиях иллювиально-железистые подзолы сосняков характеризуются высокой кислотностью и бедностью минеральных горизонтов углеродом и азотом (табл. 1). Подстилка содержит 30–32 % углерода, органическое вещество сравнительно слабо разложено (C:N = 59). Иллювиально-гумусовые подзолы ельников менее кислые, они относительно богаты органическим веществом. Содержание углерода в подстилке приближается к 50 %, степень разложения выше (C:N = 48) по сравнению с сосняками. В отсутствии поступления свежего растительного опада в техногенных редколесьях отношение C:N как в подстилках, так и в иллювиальных горизонтах сужается. Содержание доступных соединений Ni и Cu в подстилках техногенных редколесий в 20–30 и в 40–140 раз превышает фоновое, значительное загрязнение характерно и для иллювиальных горизонтов (табл. 1).

Лесные подстилки, как динамичные и гетерогенные системы во времени и пространстве, состоящие из растительных остатков разной степени разложения, представляют зону активно протекающих микробиологических и биохимических процессов. Находясь на границе атмосферы и педосферы, подстилки первыми испытывают воздействие атмосферного загрязнения. Токсическое воздействие загрязняющих веществ способно нарушить микробные сообщества и затормозить процессы разложения.

В инкубируемых образцах потребление кислорода ограничено количеством доступных органических веществ, способных окисляться в течение времени проведения эксперимента. При этом расход кислорода может быть интерпретирован как БПК. Установлено, что чем больше в образце содержится доступных органических веществ, тем больше требуется кислорода для их окисления, т. е. тем выше БПК. Тяжелые металлы могут тормозить биохимические процессы и снижать БПК, свидетельствуя о загрязнении.

На начальных этапах биодеструкции интенсивность дыхания ($SR(O_2)$ и $SR(CO_2)$) и степень биодеградации (BOD/ThOD) подстилок фоновых сосняков и ельников близки (рис., табл. 2), однако со временем разрыв увеличивается за счет активной трансформации сосновой подстилки. Повышенная интенсивность минерализации подстилки сосняка согласуется с ее меньшей исходной разложенностью по сравнению с подстилкой ельника.



Динамика дыхания подстилок сосняков (С41, С8) и ельников (Е100, Е7) (слева) и подстилок (OFH) и иллювиальных горизонтов (BF) сосняков (справа) на разных стадиях техногенной дигрессии. Приведены средние из трех повторностей

Таблица 2

Показатели биодеградации подстилок лесных экосистем на разных стадиях техногенной дигрессии

Участок	Горизонт	$SR(O_2)$, г O_2/кг		$SR(CO_2)$, г CO_2/кг		BOD/ThOD, %	
		10 суток	30 суток	10 суток	30 суток	10 суток	30 суток
С 41	OFH	0,87	1,80	1,20	2,47	0,10	0,22
	BF	0,66	–	0,91	–	1,52	–
С 8	OFH	0,67	1,23	0,92	1,70	0,08	0,15
	BF	0,45	–	0,62	–	3,82	–
Е 100	OFH	0,86	1,33	1,19	1,83	0,09	0,13
Е 7	O	0,62	1,05	0,85	1,44	0,07	0,09

Примечание. SR — дыхание почв, ThOD — теоретическая потребность в кислороде за 10 и 30 сут.

Величины БПК, интенсивности дыхания и степени биодеградации в загрязненных подстилках (С 8; Е 7) ниже по сравнению с фоновыми (С 41, Е 100) (табл. 1, рис.). Подстилки техногенных редколесий в связи с деградацией древостоя в течение долгого времени практически не обновляются и сложены старым органическим веществом. Поэтому их скорость минерализации в инкубационном эксперименте меньше, чем подстилок фоновых лесов. Замедление разложения загрязненных подстилок по сравнению с фоновыми может быть обусловлено также токсичным воздействием тяжелых металлов на микробиоту.

По сравнению с подстилками инкубация образцов иллювиальных горизонтов подзолов сопровождается значимо меньшим потреблением кислорода, что связано, скорее всего, с их меньшей заселенностью микроорганизмами. Пониженное потребление кислорода и заторможенное дыхание иллювиального горизонта характерно также для стадии техногенного редколесья по сравнению с фоном. Однако степень биодеградации выше, что может быть связано с большей потенциальной доступностью углерода для микроорганизмов.

Микробные пулы С и N являются важными показателями при изучении биогеохимических циклов этих элементов. Фоновые леса характеризуются большей концентрацией водорастворимых С и N, содержат

значительно больше этих элементов в составе микробной биомассы (табл. 3). Содержание водорастворимого углерода и углерода микробной биомассы в разложенном материале уменьшается, что обусловлено минерализацией растительных остатков. Содержание азота микробной биомассы при разложении хвои несколько увеличивается, что является, по-видимому, следствием колонизации растительного субстрата микроорганизмами. Обнаружена тенденция снижения количества водорастворимого азота в ходе деструкции растительного материала.

Таблица 3

Изменения содержания углерода и азота водорастворимых соединений и микробной биомассы в подстилках в процессе инкубации

Параметр	C_{H_2O}, г/кг		N_{H_2O}, г/кг		C: N_{H_2O}, моль/моль		$C_{микр}$, г/кг		$N_{микр}$, г/кг		$C:N_{микр}$, моль/моль	
	до*	после*	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
Участок С 41												
M	4,55	0,91	0,10	0,04	53	25	2,98	1,24	0,04	0,07	94	20
Conf	0,81	0,21	0,06	0,03	–	–	0,41	0,43	0,10	0,03	–	–
Участок С 8												
M	2,63	0,83	0,06	0,03	47	30	1,51	0,30	0,01	0,05	119	7
Conf	0,28	0,41	0,003	0,01	–	–	0,53	0,26	0,05	0,07	–	–
Участок Е 64												
M	2,11	0,78	0,04	0,05	55	19	6,23	2,03	0,27	0,09	27	27
Conf	0,69	0,34	0,02	0,02	–	–	2,18	1,76	0,20	0,05	–	–
Участок Е 7												
M	1,99	0,94	0,06	0,05	38	24	2,69	1,04	0,12	0,14	26	9
Conf	0,51	0,41	0,01	0,01	–	–	0,79	0,80	0,06	0,08	–	–

Примечание. Conf — 95 %-й доверительный интервал среднего, M — среднее, «*» — до и после инкубации.

Результаты инкубационных экспериментов согласуются с выводами предшествующих исследований. Согласно данным [1], структура микробного сообщества начинает разрушаться при содержании 300–400 мг Cu/кг почвы и 600–700 мг Ni/кг, когда из микробного сообщества выпадают азотфиксирующие бактерии, сапротрофные неспорообразующие бактерии, бактерии актиномицетной линии. При очень высоких концентрациях Cu и Ni в почве остаются и функционируют преимущественно эукариотные микроорганизмы — мицелиальные и одноклеточные формы грибов, резистентные к загрязнению. Одновременно снижается активность биохимических процессов, осуществляемых микроорганизмами [1]. В окрестностях комбинатов «Североникель» и «Печенганикель» почвенное дыхание in situ значительно уменьшается по сравнению с фоновыми лесами [4, 6].

Таким образом, с помощью измерения биологического потребления кислорода выявлено замедление под воздействием техногенного загрязнения важнейшего процесса биогеохимического круговорота углерода − аэробной биодеструкции органического вещества почв в Кольской Субарктике. Показатели биодеструкции − биологическое потребление кислорода, интенсивность дыхания, степень биодеградации − могут служить индикаторами техногенного загрязнения и восстановления загрязненных почв.

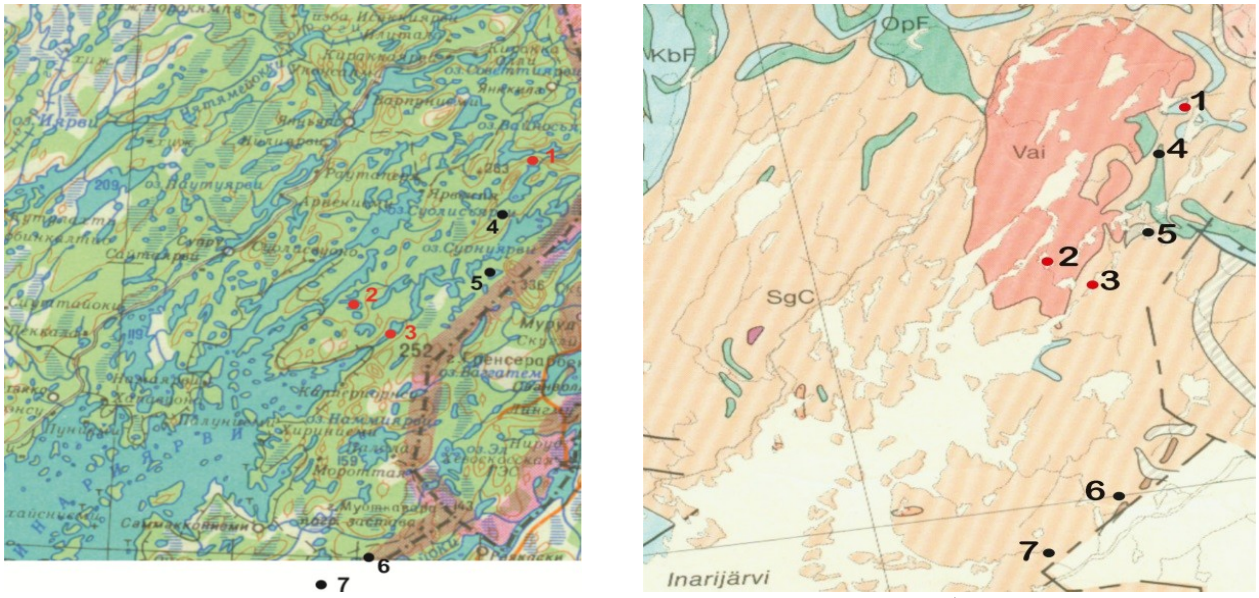
Литература

1. Евдокимова Г. А. Микробиологическая активность почв при загрязнении тяжелыми металлами // Почвоведение. 1982. № 6. С. 125–132.
2. Заварзин Г. А., Кудеяров В. Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. 2006. Т. 76, № 1. С. 14–29.
3. Заварзин Г. А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2004.
4. Кадулин М. С., Копцик Г. Н. Эмиссия CO_2 почвами в зоне влияния ГМК «Североникель» в Кольской Субарктике // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1387–1396.
5. Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Переверзев В. Н. Трансформация органического вещества почв в условиях экстремального загрязнения выбросами комбината «Североникель» // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1265–1275.
6. Копцик Г. Н., Кадулин М. С., Захарова А. И. Влияние техногенного загрязнения на эмиссию диоксида углерода почвами в Кольской Субарктике // Журн. общ. биол. 2015. Т. 76, № 1. С. 48–62.
7. Лукина Н. В., Никонов В. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 215 с.
8. Platen P., Gießen-Friedberg F. H. Validation of the OxiTop^R measuring system for the determination of respiratory activity in soils and other solids // Biological Degradability: Determination by Simplified Manometric Measuring Methods. 1st Symposium, 26th September 2000. Ludwigshafen, 2000. P. 1–15.
9. Vance E. D., Brookes P. C., Jenkinson D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C // Soil Biol. Biochem. 1987. Vol. 19, Iss. 6. P. 703–707.

С. И. Мазухина[1], С. С. Сандимиров[1], В. И. Пожиленко[2], С. В. Иванов[1]
[1]*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, mazukhina@inep.ksc.ru*
[2]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты*

ОЦЕНКА ПОРОДНОГО И АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОЗЕР ФЕННОСКАНДИИ

Вопросы изучения формирования качества поверхностных и подземных вод Арктики, их взаимодействия с горными породами, а также разработка основ их рационального использования и охраны имеют большое фундаментальное и прикладное значение. Цель работы — оценить влияние химического состава пород северной части Фенноскандинавского (Балтийского) щита на формирование химического состава поверхностных вод (малые озера Фенноскандии) с помощью физико-химического моделирования [5, ПК «Селектор»]. Ранее нами были разработана методика оценки влияния химического состава пород на химический состав природных вод на примере Хибинского массива и озерно-речной системы озеро Инари — река Паз. В данной работе для дальнейших исследований используются анализы химического состава воды только трех проб (точки 1–3), отобранных из малых озер, расположенных к северо-востоку от озера Инари (рис.). Площади водосбора этих озер небольшие и расположены в пределах плагиомикроклиновых гранитов массива Вайноспаа (точка 2) и частично в пределах террейна Инари (точки 1 и 3), сложенного биотитовыми и амфиболовыми гнейсами и мигматитами с реликтами амфиболитов.



а *б*

Рис. 1. Положение точек отбора проб воды в озерах Северной Финляндии [4]: фрагменты топографической (*а*) и геологической (*б*) карты [9]. KbF — Куорбоайви формация; OpF — Опукасярви формация; SgC — гнейсовый комплекс Севетти; Vai — интрузивный массив (батолит) Вайноспаа (Vainospää).
Точки отбора проб: 1 — оз. Lampi 222; 2 — оз. Harrijarvi; 3 — оз. Pitka-Surnujarvi; 4 — оз. Aittajarvi; 5 — оз. Mellalompolo; 6 — оз. Kantojarvi; 7 — оз. Suovaselkajarvi

Для физико-химического моделирования были сделаны две выборки химических анализов наиболее распространенных пород, слагающих площади водосбора опробованных озер, с учетом их процентного соотношения (табл. 1–2). В физико-химическую модель включено 34 независимых (Al-B-Br-Ar-He-Ne-C-Ca-Cl-F-Fe-K-Mg-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-Ni-Pb-V-Ba-Co-Cr-Hg-As-Cd-H-O-e) и 996 зависимых компонентов, в том числе в водном растворе — 369, в газовой фазе — 76, жидких углеводородов — 111, твердых фаз, органических и минеральных веществ — 440. Набор твердых фаз мультисистемы сформирован с учетом минерального состава кристаллических пород Фенноскандинавского (Балтийского) щита.

Изучены процессы формирования поверхностных вод в системе вода — порода — атмосфера в зависимости от степени взаимодействия (ξ) пород с водными растворами в открытых условиях: 100 кг атмосферы, 1 000 кг воды, T = 5°C, P = 1 бар, порода (100 г).

Исходя из расположения точек отбора проб и состава пород площади водосбора было определено разное соотношение пород, влияющих на химический состав вод: в точке 1 — граниты массива Вайноспаа (табл. 1) и породы террейна Инари (табл. 2, анализы 6–7) в соотношении 50:50; в точке 2 — граниты массива Вайноспаа (табл. 1, средний состав); в точке 3 — граниты массива Вайноспаа (табл. 1) и породы террейна Инари (табл. 2, анализы 1–5) в соотношении 50:50. Также учитывались кларковые концентрации [1] и коэффициенты водной миграции [3] S, C, F, Cu, Ni для выявления их влияния на процессы формирования химического состава водных растворов.

Таблица 1

Химический состав 12 образцов гранитов массива Вайноспаа (Vainospää) [11, appendix I]

Химическое соединение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO_2	72,5	74,9	74	74,6	74	73,5	73,1	73,7	70,5	70,5	69,5	74,3
Al_2O_3	14	13,7	13,8	13,7	13,7	13,5	14,8	13,9	15,1	14,6	14,8	13,5
FeO	2,19	1,01	1,42	1,2	1,47	2,22	1,23	1,57	2,29	2,36	3,04	1,53
MnO	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,01
MgO	0,58	0,19	0,19	0,19	0,2	0,69	0,32	0,45	0,63	0,66	0,7	0,16
CaO	0,79	1,38	1,11	1,02	1,12	0,21	1,4	0,89	1,85	1,64	1,72	1,26
Na_2O	3,62	3,86	3,46	3,42	3,41	3,6	4,5	3,85	4,18	4,31	3,78	3,63
K_2O	5,07	4,32	5,4	5,38	5,48	5,49	4,02	4,83	4,32	4,49	4,08	4,81
P_2O_5	0,09	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,11	0,17	0,14	0,03

Таблица 2

Химический состав пород террейна Инари

Химическое соединение	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	68.64	73.67	64.62	67.37	74.47	51,81	51,23
TiO_2	0,58	0,16	0,39	0,74	0,23	1,28	1,31
Al_2O_3	15,42	13,92	14,15	13,37	13,18	13,62	14,38
Fe_2O_3	0,75	0,51	2,22	1,31	1,24	2,66	3,11
FeO	3,28	1,00	4,70	2,85	1,28	10,16	8,42
MnO	0,04	0,04	0,11	0,08	0,05	0,24	0,21
MgO	2,15	0,26	2,93	1,95	0,41	5,90	6,99
CaO	1,56	1,19	6,07	6,78	2,40	10,27	9,97
Na_2O	3,34	3,44	3,18	4,03	4,16	2,02	2,69
K_2O	2,43	5,01	0,68	0,30	1,82	0,42	0,60
P_2O_5	0,08	0,04	0,11	0,22	0,04	0,13	0,14
CO_2	0,00	0,00	0,04				
H_2O^+	1,42	0,48	0,44				
H_2O^-	0,12	0,03	0,06				
$H_2O + CO_2$				0,94			
Σ	99,81	99,75	99,70	99,94			

Примечание. 1–5 [12]: 1 — биотитовый гнейс; 2 — плагиомикроклиновые граниты; 3 — кварцевые диориты; 4 — амфиболовый гнейс; 5 — кварц-полевошпатовые гнейсы (средний состав по 11 анализам); 6–7 — амфиболиты и меланократовые амфиболовые гнейсы (средние составы) [10].

Таблица 3

Компьютерный аналог состава поверхностных вод и новообразованных фаз
в результате взаимодействия «вода — порода — атмосфера» при T = 5 °C, P = 1 бар.
Граниты массива Вайноспаа (табл. 1) и породы террейна Инари (табл. 2, анализы 6–7) в соотношении 50:50

ξ	Al	Ca^{+2}	K^+	Na^+	Mg^{+2}	Cl^-	SO_4^{-2}	HCO_3^-	Cu	Ni
1	1,3E-05	0,40	0,19	0,15	0,21	0,08	0,1	2,66	0,0002	8E-05
0,8	1,3E-05	0,63	0,21	0,26	0,33	0,13	0,16	4,11	0,00032	0,00013
0,6	1,4E-05	0,99	0,2	0,45	0,52	0,2	0,25	6,36	0,0005	0,0002
0,4	1,8E-05	1,56	0,18	0,74	0,82	0,32	0,39	9,94	0,0008	0,00032
0,2	2,6E-05	2,47	0,16	1,2	1,3	0,5	0,61	15,59	0,00126	0,0005
0	4E-05	3,9	0,14	1,94	2,05	0,8	0,97	24,46	0,002	0,0008

ξ	MnO_2	FeO(OH)	Msc	Apt	Mnt	SiO_2	pH
	Минеральный состав новообразованных фаз, моль						
1	0,00018	0,00952	0,00075	0	0,01086	4,6E-05	6,89
0,8	0,00028	0,01509	0,00366	3,2E-05	0,01404	0,03615	7,09
0,6	0,00045	0,02391	0,00913	0,00013	0,01796	0,10122	7,29
0,4	0,00072	0,0379	0,01776	0,00023	0,02421	0,20435	7,52
0,2	0,00113	0,06007	0,03147	0,00037	0,0341	0,36788	7,76
0	0,0018	0,0952	0,05294	0,00058	0,0501	0,62626	8,04

Анализ результатов моделирования и среднего гидрохимического состава озер (Ca — 1,4, Mg — 1,5, Na 0,5, K — 0,2, HCO_3 — 4,5, SO_4 — 2,0, Cl — 1,2, Cu — 0,0011, Ni — 0,0008, мг/л; pH 6,7) [6–8] позволяет сделать следующие выводы:

формирование химического состава озер происходит при $1 < \xi < 0.4$;

на химию среднего состава озер оказывают породы террейна Инари (анализы 6–7).

кларковые содержания гранитов фтора выше кларков серы и хлора, поэтому воды могут содержать достаточно высокие концентрации фтора;

высокие концентрации хлора и сульфата серы, обнаруженные в результате мониторинга, влияют на pH и $HN\tilde{N}\hat{I}_3^-$ и, скорее всего, являются продуктом антропогенного воздействия на химию этих озер.

В результате выполненного термодинамического моделирования установлено, что формирование химического состава поверхностных вод происходит не только при взаимодействии атмосферных осадков с породами Северной Фенноскандии, содержащими кларковые концентрации S, C, F, Ni, Cu, но и за счет антропогенного загрязнения водоемов.

Литература

1. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
2. Мазухина С. И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива. Апатиты: КНЦ РАН, 2012. 173 с.
3. Перельман А. И. Геохимия: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1989. 528 с.
4. Топографическая карта (Российская Федерация, Норвегия, Финляндия. Мурманск, лист II), масштаб 1:1 000 000. ВТУ ГШ, 1993.
5. Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. Новосибирск: Гео, 2010. 287 с.
6. Экологический каталог озер Мурманской области. Северо-западная часть Мурманской области и приграничные территории сопредельных стран / отв. ред. Н. А. Кашулин. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. Ч. 2. 262 с.
7. Catalogue of Lakes in the Russian, Finnish and Norwegian Border Area / Nikolay A. Kashulin et al. Kopijyvä Oy, Jyväskylä, 2008. 142 p.
8. Environmental Challenges in the Joint Border Area of Norway, Finland and Russia / Elli Jelkänen (Ed.). Reports 41/2015. Juvenes Print: Rovaniemi, 2015. 169 p.
9. Geological map pre-quaternapy rocks Northern Fennoscandia, scale 1:1 000 000 (Subproject Leader: A. Silvennoinen. Principal compilers: M. Gustavson, V. Perttunen, A. Siedlecka, T. Sjöstrand, M.B. Stephens, E. Zachrisson. Digitized: M. Kanste, V. Perttunen). Helsinki, 1987.
10. Meriläinen K. The granulite complex and adjacent rocks in Lapland, northern Finland // Geol. Surv. Finl. Bull. 1976. No. 281. 129 p.
11. The granulite complex of Finnish Lapland: petrology and metamorphic conditions in the Ivalojoki — Inarijärvi area / P. K. Hörmann et al. // Geol. Surv. Finl. Bull. 1980. No. 308. 95 p.
12. The Paleoproterozoic Nattanen-type granites in northern Finland and vicinity – a postcollisional oxidized A-type suite / Esa Heilimo et al. // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2009. Vol. 81. P. 7–38.

И. Е. Судник[1], Г. М. Кашулина[2], Л. А. Баскова[2]

[1]*Мурманский государственный технический университет, Мурманск, sudnikinga@rambler.ru*

[2]*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Апатиты, galina.kashulina@gmail.com*

ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЫБРОСОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Введение

Для поддержания процессов жизнедеятельности, роста и развития растения нуждаются в различных химических элементах и их определенных концентрациях. Определение содержания зольных элементов в тканях растительности является одним из основных источников информации об их обеспеченности необходимыми для их роста элементами. Содержание зольных элементов неодинаково в разных органах и тканях растительности и может колебаться в зависимости от биологических особенностей вида, возраста и условий окружающей среды. Длительное воздействие выбросов медно-никелевого комбината «Североникель» значительно изменило не только условия произрастания растений (изменился химический состав атмосферы и атмосферных осадков [8], уровни тяжелых металлов в почвах достигли экстремально высоких уровней [2], в то время как концентрации важных питания существенно снизились [1]), но и сказалось на состоянии самих растений. Благодаря ряду биологических

особенностей (сбрасыванию листьев на зиму и наличию далеко и глубоко распространяющейся корневой системы) береза оказалась одним из самых устойчивых растений к воздействию выбросов этого предприятия. В различной степени обилия, в зависимости от удаленности от источника выбросов, она присутствует в локальной зоне и после 70-летнего воздействия выбросов этого предприятия. В данном докладе будет представлен сравнительный анализ зольного состава листьев березы, произрастающей в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» и в фоновых условиях Кольского п-ова.

Материалы и методы

Наблюдения за химическим составом ассимилирующих органов растений проводились в рамках комплексного почвенно-геоботанического мониторинга, организованного сотрудниками лаборатории почвоведения ПАБСИ КНЦ РАН совместно с ОАО «Кольский геологический информационно-лабораторный центр» в 2001 г. [1, 3, 8]. Смешанные образцы листьев березы (*Betula sp.*) отбирались на 11 мониторинговых площадках, расположенных от 3 до 17 км от комбината «Североникель», в 20-х числах августа 2002, 2005–2014 гг. Зольность и содержание Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, P, K, Na и S были определены в лаборатории почвоведения ПАБСИ КНЦ РАН. Данные исследования не имели собственного фонового участка. Для оценки влияния выбросов комбината «Североникель» на химический состав листьев березы в качестве фоновых значений использовались данные, полученные К. Н. Манаковым и В. В. Никоновым [4], Г. И. Ушаковой [6, 7] и Н. И. Казимировым с соавторами [5] для ненарушенных экосистем Кольского п-ова. Обработка результатов включала определение основных статистических показателей (медианы, минимума и максимума) распределения концентраций зольных элементов, а также расчета соотношения между медианами концентраций элементов в листьях березы локальной зоны и фоновых территорий с использованием Microsoft Excel 2003.

Результаты и обсуждение

Основные статистические показатели распределения концентраций зольных элементов в листьях березы из локальной зоны воздействия комбината «Североникель» и из фоновых условиях Кольского п-ова представлены в табл. 1.

Сравнение медиан концентраций в этих двух наборах данных свидетельствует о том, что в листьях березы из локальной зоны комбината «Североникель» снижается содержание таких важных для питания растений элементов, как Ca, Mg, K, S и Mn. При этом содержание Ca и K в 70 % образцов из локальной зоны опускается ниже минимальных фоновых концентраций. Особенно значительно (до 4 раз) в листьях березы из локальной зоны снижается содержание Mn. Для Mn уже в 90 % образцов содержание опускается ниже природного варьирования. О незначительном снижении концентраций S свидетельствует только соотношение медиан. Преобладающее большинство образцов (94 %) остается в пределах варьирования этого показателя в листьях из фоновых условий.

Таблица 1

Основные статистические показатели (медиана, минимум и максимум) распределения зольных элементов (мг/кг на а. с. н.) в листьях березы локальной зоны воздействия комбината «Североникель» и ненарушенных экосистем Кольского п-ова (компилированные данные из работ К. Н. Манакова и В. В. Никонова [4], Г. И. Ушаковой [6, 7] и Н. И. Казимирова с соавторами [5])

Элемент	Локальная зона, N = 48			Фоновые условия, N = 10		
	минимум	медиана	максимум	минимум	медиана	максимум
Si	402	684	1214	250	530	1870
Al	21	145	270	40	390	1970
Fe	84	146	369	30	150	600
Ca	2181	4065	7121	4550	8840	14300
Mg	1435	2195	3829	1360	3060	6430
K	3411	6383	10541	7080	9340	13620
P	807	2040	2546	700	1120	4350
S	276	634	1720	310	750	1300
Mn	147	348	1293	870	1400	1930
Na	74	141	245	100	230	1350

Поскольку площадки мониторинга расположены на различном расстоянии от источника выбросов и характеризуются различным сочетанием природных особенностей, то анализ распределения соотношения концентраций зольных элементов в листьях березы локальной зоны к фоновым значениям между отдельными площадками (табл. 2) позволит лучше понять причины их дефицита или избытка в листьях березы локальной зоны.

Таблица 2

Удаленность площадок мониторинга от источника выбросов и соотношение медиан концентраций зольных элементов в листьях березы на отдельных площадках мониторинга к медианам их концентраций в ненарушенных экосистемах Кольского п-ова

Площадка	Расстояние	K	Ca	Mg	P	Si	S	Mn	Fe	Al	Na
I-1	17,2	0,74	0,43	0,70	2,02	1,28	0,57	0,23	0,93	0,42	0,61
I-2	17,1	0,55	0,37	0,68	1,84	1,63	0,64	0,22	1,37	0,58	0,61
II-1	7,9	0,49	0,46	0,68	1,86	1,48	0,84	0,21	0,90	0,41	0,50
II-2	7,7	0,74	0,33	0,60	1,50	1,30	1,15	0,28	0,84	0,39	0,55
II-3	7,6	0,49	0,47	1,02	0,79	0,80	0,88	0,60	1,44	0,31	0,53
IIA-1	11,0	0,70	0,46	0,72	1,67	0,93	0,76	0,14	0,56	0,33	0,61
III-2	7,6	0,77	0,53	0,58	1,67	1,17	0,54	0,21	0,60	0,47	0,58
III-3	7,8	0,94	0,32	0,68	1,58	1,10	0,61	0,38	0,90	0,45	0,61
IV-2	3,3	0,62	0,52	0,69	1,08	1,40	1,23	0,23	1,11	0,28	0,69
V-2	2,5	0,85	0,48	0,85	1,89	1,17	0,89	0,64	1,62	0,36	0,66
V-3	2	0,81	0,69	0,97	1,53	1,17	0,95	0,31	1,11	0,29	0,68

Как следует из табл. 2, концентрации K, Ca, Mn и Al в листьях березы снижены относительно фона на всех мониторинговых площадках. Содержание Mg, S и Fe снижено на большинстве площадок. Концентрации P и Si, наоборот, на большинстве площадок повышены относительно медианы фоновых концентраций. Направленность изменения и степень проявления обеднения или обогащения листьев березы локальной зоны зольными элементами относительно фона различна для разных площадок, т. е. зависит от удаленности источника выбросов, степени повреждения березы и природных условий (плодородия почв и условий увлажнения) ее произрастания.

Согласно соотношению медиан, концентрации K снижены на всех площадках. Наиболее значительно (1,5–2 раза) концентрации K снижены на самых удаленных и наименее загрязненных площадках, но характеризующихся низким естественным плодородием почв — пл. I-1 и I-2, а также на близко расположенных к источнику и самых загрязненных площадках II-1, II-3 и IV-2. При этом именно на последних концентрации K были ниже минимального фонового значения, что позволяет считать уровень загрязнения одним из основных факторов дефицита K в листьях березы.

Более успешно на уровне, близком к фоновым значениям, береза обеспечивает себя K на площадках V-2, V-3 и III-3, при этом ни одно значение на пл. V-2 и III-2 не опускается ниже минимума, свойственного ненарушенным экосистемам Кольского п-ова. Все эти площадки характеризуются средним уровнем загрязнения, но высоким естественным плодородием почв и хорошим увлажнением.

Согласно соотношению медиан, концентрации Mn значительно снижены в листьях березы на всех площадках. Для Mn свойственны очень большие различия по дефициту между площадками. Так, медиана концентрации Mn на пл. IIA-1 в 7 раз ниже фоновых значений, а на пл. V-2 — только в 1,5 раза, но листья березы и на наименее загрязненных (пл. I-1 и I-2) и самых загрязненных площадках (пл. II-1, II-2 и IV-2) обеднены Mn в равной степени. При этом на этих площадках концентрации Mn во всех образцах были ниже минимального фонового значения. Площадка II-3, представленная низинным болотом с проточным увлажнением, также относится к сильно загрязненным, однако дефицит Mn в листьях березы здесь меньше. Относительно низкий дефицит Mn свойственен и пл. V-2 со средним уровнем загрязнения и высоким естественным плодородием.

Различия по дефициту Ca в листьях березы между площадками были менее значительны. Для большинства площадок, независимо от удаленности источника выбросов, медиана концентраций Ca в листьях березы была ниже фоновых значений в 2–3 раза. Доля образцов с величинами ниже минимальных фоновых значений также мало различалась между площадками, исключением являются пл. I-2, II-2, II-3 и III-3, где все величины были ниже минимальных фоновых значений. Эти площадки расположены на разном расстоянии от источника, но все характеризуются повышенным увлажнением.

Дефицит Mg в листьях березы на площадках мониторинга был меньше по сравнению с Ca. Медианы концентраций Mg в листьях березы на большей части площадок были ниже фоновых значений в 1,5 раза. На пл. II-3, V-2 и V-3 береза обеспечивала себя Mg на фоновом уровне, при этом на всех остальных содержание Mg в листьях березы не опустилось ниже минимума, свойственного ненарушенным экосистемам Кольского п-ова.

Соединения S являются одним из компонентов выбросов. Несмотря на это, береза испытывает дефицит этого элемента на большинстве площадок. Наиболее значительно содержание S в листьях березы снижено на наиболее удаленных от источника площадках с бедными почвами — I-1, I-2, III-2 и III-3. Именно на пл. I-1 и III-3 встречаются единичные значения ниже минимального фонового. Пл. V-2 и V-3 с плодородной почвой и

средним уровнем загрязнения береза обеспечивают себя S на близком к фону уровне. Повышенные концентрации S свойственны наиболее загрязненным площадкам II-2 и IV-2.

В небольших количествах необходимы листьям березы Al, Si и Fe. Согласно соотношению медиан, концентрации Si в листьях березы повышены на большинстве площадок. Содержание Fe может быть, как повышено, так и понижено. А медианы концентрации Al значительно (до 3 раз) снижены относительно фоновых значений. При этом только единичные значения по Si, Fe и Al выходят за пределы естественного варьирования этих показателей.

Таким образом, результаты химического анализа показали, что листья березы в локальной зоне воздействия выбросов комбината «Североникель» испытывают недостаток таких важных элементов питания, как Ca, K, Mg, S и Mn, а также Fe и Al. Наоборот, в избытке в листьях березы был обнаружен Si и P. Каждая площадка мониторинга имеет различное сочетание и разную степень дефицита важных питательных элементов в листьях березы. Удаленность от источника выбросов и степень загрязнения является не единственным фактором, который определяет уровень дефицитности или избытка элементов в листьях березы. Уровень плодородия почв и условия увлажнения также оказывают влияние на эти показатели.

Литература

1. Влияние длительного экстремального загрязнения выбросами комбината «Североникель» на содержание доступных для растений P, K, Ca и Mg в подзолах / Г. М. Кашулина и др. // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/2. С. 184–193.
2. Кашулина Г. М. Аэротехногенная трансформация почв Европейского Субарктического региона: 2 ч. Апатиты: КНЦ РАН, 2002.
3. Кашулина Г. М., Салтан Н. В. Химический состав растений в экстремальных условиях локальной зоны комбината «Североникель». Апатиты: КНЦ РАН, 2008. 239 с.
4. Манаков К. Н., Никонов В. В. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера. Л.: Наука, 1981. 195 с.
5. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н. И. Казимиров и др. Л.: Наука, 1977. 304 с.
6. Ушакова Г. И. Биогеохимическая миграция элементов и почвообразование в лесах Кольского полуострова. Апатиты, 1997. 150 с.
7. Ушакова Г. И. Биогеохимические особенности миграции элементов в еловых и сосновых лесах Кольского полуострова // Почвоведение. 1995. № 6. С. 759–767.
8. Kashulina G, Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the “Severonikel” industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis // Atmospheric Environment. 2014. Vol. 89. P. 672–682.

Т. А. Сухарева

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, sukhareva@inep.ksc.ru

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ НА ФОНОВЫХ И ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Растительность в результате биогенной аккумуляции накапливает в своих органах и тканях различные химические элементы. Содержание элементов питания и их соотношение зависит от природы растения, региональных климатических особенностей, экологических условий, возраста растений и его отдельных органов [3, 4, 8]. Особенности элементного состава определяются также доступностью форм химических соединений в почвах, спецификой зональных типов растительности, избирательностью процессов поглощения химических элементов и их соединений растениями [1].

Деревья способны осаждать и поглощать из воздуха загрязняющие вещества и чутко реагировать на избыток или недостаток элементов минерального питания в окружающей среде. В условиях воздушного промышленного загрязнения наблюдаются значительные изменения в поглощении элементов питания древесными растениями, что отражается на химическом составе ассимилирующих органов.

В этой связи интерес представляет выявление особенностей элементного состава листьев (хвои) основных лесообразующих пород северотаежных лесов в условиях регионального фона и под воздействием техногенной нагрузки.

Объектами исследований послужила ель сибирская *(Picea obovata Ledeb.)*, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), формирующие древостои распространенных в северотаежной подзоне ельников кустарничково-зеленомошных и сосняков лишайниково-кустарничковых, функционирующих на Al-Fe-гумусовых подзолах. Исследования проводили в 2007–2008 гг. на сети постоянных

пробных площадей Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН в ненарушенных экосистемах и в условиях техногенного загрязнения: на стадии дефолиирующих лесов (территория Лапландского государственного заповедника, 31 км от источника выбросов) и на стадии техногенного редколесья (7–10 км от источника) по градиенту атмосферного загрязнения от комбината «Североникель» (г. Мончегорск). Стадии техногенной дигрессии северотаежных лесов описаны ранее [6, 7]. Фоновая территория была выбрана на значительном удалении от источника загрязнения в юго-западной части Мурманской обл. (160–175 км от источника выбросов).

Ассимилирующие органы растений отбирали в конце периода вегетации (август). Металлы (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn,) определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, K — атомно-эмиссионной спектрометрии; P — фотоколориметрическим методом по интенсивности окраски фосфорно-молибденового комплекса (метод Лоури-Лопеса); S — турбидиметрическим методом, N — по методу Къельдаля, C — по методу Тюрина. В работе использованы коэффициент биогеохимической подвижности (Bx) [5], рассчитываемый как отношение содержания элемента в ассимилирующих органах растений к подвижным формам элементов в органогенном горизонте иллювиально-гумусового подзола и позволяющий наиболее объективно оценить поглощение элементов из почвы, а также коэффициент концентрации (Кс) — отношение концентрации элемента в листьях (хвое) при техногенной нагрузке по отношению к среднефоновому содержанию [2].

В таблице приведены данные по содержанию некоторых макро- и микроэлементов в листьях (хвое) основных древесных растений северотаежных лесов. Содержание углерода в листьях березы ниже (45–56 %,), чем у хвойных деревьев (41–68 %). С возрастом хвои содержание углерода практически не изменяется и остается на постоянном уровне. Возможно, причина заключается в перераспределении углерода между различными органами в пользу корней и, особенно, побегов, в которых ассимилированный в процессе фотосинтеза углерод депонируется.

Из минеральных элементов в древесных растениях ненарушенных сообществ преобладают азот, калий, кальций, ряд накопления которых имеет следующий вид: N > K > Ca. С возрастом в хвое соотношение Ca/K, Ca/N меняется и элементы распределяются следующим образом: N > Ca > K (в хвое ели и сосны 2- года, в многолетней хвое сосны) и Ca > N > K (в многолетней хвое ели). Известно, что недостаточное содержание азота лимитирует продукционные процессы, происходящие в растительном организме. Дефицитным для хвойных деревьев является уровень 12–15 г/кг, а при содержании азота менее 12,0 г/кг ель и сосна испытывают сильный дефицит данного элемента [12]. Наши результаты подтверждают представление о том, что в бореальных лесах растения испытывают дефицит азота [7, 9, 11]. Средние фоновые концентрации Cu в листьях березы не превышают 5 мг/кг, Ni — 3 мг/кг, в хвое ели — 2 и 3 мг/кг, хвое сосны — 2 и 1 мг/кг соответственно. Концентрация элементов и их соотношения существенно изменяются с увеличением возраста ассимилирующих органов хвойных деревьев. В наибольшей степени отмечено возрастное варьирование соотношения Ca/N, Ca/P, Ca/K. В многолетней хвое данное соотношение изменяется за счет повышения доли кальция и уменьшения доли подвижных элементов (N, P, K).

Сравнение элементного состава показывает достоверные межвидовые различия в накоплении элементов растениями. Ассимилирующие органы березы характеризуются высоким содержанием большинства минеральных элементов. Концентрации N, Mg, S, Zn в березовых листьях значительно превышают таковые в хвое сосны и ели. В ненарушенных лесных биогеоценозах в фотосинтезирующих органах березы выявлено достаточно высокое содержание серы, которое варьирует от 900 до 1700 мг/кг. Концентрации железа у березы выше, чем у хвойных деревьев. Отличительной особенностью хвойных деревьев является высокое содержание в фотосинтезирующих органах алюминия. Особенно высокие его концентрации обнаруживаются в хвое сосны обыкновенной.

Среднее содержание тяжелых металлов в листьях (хвое) техногенно нарушенных территорий многократно превышает региональный фон. По величине коэффициента концентрации (Кс) содержания никеля и меди в ассимилирующих органах древесных растений на территории, подверженной загрязнению, определяются как аномальные (Кс ≥1,5). Листья березы более интенсивно аккумулируют медь и никель, чем хвоя ели и сосны текущего года. Максимальный уровень накопления никеля (Кс ≥ 228,85) выявлен в сосновой хвое старших возрастных классов. В условиях техногенного загрязнения изменяется соотношение Ni:Cu. В фоновых районах в хвое сосны отношение Ni:Cu варьирует от 0,4 до 1,0, а в хвое ели значения несколько выше и колеблются в пределах 1,3–2,0, в дефолиирующих сосновых лесах содержание никеля в хвое в 1,5–2,3 раза выше меди, в еловых лесах — в 6,0–7,6 раза, в техногенных сосновых и еловых редколесьях — в 2,1–3,8 и 4,8–5,5 раза соответственно. На стадии техногенного редколесья в ассимилирующих органах древесных растений продолжается не только снижение абсолютного содержания марганца, но и сохраняется дисбаланс в отношениях Fe:Mn.

Почвенные условия оказывают существенное влияние на формирование элементного состава растений. В условиях атмосферного загрязнения, в дефолиирующих лесах и техногенных редколесьях закономерности формирования питательного режима почв нарушаются, что обусловлено разрушением существующих в природе взаимосвязей. В почвах древесных парцелл техногенных редколесий, где выявлены наиболее высокие потоки кислотообразующих веществ и тяжелых металлов [6], а древесные растения сильно

повреждены, отмечено возрастание содержания никеля, меди, железа, серы. Одновременно с этим органогенный горизонт почвы обедняется важнейшими минеральными элементами — кальцием, магнием, марганцем, цинком, калием, фосфором, необходимыми для поддержания сбалансированного минерального состава растений [10].

Элементный состав ассимилирующих органов древесных растений
в процессе техногенной дигрессии северотаежных лесов

Элемент	Береза	Ель			Сосна		
		возраст хвои, лет			возраст хвои, лет		
		1- года	2- года	многолетняя	1- года	2- года	многолетняя
C, %	51,1±0,8*	57,4±1,1	56,4±1,2	57,5±2,0	56,4±2,2	59,9±0,1	59,2±1,5
	53,4±0,9**	59,9±3,4	60,4±3,3	52,2±1,9	53,1±3,0	55,2±3,3	57,4±2,5
	54,6±1,4***	61,2±2,0	56,3±1,3	56,3±1,3	55,2±0,8	58,6±1,7	61,8±2,4
N, г/кг	22,3±0,2	12,0±0,5	11,0±0,5	9,2±0,4	12,7±0,5	11,2±0,3	11,4±0,5
	22,5±0,2	8,0±0,2	7,4±0,3	6,6±0,4	12,8±0,5	11,7±0,4	10,2±0,5
	24,1±0,1	12,8±0,6	11,9±0,9	11,9, ±0,9,	11,4±0,4	10,5±0,3	10,0±0,3
K, г/кг	7,1±0,2	8,6±0,4	5,5±0,2	3,6±0,1	5,6±0,3	3,7±0,1	3,1±0,2
	7,3±0,2	5,4±0,6	4,7±0,5	4,0±0,4	6,9±0,3	3,8±0,2	2,9±0,1
	5,8±0,1	6,6±0,7	4,3±0,5	3,6±0,3	7,0±0,4	4,2±0,6	2,9±0,2
Ca, г/кг	7,1±0,2	3,8±0,4	8,5±0,7	13,8±1,0	1,5±0,1	3,0±0,2	4,0±0,2
	5,6±0,3	6,2±0,8	6,7±0,7	7,7±0,8	1,4±0,1	3,0±0,1	3,7±0,4
	4,7±0,1	1,8±0,2	2,3±0,3	3,2±0,5	2,1±0,1	4,3±0,4	6,2±0,8
Mg, г/кг	2,7±0,1	1,1±0,1	1,0±0,1	0,8±0,1	1,0±0,0	1,0±0,0	0,6±0,0
	2,1±0,1	0,9±0,1	0,8±0,1	0,7±0,1	0,9±0,0	0,9±0,1	0,6±0,1
	1,5±0,1	0,6±0,0	0,5±0,0	0,4±0,0	0,9±0,0	0,8±0,0	0,4±0,0
P, г/кг	2,4±0,1	2,0±0,1	1,6±0,1	1,3±0,1	1,5±0,1	1,1±0,0	1,0±0,0
	3,0±0,1	1,4±0,1	1,3±0,1	1,5±0,1	1,8±0,1	1,2±0,1	1,0±0,1
	2,2±0,2	1,3±0,1	0,9±0,0	0,7±0,1	1,6±0,1	1,0±0,1	0,9±0,0
Mn, г/кг	1,6±0,1	0,8±0,1	1,7±0,1	2,2±0,2	0,4±0,0	0,8±0,1	1,0±0,1
	1,2±0,1	0,9±0,1	0,9±0,1	0,9±0,1	0,4±0,0	0,9±0,1	1,1±0,1
	0,4±0,0	0,03±0,00	0,03±0,01	0,04±0,00	0,2±0,0	0,4±0,1	0,5±0,1
S, г/кг	1,2±0,0	0,6±0,0	0,6±0,1	0,7±0,1	0,6±0,0	0,6±0,0	0,6±0,0
	1,1±0,0	1,3±0,1	1,3±0,1	1,5±0,1	0,8±0,0	0,8±0,0	0,7±0,0
	1,6±0,1	1,4±0,1	1,5±0,1	1,6±0,1	0,8±0,1	0,6±0,1	0,7±0,01
Zn, мг/кг	156,6±8,4	44,2±2,5	58,2±4,0	74,7±7,4	31,9±2,1	43,1±4,2	41,0±3,4
	140,2±7,9	36,0±2,5	39,7±3,9	40,6±4,8	27,7±1,4	31,3±3,0	22,0±2,5
	86,9±3,4	15,4±1,0	10,4±0,8	6,9±1,0	18,9±1,4	18,2±3,1	12,0±2,6
Fe, мг/кг	63,2±2,9	21,0±1,3	26,8±2,2	30,8±2,3	30,1±3,4	47,2±7,8	74,5±9,9
	57,7±1,2	34,0±1,5	32,6±1,6	35,3±1,6	24,9±1,5	41,5±3,1	72,1±5,8
	71,3±1,0	48,7±2,5	55,0±3,0	51,7±2,4	34,6±1,8	91,2±7,6	142,8±20,9
Al, мг/кг	23,2±1,5	35,1±3,5	57,9±7,5	93,6±8,8	149,3±22,0	220,5±22,2	287,5±31,0
	39,3±2,6	192,3±30,0	191,3±24,5	284,6±32,0	149,5±12,3	250,2±23,7	319,1±36,5
	45,6±3,3	93,4±21,8	100,9±12,7	120,6±18,4	167,0±18,3	302,8±45,2	344,6±41,1
Cu, мг/кг	5,3±0,1	1,8±0,4	1,4±0,4	1,2±0,3	2,3±0,5	1,7±0,4	0,9±0,3
	12,2±0,2	4,3±0,4	4,0±0,3	3,2±0,2	10,1±0,8	15,5±1,3	20,3±2,0
	60,3±5,1	21,4±1,2	19,8±1,1	20,2±2,3	28,1±2,2	47,2±5,7	48,4±3,8
Ni, мг/кг	2,6±0,2	2,5±0,2	1,8±0,1	2,4±0,3	1,4±0,1	0,7±0,1	0,8±0,1
	32,0±0,9	25,7±1,3	25,6±1,4	24,2±1,1	22,0±1,4	33,1±2,4	46,6±4,4
	149,8±8,1	102,5±5,9	109,7±4,6	100,4±5,7	59,3±5,3	145,3±15,3	183,4±14,6

Примечания: приведены средние значения (±стандартная ошибка); «*» — фон, «**» — дефолиирующие леса, «***» — техногенные редколесья.

Анализ величин коэффициента биогеохимической подвижности (Bx) показывает высокую биогеохимическую активность Fe как в ненарушенных, так и подверженных атмосферному воздействию фитоценозах северотаежных лесов. Значительную биогеохимическую подвижность демонстрируют также K, P, S, Al, Cu, Ni. Данный коэффициент оказывается более информативным по сравнению с коэффициентом биологического поглощения (Кб) при оценке геохимических особенностей условий произрастания.

Выявлены закономерности, связанные с видовыми различиями в поглощении элементов питания растениями. Количественное соотношение элементов, в том числе азота, кальция и калия может меняться и зависеть от возраста хвои и влияния атмосферного загрязнения. При техногенном воздействии поглощение

химических элементов растениями во многом определяется минеральным составом почвы, процессами выщелачивания химических элементов из растительных тканей кислыми осадками, фолиарным поглощением загрязняющих веществ, антагонистическими отношениями между элементами и дисбалансом поглощения элементов из почвы.

Литература

1. Безель В. С. Экологическая токсикология: популяционный и биоценотический аспекты. Екатеринбург: Гощицкий, 2006. 280 с.
2. Геохимия окружающей среды / под ред. Ю. Е. Сает и др. М.: Недра, 1990. 334 с.
3. Крамер П., Козловский Т. Физиология древесных растений. М.: Лесн. промышл., 1963. 627 с.
4. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. И. Физиология древесных растений: М.: Лесн. промыш., 1974. 424 с.
5. Касимов Н. С., Кошелева Н. Е., Самонова О. А. Подвижные формы тяжелых металлов в почвах лесостепи Среднего Поволжья (опыт многофакторного регрессионного анализа) // Почвоведение. 1995. № 6. С. 705–713.
6. Лукина Н. В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 316 с.
7. Лукина Н. В., Сухарева Т. А., Исаева Л. Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
8. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. Л.: Наука, 1965. 253 с.
9. Сухарева Т. А. Динамика содержания азота в хвое ели сибирской в условиях воздушного промышленного загрязнения // Вестник Башкир. гос. аграр. ун-та. № 3. 2014. С. 102–105.
10. Сухарева Т. А. Оценка состояния сосновых лесов в зоне влияния медно-никелевых комбинатов при уменьшении эмиссионной нагрузки // Известия Самар. науч. центра РАН. 2013. Т. 15, № 3 (3). С. 1072–1076.
11. Сухарева Т. А. Сезонная динамика химического состава хвои ели сибирской на Кольском полуострове // Лесоведение. 2014. № 2.
12. Brække F. H. Diagnostic concentrations of nutrient elements in Norway spruce and Scots pine needles (in Norwegian) // Aktuelt Skogforsk. 1994. Vol. 15. P. 1–11.

Секция 9. ИЗУЧЕНИЕ И СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ГОРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

И. В. Блинова[1], С. А. Кутенков[2], В. Л. Миронов[2], Ю. С. Мамонтов[1], М. Н. Петровский[3]
[1]*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Апатиты, ilbli@yahoo.com, yur-mamontov@yandex.ru*
[2]*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, effort@krc.karelia.ru, vict.mironoff@yandex.ru*
[3]*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, petrovskiy@geoksc.apatity.ru*

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ И ОХРАНЕ БОГАТЫХ МИНЕРОТРОФНЫХ БОЛОТ И ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Болота, питаемые насыщенными основаниями грунтовыми водами (base-rich fens), характеризуются высоким ценотическим разнообразием и специфичностью флоры. Они широко распространены в Европе, но всюду занимают небольшие площади [8]. В Мурманской обл. нами встречены и описаны одни из самых северных в России болот этого типа [1, 2]. Присутствие данных минеротрофных болот в регионе мы связываем с мелкозалежностью и склоновым положением болотных массивов на коренном ложе из «высококальциевых» пород, наличием в них источников грунтового, в том числе напорного питания. В настоящее время Мурманской обл. известно 8 подобных объектов: шесть в центральной части (окрестности г. Апатиты, бассейн рек Нивастровской и Жемчужной) и 2 объекта в южной части региона (Кандалакшский берег и остров Белого моря) (рис. 1). Похожие болота приводятся для заповедника Пасвик [6].

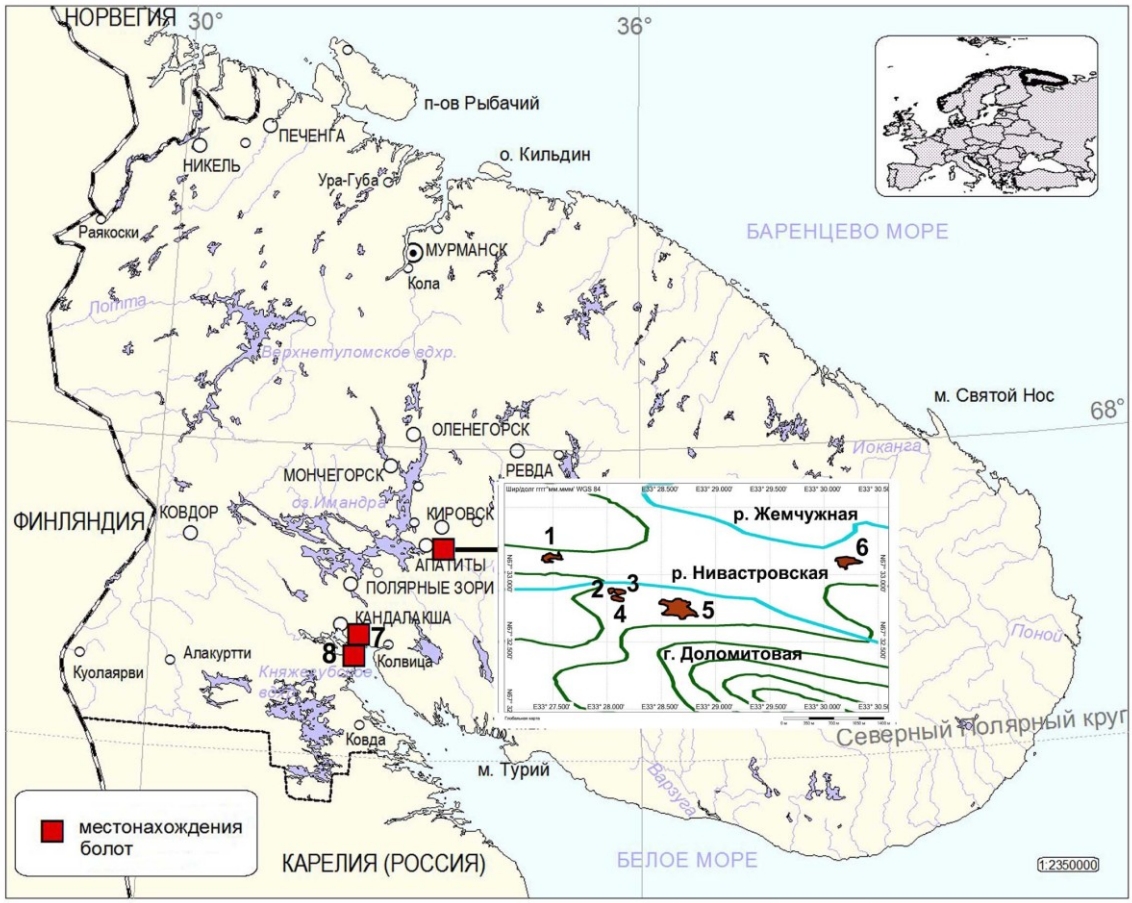


Рис. 1. Расположение изученных объектов:
1 — пушицево-триостренниково-осоковое болото; 2 — пушицево-молиниево-осоковое болото; 3 — сосняк заболоченный с елью, березой и можжевельником пушицево-калганово-триостренниково-молиниевый, 4 — калганово-молиниевое; 5 — пушицево-пухоносово-осоковое; 6 — пушицево-молиниево-осоковое; 7 — склоновое пухоносово-осоково-сфагново-гипновое болото у г. Малая Куртяжная Кандалакшского берега; 8 — сосняк кустарничково-молиниево-осоковый на о. Ряжков Белого моря

Основную площадь южного и юго-западного Прихибинья слагают вулканогенная и вулканогенно-осадочные толщи томингской серии Имандра-Варзугской зоны карелид, сформировавшиеся около 2 млрд лет назад. Болота окрестностей г. Апатиты располагаются в пределах распространения вулканогенно-осадочной толщи томингской серии. Среди осадочных пород в ней преобладают карбонатизированные метатерригенные породы (около 97 %), остальной объем приходится на карбонатные породы. При фильтрации подземных трещинных вод происходит их контакт с легкорастворимыми метаосадочными породами нижней толщи томингской серии, обусловливающий их высокую минерализацию. В южной части Мурманской обл. изученные болота расположены на выходах метагабброидов, характеризующихся сравнительно высоким содержанием кальция и близостью к поверхности источников напорного увлажнения.

Богатые минеротрофные болота Мурманской обл. заняты полидоминантными растительными сообществами и часто имеют сравнительно небольшую площадь (376–37920 м^2). Местообитания характеризуются хорошей освещенностью (24067–43916 лк), нейтральной реакцией поверхностных вод (pH 6,7–7,4) и относительно высокой для болот данного региона минерализацией (27–48 мг/л).

В древостое доминирует *Pinus sylvestris,* иногда образующая сомкнутый ярус. Из кустарников обычны *Salix* spp. и *Juniperus sibirica*. Характерными видами травяного яруса являются *Molinia caerulea*, *Potentilla erecta*, *Sanguisorba officinalis*, *Eriophorum latifolium*, *Triglochin maritima*, *Carex lasiocarpa*, *C. flava*, *C. dioica*, *Baeothryon alpinum, Pinguicula vulgaris*, *Parnassia palustris.* Видовое разнообразие мохообразных на изучаемых болотных комплексах выявлено на данный момент недостаточно, однако уже обнаруженный набор видов на всех объектах отличается высокой схожестью. Отмечены в основном виды, которые в лесной зоне встречаются на минеротрофных болотах, в обводненных эвтрофных местообитаниях, на карбонатных почвах, а также в условиях горного рельефа — в местообитаниях, обогащенных кальцием: по заболоченным берегам ручьев, на сырых скалистых склонах и скалах. Так, в каждом из 8 изученных объектов отмечены виды рода *Limprichtia*, в 7 — *Campylium stellatum*, в 6 — *Sphagnum warnstorfii*, в 5 — *Tomenthypnum nitens*. На отдельных болотах отмечены мхи *Calliergon richardsonii*, *Catoscopium nigritum, Cinclidium stygium, Fissidens adianthoides, Paludella squarrosa, Pseudocalliergon trifarium, Scorpidium scorpioides, Warnstorfia sarmentosa*, печеночник *Mesoptychia bantriensis.* Состав диагностических видов богатых минеротрофных болот своеобразен и не типичен для большинства болот региона. Согласно эколого-флористической классификации, растительность их отдельных участков соответствует синтаксонам союза *Caricion davallianae* Klika 1934 [5]. В настоящее время на этих болотах отмечено 168 и 55 видов сосудистых и мохообразных соответственно, среди них высока доля кальциефильных видов. Эти местообитания являются типичными для большинства видов Orchidaceae: так, из 20 видов, известных в Мурманской обл., в них представлены 15.

Всего на изученных болотах выявлен 22 редких вида сосудистых растений: на каждом от 6 до 13 видов, включенных в Красную книгу Мурманской области [7]; 6 видов — *Carex hostiana, Schoenus ferrugineus, Dactylorhiza traunsteineri, Malaxis monophyllos, Listera ovata, Eriophorum gracile* являются исключительно редкими для региона. Первые три характерны для европейских болот этого типа, их местонахождения в окрестностях г. Апатиты являются самыми северными в Европе. На двух болотах обнаружены водные участки с харовыми и ульвовыми водорослями, что также увеличивает их природную ценность.

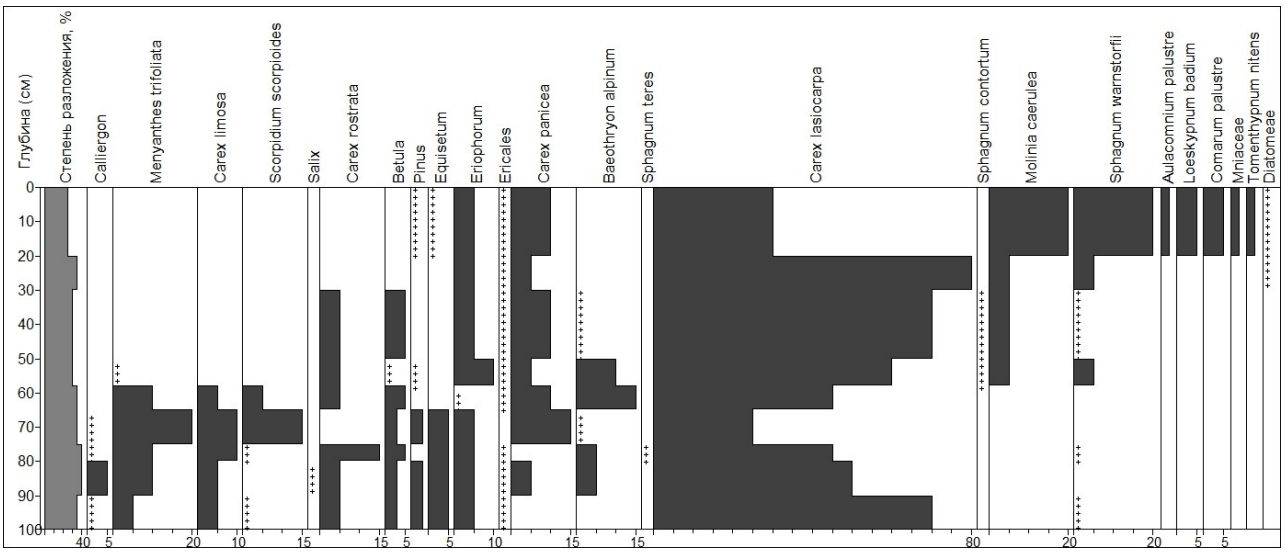
В окрестностях г. Апатиты проведена зондировка торфяной залежи болот. По форме залегания болота можно отнести к «висячим» (склоновым) [9]. В среднем глубина торфа составляет 0,3–0,5 м. В особенности мелкозалежными оказались облесенные сообщества. В центральной, наиболее глубокой (1 м), части самого крупного болота из озерка и подпирающей его торфяной гряды отобраны образцы торфа для анализа на ботанический состав макроостатков*. Анализ торфа показал (рис. 2), что залежь составлена низинным, преимущественно осоковым торфом.

Придонные (0,4 м) залежи озерка и гряды достаточно сходны, что указывает на изначально гомогенную структуру болота и вторичную природу данных элементов. Повышенное участие *Carex rostrata*, *C. limosa*, *Equisetum* sp. и *Menyanthes trifoliata* свидетельствует о питании несколько более кислыми водами в начальных условиях формирования, по сравнению с современными. Увеличение роли вахты и появление в сообществе гидрофильного мха *Scorpidium scorpioides* указывает на постепенное возрастание увлажнения участка и формирование топи.

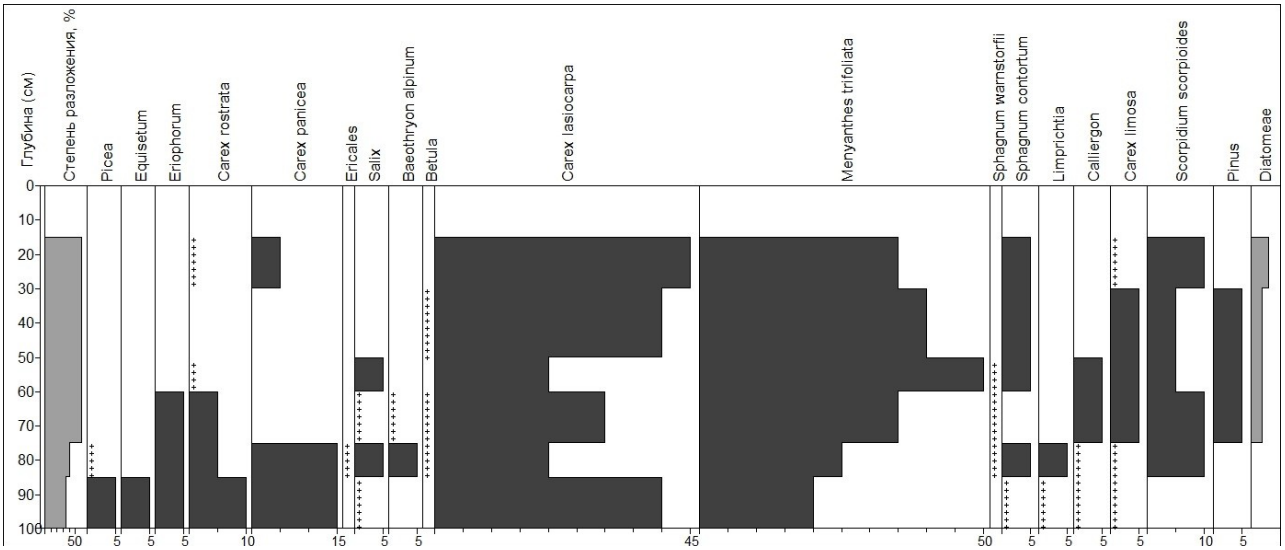
Выше в составе торфа происходят изменения, связанные с развитием грядово-мочажинного комплекса. В торфе озерка возрастает содержание вахты и диатомовых водорослей, на месте гряды топяные виды выпадают из состава, основным торфообразователем становится *Carex lasiocarpa*, появляется *Molinia caerulea* и другие виды, характерные для повышений микрорельефа.

Датировок торфа не проводилось. Небольшая глубина залежи в данном случае не может служить свидетельством ее молодости. Известно, что в склоновых условиях гористых местностей торфонакопление замедлено и возраст висячих неглубоких болот может насчитывать до 5000 лет [3, 10]. Примечательным является высокая степень разложения (> 50 %) и сильная заиленность толщи торфа в изученном озерке, что также указывает на длительность периода застоя вод на участке.

* Авторы выражают благодарность за анализ торфа Н. В. Стойкиной (ИБ КарНЦ РАН).



а



б

Рис. 2. Ботанический состав торфа гряды (*а*) и вторичного озерка (*б*)
на пушицево-пухоносово-осоковом болоте окрестностей г. Апатиты

В связи с редкой встречаемостью сообществ и специфичностью флоры данные болота нуждаются в охране. Болото «Мочажинное» окрестностей г. Апатиты включено в Изумрудную книгу России [4], оно входит в число проектируемых особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в Мурманской обл. Болото на о. Ряжков включено в Российский Рамсарский список (объект № 110 в составе «Кандалакшского залива»). Болото Кандалакшского берега «Лувенгское» находится на границе этого объекта, его охранный статус нуждается в уточнении. В настоящее время ПАБСИ КНЦ РАН выступил с инициативой об его включении в список региональных ООПТ. На наш взгляд, охранный статус необходим всем 6 болотам, расположенным в бассейне р. Нивастровская и Жемчужная у г. Апатиты. В охранную зону ООПТ «Мочажинное» также желательно включить западную часть горы Доломитовой, в лесной части которой также выявлены редкие для Мурманской обл. виды растений (*Listera ovata*, *Oxalis acetosella*, *Ficaria verna*, *Epipogium aphyllum*, *Daphne mezereum*).

Литература

1. Блинова И. В., Петровский М. К. К характеристике минеротрофных травяных болот в центральной части Мурманской области и о необходимости их охраны // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. Вып. 18 (3). С. 38–55.
2. Блинова И. В. К характеристике минеротрофных травяных болот в южной части Мурманской области и о необходимости их охраны // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. Вып. 22(3). С. 102–114.

3. Елина Г. А., Лукашев А. Д., Токарев П. Н. Картографирование растительности и ландшафтов на временных срезах голоцена таежной зоны Восточной Фенноскандии. СПб.: Наука, 2005. 112 с.
4. Изумрудная книга Российской Федерации. Территории особого природоохранного значения Европейской России. Предложения по выявлению / под ред. Н. А. Соболева, Е. А. Белоновской. М.: Ин-т географии РАН, 2011–2013. Ч. 1. 308 с.
5. Кожин М. Н. Редкие виды сосудистых растений и растительные сообщества минеротрофного болота между Кандалакшей и Колвицей (Мурманская область) // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 48–64.
6. Кузнецов О. Л., Кутенков С. А., Талбонен Е. Л. Растительность и динамика болот заповедника «Пасвик» // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана: материалы всерос. конф. Сыктывкар, 2013. С. 72–75.
7. Сосудистые растения / отв. ред. Н. А. Константинова и др. // Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е. Кемерово: Азия-принт, 2014. 584 с.
8. Biogeographic patterns of base-rich fen vegetation across Europe / B. Jiménez-Alfaro et al. // Applied Vegetation Science. 2014. Vol. 17(2). P. 367–380.
9. Havas P. Vegetation und Ökologie der ostfinnischen Hangmoore // Ann. Bot. Soc. Vanamo. 1961. Vol. 31(2). P. 1–188.
10. Huttunen A. Holocene vegetation history of the Riisitunturi fell area in NE Finland, traced by the palynostratigraphy of two disgenic upland lakes // Boreal Environment Res. 2007. Vol. 12. P. 515–534.

С. А. Валькова
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, valkova@inep.ksc.ru

РАЗНООБРАЗИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МАКРОЗООБЕНТОСА ОЗ. ИМАНДРА

Имандра — самое большое озеро Мурманской обл. Его длина составляет 109 км, максимальная ширина — 19 км, общая площадь водоема — 880,4 км^2, площадь зеркала без островов — 812,5 км^2. Озеро состоит из трех плесов — Большой Имандры, Йокостровской Имандры и Бабинской Имандры, соединенных проливами: Йокостровским и Широкой Салмой. Сравнительная изолированность плесов определяет значимые различия в гидрохимических и гидробиологических характеристиках их вод [1, 4].

Начиная с 1930-х гг. экосистема водоема претерпела существенные изменения, обусловленные добычей и переработкой минеральных ресурсов, строительством на его берегах промышленных предприятий и ростом городов. Долговременная антропогенная нагрузка, связанная с поступлением сточных вод металлургической и апатитовой промышленности, а также поступление хозяйственно-бытовых стоков привели к изменению качества вод и перестройке структурно-функциональных характеристик экосистемы водоема.

Структурные и функциональные показатели бентосных сообществ используются в качестве критериев для оценки качества воды, а также для сравнения состояния сообществ и экосистем при различных антропогенных воздействиях [2, 6, 8, 16, 17]. Оценка состояния водных экосистем и качества вод по показателям зообентоса имеет ряд преимуществ. Зообентос, как наиболее долгоживущий и стационарный компонент гидробиоценоза, отражает состояние экосистемы за длительный период времени, характеризуя «средний» ее режим.

Цель работы — оценка современного состояния макрозообентоса оз. Имандра.

Пробы зообентоса отбирали на глубинах от 10 до 30 м с помощью модифицированного дночерпателя Экмана — Берджа с площадью захвата грунта 290 см^2, на литорали отбор проводили с помощью гидробиологического сачка-скребка, снабженного рамой 25×25 см. Пробы, промывали через сито с размером ячеи 0,25 мм и фиксировали 70 %-м спиртом. Камеральную обработку выполняли в соответствии с общепринятыми методами [9, 14]. Идентификацию беспозвоночных проводили с использованием таксономических ключей под редакцией С. Я. Цалолихина [3, 5, 10] и В. Я. Панкратовой [11–13].

Для оценки трофического статуса исследованных участков акватории оз. Имандра по уровню биомассы зообентоса использовалась шкала С. П. Китаева [7] (табл.).

Классификация озер по С. П. Китаеву [7] на основе биомассы зообентоса, г/м^2

Тип озерной экосистемы						
Олиготрофный		Мезотрофный		Эфторофный		Гиперэвтрофный
α	β	α	β	α	β	
< 1,25	1,2–2,5	2,5–5	5–10	10–20	20–40	> 40

Мурманская обл. является северным пределом распространения многих видов бентосных беспозвоночных, однако макрозообентос региона в целом качественно богат и включает практически все систематические группы,

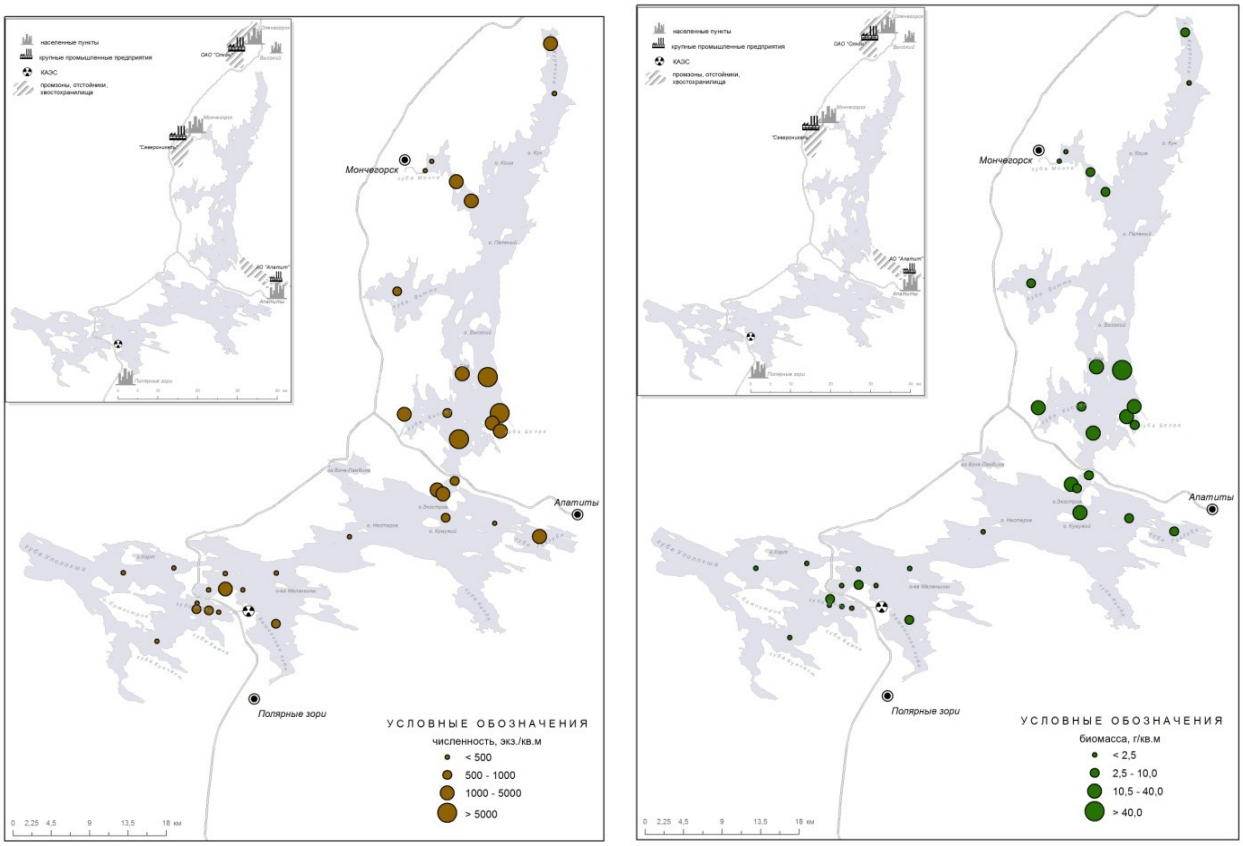
представленные в пресных водоемах Палеарктики. По данным [18], для региона описано 548 видов бентосных беспозвоночных, принадлежащих к различным систематическим группам. Основу зообентоса составляют виды европейского, европейско-сибирского и палеарктического распространения, космополиты представлены исключительно кольчатыми червями (11 видов), доля холодноводных арктических видов незначительна, южные фаунистические элементы отсутствуют.

За период исследований (2011–2015 гг.) в составе бентосной фауны оз. Имандра зарегистрировано 76 видов и форм беспозвоночных, принадлежащих к 15 систематическим группам различного ранга: Hydroida, Nematoda, Oligochaeta, Hirudinea, Bivalvia, Gastropoda, Hydracarina, Crustacea, Chironomidae, Diptera, Coleoptera, Hemiptera, Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera. Выявлены новые для водоема виды: водяной ослик *Asellus aquaticus* L., 1758 (отряд Isopoda, равноногие раки) и двустворчатый моллюск *Anodonta sp.* (сем. Unionidae).

Водяной ослик — широко распространенный по всей Европе вид, обычен в лесных озерах северной Финляндии, в юго-западных приграничных с Финляндией районах Мурманской обл. (около г. Ковдор), обнаружен в оз. Сенное (25 км юго-западнее Кандалакши) [15], а также в центральных и западных районах Норвегии [19]. Северный предел распространения *A. aquaticus* ограничен северотаежным лесом. На Кольском п-ове ранее этот вид не регистрировали. В 2015 г. популяция водяного ослика обнаружена в оз. Имандра на литорали губы Тик-губа.

В районе отводящего канала Кольской АЭС в 2011 г. обнаружена популяция крупных двустворчатых моллюсков *Anodonta sp.* (Unionidae). Сведений о нахождении моллюсков рода *Anodonta* в водоемах Кольского п-ова нет. Вероятно, беззубка в оз. Имандра была занесена с рыбопосадочным материалом из садкового форелевого хозяйства, расположенного рядом с каналом. Раковины *Anodonta sp.* обнаружены в бентосных пробах в районе водоподводящего канала, а также на берегах островов в Бабинской и Йокостровской Имандре, что косвенно может свидетельствовать о распространении вида по акватории озера.

Количественные показатели зообентоса оз. Имандра значительно варьируют по акватории водоема (рис.).



Численность и биомасса макрозообентоса оз. Имандра

Численность и биомасса зообентоса плеса Большая Имандра была выше показателей, наблюдаемых как для плеса Бабинская Имандра, так и для плеса Йокостровская Имандра, и составляла в среднем для плеса Большая Имандра 4800 ± 1344 экз/м^2 и 23,8 ± 6,6 г/м^2, Йокостровская Имандра — 914 ± 176 экз/м^2 и 6,6 ± 1,7 г/м^2, Бабинская Имандра — 224 ± 52 экз/м^2 и 1,2 ± 0,2 г/м^2 соответственно. В настоящее время по уровню развития зообентоса трофический статус вод плеса Большая Имандра характеризуется как эвтрофный, плеса Йокостровская Имандра — мезотрофный, плеса Бабинская Имандра — олиготрофный.

Макрозообентос глубоководных станций оз. Имандра представлен 4 таксономическими группами: реликтовые бокоплавы *Monoporeia affinis* LindstrÖm 1855, олигохеты (*Tubifex tubifex* Müller, 1774; *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862; Naididae sp.), двустворчатые моллюски (*Euglesa sp., Pisidium sp.*, единично встречались *Sphaerium sp*.) и хирономиды (наиболее многочисленны виды родов *Chironomus*, *Procladius* (*Holotanypus*), *Zalutschia, Protanypus, Micropsectra*, а также *Sergentia coracina* Zetterstedt, 1850).

Структура бентосных сообществ оз. Имандра определяется гидрологическими особенностями отдельных плесов и уровнем их антропогенного загрязнения. В структуре макрозообентоса плеса Бабинская Имандра преобладали холодноводные реликтовые амфиподы *Monoporea affinis*, доля которых на отдельных станциях достигала 95 % от общей численности и биомассы донной фауны. В составе зообентоса станций, расположенных в зоне влияния сточных вод ПАО «Апатит», основу численности и биомассы донных биоценозов формировали хирономиды рода *Chironomus* (*Chironomus dorsalis gr., Chironomus (Chironomus) nigrifrons* Linevich & Erbaeva, 1971, *Chironomus plumosus gr.*). В губе Белая уровень плотности зообентоса определялся олигохетами-грунтофагами (*T. tubifex*, *L. hoffmeisteri*) и двустворчатыми моллюсками *Euglesa sp.* В губе Монче в условиях высокой загрязненности водной среды и донных отложений тяжелыми металлами сформировались неустойчивые бентосные сообщества, характеризующиеся крайне низким разнообразием, плотностью и монодоминантной структурой.

В зоне литорали (глубины 0–2 м.) зарегистрированы олигохеты Lumbriculidae (*Lumbriculus variegatus* Müller, 1774; *Spirosperma ferox* Eisen, 1879), Enchytraeidae, Naididae, жуки *Platambus sp.*, *Oreodytes sp.*, ручейники родов Phryganea, Lymnephilus, Potamophylax, Leptoceridae, веснянки Nemoura, поденки Heptagenia, Ephemera, Baetidae, брюхоногие моллюски Valvata и Lymnaea, пиявки *Glossiphonia complanata* L., 1758 и водяные клещи. В фауне хирономид наиболее многочисленны представители подсемейств Orthocladiinae (*Psectrocladius sp.*, *Cricotopus sp.*), Tanypodinae: *Procladius* (*Holotanypus*) *choreus gr.*, *Ablabesmyia sp*., трибы Tanytarsini: Tanytarsus, Stempelinella, Micropsectra, Paratanytarsus. В закрытых, мелководных прогреваемых губах на илистых грунтах возрастает доля представителей трибы Chironomini, в зарослях макрофитов многочисленны *Cryptochironomus sp*., *Endochironomus sp.*, *Glyptotendipes sp*. Для литорального зообентоса оз. Имандра характерна неравномерность распределения организмов в зависимости от типа грунта. «микрорельефа» дна, колебаний уровня воды, защищенности литорали от прибоя, уровня развития обрастания мхов, водорослей и высшей водной растительности.

Литература

1. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / Т. И. Моисеенко и др. М.: Наука, 2002. 403 с.
2. Баканов А. И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 68–82.
3. Высшие насекомые // Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: Наука, 2001. Т. 5. 825 с.
4. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Влияние деятельности горно-металлургических предприятий на химический состав донных отложений озера Имандра, Мурманская область // Биосфера, 2015. Т. 7, № 3. С. 295–314.
5. Двукрылые насекомые // Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: Наука, 2000. Т. 4. 997 с.
6. Зинченко Т. Д. Эколого-фаунистическая характеристика хирономид (Diptera, Chironomidae) малых рек бассейна средней и нижней Волги (атлас). Тольятти: Кассандра, 2011. 258 с.
7. Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М., 1984. 204 с.
8. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 60 с.
9. Методическое руководство по биотестированию воды. РД 118-0290. М., 1991. 48 с.
10. Моллюски, Полихеты, Немертины // Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под общ. ред. С. Я. Цалолихина. СПб.: Наука, 2004. Т. 6. 528 с.
11. Панкратова В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Chironomidae фауны СССР. Л., 1983. 295 с.
12. Панкратова В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Orthocladiinae фауны СССР. Л., 1970. 344 с.
13. Панкратова В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейств Podonominae и Tanypodinae фауны СССР. Л.: Наука, 1977. 154 с.
14. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В. А. Абакумов и др. СПБ.: Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.
15. Рыбы Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 1966. 336 с.
16. Семенченко В. П., Разлуцкий В. И. Экологическое качество поверхностных вод. 2-е изд. испр. Минск: Беларус. Наука, 2011. 329 с.
17. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы современной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
18. Яковлев В. А. Фаунистический обзор пресноводного зообентоса северо-восточной части Фенноскандии // Биол. внутр. вод. 2004. № 3. С. 337–346.
19. Økland K. A. Localities with *Asellus aquaticus* and *Gammarus lacustris* G. O. Sars in Norway, and a revised system of faunistic regions // SNSF Teknisk Notat. 1979. Vol. 49(79). P. 1–64.

Д. Б. Денисов, А. Л. Косова
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, denisowl@inep.ksc.ru

РАЗНООБРАЗИЕ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ (BACILLARIOPHYTA) ОЗЕРА ИМАНДРА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Введение

Исследования диатомовой флоры оз. Имандра имеют давнюю историю. Первые сведения о диатомеях были получены в ходе пионерных флористических описаний в XIX в., в ходе проведения серии экспедиционных работ, посвященных инвентаризации объектов живой природы в Кольском регионе. Некоторые представители диатомей были отмечены П. Т. Клеве [12] при обследовании западного участка водосбора озера. Отечественными исследователями В. Арнольди и М. Алексеенко [1] были получены сведения о диатомеях в составе планктона озера. Следующий этап объединяет исследования, проведенные в период интенсивного промышленного освоения Кольского Севера. Список таксонов диатомей оз. Имандра был составлен по материалам экспедиций Геоморфологического института [10]. Наибольшее внимание диатомовым водорослям было уделено в ходе современного этапа, когда широко развернулись разноплановые экологические исследования [11]. Диатомовая флора озера претерпела существенные изменения в связи с интенсивным загрязнением вод хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками. Современные комплексные экологические исследования свидетельствуют о переходе экосистемы озера на качественно новый уровень [8]. Значительный вклад в исследования таксономического состава диатомей озера внесли палеоэкологические исследования колонок донных отложений [3, 6, 7]. С 2006 г. по настоящее время проводятся ежегодные сезонные экологические исследования фитопланктона оз. Имандра [4, 5, 9]. Сведения о видовом составе центрических диатомовых водорослях были расширены посредством сканирующей электронной микроскопии [2].

Материалы и методы

Озеро Имандра в настоящее время имеет статус водохранилища и является самым крупным водным объектом Мурманской обл. Площадь зеркала составляет 880,4 км^2, водосбора — 12300 км^2. Материалом для исследования послужили пробы фитопланктона, перифитона и донных отложений, собранные в период с 2006 по 2015 гг. в различных участках акватории (рис. 1). Отбор и анализ проб был произведен согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 с использованием рекомендованных стандартных методик, описанных ранее [3, 5].

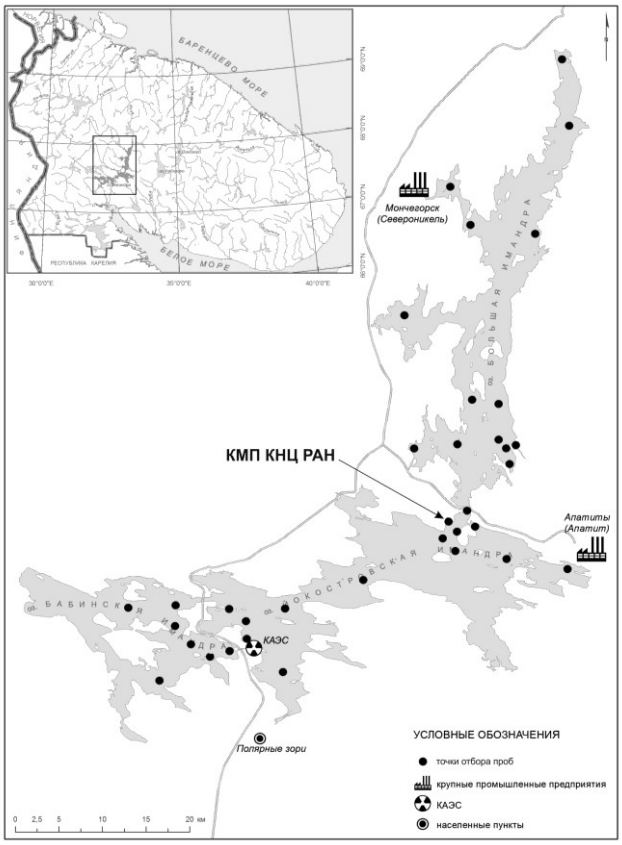


Рис. 1. Карта-схема оз. Имандра и расположение станций отбора проб

Результаты и обсуждение

Всего в озере было выявлено 172 таксона диатомей рангом ниже рода. В фитопланктоне по численности и биомассе доминируют: *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Simons., *Asterionella formosa* Hass, *Diatoma tenuis* Ag., *Fragilaria crotonensis* Kitton (рис. 2). Распределение доминантов по плесам неодинаково. Массовое развитие крупноклеточной *A. islandica* происходит преимущественно в эвтрофируемых участках озера — плесе Большая Имандра и восточной части плеса Йокостровская Имандра: максимальные значения биомассы диатомового планктона в июне в этих участках достигают 20 г/м^3. В то же время для плеса Бабинская Имандра и западной части плеса Йокостровская Имандра характерен июльский максимум биомассы фитопланктона, основной вклад в который вносят *A. formosa*, *D. tenuis* и *F. crotonensis*.

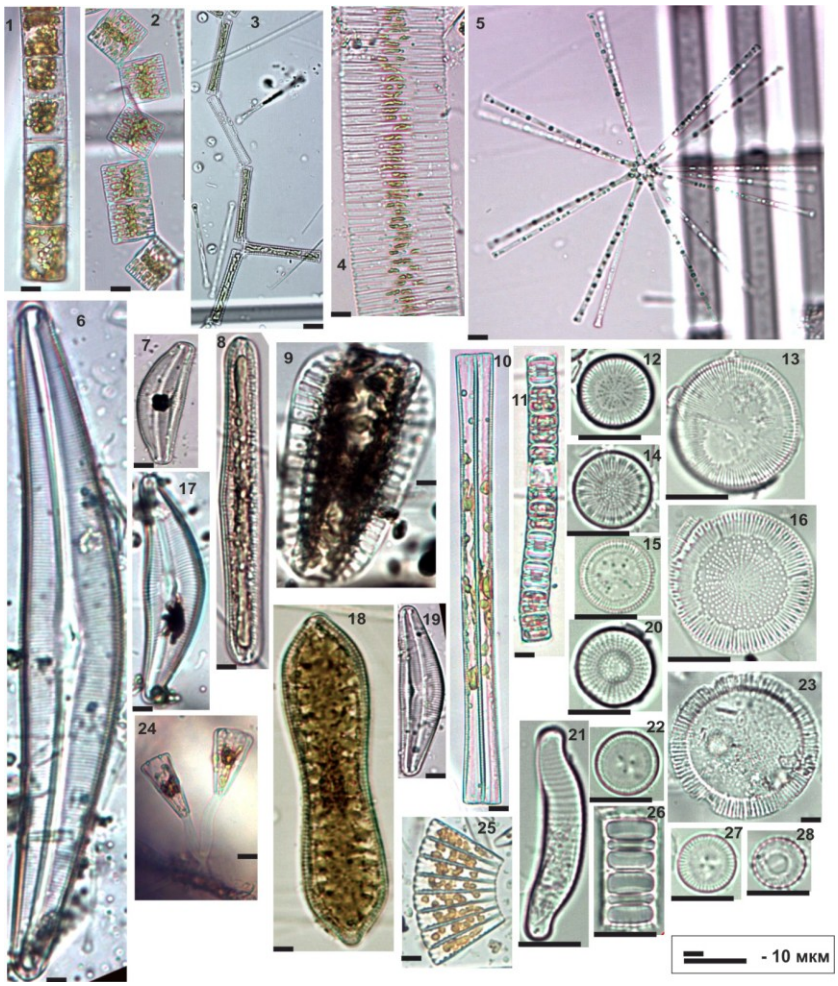


Рис. 2. Некоторые представители Bacillariophyta оз. Имандра:
1 — *Aulacoseira islandica* (Müll.) Simons.; 2 — *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz.; 3 — *Diatoma tenuis* Ag.; 4 — *Fragilaria crotonensis* Kitton; 5 — *Asterionella formosa* Hass.; 6 — *Cymbella aspera* (Ehrb.) Cleve; 7 — *C. tumida* (Bréb.) Van Heurck; 8 — *Epithemia parallela* (Grun.) Ruck & Nakov; 9 — *Surirella splendida* (Ehrb.) Kütz.; 10 — *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère; 11, 26, 28 — *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Kramm.; 12 — *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm.; 13 — *Pantocsekiella schumannii* (Grun.) Kiss & Ács.; 14 — *Cyclotella bodanica var. lemanica* (Müll. ex Schroter) Bach.; 15 — *Cyclotella kuetzingiana var. planetophora* Fricke; 16 — *Lindavia bodanica* (Eulenst. ex Grun.) T.Nakov, Guillory, Julius, Theriot & Alverson; 17 — *Cymbella cymbiformis* Ag.; 18 — *Cymatopleura solea* (Bréb.) Smith; 19 — *Cymbella helvetica* Kütz.; 20 — *Stephanodiscus astraea* (Kütz.) Grun.; 21 — *Eunotia arcus* Ehrb.; 22, 27 — *Pantocsekiella ocellata* (Pant.) Kiss & Ács; 23 — *Ellerbeckia arenaria* (Moore ex Ralfs) Crawf.; 24 — *Gomphonema acuminatum* Ehrb.; 25 — *Meridion circulare* (Greville) Ag

Таксономическое разнообразие диатомового планктона характеризуется значительной вариабельностью в различных участках акватории. Наибольшее число видов диатомей (108) было зафиксировано в плесе Бабинская Имандра, наименьшее — в плесе Большая Имандра (75).

В планктоне озера весьма разнообразны центрические диатомеи (45 таксонов): наибольшее видовое богатство отмечено в родах *Aulacoseira* (14), *Cyclotella* (14) и *Stephanodiscus* (8) [2]. В донных отложениях оз. Имандра обнаруживаются створки бентосного представителя центрических диатомей — *Ellerbeckia arenaria* (рис. 2).

В перифитоне, развивающемся на каменистой литорали, значительным таксономическим разнообразием отличаются виды рода *Cymbella*: *C. aspera*, *C. cymbiformis, C. helvetica, C. cistula* (Ehrb.) Kirch., *C. silesiaca* Bleisch, а также представители семейства Fragilariaceae: *Fragilaria capucina var. mesolepta* (Rabenh.) Rabenh., *F. capucina var. vaucheriae* (Kütz.) Lange-Bertalot, *Fragilariforma nitzschioides* (Grun.) Lange-Bertalot, *Staurosira venter* (Ehrb.) Cleve & Moeller, *Staurosirella pinnata* (Ehrb.) Williams & Round. Типичным массовым представителем литорального диатомового перифитона является *Ulnaria ulna* и *Gomphonema acuminatum* и виды рода *Tabellaria* (рис. 2).

Заключение

Озеро Имандра характеризуется значительным обилием и таксономическим разнообразием диатомей, которые большую часть гидробиологического лета являются доминирующей по численности и биомассе группой водорослей планктона, что является характерной чертой субарктических олиготрофных озер. В то же время в эвтрофируемых участках акватории в настоящее время наблюдается массовое развитие диатомей в начале лета, при котором уровень биомассы достигает значений, характерных для гиперэвтрофных водоемов. Основной вклад в суммарную биомассу в эти периоды вносит *Aulacoseira islandica*. В целом таксономическое разнообразие диатомей оз. Имандра возрастает в направлении с севера на юг. Наибольшее видовое богатство характерно для олиготрофных участков акватории (плес Бабинская Имандра), наименьшее — для эвтрофируемых (плес Большая Имандра).

Литература

1. Арнольди В., Алекееенко М. Материалы к флоре водорослей России // Озера Лапландии: тр. О-ва испыт. природы при Харьк. ун-те. Харьков, 1914. Т. 43, вып. 2. 83 с.
2. Генкал С. И. Денисов Д. Б. Центрические диатомовые (Bacillariophyta) озера Имандра (Кольский полуостров) // Ботанический журнал. 2016. Т. 101, № 10. С. 1133–1144.
3. Денисов Д. Б., Кашулин Н. А., Даувальтер В.А. Диатомовые комплексы донных отложений озера Имандра в зоне влияния подогретых вод Кольской АЭС // Труды Карельского научного центра РАН. Серия «Лимнология». 2015. № 9. С. 10–24.
4. 4Денисов Д. Б., Кашулин Н. А. Современное состояние водорослевых сообществ планктона в зоне влияния Кольской АЭС (оз. Имандра) // Труды КНЦ РАН. Прикладная экология Севера. 2013. № 3. С. 68–94.
5. Денисов Д. Б., Кашулин Н. А. Цианопрокариоты в составе планктона оз. Имандра (Кольский полуостров) // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология Севера. Апатиты, 2016. Вып. 4, № 7 (41). С. 40–56.
6. Каган Л. Я. Диатомовые водоросли Евро-Арктического региона: аннотированная коллекция (древние и современные морские и пресноводные) / под ред. Д. Б. Денисова, Н. А. Кашулина. Апатиты, 2012. 209 с.
7. Каган Л. Я. Изменение сообществ диатомовых водорослей при антропогенном преобразовании экосистемы оз. Имандра // Вод. ресурсы. 2001. № 3. С. 329–338.
8. Моисеенко Т. И., Шаров А. Н. Модификации водных экосистем в период и после снижения антропогенного загрязнения // ДАН. 2011. Т. 441, № 3. С. 1–4.
9. Особенности планктонных сообществ губы Белой озера Имандра при долговременном воздействии сточных вод горнорудного производства / О. И. Вандыш и др. // Труды Кольского научного центра РАН. 2013. № 3 (16). С. 35–70.
10. Порецкий В. С. Жузе А. П., Шешукова В. С. Диатомовые отложения Кольского полуострова в связи с микроскопическим составом Кольских диатомитов // Труды Геоморфол. ин-та АН СССР. Л., 1934. С. 96–210.
11. Шаров А. Н. Фитопланктон водоемов Кольского полуострова. Петрозаводск, 2004. 113 с.
12. Cleve P. T. The Diatoms of Finland // Acta Soc. Fauna et Flora Fenn. 1891. Vol. 8. P. 1–70.

Л. А. Конорева

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Апатиты

Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, ajdarzapov@yandex.ru

ЛИШАЙНИКИ В ЛОКАЛЬНЫХ ФЛОРАХ О. СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЗЕМЛЯ (NORDAUSTLANDET, SVALBARD)

Северо-Восточная Земля (Nordaustlandet) — второй по величине остров в составе архипелага Шпицберген, расположенный в северо-восточной его части. Его площадь 14 443 км², из которых 76 % покрыто ледниками. Поверхность острова представляет собой плоскогорье высотой до 637 м. На северном берегу Северо-Восточной земли расположено значительное количество фьордов. В целом здесь более суровый климат, чем в западной части архипелага, что обусловливает характер растительности. Большие пространства занимают полярные пустыни [1]. Территория острова вместе с мелкими близлежащими островами входит в состав Северо-Восточного заповедника (Nordaust-Svalbard Nature Reserve).

Благодаря удаленности и труднодоступности, а также тому, что почти вся территория покрыта ледниками сведения о лишайниках остаются недостаточными. Список видов лишайников, имеющийся к началу наших исследований, по литературным и гербарным данным, включает 223 вида, из них 12 не включены в последнее издание флоры лишайников Шпицбергена [6] и требуют дополнительной проверки.

В 2010–2012 гг. нами были проведены экспедиционные исследования в трех районах острова Северо-Восточная Земля: Duvefjorden, Sætherbukta, полуостров Orvinland, Damflya, Polarklubben; Innvika Bay, Prins Oskars Land; Murchisonfjorden, Kinnvika Bay. Было собрано более 3 000 образцов во всех доступных ценозах. Кроме традиционных субстратов — почвы, каменистых субстратов и растительных остатков, была изучена также древесина плавника.

Определение лишайников проведено по стандартной методике на базе лаборатории флоры и растительности Полярно-альпийского ботанического сада-института. Для идентификации лишайников использован микроскоп бинокулярный стереоскопический МБС-10, а также микроскопы проходящего света МИКМЕД-2 и Carl Zeiss Jena NU 2. Определение лишайников произведено с учетом морфолого-анатомических и хемосистематических признаков. Кроме стандартного набора реактивов (K, C, KC, KI, HNO_3), для идентификации видов из таких родов, как *Cladonia, Lecidella, Lepraria*, нами использована ультрафиолетовая лампа длинноволнового излучения (UV, длина волны 350 нм). Изучены коллекции лишайников, хранящиеся в гербарии Ботанического музея Университета Хельсинки (H) — около 600 образцов.



Карта района исследований. Места проведения исследований:
Murchisonfjorden, Kinnvika Bay — красным значком; Duvefjorden, Innvika Bay, Prins Oskars Land — синим;
Duvefjorden, Sætherbukta, полуостров Orvinland, Damflya — черным

В результате определения собственных сборов, анализа данных литературы [3, 4, 6], изучения образцов в H, базы данных гербария Университета Осло (O) [7] подготовлен предварительный список видов лишайников с аннотациями для о. Северо-Восточная земля (Nordaustlandet). К настоящему времени он включает 287 видов, из которых новыми для острова являются 73. Нашими данными подтверждено 164 вида. Образцы лишайников хранятся в гербарии ПАБСИ (KPABG)

Подготовлены предварительные списки видов для трех районов острова Северо-Восточная Земля (рис.). Для Damflya к настоящему времени аннотированный список включает 129 видов лишайников. По данным литературы [6], для окрестностей этого района ранее был известен 41 вид из числа наиболее широко распространенных на архипелаге и без указания точных локалитетов; 88 видов приведены нами впервые, практически все литературные данные подтверждены нашими находками и гербарным материалом. Выявлены редкие виды на архипелаге, в том числе *Buellia pulverulenta* (Anzi) Jatta, *Lecidoma demissum* (Rutstr.) G. Schneid. & Hertel, *Lecidella euphoria* (Flörke) Hertel, *Polyblastia gothica* Th. Fr., *Protothelenella sphinctrinoidella* (Nyl.) H. Mayrh. & Poelt, *Rhizocarpon cinereovirens* (Müll. Arg.) Vain. В числе редких выявлен вид, включенный в список охраняемых на Шпицбергене — *Lobaria linita* (Ach.) Rabenh. [5].

Для Innvika Bay, Prins Oskars Land к настоящему времени выявлено 112 видов, для этого района нет сведений о лишайниках в литературе, все данные приведены нами впервые. В том числе были обнаружены такие редкие виды, как *Gyalecta erythrozona* Lettau, *Peltigera kristinssonii* Vitik., *Toninia squalida* (Ach.) Massal., *Umbilicaria virginis* Schaerer.

Для Murchisonfjorden, Kinnvika Bay выявлено 124 вида, из них впервые приведен 51 вид, 73 вида были известны для этой территории ранее, в основном для горы Floraberget. В том числе выявлены редкие для архипелага виды: *Gyalecta foveolaris* (Ach.) Schaer., *Protomicarea limosa* (Ach.) Hafellner, *Rimularia furvella* (Nyl.) Hertel & Rambold, *Solorina monospora* Gyelnik и др.

Таким образом, к настоящему времени на о. Северо-Восточная Земля выявлено 287 видов (около 37 % от известной лихенобиоты архипелага). Около трети этих видов являются редкими на Шпицбергене, в т. ч.: *Peltigera kristinssonii* Vitik., *Protomicarea limosa* (Ach.) Hafellner, *Rhizocarpon eupetraeoides* (Nyl.) Blomb. & Forsell, *Rimularia furvella* (Nyl.) Hertel & Rambold, *Verrucaria hydrela* Ach. 10 видов известны из единичного местонахождения: *Agonimia tristicula* (Nyl.) Zahlbr., *Aspicilia cinerea* (L.) Körb., *A. subradians* (Nyl.) Hue, *Cladonia floerkeana* (Fr.) Flörke, *C. metacorallifera* Asahina *Gyalecta erythrozona* Lettau, *Lecanora caesiosora* Poelt, *Lecidea umbonata* (Hepp) Mudd, *Rinodina terrestris* Tomin, *Solorina monospora* Gyelnik. Кроме того, нами подтверждены гербарным материалом виды, ранее известные только по данным литературы и отсутствующие во всех гербариях [6]: *Caloplaca magni-filii* Poelt, *Lecidea umbonata* (Hepp) Mudd, *Peltigera polydactylon* (Neck.) Hoffm.

К настоящему времени в полярных пустынях известен 321 вид напочвенных лишайников из 121 рода и 44 семейств [2]. В полярных пустынях арх. Шпицберген выявлено 179 видов из 79 родов и 28 семейств напочвенных лишайников, что составляет 56 % от общего числа видов, выявленных для полярных пустынь Северного полушария, что говорит о сравнительно лучшей изученности полярных пустынь Шпицбергена по сравнению с другими территориями.

Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам ПАБСИ и заведующей лабораторией флоры и растительных ресурсов Н. А. Константиновой, совместно с которыми были проведены полевые исследования.

Литература

1. Александрова В. Д. Проект классификации растительности Арктики // Ботан. журн. 1979. Т. 64, № 12. С. 1715–1730.
2. Журбенко М. П., Конорева Л. А. Напочвенные лишайники // Растения и грибы полярных пустынь Северного полушария. СПб.: МАРАФОН, 2015. С. 167–194
3. Elvebakk A., Hertel H. Lichens // A catologue of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria / A. Elvebakk, P. Prestrud (eds.). Pt 6. Norsk Polarinsitutt Skrifter. Oslo, 1996. 198. P. 271–359.
4. Hertel H. & Ullrich H. Flechten von Amsterdamøya (Svalbard) // Mitt. Bot. Staatssamml. München, 1976. Vol. 12. P. 417–512.
5. Konoreva L. To study of lichens of the Duvefjorden (Nordaustlandet, Svalbard) // Polar Ecology Conference – 2016. České Budějovice, Czech Republic, 2016.
6. Øvstedal D., Tønsberg T. & Elvebakk A. The lichen flora of Svalbard. Sommerfeltia. 2009. 33. 1–393.
7. The Lichen Herbarium of Natural History Museum, University of Oslo, Svalbard Lichen Databas. URL: http://nhm2.uio.no/lav/web/index.html

Е. И. Копеина[1], М. Н. Маслов[2]

[1]*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина, Апатиты, kopeina-e@yandex.ru*

[2]*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, maslov.m.n@yandex.ru*

ПОСЛЕПОЖАРНАЯ СУКЦЕССИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРНОЙ ТУНДРЫ ХИБИН (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Воздействие огня как экологического фактора, оказывающего влияние на все блоки экосистемы, относительно хорошо изучено для бореальных лесов. Однако постпирогенные изменения тундровых экосистем, в том числе динамика их растительного покрова, остаются практически вне внимания исследователей. Существенное увеличение среднегодовой температуры во многих частях Арктики (0,6 °С за десятилетие в течение последних 30 лет [1, 2]), а также частоты возникновения пожаров в тундре существенно повышает важность изучения воздействия огня на растительность тундровых экосистем.

Нами исследованы постпирогенные горно-тундровые экосистемы Хибин (гора Вудъяврчорр, гора Айкуайвенчорр). Постпирогенный ряд представлен экосистемами с разным сроком восстановления после пожара: 2 года (2+; пожар 2014 г.), 3 года (3+; пожар 2013 г.), 12 лет (12+; пожар 2004 г.), 12 лет по гари 60-летней давности (12+60+; пожар 2004 г. по гари 1955 г.) и 60 лет (60+; пожар 1955 г.). В качестве контрольных были выбраны кустарничково-лишайниковые (КЛ) и ерниковые (ЕР) экосистемы, наиболее

подверженные возникновению пожаров. Для описания и классификации сообществ был использован метод Браун-Бланке и 6-балльная шкала оценки покрытия-обилия Браун-Бланке, в которой покрытию менее 1 % соответствует балл '+', от 1 до 5 % — '1', от 6 до 25 % — '2', от 26 до 50 % — '3', от 51 до 75 % — 4, от 76 до 100 % — 5 [10]. Площадь пробных площадок (далее — ПП) составляла 4 м^2. В пределах каждой ПП в трехкратной повторности (всего 12-кратная повторность для каждого сообщества) определяли запасы и структуру надземной фитомассы растений и общее количество надземной мортмассы (размеры пробных площадок 25×25 см) [1, 3]. Надземную фитомассу разбирали по видам растений.

Названия сосудистых растений приведены по сводке Н. А. Черепанова [4], мхов — по сводке M. Ignatov et al. [6], печеночников — N. Konstantinova, V. Bakalin et al. [8], лишайников — R. Santesson et al. [9]. Названия синтаксонов приведены в соответствии со статьей Н. Е. Королевой «Основные биотопы горных и зональных тундр Мурманской области» [2].

Данные о географическом положении, структуре растительного покрова и доминирующих видах изученных сообществ приведены ниже и в таблице.

Гарь 2+ — acc. ***Arctostaphylo (alpinae)–Empetretum hermaphroditi*** (Zinserling 1935) Koroleva 1994, *Polytrichum juniperinum*-phase. Растительный покров несомкнут (ОПП 60 %), преобладают кустарнички *Vaccinium uliginosum*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Arctous alpina*. Травянистая растительность выражена слабо и представлена *Festuca ovina*, *Carex bigelowii* и *Chamaenerion angustifolium*. Моховой ярус хорошо развит и представлен *Polytrichum juniperinum*.

Гарь 3+ — acc. ***Arctostaphylo (alpinae)–Empetretum hermaphroditi***, *Vaccinium myrtillus*-phase. Растительный покров почти сомкнут (ОПП 70 %), преобладает *Vaccinium myrtillus*. Ярус травянистой растительности хорошо выражен и представлен *Chamaenerion angustifolium*, *Avenella flexuosa*, *Carex bigelowii*, *Solidago lapponica*. Покрытие мохового яруса (*Polytrichum juniperinum)* достигает 60 %.

Гарь 12+ — acc. ***Arctostaphylo (alpinae)–Empetretum hermaphroditi***, *Vaccinium uliginosum*-phase. ОПП составляет от 40 до 90 %, четко выражена горизонтальная мозаичность. В составе сообщества преобладают кустарнички *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*, *Betula nana*. Травянистые растения представлены *Avenella flexuosa*, *Carex bigelowii*. В моховом ярусе доминирует *Polytrichum juniperinum*.

Гарь 12+ 60+ — acc. ***Arctostaphylo (alpinae)–Empetretum hermaphroditi***, *Vaccinium myrtillus*-phase. ОПП 80 %, преобладает *Vaccinium myrtillus*. Травянистая растительность хорошо выражена. Моховой ярус сомкнут и представлен *Polytrichum juniperinum*.

Общая характеристика сообществ

Сообщество, возраст пожара	ОПП, %	Доминирующие виды	Крутизна и экспозиция склонов	Положение в ландшафте
2+	60	*Vaccinium myrtillus*, *Polytrichum juniperinum*	40°, СЗ	Верхняя часть склона
3+	70	*Chamaenerion angustifolium, Vaccinium uliginosum*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Arctous alpina*, *Polytrichum juniperinum*	30°, СЗ	То же
12+	70	*Chamaenerion angustifolium, Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium myrtillus*, *Avenella flexuosa*, *Polytrichum juniperinum*	30–40°, ЮЗ	Ложбина цирка
12+60+	80	*Vaccinium myrtillus*, *Festuca ovina*, *Chamaenerion angustifolium*, *Solidago lapponica*	10°, ЮВ	Верхняя часть склона
60+	80	*Polytrichum juniperinum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Avenella flexuosa*, *Betula nana*, *Solidago lapponica, Chamaenerion angustifolium*	10°, ЮВ	То же
КЛ	100	*Flavocetraria nivalis*, *Alectoria ochroleuca*, *Arctostaphylos uva-ursi*	10°, ЮВ	«
ЕР	90	*Betula nana, Vaccinium myrtillus, Empetrum nigrum*	60°, СВ	«

Гарь 60+ — acc. ***Arctostaphylo (alpinae)–Empetretum hermaphroditi***, *Vaccinium vitis-idaea*-phase. ОПП 80 %, преобладают кустарнички *Vaccinium vitis-idaea*, *V. Myrtillus*, *Betula nana*. Участие трав незначительно. В моховом ярусе преобладает *Polytrichum juniperinum*. Встречаются лишайники *Flavocetraria nivalis*, *Cetraria islandica*.

Кустарничково-лишайниковое (КЛ) сообщество — acc. ***Alectorio-Arctostaphyletum uvae-ursi*** Dahl 1956. Растительный покров сомкнут (ОПП 100 %). Монодоминантное сообщество, в котором преобладает *Arctostaphylos uva-ursi* и лишайники *Flavocetraria nivalis*, *Alectoria ochroleuca*.

Ерниково-вороничное (ЕР) сообщество — асс. ***Empetro-Betuletum nanae*** Nordh. 1943 с несомкнутым растительным покровом и мозаичной горизонтальной структурой. Преобладают *Betula nana*, *Empetrum hermaphroditum*. Лишайниковый покров составлен кустистыми хионофобными лишайниками (*Flavocetraria nivalis, Alectoria nigricans, A. ochroleuca*).

Экосистемы постпирогенного ряда различаются по запасам надземной фитомассы (рис. 1). Так, запасы надземной биомассы растений в сообществе двухлетней гари в 6–7 раз ниже, чем в контрольных сообществах, что свидетельствует о значительных пирогенных потерях биомассы. Восстановление запасов надземной биомассы растений до значений, статистически не отличающихся от контрольных, происходит только на гари 60-летнего возраста. Следует отметить, что экосистемы гарей 3- и 12-летней давности не различаются по запасам общей надземной биомассы. В сообществе, дважды подвергавшемся прохождению пожара (гарь 12+60+), наблюдается тенденция к снижению запасов биомассы по сравнению с 12-летним аналогом, а по сравнению с 60-летней гарью запасы надземной биомассы в ней статистически ниже.

Несмотря на сходство общих значений запасов надземной биомассы, экосистемы проходят определенный путь трансформации структуры этих запасов. Так, общим трендом при постпирогенном восстановлении является увеличение доли лишайников и кустарничков в запасах надземной биомассы и постепенное сокращение доли мхов и травянистых растений (рис. 2).

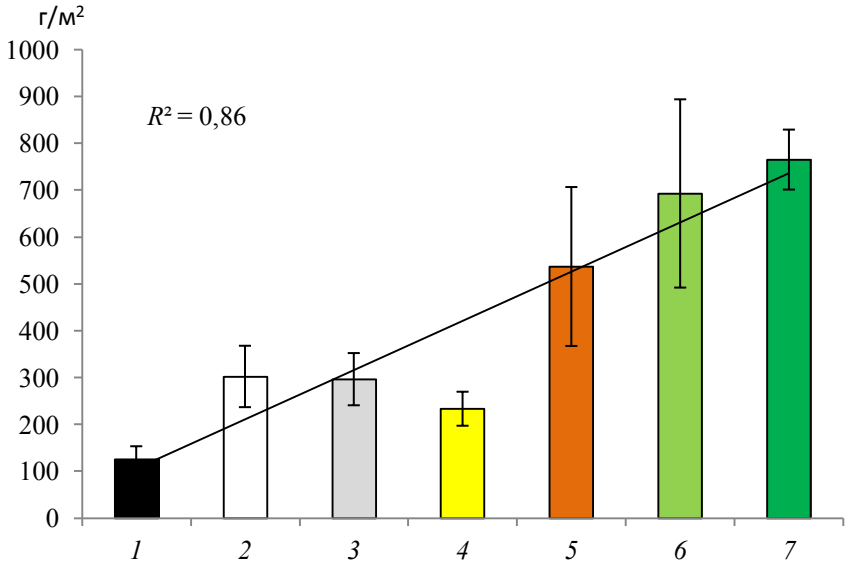


Рис. 1. Запасы надземной биомассы растений в экосистемах постпирогенного ряда:
1 — гарь 2+; *2* — гарь 3+; *3* — гарь 12+; *4* — гарь 12+60+; *5* — гарь 60+; *6* — КЛ; *7* — ЕР

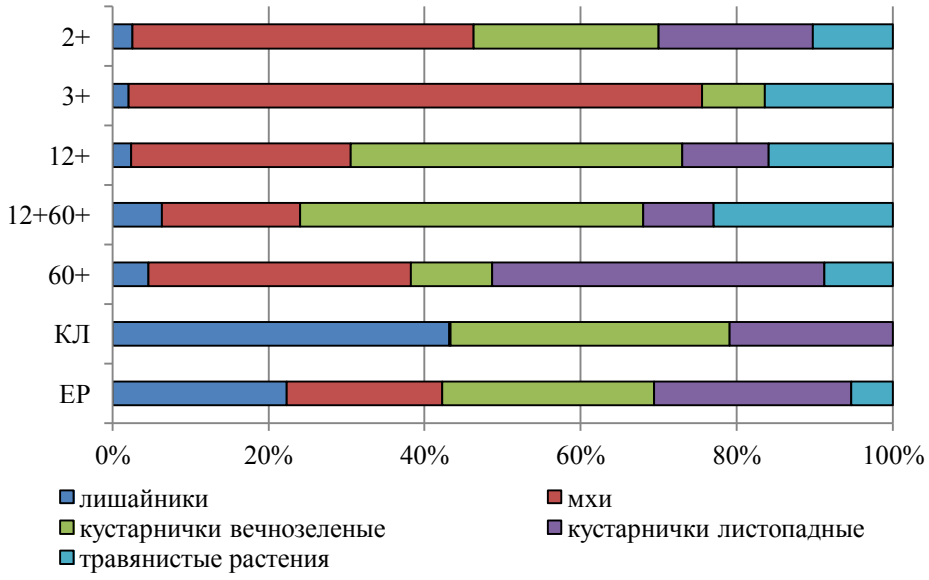


Рис. 2. Структура надземной биомассы растений в экосистемах постпирогенного ряда:
2+ — гарь 2+; 3+ — гарь 3+; 12+ — гарь 12+; 12+60+ — гарь 12+60+; 60+ — гарь 60+;
КЛ — кустарничково-лишайниковое сообщество; ЕР — ерниковое сообщество

Восстановление запасов надземной мортмассы при постпирогенном восстановлении также имеет восходящий тренд (рис. 3). Пирогенные потери мортмассы в экосистемах значительны: запасы мортмассы на гари 2+ в 15–20 раз ниже, чем в контрольных сообществах. При этом восстановление запасов происходит медленно, и даже через 60 лет после пожара этот показатель остается ниже, чем в контроле. Низкая скорость восстановления запасов мортмассы связана, на наш взгляд, с изменением биохимического состава, поступающего опада. Так, в контрольных экосистемах опад беден азотом и представлен в основном сильно лигнифицированными частями кустарничков, а также листьями кустарничков и остатками лишайников, что ограничивает возможность его быстрой деструкции микроорганизмами. В экосистемах постпирогенного ряда опад представлен в основном остатками травянистых растений, в большей степени обогащенных азотом и содержащих меньше лигнина, что, очевидно, повышает скорость его разложения микробиотой.

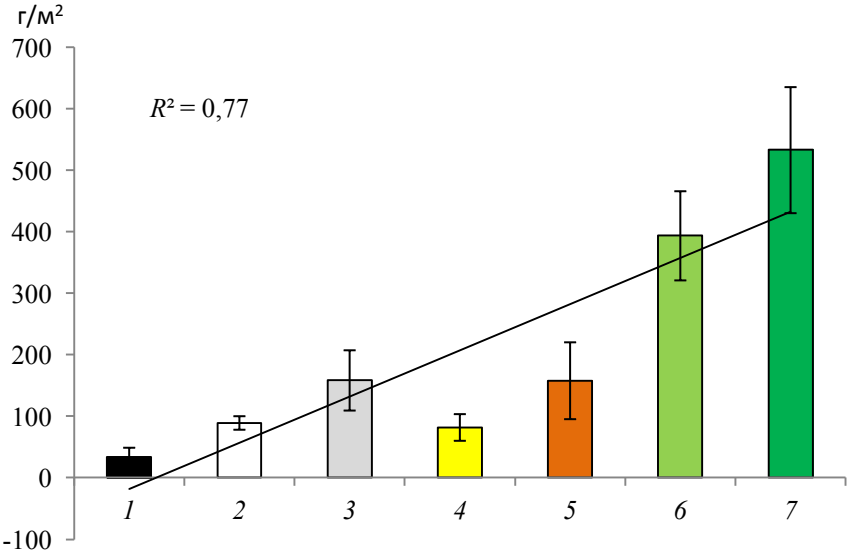


Рис. 3. Запасы надземной мортмассы растений в экосистемах постпирогенного ряда (расшифровка обозначений как на рис. 1).

Таким образом, постпирогенные сообщества наследуют флористический состав предшествующих фитоценозов и относятся к ассоциации ***Arctostaphylo (alpinae)–Empetretum hermaphroditi***, последовательно проходя фазы от доминирования мхов до восстановления доминирования кустарничков. По мере восстановления фитоценозов в них возрастает ОПП, а также восстанавливается доминирование лишайников. Тем не менее, даже через 60 лет после пожара растительные сообщества сохраняют следы пирогенного воздействия, что проявляется в высоком проективном покрытии травянистых растений, прежде всего *Chamaenerion angustifolium*, и листостебельных мхов (преимущественно *Polytrichum juniperinum*). Исходный запас надземной фитомассы приближается к запасам в контрольных сообществах только через 60 лет после пожара.

Исходя из низких темпов прироста фитомассы на гарях можно прогнозировать медленное восстановление стока углерода в постпирогенных экосистемах. Важный экосистемный пул углерода — мортмасса, являющаяся переходным звеном в стабилизации углерода в наземных экосистемах, не восстанавливается полностью даже через 60 лет после пожара.

Авторы выражают благодарность с. н. с. ПАБСИ Н. Е. Королевой за помощь при проведении исследования. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-34-00060 мол_а).

Литература

1. 4Александрова В. Д. Опыт определения надземной и подземной массы растительности в арктической тундре // Ботан. журн. 1958. Т. 43, № 12. С. 1748–1761.
2. Королева Н. Е. Основные биотопы горных и зональных тундр Мурманской области // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11 (3). С. 533–542.
3. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н. И. Базилевич и др. М.: Наука, 1978. 182 с.
4. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб: Мир и семья, 1995. 992 с.
5. ACIA Impacts of a Warming Arctic: Arctic climate impact Assessment. Cambridge University Press. 2004. 10 p.
6. 7Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.

7. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Ed.) (2013), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1535 pp., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.
8. Konstantinova N. A., Bakalin V. A., Andreeva E. N., Bezgodov A. G., Borovichev E. A., Dulin M. V., Mamontov Yu. S. Checklist of liverworts (Marchantiophyta) of Russia // Arctoa. 2009. Vol. 18. P. 1–63.
9. Santesson R., Moberg R., Nordin A., Tonsberg T., Vitikainen O. Lichen-forming and lichenicolous fungi of Fennoscandia. Uppsala, 2004. 359 p.
10. Westhoff V., Maarel E., van der. The Braun-Blanquet approach // Handbook of Vegetation Science, V. Ordination and classification of communities. The Hague, 1973. P. 617–626.

И. О. Нехаев
Лаборатория макроэкологии и биогеографии беспозвоночных, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, inekhaev@gmail.com

МОЛЛЮСКИ СЕМЕЙСТВА RISSOIDAE ЕВРАЗИЙСКОЙ АРКТИКИ: АНАЛИЗ ТАКСОНОМИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ПРИЗНАКОВ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ МОРФОЛОГИИ

Введение

Брюхоногие моллюски семейства Rissoidae распространены повсеместно в Мировом океане — от побережья Антарктиды до Северного Ледовитого океана. Риссоиды характеризуются небольшой раковиной, в редких случаях превышающей 5 мм в высоту. По этой причине фауна Rissoidae изучена значительно хуже по сравнению с большинством раковинных брюхоногих моллюсков. Первые варианты системы семейства были основаны исключительно на признаках дефинитивной раковины, тогда как использование особенностей строения протоконха и анатомии стало применяться таксономистами сравнительно недавно. Современная система Rissoidae на родовом уровне базируется на анатомическом исследовании единичных представителей большинства из описанных родов [3]. Для них изучены взрослая и эмбриональная раковины, пищеварительная система, женская и мужская половые системы, а также внешнее строение цефалоподиума [3].

Система семейства на видовом уровне, за редкими исключениями, базируется только на признаках раковины. Актуальный вариант системы риссиод Арктики к настоящему времени базируется на изучении только прото- и телеоконхов моллюсков, обитающих на крайнем севере Атлантики [5]. Моллюски семейства Rissoidae из морей Северного Ледовитого океана специально не изучались, и знания о морфологии некоторых видов до сих пор ограничиваются лишь общим описанием взрослой раковины. Молекулярные исследования риссоид единичны и не претендуют на сколь-либо полный охват семейства или какой-то географической или морфологической его группы. Однако показано, что многие широко распространенные и морфологически однородные роды, например, *Alvania* Risso, 1826 и *Onoba* H. Adams et A. Adams, 1852, являются полифилетичными (ссылка).

Согласно наиболее полной сводке, фауна риссоид арктических морей России включает в себя 16 видов. Позднее было показано, что по меньшей мере два из них не являются валидными (*Onoba karica* и *Punctullum minutum*), а два вида (*Alvania jeffreysii* и *Setia latior*) ошибочно указаны для фауны морей России [1, 2]. Пять видов, ранее не указанных для российской части Баренцева моря, были обнаружены в последние несколько лет [1]. Таким образом, согласно опубликованным данным, можно говорить о наличии семнадцати видов семейства в морях евразийской Арктики. Отнесение видов к отдельному роду на основании исключительно конхологических признаков затруднительно и зачастую ведет к неверным результатам [2].

В данной работе будет проведен анализ морфологических признаков, потенциально пригодных для уточнения родовой принадлежности у арктических представителей семейства Rissoidae.

Материалы и методы

Основу материала, использованного в настоящем исследовании, составили коллекции Зоологического института РАН (г. Санкт-Петербург) и сборы моллюсков Мурманского морского биологического института. Кроме того, были изучены коллекции моллюсков, хранящихся в зоологических музеях университетов Копенгагена, Осло и Бергена, а также Шведском музее естественной истории (Стокгольм). В настоящей работе обсуждаются виды, обитающие в Баренцевом, Белом, Карском, Восточно-Сибирском морях и море Лаптевых. Привлекался также материал из других районов (Гренландское и Норвежское моря, пролив Дейвиса), если он относился к видам, известным из основных исследуемых районов.

Раковины моллюсков были изучены при помощи стереомикроскопа и/или сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Признаки половой системы были изучены под стереомикроскопом и, при необходимости, зарисованы с использованием рисовального аппарата. Для описания половой системы была применена терминология, предложенная Пондером [3]. Для приготовления препаратов радул из моллюсков были

извлечены глотки и затем мягкие ткани были удалены при помощи раствора гипохлорида натрия. Промытые в дистилированной воде или спирте препараты были расправлены, высушены и изучены при помощи СЭМ.

Система риссоид принята согласно недавним опубликованным работам [3, 2, 5].

Результаты и обсуждения

Обзор признаков телеоконха. *Размер раковины.* Самым маленьким известным представителем семейства в Арктике (и одновременно одним из самых маленьких брюхоногих моллюсков в регионе) является *Obtusella intersecta* (S. Wood, 1857), высота раковины (ВР) наибольшего из промеренных экземпляров составила 1,5 мм при 4,1 обороте. Самыми крупными являются *Frigidoalvania janmayeni* (Friele, 1878) (ВР до 6 мм) и *Boreocingula martyni* (Dall, 1886) (ВР до 5,1 мм). Высота раковины остальных риссоид, как правило, составляет 2–3 мм. В целом размер раковины не является надежной характеристикой рода, но пригоден для использования на видовом уровне. *Форма раковины* арктических риссоид варьирует от ширококонической (когда высота лишь незначительно превышает высоту — *Punctulum wyvillethomsoni* (Friele, 1877)) до веретеновидной или башенковидной (*Onoba semicostata* (Montagu, 1803), *Rissoa parva* (da Costa, 1778)) (рис. 1). У большинства видов, однако, форма раковины схожа и занимает промежуточное положение между двумя указанными состояниями.

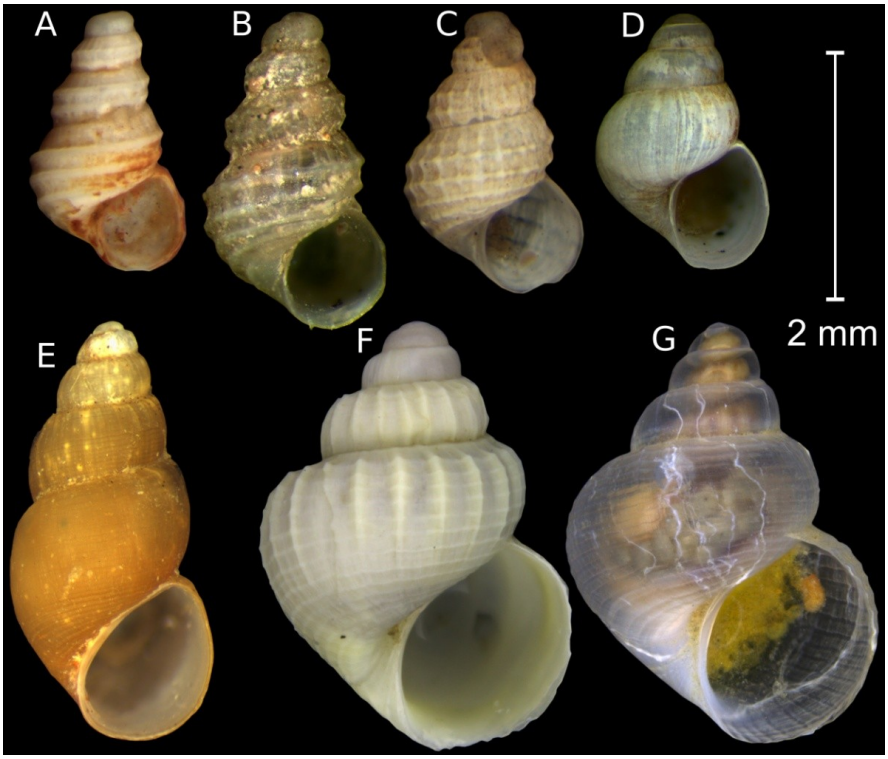


Рис. 1. Внешний вид раковин Rissoidae Арктики:
A–C — *Alvania scrobiculata* (Møller, 1842); D — *Pseudosetia turgida* (Jeffreys, 1870); E — *Onoba aculeus* (Gould, 1841); F–G — *Punctulum wyvillethomsoni* (линейка соответствует 2 мм)

Телеоконх большинства арктических риссоид несет *скульптуру*. Спиральная скульптура может быть представлена как частыми тонкими ребрышками (например, *Pusillina tumidula* (G.O. Sars, 1870), *Obtusella intersecta*), так и немногочисленными хорошо развитыми килями (*Alvania moerchi* (Collin, 1886)). Как правило, степень развития спиральной скульптуры является постоянной для каждого вида (исключением является *Rissoa parva*, которая может иметь или не иметь спиральную скульптуру). Осевая скульптура арктических Rissoidae подвержена значительной изменчивости и не может считаться постоянной даже внутри вида, а ее использование при классификации приводило к серьезным ошибкам. На основании развития осевой скульптуры в качестве самостоятельных видов долгое время рассматривали *Mohrensternia interrupta* (J. Adams, 1800) и *Punctulum minutum* Golikov et Fedjakov in Golikov, 1987, которые оказались лишь конхологическими вариететами *Rissoa parva* и *Pusillina tumidula* соответственно [1, 4]. Осевая скульптура не известна у арктических представителей родов *Boreocingula* Golikov et Kussakin, 1974, *Obtusella* Cossmann, 1921 и *Pseudosetia* Monterosato, 1884. Каждый из остальных родов включает хотя бы один вид, у которого известны формы как формы с развитой осевой скульптурой, так и лишенные ее (рис. 1, A–C, F–G). Однако характер осевой скульптуры (например, широкие осевые складочки или узкие ребрышки) вне зависимости от степени ее развития специфичен внутри вида. Раковины представителей рода *Pseudosetia* лишены всякой скульптуры.

Обзор признаков протоконха. Развитие Rissodae может проходить как с пелагической стадией, так и без нее. В исследуемом районе отмечено только четыре вида с пелагическим типом протоконха (*Alvania punctura* (Montagu, 1803), *Obtusella intersecta*, *Onoba semicostata* и *Rissoa parva*), их распространение в морях Арктики ограничено лишь прибрежной зоной Баренцевоморского побережья Кольского п-ова и Белым морем (для *R. parva*). Скульптура эмбриональной раковины является одним из наиболее разнообразных и в то же время постоянных внутри вида признаков. У арктических риссоид скульптура протоконха представлена или спиральными линиями, которые могут быть волнообразными, прерывистыми, частыми, или разреженными гранулами и канавками, которые могут располагаться хаотически или быть организованы в спиральные ряды (рис. 2). Протоконхи некоторых изученных *Frigidoalvania janmayeni* и *Puncutlum wyvillethomsoni* также могут нести слабую, теряющуюся спиральную скульптуру, хотя ранее для этих видов указывалось на полное отсутствие таковой [3, 5].

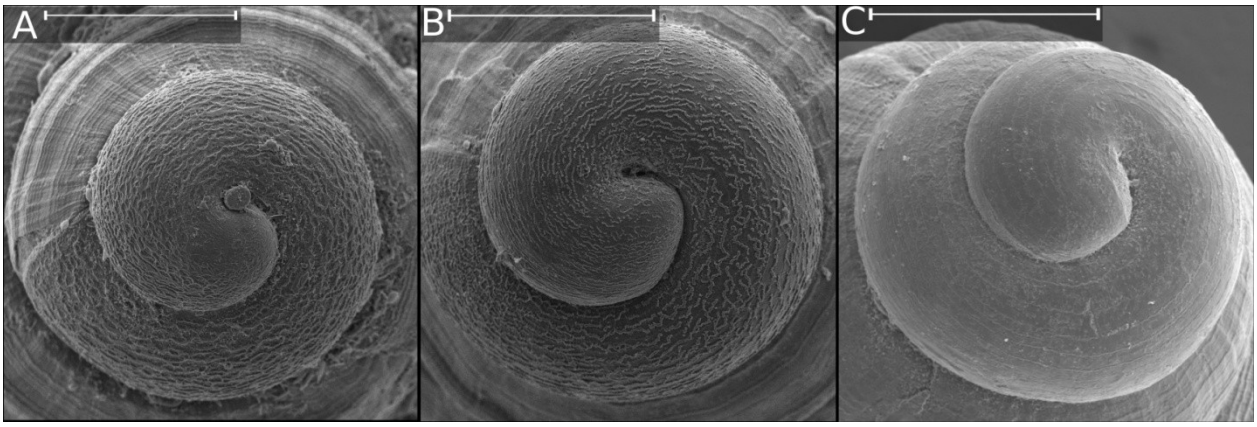


Рис. 2. Примеры протоконхов Rissoidae:
A — *Onoba torelli* Warén, 1998; B — *Alvania scrobiculata* (тот же экземляр, что и на рис. 1, A);
C — *Onoba islandica* (Friele, 1886) (линейка соответствует 300 мкм)

Обзор признаков радулы. Традиционно наибольшее значение придается центральному зубу радулы. У изученных видов Rissoidae различия были обнаружены по форме зуба и числу зубчиков на режущей пластинке (рис. 3). При этом оба признака имеют определенную изменчивость даже внутри вида, в том числе и на одной радулярной ленте. В частности, число зубчиков может быть неравным даже с разных сторон от центрального зубчика даже на одном зубе (рис. 3, C), однако общая характеристика радул довольно и пределы их изменчивости постоянны для выделенных по раковине родов, что в некоторых случаях позволяет использовать радулу в качестве надежного таксономического признака.

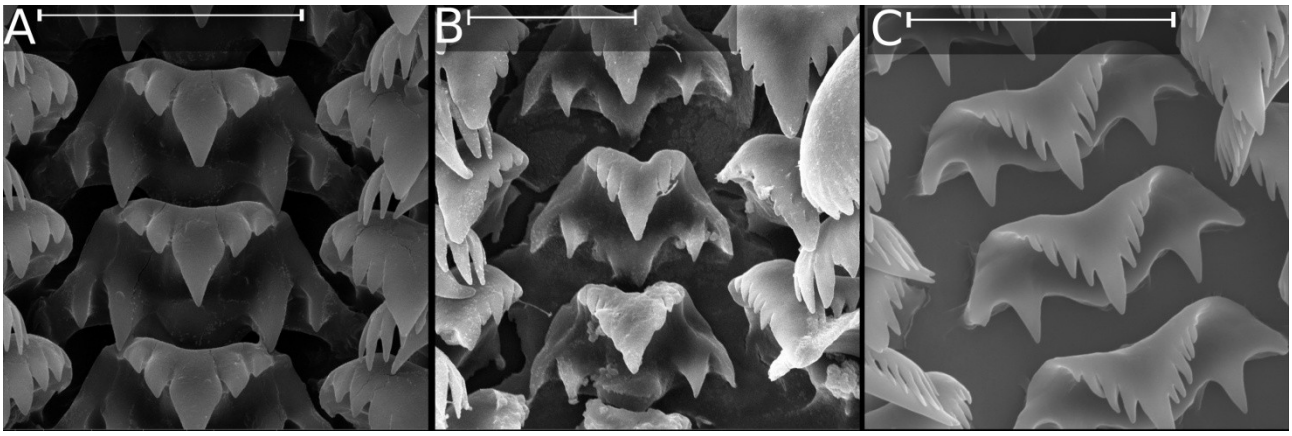


Рис. 3. Радулы Rissoidae (центральный сегмент):
A — *Rissoa parva*; B — *Boreocingula martyni*; C — *Alvania moerchi*. (линейка соответствует 20 мкм)

Из признаков *мужской половой системы* был изучен только пенис. Исследованные моллюски были лишены папил; в большинстве случаев копулятивные органы были сплющены с боков. У некоторых видов *Alvania* и *Rissoa* Desmarest, 1814, пенисы были округлые в сечении, как правило равномерно сужающиеся к дистальному концу. Обычно пенисы конхологически близких видов имели схожую морфологию, что делает признаки мужской половой системы удачным для родовой классификации.

Женская половая система наиболее богата признаками. В классификации риссоид используется форма двух желез (верхней и нижней по классификации W. Ponder (1984)) и двух резервуаров для спермы (бурсы и сперматеки). У некоторых видов (*Rissoa parva, Pusillina tumidula*) верхняя железа несла пальцевидные образования, также, вероятно, служащие для хранения спермы. Верхняя железа может быть изогнутой (некоторые изученные *Alvania*). Сперматека у *Alvania moerchi* состояла из нескольких (2–3) резервуаров, тогда как у всех остальных — из одного. Некоторые из изученных видов обладали обособленным каналом, подходящим к сперматеке (*Alvania moerchi*), другие виды были лишены его. Изменчивость бурсы выражается в ее размерах и форме. У некоторых видов (например, *Obtusella intersecta*) в дистальной части нижней железы имелась обособленная камера, вероятно также служащая для хранения спермы. В целом признаки женской половой системы стабильны внутри вида и как правило, образуют комбинации, пригодные для использования в надвидовой классификации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-34-00372 мол_а.

Литература

1. Nekhaev I. O. Marine shell-bearing Gastropoda of Murman (Barents Sea): an annotated check-list. Ruthenica // Russian malacological journal. 2014. 24(2). P. 75–121.
2. Nekhaev I. O. Morphology and systematic position of *Cingula tumidula* G.O. Sars, 1878 (Gastropoda: Rissoidae) // Zootaxa. 2016. 4184(2). P 395–400.
3. Ponder W. P. A review of the genera of the Rissoidae (Mollusca: Mesogastropoda: Rissoacea) // Records of the Australian Museum, supplement. 1984. 4. P. 1–221.
4. Warén A. Ecology and systematics of the European species of *Rissoa* and *Pusillina* (Prosobranchia: Rissoidae) // J. Marine Biological Association UK. 1996. 76. P. 1013–1059.
5. Warén A. New and little known Mollusca from Iceland and Scandinavia. Part. 3 // Sarsia. 1996. 81. P. 197–245.

Н. Н. Тростенюк, Е. А. Святковская, О. Б. Гонтарь
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина, Апатиты, tnn_aprec@mail.ru

СЕМЕННОЙ ОБМЕН — ОДИН ИЗ ПУТЕЙ СОХРАНЕНИЯ И ОБОГАЩЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА КОЛЬСКОМ СЕВЕРЕ

Обмен семенами между ботаническими садами и другими учреждениями представляет огромные возможности для расширения интродукционных исследований и сохранения генофонда растений, в том числе редких видов, внесенных в Красные книги разных рангов. С 1932 г. Полярно-альпийский ботанический сад-институт (ПАБСИ) проводит интродукционные испытания и вводит в культуру новые виды, не встречающиеся в аборигенной флоре Кольского Севера. ПАБСИ является самым северным в России (68°38' с. ш.) и одним из трех ботанических садов мира за Северным полярным кругом. Он находится в центре Хибинского горного массива и расположен по берегам нижнего течения реки Вудъяврйок, на склонах, вершине и в грандиозном Ботаническом цирке г. Вудъяврчорр и по склонам г. Тахтарвумчорр.

Коллекция интродуцентов, создаваемая на протяжении всего времени существования Сада, отражает положительный итог его экспериментов по переселению растений. Подавляющее число растений — это виды, произрастающие от горнолесного до альпийского поясов различных горных систем. Тот факт, что эти растения хорошо растут и развиваются в новых для них условиях существования, говорит о высоких адаптационных способностях видов высокогорных флор при их переселении в Субарктику. Коллекция переселенных за Полярный круг растений может служить своеобразным полигоном для изучения их морфолого-биологических и биохимических особенностей, для селекционной, учебной и научно-просветительской работы.

В настоящее время в коллекции интродуцированных многолетних растений находится 1327 видов и таксонов внутривидового ранга, которые относятся к 267 родам и 54 семействам. Анализ коллекционных фондов показал, что 59 % растений было выращено из семян, полученных по обмену с ботаническими садами России, ближнего и дальнего зарубежья.

Полярно-альпийский ботанический сад-институт ведет двухсторонний обмен каталогами и семенами с 30 зарубежными и почти со всеми ботаническими садами России. Каталог семян — это своеобразный отчет об итогах интродукционной деятельности, который отражает состав плодоносящих растений коллекционного фонда. За время существования ПАБСИ издано 67 номеров каталогов. Особенно оживленный обмен семенами и каталогами Сад ведет с коллегами из Австрии, Германии, Италии, Польши, Румыния, Франции, Чехии, Швейцарии и Японии. За период с 2012–2016 гг. связи ПАБСИ с ботаническими садами расширились на 19 адресов: Австрия (Клагенфурта), Венгрия (Будапешт), Греция (Афины), Италия (Милан, Лама-дей-Пелинья, Парма), Канада (Ньюфаундленд, Гэтино), Польша (Гродзиск), Франция (Сент-Уан, Фене), Чехия (Тéплице, Оломоуц), Южная Корея (Канвондо, Пхочхон), Россия (Переславль-Залесский Ярославской обл, дендрологический сад им. С. Ф. Харитонова, ботанический сад (Казань), Соликамск, Волгоград). За текущий

период Садом отправлено 4302 образца семян, получено 2964. Коллекционные фонды Сада содержат большое количество растений аборигенной флоры и растений высокогорных районов различных континентов, семена которых имеют особую ценность для всех, кого интересуют проблемы устойчивости и приспособляемости растений в суровых климатических условиях. Благодаря семенному обмену коллекционные питомники пополнились 154 видами травянистых растений, из них 31 впервые испытаны: из Германии — *Iris caucasica* Hoffm. (Фрайбург), *I. tectorum* Maxim. (Тюбинген), *Gypsophila oldhamiana* Miq. (Рабенау), *Plantago media* L., *Potentilla hippiana* Lehm. (Киль), Чехии — *Aquilegia barnebyi* Munz, *A. baluchistanica* Qurenshi et Chaudri, *Iris chrysagrapes* Dykes (Пльзень), Швейцарии — *Hypericum barbatum* Jacq., *Geranium columbinum* L., *Teucrium chamaedrys* L. (Санкт-Гален), *Digitalis ferruginea* L. (Берн), Австрии — *Dianthus integer* Vis., *Saponaria cypria* Boiss., *Plantago sempervirens* Granz (Инсбрук), Италии — *Geranium renardii* Trautv. (Аоста), *Iris mandshurica* Maxim. (Бормио), Исландии — *Iris* bulleyaha (Рейкьявик), Франции — *Centaurea aspesa* L. *subsp. aspesa* (Париж), *Sedum telephium* L. *subsp. telephium* (Нант), Польши — *Bidens ferulaefolia, Lychnis flos-cucule* L. (Быдгощ), Венгрии — *Geranium asphodeloides* Burm. (Вацратот), Литвы — *Gentiana crassicaulis* Duthie ex Burkill (Шауляй), *Hemerocalis yezoensis* Hara (Каунас), Украины — *Hypericum chinense* L., *Waldstenia geoides Willd.* (Киев), 4 вида из России — *Dianthus crinaceus* Boiss. (Благовещенск), *Veronica porphyriana* Pavlov, *V. prostrata* L. (Томск), *Lychnis flos-jovis* (L.) Desr. (Киров).

Одной из важных задач ботанических садов является создание коллекций редких и исчезающих видов, внесенных в Красные книги любых рангов. Важная роль в пополнении коллекционных фондов редких растений в ПАБСИ также отводится семенному обмену. На питомниках насчитывается 445 образцов редких и охраняемых видов травянистых интродуцентов, принадлежащих к 135 видам, 65 родам и 27 семействам [6]; 52 % видов выращены из семян, полученных по обмену с другими ботаническими садами, среди них более 60 % видов ежегодно плодоносят.

Большая роль семенному обмену отводится и при формировании озеленительного ассортимента для заполярных городов. Первый в мировой практике оригинальный перечень декоративных травянистых растений для городов Заполярья был представлен Н. А. Авророиным в начале 1940-х гг. [1]. В результате длительных испытаний ПАБСИ ассортимент травянистых интродуцентов постоянно изменялся качественно и количественно в соответствии с новым требованием времени. В 1941 г. он включал 104 вида травянистых растений [1], 1956 г. — 64 вида [5], 1982 г. — 75 [4], 2001 г. — 102 [7, 8], 2010 — 109 [2].

В настоящее время озеленительный ассортимент состоит из 115 видов травянистых многолетников и представлен 26 семействами: *Ranunculaceae* — 24 вида, *Asteraceae* — 19, *Primulaceae* Vent. — 15, *Rosaceae* Juss. — 6, *Alliaceae* J. Agardh — 4, *Campanulaceae*-5, *Liliaceae* Juss. — 4, *Polygonaceae* Juss. — 5, *Crassulaceae* DC — 3, *Papaveraceae* — 3, *Hyacinthaceae* Batsch — 2, *Fabaceae* — 2, *Fumariaceae* DC. — 2, *Gentianaceae* Juss. — 2, *Lamiaceae* Lindl. — 2, *Polemoniaceae* — 2, *Iridaceae* Juss. — 4, *Hemerocalliaceae* R. Br. — 2, *Amaryllidaceae* J. St. Hil — 1, *Apicaceae* Lindl. — 1, *Asphodelaceae* Juss. — 1, *Caryophyllaceae* — 1, *Paeoniaceae* Rudolphi — 1, *Saxifragaceae* Juss. — 1, *Scrophylariaceae* — 2, *Violaceae* — 1. Из них 18 видов из 12 семейств являются редкими и нуждающимися в охране видами России, ближнего и дальнего зарубежья. К ним относятся: *Aconitum firmum* Reichenb., *Arnica montana* L., *Doronicum cataractarum* Widder, *Eryngium alpinum* L., *Erythronium sibiricum* (Fisch. et C.A.Mey.) Kryl., *Fritillaria meleagris* L., *Gentiana lutea* L., *Helleborus purpurascens* Waldst. et Kit., *Lillum martagon* L., *L. pensylvanicum* Ker-Gawl., *Narcissus angustifolius* Curt, *Paeonia anomala* L., *Papaver orientale* L., *Paradisea liliastrum* (L.) Bertol., *Primula juliae* Kusn., *P. kitaibeliana* Schott, *Rhodiola rosea* L., *Scilla rosenii* C. Koch [3].

Озеленительный ассортимент в 2016 г. пополнился 6 новыми видами (*Iris bloudowii* Ledeb**.,** *Iris pseudocyperus* Schur, *Trollius ranunculinus* (Smith) Stearn, *Caltha palustris* L., *Primula minima* L., *Wulfenia carinthiaca* Jacq.), в том числе 3 вида (*Trollius ranunculinus*, *Wulfenia carinthiaca*, *Primula minima*) получены по семенному обмену. Ниже приводится их краткая характеристика.

Trollius ranunculinus — многолетник высотой до 30 см. В Саду испытывается с 1951 года, семена получены из Нальчика. Цветки золотисто-желтой окраски, диаметром 5,0–5,5 см, широко открытые. Цветет с середины июня в течение 20 дней. Семена созревают ежегодно в августе. Умеренно теневынослив. Зимостоек. Предпочитает влажные, рыхлые, плодородные почвы. Размножается семенами (с промораживанием) и делением кустов. Рекомендуется для создания групп, рабаток, каменистых садов, миксбордеров.

Wulfenia carinthiaca — многолетник 20–30 см высотой. В Сад поступила семенами культурными в 1947 г. из Бергена (Норвегия). Листья вечнозеленые, овальные, с выраженным жилкованием, зубчатые, темно-зеленые, собраны в прикорневые розетки. Цветки трубчато-колокольчатой формы, темно-фиолетово-синие, собранные в компактные однобокие кисти. Цветет в конце июня в течение 10 дней. Для обильного цветения лучше выбирать под посадку солнечное место и хорошо дренированную песчаную почву с небольшим содержанием гумуса. В период вегетации требовательна к влажности почвы. Зимостойка. Размножается семенами (холодная стратификация) и делением кустов ранней весной или осенью. Рекомендуется для альпийских горок, рабаток и групп на газоне.

Primula minima — многолетнее растение высотой 3–5 см с коротким толстым корневищем. В Сад поступила дикими семенами в 1965 г. из Вены (Австрия). Эта примула одна из самых низкорослых в роду. Листья плотные, кожистые, клиновидные, в верхней части крупнозубчатые, собраны в прикорневые розетки, образующие плотные подушковидные дернинки. Цветки розовые на очень коротких цветоножках, часто

расположены ниже листьев, диаметром 2,0–2,5 см. Кусты быстро разрастаются, но только при хорошем увлажнении. Цветет в начале июня в течение двух недель. Зимостойка, влаголюбива. В начале роста и во время цветения примула маленькая предпочитает достаточно влажные почвы. На сухих участках примула мельчает и плохо разрастается. Через каждые два-три года необходимо подсыпать плодородную почву, чтобы избежать оголения корневищ. В почвенную смесь полезно добавить гранитную крошку и торф. Наиболее рентабельным и экономичным в наших условиях является вегетативный способ размножения. Деление кустов можно производить в течение всего сезона, но лучше всего рано весной (до цветения) или осенью. Хорошо растет на притененных, от полуденного солнца, участках. Высаживать лучше на северном склоне, где будет достаточно рассеянного света и растения не пострадают от перегрева. Рекомендуется для альпийских горок, а также в групповых посадках.

В настоящее время актуальность семенного обмена не снижается, а, наоборот, с каждым годом расширяется. Отмечается возрастающий интерес ботанических садов к редким растениям аборигенной флоры и интродуцентов из высокогорных районов различных континентов, семена которых имеют особую ценность для всех, кого интересуют проблемы устойчивости и приспособляемости растений в суровых климатических условиях.

Литература

1. Аврорин Н. А. Чем озеленять города и поселки Мурманской области и северные районы Карело-Финской ССР. Кировск, 1941. 126 с.
2. Зеленое строительство в городах Мурманской области / О. Б. Гонтарь и др. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 224 с.
3. Интродукция декоративных многолетних травянистых растений на Кольский Север / Н. Н. Тростенюк и др. // Цветоводство: история, теория, практика: материалы VII Междунар. науч. конф. (24–26 мая 2016, Минск, Беларусь) / редкол.: В. В. Титок и др. Минск: Конфидо, 2016. С. 214–217.
4. Озеленение городов и поселков Мурманской области: практическое руководство. Мурманск: Кн. изд-во, 1982. С. 60–82.
5. Основной ассортимент озеленительных растений для Мурманской области / Н. А. Аврорин и др. Кировск: Кировский рабочий, 1956. С. 15–25.
6. Редкие и нуждающиеся в охране растения России и зарубежных стран, интродуцированные в Полярно-альпийский ботанический сад / сост. Т. П. Белова и др. Кировск, 2004, 119 с.
7. Святковская Е. А., Тростенюк Н. Н. Декоративные многолетники — основа цветочного оформления городов Кольского Севера // Экология большого города: альманах М., 2005. № 11.
8. Тростенюк Н. Н., Святковская Е. А. Декоративные многолетники для озеленения городов Кольского Севера // Ботанические сады России: история, место и роль в развитии современного общества: тез. докл. Всерос. науч.- практ. конф. Соликамск, 2001. С. 165–166.

И. М. Штабровская[1], И. В. Зенкова[2]

[1]*Мурманский государственный технический университет, Апатитский филиал, Апатиты, ishtabrovskaya@mail.ru*

[2]*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, zenkova@inep.ksc.ru*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛКИ В ЛИШАЙНИКОВОЙ И КУСТАРНИЧКОВОЙ ТУНДРЕ ХИБИН

Введение

В последние годы исследования температурного режима горных почв Мурманской обл. проводятся с использованием автономных программируемых терморегистраторов нового поколения [1–3]. Ими установлено, что высотные различия большинства температурных показателей (значения среднесуточных, средних ежемесячных, среднелетних температур, их динамика и варьирование, сумма положительных, активных и эффективных температур и др.) в значительной степени зависят от экспозиции горных склонов. Наличие платообразных участков в ландшафте Хибинского горного массива позволяет исследовать особенности сезонной динамики температуры горных почв без влияния фактора экспозиции. В данном сообщении представлены результаты исследования динамики температуры в органогенном горизонте (подстилке) горно-тундровых почв Хибин на примере горы Вудъяврчорр.

Объекты и методы

Работы выполнены в полевой сезон 2016 г. пологом участке Ботанического цирка в тундровом поясе горы Вудъяврчорр, 67°38'34" с. ш., 33°39'12-19" в. д. Растительный покров площадки был представлен несколькими типами тундровой растительности, для целей исследования были выбраны два участка горной тундры: с лишайниковым (*ТЛ*, 545 м н. у. м.) и кустарничковым (вороничным, *ТВ*, 547 м н. у. м.) покровом (рис. 1).



Тундра лишайниковая Тундра кустарничковая

Рис. 1. Исследованные участки горной тундры на площадке Ботанического цирка горы Вудъяврчорр, Хибины

В конце июня 2016 г. на участках лишайниковой и кустарничковой тундры в подстилку на глубину 5 см заложили по одному автоматическому регистратору температуры — термохрону или «таблетке» серии ТРВ-2 с предельным диапазоном измерений от –25 до +40 °С (рис. 2).

Термохроны фиксировали температуру в подстилках каждые 2 часа (внутрисуточная динамика) с конца июня до первых чисел октября (летняя динамика). Общий период измерения температуры составил 107 сут, в том числе: в конце июня — 9, в июле и августе — по 31, в сентябре — 30, в начале октября — 5 суток. Общий объем данных за этот период для двух тундровых участков равнялся 2546 измерениям.

После выемки термохронов из почвы в конце вегетационного сезона их подсоединяли к компьютеру при помощи USB-переходника и переносили показания в управляющую программу (рис. 2). Полученные данные обрабатывали в программах Excel и Statistica-7 (описательная статистика, корреляционный и дисперсионный анализ).

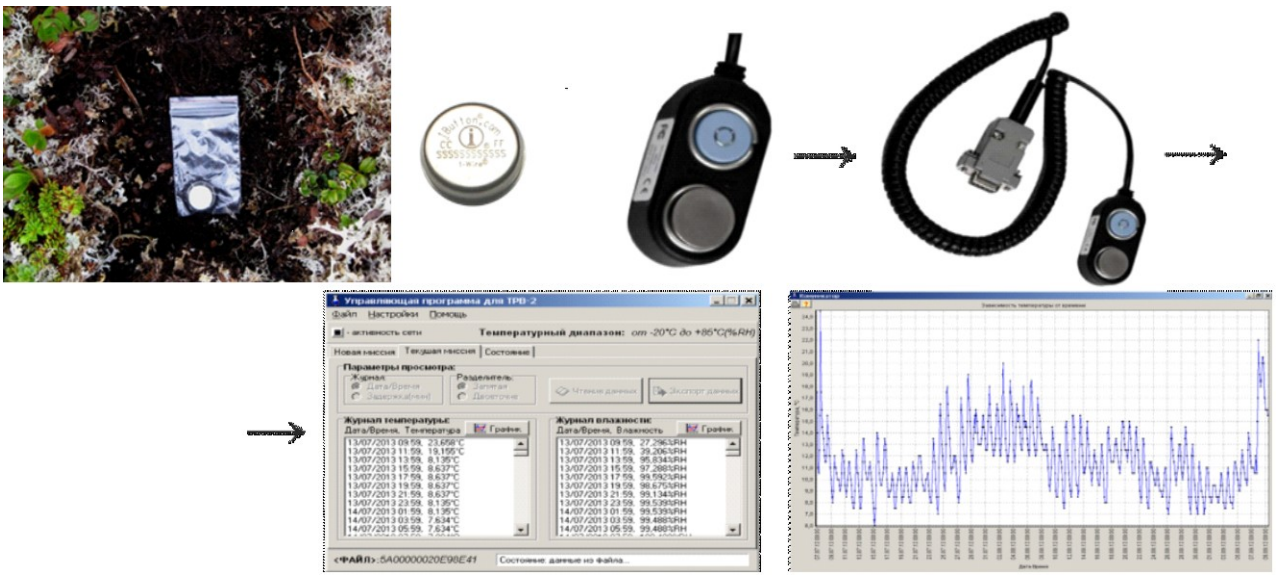


Рис. 2. Схема переноса информации с термохрона на компьютер

По 12 измерениям за каждые сутки рассчитывали среднесуточные значения температуры подстилок, Tсс. По усредненным за каждый месяц среднесуточным значениям вычисляли среднемесячные значения температуры Tсм, а по значениям, усредненным за весь период исследования, — среднелетние значения Tсл. Сравнивали максимальные и минимальные внутрисуточные (Tвс$_{min}$, Tвс$_{max}$), среднесуточные (Tсс$_{min}$, Tсс$_{max}$) и среднелетние (Tсл$_{min}$, Tсл$_{max}$) температуры. Определяли суммы положительных $\sum T$сс $\geq$ 0 °С, активных $\sum T$сс $\geq$ +5 °С и эффективных температур $\sum T$сс $\geq$ +10 °С, отмечали даты перехода через эти температурные пороги.

При сравнении значений температуры подстилки между участками лишайниковой и кустарничковой тундры использовали t-критерий Стьюдента. Достоверность различий температурной динамики на участках оценивали методом дисперсионного анализа с использованием F-критерия Фишера. Вариабельность ежемесячной (за июль, август, сентябрь) и летней (с июля по сентябрь) динамики среднесуточной температуры подстилок оценивали с использованием коэффициента вариации CV, %. Зависимость динамики температуры подстилок и атмосферного

воздуха за аналогичный период оценивали методом корреляционного анализа. Данные по температуре атмосферного воздуха за период исследования заимствованы с метеосайта http://rp5.ru для метеостанции «Кировск», расположенной неподалеку в пределах Хибин (67°38' с. ш., 33°43' в. д.) на высоте 324 м над ур. м.

Результаты

На протяжении периода измерений с 21 июня по 5 ноября *T*cc в подстилке на глубине 5 см изменялась от +2...+3 до +14...+17 °C. Летняя динамика *T*cc была сходной на двух участках: наибольший прогрев подстилок наблюдался на протяжении июля и первой декады августа, т. е. около 40 сут, далее происходил постепенный осенний спад. К первым числам октября *T*cc подстилок опустилась до 2 °C, однако оставалась положительной (рис. 3).

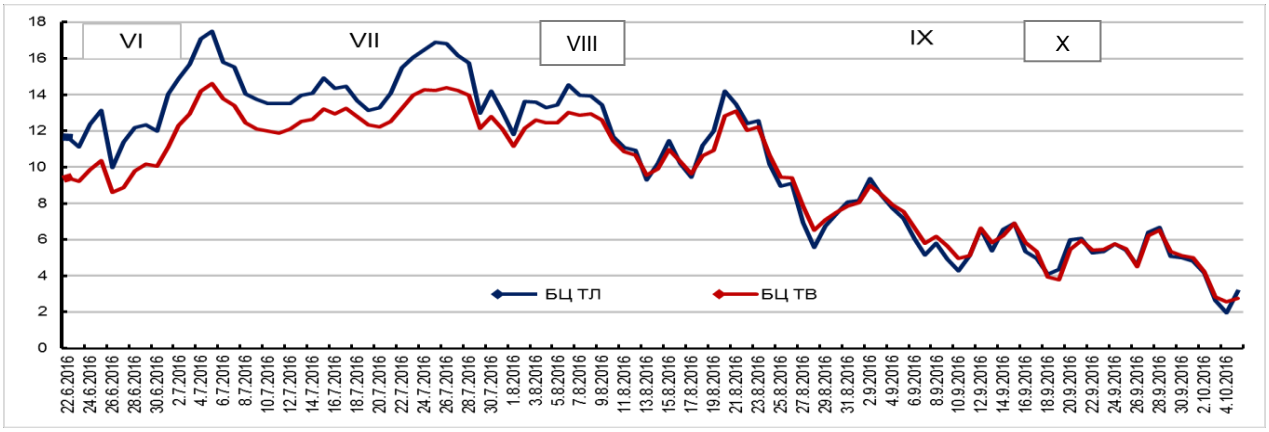


Рис. 3.Динамика среднесуточной температуры подстилок (*T*cc, °C) на площадке Ботанического цирка (БЦ) с июня по октябрь 2016 г. (*n* = 107 сут). Здесь и далее на рис. 4–6 ТЛ — тундра лишайниковая, ТВ — тундра кустарничковая (вороничная)

Различия между участками по динамике среднесуточной температуры *T*cc подстилок за исследованный период оказались недостоверны: $F \leq 1{,}31$ при $p \geq 0{,}25$. Среднелетние значения температуры подстилок *T*cл были сопоставимы: 10,4 ± 0,4 °C в ТЛ и 9,6 ± 0,3 °C в ТВ, их различия не достоверны: $t_{st} = 1{,}51$ при $p = 0{,}05$ и $t_{табл.} \geq 1{,}98$.

Летняя динамика *T*cc подстилок исследованных горно-тундровых участков достоверно коррелировала с ходом *T*cc атмосферного воздуха: коэффициент корреляции *r* превысил уровень 0,90 и был выше для почвенного покрова *TB* ($r = 0{,}94$), чем ТЛ ($r = 0{,}91$) (рис. 4).

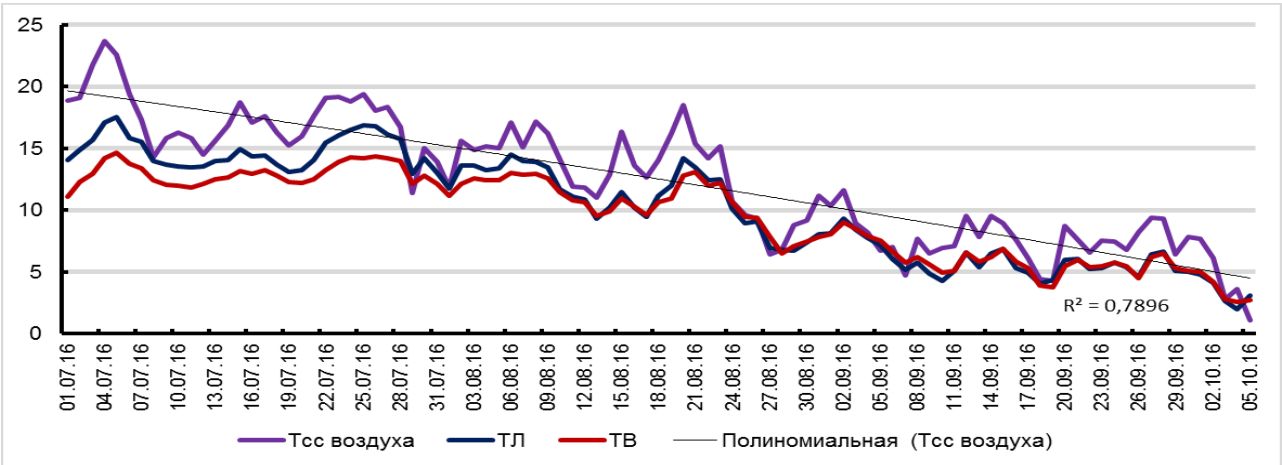


Рис. 4. Корреляция летней динамики среднесуточных температур подстилки (*T*cc, °C) на участках тундры лишайниковой и кустарничковой с температурой атмосферного воздуха с июля по сентябрь 2016 г.

Сумма среднесуточных температур $\sum T$cc за 3 месяца была ниже в подстилках горной тундры по сравнению с атмосферным воздухом: 935–1000 °C против 1200 °C. На участке ТЛ этот показатель был на 65 °C выше по сравнению с ТВ, имеющей более мощный слой подстилки, густо пронизанный корнями кустарничков (рис. 5).

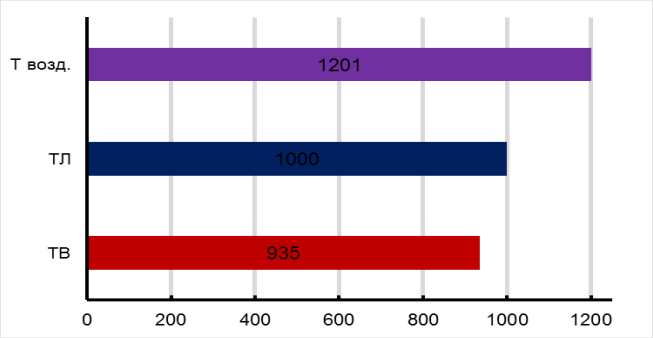


Рис. 5. Сумма среднесуточных температур (∑*Tcc*, ºС) атмосферного воздуха (Т возд.) и горно-тундровых подстилок за период 01.07-30.09.16. (n суток = 92)

В самый теплый месяц вегетационного сезона (июль) сумма *Tcc* была на 56 ºС выше в *ТЛ* по сравнению с *ТВ*, однако на обоих участках не превысила 460 ºС (рис. 6); ∑*Tcc* воздуха составила 540 ºС. В августе ∑*Tcc* подстилок опустилась до 330–340 ºС, в сентябре – до 170–180 ºС; ∑*Tcc* воздуха составила в эти месяцы 397 ºС и 230 ºС. Следовательно, подстилка ТЛ лучше прогревалась в первой половине вегетационного сезона по сравнению с ТВ, но начиная с первой декады августа эта разница нивелировалась. В конце сентября и первых числах октября *T*сс горно-тундровых подстилок на глубине 5 см оставалась положительной.

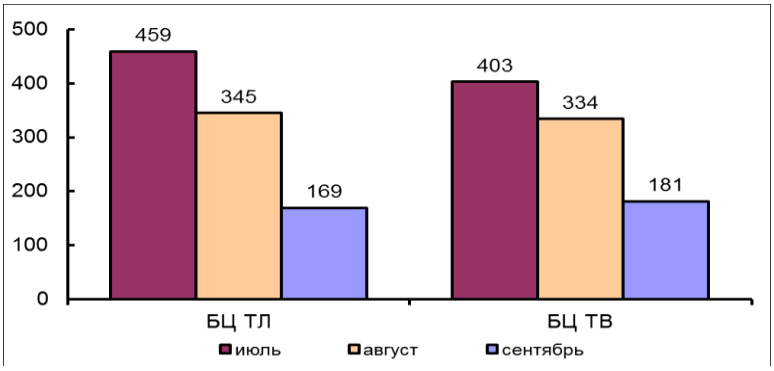


Рис. 6.Сумма среднесуточных температур (∑*T*сс, °С) в подстилке на участках тундры лишайниковой и кустарничковой в исследованные месяцы 2016 г.

Заключение

Динамика среднесуточной температуры подстилок за период с конца июня до начала октября имеет общий ход для участков горной тундры и достоверно коррелирует с ходом среднесуточной температуры атмосферного воздуха. В первой половине вегетационного сезона горная тундра с лишайниковым покровом прогревается достоверно лучше, чем тундра с кустарничковым покровом, однако со второй декады августа до конца сентября температурные различия подстилок нивелируются. Наибольшие значения среднесуточной температуры подстилок на глубине 5 см не превысили на протяжении вегетационного сезона +17 °С. До конца сентября — начала октября температура органогенного горизонта горно-тундрового пояса Хибин сохраняет положительные значения.

Литература

1. Зенкова И. В. Динамика температуры подстилок в высотном градиенте горы Юкспорр (Хибинский массив) // Проблемы изучения и сохранения растительного мира Восточной Фенноскандии». Апатиты, 2015а. С. 34–35. URL: http://kpabg.ru/sites/default/files/ra2-2015.pdf
2. Зенкова И. В. Летняя динамика температуры в горных почвах заповедника «Пасвик» // Вестник МГТУ, 2013. Т. 16. № 4. Естественно-технические науки. С. 715–725.
3. Зенкова И. В. К характеристике летней динамики температуры подстилок в горах Хибинского массива (Мурманская область) // «Фундаментальные и прикладные вопросы лесного почвоведения». Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2015б. С. 85–87.
4. «Rp5.ru» — расписание погоды. URL: http://rp5.ru.

Секция 10. ЧЕЛОВЕК В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ: АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ И ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ

Р. В. Алексеев[1], С. Н. Коломейчук[2], А. Ю. Мейгал[1]
[1]*Петрозаводский университет, кафедра медицинского факультета, Петрозаводск*
[2]*Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск*

ГЕНЫ-МАРКЕРЫ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ К СКОРОСТНО-СИЛОВЫМ ВИДАМ СПОРТА У НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Введение

Знание об индивидуальных геномах спортсменов важно для спортивной медицины, для теории и практики спорта. Физическая работоспособность является комплексным, наследственным, количественным признаком, на фенотипическое проявление которого влияют многочисленные гены и факторы окружающей среды. Несмотря на большое количество генов-кандидатов (известно более 200 аутосомных генов, ассоциированных с количественными признаками, 7 генов на Х-хромосоме и 18 митохондриальных генов), каждый отдельный ген-кандидат вносит лишь небольшой вклад в фенотип спортсмена. На основе результатов генетического тестирования каждому спортсмену может быть рекомендована наиболее подходящая спортивная специализация и персонализированный тренировочный режим, что позволит ему достичь статуса элитного спортсмена [1, 3, 6].

Цель исследования — оценить особенности генома спортсменов Республики Карелия на основе исследования ДНК-маркеров, ассоциированных с индивидуальными фенотипическими проявлениями в ответ на физические нагрузки.

Методы и организация

База ДНК была создана в лаборатории генетики Институт биологии Карельского научного центра РАН. Комитет биоэтики ИБ КарНЦ РАН одобрил данное исследование. От каждого испытуемого было получено письменное согласие на участие в исследовании.

Группы испытуемых спортсменов были сформированы на основе направленности тренировочного процесса в зависимости от преобладающего в нем физического качества: «выносливость», «сила и «быстрота».

Группы испытуемых — спортсмены Республики Карелия, $N = 78$ (возраст 22,0±6,3 лет):

I группа «выносливость» — $N = 27$;

II группа «сила ибыстрота» — $N = 51$;

Контрольная группа — 25 здоровых представителей популяции Карелии (21,3±4,3 лет), не имеющих какого-либо спортивного опыта.

Генетическое тестирование:

Для молекулярно-генетического анализа использовали геномную ДНК испытуемых. Генотипирование образцов ДНК проводили при помощи метода полимеразной цепной реакции (ПЦР). Далее проводили ПДРФ-анализ, применяя для гидролиза ампликонов специфичные эндонуклеазы рестрикции. Исследуемые генетические маркеры: ACTN3 (a-actinin-3) 1747C > T (R577X); ACE (angiotenstin converting enzyme) I/D; BDKRB2 (bradikine II receptor, type alpha) 1166A > C. Анализ ПЦР-продуктов проводился электрофоретическим разделением в 8 % ПААГ с последующей окраской бромистым этидием и визуализацией в проходящем ультрафиолетовом свете.

Соответствие распределения генотипов равновесию Харди-Вайнберга оценивали методом хи-квадрат (χ^2) с уровнем значимости 0,05. Сравнительный анализ генотипов спортсменов и функциональных показателей проводили методом ANOVA. Влияние генотипов на физическое развитие и функциональные возможности спортсменов оценивали методом регрессионного анализа. Программное обеспечение для статистических расчетов: SPSS 13.0.

Результаты и их обсуждение

Показатели физического развития и функциональных возможностей у спортсменов Карелии подтвердили статус элитных спортсменов. На основании статистической обработки результатов выявлен генетический характер фенотипических характеристик спортсменов.

Ген ACTN3 является геном-кандидатом, ассоциированным с физической работоспособностью человека. Экспрессия ACTN3 обнаружена только в быстрых мышечных волокнах, отвечающих за генерацию силы при высокой скорости. Отсутствие белкового продукта ACTN3 вызвано однонуклеотидной заменой 1747C > T (R577X, rs 1815739) в 16 экзоне гена. R/X полиморфизм гена ACTN3 не связан с мышечной патологией [1]. Частота встречаемости полиморфизма R/X гена ACTN3 у карельских спортсменов силовой специализации (R/R — 29,6 %; R/X — 67,1 %; X/X — 3,9 %; $p = 0,02$) и в контрольной группе (R/R — 50,2 %; R/X — 37,3 %; X/X — 13,5 %; $p = 0,12$) статистически значимо различалась. Распределение частот аллелей и генотипов по ACTN3 среди спортсменов отклонялось от равновесия Харди-Вайнберга, что указывает на произошедший отбор. ACTN3 X/X генотип ассоциирован с повышением качества выносливости. В нашем исследовании спортсмены с генотипом X/X, в мышцах которых отсутствовал белок ос-актинин-3, имели высокие характеристики выносливости, скорости и силы.

Белок, кодируемый геном ACE, является важным компонентом ренин-ангеотензиновой системы. Мутация в 16-м интроне гена ACE ведет к двум аллельным вариантам:

D — отсутствие фрагмента ДНК 287 п.о. (Alu последовательность),

I — наличие данного фрагмента ДНК.

Данные об ассоциациях I/D полиморфизма гена ACE варьируют в различных популяциях и исследованиях [1, 3, 4]. Частота встречаемости полиморфизма I/D гена ACE у карельских спортсменов (I/I — 15,9 %; I/D — 51,7 %; D/D — 32,4 %; $p = 0,52$) и в контрольной группе (I/I — 10 %; I/D — 55 %; D/D — 35 %; $p = 0,23$) статистически значимо не различались ($x2 = 2,35$; d.f. = 2, $p = 0,093$). Результаты нашего исследования соответствуют данным других исследователей о том, что частота встречаемости D/D генотипа по гену ACE выше у спортсменов по сравнению с контрольной выборкой, но подтверждают результаты об ассоциации I аллеля с выносливостью. У спортсменов с генотипами i/I и i/D по гену ACE индекс массы тела (ИМТ) жировая масса и мышечная масса оказались выше по сравнению со спортсменами — носителями D/D генотипа ($p < 0,05$). I/I генотип по гену ACE ассоциирован с проявлением выносливости, D/D генотип — скоростно-силовых качеств. i/D генотип по ACE связан как с выносливостью, так и со скоростно-силовыми качествами.

Брадикиновый рецептор β2 — один из основных медиаторов эффекта брадикина, экспрессируется в различных органах и тканях, кодируется геном BDKRB2 (локализация: 14q32.1–q32.2). В 1-м экзоне этого гена обнаружен инсерционно-делеционный полиморфизм (вставка или выпадение 9 нуклеотидов; +9/-9 или I/D), который является функциональным и активно изучается спортивными генетиками. С отсутствием вставки (-9) связывают высокую экспрессию гена [6]. Также А. Г. Вильямс с соавторами (2004) своей работой показали, что BDKRB2 -9 аллель ассоциируется с высокой эффективностью мышечного сокращения [7] и, вероятно, может положительно коррелировать с силой [5]. Частота встречаемости полиморфизма +9/-9 гена BDKRB2 у карельских спортсменов (+9/-9-31,9 %; +9/-9-36,0 %; -9/-9 -32,1 %; $p = 0,52$) и в контрольной группе (+9/+9-32 %; +9/-9-56 %; -9/-9-12 %; p=0,23) статистически значимо были различны ($x2 = 9,35$; d.f. = 2, $p = 0,013$).

Генотипы по исследуемым генам имеют различное влияние на функциональные возможности; они статистически значимо ассоциированы с показателями физических возможностей. Спортсмены — носители генотипов X/X по ACTN3, I/I по ACE, C/C по PPARA характеризуются более высокими значениями максимальной и взрывной мышечной силы. Спортсмены — носители генотипов X/X и R/X по ACTN3, A/A по AGTR1, D/D по ACE, G/G по PPARA, C/C и C/G по PPARG, как правило, имеют более высокие показатели аэробных возможностей. Таким образом, обнаружена ассоциация между полиморфизмами генов-кандидатов и физической активностью человека. Однако полученные результаты требуют проведения дальнейших исследований на больших выборках спортсменов.

Литература

1. Ахметов И. И. Молекулярная генетика спорта. М.: Советский спорт, 2009. С. 119–300.
2. ACE and AGTR1 Polymorphisms and Left Ventricular Hypertrophy in Endurance Atletes / M. Di Mauro et al. // Medicine & Science in Sports & Exercise. 2010. 42(5). P. 915–921.
3. Ahmetov I. I, Rogozkin V. A. Genes, Athlete Status and Training — An Overview / (ed) M. Collins // Genetics and Sports. Med Sport Sci. Basel (Karger). 2009. 54. P. 43–71 (a).
4. Bosco C. Strength assessment with the Bosco's test. Roma // Italian Society of sport Science. 2000.
5. Bradykinin receptor gene variant and human physical performance / A. G. Williams et al. // J. Appl. Physiol. 2004. Vol. 96. P. 938–942.
6. Lippi G., Longo U. G., Maffulli N. Genetics and sports // Br Med Bull. 2009. 7. P. l–21.
7. Polymorphism in the gene for the human B2-bradykinin receptor. New tools in assessing a genetic risk for bradykininassociated diseases / A. Braun et al. // Immunopharmacology. 1996. Vol. 33. P.32–35.

О. В. Балан[1], Л. В. Топчиева[1], Е. Б. Стафеева[1], И. Е. Малышева[1], А. Н. Соколовская[1], О. Ю. Барышева[2]

[1]*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, ovbalan@mail.ru*
[2]*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия*

СОДЕРЖАНИЕ ИНТЕРЛЕЙКИНА 6 В ПЛАЗМЕ КРОВИ И УРОВЕНЬ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ *IL-6* И *IL-6R* В ЛЕЙКОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У ЖИТЕЛЕЙ КАРЕЛИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕНОТИПА ПО ПОЛИМОРФНОМУ МАРКЕРУ ГЕНА *IL-6R* (rs4537545)

Интерлейкин 6 (IL-6) как один из важнейших медиаторов воспаления играет важную роль в этиологии и патогенезе различных аутоиммунных и воспалительных заболеваний [6]. Наряду с другими цитокинами (TNFa, IL1b, IFNγ) IL-6 вносит определенный вклад в развитие сердечно-сосудистых заболеваний, таких как артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда [3, 4]. Повышение сывороточного IL-6 у больных ревматоидным артритом положительно коррелирует с активностью воспаления и тяжестью деструктивного поражения суставов. IL-6 осуществляет свои биологические эффекты посредством взаимодействия с трансмембранными (mIL-6R) и растворимыми (sIL-6R) формами рецептора. Уровень экспрессии и содержание этого цитокина, а также рецепторов, опосредующих его биологический эффект, может определяться не только активацией иммунной системы при различных патологических состояниях, но и наличием полиморфных вариантов кодирующих их генов. Так, несинонимическая мутация Asp358Ala (rs2228145) в 9-м экзоне гена IL-6 ассоциирована с изменением уровня растворимых рецепторов IL6 [7, 6].

Однонуклеотидная замена в 8-м интроне гена IL-6R (rs4537545) также может оказывать влияние на содержание IL-6R [1]. Однако данные, представленные в литературе, немногочисленны и достаточно противоречивы. В связи с этим цель настоящего исследования заключалась в изучении влияния полиморфного маркера rs4537545 гена IL-6R на содержание IL-6 в плазме крови и уровня экспрессии мРНК генов IL-6 и IL-6R в лейкоцитах периферической крови у жителей Карелии.

Материал и методы исследования

В исследование включено 34 пациента контрольной группы (здоровые доноры), средний возраст составил 41,74 ± 2,74 года. Обследование проводилось врачами Республиканской больницы им. Баранова. Критерии исключения из исследования:

- наличие сахарного диабета;
- перенесенные в последний месяц инфекционно-воспалительные заболевания;
- курение табака;
- беременность и лактация; алкогольная зависимость;
- индекс массы тела ≥ 28 кг/м^2.

На проведение исследований получено согласие Комитета по медицинской этике Минздравсоцразвития Республики Карелия и Петрозаводского государственного университета. Материалом для исследования служили плазма крови и лейкоциты периферической крови (ЛПК). Концентрацию IL6 определяли в плазме крови методом неконкурентного иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием наборов фирмы «Вектор-Бест» (Россия).

Результаты регистрировали на иммуноферментном анализаторе Sunrise (Tecan, Швейцария). Уровень экспрессии генов IL-6 и IL-6R оценивали в ЛПК. Для этого из ЛПК на колонках Axyprep Multisource Total RNA Miniprep Kit (Axygen Scientific Inc., США) выделяли тотальную РНК и обрабатывали ДНКазой (10 ед.) (СибЭнзим, Россия). Синтез кДНК проводили с использованием набора MMLV RT kit (Евроген, Россия).

Уровень транскриптов генов Il-6 и IL-6R оценивали методом ПЦР в режиме реального времени. Амплификацию проводили на приборе iCycler с оптической приставкой iQ5 (Bio-Rad, США) с использованием набора для амплификации с интеркалирующим красителем SYBER Green («Евроген», Россия). В качестве референсного гена использовали GAPDH. Специфичность продуктов амплификации проверяли плавлением ПЦР фрагментов. Эффективность ПЦР (98 %) оценивали по стандартной кривой. Уровень транскриптов генов вычисляли по ΔΔCT. Количество повторов ПЦР не менее 3. Генотипирование проводилось методом ПЦР-ПДРФ. Для амплификации участка гена IL6R, содержащего rs4537545, использовали праймеры:

- прямой — 5'TGCTGGGCTGGGAAGAAC3';
- обратный — 5'GCTAAGTATCCAAGCGAAA3';

ПЦР проводили в амплификаторе iCycler iQ5 (Bio-Rad, США), используя смесь Master Mix (ThermoFisher, Германия). ПЦР-продукты обрабатывали эндонуклеазой рестрикции BstACI (1 е. а.) («Сибэнзим», Россия) в течение 3 часов при 37 °С и разделяли в 1,5 %-м агарозном геле, используя трис-ацетатный буфер. Статистическую обработку полученных данных проводили с применением программы StatGraphics 2.1. Для оценки различий уровня транскриптов и содержания IL-6 в исследуемых группах

использовали U-критерий Манна-Уитни-Вилкоксона. Данные представлены в виде $M \pm m$. Различия считали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$. Исследования выполнены на научном оборудовании ЦКП ИБ КарНЦ РАН.

Результаты исследований

В работах некоторых исследователей было отмечено, что на изменение уровня растворимых рецепторов IL6 (sIL6R), а также на содержание самого интерлейкина 6 могут оказывать влияние наличие мутаций в гене IL6R. Так, однонуклеотидная замена в 9-м экзоне (rs2228145) IL-6R приводит к изменению содержания sIL6R и IL6 [1, 6]. Однонуклеотидная замена С на Т (rs4537545) находится в некодирующей области гена IL6R (8-й интрон).

В нашем исследовании было установлено, что в группе здоровых доноров, носителей генотипа СС отмечается достоверно более высокий уровень экспрессии мРНК гена IL6R в ЛПК по сравнению с носителями СТ и ТТ генотипов (табл.). Уровень экспрессии мРНК гена IL6 во всех исследуемых группах значимо не отличался ($p = 0.74$). Однако обнаружены изменения в содержании самого цитокина в плазме крови. Так, концентрация IL6 в плазме крови здоровых доноров носителей СС генотипа была достоверно выше по сравнению с носителями СТ и ТТ генотипов (табл.). Согласно данным дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса, замена С на Т в 8-м интроне гена IL6R приводит к достоверным изменениям количества транскриптов IL6R в ЛПК ($H = 4,247$, $p = 0,039$) и концентрации IL6 в плазме крови ($H = 4,61$, $p = 0.032$).

Концентрация IL6 в плазме крови и уровень экспрессии мРНК генов *IL6* и *IL6R* в ЛПК у носителей разных генотипов по полиморфному маркеру rs4537545 гена *IL6R*

Показатель	Генотип	*M*±*m*	Медиана	Минимум	Максимум	Межквартильный размах	*p*
Содержание IL6 в плазме крови, пг/мл	CC ($n = 12$)	14,65 ± 1,92	12,99	6,14	24,16	18,02	0,008
	CT+TT ($n = 14$)	8,63 ± 2,26	5,70	1,70	33,20	31,5	
Уровень экспрессии IL6, отн. ед.	CC ($n = 17$)	$1,82 \cdot 10^{-7} \pm 5,45 \cdot 10^{-8}$	$2,18 \cdot 10^{-8}$	$3,36 \cdot 10^{-9}$	$7,80 \cdot 10^{-7}$	$7,77 \cdot 10^{-7}$	0,74
	CT+TT ($n = 17$)	$1,35 \cdot 10^{-7} \pm 1,94 \cdot 10^{-8}$	$7,76 \cdot 10^{-8}$	$5,05 \cdot 10^{-9}$	$2,87 \cdot 10^{-7}$	$2,82 \cdot 10^{-7}$	
	CC ($n = 24$)	$8,17 \cdot 10^{-6} \pm 1,36 \cdot 10^{-7}$	$7,64 \cdot 10^{-6}$	$5,79 \cdot 10^{-7}$	$2,36 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	0,003
	CT+TT ($n = 18$)	$2,03 \cdot 10^{-5} \pm 3,72 \cdot 10^{-6}$	$1,80 \cdot 10^{-5}$	$4,38 \cdot 10^{-6}$	$5,28 \cdot 10^{-5}$	$4,84 \cdot 10^{-5}$	

Выводы

1. Обнаружено достоверное влияние полиморфного варианта rs4537545 гена IL6R на уровень экспрессии гена IL6R в ЛПК и на содержание IL6 в плазме крови у здоровых доноров.

2. Показано, что у носителей СС генотипа по полиморфному маркеру rs4537545 гена IL6R количество транскриптов IL6R в ЛПК и концентрация IL6 в плазме крови выше по с носителями СТ и ТТ генотипов.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания № 0221-2014-0034

Литература

1. 7A common variant of the interleukin 6 receptor (IL-6r) gene increases IL-6r and IL-6 levels, without other inflammatory effects / S. L. Rafiq et al. // Genes. Immun. 2007. Vol. 8, No. 7. P. 552–559.
2. 1Associations between functional polymorphisms in the NFκB signaling pathway and response to anti-TNF treatment in Danish patients with inflammatory bowel disease / S. Bank et al. // Pharmacogenomics J. 2014. Vol. 14, No. 6. P. 526–534.
3. 3Blood pressure and inflammation in apparently healthy men / C. U. Chae et al. // Hypertension. 2001. Vol. 38, No. 3. P. 399–403.
4. 5IL-6/IL-6 receptor system and its role in physiological and pathological conditions / M. Mihara et al. // Clinical Science. 2012. Vol. 122, No. 4. P. 143–159.
5. 2Independent association between inflammatory markers (C-reactive protein, interleukin-6, and TNF-alpha) and essential hypertension L. E. Bautista et al. // J. Hum. Hypertens. 2005. V. 19. № 2. P. 149–154
6. 4Polymorphisms in the IL-6 receptor (IL-6R) gene: strong evidence that serum levels of soluble IL-6R are genetically influenced / J. C. Galicia et al. // Genes Immun. 2004. Vol. 5. P. 513–516.
7. 6The soluble human IL-6 receptor. Mutational characterization of the proteolytic cleavage site / J. 1. Müllberg et al. // J. Immunol. Vol. 152, No. 10. P. 4958–4968.

Т. С. Завадская[1], Р. Е. Михайлов[1], Е. Н. Чеботарева[2], Н. К. Белишева[1]
[1]*Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, Апатиты*
[2]*Апатитско-Кировская центральная городская больница, Кировск, Green.myrtal@mail.ru*

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МИКРОФЛОРЫ В ОРГАНИЗМЕ ЖЕНЩИН, ПРОЖИВАЮЩИХ В ЕВРО-АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Введение

Адаптация организма человека к арктическим условиях приводит к определенным изменениям в традиционных взаимодействиях микрофлоры организма с иммунной системой [4, 5, 9]. На Севере более выражены деструктивные генерализованные воспалительные процессы, что свидетельствует о недостаточности местного иммунитета [4, 5]. Кроме того, одним из распространенных дефектов иммунной защиты на Севере является дефицит содержания секреторных и сывороточных IgA, предопределяющий неэффективность иммунной защиты по месту входных ворот для инфекции [4, 5]. Дефекты фагоцитарной защиты, проявляющиеся в низкой активности фагоцитов, характерные для жителей Севера, снижают эффективность местной иммунной реакции [9].

Низкая эффективность иммунологической защиты на Севере отражается на репродуктивном здоровье женщин, одним из основных показателей которого является показатель заболеваемости беременных женщин, включающий как соматическую патологию, так и осложнения беременности. Косвенным подтверждением низкого уровня репродуктивного здоровья женщин на Севере являются показатель нормальных родов, которые в 2013 г. в Мурманской обл. составил 45,6 % [6]. Причем, как показали исследования [8], основной причиной врожденных нарушений у детей является внутриутробная инфекция, которой способствуют инфекционные заболевания матери во время беременности, острые и хронические инфекции урогенитальной системы матери [7]. Особое значение имеет также длительный безводный период более 6 часов, способствующий внутриутробному инфицированию плода [8].

Вместе с тем, степень распространенности инфекций среди женского населения репродуктивного возраста, проживающего в арктических условиях, а также воздействие высокоширотных факторов среды [1] на рост микрофлоры в женском организме практически не изучены. Поэтому оценка качественного и количественного состава микрофлоры в организме женщин, а также выявление зависимости роста микрофлоры от воздействия факторов арктической среды имеет первоочередное значение для прогноза течения беременности и ее исхода. Цель данного исследования состояла в оценке обилия микрофлоры в различных возрастных группах женщин, а также в выявлении зависимости роста микрофлоры от вариаций геофизических агентов.

Материал и методы

В исследовании использовались данные результатов анализа микрофлоры в мазках из цервикального канала женщин, проживающих в Мурманской обл. и проходивших обследование в микробиологической лаборатории. База данных включала результаты ежедневных гинекологических анализов (9 041 анализов), собранных за период с ноября 2007 по 2014 гг. включительно от 6 000 женщин. Данные для анализа состава микробиоты и обилия роста микрофлоры у обследуемых женщин за исследуемый период были выкопированы из журналов, содержащих результаты микробиологических анализов в микробиологической лаборатории, и нормированы на 1 000 обращений.

Геофизические данные для исследуемых периодов времени были отобраны на сайте ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/spacecraft_data/. Статистический анализ всех данных проводили с применением программного обеспечения Statistica 10.

Результаты и обсуждение

Состав микробиоты у женщин различных возрастных групп представлен на рис. 1. Обнаружено, что во всех возрастных группах наиболее встречаемыми оказались грамположительные палочки, *Gardnerella vaginalis*, *Staphylococcus epidermidis* и *saprophyticus*, дифтероиды и *Candida* sp. (частота встречаемости — 1848, 1248, 1130, 811, 633, 598 соответственно). При этом максимальная численность этой микрофлоры характерна для наиболее выраженного репродуктивного возраста (20–35 лет).

Изучение сезонных вариаций численности микрофлоры, независимо от возраста носителей, показало, что вариабельность численности микрофлоры определяется ее видовым составом (рис. 2). Это свидетельствует, с одной стороны, о видоспецифических особенностях роста микрофлоры, с другой стороны, возможно, о колебаниях иммунорезистентности, обусловленной климато-географическими и геофизическими условиями высоких широт, ассоциированных с солнечной активностью (СА) [1, 2, 3].

Анализ связи между среднемесячными значениями численности микрофлоры и индексами СА и геомагнитной активности (ГМА) показал, что корреляция между частотой встречаемости наиболее обильных представителей микрофлоры и гелиогеофизическими индексами может иметь различные знаки связи.

Так, численность грамположительных палочек и Candida имеют позитивную связь с числами Вольфа (R) (r = 0.70, r = 0,22, p < 0,05 соответственно) и индексом радиоизлучения Солнца (f10,7), характеризующими СА (r = 0,69, r = 0,24 соответственно). Численность *Gardnerella vaginalis*, наоборот, отрицательно связана с числами Вольфа (R) и индексом радиоизлучения Солнца (r = -0,42, r = -0,39, p < 0.05 соответственно). *Gardnerella vaginalis* является единственным биологическим видом бактерий монотипического рода *Gardnerella*, которые в небольшом количестве являются постоянными представителями микрофлоры женского организма. При развитии гарднереллеза гарднереллы активно размножаются в микрофлоре влагалища и уретры, быстро уничтожая нормальную микрофлору. Вероятность гарденереллеза, как показали наши исследования, возрастает при низкой СА.

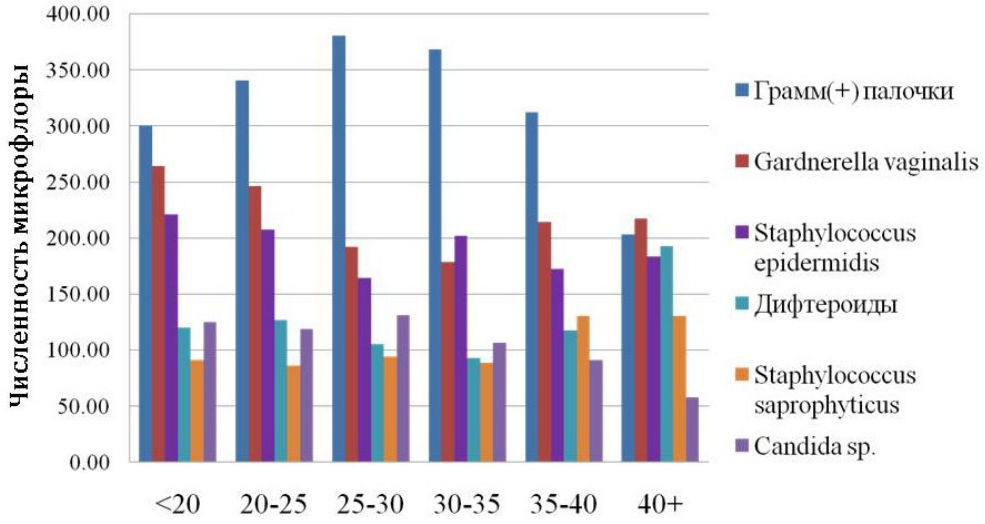


Рис. 1. Распределение встречаемости наиболее распространенных микроорганизмов по возрастным группам, нормированное на 1000 обращений

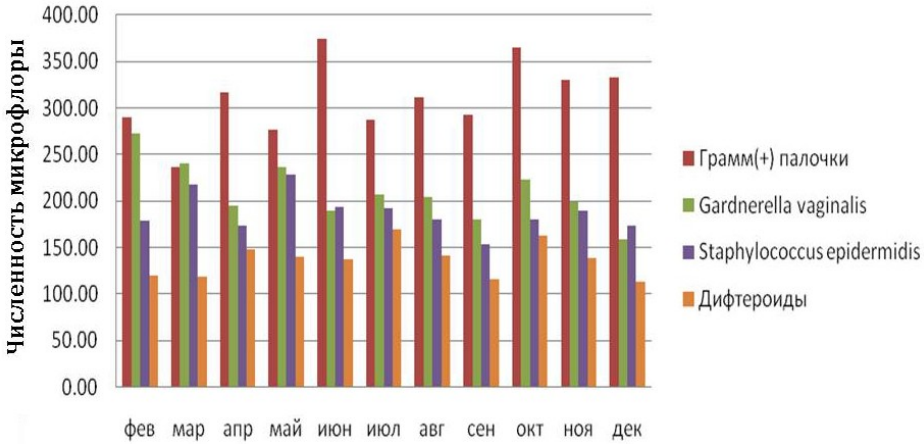


Рис. 2. Интенсивность роста микрофлоры в зависимости от сезона года, нормированная на 1000 обращений.

Наряду с вариациями численности часто встречаемой микрофлоры, нами была проанализирована среднегодовая динамика численности редко встречаемых микроорганизмов (рис. 3). На рис. 3 можно видеть, что среди редко встречающихся микроорганизмов отсутствует параллелизм роста, наблюдаемый С. Т. Вельховером [2, 3] для разных штаммов микрофлоры. В частности, можно резюмировать следующее:

- встречаемость *Staphylococcus haemolyticus* резко возросла в 2012–2014 гг.,
- встречаемость *Streptococcus viridans* начала возрастать с 2010 г., достигла максимума к 2011 г. и начала снижаться в 2012 г.;
- встречаемость *Neisseria* непатогенная достигла максимума в 2010 г., а затем резко снизилась в 2012–2014 гг.;
- встречаемость *Klebsiella mobilis* отличается специфической вариабельностью;
- встречаемость *Proteus vulgaris* резко снизилась с 2010 г.

Вместе с тем, можно видеть, что для редко встречаемой микрофлоры характерны периоды, связанные с феноменальным ростом (например, для *Staphylococcus haemolyticus* и *Streptococcus viridans*), что подтверждает отчасти данные С. Е. Вельховера [2, 3].

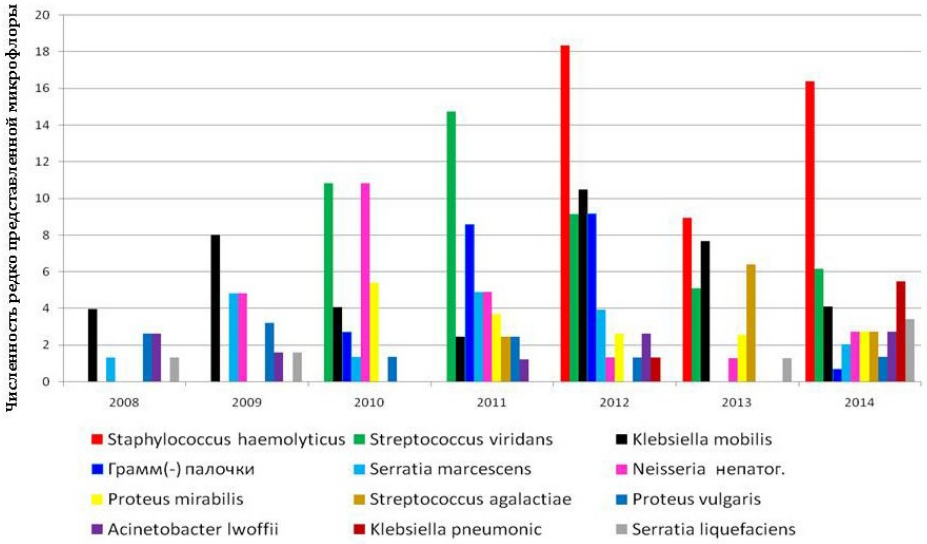


Рис. 3. Вариации видового разнообразия микрофлоры в различные годы

Анализ связи между динамикой частоты встречаемости редкой микрофлоры и вариациями геофизических агентов показал, что встречаемость отдельных представителей микрофлоры значимо связана с ГМА (рис. 4).

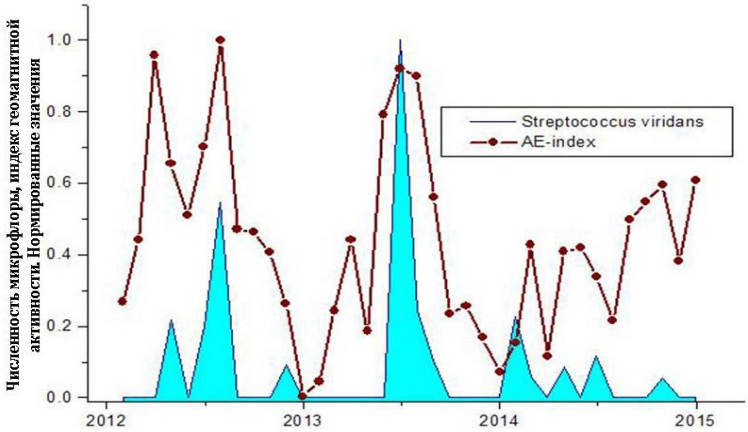


Рис. 4. Сопряженность вариаций геомагнитной активности и среднемесячной динамики встречаемости (роста) *Streptococcus viridans*

На рис. 4 показано, что рост *Streptococcus viridans* имеет значимую корреляцию с ГМА (r = 0,53, $p < 0,05$), выраженной через АЕ-индекс разности между наибольшими амплитудами отрицательной и положительной вариациями геомагнитного поля (ГМП) в авроральной зоне. *Streptococcus viridans* широко распространен в природной среде и обычно не представляет опасности для здорового человека, однако при различных иммунодефицитных состояниях *Streptococcus viridans* может вызывать ряд серьезных заболеваний — эндокардит, пневмонию, фарингит, нефрит, послеродовой сепсис, ревматизм, многочисленные заболевания кожных покровов и мягких тканей, инвазивные инфекции. Связь между ростом этого штамма микроорганизмов и ГМА может свидетельствовать о возрастании риска осложнений, вызванных данными микроорганизмами в период высокой возмущенности ГМП.

Таким образом, мы показали, что геофизические агенты, ассоциированные с СА, могут влиять на видовой и численный состав микрофлоры в организме женщин, проживающих в Евро-Арктическом регионе, предопределяя тем самым распространенность определенных инфекций. Знание характера связи между инфекционными возбудителями и вариациями геофизических агентов позволяет разрабатывать превентивные меры, направленные на повышение уровня репродуктивного здоровья женщин, проживающих в высоких широтах.

Литература
1. Белишева Н. К. Вклад высокоширотных гелиогеофизических агентов в заболеваемость населения Евро-Арктического региона // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2014. № 2(48). С. 5–11.
2. Вельховер С. Т. Годовой ход метахромазии волютина коринебактериальной клетки // Микробиология. 1936. Т. 5, вып. 5. С. 731–733.
3. Вельховер С. Т. О некоторых функциональных свойствах коринебактерий // Журн. микробиол., эпидем. и иммунобиологии. 1935. Т. 15, № 6. С. 869–878.
4. Добродеева Л. К., Самодова А. В., Патракеева В. П. Соотношение микрофлоры и реакций врожденного иммунитета в мукозо-ассоциированной лимфоидной ткани // Журнал медико-биологических исследований. 2015. № 2. С. 71–80.
5. Добродеева Л. К., Сенькова Л. В., Московская Н. Б. Экологически зависимые изменения иммунитета на Севере // Труды КНЦ УрО РАН. 1997. № 152. С. 97–116.
6. Доклад о состоянии здоровья населения и организации здравоохранения в Мурманской области по итогам деятельности за 2013 год. URL: minzdrav.gov-murman.ru/files/doclad.docx
7. Особенности течения беременности у женщин с диагнозом «хламидийная инфекция мочеполового тракта» / Е. А. Макаровская и др. // Циркумполярная медицина: влияние факторов окружающей среды на формирование здоровья человека: материалы междунар. науч.-практ. конф. Архангельск: Изд-во Северного гос. мед. ун-та, 2011. С. 200–202.
8. Предварительный анализ функционального состояния организма детей с отклонениями в нервно-психическом развитии и предрасполагающих к патологии факторов риска / Н. К. Белишева и др. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. 4(19). С. 32–49.
9. Штаборов В. А. Соотношение общих и местных реакций иммунной защиты у жителей Севера: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.13. Архангельск, 2009.16 с.

С. Н. Коломейчук[1], Д. А. Петрашова[2], В. В. Пожарская[2], А. А. Мартынова[2], Л. И. Теплова[3]
[1]*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, sergey kolomeychuk@rambler.ru*
[2]*Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, Апатиты*
[3]*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск*

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТУДЕНТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Подростковый период характеризуется проявлениями астении (повышенной утомляемостью, эмоциональной лабильностью и нарушениями сна). Помимо быстрой утомляемости и чувства разбитости у подростков отмечается ощущение собственной беспомощности, несостоятельности, невозможности справиться с необходимыми нагрузками, бессилия и одновременного внутреннего напряжения, временами даже немотивированной тревоги. Все эти симптомы могут быть более выраженными у подростков, проживающих в северных регионах.

Целью нашей работы была оценка социального функционирования, психологического и физического компонентов здоровья подрастающего поколения в Республике Карелия и Мурманской обл.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 239 человек в возрасте от 17 до 20 лет, проживающих в городах и поселках Республики Карелия и Мурманской обл. Исследование проводилось с декабря 2016 г. по март 2017 г. Каждому опрашиваемому предлагалось ответить на вопросы, касающиеся личных данных, и заполнить две анкеты: Мюнхенский тест для оценки хронотипа (MCTQ) и Питтсбургский тест для оценки качества сна (PSQI). Оценивались показатели длительности сна, времени, когда испытуемый ложится спать и встает, длительность засыпания и др. Значения показателе представлены как медиана (интерквартильный размах): Me (25 и 75 %). Обработку анкет проводили так же, как описано в работах-первоисточниках MCTQ [6] и PSQI [1, 2, 3].

Для оценки академической успеваемости студентам предлагалось ответить на вопрос: «Какой средний балл Вы получили за прошлую сессию?» Для валидации ответов учащихся мы сопоставляли средний балл, полученный ими за прошлую сессию по данным журналов, со средними значениями успеваемости по результатам анкетирования.

Исследование было одобрено комитетом по этике Петрозаводского центра развития образования приказ № 21/20/187 от 26 февраля 2014 г. и этическим комитетом ИБ КарНЦ РАН. Работа была выполнена в ЦКП Института биологии Карельского научного центра РАН.

Статистическую обработку результатов проводили дескриптивными методами вариационной статистики, корреляционного и регрессионного анализа с использованием пакета компьютерных программ Statistica 6,0. Достоверность различий изучаемых показателей между группами оценивали с помощью непараметрического

критерия U Вилкоксона — Манна — Уитни. Для оценки корреляций параметров сна и академической успеваемости были использован коэффициент Пирсона, для оценки влияния факторов на успеваемость школьников применялся линейный регрессионный анализ.

Результаты и обсуждение

В исследуемой выборке отмечено преобладание лиц женского пола, что соответствует половозрастной структуре населения Северо-Запада России. Из 239 студентов, прошедших анкетирование, 10 отказались от участия и 10 заполнили анкетные данные не полностью, поэтому нами были проанализированы в общей сложности данные 219 опросников. Средний возраст участников опроса составил 19,67 (17,12; 21,08) лет. Среднее значение индекса массы тела для девушек было ниже, чем для юношей. Среднее время пробуждения в рабочие дни составило 7:06 (6:17; 7:55), в выходные — 11:45 (9:47; 13:43) ч. Студентам требовалось 27,42 (12,17; 43,06) минуты для отхода ко сну, а средняя продолжительность ночного сна составила 6,95 (5,73; 8,17) ч. В выходные дни продолжительность сна была на 2,5 часа больше, чем в учебные, — 9,88 против 7,18 ч соответственно. Ранее нами было показано, что продолжительность сна существенно зависела от возраста: наблюдалось заметное ее снижение на 3 ч 24 мин для лиц школьного возраста в интервале возрастов с 10 до 18 лет [4]. Для наших студентов выявлено снижение продолжительности сна на 35 минут в интервале возрастов 17–20 лет.

Достоверных половых различий в продолжительности сна у студентов из Мурманской обл. и Республики Карелия обнаружено не было. С увеличением возраста закономерно отмечен сдвиг в сторону позднего хронотипа. При этом в значениях хронотипа не найдено половых различий. Стоит отметить, что значения социального джетлага были достоверно выше у девушек ($p < 0,01$). Средняя продолжительность сна была выше у юношей. У лиц с поздним хронотипом обнаружены достоверные корреляции с социальным джетлагом ($r = 0,512$; $p < 0,001$), а также уменьшением средней продолжительности сна ($r = -0,266$; $p < 0,001$).

Согласно Питтсбургскому опроснику качества сна (Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI), основными критериями оптимального сна являются его качественные и количественные характеристики [6]. Общий балл опросника может служить для деления опрошенных на две группы: нормальный (PSQI < 5) и проблемный (PSQI > 5) сон. Установлено, что возраст не коррелировал с общим баллом оценки качества сна по Питтсбургскому опроснику ($r = 0,021$, $p = 0,703$), но проживание в городе сопровождалось снижением показателей качества сна подростков в отличие от их ровесников, проживающих в сельской местности.

Средний балл значений Питтсбургского опросника составил 5,98 (3,08, 8,89; диапазон 0–18), при этом 56 % респондентов указывали на плохое качество сна (балл > 5) и 19,5 % жаловались на крайне плохое качество сна (балл ≥ 8).

По данным нашего исследования, успеваемость студентов в Мурманской обл. и Карелии достоверно зависит от значений социального джетлага, средней продолжительности сна и хронотипа. Среди студентов с низким и средним баллами продолжительность сна была на 18 мин короче по сравнению с более успешными сверстниками. Кроме того, мы обнаружили достоверные гендерные различия в академической успеваемости. Оценки девушек оказались выше, чем у лиц мужского пола ($T = 6,3$, $Df = 239$, $P < 0,01$).

Регрессионный анализ наших результатов показал, что пол и средняя продолжительность сна являются самыми важными предикторами успеваемости студентов Республики Карелия и Мурманской области ($F_{5,231} = 3,68$, $p < 0,01$; $R^2 = 0,085$). Социальный джетлаг, качество и средняя продолжительность сна не являются значимыми предикторами успеваемости студентов для анализируемой выборки.

Заключение

Таким образом, у студентов, проживающих в Республике Карелия и Мурманской обл., была выявлена зависимость продолжительности сна от возраста. Изменения параметров сна указывают на ранние признаки десинхроноза между биологическими часами студентов и социальными указателями времени. Полученные нами данные также предполагают возможность связи академической успеваемости с субъективной оценкой параметров сна в сочетании с качеством сна. Они могут служить в качестве маркеров нарушений сна в условиях Европейского Севера России, их использование может представлять интерес и для хронобиологов, и для физиологов как способ раннего выявления причин и механизмов нарушений сна, а значит, их можно использовать с целью разработки мер профилактики заболеваемости и немедикаментозной коррекции здоровья подростков в регионах со специфичным световым режимом.

Литература

1. Основы терапии и профилактики стресса и его последствий у детей и подростков / Е. С. Акарачкова и др. // Вопросы современной педиатрии. 2013. № 3. С. 38–44.
2. Семенова Е. А, Даниленко К. В. Русская онлайн версия Питтсбургского опросника оценки качества сна. 2009. URL: http://www.iimed.ru/assets/files/1/10%20PSQI-rus.pdf.
3. An epidemiologic study of self-reported sleep problems among Japanese adolescents / T.Ohida et al. // Sleep. 2004. 27(5). 978–85.
4. Chronotype of children and adolescents influences their academic achievements - evidence from Russian Karelia / S. N. Kolomeichuk et al. // Biol. Rhythm Res. 2016. Vol. 47, No. 6. P. 873–883.

5. Roenneberg T, Kumar C. J., Merrow M. The human circadian clock entrains to sun time // Curr Biol. 2007. 17. R. 44-5.
6. The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research / D. J. Buysse et al. // J. Psychiatric Research. 1989. 28(2). 193–213.

А. А. Мартынова, С. В. Пряничников
Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, Апатиты, martynovaalla@yandex.ru

ВОЗМОЖНЫЙ ВКЛАД ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В СПЕКТРАЛЬНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЖИТЕЛЕЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Человеческий организм представляет собой сложную нелинейную открытую систему, которая зависит от изменения условий среды обитания и способна реагировать даже на микроскопические флуктуации воздействующих факторов. По сравнению со средней полосой, природные условия Арктики и приравненных к ней территорий оказывают на организм человека более существенное воздействие [4, 7, 9]. Можно полагать, что частые апериодические и резкие колебания климато-гелиогеофизических факторов создают предпосылки для десинхроноза, ведущего к истощению адаптационного резерва [1, 5, 11]. В то же время у северян, которые хорошо адаптированы к экстремальным условиям Арктической зоны, многие показатели организма значительно отличаются от таковых в средней полосе [2, 3, 6, 8, 12, 14, 16]. Другими словами, среднеширотная норма для хорошо адаптировавшихся северян не подходит. У них своя норма, к которой они пришли в результате длительной адаптации к северным экстремальным условиям.

Одной из главных «мишеней» воздействия гелиогеофизических факторов на организм человека является система кровообращения [15]. Известно, что в период сильных геомагнитных возмущений увеличивается число вызовов скорой помощи к сердечникам, повышается количество смертей от инфаркта и инсульта. При повышении геомагнитного поля (ГМП) отмечается рост патогенной микрофлоры, изменяется лейкоцитарная формула крови, увеличивается вязкость крови и ухудшается проходимость сосудов, повышается артериальное давление. Резкие возмущения ГМП приводят к нарушению активности работы головного мозга, перестройке частотного спектра и временной организации паттерна ЭЭГ.

Целью нашего исследования было сравнить спектральные характеристики сердечного ритма (СР) человека в различных регионах проживания и оценить возможный вклад гелиогеофизических факторов на волновую структуру сердечного ритма (СР) у взрослого населения Арктической зоны.

Материалы и методы

При сравнительном анализе спектральных характеристик сердечного ритма были использованы: данные собственных исследований — 382 человека, данные С. А. Бойцова по Санкт-Петербургу и Ленинградской обл. — 393 человека [10], данные Т. П. Логиновой по г. Сыктывкару, Республика Коми — 60 чел. [13]. Волновая структура сердечного ритма оценивалась на основе спектрального анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР). Спектральные компоненты сердечного ритма были представлены высокочастотными, дыхательными волнами (0,15–0,4 Гц; 2,5–6,5 с – HF ms^2), низкочастотными, медленными волнами 1-го порядка (0,04–0,15 Гц; – 6,5–25 с – LF ms^2), очень низкочастотными, медленными, 2-го порядка (0,003–0,04 Гц; 25–333 с – VLF ms^2). При спектральном анализе для каждого из компонентов вычисляли абсолютную суммарную мощность в диапазоне и относительное значение в процентах от суммарной мощности во всех диапазонах (Total Power – TP ms^2). При этом общий спектр мощности (TP) обычно определяется как сумма мощностей в диапазонах HF, LF и VLF. Кроме того, вычисляли значение индекса вагосимпатического взаимодействия (LF/HF). Для оценки влияния гелиогеофизических факторов использовали данные обсерватории Соданкуля.

Результаты исследования и выводы

Сравнительный анализ волновой структуры сердечного ритма показал, что для лиц, проживающих в Северо-Западном регионе (Мурманская и Ленинградская обл.) характерны более низкие значения суммарной мощности частотного спектра (TP, ms^2) и всех его составляющих (HF, LF и VLF, ms^2) по сравнению с лицами, проживающими в западной части предполярного Урала (г. Сыктывкар). Причем наиболее низкие значения отмечаются у лиц, проживающих в Арктической зоне (табл.), что свидетельствует о снижении активности регуляторных механизмов организма с продвижением на север. Отмечается активация более высоких уровней регуляции, вследствие чего происходит подавление активности нижележаших центров, приводящее к энергодефициту и срыву адаптационных процессов, у лиц проживающих в Арктической зоне независимо от возраста.

Региональные особенности спектральных характеристик СР

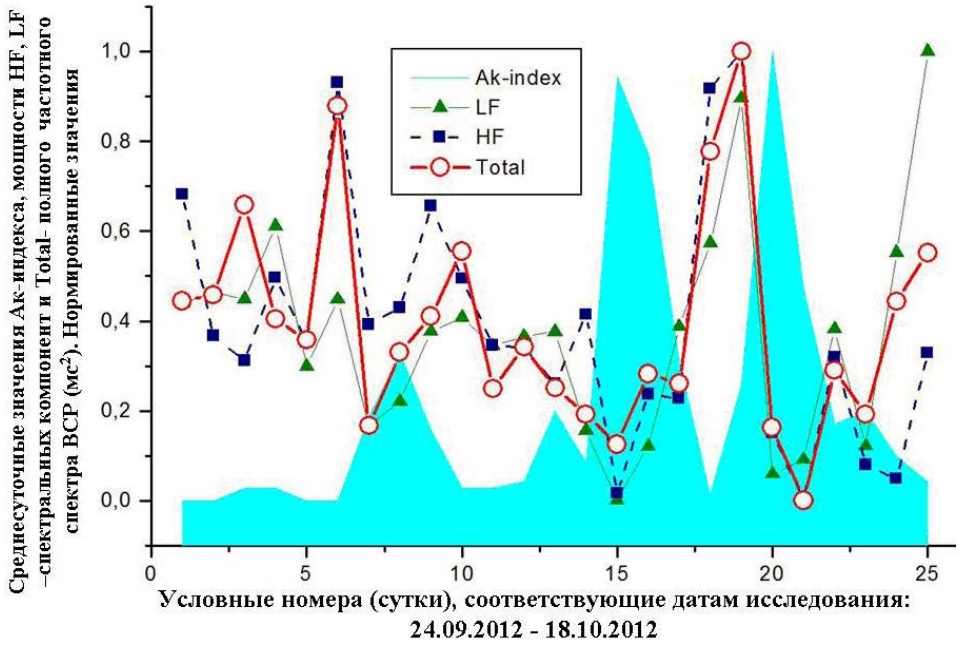
Показатели	Мурманская обл.	Ленинградская обл.	Республика Коми
18–35 лет			
Количество человек	*n* = 100	*n* = 83	*n* = 16
TP, $мс^2$	2021,2±1754,3•'••	3263,1±1326,5•••	4716,0±719,0
VLF, $мс^2$	894,2±837,0•'••	2249,9±1021,9•••	1614,0±177,0
LF, $мс^2$	725,0±581,3••	752,8±305,1•••	1946,0±259,0
HF, $мс^2$	402,0±393,9•'••	290,6±195,8•••	1156,0±109,0
HF -%	15,9••	13,9•••	24,5
LF - %	35,9••	33,1•••	41,3
VLF %	48,2•'••	63•••	34,2
LF/HF	3,9••	3,3•••	1,6
35–48 лет			
Количество человек	*n* = 149	*n* = 159	*n* = 26
TP, $мс^2$	1493,1±1305,0•'••	2020,1±913,7•••	3249,0±269,0
VLF, $мс^2$	713,6±659,0•'••	1463,2±683,2•••	1605,0±249,0
LF, $мс^2$	533,2±476,8•'••	431,1±224,6•••	1083,0±228,0
HF, $мс^2$	246,3±202,4•'••	128,4±101,0•••	561,0±76,0
HF -%	13,5•'••	11,4•••	17,3
LF - %	35,7•'••	28,3•••	33,3
VLF %	50,8•'••	60,4•••	49,4
LF/HF	4,2••	4,1•••	1,9
Старше 48 лет			
Количество человек	*n* = 133	*n* = 151	*n* = 18
TP, $мс^2$	857,1±752,9•'••	1828,8±861,7•••	2418,0±428,0
VLF, $мс^2$	490,4±465,5•'••	1397,2±692,2•••	1124,0±399,0
LF, $мс^2$	273,8±239,4•'••	340,6±195,5•••	603,0±320,0
HF, $мс^2$	92,9±85,7••	95,8±76,4•••	324,0±136,0
HF -%	10,8•'••	8,2•••	13,4
LF - %	31,9•'••	28,6	24,9
VLF %	57,2•'••	63,4•••	46,5
LF/HF	4,2••	4,1•••	1,9

Примечание. Значимость различий (по тесту Манна — Уитни) между: • — Мурманской и Ленинградской обл.; •• — Мурманской обл. и Республикой Коми; ••• — Ленинградской обл. и Республикой Коми.

Снижение вклада дыхательных и усиление медленных волн в общий спектр мощности у лиц, проживающих в Мурманской обл., свидетельствует о смещении вегетативного баланса в сторону усиления влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы и говорит о перенапряжении регуляторных механизмов, независимо от возраста человека. Смещение вегетативного баланса (LF/HF) в звеньях регуляции АНС сердечного ритма в сторону усиления симпатических влияний, у лиц проживающих в Северо-Западном регионе, отражает фоновое снижение интегрального влияния вегетативных механизмов регуляции на синусовый ритм и парасимпатическую активность.

Анализ экспериментальных данных, полученных при мониторинге ВСР у волонтеров в период 24 сентября — 18 октября 2012 г., характеризующийся высокой геомагнитной активностью (ГМА), выявил связь между индексами ГМА и волновой структурой сердечного ритма. Было отмечено снижение мощности дыхательных и медленных волн первого порядка (HF, LF), а также общего спектра мощность (TP) при возрастании ГМА. Так были показаны значимые ($p < 0,05$) обратные корреляции между абсолютной мощностью HF-, LF-компонент, TP и индексами AE, ap, PC, локальными индексами ГМА (К- и Ак-индекса) (рис.), что свидетельствует о снижении влияния автономного контура регуляции на сердечный ритм, а также сосудистого тонуса. Вследствие этого увеличивается риск возникновения нарушений системы кровообращения.

При возрастании ГМА отмечается снижение вклада высокочастотной, дыхательной компоненты (HF, %) и возрастанием вклада медленных волн 1-го порядка (LF, %) в суммарный спектр мощности, что свидетельствует об изменении сосудистой регуляции и усилении влияния нейрогуморального влияния на сердечный ритм, отражает реакцию повышенного перенапряжения регуляторных механизмов, ассоциированного с истощением энергетических ресурсов, и проявляется в истощении вегетативной регуляции миокарда на фоне увеличения нагрузки на систему кровообращения.



Влияние показателя ГМА (Ак-индекса) на спектральные характеристики СР

Полученные результаты позволяют предположить, что частые и интенсивные геомагнитные возмущения могут быть одной из возможных причин снижения мощности спектральных составляющих волновой структуры сердечного ритма у жителей Арктической зоны. Снижение вклада высокочастотной, дыхательной компоненты (HF) и возрастание вклада медленных волн первого порядка (LF) в суммарную спектральную мощность во время геомагнитных возмущений свидетельствует о напряжении механизмов регуляции сердечного ритма, когда адаптация достигается путем активизации энергозатратных механизмов, связанных с возрастание вклада центрального звена (симпатической нервной системы) в регуляцию сердечного ритма. Такая связь может свидетельствовать также о нарастании с возрастом «усталости» системы кровообращения в результате воздействия высокоширотных вариаций геомагнитного поля (ГМП). Проявлением вклада высокоширотных вариаций ГМП в особенности волновой структуры сердечного ритма может быть снижение мощности всех спектральных составляющих волновой структуры сердечного ритма.

Литература

1. Авцын А. П., Марачев А. Г. Проявление адаптации и дезадаптации у жителей Крайнего Севера // Физиология человека. 1975. Т. 1, № 4. С. 3–14.
2. Агаджанян Н. А., Ермакова Н. В., Куцов Г. М. Эколого-физиологические особенности адаптивных реакций коренного и пришлого населения Эвенкии // Физиология человека. 1995. Т. 21, № 3. С. 106–115
3. Адаптация подростков Заполярья к условиям средних широт (Воронежская область) / А. А. Мартынова и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 5(2). С. 391–393.
4. Белишева Н. К., Конрадов С. А. Значение вариаций геомагнитного поля для функционального состояния организма человека в высоких широтах // Геофизические процессы и биосфера. 2005. Т. 4. № 1/2. С. 44.
5. Бобров Н. И., Ломов О. П., Тихомиров В. П. Физиолого-гигиенические аспекты акклиматизации человека на Севере. Л.: Медицина, 1979. 184 с.
6. Бойко Е. Р., Ткачев А. В. Характеристика липидного обмена у постоянных жителей Севера // Физиология человека. 1994. Т. 2, № 2. С. 136–142.
7. Варламова Н. Г., Евдокимов В. Г. Изменение параметров электрокардиограммы у мужчин Европейского Севера как маркер влияния климата и возраста // Физиология человека. 2002. Т. 28, № 6. С. 109–114.
8. Варламова Н. Г. Состояние сердечно-сосудистой системы жителей Европейского Севера // Медицинская наука в Республике Коми. 2000. Вып. 16. С. 28–42. (Вестник Коми научного центра).
9. Возрастные особенности вариабельности сердечного ритма у детей дошкольного возраста, проживающих в условиях Арктического региона / Н. К. Белишева и др. // Физиология человека. 2016. Т. 42, № 2. С. 49–62.
10. Возрастные особенности изменения показателей вариабельности сердечного ритма у практически здоровых лиц / С. А. Бойцов и др. // Вестник аритмологии. 2002. № 26. С. 57–60.
11. Деряпа Н. Р., Рябинин И. Ф. Адаптация человека в полярных районах Земли. Л.: Медицина, 1977. 296 с.
12. Казначеев В. П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука, 1980. 191 с.
13. Логинова Т. П. Вегетативные изменения у человека на Севере в различные сезоны года: автореф. дис. … канд. биол. наук, Архангельск, 2006. 18 с.

14. Мартынова А. А., Пряничников С. В., Пожарская В. В. Сравнительный анализ вариабельности сердечного ритма у детей, проживающих в высоких и средних широтах // Physics of Auroral Phenomena: Proc. XXXVII Annual Seminar, Apatity, 25–28.02.2014. 2014. P. 76.
15. Психофизиологические и кардиогемодинамические эффекты гелиогеомагнитных и метеорологических факторов у человека в условиях Заполярья / В. П. Рожков и др. // Физиология человека. 2014. Т. 40, № 4. С. 51–64.
16. Хаснулин В. И., Хаснулина А. В. Устойчивость к психоэмоциональному стрессу на Севере в зависимости от импринтированного типа адаптивного реагирования // Экология человека. 2013. № 1. С. 8–13.

Р. Е. Михайлов[1], Н. К. Белишева[1], Р. Г. Новосельцев[2]
[1]*Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, Апатиты*
[2]*Апатитский психоневрологический интернат, Апатиты*

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ЖИТЕЛЕЙ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА ОТ ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Выявлению связи между солнечной активностью (СА) и продолжительностью жизни человека посвящены многочисленные работы. В ряде исследований показана связь между частотой смертей от сердечно-сосудистых заболеваний и вариациями геомагнитного поля (ГМП), ассоциированных с СА, однако результаты изучения влияния геомагнитных возмущений (ГМВ) на смертность от сердечно-сосудистых «катастроф» носят противоречивый характер [1–6]. Цель данного исследования состояла в оценке зависимости продолжительности жизни жителей Арктического региона от циклов СА на основе выявления связи между частотой смертей в результате сердечно-сосудистой недостаточности у мужчин и женщин, рожденных в разные фазы цикла СА, и геофизическими агентами, включающими вариации геомагнитной активности (ГМА) и интенсивности КЛ.

Материалы и методы

Материалом исследования служили медико-статистические данные о датах рождения, смерти и причинах смерти у пациентов областного психоневрологического интерната (г. Апатиты Мурманской обл.) за период с апреля 1984 г. по декабрь 2009 г. (всего 967 случаев). Данная выборка уникальна тем, что все пациенты находятся в идентичных условиях проживания и питания, что нивелирует влияние окружающей среды и образа жизни. Годы рождения исследуемых людей охватывают период с 1895 по 1984-й. Для каждого умершего были определены дата рождения, смерти, продолжительность жизни [2]. Распределение частоты смертей в психоневрологическом интернате по фазам цикла СА оценивалось на основе учета суммарной ежегодной смертности, нормированной на 1000 человек, — отдельно для когорты рожденных в годы с низкой (Гр. 1) и высокой (Гр. 2) СА. Кроме того, в каждой группе учитывалась ежегодная частота смертей отдельно для женщин и мужчин. Для анализа связи частоты смертей с геофизическими агентами были привлечены данные, характеризующие СА (числа Вольфа (W), среднее значение напряженности ГМП, nT (|B|), среднее значение вектора ГМП (B), вариабельность напряженности и вектора ГМП (sigma|B| и sigma B, соответственно), индексы ГМА: Kp, AE, ap, PC(N), а также данные по радиоизлучению Солнца с длиной волны 10,7 см (f10,7) (http://omniweb.gsfc.nasa.gov/). Данные о вариациях интенсивности КЛ у поверхности Земли и в околоземном пространстве (Corr) на широте проводимых исследований были получены на станции нейтронного монитора Полярного геофизического института (г. Апатиты Мурманской обл.).

В данной работе представлены результаты исследования распределения частоты смертей в психоневрологическом интернате по фазам цикла СА, оценена связь смертности с ГМА, вариациями интенсивности КЛ, а также выявлена связь частоты смертей в определенные фазы цикла СА у мужчин и женщин, рожденных при низкой и высокой СА.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 показан долевой вклад причин, повлекших за собой смерть. Можно видеть, что подавляющее число смертей связано с сердечно-сосудистыми нарушениями (87 %), во второй группе объединены различные причины смерти, такие как кахексия, рак, эпилепсия (13 %).

В результате исследования было выявлено что, лица, рожденные в годы высокой СА (Гр. 2), имеют на 8,4 года меньшую продолжительность жизни, чем рожденные в годы низкой СА (Гр. 1) [2]. Далее проведено сопоставление распределения частоты смертей в этих двух группах с учетом пола по фазам цикла СА и проанализирована связь частоты смертей с индексами, характеризующими ГМА и интенсивность КЛ.

На рис. 2 приведено сопоставление кривых смертности в группах: рожденных в год низкой и высокой СА с вариациями чисел Вольфа (W) — рис. 2, *а*, с интенсивностью КЛ (Corr) — рис. 2, *б*, с вариациями ГМА ((PC(N)-индекс)) — рис. 2, *в*, а также с вариабельностью вектора B (sigma B) — рис. 2, *г*. Можно видеть, что пики кривых смертности ассоциированы с фазами цикла СА, характеризующимися низкой СА и низкой ГМА соответственно, и, напротив, совпадают с возрастанием интенсивности КЛ.

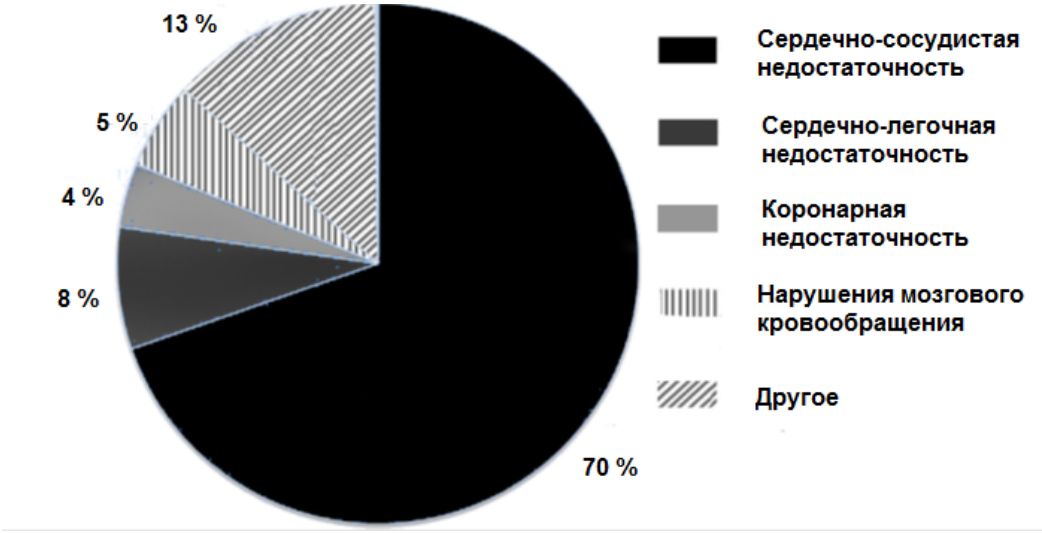


Рис. 1. Долевой вклад причин (%), повлекших за собой смерть в интернате с 1984 по 2009 гг.

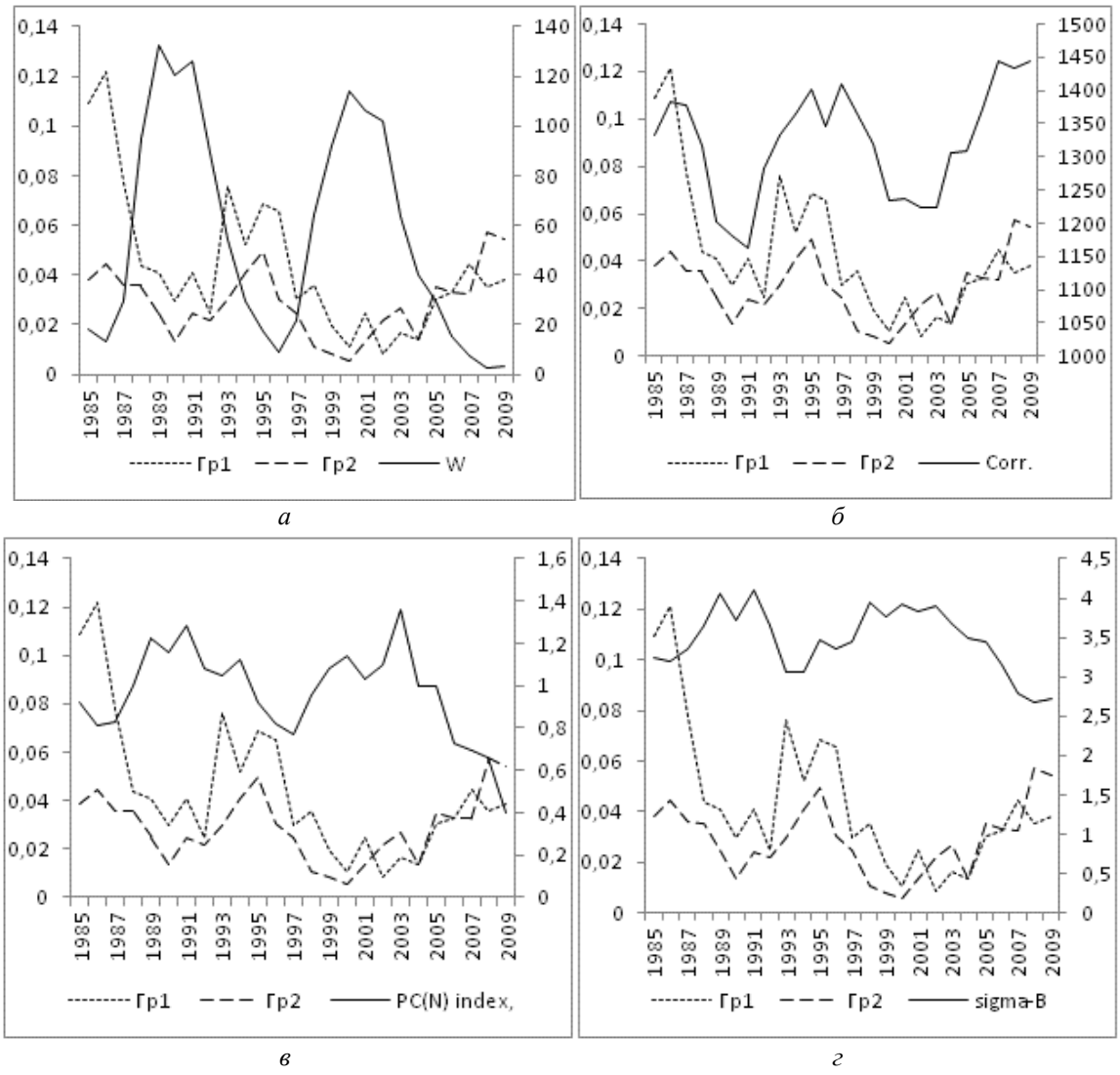


Рис. 2. Кривые среднегодовых показателей смертности от сердечно-сосудистой недостаточности в группах, рожденных в год низкой (Гр. 1) и высокой (Гр. 2) СА. По оси абсцисс — годы, по оси ординат на всех рисунках левая ось — частота смертей (случаи, нормированные на 1000); на рисунках с правой осью: на верхнем левом — числа Вольфа (W), на верхнем правом — интенсивность КЛ (Corr, с/10s), на нижнем правом — индекс ГМА ((PC(N), mV/m)), на нижнем левом — вариабельность вектора B (sigma B, nT)

В таблице представлены коэффициенты корреляции ($p \leq 0{,}05$) между числами Вольфа (W), вариациями интенсивности КЛ (Corr), средним значением напряженности ГМП, (|B|), средним значением вектора ГМП (|<B>|), вариабельностью напряженности и вектора ГМП (sigma|B| и sigma B, соответственно), индексами ГМА: Kp, AE, ap, PC(N), радиоизлучением Солнца (f10.7). На основе данных таблицы можно заключить, что частота случаев смертности от ССН, как у мужчин, так и у женщин, значимо увеличивается при возрастании интенсивности КЛ и снижается при возрастании СА и ГМА. В целом, полученные результаты показывают, что в фазы цикла СА, сопряженные с высокой ГМА, смертность от ССН должна снижаться, а в фазы цикла СА, ассоциированные с возрастанием интенсивности КЛ, — напротив, возрастать.

Коэффициенты корреляция между индексами СА (W), интенсивностью КЛ (Corr.), показателями ГМА и смертностью от ССН в группах мужчин и женщин, рожденных при низкой (Гр. 1) и высокой (Гр. 2) СА

Индексы, характеризующие СА, ГМА и интенсивность КЛ	Гр. 1			Гр. 2		
	сумм	Мужчины	Женщины	Сумм	Мужчины	Женщины
W – числа Вольфа	**-0,46**	**-0,58**	-0,34	**-0,69**	**-0,56**	**-0,66**
Corr. – интенсивность КЛ	0,37	**0,47**	0,28	**0,63**	**0,56**	**0,55**
|B| – напряженность ГМП	-0,24	-0,36	-0,15	**-0,61**	**-0,61**	**-0,48**
|<B>| – вектор ГМП	-0,22	-0,34	-0,13	**-0,58**	**-0,59**	**-0,44**
sigma-|B| – вариабельность |B|	-0,30	-0,38	-0,23	**-0,62**	**-0,55**	**-0,55**
sigma-B – вариабельность |<B>|	-0,39	**-0,49**	-0,29	**-0,75**	**-0,68**	**-0,65**
Kp-индекс (ГМА)	0,01	-0,08	0,07	-0,40	**-0,51**	-0,20
AE-индекс (ГМА)	-0,08	-0,03	-0,10	-0,37	**-0,48**	-0,19
Ap-индекс (ГМА)	0,00	-0,09	0,05	-0,32	**-0,44**	-0,14
PC(N) индекс (ГМА)	-0,28	-0,36	-0,20	**-0,58**	**-0,58**	**-0,45**
f10,7 – радиоизлучение Солнца	**-0,51**	**-0,62**	-0,39	**-0,69**	**-0,55**	**-0,67**

Полученные нами данные в общем виде соответствуют результатам исследования Счеклика с соавторами [65] показавшим, что наибольшее число инфарктов и случаев внезапной смерти совпадают с низкой СА, а наименьшее число случаев смертей приходится на годы с высокой СА. Проведенные нами исследования показывает, что как мужчины, так и женщины (Гр. 2), рожденные в годы высокой СА, более чувствительны к вариациям геофизических агентов, причем в этой группе мужчины оказываются более уязвимыми, чем женщины, поскольку у них больше значимых корреляций с геофизическими индексами. Это следует из работы Ю. М. Гедымина с соавторами [1], в которой показано, что возрастание числа достоверных корреляций между системами организма (и внешним воздействием) свидетельствует о напряжении механизмов адаптации и повышении степени уязвимости организма.

Таким образом, полученные результаты показывают, что для выявления возможных внешних причин, обусловливающих частоту смертей от ССН в определенные фазы цикла СА, необходимо учитывать не только уровень СА, ассоциированный с датой рождения, но и сопряженность циклов СА с интенсивностью воздействия геофизических агентов, имеющих альтернативное влияние на организм человека.

Литература

1. Гедымин Ю. М., Кутепов Е. Н. Роль донозологической диагностики в проблеме профилактики // Проблемы донозологической гигиенической диагностики: материалы науч. конф. Л.: Наука, 1989. С. 36–37.
2. Зависимость продолжительности жизни пациентов психоневрологического интерната от уровня солнечной активности в год своего рождения / Р. Е. Михайлов и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 1(8). С. 1905–1909.
3. Clinical cosmobiology — sudden cardiac death and daily/monthly geomagnetic, cosmic ray and solar activity — the Baku study (2003–2005) / E. Stoupel et al. // Sun and Geosphere. 2006. Vol. 1, No. 2. P. 13–16.
4. Melnikov V. N. Heliogeophysical factors at time of death determine lifespan for people who die of cardiovascular diseases // Advances in Space Res. 2010. 46. P. 787–796.
5. Mendoza B., Sánchez de la Peña S. Solar activity and human health at middle and low geomagnetic latitudes in Central America // Adv. Space Res. 2010. 46. P. 449–459.
6. Solar activity and myocardial infarction / E. Szczeklik et al. // Cor Vasa. 1983. 25(1). P. 49–55.

Д. А. Петрашова, В. В. Пожарская
Научно-исследовательский центр медико биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, petrashova@admksc.apatity.ru

МИКРОЯДРА И НАРУШЕНИЯ ПРОЛИФЕРАЦИИ В КЛЕТКАХ БУККАЛЬНОГО ЭПИТЕЛИЯ У ДЕТЕЙ СЕЛА КРАСНОЩЕЛЬЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Организм человека на протяжении всей его жизни постоянно подвергается различным стрессовым воздействиям, которые особенно выражены в условиях Крайнего Севера. Мурманская обл. характеризуется развитыми горнодобывающей, топливно-энергетической, металлургической отраслями промышленности, что добавляет к климатическим, географическим и другим природным стрессовым факторам среды, действующим на организм человека, техногенное воздействие. В этом плане представляет интерес исследование населения удаленных от промышленно развитых районов области поселений.

Цель исследования состояла в выявлении с помощью микроядерного теста цитогенетических нарушений в клетках буккального эпителия детей и подростков, проживающих в сельской местности Мурманской обл., где вблизи населенного пункта отсутствуют промышленные предприятия.

Материалы и методы

Материалом исследования служили образцы буккального эпителия 16 детей и подростков в возрасте от 10 до 17 лет, проживающих в с. Краснощелье. Жители с. Краснощелье, которое входит в состав сельского поселения Ловозеро, были выбраны для исследования поскольку данное населенный пункт находится не только на значительном удалении от промышленных предприятий, но и не связан всесезонными дорогами с другими поселениями. Согласно всероссийской переписи 2010 года, с. Краснощелье насчитывает всего 423 жителя [9]. Полученная выборка охватывает практически все население с. Краснощелья данной возрастной группы.

В качестве группы сравнения были выбраны 14–16-летние школьники г. Апатиты, в котором отсутствует градообразующее предприятие, но выше, чем в других малых городах региона, степень диверсификации экономики, а наличие учебных заведений различного уровня обеспечивает качественную составляющую городского социума.

Отбор биологического материала производился в апреле-мае 2014 г. Данный период выбран не случайно. С одной стороны, завершилась полярная ночь, с другой стороны, процесс снеготаяния еще не завершен, следовательно, пылевые частицы с автомобильных дорог и хвостохранилищ ОАО «Апатит» еще не могут оказывать влияние на изучаемые параметры.

Обследуемые интервьюировались по специально разработанному опроснику на наличие вредных привычек и медикаментозного лечения. Процедура приготовления препаратов буккального эпителия проводилась в соответствии с методикой, описанной в работе [3]. Все полученные данные вносились в реляционную многопользовательскую базу данных [7]. Анализ препаратов осуществлялся с помощью микроскопа Микмед-6 (ЛОМО, Россия) (увеличение 10×40; 10×100), оснащенного цифровой камерой.

Результаты

Анализ частоты встречаемости клеток с генетическими нарушениями и цитотоксическими эффектами проводился на отдельно лежащих и распластанных клетках с подсчетом не менее 1000 клеток на каждом препарате. Микроядра идентифицировали согласно стандарту, описанному в работе [14]. Кроме того, учитывались двухъядерные клетки, ядра с насечкой, кариопикноз, кариорексис, кариолизис, фрагментация и вакуолизация ядра, нарушения типа ядерных почек.

Статистическая обработка материала проводилась согласно рекомендациям Международной рабочей группы по оценке генотоксичности [13].

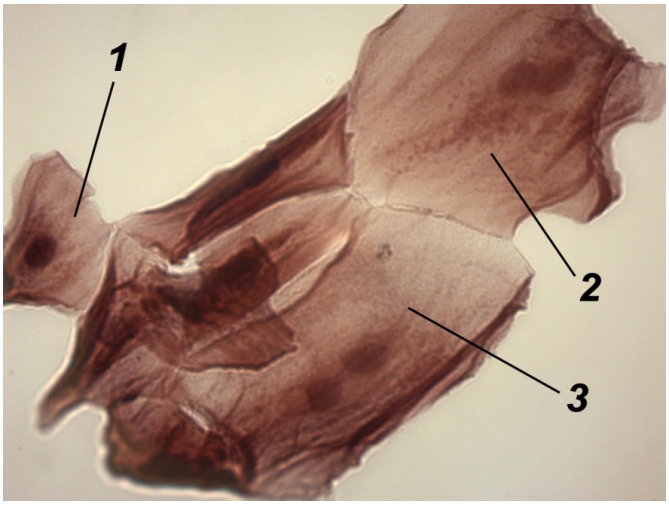
Средние значения частоты встречаемости клеток с микроядрами в обоих исследуемых группах не превышают среднепопуляционные показатели 2–5 ‰ [14], однако частота встречаемости клеток с микроядрами в с. Краснощелье значительно выше, чем в г. Апатиты (табл.). Микроядра являются обособленной частью генетического материала за пределами основного ядра, которая либо представлена фрагментом хромосомы, образовавшимся в результате повреждения ДНК, либо одной или несколькими целыми хромосомами, отставшими в анафазе и не вошедшими в основное ядро [8]. Повышение частоты клеток с микроядрами в ротовой полости является самым ранним проявлением риска рака ротовой полости [11].

Аналогичная картина наблюдается и с частотой встречаемости клеток с нарушением пролиферации (многоядерные клетки и клетки с ядром с круговой насечкой): у детей из с. Краснощелье данные показатели выше, чем у детей из г. Апатиты. Следует отметить интересную особенность клеток буккального эпителия с нарушениями пролиферации, которая проявляется в гигантизме клеток. На рисунке показана нормальная клетка с нормальным ядром (*1*) и гигантские клетки с нарушениями пролиферации (*2*, *3*).

Есть данные, что двух- и многоядерные клетки образуются преимущественно в результате полиплоидизирующего ацитокинетического митоза [1] и их частота может повышаться в ответ на облучение [12]. Ядра с круговой насечкой образуются в процессе незавершенного митоза в результате повреждения веретена деления, при этом нарушена не только цитотомия, но и кариотомия [6]. Происхождение двухъядерной клетки не связано с прямым воздействием генотоксиканта с ДНК, скорее, это эффект воздействия на завершающие стадии клеточного деления [3, 4, 10].

Средние значения частоты клеток с микроядрами и нарушением процесса пролиферации буккального эпителия детей, проживающих в сельской и городской местности Мурманской обл.

Показатель	Апатиты	Краснощелье	Показатель	Апатиты	Краснощелье
Возраст	15,0±0,57	13,6±0,55	Частота клеток с двумя ядрами, ‰	3,9±1,18	8,6±0,8
Количество обследуемых	20	16	Частота клеток с тремя и более ядрами, ‰	0	0,2±0,24
Частота клеток с микроядрами, ‰	0,2±0,13	5,0±0,49	Частота клеток с круговой насечкой, ‰	0,1±0,09	3,1±0,73



Гигантские клетки буккального эпителия подростка из с. Краснощелье:
1 — клетка нормального размера с нормальным ядром; *2* — гигантская клетка с круговой насечкой ядра в процессе лизиса; *3* — гигантская клетка с двумя ядрами в процессе лизиса

Заключение

Таким образом, у жителей удаленных поселений Мурманской обл. частота встречаемости цитогенетических нарушений достоверно выше, чем у жителей города. В литературе встречаются данные о том, что у жителей села уровень микроядер в буккальном эпителии выше, чем у городских жителей, что авторы связывают с использованием пестицидов [5]. Однако жители с. Краснощелье не подвергаются подобному воздействию, поскольку основным родом их деятельности является оленеводство. Можно предположить, что на количестве микроядер сказывается экономические и социальные условия. Хотя проведенные ранее исследования показали, что в возрастных группах трудоспособного населения как г. Апатиты, так и с. Краснощелье оценки уровня достатка в основном сопоставимы, при этом жители последнего дают максимальный балл по области при оценке качества жизни [2]. Есть вероятность, что выявленные цитогенетические нарушения могут быть связаны с особенностями питания жителей с. Краснощелье, в частности, с возможным недостатком фолиевой кислоты и витамина B_{12}. Данный вопрос требует дальнейшего более подробного изучения.

Авторы глубоко признательны и благодарны администрации муниципального образования с. Краснощелье, работникам детского сада и школы за помощь в подготовке и организации исследований. Также выражают благодарность зав. научным отделом и заместителю по научной работе НИЦ МБП КНЦ РАН д. б. н. Н. К. Белишевой за организацию исследований по изучению здоровья жителей отдаленных районов Мурманской области.

Литература

1. Бродский В. Я., Урываева И. В. Клеточная полиплоидия, пролиферация и дифференцировка. М.: Наука, 1981. 237 с.
2. Влияние социально-экономических условий на оценку качества жизни представителей городского и сельского населения Кольского Севера / Н. К. Белишева и др. // Труды Кольского научного центра РАН. Гуманитарные исследования. 2015. № 1(27). С. 119–135.
3. Генотоксические и цитотоксические эффекты в буккальных эпителиоцитах детей, проживающих в экологически различающихся районах Кузбасса / А. В. Мейер и др. // Цитология. 2010. Т. 52, № 4. С. 305–310.

4. Калаев В. Н., Артюхов В. Г., Нечаева М. С. Микроядерный тест буккального эпителия ротовой полости человека: проблемы, достижения, перспективы // Цитология и генетика. 2014. Т. 48, № 6. С. 62–80.
5. Микроядерный тест как индикатор эффекта действия хлорорганических пестицидов / А. Х. Марапетян и др. // Ученые записки Ереванского гос. ун-та. 2008. № 2. С. 153–155.
6. 10Микроядерный тест на буккальных эпителиоцитах человека / В. В. Юрченко и др. // Полиорганный микроядерный тест в эколого-гигиенических исследованиях. М.: Гениус, 2007. 312 с.
7. Петрашова Д. А., Бурцев А. В. Разработка базы данных по микроядерному тесту на клетках человека // Вестник Кольского научного центра РАН, 2016. № 2. С. 124–136.
8. Сычева Л. П. Биологическое значение, критерии определения и пределы варьирования полного спектра кариологических показателей при оценке цитогенетического статуса человека // Мед. генетика. 2007. № 6(11). С. 3–11.
9. Численность, размещение и возрастно-половой состав населения Мурманской области. Итоги Всероссийской переписи населения 2010 г. / Федер. служба гос. статистики, Территориальный орган Федер. службы гос. статистики по Мурманской обл. Мурманск, 2012. Т. 1. 75 с.
10. Юрченко В. В. Цитогенетические нарушения в эпителии щеки человека при экспозиции генотоксикантами // Токсикологический вестник. 2005. № 6. С. 14–21.
11. Evaluation of chromosomal aberrations, micronuclei and sisiter chromatid exchanges in hospital workers chronically exposed to ionizing radiation / R. S. Cardozo et al. // Teratog. Carcinog. Mutagen. 2001. 21. P. 431–439.
12. Koss L. G. Diagnostic cytology and its histopathologic bases. Philadelphia. Toronto: J. B. Lippincott Co. 1979. 1, 2. 1266 p.
13. Report from the in vitro Micronucleus assay working group / M. Kirsch-Volders et al. // Environmental and molecular mutagenesis. 2000. 35. P. 167–172.
14. Tolbert P. E., Shy C. M., Allen J. W. Micronuclei and other nuclear anomalies in buccal smears: methods development // Mut. Res. 1992. 271. P. 69–77.

В. В. Пожарская, Д. А. Петрашова
Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, Апатиты, vika_pozharskaja@mail.ru

МИКРОЯДРА В ЛИМФОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ ПРОЖИВАЮЩИХ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Мурманская обл. является регионом с развитыми горнодобывающей, энергетической, металлургической отраслями промышленности. В связи с чем на организм жителей региона влияют не только факторы, связанные с климатическими особенностями среды (полярная ночь, полярный день), географическое положение (зона авроральных явлений) и т. п., но и различные техногенные токсиканты, попадающие в окружающую среду в результате разработки различных месторождений полезных ископаемых и дальнейшего их использования в различных отраслях промышленности. Это неизбежно приводит к определенным экологическим сдвигам, поступлению вредных веществ в биосферу, аккумуляции техногенных загрязнителей в почве и водоисточниках. Вследствие переноса различных токсикантов на значительные расстояния происходит их аккумулирование в почве, напочвенном покрове, растениях, воде и т. д. даже в тех районах, в которых нет промышленных предприятий и какой-либо крупной хозяйственной деятельности. Помимо городов областного значения с крупными предприятиями, находящимися недалеко от спальных районов города (Ковдор, Кандалакша, Апатиты, Мончегорск, Оленегорск, Заполярный, Никель и др.), в Мурманской обл. имеются небольшие населенные пункты, вблизи которых нет промышленных предприятий (села Ловозеро, Краснощелье и др.).

Цель нашего исследования заключалась в выявлении с помощью микроядерного теста цитогенетических нарушений в лимфоцитах детей и подростков, проживающих в сельской местности Мурманской обл., где вблизи населенного пункта нет никаких промышленных предприятий. Для изучения были выбраны жители с. Краснощелье, которое входит в состав сельского поселения Ловозеро. Село не только находится на значительном удалении от промышленных предприятий, но и не связано всесезонными дорогами с другими населенными пунктами. Согласно всероссийской переписи населения 2010 г., с. Краснощелье насчитывает всего 423 жителя [8].

Материал и методы

Материалом для исследования служили образцы периферической крови 38 детей и подростков в возрасте от 2 до 18 лет, проживающих в с. Краснощелье. Забор материала был произведен в мае 2014 г. Законные представители получали полную информацию об исследовании, в котором предстояло принять участие их подопечным, и подписывали информированное согласие, составленное в соответствии с законодательством РФ и международным правом.

Микроядерный тест проводили на ФГА-стимулированных лимфоцитах цельной периферической крови детей и подростков в соответствии с методикой [9, 10, 13]. Долю двухъядерных клеток с микроядрами оценивали относительно 1000 двухъядерных клеток, цитокинез которых был остановлен цитохалазином В (ЦХВ), т. е. в клетках, проходивших первый митоз между 48 и 72 ч после стимуляции ФГА [4]. Микроядра идентифицировали как хроматиновые округлые тела с гладким непрерывным краем, размером не более трети ядра, лежащие отдельно от основного ядра, не преломляющие свет, с интенсивностью окрашивания и рисунком хроматина, как у основного ядра, и находящиеся в одной плоскости с ядром [12].

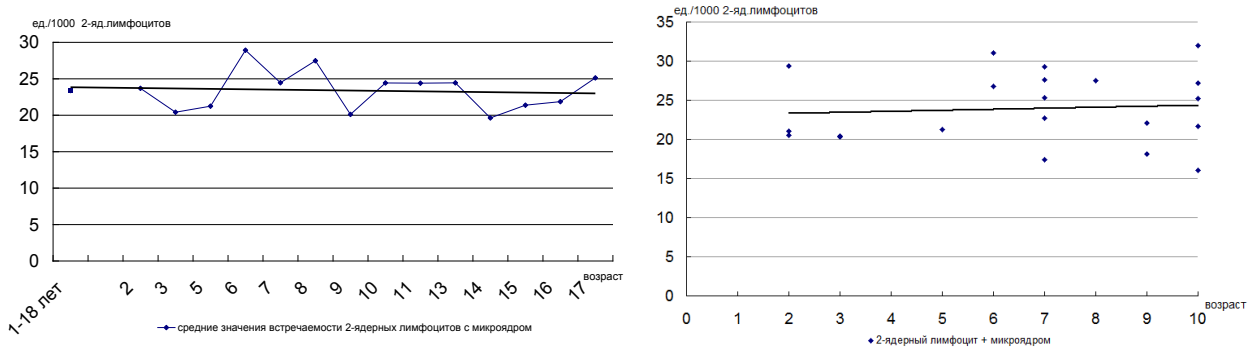
Анализ препаратов проводили с помощью микроскопа AXIOSTAR PLUS (Karl Zeiss, Германия) (об. 15×ок. 40, 100), оснащенного камерой CoolSNAPes (Photometrics) с цифровой системой регистрации и обработки изображения на базе ПЗС (Media Cebernetics, Inc.).

Все полученные данные вносились в реляционную многопользовательскую базу данных [5]. Статистическая обработка материала проводилась согласно рекомендациям Международной рабочей группы по оценке генотоксичности [11].

Результаты

Анализ препаратов лимфоцитов периферической крови детей в возрасте 2–17 лет показал, что среднее арифметическое значение двухъядерных клеток без идентифицированных нарушений составляло 976,7 ± 0,9 на 1000 двухъядерных клеток. Среднее число лимфоцитов с микроядрами у детей и подростков достигало 23,3 ± 0,9 клеток, данный показатель был незначительно выше, чем у взрослого населения с. Краснощелье (22,8 ± 1,2, $n = 24$). Полученные результаты соответствуют значениям, отмеченным у жителей российских городов — от 8,6 до 27,0 [1–4, 6, 7].

При анализе изменения встречаемости бинуклеарных лимфоцитов с микроядром на 1000 лимфоцитов у детей и подростков с. Краснощелье отмечается тенденция к незначительному снижению числа лимфоцитов с микроядром при увеличении возраста обследуемого (рис., *а*, табл.).



а *б*

Встречаемость двухъядерных лимфоцитов с микроядром у детей с. Краснощелье в зависимости от возраста (*а*) и в возрасте 2–10 лет (*б*)

Распределение клеток с микроядром в зависимости от возраста

Возраст, лет	Число бинуклеарных лимфоцитов	
	без микроядра на 1000 клеток	с микроядром на 1000 клеток
2-10 ($n = 21$)	976,1±1,0	24,0±1,0
11-17 ($n = 17$)	977,4±1,6	22,6±1,6

При этом у детей в возрасте от 2 до 10 лет число бинуклеарных лимфоцитов с микроядром возрастает с увеличением возраста (рис. 2), что, возможно, связано с особенностями скорости пролиферации клеток у детей. Именно благодаря данной особенности при культивировании лимфоцитов крови детей после добавления ЦХВ, вероятно, происходит накопление большего числа клеток с нарушениями деления ядра относительно культивирования лимфоцитов полученных от взрослых доноров.

Заключение

Особенности детского развития делают организм ребенка наиболее чувствительным к различным токсикантам, находящимся в окружающей их среде, что позволяет рассматривать цитогенетические нарушения, выявленные при микроядерном тесте на крови детей как индикатор промышленного загрязнения района проживания. Проведенные исследования показали, что среднее число лимфоцитов с микроядрами (23,3 ± 0,9 клеток на 1000 двухъядерных лимфоцитов) у детей и подростков с. Краснощелье находится близко к максимальным значениям, отмеченным в различных городах России.

Исследование состояния здоровья жителей отдаленных районов Мурманской обл., в которых отсутствуют какие-либо крупные источники техногенного загрязнения и нет промышленных предприятий, позволяет получить данные о вкладе в цитогенетический статус человека как токсикантов техногенного происхождения, так и социально-экономических условий проживания. Полученные результаты показывают, чтозначительное влияние на цитогенетический статус населения, вероятно, оказывают условия проживания, неотъемлемой частью которого является питание (сбалансированность рациона, содержание в достаточном количестве микроэлементов и витаминов), так как в связи с отсутствием всесезонных дорог значительную часть в рациона составляют продукты питания местного происхождения (рыба из местных водоемов, оленина, грибы, ягоды). Данный вопрос требует дальнейшего более подробного изучения.

Авторы глубоко признательны и благодарны администрации муниципального образования с. Краснощелье, работникам детского сада и школы за помощь в подготовке и организации исследований. Также выражают благодарность зав. научным отделом и заместителю по научной работе НИЦ МБП КНЦ РАН д. б. н. Н. К. Белишевой за организацию исследований по изучению здоровья жителей отдаленных районов Мурманской обл.

Литература

1. Ахмадуллина Ю. Р., Аклеев А. В. Оценка уровня лимфоцитов периферической крови с микроядрами у потомков первого поколения хронически облученных отцов // Вестник Челябинского гос. ун-та. 2013. Вып. 2. С. 97–98.
2. Ингель Ф. И. Перспективы использования микроядерного теста на лимфоцитах человека, культивируемых в условиях цитокинетического блока. Часть 1. Пролиферация клеток // Экологическая генетика. 2006. Т. 4, № 3. С. 38–54.
3. Колюбаева С. Н. Хромосомные аберрации, микроядра и апоптоз в лимфоцитах при радиационных воздействиях и других патологических состояниях: автореф. дис. … докт. биол. наук. Обнинск, 2010. 34 с.
4. Молекулярно-клеточные последствия аварии на ЧАЭС / И. И. Пелевина и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 1. С. 154–161.
5. Петрашова Д. А., Бурцев А. В. Разработка базы данных по микроядерному тесту на клетках человека // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 2. С. 124–136.
6. Пожарская В. В., Петрашова Д. А. Цитогенетические нарушения в лимфоцитах периферической крови у горнорабочих Мурманской области в возрасте до тридцати лет// Вестник науки и образования. 2016. № 10(22).
7. Распределение индивидуумов по спонтанной частоте лимфоцитов с микроядрами. Особенности и следствия / А. М. Серебряный и др. // Цитология. 2011. Т. 53, № 1. С. 5–9.
8. Численность, размещение и возрастно-половой состав населения Мурманской области. Итоги Всероссийской переписи населения / Федер. служба гос. статистики, Территориальный орган Федер. службы гос. статистики по Мурманской обл. Мурманск, 2012. Т. 1. 75 с.
9. Fenech M., Morley A. Solutions to the kinetic problem in the micronucleus assay // Cytobios. 1985. Vol. 43, No. 172–173. P. 233–246.
10. Human Micro Nucleus project. Intra- and inter-laboratory variation in the scoring of micronuclei and nucleoplasmic bridges in binucleated human lymphocytes. Results of an international slide-scoring exercise by the HUMN project / M. Fenech et al. // Mutat Res. 2003. Vol. 534, No. 1–2. P. 45–64.
11. Report from the in vitro Micronucleus assay working group / M. Kirsch-Volders et al. // Environmental and molecular mutagenesis. 2000. 35. P. 167–172.
12. Tolbert P. E., Shy C. M., Allen J. W. Micronuclei and other nuclear anomalies in buccal smears: methods development // Mut. Res. 1992. 271. P. 69–77.
13. Yager J. W., Sorsa M., Selvin S. Micronuclei in cytokinesis-blocked lymphocytes as an index of occupational exposure to alkylating cytostatic drugs // IARC Sci Publ. 1988. Vol. 89. P. 213–216.

С. В. Пряничников, А. А. Мартынова
Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, Апатиты, pryanichnikov@admksc.apatity.ru

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ТРЕВОЖНОСТИ В РАЗНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУППАХ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Тревожность как социально-психологическое явление является одной из проблем XXI века. В современном мире она оказывает существенное влияние на повседневную жизнь человека. Являясь эмоциональной реакцией на опасность, тревожность отражает страх и неуверенность перед неизвестным [3]. Она возникает в виде реакции человека на различные социально-психологические стрессоры (ожидание

негативной оценки или агрессивной реакции, восприятие неблагоприятного к себе отношения, угрозы своему самоуважению, престижу, здоровью) [2]. Тревожность может иметь возрастные пики, частоту распределения и интенсивности переживания, что чаще всего связано с возрастными кризисами (подростковый, среднего возраста и т. д.). С другой стороны, тревожность отражает свойство личности [2], она формируется на базе развития отношений родителей к ребенку, возрастных кризисов и предыдущего жизненного опыта.

Оценка степени тревожности и понимание ее особенностей на разных этапах развития человека (онтогенеза) позволит приблизиться к пониманию причин ее появления, а также найти способы и методы коррекции до физиологического оптимума.

Цель исследования — выявление особенностей психологического состояния жителей Арктического региона на основе исследования степени тревожности в структуре личности разных возрастных групп.

Материалы и методы

Психоэмоциональное состояние оценивалось по методу Спилбергера — Ханина на основе оценки уровня ситуативной (СТ) и личностной (ЛТ) тревожности. Опросник включал из двух блоков — ситуативной тревожности (СТ) и личностной тревожности (ЛТ). Каждый блок состоял из 20 вопросов. Ситуативная тревожность (СТ) характеризуется напряжением, беспокойством, нервозностью, характерной для данной конкретной ситуации или момента времени, личностная (ЛТ) — характеризует устойчивую склонность воспринимать большой круг ситуаций как угрожающие, реагировать на такие ситуации состоянием тревоги.

Исследование проводилось с 2012 по 2013 гг. Всего было обследовано 55 человек, в том числе дети из Мурманской обл., находящиеся на летнем отдыхе в оздоровительном комплексе «Эковит» КНЦ РАН (с. Александровка-Донская, Воронежской обл.) в возрасте 13–18 лет, 19 мальчиков и 9 девочек. Сотрудники мужского пола КНЦ РАН и студенты КФ ПетрГУ (г. Апатиты) — 12 человек, средний возраст 25 лет, студенты и преподаватели МИБО (г. Мурманск) мужского пола — 15 человек, средний возраст 27 лет.

Результаты исследования

Результаты оценки личностной и ситуативной тревожности в структуре психоэмоционального состояния детей, находящихся на отдыхе в 2012 г. (табл. 1), показали, что данные СТ в начале смены как среди девочек так и мальчиков, составляют 39,20 и 36,80 ед. соответственно, которые выражают средний уровень тревожности, но у девочек они расположены ближе к границе функциональной нормы. Увеличение показателей СТ к концу отдыха до 41,80 ед. — у девочек и 41,30 ед. — у мальчиков свидетельствует о напряжении психоэмоционального состояния, выраженного в виде субъективного переживания беспокойства и тревоги. Достаточно высокие значения ЛТ в конце смены как у девочек — 45,88 ед., так и у мальчиков — 40,54 ед., вероятно, свидетельствуют о каком-то стрессирующем факторе, действующем довольно продожительное время, либо о недостаточном времени пребывания детей на отдыхе. Обращают на себя внимание так же высокие максимальные значения СТ у некоторых девочек и мальчиков — 65,0 и 58,0 ед. и ЛТ — 63,0 и 51,0 ед. соответственно. Можно предположить несколько причин, вызывающих повышенные значения ЛТ: она обусловлена либо возрастными кризисами, проходящими в пубертатном возрасте исследуемых, либо переменой места постоянного проживания детей, либо воздействием стресс-факторов внешней среды.

Таблица 1

Статистические характеристики личностной и ситуативной тревожности детей (девочек и мальчиков) в период отдыха в 2012 г.

Показатели, ед.	Среднее		Медиана		Минимум		Максимум		Статистическое отклонение	
	девочки	мальчики	девочки	мальчики	девочки	мальчики	девочки	мальчики	девочки	мальчики
Ситуативная тревожность										
Начало смены	39,20	36,80	37,0	37,0	23,0	22,0	**65,0**	**58,0**	12,5	10,4
Конец смены	**41,80**	**41,30**	**42,0**	**44,0**	24,0	20,0	**62,0**	**56,0**	11,9	11,5
Личностная тревожность										
Начало смены	40.56	39.76	38,0	40,0	25,0	27,0	**56,0**	**49,0**	9,72	6,37
Конец смены	**45.88**	**40.54**	**47,5**	**42,0**	30,0	30,0	**63,0**	**51,0**	11,84	7,75

Примечание. Показатели в период с 30 апреля по 11 мая и 24 сентября по 18 октября 2012 г.

Результаты исследования личностной и ситуативной тревожности в структуре психоэмоционального состояния испытуемых, приведенного в г. Апатиты, показали, что средние по выборке показатели СТ соответствуют оптимуму 35,41 ед., однако у отдельных испытуемых показатели СТ превышают нормальные

значения на несколько пунктов и достигают 44,00 ед. (табл. 2). В отличие от группы детей, показатель ситуативной тревожности взрослых испытуемых изменился не так значительно — с 35,41 до 36,00 ед. соответственно, а вот личностная тревожность снизилась к концу исследований с 33,25 до 31,58 ед. Тестирование, приведенное в г. Мурманске, показало, что средние по выборке показатели СТ соответствуют функциональной норме 37,91 ед. Так же у отдельных испытуемых показатели СТ имеют высокие значения — до 50,00 ед. К концу исследования в динамике можно наблюдать изменение ситуативной тревожности до 38,91 ед., приблизившейся к границе средних значений и личностной тревожности —до 40,91 ед., которая превысила границу функционального оптимума.

Таблица 2

Статистические характеристики личностной (ЛТ) и ситуативной (СТ) тревожности в группе испытуемых (города Апатиты и Мурманск)

Показатель	Среднее		Медиана		Минимум		Максимум		Статистическое отклонение	
Город	Апатиты	Мурманск	Апатиты	Мурманск	Апатиты	Мурманск	Апатиты	Мурманск	Апатиты	Мурманск
Ситуативная тревожность										
Начало смены	35,41	37,91	35,0	37,00	33,0	25,00	**44,0**	**50,00**	3,20	7,78
Конец смены	**36,00**	**38,91**	34,5	33,00	25,0	20,00	**54,0**	**50,00**	7,44	9,46
Личностная тревожность										
Начало смены	33,25	39,91	33,5	34,50	22,0	24,00	49,0	47,00	7,95	6,38
Конец смены	**31,58**	**40,91**	31,5	36,50	23,0	21,00	46,0	**52,00**	6,88	9,67

Результаты

Таким образом, на различных группах испытуемых (дети, взрослые) и в разные годы исследований: 2012–2013 гг. установлено, что уровень СТ и ЛТ жителей Арктического региона колеблется в пределах функциональной нормы. Так же выявлено, что психоэмоциональное состояние детей к концу отдыха характеризуется повышением уровня личностной и ситуативной тревожности. Можно предположить, что дети Заполярья сенсибилизированы к вариациям условий среды в силу проживания на Севере, поэтому смена климатогеографического пояса при перемещении с севера на юг, вероятно, воспринимаются организмом детей как дополнительная нагрузка (стресс-фактор), для адаптации к которой требуется более длительное время пребывания в условиях средних широт [1], либо возрастными кризисами, проходящими в пубертатном возрасте исследуемых.

Литература

1. Адаптация детей Заполярья к условиям средних широт при различном уровне геомагнитной активности / А. А. Мартынова и др. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2013. № 3. С. 54–63.
2. Спилбергер Ч. Д. Личностный опросник. М.: Изд-во МГУ, 1973.
3. Хорни К. Новые пути в психоанализе / пер. с англ. А. Боковикова. Изд. 2-е. М.: Академический проект, 2009.

П. С. Терещенко, В. Н. Петров, В. В. Мегорский, Н. К. Белишева

Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, Апатиты

tereshchenko_pash@mail.ru

ПУТИ МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА И МЕТОДЫ ЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Минеральный обмен — совокупность процессов всасывания, распределения, усвоения и выделения минеральных веществ, изучающийся в разделе бионеорганической химии.

Попадание веществ в организм человека возможно через верхние дыхательные пути с продуктами питания, а также с медпрепаратами. Одной из теорий предполагается, что минеральный обмен осуществляется низкомолекулярными белками (металлотионеинами) через клетки нервной, иммунной и эндокринной систем. Выведение макро- и микроэлементов из организма осуществляется с мочой, желчью, потом, калом [6].

Нарушения минерального обмена

По влиянию на организм человека все элементы подразделяют на три группы [2, 14]: эссенциальные, условно-эссенциальные и условно-токсичные элементы.

Эссенциальные элементы необходимы для нормального функционирования организма, и резкое изменение их содержания по сравнению с нормой приводит к развитию патологии. К данной группе относятся основные элементы (азот, углерод, водород, кислород), макро- (натрий, калий, кальций, хлор, фтор, магний, фосфор и сера) и 8 микроэлементов (хром, медь, железо, йод, марганец, молибден, селен и цинк).

Условно-эссенциальные элементы — данные микроэлементы нужны для жизнедеятельности, однако вредны в избыточных количествах. К данной группе относится серебро, алюминий, золото, кобальт, германий, бор, литий, кремний и ванадий.

Условно-токсичные элементы — к данной группе относятся вещества, поступление в организм которых даже в очень малых дозах может вызвать отравление. К ним относятся более 50 элементов таблицы Менделеева, например, мышьяк, тяжелые металлы и другие вещества.

Основные причины нарушения минерального статуса в организме человека [9, 14]:

1. Нерациональное питание — наиболее распространенная причина недостатка минеральных веществ. Однообразное питание или употребление в пищу низкокачественных продуктов часто приводят к дефициту жизненно важных минеральных веществ в организме. Некоторые пищевые продукты могут препятствовать всасыванию минеральных веществ, так, молочные продукты, чай и кофе способны связывать железо в кишечнике, что тормозит его всасывание. Пищевые добавки из-за длительного приема или большого количества того или иного элемента могут вызывать микроэлементозы.

Некачественная питьевая вода может быть причиной избытка и недостатка макро- и микроэлементов в организме. Например, такое заболевание, как флюороз, проявляющееся разрушением зубов и снижением функции иммунной системы, вызывается потреблением питьевой воды с избыточным содержанием фтора.

2. Геологические особенности различных регионов Земли. Минеральные вещества из почвы попадают в продукты питания и воду. Известно, что минеральные вещества встречаются в разных количествах в различных регионах земного шара. Регионы с недостаточным или избыточным содержанием минеральных веществ называются эндемическими, так как на их территории часто возникают заболевания, связанные с нарушением обмена минералов. Например, существуют зоны с недостаточным содержанием йода, в таких регионах снижение функции щитовидной железы (зоб) как следствие недостатка йода встречается чаще, чем в регионах с нормальным содержанием йода в почве. Флюороз также встречается в основном в определенных регионах Земли.

3. Лечение ксенобиотиками — чужеродными для человека веществами (синтезированными химическими соединениями). Так, прием мочегонных средств приводит к дефициту калия, магния, кальция, избытку натрия; антациды, цитрамон вследствие содержания в своем составе алюминия могут стать причинами поражений сосудов головного мозга, остеомаляции; аспирин, контрацептивы, антиаритмические препараты вследствие дисбаланса меди могут вызывать появление поражений суставов (артриты, артрозы).

4. Возрастные особенности организма. В различные периоды жизни потребность человека в минеральных веществах и витаминах различна. Например, в период роста организм ребенка нуждается в больших количествах минералов (кальций, фосфор) в сравнении с организмом взрослого человека. Дефицит железа часто возникает у девочек с обильными менструациями. Организм пожилого человека нуждается в больших количествах кальция для поддержания состояния достаточной минерализации костей.

5. Физическое или эмоциональное напряжение может стать причиной дефицита жизненно необходимых макро- и микроэлементов.

6. Генетика и наследственность: предрасположенность к нарушению обмена микроэлементов, например, избыток молибдена в организме беременной женщины повышает риск развития подагры, камнеобразования (уратов) у ребенка; дефицит меди — пороков развития; дефицит селена и марганца — онкологических заболеваний; дефицит хрома и цинка — сахарного диабета, раннего развития атеросклероза.

7. Бытовое загрязнение: табачный дым, содержащий кадмий, краски для волос, содержащие никель, дезодоранты, содержащие алюминий, алюминиевая посуда, зубные пломбы, содержащие ртуть и кадмий, являются реальной причиной развития микроэлементозов.

Основные риски развития дефицита макро- и микроэлементов у детей [6]:

- в период наиболее интенсивного роста;
- занятие спортом;
- больные (острые инфекционные заболевания вирусного или бактериального генеза; патология сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта);
- длительно принимающие некоторые лекарственные препараты (фенобарбитал, диуретики, слабительные);
- проживающие в семьях с низким социально-экономическим уровнем;
- проживающие в экологически неблагоприятной среде.

Микроэлементозы могут носить эндемический характер, например эндемический зоб, флюороз. При дисбалансе минеральных веществ, вызванном алиментарным фактором, неблагоприятной экологической ситуацией, заболеваниями (в том числе и генетически детерминированными — болезнь Вильсона — Коновалова,

энтеропатический акродерматит), сопровождающимися нарушением всасывания микроэлементов или длительным применением некоторых лекарственных веществ, микроэлементы вступают в конкурентные взаимоотношения и могут вызвать парадоксальные реакции [11]. Наиболее высока чувствительность к химическим агентам у эмбриона, новорожденного, ребенка раннего возраста, что объясняется индивидуальной гиперчувствительностью и этническими особенностями реакции на ксенобиотики. Установлены новые закономерности развития вторичной иммунной недостаточности у детей под влиянием загрязнения окружающей среды солями тяжелых металлов [2, 13]. Доказано, что нарушения в системах интерфероногенеза и фагоцитоза встречаются при этом чаще и выражены более интенсивно, чем сдвиги показателей клеточного и гуморального иммунитета [1]. Доказана прямая зависимость роста заболеваемости (в том числе наследственного характера) детей от общего ухудшения экологической обстановки. Это касается прежде всего геохимической обстановки в крупных промышленных городах [1–2, 10–11, 13].

Методы изучения минерального обмена

Диагностика макро- и микроэлементного дисбаланса в организме проводится по их содержанию в крови, волосах, ногтях, слюне, желудочном соке, моче и грудном молоке. Исследование минеральных веществ в биологических жидкостях имеет свои ограничения. Так, определение содержания многих макро- и микроэлементов в крови часто не отражает истинных показателей их концентрации в тканях ввиду деятельности эндокринной, вегетативной и других систем организма, обеспечивающих гомеостаз. В то же время определение токсичных элементов в крови важно в диагностике интоксикации, имеющейся в момент анализа крови. Содержание элементов в суточной моче отражает их выведение в течение текущих суток [8, 12]. Наиболее достоверным показателем концентрации минеральных веществ в тканях являются волосы, чем кровь и моча. Спектральный анализ волос является намного более информативным видом исследования. Взятие данного биоматериала безболезненно. Однако исследование минеральных веществ в волосах имеет свои ограничения: следует помнить о различии уровня содержания макро- и микроэлементов в зависимости от пола, возраста, длительности проживания в регионах и профессии [8].

В литературе упоминается «метод Скального» — медицинская технология «Выявление и коррекция нарушений минерального обмена организма человека», зарегистрированная в МЗСР РФ в июле 2007 г., разработанная Центром биотической медицины» (создан в 1988 г. под руководством докт. мед. наук, проф. А. В. Скального). В данной методике используется атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной аргоновой плазмой (ИСП-АЭС), масс-спектрометрия с индуктивно связанной аргоновой плазмой (ИСП-МС), высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), с помощью которых можно анализировать пробы биосубстратов волос, ногтей, крови, слюны, мочи и т. д., а также питьевой воды, пищевых продуктов и объектов окружающей среды.

Особенности минерального обмена у жителей арктических территорий

При переезде человека в новые экологические условия элементная перестройка организма происходит примерно в течение двух месяцев. На этом основании в случае выявления различий в элементном статусе аборигенов и приезжих, проживающих в одних экологических условиях, особенности минерального обмена аборигенов можно считать генетически обусловленными [3, 4, 7].

При анализе элементного статуса аборигенных и приезжих жителей отмечены следующие закономерности. Выраженные отклонения в содержании калия, натрия (избыток/дефицит), избыток фосфора, цинк и медь (дефицит/избыток) отмечены только в группах аборигенов/метисов [4]. Это элементы, играющие важную роль в поддержании водно-солевого обмена. Люди с избытком натрия и (или) калия легко возбудимы, впечатлительны, гиперактивны, что подчеркивает роль микроэлементов в обеспечении психоэмоциональных реакций человека, в частности аборигенов Севера [3, 4, 8].

Комплексное нарушение микроэлементного баланса (дефицит цинка, селена, кальция) формирует адаптационный иммунодефицит, особенно недостаточность клеточного звена иммунного ответа. Это обусловливает рецидивирующее течение ряда заболеваний, прежде всего с аутоиммунным компонентом патогенеза, например, цинкозависимые дерматиты [8].

Отмечен избыток фосфора в волосах аборигенов/метисов. Учитывая экскреторную функцию волос, повышенное содержание фосфора свидетельствует о его выведении из организма. Избыток фосфора в организме аборигенов и метисов объясним его высоким содержанием в рыбе, которая является одним из основных продуктов питания народностей Севера. Этим же объясняются и единичные случаи выявления ртути в волосах аборигенов/метисов, что связано с присутствием солей ртути в речных, озерных и морских видах рыб [2, 4–5].

Сочетанный дисбаланс фосфора и кальция в растущем организме аборигенных жителей на фоне отклонений от нормы других микроэлементов является основой нарушения формирования костной ткани и последующим развитием у взрослых жителей эндемической остеодистрофии [12].

Выводы

Важнейшие функции организма человека — реализация генетической информации, образование субклеточных структур, метаболические процессы, выработка энергии, функционирование всех органов и систем — зависят от количественного и качественного содержания в организме минеральных веществ.

Особенности качественного минерального обмена у жителей арктических территорий (формирование дефицита и избыточного аккумулирования определенных микроэлементов, нормализация минерального обмена в условиях дисбаланса некоторых элементов) следует считать генетически детерминированными.

Количественный микроэлементный состав организма генетически детерминирован. Содержание минералогических элементов определяется условиями образа жизни и местностью проживания.

Изучение роли минерального состава организма человека является актуальным для медицины, а новые научные исследования, уточняющие место макро- и микроэлементов в этиологии, патогенезе, а также особенностях течения многих заболеваний, являются, перспективными в поиске путей повышения эффективности выявления, профилактики и лечения нарушения минерального обмена.

Литература

1. Абатуров А. Е. Микроэлементный баланс и противоинфекционная защита детей // Здоровье ребенка. 2008. № 1(10). С. 47–50.
2. Бут Г. Микроэлементы и их роль в обеспечении имунного ответа // Новости медицины и фармации. 2008. № 4(235). С. 13.
3. Горбачев А. Л. Биоэлементный статус аборигенных жителей северных регионов России // Северо-Восточный науч. журн. 2012. № 3(11). С. 37–45.
4. Горбачев А. Л. Особенности минерального обмена у малочисленных народностей Севера, проживающих на территории Магаданской области // Вестник Северо-Восточного гос. ун-та. Магадан, 2013. № 20. С. 50.
5. Горбачев А. Л. Особенности элементного статуса аборигенных жителей северных регионов России // Микроэлементы в медицине. 2011. Т. 10, № 3–4. С. 48–53.
6. Громова О. А. Школа по витаминам и микроэлементам. 2004. С. 59.
7. Манчук В. Т. Надточий Л. А. Состояние и тенденции формирования здоровья коренного населения Севера и Сибири // Бюллетень СО РАМН. 2010. Т. 30, № 3. С. 24–32.
8. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов. СПб., 2008. С. 544.
9. Радучич О. Азбука здоровья // Здоров'я України. 2007. № 5. С. 57.
10. Серебровская Н. Микроэлементы и здоровье // Нубель Эстетик. 2004. № 6. С. 11–16.
11. Скальный А. В. Нарушения минерального обмена у человека: метод. пособие для врачей. Донецк: Норд-Пресс, 2006. С. 82.
12. Скальный А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: ОНИКС 21-й век, 2004. С. 216.
13. Brown J. M. Pfau J. C., Holian A. Immunoglobulin and lymphocyte responses following silica exposure in New Zealand mixed mice // Inhal. Toxicol. 2004. Vol. 16, No. 3. P. 133–139.
14. Iron and the anaemia of chronic disease: a review and strategic recommendations / I. Cavill et al. // Current Medical Research and Opinion. 2006. Vol. 22. No. 4. P. 731–737.

Л. В. Топчиева[1], О. В. Балан[1], И. Е. Малышева[1], О. Ю. Барышева[2], О. А. Васькова[2], Е. Б. Стафеева[1]

[1]*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, topchieva67@mail.ru*

[2]*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск*

СОДЕРЖАНИЕ МЕТАБОЛИТОВ ОКСИДА АЗОТА В ПЛАЗМЕ КРОВИ И УРОВЕНЬ ТРАНСКРИПТОВ ГЕНА NOS2 В ЛЕЙКОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У БОЛЬНЫХ РЕВМАТОИДНЫМ АРТРИТОМ НА ФОНЕ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ ТЕРАПИИ

Ревматоидный артрит (РА) относится к иммуновоспалительным заболеваниям и сопровождается повышением уровня провоспалительных цитокинов в плазме крови, таких как TNFα, IL1β, INFγ [3]. Указанные цитокины играют важную роль в стимулировании активности и экспрессии индуцибильной синтазы оксида азота (NOS2), способствуя, таким образом, увеличению уровня оксида азота в кровяном русле и синовиальной жидкости больных ревматоидным артритом [14]. Это влечет за собой усиление продукции пироксинитрита, являющегося фактором повреждения ДНК и белков, воспаления сосудов крови [6]. Кроме того, усиление выработки оксида азота вызывает дисфункцию митохондрий и окислительный стресс клеток синовия и оказывает влияние на процессы их программируемой смерти [5, 12]. Для лечения пациентов с РА в клинике часто используют противовоспалительный препарат метотрексат (МТ), назначаемый как отдельно, так и в сочетании с другими медикаментами, такими как биологические препараты на основе антител, к провоспалительным цитокинам, глюкокортикоиды (ГК) и нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП). Применение МТ и ГК приводит к уменьшению уровня TNFα и других провоспалительных цитокинов в плазме крови [2, 10]. Однако данные о влиянии МТ и других противовоспалительных препаратов на содержание оксида азота очень малочисленны и противоречивы [10, 13]. Тем не менее, эти данные представляют большой интерес в связи возможностью их использования для разработки критериев оценки эффективности лечения больных различными препаратами. К тому же, известно, что активность NOS2 регулируется как на транскрипционном, так и на постранскрипционном уровне [11]. Тем не менее, эффект

указанных препаратов на транскрипционную активность гена NOS2 изучен плохо. Целью исследования явилось изучение влияния метотрексата, глюкокортикостероидов и НПВП на содержание метаболитов оксида азота в плазме крови больных ревматоидным артритом и уровень транскриптов гена NOS2.

Материал и методы исследования

Обследование пациентов с диагнозом РА и доноров из контрольной группы проводилось врачами Республиканской больницы им. Баранова. Критерии исключения из исследования: наличие сахарного диабета; перенесенные в последний месяц инфекционно-воспалительные заболевания; курение табака; беременность и лактация; алкогольная зависимость; индекс массы тела ≥28 кг/м^2.

Определение уровня метаболитов оксида азота (суммарная концентрация нитритов и нитратов) в плазме крови проводили по методу В. А. Метельской [1]. Исследовано 6 образцов плазмы крови доноров из группы РА дебют (в начале заболевания) (возраст 53,0 ± 5,6 года), 56 — из группы РА на терапии (возраст 58,0 ± 1,8 лет) и 62 — из контрольной группы (54,5 ± 2,8 лет). Сыворотку крови депротеинизировали 96 %-м этиловым спиртом и центрифугировали при 3000 об/мин в течение 20 мин. Уровень метаболитов NO определяли спектрофотометрическим методом по развитию окраски в реакции диазотирования нитратом сульфаниламида, входящего в состав реактива Грисса. Для восстановления нитрат ионов в нитрит-ионы использовали металлический цинк. Оптическую плотность раствора определяли при λ 540 нм на приборе CLARIOstar (BMG LABTECH, Германия)

Для определения уровня экспрессии гена NOS2 было использовано 28 образцов крови из группы пациентов с РА возрастом 54,25 ± 1,8 года (из которых 15 пациентов в дебюте заболевания и 13 пациентов на терапии МТ) и 22 образца крови доноров контрольной группы возрастом 51,75 ± 3,9 года. Тотальную РНК выделяли из ЛПК с помощью набора Extract RNA (Евроген, Россия) и обрабатывали ДНКазой (1 ед. а) (СибЭнзим, Россия). Для синтеза первой цепи использовали набор MMLV RT kit (Евроген, Россия). Количество и качество выделенных тотальной РНК и кДНК определяли спектрофотометрически на приборе SmartSpecPlus (Bio-Rad, США). Уровень транскриптов гена NOS2 изучали методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в режиме реального времени на приборе iCycler с оптической приставкой iQ5 (Bio-Rad, США). Праймеры: прямой 5'GTGGTCCAACCTGCAGGTCT3'; обратный 5'CATAGCGGATGAGCTGAGCATT3' (Синтол, Россия).

В качестве референсного гена использовали ген GAPDH (праймеры: прямой 5'GAAGGTGAAGGTCGGAGTC3'; обратный 5'GAAGATGGTGATGGGATTTC3' (Синтол, Россия). Протокол ПЦР: денатурация кДНК 5 мин при 95 °С; 40 циклов: денатурация 30 с при 95 °С; отжиг 30 с при 60 °С; элонгация 30 с при 72 °С. Специфичность продуктов амплификации проверяли плавлением ПЦР фрагментов. Эффективность ПЦР (98 %) оценивали по стандартной кривой. Уровень транскриптов генов вычисляли по ΔΔCT [8]. ПЦР проводили не менее 3 раз.

Для оценки различий уровня транскриптов и содержания метаболитов оксида азота в группах сравнения применялся U-критерий Манна — Уитни — Вилкоксона. Снижение уровня метаболитов оксида азота в плазме крови рассчитывали по медиане.

Результаты и обсуждение

Оксид азота является одним из наиболее важных биологических медиаторов, который вовлечен во множество физиологических и патофизиологических процессов организма [9]. При воспалительных заболеваниях, в том числе и ревматоидном артрите, уровень оксида азота в плазме крови, как правило, повышается [4, 14]. Как показали результаты нашего исследования, содержание метаболитов оксида азота в плазме крови больных РА в дебюте заболевания было значительно больше, чем в плазме крови людей из контрольной группы (табл. 1). Необходимо отметить, что данные по содержанию метаболитов оксида азота в плазме крови здоровых и больных РА людей, полученные нами, сопоставимы с литературными. Так, в работе [4] показано, что содержание (NO)*x* в плазме крови здоровых людей составило 32,7 ± 14,3 мкМ/л, а в плазме крови больных РА — 208,3 ± 126,8 мкМ/л.

Основным источником вазоактивного азота в интактном кровяном русле является эндотелий сосудов, где он вырабатывается за счет активности эндотелиальной синтазы оксида азота (NOS3). У больных РА развивается эндотелиальная дисфункция, сопровождающаяся снижением биодоступности оксида азота [7]. Тем не менее, у больных РА наблюдается увеличение содержания оксида азота в крови, вероятнее всего, за счет усиления экспрессии индуцибильной синтазы оксида азота. Известно, что экспрессия NOS2 и ее активность регулируется провоспалительными цитокинами, такими как TNFα, IL1β, INFγ, IL6, уровень в которых в плазме крови больных РА повышен [3]. Понижение уровня этих белков будет способствовать и снижению экспрессии и активности NOS2 и соответственно оксида азота в плазме крови. Действительно, уровень нитритов и нитратов в плазме крови пациентов, находящихся на терапии метатрексатом, преднизолоном и комплексной терапии этими препаратами, а также в сочетании с нестероидными противоспалительными препаратами был значительно ниже, чем в плазме крови пациентов в дебюте заболевания (табл. 1). Содержание метаболитов оксида азота в плазме крови больных РА людей, которые проходили монотерапию МТ и комплексную терапию МТ с преднизолоном, было даже ниже, чем у доноров из контрольной группы. Таким образом, противовоспалительная терапия способствовала снижению уровня метаболитов оксида азота в плазме крови больных РА, однако эффективность этого процесса зависела от принимаемых пациентами препаратов. Так, у больных, находящихся на монотерапии метатрексатом, уровень NO*x* был снижен приблизительно на 73 %

по сравнению с больными в дебюте заболевания. Наибольший эффект в отношении снижения содержания метаболитов оксида азота оказала комплексная терапия метотрексатом и преднизолоном (примерно 86 %), а наименьший — терапия нестероидными противовоспалительными препаратами (55,5 %).

Таблица 1

Содержание метаболитов оксида азота $(NO)_x$ (мкМ, л) в плазме крови здоровых и больных РА людей

Показатель	Группы, включенные в исследование						
	Контрольная (n = 62)	Дебют РА (n = 6)	МТ РА (n = 13)	МТ+НПВП РА (n = 13)	МТ+ПЗ РА (n = 14)	ПЗ РА (n = 8)	НПВП РА (n = 8)
Среднее	38,16	188,15	48,14	68,39	28,17	40,57	90,37
Минимум	12,79	127,12	30,51	43,99	16,72	24,98	48,40
Максимум	79,87	262,55	79,79	131,97	42,77	54,36	187,97
Медиана	33,10	167,77	45,00	56,95	24,14	43,90	74,74
Межквартильный размах	29,52	142,43	15,50	19,78	11,60	18,47	44,92
Значения p при сравнении							
с контрольной группой		0,00006	0,04900	0,00021	0,08500	0,50000	0,00010
с группой дебют РА	0,00006		0,00072	0,00135	0,00061	0,00234	0,01154

Примечание. Здесь и в табл. 2 сокращения: МТ РА — группа пациентов с диагнозом ревматоидный артрит, находящихся на терапии метотрексатом; МТ+НПВП — группа пациентов с диагнозом ревматоидный артрит, находящихся на комплексной терапии метотрексатом и нестероидными противовоспалительными препаратами; МТ+ПЗ — группа пациентов с диагнозом ревматоидный артрит, находящихся на комплексной терапии метотрексатом и преднизолоном; ПЗ РА — группа пациентов с диагнозом ревматоидный артрит, находящихся на терапии преднизолоном; НПВП РА — группа пациентов с диагнозом ревматоидный артрит, находящихся на терапии нестероидными противовоспалительными препаратами.

Таблица 2

Относительный уровень транскриптов гена NOS2 в лейкоцитах периферической крови здоровых и больных РА людей

Показатель	Группы, включенные в исследование				
	контрольная (n = 23)	дебют РА (n = 16)	МТ РА (n = 7)	ПЗ РА (n = 6)	НПВП РА (n = 7)
Содержание транскриптов, отн. ед.	0,030	0,091	0,015	0,016	0,027
Значения p при сравнении					
с контрольной группой		0,008	0,501	0,435	0,647
с группой дебют РА	0,008		0,013	0,013	0,065

Как уже было отмечено выше, содержание NOS2 в основном регулируется на транскрипционном уровне [11]. В связи с этим, мы изучили влияние противоспалительных препаратов на содержание мРНК гена NOS2. Уровень транскриптов гена NOS2 в лейкоцитах периферической крови больных ревматоидным артритом в дебюте заболевания значительно превышал таковой у пациентов с этим же диагнозом, но находящихся на противовоспалительной терапии, а также у доноров из контрольной группы (табл. 2). Содержание мРНК гена NOS2 в лейкоцитах периферической крови доноров из контрольной группы и больных ревматоидным артритом, находящихся на противовоспалительной терапии, достоверно не различалось (табл. 2).

Выводы

У больных ревматоидным артритом в дебюте заболевания отмечено повышение содержания метаболитов оксида азота по сравнению со здоровыми людьми.

Применение больными РА противовоспалительных препаратов способствовало снижению в плазме крови метаболитов оксида азота. Эффективность данного процесса зависела от свойства использованных для лечения больных РА препаратов.

Метотрексат, преднизолон и нестероидные противоспалительные препараты способствуют снижению уровня транскриптов гена NOS2.

Литература

1. Метельская В. А., Гуманова Н. Г. Скрининг-метод определения уровня метаболитов оксида азота в сыворотке крови // Клиническая лабораторная диагностика. 2005. № 6. С. 15–18.
2. Экспрессия гена FOXP3 и профиль цитокинов у больных ревматоидным артритом при лечении метотрексатом / И. Е. Малышева и др. // Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2015. № 2. С. 6–10.
3. Brennan F. M., McInnes I. B. Evidence that cytokines play a role in rheumatoid arthritis // J. Clin. Invest. 2008. Vol. 118, No. 11. P. 3537–3545.
4. Choi J. W. Nitric oxide production is increased in patients with rheumatoid arthritis but does not correlate with laboratory parameters of disease activity // Clin Chim Acta. 2003. Vol. 336. P. 83–87.
5. Effect of nitric oxide on mitochondrial activity of human synovial cells / B. Cillero-Pastor et al. // BMC Musculosceletal Disorders. 2011. Vol. 12:42.
6. Habib S., Ali A. Biochemistry of nitric oxide // Ind. J. Clin. Biochem. 2011. Vol. 26. P. 3–17.
7. Inducible nitric oxide synthase activity is increased in patients with rheumatoid arthritis and contributes to endothelial dysfunction / K. M. Mäki-Petäjä et al. // Int. J. Cardiol. 2008. Vol. 129. P. 399–405.
8. Livak K. J., Schmittgen T. D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)) Method // Methods. 2001. Vol. 25. P. 402–408.
9. Lowenstein C. J., Dinerman J. L., Snyder S. H. Nitric oxide: a physiologic messenger // Ann. Intern. Med. 1994. Vol. 120. P. 227–237.
10. Methotrexate ameliorates pristane-induced arthritis by decreasing IFN-γ and IL-17A expressions / W. K. Hou et al. // J. Zhejiang. Univ. Sci. B. 2011. Vol. 1. P. 40–46.
11. Nitric Oxide Production and Signaling in Inflammation / R. Korhonen et al. // Curr. Drug Targ. Inflamm. Allergy. 2005. Vol. 4. P. 471–479.
12. Nitric oxide protects against cultered rheumatoid synovial cells from Fas-induced apoptosis by inhibiting caspase-3 / K. Migito et al. // Immunol. 2001. Vol. 103. P. 362–367.
13. Role of inducible nitric oxide synthase pathway on methotrexate-induced intestinal mucositis in rodents / R. F. Leitäo et al. // BMC Gastroenterol. 2011. Vol. 11:90.
14. Weinberg J. B. Nitric oxide production and nitric oxide synthase type 2 expression by human mononuclear phagocytes: a review // Molecular Medicine. 1998. Vol. 4. P. 557–591.

Секция 11. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРНЫХ И АКРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

С. В. Баранов
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, bars.vl@gmail.com

РАНЖИРОВАНИЕ РЕГИОНОВ СЕВЕРА ПО УРОВНЮ ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Настоящая работа выполнена в рамках исследования, поддержанного грантом РФФИ отделения общественных и гуманитарных наук № 15-02-00127 «Системная динамика информационно-коммуникационного пространства и социально-экономическое развитие северо-арктических территорий России».

Значимость решения задачи рассмотрения вопросов информатизации регионов Севера обусловливается:

1) ролью информатизации для характеристики уровня социально-экономического развития территорий [1, 2, 4, 5, 20, 21];

2) повышенным значением информатизации для функционирования регионов Севера в связи с проблемами удаленности и повышенными издержками традиционного социально-экономического взаимодействия с другими территориями [3, 13, 18, 20, 21];

3) новыми задачами комплексного социально-экономического развития и инновационной модернизации хозяйства, фиксируемыми в том числе в программных документах развития Арктики [6, 7, 9, 16].

Как правило, в работах подобного рода используются рейтинговые оценки [11, 12, 14]. Сущность рейтингового подхода — в изучении различий между объектами (в нашем случае — регионами) на основе совместного анализа соответствующих показателей с целью построения рейтингов (комплексных оценок) регионов. При практическом применении данный подход позволяет оценить положение региона относительно общероссийского уровня, используется в подавляющем большинстве исследовательских и официальных методик [3, 11, 12, 17, 19].

Наиболее апробированными методиками, основанными на этом подходе, считаются методика Минэкономразвития 1996 г, результаты которой применялись в программно-прогнозных материалах 1996 г., и методика расчета комплексной оценки социально-экономического развития регионов, используемая в федеральной целевой программе «Сокращение различий в социально-экономическом развитии регионов Российской Федерации (2002–2010 годы и до 2015 года)» [10]. Основной идеей является расчет интегральных характеристик регионального развития на базе метода безынтервального пофакторного ранжирования регионов по взаимоувязке с методом балльной оценки и представлением результатов в форме стандартизированных рейтинговых оценок.

Анализ этих методических схем позволяет констатировать следующие достоинства и недостатки рассматриваемого подхода. Достоинства заключаются в возможности определения положения региона относительно среднего по стране уровня, комплексном характере и сбалансированности оценок, использовании относительно несложных расчетных средств, что приводит к простой и естественной интерпретации результатов.

Основной недостаток состоит в том, что комплексная оценка рассчитывается как среднее мест, которые занимают показатели региона относительно общероссийского уровня (с последующим разбиением регионов на группы согласно комплексной оценке). Следовательно, этот подход позволяет лишь ранжировать регионы, а не количественно характеризовать степень их различия. Подробнее о достоинствах и недостатках этого подхода см., например, в следующих работах [3, 8, 11, 14, 17].

В качестве примера использования типовой методики рейтинговых оценок построим рейтинг информатизации субъектов Севера РФ по методике расчета комплексной оценки социально-экономического развития регионов [10]. Сущность этой методики: используются средневзвешенные балльные оценки (разность показателя по региону и среднего по стране, деленная на среднее по стране).

Базовые показатели рейтинга информатизации регионов Севера:

1) число персональных компьютеров на 100 работников, шт.;

2) число персональных компьютеров с доступом в Интернет на 100 работников, шт.;

3) затраты на приобретение вычислительной техники, млн руб.;

4) затраты на приобретение программ, млн руб.;

5) затраты на обучение сотрудников, млн руб.;

6) затраты на оплату услуг сторонних организаций и специалистов (кроме услуг связи и обучения), млн руб.

При расчете рейтинга показатели 3–6 нормированы на численность населения в регионе.

Специфика и обоснование выбора показателей, включая методические принципы, представлены в работах [18, 20]. Результаты расчетов приведены в таблице.

Рейтинги информатизации регионов Севера относительно общероссийского уровня за 2003–2014 гг., рассчитанные по среднему мест относительно общероссийского уровня

Субъект Федерации	2003 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Российская Федерация	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Республика Карелия	-2,0	-2,3	-0,8	-4,3	-2,2	-4,5	-3,8	-4,2	-3,7
Республика Коми	-2,2	-0,3	-0,7	-2,5	-0,8	-2,5	-3,7	-4,7	-4,0
Архангельская обл.	-4,8	-3,8	-4,5	-6,0	-4,3	-1,8	-4,0	-5,0	-3,9
Ненецкий АО	3,7	5,0	-0,5	-1,7	1,5	-1,2	0,2	-1,0	-0,4
Мурманская обл.	-0,8	-0,5	-2,0	-2,0	-2,3	-3,2	-3,2	-3,5	-3,4
Ханты-Мансийский АО	-1,0	2,5	0,7	-2,0	-0,5	0,3	-1,2	-1,5	-0,9
Ямало-Ненецкий АО	1,2	0,3	-0,7	-1,0	-0,3	0,7	0,3	-1,0	-0,4
Республика Тыва	-6,8	-6,2	-7,5	-7,8	-5,2	-5,3	-6,3	-6,8	-6,9
Республика Саха (Якутия)	1,3	-1,0	-1,2	-3,0	-1,3	-1,8	-0,3	-2,2	-0,8
Камчатский край	-1,5	-0,5	-2,7	-1,5	-0,7	-5,0	-2,8	-2,5	-2,0
Магаданская обл.	0,2	2,7	1,5	0,2	4,0	2,5	4,3	2,2	4,0
Сахалинская обл.	2,2	4,5	3,8	3,5	4,7	1,8	1,8	2,8	2,3
Чукотский АО	1,3	2,0	0,5	-2,2	2,8	1,3	0,0	-0,7	0,3

По данным 2014 г. (крайнее значение динамического ряда) отметим позиции субъектов Севера. Результаты расчетов указывают, что только три региона Севера по уровню информатизации занимают более высокие позиции относительно уровня среднего по стране (Магаданская и Сахалинская области, Чукотский автономный округ). Среди субъектов Севера в 2014 г. первые три места по уровню информатизации занимают соответственно именно эти субъекты Российской Федерации. Наименее благополучные позиции занимают Республика Тыва, Архангельская обл., Республика Коми.

Подводя итоги, отметим: обращает внимание то, что уровень информатизации регионов Севера в целом ниже, чем в среднем по России, однако следует отметить, что обозначенные выше ограничения типовых рейтинговых оценок диктуют необходимость подключения других методов оценки информатизации с целью уточнения полученных результатов.

Перспективными направлениями являются:

1) подключение методов, позволяющих учитывать коррелированность показателей (подробнее см.: [3, с. 84–87; 14, с. 43–44]);

2) введение эконометрических моделей (подробнее см.: [2, 15, 20]);

3) подключение методов, позволяющих количественно выявлять неравенство (аналоги кривой Лоренца, индекса Джини) (подробнее см.: [5, с. 17–22; 15, с. 111–134; 21].

Литература

1. Баранов С. В. Информационно-коммуникационные технологии в России: проблемах и победах // Информационное общество. 2012. № 2. С. 52–60.
2. Баранов С. В., Скуфьина Т. П. Информационно-коммуникационные технологии и экономическое развитие регионов России: поиск зависимостей и перспективных направлений регулирования // Вопросы статистики. 2014. № 5. С. 41–53.
3. Баранов С. В., Скуфьина Т. П. Моделирование региональных систем: монография. Апатиты: КНЦ РАН, 2014. 101 с.
4. Баранов С. В., Скуфьина Т. П. Программное обеспечение в России: ситуация, проблемы, оценка издержек легализации, способы их минимизации // Проблемы прогнозирования. 2004. № 4. С. 70–81.
5. Баранов С. В., Скуфьина Т. П. Сравнительная динамика экономического роста и межрегиональная дифференциация территории российского Севера // Вопросы статистики. 2015. № 11. С. 69–77.
6. Башмакова Е. П. Сравнительная характеристика стратегий развития арктических стран // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2013. Т. 1. № 32. С. 15а–21.
7. Зерщикова Н. И. Север и Арктика: проблемы и решения // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2016. Т. 50, № 3. С. 96–105.
8. Колемаев В. А. Математическая экономика: учебник. 2-е изд. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. С. 15–16.
9. Лексин В., Порфирьев Б. Особенности оценки результативности и эффективности программ развития макрорегионов (на примере программы развития Арктической зоны РФ) // Проблемы теории и практики управления. 2016. № 4. С. 28–36.
10. Приложение № 6 к федеральной целевой программе «Сокращение различий в социально-экономическом развитии регионов РФ (2002-2010 годы и до 2015 года) // Собрание законодательства РФ. 2001. № 43. С. 9036–9060.

11. Самарина В. П. Анализ проблем регионального развития применительно к типам регионов // Региональная экономика: теория и практика. 2010. № 42. С. 13–20.
12. Самарина В. П., Илларионова Е. А. Основные принципы выбора инструментария анализа социально-экономического развития региона // Регион: системы, экономика, управление. 2015. № 1 (28). С. 83–85.
13. Самарина В. П. Социально-экономические факторы размещения населения зоны Севера // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2007. Т. 2, № 18. С. 150–160.
14. Серова Н. А. Методические аспекты оценки инвестиционной привлекательности регионов // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2015. Т. 1. № 1 (44). С. 152–156.
15. Скуфьина Т. П., Баранов С. В., Самарина В. П. Эконометрическая оценка развития межрегиональной дифференциации в России и прогноз влияния ВТО на динамику процесса: монография /Ин-т экон. проблем КНЦ РАН. Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 150 с.
16. Скуфьина Т. П. Альтернативы развития российского Севера // Региональная экономика: теория и практика. 2011. № 4. С. 2–10.
17. Скуфьина Т. П. Проблемы измерения социально-экономического неравенства регионов Росийской Федерации // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2007. Т. 2. №
18. Скуфьина Т. П. Теоретические и методические основы анализа и регулирования развития региональных систем (на примере зоны Севера): монография. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. 215 с.
19. Терешина М. В., Самарина В. П. Анализ проблем развития зоны Севера в контексте типологизации регионов // Современная экономика: проблемы и решения. 2013. № 11. С. 79–90.
20. Dynamics of interregional differentiation in Russian regions based on the level of development of information and communication technologies / S. V. Baranov et al. // Mediterranean J. Social Sciences. 2015. Vol. 6, No. 6. P. 384–389.
21. Skufina T. P., Baranov S. V., Samarina V. P. Dependency between economic development of the Russian regions and their level of informatization // Actual Problems of Economics. 2016. No. 7(181). P. 485–493.

С. В. Баранов, Т. П. Скуфьина
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, bars.vl@gmail.com

СПЕЦИФИКА ПРОИЗВОДСТВА ВАЛОВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА РЕГИОНОВ СЕВЕРА

Эконометрические модели производственных функций позволяют на основе формализации факторов, выделенных как основные, наглядно демонстрировать общее и особенное. Исследования, в том числе и авторские, подтверждают, что это составляет необходимую ступень познания сущности и направленности региональных движений многочисленных и разнообразных субъектов РФ [1, 7–9, 11, 13].

Сущность методического подхода

Напомним, классической поход к моделированию производственных процессов с помощью производственных функций (ПФ) состоит в использовании динамических рядов исследуемой экономической системы, характеризующих выпуск продукции в виде объемов производства за определенные промежутки времени и используемые для этого ресурсы (труд и капитал), для оценивания параметров производственной функции [6, с. 10–15].

При моделировании региональных производственных процессов в качестве экономической системы рассматривается регион. За годовой выпуск принимается валовой региональный продукт (ВРП), за капитал — либо инвестиции, либо основные фонды отраслей экономики региона, за труд — среднегодовая численность занятых в экономике [5; 3, с. 86–89]. Однако фиксируется проблема, которая уже обсуждалась авторами в предшествующих исследованиях по производству ВРП в Российской Федерации [2; 11, с. 45–47]. Рассмотрение производственных функций регионов Севера в классическом виде позволит выделить только специфические черты, характерные для каждого северного региона в отдельности. Однако эти регионы очень разнообразны, и выявить групповую специфику Севера в рамках классического подхода не представляется возможным.

Для преодоления указанного ограничения и выявления групповой специфики предлагается оценивать параметры производственной функции не по динамическим рядам данных, а по региональным. Тогда производственная функция принимает вид:

$$X(r) = A \cdot K(r)^p L(r)^q, \quad (1)$$

где r — регион, $X(t)$ — выпуск продукции за год t; $K(t)$ — капитал за год t; $L(t)$ — труд (количество занятых в исследуемой системе) за год t. Остальные переменные (A, p и q) являются оцениваемыми параметрами и при логарифмировании соотношения (1) могут быть определены методом наименьших квадратов. При этом A всегда больше нуля и называется коэффициентом нейтрального технического прогресса (при постоянных p и q выпуск в точке (K, L) тем больше, чем больше A), p — эластичностью по фондам, q — эластичностью по труду [6, с. 12–13; 12, с. 39].

Производственная функция (1) уже описывает не поведение изучаемой системы в разные моменты времени, а поведение набора систем (группы регионов) в один и тот же момент времени. Число регионов в РФ достаточно для оценки параметров (1) методом наименьших квадратов.

Таким образом, оценив параметры (1) за различные годы, мы можем охарактеризовать внутригрупповую специфику и выявить динамику производства ВРП в региональных группах. Возможные случаи, приводящие к различной экономической интерпретации результатов, приведены в работах [2, 5, 14], при этом регионы рассматриваются как целостные, неструктурированные единицы; на вход поступают ресурсы, а на выходе получается результат функционирования экономики в виде ВРП. Фактически в этом случае регионы Севера рассматриваются как единый объект, что дает возможность представить поведение этих регионов тоже как единого объекта. Аналогичный подход авторы использовали при анализе специфики производства ВВП Российской Федерации [10, 14]. Так же отметим, что этот подход позволяет не только выделить групповую специфику объектов, но также целесообразен при проблеме коротких временных рядов наблюдений, что было использовано авторами, когда динамический ряд значений ВРП субъектов РФ был недостаточен для исследования с помощью классического подхода использования производственных функций. [2; 12, с. 56–58]. Плодотворный характер результатов говорит о целесообразности дальнейших исследований в рамках применения этого подхода.

Объект исследования, используемые характеристики производственной функции и источник статистических данных

Объектом исследования являлась группа субъектов зоны Севера России, территории которых полностью включены в зону Севера: 13 субъектов (Мурманская обл., Республика Карелия, Архангельская обл., Ненецкий автономный округ (АО), Чукотский АО, Камчатский край, Сахалинская обл., Магаданская обл., Ямало-Ненецкий АО, Ханты-Мансийский АО — Югра, Республика Коми, Республика Саха (Якутия), Республика Тыва). Актуальность выделения регионов Севера в качестве объекта исследования диктуется обострением ряда экономических проблем этих территорий, требующих наглядного отражения в научных исследованиях [4, 7, 11, 13].

За выпуск принимается ВРП регионов, за труд — среднегодовая численность занятых в экономике по регионам. Возникает вопрос: что следует принимать за капитал? Напомним, что, как показали исследования, производство ВВП России практически не зависит от основных фондов [10, 14]. Определено, что группа регионов Севера так же демонстрирует слабую зависимость производства ВРП от основных фондов отраслей экономики [1, с. 59–83; 5]. Поэтому целесообразен выбор в качестве капитала показателя «инвестиции в основной капитал на душу населения».

Возникает вопрос: какая размерность предпочтительнее, стоимостная или индексы физического объема? Известно, что ВРП регионов зоны Севера существенно зависит от уже сложившихся в каждом конкретном регионе факторов производства. Известно также, что экономика регионов Севера является экспортно ориентированной. Все эти факторы определяют предпочтительность использования индексов физического объема, частично устраняющих проблему влияния внешних факторов на производство ВРП регионов Севера. Такой подход позволяет уменьшить влияние внешних факторов, например, цен на энергоносители, на производство ВРП.

Таким образом, составляющие модели производственной функции (1) характеризуются показателями: выпуск — индекс физического объема ВРП субъекта Российской Федерации; ресурс труда — индекс среднегодовой численности занятых в экономике субъекта Российской Федерации; ресурс капитала — индекс физического объема инвестиций в основной капитал субъекта Российской Федерации.

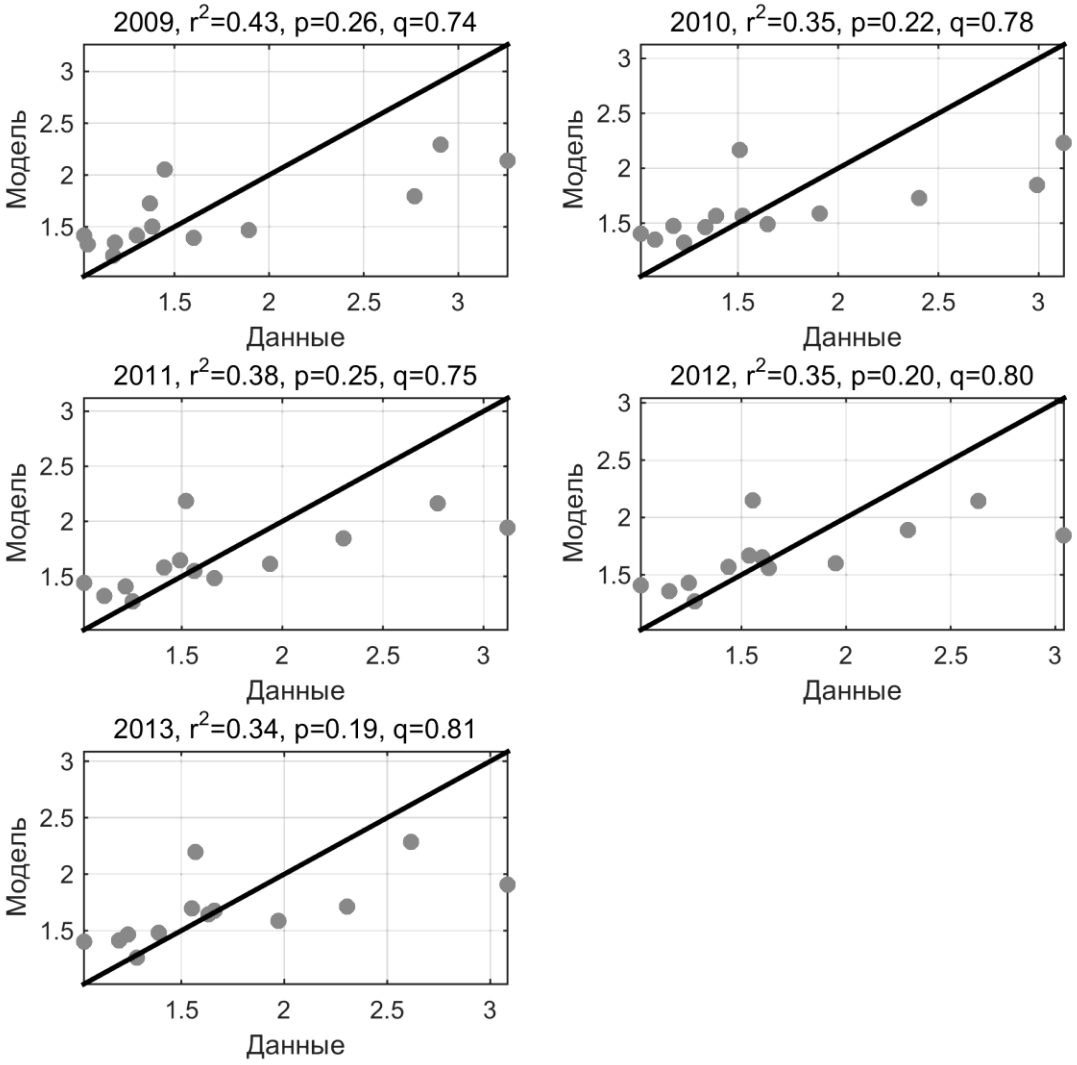
Результаты моделирования

Результаты моделирования по региональным рядам данных для зоны Севера, представленные на рисунке, указывают на следующие особенности.

Во-первых, обращает внимание, что хорошее соответствие производственной функции (1) реальным данным наблюдалось с начала исследования динамического ряда явления, то есть с 2001 г. по начало периода кризиса, то есть 2008 г. Так, в период 2001–2007 гг. значение коэффициента детерминации (r^2) колебалось в пределах от 0,94 до 0,70 (минимальное значение наблюдалось в 2005 г.). В 2008 г. наблюдается ухудшение соответствия модели исходным данным, но коэффициент детерминации остается все еще приемлемым ($r^2 = 0{,}65$). В последующий период развития кризиса и посткризисных процессов коэффициент детерминации колебался в пределах от 0,34 до 0,43. Это свидетельствует о том, что естественные экономические процессы в группе субъектов Севера были нарушены в 2008 г. До настоящего времени и экономика зоны Севера продолжает находиться в состоянии так называемого «ручного управления», то есть фундаментальные закономерности производства, а значит, и основные зависимости воспроизводственных процессов экономики в регионах зоны Севера «не работают» с 2009 г.

Помимо нарушения естественных экономических пропорций воспроизводства, с позиций управления следует учесть сложный и малопрогнозируемый характер воздействия современных внешне- и макроэкономических факторов на экономику Севера. Эти факторы затрудняют достоверное прогнозирование, следовательно, и планирование экономических процессов в регионах Севера России. В этих условиях становится оправданным применение механизма «ручного управления» в случае возникновения негативных факторов в экономике субъектов Севера.

Во-вторых, экономика Севера демонстрирует экстенсивный характер экономического роста. Напомним условие неоклассической производственной функции, которой соответствуют модели зоны Севера 2001–2009 гг.: если $p > q$, то рост выпуска (ВРП) является трудосберегающим (интенсивным), если $p < q$, то фондосберегающим (экстенсивным). В период 2001–2008 гг. в регионах Севера $p < q$. Затем используемые модели не соответствуют реальному поведению производственных процессов в регионах Севера.



Результаты моделирования по зоне Севера, 2009–2013 гг.

Таким образом, в рамках предложенного подхода удалось выявить групповую специфику производства ВРП регионов Севера РФ.

Публикация выполнена при поддержке гранта РФФИ отделения по гуманитарным и общественным наукам и Правительства Мурманской области № 17-12-51003 «Разработка эконометрических моделей производства валового регионального продукта арктических субъектов для прогнозирования и управления экономикой Арктической зоны Российской Федерации».

Литература

1. Баранов С., Самарина В., Скуфьина Т. Межрегиональная дифференциация в Российской Федерации / LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrucken. 2016. 174 p.
2. Баранов С. В., Скуфьина Т. П. Моделирование производства валового регионального продукта в регионах зоны Севера и несеверной части РФ // Вопросы статистики. 2007. № 2. С. 57–62.
3. Баранов С. В., Скуфьина Т. П. Моделирование региональных систем: монография. Апатиты: КНЦ РАН, 2014. 101 с.
4. Баранов С. В., Скуфьина Т. П. Сравнительная динамика экономического роста и межрегиональная дифференциация территории российского Севера // Вопросы статистики. 2015. № 11. С. 69–77.
5. Баранов С. В. Эконометрические модели производственных функций // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10/2. С. 55–57.

6. Колемаев В. А. Математическая экономика: учебник. 2-е изд. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 399 с.
7. Самарина В. П. Анализ проблем регионального развития применительно к типам регионов // Региональная экономика: теория и практика. 2010. № 42. С. 13–20.
8. Самарина В. П., Илларионова Е. А. Основные принципы выбора инструментария анализа социально-экономического развития региона // Регион: системы, экономика, управление. 2015. № 1(28). С. 83–85.
9. 9Самарина В. П. Теоретические аспекты исследования эколого-экономических систем // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2006. № 18. С. 12.
10. Скуфьина Т. П., Баранов С. В. Выявление специфики общественного производства России с помощью производственных функций // Проблемы развития территории. 2016. № 2(82). С. 27–36.
11. Скуфьина Т. П., Баранов С. В., Самарина В. П. Эконометрическая оценка развития межрегиональной дифференциации в России и прогноз влияния ВТО на динамику процесса: монография. Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 150 с.
12. Скуфьина Т. П. Теоретические и методические основы анализа и регулирования развития региональных систем (на примере зоны Севера): монография. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. 215 с.
13. Ускова Т. В. Пространственное развитие территорий: состояние, тенденции, пути снижения рисков // Проблемы развития территории. 2015. № 1 (75). С. 7–15.
14. Production functions in identifying the specifics of producing gross regional product of Russian Federation / T. Skufina et al. // Mediterranean J. Social Sciences. 2015. Vol. 6, No. 5, Suppl. 3. P. 265-270.

Т. И. Барашева
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, barasheva@iep.kolasc.net.ru

БЮДЖЕТНО-НАЛОГОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В РЕГИОНАХ СЕВЕРА И АРКТИКИ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Развитие экономической деятельности и поддержание на должном уровне социальной сферы в северных и арктических регионах осложнено суровыми климатическими условиями, удаленностью, низкой транспортной доступностью и другими объективными факторами. В этой связи государственная бюджетно-налоговая политика, занимающая ведущее место в системе управления развитием регионов, в таких субъектах РФ должна отличаться от общероссийской. Соблюдение интересов территориальных властей, реализующих приоритетные для региона задачи, и хозяйствующих субъектов, деятельность которых способствует росту занятости и доходов населения, наращиванию налогового и бюджетного потенциалов, становится значимым ориентиром при разработке механизмов бюджетно-налогового регулирования в северных условиях.

Об отступлении от выполнения заявленного принципа свидетельствуют проблемы в бюджетной системе северных и арктических регионов, которые выявляются в ходе проведения федеральной бюджетной политики, а также наличие высоких предпринимательских рисков, сохраняющихся в условиях реализуемой центральными властями налоговой политики.

В настоящее время регионы Севера и Арктики обеспечивают более 30 % всех налоговых поступлений бюджетной системы страны, свыше 60 % перечисляется ими в федеральный бюджет [4], при этом объем налогов, остающийся на территории северных регионов, из года в год сокращается. Это приводит к уменьшению собственных доходов, уровень которых в большей части северных субъектов фиксируется в размере ниже среднего по стране. Неуклонно снижается обеспеченность расходов консолидированных бюджетов собственными доходами. В 2014 г. расходы бюджетов в полном объеме были профинансированы за счет поступивших собственных доходов лишь в Сахалинской и Тюменской областях, Ханты-Мансийском АО.

Система межбюджетных трансфертов также не поддерживает справедливое распределение средств: экономически развитые северные субъекты, являвшиеся до распределения трансфертов финансово обеспеченными, после их распределения остаются обладателями более низких бюджетных доходов по сравнению с регионами с минимальной собственной доходной базой.

Следствием недостаточно эффективной системы перераспределения финансов становится нарастание межрегиональных различий в подушевой бюджетной обеспеченности, что приводит к установлению относительно органов власти одного уровня неодинаковых возможностей для предоставления бюджетных услуг населению. Наряду с этим в ряде северных и арктических регионов уровень бюджетной обеспеченности не достигает среднероссийского показателя. Ими стали не только экономически слаборазвитые северные субъекты РФ (Республика Бурятия и Забайкальский край), но и регионы со средним уровнем развития (Республика Карелия и Приморский край), а также наиболее развитые регионы (Томская и Иркутская области, Пермский край).

Из-за обострения бюджетных проблем федеральные органы принимают решения, которые приводят к новым расходным обязательствам территориальных властей. Так, в 2013 г. рост расходных обязательств был вызван необходимостью исполнения «майских» указов президента, что в условиях замедления темпов роста налоговых поступлений привело к усилению дисбаланса бюджетных доходов и расходов практически во всех

северных субъектах, а затем и к возрастанию объема долговых обязательств. На начало 2014 г. долг превысил 40 % собственных доходов у 40 % северных регионов, на начало 2015 г. — более чем у 60 %.

Ограниченные бюджетные источники не позволяют проводить полноценную экономическую политику в регионах. О дискриминации северных и арктических субъектов РФ говорит показатель бюджетных расходов на национальную экономику, приходящийся на душу населения: в большей половине субъектов он не достигает среднероссийского уровня и среди всех расходных бюджетных статей демонстрирует наибольшую степень межрегиональной дифференциации [6, с. 45].

Кроме того, в условиях, когда в большинстве северных и арктических регионов степень износа основных фондов практически достигла критического порога [3, с. 49–59], уровень финансирования основного капитала за счет средств региональных бюджетов продолжает оставаться низким и в общей структуре источников составляет чуть больше 4 %. Объем федеральных бюджетных инвестиций, направляемых в северные и арктические регионы, более чем в два раза уступает в размере среднему показателю по Российской Федерации и, подобно региональным инвестициям, продолжает снижаться [6, С. 76].

Таким образом, проблемы бюджетов северных и арктических регионов, вызванные ходом реализации государственной бюджетной политики, препятствуют экономическому развитию территорий и сдерживают рост уровня жизни населения.

Не в полной мере учитывают северную специфику и механизмы налогового регулирования. В настоящее время действует ряд налоговых преференций в отношении субъектов хозяйствования, функционирующих в суровых северных условиях, который включает:

- исключение из налогооблагаемой базы организаций *по налогу на прибыль:* выплат по районным коэффициентам и процентным надбавкам к заработной плате за работу в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях; сумм, потраченных работодателем на провоз багажа и оплату проезда работников и членов их семей к месту проведения отпуска и обратно; выплат за неиспользуемый отпуск, проезд и провоз багажа в случае переезда к новому месту жительства; амортизации по основным средствам, к которой применяется повышающий коэффициент;
- исключение из облагаемой *страховыми взносами* базы: стоимости проезда в отпуск и обратно и компенсации за неиспользуемый отпуск; доходов, получаемых членами семейных общин коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ от реализации продукции, полученной в результате ведения ими традиционных видов промысла.

Наряду с этим в последние годы в практику налогового регулирования был внедрен порядок предоставления налоговых льгот предприятиям, осуществляющим деятельность на конкретных территориях, в т. ч. северных:

- льготы по НДПИ для добывающих предприятий;
- пониженная ставка по налогу на прибыль для предприятий промышленности — участников РИП и резидентов ТОСЭР.

Другая, наибольшая часть стимулирующих механизмов, определяющих основу российской системы налогового регулирования и действующих в границах федеральных налогов, не предусматривает исключений для хозяйствующих субъектов северных и арктических регионов.

Возможности для реализации региональных инициатив с целью устранения неблагоприятных местных условий хозяйствования ограничиваются исключительно изменением ставки налога на прибыль (в пределах 4,5 %) и налога на имущество организаций (в пределах 2,2 %), а также регулированием отдельными элементами налога в границах специальных налоговых режимов для субъектов малого и среднего предпринимательства.

Учитывая, что максимально возможная сумма льготирования налога на прибыль составляет чуть более 4 % от величины всех налогов, поступающих в бюджетную систему страны, а по региональным и местным налогам — около 15 % от суммы налогов региональных бюджетов, то предоставленные налоговые полномочия регионам можно признать ограниченным ресурсом для формирования стимулов к развитию территорий.

Следует заключить, что множественность налогов, закрепленных за федеральным уровнем, и введение широкого перечня стимулирующих механизмов в их границах нивелируют значимость региональных и муниципальных льгот и не способствуют преодолению диспропорций в условиях хозяйствования [1, с. 20–28].

Осознание важности освоения и ускорения развития Арктики потребовало активизации работы по формированию законодательной базы, регулирующей хозяйственную деятельность на ее территории. В настоящее время вынесен на общее обсуждение проект закона «О развитии Арктической зоны». Несмотря на то, что он фиксирует общие положения и предусматривает разработку особых подходов к осуществлению бюджетной, налоговой, тарифной, экологической [5, с. 136–146] и социальной политики государства и ряд других мероприятий, но не конкретизирует, в частности, налоговые условия.

Вместе с тем, возможные варианты налоговых стимулов для резидентов Арктической зоны обсуждаются специалистами и экспертами уже более десятка лет. В частности, и сегодня заслуживает внимания ряд преференций, рассматриваемых в проекте закона «Об арктической зоне» в конце 1990-х гг. Перечень льгот предназначался для производителей сельскохозяйственной продукции и предприятий традиционных промыслов (освобождение от уплаты НДС), коренных малочисленных народов (освобождение от всех видов налогообложения), предприятий и организаций, осуществляющих хозяйственную деятельность в Арктической

зоне (установление повышенных нормативов амортизационных отчислений), физических лиц (ставка по НДФЛ в размере 12 %), предприятий и организаций по произведенным подакцизным товарам (ставки акцизов снижаются на 15 %), отдельных плательщиков (могут быть изменены сроки уплаты налогов) [3].

Развитие системы налогообложения последних лет требует проведения исследований на предмет реакции бизнеса на налоговые нововведения и разработки предложений по совершенствованию налоговых механизмов с целью предупреждения возникновения неблагоприятных тенденций. В настоящее время для хозяйствующих субъектов как арктических, так и северных регионов требует разрешения проблема по изменению условий обложения страховыми взносами фонда оплаты труда работников. Известно, что фонд оплаты труда в северных условиях завышен на величину районного коэффициента и полярной надбавки. Действующий порядок начисления взносов существенно снижает конкурентоспособность северных компаний, несущих, помимо этой, дополнительную высокую нагрузку в виде повышенных затрат, связанных с северными условиями хозяйствования.

Кроме того, завышенная себестоимость работ вызывает другую проблему — сложности прохождения конкурсных процедур среди субъектов малого и среднего предпринимательства на получение государственного задания на выполнение государственных и муниципальных работ и оказание услуг, когда в конкурсе участвуют компании других регионов, которые не обременены высокой стоимостью трудовых затрат. Низкая цена контракта предприятий, зарегистрированных за пределами северных территорий, становится их преимуществом и позволяет одерживать победу в конкурсе.

В дискриминационных налоговых условиях сегодня находятся субъекты малого предпринимательства, которые функционируют в границах общего налогового режима наравне с крупным бизнесом. Для них, как и для резидентов северных и арктических территорий, законодательство не предусматривает специальных налоговых условий.

Таким образом, бюджетно-налоговые ограничения, вызванные ходом проведения государственной бюджетной политики и несовершенством системы налогового регулирования, не стимулируют экономического развития северных и арктических территорий, препятствуют активизации субъектов хозяйствования, обеспечивающих формирование экономического и налогового потенциала Севера, снижают их конкурентоспособность.

В этой связи возникает необходимость в совершенствовании системы бюджетно-налогового регулирования по следующим направлениям:

- усиление самодостаточности финансирования территориального развития. Регионы, и особенно регионы-доноры, должны финансировать свое развитие за счет собственных доходов. С этой целью должна быть повышена налоговая автономия региональных властей, что может быть достигнуто путем изменения пропорций налоговых отчислений от регулирующих налоговых источников в пользу северных субъектов РФ;
- недопущение дискриминации экономически развитых и изначально финансово состоятельных территорий. Регионы, являвшиеся изначально наиболее финансово обеспеченными, после распределения трансфертов должны занимать положение по уровню бюджетной обеспеченности не ниже регионов, в которых уровень собственных доходов был более низким;
- создание стимулов к развитию конкуренции между регионами за привлечение инвестиций и расширение круга налогоплательщиков с целью развития собственной налоговой базы. Это предполагает присвоение статуса регионального налога в отношении налога на прибыль и расширение полномочий по регулированию величиной его ставки в полном объеме;
- повышение конкурентоспособности северных и арктических субъектов малого и среднего предпринимательства. Для малых субъектов хозяйствования, которые функционируют в границах общего налогового режима, предусмотреть снижение ставки по налогу на прибыль не менее чем до 15 % (по аналогии с упрощенной системой налогообложения);
- повышение результативности предоставления инвестиционных льгот. Для этого целесообразно предусмотреть в законе целевое расходование денежных средств (на модернизацию, обновление основных фондов предприятия), высвобождаемых в процессе использования инвестиционных налоговых льгот.

Таким образом, обозначенные ориентиры дальнейших преобразований в сфере бюджетно-налоговых отношений позволят увязать интересы различных субъектов управления и хозяйствования, участвующих в решении вопросов социально-экономического развития северных и арктических регионов.

Литература

1. Барашева Т. И. Векторы развития стимулирующих механизмов российской налоговой системы // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2016. № 3(50). С. 20–28.
2. Кобылинская Г. В. Внутренние резервы развития арктического региона: финансовый аспект // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2015. № 2. С. 49–59.
3. Об Арктической зоне Российской Федерации: проект Федерального закона № 99042910-2 (ред., внесенная в ГД ФС РФ, текст по состоянию на 21.04.1999).
4. Основные социально-экономические показатели субъектов РФ 2006–2014 г. / Федер. служба государственной статистики – Регионы России. URL: http://www.gks.ru/.

5. Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы: науч.-аналит. докл. / под науч. ред. докт. экон. наук, проф. В. С. Селина, докт. экон. наук, проф. Т. П. Скуфьиной, канд. экон. наук, доц. Е. П. Башмаковой, канд. экон. наук, доц. Е. Е. Торопушиной. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 420 с.
6. Финансовое обеспечение развития северных регионов / под науч. ред. Г. В, Кобылинской: монография. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 191 с.

И. Г. Бурцева[1], И. Н. Бурцев[2]
[1]*Институт социально экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар*
[2]*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, burtsev@geo.komisc.ru*

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РЫНКИ НЕТРАДИЦИОННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ ТИМАНО-СЕВЕРОУРАЛЬСКОГО РЕГИОНА[1]

Россия занимает 1–2-е место по добыче нефти и 2-е место (после США) по добыче газа. Доля топливно-энергетического комплекса в валовом внутреннем продукте страны составляет 30 %, доля в налоговых поступлениях — 50 %, в экспорте — 70 %.

Интерес к проблеме освоения нетрадиционных источников углеводородного сырья обусловлен сокращением активных запасов традиционных источников, ростом себестоимости добычи, а также значительным прогрессом в технологиях добычи и связанными с этим изменениями на мировых рынках нефти и газа.

К нетрадиционным ресурсам относятся как трудноизвлекаемые на достигнутом сегодня уровне технологического развития запасы и ресурсы углеводородов, так и ресурсы, отличающиеся от традиционных по свойствам, генезису, форме нахождения во вмещающих отложениях.

Тимано-Североуральский регион, наряду с промышленной нефтегазоносностью, характеризуется большим разнообразием нетрадиционных источников углеводородов, часть из них уже осваивается или подготавливаются к освоению, другая часть изучается и оценивается. К первоочередным источникам углеводородного сырья, готовым для освоения, относятся (по [2, 3]): попутные газы нефтяных месторождений; конденсаты газовых месторождений; тяжелые и высоковязкие нефти; природные битумы (в терригенных и карбонатных коллекторах); нефти и газы в трещинных коллекторах метаморфических пород фундамента; газы и нефти в низкопроницаемых коллекторах; горючие сланцы; метан угольных пластов.

В средне- и долгосрочной перспективе планируется: добыча нефти и газов в глубоких горизонтах осадочного чехла (свыше 4,5–5 км), остаточных запасов нефти и газа в отработанных месторождениях (в том числе нерационально отработанные залежи) и на залежах с глубокой депрессией пластового давления, газов и нефти сланцевых формаций; добыча и переработка бурых углей и горючих сланцев. К группе проблемных и гипотетических источников относят газогидраты донных отложений шельфа и подмерзлотных толщ континентальной части, а также газогидраты в свободных газовых скоплениях; водорастворенные газы.

Понятийная база нетрадиционных источников углеводородного сырья (как флюидов, так и коллекторов) еще не разработана, в литературе используются различные классификации, распространены неоднозначные толкования. Это вызывает ошибки даже у экспертов в оценках ресурсного потенциала, экономической эффективности добычи, принятии стратегических решений по развитию отраслей топливно-энергетического комплекса. В самой большой степени эта проблема затрагивает нетрадиционные нефтегазовые скопления в низкопоровых, низкопроницаемых плотных коллекторах и нефтегазоматеринских породах. Довольно подробно эти вопросы рассматриваются в работах С. Г. Неручева, В. П. Якуцени, А. Э. Конторовича, Т. К. Баженовой, О. М. Прищепы, О. Ю.Аверьяновой, Д. Морариу, Л. Д. Цветкова и многих других исследователей.

Нет однозначного мнения и в вопросах классификации нетрадиционных ресурсов (нетрадиционных резервуаров) нефти и газа. О. М. Прищепа [2] приводит классификацию Канадской ассоциации нетрадиционных ресурсов (CSUR), отмечая ее несовершенство (рис. 1).

Проблема освоения нетрадиционных источников углеводородного сырья может и должна рассматриваться с разных позиций — геологических, технологических, экономических.

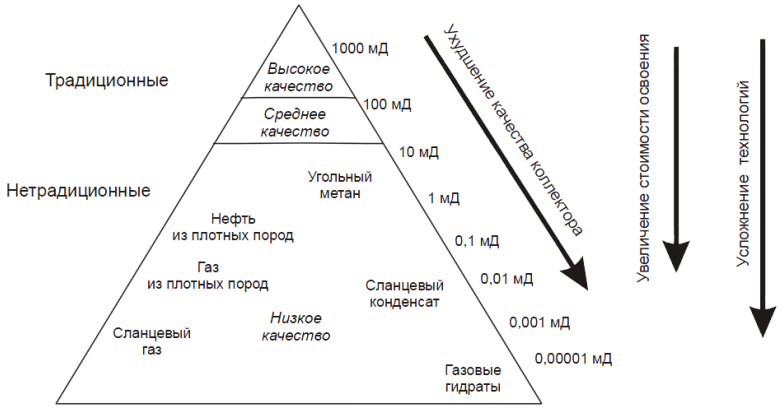
С технологической точки зрения, нетрадиционные ресурсы — это ресурсы углеводородов, извлечение которых невозможно традиционными методами, за счет бурения обычных скважин с применением стандартных методов интенсификации добычи.

В набор специальных технологий добычи включают: бурение многоствольных горизонтальных скважин; многостадийные гидроразрывы пластов; трехмерное сейсмическое моделирование; методы стимулирования

[1] Статья подготовлена при финансовой поддержке программы фундаментальных научных исследований УрО РАН, проект № 15-14-7-16 «Комплексная оценка новых и нетрадиционных источников углеводородных ресурсов Тимано-Североуральского региона», проекта «Стратегические виды минерального сырья Тимано-Североуральского региона, инновационные технологии их переработки, новые направления использования и получение новых материалов».

отбора нефти; закачку жидкости гидроразрыва в сверхбольших объемах; подземное сжигание; пиролитическую переработку в недрах и в специальных аппаратах на поверхности и др.

В широком экономическом смысле нетрадиционные ресурсы углеводородов — это практически всегда более дорогие ресурсы. По отношению к нефти и газу разделяют «подвижные» и «неподвижные» части ресурсов и запасов в недрах [1]. Для первого вида углеводородного сырья имеются современные эффективные технологии освоения, обеспечивающие себестоимость добычи ниже текущего мирового уровня цен на углеводородное сырье. Для освоения нетрадиционного углеводородного сырья требуется применение дополнительных технических средств и приемов добычи и переработки. Экономическая эффективность процесса добычи (или получения сырья пиролизом, подземным крекингом и т. д.) сильно зависит от мирового уровня цен, а рыночные ниши для некоторых продуктов могут быть довольно узкими.



Качественная классификация традиционных/нетрадиционных резервуаров углеводородного сырья (цитируется по [2])

Ресурсы доманикоидной формации. Одним из новых и перспективных направлений поисков углеводородного сырья в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции являются ресурсы нефти и газа в низкопоровых и плохопроницаемых коллекторах, широко развитых как в разрезе, так и по площади, и «сланцевые» нефть и газ в углеводородных скоплениях, приуроченных к доманиковым и доманикоидным отложениям. В 2013 г. по балансовой модели нефтегазообразования ФГУП ВНИГРИ оценил потенциал доманикоидных отложений величиной от 5 до 16 млрд т у. т. Т. К. Баженова оценивает остаточное количество нефти в доманиковой формации ТПП в 58,6 млрд т, Т. А. Кирюхина с соавторами [3] приводят аналогичные цифры в 40–50 млрд т. Технически извлекаемые ресурсы О. М. Прищепа оценивает в 8,3 млрд т нефти и 4,6 трлн м^3 газа.

Метан угольных месторождений и бассейнов. Метаноносность большинства угольных пластов каменноугольных бассейнов России составляет от 10 до 45 м^3 на тонну угля. Суммарные ресурсы метана в угольных пластах 14 газоугольных бассейнов России оцениваются в 45–50 трлн м^3, их извлекаемая часть составляет около 50 %. Наиболее крупные газоугольные бассейны: Тунгусский (26 трлн м^3), Кузнецкий (13 трлн м^3), Ленский (3 трлн м^3), Печорский (2 трлн м^3). Ежегодно при добыче угля в России выделяется около 3 млрд м^3 метана, но используется для местного газоснабжения не более 3 %.

Угольные ресурсы для получения жидких и газообразных углеводородов. Бурые угли приурочены, главным образом, к малоглубинной внешней зоне Косью-Роговской впадины. Ресурсный потенциал их также значителен — 17,3 млрд т по категории P_2 и 18 млрд т по категории P_3, но изученность угольных площадей весьма слабая. До уровня общих поисков изучена часть Неченского месторождения, где выделено карьерное поле с запасами категории $C_2 \sim 250$ млн т. В 1983–1986 гг. В. В. Золотовой и другими геологами (ПГО «Полярноуралгеология») была выполнена переоценка ресурсного потенциала бурых углей Шарью-Заостренского района. Ресурсы бурых углей, заключенные в семи месторождениях — Верхнероговском (территория НАО), Ватъярском, Среднеадзьвинском, Тальбейском, Шарью-Заостренском, Кушшорском и Неченском были оценены в 26,4 млрд т, из них кондиционные – 21,0 млрд т.

Проведенные технологические исследования показали возможность переработки углей Неченского месторождения по технологии полукоксования в слоевом газификаторе или в кипящем слое путем газификации, гидрогенизации. Получаемые смолы и газы полукоксования характеризуются весьма низкими содержаниями сернистых соединений (менее 0,5 %), что повышает их ценность как топлива и сырья для химической переработки. Выход смолы при полукоксовании в алюминиевой реторте (по ГОСТ 3168–93) средний для окисленных углей — около 6 %, сама смола соответствует ГОСТ 4806 «Масло сланцевое топливное». Прогнозируется большой выход восковых фракций битумоидов. Газ полукоксования характеризуется высоким содержанием двуокиси углерода (43,8–48,5 %), метана (22,1–26,7 %), окиси углерода (9,6–16,4 %), водорода (8,9–10,2 %), этена (1,5–3,2 %), этана (2,8–3,2 %). В нем практически отсутствуют сернистые соединения, азот, кислород.

Горно-геологические условия Неченского месторождения позволяют организовать высокоэффективную добычу углей открытым способом. Средний объемный коэффициент вскрыши по всему карьерному полю составляет 6,97 $м^3/м^3$, что близко к показателям разрезов в Минусинском, Южно-Якутском, Кузнецком бассейнах.

Объем извлекаемых запасов жидких углеводородов из бурых углей оценивается нами в 2 млрд т, газа — в 1,5–2,0 трлн $м^3$. Среди каменных углей по основным показателям для получения синтетического жидкого топлива наиболее пригодны угли Сейдинского (пласты f_4, f_{2+3}, g_5), Воргашорского и Усинского (i_9, i_8, i_5) месторождений. Выделено 40 пластоучастков, угли которых укладываются в предельные нормативы.

Потенциальные запасы углей как сырья для получения синтетического жидкого топлива составляют по категории $A+B+C_1$ 1843,5 млн т, а объем извлекаемых запасов жидких углеводородов оценивается нами в 130 млн т. По оценкам Дойче Банка (2010), приемлемые для инвестиций показатели экономической эффективности получения жидкого топлива из угля достигаются при цене обычной нефти 55 долл/баррель.

Горючие сланцы. В Республике Коми и Ненецком автономном округе выявлены значительные ресурсы горючих сланцев (свыше 50 млрд т), приуроченных к отложениям верхней юры. Выделены два крупных бассейна, в которых обособляются сланценосные районы с различным ресурсным потенциалом — Тимано-Печорский бассейн с Ижемским и Большеземельским районами и Вычегодский бассейн с Сысольским и Яренгским районами. Ижемский, Яренгский и Сысольский сланценосные районы обладают наибольшими промышленными перспективами, в их границах обнаружены и оценены крупные ресурсы горючих сланцев.

В пересчете на потенциально извлекаемое из сланцев жидкое сырье (смолу полукоксования, называемую также сланцевым маслом или сланцевой нефтью) мировые ресурсы составляют свыше 600 млрд т. Ресурсный потенциал сланцевой нефти только в юрских горючих сланцах Тимано-Печорского бассейна составляет, по нашим расчетам, 0,5–1 % мировых запасов. Это высокое значение, определяющее крупномасштабный уровень решаемых задач по освоению этих ресурсов.

При проведении целевого геологического изучения и технологических исследований горючих сланцев, выполненных в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН, были получены новые данные, позволившие обосновать перспективы освоения месторождений горючих сланцев в новых экономических условиях и с учетом современных мировых достижений в области их переработки. Наиболее детально изучены Чим-Лоптюгское и Айювинское месторождения.

Рыночную перспективность продуктов сланцепереработки следует оценивать, прежде всего, со следующих основных точек зрения.

Продукты сланцепереработки являются функциональными аналогами нефтепродуктов широчайшего распространения: мазута, дизельного топлива, и бензинов, с идентичными функциональными характеристиками. Технологический потенциал используемой для получения сланцевого масла установки УТТ–3000 позволяет получать товарные углеводородные продукты, соответствующие по содержанию серы принятым в настоящее время международным стандартам, даже из высокосернистых сланцев, путем корректировки режимных параметров переработки.

Существующее законодательство предоставляет сланцепереработчикам России существенные преференции в части коммерческой эффективности экспортных поставок. При экспорте синтетических нефтепродуктов, полученных из углей и горючих сланцев, не взымаются акцизные сборы и таможенные пошлины, что является существенным преимуществом, которого лишены российские нефтяники и нефтепереработчики.

Имеет место высочайшая инвестиционная активность традиционных сланцепереработчиков на внешних рынках: китайские и эстонские компании приняли активное участие в конкурсах на переработку сланцевых месторождений Иордании. Совместное предприятие по шахтной добыче и переработке сланцев создано компанией VKG в США и Украине.

Международный рынок продуктов сланцепереработки и рынок сланцевого масла достаточно развиты. Последние технологические исследования применения сланцевого масла открывают весьма привлекательные перспективы использования его в нефтеперерабатывающей индустрии.

Результатом промышленного освоения Айювинского и Чим-Лоптюгского месторождений может стать создание крупномасштабного энерготехнологического комплекса с большим количеством смежных производств. Вовлечение в промышленную эксплуатацию месторождений нетрадиционных видов энергетического сырья — бурых углей, битумов, горючих сланцев, торфа, отходов потребления и переработки, позволит не только расширить возможности промышленного роста, но и обеспечит создание новых сырьевых баз энергетического сырья, в первую очередь в энергодефицитных южных районах республики.

Литература

1. Доманиковые отложения Тимано-Печорского и Волго-Уральского бассейнов / Т. А. Кирюхина и др. // Геология нефти и газа. 2013. № 3. С. 76–87.
2. Нефть и газ низкопроницаемых сланцевых толщ — резерв сырьевой базы углеводородов России / О. М. Прищепа и др.; под ред О. М. Прищепы. СПб., 2014. 323 с. (Труды ВНИГРИ).
3. Прищепа О. М., Аверьянова О. Ю. Понятийная база и терминология углеводородов сланцевых толщ и низкопроницаемых коллекторов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 6. С. 4–14.

А. А. Гасникова
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, agasnikova@iep.kolasc.net.ru

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

Главной целью социально-экономического развития страны и отдельных ее регионов является повышение благосостояния и улучшение качества жизни населения. Этот вывод следует из анализа стратегий социально-экономического развития некоторых субъектов Федерации, выполненного в работе [3]. На достижение обозначенной главной цели направлено развитие экономики — производства, сферы услуг, а также социальной инфраструктуры. Одним из условий развития экономики является обеспечение надежного снабжения электрической энергией, которая является «кровью» любого современного производства. Важность надежного энергоснабжения еще более возрастает в арктических регионах, где оно необходимо не только для функционирования предприятий и организаций, но и просто для обеспечения нормальных условий жизнедеятельности населения. Поэтому исследование особенностей, направлений и проблем развития электроэнергетики в этих регионах является актуальной задачей.

Районы, входящие в состав российской Арктики, можно разделить на две большие группы. Развитие электроэнергетики в районах, входящих в разные группы, имеет свои особенности.

К первой группе относятся промышленно развитые районы. В них относительно высокая плотность населения, развита энергоемкая промышленность, связанная с добычей и переработкой природных ресурсов. В таких районах развито централизованное энергоснабжение, имеются крупные потребители и производители энергии. Преобладает традиционная энергетика — топливные, гидроэнергетические, атомные электростанции. При сохранении высокой социальной роли энергоснабжения оно играет важную роль для работы промышленности. Планы развития мощностей связаны преимущественно с традиционной энергетикой.

Ко второй группе относятся районы вне зон промышленного освоения, в которых проживает преимущественно сельское и коренное население. В таких районах на первое место выходит социальная роль энергоснабжения. Здесь имеется множество малых рассредоточенных потребителей энергии, развито децентрализованное энергоснабжение от малых автономных энергоустановок, топливо для которых поставляются в рамках «северного завоза». Но при сохранении ключевой роли дизельных электростанций, проекты по созданию малых нетрадиционных энергоустановок все чаще получают реальное воплощение.

Ниже представлен обзор развития электроэнергетики в различных районах российской Арктики.

В Мурманской обл.развито централизованное энергоснабжение. Важнейшую роль играют каскады ГЭС и Кольская АЭС, имеются также Апатитская ТЭЦ, Мурманская ТЭЦ. Нетрадиционная энергетика представлена Кислогубской приливной электростанцией (ПЭС) установленной мощностью 1,7 МВт. В Мурманской обл. высокий ветропотенциал, однако разработанные проекты строительства ветропарков не были реализованы. Согласно «Схеме территориального планирования Российской Федерации в области энергетики» [10], утвержденной в 2013 г., к 2025 г. планируется завершить строительство Мурманской ТЭЦ-2 (400 МВт). Согласно этому же документу, первый энергоблок Кольской АЭС-2 должен быть введен к 2025 г., второй — к 2030 г. (всего два энергоблока блока мощностью по 1150 МВт каждый). Ввод новых мощностей необходим, поскольку в противном случае область столкнется с дефицитом мощностей после вывода из эксплуатации энергоблоков первой очереди Кольской АЭС.

В арктических районах Архангельской обл. большая энергетика представлена несколькими ТЭЦ, а также энергообъектами ОАО «Соломбальский ЦБК», ОАО «Архангельский ЦБК» [2]. В регионе работают несколько ветродизельных комплексов. Перспективно использование отходов лесохозяйственной деятельности в коммунальной энергетике. Крупным проектом освоения нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) является проект Мезенской ПЭС, однако не ясно, будет ли он реализован: ранее этот проект обсуждался, но в «Схеме территориального планирования Российской Федерации в области энергетики» он не упоминается.

Энергетика населенных пунктов Ненецкого автономного округа носит локальный характер. Относительно крупной является Нарьян-Марская электростанция, снабжающая электрической энергией город Нарьян-Мар, пос. Искателей и с. Тельвиска. Электроснабжение сельских населенных пунктов осуществляется от автономных дизельных электростанций. В перспективе ожидается расширение использования местных видов энергоносителей, в частности, попутного нефтяного газа. Наиболее перспективным видом НВИЭ в автономном округе представляется ветроэнергетика. Густая речная сеть делает возможным создание объектов малой гидроэнергетики, однако из-за перемерзания рек зимой эксплуатация малых ГЭС возможна только весной и летом [7].

В городском округе Воркута (Республики Коми) система электроснабжения централизованная. Здесь работают две ТЭЦ и Центральная водогрейная котельная. В эксплуатации также находятся четыре муниципальные котельные, имеющие износ 90–100 %. Перспективы электроэнергетики здесь связаны с модернизацией и реконструкцией энергетических мощностей, развитием энергосбережения и повышением энергетической эффективности [6].

В Ямало-Ненецком автономном округе присутствуют зоны как централизованного, так и децентрализованного электроснабжения. Большая часть электроэнергии производится на тепловых

электростанциях, наиболее крупными из которых являются Уренгойская ГРЭС и Ноябрьская ПГЭ. Кроме того, на территории автономного округа размещено большое количество автономных источников электроснабжения. До 2020 г. ожидается расширение зоны централизованного электроснабжения за счет развития ЛЭП, строительство Тарко-Салинской ТЭС, газотурбинной электростанции «Полярная», Надымской газотурбинной ТЭЦ [9]. В автономном округе перспективно строительство объектов энергетики с использованием попутного (природного) газа. Среди направлений альтернативной энергетики в регионе наиболее перспективно развитие ветроэнергетики в удаленных районах для автономного электроснабжения нефтяных, газовых месторождений и удаленных поселений, резервным источником электроэнергии в данном случае будет являться маневренная дизельная установка [9].

В Красноярском крае электроснабжение муниципального образования город Норильск осуществляется от источников Норильской энергетической системы, включающей три ТЭЦ и две ГЭС. Электроснабжение децентрализованных потребителей Туруханского и Таймырского Долгано-Ненецкого районов осуществляется от стационарных дизельных электростанций, которые были введены в эксплуатацию до 1990-х гг. и большая часть зданий которых требуют капитального ремонта, реконструкции либо нового строительства. В перспективе в Красноярском крае ожидается модернизация энергоустановок, замещение выработки энергоресурсов с использованием дизель-генераторных установок на когенерационную выработку тепловой и электрической энергии, в том числе с использованием местных видов топлива, развитие использования для нужд энергетики попутного нефтяного газа и развитие использования альтернативных источников энергии (ветроэнергетических установок, малых гидростанций и пр.) [4].

В улусах Республика Саха (Якутия), включенных в состав Арктической зоны, развита децентрализованная энергетика. Развитие электроснабжения здесь должно быть направлено, в первую очередь, на снижение объемов потребления привозного дизельного топлива, другими задачами являются повышение надежности, эффективности и улучшение качества обеспечения электроэнергией. Там, где это возможно, могут получить применение ТЭЦ малой мощности, топливом для которых станет уголь с ближайших месторождений. Примером может служить мини-ТЭЦ, построенная в пос. Депутатский. С 2007 г. в пос. Тикси работает ветровая энергоустановка мощностью 250 кВт, в дальнейшем предполагается создание ветровых энергоустановок еще в ряде населенных пунктов. Использование гидропотенциала рек в северных районах проблематично в связи с высокой сезонной неравномерностью стока, однако в отдельных случаях возможно применение малых ГЭС для покрытия местных потребностей и изолированной работы [11].

В Чукотском автономном округе развита как большая, так и малая энергетика. К большой энергетике относятся Билибинская АЭС, три ТЭЦ, ГРЭС. К малой энергетике относятся государственные и муниципальные объекты: дизельные электростанции, котельные и одна ветровая электростанция. Ресурсы возобновляемой энергии в автономном округе значительны, но до настоящего времени мало используются. В 2003 г. здесь была построена первая ветродизельная электростанция установленной мощностью 3,0 МВт, в перспективе строительство ветровых установок планируется осуществить по всему восточному побережью Чукотки [1]. В перспективе возможно использование геотермальных ресурсов. Стратегия социально-экономического развития автономного округа предполагает новое сетевое строительство, реконструкцию Анадырской ТЭЦ, строительство ТЭЦ в г. Певеке и в районе месторождения Долгожданное, объединение Анадырского и Эгвекинотского энергорайонов [8]. Согласно информации АО «Концерн «Росэнергоатом», летом 2016 г. начались швартовные испытания первого в мире плавучего энергетического блока «Академик Ломоносов», предназначенного для работы в составе плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС). Плановый срок окончания швартовных испытаний — 30 октября 2017 г., после чего ПАТЭС будет доставлена к месту работы и подключена к береговой инфраструктуре, сооружаемой в порту г. Певек. Электрическая мощность данной станции составит 70 МВт. Ожидается, что ПАТЭС* будет введена в эксплуатацию осенью 2019 г. [5].

Следует отметить, что цель развития электроэнергетики, по существу, в любом регионе одна и та же — обеспечение надежного энергоснабжения потребителей по приемлемым ценам. Но пути достижения этой цели будут отличаться в зависимости от особенностей каждого региона.

Как показывает проведенный анализ, в промышленно освоенных арктических районах к настоящему времени созданы крупные электростанции (топливные, гидроэнергетические, атомные). Перспективы развития электроэнергетики связаны здесь с поддержанием бездефицитного баланса мощностей, развитием сети ЛЭП, развитием энергосбережения и повышением энергетической эффективности. Электроэнергетика на основе НВИЭ еще долго не будет играть в этих районах решающей роли, поскольку крупные мощности традиционной электроэнергетики не могут быть в скором времени массово заменены энергоустановками на основе нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

В районах вне зон промышленного освоения ситуация отличается. Создание систем централизованного энергоснабжения рассредоточенных на обширной территории малых потребителей не рационально. В таких районах ключевую роль по-прежнему будут играть автономные дизельные электростанции. Однако, как

* Отметим, что в Стратегии социально-экономического развития Чукотского автономного округа до 2030 года [8] не говорится о ПАТЭС, а в г. Певеке предполагается строительство вышеупомянутой ТЭЦ мощностью 48 МВт.

показывает практика, при сохранении ключевой роли дизельных электростанций в удаленных районах проекты по созданию малых нетрадиционных энергоустановок все чаще получают реальное воплощение. На удаленных территориях эксплуатация малых нетрадиционных энергоустановок, ориентированных на использование местных нетрадиционных энергоресурсов (в арктических районах это, в первую очередь, ветроэнергетические ресурсы), позволит снизить остроту проблемы «северного завоза» топлива, уменьшить стоимость выработки электроэнергии, повысить надежность энергоснабжения местных малых потребителей. Это не значит, что на удаленных территориях можно полностью отказаться от традиционных мощностей: вследствие неравномерности проявления во времени возобновляемых энергоресурсов энергетические установки на основе их использования должны рассматриваться как дополнительные, эксплуатация которых позволит частично снизить расход органического топлива. Однако дизельные электростанции в ближайшие годы останутся важными источниками электроснабжения малых удаленных потребителей.

Таким образом, развитие электроэнергетики в разных арктических районах России имеет свои особенности, обусловленные не только обеспеченностью района собственными энергетическими ресурсами, но и уровнем промышленного освоения, уровнем уже созданной энергетической инфраструктуры, сосредоточенностью потребителей энергии в промышленных центрах или наличием множества малых рассредоточенных потребителей.

Литература

1. Обзор применяемых в субъектах Российской Федерации возобновляемых источников энергии. URL: http://bioforum.ucoz.ru/Files/Pressa/obzor_primenjaemykh_v_subektakh_rf_vieh.pdf
2. Отчет ОАО «ТГК-2» за 2014 г. URL: http://www.tgc-2.ru/upload/iblock/750/areport_2014.pdf.
3. Региональная экономика и вопросы североведения: монография / под науч. ред. докт. экон. наук, проф. В. С. Селина, докт. экон. наук Т. П. Скуфьиной. Апатиты: КНЦ РАН, 2013. 200 с.
4. Реформирование и модернизация жилищно-коммунального хозяйства и повышение энергетической эффективности: гос. программа Красноярского края: утв. постановлением Правительства Красноярского края от 30 сентября 2013 г. № 503-п. URL: http://www.gp.specagro.ru/download/index/id/13870.
5. Росэнергоатом: на первом в мире плавучем энергоблоке начались швартовные испытания. URL: http://www.rosenergoatom.ru/journalist/keys/71d488804d54ef549f969fb77ae2e909.
6. Стратегия социально-экономического развития муниципального образования городского округа Воркута на период до 2020 года (проект). URL: http://воркута.рф/upload/iblock/a0b/strategia-2020.pdf.
7. Стратегия социально-экономического развития Ненецкого автономного округа на перспективу до 2030 года: утв. постановлением Собрания депутатов Ненецкого автономного округа от 22 июня 2010 г. № 134-сд. URL: http://adm-nao.ru/media/uploads/userfiles/2014/04/14/Стратегия_НАО.doc.
8. Стратегия социально-экономического развития Чукотского автономного округа до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Чукотского автономного округа 16 июля 2014 г. № 290-рп. URL: http://чукотка.рф/upload/iblock/6c6/Strategia_razvitia_2030.rar.
9. Стратегия социально-экономического развития Ямало-Ненецкого автономного округа до 2020 года: утв. постановлением Законодательного Собрания Ямало-Ненецкого автономного округа от 14 декабря 2011 г. № 839. URL: http://sp.lifttothefuture.ru/uploads/priority/files/2dc7d54199ba635b2e0bd1537049242bd77a73d6.pdf.
10. Схема территориального планирования Российской Федерации в области энергетики: утв. распоряжением Правительства РФ от 11 ноября 2013 г. № 2084-р. Документ опубликован не был. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
11. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года: утв. постановлением Правительства Республики Саха (Якутия) от 29 октября 2009 г. № 441. URL: mf.sakha.ru/doc/off/09/ppp/441-1.doc.

Э. Б. Грушенко

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Мурманск, ark_centr@pgi.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА НА РУССКОМ СЕВЕРЕ

В России одно из самых выгодных положений с точки зрения развития туризма занимает Русский Север, обладающий уникальным сочетанием природно-рекреационных условий и крупнейших объектов культурного наследия. На территории региона расположено 22 исторических города, 9 национальных природных парков, 6 архитектурно-исторических музеев-заповедников мирового уровня, около 19 тыс. объектов культурного наследия. В список Всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО занесено 4 объекта Европейского Севера: остров Кижи, историко-культурный комплекс Соловецких островов, Ферапонтово, девственные леса Республики Коми. Еще один объект — Кирилло-Белозерский монастырь занесен в предварительный список ЮНЕСКО. Валаамский архипелаг имеет статус особо ценной историко-культурной и природно-исторической уникальной территории.

Русский Север — памятник мировой культуры, здесь представлены культуры различных народов и этнографических групп: саамов, поморов, старообрядцев, ненцев, коми, карелов, вепсов, финнов, русских, что предопределяет широкие возможности для развития этнографического туризма.

На современном этапе наиболее эффективно и динамично туризм развивается в Республике Карелия и Вологодской обл. В 2015 г. Карелию посетило 2,3 млн чел. (из них 720 тыс. чел. — организованные туристы), совокупный доход от всех видов въездного туризма составил 6 млрд руб. В структуре валового регионального продукта доля туризма составляет 5 % [6]. По темпам роста туристского потока Вологодская обл. начинает опережать Карелию. Количество туристов, посетивших Вологодчину в 2015 г., составило 2,7 млн чел. [2], однако, несмотря на это, прибыль от туристского бизнеса составляет лишь 5 % бюджета области и 4 % от валового регионального продукта. Мурманскую и Архангельскую обл. посещают в среднем около 300 тыс. туристов в год.

Вологодская обл. является российским лидером по туристскому брендированию региональных центров туризма. Создание собственных брендов — ключевой фактор привлекательности для туристов. В настоящее время в области развиваются 24 туристских бренда. Регион стал победителем в номинации «Российский экологический отдых» конкурсной премии «National Geographic Traveler Awards 2016», опередив Республику Крым, Мурманскую обл. и Республику Карелия.

Индустрия туризма успешно развивается на наиболее известных и популярных среди туристов уникальных территориях и центрах туризма, где создаются новые рабочие места, привлекаются дополнительные инвестиции, пополняется доходная часть местных бюджетов. Разрабатываются новые событийные мероприятия по привлечению туристов. На Кольском п-ове это Мурманск и Кировск; в Архангельской обл. — музей заповедник «Малые Корелы», Каргополь, Архангельск, Соловки и Кенозерский национальный парк; в Вологодской обл. — национальный парк «Русский Север», Великий Устюг, Кириллов, Белозерск, Вологда, Тотьма, Череповец и село Сизьма; в Республике Карелия — Валаам, Кижи, Сортавала, Петрозаводск, национальные природные парки, горный парк «Рускеала»; в Республике Коми — крупнейший в Европе национальный парк «Югыд-ва», Усть-Вымь и одно из семи чудес России — столбы выветривания.

Самым посещаемым региональным центром Русского Севера является Вологда (780 тыс. туристов), за последние пять лет турпоток в культурную и новогоднюю столицу Русского Севера вырос на 70 % в результате активного развития туристской инфраструктуры и грамотной маркетинговой политики по продвижению города на туристском рынке. Количество гостиниц в Вологде за период с 2012 по 2016 гг. увеличилось в 2,5 раза с 19 до 47, количество гостиничных мест — до 3 000. К 2020 г. туристский поток в областную столицу должен увеличиться до 1 млн чел., что обеспечит дополнительный приток денежных средств в бюджет города в размере 10 млрд руб. [2]. Вызывает обеспокоенность проблема сохранения одного из основных брендов Вологды — резного деревянного зодчества, воспетого легендарными «Песнярами». За последние семь лет Вологда утратила 70 памятников деревянного зодчества, и в настоящее время сохранилось лишь одна сотня памятников деревянной архитектуры.

Среди малых исторических городов на первом месте по посещаемости — Кириллов, принимающий более 300 тыс. туристов, в основном в рамках водного круиза по Волго-Балту [2] — самого популярного туристского маршрута Русского Севера. Помимо водных круизов, в регионе активно развиваются следующие виды туризма: культурно-познавательный, горнолыжный, экологический, этнографический, событийный, деловой, рекреационная рыбалка, спортивный, религиозно-паломнический. Среди внутренних туристов преобладают жители Москвы и Санкт-Петербурга, среди иностранных — жители Китая, стран Фенноскандии, Германии, США. Основной туристский сезон — лето. Лишь два региона Русского Севера — Мурманская и Вологодская области привлекают туристов также в зимний период и ранней весной. Высоким сезоном считаются новогодние каникулы, когда Великий Устюг, Кировск, Вологда, Мурманск принимают немало туристов. В результате активного развития туристской инфраструктуры резко возрос поток туристов в горнолыжный Кировск, в котором туристский сезон продолжается до середины мая. Кировская «Снежная деревня» — самый популярный объект показа в городе, занесена в книгу рекордов Гиннеса как самое крупное сооружение из снега в России.

Наиболее перспективными межрегиональными туристскими маршрутами региона являются: «Серебряное ожерелье России», «Ганзейские дороги России», «Узоры городов российских», международный морской круизный маршрут «Север Норвегии — Мурманск — Архангельск — Соловки». Инновационными видами туризма Европейского Севера являются: морские арктические круизы (в т. ч. на Северный полюс и в национальный парк «Русская Арктика»), наблюдение за морскими животными (на Беломорском побережье), по местам съемок кинофильмов (Териберка, Белозерск), гастрономический, агроэкотуризм, промышленный, приграничный, геолого-минералогический.

Самым успешным реализуемым туристским проектом и брендом Европейского Севера стал инвестиционный проект «Великий Устюг — родина Деда Мороза». Благодаря ему северный город стал известен всей России, став одним из наиболее активно развивающихся туристских центров региона. Так, например, поток туристов вырос с 3 000 в 1998 г. (начало работы проекта) до 209 000 в 2010 г. (увеличение в 70 раз) [3]. В 2015 г. турпоток в Великий Устюг вырос до 250 тыс. чел. Великий Устюг также знаменит своими народными художественными промыслами, уникальным вологодским говором — северным диалектом русского языка, памятниками церковной и гражданской архитектуры мирового уровня («Северный Суздаль»). Все это предопределяет возможное включение Великого Устюга в список Всемирного культурного наследия ЮНЕСКО.

В исторических городах региона необходимо улучшать городскую среду на основе развития малой городской скульптуры и туристской навигации путем установки указателей, информационных табличек и стендов с туристскими картами на исторических улицах и объектах культурного наследия. На стендах может быть отображена фотоистория или легенда, связанная с тем или иным памятником архитектуры. Возможна организация пешеходных тематических туристских маршрутов с нанесением их и объектов показа на информационные стенды с картами и даже цветная маркировка маршрутов на тротуарах. В малых исторических поселениях Русского Севера в сфере гостеприимства целесообразно развивать систему частных гостевых домов и гестхаузов.

Для краткой туристской характеристики региона в европейском масштабе может быть использован лозунг «Русский Север — это дикая природа и водные просторы Европы». Именно в этом заключен основной капитал для развития природного и этноэкологического туризма — секторов наиболее быстрого роста туризма.

Одним из ключевых территорий развития арктического туризма является Приморский район Архангельской обл. — крупнейший административный район России, включающий такие популярные центры туризма, как архипелаг Земля Франца-Иосифа (национальный парк «Русская Арктика»), Соловецкий архипелаг, Малые Корелы, национальный парк «Онежское Поморье». Если высокоширотный летний арктический морской круизный туризм в большей степени ориентирован на иностранных туристов, то «материковая» часть Западной Арктики востребована в основном российскими гражданами.

Самым привлекательным туристским объектом Западно-Арктического сектора Европейского Севера России являются всемирно известные Соловецкие острова. Руководство РПЦ и Правительство Архангельской обл. предложили наделить территорию Соловков особым правовым статусом — достопримечательного места религиозно-исторического значения с целью сохранения уникального природного, культурного и духовного наследия архипелага с учетом интересов местных жителей. Статус «религиозно-историческое место» подразумевает охрану духовного наследия, сохранения и защиты особого уклада жизни монастырей, которые являются объектами культурного наследия и возведены до 1917 г. [7]. Это значит, что на территории (даже туристической) не будет разрешено открывать развлекательные заведения, проводить шумные мероприятия. Доступ к культурным объектам будет согласован с монастырской жизнью наподобие греческого Афона. Помимо Соловков, такой статус могут получить, также Валаам и Псково-Печорский монастырь.

Формируемая на Европейском Севере России самая крупная в Европе сеть национальных парков, природных заповедников и архитектурно-исторических музеев-заповедников может рассматриваться как основа и главный ресурс для устойчивого развития туризма. Для иностранных туристов Русский Север привлекателен прежде всего своей самобытной деревянной архитектурой. Например, Каргопольско-Кенозерский туристский район (Архангельская обл.) известен как территория, где сконцентрировано самое крупное в Европе количество сакральных памятников деревянного зодчества. Брендом данной территории являются сохранившиеся древние деревянные церкви и часовни с уникальными «росписными небесами», обетные поклонные кресты и святые рощи. Каргопольское село Ошевенск (центр музейной «Ошевенской волости») полностью сохранило свой этнокультурный ландшафт и признано в 2016 г. самой красивой деревней России.

С точки зрения сохранения коренных народов и живой традиционной культуры Русского Севера намного эффективнее развивать культурный и природный туризм малых форм, что открывает возможности для поиска средств к существованию по всему региону [4]. Для этого не требуется больших инвестиций, начальным импульсом к реализации новой идеи могло бы стать создание инновационных ядер на основе этнокультурных центров и этноприродных парков в разных уголках Европейского Севера. Музейный этнопарк под открытым небом — объект культурного туризма, интерпретирующий диалоги разных культур через аутентично созданные этнодворы, в которых могут проживать туристы и осваивать технологию изготовления продукции народных художественных промыслов у местных мастеров.

В настоящее время на Европейском Севере действует 4 архитектурно-этнографических музея-заповедника под открытым небом: крупнейший в Европе — Малые Корелы в Архангельской обл., Кижи в Карелии, Семенково в Вологодской обл., финно-угорский этнопарк в Республике Коми (село Ыб). Планируется организация этноприродного парка в Ловозерском районе Мурманской обл. в рамках инвестиционного проекта «Туристко-рекреационный кластер «Русская Лапландия» [5].

Создание этноэкологического резервата в Ловозерском районе предполагает развитие туризма, если его развитие будет происходить под контролем саамской общины и не нанесет значительного урона природе, а также послужит воспитательным и просветительским целям. Организация такой территории в Мурманской обл. и попытка возрождения традиционной природохозяйственной деятельности саами в ее пределах может стать «моделью» возможностей интеграции традиционного образа жизни коренного малочисленного народа в современную рыночную экономику [1].

На Кольском п-ове основными центрами этнографического туризма становятся: село Ловозеро, пос. Умба, аутентичная музейная поморская рыбацкая тоня Тетрино на берегу Белого моря. Привлекает туристов также сохранившаяся культура старообрядцев в исторических поселениях Кимжа (Архангельская обл.) и Усть-Цильма в Республике Коми. В деревнях Карелии, Вологодской и Архангельской областей активно развивается агроэкотуризм.

По всей территории Республики Карелия идет процесс создания этнокультурных центров. Интеграция культурного наследия в локальные зоны этнокультурного центра позволяет наилучшим образом сочетать идею

сохранения с идеей возрождения уникальной территории [4]. Комплекс этнокультурного центра, как правило, включает в себя национальный музей, концертный зал, избу ремесел и гостевой дом.

С помощью этнографического сельского туризма могут возродиться такие уникальные деревни Русского Севера, как Панозеро, Хайколя, Кинерма, Шелтозеро, Шуерецкое (карельские), Сизьма, Пожарище, Устье (вологодские), и поморские села – Кимжа (Архангельская обл.) и Варзуга (Мурманская обл.). Всем им пока удается сохранить аутентичные памятники народного деревянного зодчества, самобытную культуру местных жителей и традиционную историческую среду обитания в неизменном виде.

Литература

1. Воробьевская Е. Л., Седова Н. Б. Проблемы создания особо охраняемых природных территорий на Кольском полуострове // Туризм и региональное развитие: сб. науч. ст. Смоленск: Универсум, 2011. Вып. 6. С. 343–349.
2. Интернет-портал отдела туризма Департамента международных, межрегиональных связей и туризма Вологодской области. URL: http://vologdatourinfo.ru.
3. Итоги реализации проекта «Великий Устюг — родина Деда Мороза» за 1998–2011 гг. / Департамент международных, межрегиональных связей и туризма Вологодской области. Вологда, 2012. URL: http://europe.unwto.org/sites/all/files/pdf/8_vologda.pdf.
4. Карелия: эпическая туристская программа «Калевала»: сб. докл. и тез. сообщ. Междунар. науч.-практ. конф. (Петрозаводск, 20–21 ноября 2002 г.). М.: Турист, 2002. С. 59–86.
5. Официальный сайт Министерства экономического развития Мурманской области. URL: http://minec.gov-murman.ru/.
6. Сайт Государственного комитета Республики Карелия по туризму. URL: http://www.gov.karelia.ru/Power/Committee/Tourism/index.html.
7. Сайт Соловецкого Спасо-Преображенского монастыря. URL: http://solovki-monastyr.ru/.

И. А. Гущина, О. А. Положенцева

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, guschina@iep.kolasc.net.ru

ОЦЕНКИ МАТЕРИАЛЬНОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ ЖИТЕЛЕЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ (по результатам социологических опросов населения Мурманской области 2013-2016 гг.)

Комплексное развитие Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) в настоящее время является предметом пристального внимания как законодательной (идут последние доработки законопроекта об Арктике), так и исполнительной (в 2014 г. принята к реализации программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года») ветвей власти. Мурманская обл. полностью входит в АЗРФ, более того, ее территория определена как опорная зона развития Арктики.

Мурманская обл. — высокоурбанизированный регион, промышленная специализация которого базируется на уникальном природно-ресурсном потенциале Кольского п-ова. Значительная часть населения региона работает на промышленных предприятиях, связанных с горнодобывающим комплексом, а также в рыбодобывающих компаниях и предприятиях рыбопереработки. К сожалению, текущая ситуация на областном рынке труда характеризуется высоким уровнем безработицы и ее территориальной дифференциацией, что связано с наличием значительного количества монопрофильных поселений, в которых благополучие жителей напрямую зависит от успешности градообразующего предприятия. В связи с этим все значимее проявляется феномен экономической бедности: оплата труда, являющаяся для абсолютного большинства северян основным источником средств к существованию, столь низка, что не позволяет удовлетворить насущные потребности в товарах и услугах [3].

Известно, что общим показателем материального благополучия различных социальных групп являются обеспеченность населения необходимыми материальными благами и услугами, достигнутый уровень их потребления и степень удовлетворения разумных потребностей. Это составляет основу понятия об уровне жизни. Известны четыре уровня жизни населения: достаток, нормальный уровень, бедность и нищета [2].

По результатам наших исследований, всего лишь 7 % жителей Мурманской обл. считают, что денег вполне достаточно, чтобы ни в чем себе не отказывать; нормальный уровень потребления, когда покупка большинства товаров длительного пользования (например, телевизор, холодильник, стиральная машина) не вызывает трудностей, имеют 16,1 % респондентов; в бедности, когда денег хватает лишь для приобретения необходимых продуктов и одежды, а более крупные покупки приходится откладывать на потом, пребывают 40,1 % опрошенных; к сожалению, 36,8 % жителей региона сочли себя нищими, при нехватке денег даже на приобретение продуктов питания.

Ниже представлена информация о средних значениях располагаемых и желаемых доходов на члена семьи с различным потребительским статусом (табл. 1). По коэффициенту материального благополучия* (2,5) можно судить о высокой степени недовольства в потребительской группе, где денег хватает лишь на приобретение продуктов питания. Чуть лучше материальная обеспеченность семей, в которых денег хватает на приобретение продуктов питания и одежды, — коэффициент материального благополучия [1] составляет 2,1, т. е. коэффициент материального благополучия и исследование потребительского поведения позволяют выявлять наиболее уязвимые социальные группы, нуждающиеся в материальной поддержке при планировании и выстраивании дальнейшей социальной политики.

Таблица 1

Средние значения располагаемых и желаемых доходов на члена семьи с различным потребительским статусом (по результатам социологического исследования в Мурманской обл., 2016 г.), руб.

Какая из приведенных ниже оценок наиболее точно характеризует Ваши денежные доходы?	Доля, среди ответивших, %	Если сложить все доходы Вашей семьи и поделить на число ее членов, то, сколько рублей примерно получится	Какой размер дохода на одного члена Вашей семьи в месяц требуется, чтобы, по Вашему мнению, жить вполне прилично	Коэффициент материального благополучия
Денег вполне достаточно, чтобы ни в чем себе не отказывать	7	36519	61111	1,7
Покупка большинства товаров длительного пользования (например, телевизор) не вызывает трудностей, однако покупка машины сейчас недоступна	16,1	35266	51104	1,4
Денег достаточно для приобретения необходимых продуктов и одежды, однако более крупные покупки придется откладывать на потом	40,1	22528	47596	2,1
Денег хватает только на приобретение продуктов питания	30,4	17577	44023	2,5
Денег не хватает даже на приобретение необходимых продуктов питания, приходится влезать в долги	6,4	11468	25385	2,2

Следует заметить, что наиболее высокие доходы указали специалисты и предприниматели — около 26 тыс. руб. на одного человека в месяц, ниже — около 21 тыс. руб. — доход у работников сферы услуг. Кроме того, анализ материальной обеспеченности различных социальных групп показал, что нормальный и достаточный уровень жизни удается поддерживать 30 % работников социальной сферы (врачам, учителям, научным работникам и т. д.), можно предположить, что это результат повышения зарплат в бюджетной сфере, в соответствии с «майскими» указами (2012 г.) президента. В возрастной когорте выявлено две группы с таким же уровнем потребления — это мужчины молодого (до 30 лет) и старшего возраста.

Рост цен, снижение покупательной способности доходов жителей арктического региона повлияли на материальное положение семей безработных и инвалидов (54,2 %), военнослужащих (50 %), которым денег хватает лишь для приобретения необходимых продуктов и одежды.

Несмотря на повышение зарплат, около 48 % работников социальной сферы продолжают пребывать в бедности, остается низкой покупательная способность заработных плат у рабочих промышленности, транспорта, лесного и сельского хозяйства; еще ниже уровень потребления (когда денег хватает только на продукты питания) отмечен у пенсионеров, студентов, учащихся; на самом дне потребления оказались люди среднего возраста, имеющие семьи с двумя и больше детьми.

Характерно, что при таком, в целом, стесненном уровне потребления и, несмотря на существенное снижение доходов, значимых изменений в оценках самоидентификации по доходным категориям за период с 2013 по 2016 гг. не произошло (рис.).

*Коэффициент материального благосостояния получен при сопоставлении вопросов о материальном благосостоянии «Если сложить все доходы Вашей семьи и поделить на число ее членов, то, сколько рублей примерно получится» и «Какой размер дохода на одного члена Вашей семьи в месяц требуется, чтобы, по Вашему мнению, жить вполне прилично» [3].

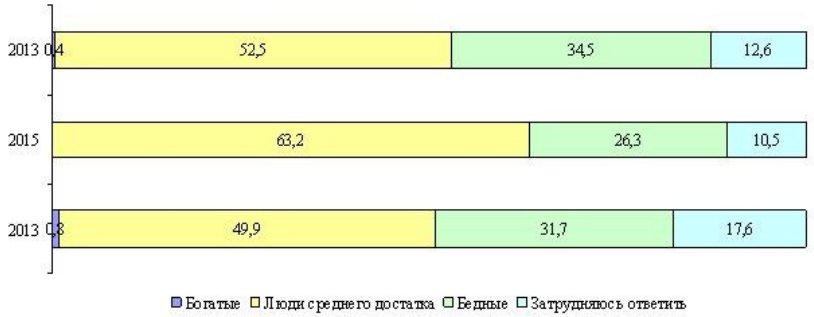


Рис. 1. Самоидентификация респондентов по социальному статусу
(по результатам социологического исследования в Мурманской обл., 2016 г.), %

Традиционно начиная с 2013 г. с категорией «богатых» соотносят себя всего лишь 0,3–0,4 % респондентов; доля среднеобеспеченных составляет около 50 % (уровень их дохода в среднем — 27,7 тыс. руб., или 1,9 прожиточных минимума, что указывает на невысокую притязательность в доходах); треть населения считают себя бедными (18,4 тыс. руб. — 1,3 прожиточных минимума) (табл. 2). В совокупности с показателем реальных доходов населения очевидно прогрессирующее обеднение средней и бедной прослоек населения. В динамике наблюдается, что после увеличения дохода у людей среднего достатка в 2015 г., к 2016 г. произошло его снижение в 0,6 раза; у «бедных» показатели снижения дохода еще значительнее — снижение в 0,9 раза, что объясняется усугублением неопределенности в социально-экономической ситуации [5].

Таблица 2

Самоидентификация респондентов по уровню дохода на члена семьи в 2013–2016 г.
(по результатам социологического исследования в Мурманской области)

Показатель	2013 г.	2015 г.	2016 г.
Доход «богатых», руб. в месяц	50000	-	-
Соотношение дохода «богатых» к прожиточному минимуму, разы	4,9	-	-
Доход людей среднего достатка, руб. в месяц	25777	29886	27669
Соотношение дохода людей среднего достатка к прожиточному минимуму	2,5	2,2	1,9
Доход «бедных и нищих», руб. в месяц	22548	17916	18404
Соотношение дохода «бедных» к прожиточному минимуму	2,2	1,3	1,3
Прожиточный минимум	10199	13582	14281

Примечание. Мурманскстат. URL: http://murmanskstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/murmanskstat/ru/statistics/standards_of_life/

Если сделать акцент на желаемом доходе, то оказывается, что он значительно уменьшился во всех доходных группах. Очевидно, это результат изменения социального настроения, вызванного сокращением реальных доходов, что и отразилось на сокращении объемов желаемого. Так, если в 2013 г. соотношение желаемого дохода «богатых» к прожиточному минимуму составляло 7,8 раза, то к 2016 г. оно сократилось до 4,9 раза. Пересмотрели свое желаемое материальное обеспечение люди среднего достатка (с 5,0 до 3,1 раза) и «бедные» (с 4,4 до 3,5 раза).

Вместе с тем, наиболее завышенные ожидания отмечены у военнослужащих и работников социальной сферы: размер их желаемого дохода составляет 64 и 56 тыс. руб. соответственно. Здесь, очевидно, прослеживается ориентация на обещанное повышение зарплат к 2018 г., которое, согласно уже упоминавшимся «майским» указам, должно быть не менее двукратного объема средней заработной платы по региону. У этих же категорий работников самый большой уровень недовольства своим материальным положением (табл. 3).

Таблица 3

Среднемесячный фактический и желаемый доход по профессиональным группам в 2016 г., руб.

Мурманская обл.	Рабочие, работники с/х	Специалисты, руководители, предприниматели	Работники социальной сферы	Работники сферы услуг	Пенсионеры	Военнослужащие, сотрудники МВД
Посчитайте, пожалуйста, примерный среднемесячный фактический доход на одного члена Вашей семьи за последний месяц						
23399,2	20945,2	25921,2	23188,6	21152,5	23394,1	23000,0
Какой размер дохода на одного члена семьи в месяц, по Вашему мнению, необходим для нормальной жизни?						
42293,7	43623,2	51702,1	55975,6	41567,2	42385,5	64285,7

В ходе исследования выявлено, что жители Мурманской обл. воспринимают ухудшение собственного материального положения, испытывая при этом чувство беспомощности по достижению более высокого уровня материального благополучия [4]. Такие суждения наиболее характерны для пенсионеров (60 %) и работников сферы услуг (50,5 %), оказавшихся в наиболее стесненных в материальном отношении обстоятельствах. Снижение востребованности на рынке труда работников социальной сферы, инженерно-технических работников, служащих предприятий и учреждений отразилось на ухудшении материального благополучия более чем половины состава перечисленных социальных групп, особенно это коснулось мужчины среднего (54,8 %) и старшего возраста (69,2 %) и возраста.

В период 2013–2016 гг., по оценкам жителей Мурманской обл., снизилась покупательная способность доходов, что существенно повысило риски бедности наиболее уязвимых социальных групп: рабочих, семей с детьми, пенсионеров, безработных, инвалидов, а также студентов и учащихся.

Таким образом, экономический кризис и отсутствие адекватной социальной политики по поддержанию доходов граждан на достойном уровне негативно повлияли на материальную обеспеченность основной массы населения в арктическом регионе.

Литература

1. Бараночников В. А. Социологические подходы к изучению социального самочувствия населения и социальной напряженности // Актуальные вопросы общественных наук: социология, политология, философия, история: сб. ст. по матер. IV междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК, 2011. С. 205.
2. Гущина И. А., Положенцева О. А. Отдельные социологические оценки результативности государственной социальной политики в Арктической зоне // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития Лузинские чтения – 2016. С. 274–277.
3. Корчак Е. А., Гущина И. А. Миграция населения в процессах формирования и использования трудового потенциала Мурманской области // Экономика и управление: проблемы, решения. 2016. Т. 2, № 10. С. 76–83.
4. Научное обоснование государственной политики устойчивого социального развития Российского Севера и Арктики как ключевого фактора реализации национальных интересов РФ: отчет о НИР (промежуточ.) : 3-10-2005 // ФГБУН Ин-т экон. проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН: рук. Рябова Л. А.; отв. исполн.: Гущина И. А. [и др.]. Апатиты, 2016. 172 с. № ГР 01201359579.
5. Понятие «уровень жизни населения» // Немного больше о финансах. URL:http:// http://www.morefinance.ru/mofics-806-1.html (дата обращения 7.10.2016 г.).

Е. Е. Емельянова

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, emelya@iep.kolasc.net.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЮДЖЕТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МУНИЦИПАЛИТЕТОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ*

Возможности развития муниципальных образований существенно зависят от их бюджетной обеспеченности. В условиях сложной экономической ситуации, продолжающейся в стране, сокращения финансирования и бюджетных расходов, свертывания инвестиционных программ и роста уровня безработицы муниципальные бюджеты стали еще более напряженными, чем до кризисного уровня.

Для исследования бюджетной обеспеченности в подобных экономических условиях в Мурманской обл. были взяты муниципалитеты, имеющие статус городских округов с численностью населения, превышающей 20 тыс. чел. Из всех муниципальных образований региона под заданные критерии подходят пять: Апатиты, Кировск, Ковдор, Мончегорск и Оленегорск, четыре из них являются монопрофильными (за исключением Апатитов).

К числу монопрофильных муниципальных образований РФ с наиболее сложным социально-экономическим положением, в том числе в взаимосвязи с проблемами функционирования градообразующих организаций, в Мурманской обл. отнесены Кировск и Ковдор. Остальные два моногорода относятся к категории монопрофильных поселений, имеющих риски ухудшения социально-экономического положения.

Анализ бюджетов городских округов за 2012–2015 гг. (табл. 1) показал значительное ухудшение бюджетной обеспеченности в двух моногородах — Мончегорске и Оленегорске, которые входят в категорию моногородов с риском ухудшения экономической ситуации.

В Мончегорске дефицит бюджета увеличился из-за снижения доходной части бюджета города по налоговым и неналоговым доходам, в основном по арендной плате за земельные участки, государственная собственность на которые не разграничена. Кроме того, недопоступление доходов произошло по причине пересмотра в 2014 г. кадастровой стоимости земельных участков на рыночную стоимость [4].

*Публикация содержит материалы, полученные при поддержке грантом РФФИ № 16-32-00019 «Новые проблемы и перспективы социально-экономического развития регионов российской Арктики в условиях кризиса».

Таблица 1

Профицит (дефицит) бюджетов городских округов Мурманской обл., % к доходу

Городской округ	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Кировск	2,8	-5,5	-3,4	-0,9
Ковдор	-5,5	-8,1	-4,1	0,0
Мончегорск	-6,7	-5,0	-11,4	-16,6
Оленегорск	-1,8	-0,9	-13,6	-16,7
Апатиты	3,1	-1,7	-4,1	14,9
В среднем по ГО региона	*-1,6*	*-4,2*	*-7,3*	*-3,9*
В среднем по ГО Севера и Арктики	*-1,1*	*-3,5*	*-2,9*	*-1,4*

Примечание. Составлено автором. Источник: Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/.

В Оленегорске снижение доходной части бюджета в 2015 г. произошло из-за сокращения объемов отгруженных товаров по виду экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» на 11,4 % за счет снижения цены на железорудный концентрат по АО «Олкон», который является основным налогоплательщиком [2, 6].

Ситуация в Кировске и Ковдоре в кризисный период является достаточно стабильной ввиду реализуемых Правительством мер по антикризисной поддержке моногородов со сложной экономической ситуацией. В основу антикризисного плана области положены ключевые направления аналогичного плана Правительства РФ с учетом региональной специфики, где основные меры направлены на обеспечение социальной и экономической стабильности в регионе. В рейтинге антикризисной устойчивости регионов, составленном Фондом развития гражданского общества, по итогам 2015 г. Мурманская обл. вошла в десятку лидеров [7]. Благодаря тому, что в регионе действует законодательство о приоритетных инвестиционных проектах, в 2015 г. проекту реконструкции третьей апатитонефелиновой фабрики АО «Апатит» был присвоен статус приоритетного проекта Мурманской обл., что позволило увеличить производство апатитонефелинового концентрата на 7 %.

В Ковдоре также проводится работа по обеспечению выполнения антикризисных мероприятий на основе Соглашения о социально-экономическом партнерстве между Правительством Мурманской области, АО «Минерально-химическая компания «ЕвроХим» и администрацией Ковдорского района [5].

В Апатитах значительный рост профицита бюджета в 2015 г. связан с дополнительным разовым поступлением денежных средств в бюджет города за счет выигранного иска к АО «Апатит». Если сравнивать бюджетную обеспеченность городских округов Мурманской обл. с городскими округами Севера и Арктики, то она более чем в 2,5 раза хуже, чем в городах других северных регионов.

Анализ бюджетов городских округов Мурманской обл. показал, что доля собственных доходов в общем объеме доходов бюджетов сократилась с 76,7 % в 2012 г. до 60,1 % в 2015 г. (табл. 2). В сравнении с городскими округами Севера и Арктики сокращение доходов муниципальных бюджетов в Мурманской обл. превышает в 2 раза (11 % в городах Севера и Арктики против 22 % в Мурманской обл.). Такое уменьшение собственных доходов муниципалитетов ведет к сокращению и инвестиционной составляющей.

Таблица 2

Доля собственных доходов в доходах бюджета городских округов Мурманской обл., %

Городской округ	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Кировск	80,7	79,9	67,8	67,6
Ковдор	77,0	77,0	65,0	61,1
Мончегорск	76,6	78,2	59,5	55,2
Оленегорск	75,4	76,4	59,5	53,6
Апатиты	73,6	72,3	55,3	63,2
В среднем по ГО региона	*76,7*	*76,8*	*61,4*	*60,1*
В среднем по ГО Севера и Арктики	*77,0*	*78,2*	*69,0*	*68,2*

Примечание. Составлено автором. Источник: Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/.

Значительных изменений в структуре доходов за исследуемый период времени в городах Мурманской обл. не произошло, однако средний показатель по налоговым доходам и доходам от использования государственного и муниципального имущества гораздо выше, чем в целом по городам Севера и Арктики, что говорит о большей самостоятельности муниципалитетов Мурманской обл. (табл. 3). Необходимо отметить, что в Кировске, который входит в моногорода с наиболее сложной социально-экономической ситуацией, демонстрируются наилучшие показатели по налоговым доходам (41,9 % в 2015 г.) и доходам от использования муниципального имущества (17,2 %).

В среднем по городам Мурманской обл. доля налоговых поступлений в целом упала к 2015 г. почти на 10 %. При более детальном рассмотрении источников доходов муниципальных бюджетов можно

констатировать, что уменьшение налоговых доходов произошло в основном за счет сокращения самого доходного налога для муниципальных образований — налога на доходы физических лиц. В среднем по муниципалитетам региона сокращение налога на доходы физических лиц составило 20,5 % [1]. Это связано с сокращениями работников градообразующих предприятий в связи с падением спроса и ростом задолженности предприятий. Данное обстоятельство отмечалось и в докладе Аналитического центра при Правительстве и Федеральной службе охраны (ФСО). Согласно последним данным, в моногородах отмечается рост безработицы. Так в 206 моногородах в целом по стране уровень регистрируемой безработицы превысил среднероссийский показатель — 1,2 % от численности экономически активного населения (по состоянию на 1 января 2015 г. — в 173 моногородах), в том числе в 84 моногородах превышение составило два и более раза (на 1 января 2015 г. — в 66 моногородах) [3].

Таблица 3

Структура доходов муниципальных бюджетов городов Мурманской области, в %

Городской округ	Доля налоговых доходов, %		Доля доходов от использования гос. и муницип. имущества		Доля доходов от безвозмездных поступлений	
	2012 г.	2015 г.	2012 г.	2015 г.	2012 г.	2015 г.
Кировск	51,5	41,9	15,8	17,2	31,1	40,1
Ковдор	33,3	31,0	9,5	12,2	53,8	56,1
Мончегорск	38,7	39,8	9,6	7,6	51,5	52,9
Оленегорск	41,9	40,0	13,5	2,6	44,7	54,7
Апатиты	40,2	33,9	7,5	7,3	51,1	41,7
В среднем по ГО региона	*41,1*	*37,3*	*11,2*	*9,4*	*46,4*	*49,1*
В среднем по ГО Севера и Арктики	34,2	28,4	4,7	4,5	60,3	65,6

Примечание. Составлено автором. Источник: Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/.

Что касается безвозмездных поступлений, то сейчас, в условиях кризиса, наблюдается тенденция к перераспределению безвозмездных поступлений (табл. 4) в пользу субвенций. По сравнению с 2012 г. произошло сокращение доли дотаций, направления расходования которых определяются муниципалитетами самостоятельно, и субсидий, которые предполагают долевое участие вышестоящего уровня бюджетной системы в расходах, которые он считает необходимым. Это ограничивает свободу муниципальных органов власти в распределении финансовых средств и реализации собственной инвестиционной политики. Так, к 2015 г. произошло резкое сокращение доли субсидий в общем объеме безвозмездных поступлений почти в 7 раз (с 34,9 % в 2012 г. до 4,5 % в 2015 г.), в то же время доля субвенций возросла с 51,4 до 81,6 % соответственно.

Таблица 4

Доля дотаций, субсидий и субвенций в общем объеме безвозмездных поступлений, %

Городской округ	Доля дотаций		Доля субсидий		Доля субвенций	
	2012 г.	2015 г.	2012 г.	2015 г.	2012 г.	2015 г.
Кировск	4,3	1,6	28,6	2,3	62,0	80,9
Ковдор	18,2	18,2	37,9	3,8	42,9	69,3
Мончегорск	19,2	8,5	35,8	6,7	45,5	84,8
Оленегорск	9,2	12,4	38,0	3,2	55,1	84,9
Апатиты	14,2	5,1	34,1	6,7	51,6	88,1
В среднем по городам	*11,2*	*9,2*	*34,9*	*4,5*	*51,4*	*81,6*
В среднем по всем городам	19,1	17,6	34,8	22,7	41,7	53,5

Примечание. Составлено автором. Источник: Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/.

Таким образом, анализируя бюджетную обеспеченность городских округов Мурманской обл. в сравнении с регионами Севера и Арктики, можно констатировать, что в последнее время отмечается рост дефицита бюджетов, который превышает среднее значение по городским округам Севера и Арктики в 2,5 раза. В период экономического кризиса в городских округах Мурманской обл. происходит сокращение доходной части муниципальных бюджетов за счет снижения доли налоговых поступлений. Наибольшее сокращение отмечается в моногородах за счет снижения налогов на доходы физических лиц в 2015 г. в среднем на 20,5 %, что связано с сокращениями работников градообразующих предприятий. Однако, несмотря на это, моногорода находятся в более благоприятном положении за счет реализуемых Правительством мер по антикризисной поддержке монопрофильных поселений.

Литература
1. Емельянова Е. Е. Влияние экономического кризиса на возможности реализации инвестиционной политики в моногородах Севера и Арктики // Социально-экономическое развитие моногородов: традиции и инновации: материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием (Дальнегорск, 26–27 мая 2016) / Дальневосточный федер. ун-т; под общ. ред. Н. В. Лисичкиной. Владивосток: ДФУ, 2016. С. 99–110.
2. Итоги социально-экономического развития муниципального образования город Оленегорск с подведомственной территорией за 2015 год: офиц. сайт органов местного самоуправления муниципального образования г. Оленегорск с подведомственной территорией. URL: http://olenegorsk.gov-murman.ru/upload/iblock/959/itogi_ser_2015i.pdf (дата обращения: 04.03.2017).
3. О мониторинге социально-экономического положения моногородов: офиц. сайт Правительства РФ. URL: http://government.ru/orders/22920/ (дата обращения 17.05.2016).
4. Отчет главы администрации города за 2015 год: офиц. сайт органов местного самоуправления г. Мончегорск. URL: http://monchegorsk.gov-murman.ru/gorod/munitsipalnye-uchrezhdeniya-goroda/mku-uer-goroda-monchegorska/sotsialno-ekonomicheskoe-planirovanie-i-statistika/2015_otchet_glavy_adm_6.pdf (дата обращения: 03.03.2017).
5. Отчет главы Ковдорского района о работе администрации Ковдорского района за 2015 год: офиц. сайт муниципального образования Ковдорский район. URL: http://www.kovadm.ru/Content/Default.aspx?CategoryId=2&ParentId=1949 (дата обращения: 06.03.2017).
6. Пояснительная записка к докладу главы города Оленегорска о достигнутых значениях показателей для оценки эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов за 2015 год и их планируемых значениях на 3-летний период: офиц. сайт органов местного самоуправления муниципального образования г. Оленегорск с подведомственной территорией. URL: http://olenegorsk.gov-murman.ru/upload/iblock/a93/poyasnitelnaya_k_dokladu2015.pdf (дата обращения: 04.03.2017).
7. Региональный антикризисный план сработал — Марина Ковтун: офиц. портал Правительства Мурманской области. URL: https://gov-murman.ru/info/news/168423/ (дата обращения: 05.03.2017).

В. В. Каргинова
Институт экономики КарНЦ РАН, Петрозаводск, vkarginowa@yandex.ru

ЭНТРОПИЯ КАК ФАКТОР ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ*

В настоящее время эволюция экономической теории идет в направлении синтеза с точными науками: активнее используются математический аппарат и информационные технологии, появилось даже новое междисциплинарное направление — эконофизика [19]. Причем данный процесс следует рассматривать как не исключительно расширение методов, а общую смену парадигмы. Экономика нуждается в актуализации фундаментальных догм. Необходимо учитывать рост неустойчивости и вариативности форм и связей акторов, освободиться от инертности жестких моделей. Современные рынки обладают самоорганизованной критичностью, то есть их неконтролируемое развитие неизбежно приводит к системному кризису [12]. Данное свойство в достаточной степени изучено у физических объектов, и выглядит целесообразным использование схожей парадигмы исследования в экономической теории, в частности, в рамках мезоэкономического подхода в теориях регионального развития и отраслевых рынков. В табл. 1 представлен относительный паритет некоторых разделов физики и экономики.

Таблица 1

Соотношение разделов физики и экономики

Уровень	Раздел физики	Раздел экономики
1.	Физика атомных и молекулярных частицы	Микроэкономика
2.	Физика наноструктуры	Мезоэкономика
3.	Физика конденсированных состояний	Макроэкономика

Примечание. Составлено автором по [3].

*Статья выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Методология исследования эволюции северных периферийных регионов и разработка механизмов управления их экономическим развитием» № 0224-2015-0004 и Программы Президиума РАН № I.П13 фундаментальных научных исследований «Пространственное развитие России в XXI веке: природа, общество и их взаимодействие» № 0224-2015-0005.

Наноструктуры — это совокупность наночастиц с определенными функциональными связями [4]. В качестве примера можно назвать фуллерен — аллотропную форму углерода наравне с графитом, алмазом и карбином [9].

Состояние наноструктур является промежуточным между гомо- и гетерогенным, аморфным и кристаллическим [4]. Каждая наночастица обусловливает какое-либо свойство структуры, и от ее размера зависят качественные характеристики данного свойства. Это получило название размерного эффекта [15]. Причем свойства структуры определяются не только размерами наночастиц, но и их расположением относительно друг друга [11].

Промышленное использование наноструктур сопряжено с необходимостью обеспечения стабильности их свойств через стабильность составляющих наночастиц. Уже сейчас найдены некоторые методы, позволяющие сохранять физико-химические свойства наноматериалов, однако исследования в данном направлении, безусловно, должны быть продолжены [1].

По аналогии с наноструктурой регион можно охарактеризовать как экономическое пространство, определяемое свойствами действующих акторов, их пространственным расположением и связями. Установление границ и характеристик данных пространств возможно с использованием кластерного и факторного анализа, методов прикладной статистики, мультиагентного моделирования и т. д. [6]. Например, приграничное положение регионов и близость к крупным промышленным центрам определяют такую характеристику территории, как транзитивный потенциал. При грамотной экономической политике производственно-хозяйственная деятельность в регионе будет ориентирована не только на транспортировку товаров прочих производителей, но и на их доработку и усовершенствование. Соответственно, территория будет использоваться в качестве не транспортного, а экономического коридора. Это позволит создать дополнительные рабочие места, построить и улучшить дороги.

В то же время территориальная разобщенность периферийных и северных регионов, в том числе арктических, приводит к росту экономических расстояний, то есть транспортных издержек. Это снижает эффективность производственно-хозяйственной деятельности, и богатый природно-ресурсный потенциал остается нереализованным. В свою очередь, это приводит к ухудшению качества жизни населения и зачастую к росту диспропорций в обществе [8].

Как было отмечено выше, еще не найден универсальный метод обеспечения стабильности наноструктур. Это способствует развитию новых, нетрадиционных подходов к их исследованию. Например, для анализа качества структур ведется формирование и оценка показателей энтропии [2].

Термин энтропия (от греч. εντροπία — превращение) появился в 1865 г. в термодинамике и был введен немецким физиком Рудольфом Клаузиусом [13]. В 1948 г. Клод Элвуд Шеннон разработал подход к оценке информационной энтропии [21]. Параллельно с ним Эрвин Шрёдингер [20], а чуть позже и Норберт Винер [22] расширили понятие энтропии до меры неопределенности любых систем.

Применительно к целям данной работы для расчета энтропии можно предложить использовать следующую формулу:

$$E_i = \sum\nolimits_{j=1}^{n} \left[\frac{S_{ij}}{n\overline{S_i}} \ln\left(\frac{n\overline{S_i}}{S_{ij}} \right) \right],$$

где E_i — энтропия i-го региона; n — число секторов; S_{ij} — потенциальная доля валовой добавленной стоимости в величине оборотных и внеоборотных активов j-го сектора i-го региона, уменьшенных на величину просроченной дебиторской задолженности; $\overline{S_i}$ — средняя потенциальная доля валовой добавленной стоимости в величине активов i-го региона.

Потенциальная доля валовой добавленной стоимости определяется как максимум из фактической доли и средней по макрорегиону (федеральному округу).

Сопоставим уровень энтропии по арктическим регионам Российской Федерации (см. табл. 2).

Таблица 2

Энтропия арктических регионов Российской Федерации, 2014 г.

Регион	Уровень энтропии	Регион	Уровень энтропии
Мурманская обл.	1,08	Красноярский край	1,01
Архангельская обл.	1,13	Республика Саха (Якутия)	1,18
Республика Коми	1,21	Чукотский автономный округ	0,68
Тюменская обл.	1,13		

Примечание. Рассчитано автором по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы.

[*] В рамках произведённых расчетов не были учтены данные по сектору государственного управления и обеспечения военной безопасности ввиду имеющихся особенностей функционирования и сектору домашних хозяйств из-за отсутствия сведений об их активах.

Субъекты Российской Федерации, лишь частично отнесенные к арктическим зонам, представлены в рамках своих административно-территориальных границ в силу ограниченного объема статистической информации в открытых источниках.

В рассматриваемой модели энтропия может принимать значения от 0 до $\ln 14$, то есть примерно 2,64.

Исходя из принципа максимума энтропии, изначально разработанного применительно к термодинамике, энтропия всегда стремится к максимально возможной величине в системе [16, 17]. Высокий уровень энтропии соответствует низкой концентрации экономического потенциала: в большом числе секторов имеющиеся активы используются недостаточно эффективно. Можно предположить, что это связано с асинхронностью действий регулирующих органов, некими институциональными проблемами пространства, которые, в частности, могут проявляться в высоких трансакционных издержках и барьерах входа и выхода на рынок.

Кроме того, дезорганизация экономического пространства облегчает манипулирование им. В силу этого ряд исследователей даже рассматривает хаос в качестве основного инструмента реализации интересов. Так, Стивен Манн разработал технологии «управляемого хаоса» и обозначил их применимость для достижения геополитических интересов США. Он показал, что подмена идеологических ценностей или проведение рыночных реформ способны снизить устойчивость и группы людей, и страны в целом. Следовательно, они попадут в зависимость от воли создающих хаос [18].

Безусловно, данная стратегия очень опасна. Можно согласиться с Игнасио Рамоне: хаос неизбежно приводит к недоверию между людьми и протестным настроениям. Именно поэтому в мире растет число вооруженных конфликтов и террористических актов [10]. Однако это не останавливает ряд стран и отдельных акторов от применения технологий Стивена Манна.

Рост хаоса, сопровождаемый повышением энтропии, замедляет пространственное развитие. Следовательно, данные тенденции для территории можно назвать негативными.

При низком уровне энтропии экономический потенциал сконцентрирован в рамках одного или нескольких секторов экономики. С одной стороны, это облегчает задачу регулятору: наличие ярко выраженных точек роста позволяет сконцентрировать усилия на них и, соответственно, обеспечить экономический рост с минимальными затратами. В то же время на основании обобщения теоремы Гиббса можно заключить, что минимизация потребляемых ресурсов достигается лишь при условии превышения энтропией определенного порогового значения [14]. Вариативность действий и возможностей индивидов необходимы для конкуренции и появления инноваций. В случае если энтропия не достигает пороговой величины, происходит расточительное расходование ресурсов и преждевременное истощение потенциала.

Таким образом, энтропия определяет темп и характер пространственного развития территорий и в итоге приводит к дифференциации социально-экономических характеристик регионов. Для обеспечения устойчивого роста экономики и качества жизни населения требуется достаточный, но не максимальный уровень энтропии. Следовательно, регулятору необходимо создавать требуемую долю неупорядоченности, одновременно вводя жесткие рамки, ограничивающие ее самовозрастание [5].

Проводимую экономическую политику следует дифференцировать в соответствии с инвариантами территорий, а также уровнем и волатильностью энтропии. В качестве основной цели должно выступать согласование интересов всех региональных акторов [7] и обеспечение устойчивого развития территории.

Определение оптимального уровня энтропии и выработка инструментов развития для кластерных групп регионов являются целями дальнейшего исследования. Причем стоит помнить о недопустимости прямых аналогий между объектами экономики и точных наук в силу различий их природы. Поэтому предполагается расширение формируемой парадигмы изучения пространственного развития территорий с помощью учета когнитивных особенностей поведения акторов и их влияния на вектор эволюции экономических пространств.

Литература

1. Андриевский Р. А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 252 с.
2. Волков А., Еремина И., Саноян А.Энтропийные модели микро- и наноструктур. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосмического ун-та, 2007. 80 с.
3. Гладковский В. И., Хуснутдинова В. Я. Зачем экономистам физика? // Символ науки. 2015. № 3. С. 91–95.
4. Жабрев В. А., Марголин В. И., Павельев В. С. Введение в нанотехнологию (общие сведения, понятия и определения) / под ред. проф. А. И. Сечного. Самара: Изд-во СГАУ, 2007. 172 с.
5. Каргинова В.В. Вариантность институтов как фактор перехода к устойчивому развитию // Государство и бизнес. Современные проблемы экономики: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (20–22 апреля 2016 г., г. Санкт-Петербург). СПб., 2016. Т. 2. С. 50–54.
6. Каргинова В. В. Методические подходы к комплексной оценке экономического потенциала региона и уровня его использования // Экономический анализ: теория и практика. 2016. № 8. С. 86–97.
7. Каргинова В. В. Особенности экономической политики по согласованию интересов региональных акторов // Современная экономика: проблемы и решения. 2016. Т. 3. С. 96–111.
8. Каргинова В. В. Ускорение капитализации малых активов как фактор снижения существующих диспропорций // Экономические и гуманитарные науки. 2016. № 1. С. 47–53.

9. Михайленко А. В., Смык С. Ю., Куницкий Ю. А. Углеродные наноструктуры: топология, получение, свойства // Поверхность. 2011. Вып. 3(18). С. 50–102.
10. Рамоне И. Геополитика Хаоса / пер. с франц. И. А. Егорова. М.: ТЕИС, 2001. 128 с.
11. Седов Е. Одна формула и весь мир. М.: Знание, 1982. 178 с.
12. Bouchaud J.-P. Economics needs a scientific revolution // Nature. 2008. Vol. 455. P. 1181.
13. Clausius R. Über verschiedene, für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie // Annalen der Physik und Chemie. 1865. Band 125. S. 353–400.
14. Gibbs J. W. Elementary principles in statistical mechanics N. Y.: Charles Scribner's Sons, 1902. 207 p.
15. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Acta Mater. 2000. Vol. 48, No. 1. P. 1–29.
16. Janes E. T. Information theory and statistical mechanics I // Phys. Rev. 1957. Vol. 106, No. 4. P. 620–630.
17. Janes E. T. Information theory and statistical mechanics II // Phys. Rev. 1957. Vol. 108, No. 2. P. 171–190.
18. Mann S. R. Chaos Theory and Strategic Thought // Parameters (US Army War College Quarterly). 1992. Vol. XXII. P. 54–68.
19. Mantenga R. N., Stanley H. E. An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 147 p.
20. Schrödinger E. What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell. Cambridge: Cambridge University Press, 1944. 194 p.
21. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. P. 379-423.
22. Wiener N. The Human Use of human Beings. Boston: Houghton Mifflin Company, 1950. 229 p.

Д. Л. Кондратович
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, k_dim@iep.kolasc.net.ru

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ПЕРСПЕКТИВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА РФ В ОЦЕНКАХ НАСЕЛЕНИЯ

Перспективы социально-экономического развития арктических регионов обусловливаются особым интересом со стороны государства к теме освоения арктических территорий. Так, за последние несколько лет были утверждены «Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» [4], «Стратегия развития Арктической зоны РФ (далее — АЗРФ) и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года». В 2014 г. был подписан Указ Президента РФ о сухопутных территориях АЗРФ, утверждена Программа социально-экономического развития АЗРФ на период до 2020 г.

В то же время достижение целей государства в АЗРФ предполагает учет и изучение не только основных документов, ключевых векторов развития Арктики, но и формирование арктической политики с учетом интересов местного населения, определение проблемных моментов и перспективных направлений развития данного направления [5]. Это, в свою очередь, позволит обеспечить скорость и эффективность государственного воздействия и выделить реальные приоритеты арктической политики Российской Федерации.

Учет мнения населения позволяет с разных сторон изучить арктическую проблематику, оценить значение и важность арктической территории для России [3]. Социологическое исследование, проведенное в 2016 г. сотрудниками отдела социальной политики на Севере ИЭП КНЦ РАН в Мурманской обл., показывает, что местное население проявляет повышенный интерес к данной теме. Так, в частности, отвечая на вопрос «Как Вы считаете, чем ценна и важна Арктика, арктические территории для России?» мнение респондентов распределилось следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Наиболее значимые арктические факторы для России
(по результатам социологического исследования по Мурманской области, проведенного в 2016 г.)

Вариант ответа	%
Нефть, газ	47,9
Северный морской путь	43,1
Рыба, другие ценные биоресурсы	45,3
Твердые полезные ископаемые	22,2
Первозданная, уникальная природа	10,4
Большая территория, границы России	15,4
Льды, пресная вода	13,8
Особые люди, народы, их традиции	6,0
«Фабрика мирового климата»	5,0

Большинство опрошенных жителей Мурманской обл. уверенно выделили три ключевых составляющих, которые наиболее сильно влияют на направленность развития Арктики в целом и имеют первостепенное значение для РФ, а именно: нефть и газ (47,9 %), рыбные и другие ценные биоресурсы (45,3 %), а также Северный морской путь (43,1 %). Также среди значимых арктических факторов для России оказались твердые полезные ископаемые (22,2 %) и продолжительные границы РФ (15,4 %). Лишь 6 % ответивших считают, что для России представляют интерес люди, которые проживают на данной территории, их культура, традиции и образ жизни. Такой низкий результат, скорее всего, связан с тем, что в приоритетах развития АЗРФ отводится незначительное внимание сохранению и развитию человеческого капитала, культурным и традиционным ценностям, характерным для данного региона.

Можно констатировать, что жители АЗРФ надеются на внимание со стороны государственных органов исполнительной власти, но особых иллюзий не испытывают [1]. Многие считают, что государственные органы власти при реализации программ, направленных на развитие Арктики, руководствуются не интересами местного населения, а стремятся извлечь максимальную выгоду от использования ресурсно-сырьевого потенциала региона.

Показательными являются ответы респондентов на вопрос «Как повлияет на социально-экономическую ситуацию в Вашем регионе реализация арктической политики России?» (табл. 2).

Таблица 2

Влияние арктической политики РФ на социально-экономическую ситуацию в регионе
(по результатам социологического исследования по Мурманской обл., проведенного в 2016 г.)

Вариант ответа	%
Затрудняюсь ответить	40,7
Повлияет положительно, но в отдаленной перспективе	30,3
Никак не повлияет	15,8
Повлияет положительно и уже в ближайшее время	8,6
Повлияет отрицательно	4,6

Среди местного населения наблюдается умеренный оптимизм: так, 30,3 % респондентов считают, что арктическая политика РФ повлияет на экономическое положение региона положительно, но только в отдаленной перспективе. На то, что повлияет положительно в ближайшее время, надеется лишь 8,6 % опрошенных жителей; 15,8 % респондентов считают, что арктическая политика РФ никак не отразится на положении региона и лишь 4,6 % опрошенных считают, что повлияет отрицательно. Следует обратить внимание, что более 40 % опрошенных респондентов затруднились с ответом. Такой значительный процент затруднившихся с ответом свидетельствует о том, что знания о проектах и программах, которые ориентированны на освоение Арктической зоны, носят поверхностный характер. Многие респонденты имеют слабые представления об участии региона в проекте развития Арктики, что, скорее всего, связано, с недостаточной информированностью населения. Количество респондентов, которые не определились с ответом, также указывают на то, что со стороны государственных органов исполнительной власти существуют серьезные недоработки относительно информирования населения о планах и мероприятиях, направленных на развитие арктической территории.

Следует отметить, что большинство опрошенных респондентов считает, что именно государственные органы исполнительной власти должны взять на себя ответственность за мероприятия по поддержке населения, проживающего на территории Арктической зоны Российской Федерации. Многие жители полагают, что без создания особых условий и мер поддержки для местного населения, осваивать и развивать арктические территории будет весьма непростой задачей (табл. 3).

Большинство ответивших респондентов на данный вопрос (39,3 %) считает, что следует разработать специальные законы и проработать особые меры поддержки населения, проживающего в АЗРФ. Часть респондентов (24,2 %) полагает, что поддержка может осуществляться в рамках федерального закона о Севере, но с условием изменений заложенных там нормативов.

Таблица 3

Варианты осуществления мер государственной поддержки населения,
проживающего на территории Арктической зоны Российской Федерации
(по результатам социологического исследования по Мурманской обл., проведенного в 2016 г.)

Вариант ответа	%
Затрудняюсь ответить	23,0
Должны быть разработаны специальные законы и проработаны особые меры поддержки населения данных территорий	39,3
Поддержка может осуществляться в рамках федерального закона о Севере, но с условием изменений заложенных там нормативов	24,2
Поддержка в рамках действующих федеральных законов	13,6

Ориентированность государства на освоение арктических территорий вахтовым методом у населения также не вызывает оптимизма. Опрошенные жители не желают работать вахтовым методом в арктических условиях, доля тех, кто так считает, составляет почти 60 % (табл. 4).

Таблица 4

Доля желающих работать вахтовым методом в арктических условиях, %
(по результатам социологического исследования по Мурманской области, проведенного в 2016г.)

Вариант ответа	%
Да, но только по своей профессии	10,2
Да, и не только по своей специальности	10,8
Нет	59,9
Затрудняюсь ответить	19,2

Причин здесь может быть несколько: это и удаленность от семьи, и недостаточный уровень личного комфорта. Но больше всего респондентов пугает жизнь в условиях перманентной неопределенности, опасения относительно их востребованности на рынке труда. Кроме того, многие арктические регионы имеют достаточно развитую инфраструктуру, которая характеризуется наличием культурных, образовательных и медицинских учреждений, жилищного сектора и т. д. [2], а вахтовый метод не предполагает вложений в развитие местных территориальных сообществ и создание соответствующей инфраструктуры, что, безусловно, отталкивает население. Тем не менее, среди тех, кто готов работать вахтовым методом немало тех, кто считает себя бедными. Видимо, ради увеличения своего материального благополучия люди готовы все же жертвовать личным комфортом. К числу тех, что готов работать вахтовым методом, можно отнести молодых мужчин (до 30 лет), многие из которых готовы работать вахтовым методом даже по другой специальности, а часть только с сохранением своей специальности. В целом, ориентация государственных органов исполнительной власти на развитие арктических территорий с помощью вахтового метода не вызывают энтузиазма и поддержки со стороны большинства местного населения. Местное население, наоборот, надеется на развитие полноценной инфраструктуры в АЗРФ и на отношение к этой территории со стороны государства не как к сырьевому придатку, а как центру экономического роста, генерирования новых идей и технологий.

Таким образом, можно сделать ряд выводов:

1. В настоящее время реализация государственной арктической политики идет традиционным путем, без резких трансформаций, а ряд заявленных целей имеет декларативный характер.

2. Можно уверенно утверждать, что население АЗРФ не имеет в настоящее время полноценного понимания концепции освоения Арктики. Существенным моментом является определение статуса регионов АЗРФ как «стратегической ресурсной базы, обеспечивающей социально-экономическое развитие страны» .

3. Кроме того, жители исследуемых регионов имеют достаточное представление о государственной арктической политике и почти ничего не знают относительно планов региональной власти, ориентированных на развитие арктических территорий.

4. Существует ряд опасений среди местного населения по поводу востребованности их на рынке труда в новых условиях и относительно того, что государство будет осваивать АЗРФ только лишь вахтовым методом, который не подразумевает вложений в развитие местных территориальных сообществ и создание соответствующей инфраструктуры.

5. Необходимость развития арктических пространств требует переосмысления подходов к практическому применению и воплощению на практике ранее озвученных программ и проектов.

Литература

1. Каторин И. В. Арктические представления и ожидания жителей Европейского Севера (по результатам комплексного социологического исследования): аналит. докл. (г. Архангельск, 5 июня 2015 г.). URL: http://narfu.ru/aan/Encyclopedia_Arctic/Expectations_Katorin.pdf
2. Кондратович Д. Л. Некоторые особенности восприятия населением государственной арктической политики // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2016 г.: Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Апатиты, 14–16 апреля 2016 г) / под общ. ред. Е. П. Башмаковой, Е. Е. Торопушиной. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 690 с.
3. Некоторые аспекты социальной адаптации населения арктического региона (по результатам социологических исследований в Мурманской области) И. А. Гущина и др. // ИТпортал. 2016. № 4 (12). URL: http://itportal.ru/science/economy/nekotorye-aspekty-sotsialnoy-adapta/.
4. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу (утв. Президентом РФ 18 сентября 2008 г. № Пр-1969). URL: http://government.ru/info/18359/
5. Ульченко М. В. Анализ экономической безопасности европейской части севера РФ // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2014. Т. 6, № 43. С. 59–64.

Е. А. Корчак
Институт экономических проблем КНЦ РАН, Апатиты, korchak@iep.kolasc.net.ru

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ: ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА В СФЕРЕ УРОВНЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ СЕВЕРА РФ

В силу своего значения регионы Севера РФ играют ключевую роль в обеспечении национальной безопасности России на основе долгосрочного устойчивого развития, главной составляющей которого является социальная устойчивость — комплексная качественная характеристика уровня благосостояния населения регионов Севера РФ, соответствующего уровню экономического развития, обеспечивающего достижение высоких социальных стандартов. Основной принцип достижения социальной устойчивости — социализация экономического развития, согласованного с ресурсными возможностями северных регионов России на основе партнерства органов государственной власти и органов местного самоуправления, бизнес-сообщества и населения в осуществлении сбалансированного территориального развития.

Социальная устойчивость территориального развития и уровень жизни населения

По степени социальной устойчивости территориального развития, определяемой на основе такой обобщенной характеристики уровня жизни, как интегральный индекс уровня жизни, регионы Севера РФ дифференцируются на четыре группы [1–3]:

1) регионы с высокой степенью социальной устойчивости — Ямало-Ненецкий автономный округ, экономическая специализация которого определяет лидирующие позиции региона по показателям уровня жизни населения;

2) регионы, развитие которых определяется как социально устойчивое, — Чукотский и Ханты-Мансийский автономный округа, Магаданская и Сахалинская области, — динамично развивающиеся регионы, ведущим сектором экономик которых является промышленный комплекс, чья социальная значимость определяется обеспечением высокооплачиваемой занятости, а положительная динамика показателей эффективности оказывает существенное влияние на повышение экономической активности населения, снижение уровня безработицы, увеличение среднемесячной заработной платы и снижение бедности;

3) регионы, развитие которых происходит с признаками социальной устойчивости, — Мурманская обл., Республика Коми, Республика Саха (Якутия), Архангельская обл., основные угрозы социальной устойчивости которых — безработица на фоне миграционного оттока молодых квалифицированных кадров;

4) регионы, развитие которых происходит с признаками социальной неустойчивости, — Республика Карелия и Камчатский край, структура экономики которых (основа экономики Республики Карелия — лесная отрасль, структурная основа экономики Камчатского края — государственное управление, образование, здравоохранение) предопределила низкий уровень материального благосостояния населения, а также высокие уровни экономической и социальной бедности.

Основной проблемой в сфере уровня жизни, негативным образом влияющей на уровень и степень социальной устойчивости регионов Севера РФ является социальная напряженность на региональных и локальных рынках труда, продуцируемая низкооплачиваемой занятостью в отдельных отраслях экономики и такими характеристиками феномена северной безработицы, как ее дифференциация по территориальному, половозрастному и квалификационному признакам.

В силу общемировых и российских тенденций экономического развития в 2002–2014 гг. динамика степени социальной устойчивости регионов Севера РФ имела нестабильный характер. Так, в Ханты-Мансийском автономном округе в рассматриваемый период уровень социальной устойчивости снизился на 15,2 % за счет обусловленного падением деловой активности и несбалансированностью нефтяных цен сокращения уровня материального благосостояния. Другой негативный фактор — увеличение доли безработных граждан, имеющих квалификацию (в 2014 г. это значение составило более 50 %) на фоне неравномерного соотношения вакансий, заявленных работодателями в органы службы занятости, и числа безработных граждан, зарегистрированных в органах службы занятости населения округа. Другой пример — Республика Саха (Якутия), развитие которой начиная с 2008 г. характеризуется реальным ростом основных макроэкономических показателей (за счет начала реализации Схемы комплексного развития производительных сил, транспорта и энергетики Республики Саха (Якутия) до 2020 года). Тем не менее, актуальными для региона остаются проблемы бедности и безработицы, сопровождаемые низкой степенью мобильности трудовых ресурсов, значительным удельным весом убыточных предприятий в государственном секторе и нехваткой специалистов в организациях социальной сферы, функционирующих в арктической зоне региона.

Угрозы социальной устойчивости территориального развития

Социальная устойчивость территориального развития регионов Севера РФ подвержена угрозам, продуцируемым, помимо дискомфортности условий жизнедеятельности, темпами развития и отраслевой структурой региональных экономик, которые определяют специфику региональных и локальных рынков труда и, как следствие, уровень жизни населения. Один из факторов возникновения таких угроз — неблагоприятная

институциональная среда территориального развития, в т. ч. несовершенство таких институциональных условий обеспечения социальных прав граждан, как государственные гарантии по оплате труда и государственные гарантии по реализации конституционных прав граждан РФ на труд.

В соответствии с Трудовым кодексом РФ [4] на территории России гарантируются права на выплату обеспечивающей жизнедеятельность работника и членов его семьи заработной платы как вознаграждения за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные (доплаты и надбавки компенсационного характера, в том числе за работу в особых климатических условиях) и стимулирующие выплаты (доплаты и надбавки стимулирующего характера, премии и иные поощрительные выплаты). В качестве вознаграждения за труд Трудовым кодексом РФ [4] определены тарифная ставка как фиксированный размер оплаты труда работника за выполнение нормы труда определенной сложности за единицу времени без учета компенсационных, стимулирующих и социальных выплат и оклад как фиксированный размер оплаты труда работника за исполнение трудовых обязанностей определенной сложности за календарный месяц без учета компенсационных, стимулирующих и социальных выплат.

Теоретически тарифная ставка или оклад — это гарантированный Конституцией РФ минимальный размер оплаты труда. Например, для работников федеральных бюджетных учреждений системы оплаты труда включают:

1) оклад (ставку заработной платы), устанавливаемый на основе требований к профессиональной подготовке и уровню квалификации, необходимых для осуществления соответствующей профессиональной деятельности, равный минимальному размеру оплаты труда;

2) выплаты компенсационного характера к окладам;

3) выплаты стимулирующего характера, разрабатываемые на основе критериев оценки эффективности труда.

В субъектах РФ с учетом социально-экономических условий и величины регионального прожиточного минимума трудоспособного населения для работников, осуществляющих трудовую деятельность на территории соответствующего субъекта РФ, допускается установление минимальной заработной платы, устанавливаемой региональными соглашениями (заключаемыми трехсторонней комиссией по регулированию социально-трудовых отношений, в состав которой входят высшие органы исполнительной власти субъектов РФ, региональные советы профсоюзов и объединения работодателей).

Анализ региональных соглашений о минимальной заработной плате в рассматриваемых регионах показал, что в большинстве регионов Севера РФ понятие «вознаграждение за труд» подменяется понятием «заработная плата», включающим помимо «вознаграждения за труд» компенсационные и стимулирующие выплаты. Так, «Соглашением о минимальной заработной плате в Мурманской области на 2015–2017 годы» в состав региональной минимальной заработной платы включены доплаты и надбавки стимулирующего и компенсационного характера, включая районный коэффициент и процентную надбавку к заработной плате. Трехсторонним соглашением «О минимальной заработной плате в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре» минимальная заработная плата установлена в размере минимального размера оплаты труда с применением к нему районного коэффициента и процентной надбавки. Региональным соглашением о минимальной заработной плате в Ямало-Ненецком автономном округе в ее состав, помимо тарифной ставки, включены районный коэффициент и процентная надбавка, доплаты и надбавки компенсационного и стимулирующего характера, премий и иных поощрительных выплат. В состав минимальной заработной платы, действующей на территории Архангельской, Магаданской, Сахалинской областей, Камчатского края, помимо вознаграждения за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, также входят компенсационные и стимулирующие выплаты, при этом в Сахалинской обл. — с учетом территориальной дифференциации. Напротив, в Республиках Коми и Саха (Якутия) региональная минимальная заработная плата устанавливается на основе минимального размера оплаты труда, в Республике Карелия — на основе величины прожиточного минимума трудоспособного населения с учетом дифференциации по территориальному признаку и в зависимости от формы собственности работодателя.

Таким образом, существующие институциональные условия обеспечения социальных прав граждан в части обеспечения государственных гарантий по оплате труда позволяют работодателям истолковывать действующие нормы по своему усмотрению, усугубляя положение работников за счет снижения гарантированного государством минимального размера оплаты труда. Более того, включая в оклад компенсационные выплаты за работу в условиях Крайнего Севера, работодатель нарушает северное законодательство, в соответствии с которым северные надбавки устанавливаются к должностному окладу. В результате складывается ситуация, когда устанавливаемая, например, на региональном уровне минимальная заработная плата не покрывает минимальный уровень материального благосостояния (прожиточный минимум трудоспособного населения), несмотря даже на тот факт, что в большинстве северных регионов РФ государственные гарантии и компенсации по возмещению дополнительных материальных и физиологических затрат гражданам в связи с работой в экстремальных природно-климатических условиях Севера входят в состав минимальной заработной платы. Несомненно, такая ситуация способствует распространению низкооплачиваемой занятости, увеличивая бедность населения. Более того, складывающаяся ситуация усугубляется отсутствием четкой регламентации системы гарантий и компенсаций для лиц, работающих в регионах Севера РФ: основным пробелом в федеральном законодательстве остается отсутствие единых нормативных правовых документов, закрепляющих перечень районов Крайнего Севера и приравненных к ним

местностей, определяющих понятие и размеры районного коэффициента и процентных надбавок для конкретных регионов Севера РФ и т. п.

Другая составляющая неблагоприятной институциональной среды территориального развития — отсутствие инструмента государственного регулирующего воздействия в сфере развития территориальных рынков труда: актуальной проблемой рынков труда регионов Севера РФ остается дисбаланс спроса и предложения рабочей силы в профессионально-квалификационном разрезе, образующий вызовы для динамичного социально-экономического развития регионов Севера РФ и реализации национальных интересов России в Арктике. Одна из проблем — высокая доля (более 20 %) безработных граждан, имеющих высшее профессиональное образование, несмотря на тот факт, что в структуре кадровых потребностей на региональных рынках труда основную долю вакансий занимают квалифицированные рабочие, почти треть — вакансии по неквалифицированным рабочим. Такая ситуация свидетельствует в том числе и о неэффективности регулирующего государственного воздействия на функционирование систем непрерывного опережающего обеспечения трудовыми ресурсами отраслей региональных экономик, а также неэффективности реализуемых в рамках региональных программ содействия занятости населения программных мероприятий по снижению социальной напряженности на локальных рынках труда.

Институциональные условия обеспечения социальной устойчивости территориального развития

Один из основных пространственных приоритетов государственной социальной политики на Севере России — это, прежде всего, достижение высокой степени социальной устойчивости территориального развития на основе социализации экономического развития за счет совершенствования институциональной среды территориального развития. Проблемным приоритетом такой политики является реализация государственной политики в сфере уровня жизни населения Севера РФ, в том числе: 1) совершенствование институциональных условий функционирования систем оплаты труда работников предприятий, организаций и учреждений, расположенных в регионах Севера РФ, с учетом возмещения связанных с работой в дискомфортных природно-климатических условиях дополнительных затрат на основе обеспечения государственных гарантий оп оплате труда; 2) совершенствование институциональных условий функционирования рынков труда северных регионов в части усиления государственного воздействия на разработку кадровой политики работодателей в целях повышения эффективности использования трудовых ресурсов регионов Севера РФ и реализации государственных гарантий по реализации конституционных прав граждан РФ на труд. Важную роль при реализации государственной политики в сфере уровня жизни населения Севера РФ играют органы местного самоуправления, реализующие отдельные соответствующие полномочия на основе ресурсных возможностей местных сообществ, а также хозяйствующие субъекты, исполняющие как работодатели соответствующие обязательства в сфере социально-трудовых отношений и уровня жизни, развития локальных рынков труда и содействия занятости населения, а также социального лицензирования производственной деятельности.

Литература

1. Корчак Е. А. Диагностика социального развития регионов Севера и Арктики РФ в сфере благосостояния населения // Научное обоснование государственной политики устойчивого социального развития российского Севера и Арктики как ключевого фактора реализации национальных интересов России: отчет о НИР (промежуточ.) : 3-13-2005 / ФГБУН Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН ; рук. Рябова Л. А. ; отв. исполн.: Башмакова Е. П. [и др.]. Апатиты, 2013. 134 с. № ГР 01201359579. Библиогр.: с. 41–48.
2. Корчак Е. А. Динамика социальной устойчивости и уровень жизни населения регионов Севера и Арктики РФ // Научное обоснование государственной политики устойчивого социального развития российского Севера и Арктики как ключевого фактора реализации национальных интересов России: отчет о НИР (промежуточ.): 3-13-2005 / ФГБУН Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН ; рук. Рябова Л. А.; отв. исполн.: Гущина И. А. [и др.]. Апатиты, 2015. 124 с. № ГР 01201359579. Библиогр.: с. 40–48.
3. Корчак Е. А. Оценка социальной устойчивости регионов Севера и Арктики РФ по интегральному индексу уровня жизни населения [Текст] / Е. А. Корчак // Научное обоснование государственной политики устойчивого социального развития российского Севера и Арктики как ключевого фактора реализации национальных интересов России: отчет о НИР (промежуточ.): 3-13-2005 / ФГБУН Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН ; рук. Рябова Л. А. ; отв. исполн.: Торопушина Е. Е. [и др.]. Апатиты, 2014. 133 с. № ГР 01201359579. Библиогр.: с. 29–42.
4. Трудовой кодекс Российской Федерации: федер закон от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 31 июля 2016 г.) // «Консультант Плюс» — надежная правовая поддержка. URL: http://www.consultant.ru/ (дата обращения: 12.09.2016).

Д. С. Кузнецов
Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, kuznetsov@geo.komisc.ru

ОБЩЕСТВЕННЫЕ ВЫГОДЫ И ИЗДЕРЖКИ ПРИ ОСВОЕНИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Территории российского Севера характеризуются значительными минерально-сырьевыми ресурсами, составляющими основу их промышленного развития. Проблемы, приоритеты, формы освоения этих территорий, в том числе Республики Коми, обсуждаются в течение многих лет [2, 3, 5, 6 и др.]. Очевидно, что в условиях современной экономики существуют две группы интересов: бизнеса (инвесторов) и общества, находящихся в сложном взаимоотношении друг с другом. Коммерческая эффективность реализации инвестиционных проектов выражается главным образом в величине прибыли на вложенный капитал. Общественные эффекты весьма разнообразны и могут быть прямыми и косвенными, частными и комплексными, положительными и отрицательными, что важно учитывать при оценке как инвестиционных проектов, так и реальной экономической деятельности [1, 4, 7 и др.].

Нами проведен анализ некоторых общественных выгод и издержек, связанных с освоением минерально-сырьевых ресурсов в Республике Коми. В качестве основных показателей взяты: занятость населения в добыче полезных ископаемых; доля добычи полезных ископаемых в валовом региональном продукте; налоговые отчисления в федеральный и региональный бюджеты; заработная плата работников добычных предприятий; экологическая обстановка.

Республика Коми располагает значительной минерально-сырьевой базой, включающей месторождения нефти, газа, угля и других полезных ископаемых [9 и др.]. В Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, охватывающей ряд районов Республики Коми и Ненецкий автономный округ Архангельской обл., на территории Республики Коми выявлено 163 месторождения нефти и газа. К наиболее крупными из них относятся Усинское, Возейское, Ярегское, Восточно-Ламбейшорское, Западно-Тэбукское. Начальные суммарные ресурсы углеводородно сырья оцениваются в 4,8 млрд т условного топлива, в том числе 2,6 млрд т нефти и 1,7 трлн $м^3$ газа. Разрабатывается 84 месторождения. Объемы добычи нефти в последнее время составляют около 15 млн т, газа — 2,3 млрд $м^3$. В республике действуют 67 предприятий-недропользователей, осуществляющих поиски, разведку и разработку нефтяных и газовых месторождений. Основными предприятиями являются ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», ООО «РН-Роснефть».

Большое значение имеют месторождения угля Печорского бассейна, сосредоточенные в Воркутинском и Интинском районах. Прогнозные ресурсы угля составляют около 77,5 млрд т. Запасы высококачественных коксующихся углей категорий А+В+С1 составляют 3,07 млрд т, энергетических — 3,94 млрд т. В настоящее время ОАО «Воркутауголь» разрабатываются Воркутское, Воргашорское, Юньягинское месторождения. ОАО «Интауголь» ведется добыча энергетических углей на Интинском месторождении. Ежегодная добыча угля в Республике Коми в последнее время составляет 13–14,6 млн т. В 2016 г. объемы добычи угля сократились до 10,8 млн т. Основными потребителями угля являются Череповецкий, Новолипецкий, Нижнетагильский и Магнитогорский металлургические комбинаты, Московский коксогазовый завод, предприятия энергетики и коммунально-бытового хозяйства.

Имеются месторождения других полезных ископаемых, среди которых наиболее важными являются разрабатывающиеся в настоящее время месторождения бокситов Ворыквинской группы и Ярегское месторождение титановых руд на Среднем Тимане, а также Хойлинское месторождение баритов на Полярном Урале, Парнокское марганцевое месторождение и кварцевожильно-хрусталеносное месторождение Желанное на Приполярном Урале, золоторудные месторождения и проявления на Приполярном, Полярном Урале и Среднем Тимане, месторождения горючих сланцев, стекольных песков, цементного сырья, натриевых и калийно-магниевых солей, известняков.

Очевидно, что ведущееся в течение многих лет освоение залежей полезных ископаемых, прежде всего угля, нефти и газа, сыграло важнейшую роль в социально-экономическом развитии региона, обусловило значительный приток населения, организацию новых рабочих мест, строительство промышленных предприятий, поселков и городов, автомобильных и железных дорог, развитие авиационных перевозок, увеличение валового регионального продукта, возрастание доходов населения и налоговых отчислений в бюджеты различных уровней, развитие культуры, науки, здравоохранения, образования.

В последние десятилетия численность населения в Республике Коми снижается и в настоящее время составляет 856,8 тыс. чел. [8 и др.]. Произошло значительное падение численности населения в Воркуте и Инте, где сосредоточены угледобывающие предприятия (более чем в 2 раза по сравнению с 1991 г.). Отток населения из этих городов продолжается, хотя в последние годы он заметно замедлился. Вероятно, в перспективе численность населения стабилизируется в соответствии с производственными потребностями предприятий. В городах с нефтегазовой спецификой — Усинске и Вуктыле убыль населения не столь значительная, как в Воркуте и Инте. Это же касается таких городов, как Ухта и Сосногорск, в которых расположены крупные предприятия по переработке нефти и газа. Суммарная численность населения в городах Воркуте, Ухте, Сосногорске, Усинске, Инте, Вуктыле составляет 332,3 тыс. чел (38,78 % от общей численности населения).

Валовой региональный продукт Республики Коми в 2014 г. составил 480,9 млрд руб., при этом основная его часть (33,63 %) приходится на добычу полезных ископаемых.

Важными показателями являются налоговые отчисления в федеральный и республиканский бюджеты, составляющие основу развития здравоохранения, образования, культуры, дорожного строительства и др. Налог на добычу полезных ископаемых составляет около 50 % всех налогов, уплаченных на территории Республики Коми, и в 2016 г. составил 68043,1 млн руб. При этом в федеральный бюджет передается 85 % налогов от добычи твердых полезных ископаемых и 100 % от добычи нефти и газа. Важную роль в формировании республиканского бюджета, конечно, играют другие налоговые отчисления, производящиеся добывающими предприятиями, в частности, налоги на прибыль и имущество организаций, на доходы физических лиц.

Среднегодовая численность работников, непосредственно занятых в области добычи полезных ископаемых, составляет около 30 тыс. чел., что соответствует 6,9 % от общей численности работников Республики Коми. При этом количество работников, косвенно связанных с добычей полезных ископаемых, значительно выше. Суммарно наиболее многочисленными являются предприятия, занимающиеся добычей нефти и газа, предоставлением услуг в этой области. Несколько ниже количество занятых на угледобывающих предприятиях и предприятиях, добывающих другие полезные ископаемые.

Среднемесячная заработная плата работников горнопромышленных предприятий, особенно предприятий нефтегазового комплекса, превышает среднюю заработную плату в регионе в 1,5–2 раза. Так, в 2015 г. средняя зарплата в республике составляла 41365 руб., а в области добычи полезных ископаемых — 73317 руб., что значительно выше среднемесячной зарплаты работников сельского хозяйства, строительства, торговли, финансовых учреждений, энергетики.

Конечно, освоение минерально-сырьевых ресурсов сопровождается не только общественными выгодами, но и издержками и даже приводит к возникновению многих проблем. Одной из достаточно острых является проблема моногородов и избыточного населения, связанная с сокращением или закрытием горнопромышленных производств. В связи с этим возникает вопрос государственного отношения к северным территориям. Их можно рассматривать либо как территории обживания и развития, либо как территории относительно краткосрочной добычи минерально-сырьевых ресурсов. В последние годы широко используется вахтовый метод освоения месторождений. Конечно, в отношении коммерческой выгоды и с учетом неблагоприятных климатических условий для постоянного проживания населения вахтовый метод является наиболее предпочтительным. Однако, учитывая геополитическую важность северных территорий, их значительный минерально-сырьевой потенциал (включая нефтегазовые ресурсы шельфа), необходим поиск путей сбалансированного сочетания вахтового освоения месторождений с постепенным обживанием северных территорий. Крайне важно сохранение уже существующих городов и поселков, которые могут выступать как опорные пункты освоения северных территорий, в том числе арктических (Воркута, Усинск, Нарьян-Мар, Индига, Амдерма и др.).

К числу издержек следует отнести также не всегда рациональное и эффективное использование минерально-сырьевых ресурсов. Недропользователи прежде всего заинтересованы в отработке высокорентабельных запасов полезных ископаемых (качественных и легко извлекаемых). Это приводит к тому, что в недрах остается значительная часть запасов, извлечение которых становится проблематичным и даже невыгодным. Кроме того, для развития территорий предпочтительна глубокая переработка сырья на месте с организацией высокотехнологичных производств и получением продуктов с высокой добавленной стоимостью. Однако это далеко не всегда согласуется с коммерческими интересами добывающих предприятий и в действительности на протяжении уже многих десятков лет преобладает вывоз сырья в другие регионы.

Существует также проблема комплексного использования сырья. Неизвлечение попутных компонентов (например, редких и редкоземельных металлов в бокситах и титановых рудах) при разработке месторождений полезных ископаемых можно рассматривать как безвозвратную потерю стоимостного потенциала недр и соответственно потерю общественных выгод.

При освоении месторождений полезных ископаемых неизбежно возникновение экологических проблем, связанных с выбросами вредных веществ в атмосферу, загрязнением и нарушением почвенного покрова, загрязнением рек, подземных вод, истреблением растительности и др. Здесь также существуют противоречия между интересами добывающих предприятий, стремящихся к сокращению затрат, и общественными интересами. Большой экологический ущерб, в частности, наносится в результате аварийных разливов нефти на нефтепромыслах и нефтепроводах, накопления отходов при угледобыче.

Особо следует отметить некоторые проблемы, касающиеся коренного населения и, в частности, малых народов Севера. Не вызывает сомнений то, что промышленное развитие региона сыграло важную роль и открыло новые возможности социального роста. Однако значительный приток рабочей силы из других регионов привел к заметному сокращению доли коренного населения, которое к тому же, сосредоточенное в основном в сельских поселениях, оказалось относительно слабо вовлеченным в промышленное производство.

Освоение минерально-сырьевых ресурсов было и остается важнейшим фактором экономического развития региона и имеет большое общественное значение, что выражается в структуре валового регионального продукта, налоговых отчислениях, занятости и зарплате работников и других прямых и косвенных эффектах. Имеющиеся ресурсы полезных ископаемых, в частности нефти, угля, бокситов, позволяют увеличить их добычу и переработку. В перспективе возможно вовлечение в промышленный оборот

титановых руд, баритов, калийных солей и других видов сырья. Вместе с тем, реальная динамика освоения минерально-сырьевых ресурсов может быть достаточно сложной в связи с колебаниями их потребления и конкуренцией на внешнем и внутреннем рынках, трудностью привлечения инвестиций. Наиболее устойчивым является нефтегазовый комплекс. В области угледобычи существует ряд проблем, касающихся, прежде всего, разработки месторождений энергетических углей. Для обеспечения устойчивого социально-экономического развития региона необходимо дальнейшее развитие сырьевого сектора при безусловном соблюдении экологических требований и с учетом интересов коренного населения, увеличение доли налоговых отчислений на добычу полезных ископаемых в республиканский бюджет.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН («Нефтегазовые и минеральные ресурсы арктических территорий Республики Коми и Ненецкого автономного округа, перспективы их освоения»), проекта УрО РАН «Георесурсы арктических территорий Тимано-Уральского региона и перспективы их освоения» № 15-15-5-73.

Литература

1. Кучерявый П. В. Социально-экономические эффекты инвестиционной деятельности // Лизинг. 2011. № 8. С. 23–31.
2. Лаженцев В. Н. Север России и региональные проблемы сырьевого сектора экономики // Горн. журн. 2007. № 3. С. 4–11.
3. Логинов В. Г. Социально-экономическая оценка развития природно-ресурсных районов Севера / Ин-т экономики УрО РАН. Екатеринбург, 2007. 311 с.
4. Новикова Т. С. Методика оценки общественной эффективности инновационных проектов // Инновации. 2005. № 4 (81). С. 86–90.
5. Север как объект комплексных региональных исследований / отв. ред. В. Н. Лаженцев; Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2005. 512 с.
6. Север: проблемы периферийных территорий / отв. ред. В. Н. Лаженцев; Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2007. 420 с.
7. Синдяшкина Е. Н. Вопросы оценки видов социального эффекта при реализации инвестиционных проектов // Проблемы прогнозирования. 2010. № 1. С. 140–147.
8. Статистический ежегодник Республики Коми. 2016: стат. сб. / Комистат. Сыктывкар, 2016. 391 с.
9. Тарбаев М. Б., Хабаров А. Б. Минеральные ресурсы — основа промышленного развития Республики Коми // Горн. журн. 2013. № 9. С. 4–9.

А. М. Максимов[1], К. С. Зайков[2], А. М. Тамицкий[2]
[1]*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики, Архангельск, amm15nov@yandex.ru*
[2]*Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, Архангельск, k.zaikov@narfu.ru, a.tamitskij@narfu.ru*

МИГРАЦИОННЫЕ НАСТРОЕНИЯ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ТРУДОВОГО ПОТЕНЦИАЛА

Арктическое направление является одним из приоритетов развития России. В активный нормативный оборот введено понятие Арктическая зона России (АЗРФ). Определены границы, прорабатываются подходы и планы по развитию данного территориального образования. АЗРФ становится полноценным объектом государственного управления. Трудовой потенциал является одним из ключевых ресурсов этой территории. Ведь без квалифицированных специалистов, готовых к работе в сложных климатических условиях, ни один из арктических проектов не может быть полноценно реализован. Однако комплекс накопившихся социально-экономических проблем вызывает интенсивный отток населения, прежде всего высококвалифицированных специалистов и молодежи. Это обстоятельство побуждает исследователей выявлять масштабы будущей эмиграции из арктических регионов страны, их причины и возможные способы противодействия негативным тенденциям [1; 4]. Большое значение приобретают кросс-региональные сравнительные исследования, которые бы в перспективе позволили разработать комплексную государственную программу сбережения населения и развития трудового потенциала на территориях АЗРФ. Некоторые результаты одного из таких исследований и представлены в настоящей работе.

В период с 27 октября по 18 ноября 2016 г. при участии авторов статьи был осуществлен массовый выборочный опрос учащихся вузов четырех субъектов РФ, имеющих в своем составе территории АЗРФ. Выборка составила 4024 студента из Мурманского арктического государственного университета (МАГУ), Мурманского государственного технического университета (МГТУ), Северного (Арктического) федерального университета им. М. В. Ломоносова (САФУ), Северного государственного медицинского университета (СГМУ), Сибирского федерального университета (СФУ), Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова (СВФУ). Опрос проводился в форме организованного онлайн-анкетирования.

В ходе опроса выявлялись: 1) профессионально-образовательные планы и ориентации студентов; 2) оценка связи получаемого образования с потребностями развития АЗРФ; 3) миграционные намерения и настроения студентов; 4) причины и факторы миграции.

В результате проведенного исследования получены следующие основные результаты. Для понимания возможных профессиональных планов будущих специалистов респондентам было предложено выбрать наиболее привлекательные виды деятельности из восьми предложенных (табл. 1). В среднем каждый опрошенный выбрал чуть более двух видов деятельности. Стоит отметить достаточно высокий уровень привлекательности предпринимательской и научно-исследовательской деятельности: примерно каждый четвертый респондент указал на эти сферы занятости. Приоритеты юношей и девушек в профессиональном плане отличаются, но не столь кардинально. Опрос подтвердил интерес девушек ко многим видам деятельности, которые еще несколько десятилетий считались мужскими (военная служба, предпринимательская деятельность, общественно-политическая).

Таблица 1

Профессиональные предпочтения студентов,%

Варианты ответов	Юноши	Девушки
Производственная, практическая деятельность	53,32	36,14
Предпринимательская деятельность	32,98	20,93
Наука, исследовательская деятельность	25,99	28,86
Административная, управленческая	24,59	25,52
Военная служба (ВС, МЧС, МВД, ФСБ)	19,29	16,64
Государственная, муниципальная служба	14,51	19,37
Офисная работа	13,87	17,50
Общественно-политическая деятельность	11,95	9,71
Педагогическая деятельность	10,20	26,30
Затрудняюсь ответить	6,35	7,06

Представляется очевидным, что миграционные настроения студенческой молодежи во многом зависят от того, насколько спрос на региональных рынках труда структурно соответствует профессиональным предпочтениям будущих выпускников вузов. Специальные исследования показывают, что в таких регионах, как Республика Саха (Якутия) и Красноярский край в период с 2000 по 2013 гг. заметный рост занятости наблюдался в таких отраслях, как рыболовство, финансы, государственное управление и социальное обеспечение, в меньшей степени были интересны оптовая и розничная торговля, строительство [2]. В случае с Архангельской и Мурманской областями за тот же период значительный прирост занятости наблюдался в сфере финансов, гостиничном и ресторанном бизнесе, менее выраженный — в строительстве, оптовой и розничной торговле; кроме того, в Архангельской обл. 4-кратный прирост занятости был зафиксирован в добывающей промышленности [3]. В связи с этим можно отметить наличие как существенных расхождений, так и некоторых соответствий между тенденциями динамики структуры занятости населения (а значит, и спроса на региональных рынках труда) и профессиональными предпочтениями студентов.

Указанными обстоятельствами объясняется тот факт, что среди причин потенциальной эмиграции из региона проживания каждый 4-й респондент указывает на отсутствие достойной работы. Важнейшими же причинами возможного исхода из региона проживания были названы неблагоприятные природно-климатические условия, низкие зарплаты и общий интерес к региону, в который планируется иммиграция (табл. 2).

Общая картина миграционных намерений студентов вузов арктических регионов представлена на диаграммах 1 и 2. Из направлений потенциальной миграции доминирующим является внутрироссийское: около 60 % потенциальных мигрантов хотели бы переехать в другие регионы России. Внутрироссийские миграционные предпочтения почти в равной степени делятся между столичным и межрегиональным. Среди столичных регионов самым востребованным является Санкт-Петербург и его окрестности, среди нестоличных — регионы центра и юга России. Около 30 % хотели бы переехать в другие страны. Наиболее популярные направления возможной эмиграции — страны Северной Европы и Северной Америки (назывались 15 % потенциальными мигрантами). Среди бывших советских республик наиболее востребованы страны Балтии. Заметно меньше интерес к другим странам постсоветского пространства. Из них чаще других называли Беларусь и Казахстан. Каждый десятый потенциальный мигрант является возвратным мигрантом, то есть планирует после обучения вернуться на малую родину. Вместе с тем, желание вернуться в родной регион после получения образования в вузах АЗРФ выразили порядка 35 % из других регионов и 15 % иностранных студентов, то есть лишь небольшая часть студентов, приехавших на учебу в арктические регионы из других субъектов Федерации или стран, хотят вернуться после окончания обучения на родину. Примерно 20–25 % иногородних студентов хотят остаться в регионе обучения, а большинство желает переехать в другие регионы России. Возвратная миграция достаточно выражена в архангельских вузах и вузах восточной части АЗРФ (СФУ, СВФУ). В этих городах ее доля варьируется от 14 до 16 % от всех направлений миграций

Таблица 2

Причины и факторы миграционных настроений

Почему Вы хотите покинуть данный регион?	Доля ответивших, %
Интересен регион, куда собираюсь переезжать	38,23
Суровый климат	32,40
Низкий уровень заработных плат в регионе	32,07
Невозможность найти достойную работу	25,22
Неразвитая культурная, досуговая среда	22,70
Высокие цены	21,77
Плохая экология	21,26
Экономическая нестабильность в регионе	19,02
Жилищные проблемы	16,50
Хочу открыть свое дело, вести бизнес	9,51
Стремление создать семью	7,60
Сложность получения качественных медицинских услуг	7,13
Быть ближе к родственникам/друзьям	6,76
Другие семейные обстоятельства	4,66
Затрудняюсь ответить	4,01

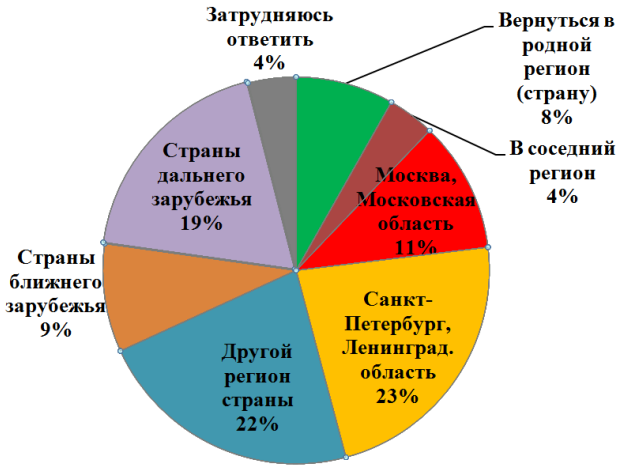


Рис. 1. Направления потенциальной миграции студенческой молодежи

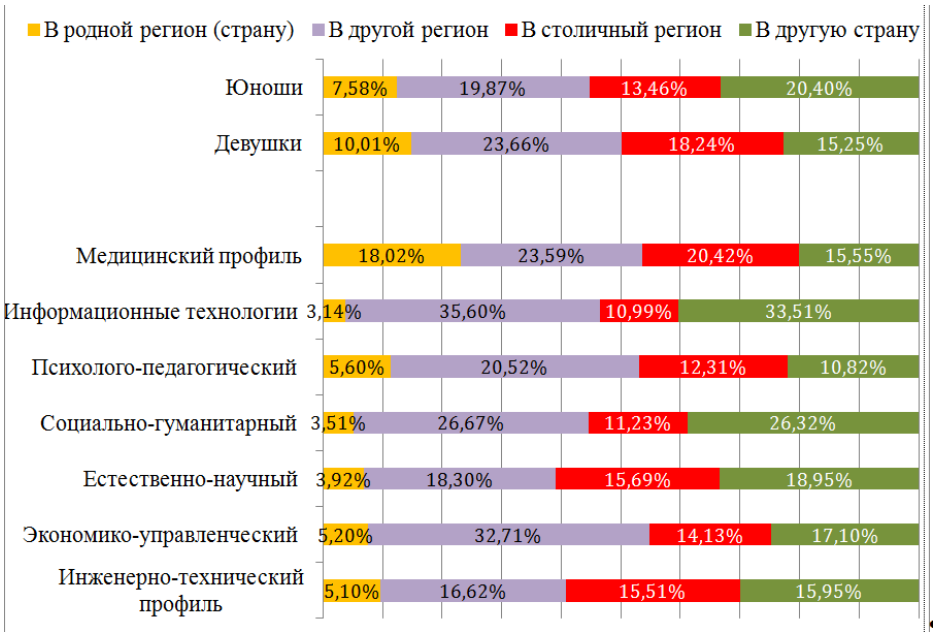


Рис. 2. Направления потенциальной миграции в зависимости от пола и профиля образования

Интересно отметить, что при ответе на вопрос о причинах, которые могли бы побудить студентов остаться в арктических регионах после завершения образования, в числе важнейших были указаны: трудоустройство на хороших условиях (юноши — 56,7 %, девушки — 52,3 %); улучшение экономической ситуации в регионе (34,7 и 27,6 % соответственно); брак и появление детей (33,1 и 37,5 соответственно).

Таким образом, миграционные настроения студенческой молодежи, связаны в первую очередь с факторами социально-экономического развития регионов АЗРФ. Вместе с тем, на желание покинуть регион АЗРФ влияют жизненные планы студентов, связанные с их представлениями о важности профессиональной самореализации и выстраивании семейно-брачных отношений.

Факторы, связанные с деятельностью учреждений высшего образования, играют второстепенную роль в миграционных процессах. Вместе с тем, недооценивать значение данных факторов нельзя, тем более что их коррекция возможна в более сжатые сроки, чем изменение основных факторов. По итогам исследования можно выделить ряд направлений в деятельности организаций высшего образования, оптимизация и активизация которых положительным образом может сказаться на миграционных процессах и трудовых ресурсах арктических регионов:

- модернизация образовательных программ арктической направленности, разработка рекомендаций по составлению и внедрению данных программ;
- системная профориентационная работа со школьниками и студентами, заинтересованными в получении «арктических» специальностей и работе в регионах АЗРФ;
- интенсификация взаимодействия с работодателями по вопросам организации производственной практики и трудоустройства выпускников.

Литература

1. Замятина Н. Ю. Миграционные намерения как зеркало социальной стратификация молодежи Арктики: пример Норильска // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения. 2016. С. 288–293.
2. Коровкин А. Г. Макроэкономическая оценка состояния региональных рынков труда азиатской части Российской Арктики // Проблемы прогнозирования. 2016. № 2. С. 69–86.
3. Коровкин А. Г. Макроэкономическая оценка состояния региональных рынков труда европейской части Российской Арктики // Проблемы прогнозирования. 2016. № 1. С. 74–89.
4. Осипова О. В., Маклашова Е. Г. Миграционные намерения молодёжи Арктики в контексте субъективных оценок социального самочувствия // Арктика и Север. 2016. № 24. С. 14–26.

Л. А. Михейкина

Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, mikheykina.la@rea.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Одним из крупнейших в мировой экономике стала проблема изучения Арктики, что, по большей части, связано с возможностью добычи углеводородного топлива. В последнее десятилетие российские ученые-экономисты говорят о переходе от ресурсно-сырьевой экономики к инновационной, что и продемонстрировала нам современная экономическая ситуация, связанная с санкциями против России и снижением цены на нефть. Несмотря на кризисную ситуацию, термины «инновации» и «инновационное развитие» все также встречаются в речи политиков, экономистов и предпринимателей. Термин «инновационное развитие» означает процесс хозяйствования, который опирается на постоянный поиск и использование новых способов и методов реализации возможностей предприятия в изменяющихся условиях внешней среды в рамках выбранной миссии и принятой мотивации деятельности, сопряженный с изменением существующих и формированием новых рынков сбыта [1].

Основной учет показателей, характеризующих инновационную деятельность страны ведется Федеральной службой государственной статистики с 1994 г. Главным методологическим документом Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) в области инноваций как для стран, непосредственно участвующих в деятельности ОЭСР, так и ряда стран Восточной Европы, Латинской Америки, Азии, Африки, не являющихся пока членами этой организации, который заложил теоретические основы статистического исследования и учета инновационной деятельности, является «Руководство Осло: Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям». Основным недостатком данного руководства является то, что они, главным образом, разработаны для предприятий предпринимательского сектора и учитывают данные только по технологическим инновациям [3].

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации № 296 от 2 мая 2014 г. «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» к территориям Арктического региона можно отнести Мурманскую обл., Ненецкий автономный округ, Чукотский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ, Республику Коми, Республику Саха (Якутия), Архангельскую обл. и Красноярский край [4].

Основополагающим документом, который заложил основы инновационного развития регионов Арктической зоны, по праву считается Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (утв. Президентом РФ в 2008 г.), один из ее пунктов включает «рост удельного веса региональной наукоемкой инновационной продукции (и услуг) в общем объеме продаж внутри Российской Федерации и в экспорте» [2]. В связи с этим считаем необходимым рассмотреть изменение основных показателей инновационного развития Арктического региона за время функционирования принятой Стратегии развития.

На рис. 1 мы можем проследить динамику изменений количества выданных патентов по регионам Арктической зоны. В целом по данному показателю наблюдается неравномерная динамика, что связано с дифференциацией в социально-экономическом развитии регионов Арктической зоны.

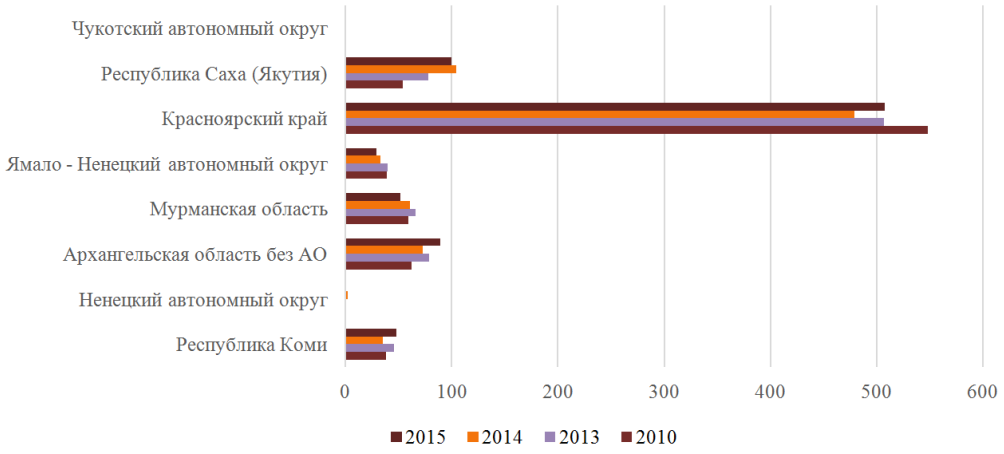


Рис. 1. Динамика выданного количества патентов по регионам Арктической зоны

В соответствии с данными рис. 1 можно сделать вывод о том, что лидирующим регионом по количеству выданных патентов является Красноярский край. В целом по всем регионам наблюдается снижение показателя выданных патентов к 2014 г. [6]. Практически нулевые значения наблюдаются в Чукотском и Ненецком АО. Это связано, по большей части, с очень низким правовым регулированием инновационной деятельности. Например, в Чукотском автономном округе отсутствуют нормативные акты, которые регулируют инновационную составляющую экономики.

Данные рис. 2 показывают, что наибольшее количество разработанных передовых производственных технологий приходится на Красноярский край, а следом идет Архангельская обл. В целом наблюдается положительная динамика показателя вплоть до 2012 г., что касается практически всех регионов Арктической зоны кроме Ямало-Ненецкого автономного округа, данные по которому демонстрируют увеличение количества разработанных передовых производственных технологий в 2014 г.

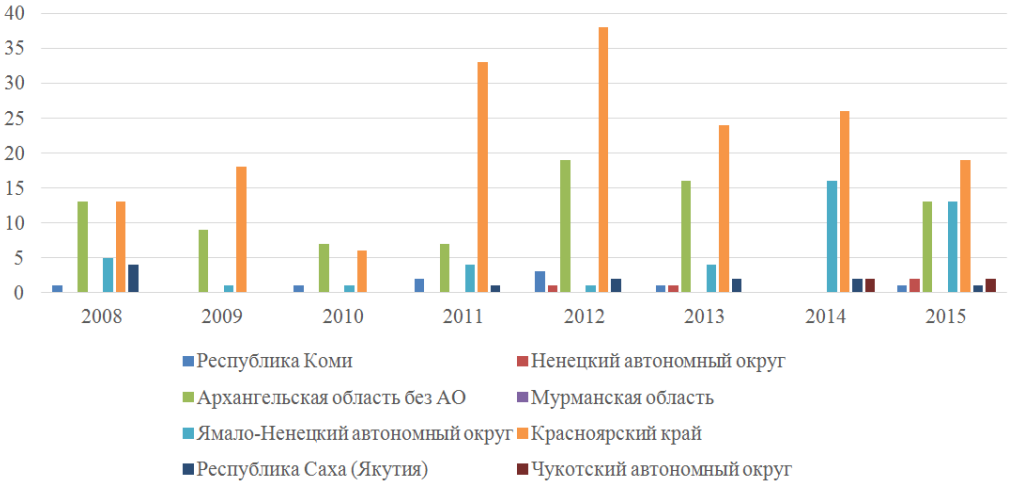


Рис. 2. Динамика разработанных передовых производственных технологий

Относительно показателя «удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг» наблюдается большой скачок в 2013 г. в Архангельской обл. В целом прослеживается неравномерное изменение удельного веса инновационных товаров, работ, услуг» (рис. 3).

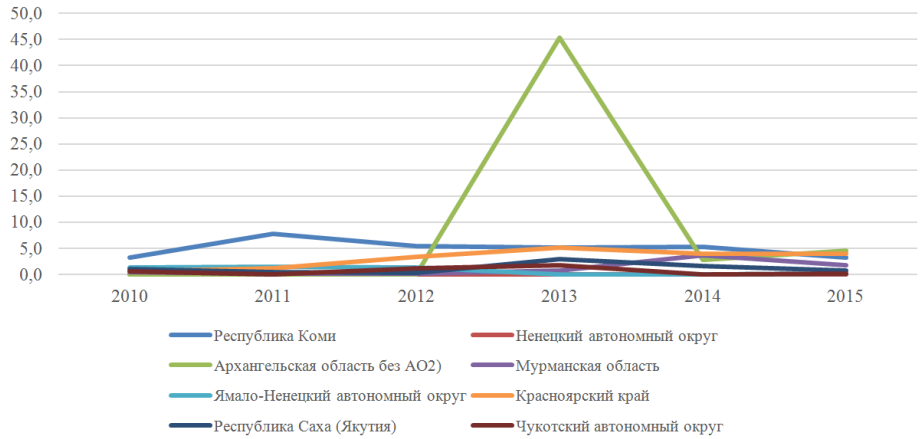


Рис. 3. Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг по регионам Арктической зоны

На основе представленных выше данных мы выявили главные проблемы, которые стоят перед регионами Арктической зоны на пути их инновационного развития [5]:

- отсутствие во многих регионах нормативно-правовой базы, регламентирующей развитие инновационной деятельности;
- различие регионов в уровне социально-экономического развития;
- все регионы имеют ярко выраженную ресурсно-сырьевую специализацию;
- административные барьеры и коррупция;
- отсутствие современной инфраструктуры для исследования арктического региона, что препятствует привлечению инвестиций в регионы и снижает инновационную активность хозяйствующих субъектов.

Наибольшая часть проблем может найти свое решение только на государственном уровне, что позволит более успешно осуществлять инновационную деятельность в регионах Арктической зоны.

Литература

1. Гурков И. Б. Инновационное развитие и конкурентоспособность. Очерки развития российских предприятий. М.: ТЕИС, 2005. 235 с.
2. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (утв. Президентом РФ). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_142561/f7b8b8473c55ff897d2ff472b9bd24a2de1142ed/.
3. Ляпина И. Р. Совершенствование системы оценки результативности управления социально-экономическим развитием региона // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2012. № 3(107). С. 54–58.
4. 6О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: указ Президента РФ от 2 мая 2014 года № 296. URL: http://static.kremlin.ru/media/events/files/41d4d8e8206d56fc949d.pdf.
5. 4Строева О. А. Концепция управления инновационным развитием региональных экономических систем // Инновационный вестник Регион. 2011. № 2. С. 28–33.
6. 5Федеральная служба государственной статистики. URL: www.gks.ru (дата обращения: 10.03.2017).

А. Б. Николаева
Институт экономических проблем КНЦ РАН, Апатиты, nikolaeva1@iep.kolasc.net.ru

ОСВОЕНИЕ РЕСУРСОВ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Арктический шельф, с учетом роли нефти и газа в общемировом энергетическом балансе, места нефтегазовой отрасли в отечественной промышленности и в современной экономике России, рассматривается как стратегический резерв углеводородов.

В настоящее время в международной повестке дня мало тем, которые вызывали бы такой же устойчивый политический и общественный резонанс, как освоение арктических просторов. Здесь переплелись вопросы национального суверенитета, юрисдикции и безопасности арктических государств, сохранения уникальной природной среды и экосистем. баланса прав и интересов арктических и неарктических стран. Несмотря на положительные тенденции и необходимость освоения новых месторождений, разработка нефтегазового арктического ресурса связана с большими затратами и высоким риском.

В Арктике сталкиваются интересы многих стран. В регионе идет борьба за контроль над недрами, и вопросы, которые можно было бы урегулировать путем дипломатического сотрудничества, зачастую решаются с применением различных механизмов юридического и регуляторного воздействия. В таких политических условиях не приходится ожидать появления крупных инвесторов и рассчитывать на подписание долгосрочных контрактов, которые необходимы для освоения [7].

Вместе с тем, экономическое сотрудничество и конкуренция, основанные преимущественно на использовании передовых технологий и ресурсов таких ключевых игроков, как ExxonMobil, Royal Dutch Shell, BP, Statoil, Eni, Total SA, Chevron и ConocoPhillips, российских гигантов ОАО «НК "Роснефть"» и ОАО «Газпром», а также нескольких из наиболее крупных независимых нефтегазодобывающих компаний создают предпосылки для эффективного освоения этого региона**.**

При сравнении стран с точки зрения использования возможностей для освоения арктических регионов можно сделать следующие выводы (табл.). Уровень издержек будет высоким в каждой из стран, но, возможно, чуть ниже он будет в РФ. Проблема отсутствия инфраструктуры также актуальна для всех стран. Вероятно, легче всего будет вывести продукцию на рынки из арктических регионов Норвегии. Наиболее перспективными в плане открытия новых крупных месторождений являются арктические регионы России и США. Однако, по мнению экспертов Deutsche Bank, самые хорошие перспективы в сфере разработки месторождений и выявления их экономического потенциала существуют в Норвегии и Гренландии. С точки зрения перспектив использования возможностей для освоения арктических регионов Россия имеет не самые благоприятные условия, но незначительно опережает Норвегию и США.

Рейтинг привлекательности стран с точки зрения использования возможностей для освоения арктических регионов

	США	Канада	Гренландия	Норвегия	Россия
Доступ к ресурсам	3	3	2	3	3
Конкуренция за ресурсы	4	3	3	3	3
Уровень затрат	5	5	5	4	3
Существующая инфраструктура	4	5	4	4	4
Доступ к объектам инфраструктуры	1	5	5	4	3
Доступ к рынкам	3	3	3	1	3
Перспективы открытия новых крупных месторождения	1	3	2	3	1
Перспективы раскрытия экономического потенциала месторождений	4	5	2	2	3

Примечания. Условия: 1 — весьма благоприятные; 2 — благоприятные; 3 — не самые благоприятные; 4 — неблагоприятные; 5 — весьма неблагоприятные.

Данные подготовлены компанией «Эрнст энд Янг» на основе исследования рынков, проведенного Дойче банком («Is the Arctic the future of Russian oil») в 2013 г.

Главным приоритетом, делающим целесообразным и необходимым ускоренный процесс освоения углеводородного потенциала Арктической зоны, является обеспечение национальной безопасности России на ее арктических рубежах [3].

В последние несколько лет РФ активизировала усилия по освоению обширных запасов углеводородных ресурсов на континентальном шельфе в рамках государственных инициатив, направленных на стимулирование добычи нефти и газа на шельфовых месторождениях. На российском шельфе было открыто 20 крупных нефтегазоносных провинций и бассейнов, запасы 10 из которых являются доказанными. Крупнейшими осадочными бассейнами в Арктике являются Восточно-Баренцевский, Южно-Карский, Лаптевский, Восточно-Сибирский и Чукотский. Наиболее значительная часть ресурсов российской Арктики (около 94 % общего объема) сосредоточена в ее западной части, а неразведанные запасы восточной части (вдоль континентального склона и в глубоководном арктическом бассейне) в основном относятся к категории предполагаемых или условных. Но начатое освоение шельфовых и континентальных месторождений Арктики (именно нефтепродуктами и газовым конденсатом планировалось, в первую очередь, загрузить Севморпуть) в последнее время затормозилось. Причин несколько: избыток газа на мировом рынке, активное освоение месторождений сланцевого газа в США, слишком дорогая добыча в условиях Севера и падение мировых цен на энергоносители.

В качестве базового месторождения, призванного дать старт освоению углеводородных ресурсов, рассматривалось Штокмановское с запасами около 3,9 трлн $м^3$. Несмотря на относительно простые ледовые условия непосредственно в зоне месторождения, реализация проекта сопряжена со значительными технологическими проблемами (существенные глубины моря и удаленность от берега), предопределяющими его огромную капиталоемкость и высокий уровень коммерческих рисков. С учетом этих обстоятельств и вследствие расплывчивости перспектив развития газового рынка на ближайший период старт проекта отодвинут во времени на неопределенный срок [6]. Актуальность освоения Штокмановского месторождения, скорее всего, будет и

дальше снижаться по мере развития газодобычи на Ямале, поскольку сложность и объем технических и технологических проблем в рамках этих проектов (шельфового с одной стороны, и сухопутных — с другой) несопоставимы. Партнерами «Газпрома» в этом проекте были французская Total и норвежская Statoil, но если несколько лет назад совместная работа не была начата, то теперь вопрос о сотрудничестве с западными компаниями какое-то время будет находиться в подвешенном состоянии. Total вышла из проекта из-за санкций, а в одиночку российская компания не справится с проектом не только финансово, но и технически [4].

Кроме того, сдерживание развития добычи на Арктическом шельфе происходит вследствие технологических проблем освоения, которые обусловлены наличием в пределах перспективных на углеводороды акваторий высокоподвижных ледовых полей толщиной до 2,5 м и более и их длительным существованием. В этих условиях при глубинах моря свыше 50 м, предельных для установки гравитационных платформенных оснований, при сегодняшнем уровне технологий нефтегазовые объекты в районах подвижных ледовых полей являются практически недоступными для освоения. Апробированных решений, связанных с реализацией подледных («чисто» подводных) технологий освоения, на сегодня в мире не существует [6].

Мировой опыт реализации нефтегазовых проектов показывает, что международная кооперация при освоении арктических месторождений способна создать значительный экономический мультипликативный эффект.

Эффективное и безопасное освоение углеводородного потенциала Арктики требует укрепления международного сотрудничества прежде всего между государствами, имеющими непосредственный выход к Северному Ледовитому океану. Очевидно, что важнейшую роль при этом играют скоординированность действий участников и контролирование их стратегических национальных интересов [1].

В настоящее время одной из важнейших задач международного сотрудничества для России является трансфер зарубежного технологического и организационно-экономического опыта и знаний по эффективной разработке арктических шельфовых месторождений.

Несмотря на высокий интеллектуальный и промышленный потенциал отечественных предприятий, российские компании часто не способны составить конкуренцию иностранным компаниям при участии в тендерах. Они нуждаются в значительном повышении уровня собственной компетенции в области международных требований к качеству выпускаемой продукции, оказываемых услуг, систем охраны труда, окружающей среды и т. д. Российские предприятия в большинстве случаев могут пока рассчитывать на победу лишь в тендерах, которые связаны с выполнением общестроительных, электромонтажных и иных видов работ, не относящихся к производству высокотехнологичных продуктов с высокой добавленной стоимостью.

В 2014 г. Евросоюз и США ввели запрет на поставки оборудования для работы на Арктическом шельфе и на глубине свыше 150 м. В России этих технологий нет, об импортозамещении в этой области говорить не приходится. Россия своими силами сможет обеспечить только сейсморазведочные работы, а для бурения недостаточно отечественного оборудования [4].

Таким образом, на ближайшую и даже среднесрочную перспективу имеющийся отечественный технологический потенциал не позволяет рассчитывать на эффективное вовлечение в промышленный оборот углеводородных шельфовых ресурсов. Для его поднятия на необходимый уровень требуется масштабная и всесторонне выверенная государственная политика, направленная на перевооружение отрасли, на развитие транспортной и производственной инфраструктуры, на кадровое обеспечение столь высокотехнологичных и сложных проектов.

С учетом огромной и несопоставимо более высокой капиталоемкости экономические показатели шельфовых проектов (по сравнению с сухопутными добычными проектами), а значит и инвестиционная привлекательность, будут всецело зависеть от двух факторов — динамики цен на нефть и газ и параметров налоговой системы.

К множеству технических и технологических проблем освоения шельфовой нефти и газа в столь суровых природно-климатических и гидрографических условиях следует добавить необычайно высокий уровень экологических угроз, серьезность которых будет усугубляться наличием ледового покрова, сохраняющегося в течение большей части года в пределах преобладающей части перспективных акваторий. Наличие мощных высокоподвижных ледовых полей является дополнительным фактором риска техногенных аварий [6].

Добыча углеводородов требует соблюдения усиленных мер безопасности и точных экономических оценок, и любая форс-мажорная ситуация (разлив нефти или несчастный случай) может привести к катастрофическим последствиям. Отечественные технологии морской добычи не обеспечивают экологической безопасности, а общая экологическая культура работников отрасли пока недостаточна. По мнению специалистов, эффективного метода ликвидации аварии в арктических условиях в настоящее время не существует и нефтеразлив в Арктике может обернуться экологической катастрофой [8].

Предсказать характер и масштаб возможного ущерба затруднительно даже при ограниченных по объему аварийных выбросах нефти и газа. Крупные аварии могут оказаться просто катастрофическими для экологии всей арктической зоны [6]. Таким образом, вследствие уникальности экосистемы Арктики и длительного периода восстановления даже незначительная авария может привести к необратимым экологическим последствиям.

Следует также отметить несовершенство российского законодательства в области освоения континентального шельфа. Основные элементы системы правового регулирования проведения работ на шельфе, а именно: система законодательства; система государственного управления работами; порядок предоставления права пользования участками недр шельфа, — существуют, но слабо адаптированы

к специфике работ на шельфе. Порядок финансирования работ, связанный с освоением ресурсов недр шельфа, также отсутствует.

Совершенствование российского законодательства позволит интенсифицировать международное сотрудничество в освоении шельфовых ресурсов и будет способствовать позиционированию России как ведущего игрока на шельфе Арктики, но это может произойти только после изменения политической обстановки.

Кроме того, для осуществления эффективной разработки шельфа необходима соответствующая инфраструктура — транспортная, производственная, обеспечения. Российский сектор Арктики располагает ими в недостаточных объемах.

Несмотря на то, что арктические ресурсы привлекают к себе немало внимания, реальная оценка ситуации в настоящее время позволяет констатировать, что в ближайшее время углеводороды Арктики вряд ли могут стать альтернативной энергетической базой. Трудности освоения шельфа и большое распространение возобновляемых источников энергии делают перспективу широкого освоения Арктики весьма отдаленной. Тем не менее, разработка углеводородного сырья данного региона — одна из предпосылок экономического могущества нашей страны, поэтому приоритетом в этой области должна стать грамотная государственная политика, направленная на развитие и совершенствование новых технологий глубоководного бурения, снижение экологических рисков, основательное научное исследование Арктики [2, 5].

Литература

1. Богданчиков С. М. Ключевые факторы развития нефтегазового комплекса России и НК «Роснефть» // Нефть, газ, бизнес. 2013. № 4. С. 16–17.
2. Брехунцов А. М. Создание нового экономического региона на основе ресурсного потенциала центральной Арктики // Сибирский Север и Арктика в условиях глобальных вызовов XXI века: материалы симп. 2012. С. 37–38.
3. Гаврилов В. П., Лобусев А. В., Мартынов В. Г. Стратегия освоения углеводородного потенциала Арктической зоны РФ до 2050 г. и далее // Территория нефтегаз. URL: http://neftegas.info/
4. Гольдберг О. Северный путь развития // Морские вести России. 2015. № 15.
5. Григорьев Г. Российские арктические углеводородные перспективы: технологические и геолого-экономические проблемы освоения // Комплексное изучение и освоение сырьевой базы нефти и газа севера европейской части России» (4–7 июня 2012 г., С.-Петербург): сб. материалов науч.-практ. конф. СПб.: ВНИГРИ, 2012. С. 334–346.
6. Григорьев Г. Что мешает «разморозить» шельфовые проекты? Арктические углеводородные перспективы России: технологические и геолого-экономические проблемы освоения // Территория нефтегаз. 2015. URL: http://neftegaz.ru/science/view/1103.
7. Демарчук Л. Н. Экономическая целесообразность разработки месторождений Арктического шельфа // Молодой ученый. 2014. № 19. С. 289–292.
8. Хайтун А. Россия не готова к освоению углеводородных запасов Арктики. URL: http://www.rusenergy.com/ru/comments/comments.php?id=70695&phrase_id=1309655.

Л. В. Овешникова

Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, lud_proz@mail.ru

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ В РЕГИОНАХ РФ

Инфраструктура характеризуется общими условиями результативной динамики материального производства и социального существования, а не только совокупностью ряда отраслей. Именно формирование наилучших условий для изготовления товаров, свободного товародвижения и личного потребления в определенных регионах и есть тот приоритет, который выделяет инфраструктуру из других типов деятельности, считается главным признаком выделения ее сфер из национального хозяйства. В современных условиях хозяйствования производство услуг и благ, которые необходимы обществу для реализации различных видов деятельности, должно функционировать на основе иной инфраструктуры, что неизбежно трансформируется в качественные и количественные преобразования инфраструктурного комплекса определенного региона [1].

Показатели обеспеченности и результативности использования инфраструктуры региональной экономики представляют собой количественные и качественные оценки возможностей и результатов использования элементов региональной инфраструктуры, взаимосвязанной с ее основными функциями и определяющей ее ключевые характеристики состояния и развития.

Выделенные показатели инфраструктуры региональной экономики должны отражать комплекс материально-технической базы и виды деятельности, обеспечивающие создание необходимых условий для эффективного функционирования материального производства, свободного движения всех видов товаров и ресурсов, а также нормальной жизнедеятельности населения на территории региона. В совокупности

показатели инфраструктуры региональной экономики отражают степень освоенности (обустройства) данной территории [2].

Статистическое исследование инфраструктуры региональной экономики проведено с применением метода главных компонент, кластерного анализа, корреляционно-регрессионного анализа, метода Варда, а также построения диаграмм распределения на которых отражены регионы-лидеры и показаны характеристики распределения по другим регионам РФ. В соответствии с проведенным комплексным статистическим исследованием разработана кластерная типология регионов, учитывающая особенности региональной инфраструктуры по обеспечивающей, производственной, рыночной, инновационной, инвестиционной и социальной составляющей. В составе каждой составляющей компоненты предлагается выделять оценочные блоки показателей инфраструктурной обеспеченности и показатели результативности функционирования инфраструктуры.

Особенностью данной классификации является возможность на основе группировки ее элементов по количественным признакам установить качественные различия между регионами по уровню инфраструктурного обеспечения, опираясь на проведение статистических исследований и установление типологии регионов. Такой подход обеспечивает систематизацию современных тенденций исследования инфраструктуры региона и рассматривает ее как социально-экономический фундамент развития потенциала региональной экономики. Предлагаемая группировка позволяет адекватно определять пропорции и взаимосвязи между многообразными субъектами инфраструктуры и ставить перед ними наиболее рациональные цели их развития.

Типология регионов в рамках обеспечивающей инфраструктурной компоненты позволила выявить следующие группы:

1. Регионы суперлидеры по обеспеченности и результативности использования инфраструктуры — города Москва и Санкт-Петербург, Московская обл.

2. Регионы-лидеры (имеют высокую транспортную и информационную оснащенность и успешно ее используют) — Белгородская, Брянская, Ярославская, Ленинградская, Ростовская, Нижегородская, Оренбургская, Самарская, Свердловская, Челябинская области, Краснодарский, Ставропольский и Пермский край, Башкортостан, Татарстан.

3. Мезаморфные регионы — Владимирская, Воронежская, Ивановская, Калужская, Курская, Липецкая, Орловская, Рязанская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Тульская, Калининградская, Новгородская, Псковская, , Пензенская, Саратовская, Ульяновская области, республики: Адыгея, Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкарская, Карачаево-Черкесская, Северная Осетия, Чеченская, Мордовия, Удмуртская, Чувашская, Алтайский край, Чукотский АО.

4. Регионы-аутсайдеры (с недостаточно развитой инфраструктурой и соответственно не высокими результатами ее эксплуатации) — Костромская, Архангельская, Вологодская, Мурманская, Астраханская, Волгоградская, Кировская, Курганская, Иркутская, Новосибирская, Омская, Томская, Амурская, Магаданская, Сахалинская области, республики: Марий Эл, Калмыкия, Алтай, Бурятия, Тыва, Хакасия, Карелия, Саха (Якутия), Забайкальский, Красноярский, Камчатский, Приморский, Хабаровский край, Еврейская АО.

5. Регионы с перспективами улучшения результативности использования обеспечивающей компоненты — Республика Коми, Тюменская и Кемеровская области, Ханты-Мансийский АО и Ямало-Ненецкий АО.

Разработанная типология регионов по уровню обеспеченности и результативности использования обеспечивающей инфраструктуры позволяет определить перспективы развития потенциала инфраструктуры (рис.). В частности, для северных и арктических территорий можно заметить аномально высокие значения по показателям материально-технической обеспеченности предприятий транспорта и связи в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском АО. Незначительное количество предприятий транспорта и связи зарегистрировано в Чукотском АО, республиках Ингушетия, Тыва, Калмыкия, Карачаево-Черкессия, Адыгея.

Типология регионов по оценке производственной инфраструктурной компоненты позволила выявить следующие кластерные образования регионов:

1 — Белгородская обл., для которой характерен средний уровень обеспеченности производственной инфраструктуры, при этом она имеет самые высокие результаты эффективности ее использования;

2 — представляют 40 регионов, для которых характерен среднероссийский уровень обеспеченности производственной инфраструктурой и средняя результативность ее использования;

3 — включает 31 регион, для которых характерен средний уровень обеспеченности производственной инфраструктурой, но при этом используется она неэффективно;

4 — образуют 6 регионов — это Московская, Ленинградская, Ростовская области, Краснодарский, Ставропольский край, республика Дагестан;

5 — образован одним субъектом — г. Москва — для него характерны самые высокие показатели обеспеченности производственной инфраструктурой, но при этом используется она не достаточно результативно;

6 — образовали три региона: Тюменская обл., Ханты-Мансийский АО, Ямало-Ненецкий АО, для них характерна неразвитая сельскохозяйственная инфраструктура, что обусловлено географическим расположением и природно-климатическими условиями. Сформированная типология производственной инфраструктуры региона на основе сравнительного анализа эффективности и достаточности развития системообразующей инфраструктуры в разрезе факторной зависимости агрегированных показателей экономики

региона и основных характеристик инфраструктурного обеспечения определяет эффективность системных преобразований и выполняемости стратегических планов региона в ходе его пространственно-экономической трансформации.

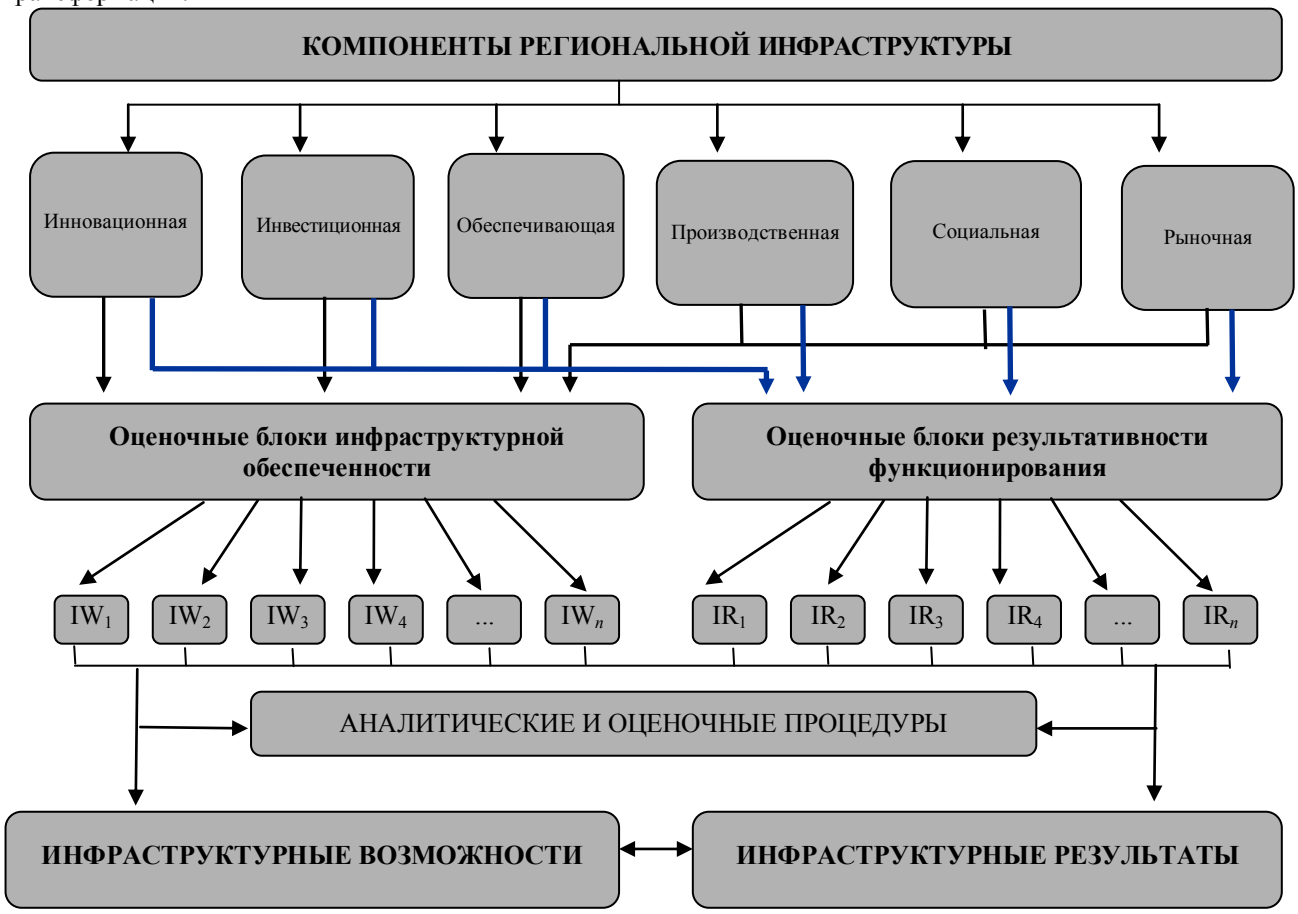


Рис. 1. Система инфраструктурного устройства в разрезе оценочных показателей:
$IW_1 \ldots IW_n$ — отдельные показатели инфраструктурной обеспеченности по компонентам;
$IR_1 \ldots IR_n$ — отдельные показатели результативности функционирования инфраструктуры по компонентам

Типология регионов по оценке инновационной инфраструктурной компоненты позволила сформировать пять групп регионов:

I — «мегацентр–Москва», где концентрируется преобладающая масса организаций, занимающихся инновационной деятельностью с высокой результативностью использования инновационной инфраструктуры;

II — «регионы с относительно наполненным функциональным составом инновационной инфраструктуры и высокой результативностью ее использования»;

III — «регионы с недостаточным функциональным составом инновационной инфраструктуры и низкой результативностью ее использования»;

IV — «регионы с узким функциональным составом инновационной инфраструктуры, низкой результативностью ее использования, но имеющие перспективы повышения инновационной активности»;

V — «регионы, имеющие лишь отдельные элементы функционального состава инновационной инфраструктуры».

Типология позволяет выявить ключевые проблемы в сфере формирования и развития инновационной инфраструктуры экономики регионов (нехватка финансового обеспечения организаций инновационной инфраструктуры; недостаток квалифицированных специалистов области управления и реализации инновационных проектов; ограниченный перечень каналов информирования инновационного предпринимательства, используемых в инновационной инфраструктуре регионов; недостаточная материально-техническая оснащенность организаций инновационной инфраструктуры, а также непривлекательность условий лизинга и инвестирования; высокий риск венчурных вложений в инновационные проекты), факторы, определяющие результативность ее использования (затраты на технологические инновации и количество выданных патентов в России), а также сформировать задачи и направления развития инновационной инфраструктуры в регионах РФ.

Типология регионов в рамках инвестиционной инфраструктурной компоненты позволила выявить портретные характеристики обеспеченности и результативности регионов по пяти типам регионов, что

позволяет на основе исследуемых факторов определить вектор стратегического развития инвестиционной инфраструктуры региона, направления повышения инвестиционной привлекательности регионов в целях повышения эффективности функционирования региональной экономики.

Типология регионов по уровню развития рыночной инфраструктурной компоненты осуществлялась с помощью метода главных компонент и построения диаграммы компонент во вращающемся пространстве. Проведенная группировка позволяет выделить четыре группы регионов — высокого, успешного, среднего и низкого уровней развития рыночной инфраструктуры. Выявлено, что все показатели обеспеченности рыночной инфраструктурой имеют значительную степень дифференциации по регионам РФ: так, разница между количеством гостиниц и ресторанов изменяется от 19 в Чукотском АО до 19478 в г. Москве, также данный сектор экономики развит в г. Санкт-Петербурге, Краснодарском крае, Московской и Свердловской областях. К регионам с низкой обеспеченностью гостиницами и ресторанами относятся республики Ингушетия, Тыва, Чеченская Республика и Еврейская АО. По результатам представленной типологии установлено, что в развитии секторов рыночной инфраструктуры некоторых регионов наблюдается дисбаланс, связанный с нерациональной политикой бизнеса в определенных отраслях, требующих разработки стратегических программ, направленных на устранение данных диспропорций.

Типология регионов в рамках социальной компоненты инфраструктур позволила установить шесть кластеров обеспеченности регионов объектами социальной инфраструктуры:

1-й кластер включает 11 регионов, для которых характерен высокий уровень обеспеченности организациями образования, здравоохранения и объектами спортивного и культурного назначения, в то же время по обеспеченности жильем и качеству его благоустроенности сложились среднероссийские характеристики;

2-й кластер представляет собой совокупность 19 регионов, у которых наблюдается самый высокий уровень обеспеченности жилой площадью в расчете на одного человека, из-за культурно-исторических особенностей наблюдается высокая посещаемость музеев и высокий уровень библиотечных фондов;

3-й кластер самый многочисленный в его составе образовалось 26 регионов, у них самый низкий уровень обеспеченности библиотечными фондами, самый высокий показатель обеспеченности ваннами (душем), остальные параметры носят среднероссийский характер распределения;

4-й кластер включает два региона — Москву и Санкт-Петербург.

5-й кластер объединил семнадцать регионов преимущественно из районов Севера и Сибири (Республика Карелия, Дагестан, Алтай, Бурятия, Тыва, Хакасия, Саха (Якутия), Алтайский, Забайкальский, Красноярский, Приморский край, Тюменская, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Томская области). Характерной особенностью данной группы является низкий уровень благоустроенности жилищ по отоплению и водоснабжению, также исторически сложился низкий процент посещаемости музеев, остальные характеристики находятся на среднероссийском уровне обеспеченности объектами социальной инфраструктуры;

6-й кластер состоит из семи регионов, для которых характерны самые высокие показатели благоустроенности жилья, самая низкая концентрация объектов в области здравоохранения, образования, спортивных сооружений, но используется они максимально результативно. Таким образом, выявлена необходимость учета природно-географических особенностей функционирования регионов, активного регулирования региональных диспропорций в развитии социальной инфраструктуры.

Таким образом, проведенные исследования с комплексным применением статистического инструментария позволили разработать типологию регионов по определенным компонентам, устойчиво различающимся между собой по уровню насыщенности объектами инфраструктуры, в соответствии с исследованием инфраструктурных возможностей и результатов, с учетом территориальных различий с более подробной детализацией особенностей северных территорий РФ.

Литература

1. Основные свойства и особенности региональной инфраструктуры. URL: http://studopedia.net/10_72252_osnovnie-svoystva-i-osobennosti-regionalnoy-infrastrukturi.html
2. Региональная инфраструктура. URL: http://www.studmed.ru/ docs/document37347?view=4.

Н. А. Серова
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, serova@iep.kolasc.net.ru

ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

Конкуренция, развернувшаяся в последние годы между индустриально развитыми странами за освоение уникальных запасов природных ресурсов Арктики, вызвала повышенный интерес к арктической проблематике и в нашей стране. Положения новой государственной политики, предусматривающей устойчивое развитие Арктической зоны РФ, были сконцентрированы в «Основах государственной политики России в Арктике», «Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности», а также государственной программе «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года» [2, 8]. Немаловажное значение для развития арктических территорий России имело и законодательное закрепление в 2014 г. сухопутных границ Арктической зоны РФ.

На сухопутной территории Арктической зоны, площадью 3685,936 тыс. км^2 (21,5 % общей площади территории России), проживает всего 2,39 млн чел., что составляет 1,64 % населения страны и более 50 % населения всей мировой Арктики [7, с. 13–20]. При среднем по России показателе плотности населения в 8,54 чел/км^2 большую часть арктических территорий составляют районы с плотностью населения менее 1 человека на 1 км^2 (исключением является Мурманская обл., где плотность населения составляет 5,26 чел/км^2.

Роль Арктической зоны для России определяется, прежде всего, наличием огромного углеводородного потенциала. Согласно наиболее авторитетному и часто цитируемому исследованию арктического углеводородного потенциала «Circum-Arctic resource appraisal: estimates of undiscovered oil and gas north of the Arctic Circle» (Оценка неразведанных запасов нефти и газа к северу от Полярного круга), проведенному Геологической службой США (USGS) в 2008-2011 гг., доля неразведанных запасов российского сектора Арктики составляет 31,87 % всех арктических неразведанных запасов нефти, 66,84 % всех арктических неразведанных запасов природного газа и 61,52 % всех арктических неразведанных запасов газового конденсата [10]. Кроме того, в Арктической зоне находятся крупнейшие месторождения минерального сырья: ртути, вольфрама, железа, свинца, цинка, олова, вольфрама, алмазов, золота, серебра и др. Добывается 90 % никеля и кобальта России, 60 % меди, свыше 95 % платиноидов, 40 % золота, 90 % хрома и марганца, 100 % апатитового концентрата и др. Отметим, что по разнообразию и значимости природных ресурсов среди всех регионов Арктической зоны РФ существенно выделяется Мурманская обл., природно-ресурсный потенциал которой составляют как ресурсы местного (лесные, строительные, гидроэнергетические, водные), так и ресурсы международного значения (черные, цветные и драгоценные металлы, нефть и природный газ, рыба и морепродукты, рекреационные ресурсы) [1, с. 5–15].

В целом в «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» указано, что «в Арктической зоне создается 12–15 % ВВП страны и обеспечивается около четверти экспорта России, а масштабы хозяйственной деятельности значительно превосходят показатели других полярных стран [8]. Здесь беспрецедентно высока доля добавленной стоимости добывающих отраслей и предприятий (составляет 60 %, в Гренландии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Исландии не более 15 %, на Аляске и в Арктической Канаде около 30 %)».

Исследования социально-экономического потенциала Арктической зоны РФ [4, с. 115–120; 7, с. 13–20; 11, с. 18–21] показывают, что в течение последнего десятилетия государственные инвестиции и сырьевая рента формировали фундамент экономического благополучия регионов, где сконцентрированы предприятия по добыче нефти и газа. Например, сырьевые Ненецкий и Ямало-Ненецкий АО по объему инвестиций в основной капитал на протяжении многих лет занимают лидирующие позиции среди всех субъектов РФ. Однако наряду с высокоразвитыми сырьевыми регионами значительная часть арктических территорий России остается депрессивной, характеризуется неразвитостью транспортной инфраструктуры и энергетической системы, сокращением численности населения из-за миграционного оттока. Самые негативные тенденции сокращения численности вследствие миграции и низкого естественного прироста наблюдаются в старопромышленных регионах — Республике Коми, Мурманской и Архангельских областях. Наиболее привлекательные для инвесторов нефтегазовые Ненецкий и Ямало-Ненецкий автономные округа, а также Республика Саха (Якутия) имеют высокий уровень естественного прироста населения и сравнительно небольшой миграционный отток, обусловленный распространением в этих регионах вахтового метода организации труда.

В 2014 г. Правительством РФ была принята программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период 2020 года» [2], предусматривающая вложения в экономику Арктической зоны более 1,5 трлн руб. В задачи программы входит развитие транспортной, энергетической и информационно-коммуникационной инфраструктуры, формирование нормативной и научно-технической базы, а также реализация масштабных инвестиционных проектов в Арктической зоне, которые можно условно разделить на две группы:

1) проекты, целиком приуроченные к Арктической зоне (а именно развитие нефтегазового, горнопромышленного, рыбопромышленного секторов);

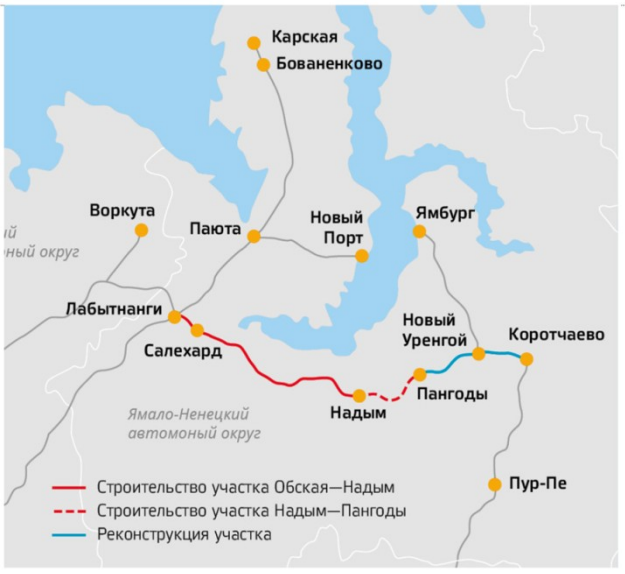
2) а также проекты, интегрирующие Арктическую зону с освоенными районами страны (модернизация и развитие арктической транспортной системы).

В первой группе проектов наибольшее значение имеют так называемые СПГ-проекты, которые включают строительство заводов по сжижению природного газа и создание сопутствующей газотранспортной инфраструктуры. Например, в Ненецком АО предполагается реализовать крупнейший инвестиционный проект «Печора СПГ», включающий разработку Кумжинского и Коровинского газоконденсатных месторождений. Завод по сжижению природного газа и морской терминал будут располагаться в районе пос. Индига. Кроме того, для обслуживания проекта будут построены несколько танкеров-газовозов арктического класса. Всего затраты на реализацию проекта составят около 4 млрд долл. Другим крупнейшим арктическим СПГ-проектом является «Ямал СПГ», реализуемый в Ямало-Ненецком АО. Общий объем инвестиций в проект оценивается в 1 трлн руб. Строительство завода по сжижению природного газа ведется в районе пос. Саббета. В 2013 г. здесь уже начал функционировать морской порт Сабетта, а в 2014–2015 г. введен в эксплуатацию аэропорт.

Вторая группа проектов — модернизация и развитие арктической транспортной системы, включает в себя не только Северный морской путь, но и весь комплекс транспортных средств, морские и речные судоходные линии, авиационные маршруты, трубопроводный, железнодорожный и автомобильный транспорт, а также береговую инфраструктуру (порты, средства навигации, гидрографии, гидрометеорологии, связи и др.). Так, в целях общей модернизации Северного морского пути предусматривается реконструкция действующих арктических портов в Мурманске, Архангельске, Кандалакше, Витино, Варандее (в остальных портах арктического бассейна реализация крупных инвестиционных проектов не предусмотрена), а также создание морских глубоководных многофункциональных портов в Ненецком автономном округе (Индига) и на Ямале (Сабетта и Харасавей). Кроме того, предполагается строительство новых рейдовых отгрузочных (Варандей, Приразломное, Игарка) и контейнерных терминалов (Мурманск, Тикси, Эгвекинот, Провидения), реконструкция аэропортовой сети, развитие комплекса арктического сервиса (кардинальное обновление ледокольного флота, развитие систем обеспечения безопасности мореплавания, средств навигации, гидрографии, гидрометеорологии, радиосвязи) [6, с. 69–72].

Перспективы роста перевозок в результате освоения нефтегазовых месторождений на Ямале и в Баренцевом море, обусловливают и строительство новых транспортных коридоров (рис.):

- проект «Северный широтный ход» включает строительство железной дороги Обская — Салехард — Надым — Пангоды — Новый Уренгой — Коротчаево общей протяженностью 707 км, которая объединит Северную и Свердловскую железные дороги и, в перспективе, через п-ов Ямал обеспечит вывод транспортной системы России к Северному морскому пути. Общая стоимость проекта составляет 190 млрд руб.;
- проект «Белкомур» (Белое море — Коми — Урал) включает строительство и модернизацию железнодорожной магистрали Архангельск — Сыктывкар — Пермь общей протяженностью 1252 км, которая свяжет промышленные районы Западной Сибири с морским портом в Архангельске, а также позволит на 800 км сократить путь для грузов, поставляемых по железным дорогам из Китая и Казахстана в Европу. Общая стоимость проекта составляет свыше 170 млрд руб.



Проект «Северный широтный ход»



Проект «Белкомур»

Проекты строительства новых транспортных коридоров

Таким образом, основными направлениями государственной инвестиционной политики в Арктике является реализация инвестиционных проектов, целиком приуроченных к Арктической зоне РФ, и проектов, интегрирующих арктические территории с освоенными районами страны. Однако следует понимать, что инвестиционная деятельность в арктических регионах связана с экстремальными природно-климатическими условиями, обусловливающими удорожание капитальных затрат по сравнению с центральными регионами [3,

с. 21–26; 5]. Крайне высокая уязвимость природной среды в Арктике также вызывает необходимость дополнительных природоохранных затрат при реализации здесь инвестиционных проектов [9, с. 28–43].

В совокупности названные трудности в осуществлении инвестиционных проектов в Арктике обусловливают необходимость выработки комплекса мер экономического стимулирования реализации инвестиционных проектов, в частности:

- установление пониженных ставок налога на прибыль хозяйствующим субъектам, осуществляющим деятельность в Арктической зоне, при реализации ими инвестиционных проектов;
- снижение ставок акцизов для подакцизных товаров, произведенных в Арктической зоне;
- установление повышенных нормативов зачисления поступлений от федеральных налогов и сборов в бюджеты регионов Арктической зоны;
- освобождение от налогообложения предприятий коренных малочисленных народов Севера, осуществляющих традиционные виды хозяйствования в Арктической зоне.

Также в целях обеспечения защиты природной среды арктических регионов, которая крайне чувствительна к антропогенному и техногенному загрязнению, необходимо создание системы мониторинга реализации текущих проектов с целью разработки превентивных мероприятий, направленных на ликвидацию экологических последствий хозяйственной деятельности, сохранение и обеспечение защиты природной среды Арктики.

Представляется, что реализация указанных мер позволит активизировать инвестиционные процессы в арктических регионах и повысить их инвестиционную привлекательность.

Публикация содержит материалы, полученные при поддержке грантом РФФИ №15-02-00127 «Системная динамика информационно-коммуникационного пространства и социально-экономическое развитие Северо-Арктических территорий России».

Литература

1. Бакланов П. Я., Мошков А. В., Романов М. Т. Географические и геополитические факторы и направления долгосрочного развития Арктической зоны России // Вестник ДВО РАН. 2015. № 180. С. 5–15.
2. Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской федерации на период 2020 г.: гос. программа: утв. постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2014 г. № 366. URL: http://government.ru/info/18359/ (дата обращения 22.02.2017).
3. Зерщикова Н. И. Современное социально-экономическое состояние Арктической зоны Российской Федерации как основа обеспечения безопасности страны // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2014. № 1(38). С. 21–26.
4. Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы: науч.-аналит. докл.; под науч. ред. В. С. Селина и др. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. С. 115–120.
5. Серова Н. А., Емельянова Е. Е. Инвестиционный климат северных территорий: региональный и муниципальный уровни: монография / под науч. ред. Т. П. Скуфьиной. Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 164 с.
6. Серова В. А. Новый этап развития транспортной системы Арктики // Север и рынок: формирование экономического порядка, 2014. № 5. С. 69–72.
7. Серова Н. А. Особенности инвестиционной политики регионов Арктической зоны // Север и рынок: формирование экономического порядка, 2016. № 3. С. 13–20.
8. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года: утв. Указом Президента РФ от 8 февраля 2013 г. № По-232. URL: http://government.ru/info/18360/ (дата обращения 22.02.2017).
9. Тишков А. А. «Арктический вектор» в сохранении наземных экосистем и биоразнообразия // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2(6). С. 28–43.
10. Circum-Arctic resource appraisal: estimates of undiscovered oil and gas north of the Arctic Circle / K. J. Bird et al. // U.S. Geological Survey Fact Sheet, 2008. 4 p.
11. Problems of Russia’s Arctic Development in the Context of Optimization of the Mineral Raw Materials Complex Use / T. P. Skufina et al. // Eurasian Mining. 2015, No. 2, p.18–21.

В. А. Серова
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, vaserova@iep.kolasc.net.ru

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ «МАЛОЙ АВИАЦИИ» В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

Россия располагает самым большим в мире воздушным пространством. Вместе с тем, 60 % территории России относится к районам, где авиация зачастую является единственным средством обеспечения круглогодичной транспортной доступности. Особенно высока значимость авиации для обеспечения транспортной доступности населенных пунктов Арктической зоны, так как здесь малой авиацией выполняется более 50 % от всех местных авиаперевозок в стране.

К сожалению, после развала СССР для значительной части населения России услуги воздушного транспорта до сих пор стали недоступными, а платежеспособный спрос населения на перевозки удовлетворяется не в полном объеме, особенно в северо-восточных и арктических регионах. Интенсивность полетов местных воздушных линий (МВЛ) по ранее действующим маршрутам упала в 45–65 раз, число аэродромов сократилось с 2850 до 200 [4]. Кроме того, существенно сократились регулярные пассажирские и грузовые перевозки авиацией общего пользования, практически исчезли многие виды востребованных работ для сектора малой авиации по отраслям экономики, почти в 5 раз снизилось количество региональных аэропортов и местных воздушных линий. Высока доля изношенного оборудования аэропортов и самих воздушных судов, по оценкам специалистов, износ основных производственных фондов аэродромного хозяйства составляет 80 %.

Особенно это коснулось малой авиации, которая в регионах Арктической зоны РФ зачастую является единственным средством обеспечения круглогодичной транспортной доступности. В настоящее время в российской Арктике насчитывается 88 аэродромов и около 200 посадочных площадок, что на 17 % выше, чем в среднем по стране. Однако основная масса этих аэродромов в настоящее время не действует. Например, в Мурманской области имеется 41 аэродром, но в рабочем состоянии находятся только 10. В Чукотском АО из 33 аэродромов воздушные суда принимают 15. Ситуацию усугубляют высокая стоимость ГСМ, критическое состояние инфраструктуры, нехватка квалифицированных авиационных специалистов из-за общего оттока населения из арктических регионов.

Средняя стоимость регионального тарифа в России сопоставима со средней месячной заработной платой (для сравнения: средняя стоимость авиаперелета в США составляет порядка 5 % от среднемесячной заработной платы). Этот дисбаланс особо характерен для Арктической зоны, в пределах которой 80 % пассажиров перевозится малой авиацией на местных воздушных линиях, а оставшиеся 20 % имеют региональный характер [1].

Следует отметить и другие проблемы малой авиации, без решения которых невозможно развитие пассажирских и грузовых перевозок на российском рынке, а именно:

- выход из строя аэродромной сети в регионах, а именно закрытие местных аэродромов, аэропортов и взлетно-посадочных площадок;
- дефицит воздушных судов всех классов, особенно российского производства, для организации грузовых перевозок в крупные аэропорты и областные центры местными и региональными авиакомпаниями, в том числе в районы Крайнего Севера и Арктики;
- быстрорастущий дефицит летного и инженерно-технического персонала для укомплектования местных и региональных авиакомпаний;
- неразвитость рынка логистических операторов.

Указанные дисбалансы усугубляют сложившуюся проблемную ситуацию в сфере гражданской авиации. Тем не менее, на сегодняшний день реализуется целый ряд федеральных целевых программ, предусматривающих мероприятия по совершенствованию и развитию воздушного транспорта, в том числе и в Арктической зоне, путем субсидирования деятельности северных аэропортов, магистральных перевозок, создания казенных аэропортовых предприятий, частичной компенсации платежей при покупке или лизинге воздушных судов. В результате, предпринимаемые меры на государственном уровне и общее развитие экономики уже обеспечили начало восстановления этих сегментов рынка, а в перспективе обеспечат и их опережающее развитие (табл.).

Состояние и перспективы местных и региональных авиаперевозок РФ [5]

Показатель	1990 г.	2010 г.	2012 г.	2030 г. (прогноз)
Объем местных перевозок				
пассажирооборот, млрд пкм	8,0	1,0	1,23	4,4–6,0
перевозки пассажиров, млн пасс.	23	1,46	1,73	6,0–8,6
Доля местных в общем объеме внутренних перевозок, %				
пассажирооборот	5–7	менее 2	менее 2	2,0–2,5
перевозки пассажиров	около 30	около 5	около 5	6,0–7,5
Количество аэродромов, ед.				
классов «Г», «Д», «Е»	> 1200	210	н/д	< 370
посадочных площадок	> 1000	600	н/д	2000
Пассажирооборот самолетов вместимостью до 85 пассажиров, млрд пкм	около 30	4,4	5,6	17–19
Пассажирооборот самолетов вместимостью менее 20 пассажиров, млн пкм	2000	40	53	200–400
Количество населенных пунктов, в которые осуществлялись местные авиаперевозки	около 2000	700	230	1200–1600
Ценовая доступность местных перевозок, соотношение количества билетов к заработной плате	25	4–5	1	8–10

Исследование состояния воздушного транспорта в Арктике [5, с. 131] показало, что в большинстве регионов Арктической зоны наблюдается положительная динамика роста по пассажирским и грузовым перевозкам, что во многом обусловлено увеличением добычи углеводородов на шельфе Арктики, реализацией транспортных мегапроектов и развитием Северного морского пути.

В рамках «Дорожной карты развития региональных авиаперевозок», утвержденной июле 2013 г. Правительством РФ, запланированы меры по снижению стоимости аэропортового обслуживания, которые включают следующие механизмы: а) упрощение процедуры сертификации аэропортов региональных и местных воздушных линий с низкой интенсивностью полетов; б) сокращение требований по обеспечению авиационной и транспортной безопасности; в) возможность привлечения муниципальных пожарных частей для обслуживания рейса, прилетающего два раза в неделю. «Дорожная карта» включает 18 мероприятий, часть из которых уже выполнена.

Две государственные программы непосредственно связаны с Арктической зоной:

- Программа обеспечения доступности воздушных перевозок пассажиров с Дальнего Востока в европейскую часть страны и в обратном направлении (постановление Правительства РФ от 29.12.2009 № 1095);
- Программа субсидирования региональных воздушных перевозок на территории РФ и формирования региональной маршрутной сети Российской Федерации (постановление Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2013 г. № 1242).

Кроме того, в ряде регионов разработаны и реализуются собственные программы развития и поддержки воздушного транспорта. Например, на Ямале принята окружная долгосрочная целевая программа «Развитие аэропортов на территории Ямало-Ненецкого АО на 2012–2020 годы» [2], в рамках реализации которой ведется модернизация поселковых аэропортов (реконструкция аэропортового комплекса и взлетно-посадочной полосы в аэропорту Красноселькупа), обновление и расширение парка отечественных воздушных судов (в 2016 г. ожидается поступление трех самолетов в операционный лизинг региональной авиакомпании «Ямал»), приобретение специальной техники и специального оборудования для аэропортов округа. В рамках проекта «Ямал СПГ» в феврале 2015 г. начал прием воздушных судов международный аэропорт «Сабетта». За счет окружного бюджета субсидируется 4 межрегиональных и 30 межмуниципальных направлений (из них 21 — регулярные рейсы, 9 — резервные, осуществляемые в периоды межсезонья между населенными пунктами, не имеющими наземной связи, а также в случае неблагоприятных погодных условий для речного транспорта в период навигации).

В целях сохранения и развития местных и региональных авиаперевозок в северных регионах также создаются федеральные казенные предприятия на базе аэропортов местного и регионального значения. На сегодняшний день создано 7 федеральных казенных предприятий, 4 из которых функционируют непосредственно в арктических регионах и включают в себя 54 аэропорта и посадочных площадок: ФКП «Аэропорты Севера» (Республика Саха (Якутия)), ФКП «Аэропорт Амдерма» (Ненецкий АО), ФКП «Аэропорты Красноярья» (Красноярский край), ФКП «Аэропорты Чукотки» (Чукотский АО). Рассматривается вопрос о создании ФКП «Аэропорты Северо-Запада» путем реорганизации ФКП «Аэропорт Амдерма» и объединения региональных аэропортов Северо-Западного федерального округа.

Стратегией развития АЗРФ предполагается создание эффективной системы авиационного обслуживания северных районов на базе глубокой модернизации аэропортовой сети и развития малой авиации. Планируется формирование крупных транспортно-логистических узлов (арктических хабов) для магистральных и международных перевозок на базе аэропортов Мурманск, Архангельск и Анадырь. Аэропортами федерального значения в этом же документе определены Нарьян-Мар, Салехард, Норильск (Алыкель), Хатанга, Тикси, Певек. Существенное значение для развития транспортной обеспеченности Арктики приобретут аэропорты Амдерма и Сабетта.

Наиболее актуальная тема для Крайнего Севера и Арктики — обновление парка малой авиации, вертолетов и региональных самолетов. По различным экспертным оценкам, минимальное востребованное количество воздушных судов на Севере в период до 2020 г. может составлять от 1 до 3 тыс. новых единиц [6].

Возрождение полярной авиации как основы создания перспективной региональной транспортной системы Крайнего Севера является одной из важнейших задач. В 2013 г. был инициирован проект «Полярная авиация России на новом этапе освоения Арктики» под эгидой объединений «Северные промышленники и предприниматели» и «Союз руководителей Заполярья». Цель проекта — инициирование инвестиционных процессов в развитие Полярной авиации на региональном и местном уровне (привлечение инвесторов).

Важным средством обеспечения российских интересов в АЗРФ является интенсивное развитие военной инфраструктуры в регионе, которая призвана максимально способствовать экономическому освоению Арктики. В последние годы российскими военными начато параллельное восстановление военных баз, аэродромов, заброшенных в начале 1990-х гг. после распада СССР. Помимо несения военной службы в составе арктической группировки войск, модернизированные и перспективные вертолеты Ми-8АМТШ-ВА и Ми-38 могут эксплуатироваться в гражданских целях, в том числе для шельфовых работ в АЗРФ и обслуживания полярников.

Таким образом, на пути возрождения регионального и местного авиасообщения сделаны первые действенные шаги. Однако следует понимать, что этот сектор воздушного транспорта требует не только финансовых вложений, но и комплексного подхода к решению многих проблем. Нужны совместные усилия федеральных и региональных органов государственной власти, частных компаний.

Литература
1. Мониторинг состояния и потребности рынка региональных и местных авиаперевозок в современных самолетах / ГосНИИ ГА. URL: www.gosniiga.ru/files/Reg_nc_11_2013_01.ppt (дата обращения 13.03.2017).
2. Об утверждении окружной долгосрочной целевой программы «Развитие аэропортов на территории Ямало-Ненецкого АО (2012–2020 годы)»: постановление Правительства Ямало-Ненецкого АО от 23.12.2011 № 985-П. URL: http://yamal-gov.ru/doc/11017.
3. Применение авиации в Арктической зоне и Антарктике в интересах Российской Федерации / И. В. Лесничий и др. // Научный вестник ГосНИИГА. 2012. № 2. С. 53–59.
4. Серова В. А. Перспективы авиационной деятельности в арктических регионах // Социально-экономические аспекты развития современного государства: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. (Саратов, 23 октября 2014 г.): в 2 ч. Ч. 2 / отв. ред. А. Н. Плотников. Саратов: Академия бизнеса, 2014. С. 58–59.
5. Серова В. А. Текущее состояние воздушного транспорта в Арктической зоне РФ // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2016: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Апатиты, 14–16 апреля 2016 г.) / под общ. ред. Е. П. Башмаковой, Е. Е. Торопушиной. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. С. 130–133.
6. Федотовских А. В., Потеряхин В. В. Полярная авиация России на новом этапе освоения Арктики. URL: http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/13792.html (дата обращения 04.10.2016).

Е. В. Сибирская
Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Sibirskaya.EV@rea.ru

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ГАЗОВОМ РЫНКЕ РОССИИ

Актуальные тенденции и перемены в мировой энергетической системе указывают на возрастание значимости и перспектив природного газа как эффективного вида углеводородного топлива. При этом структурные изменения, наблюдаемые на газовом рынке, выявляют конкретные тенденции, сформировавшиеся в настоящее время. К структурным изменениям, последствия которых в полной мере ощущают наши компании, относятся следующие:

- в прошлом году России удалось нарастить экспорт газа, а в январе 2017 г. наблюдался рекордный экспорт в Европу, однако возможности для дальнейшего его роста сужаются;
- последствия «сланцевой революции» для газового рынка могут искусственно увеличивать капитализацию американских компаний, но отрицать неизбежное усиление конкуренции для «традиционного» газа невозможно;
- на выбор некоторых европейских потребителей так или иначе влияют неэкономические факторы, которыми во многом можно объяснить отказ или снижение импорта российского газа — в пользу американского, катарского или норвежского, несмотря на подчас более выгодные финансовые условия;
- переход многих потребителей в Европе на спотовые цены усложняет стратегическое планирование инвестиций ведущих производителей, так как усложняет прогнозирование объема финансовых поступлений в долгосрочной перспективе [4];
- в Азии «традиционный» газ также испытывает все большую конкуренцию со стороны сжиженного природного газа (СПГ), что, в свою очередь, диктует необходимость переформатирования приоритетов у ведущих компаний по развитию тех или иных видов транспортировки и добычи газа [6].

ПАО «Газпром» является сверхмонополией и обеспечивает развитие не только нефтегазовой, но и смежных отраслей, является крупнейшим экспортером газа и энергии. Соответственно, от его деятельности зависит обеспечение как отечественного потребителя, так и зарубежного. Для России ТНК — это будущее, но уже сейчас ПАО «Газпром» является «государством в государстве» и стоит выше правительства. Для газовой отрасли России это является сдерживающим развитие фактором, так как отсутствие конкуренции тормозит развитие, введение инноваций и заинтересованность конкретного монополиста в расширении рынка сбыта. Например, в США, где на рынке газа присутствует много компаний, установка подземных хранилищ для сжиженного газа, а также его обслуживание компенсируется компанией-поставщиком. Жители платят только за газ. Компании готовы бесплатно предоставлять оборудование, лишь бы привлечь новых потребителей и увеличить объем сбыта. В России же дело обстоит не так. Жители деревень должны заплатить за подвод газа к дому, заплатить за газ и за обслуживание «трубы». Другими словами, чтобы делать все для увеличения продаж газа и привлечения потребителя на монополизированном рынке, компания-поставщик ставит потребителя перед выбором: либо плати, либо оставайся без газа. Альтернатив нет.

Важно отметить, что попытки создать конкуренцию на рынке российского газа были, но компании монополизируют некоторую территорию, на которой в итоге становятся единственными поставщиками услуг. ПАО «Газпром» является крупным игроком на мировом рынке газа. По состоянию на 2015 г. компания

обладает 16,9 % всех мировых запасов газа и добывает 11,2 % всей мировой добычи. Она не только обеспечивает большую часть России газом, но и экспортирует его в Европу и Азию. В настоящий момент деятельность ПАО «Газпрома» обеспечивает половину объема продаж газа в мире (рис. 1).

Несмотря на перспективы применения газа в различных отраслях экономики России, при равных объемах поставок экспортировать газ выгоднее из-за разницы цен.

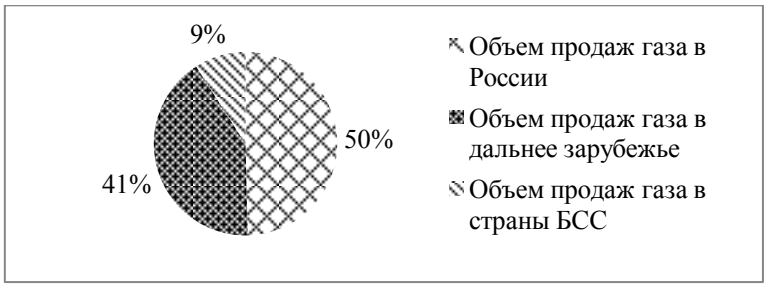


Рис. 1. Структура реализации газа Газпромом в 2015 г., %
Источник: составлено по данным справочника «Газпром в числах», 2015 г.

Это подтверждается изменением удельного веса объема продаж газа за рубеж. В 2010 г. данный показатель составлял 44 %, к 2015 г. возрос до 50 % (рис. 2). Необходимо отметить снижение на 56,1 млрд м^3 (на 20 %) объема продаж газа в России в 2015 г. по сравнению с 2010 г. Поэтому на отечественном рынке появляются другие поставщики, которые занимают освободившуюся нишу. Такая тенденция свидетельствует о возрастающем приоритете экспорта газа для ПАО «Газпром».

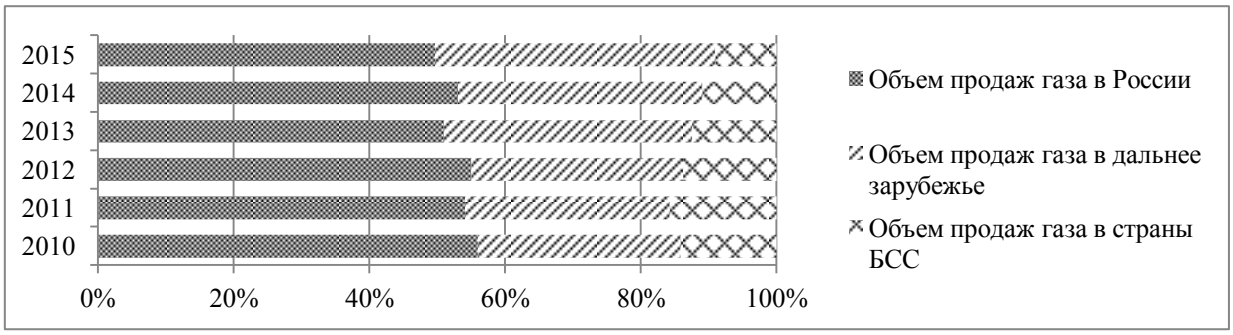


Рис. 2. Структура реализации газа Газпромом в 2010–2015 гг., %
Источник: составлено по данным справочника «Газпром в числах», 2015 г.

Наблюдаемое снижение удельного веса добычи газа в России и сокращение объемов продажи компенсируется появлением новых игроков на газовом рынке. Потенциально конкурентом концерна может быть любая нефтяная компания, так как она является возможным поставщиком попутного нефтяного газа (ПНГ). На рынке существуют независимые производители газа, которые также конкурируют с ПАО «Газпром».

Вторым после ПАО «Газпром» производителем газа в России является ПАО «НОВАТЕК», с 1994 г. занимающееся разведкой, добычей и переработкой газа, конденсата и нефти. До недавнего времени ПАО «Газпром» было монополистом, право трубопроводного экспорта монополизировано данной компанией, но на внутреннем рынке у нее появляются конкуренты. Независимые производители работают, как правило, на определенной территории. В 2015 г. ПАО «НОВАТЕК» поставлял газ в 33 региона Российской Федерации (рис. 3).

Доля этой компании в поставках газа, транспортируемого через единую систему газоснабжения (ЕСГ), на российский рынок составила около 20 %. В 2015 г. объем реализации газа сократился, но в связи с ростом регулируемых цен на газ выручка от реализации снизилась лишь на 3,6 %. При этом выручка от реализации газа за вычетом транспортных расходов снизилась лишь на 1,3 %, так как тариф на транспортировку газа для независимых производителей был увеличен с 1 июля 2015 г. только на 2 %.

Если говорить не о внутреннем рынке, а об экспорте, то по этому направлению независимые производители отстают от ПАО «Газпром». Как упоминалось ранее, эта компания — монополист экспорта газа трубопроводным транспортом. Основное направление экспорта для независимых производителей — это сжиженные углеводороды.

Одним из перспективных проектов ПАО «НОВАТЕК» является строительство «Ямал СПГ» на базе Южно-Тамбейского месторождения, расположенного на северо-востоке п-ова Ямал. Добытый газ будет сжижаться, а затем перевозиться с помощью специальных танкеров. Эти суда способны работать в западном направлении круглогодично, а в восточном направлении в период арктического лета. Кроме постройки

танкеров, строится порт для них. На восточном берегу Ямала расположен пос. Сабетта, оборудованный всей необходимой инфраструктурой для проживания строителей. Для реализации проекта «Ямал СПГ» на территории лицензионного участка построен международный аэропорт [5].

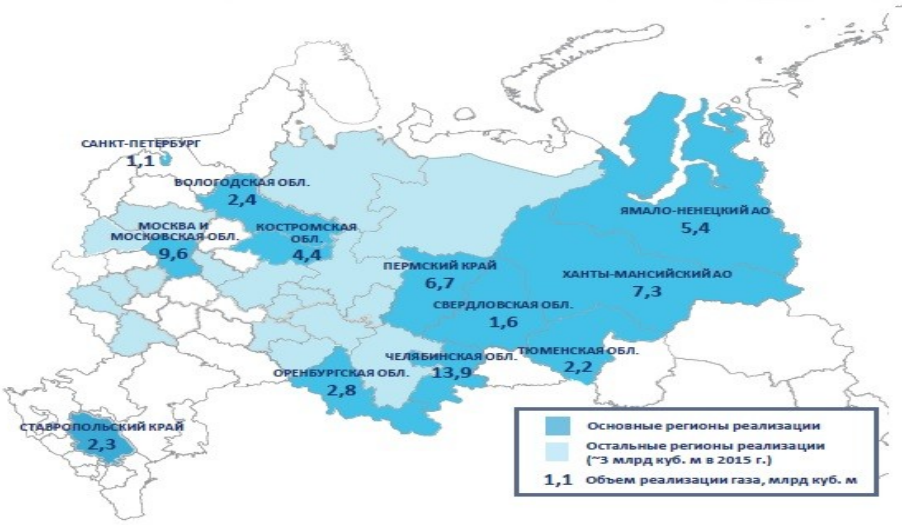


Рис. 3. География поставок природного газа НОВАТЕК
Источник: официальный сайт ПАО «НОВАТЕК» (http://www.novatek.ru)

На пресс-конференции, которая состоялась 23 декабря 2016 г., В. В. Путин отвечал на вопрос о строительстве дорог на п-ове Ямал. Он заявил, что проект железной дороги будет реализован, когда будет признан экономически целесообразным [1]. На Ямале расположены огромные залежи природного «жирного» газа, имеющего большую ценность. В 2018 г. планируется строительство стационарной платформы для освоения шельфового газового месторождения Каменномысское-море в Обской губе. В связи с этим строительство железной дороги на Ямал становится выгодным. Это позволит транспортировать сжиженный газ вглубь страны к потребителям. Этот проект является конкурентоспособным, так как запасы газа высокой концентрации находятся на суше, а из-за низкой среднегодовой температуры процессы сжижения становятся высокоэффективными. Также есть доступ в Европу и страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Кроме того, проект имеет налоговые льготы, то есть поддерживается государством.

Уровень полезного использования попутного нефтяного газа ПАО «Газпром» в 2015 г. составил 82,7 %, а в 2010 г. — только 64,1 % (рис. 4). Переработка углеводородного сырья осуществляется на мощностях дочерних обществ ПАО «Газпром»: на Астраханском, Оренбургском, Сосногорском газоперерабатывающих заводах, Оренбургском гелиевом заводе, Сургутском заводе по стабилизации конденсата и Уренгойском заводе по подготовке конденсата к транспорту.

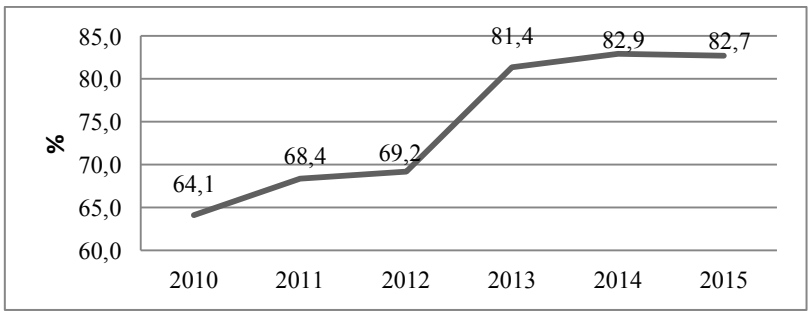


Рис. 4. Уровень полезного использования ПНГ в 2010–2015 гг., %
Источник: составлено по данным справочника «Газпром в числах», 2015 г.

Одним из перспективных методов утилизации газа является его сжижение. Примером применения этой технологии является опыт ООО «Иркутская нефтяная компания» (ИНК) [3]. Уникальность технологии заключается в возможности одновременной добычи газа и нефти в условиях, когда на территории отсутствует газотранспортная и газопотребляющая инфраструктура. Компания сократила попутный нефтяной газ, что уменьшило вредное влияние на экологию. Направлениями развития данного комплекса являются хранение и поставка сниженных углеводородных газов (СУГ) потребителям. Продукция будет отправляться в железнодорожных цистернах, а в перспективе может быть использован автотранспорт и суда. Кроме того, для

подачи сухого отбензиненного газа к потребителю может быть использован магистральный газопровод «Сила Сибири». Отечественными потенциальными потребителями могут стать коммунальное хозяйство, предприятия химической отрасли, а также автопром.

Если говорить о производстве СПГ «Газпромом», то компания владеет 50 % плюс одна акция в Sakhalin Energy — оператор проекта «Сахалин-2». В соответствии с условиями СРП Российская Федерация оставляет за собой право собственности на нефтяные и газовые месторождения, а компания Sakhalin Energy вкладывает необходимые средства в разведку и разработку этих месторождений. Но помимо этого, был построен завод по сжижению газа и газо- и нефтепровод. В. В. Путин негативно отозвался о заключенном еще в начале 90-х гг. СРП, согласно которому Россия не получала практически ничего. По СРП Sakhalin Energy платит 6 % роялти, а после начала раздела продукции 32 % от прибыли, что несоизмеримо с затратами России. Но когда ПАО «Газпром» получил 50 % акций в проекте «Сахалин-2», официальное мнение изменилось, поскольку в российский бюджет и бюджет о. Сахалин стали поступать значительные средства.

Хотя Европа и является на сегодняшний момент основным стабильным рынком сбыта газа для России, тем не менее Россия заинтересована в экспорте газа и в страны Азии (Китай, Японию, Индию и Южную Корею). Наиболее надежный партнер — Япония, которая участвует в проектах на Сахалине капиталом и технологиями. Япония заинтересована, прежде всего, в СПГ, а на данном рынке у России есть серьезные конкуренты — США и Австралия. Япония не имеет развитой инфраструктуры газопроводов, поэтому СПГ крайне привлекателен для этой страны. Цены на СПГ в Японии снижаются, поэтому для России важно предложить выгодные цены поставки, а это зависит, прежде всего, от его способа доставки. Если будет проложен газопровод от Сахалина в центральную часть Японии, то цены на российский газ будут конкурентноспособными. Япония поддерживает эту идею, так как считает, что газ, переданный по газопроводу, будет вдвое дешевле поставляемого сейчас СПГ.

В целом, в России происходит диверсификация экспорта газа. Контракты продлеваются с уже существующими импортерами, так и происходит освоение новых, перспективных рынков. Это обеспечивает развитие отрасли, разработку новых месторождений, а также модернизацию способов обработки и доставки газа.

Статья выполнена в рамках гранта РГНФ № 17-02-00216.

Литература

1. Большая пресс-конференция В. Путина 23 декабря 2016 г. URL: http://kremlin.ru/events/president/news/5357.
2. Васильева Ю. П., Клестова А. В. Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России // Нефтегазовое дело 2012. № 4. URL: http://ogbus.ru/article/problemy-i-perspektivy-ispolzovaniya-neftyanogo-poputnogo-gaza-v-rossiiproblems-and-prospects-associated-petroleum-gas-in-russia/.
3. ИНК (Иркутская Нефтяная Компания) неудержимая // Нефтегазовая Вертикаль / Аналит. служба «Нефтегазовой Вертикали». 2016. Вып. 19. URL: http://www.ngv.ru/magazines/article/ink-neuderzhimaya/
4. Кимельман С. Государство делает заначки от народа // Росбалт: информ. агентство. 2012. URL: http://www.ros.balt.ru/business/2011/12/02/919769.html
5. НОВАТЕК // Проект «Ямал СПГ». URL: http://www.novatek.ru/ru/business/yamal-lng/yamal_infrastructure/
6. Новые реалии мирового рынка углеводородов: панельная сессия // Петербургский Междунар. экон. форум 2016. URL: http://tass.ru/pmef-2016/article/3352261.
7. Сага о попутном газе / Леонтий Эдер, Ирина Эдер, Ирина Проворная, Ирина Филимонова // Нефтегазовая Вертикаль. 2016. Вып. 19. URL: http://www.ngv.ru/magazines/article/saga-o-poputnom-gaze/.

Т. П. Скуфьина
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, skufina@iep.kolasc.net.ru

НОВАЯ СПЕЦИФИКА УПРАВЛЕНИЯ И НАУЧНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Доклад преследует две задачи: во-первых, изложить новые особенности управления социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации; во-вторых, убедить в актуальности формирования новой научной основы для понимания социально-экономических процессов, а также новых требований к научному сопровождению развития и управления Арктикой.

Следует отметить, что научное сопровождение социально-экономического развития и управления Арктикой всегда имеет фундаментальную составляющую. Фундаментальность определяется постоянством противоречия: с одной стороны, это общественные процессы, которые определяют эффект «северного удорожания», а значит, ограничивают экономическую и социальную активность; с другой — цели управления, направленные на обеспечение развития экономики Арктики для наполнения бюджета и на обеспечение социального развития для необходимой синхронизации с мировыми процессами [8, 11, 12]. То есть векторы объективных процессов, сокращающих активность в Арктике, и задач управления, усиливающих активность, разнонаправлены.

Научно-практическая актуальность так же несомненна, поскольку Арктическая зона Российской Федерации — это новый объект политики и управления, а значит, и исследования [5, 6]. Поясним: Крайний Север, Север — в экономике это понятия устоявшиеся, старые. Дата, когда эти понятия из географической семантики перекочевали в экономику и приобрели принципиально новый, юридический смысл, — 1931 г., когда Совет народных комиссаров принял постановление «О хозяйственном развитии районов Крайнего Севера». Именно в этом постановлении впервые введены северные льготы как необходимое условие индустриального развития Севера [1, с. 86; 7, 9].

Как самостоятельный объект территориальной политики Арктика появляется только в 2008 г. с утверждением президентом «Основ государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу». При всех недостатках этого документа, которые неоднократно отмечал Институт экономических проблем в аналитических материалах по запросам органов власти и управления, именно здесь определился не только особый объект политики, но и особая предметная область, которая впервые обозначила необходимость комплексного социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации. Уточним, в период СССР также ставились масштабные задачи освоения Севера и, действительно, уровень и комплексность его развития были до недавнего времени значительно выше лучших зарубежных аналогов. Но эти задачи освоения Севера периода СССР касались несопоставимо более широкого класса территорий, объектов. Сейчас сужен и перечень задач, и территория, сжавшаяся до узкой полоски Арктики.

Как объект управления Арктика появилась только в 2014 г., когда соответствующим Указом Президента Российской Федерации четко обозначены ее сухопутные территории (Указ Президента РФ № 296 от 02.05.2014). В марте 2016 г. в Мурманске на выездном заседании президиума Госкомиссии по вопросам развития Арктики впервые сформулирован предложенный Минэкономразвития России принципиально новый подход к управлению Арктикой. И уже более определенно этот подход формулируется в очередном (июльском варианте) законопроекта «О развитии Арктической зоны Российской Федерации». Теперь Арктика будет управляться и развиваться единым макрообъектом как сеть опорных зон, формируемых в Арктических регионах.

Как член Проектного офиса по формированию Кольской опорной зоны автор обоснованно утверждает, что идет активный процесс формирования этих зон. Сейчас Минэкономразвития России уточняет перечень приоритетных для всей Арктики так называемых, «якорных» проектов и уточняет перечень проектов, значимых для пилотных опорных зон. При этом своевременно и грамотно налажена работа по выявлению, во-первых, дополнительных мер господдержки этих проектов, во-вторых, дополнительных потребностей в энергетической, транспортной и иной инфраструктуре.

Теперь о том, что кажется специфичным в формировании новых условий управления Арктикой. В первую очередь удивляет неожиданность появления нового подхода управления, что, скорее всего, объясняется условиями кризиса и санкций, актуализировавших реализацию крупных инвестиционных проектов, определяющих будущее Арктики.

Практически дословное повторение в выступлениях представителей органов власти и управления буквально двух предложений о сущности этого подхода говорит о том, что первоначально не было четкого представления о проектных зонах. Как можно управлять ими? Какие условия и законодательное обеспечение необходимы? Ни научного багажа, ни практики управления по опорным зонам нет. Можно было только догадываться, что, вероятно, опорные зоны — это некая совокупность кластеров или, возможно, регион, рассматриваемый как один кластер. При этом с прагматических позиций до сих пор неясно почему, например, совместно с «якорными» проектами не используется отработанный механизм территорий опережающего развития?

О неожиданности появления этого подхода говорит и сама история законопроекта «О развитии Арктической зоны Российской Федерации». История насыщенная. Автору точно неизвестно количество вариантов этого законопроекта, но на основе авторского участия в экспертных процедурах, можно отметить как минимум шесть вариантов. Специфика каждой версии пишется с нуля, игнорируя экспертный труд над предшествующими версиями. Вместе с тем, участие в Экономическом совете при губернаторе Мурманской обл. позволяет обоснованно сказать, что по каждой версии этого законопроекта согласование позиций ученых, предпринимателей, управления — процесс многотрудный. Например, такой многотрудный результат в виде очередного пакета предложений Правительства Мурманской обл. ушел в Минэкономразвития России в апреле, а уже в июле — вдруг принципиально новый законопроект с опорными зонами.

Во-вторых, поражает скорость формирования этих опорных зон, что говорит не только о хорошей организации, но и о том, что новый подход — это действительно будущее Арктики. Напомню, судя по косвенным признакам, первоначально четкого представления о сути подхода не было. Но уже в августе 2016 г. Правительством РФ разработаны Методические рекомендации по подготовке предложений по формированию «Опорных зон развития в Арктике». Опорных зон будет восемь. Предполагалось вначале создать два пилотных проекта — Кольскую и Северо-Якутскую опорные зоны. С позиций территориального развития выбор этих проектов объясняется созданием двух точек притяжения — в западной и восточной части Арктики. Впоследствии пилотным проектом стала формироваться и Архангельская зона.

Очевидно, что новые задачи развития Арктики как целостного проекта требуют научного сопровождения. И тут возникают новые научные задачи и проблемы, которые сводятся к двум основным.

Во-первых, принципиально меняется организация научного сопровождения.

Для того чтобы научные предложения действительно учитывались, необходимо наладить тесное взаимодействие с органами власти и управления. У Института экономических проблем налажена постоянная связь с органами власти и управления Мурманской обл., в том числе через представительство в различного рода организациях и объединениях. Это, конечно, во многом, заслуга губернатора Ковтун Марины Васильевны, министерств и ведомств региона. Заслуга — потому что взгляд управления и науки на ход социально-экономического развития разный, нередко — очень разный. Научные сотрудники, как правило, занимают активную позицию на заседаниях, их теоретическая подготовка и изначально критический подход позволяют увидеть противоречия в каких-либо вопросах, незаметные в настоящем, но накапливающиеся в будущем. Конечно, это создает определенную «рабочую» атмосферу. При этом с позиций управления очевидно, что предложения науки могут быть полезными или бесполезными, но беспокойство то создается постоянно. Поэтому отладка взаимодействия науки и управления — это важная и, вместе с тем, труднейшая задача.

Еще одна особенность организации научного сопровождения: неспешная экспертная работа сейчас неприемлема. Вспомним, еще пару лет назад заблаговременно приходил запрос на экспертизу, например, по законопроекту, затем задание рассылалось профильным сотрудникам, затем обобщались полученные результаты, отсылались в соответствующие министерства и ведомства, как в черную дыру. Министерство ставило галочку о согласовании с наукой, наука ставила галочку, что отправила экспертизу, то есть процесс занимал 3–4 недели без какого-либо реального эффекта в практике управления.

Сейчас — ситуация иная, отладка реального взаимодействия с управлением, сжимает срок научных работ нередко до 2–3 дней. Приведем поясняющий пример из экспертизы все того же основного законопроекта «О развитии Арктической зоны Российской Федерации». В соответствии с поручением Правительства, Минэкономразвития России в июле 2016 г. направляет проект на согласование в Институт экономических проблем и предлагает в 10-дневный срок направить обоснованные предложения. Но для того чтобы предложения были учтены, в реальности их необходимо «вписать» в предложения Правительства Мурманской обл. Это занимает время. Поэтому срок предложений от нашего Института сжимается до 2 дней. Еще через два дня — обсуждение с нашим участием на экономическом совете при губернаторе Мурманской обл., в ночь перед которым рассылаются сгруппированные предложения всех участников обсуждения. На совете позиции не только согласовываются, но и принимается решение о создании нового рабочего органа — Проектного офиса по формированию Кольской опорной зоны. И через три дня Мурманская обл. направляет уже согласованный вариант законопроекта в Минэкономразвития России, включающий и предложения нашего Института.

Вторая проблема связана с содержанием теоретических ориентиров развития и управления Арктики, к которым можно предъявить много справедливых претензий [2, 3, 10, 13]. Парадоксы современной теории управления Севером и Арктикой: часть позиций базируется на опыте и возможностях плановой экономики, часть — на основах управления северными территориями развитых стран.

Каждую из этих позиций полностью применить в политике и управленческой практике — невозможно. Так, совершенно очевидно, что требовать от современного управления решения задач развития Арктики, сопоставимых с масштабом и уровнем периода СССР, невозможно. Здесь проигрывает не управление, а проигрывает общественная формация. Социалистическая формация изначально сложнее, изначально сложнее ее экономика, способная концентрировать и управлять ресурсами теперь невиданной мощи [10, с. 64–69]. Что касается зарубежного опыта управления Севером и Арктикой, то его возможности в решении задач российской Арктики вызывают скепсис. Во-первых, зарубежный уровень задач управления и доля северных территорий в экономике приполярных стран несопоставимо ниже, чем в российской действительности [1, с. 19; 14]. И в таких условиях изучение и попытка перенесения зарубежной теории и практики на российскую землю напоминает изучение управлением планером с тем, чтобы с этими навыками управлять самолетом.

Следует подчеркнуть, что заслугой тех, кто профессионально занимается Арктикой, можно считать готовность к плодотворному обсуждению конкретных теоретико-методологических задач и методических возможностей исследования экономики Арктики. Одним из значимых результатов такой научной дискуссии 2016 г. на площадке Института экономических проблем в рамках большой традиционной конференции «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения» является монографическая работа*, выполненная учеными и из северных, и из центральных институтов и вошедшая в число важнейших достижений РАН в 2016 г. Еще один результат 2017 г. работы ИЭП КНЦ РАН — подготовленный под научной редакцией В. С. Селина, Т. П. Скуфьиной и Е. П. Башмаковой научно-аналитический доклад «Вызовы и угрозы национальной безопасности в Российской Арктике», вобравший в себя основные представления о проблематике национальной безопасности в Арктике. Такой доклад по совету Отделения общественных наук РАН планируем делать ежегодно.

Публикация выполнена при поддержке гранта РФФИ отделения общественных и гуманитарных наук и Правительства Мурманской области № 17-12-51002 «Мурманская область: сравнительные позиции, ограничения и возможности позиционирования как опорного региона Арктической зоны Российской Федерации».

* Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы: науч.-аналит. докл. / под науч. ред. В. С. Селина, Т. П. Скуфьиной, Е. П. Башмаковой, Е. Е. Торопушиной. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 420 с.

Литература
1. Баранов С. В. Анализ и моделирование развития региональных систем (на примере зоны Севера): монография. Воронеж: ВГУ, 2005. 147 с.
2. Баранов С. В. Комплексные оценки регионов Севера по уровню социально-экономического развития // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 429.
3. Баранов С. В. Организационные возможности и ограничения реализации долгосрочных целей и задач социально-экономического развития региона (на примере Мурманской области) // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2009. Т. 1, № 22. С. 38–41.
4. Баранов С. В. Этапы регулирования регионального развития в России // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2011. № 6 (18). С. 34–45.
5. Зерщикова Н. И. Север и Арктика: проблемы и решения // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2016. Т. 50, № 3. С. 96–105.
6. Зерщикова Н. И. Современное социально-экономическое состояние Арктической зоны Российской федерации как основа обеспечения безопасности страны // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2014. Т. 1, № 38. С. 21–26.
7. Самарина В. П. Социально-экономические факторы размещения населения зоны Севера // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2007. Т. 2, № 18. С. 150–160.
8. Скуфьина Т. П. Альтернативы развития российского Севера // Региональная экономика: теория и практика. 2011. № 4. С.2–10.
9. Скуфьина Т. П., Баранов С. В., Самарина В. П. Эконометрическая оценка развития межрегиональной дифференциации в России и прогноз влияния ВТО на динамику процесса: монография. Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 150 с.
10. Скуфьина Т. П. Нормативно-правовое регулирование развития российского Севера и Арктики // Фундаментальные исследования. 2016. № 9/2. С. 424–428.
11. Скуфьина Т. П. Региональное развитие России в контексте макроэкономических движений: монография. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 126 с.
12. Терешина М. В., Самарина В. П. Анализ проблем развития зоны Севера в контексте типологизации регионов // Современная экономика: проблемы и решения. 2013. № 11. С. 79–90.
13. Problems of Russia's Arctic Development in the Context of Optimization of the Mineral Raw Materials Complex Use / T. P Skufina et al. // Eurasian Mining. 2015. No. 2. P.18–21.

Е. Н. Степанова
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, stepanova@iep.kolasc.net.ru

КОРПОРАТИВНАЯ СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ КРУПНЫХ НЕФТЯНЫХ КОМПАНИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ЦЕН НА НЕФТЬ

Сегодня одним из элементов стратегий устойчивого развития крупного бизнеса является корпоративная социальная ответственность (КСО). Нефтяная отрасль, как одна из самых масштабных и доходных отраслей РФ, имеет достаточный опыт в области КСО. Мероприятия в этой сфере осуществляются преимущественно через социальные и экологические инвестиции во внутреннюю и внешнюю среду компаний, что подтверждается нефинансовыми отчетами. Однако в условиях нестабильной макроэкономической ситуации и ценового нефтяного кризиса, длящегося уже более двух лет, появляются опасения по поводу надежности экономической составляющей устойчивого развития нефтяной отрасли, что, в свою очередь, может повлиять на экологические и социальные составляющие. Лидерами нефтяной отрасли в российском и мировом масштабе являются такие нефтяные компании, как ПАО «НК «Роснефть», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «Газпром нефть» и др. Производственные площадки данных публичных акционерных обществ функционируют в арктических регионах РФ.

Для Арктики характерна сырьевая экономика, следовательно, сырьевой бизнес для социально-экономического развития этого региона играет определяющую роль. Значение его корпоративной социальной ответственности здесь усиливается еще и в силу ряда других специфических особенностей арктической территории РФ, прежде всего, это преобладание моногородов, инфраструктурная неразвитость, крайне сложные природные условия, экологическая уязвимость, примыкание промышленных зон к местам проживания коренных малочисленных народов Севера и пр.

Крупный арктический бизнес одним из первых в масштабе страны стал придерживаться принципов корпоративной социальной ответственности и осуществлять свою деятельность в соответствии с международными стандартами по устойчивому развитию по трем группам показателей: экономика, экологическая политика и социальная политика. В экономическом плане значение нефтяного бизнеса неоспоримо, помимо налогов в государственные и местные бюджеты, зарплаты, рабочих мест, нефтяная отрасль из-за сложности извлечения ресурсов (месторождения морского шельфа) вкладывает огромные

средства в научно-исследовательскую деятельность, технические и инженерные разработки, тем самым способствует модернизации отрасли, промышленности, науки, инфраструктуры, социальных и государственных институтов.

Стратегические направления социальной политики в большинстве крупных нефтяных компаний осуществляются посредством таких документов, как «Социальный кодекс», «Социальная программа» и т. п. Свою социальную деятельность компании осуществляют преимущественно через социальные инвестиции, а также спонсорство и благотворительность. К социальным инвестициям относятся: экономические соглашения с региональной и местной властью, соглашения с коренными малочисленными народами Севера, региональные и федеральные корпоративные программы, развитие инфраструктуры и материально-технической базы образовательных учреждений, учреждений спорта и здравоохранения.

Экологическая политика для нефтяных арктических компаний является одним из приоритетов стратегии устойчивого развития. Практически все сырьевые компании, действующие на арктических территориях, разрабатывают специальную экологическую политику, в которой уделяется существенное внимание охране окружающей среды, рационализации использования всех видов ресурсов, сокращению вредных выбросов, проведению различных экологических акций и т. д.

ПАО «НК «Роснефть» является лидером российской нефтяной отрасли и крупнейшей компанией по объему запасов и добычи нефти в мире. Одним их важных показателей в области устойчивого развития компании является ее выручка от реализации и доход от ассоциированных и совместных предприятий, данный показатель у компании до 2014 г. имел положительную динамику и незначительно снизился к 2015 г. В целом по ключевым показателям и заявлениям руководства компании (председателя совета директоров А. Белоусова, председателя правления И. Сечина [10]), несмотря на нестабильные макроэкономические и социально-политические условия в мире, финансовое положение компании достаточно устойчивое. Ежегодные «расходы на социальные программы, включая инвестиции в социальную сферу регионов и благотворительность» с 2011 по 2015 гг. (расходы включают создание оптимальных условий труда, реализацию соглашений о партнерстве с регионами, благотворительность и другие социальные расходы) не снижались [6–8]. Сводную информацию о социальных, природоохранных аспектах своей деятельности, о взаимодействии с органами власти и другими заинтересованными сторонами «НК «Роснефть» отражает ежегодно с 2006 г. в отчетах об устойчивом развитии (ОУР).

По словам президента, председателя правления крупнейшей международной вертикально интегрированной нефтегазовой компании ПАО «ЛУКОЙЛ» В. Ю. Алекперова, несмотря на продолжающийся спад цен на углеводороды, «ЛУКОЙЛ» выполняет свои производственные задачи согласно планам, бюджету и инвестиционной программе [1]. Один из основных ее финансовых показателей — выручка от реализации (включая акцизы и экспортные пошлины) имеет положительную динамику [2]. В своей деятельности компания руководствуется принципами устойчивого развития и старается достичь равновесия между социально-экономическим и природно-экологическим развитием. Ряд обязательств по социально ответственному поведению в компании закреплен в Социальном кодексе компании «ЛУКОЙЛ» [9]. Принципы и нормы, заложенные в кодексе, обязательны для всех структур группы. Отчеты в области устойчивого развития «ЛУКОЙЛ» выпускаются один раз в два года (первый отчет опубликован в 2004 г. за 2003–2004 гг.). Такой финансовый показатель компании, как «затраты на охрану окружающей среды», имеет выраженную положительную динамику с 2012 г. [4], не сокращались расходы на охрану труда и затраты на реализацию социальных программ для работников российских организаций компании, членов их семей и неработающих пенсионеров [3, 4]. Однако показатель «инвестиции в сообщество», который включает в себя расходы на благотворительность и спонсорство, а также затраты российских организаций группы «ЛУКОЙЛ» на содержание социальной инфраструктуры (стоящей на балансе по договорам целевого финансирования) в целях предоставления социальных услуг работникам и пенсионерам, снижается [3, 4], стоит отметить, что оно продолжается с 2010 г., т. е. еще до серьезных снижений цен на нефть.

Такая крупная нефтяная компания, играющая важную роль в энергетическом секторе РФ, как ПАО «Газпром нефть», также справляется с вызовами макроэкономической среды, демонстрирует рост производства и устойчивость экономических показателей, например, «выручка от реализации у компании» имеет устойчивую положительную динамику за последние пять лет (в 2011 г. — 1030 млрд руб., в 2015 г. — 1468 млрд руб.) [5, 11]. Один из главных принципов ведения бизнеса ПАО «Газпром нефть» — сохранение окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Расходы на обеспечение экологической безопасности и охрану окружающей среды, достигнув максимума в 2013 г., последующие два года с незначительными отклонениями остаются на стабильном уровне [5]. Реализация социальной региональной политики ПАО «Газпром нефть» осуществляется через социально-экономические соглашения с органами региональной, муниципальной власти и комплексную программу социальных инвестиций «Родные города». Данная программа включает все целевые проекты социальных инвестиций, адресную благотворительность, волонтерство и др. Социальные инвестиции компании имели положительную стабильную динамику до 2014 г., затем произошло некоторое некритичное снижение до уровня 2013 г. [5, 11].

В целом по вышерассмотренным компаниям стоит отметить некоторое снижение социальных инвестиций, которое не является существенным и характерно не для всех предприятий.

Корпоративная социальная ответственность, по многим определениям, — это добровольный вклад бизнеса в развитие общества, выходящий за рамки определенного законом минимума, однако пределы самой области КСО не прописаны, но, безусловно, они существуют и обусловлены рядом факторов, прежде всего экономическим положением компании. Сложившиеся непростые макроэкономические условия ощутимо не отразились на финансовых и производственных показателях крупных нефтяных компаний России, что позволило выполнить экологические и социальные мероприятия в рамках КСО. Но при продолжении неблагоприятной ситуации с ценами на нефть сегодняшние рамки КСО нефтяные компании будут сужать. Бизнес будет вынужден оптимизировать свою социальную ответственность, развивать новые более продуманные и экономные подходы к реализации ее социальной, экономической и экологической составляющих.

Литература

1. Годовой отчет ПАО «ЛУКОЙЛ» 2015. Всегда в движении // ЛУКОЙЛ: офиц. сайт. 2015. URL: http://www.lukoil.ru/materials/doc/annual_report_2015/LUKOIL_AR_2015_RUS.pdf (дата обращения: 25.09.2016).
2. Консолидированная финансовая отчетность 2012, 2014, 2015 гг. // ЛУКОЙЛ: офиц. сайт]. URL: http://www.lukoil.ru/new/finreports/2015 (дата обращения: 25.09.2016).
3. Отчет о деятельности в области устойчивого развития на территории Российской Федерации в 2011–2012 гг. // ЛУКОЙЛ: офиц. сайт. 2013. С. 38. URL: http://www.lukoil.ru/materials/doc/social/2013/Lukoil_OD_rus.pdf (дата обращения: 26.09.2016).
4. Отчет о деятельности в области устойчивого развития на территории Российской Федерации в 2013–2014 гг. // ЛУКОЙЛ: офиц. сайт. С. 4. URL: http://www.lukoil.ru/materials/doc/social/2013/Book_SO_rus_s.pdf (дата обращения: 26.09.2016).
5. Отчет об устойчивом развитии 2015 // Газпром нефть: офиц. сайт. 2015. С. 13. URL: http://media.rspp.ru/document/1/2/c/2c2bbcbf6afc9139b5b61c401eee67a7.pdf (дата обращения: 22.11.2016).
6. Отчеты об устойчивом развитии. Отчет в области устойчивого развития 2013 // Роснефть: офиц. сайт. 2013. С. 11. URL: https://www.rosneft.ru/Development/reports/ (дата обращения: 27.09.2016).
7. Отчеты об устойчивом развитии. Отчет в области устойчивого развития 2014 // Роснефть: офиц. сайт. 2014. С. 9. URL: https://www.rosneft.ru/Development/reports/ (дата обращения: 27.09.2016).
8. Отчеты об устойчивом развитии. Отчет в области устойчивого развития 2015 // Роснефть: офиц. сайт. 2016. С. 8. URL: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/RN_SR2016_rus_20160929.pdf (дата обращения: 13.03.2017).
9. Социальный кодекс ОАО «ЛУКОЙЛ» // ЛУКОЙЛ: офиц. сайт. URL: http://www.lukoil.ru/static_6_5id_262_.html (дата обращения: 25.09.2016).
10. Стабильность, технологии, развитие. Годовой отчет 2015 // Роснефть: офиц. сайт. 2015. URL: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/a_report_2015.pdf (дата обращения: 03.10.2016).
11. Стремишься к большему. Отчет об устойчивом развитии // Газпром нефть: офиц. сайт. 2013. С. 20. URL: http://media.rspp.ru/document/1/2/7/27163aab1869d0d578f9848617d356f6.pdf (дата обращения: 20.11.2016).

М. А. Тараканов

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, tarakanov@iep.kolasc.net.ru

ПРОДУКТОПРОВОД «ЯМАЛ-ПОВОЛЖЬЕ» КАК АРКТИЧЕСКИЙ МЕГАПРОЕКТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

На сайте Госкомиссии по Арктике в 2016 г. был опубликован инициированный ведомствами «Перечень проектов, реализуемых (предлагаемых к реализации) на территории Арктической зоны Российской Федерации» (далее — Перечень). В связи с этим представляется актуальным рассмотреть обстоятельства возникновения и тернистый путь формирования способов реализации инвестиционных проектов, не включенных в этот Перечень, но имеющих такую перспективу, учитывая активную позицию региональных властей по продвижению таких проектов.

Рассмотрение этого вопроса относительно проекта «Печора СПГ» подробно изложено автором в научно-аналитическом докладе «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы» [8].

В настоящей статье рассматривается оставшийся вне этого Перечня инвестиционный проект строительства продуктопровода «Ямал —Поволжье», инициированный региональными властями в условиях спора недропользователей за сырьевые ресурсы в отечественной нефтехимии [1].

В период с 1985 по 1989 гг. в ходе эксплуатации продуктопровода, появившегося в результате перепрофилирования нефтепровода «Западная Сибирь — Урал — Поволжье», строящегося согласно постановлению СМ СССР от 19 января 1981 г., произошло 50 крупных аварий и отказов. В 1989 г. после трагической аварии на этом продуктопроводе под г. Ашой, в результате которой погибло более 100 человек,

участок продуктопровода от г. Тобольска до Поволжья был ликвидирован, что крайне усложнило поставки сырья заводам-потребителям, расположенным в Урало-Поволжье.

Первую попытку восстановить поставки сырья пыталось РАО «Газпром», которое в 1994 г. утвердило техническое задание на разработку ТЭО инвестиций. По этому заданию в 1995–1996 гг. «Укргазпроект», как генпроектировщик, совместно с рядом профильных институтов выполнил ТЭО строительства магистрального продуктопровода для транспортировки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) из районов производства в Западной Сибири в район потребления — Урало-Поволжье. Однако реализация проекта не была осуществлена из-за крайне тяжелой финансовой ситуации в России.

В мае 2011 г. на всероссийском экономическом форуме «Большая Химия» в Уфе был одобрен проект продуктопровода «Западная Сибирь — Урал — Поволжье», предложенный президентами Татарстана и Башкортостана. В мае 2012 г. в результате проведенных совместных межрегиональных переговоров о перспективах сотрудничества между Ямало-Ненецким автономным округом, республиками Башкортостан и Татарстан в Уфе был подписан протокол о намерениях по строительству магистрального продуктопровода широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) «Западная Сибирь — Урал — Поволжье», в котором были закреплены достигнутые договоренности в отношении согласования принципов, гарантий и условий строительства объектов транспортировки ШФЛУ и газового конденсата, производимых нефтегазодобывающими компаниями на территории ЯНАО, на предприятия Волжского нефтегазохимического кластера. С позиций нынешних глобальных процессов оценка губернатора Ямала Д. Кобылкина этого протокола оказалась дальновидной: «При всей важности экспорта необходимо обеспечивать и внутренние потребности для создания экономической безопасности» [5].

В январе 2013 г. для реализации проекта была создана производственно-коммерческая структура ОАО «Ямал — Поволжье» (учредители: некоммерческая организация «Региональный инновационно-инвестиционный фонд "Ямал"» (33,3 %), ОАО «Региональный фонд» (33,3 % акций) и ОАО «Нижнекамскнефтехим» (33,4 %)), которая предприняла новую попытку восстановить поставки сырья по этому маршруту.

При более детальном рассмотрении идеи реализации этого проекта все оказалось не таким очевидным, как это представлялось вначале. Использование прежнего маршрута для прокладки нового продуктопровода оказалось невозможным, а представление об избытке такого сырья оказалось иллюзией.

По словам генерального директора компании «Ямал — Поволжье» К. Хлуднева, они потратили полгода, чтобы разобраться в этой ситуации, перепроверить балансы у переработчиков попутного нефтяного газа и компаний, осуществляющих газофракционирование и переработку конденсата. Оказалось, что никаких «свободных» объемов легкого нефтехимического сырья в Западной Сибири нет, по крайней мере в объемах, достаточных для загрузки продуктопровода [9].

Чтобы перспективные запасы «жирного газа» Надым-Пур-Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа, оцененные НАО «СибНАЦ», стали реальным сырьем для нефтехимии, проекту продуктопровода требуется газопереработка: этот газ в отличие от сухого требует тщательной подготовки перед транспортировкой — отделения этан-пропан-бутановых фракций, для чего нужно строить газоперерабатывающие мощности, способные выделять из «жирного газа» этан и ШФЛУ.

Технико-экономическое обоснование инвестиций строительства продуктопровода по заказу ОАО «Ямал — Поволжье» выполнило ОАО «Гипрогазцентр».

Локализация новых ГПЗ увязана с перспективами проекта «ТрансВалГаз», который будет забирать весь «жирный» газ из района Уренгоя. Поэтому генерация требуемых продуктопроводу «Ямал — Поволжье» объемов легкого углеводородного сырья (ЛУВС) приводит к удорожанию проекта из-за изменения конфигурация проекта: необходимо будет строить четыре новые отдельные ГПЗ, тяготеющие к более отдаленным месторождениям — Ямбургскому, Восточно-Уренгойскому, Уренгойскому и Заполярному, и создавать локальные продуктопроводы от этих ГПЗ к головной насосной станции продуктопровода в районе города Уренгой.

Что касается трассы продуктопровода, то изначально предполагалось воспользоваться коридором исторического продуктопровода по маршруту через Тобольск и Уфу. Однако за прошедшие десятилетия вокруг старого коридора возникли населенные пункты, что фактически сделало невозможным его использование. В текущей концепции рассматривается новый маршрут (рис. 1) от головной станции до конечной точке в районе Нижнекамска, проходящий по территории ЯНАО, западной части ХМАО, северу Свердловской обл., Пермского края, Башкирии и Татарстана на минимально допустимом расстоянии от коридора действующих газопроводов «Газпрома». Общая протяженность от головной станции в районе Уренгоя до конечной точки в районе Нижнекамска — 2186 км, из которых около 1500 км пролегают по малонаселенным регионам.

Весь проект подразделяется на три подпроекта:

1. Подпроект недропользователей, связанный с генерацией объема ЛУВС.

2. Собственно магистральная часть продуктопровода и площадочные объекты.

3. Подпроект потребителей нефтехимического сырья, включающий завод по разделению углеводородной смеси (ЗРУС) и продуктопроводы-отводы.

В самой дорогой конфигурации с 4 отдельными ГПЗ суммарная величина инвестиций в подпроект головной части составляет 126 млрд руб., из которых 8 млрд руб. — создание локальных продуктопроводов от ГПЗ к ГНС. По подпроекту продуктопровода оценка капитальных затрат составляет 194 млрд руб. — в

линейную часть и 51 млрд руб. — в площадочные объекты. Стоимость строительства ЗРУС оценивается в 20 млрд руб., продуктопроводов-отводов — 40 млрд руб. Всего 431 млрд руб.

Относительно механизма привлечения инвестиций рассматривается следующая схема.

Головной подпроект, связанный с газопереработкой, планируется реализовать за счет средств инвестора, в качестве которого рассматриваются такие варианты, как одно ОАО «Ямал — Поволжье» или его совместное предприятие с недропользователями, или же самостоятельно недропользователи.

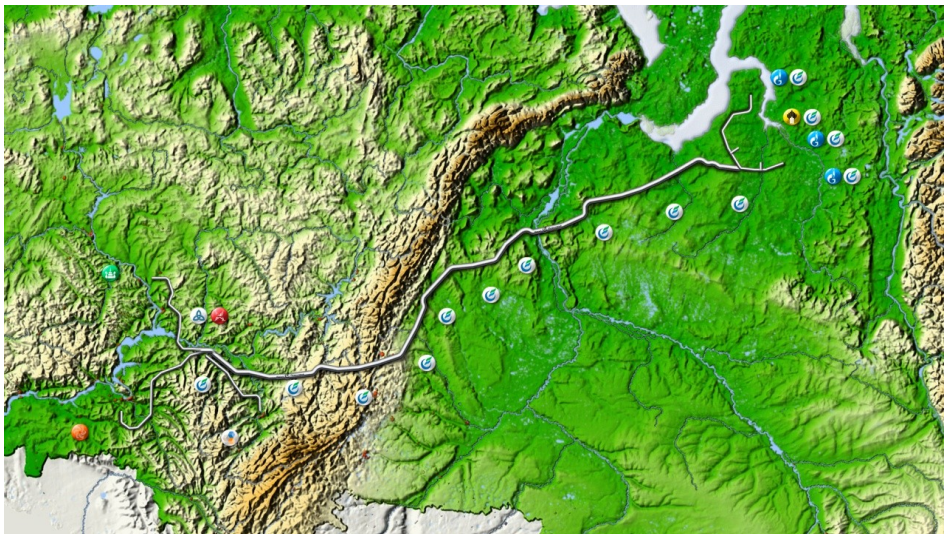


Рис. 1. Предполагаемая трасса продуктопровода «Ямал — Поволжье»
(из презентации проекта на сайте ОАО «Ямал — Поволжье»)

Аналогично с конечной инфраструктурой продуктопровода. Здесь строительство ЗРУС могло бы проинвестировать «Ямал — Поволжье» самостоятельно или в партнерстве с потребителями, а вот строительство продуктопроводов-отводов логичнее передать на счет заинтересованных нефтехимических компаний.

Наиболее дорогая часть всего проекта — подпроект магистральной части продуктопровода (почти 250 млрд руб.) должна стать эффективным вложением средств Фонда национального благосостояния.

Этот проект позволит в долгосрочной перспективе планировать развитие производства продукции более высоких переделов в плане импортозамещения полиолефиновой и других видов продукции. Социальный эффект за счет притока денежных средств в виде социальных отчислений, направляемых на улучшение пенсионного, социального, обязательного медицинского обслуживания населения составит 346,4 млрд. руб., а за счет повышения уровня занятости населения — 94,3 млрд руб.

С позиций академической науки актуальность строительства продуктопровода «Ямал — Поволжье» в 2015 г. была предметом статей научного руководителя Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, акад. А. Конторовича в журнале «Наука из первых рук» [3] и сотрудника Института проблем транспорта энергоресурсов Республики Башкортостан Ш. Рахматуллина в журнале «The Chemical Journal» [7].

Летом 2016 г. впервые с 2011 г. на уровне Правительства РФ был сделан первый шаг в положительной оценке этого проекта: подготовка предложений по этому проекту была включена Перечень приоритетных проектов Концепции создания территориально обособленного инновационно-производственного центра «ИнноКам» (утв. распоряжением Правительство РФ от 17.06.2016 г. № 1257-р).

По словам замминистра энергетики К. Молодцова, «де-факто этот проект технически и теоретически может стать таким же драйвером, как и в свое время БАМ, Транссиб и другие проекты» [6].

В связи с этим следует отметить, что в России показатель общей протяженности продуктопроводов ШФЛУ совершенно не соответствует масштабам страны и потребностям потребителей. В США она составляет 130 тыс. км, а России — 2 тыс. км. По проекту «Ямал-Поволжье» должны будут простроены продуктопроводы ШФЛУ общей протяженностью 3250 км, из них 2186 км — магистральный продуктопровод и более 1000 км продуктопроводов-отводов. Такая единичная протяженность продуктопровода является беспрецедентной для России и позволит организовать бесперебойные поставки сырья крупнейшим потребителями Приволжского федерального округа. Эффективность и безопасность таких решений подтверждается мировым опытом, в частности, в США и Канаде успешно эксплуатируются ШФЛУ и этанопроводы единичной протяженностью до 3 тыс. км [2].

Этот проект соответствует сформулированным Минэкономразвития во введении к опубликованному в мае 2016 г. Перечню требованиям относительно системного характера выделяемых приоритетных проектов:

их межотраслевая и экстерриториальная направленность;

в реализации проектов должны быть задействованы как федеральные и региональные органы государственной власти, так и крупные промышленные компании,

наличие фактора влияния проектов на развитие тяготеющих и неарктических территорий [4].

Таким образом, есть все основания для того, чтобы данный проект нашел свое достойное место в Перечне проектов Госкомиссии по Арктике в качестве такового, который оказывает весомое влияние как на развитие арктического субъекта, так и на развитие тяготеющих и неарктических территорий для создания экономической безопасности России.

Литература

1. Андрианов В. Труба Ямал-Поволжье: корпоративный интерес против республиканского // Нефтегазовая Вертикаль. 2013. № 13/14. С. 94–98.
2. Годовой отчет ОАО «Ямал-Поволжье» за 2014 г. URL: https://globalstat.ru/event/3_1825879
3. Конторович А. Нефть и газ российской Арктики: история освоения в XX веке, ресурсы, стратегия на XXI век // Наука из первых рук. 2015. № 1 (61). С. 46–65.
4. О перечне приоритетных проектов, реализуемых на территории Арктической зоны Российской Федерации / Госкомиссия по Арктике: офиц. сайт. URL: http://www.arctic.gov.ru/FilePreview/9053275b-7821-e611-80cc-e672fe4e8e4e?nodeId=4370391e-a84c-e511-825f-10604b797c23 (дата обращения: 09.03.2017).
5. Подписание протокола о намерениях // ОАО «Ямал-Поволжье»: офиц. сайт. 2012. 17 мая. URL: http://xn----7sbhme1acdvbi5n2a.xn--p1ai/press-centre/?ELEMENT_ID=8 (дата обращения: 09.03.2017).
6. Продуктопровод «Ямал-Поволжье» может быть построен на деньги инвесторов — Молодцов // Нефть России. 2016. URL: http://www.oilru.com/news/517252/ (дата обращения: 09.03.2017).
7. Рахматуллин Ш. Этиленовый провал: исполнилось пять лет рассуждениям о продуктопроводе «Западная Сибирь — Урал — Поволжье // The Chemical Journal. 2015. Апрель. С. 24–30.
8. Тараканов М. А. Новые мегапроекты как фактор развития морских грузоперевозок в Артике // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. С. 220–231.
9. Хлуднев К. «Проект «Ямал-Поволжье» нужно реализовать сейчас» // Нефтехимия Российской Федерации. 2015. № 1 (27). С. 6–11.

В. П. Тоичкина

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, popova@iep.kolasc.net.ru

ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ

Формирование постоянного населения, проживающего в Арктической зоне Российской Федерации, — основа стратегического развития и обеспечения национальной безопасности как России в целом, так и Арктики.

В сухопутные территории Арктической зоны РФ (АЗРФ) полностью входят территории субъектов РФ: Мурманской обл., Ненецкого, Чукотского, Ямало-Ненецкого автономных округов.

Частично входят городские округа и муниципальные районы четырех субъектов РФ:

- Республика Коми — городской округ город Воркута;
- Республика Саха (Якутия) — муниципальные районы (МО): Аллаиховский, Анабарский национальный (Долгано-Эвенкийский), Булунский, Нижнеколымский, Усть-Янский;
- Красноярский край — городской округ город Норильск — и МО: Таймырский Долгано-Ненецкий и Туруханский;
- Архангельская обл. — городские округа: Архангельск, Новая Земля, Новодвинск, Северодвинск — и МО: Мезенский, Онежский, Приморский.

Численность населения, проживающего в АЗРФ, на 1 января 2015 г. составляла 2391,6 тыс. чел. (1,6 % всего населения РФ), в том числе городское — 2135,3 тыс. чел. (89,3 %) и сельское — 256,3 тыс. чел. (10,7 %) (табл. 1).

В арктических регионах, которые территориально полностью входят в АЗРФ, на 1 января 2015 г. проживало 1400,2 тыс. чел., в т. ч. городское — 1227,8 тыс. чел., сельское — 172,4 тыс. чел., соответственно 58,5 % всего, 57,5 % городского и 67,3 % сельского населения, АЗРФ. Значительная часть всего (32,0 %) и городского (33,2 %) населения Арктики проживает в Мурманской обл., сельского (34,1 %) в Ямало-Ненецком АО.

В арктических городских округах и муниципальных образованиях регионов, которые территориально частично входят в АЗРФ, на 1 января 2015 г. проживало 991,4 тыс. чел., в т. ч. городское — 907,6 тыс. чел., сельское — 83,8 тыс. чел., соответственно 41,5 % всего, 42,5 % городского и 32,7 % сельского населения АЗРФ. В арктических городских округах и муниципальных образованиях республик Коми и Саха (Якутия), Красноярского края и Архангельской обл. без Ненецкого АО соответственно проживало 9,6, 2,7, 7,9 и 57,5% всего населения проживающего в этих регионах.

Население в целом АЗРФ, регионов полностью и частично отнесенных к АЗРФ характеризуется повышенной долей городского населения (соответственно 89,3, 87,7 и 91,5 %) по сравнению со среднероссийским (74,0 %) уровнем. В Ненецком АО (71,8 %), Чукотском АО (68,3 %) и в арктических муниципальных районах Республики Саха (50,4 %) доля городского населения ниже среднероссийского уровня (табл. 1).

Таблица 1

Численности населения сухопутных территорий Арктической зоны РФ [2]

Регион АЗРФ	Численность населения, на 1.01.2015 г. (тыс. чел.)			Доля в численности населения,%				
	всего	в том числе		в населении региона/округа/МО		в населении АЗРФ		
		городское	сельское	городское	сельское	всего	городское	сельское
Арктическая зона РФ	2391,6	2135,3	256,3	89,3	10,7	100,0	100,0	100,0
Всего в арктических регионах	1400,2	1227,8	172,4	87,7	12,3	58,5	57,5	67,3
В том числе: Мурманская обл.	766,3	709,6	56,7	92,6	7,4	32,0	33,2	22,1
Ненецкий АО	43,4	31,1	12,3	71,7	28,3	1,8	1,5	4,8
Чукотский АО	50,5	34,5	16,0	68,3	31,7	2,1	1,6	6,3
Ямало-Ненецкий АО	540,0	452,6	87,4	83,8	16,2	22,6	21,2	34,1
Городские округа и МО АЗРФ	991,4	907,6	83,8	91,5	8,5	41,5	42,5	32,7
Республика Коми	82,9	82,5	0,4	99,4	0,6	3,5	3,9	0,2
Республика Саха (Якутия)	26,2	13,2	13,0	50,4	49,6	1,1	0,6	5,0
Красноярский край	227,2	204,9	22,3	90,2	9,8	9,5	9,6	8,7
Архангельская обл. без Ненецкого АО	655,1	607,0	48,1	92,7	7,3	27,4	28,4	18,8

Распределение населения в целом АЗРФ, регионов полностью и частично отнесенных к АЗРФ по полу характеризуется повышенной долей мужского населения (соответственно: 48,1, 48,9, 46,9 %) по сравнению с среднероссийским (46,3 %) уровнем. В Чукотском АО и Ямало-Ненецком АО доля мужского населения более 50,0 %, 51,0 и 50,1 % соответственно Только в арктических городских округах и муниципальных районах Архангельской обл. доля мужского населения (45,7 %) ниже среднероссийского уровня (табл. 2).

Таблица 2

Распределение населения Арктической зоны РФ на 1 января 2015 г.
по полу и основным возрастным группам [1–3]

Регион АЗРФ	Доля в общей численности, %				
	мужчины	женщины	моложе трудоспособного	трудоспособный	старше трудоспособного
Российская Федерация	46,3	53,7	17,6	58,4	24,0
Арктическая зона РФ	48,1	51,9	19,5	63,0	17,5
Всего в арктических регионах	48,9	51,1	20,1	64,0	15,9
в том числе: Мурманская область	47,9	52,1	17,7	61,6	20,7
Ненецкий АО	48,7	51,3	24,0	59,6	16,4
Чукотский АО	51,0	49,0	22,6	64,9	12,5
Ямало-Ненецкий АО	50,1	49,9	23,1	67,6	9,3
Городские округа и МО АЗРФ [1]	46,9	53,1	18,6	61,5	19,9
Республика Коми	47,4	52,6	19,7	64,4	15,9
Республика Саха Якутия	49,9	50,1	26,5	59,0	14,5
Красноярский край	49,9	50,1	22,0	68,1	9,9
Архангельская обл. без Ненецкого АО	45,7	54,3	17,0	58,9	24,1

Распределение всего (городского и сельского) населения АЗРФ по основным возрастным группам (моложе трудоспособного, трудоспособного и старше трудоспособного возраста) характеризуется позитивно по сравнению со средней структурой РФ (табл. 2):

- доля возрастных групп моложе трудоспособного и трудоспособного возраста в общей численности населения в АЗРФ (19,5 и 63,0 %), регионах полностью (20,1 и 64,0 %) и частично отнесенных к АЗРФ (18,6 и 61,5 %) выше среднероссийского уровня (17,6 и 58,4 %). В арктических городских округах и муниципальных районах Архангельской обл. доля возрастной группы моложе трудоспособного (17,0 %) ниже среднероссийского уровня;

- соответственно доля возрастной группы старше трудоспособного возраста в общей численности населения в АЗРФ (17,5 %), регионах полностью (15,9 %) и частично отнесенных к АЗРФ (19,9 %) ниже среднероссийского (24,0 %) уровня. В арктических городских округах и МО Архангельской обл. доля возрастной группы старше трудоспособного возраста (24,1 %) выше среднероссийского уровня.

Сопоставление доли возрастных групп моложе и старше трудоспособного возраста (оба пола) населения РФ и Арктической зоны России показывает:

- в РФ доля возрастной группы старше трудоспособного возраста (24,0 %) превышает долю возрастной группы моложе трудоспособного возраста (17,6 %) в 1,4 раза;
- в целом в АЗРФ и регионах, полностью отнесенных к АЗРФ, превышение доли возрастной группы моложе трудоспособного (соответственно 19,5 и 20,1 %) над группой старше трудоспособного возраста (соответственно 17,5 и 15,9 %) составляет 1,1 и 1,3 раза;
- для большинства возрастных структур регионов, полностью отнесенных к Арктике, за исключением Мурманской обл. и регионов, частично отнесенных к Арктике, за исключением Архангельской обл., характерно превышение доли возрастной группы моложе трудоспособного над долей группы старше трудоспособного возраста;
- наиболее молодая возрастная структура в Ямало-Ненецком АО; превышение доли возрастной группы моложе трудоспособного (23,1 %) над соответствующей долей старше трудоспособного возраста (9,3 %) составляет 2,5 раза;
- наиболее старшая возрастная структура в арктических городских округах и МО Архангельской обл.; превышение доли возрастной группы старше трудоспособного (24,1 %) над возрастной группой моложе трудоспособного возраста (17,0) составляет 1,4 раза;

Позитивность возрастных структур Арктической зоны в полной мере проявляется в демографической нагрузке на трудоспособное население АЗРФ. Демографическая нагрузка на трудоспособное население в целом АЗРФ (589 чел.), регионов полностью (563 чел.) и частично отнесенных к Арктике (626 чел.), что ниже соответствующего среднероссийского уровня (713 чел.).

В РФ демографическая нагрузка возрастной группы старше трудоспособного возраста превышает демографическую нагрузку возрастной группы дети (0–15 лет) и составляет 57,8 %.

Для большинства возрастных структур регионов, полностью и частично отнесенных к Арктике, за исключением Мурманской и Архангельской областей, характерно положительное превышение демографической нагрузки возрастной группы дети (0–15 лет) над демографической нагрузкой населения старше трудоспособного возраста.

Численность трудоспособного населения, проживающего в АЗРФ, на 1 января 2015 г. составляла 1505,4 тыс. чел. (1,8 % всего трудоспособного населения РФ), в т. ч. городское — 1352,2 тыс. чел. (89,8 %) и сельское — 153,2 чел. (10,2 %).

В арктических регионах, которые территориально полностью входят в АЗРФ, на 1 января 2015 г. проживало 895,7 тыс. чел., в том числе городское — 789,2 тыс. чел., сельское — 106,5 тыс. чел., соответственно 59,5 % всего, 56,4 % городского и 69 % сельского трудоспособного населения, проживающего в АЗРФ. Значительная часть всего (31,3 %) и городского (32,2 %) трудоспособного населения Арктики проживает в Мурманской обл., сельского (34,8 %) в Ямало-Ненецком АО.

В арктических регионах, которые территориально частично входят в АЗРФ, на 1 января 2015 г. проживало 609,7 тыс. чел., в том числе городское — 563,0 тыс. чел., сельское — 46,7 тыс. чел., соответственно 40,5 % всего, 41,6 % городского и 30,5 % сельского трудоспособного населения, проживающего в АЗРФ (табл. 3).

Таблица 3

Распределение трудоспособного населения Арктической зоны РФ на 1 января 2015 г. по территории проживания город/село и полу [1–3]

Регион АЗРФ	Трудоспособное население, тыс. чел.	Доля в трудоспособном населении, %			
		городское	сельское	мужчины	женщины
Российская Федерация	85414,7	75,2	24,8	52,0	48,0
Арктическая зона РФ	1505,41	89,8	10,2	53,2	46,8
Всего в арктических регионах	895,66	88,1	11,9	54,0	46,0
В том числе: Мурманская обл.	471,79	92,2	7,8	54,6	45,4
Ненецкий АО	25,85	73,7	26,3	53,5	46,5
Чукотский АО	32,80	71,1	28,9	55,0	45,0
Ямало-Ненецкий АО	365,22	85,4	14,6	53,1	46,9
Городские округа и МО АЗРФ [1]	609,75	92,3	7,7	52,2	47,8
В том числе: Республика Коми	53,44	99,5	0,5	52,8	47,2
Республика Саха Якутия	15,46	51,7	48,3	54,0	46,0
Красноярский край	154,84	92,0	8,0	53,1	46,9
Архангельская обл. без Ненецкого АО	386,01	93,1	6,9	51,6	48,4

В арктических городских округах и муниципальных образованиях республик Коми и Саха (Якутия), Красноярского края и Архангельской обл. соответственно проживало 10,3, 2,7, 9,1 и 59,2 % всего трудоспособного населения этих регионов.

Распределение трудоспособного населения в целом АЗРФ, регионов полностью и частично отнесенных к АЗРФ по полу характеризуется повышенной долей мужского населения (соответственно: 53,2, 54,0, 52,2 %) по сравнению с среднероссийским (52,0 %) уровнем. Ниже среднероссийского уровня доля мужского населения (51,6 %) в арктических городских округах и муниципальных районах Архангельской обл. (табл. 3).

Демографическая характеристика Арктической зоны РФ показывает, что возрастные структуры постоянного населения в целом, в том числе большинства арктических регионов, остаются моложе по сравнению со средней структурой в РФ и позитивными для развития положительных изменений в постоянно обновляемых процессах воспроизводства населения и формирования трудового потенциала Арктики.

Литература

1. База данных показателей муниципальных образований / Федер. служба гос. статистики. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm.
2. Численность и миграция населения РФ в 2015 году / Федер. служба гос. статистики.URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140096034906.
3. Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту на 1 января 2015 года / Федер. служба гос. статистики. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b15_111/Main.htm.

М. В. Ульченко

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, ulchenko@iep.kolasc.net.ru

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ РЕГИОНОВ АЗРФ

Проект федерального закона «О развитии Арктической зоны Российской Федерации» в настоящее время находится в стадии согласования, и при определении границ АЗРФ необходимо руководствоваться указом Президента РФ № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны РФ» от 2 мая 2014 г. Согласно данному указу к арктическим территориям РФ отнесены [5]:

- территория всей Мурманской обл.;
- часть территории Архангельской обл. (муниципальные образования г. Архангельск, Новая Земля, Онежский муниципальный район, Мезенский муниципальный район, г. Новодвинск, Северодвинск, Приморский муниципальный район);
- Ненецкий автономный округ;
- Ямало-Ненецкий автономный округ;
- Чукотский автономный округ;
- Республика Коми (только муниципальное образование городского округа Воркута);
- часть территории Республики Саха (Якутия) — 5 улусов (Аллаиховский, Анабарский национальный, Булунский, Нижнеколымский и Усть-Янский);
- часть территории Красноярского края (городской округ города Норильска, Таймырский Долгано-Ненецкий муниципальный район, Туруханский район).

Поскольку под прибрежной зоной понимается территориально-акваториальная полоса пространства вдоль линии раздела двух различных глобальных объектов природопользования — Мирового океана и материковой части планеты, главной отличительной чертой прибрежного региона можно считать границу с морем [2].

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что в настоящее время выделяют 4 основных метода оценки уровня экономической безопасности территориальных систем [4, 6]:

1. *Рейтинговая оценка*. Расчет интегрального показателя на основании данных индикаторов, характеризующих финансовую, социально-демографическую, продовольственную, производственную, экологическую и научно-техническую сферы регионального развития. Данный метод разработан учеными Тамбовского технологического университета. Интегральный показатель определяется с использованием модификации метода наименьших квадратов (МНК):

$$R_j = \sqrt{\left(1 - x_{1j}\right)^2 + \left(1 - x_{1j}\right)^2 + \ldots + \left(1 - x_{nj}\right)^2} \ .$$

2. *Разработка системы показателей и их пороговых значений*. Метод основан на разработке системы показателей экономической безопасности и их пороговых значений. Показатели отражают изменения в той или иной сфере развития региона, а пороговые значения позволяют определить, когда экономика переходит в состояние, которое можно охарактеризовать как небезопасное. Главными приверженцами данного метода являются академики С. Ю. Глазьев и В. К. Сенчагов, каждым была разработана своя система показателей экономической безопасности [4, 6].

3. *Метод сравнительного анализа экономического положения регионов*. Сущность методики заключается в следующем:

- определение амплитуды колебания варьирующегося признака $A_{max} - A_{min}$;
- определение количества интервалов ранжирования m, причем $m = n - 1$, где n — количество ранжируемых объектов;
- определение «веса» одного интервала: $C = (A_{max} - A_{min})/m$;
- определение значения показателя R каждого региона: $R_n = (A_{max} - A_n)/C + 1$.

Итоговое значение показателей регионов и базовых объектов сопоставления СБ (сумма баллов) с учетом составляющих будет равняться:

$$СБ = R_1 + R_2 + \ldots + R_n;$$

где R_1, R_2, R_3, … R_n — индикаторы экономической безопасности, определяемые экспертным методом. Сумма индикаторных рангов дает агрегированный показатель экономического положения регионов [1, 4].

4. *Методы прикладной математики*. Отличительной особенностью метода является то, что экономическая безопасность региона определяется как оценка предотвращенного ущерба, для чего выполняется оценка вероятности наступления отдельных негативных событий и рассчитывается размер вероятного ущерба. Метод оценки уровня экономической безопасности с помощью многомерного статистического анализа, разработанный учеными Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева, не получил широкого применения [3, 4].

Необходимо отметить, что для проведения сравнительного анализа уровня экономической безопасности регионов подходят два метода —метод анализа экономического положения субъектов и метод рейтинговой оценки. Метод с использованием показателей экономической безопасности и их пороговых значений является наиболее эффективным, если речь идет о получении необходимой информации для принятия объективных управленческих решений органами власти различных уровней.

Сущность экономической безопасности реализуется в системе критериев и показателей, однако важны не только сами показатели, но и их пороговые значения, сигнализирующие об угрозах. Тем не менее, необходимо понимать, что выбор показателей — вопрос дискуссионный, именно от выбранного круга показателей во многом зависит конечный результат проводимой оценки уровня экономической безопасности. Так как каждый регион имеет свои специфические особенности в развитии, то и круг показателей должен учитывать данную специфику. Так для прибрежных арктических регионов характерны:

- суровые природно-климатические условия жизни и хозяйствования;
- критическая зависимость от ввоза важнейших видов продукции первой необходимости;
- особое геополитическое и военно-стратегическое положение;
- огромный природно-ресурсный потенциал;
- преобладание морехозяйственной деятельности (рыболовство, рыбоводство, развитие портов и морских перевозок);
- промышленная деятельность, связанная с судостроением и обороноспособностью;
- транспортировка грузов;
- развитие морского туризма и др.

Необходимо отметить, что в настоящее время, существует система показателей экономической безопасности, предназначенная для использования на федеральном уровне. Однако, согласно Стратегии национальной безопасности РФ до 2020 года, каждый регион вправе осуществлять разработку системы показателей и их пороговых значений самостоятельно, эти показатели должны корреспондировать с соответствующим составом показателей и параметров в части, касающейся экономики и национальных интересов России в целом.

Таким образом, система показателей экономической безопасности прибрежных арктических регионов должна с одной стороны корреспондировать с соответствующим составом показателей и параметров, используемых на федеральном уровне, с другой стороны охватывать все стороны жизнедеятельности регионов, и учитывать арктическую и морскую специфику в их развитии.

Литература

1. Вербиненко Е. А., Бадылевич Р. В. Методологические и практические аспекты оценки межбюджетных отношений на региональном уровне (на примере Мурманской области) // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2015. № 4(47). С. 45–54.
2. Карлин Л. Н., Плинк Н. Л. Развитие комплексного подхода к управлению морской деятельностью Российской Федерации. URL: http://www.morskayakollegiya.ru/konf2007/konf2007_dok/7/ (дата обращения 07.03.2017).
3. Кондратович Д. Л. Социальное восприятие реалий и перспектив социально-экономического развития арктических регионов // Экономика и управление: проблемы и решения. 2016. № 10, т. 1 (58). С. 124–130.
4. Межевых С. А., Ульченко М. В. Сравнительный анализ уровня экономической безопасности арктических прибрежных регионов // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2016. № 4(61). С. 162–170.
5. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: указ Президента РФ № 296 от 2 мая 2014 года. URL: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70547984/ (дата обращения 12.03.2017).
6. Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы: науч.-аналит. докл. / под научной ред. В. С. Селина и др. Апатиты, 2016. С. 420.

Г. Н. Харитонова
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, Kharitonova@iep.kolasc.net.ru

ГОД ЭКОЛОГИИ: ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И БЛАГИЕ НАМЕРЕНИЯ

Вот уже третий месяц по стране шествует Год экологии, то есть выполняются многочисленные мероприятия планов его проведения, в подготовке которых приняли участие органы власти всех уровней управления, общественные организации, бизнес-структуры, все виды СМИ и инициативные граждане страны.

Политическая и управленческая инновация объявления наступающего календарного года «тематическим» была впервые применена в 2008 г., который вошел в историю как Год семьи. С тех пор объявление тематического года в нашей стране стало уже традицией, технология его подготовки и исполнения мероприятий, к нему приуроченных, хорошо отработана. Президент страны издает указ, в котором обязательно сформулирована генеральная цель проведения тематического года, например: для Года учителя (2010 г.) — «в целях развития творческого и профессионального потенциала учителей, повышения социального престижа профессии учителя»; для Года экологии (2017 г.) — «в целях привлечения внимания общества к вопросам экологического развития РФ, сохранения биологического разнообразия и обеспечения экологической безопасности» [4, 5]. Затем рассылается циркуляр, прежде всего, по вертикали органов исполнительной власти. Он требует представления информации по планируемым мероприятиям, а именно: указать полное название мероприятия, его дату, место проведения, название организатора, цели и задачи, принятую резолюцию, отчет о проведении проверки, примерное количество участников и официальных пресс-релизов, а также приложить фото- и видеоматералы. Разработанные мероприятия проходят отбор в соответствующих вышестоящих и в профильных органах управления и утверждаются в форме планов мероприятий, которые затем предаются гласности разными способами. В частности, планы почти всех субъектов Федерации и даже многих муниципалитетов уже несколько лет размещаются в Интернете. На основе анализа этих планов органами власти выявляются проблемы, требующие управленческого воздействия. Для обсуждения, обоснования и выработки мер обычно собирается заседание Государственного совета страны, по итогам которого президент страны дает поручения органам исполнительной власти [2, 10].

Что касается подготовки к Году экологии в 2016 г., то в целом она прошла по отработанной схеме, но в нее были внесены некоторые изменения. Тематика Года экологии – 2017 была определена президентом РФ еще 1 августа 2015 г., тогда он обозначил его, как Год особо охраняемых природных территорий (ООПТ), а цель его проведения – «привлечение внимания общества к вопросам сохранения объектов природного наследия и в связи с исполняющимся в 2017 г. 100-летием создания в России первого государственного природного заповедника» (Баргузинского) [4]. В Указе 2016 г. цель тематического года была значительно расширена, в нее были включены многочисленные проблемы обеспечения экологической безопасности [6].

Изменение названия тематического года обусловлено разными причинами: от желания реализовать комплексный подход к проблемам «экологического развития» страны до экономии бюджетных средств, так как осуществление каждого мероприятия требует затрат. Кроме того, по сложившейся еще в советские времена привычке, юбилей — это демонстрация достижений, награды и подарки. Однако в государственном управлении ООПТ накопилось столько нерешенных проблем, узких мест и просчетов, что привлекать к ним внимание в юбилейный год означало бы испортить праздник.

Сегодня в стране создана сеть разнородных ООПТ федерального, регионального, муниципального уровней управления и ведомственного подчинения (ООПТ Академии наук РФ), различающихся строгостью режима охраны. Также бюджетные организации, управляющие ими, наделены разными полномочиями, функциями и имеют неодинаковый уровень финансирования. Камнем преткновения для развития сети ООПТ остается согласование перевода земельных участков из различных категорий земель в категорию «особо охраняемых природных территорий и объектов», что постоянно затягивает организацию новых ООПТ, иногда на десятки лет.

Между тем в структуре Министерства природных ресурсов и экологии РФ до сих пор отсутствует структурное подразделение по управлению ООПТ страны, то же самое наблюдается и в природоохранных органах власти субъектов Федерации. Несмотря на это, в Федеральный закон об ОППТ федеральными законами ежегодно вносятся изменения, которые нельзя назвать кардинальными, так как они не отменяют сложившуюся систему ООПТ. По аналогии с прогрессивной зарубежной тенденцией они направлены на более широкое использование этих территорий для экологического туризма и для других видов экологически безопасной хозяйственной деятельности. Экологическая общественность и сотрудники бюджетных организаций ООПТ в этих изменениях видят угрозу для сохранения режима охраны, особенно заповедников, так как увеличения финансирования на усиление их охраны не предполагается. Вместо увеличения финансирования из федерального бюджета Федеральным законом от 28 декабря 2013 г. № 406-ФЗ предлагаются новые источники. Например, субъектам Федерации дано право «осуществлять софинансирование исполнения расходных обязательств РФ, возникающих при выполнении полномочий, связанных с созданием и развитием особо охраняемых природных территорий федерального значения, из бюджетов субъектов РФ», а «за посещение физическими лицами территорий государственных природных заповедников в целях познавательного туризма федеральными государственными бюджетными учреждениями, осуществляющими управление государственными природными заповедниками, взимается плата» [3].

Ради объективности следует отметить, что в юбилейный год нашлось много достижений в управлении биологическим разнообразием. В федеральный план мероприятий включена организация 11 новых ООПТ, в их числе и Хибинский национальный парк, хотя его территория была уменьшена в процессе согласования земельных участков. Достижением на уровне региона является осуществление рекреационного обустройства территорий заказника «Сейдъявврь» и природного парка «Полуостров Рыбачий и Средний» [9].

Анализ планов мероприятий Года экологии показал, что, кроме проблемы развития сети ООПТ и совершенствования ее государственного регулирования, в число приоритетных проблем экологического развития страны и ее регионов входят следующие: обращение с отходами производства и потребления и сопряженная с ней ликвидации накопленного экологического ущерба; экологическое просвещение и воспитание населения; усиление взаимодействия органов власти с бизнес-структурами в решении проблем снижения негативного воздействия на окружающую среду.

На первом месте в иерархии проблем в большинстве регионов сегодня находится проблема обращения с отходами. Именно на решение этой проблемы нацелены мероприятия во всех без исключения планах проведения Года экологии, от федерального до муниципальных [7, 9]. Основными мероприятиями на региональном уровне являются рекультивация или строительство экологически безопасных полигонов твердых коммунальных отходов, в состав некоторых из них, например, в Мурманской области, будут входить мусоросортировочные комплексы. Для Москвы запланировано строительство четырех мусоросжигающих заводов, один завод будет построен в Казани, четыре — в городах Тюменской обл. Модернизация действующих мусоросжигающих заводов в других регионах не предусмотрена.

Актуальность проблемы обращения с отходами не требует доказательств: полигоны переполнены, мусоросжигающие заводы морально и технически устарели. Однако нельзя обойти вниманием оценку конечной экологической и экономической эффективности мер по ее решению, чтобы предполагаемые результаты не остались только благими намерениями и потраченные средства принесли ожидаемый эффект.

Несмотря на значительное повышение активности государственных органов управления в сфере обращения с отходами, эффективность их деятельности нельзя признать высокой. По нашему мнению, одним из недочетов в работе федеральных и региональных органов управления в сфере обращения с отходами является отсутствие взаимодействия с органами власти, отвечающими за промышленную политику. Без наличия достаточного количества действующих производств по переработке вторичного сырья, которым являются рассортированные отходы, их сортировка не будет экономически целесообразной. Остается питать надежду, что апробация современной системы обращения с отходами, разработанной федеральным регулятором, на территории 25 пилотных регионов, в число которых включена и Мурманская обл., сделает очевидными аспекты проблемы использования отходов в качестве вторичного сырья.

Оправданной управленческой инновацией следует признать назначение регионального оператора по управлению отходами. Но какими бы грамотными и креативными не оказались сотрудники этой новой структуры, в их полномочия не входит решение проблемы постоянного роста цен на бензин, дизельное топливо и топливо для мусоросжигающих заводов. Например, с 2008 г. по настоящее время цена бензин марки 92 выросла в 1,81 раза [1]. Это делает даже вывоз мусора на полигоны и мусоросжигающие заводы все более дорогим, не говоря уже о заоблачных затратах на вывоз снега перед весенним паводком с территории средних и малых городов страны, особенно северных.

К сожалению, формат статьи не позволяет привести доказательства о неэффективности государственного экологического управления в стране по остальным приоритетным проблемам Года экологии. Поэтому приходится ограничиться комментарием к поручениям президента страны по итогам заседания Государственного совета по вопросу об экологическом развитии РФ в интересах будущих поколений 26 декабря 2016 г. [2].

Президент поручил Правительству РФ совместно с совместно с заинтересованными органами исполнительной власти субъектов Федерации представить предложения по трем пунктам, которые имеют стратегический характер, так как направлены на успешную реализацию реформы государственного экологического управления и, прежде всего, на кардинальное изменение экологического нормирования и стимулирования в связи с переходом на наилучшие доступные технологии (НДТ).

Согласно пункту 2 поручения президента РФ, следует представить в срок до 1 мая 2017 г. предложения:

1) «по разработке нормативов качества окружающей среды с учетом оценки рисков причинения вреда здоровью человека на основе санитарных норм и правил, а также с учетом качества отдельных компонентов природной среды исходя из природного фонового состояния территорий и акваторий»;

2) «по разработке порядка определения и установления нормативов качества почв и земель в зависимости от их природных особенностей, целевого назначения и величины предельных остаточных концентраций загрязняющих веществ в целях восстановления свойств почв исходя из географических, геологических, гидрогеологических особенностей их формирования и природного фонового состояния территорий и акваторий»;

3) «по организации обучения сотрудников органов исполнительной власти субъектов РФ и взаимодействия по вопросам перехода на использование наилучших доступных технологий» [2].

Все предложения, по сути, представляют собой научно-методическое обоснование реформы, разработка которого возложена на два федеральных министерства — Министерство природных ресурсов и экологии РФ и Министерство промышленности и торговли РФ. Окончательной их формой должны стать хотя бы ведомственные нормативно-правовые акты, например, «Об утверждении порядка и методов установления

нормативов…», « Об утверждении количественных показателей по количественному определению…» и т. д. Однако в плане нормотворческой деятельности Минприроды на 2017 г. эти проекты отсутствуют [11]. Более того, формулировка первого пункта поручений полностью совпадает с предложением А. Н. Шохина — президента Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП), который напрямую связал необходимость ускорения их разработки с переходом на НДТ. По его мнению, в планах МПР РФ отсутствует согласование сроков утверждения веществ, подлежащих мониторингу (конец 2017 г.), и нормативов, соблюдение которых следует контролировать (середина 2018 г.). В соответствии с выполнением требования «Методических рекомендаций по определению технологии в качестве НДТ», утвержденных приказом Минпромторга России от 31.032015 № 665, наличие уточненных нормативов качества окружающей среды является основанием для выбора НДТ из применяемых сегодня отечественных технологий. По нашему мнению, предложение РСПП, которое вошло в список поручений президента РФ, прежде всего мотивировано стремлением менеджмента действующих предприятий сэкономить на приобретении зарубежных НДТ.

Вследствие этого нельзя в очередной раз не усомниться в осуществлении благих намерений федеральных регуляторов по реализации кардинальной реформы экологического нормирования в стране. Следует также заметить, что участие органов государственной власти субъектов РФ в выполнении поручений президента, полномочиями для выполнения которых наделены лишь федеральные органы власти, возможно только после принятия соответствующего постановления Правительства РФ, что делает проблемным учет интересов регионов.

Литература

1. Анализ цен на бензин за 14 лет. URL: http://cenorez.ru/?p=4854.
2. Заседание Государственного совета по вопросу об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений 27 декабря 2016 г. URL: http://kremlin.ru/events/president/news/47324.
3. О внесении изменений в Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» и отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон от 28.12.2013 № 406-ФЗ. URL: https://rg.ru/2013/12/30/oxrana-dok.html.
4. О проведении в Российской Федерации Года особо охраняемых природных территорий: указ Президента РФ от 01.08.2015 № 392. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/39976.
5. О проведении в Российской Федерации Года учителя: указ Президента РФ от 10.03.2009 № 259. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/28965.
6. О проведении в Российской Федерации Года экологии: указ Президента РФ от 05.01.2016 (в редакции Указа Президента Российской Федерации от 03.09.2016 № 453). URL: http://kremlin.ru/acts/bank/40400
7. Об утверждении Плана основных мероприятий по проведению в 2017 году в Российской Федерации Года экологии: распоряжение Правительства Российской Федерации от 02.06.2016 № 1082-р. URL: http://www.mnr.gov.ru/activities/detail.php?ID=143807
8. План нормотворческой деятельности Минприроды России на 2017 год. URL: http://www.mnr.gov.ru/activities/detail.php?ID=341942.
9. План основных мероприятий по проведению в 2017 году в Мурманской области Года экологии и Года особо охраняемых природных территорий: распоряжение Правительства Мурманской обл. от 26.12.2016 № 318-РП. URL: http://mpr.gov-murman.ru/documents/programs/vedomstv/plan-meropriyatiy.pdf.
10. Стенографический отчет о совместном заседании Государственного совета и Совета при Президенте по культуре и искусству. URL: http://kremlin.ru/events/president/news/47324.

В. Е. Храпов, Т. В. Турчанинова

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, khrapov00@mail.ru, tatyana_0401@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ КАК СУБЪЕКТА АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Социально-экономическое развитие каждого региона зависит от развития субъектов бизнеса на их территории. Основное место в перечне субъектов бизнеса занимает промышленные предприятия, от которых, как правило, зависит благополучие региона. Мурманская обл., являясь субъектом Арктической зоны, кровно заинтересована в сохранении и развитии собственного промышленного потенциала. Поиск сценарного варианта инновационного развития территориальных промышленных предприятий является важной задачей современного, турбулентного этапа развития экономики. Но современный подход к инновационному развитию требует от разработчиков предложений, реализация которых позволит повысить или создать условия для развития промышленного предприятия по повышению их конкурентоспособности на региональном, а затем и международном рынке. Субъектами нашего исследования были региональные машиностроительные предприятия с единичным и мелкосерийным производством, тесно взаимодействующие с предприятиями приоритетных отраслей региональной экономики.

За последние 5 лет в российской экономике, по оценке экспертов, наметился устойчивый тренд на снижение конкурентоспособности (около 12 % в год). К основной причине относят низкую производительность труда [5–7]. По мнению экспертов и их качественной оценке конкурентоспособности машиностроительной продукции, в России сформировались следующие показатели, характеризующие рейтинг этой продукции: в машиностроении используется третий и четвертый технологические уклады, а в развитых странах пятый и шестой; основные производственные фонды на 70–80 % изношены, а более 30 % оборудования произведено по устаревшим технологиям; при темпах обновления 2 % в год основные производственные фонды, включая сооружения, машины, оборудование, должны работать до замены 50 лет, согласно «закону обновления», это должно происходить каждые 6–8 лет; низкая инвестиционная привлекательность машиностроительных предприятий; низкий уровень деловой активности; низкое качество и надежность выпускаемой продукции машиностроительных предприятий; высокие затраты на производство; низкая эффективность деятельности машиностроительных предприятий; низкая эффективность работы государственных институтов; неэффективная антимонопольная политика; неразвитость финансового рынка [1, 3].

По результатам проведенного исследования был определен перечень машиностроительных предприятий Мурманской обл., тесно сотрудничающих с предприятиями горно-металлургического, энергетического комплекса и предприятиями различного назначения и ЖКХ: ОАО «Оленегорский механический завод», АО «Сплав», ООО ПКП «Дружба», ООО «Мурманская судоверфь-механический завод», ООО «Дело», ОАО «Кандалакшский опытный механический завод» и другие (мелкие кустарные мастерские, имеющие металлообрабатывающие станки) [11].

Можно предположить, что данные предприятия имеют собственную стратегию дальнейшего развития, но нам бы хотелось предложить свое видение инновационного развития этих предприятий с целью повышения их конкурентоспособности.

В первую очередь следует уделить внимание двум машиностроительным предприятиям — **ОАО «Оленегорский механический завод»** и **ОАО «Кандалакшский опытный механический завод»**, которые еще в период плановой экономики были машиностроительными предприятиями с полным технологическим циклом. Данные структуры имеют собственную значительную территорию, необходимые транспортные развязки автомобильных и железнодорожных дорог, необходимую инфраструктуру для обслуживания завода и социальный статус для городов Оленегорск и Кандалакша Мурманской обл.

Ко второй очереди исследуемых региональных машиностроительных предприятий были отнесены: **АО «Сплав»** и **ООО «Дело»**. Данные предприятия узконаправленные (АО «Сплав» — литье из разных металлов и ООО «Дело» — изготовление блочных топливных насосов для двигателей внутреннего сгорания), не обладающие полным технологическим циклом. По нашему мнению, их дальнейшее стратегическое развитие может быть только в рамках кооперационных связей с другими машиностроительными предприятиями или же их должны приобрести в собственность их основные заказчики. Только входя в состав предприятий горно-металлургического комплекса Мурманской обл., АО «Сплав» сохранит свой устаревший продукт и в дальнейшем, опираясь на спрос и технологические разработки заказчиков, сможет его изменить. Что касается ООО «Дело», то оно располагает самым современным технологическим оборудованием по изготовлению топливной аппаратуры для двигателей внутреннего сгорания в Мурманской обл., которое, согласно закону «обновления», уже устарело, но за счет собственных финансовых средств собственники не будут производить его замену, так как предполагаемая ранее перспектива выпускать новый продукт (блочный топливный насос) на рынок с возможностью занятия собственной ниши на рынке себя не оправдала, а повторно пускаться в подобную «авантюру» у собственников не хватит смелости.

Следует понимать, что предприятия не располагают не только инновационной техникой и технологией, но у них нет никаких заделов в научно-инновационном развитии из-за отсутствия серьезных связей с научно-исследовательскими центрами и собственных подразделений конструкторской и технологической подготовки. Отсутствие квалифицированных кадров разных профессий, особенно машиностроительных, не позволяет увидеть какую-то перспективу для данных предприятий.

К третьей очереди мурманских предприятий были отнесены **ООО ПКП «Дружба»** и **ООО «Мурманская судоверфь — механический завод»**. Они, как и АО «Сплав» и ООО «Дело», выделились в самостоятельные производства из судоремонтных предприятий с единичным и мелкосерийным производством по причине банкротства некогда флагманов судоремонта Мурманского региона ПОСП «Мурманская судоверфь» и СРЗ ММФ. Ранее в составе судоремонтных предприятий они были лишь станочными производственными участками [8–10]

Если АО «Сплав» и ООО «Дело» за последнее десятилетие провели существенные модернизационные работы, расширяющие возможности их производственных процессов, то ООО ПКП «Дружба» и ООО «Мурманская судоверфь — механический завод» этого не производили и выполняют работы с использованием устаревшего оборудования и прежних технологий. Данные предприятия выпускают простую продукцию и услуги третьего технологического уклада, и их будущее определяется потребностями рынка в простейшей продукции. По нашему мнению, эти производства работают в настоящее время только благодаря энтузиазму оставшихся инженерно-технических работников, средний возраст которых равен 55 годам.

Но чтобы объединить усилия предприятий приоритетных отраслей региональной экономики и обслуживающих их предприятий, необходимо изучить сложившийся опыт создания и функционирования совместных предприятий за рубежом. При разработке идеи совместных предприятий можно обратиться к опыту наших соседей финнов, например, финская машиностроительная компания «Ларос» является мировым производителем фильтрационного оборудования (прессфильтры, мембранные фильтры, ленточные фильтры, фильтры грубой очистки, системы автоматики производств химической и горно-обогатительных комбинатов и т. д.). В настоящее время она успешно взаимодействует с АО «ГМК Печенганикель» и АО «ГМК Норильский никель» [13].

У Мурманской обл. сложились дружественные отношения с Финляндией в рамках сотрудничества «Баренц региона», что же мешает от общих социальных вопросов перейти к решению данного вопроса с одним из машиностроительных предприятий Мурманской обл., например с ОАО «Оленегорский механический завод» или ООО «Мурманская судоверфь – механический завод» ? У финских машиностроителей есть чему поучиться [14– 16].

Товарооборот машиностроительной отрасли Финляндии составляет 18 млрд евро в год, при этом доля металлоизделий составляет 5 млрд евро, машино-технического оборудования — свыше 10 млрд евро, транспортного оборудования — около 3 млрд евро. Доля продукции машиностроения в общем объеме промышленного производства Финляндии составляет около 20 %. Инвестиции в отрасль достигают в последнее время 600 млн евро, и более половины данной суммы составляют инвестиции в научно-исследовательские разработки [2].

Создание совместного предприятия финских и мурманских машиностроителей на территории Мурманской обл. во взаимной связке с химическим и горно-металлургическим комбинатом создаст условия для выпуска конкурентной машиностроительной продукции в рамках региона, ориентированного на спрос регионального рынка. Не стоит озадачивать себя будущим развитием рынка, в настоящее время можно ограничиться рынком конкурентоспособной продукции для Мурманской обл. Но данный проект способен на существование, если будут в нем участвовать региональные власти и комбинаты, использующие природные ресурсы регионального потенциала. Главное в этом вопросе — проявить политическую волю.

В нашей ситуации финские машиностроители заинтересованы в продаже изготовленного ими оборудования на горно-металлургические комбинаты Мурманской обл. Его установка в рамках модернизации производственных процессов на комбинатах обеспечивает для финских машиностроителей не только расширение рынка сбыта, но и создание условий дальнейшего участия в эксплуатации технологического оборудования, его ремонта и последующей модернизации [4, 12].

Все горнодобывающие и горно-химические комбинаты Мурманской обл. работают на полезных ископаемых, представляющих региональный потенциал. Для того чтобы максимально эффективно его использовать, правительство Мурманской обл. должно быть стратегически заинтересовано в размещении различных производственных бизнес-единиц на своей территории, и в этой ситуации необходимо создать условия, при которых и финские и местные машиностроители будут заинтересованы в создании совместных предприятий по производству соответствующего оборудования для нужд регионального рынка. В этом случае перед правительством Мурманской обл. стоит задача — провести взаимоувязку между собственниками металлургических и горнодобывающих предприятий, финскими и местными машиностроителями и предложить участникам льготные условия хозяйствования, позволяющие им обеспечить прибыльность этой хозяйственной деятельности. Но для того чтобы региональные власти были заинтересованы в подобном сценарном развитии территориальных бизнес-структур как составляющих производственной системы региональной экономики, необходимо, как мы писали ранее, наделить их правами, обязанностями и ответственностью. Для этого необходимо перераспределить полномочия в Российской Федерации между центром и регионами, о чем не раз заявлялось с различных трибун.

Данные решения подтверждают наше мнение, что даже в такой период геополитической турбулентности и санкций бизнес намерен искать возможность развития и получения прибыли. Поэтому важно, используя свой потенциал, найти потенциального инвестора, интересы которого и ваши будут совпадать. Безусловно, реализация подобных проектов повысит конкурентоспособность российских предприятий и создаст условия решения социально-экономических проблем как для региональной, так и национальной экономики. А предложенные сценарные варианты инновационного развития региональной экономики Мурманской обл. могут быть интересны для других регионов Арктической зоны.

Литература

1. Конкурентоспособность машиностроения: реальность и перспективы URL: http://www.webeconomy.ru/print.php?id=2727.
2. Машиностроение Финляндии. URL: http://www.infofin.ru/p_37.php?ad=reg.
3. Сергеев А. А. Конкурентоспособность машиностроения: реальность, возможность и перспективы // экономические науки. 2014. 8 (117). URL: http://ecsn.ru/files/pdf/201408/201408_67.pdf
4. Современные проблемы конкурентоспособности российской нефтяной техники. URL: http:/gasoilpress.ru/gij_detailed_work.php?GLI_ELEMENT_ID=47259&WORK_EL.
5. Турчанинова Т. В., Храпов В. Е. Взаимодействие предприятий в новых рыночных условиях при пространственной организации эффективной экономики Приморского региона // Экономика и предпринимательство. 2015. № 1 (54). С. 233–238.

6. Турчанинова Т. В., Храпов В. Е. Роль государства в экономическом и социальном развитии общества // Вестник МГТУ. 2007. Т. 10, № 3. С. 490–495.
7. Управление конкурентоспособностью машиностроительных предприятий России: анализ и перспективы. URL: http://www.pro18.ru/index.php?option=com_content&VIEW=ARICLE&ID=237:2012-02-07-11-17.
8. Храпов В. Е., Турчанинова Т. В., Иванов Т. Н. Формирование условий пространственного взаимодействия инфраструктурных предприятий промышленного рыболовства на Европейском Севере // Региональная экономика: теория и практика. 2016. Вып. 1. С. 124–133.
9. Храпов В. Е., Турчанинова Т. В., Кибиткин А. И. Предпосылки для формирования инновационно-инвестиционной политики пространственного развития предприятий Северного рыбопромыслового бассейна // Рыбное хозяйство: науч.-практ. журн. / Федер. агентства по рыболовству. 2015. № 5. С. 15–18.
10. Храпов В. Е., Турчанинова Т. В. Методы усиления государственного влияния на работу рыбной отрасли // Вестник МГТУ. 2005. Т. 8, № 2. С. 333–337.
11. Храпов В. Е., Турчанинова Т. В. Механизмы пространственного взаимодействия предприятий с единичным и мелкосерийным производством в приморском регионе. Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 105 с.
12. Шатохин С. М. Предпосылки и реальные пути создания инновационной основы развития Тюменского машиностроения. URL: http://prefish.ru/predposylki-i-realnye-puti-sozdaniya-innovacionnoy-osnovy-razvitiya-tyumenskogo-mashinostroeniya.
13. Шлямин В. Финляндия для России — крупный технологический партнер / Мин-во экон. развития РФ. URL: http://economy.gov.ru/minee/press/interview/201411142
14. Gobillion L, Magnac T. Laurent H. Do unemployed workers benefit from enterprise zones? // The French experience: Journal of public economics. 2012. No. 7. P. 88–92.
15. Jensen C. Winiarczyk M. Special economic zones — twenty years later. Warszawa: CASE Network studies and analyses, 2014. 35 p.
16. Wang J. The economic impact of special zones:evidence from chinese municipalities // J. Development economics. 2013. No. 10. P. 133–147.

В. А. Цукерман
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, tsukerman@iep.kolasc.net.ru

О СТРАТЕГИИ ИННОВАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СЕВЕРА И АРКТИКИ

В решении задач обеспечения динамически устойчивого развития экономики Российской Федерации первостепенная роль принадлежит инновационной деятельности, способной обеспечить непрерывное обновление технологической базы производства, освоение и выпуск новой конкурентоспособной продукции, эффективное проникновение на мировые рынки товаров и услуг. В связи с этим стратегическим направлением развития регионов является активизация промышленного производства, особенно в условиях кризиса и продолжающихся экономических санкций.

Особое значение имеет разработка стратегии инновационно ориентированного развития для северных и арктических территорий. Это связано, прежде всего, с возрастанием роли регулирующего воздействия государства в эффективном осуществлении процесса формирования развитой рыночной среды в северных регионах [3]. Ресурсные северные корпорации отличаются высокой капиталоемкостью и инерционностью развития, низкой рентабельностью, преимущественно монопродуктовой направленностью производства и рядом других особенностей. Эффективность многих направлений политики переходного периода в значительной мере обусловлена ролью и значением государственных методов и форм стимулирования и регулирования процесса формирования и развития рыночных отношений в северных и арктических регионах [2].

Северные и арктические регионы существенно различаются по уровню экономического, инновационного промышленного развития и социальному комфорту. В связи с этим необходимо решение проблем эффективного управления развитием этих регионов [8]. Выбор принципов и конкретных механизмов инновационного развития не может быть произвольным и зависит от наличия «заделов» в области конкретных технологий, а также от состояния смежных производств.

Существует ряд реальных предпосылок для перехода Севера и Арктики к стратегии инновационно ориентированного развития, в т. ч.: многогранный научно-технический и образовательный потенциал, система образования, специфические особенности территорий, обеспечение разнообразными природными ресурсами, геополитическое положение и др. [1]. Следует особо отметить необходимость разработки особых принципов социально-экономической государственной политики, учитывающих суровые природно-климатические условия и связанные с ними повышенные затраты на производство и жизнеобеспечение населения северных территорий, в числе которых:

- значительные расходы на оплату труда в целях обеспечения воспроизводства трудовых ресурсов;

- повышенные расходы тепловой и электрической энергии;
- создание запасов, продукции и сырья для длительного хранения, вызванные сезонностью завоза грузов на многих территориях;
- значительные расходы на социальную сферу;
- удорожание строительства промышленных комплексов, жилья и жизнедеятельности населения.

Необходимо высокое политическое и общественное внимание к проблеме инновационно-экономического развития Севера и Арктики, поиска путей превращения научного потенциала в ресурс для обеспечения конкурентоспособности экономики и устойчивого роста. Для инновационно-промышленного развития требуются не только огромные ресурсы, но и использование специфических механизмов программно-целевого управления.

Необходима разработка стратегии инновационно ориентированного развития Севера и Арктики с учетом устранения или минимизации ограничений, негативно влияющих на развитие инновационной экономики, которое должно состоять в содействии выхода высокотехнологичных компаний на мировые рынки, привлечении прямых иностранных инвестиций для реализации инновационных проектов, росте международного научно-технического сотрудничества и других направлениях, а также создании и поддержке конкурентной среды, где в силу особых причин естественного или исторического характера такая среда не может самостоятельно сформироваться и развиваться, вследствие чего не могут возникнуть и конкурентоспособные хозяйственные единицы.

Несмотря на достаточно высокий научно-технический и промышленный потенциал, главным фактором социально-экономического развития Севера и Арктики по-прежнему остаются природные ресурсы, прежде всего минерально-сырьевые.

Современные ресурсные отрасли и северные корпорации являются потребителями высоких технологий и соответствующего оборудования, особенно по мере повышения сложности добычи и переработки природного сырья. Особое инновационное и технологическое развитие, согласованное взаимодействие государства, регионов и корпораций требуется при освоении Арктического шельфа. Исследования показали реальные возможности производства наукоемкой продукции в арктических секторах экономики на основе передовых идей и разработок фундаментальной и отраслевой наук, в том числе в сфере импортозамещения дефицитных редкоземельных металлов.

Стратегия инновационно ориентированного развития Севера и Арктики должна быть связана с социально-экономической эффективностью и безопасностью, становлением ключевых направлений пятого и шестого технологического уклада и обеспечением национальных интересов в рамках международного сотрудничества [7].

В настоящее время инновационно-технологические изменения в экономике Севера и Арктики происходят в рамках третьего и четвертого технологических укладов и, следовательно, не могут обеспечить решение задач по приведению структуры экономики в соответствие с достижениями наиболее развитых стран и обеспечению перехода к постиндустриальному развитию.

Северные сырьевые отрасли экономики могут и должны играть роль «локомотива» для других отраслей, роста обрабатывающих производств для различных сфер деятельности. Для этого необходима целенаправленная государственная научно-техническая и инновационная политика, главной задачей которой должно стать создание такого инновационного потенциала, который сможет обеспечить переход экономики Севера и Арктики прежде всего за счет рационального комплексного освоения природных ресурсов.

Стратегия инновационно ориентированного развития должна включать мероприятия, направленные на радикальное обновление технологии производства товаров и услуг. Только при этом условии возможно кардинальное снижение себестоимости, повышение потребительской ценности и качества продукции, что может обеспечить рост конкурентоспособности товаров, увеличение спроса и закрепление их на международном рынке.

Наукоемкий сектор промышленности Севера и Арктики должен являться наиболее перспективной базой ускоренного технологического развития Российской Федерации, масштабного и форсированного обновления устаревшего производственного аппарата [5]. Одной из задач инновационно оритетированной стратегии является создание условий для размещения производства технологических инноваций и возможная поддержка региональных производителей на начальных стадиях организации производства.

Существующая практика передачи крупными компаниями на аутсорсинг непрофильных видов деятельности раскрывает большие возможности для развития малого инновационного бизнеса в сфере производства технологических инноваций, что необходимо учитывать при формировании государственной инновационной промышленной политики.

Приоритетные направления инновационно ориентированного развития Севера и Арктики определяются хозяйственной специализацией экономики, характером сложившихся структурных сдвигов и пропорций (диспропорций) производственно-территориального комплекса. В региональном масштабе в качестве основополагающих задач, обусловленных приоритетными направлениями развития промышленности, необходимо выделить:

- реструктуризацию отдельных предприятий;
- формирование рынка сбыта промышленной продукции;
- формирование конкурентной среды, повышение конкурентоспособности продукции;

- создание условий для формирования системы государственного регулирования деятельности промышленного комплекса, восстановление управляемости госсобственности, государственное участие в создании корпоративных структур;
- формирование новых экономических и технологических связей предприятий различных отраслей и хозяйственных структур;
- концентрацию капитала с целью создания структур, основанных на принципах самофинансирования, саморегуляции и саморазвития;
- оживление инвестиционной деятельности в промышленности; сохранение и развитие научно-производственного, инновационного потенциала промышленности;
- государственную поддержку экспортного сектора.

Одной из основных целей стратегии инновационно ориентированного развития является формирование целостной региональной системы. Важными условиями для перехода экономики Севера и Арктики на инновационный путь развития является существенное повышение инновационной активности бизнеса [2], в том числе:

- активизация усилий региональных и муниципальных властей по улучшению условий для инновационной деятельности;
- эффективное введение в хозяйственный оборот передовых технологий;
- определение перспективных направлений использования научно-технического потенциала, интегрированного с образованием, производством и инновационным предпринимательством;
- повышение качества бизнес-среды;
- повышение конкурентоспособности инвестиционного климата;
- ускоренное развитие наукоемких высокотехнологических разработок;
- обеспечение интересов различных инновационно активных предприятий;
- расширенное воспроизводство инновационного потенциала территорий;
- повышение эффективности инструментария государственной поддержки инноваций.

В рамках стратегии инновационно ориентированного развития Севера и Арктики необходимо создание эффективных систем управления и благоприятных условий для корпораций, при этом должен быть реализован комплекс мер по повышению эффективности совместной работы органов исполнительной власти, бизнеса, образовательного и научного сообщества, что позволит сформировать необходимые для инновационной экономики ресурсы, прежде всего человеческий капитал. Эффективное использование природных ресурсов может создать существенный синергетический потенциал, дать новый импульс социально-экономическому развитию Севера и Арктики [6].

Стратегия инновационно ориентированного развития Севера и Арктики должна способствовать модернизации экономики всей страны. Важнейший вызов состоит именно в том, чтобы использовать безальтернативные в разработке северные природные ресурсы и мегапроекты для запуска процесса инновационного развития как на северных территориях, так и на всем пространстве Российской Федерации. Реализация инновационно ориентированной стратегии позволит создать условия для дальнейшего социально-экономического развития России.

Литература

1. Горячевская Е. С. Оценка конкурентных позиций и потенциала развития регионов Севера и Арктики // Актуальные проблемы экономики и управления: сб. ст. Третьей заочной всерос. науч.-практ.й конф. (г. Екатеринбург, 5–6 октября 2015 г.) / отв. ред. проф. М. Н. Игнатьева и доц. Л. А. Мочалова; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: УГГУ, 2015. С. 34–39.
2. Горячевская Е. С., Цукерман В. А. Инновационное промышленное развитие экономики Севера и Арктики Российской Федерации // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2014. Т 4, № 41. С. 92–96.
3. Горячевская Е. С., Цукерман В. А. Об оценке инновационного потенциала регионов Севера // Управление инновациями – 2010: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Москва 15–17 ноября 2010 г.) / под ред. Р. М. Нижегородцева. М.: ЛЕНАНД, 2010. С. 441–449.
4. Механизм согласования государственной, региональной и корпоративной инновационной политики в Арктике / науч. ред. В. А. Цукерман. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 135 с.
5. Цукерман В. А., Горячевская Е. С. Инновационное промышленное развитие как основа экономического роста северных регионов // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2014: материалы Четвертого всерос. науч. семинара (24–26 сентября 2014 г., Сыктывкар): в 2 ч. Ч. II. Сыктывкар, 2014. С. 274–280.
6. Цукерман В. А. Состояние, проблемы и перспективы инновационного развития минерально-сырьевого комплекса Севера и Арктики России // Зап. Горн. ин-та. 2011. Т. 191. С. 212–217.
7. Innovation in the Arctic: Squaring the Circle. URL: http://arcticsummercollege.org/sites/default/files/ASC%20Paper_Exner-Pirot_Heather_0.pdf (дата обращения: 13.02.2017).
8. Sharp Todd L. The Implications of Ice Melt on Arctic Security // Defence Studies. 2011. Vol. 11, No. 2. P. 297–322.

В. А. Цукерман, Е. С. Горячевская
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, tsukerman@iep.kolasc.net.ru

ФИНАНСОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАК ОСНОВА СТРАТЕГИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СЕВЕРА И АРКТИКИ

Северные и арктические территории имеют ресурсно-сырьевую направленность, при этом основное место в структуре хозяйственной деятельности занимает газовый комплекс, также добывается значительная часть российских алмазов, 100 % сурьмы, апатита, флогопита, вермикулита, барита, редких металлов, свыше 95 % металлов платиновой группы, более 90 % никеля и кобальта, 60 % меди [6].

Для инновационно-промышленного развития предприятий требуются значительные инвестиции, постоянный и непрерывный мониторинг финансово-экономической деятельности, который является одним из эффективных способов оценки текущего положения [1, 2, 5, 8, 12].

Для оценки финансово-экономического состояния предприятий в российской и зарубежной практике используются следующие основные показатели: коэффициент текущей платежеспособности, коэффициент текущей ликвидности, коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами, коэффициент автономии, рентабельность [11, 13–16].

Предприятия, имеющие достаточные финансовые ресурсы, способны разрабатывать и реализовывать инновационные проекты. В случае неустойчивого финансового состояния для покрытия производственных затрат предприятия используют собственные средства, долго- и краткосрочные кредиты и займы. В кризисной ситуации, в которой находятся многие страны, существенно осложнилась возможность кредитования. Для этих предприятий на реализацию инновационных проектов недостаточно финансовых средств [2, 3].

Н. Л. Грачевой и А. Ю. Анисимовым разработана методика оценки финансовой устойчивости предприятий [3], которая позволяет:

- оценить платежеспособность предприятий;
- провести оценку «качества» прибыли предприятий;
- оценить способность организации генерировать денежный поток (в частности, по показателю «чистого оборотного капитала»).

Авторами проведены исследования платежеспособности 33 предприятий Севера и Арктики, по которым имеется официальная бухгалтерская отчетность за 2013, 2014, 2015 гг. по следующим показателям: коэффициент текущей платежеспособности, коэффициент текущей ликвидности, коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами, коэффициент автономии. Предприятие отнесено в группу риска, если хотя бы одному из рассматриваемых периодов значение показателя выше/ниже нормативного.

В результате анализа платежеспособности можно сделать следующий вывод. Только 20 из 33 предприятий (ОАО «Соломбальский ЛДК», ОАО «Соломбальский ЦБК», АО «Кольская ГМК», ОАО «Комбинат стройконструкция», АО «Евротэк», ОАО «Морской порт Эгвекинот», АО «АТК Ямал», ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз», ОАО «Пургеолфлот», ОАО «Салехардский речной порт», АО «10-го ордена Трудового Красного знамени судоремонтный завод», АО «82-й судоремонтный завод», ОАО «Мурманское морское пароходство», АО «ХК Якутуголь», ОАО «Шахта угольная», ОАО «Шахта нагорная», АО «Саха даймонд» и ОАО «Сусуманзолото», ОАО «Горно-добывающая компания Берелех», ОАО «Боксит Тимана») имеют нормальное финансовое состояние, что характеризует возможность их инновационного развития. Остальные 13 предприятий в разрезе анализируемых коэффициентов следует отнести к проблемным. Основанием является то обстоятельство, что не более одного из четырех коэффициентов находятся в области нормальных значений.

Кроме того, для инновационного развития требуется получение стабильной прибыли. Рассматриваемая методика для оценки «качества прибыли» предусматривает расчет средней прибыли за анализируемый период, а также среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации. Указанные коэффициенты рассчитываются по показателю «рентабельность продаж».

При проведении финансового анализа принято нормальное значение рентабельности продаж выше 10 % [4]. Исследование показало, что только 4 предприятия (АО «Кольская ГМК», ПАО «Сибнефтегаз», ПАО «Алроса» и ПАО «НОВАТЭК») получают стабильную прибыль от текущей деятельности.

Для определения способности предприятия к генерированию денежных средств для инвестиций в ходе осуществления производственно-финансовой деятельности может быть использован показатель «чистый оборотный капитал» [7]. Расчеты показали, что все выбранные предприятия Севера и Арктики способны генерировать денежные средства для инвестиций. Следует отметить, что в случае положительной динамики показателя «чистый оборотный капитал» имеются основания для разработки средне- и долгосрочной стратегии инновационного развития. Только 14 из 33 рассматриваемых предприятий имеют положительную динамику показателя. Наилучшая динамика характерна для АО «Севмаш» (почти в 13 раз). Наибольшая отрицательная динамика чистого оборотного капитала наблюдается у ПАО «Сибнефтегаз» (-80 %).

В результате проведенных исследований показано, что из 33 исследуемых предприятий Севера и Арктики только АО «Кольская ГМК» имеет необходимое финансовое обеспечение и соответствующие основания для стратегического планирования инновационного развития. Для остальных 32 предприятий переход на инновационное развитие может иметь определенные сложности.

Литература
1. Галиев Ж. К., Грабская Е.П., Евдокимова Н. В. Финансово-экономический анализ деятельности горного предприятия на основе применения различных моделей // Горные науки и технологии. 2013. № 8. С. 3–11.
2. Горячевская Е. С., Цукерман В. А. Экономическая оценка деятельности основных горнодобывающих предприятий Арктической зоны Российской Федерации // Горн. информ.-аналит. бюл. 2015. № 9. С. 236–245.
3. Грачева Н. Л., Анисимов А. Ю. Оценка способности организаций обрабатывающих производств к инновационному развитию (на примере организаций машиностроения Курской области) // Экономический анализ: теория и практика. 2009. № 10. С. 39–45.
4. Рентабельность продаж в финансовом анализе. URL: http://1fin.ru/?id=311&t=16 (дата обращения: 07.03.2017).
5. Солдатова Ю. С. Выделение классов устойчивости экономического состояния и уровня инновационного развития предприятий // Инновационная деятельность. 2012. № 22. 47–57.
6. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года: утв. Президентом РФ В. В. Путиным. URL: http://government.ru/info/18360/
7. Уварова Г., Анташов В. Прибыль есть, а денег нет // Экономика и жизнь. 2008. № 20 (9234). С. 15.
8. Цукерман В. А., Горячевская Е. С. Инновационное промышленное развитие как основа экономического роста северных регионов // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2014: материалы Четвертого всерос. науч. семинара (24–26 сентября 2014 г., Сыктывкар): в 2 ч. Ч. II. Сыктывкар, 2014. С. 274–280.
9. Цукерман В. А., Горячевская Е. С. Об инновационной активности основных градообразующих предприятий Севера // Север и рынок. 2010. № 1. С. 92–96.
10. Цукерман В. А., Горячевская Е. С. Оценка финансового обеспечения промышленных предприятий Арктической зоны Российский Федерации: стабильность экономического развития // Проблемы моделирования финансово-инвестиционной стратегии развития экономики регионов: материалы форума (КРФИФ-2016) в рамках Всерос. науч.-практ. конф. «Вызовы и возможности финансового обеспечения стабильного экономического роста», 7–10 сентября 2016 г. Севастополь: Изд-во СевГУ, 2016. С. 409–413.
11. Цукерман В. А., Горячевская Е. С. Оценка финансово-экономической и инновационной деятельности промышленных предприятий Арктики минерально-сырьевой направленности // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2015. № 4 (47). С. 71–86.
12. Іщенко М. І. Оцінка фінансово-економічних результатів гірнічо-збагачувальних комбінатів на основі показників операційного прибутку та EBITDA // Наука и экономика. 2013. № 2 (30). С. 122–128.
13. Brealey R. A., Myers S. C. Principles of corporate finance. McGraw-Hill, 2003. 969 p.
14. Brealey R. A., Myers S. C., Marcus A. J. Fundamentals of corporate finance. 3rd Edit. McGraw-Hill, 2001. 462 p.
15. Erich A. Helfert financial analysis: tools and techniques. A guide for managers. McGraw-Hill, 2001. 480 p.
16. Penman S. H. Financial Statement Analysis and Security Valuation. 4th Edit. Tata McGraw Hill, 2014, 784 p.

А. Н. Чапаргина
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, achapargina@yandex.ru

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАСЕЛЕНИЯ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ: ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ФОРМЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Динамичное и эффективное развитие инвестиционной деятельности на региональном уровне требует привлечения стабильных и значительных инвестиционных ресурсов. В настоящее время сложившееся на Российском Севере состояние экономической и правовой среды, финансовой инфраструктуры и конъюнктуры рынка инвестиций, на наш взгляд, не позволяет с помощью традиционных инвестиционных механизмов решить проблему острой нехватки ресурсов для финансирования инвестиций. В соответствии с этим большое значение приобретает вопрос развития более эффективных и рациональных способов инвестирования и механизмов развития инвестиционной деятельности, в частности необходима интенсивная мобилизация инвестиционного потенциала населения региона.

Исходя из своих потребностей и возможностей население, являясь собственником сбережений, обладает первичным правом выбора направлений, форм и методов вложения средств. Основные вложения денежных средств население склонно осуществлять, как правило, в непосредственной близости от места проживания и в объекты инвестирования, которые представляются им наиболее доступными и надежными. Оно может использовать сбережения индивидуально, коллективно либо передавать их в распоряжение инвестиционных структур [2].

К основным направлениям вложения денежных средств населения в инвестиционных целях можно отнести: приобретение ценных бумаг; открытие банковских вкладов; использование собственных средств в форме организации кредитных товариществ, кооперативов, союзов; вложение средств в собственный бизнес; приобретение движимого и недвижимого имущества, ценностей, антиквариата.

Наиболее распространенным и востребованным традиционным инвестиционным инструментом для российских граждан выступает банковский вклад (как форма сбережений). На северные регионы приходится более 20 % всех вкладов России без учета Москвы. Средний показатель вкладов на одного жителя в северном регионе превышает среднероссийское значение и составляет 123 тыс. руб. [6]. Тем не менее, разрыв внутри северных регионов значителен. Хотя средний показатель вкладов на одного жителя выше среднего по России, в отдельных северных регионах банковских сбережений почти нет. Так, в Тыве на одного жителя приходится около 20 тыс. руб., в Республике Алтай — 34,5 тыс. руб., в Республике Бурятия — 47,2 тыс.руб., что вызвано пониженным уровнем доходов населения по сравнению с другими северными регионами.

Для оценки изменений в отношении населения к формированию сбережений и к изменению личного материального положения целесообразно использовать индексы финансовых или потребительских настроений (табл.).

Индексы, характеризующие мнение населения о личном материальном положении и конъюнктуре рынка товаров и сбережений в 2010–2016 гг. [4]

Индекс	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	
							I кв.	II кв.
Текущего личного материального положения	-15	-14	-12	-11	-9	-14	-17	-16
Изменения личного материального положения за год								
произошедшие	-10	-10	-6	-7	-8	-26	-29	-27
ожидаемые	-4	-4	-2	-2	-6	-14	-15	-12
Благоприятность условий								
для крупных покупок	-26	-23	-19	-18	-19	-39	-43	-41
для сбережений	-41	-40	-35	-34	-36	-47	-49	-46

На фоне ухудшения макро- и микроэкономических индикаторов финансовые настроения населения имели отрицательную динамику. Основной скачок в индексах пришелся на 2015 г., практически все индексы снизились в два раза, что говорит об отсутствии у населения надежды на позитивные изменения в экономике в ближайшей перспективе.

Если индекс благоприятности условий для сбережений в 2015 г. изменился только на 11 единиц, то индекс благоприятности условий для крупных покупок снизился существенно — на 20 единиц Из этого следует, что, несмотря на негативные ожидания, население, исходя из возможности, склонно формировать какой-либо объем сбережений, чем покупать. В первую очередь это вызвано мотивом сберегать на «черный день». В этих условиях населению необходимо предлагать наиболее надежные и эффективные формы инвестирования денежных средств.

К наиболее прогрессивным формам коллективного инвестирования в настоящее время на российском финансовом рынке можно отнести: инвестиционные фонды, коммерческие банки, страховые компании, негосударственные пенсионные фонды, кредитные потребительские кооперативы.

Быстро развивающееся и интересное направление привлечения сбережений населения сегодня — это негосударственные пенсионные фонды. Их активы имеют положительную динамику роста и к концу III квартала 2014 г. составили порядка 1200 млрд руб. С 1 января 2015 г. в России действует система гарантирования пенсионных накоплений, согласно которой негосударственные пенсионные фонды, прошедшие акционирование, формируют резервы для обеспечения устойчивости исполнения обязательств перед застрахованными лицами. При этом фонды, работающие с накопительной пенсией, должны пройти соответствующую процедуру до конца 2016 г., а фонды, которые не работали с обязательными пенсионными накоплениями, должны сделать это до 2019 г. или ликвидироваться [3].

Система гарантирования пенсионных накоплений позволит этому институту стать альтернативой таким традиционным формам, как вклады (ставки по долгосрочным депозитам низкие) и сберегательные сертификаты (не подпадают под систему гарантирования вкладов). При этом эти фонды служат механизмом социальной защиты работающих граждан, а с учетом надежности вложений и возможности инвестировать в широкий спектр финансовых инструментов негосударственные пенсионные фонды могут сыграть важную макроэкономическую роль, аккумулируя значительные денежные сбережения населения для их последующего инвестирования на долгосрочной основе.

Одной из перспективных форм инвестирования, в том числе и для северных регионов, является кредитная кооперация, которая, опираясь на внутренний источник — сбережения населения, взятые в самом регионе, может создавать благоприятные условия для развития региона. Но такой подход требует активного участия муниципальной и региональной власти, которая не только будет поддерживать все начинания, связанные с организацией мелкого кредита, но и непосредственно участвовать в создании организаций мелкого кредита, направляя муниципальные и региональные средства, наряду со сбережениями населения, на осуществление различных инвестиционных проектов [1].

Важным направлением вложения денежных средств населения является вложение в собственный бизнес. Такой механизм предполагает непосредственное инвестирование и совпадение интересов сберегателя и

инвестора. Также механизмом привлечения сбережений населения в инвестиционные процессы являются инвестиции в недвижимость посредством ипотечного кредита. Темпы и масштабы развития ипотеки в различных регионах определяются объективной экономической ситуацией, наличием платежеспособного спроса на жилье и его предложением, а также региональной нормативно-правовой базой и инфраструктурой.

В северных регионах, несмотря на достаточно низкий уровень жилищного кредитования относительно России в целом, отмечается тенденция его роста [5]. Можно предположить, что этому способствовали созданные и разработанные государственные программы со льготными взносами для заемщиков. Самую высокую долю жилищные кредиты составляют в регионах с высоким уровнем среднедушевых доходов.

В северных регионах механизм развития долгосрочного ипотечного кредита не позволяет использовать привлеченные дополнительные внебюджетные источники для активизации жилищного строительства в самом регионе. Ресурсы выводятся из регионов, поскольку население северных регионов активно участвует в долевом строительстве жилья на территории других регионов с более благоприятными климатическими условиями [5].

Особенность использования ипотечных средств в северных регионах (не работают на экономику региона) требует разработки конкретных муниципальных и региональных программ по использованию средств населения для жилищного строительства на территории региона с выделением конечных целей, определенных объектов инвестирования, способов и условий аккумулирования средств.

Еще одним возможным механизмом активизации инвестиционной деятельности на территории региона с помощью привлечения сбережений населения является выпуск ценных бумаг региональными органами власти.

Основное преимущество этого механизма заключается в том, что он может позволить направлять сбережения населения в инвестиционные проекты на местах, снижая нагрузку на бюджет. Для этого региональным властям требуется обозначить инвестиционные проекты в регионе и правила участия в инвестициях для населения и других инвесторов.

В пример можно привести следующую общую схему как вида сотрудничества, в котором участвуют государство и население. Для дополнительного финансирования регионального инвестиционного проекта государство привлекает сбережения населения, предоставляя взамен ценные бумаги с фиксированным процентным доходом, реализация которых возможна через специализированные институты (инвестиционные фонды, банки и др.), и гарантирует сохранность денежных средств. При такой схеме население, являясь непосредственным участником проекта, получает возможность вложить свои сбережения с последующим получением гарантированной, стабильной прибыли.

Использование этой схемы в северных регионах позволит привлечь значительные объемы неорганизованных сбережений северян, направив их на реализацию инвестиционных проектов, имеющих особую значимость в социально-экономическом развитии региона.

Таким образом, существует множество путей и способов привлечения сбережений населения в процесс инвестирования, но фактически роль населения в процессе инвестирования весьма пассивна. Оно может лишь выбирать формы вложения средств, которые предлагают ему государство и различные финансово-кредитные институты. Поэтому для расширения использования средств населения как источника инвестирования необходимо развитие финансовой инфраструктуры, повышение финансовой грамотности населения и активное участие государства, которое должно:

- обеспечивать правовые основы вовлечения дополнительных ресурсов;
- гарантировать населению выбор формы вложения средств по критерию их выгодности с точки зрения интересов и приоритетов их собственников;
- реализовывать собственные интересы, обеспечивая населению более выгодные условия вложения средств;
- осуществлять надзор за деятельностью структур, работающих со средствами населения, выступать гарантом прав и интересов собственников этих средств;
- создавать правовые и организационные предпосылки для работы со средствами населения на муниципальном и региональном уровнях.

В частности, для социально-экономического развития конкретного региона в условиях возрастающей потребности увеличения инвестиционных ресурсов необходимо активное наращивание и наиболее эффективное использование сбережений населения посредством развития прогрессивных форм инвестирования и формирование повышенного инвестиционного интереса к потокам сбережений со стороны государства, банков и других учреждений с учетом региональной специфики.

Литература

1. Гуртов В. К. Инвестиционные ресурсы. М.: Экзамен, 2002. 384 с.
2. Кобылинская Г. В., Чапаргина А. Н. Региональная инвестиционная система: тенденции развития и направления совершенствования: монография. Апатиты: КНЦ РАН, 2013. 164 с.
3. НПФ вошли в систему гарантирования прав застрахованных лиц в системе ОПС / Пенсионный фонд РФ. URL: http://www.pfrf.ru/press_center~2016/07/01/115243.
4. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации – 2014 г. / Федер. служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_14s/Iss.htm

5. Финансовое обеспечение развития северных регионов / под науч. редакцией Г. В. Кобылинской: монография. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. 193 с.
6. Чапаргина А. Н. Состояние и перспективы развития рынка банковских услуг для населения северных регионов // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2014, Т. 2. № 39. С. 51–56.

Е. А. Шлапеко
Институт экономики КарНЦ РАН, Петрозаводск, shlapeko_kate@mail.ru

МЕЖДУНАРОДНОЕ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В АРКТИКЕ (НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММЫ КОЛАРКТИК)

Усиление регионального измерения мировой политики, увеличение количества международных регионов и интеграция внутригосударственных регионов в макрорегиональные комплексы свидетельствуют о новом этапе глобализации. В последние годы Арктический регион также стал пространством пересечения интересов крупнейших мировых держав. Несомненно, интенсивное промышленное освоение Арктики изменяет арктическую экосистему и влияет на жизнь местного населения. Трансграничное партнерство — один из способов укрепить и поддерживать социальное, экономическое и экологическое благосостояние региона при устойчивом использовании природных ресурсов, чтобы его жители и гости могли наслаждаться природой Арктики [5]. В связи с этим программы приграничного и многостороннего сотрудничества — уникальный инструмент, позволяющий развивать местные и региональные инициативы северных территорий.

Основным благополучателем программ приграничного сотрудничества ЕС и России является население периферийных приграничных регионов. При рассмотрении международной деятельности, осуществляемой в программном регионе, можно выявить ключевых игроков, их интересы и тенденции сотрудничества. Хотя стратегические цели программ определены заранее, партнеры по проектам выступают с собственными инициативами решения актуальных локальных проблем.

Реализованные проекты в рамках ЕИСП ППС Коларктик на 2007–2013 гг. могут служить аналитической базой исследования. Регионами, входящими в программу, являются Лапландия в Финляндии, Норрботтен в Швеции, Финнмарк, Тромс и Нурланд в Норвегии, Мурманская и Архангельская области и Ненецкий автономный округ в России. Население программной территории составляет около 2,87 млн чел., и почти 70 % из них проживает в российской части [4].

По итогам четырех конкурсов Коларктик в 2010–2013 гг. было рассмотрено 118 проектных заявок, из которых 50 (42 %) были одобрены к реализации на общую сумму грантового финансирования порядка 69 млн евро [1]. Какие регионы более активны в сотрудничестве? Какие организации являются участниками проектов? Каковы наиболее актуальные вопросы для региона?

В рамках данного исследования будет рассмотрено 47 проектов (без учета крупномасштабных), данные о которых размещены на официальном сайте программы и других информационных ресурсах [2]. Проекты были реализованы по трем направлениям: экономическое и социальное развитие, сотрудничество «человек — человек» и развитие самосознания, общие задачи. Чаще всего ведущими партнерами выступают финские организации (25), что связано не только с опытом проектной деятельности, но и процедурой финансовой отчетности, разницей в правилах налогообложения и закупок по сравнению с российской стороной.

В первую очередь, следует обратить внимание на то, что больше половины проектов инициированы организациями из Лапландии (26 проектов), среди которых преобладают заявки от образовательных учреждений — Университета Лапландии (7), Университета прикладных наук Лапландии (5), а также Лапландского профессионального колледжа и Университета Оулу. О высоком уровне сетевого взаимодействия свидетельствует участие представителей регионов и предприятий, как минимум, из трех стран, а также число партнеров от 3 до 20 организаций. Например, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова вошел в число партнерских консорциумов по реализации 6 международных проектов, тем самым выступив одним из лидеров программы по количеству реализуемых проектов и получив финансовую поддержку на общую сумму более 35 млн руб. [2]. Особую заинтересованность демонстрируют средние и высшие учебные заведения и исследовательские институты Арктики, только 5 проектов не имеют научной или образовательной составляющей. Среди шведских институтов обращает на себя внимание участие Технологического университета Лулео в более чем 10 проектах по таким темам, как туризм, геология, логистика и информационно-коммуникационные технологии.

Проекты, затрагивающие проблемы здоровья людей и экологии, реализуются Норвежским институтом исследований воздуха (продовольственная безопасность), Финской службой радиационной и атомной безопасности (радиационная безопасность) и Государственным региональным центром стандартизации, метрологии и испытаний в Мурманской обл. (реагирование на аварийные разливы нефтепродуктов).

Активными партнерами выступают муниципальные образования и региональные министерства Мурманской и Архангельской областей. Высока доля участия коммерческих предприятий и бизнес-ассоциаций в региональных проектах, направленных на развитие туризма, инновации, работу со студентами. Это дает

компаниям конкурентное преимущество по внедрению технологий, подготовки персонала, отработки механизмов взаимодействия с властью (ГЧП) и т. д. Наименьшее количество проектов наблюдается с участием организаций из Ненецкого автономного округа, которые представлены некоммерческим сектором по преимуществу в сфере этнокультурного туризм аи возобновляемых источников энергии.

Следует выделить следующие виды российских НКО в проектах:

- социально ориентированные НКО (например, Российская благотворительная организация «Детские деревни — SOS» (Кандалакша), Региональная общественная организация инвалидов «Надежда» (Архангельск));
- Организации по поддержке малого и среднего бизнеса, бизнес-ассоциации и объединения (например, АНО «Мурманское региональное агентство поддержки малого и среднего бизнеса», ассоциация туристических предприятий Мурманской обл. «Гольфстрим»);
- НКО в сфере образования и культуры (например, Арктический центр подготовки специалистов (Мурманск), АНО «Информационно-исследовательский центр «Ясавэй Манзара» (Нарьян-Мар), «Образовательное, инновационное и научно-исследовательское объединение "Социум+"» (Мурманск));
- организации по защите окружающей среды и устойчивому развитию (например, АНО «Ненецкий центр энергетической эффективности и чистого производства»).

По реализованным проектам можно судить о приоритетных областях развития Арктики: эффективное использование энергии; развитие горнодобывающей и строительной отраслей; информационно-коммуникационные технологии и туризм. Тематика проектов также подтверждает то, что большое значение придается совершенствованию технологий исконно северных сельскохозяйственных отраслей (оленеводства, охотничьего промысла, рыболовства), а также продвижению растениеводства в северных широтах. Традиционными направлениями остаются поддержка коренных народов, укрепление северной идентичности и популяризация Баренц-культуры среди молодежи.

Анализ проектов показал, что на территории программы Коларктик сосредоточена уникальная научно-исследовательская и образовательная база с широким спектром компетенций. Уже сложившиеся контакты и высокая концентрация проектов приводят к консолидации локальных сообществ для решения проблем территории и может способствовать управленческим и мировоззренческим изменениям [3, с. 44]. Арктические международные проекты способствуют передаче знаний, обмену опытом и созданию синергетического эффекта для социально-экономического развития территорий. Объединение усилий и ресурсов с соседними регионами помогает увеличить доступ к инновациям и усиливает региональную конкурентоспособность.

Литература

1. Все о приграничном сотрудничестве и за его пределами. URL: http://www.kolarcticenpi.info/c/document_library/get_file?folderId=982819&name=DLFE-30848.pdf (дата обращения: 04.03.2017).
2. Официальный сайт программ Коларктик ППС 2007 – 2013. URL: http://www.kolarcticenpi.info (дата обращения: 04.03.2017).
3. Шлапеко Е. А. Международная проектная деятельность Республики Карелия как ресурс регионального развития // Ученые записки Петрозаводского гос. ун-та. Серия «Общественные и гуманитарные науки». 2013. №3 (132). С.42–45.
4. Evaluation of the Kolarctic ENPI CBC Programme 2007-2013. URL: http://www.kolarcticenpi.info/c/document_library/get_file?folderId=1572186&name=DLFE-29722.pdf (access date: 04.03.2017).
5. The Joint Programme Document Kolarctic ENPI CBC 2007 – 2013. http://www.kolarcticenpi.info/c/document_library/get_file?folderId=2369893&name=DLFE-28126.pdf (access date: 04.03.2017).

А. А. Яковчук

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Апатиты, yakovchukjr@gmail.com

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭКОТУРИЗМА НА КОЛЬСКОМ СЕВЕРЕ

В современных условиях Арктика приобретает все большую роль в глобальной политике и экономике, а сам Арктический регион становится важнейшей ареной взаимоотношений России с зарубежными партнерами. В «Основах государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу», подписанных осенью 2008 г. президентом России, одной из главных целей государственной политики в этом регионе названо сохранение и обеспечение защиты природной среды, ликвидация экологических последствий хозяйственной деятельности человека [3]. Итогом такой политики является усиление туристско-рекреационного потенциала региона.

Наибольшую ценность в туристско-рекреационном потенциале Мурманской обл. имеют уникальные природные и культурно-исторические объекты, которые могут быть использованы для создания регионального туристского бренда. К ним, в частности, относятся п-ов Рыбачий — самая северная точка суши Российской Федерации, аналог норвежского Нордкапа, оз. Могильное с двумя экосистемами (пресной и морской),

Ботанический сад-институт — самый большой за Полярный кругом и т. д. Конкурентным преимуществом туристско-рекреационного потенциала Мурманской обл. является наличие таких природных явлений, как «полярная ночь» и «полярный день», незамерзающее Баренцево море, три наземные экосистемы (тундра, лесотундра и тайга), которые можно посетить за один день пребывания на территории области, а также снежный покров, сохраняющийся на горнолыжных трассах до мая, и ряд других [5].

Для развития туризма в северных регионах нужна программа переориентации экономики и политики Севера России. На сегодняшний день на получение правительственной поддержки могут рассчитывать те программы, которые не потребуют глобальных экономических затрат со стороны государства и смогут обеспечить экономическую и социальную эффективность в короткие сроки.

Из этого следует, что одной из быстрорентабельных может оказаться программа развития туризма, включая и его наиболее перспективную отрасль на Кольском Севере — экологический туризм. Экотуризм — форма устойчивого туризма, сфокусированная на посещениях относительно нетронутых антропогенным воздействием природных территорий [6]. Преимуществом данной программы является возможность охватывать как небольшие территории, так и большие, включающие области и регионы.

Мурманская обл. интенсивно развивается в сфере туризма. Регион имеет большие возможности для охоты, лососевой рыбалки, созданы условия для альпинизма, горнолыжного спорта, водного и горного туризма. Однако регион считается слабо развитым по степени рекреационного освоения, несмотря на то, что в последнее время путешествия в Мурманскую обл. набирают все большую популярность.

По словам губернатора Мурманской обл. М. В. Ковтун (с февраля 2005 г. заместитель начальника управления Федерального агентства по туризму, а с 2006 по 2009 г. возглавляла отдел по развитию туризма департамента экономического развития Мурманской обл.), туризм стал визитной карточкой Мурманской обл., так как практически все виды туризма, распространенные в Арктической зоне, носят эксклюзивный характер: «Откуда еще можно отправиться на ледоколе на Северный полюс, кроме как из Мурманского порта?». С помощью «Атомфлота» развиваются арктические туры в разных направлениях [10].

Перед тем как приступить к анализу экотуристских возможностей региона, стоит обратиться к классификации моделей экотуризма.

В настоящее время выделяют две основные модели.

1. Американская модель, где экотуризм реализовывается в рамках особо охраняемых природных территорий. Подразумевается экотуризм в его классическом понимании (зоологические туры, геологические, эколого-этнографические, ботанические). Также в эту категорию можно отнести формирование и поддержание этнодеревень, где стремятся воссоздать микроклимат давно ушедшего времени [4]. Такая территория проектируется как музей под открытым небом.

2. В западно-европейской модели экотуризм делится на активный и пассивный. Отдых в палаточных лагерях, рыбалка относятся к пассивным. Активные формы экотуризма включают в себя разнообразие водных и горных путешествий, скалолазание, а также пешие и лыжные походы.

На Севере России существуют интересные для дальнейшего развития примеры создания экотуристических зон. Рассмотрим два наиболее показательные из них.

Примером американской модели может послужить Саамская деревня «Самь Сыйт» (рис. 1).



Рис. 1. Саамская деревня «Самь Сыйт»

Саамы (лопари) — это коренной народ Швеции, Северной Норвегии, Финляндии, а также Мурманской обл. Территориально-соседская община коренного малочисленного народа саами «Самь-Сыйт» ежегодно проводит этнотуристические экскурсии в саамскую деревню. В 2014 г. деревней было принято более 7 тыс. гостей, половина из них были из дальнего зарубежья [1].

Руководитель саамской общины в деревне Самь Сыйт поставил перед собой задачу сохранить народность, возродить ее традиции и обычаи. Для приобщения к жизни саамов были построены:

- куваксы — традиционные переносные жилища кочевых народов Севера, которые имеют конусообразный каркас из нескольких шестов, соединенных вершинами, на которые натягивали чехол из оленьих шкур;
- капище с деревянными идолами;
- мини-зоопарк с арктическими животными;

Саамская молодежь с российским паспортом на национальном языке сейчас почти не разговаривает и старается при первой возможности переехать в город. Руководители общины пытаются создать условия, чтобы немногочисленные саамы все-таки оставались на родной земле [9].

Примером западно-европейской модели может послужить село Варзуга, расположенное по обоим берегам реки Варзуга (рис. 2).

Село Варзуга — древнейшее русское поселение на Кольском п-ове. Одно из первых упоминаний о нем относят к 1466 г. На данный момент население села Варзуга насчитывает 625 человек [11]. Помимо жилого сектора, здесь находится ряд церквей: Успенская, Афанасьевская, Петропавловская, а также церковь Николая Чудотворца.

Природные ландшафты вокруг Варзуги удивляют своим разнообразием, неподалеку от села находятся живописные озера [8]. Село Варзуга нас интересует, прежде всего, как положительный пример организации хозяйствования на принципах экологического туризма.

После революции экономическая жизнь села была тесно связана с рыболовецким колхозом, который производит, перерабатывает и сбывает сельскохозяйственную и рыбную продукцию [2].

В 1990-х гг. деятельность колхоза была направлена на развитие рыболовного туризма. Для туристов были построены спортивно-туристические лагеря на реках Кица, Умба, Варзуга и др. На сегодняшний день их посещает множество иностранных туристов. В 2000-х гг. предприятие расширило сферу любительского рыболовства, арендовав 12 озер по всему Терскому берегу. Путевки на отлов рыбы распространяются в основном среди жителей Мурманской обл.; наиболее популярен зимний подледный лов.

Колхоз занимается также животноводством и переработкой сельскохозяйственной продукции (производится масло, колбаса), жилищным строительством в селе, в его ведомстве находятся детский сад и общеобразовательная школа [7].



Рис. 2. Село Варзуга

Результат такого грамотного хозяйствования характеризует низкий уровень безработицы в селе, а также высокий, в сравнении со многими другими поселениями, социальный уровень жизни.

Сегодня колхоз входит в Союз рыболовецких колхозов Мурманской области, а также внесен в единый федеральный реестр туроператоров Федерального агентства по туризму Российской Федерации.

Рассмотренные примеры, как и многие другие туристические объекты на Кольском п-ове, имеют огромный потенциал для развития экологического туризма. Тем не менее, существует присущий большинству северных территорий ряд факторов, которые тормозят развитие экологического туризма на Кольском Севере. Многие места, имеющие хороший потенциал к развитию экотуризма, труднодостижимы, во многом проблема заключается в отсутствии необходимых средств коммуникации и транспорта.

В заключение отметим, что для того чтобы повысить популярность Кольского Севера среди потенциальных туристов, необходимо найти пути решения следующих проблем:

1) отсутствие эффективной государственной поддержки развития инфраструктуры туризма;

2) слабые маркетинговые стратегии турфирм по продаже туристских услуг;

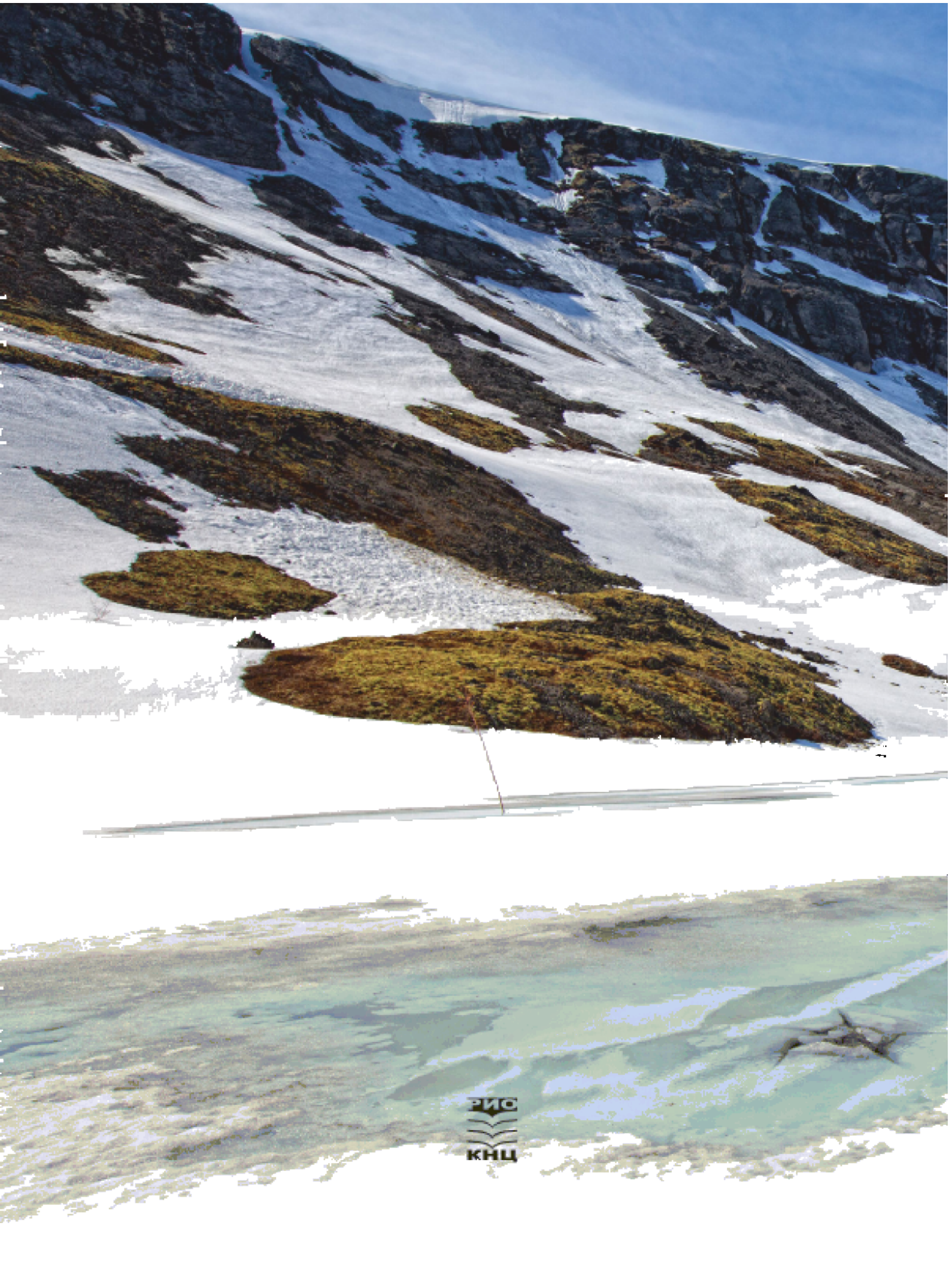
3) низкая разновидность туристских услуг, предлагаемых турфирмами;

4) завышенная стоимость туристских услуг со стороны турфирм.

Решив эти задачи, Кольский Север станет более привлекательной туристической зоной, что должно поспособствовать увеличению темпов роста объема въездного туристского потока, а также стимулировать создание и развитие новых конкурентоспособных туристских продуктов.

Литература

1. Бартенев И. А., Федоров Б. Н. Беломорье // Архитектурные памятники Русского Севера. М. ; Л. : Искусство, 2008.
2. Велигжанина Е. Коренной уклад. Развитие традиционных промыслов саамов станет основой для современного производства // Российская газета. Регион. Мурманск. 2011. № 171 (5547).
3. Козлов К. А., Гудовских Н. С., Кузнецов В. В. Стратегическая значимость арктической зоны Российской Федерации // Технологии гражданской безопасности. 2010. № 4, Т. 7.
4. Культурное и природное наследие Европейского Севера: сб. Архангельск: Поморский ун-т, 2009.
5. Ларичкин Ф. Д., Харитонова Г. Н., Алиева Т. Е. Роль туризма в модернизации экономики российских регионов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Петрозаводск — Кондопога, 8–10 июня 2010 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 86–91.
6. Лукичев А. Б. Сущность устойчивого и экологического туризма // Российский журнал Экотуризма. 2011. № 1. С. 3–6.
7. Мурманская область: путеводитель. Авангард, Le Petit Futé, 2004.
8. Святые и святыни северорусских земель: по материалам VII науч. региональной конф. / науч. ред. и сост. Н. И. Решетников. Каргополь, 2002.
9. Сказки Терского берега Белого моря. М.: Наука, 1970.
10. Туризм стал визитной карточкой Мурманской области // Polit.ru URL: http://polit.ru/article/2014/05/30/tourism/.
11. Численность населения на начало 2016 года и в среднем за 2015 год по Мурманской области (по области, муниципальным образованиям, городам, посёлкам городского типа). URL: http://murmanskstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/murmanskstat/ru/statistics/population/.


РИО
КНЦ