ГИ КНЦ РАН
★ Apatity
1951

ФИЦ КНЦ РАН КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФОСАГРО
при финансовой поддержке

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЯ *Северной Евразии*

VII Международная конференция
Апатиты, 22–31 августа 2026 г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ФИЦ КНЦ РАН)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ КНЦ РАН

«ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЯ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ»

VII Международная конференция
и школа молодых ученых

(Апатиты, 22–31 августа 2026 г.)

Тезисы докладов

Апатиты
Издательство Кольского научного центра РАН
2026

УДК 56:551.89:556
ББК 26.222.6
П14

Редакционная коллегия:
Д.А. Субетто (отв. редактор), Д.С. Толстобров,
А.Н. Толстоброва, К.А. Шихирина

«Палеолимнология Северной Евразии». VII Международная конференция
П14 и школа молодых ученых (Апатиты, 22–31 августа 2026 г.) : тезисы докладов. — Апатиты : Изд-во Кольского научного центра РАН, 2026. — 332 с. : ил.

ISBN 978-5-91137-573-7

В сборник включены тезисы докладов VII Международной конференции и школы молодых учёных «Палеолимнология Северной Евразии» (Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, 22–31 августа 2026 г.). Представлены материалы, посвященные современным достижениям в области реконструкции динамики климата и окружающей среды Северной Евразии в плейстоцене и голоцене на основе междисциплинарных исследований донных отложений озер и реконструкции палеобассейнов геоморфологическими и геоархеологическими методами.

Материалы сборника могут представлять интерес для широкого круга исследователей и инженеров, аспирантов и студентов высших учебных заведений, занимающихся научными и практическими исследованиями в области палеолимнологии, палеоклиматологии и палеогеографии.

УДК 56:551.89:556
ББК 26.222.6

Конференция проведена при поддержке:

Геологический институт КНЦ РАН

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФОСАГРО®

ISBN 978-5-91137-573-7
DOI:10.37614/978.5.91137.573.7

© Геологический институт КНЦ РАН, 2026
© ФИЦ КНЦ РАН, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ. 10-11

Адамская П.Н., Слуковский З.И. Геохимия компонентов водосбора арктического озера Портлубол как отражение эволюции его экосистемы. 12-14

Андреева Д.Б., Zech W. Н-алканы в донных отложениях озера Большое Еравное (Забайкалье): реконструкция растительности и климата за последние 38 тыс. лет 15-17

Андреев Р.А., Мазей Н.Г, Карпенко Л.В., Прокушкин А.С., Куприянов Д.А., Шатунов А.Е., Макарова Е.А., Новенко Е.Ю. История развития болотного массива южной криолитозоны Средней Сибири в голоцене по изотопно-геохимическим данным и ботаническому составу торфа 18-20

Артюшина К.В., Кублицкий Ю.А., Орлов А.В., Левкова Д.Н., Клешняк И.Д. Влияние пожаров на осадконакопление старичного водоема (на примере Среднего Полужья): методы и первые результаты. 21-23

Атаев З.В. Арало-Каспийская область как система палеобассейнов позднего неоплейстоцена – голоцена: уровенные колебания, палеогидрологические связи и ландшафтные последствия. 24-27

Атаев З.В., Гаджиев А.А., Братков В.В., Абдулаев К.А., Теймуров А.А. Современная регрессия Каспийского моря и трансформация приморских ландшафтов Дагестана как основа для реконструкции позднеголоценовых береговых процессов. 28-31

Бакуменко В.О. Палеоэкологическая реконструкция климата и окружающей среды голоцена западной части Восточно-Европейской равнины методом хирономидного анализа 32-33

Баранов Д.В., Комагорова М.А., Юрченко А.П., Константинов Е.А., Захаров А.Л., Сыроватко Ф.А., Мокиевский Н.В., Луговой Н.Н. История развития Заболотского озера (север Московской области): первые результаты и перспективы исследования 34-37

Белянин П.С. Развитие растительности в бассейне оз. Утиное (юг Дальнего Востока) в среднем-позднем голоцене 38-41

Белкина Н.А., Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Рыбалко А.Е., Здоровеннов Р.Э., Выборова Н.В., Ефременко Н.А., Потахин М.С., Гатальская Е.В., Орлов А.В. Современный седиментогенез Онежского озера и восстановление седиментационных обстановок прошлого. 42-44

Болиховская Н.С. Климато-фитоценотические сукцессии этапов озерного осадконакопления Лихвинского (Чекалинского) опорного разреза неоплейстоцена. 45-48

Болобанщикова Г.Н., Рогозин Д.Ю. Позднеголоценовые отложения диатомовых водорослей в озере Пеюнгда близ окрестностей Тунгусской катастрофы 1908. 49-52

Борисова О.К., Нарышкина Н.Н., Панин А.В. Короткопериодные климатические колебания раннего голоцена в бассейне верхнего Днепра по данным палинологических исследований озерных отложений. 53-56

Борцов А.В. Особенности формирования геокриологических условий в западной части котловины озера Лама в позднем неоплейстоцене-голоцене. 57-58

Вашков А.А., Толстоброва А.Н., Коваленко Н.А., Сергиенко Д.Д. Озерно-ледниковые отложения в центральной части Кольского полуострова. 59-62

Ветлужских С. Д., Фролова Л. А. Хорологическая структура рецентных Cladocera в поверхностных донных отложениях озер острова Средний (Республика Карелия) 63-65

Вокуева С.И., Слуковский З.И., Денисов Д.Б. Диатомовые комплексы из донных отложений озера Северное (г. Мурманск, Россия) 66-68

Газизова Т.Ю., Сапелко Т.В. Водная растительность островных озер в Ладожском озере: прошлое и настоящее. 69-72

Гаранкина Е.В., Беляев Ю.Р., Гуринов А.Л., Захаров А.Л., Мишуринский Д.В., Романенко Ф.А., Ващалова Т.В., Ананьева Э.Г. Позднеледниковые и голоценовые озера в долине Малой Белой (Хибины): опыт реконструкции размеров и условий формирования древних водоемов. 73-76

Гольева А.А., Лебедева М.П., Субетто Д.А., Мергелов Н.С., Орлов А.В., Макиевский Н.В. Микрослоистость озерно-ледниковых отложений озер Великое, Полевское и Лавкозеро, Заонежский полуостров 77-79

Греков И.М., Левкова Д.Н. Результаты спорово-пыльцевого анализа донных отложений озера Антюх-Ламбина (Кандалакшский берег Белого моря) 80-82

Гренадерова А.В., Подобуева О.В. Ретроспективная оценка пожарной активности в пределах южной тайги Средней Сибири в условиях изменяющегося климата голоцена. 83-86

Гуринов А.Л., Иванов М.М., Суханова Т.Д., Кузьменкова Н.В., Александрин М.Ю., Успенский М.И., Шоркунов И.Г., Гаранкина Е.В., Голосов В.Н. Донные отложения приледниковых озёр Центрального Кавказа как архив дегляциации на их водосборах. 87-89

Даувальтер В.А., Слуковский З.И. Динамика содержания тяжелых металлов в донных отложениях озер в зоне влияния арктической горно-металлургической компании в последнее столетие 90-93

Дружинина О.А. Климат юго-восточной Прибалтики в позднем неоплейстоцене в свете палеоклиматических реконструкций по данным Балтийского региона 94-96

Егоров А.В., Пестрякова Л.А. Морфометрические и гидрохимические характеристики озер с повышенной минерализацией Лено-Амгинского междуречья 97-99

Ерохова М.С., Кулькова М.А., Маркова М.А., Стрельцов М.А. Реконструкция ландшафтно-климатических условий по результатам исследования донных отложений озера Аджибайчикское (Северо-Западный Крым) 100-102

Жданова А.Н., Агатова А.Р., Непоп Р.К., Щетников А.А. Минеральный состав донных отложений озера Верхние Богуты (Горный Алтай) 103-105

Зарецкая Н.Е., Баранов Д.В., Уткина А.А., Шухвостов Р.С. Сухонское приледниковое озеро в контексте истории озёр по периферии последнего Скандинавского оледенения: возраст и конфигурация. 106-108

Зерницкая В.П., Власов Б.П., Кухарик Е.А., Можейко А.К. Ландшафтно-климатические изменения в пределах гидрологического заказника «Гайно-Бродня» на примере поздне- и послеледниковой истории развития озера Великое (Республика Беларусь). 109-111

Колпакова Е.С. Распределение хлорфенольных соединений в торфе верховых болот Европейского Севера России. 112-114

Комагорова М.А., Борисевич Е.А., Украинцев В.Ю., Шашерина Л.В., Лудикова А.В., Панин А.В. Новые данные о трансгрессии озера Ильмень в голоцене 115-117

Константинов Е.А., Кузьменкова Н.В., Рудинская А.И. Обстановки осадконакопления в озере Сомино (Ярославская область) во второй половине голоцена 118-119

Копытов С.В., Санников П.Ю., Новикова Е.А., Самаркина А.А., Баль А.Н., Пехтерева М.К. Озера заболоченных депрессий Северного Прикамья: новые данные о морфометрии, генезисе и возрасте. 120-122

Копытов С.В., Санников П.Ю., Новикова Е.А. Древнее население на берегах Чусовского озера и рек его водосбора (Среднее Предуралье): природные факторы освоения и жизнеобеспечения в голоцене. 123-125

Косова А.Л., Денисов Д.Б. Диатомовые комплексы донных отложений озера Шуонияур (Мурманская область) 126-127

Костромина Н.А., Волкова Я.Н., Толстоборов Д.С. Динамика растительности и климат района хребта Мустатунтури в голоцене. 128-130

Кублицкий Ю.А., Рассолова А.А., Леонтьев П.А., Малов В.И., Веркулич С.Р., Субетто Д.А. Первые результаты геохимического анализа донных отложений оз. Бретьорна (Западный Шпицберген) 131-133

Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В. Динамика накопления органического вещества в отложениях Ладожского озера и озер его водосбора как индикатор резких изменений уровенного режима в прошлом 134-135

Куприянов Д.А., Носова М.Б. Морфологические типы древесного угля в озёрных и болотных отложениях как индикатор источников топлива и типов ландшафтных пожаров в голоцене 136-138

Лаврова Н.Б., Толстобров Д.С., Вашков А.А. Особенности палиноспектров донных отложений каскада малых озер Кандалакшского залива (Белое море) 139-141

Лаптева Е.Г., Копытов С.В., Зарецкая Н.Е. Реконструкция палеоэкологических условий позднеледниковья и голоцена на основе изучения донных отложений озер и торфяников Камско-Кельтминской низменности (Пермский край). 142-143

Лаптева Е.Г, Корона О.М. Таксономический и биоэкологический анализ состава современной, субрецентной и голоценовой флор Малоземельской тундры 144-146

Левина С.Н., Городничев Р.М., Кондакова Н.С., Пестрякова Л.А. Физико-химические особенности и качество воды Атласовских озер г. Якутска 147-149

Левкова Д.Н., Сапелко Т.В., Леонтьев П.А., Субетто Д.А. Предварительные результаты палинологического исследования донных отложений оз. Банного (о. Анзер, Соловецкий архипелаг). 150-153

Леонова Г.А., Мальцев А.Е., Кривоногов С.К., Смоленцева Е.Н. Геохимические индикаторы условий седиментогенеза оз. Иткуль как отражение климатических флуктуаций голоцена лесостепной зоны юга Западной Сибири (Барабинская низменность). 154-157

Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Городилов А.Ю. «На берегу пустынных волн»: история послеледниковых палеобассейнов на территории г. Санкт-Петербурга – новые данные 158-159

Макарова Е.А., Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г., Зюганова И.С., Куприянов Д.А. Эволюция растительности и климата Южной Эвенкии за последние 5,3 тыс. лет. 160-162

Масленникова А.В. Палинологическая реконструкция условий осадконакопления озера Сабакты (Южный Урал) в конце позднеледниковья — начале голоцена. 163-165

Минюк П.С., Пожидаева Д.К. Условия седиментации в озере Черное, Магаданская область 166-169

Михайлова А.Б., Гренадерова А.В. Отклик болотных ландшафтов бассейна р. Енисей в экотоне тайга-лесостепь на суббореальный ксеротермический максимум 170-173

Нигаматзянова Г.Р., Страховенко В.Д., Фролова Л.А. Позднеголоценовая история растительности и климата юга Западной Сибири по спорово-пыльцевым данным отложений озера Колыванское. 174-177

Николаева С.Б. Следы катастрофических событий во внутренних бассейнах мира и их отражение в разрезах донных осадков. 178-180

Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г., Прокушкин А.С., Куприянов Д.А., Руденко О.В. Изменения растительности в нижнем течении р. Енисей в районе Игарки в среднем и позднем голоцене. 181-184

Новиков И.С., Добрецов В.Н. Береговые образования позднеплейстоценовых палеоозер в Курайско-Чуйской системе межгорных котловин (Горный Алтай): гипсометрия, морфология, возраст. 185-188

Носова М.Б., Лавренов Н.Г., Ваганова С.А., Северова Е.Э., Шашерина Л.В., Захаров А.Л., Зарецкая Н.Е., Зазовская Э.П., Константинов Е.А. Антропогенная динамика растительности в позднем голоцене: от Смоленского Поозерья до Валдая. 189-191

Орлов А.В., Гасымова И.И., Субетто Д.А. История формирования и развития малых озер Заонежья в позднем неоплейцстоцене и голоцене. 192-194

Павлова М.Р. Палеоэкология торфяника в пределах распространения позднечетвертичного эолового рельефа в долине среднего течения р. Лены (Центральная Якутия) 195-198

Палагушкина О.В. К закономерностям географического распределения диатомовых водорослей современных донных осадков озер Голарктики. 199-202

Пожидаева Д.К., Минюк П.С., Морозова М.А. Реконструкция условий формирования поздненеоплейстоценовых – голоценовых осадков озер Форель и Уи, Магаданская область 203-206

Попова Д.Н., Пестрякова Л.А., Рудая Н.А. Таксономический состав диатомовых водорослей озера Караколь-Нур (Республика Алтай) 207-209

Потахин М.С., Зобков М.Б., Кублицкий Ю.А., Кузнецов Д.Д., Науменко М.А., Субетто Д.А. Реконструкции развития Ладожского озера и его водосбора в поздне- и послеледниковое время ГИС-методами 210-213

Пронина А.В., Сёмкин П.Ю. Озеро Ажабачье как палеоархив природной среды Камчатки: предварительные результаты изучения верхней колонки донных осадков 214-217

Пронина А.В., Белкина Н.А. Особенности накопления углерода в донных отложениях озер Карело-Кольского региона в голоцене 218-220

Пупышева М.А. Пространственно-временная изменчивость динамики пожаров в Западной Сибири в голоцене по данным комплексных палеоэкологических исследований озерно-болотных отложений. 221-224

Пупышева М.А., Шефер Н.В. Реконструкция динамики пожаров в тундровой и таежной зонах Западной Сибири в голоцене по данным анализа озерно-болотных отложений. 225-228

Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Белянин П.С., Копотева Т.А., Климин М.А. Отражение мультидекадных климатических изменений среднего-позднего голоцена в отложениях малых озер Приморья. 229-232

Рудинская А.И., Константинов Е.А., Александрин М.Ю., Бердинских Д.В. Первые результаты изучения условий седиментации в Плещеевом озере в позднем плейстоцене и голоцене. 233-234

Рыбалко А.Е., Савельева Л.А., Пушина З.В., Токарев М.Ю., Бирюк М.А. Озерный этап развития Беломорского бассейна в позднем неоплейстоцене. 235-238

Самаркина А.А, Сырых Л.С., Назарова Л.Б., Санников П.Ю. Результаты хирономидного анализа оз. Новожилово (Пермское Прикамье) . . . 239-241

Самусь А.В., Захаров А.Л., Константинов Е.А. Растительность Борисоглебской возвышенности в финальном пленигляциале и позднеледниковье: первые результаты палинологического исследования отложений Сарского болота. 242-243

Сапелко Т.В., Цыганов А.Н., Чернышов В.А., Игнатьева Н.В., Куприянов Д.А., Гусева М.А., Крылова В.Ю., Мазей Ю.А. Новые методы комплексных палеолимнологических исследований Ладожского озера 244-247

Сапрыкин А.Д., Болиховская Н.С., Сарапулкин В.А., Котеньков С.А., Соловьев Д.С. Развитие растительности дельты Волги с X в. н.э. по палинологическим данным (на материале изучения археологического памятника Малый Костюбе 1) 248-251

Слуковский З.И. Палеолимнология урбанизированной среды: эколого-геохимические аспекты исследования современных отложений городских озер. 252-255

Солотчин П.А., Жданова А.Н., Мальцев А.Е., Солотчина Э.П. Минеральные индикаторы климата голоцена в донных отложениях озер юга Западной Сибири. 256-259

Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Малов В.И., Белкина Н.А., Орлов А.В. Закономерности седиментации в период перехода от ледниковых к межледниковым условиям на примере малых озёр, ранее входивших в акватории Балтийского ледникового, Онежского приледниковых озер и высоко/среднегорных озер Горного Алтая. 260-263

Субетто Д.А., Страховенко В.Д., Рыбалко А.Е., Белкина Н.А., Орлов А.В., Кублицкий Ю.А., Потахин М.С., Зобков М.Б. Особенности озерного осадконакопления на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена: источники вещества, условия и механизмы. 264-267

Суворова А.Н., Садоков Д.О., Савельева Л.А., Петров А.Ю., Бабешко К.В. Корреляция спорово-пыльцевых комплексов озерных отложений позднеледниковья и голоцена Молого-Шекснинской низменности. 268-270

Сырых Л.С., Григорьева О.Е., Назарова Л.Б., Орлов А.В., Белкина Н.А., Субетто Д.А. Предварительные результаты хирономидного анализа колонки донных отложений оз. Большое Корзино, Соловецкий архипелаг. 271-273

Сырых Л.С., Назарова Л.Б., Хонг-Чун Ли (Hong-Chun Li), Фролова Л.А. Реконструкция климата и экологии оз. Плещеево (Ярославская область) за последние 2000 лет по данным хирономидного анализа. 274-277

Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Корсакова О.П. Положение береговой линии моря в Колвицкой депрессии (Кольский полуостров). . . 278-281

Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С. Диатомовая флора донных осадков озера Гирвас (Кольский регион). 282-284

Трубицына Э.Д., Рябогина Н.Е. Реконструкция пожарной динамики Приишьмья по материалам торфяника Гладиловский Рям. . . . 285-287

Украинцев В.Ю. Реконструкция динамики уровня озера Неро по данным бурения палеорусел. 288-289

Фадеева Е.Л., Рудинская А.И., Константинов Е.А. Позднеголоценовые диатомовые комплексы озера Сомино (Ярославская область). 290-291

Фоменко А.В., Зольников И.Д., Новиков И.С., Филатов Е.А., Фетисов И.С. Микролитологическая диагностика озёрно-ледниковых песчаных отложений Чуйской котловины (Горный Алтай). 292-294

Фролова Л.А., Нигматуллин Н.М. Палеоэкологическая реконструкция развития озера Ямбето (юг полуострова Ямал) по данным субфоссильных Cladocera. 295-297

Чепурная А.А. Выявление климатического сигнала при сопоставлении палинологических и геохимических данных из отложений оз. Каракель (Западный Кавказ) для времени позднего голоцена 298-300

Чжан Сяохун, Николаев А.Н., Давыдова П.В., Пестрякова Л.А. Связь радиального прироста деревьев в Центральной Якутии с уровнем термокарстового озера Тюнгюлю 301-303

Шаталова А.Е., Кулькова М.А., Стрельцов М.А. Этапы эволюции озера Аджибайчикского в голоцене по результатам диатомового анализа. 304-306

Шаталова А.Е., Левкова Д.Н., Сапелко Т.В., Репкина Т.Ю. Результаты диатомового анализа по донным осадкам озера Водоносного (Белое море). 307-309

Шатунов А.Е., Куприянов Д.А., Андреев Р.А., Макарова Е.А., Мазей Н.Г., Прокушкин А.С., Новенко Е.Ю. Пожарный режим в среднем течении Подкаменной Тунгуски в голоцене. 310-312

Шашерина Л.В., Панин А.В., Константинов Е.А. Реконструкция колебаний уровня долинных озер Днепро-Двинского региона в позднеледниковье и голоцене. 313-315

Шихирина К.А., Суворова А.Н., Клешняк И.Д. Первые результаты спорово-пыльцевого анализа донных отложений оз. Налимовка (Карельский перешеек) 316-319

Шихирина К.А., Толстобров Д.С. Гранулометрический состав и содержание органического вещества в донных отложениях изолированных озер полуострова Рыбачий. 320-324

Щуряков Д.С., Гришуткин О.Г., Чернова Н.А. Исследования сфагновых болот с прерывистым типом залежи лесостепной зоны Европейской части России: динамика развития и экологические параметры. . . . 325-328

Юрченко А.П., Константинов Е.А., Захаров А.Л., Шоркунов И.Г., Шухвостов Р.С. Как геофизические методы помогают реконструировать историю озер (на примере Сарской котловины, Ярославская область)? 329-331

ПРЕДИСЛОВИЕ

Конференция «Палеолимнология Северной Евразии» посвящена реконструкции динамики климата и окружающей среды Северной Евразии в плейстоцене и голоцене на основе междисциплинарных исследований донных отложений озер и реконструкции палеобассейнов геоморфологическими и геоархеологическими методами. Конференция направлена на обмен опытом и результатами исследований в области палеолимнологии, проведение обучающих семинаров для молодых ученых, аспирантов и студентов, определение перспектив палеолимнологических исследований и разработку планов дальнейших исследований.

Первая конференция была проведена в 2014 году в Петрозаводске, и проводится с тех пор, каждые два года. VII Международная конференция и школа молодых ученых «Палеолимнология Северной Евразии» прошла на двух площадках: с 22 по 27 августа 2026 года в Геологическом институте Кольского научного центра РАН (г. Апатиты) и с 28 по 31 августа на базе Беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова биологического факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

В Геологическом институте КНЦ РАН проведены пленарные и секционные заседания с участием ведущих специалистов в области палеолимнологии. В ходе конференции помимо работы тематических секций запланированы обзорные экскурсии по местным музеям и полевой выезд на Хибинский массив.

В работе конференции состоялся круглый стол на тему «Кремнистые микрофоссилии: что мы встречаем в донных осадках, помимо диатомей, и как мы это интерпретируем». Различные специалисты, среди которых диатомологи, палинологи и другие, в своей профессиональной деятельности так или иначе сталкиваются со спикулами, цистами хризофитов и т.д.. Участники обсудили методы работы с такими объектами, обменялись опытом и продемонстрировали фотографии трудноопределяемых микрофоссилий.

27 августа состоялся полевой выезд в долину Малого Вудъявра, где представлены доклады о геологическом строении Хибинского массива и истории его развития в позднеплейстоценовую эпоху. Также показаны типичные керны донных осадков озерных котловин, изолированных от морских бассейнов.

С 28 по 31 августа 2026 года в рамках конференции на базе Беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова состоялся полевой симпозиум, в рамках которого за два дня 22 ученых представили результаты последних исследований, связанных с палеолимнологическими реконструкциями, и обсудили новейшие методы. В рамках практических занятий испытали их на практике как на изолированных озерах в окрестностях станции, так и во время морского выезда. Были рассмотрены береговые формы рельефа и морские отложения, представлены результаты последних исследований беломорского бассейна.

В данном сборнике представлено 95 работ, в которых затрагиваются вопросы по следующим ключевым направлениям:

1. Палеоклиматические и палеоэкологические реконструкции на основе изучения донных отложений озер и торфяников;

2. Реконструкции уровней озер и морей, движение их береговой линии, эволюция берегов;

3. Преобразования палеобассейнов и гидрографических систем;

4. Человек и озерные экосистемы (геоархеология и палеолимнология);

5. Влияние климатических и экологических изменений на экосистему озер Северной Евразии.

Каждый раз конференция и школа молодых ученых «Палеолимнология Северной Евразии» привлекает большое количество исследователей, представляющих различные научные направления и возрастные группы. Проведение школы-конференции способствует росту квалификации кадров в академических институтах, вузах и производственных организациях в сфере рационального природопользования. Сборник материалов заинтересует геологов, палеогеографов, геоморфологов, студентов, аспирантов и всех, кто интересуется природой.

Редакционная коллегия

Геохимия компонентов водосбора арктического озера Портлубол как отражение эволюции его экосистемы

Адамская П.Н.[1,2], Слуковский З.И.[1]

[1]Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, adamskaya@bk.ru
[2]Филиал ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», г. Апатиты

Введение. Изучение ландшафтно-геохимических особенностей водных экосистем имеет приоритетное значение для высокоширотных территорий. Низкие среднегодовые температуры и ультрапресный состав вод существенно замедляют расщепление поступающих веществ. В подобных обстановках слабая интенсивность осадконакопления позволяет сапропелевым и минеральным отложениям выступать в роли надежного индикатора долгосрочных изменений окружающей среды. Наибольшую ценность для геоэкологического мониторинга имеют макро- и микрокомпоненты поверхностного слоя донных осадков, физико-химические параметры которого фиксируют современные тренды накопления и дифференциации элементов (Даувальтер, Кашулин, 2014). В качестве репрезентативного фонового объекта с минимальным уровнем техногенного воздействия авторами рассмотрено оз. Портлубол, расположенное в северо-западной части Кольского региона. Предыдущие исследования данного водоема выявили высокие содержания Mo (до 137.1 мг/кг), U (до 49.7 мг/кг), РЗЭ (до 989.7 мг/кг), а также сопутствующих микроэлементов в донных отложениях (Slukovskii et al., 2025). Зафиксированный рост концентраций элементов с увеличением глубины слоев указывает на доминирование природных факторов накопления над антропогенными. Для верификации генетических источников вещества в бассейнах седиментации была исследована специфика и масштабы миграции химических элементов в системе «коренные породы – торф – поверхностные воды – донные отложения». Настоящее исследование направлено на анализ закономерностей геохимического миграции в системе компонентов водосбора оз. Портлубол, а также на выявление ключевых механизмов, обуславливающих концентрирование Mo, U и РЗЭ в озерных осадках.

Материалы и методы. Оз. Портлубол расположено в северной части Мурманской области (Печенганский район) в лесотундровой зоне. В районе водоема на дневную поверхность выходят полнокристаллические скальные гранитные интрузии возраста раннего протерозоя (калевия) (Атлас…, 1971). Коренные породы перекрыты тонким слоем ледниковых четвертичных отложений, представленных валунными песками, суглинками и песчаными суглинками с гравием и щебнем. На удалении до 500 метров от уреза воды коренные выходы гранитоидов отделены от акватории заболоченной низиной.

Химический анализ микроэлементов и редкоземельных элементов в донных отложениях, торфе и горных подорах проводился с использованием масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой XSeries-2 ICP-MS на базе Института геологии КарНЦ РАН. Так же на базе КарНЦ методом ICP-MC на масс-спектрометре ELAN-9000 определялся микроэлементный состав воды. Диагностика минеральных включений и изучение их химического состава были выполнены в Геологическом институте КНЦ РАН с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO-1450 (Carl Zeiss Microscopy, Германия). Подробная методика подготовки проб к анализу и описание методов лабораторных исследований приводится в работе (Шелехова и др., 2020).

Результаты и заключение. В ходе исследования было установлено, что в гранитоидах гранитоидного массива близ оз. Портлубол коэффициенты концентрации (K_c) относительно кларка земной коры повышены для широкого спектра элементов, включая Mo (K_c = 13.7), Cd (K_c = 8.4), РЗЭ (K_c = 7.4), Ba (K_c = 5.9), Tl (K_c = 4.7) и U (K_c = 3.9). Методом сканирующей электронной микроскопии были обнаружены включения шеелита,

молибдошеелита и бастнезита (Ce-, La-, Nd- и Pr-специфики). Дополнительно обнаружены галенит, циркон и поликомпонентная минеральная фаза (Pb–Th–Zr–U) (Адамская, Слуковский, 2025). Генезис указанной ассоциации обусловлен магматическими и гидротермальными процессами (Кудряшов и др., 2020), что позволяет рассматривать изученные гранитоиды как главный эндогенный источник Mo, Th, U и РЗЭ для сопряженных ландшафтов.

В торфе прилегающего к оз. Портлубол болота установлены многократно превышающие кларк аномалии Mo (до 37.2 мг/кг), РЗЭ (до 923.4 мг/кг) и U (до 25.9 мг/кг), что так же значительно превышает кларки. Характер распределения микроэлементов в вертикальном профиле торфяного керна демонстрирует увеличение их содержаний с глубиной, что аналогично трендам отмеченным в колонке донных отложений оз. Портлубол.

В ходе исследования водных объектов были отобраны пробы вод поверхностного и придонного (на глубине 19 м) горизонтов оз. Портлубол, трех, впадающих в него ручьев и озера б/н, локализованного в пределах болота. Согласно классификации (Алекин, 1948) воды оз. Портлубол относятся к хлоридному классу группы натрия: $HCO^{3-} + SO_4^{2-} < Ca^{2+} + Mg^{2+}$. Результаты химического анализа воды оз. Портлубол показывают низкие концентрации большинства микроэлементов, характерные для пресных северных вод (Gaillarded et al., 2014). В частности, концентрации Mo варьирует 0.63–0.79 мкг/л, U – 0.08–0.14 мкг/л, РЗЭ – 1.28–1.92 мкг/л. Аналогичные гидрохимические тренды наблюдаются для всех исследованных водных объектов. При этом наибольшие концентрации РЗЭ (4.49 мг/кг) приурочены к водам оз. б/н. Любопытно, что в придонном слое вод оз. Портлубол наблюдается заметное увеличение содержаний Mn (16 мкг/л), что служит индикатором активации редокс–процессов на границе «вода–донные отложения».

Для оценки степени интенсивности переноса элементов в ландшафтно-геохимической системе водосбора были рассчитаны коэффициенты миграции. Апробация классического коэффициента водной миграции показа его малоинформативность в отражении стадий перераспределения вещества в системе. Учитывая, что на путях стока от коренных пород к озеру развито болото, миграционный процесс был рассмотрен поэтапно: породы – торф – вода – донные отложения (табл. 1). Поэтапный расчет частных коэффициентов распределения позволил локализовать зоны выноса и сорбционного удержания элементов.

Таблица 1

Расчет коэффициентов миграции элементов (Kx) в системе компонентов водосбора

	$C_{Породы}$ (мг/кг)	$C_{Торф}$ (мг/кг)	$C_{Вода}$ (мг/л)	$C_{Осадки}$ (мг/кг)	*K1* породы→ торф	*K2* торф → вода	*K3* вода → осадки	***Kx* total**
Mo	7.56	11.30	1.56	101.73	1.50	0.14	65.02	13.46
U	3.79	13.89	0.54	40.65	3.66	0.04	75.62	10.73
РЗЭ	490.31	537.68	1.81	767.42	1.10	0.003	423.22	1.57

Установлено, что торф выступает в роли геохимического барьера. На данном барьере происходит удержание наименее подвижных в гумусовых водах РЗЭ и U. Напротив, Mo характеризуется большей подвижностью и легче поступает в озерную воду. На стадии осадконакопления в оз. Портлубол физико-химические условия способствуют интенсивному осаждению всего спектра изученных микроэлементов, что приводит к их концентрированию и формированию выраженных геохимических

аномалий в донных отложениях. Таким образом ряд подвижности микроэлементов, проявляющих наибольшие аномалии в системе водосбора выглядит как: Mo > U >> РЗЭ.

Заключение. В результате комплексного ландшафтно-геохимического исследования системы «коренные породы – торф – поверхностные воды – донные отложения» оз. Портлубол установлены естественные источники вещества и реконструированы стадийные механизмы миграции микроэлементов. Проведенный минералого-геохимический анализ позволил установить, что поставщиком элементов в болото и оз. Портлубол служит гранитный массив. Дифференциация миграционного процесса по этапам показала, что торфы болота функционируют как геохимический барьер для U и РЗЭ, не удерживая более подвижный Mo. Развитие редокс-процессов активирует сорбцию элементов на восстановительном барьере между водой и осадком. Полученные результаты подтверждают доминирующую роль природного (геологического) фактора и ландшафтно-геохимической структуры водосбора в формировании состава донных отложений оз. Портлубол.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 24-17-20006 «Фоновые озера Арктической зоны Мурманской области: гидрохимия, аномалии тяжелых металлов и микропластик как новый тип загрязнения водоемов мира».

Список литературы

1. Адамская П. Н., Слуковский З. И. Минеральные включения в гранитоидах района озера Портлубол (Север Мурманской области) // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: материалы XXXVI молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К. О. Кратца и акад. РАН Ф. П. Митрофанова (г. Апатиты, 22–27 сентября 2025 г.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2025. С. 9–11.
2. Алекин О. А. К вопросу о химической классификации природных вод // Вопросы гидрохимии. Тр. НИУ ГУГМС. 1948. № 4. С. 25–39.
3. Атлас Мурманской области / А. Ф. Антонов и др. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1971. 33 с.
4. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Геоэкология озер Мурманской области: монография: в 3 ч. Ч. 1. Водоемы и их характеристики. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2014. 188 с.
5. Кудряшов Н. М., Удоратина О. В., Калинин А. А. и др. Изотопно-геохронологические U–Pb (SHRIMP-RG) и геохимические характеристики циркона из редкометалльных (W, Li) аплитовидных гранитов Мурманского блока // Труды КарНЦ РАН. 2022. № 2. С. 70–81.
6. Шелехова Т. С., Слуковский З. И., Лаврова Н. Б. Методы исследования донных отложений озер Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2020.
7. Gaillardet J., Viers J., Dupré B. Trace elements in river waters // Treatise on Geochemistry. 2nd ed. Elsevier, 2014. P. 195–235.
8. Slukovskii Z. I., Dauvalter V. A., Meshcheriakov N. I. et al. Anomalous concentrations of molybdenum in modern sediments of the background lake in the Arctic (Murmansk Region) // Doklady Earth Sciences. 2025. Vol. 520. P. 31.

Н-алканы в донных отложениях озера Большое Еравное (Забайкалье): реконструкция растительности и климата за последние 38 тыс. лет

Андреева Д.Б.[1], Zech W.[2]

[1] Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, darima.andreeva@gmail.com
[2] University of Bayreuth, Germany

Введение. Донные отложения малых озер являются уникальными архивами палеоэкологической информации, особенно для внутриконтинентальных регионов с резко континентальным климатом, таких как Забайкалье. Органическое вещество (ОВ) донных отложений, включающие липиды, углеводы, белки и другие биологические соединения, образуются как за счет автохтонных организмов озера, так и за счет аллохтонных источников, поступающих извне водной экосистемы (Doyle et al., 2022). В последние десятилетия при изучении ОВ активно применяются биомаркеры - соединения, устойчивые к разложению и сохраняющиеся на протяжении длительного времени в среде (Ficken et al., 2000; Zech et al., 2012). Среди них особое значение имеют нормальные алканы (C_nH_{2n}+2), которые образуются в результате декарбоксилирования жирных кислот с четным числом атомов углерода. Распределение н-алканов по длине углеродной цепи отражает источники ОВ отложений: короткоцепочечные (С14–С20) связаны с микробными организмами, средние (С21–С25) - с водными растениями и мхами, длинноцепочечные (С27–С33) - с древесной и травянистой растительностью. Преобладание определенных гомологов н-алканов в озерных отложениях позволяет идентифицировать состав растительного материала. Для характеристики ОВ озерных отложений апробирован комплекс индексов: CPI (индекс углеродных предпочтений) – показатель степени сохранности; ACL (средняя длина цепи) – индикатор растительности; P_{aq} – индикатор смены водной или наземной растительности.

Озеро Большое Еравное (104 км², глубина до 5 м) – крупнейший водоем Еравнинской котловины Витимского плоскогорья. Проведенные в районе палеоэкологические исследования ограничивались спорово-пыльцевым анализом или общей геохимией (Тарасов, 2002; Tsydenova, 2021). Определение н-алканов по Забайкалью проводились в почвах и погребенных отложениях (Andreeva, 2011), однако в донных слоях они не изучались. Согласно ранее полученным данным, в керне озера Большое Еравное выделены четыре фазы осадконакопления; элементный и изотопный анализ (C/N, $\delta^{13}C$) показал, что растительность в водосборном бассейне на протяжении изученного интервала относится преимущественно к С3-типу (Андреева и др., 2025). Представленная впервые для данного региона реконструкция на основе н-алканов охватывает последние 38 тыс. лет, что является одной из наиболее протяженных записей для подобных водоемов юга Восточной Сибири.

Материалы и методы. Керн донных отложений длиной 200 см отобран в 2015 году при глубине воды 2,6 м. Радиоуглеродное датирование (AMS ^{14}C, Бернский университет, Швейцария) выполнено по семи образцам. Калибровка по IntCal20 (Calib 8.2) позволила установить возраст отложений: *глубина 195 см – 38,4 тыс. л.н.; 145 см -12,0; 130 см – 11,5; 45 см – 10,7; 30 см – 9,9; 20 см – 7,8; 15 см – 7,2 тыс. л.н.* соответственно. Скорости седиментации варьировали от очень низких в нижней части керна до лавинных в верхней, при переходе от плейстоцена к голоцену.

Экстракция липидов выполнена методом Сокслета (DCM:MeOH 9:1). н-Алканы выделены на аминопропиловых колонках, элюированы гексаном и проанализированы на GC-FID (Shimadzu GC-2010, колонка SPB-5) с внешним С8-С40 стандартом (Supelco 49452-U).

Рассчитаны следующие индексы:

$$\mathrm{CPI} = 0{,}5 \text{ x } \frac{(\mathrm{C25+C27+C29+C31+C33})}{(\mathrm{C24+C26+C28+C30+C32})} + \frac{(\mathrm{C25+C27+C29+C31+C33})}{(\mathrm{C24+C26+C28+C30+C32})};$$

$$ACL = \frac{(C27+C29+C31+C33)}{(C27+C29+C31+C33)};$$

$$Paq = \frac{(C23+C25)}{(C23+C25+C29+C31)}.$$

Результаты и обсуждение. Во всех образцах доминируют длинноцепочечные нечетные гомологи С27, С29, С31, что свидетельствует о хорошей сохранности и С3-типе растительности. Суммарная концентрация н-алканов варьирует от 10 до 113 мкг/г сухого веса, максимальное содержание приходятся на интервал глубин 30–10 см и относится к раннему голоцену (9,9 тыс. л.н.).

Индекс CPI изменяется от 4 до 18. Наибольшие значения (16 и 18) зафиксированы на глубинах 190 и 50 см, что указывает на низкую степень биодеградации и благоприятные условия сохранности липидной фракции. Минимальные значения CPI (4–6) наблюдаются в интервале 120–20 см, за исключением слоя на глубины 90 см (7), что может отражать повышенную микробиологическую активность при достаточном поступлении ОВ в озеро.

Значения ACL в керне варьирует от 27,3 до 30,2. Повышение ACL до 30,2 в голоцене свидетельствует о потеплении, при котором наземные растения синтезируют более длинные углеродные цепи. В каргинском интерстадиале (38 тыс. л.н.) на глубине 200 см значение равно 28,9 указывая на умеренно теплые условия, а на 160 см (~аллеред) этот показатель снижается до 27,3.

Индекс P_{aq}, рассчитанный по Ficken et al. (2000), показал значительные колебания. На глубинах 170 см и ниже P_{aq} ~ 0,46, что соответствует смешанному вкладу полупогружных макрофитов и наземной растительности. В интервале 160–90 см P_{aq} возрастает до 0,53–0,86, достигая максимума на глубинах 160 и 120 см 0,86 и 0,76 соответственно. Это свидетельствует о доминировании погруженных и плавающих макрофитов, что характерно для мелководных, хорошо прогреваемых условий с повышенной продуктивностью. В голоценовой части керна (выше 90 см) P_{aq} снижается до 0,55–0,67, указывая на увеличение доли наземной растительности.

Молекулярные биомаркеры позволили выделить несколько этапов климатических изменений. Каргинский интерстадиал характеризуется значениями ACL 28,9, P_{aq} 0,47 и высоком CPI - 8, что указывает на относительно теплый и влажный климат, хорошую сохранность органического материала и преобладание древесно-кустарниковой растительности на водосборе наряду с полупогружными макрофитами. В период, возможного, последнего ледникового максимума на исследуемой территории (около 24–18 тыс. л.н., интервал глубин 190–180 см) наблюдается снижение ACL до 28,4 - 28,5 и повышение CPI до 16 – 14, что интерпретируется как похолодание при сохранении прежнего растительного состава. Резкое повышение P_{aq} до 0,86 и снижение ACL 27,3 на глубине 160 см, может указывать на повышение уровня воды или локальное заболачивание, вероятно, этот слой соответствует потеплению аллеред. На рубеже плейстоцена-голоцена (12,0 - 11,5 тыс. л.н., интервал глубин 140–100 см) фиксируется два пика P_{aq} 0,53 и 0,76 и колебания ACL 29,4 и 27,9, что согласуется с похолоданием позднего дриаса и последующим потеплением с подъемом уровня воды в озере. Что подтверждается нестабильными значениям CPI 13 - 4 соответственно и указывает на кратковременные осцилляции. В голоцене последние 11,5 тыс. л.н.,

90–0 см высокие значения ACL 30,2 - 28,0 отражают устойчивое потепление, снижение P_{aq} до 0,55–0,66 интерпретируется как расширение лесных ландшафтов и сокращение прибрежно-водной растительности. Максимум CPI 18 на глубине 50 см указывает на оптимальные условия сохранности в раннем голоцене.

Заключение. Впервые для Еравнинской котловины получена 38-тысячелетняя запись распределения н-алканов в донных отложениях, позволяющая реконструировать динамику растительности и климатические условия. На протяжении всего изученного интервала доминирует растительность С3-типа с хорошей сохранностью органического вещества, о чем свидетельствуют значения CPI в диапазоне 4 - 18. Индекс ACL 27-33 проявляет себя как чувствительный индикатор температурных изменений, а индекс P_{aq} отражает динамику обводненности и соотношение наземной и водной растительности. Наиболее контрастные изменения всех молекулярных индексов зафиксированы на рубеже плейстоцена и голоцена, что хорошо согласуется с ранее выявленными палинологическими данными по споро-пыльцевому и изотопному анализу из озера со стороны археологической стоянке Красная Горка, расположенной на противоположном берегу озера Большое Еравное. Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал н-алканов как инструмента палеоэкологических реконструкций для малых озер Забайкалья.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках Федерального государственного задания №126021217181-4 для Института общей и экспериментальной биологии СО РАН.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Андреева Д.Б., Цыбенов Ю.Б., Цех В. Реконструкция палеоэкологических условий по изотопным сигналам в донных отложениях озера Большое Еравное (Забайкалье) // Природа Внутренней Азии. 2025. № 4(33). С. 68-78 DOI: 10.18101/2542-0623-2025-4
2. Тарасов П. Е., Дорофеюк Н. И., Виппер П. Б. Динамика растительности Бурятии в голоцене // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2002. Т. 10, № 1. С. 94–103.
3. Andreeva D., Leiber K., Glaser B. et al. Genesis and properties of black soils in Buryatia, southeastern Siberia, Russia // *Quaternary Int*. 2011. V. 243. DOI:10.1016/j.quaint.2010.12.017
4. Doyle R. M., Longstaffe F. J., Moser K. A. An isotope, elemental, and n-alkane baseline for organic matter sources in sediments of high-altitude lakes in the Uinta Mountains, Utah, USA // *J. Paleolimnol*. 2022. № 69. P. 123–139. DOI:10.1007/s10933-022-00265-6
5. Ficken K.J., Li B., Swain D., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes // Organic Geochemistry. 2000 № 31. P. 745–749. DOI:10.1016/S0146-6380(00)00081-4
6. Tsydenova N., Kunikita D., Hiroyuki S., Onuki S., Natsuki D., Bazarova V., Lyaschevskaya M. Environmental conditions and the emergence of ceramics in the Late Pleistocene-Early Holocene at the Krasnaya Gorka site in the Transbaikal region, Southern Siberia // Quaternary International. (2021) 608-609. DOI:10.1016/j.quaint.2021.01.021.
7. Zech M., Rass S., Buggle B., Löscher M., Zöller L. Reconstruction of the late Quaternary paleoenvironments of the Nussloch loess paleosol sequence, Germany, using n-alkane biomarkers // *Quaternary Research*. 2012. № 78(2) P. 226-235. DOI:10.1016/j.yqres.2012.05.006

История развития болотного массива южной криолитозоны Средней Сибири в голоцене по изотопно-геохимическим данным и ботаническому составу торфа

Андреев Р.А.[1,2], Мазей Н.Г[1,2], Карпенко Л.В.[3], Прокушкин А.С.[3], Куприянов Д.А.[1], Шатунов А.Е.[1], Макарова Е.А.[1], Новенко Е.Ю.[1]

[1] *Институт географии РАН, Москва, rodion.andreev@student.msu.ru*

[2] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва*

[3] *Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск*

Болотные комплексы криолитозоны – ценный источник информации об изменениях природной среды и связях климата с мерзлотными процессами. Бугристые болота Средней Сибири изучены слабо, таким образом, цель исследования – выявить историю развития бугристого болотного массива в южной части криолитозоны региона. Данное исследование посвящено болотному массиву близ с. Ванавара (Эвенкия, Красноярский край, Россия), названному нами Неожиданное. Болотный массив состоит из мерзлых плоскобугристой и выпуклобугристой частей, разделенных талыми топями. Поверхности выпуклых бугров (высота 3-5 м) покрыты березовым редколесьем с кустарничково-лишайниковым покровом, плоские бугры (торфяные плато высотой 1-2 м) безлесны. Бугры разделены влажными межбугровыми понижениями-топями с осоково-сфагновым покровом и пятнами кустарничков. Образцы торфа из залежи отобраны буром Сукачева в талом, слабо дренированном межбугровом понижении.

Для образцов с разрешением 3 см были проанализированы ботанический состав торфа и концентрация макроуглей (по стандартным методикам) вместе с изотопно-геохимическими характеристиками (C, N, $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$). Изотопный состав торфа получен методом масс-спектрометрии изотопных отношений, концентрации углерода и азота получены методом сухого сжигания. Анализ проведен на анализаторе Vario Isotope Cube с масс-спектрометром Isoprime (Elementar) с использованием кофеина и метионина как стандартных образцов в Сианьском центре ускорительной масс-спектрометрии Института окружающей среды Земли Китайской академии наук (г. Сиань). Для разреза Неожиданное на данный момент не получена надежная геохронологическая модель, образцы на радиоуглеродное датирование находятся в процессе обработки.

Результаты анализа ботанического состава торфа показаны на рис. 1, результаты элементного и изотопного анализов представлены на рис. 2.

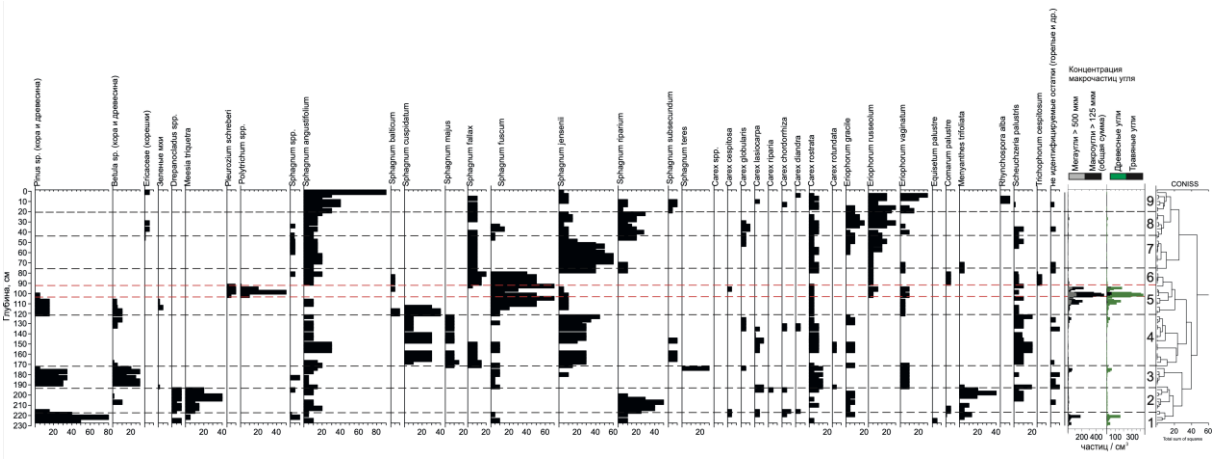


Рис. 1. Ботанический состав торфа и скорость аккумуляции макроуглей в разрезе Неожиданное. Обилие растительных остатков дано в %

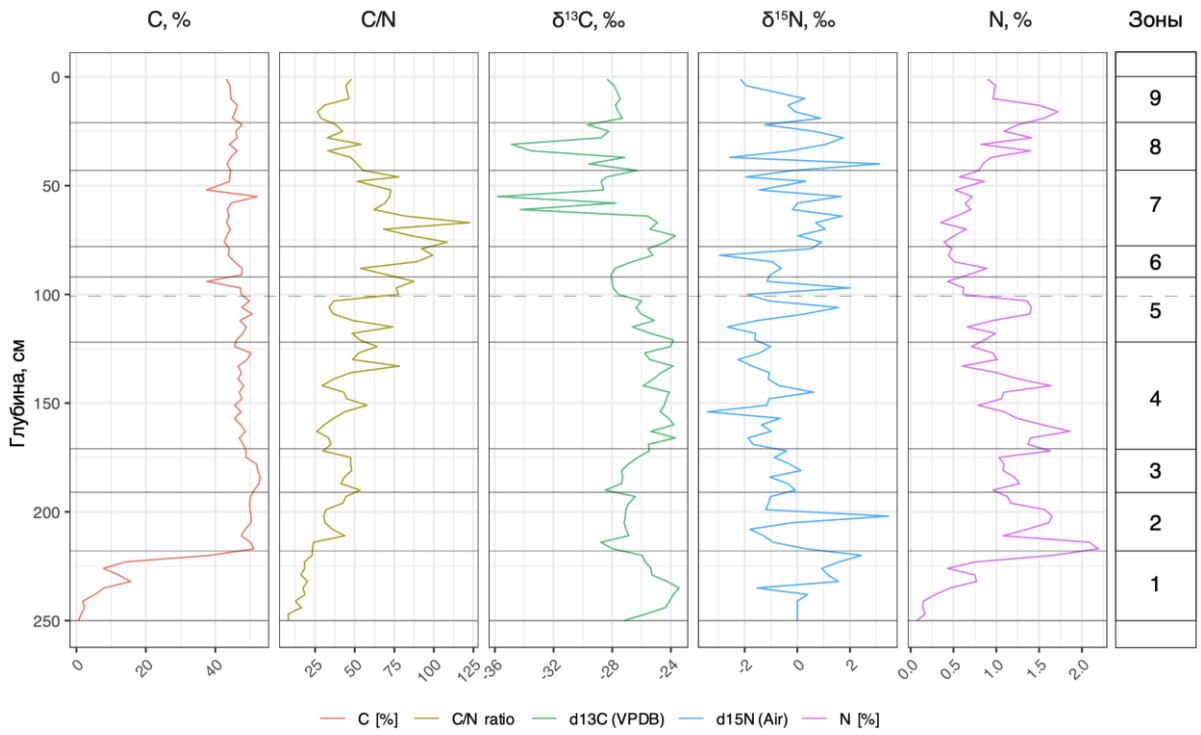


Рис. 2. Элементный (C, N) и изотопный ($\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$) состав торфа разреза Неожиданное. Показатель $\delta^{13}C$ (‰) дан относительно стандарта VPDB, $\delta^{15}N$ (‰) – по Natm

На основе изменения ботанического состава торфа выявлено 9 зон, соответствующих этапам развития болотного массива. Выявлено, что ключевыми факторами образования ботанического состава торфа стали сукцессионные смены растительности, в том числе послепожарные (зоны 5–6, рис. 1), признаки которых также выявлены по повышенной скорости аккумуляции макроуглей (до 500 частиц/см^3). Смены видового состава мхов и трав указывают существенные колебания гидрологических условий в болоте, вероятно, связанные с мерзлотными процессами – развитием и деградацией миграционных бугров пучения.

Результаты элементного анализа торфа показывают, что среднее значение содержания углерода в торфе составляет 46,9% для органогенной части разреза со слабой тенденцией к увеличению с глубиной. Максимальная концентрация углерода (52,9%) приурочена к нижней части залежи (зоны 2–3, гипновый, сфагновый и древесный торфа), минимум – к органоминеральным отложениям, подстилающим торф (6,9% C). Содержание азота подвержено более резким колебаниям в диапазоне от 0,4% до 2,2%. Минимальные значения приурочены к зоне 1 (около 0,4%), максимум выявлен в зоне 2. Затем выявлены резкие колебания показателя от 0,35% до 1,7%. Показатель C/N варьирует от 8,0 в базальном горизонте до 122,6 в зоне 7 (78–43 см, сфагновый торф). Пик C/N связан, по всей видимости, с замедлением процессов разложения и также указывает на влажные условия в данной зоне.

Изотопный состав также показал существенные колебания: показатель $\delta^{13}C$ в среднем составил -26,7‰, а $\delta^{15}N$ -0,5‰. Наиболее тяжелый состав углерода (-23,4‰) выявлен в нижней суглинистой зоне 1 с высоким обилием остатков сосны. Однако, наиболее высокие показатели изотопного состава приурочены к слоям зон 7–8, характеризующимися местообитанием топи, где показатель $\delta^{13}C$ снижается до минимума в -35,8‰. Существенное облегчение изотопного состава углерода в условиях

доминирования сфагнов, вероятно, указывает на переувлажненное местообитание, что сопровождалось кратковременным обогащением тяжелым изотопом азота до +3,1‰.

Ключевыми факторами развития болотного массива Неожиданное стали пожарная динамика и гидрологические изменения, выявленные по данным ботанического состава торфа и поддержанные изотопно-геохимическими показателями. Предположено, что гидрологические изменения могли быть индуцированы развитием и деградацией мерзлотных форм рельефа.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024).

Влияние пожаров на осадконакопление старичного водоема (на примере Среднего Полужья): методы и первые результаты

Артюшина К.В., Кублицкий Ю.А., Орлов А.В., Левкова Д.Н., Клешняк И.Д.

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, kirakira1kyrs@gmail.com

Введение. Старичные водоемы являются уникальными природными архивами, формирующимися в пределах пойм рек и характеризующимися относительно непрерывным осадконакоплением; в их донных отложениях аккумулируется стратифицированная информация об изменениях природной среды, включая следы пирогенных событий. Среднее Полужье – среднее течение р. Луги, т.е. от впадения р. Оредеж до г. Кингисепп – регион, слабо изученный в пирологическом отношении, что определяет актуальность работы. Так, один из наиболее крупных пирогенных событий последних десятилетий является пожар 2008 года, который уничтожил часть лесных сообществ. Одним из достоверных методов реконструкции локальных пожарных эпизодов прошлого является макроугольковый анализ озерных или торфяных отложений (Mooney, Tinner, 2011).

Цель исследования – выявить влияние пожаров на осадконакопление в старице р. Луги на основе комплекса анализов с упором на распределение макрочастиц угля в донных отложениях.

Объектом исследования является колонка донных отложений мощностью 23 см, преимущественно алевритистого (наиболее глубокоотобранная часть) и пелитового (более современного осадка) состава, отобранная пробоотборником фирмы «Limnos» (по координатам 58°56′22.4″N, 29°47′52.8″E) в рамках зимней полевой студенческой практики на геостанции «Железо» (Лужский р-н, Ленинградская обл.) в 2024 году.

Пробоподготовка и лабораторные исследования были выполнены в лаборатории рационального природопользования РГПУ им. А. И. Герцена. Анализ содержание макроугольков проводился по модифицированной методике (Пупышева и Бляхарчук, 2024). Образцы объемом 1 см³ помещались в пронумерованные тигли, заливались гипохлоритом натрия и выдерживались при комнатной температуре в течение трех суток до полного обесцвечивания органического вещества. Устойчивость макроугольков к окислению гипохлоритом позволяет отбелить органическую составляющую без разрушения самих угольных частиц. После химической обработки пробы промывались дистиллированной водой через мельничный газ с размером ячеи 125 мкм. Выбор данного сита обусловлен стандартным порогом выделения макроугольков (>125 мкм), что позволяет отделить локальные пожарные события от региональных (Mooney, Tinner, 2011). Остаток на сите переносился в размеченную чашку Петри, подсчет частиц проводился под бинокулярным микроскопом МСП-1 при увеличении 8–16 крат. Концентрация макроугольков выражалась в частицах/см³. Всего проанализировано 23 образца с шагом 1 см.

Анализ потери массы при прокаливании (ППП) выполнялся по методике (Dean, 1974): прокаливание при 550°C (удаляется органическое вещество) и 950°C (удаляются карбонаты), минеральная фракция рассчитывалась как разность исходной пробы и потерянным веществом.

Гранулометрический анализ проведен методом лазерной дифракции на анализаторе «Ласка-ТД» с предварительным удалением органики 40% пергидролем. Каждая проба измерялась трижды с последующим усреднением.

Результаты. В распределении макроугольков по колонке выделяются четыре зоны (рис. 1). Максимальная концентрация зафиксирована в образце №21 (глубина 20–21 см) — 259 частиц/см³, второй пик — 191 частиц/см³ (образец №18, 17–18 см), третий — 173 частиц/см³ (образец №9, 8–9 см). Верхние 6 см содержат 0–14 частиц/см³. Морфологически преобладают изометричные частицы с ячеистой структурой (древесный уголь), что позволяет утверждать об воздействии на седиментацию локальных пожаров (Whitlock and Anderson, 2003).

Гранулометрический анализ показал, что в наиболее глубокозалегающих осадках преобладают алевритистая фракции; также в этих осадках отмечено наличие относительно низкого количества песчанистой фракции (до 0,5%). На отметке 8–9 см происходит смена от преимущественно алевритистого состава осадка на пелитовый с наибольшей концентрацией песчанистой фракции. Выше 8 см осадок характеризуется пелитовым составом (до 99%) без включения песчанистой и крайнемалым содержание алевритистой фракций.

Сопоставление содержания макроугольков с результатами гранулометрии показало, что только пик частиц на глубине 8–9 см коррелирует с резкой сменой гранулометрического состава. Более глубокие пики угольков (191 и 259 частиц/см³) таких изменений не вызывают.

По данным ППП, в интервале 4–9 см (первый выраженный пик) содержание органики минимально (4,49%), а минеральная (90,64%) и карбонатная (5,04%) фракции максимальны. На глубине 8-15 содержание органического вещества вновь увеличивается до максимального значения в изученном осадке 10,94% (12–13 см); процент карбонатной вещества принимает свой наименьший показатель – 2,99%.

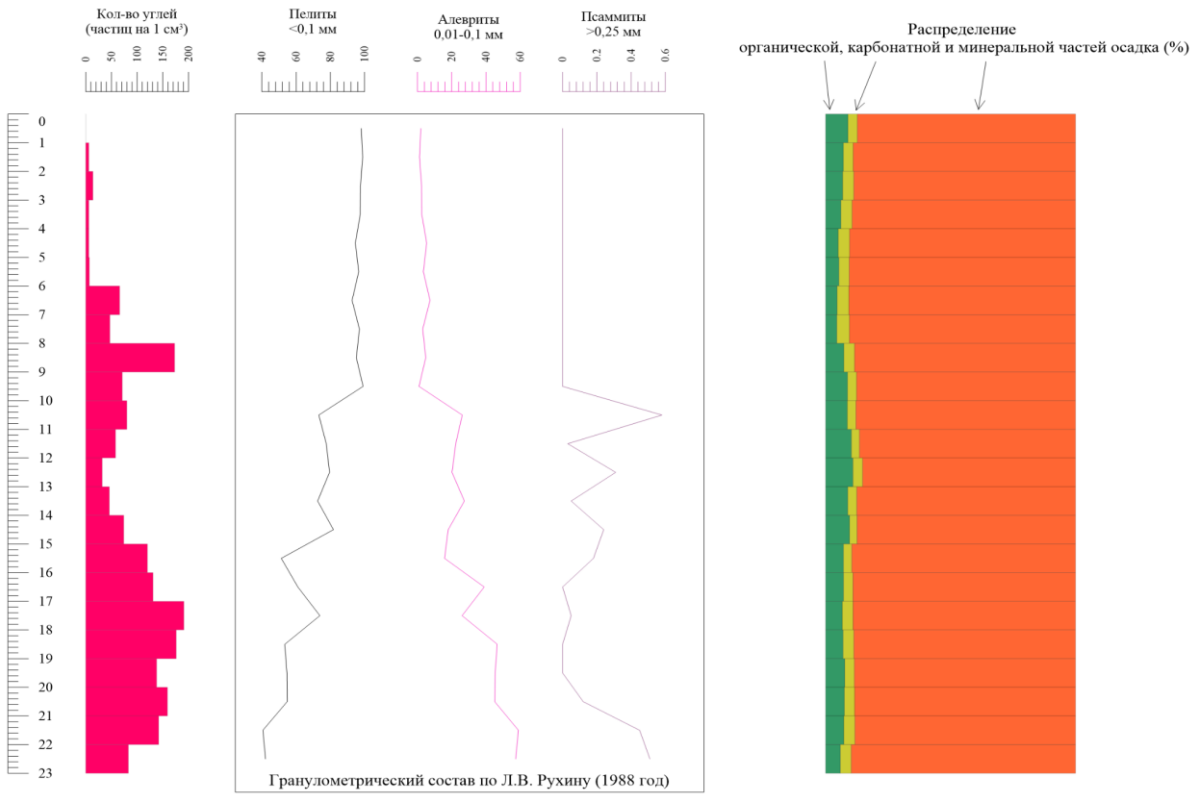


Рис.1. Схема параметров ППП, гранулометрического состава и содержания частиц угля донных отложений старицы реки Луги (составлено автором)

Заключение. Анализ макроугольков позволил зафиксировать отпечаток локальных пожарных событий в осадке. Показано, что пирогенный сигнал не всегда сопровождается перестройкой седиментационных процессов — только один из трех пиков коррелирует с изменением гранулометрии и ППП. Полученные результаты подтверждают высокую информативность старичных водоемов Среднего Полужья как природных архивов пирогенной активности и создают основу для последующего комплексного анализа с привлечением палинологических, диатомовых исследований и изотопных (свинец-цезий) методов датирования.

Список литературы

1. Пупышева М.А., Бляхарчук Т.А. Реконструкция голоценовой истории палеопожаров в среднетаежной подзоне Западной Сибири по данным макроуголькового анализа озерных отложений // Геосферные исследования. 2024. № 1. С. 135–151
2. Dean, W.E. Determination of Carbonate and Organic Matter in Calcareous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition: Comparison with Other Methods. // Journal of Sedimentary Petrology, 1974, 44, pp. 242-248.
3. Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // Mires Peat. 2011. V. 7. pp. 1–18
4. Whitlock, Cathy & Anderson, R. Fire History Reconstructions Based on Sediment Records from Lakes and Wetlands. // Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas, 2003, pp. 3-31

Арало-Каспийская область как система палеобассейнов позднего неоплейстоцена – голоцена: уровенные колебания, палеогидрологические связи и ландшафтные последствия

Атаев З.В.[1,2,3]

[1] *Дагестанский государственный университет, Махачкала, zagir05@mail.ru*

[2] *Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала*

[3] *Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова, Махачкала*

Введение. Каспийское и Аральское моря представляют собой крупнейшие внутриконтинентальные бессточные водоёмы аридной и семиаридной частей Евразии. Их уровенный режим в позднем неоплейстоцене и голоцене формировался под воздействием климатических флуктуаций, изменения водного баланса, перестройки речной сети, морфоструктурных условий и, в историческое время, антропогенного водопользования. В отличие от окраинных морей Мирового океана, бессточные водоёмы особенно чувствительны к соотношению приходной и расходной частей водного баланса, поэтому изменения их уровня могут рассматриваться как интегральные индикаторы состояния климата, речного стока и ландшафтной структуры водосборов. Несмотря на различия в размерах котловин, площади водосборов и режиме речного питания, Каспийский и Аральский бассейны целесообразно рассматривать как элементы единой Арало-Каспийской палеогеографической области. В её пределах в отдельные этапы могли возникать эпизодические палеогидрологические связи и перераспределение стока между смежными депрессионными областями.

Материалы и методы. Работа носит обзорно-аналитический характер и основана на сопоставлении опубликованных данных по уровенным колебаниям Каспийского и Аральского морей, палеобереговым линиям, трансгрессивно-регрессивным сериям, дельтовым комплексам, палеоруслам Амударьи и Сырдарьи, Сарыкамышскому бассейну и руслу Узбоя. В качестве индикаторов реконструкции рассматриваются береговые террасы, лагунно-барные комплексы, древние дельты, солончаковые и эоловые поверхности, сухие русла, палеонтологические, седиментологические и геоархеологические свидетельства. Методически работа опирается на сравнительно-палеогеографический подход, при котором признаки уровенных колебаний анализируются на трёх уровнях: бассейновом, межбассейновом и ландшафтно-индикаторном. Особое внимание уделяется не абсолютной синхронизации событий, которая для разных районов остаётся дискуссионной, а выявлению механизмов, определявших сходство и различие реакции двух бессточных бассейнов.

В пространственном отношении ключевыми звеньями анализа являются северный водосбор Каспийского моря, Аральская котловина с дельтовыми системами Амударьи и Сырдарьи, Сарыкамышская впадина, русло Узбоя и Прикаспийская низменность.

Результаты и обсуждение. Позднечетвертичная история Каспийского моря характеризуется крупноамплитудными трансгрессивно-регрессивными фазами, связанными с изменением водного баланса обширного водосбора, прежде всего бассейна Волги, а также с дегляциальными процессами, изменением палеодренажной сети и особенностями морфоструктурного развития котловины (Рычагов, 1997; Янина, 2012; Свиточ, 2014; Kislov et al., 2014; Koriche et al., 2022). Поэтому уровенные колебания моря отражали не только изменения испарения в пределах собственно Прикаспия, но и процессы, происходившие в значительно более северных ландшафтно-климатических зонах. В позднем неоплейстоцене и голоцене береговая зона Каспия неоднократно смещалась, формируя системы террас, древних береговых валов, лагунно-

барных комплексов и аккумулятивных равнин. Эти формы сохраняют информацию о положении древних уровней и одновременно фиксируют преобразование прибрежных ландшафтов при смене трансгрессивных и регрессивных этапов.

Для Аральского моря также установлена сложная позднеплейстоценовая и голоценовая история, включающая чередование регрессий и трансгрессий. Однако уровенный режим Арала в большей степени зависел от стока Амударьи и Сырдарьи, перестройки дельтово-русловых систем, региональной аридизации и антропогенного водопользования (Crétaux et al., 2013; Krivonogov et al., 2014; Burr et al., 2019; Boomer et al., 2000). Перемещение русел, формирование и отмирание дельтовых рукавов, перераспределение стока между Аральской и Сарыкамышской депрессиями могли существенно менять водный баланс моря даже без одинаково выраженного климатического сигнала на всей территории Арало-Каспийской области. В этом отношении Арал выступает более чувствительным индикатором региональных изменений речной сети и водопользования, тогда как Каспий в большей степени интегрирует изменения водного баланса обширной части Северной Евразии.

Сравнение двух бассейнов показывает, что их динамика не была простой синхронной реакцией на общие климатические колебания. Каспий и Арал различались по площади водосбора, ёмкости котловин, роли речного питания, соотношению речного притока и испарения, а также чувствительности к перераспределению стока. Поэтому применительно к Арало-Каспийской области корректнее говорить не о постоянной прямой связи между бассейнами, а о системе пороговых состояний. Под пороговым состоянием понимается ситуация, при которой небольшое изменение уровня водоёма, речного стока или положения русла приводит к перестройке направлений водного и наносного потока. Такие состояния особенно характерны для равнинных аридных областей с малыми уклонами, где древние протоки, дельтовые понижения, бессточные впадины и аккумулятивные равнины образуют сеть потенциальных направлений палеостока.

Одним из наиболее выразительных примеров такого порогового механизма является система Амударья – Сарыкамыш – Узбой. При определённых сочетаниях гидроклиматических условий, уровня водоёмов и русловых перестроек часть стока Амударьи могла направляться в Сарыкамышскую впадину, а затем через Узбой в сторону Прикаспия. В этом случае Сарыкамыш и Узбой выступали не постоянной «магистралью» связи, а временно активизировавшимся механизмом межбассейнового перераспределения стока (Létolle et al., 2007; Krivonogov et al., 2014). Важность этого звена состоит не только в возможности эпизодического гидрологического сообщения, но и в том, что оно показывает общий принцип функционирования Арало-Каспийской области: соседние депрессионные бассейны могли быть связаны через систему переливов, русловых захватов, дельтовых перестроек и временного накопления воды в промежуточных котловинах. Следовательно, вопрос о палеогидрологических связях следует формулировать не как простую альтернативу «были или не были», а как задачу реконструкции условий, частоты и последствий таких связей.

Особое значение для реконструкции этих состояний имеют геоморфологические индикаторы: палеобереговые линии, уровенные террасы, дельтовые конусы, лагунно-солончаковые комплексы и сухие русла. Они фиксируют не только положение древних уровней, но и ландшафтные последствия трансгрессий и регрессий: переработку берегов, развитие аккумулятивных форм, обсыхание мелководий, формирование солончаков, эоловую переработку осадков и перестройку дельтовых экосистем. Для повышения надёжности реконструкции такие признаки должны рассматриваться совместно

с седиментологическими, палеонтологическими и геоархеологическими данными. Именно сочетание этих индикаторов позволяет отделять локальные береговые перестройки от событий бассейнового или межбассейнового масштаба.

Ландшафтные последствия уровенных колебаний проявлялись в смене прибрежно-водных, лагунных, дельтовых, солончаковых и эоловых обстановок. При трансгрессиях происходили затопление низменных равнин, активизация абразии и переработка ранее сформированных аккумулятивных поверхностей. При регрессиях, напротив, освобождались обширные мелководья, формировались новые аккумулятивные равнины, усиливались процессы засоления, дефляции и вторичного перераспределения рыхлого материала. В этом отношении Арало-Каспийская область может рассматриваться как модельный регион для изучения сопряжённой эволюции бессточных водоёмов, речных систем и прибрежных ландшафтов аридной зоны Евразии. Современные изменения побережий Каспийского моря, включая Российский Прикаспий, имеют значение актуалистического аналога: они позволяют наблюдать процессы, по которым в геологической летописи распознаются древние регрессивные и трансгрессивные этапы.

Заключение. Арало-Каспийскую область следует рассматривать как систему палеобассейнов, развитие которой определялось сочетанием уровенных колебаний, перестройки речного стока и изменения ландшафтной структуры прибрежных территорий. Палеогидрологические связи между отдельными звеньями этой системы, вероятно, имели эпизодический и пороговый характер. Они возникали не как постоянные каналы связи между крупными водоёмами, а как временные режимы перераспределения стока, обусловленные изменением климата, положения русел, заполнением промежуточных впадин и динамикой береговых уровней. Наиболее информативными индикаторами таких перестроек являются береговые линии, палеодельты, сухие русла, лагунно-солончаковые комплексы и геоархеологические свидетельства. Предлагаемый подход позволяет связать палеогеографические реконструкции позднего неоплейстоцена – голоцена с анализом современных изменений побережий Каспийского моря, в том числе в пределах Российского Прикаспия, где уровенная динамика моря продолжает определять эволюцию приморских ландшафтов. Перспективным направлением дальнейших работ является сопоставление реликтовых береговых форм, данных дистанционного зондирования и современных ландшафтных изменений, что позволит уточнить региональные модели реакции приморских территорий на трансгрессивно-регрессивные циклы.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 25-17-20040 «Пространственно-временная изменчивость приморских природных и антропогенных ландшафтов Дагестана под влиянием современных климатических изменений и колебаний уровенного режима Каспийского моря» – в части анализа уровенного режима Каспийского моря и ландшафтных последствий его колебаний.

Список литературы

1. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 267 с.
2. Свиточ А.А. Большой Каспий: строение и история развития. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2014. 270 с.
3. Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Географический факультет МГУ, 2012. 264 с.
4. Boomer I., Aladin N., Plotnikov I., Whatley R. The palaeolimnology of the Aral Sea: a review // Quaternary Science Reviews. 2000. V. 19. № 13. P. 1259–1278. DOI: 10.1016/S0277-3791(00)00002-0.

5. Burr G.S., Kuzmin Y.V., Krivonogov S.K., Gusskov S.A., Cruz R.J. A history of the modern Aral Sea (Central Asia) since the Late Pleistocene // Quaternary Science Reviews. 2019. V. 206. № 1-2. P. 141–149. DOI: 10.1016/j.quascirev.2019.01.006.
6. Crétaux J.-F., Létolle R., Bergé-Nguyen M. History of Aral Sea level variability and current scientific debates // Global and Planetary Change. 2013. V. 110. P. 99–113. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.05.006.
7. Kislov A.V., Panin A., Toropov P. Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations // Quaternary International. 2014. V. 345. № 2. P. 48–55. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.05.014.
8. Koriche S.A., Singarayer J.S., Cloke H.L., Valdes P.J., Wesselingh F.P., Kroonenberg S.B., Wickert A.D., Yanina T.A. What are the drivers of Caspian Sea level variation during the late Quaternary? // Quaternary Science Reviews. 2022. V. 283. № 9. Article 107457. DOI: 10.1016/j.quascirev.2022.107457.
9. Krivonogov S.K., Burr G.S., Kuzmin Y.V., Gusskov S.A., Kurmanbaev R.K., Kenshinbay T.I., Voyakin D.A. The fluctuating Aral Sea: a multidisciplinary-based history of the last two thousand years // Gondwana Research. 2014. V. 26. № 1. P. 284–300. DOI: 10.1016/j.gr.2014.02.004.
10. Létolle R., Micklin P., Aladin N., Plotnikov I. Uzboy and the Aral regressions: a hydrological approach // Quaternary International. 2007. V. 173. № 1. P. 125–136. DOI: 10.1016/j.quaint.2007.03.003.

Современная регрессия Каспийского моря и трансформация приморских ландшафтов Дагестана как основа для реконструкции позднеголоценовых береговых процессов

Атаев З.В.[1,2,3], Гаджиев А.А.[1], Братков В.В.[4], Абдулаев К.А.[1], Теймуров А.А.[1]

[1] Дагестанский государственный университет, Махачкала, zagir05@mail.ru

[2] Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала

[3] Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова, Махачкала

[4] Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва

Введение. Каспийское море представляет собой крупнейший бессточный водоём мира, уровенный режим которого оказывает непосредственное влияние на формирование и трансформацию приморских ландшафтов. На низменных побережьях даже небольшие колебания уровня смещают береговую линию, меняют площадь мелководий, перестраивают лагунно-дельтовые комплексы, аккумулятивные равнины, засоление почв и растительный покров. Поэтому современная динамика побережья Каспия важна не только для оценки природно-антропогенных процессов, но и для интерпретации древних трансгрессивно-регрессивных этапов.

В последние десятилетия снижение уровня Каспийского моря рассматривается как один из наиболее значимых факторов перестройки береговых экосистем и хозяйственно освоенных приморских территорий. Инструментальные наблюдения показывают высокую амплитуду и неравномерность уровенных колебаний Каспия, а современные прогнозы связывают дальнейшее понижение уровня с изменением водного баланса, прежде всего соотношения речного притока, осадков и испарения (Chen et al., 2017; Samant, Prange, 2023). Для низменных берегов такие изменения особенно существенны, поскольку при малых уклонах поверхности горизонтальное смещение береговой линии многократно превышает амплитуду колебаний уровня моря.

Дагестанский сектор Российского Прикаспия является одним из наиболее показательных районов для такого анализа. Здесь сочетаются низменные аккумулятивные берега, дельтовые комплексы Терека, Сулака и Самура, островные и лагунно-прибрежные геосистемы, участки активного хозяйственного освоения и территории природоохранного значения. Современная регрессия Каспийского моря усиливает пространственную неоднородность приморских ландшафтов и создаёт условия для быстрого изменения границ между водными, водно-болотными, солончаковыми, лугово-болотными, псаммофитными и антропогенно трансформированными комплексами.

Цель работы состоит в выявлении современных ландшафтно-геоморфологических проявлений регрессии Каспийского моря на дагестанском побережье и оценке их значения как актуалистических индикаторов позднеголоценовых береговых процессов. Такой подход позволяет связать наблюдаемую динамику береговой зоны с реконструкцией древних регрессивных этапов, когда после отступания моря формировались новые аккумулятивные равнины, лагунно-солончаковые комплексы, береговые валы и эоловые поверхности.

Материалы и методы. Работа основана на материалах полевых исследований, выполненных в рамках проекта Российского научного фонда №25-17-20040, данных дистанционного зондирования и историко-картографических источниках. Использованы результаты ландшафтно-геоботанических описаний, ландшафтных профилей, почвенных разрезов, фотофиксации современного состояния береговой зоны, а также материалы Landsat-8/9 и Sentinel-2. Методически исследование опирается на ландшафтно-геоморфологический анализ, сравнительное дешифрирование разновременных космических снимков и сопоставление современных береговых процессов с признаками реликтовых береговых и приморских комплексов (табл. 1).

Анализ проводился на трёх взаимосвязанных уровнях. На береговом уровне рассматривались смещение уреза воды, обсыхание мелководий, образование новых аккумулятивных поверхностей и изменение конфигурации береговой линии. На ландшафтном уровне оценивались изменения почвенно-растительного покрова, гидроморфности, засоления, дефляционной активности и хозяйственного использования. На палеогеографическом уровне современные признаки сопоставлялись с реликтовыми формами и отложениями, которые используются для реконструкции позднеголоценовых трансгрессивно-регрессивных циклов Каспия (Рычагов, 1997).

Таблица 1

Современные процессы на дагестанском побережье Каспийского моря и их значение для реконструкции позднеголоценовых береговых этапов

Современный процесс	**Ландшафтно-геоморфологическое проявление**	**Палеогеографическое значение**
Смещение береговой линии и обсыхание мелководий	Формирование новых аккумулятивных поверхностей и переувлажнённых субстратов	Индикатор регрессивных фаз и положения древних мелководий
Перестройка дельтово-лагунных комплексов	Смена русловых, авандельтовых, лагунных, болотных и солончаковых обстановок	Аналог позднеголоценовой смены дельтовых и лагунно-морских условий
Засоление и изменение режима увлажнения	Развитие солончаковых участков и деградация части водно-болотных комплексов	Признак пострегрессивного осушения и аридизации прибрежных равнин
Эоловая переработка осадков	Дефляция, перевевание материала, формирование песчаных и пылевато-солевых поверхностей	Индикатор обсыхания аккумулятивных равнин после отступания моря
Изменение растительного покрова	Смена водно-болотных, галофитных, псаммофитных и лугово-степных комплексов	Показатель стадий зарастания и стабилизации новых приморских поверхностей
Антропогенное освоение освобождающихся территорий	Пастбищная, рекреационная, транспортная и иная нагрузка	Позволяет отделять природные проявления регрессии от современного антропогенного воздействия

Результаты и обсуждение. Современная регрессия Каспийского моря сопровождается последовательной перестройкой береговой зоны дагестанского побережья. На участках низменных аккумулятивных берегов происходит обсыхание мелководий и формирование новых поверхностей, которые включаются в систему приморских ландшафтов. Первоначально такие участки характеризуются переувлажнёнными, засоленными или оголёнными субстратами; в дальнейшем они вовлекаются в процессы почвообразования, зарастания галофитной и псаммофитной растительностью, эоловой переработки и хозяйственного использования.

Пространственная реакция побережья неоднородна. В дельтовых районах Терека, Сулака и Самура главную роль играют соотношение морской регрессии, речного стока, наносного питания и локальной аккумуляции. На островных и лагунно-прибрежных участках более заметны изменение режима увлажнения, изоляция мелководных акваторий, зарастание, засоление и постепенный переход водно-болотных комплексов

в солончаковые или лугово-солончаковые. На открытых аккумулятивных берегах усиливается переработка рыхлого материала ветром, и формируются поверхности, близкие по генезису к реликтовым пострегрессивным равнинам.

Наиболее чувствительными к уровенным колебаниям являются дельтово-лагунные комплексы. Изменение положения береговой линии влияет на соотношение русловых, авандельтовых, лагунных, болотных, солончаковых и эоловых обстановок. В условиях снижения уровня моря усиливается расчленение мелководных и заболоченных участков, изменяется режим увлажнения, возрастает вероятность вторичного засоления и дефляции. Эти процессы имеют прямое значение для палеогеографических реконструкций, поскольку аналогичные признаки – древние береговые валы, лагунно-солончаковые поверхности, дельтовые конусы и эоловые аккумулятивные равнины – используются для распознавания регрессивных этапов в позднем голоцене.

Современные приморские ландшафты Дагестана могут рассматриваться как актуалистическая модель, позволяющая проследить последовательность преобразования береговой зоны при понижении уровня моря. При этом важно учитывать, что современная динамика определяется не только природными факторами, но и антропогенной нагрузкой. Освобождающиеся территории вовлекаются в пастбищное, рекреационное, транспортное и иное хозяйственное использование, что меняет естественную траекторию формирования новых ландшафтных комплексов. Поэтому современные береговые процессы следует рассматривать как результат взаимодействия уровенной динамики Каспия, климатических изменений, литолого-геоморфологических условий и характера природопользования.

Для палеогеографической интерпретации особенно важна стадийность преобразования береговой зоны: выход мелководного дна из-под воды, кратковременное переувлажнение, засоление, первичное зарастание, дефляционная переработка и последующая стабилизация поверхности. Этот ряд позволяет уточнять диагностические признаки древних береговых уровней, но требует осторожности, поскольку в прошлом менялись климат, речной сток, наносоперенос и степень хозяйственного воздействия.

Особое значение для долгосрочного изучения этих процессов имеет создание аква-территориального карбонового полигона «Каспий» на дагестанском побережье. Его формирование позволяет связать мониторинг береговой динамики, трансформации приморских экосистем, состояния почвенно-растительного покрова и углеродного баланса. В палеогеографическом отношении такая площадка может служить современным аналогом для интерпретации древних этапов обсыхания мелководий, формирования солончаковых и лагунных комплексов, перестройки дельт и изменения продуктивности прибрежных экосистем (Атаев и др., 2025).

Заключение. Дагестанский сектор Российского Прикаспия является ключевым районом для изучения связи между уровенным режимом Каспийского моря и эволюцией приморских ландшафтов. Современная регрессия моря позволяет фиксировать процессы, по которым в геологической и ландшафтной летописи распознаются позднеголоценовые регрессивные этапы: смещение береговой линии, обсыхание мелководий, формирование аккумулятивных равнин, засоление, эолизация и перестройка дельтово-лагунных систем. Сочетание полевых исследований, дистанционного зондирования, ГИС-картографирования и мониторинга в рамках аква-территориального карбонового полигона «Каспий» создаёт основу для реконструкции прошлых и прогноза будущих изменений приморских ландшафтов Каспийского моря.

Полученные обобщения показывают, что современная береговая динамика Дагестана может использоваться как актуалистический ключ к пониманию позднеголоценовых регрессий Каспия. Наиболее перспективным направлением дальнейших работ является сопоставление реликтовых береговых линий, дельтово-лагунных комплексов, данных ДЗЗ и материалов мониторинга современных ландшафтных изменений. Такой подход позволит уточнить региональные модели реакции низменных побережий на уровенные колебания и повысить обоснованность прогнозов трансформации природных и антропогенных ландшафтов Российского Прикаспия.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №25-17-20040 «Пространственно-временная изменчивость приморских природных и антропогенных ландшафтов Дагестана под влиянием современных климатических изменений и колебаний уровенного режима Каспийского моря».

Список литературы

1. Атаев З.В., Гаджиев А.А., Гюльмагомедов А.М., Джамирзоев Г.С., Теймуров А.А. Геоморфологические основы формирования и функционирования аква-территориального (морского) карбонового полигона «Каспий» на дагестанском побережье Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2025. Т. 20. № 4. С. 178–189. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-4-17.
2. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 267 с.
3. Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.-F., Safarov E.S. Long-term Caspian Sea level change // Geophysical Research Letters. 2017. V. 44. P. 6993–7001. DOI: 10.1002/2017GL073958.
4. Samant R., Prange M. Climate-driven 21st century Caspian Sea level decline estimated from CMIP6 projections // Communications Earth & Environment. 2023. V. 4. Article 357. DOI: 10.1038/s43247-023-01017-8.

Палеоэкологическая реконструкция климата и окружающей среды голоцена западной части Восточно-Европейской равнины методом хирономидного анализа

Бакуменко В.О.

Институт географии РАН, Москва, Россия – Bakumenko.varvara@gmail.com

Введение. Западная часть Восточно-Европейской равнины находится в переходной зоне между морским и континентальным климатом, что делает её высокочувствительной к климатическим изменениям. Однако количественные палеоклиматические реконструкции для этого региона остаются ограниченными. Хирономидный анализ является одним из наиболее точных методов реконструкции летних температур воздуха (Eggermont, Heiri, 2012). Цель работы — реконструировать климат и окружающую среду голоцена западной части Восточно-Европейской равнины по хирономидным данным озера Накри (Эстония) и оценить изменения континентальности.

Материалы и методы. Изучена колонка донных осадков оз. Накри (Южная Эстония; рис. 1) и длиной 13,4 м, охватывающая последние 14,5 тыс. лет (поздний ледниковье — голоцен) и оз. Петровское (Тверская область) длиной 16 м, охватывающая 11 тыс лет. Хронология построена по радиоуглеродным датам и сфероидальным частицам летучей золы. Выполнен хирономидный анализ 149 образцов в озере Накри и 35 образцов в озере Петровское. Реконструкция средних июльских температур воздуха проведена методом взвешенных средних с частичной регрессией наименьших квадратов (WA-PLS) с использованием двух независимых калибровочных наборов: регионального финно-балтийско-польского (FBP) и общеевропейского швейцарско-норвежского (Bakumenko et al., 2024; Heiri et al., 2011). Впервые для региона выполнена предварительная реконструкция годовой амплитуды температур (ATR) как показателя континентальности. Для оценки влияния трофности озера привлечены данные кладоцерного и литологического анализов.

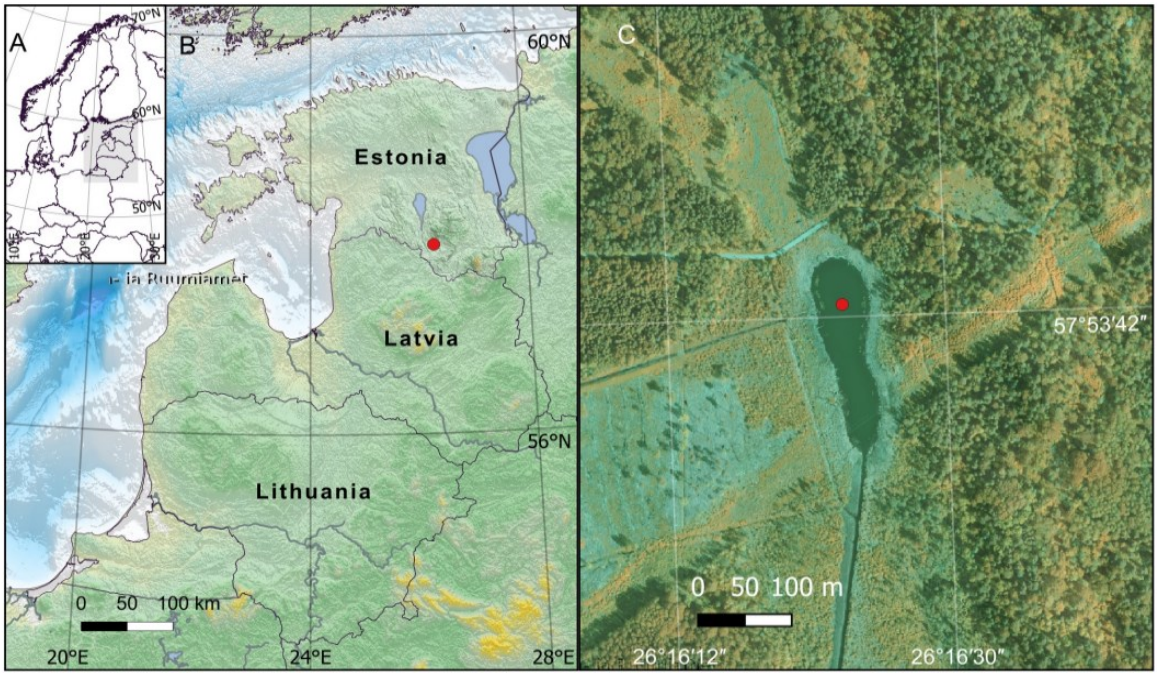


Рис. 1. Обзорная карта (A) и карта EOTOPO 2022 (National Centers for Environmental Information, 2022) восточной части Балтийского региона (B) карта лесного хозяйства (Республика Эстония, Земельный департамент и департамент пространственного развития, 2025) озера Накри (C). Красная точка обозначает место отбора проб.

Результаты и обсуждение. Хирономидные реконструкции по двум калибровочным наборам показали сходные долговременные тренды (рис. 1). FBP-набор характеризовался меньшей ошибкой реконструкции (RMSEP = 0,7 °C). В позднем ледниковье (14,5–11,7 тыс. кал. л.н.) реконструированы похолодание в позднем дриасе (снижение летних температур на ~3 °C) и рост континентальности, что согласуется с развитием тундровых ландшафтов. На рубеже позднего дриаса и голоцена зафиксировано резкое потепление (с ~13 до ~18 °C). В раннем голоцене (11,7–8,2 тыс. кал. л.н.) выявлено ранее не отмеченное пыльцевыми методами похолодание 9,0–8,0 тыс. кал. л.н., что указывает на более быструю реакцию хирономид по сравнению с наземной растительностью. В среднем голоцене (8,2–4,2 тыс. кал. л.н.) реконструированы два эпизода снижения температур (~0,5–1 °C) в интервалах 7,5–7,0 и 6,5–5,5 тыс. кал. л.н., коррелирующие с данными скандинавских и центральноевропейских разрезов (Luoto et al., 2010; Veski et al., 2015). Поздний голоцен (4,2–0 тыс. кал. л.н.) характеризовался стабильным теплым климатом (~18 °C) с кратковременными флуктуациями в период средневекового климатического оптимума (потепление ~0,5 °C) и малого ледникового периода (похолодание). Реконструированный тренд ATR демонстрирует устойчивое снижение континентальности от позднего дриаса к современности, что согласуется с изотопными данными и инструментальными наблюдениями последних десятилетий. Кладоцерный анализ показал, что значительных эвтрофикаций, способных исказить хирономидные реконструкции, не произошло (рис. 1).

Заключение. Хирономидный анализ является эффективным методом палеоэкологической реконструкции для западной части Восточно-Европейской равнины. Региональный калибровочный набор FBP обеспечивает меньшую ошибку и большую чувствительность к кратковременным похолоданиям по сравнению с общеевропейским. Выявлены основные климатические события раннего и среднего голоцена. Предложена первая количественная оценка изменений континентальности для региона. Полученные кривые могут служить референсными для палеоклиматических исследований Восточной Европы.

Благодарности. Работа выполнена при участии Anna Lanka, Siim Veski, Anneli Poska и Oliver Heiri; финансовой поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024).

Список литературы

1. Bakumenko V., Poska A., Płóciennik M. et al. Chironomidae- based inference model for mean July air temperature reconstructions in the eastern Baltic area // Boreas. 2024. V. 53. № 3. P. 401–414.
2. Eggermont H., Heiri O. The chironomid- temperature relationship: expression in nature and palaeoenvironmental implications // Biological Reviews. 2012. V. 87. № 2. P. 430–456.
3. Heiri O., Brooks S.J., Birks H.J.B., Lotter A.F. A 274-lake calibration data-set and inference model for chironomid-based summer air temperature reconstruction in Europe // Quaternary Science Reviews. 2011. V. 30. P. 3445–3456.
4. Luoto T.P., Kultti S., Nevalainen L., Sarmaja- Korjonen K. Temperature and effective moisture variability in southern Finland during the Holocene quantified with midge- based calibration models // Journal of Quaternary Science. 2010. V. 25. P. 1317–1326.
5. Veski S., Seppä H., Stančikaitė M. et al. Quantitative summer and winter temperature reconstructions from pollen and chironomid data between 15 and 8 ka BP in the Baltic–Belarus area // Quaternary International. 2015. V. 388. P. 4–11.

История развития Заболотского озера (север Московской области): первые результаты и перспективы исследования

Баранов Д.В.[1], Комагорова М.А.[2], Юрченко А.П.[1], Константинов Е.А.[1], Захаров А.Л.[1], Сыроватко Ф.А.[1,3,4], Мокиевский Н.В.[5,6], Луговой Н.Н.[1,5]

[1] Институт географии РАН, Москва, dm_baranov@igras.ru
[2] Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, Москва
[3] Институт археологии РАН, Москва
[4] ГАУГН, Москва
[5] МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва
[6] Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва

Введение. Интерес к истории развития Заболотского озера связан, прежде всего, с расположенным в 2 км от него Заболотским геоархеологическим полигоном – уникальным природно-историческим комплексом, объединяющим более 30 археологических памятников от финального палеолита до Средневековья (Сорокин и др., 2018, Сорокин, 2026 и др.). Установлено (Замостье 2..., 2013 и др.), что основной хозяйственной деятельностью древнего человека этого края являлись охота и рыболовство в условиях озёрных поселений. В связи с этим ведущую роль при палеогеографических реконструкциях времени расселения человека на этой территории заняла концепция существования в бассейне верхней Волги системы приледниковых подпрудных озёр (ППО) в позднем валдае (Квасов, 1975).

Согласно этой гипотезе современное Заболотское озеро (урез 127 м абс.) рассматривалось как остаточный водоём Тверского ППО (часть обширной Верхне-Волжской системы ППО) с урезом воды 145 м абс. Снижение уровня Тверского озера входе дегляциации стало причиной формирования по р. Дубне каскада озёр, крупнейшим по площади из которых было т.н. Заболотское «палеоозеро» с урезом воды около 130 м абс., полностью затапливающее плоское днище Дубнинской низины (Сидоров, 1996, 2015; Сорокин и др., 2018). Дальнейшее падение уровня «палеоозера» привело к постепенному сокращению его площади и формированию благоприятных палеогеографических и геоморфологических условий для расселения древнего человека.

Однако, исходя из материалов детальных палеогеоморфологических исследований последних лет (Baranov, Utkina, 2018; Baranov et al., 2022), существование в позднем валдае системы ППО в бассейне верхней Волги не подтверждается. К тому же появились новые археологические данные, существенно удревняющие время первоначального освоения Заболотского края и вступающие в противоречие с имеющимися палеогеографическими реконструкциями (Сорокин, 2021, 2026). В связи с чем настоящее исследование, посвящённое истории развития Заболотского озера, представляется чрезвычайно актуальным.

Район работ и методы исследований. Заболотское озеро расположено в днище одноимённой котловины в восточной части Дубнинской низины у подножья северных склонов Клинско-Дмитровской гряды (север Сергиево-Посадского городского округа Московской области, рис. 1). Через озеро протекает река Сулать, в 2,5 км ниже по течению впадающая в р. Дубну. В настоящее время озеро представляет собой обводнённую болотистую сильно закустаренную низину с отдельными водными участками, не образующими единой акватории.

В марте 2026 года на Заболотском озере были проведены буровые и геофизические работы по двум профилям: СЗ – ЮВ ориентировки, протяжённостью около 2 км и ЮЗ – СВ ориентировки, протяжённостью около 1 км. Для изучения геологического строения донных отложений озера и прилегающей периферии была заложена серия разведочных и опорных скважин глубиной от 4 до 6 м. Бурение производилось ручным буром Eijkelkamp с полуцилиндрическим и русским торфяным отборниками. Из кернов скважин были отобраны образцы для литологического анализа и радиоуглеродного датирования. Для увязки геологического строения между скважинами была проведена радарная съёмка (георадар «ОКО-3» с антенным блоком «Тритон-М»). Дополнительно, для исследования глубинного строения Заболотской котловины, по этим же профилям была выполнена электротомографическая съёмка (электроразведочной станция «СКАЛА 48К12», шаг между электродами 5 м). Геодезическая привязка скважин и геофизических профилей производилась с помощью ГНСС приёмника.

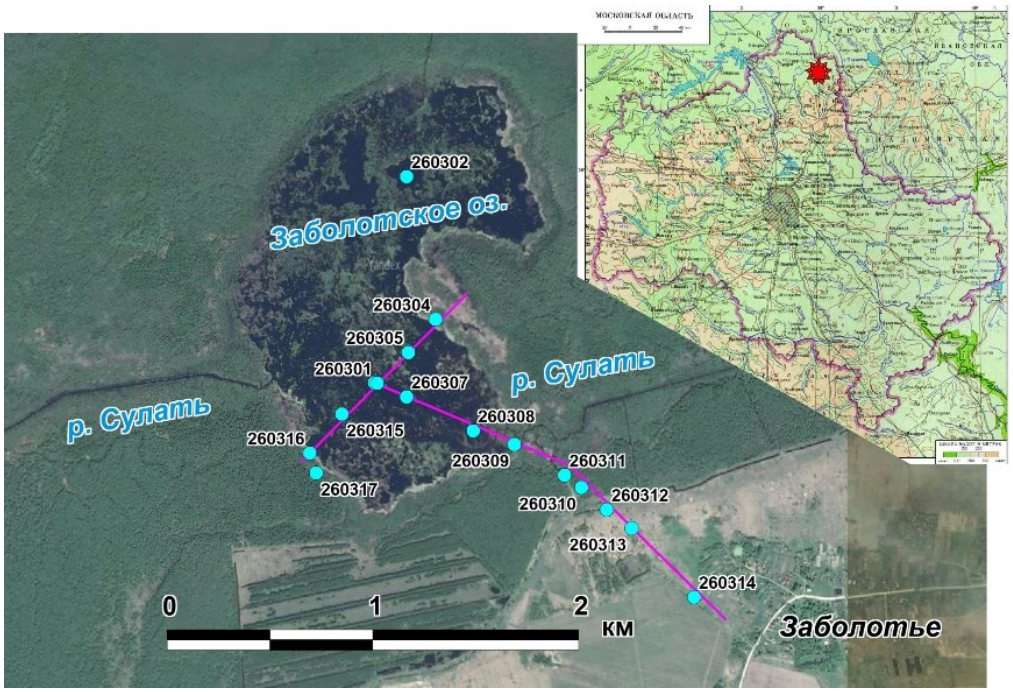


Рис. 1. Карта фактического материала. Точками обозначены скважины, линиями – геофизические профили. Космический снимок https://yandex.ru/maps. На врезке – положение Заболотского озера на карте Московской области

Результаты исследования и их обсуждение. Буровыми работами удалось установить геологическое строение днища Заболотской котловины в верхних 4–6 м. В центральной части Заболотского озера верхние 2 метра разреза представлены сильно обводнёнными чёрными сапропелями (органическими илами). На периферии озера, как в восточной, так и в юго-восточной части, с поверхности залегает торф различной степени разложения. Наибольшая его мощность (3 м) зафиксирована в скв. 260311. Ниже во всех скважинах залегают органо-минеральные илы табачно-серого, зеленовато-серого (в верхней части), сизого и сизо-серого (в нижней части) цвета. В илах встречается значительное количество прослоев ракушечного детрита, а местами и целых раковин, что явно свидетельствует об озёрном генезисе этого

слоя. Залегание органо-минеральных илов под торфом в скважинах по периферии водоёма позволяет предположить, что в более ранние эпохи площадь Заболотского озера была больше современной. Для определения возраста этого события из подошвы торфов и илов были отобраны образцы на радиоуглеродное датирование.

Под органо-минеральными илами во всех скважинах вскрыты глинистые супеси, вниз по разрезу сменяющиеся тонко- мелкозернистыми песками. Сильная обводнённость этих песков стала причиной ограниченной глубины разреза при бурении. В скв. 260304, заложенной на восточном берегу озера слой сапропелей практически не выражен, а пески залегают значительно выше, чем в остальных скважинах. Наличие близкорасположенного к дневной поверхности песчаного слоя подтверждается данными электротомографического профиля, а на георадарном профиле хорошо читается подъём кровли песков в восточном направлении. Эти данные вкупе с анализом космических снимков и картографических материалов конца XIX – начала XX века позволил выдвинуть предположение, что выступающая часть восточного берега Заболотского озера является дельтой р. Сулати.

По результатам проведённой электротомографической съёмки вкупе с анализом фондовых материалов Росгипроводхоза определены основные черты глубинного строения Заболотской котловины. Установлено, что кровля московской морены, слагающей борта котловины (в частности, холм д. Заболотье), круто падает по направлению к Заболотскому озеру. Понижение первично ледникового рельефа, исходя из значений удельного электрического сопротивления, предположительно заполнено флювиогляциальными (в основании) и озёрными отложениями, мощность которых может превышать 40 м.

Предварительные выводы и перспективы исследования. Проведённое исследование позволило предположить, что восточная часть Дубнинской низины – Заболотская котловина – наследует понижение ледникового рельефа московского возраста, впоследствии заполненное мощной толщей позднеплейстоценовых отложений. В верхней части этого заполнения (4 – 6 м) выделяется несколько слоёв, отражающих разные этапы осадконакопления и соответствующих отдельным стадиям развития Заболотского озера. На одной из этих стадий площадь озера явно была значительно больше современной – об этом свидетельствуют перекрытые торфом озёрные илы по периферии озера. В то же время анализ разновременных картографических материалов показал, что современная площадь озера является наименьшей за всю историю его развития вследствие значительных преобразований рельефа в первой половине XX века (Свадковский, 1936). Восстановить хронологию заключительных этапов развития озера позволит радиоуглеродное датирование, а реконструировать палеогеографические условия осадконакопления – комплекс аналитических исследований, который уже проводится в настоящее время. Перспективным итогом работ представляется рассмотрение истории Заболотского озера в тесной взаимосвязи с развитием флювиальных систем Дубны и Сулати (Панин и др., 2022; Sorokin, Panin, 2024) в качестве единой палеогеографической системы, в условиях которой происходило расселение древнего человека Заболотского края.

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность д.г.н. А.Н. Сорокину (ИА РАН) и чл.-корр., д.г.н. А.В. Панину (ИГ РАН) за всевозможную научную поддержку и консультации в ходе исследования, а также руководителю

биостанции заказника «Журавлиная родина» О.С. Гринченко за помощь во время зимних полевых работ. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-77-00102, https://rscf.ru/project/25-77-00102/.

Список литературы

1. Замостье 2. Озерное поселение древних рыболовов эпохи мезолита-неолита в бассейне Верхней Волги. С.-Пб.: Изд-во ИИМК РАН, 2013. 240 с.
2. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озёр и внутренних морей Восточной Европы. Л.: «Наука», Ленингр. отд., 1975. 278 с.
3. Панин А.В., Сорокин А.Н., Бричёва С.С., Матасов В.М., Морозов В.В., Смирнов А.Л., Солодков Н.Н., Успенская О.Н. История формирования ландшафтов Заболотского торфяника в контексте инициального заселения Дубнинской низины (бассейн верхней Волги) // ВААЭ. 2022. №2 (57). С. 85–100.
4. Свадковский Э.Г. Регулирования реки Дубны. М.: МОЗУ, Мосмелиострой, 1936. 256 с.
5. Сорокин А.Н. Геоархеология Заболотского края (в свете новейших исследований). М.: «Наш мир», 2026. 322 с.
6. Сорокин А.Н., Грачёва Р.Г., Добровольская Е.В., Добровольская М.В. Геоархеология Заболотского края (13 500–7 500 cal BC). М.: ИА РАН, 2018. 416 с.
7. Сорокин А.Н, Панин А.В., Смирнов А.Л., Карманов В.Н., Морозов В.В., Солодков Н.Н. Первоначальное освоение Заболотского края по данным новейших геоархеологических исследований // Краткие сообщения института археологии. 2021. Вып. 265. С. 45–60.
8. Сидоров В.В. Озёрные системы бассейна р. Дубны в неолите // ТАС. 1996. №2. С. 249–258.
9. Сидоров В.В. Заболотское озеро. Развитие озёрной системы // Археология Подмосковья. 2015. Вып. 11. С. 9–19.
10. Baranov D., Utkina A. Late Valdai proglacial lakes of the Upper Volga: geological and geomorphological data // Paleolimnology of Northern Eurasia. Kazan: Publ. House of Kazan University, 2018. P. 15–18.
11. Baranov D.V., Utkina A.O., Panin A.V. Tver proglacial lake (Tver region, Russia): myth or reality // Limnology and Freshwater Biology. 2022. Vol. 5, №4. P. 1383–1384.
12. Sorokin A.N., Panin A.V. Initial settlement of the Upper Volga region, centre of the East European plain, in the Late Glacial and Early Holocene (based on geoarchaeological research in the Zabolotsky peat bog area) // Anthropologie. 2024. Vol. 128. P. 103255.

Развитие растительности в бассейне оз. Утиное (юг Дальнего Востока) в среднем-позднем голоцене

Белянин П.С.

Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, pavelbels@yandec.ru

Введение. Для реконструкции эволюции растительности на юге Дальнего Востока России большой интерес представляют озера, расположенные в прибрежной зоне залива Петра Великого у подножия юго-восточного макросклона Восточно-Маньчжурских гор. Этот район, относящийся к умеренной климатической зоне с элементами субтропического климата, известен видовым богатством растительности. Он находится в зоне контакта и перекрывания ареалов представителей Восточно-Азиатских (Японо-Китайских) и Бореальных флор. Здесь проходит граница ареала большого числа видов, распространение которых на юге Дальнего Востока России ограничено ~43–44° с.ш., в том числе у дуба зубчатого (*Quercus dentata*), сосны густоцветковой (*Pinus densiflora*), рододендрона Шлиппенбаха (*Rhododendron schlippenbachii*), леспедецы кривокистевой (*Lespedeza cyrtobotrya*), березы железной (*Betula schmidtii*), диморфанта (*Kalopanax septembolus*), граба сердцелистного (*Carpinus cordata*), пихты цельнолистной (*Abies holophylla*), клена Комарова (*Acer komarovii*), ясеня носолистного (*Fraxinus rhynchophylla*), сирени Вольфа (*Syringa wolfii*) и редких для флоры России деревянистых лиан, кирказона амурского (*Aristolochia manshuriensis*), пуэрарии дольчатой *(Pueraria montata),* девичьего винограда (*Parthenonocissus tricuspidata*) (Чубарь, 2000). Поэтому с большой долей вероятности можно утверждать, что даже слабые климатические изменения в прошлом приводили к заметным изменениям структуры растительности на крайнем юге Дальнего Востока России (Короткий, 2002; Разжигаева и др., 2025).

Пыльцевые летописи являются эффективным инструментом для реконструкции пространственно-временных изменений структуры растительности. Спорово-пыльцевой анализ отличается точностью и возможностью соотнесения палеоботанических результатов с другими регионами, относительной простотой получения данных и стабильностью расчета результатов. Имея даже небольшое число радиоуглеродных дат по разрезу, можно получить надежные данные, позволяющие реконструировать эволюцию растительности региона в прошлом. Целью настоящей работы является реконструкция развития растительности в бассейне оз. Утиное в среднем и позднем голоцене.

Объект исследования и методы. Озеро Утиное расположено в низменной пойме в приустьевой части р. Раздольная (Суйфун) (43°22′34.07″ с.ш., 131°45′17.62″ в.д.), вблизи кутовой части Амурского залива (Японское море). Ниже озера в р. Раздольная впадает р. Грязная, выносимый которой аллювий подпруживает сток из оз. Утиное и поддерживает в нем стабильный уровень воды. Абсолютная высота зеркала озера над уровнем моря составляет 0,3 м.

В ходе буровых работ на акватории оз. Утиное (с плавучей платформы на катамаране было выполнено бурение скважины. Бурении на акватории озера осуществлялось с плавучей платформы на катамаране с использованием поршневого пробоотборника системы Ливингстон. Керн извлекался секциями длиной 1 м и диаметром 5 см. В случае высокой плотности осадков извлекали короткие участки керна. Отбор проб через каждые 5–10 см проводился к.г.н. А.В. Ложкиным, П.М. Андерсон, Л.Б. Брубейкер и Е.В. Митюревой (Андерсон и др., 2017).

Спорово-пыльцевому анализу были подвергнуты 22 образца, отобранных из керна через 10 см. Лабораторные пробы подготовлены для анализа по стандартной методике. Результаты палинологического анализа представлены в виде диаграмм с использованием программы Tilia v. 2-0-41.

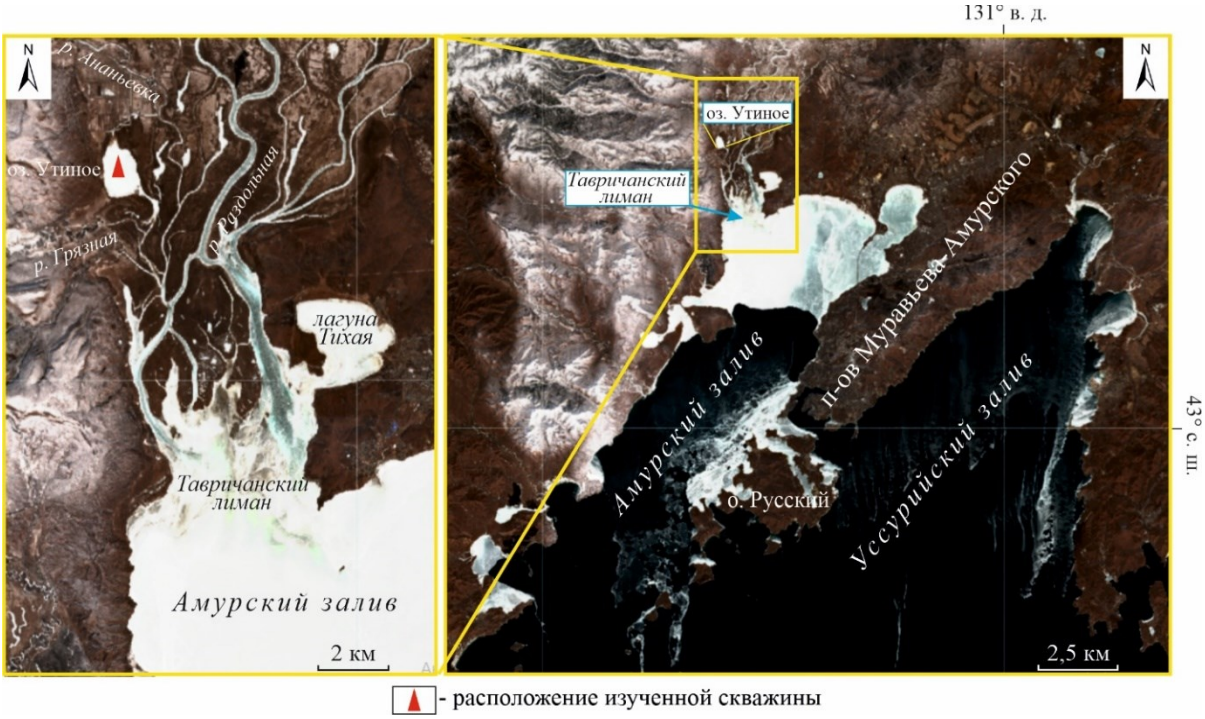


Рис. 1. Схема района работ и расположения изученной скважины

Датирование радиоуглеродным методом выполнено в Центре ускорительной масс-спектрометрии Лауренс Ливермор Национальной лаборатории Департамента Энергии Калифорнийского университета. Перевод радиоуглеродных дат в календарные сделан по программе OxCal 4.4 с использованием калибровочной кривой «IntCal 20» (табл. 1). Возрастная модель разреза построена в среде R, в программе Бэкон. Возраст приведен в календарных значениях.

Таблица 1

Радиоуглеродный и калиброванный возраст донных отложений оз. Утиное

Глубина, м	Датированный материал	Лабораторный номер (CAMS)	Радиоуглеродный возраст, л. н.	Календарный возраст, кал. л. н.
4,71–4,68	древесина	73295	5000±80	5765±100
3,47–3,45		76800	3920±40	4355±60
2,46–2,45	растительный детрит	75544	3890±40	4330±65
2,23–2,21		76799	2510±60	2590±110
1,30–1,27	древесина	76798	1810±60	1735±80

Результаты и их обсуждение. Керн донных осадков оз. Утиное длиной 6,15 м на основании визуального исследования разделен на 8 литологических единиц. Среди них преобладают алевриты (слои 6–2) и илы (слои 7 и 8). В кровле скважины залегает пачка супеси алевритистой серой, с желто-коричневым песком. Ил в интервале глубин 615–570 см (слои 8 и 7) включает морскую ракушь. В интервале глубин 106–75 см (слои 5–3) характерно присутствие растительного детрита и черной органики.

Пыльцевые комплексы из интервала глубин 6,2-3,6 м свидетельствуют о том, что полидоминантные леса с *Quercus, Tilia, Carpinus cordata* и *Betula schmidtii* были

широко распространены в долинах Тавричанского лимана в среднем голоцене. Род *Quercus* был представлен двумя видами: *Quercus mongolica* и *Quercus dentata.* В настоящее время, граница сплошного ареала *Quercus dentata* проходит в ~50 км южнее. Заметно увеличилось распространение *Pinus koraiensis* и *Pinus densiflora* в растительных формациях.

В результате смещения границ флористических провинций к северу, в бассейне Тавричанского лимана произрастало больше широколиственных растений, чем в настоящее время. В настоящее время, современные ареалы некоторых из них приурочены к Северо-Китайской флористической провинции. Так, пятипоровые пыльцевые зерна *Carpinus*, обнаруженные в отложениях среднеголоценового термического максимума, свидетельствуют о том, что в бассейне оз. Утиное помимо *Carpinus cordata* был распространен еще один вид из этого же рода. Стоит отметить, что сейчас южнее 40° с.ш. в Корее и Северо-Восточном Китае род *Carpinus* включает семь видов, род *Quercus* 11 видов, а род *Pinus* шесть видов.

Позднеголоценовый этап развития растительности сопровождался понижением среднегодовых температур. Изменения растительности были волнообразными из-за колебаний климата. Начало этого этапа фиксируется по небольшому уменьшению пыльцы широколиственных видов. Глобальное похолодание вызвало распространение темнохвойных и мелколистных растений. На равнинах появились кустарниковые березы и возникли сфагновые болота. Однако в середине позднего голоцена имело место и кратковременное потепление. Отмечается увеличение содержания пыльцы *Quercus, Ulmus, Pinus koraiensis, Juglans mandshurica, Carpinus* и *Abies holophylla*. На равнинах были широко распространены осоково-разнотравно-тростниковые луга.

Еще одно кратковременное потепление, соответствующее Средневековой климатической аномалии, фиксируется в интервале глубин 0,5-0,3 м. В пыльцевых комплексах отмечается высокое разнообразие широколистных таксонов, включая теплолюбивые – *Carpinus cordata, Ulmus, Juglans mandshurica, Phellodendron, Fraxinus, Syringa, Pinus densiflora, Abies holophylla* и др.

Заключение. Климатические колебания Широкое распространение полидоминантных лесов с *Pinus densiflora* и *Pinus koraiensis* в горном обрамлении Тавричанского лимана произошло в термического максимум среднего голоцена. На прибрежных хребтах были распространены полидоминантные леса с более богатым, чем в настоящее время, видовым составом. По-видимому, в их число входили растения, современные ареалы которых охватывают север о-ва Хонсю и юг о-ва Хоккайдо, Корейский п-ов южнее 40° с. ш. и восточные районы Маньчжурии. Некоторые роды были представлены более богатым видовым разнообразием. В конце среднего голоцена и на первом этапе позднего голоцена в связи с похолоданием сократилось распространение широколистных растений – *Phellodendron, Tilia, Carpinus, Juglans* и других. Расширились площади мелколиственных лесов с *Picea, Pinus koraiensis, Alnus, Duschekia* и *Betula*. На равнинах появились кустарниковые берёзы, появились сфагновые болота. Кратковременное потепление в середине позднего голоцена привело к расширению ареала растительных формаций с доминированием *Pinus densiflora, Pinus koraiensis, Quercus mongolica, Abies* и *Betula*. Однако последовавшее затем небольшое похолодание вызвало распространение мелколистных растений. Образовались смешанные леса с *Pinus koraiensis, Pinus densiflora* и *Abies*.

Благодарности. Работа выполнена в Тихоокеанском институте географии ДВО РАН по теме 125021302113-3.

Список литературы

1 Андерсон П.М., Белянин П.С., Белянина Н.И., Ложкин А.В. Эволюция растительности западного побережья залива Петра Великого в позднем плейстоцене–голоцене. Тихоокеанская геология, 2017. Т. 36. № 4. С. 206-215.

2 Короткий А.М. Палинологическая характеристика и радиоуглеродные данные позднечетвертичных отложений Дальнего Востока России (нижняя часть Амура, Приморье, Сахалин, Курильские острова). В сб.: Позднечетвертичная растительность и климат Сибири и Дальнего Востока России (Палинологическая и радиоуглеродная база данных). Магадан: Изд-во Северо-Восточного научного центра, 2002. С. 257-369.

3 Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. Васьковское болото как природный архив изменений среды Сихотэ-Алинского биосферного района в позднем голоцене. Тихоокеанская география, 2025. № 3. С. 44-64.

4 Чубарь Е.А. (2000) Природные особенности района р. Туманной в нижнем течении и сопредельной территории. В сб.: Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья р. Туманной. Т. 1. Владивосток: Дальнаука. С. 15-41.

Современный седиментогенез Онежского озера и восстановление седиментационных обстановок прошлого

Белкина Н. А. [1,2]***, Страховенко В. Д.*** [2,3]***, Субетто Д. А.*** [2]***, Рыбалко А. Е.*** [2]***, Здоровеннов Р. Э.*** [1]***, Выборова Н. В.*** [1]***, Ефременко Н. А.*** [1]***, Потахин М. С.*** [1,2]***, Гатальская Е. В.*** [1]***, Орлов А. В.*** [1.2]

[1]*Карельский научный цент РАН, г. Петрозаводск, bel110863@mail.ru*
[2]*Российский Государственный педагогический университет им. А.И. Герцена*
[3]*Институт Геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск*

Введение. Реконструкция седиментационных обстановок прошлого является научной задачей палеолимнологии. Сложность и неоднозначность интерпретации данных о составе донных отложений (ДО) определяется рядом факторов. Масштабность и длительность осадочного процесса, перерывы в осадконакоплении и различная сохранность осадочного вещества биогенного и абиогенного генезиса при захоронении создают риск неполноты архива отдельного водоема. Диагенетические процессы изменяют состав и распределение вещества по вертикали в толще ДО. В числе методологических подходов применяемых для восстановления физико-географических условий формирования отложений используется метод актуализма (Ляйелль, 1866), заключающийся в поиске аналогий между современными и древними обстановками на основе сравнения вещественного состава ДО. Основная проблема применения данных о современном осадочном веществе для палеореконструкций заключается в трудности разделения сигналов естественного изменения водной экосистемы от последствий хозяйственной деятельности человека. Целью доклада является представление результатов изучения закономерностей современного осадочного процесса в Онежском озере и оценка возможности использования полученной информации для палеореконструкций.

Объект и методы исследования. Онежское озеро - второй по величине в Европе, холодноводный, олиготрофный водоем ($S_{зеркала}$ = 9720 км^2, V = 295 км^3, $H_{средняя}$ = 33 м, $S_{водосбора}$ = 53100 км^2, $K_в$ = 0,064). Распределение взвешенного вещества в воде озера оценивалось на основе мутности (CTD-зондирование). Выделение осадочного вещества из атмосферных осадков (снег переводили в талую воду), речных вод и водной толщи проводилось фильтрованием. Осадочное вещество, поступающее на дно Онежского озера, собиралось с помощью седиментационных ловушек, установленных в аккумуляционных зонах основных районов озера. Поверхностный слой ДО отбирался с помощью пробоотборника Limnos. Химические анализы воды и донных отложений выполнялись по общепринятым в мировой практике методикам (ИВПС КарНЦ РАН). Гранулометрический состав осадков изучался на лазерном анализаторе частиц, микрокомпоненты анализировались масс-спектрометрическим методом (ЦКП КарНЦ РАН). Исследование морфологии, фазового и химического состава взвеси было проведено методом электронной сканирующей микроскопии (ЦКП МИИ СО РАН).

Результаты и обсуждение. Онежское озеро функционирует в настоящее время в условиях гумидного климата (среднегодовая $T_{воздуха}$ от 1.3^{o}C до 2.7^{o}C; 600–650 мм в год) на границе Фенноскандинавского кристаллического щита и Русской платформы. Избыток влаги формирует обильный поверхностный сток, что способствует развитию эрозионных процессов в ландшафтах средней тайги и переносу веществ в основном речными водами. Преобладание на водосборе горных пород преимущественно кислого состава с высоким содержанием кремния (до 80-90%, граниты, гранито-гнейсы, гнейсы, кварциты, кварцито-песчаники и шунгиты) определяет состав приходящего в озеро обломочного материала (в основном кварц и полевые шпаты, в следовых количествах – мусковит и биотит, пироксены и амфиболы, эпидот, смектит, карбонаты,

вивианит, цеолиты и акцессорные минералы). Присутствие в воде растворимых форм Si, холодноводность и длительное летнее солнцестояние способствуют развитию диатомового фитопланктона. Взвешенное вещество в озере в ходе осаждения подвержено различным физическим, физико-химическим, химическим и биологическим процессам. По нашим оценкам, осадочное вещество озерного генезиса (главным образом, органическое вещество, биогенный кремний, гетит, иллит) составляет около 20-30 % от общей массы приходящего на дно материала.

Изучение количественного и качественного состава твердого вещества атмосферных осадков, речных вод, водной толщи озера и поверхностного слоя ДО показало, что главной особенностью современного седиментогенеза в Онежском озере является неравномерность процесса (пространственная и временная). Скорость поступления веществ на дно изменяется от 0,1 до 2 кг на кв. метр в год в зависимости от района (Belkina et al., 2022, 2023). Термогидродинамические процессы определяют седиментационный режим водоема. Они формируют батиметрическую зональность и единство гранулометрического и минерального состава ДО, сходство мультиэлементных спектров металлов и РЗЭ осадочного вещества (Strakhovenko et al., 2020, 2022, 2023). Морфология котловины, неравномерный речной сток, температурный режим и динамика вод становятся причинами различий, связанных с развитием локальных седиментационных обстановок в отдельных районах озера. Это отражается в распределении органического вещества и биогенных элементов, в составе обломочного материала заливов и устьевой области рек, в проявлениях «нулевой» седиментации и образовании зон перлювия в открытых районах и др. Уникальной отличительной особенностью Онежского озера является участие в седиментогенезе шунгитового вещества (Малов и др., 2023). Пространственно-временная неравномерность осадочного процесса, отмечаемая на всех этапах седиментогенеза в Онежском озере, закономерно наследуется в распределении ДО, проявляясь в различиях гранулометрического и геохимического состава осадков и формировании аномалий (в районах газовых эманаций, субаквальной разгрузки подземных вод, техногенных сбросов) (Subetto et al., 2020). Антропогенный фактор усиливает эту неоднородность. Например, условия седиментации в Кондопожской губе Онежского озера имеют наибольшие отличия и обусловлены интенсивным загрязнением сточными водами ЦБК. Локальные зоны техногенных осадков наблюдаются в Петрозаводской губе и Большой губе Повенецкого залива. Относительно высокие концентрации загрязнителей из тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr, Hg и др.), нефтепродуктов и искусственных полимеров периодически фиксируются в составе взвесей атмосферных осадков, речных и озерных вод и ДО урбанизированных районов (Kulik et al., 2022, 2023).

В целом, наши наблюдения показывают, что седиментогенез в Онежском озере закономерно контролируется зональными факторами. Разнообразие седиментационных обстановок, состав осадочного материала и характер его распределения определяется азональными факторами. Нами были выделены индикаторы антропогенного влияния и районы с максимальной нагрузкой, а также особенности седиментогенеза, присущие только этому водоему (Палеолимнология…, 2022). Объем и полнота выполненных нами исследований позволяет сделать вывод о том, что выявленные закономерности применимы не только к водоемам, функционирующим в условиях гумидной зоны в настоящее время, но и для реконструкций условий лимногенеза Онежского приледникового озера (ОПО). Прямые аналогии могут быть применены для межледникового периода – голоцена. Сравнение современных и более древних озерных отложений, позволяет детализировать условия и характер осадочного процесса для различных природно-климатических этапов. Например, глобальное потепление климата последних 30 лет вызвало заметные изменения в составе водного стока, в термическом режиме, динамике вод и продукционных процессах в озере, что повлияло на количественный и качественный состав и время нахождения взвесей в водной толще.

Изменился вклад разных биологических сообществ в процесс формирования ДО (Tekanova et al., 2023). Для более ранних периодов истории водоема можно использовать современную информацию о влиянии придонных течений на подвижность грунтов Онежского озера для реконструкции условий формирования литологических фаций ДО (например, в озерах периферийной части ОПО, где есть признаки перерывов в осадконакоплении).

Заключение. Выявленные закономерности современного седиментогенеза Онежского озера имеют фундаментальный характер и в целом применимы для палеореконструкций последнего гляциоседиментационного цикла.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206

Список литературы

1 Ляйелль Ч. Основные начала геологии или новейшие изменения земли и её обитателей / Перевод с английского Андрея Мина: В 2 томах М.: издание А. Глазунова, 1866: Т. 1. 339 с.; Т. 2. 462 с.
2 Малов В.И., Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Овдина Е.А., Потахин М.С., Белкина Н.А., Малов Г.И. Преобразование высокоуглеродистых (шунгитовых) пород водами Онежского озера: минералогия и геохимия процесса // Геология и геофизика. – 2023. т. 65, № 7, с. 985—997. DOI: 10.15372/GIG2023200
3 Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям: [коллективная монография] / Д. А. Субетто., Н. А. Белкина, В. Д. Страховенко [и др.]; ответственный редактор Д. А. Субетто; Министерство науки и высшего образования РФ, Министерство просвещения РФ, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Российский научный фонд. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. – 332 с. ISBN 978-5-9274-0955-6
4 Belkina N.A., Kulik N.V., Efremenko N.A., Potakhin M.S., Kukharev V.I., Ryabinkin A.V., Zdorovennov R.E., Georgiev A.P., Strakhovenko V.D., Gatalskaya E.V., Kravchenko I.Yu., Ludikova A.V., Subetto D.A. Contemporary Sedimentation in Lake Onego: Geochemical Features of Water, Suspended Matter, and Accumulation Rate // Water – 2023. – Vol. 15, P. 1014. DOI:10.3390/w15061014
5 Belkina N.A., Strakhovenko V.D., Subetto D.A., Efremenko N.A., Potakhin M.S., Kulik N.V., Gatalskaya E.V., Ryabinkin A.V., Kukharev V.I., Rybalko A.E., Zdorovennova G.E., Zdorovennov R.E., Ludikova A.V. Sedimentary processes in Lake Onego at the present time // Limnology and Freshwater Biology – 2022. – Vol. 4, PP. 1388-1390. DOI:10.31951/2658-3518-2022-A-4-1388
6 Kulik N., Efremenko N., Belkina N., Strakhovenko V., Gatalskaya E., Orlov A. Fe, Mn, Al, Cu, Zn, and Cr in the sedimentary matter of Lake Onego // Quaternary International – 2022. – 11 p. doi.org/10.1016/j.quaint.2022.04.005
7 Kulik N., Efremenko N., Strakhovenko V., Belkina N., Borodulina G., Gatalskaya E., Malov V., Tokarev I. Geochemical Features of River Runoff and Their Effect on the State of the Aquatic Environment of Lake Onego // Water – 2023. – Vol. 15, P. 964. DOI:10.3390/w15050964
8 Strakhovenko V., Subetto D., Ovdina E., Danilenko I., Belkina N., Efremenko N., Maslov A. Mineralogical and Geochemical studies of Late Holocene bottom sediments of Lake Onega //Journal of Great Lakes Research – 2020. – 46. – P. 443–455. DOI: 10.1016/j.jglr.2020.02.007
9 Strakhovenko V.D., Belkina N.A., Efremenko N.A., Potakhin M.S., Subetto D.A., Malov V.I., Ovdina E.A. The spatio-temporal distribution of elements in the bottom sediments of Lake Onego and small lakes located on the catchment area of Onego Ice Lake. Vestnik of Saint Petersburg University // Earth Sciences – 2023. – Vol. 68(4). DOI:10.21638/spbu07.2023.404.
10 Strakhovenko V.D., Belkina N.A., Efremenko N.A., Potakhin M.S., Subetto D.A., Frolova L.A., Nigamatzyanova G.R., Ludikova A.V., Ovdina E.A. The First Data on the Mineralogy and Geochemistry of the Suspension of Lake Onego // Russian Geology Geophysics – 2022. – Vol. 63 (1), PP 55-71. DOI:10.2113/RGG20204280
11 Subetto D., Rybalko A., Strakhovenko V., Belkina N., Tokarev M., Potakhin M., Aleshin M., Belyaev P., Dubois N., Kuznetzov V., Korost D., Loktev A., Shalaeva N., Kiskina A., Kostromina N., Kublitskiy Yu., Orlov A. Structure of Late Pleistocene and Holocene Sediments in the Petrozavodsk Bay, Lake Onego (NW Russia) // Minerals. – 2020. – V.10 (11). – 964. – 20 p. DOI:10.3390/min10110964
12 Tekanova E. V., Kalinkina N. M., Makarova E. M., Smirnova V. S. The current trophic state and water quality of Lake Onego // Inland Water Biology, 2023, Vol. 16, No. 6, P. 967–973. DOI: 10.1134/S1995082923060251

Климато-фитоценотические сукцессии этапов озерного осадконакопления Лихвинского (Чекалинского) опорного разреза неоплейстоцена

Болиховская Н.С.

Московский государственный университет, Москва, nbolikh@geogr.msu.ru

Введение. Лихвинский (Чекалинский) опорный разрез, расположенный в 1 км севернее г. Чекалина на левом берегу р. Оки, является стратотипом лихвинского межледниковья Восточной Европы. В этом уникальном по полноте геологической летописи плейстоцена разрезе озерный литогенез занимает особое место. В обнажении, протянувшемся вдоль реки на 2 км, и в дополняющих его шурфах и скважинах выше карбоновых известняков вскрывается 50-метровая толща лёссово-почвенных, гляциальных (моренных и озерно-ледниковых), озерных и аллювиальных осадков (рис.), формировавшихся, согласно результатам детального палинологического анализа, в интервале от донского ледникового этапа до голоцена (Болиховская, 1995, 2004), т.е. на протяжении последних ~ 660 тысяч лет (Болиховская, Молодьков, 2002).

Озерные озерно-старичные и бассейновые отложения полупроточных водоемов доминируют в подморенных (доднепровских) седиментационных комплексах разреза.

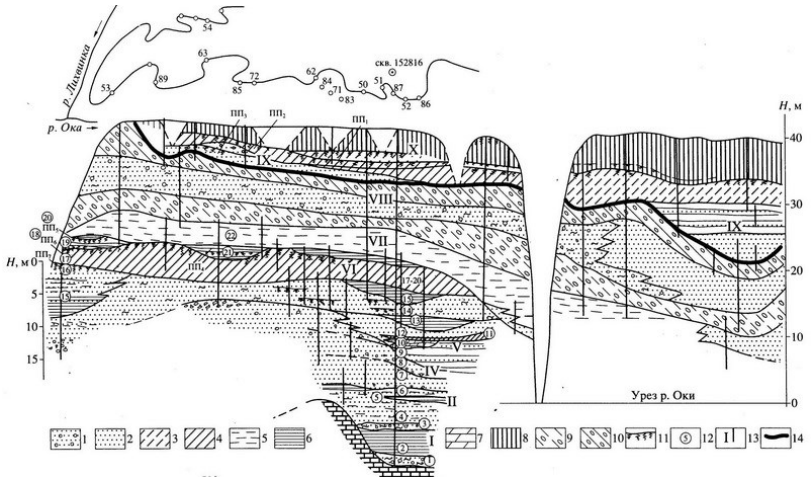


Рис. Строение плейстоценовых отложений в Лихвинском (Чекалинском) опорном разрезе (по Болиховской, Судаковой, 1996). 1 - песок с галькой, 2 - песок, 3 - супесь, 4 - суглинок, 5 - алеврит, 6 - глина, 7 - листоватый мергель, 8 - суглинок лёссовидный, 9 и 10 - морена, 11 - ПП, палеопочва, 12 - номер слоя, 13 - расчистки и скважины, 14 - кровля днепровской (московской) морены

Климато-фитоценотические реконструкции.

Временем ***донского оледенения*** датируются лежащие в основании разреза песчано-галечные осадки (47.8-50 м) и глины (45.1-47.8 м) с мореноподобным прослоем вверху. Накопление глин происходило в приледниковом озерном водоеме в период господства перигляциальной лесотундры. Об этом свидетельствуют спектры с преобладанием пыльцы и спор аркто-альпийских и аркто-бореальных видов (*Betula nana*, *B. fruticosa*, *Alnaster fruticosus*, *Dryas octapetala*, *Selaginella selaginoides* и др.), заметным содержанием *Myriophyllum*, *Potamogeton* и других гидрофитов, обилием миоспор карбона.

Вышележащая 10-метровая пачка озерных песков образовалась в лесных ландшафтах ***мучкапского*** *(беловежского)* ***межледниковья***, в развитии растительности которых реконструированы следующие климато-фитоценотические сукцессии: Bv1a – сосново-еловые и вязово-липово-грабовые леса; Bv1b – вязово-дубово-грабовые

и сосново-еловые леса; Bv2 – еловые леса эндотермального похолодания; Bv3 – сосново-березовые и елово-грабово-вязово-дубовые леса; Bv4a – еловые и вязово-дубово-грабовые леса; Bv4b - елово-вязово-дубово-липово-грабовые леса; Bv4c – елово-грабово-вязово-липовые и березово-сосновые леса. Осадки начальной и заключительной фаз межледникового ритма в разрезе отсутствуют. Среди характерных компонентов мучкапской палинофлоры Чекалина – *Tsuga canadensis, Picea* s. *Omorica, P.* s. *Eupicea, Abies* sp., *Pinus* s. *Cembra, P.* s. *Strobus, Larix* sp., *Rhus* sp., *Carpinus betulus, C. orientalis, Fagus sylvatica, Quercus robur, Q. pubescens, Tilia platyphyllos, T. cordata, Ilex aquifolium, Ulmus laevis, U. glabra, U. campestris, Osmunda cinnamomea, O. claytoniana, Salvinia natans*, а также отсутствующие в более молодых межледниковых палинофлорах *Cedrus* (автохтонный компонент дальнего заноса), *Tilia amurensis, Osmunda regalis, Woodsia manshuriensis, W. fragilis*, отнесенные нами к показательным видам мучкапского межледниковья Центра Русской равнины.

Стратиграфическое положение морены ***окского оледенения***, палинологическими данными в разрезе не выявленной, но встречающейся в бортах древней долины у д. Бряньково и по ручью Лихвинка, в толще у Чекалина фиксируется по смене терригенно-минералогических комплексов на глубине 36 м. (Болиховская, Судакова, 1996).

В ***лихвинское s.str. межледниковье*** формировались линза стратотипических старично-озерных отложений, вышележащие аллювиальные и озерные осадки и озерные пески с гравием и галькой, подстилающие стратотипическую линзу (24–36 м). Среди характерных таксонов лихвинской палинофлоры, наряду с такими показательными видами как *Tsuga canadensis, Taxus baccata, Pterocarya fraxinifolia, Juglans cinerea, Castanea sativa, Ilex aquifolium, Fagus orientalis, Quercus castaneifolia, Buxus* sp., *Osmunda claytoniana* и др., выделяются представители европейской, средиземноморской, восточно-азиатской и северо-американской флор - *Abies alba, Picea* s. *Omorica, Pinus* s. *Cembra, P*. s. *Strobus, Betula* s. *Costata, Juglans regia, Carpinus betulus, Fagus sylvatica, Quercus petraea, Zelkova* sp., *Celti*s sp., *Ulmus propinqua, Tilia platyphyllos, T. tomentosa, Ligustrina amurensis, Vitis* sp., *Osmunda cinnamomea, Salvinia natans* и др. Дробное климато-стратиграфическое подразделение лихвинского *s.str*. горизонта в стратотипе отражают 17 климато-фитоценотических сукцессий (фаз и подфаз) в развитии растительности лихвинского межледниковья (Болиховская, 1995, 2004): *LA* – елово-вязово-дубово-грабовые леса с участием дзельквы *Zelkova*, каркаса *Celtis* и др.; *LB* – еловые леса с примесью сосны, граба, дуба и вяза; *LC-L1* отражают внутрилихвинский эндотермал: *LC* – сосново-еловые леса с присутствием в кустарниковом ярусе ольховника и кустарниковых берез; *L1a* – сосново-еловые леса с примесью дуба, липы и березы; *L1б* – березово-сосново-еловые леса с примесью вяза и ольшаники; *L2a* – сосново-еловые леса с примесью дуба (преобладает), вяза, липы и граба; *L2б* – сосново-еловые леса с примесью граба (преобладает), дуба, вяза и липы; *L2в* – сосново-еловые леса с равным участием в составе примеси указанных широколиственных пород и появлением ореха (*Juglans regia*); *L3a* – елово-дубовые леса с примесью сосны, вяза и липы и ольшаники; *L3б* – елово-дубово-грабовые леса с примесью пихты, липы, вяза и др.; *L4* – дубово-грабовые леса и ольшаники термоксеротического максимума межледниковья; *L5a* – елово-пихтовые и дубово-грабовые леса с участием *Tsuga canadensis*, *Pterocarya fraxinifolia, Juglans cinerea, J. regia* и других тепло- и влаголюбивых пород и ольшаники; *L5б* – пихтово-еловые и грабово-буково-дубовые леса и ольшаники; *L5a* и *L5б* отражают термогигротический максимум межледниковья; *L5в* – кедрово-елово-пихтовые и дубово-липово-грабовые леса

и ольшаники; *L6* – елово-сосново-грабово-буково-дубовые леса с участием падуба (*Ilex aquifolium*); *L7* – сосново-березовые леса с примесью ели, липы и граба; *L8* – березовые леса с примесью сосны обыкновенной, ели и дуба (*Quercus robur*).

Калужское похолодание выражено в пачке подвергавшихся криогенезу слоев: озерных и аллювиальных песков, палеопочвы ПП7, материнской породы и горизонта В палеопочвы ПП6. На длительность этого криохрона и вероятность распространения севернее Чекалина ледникового покрова указывают большая роль остатков холодостойких растений (*Larix* sp., *Betula fruticosa, Betula nana, Alnaster fruticosus, Dryas octapetala, Selaginella sibirica, Lycopodium appressum, L. pungens* и др.), а также особенности развития господствовавших в это время перигляциальных фитоценозов: kl1 – лиственнично-сосново-березовые леса; kl2 – сосново-березовые редколесья с арктобореальными кустарниками; kl3 – березовая лесотундра криогигротического максимума; kl4 – сосново-березовые редколесья межстадиала; kl5 – тундро-лесостепи криоксеротического максимума.

В ***чекалинское межледниковье*** сформировался почвенный комплекс (ПК), состоящий из подзолистой почвы ПП6 с эродированным горизонтом А1 и парабурозема ПП5, верхняя часть которого также срезана. Этим обусловлена неполнота рассматриваемого межледникового ритма: Ch1 – сосново-березовые леса с примесью ели, вяза и дуба; Ch2 – сосново-еловые и широколиственные из дуба, вяза, липы и граба леса; Ch3 – смешанные елово-липово-вязово-дубовые леса. Характерные таксоны чекалинской палинофлоры – *Picea* s. *Omorica*, *P. excelsa*, *Pinus* s. *Cembra*, *P. sibirica*, *Carpinus betulus*, *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. tomentosa*, *Acer* sp., *Ulmus laevis*, *U. glagra*, *U. campestris*.

В ***жиздринское похолодание***, приведшее к господству перигляциальной лесотундры, образовалась метровая толща озерно-болотных глин и клинья, рассекающие нижележащую ПП5 до глубины 0.5 м. Вместе с кустарниковыми формациями из *Juniperus* sp., *Betula fruticosa*, *B. nana*, *Alnaster fruticosus*, *Salix* sp. и лугово-болотными ценозами, существенную роль в ландшафтах играли эродированные и слабозадернованные местообитания, заселявшиеся *Ephedra* sp., *Cannabis sativa*, *Artemisia* s.g. *Seriphidium*.

Черепетьскому межледниковью отвечает болотно-глеевая почва ПП4 мощностью 1 м. Во время ее формирования в бассейне Верхней Оки доминировали леса, претерпевшие в течение межледниковья следующие трансформации: Chr1 – сосново-березовые леса с примесью дуба и хмелеграбом в подлеске; Chr2 – грабово-дубовые с примесью липы и березовые леса; Chr3 – березово-сосновые и ивовые леса эндотермального похолодания; Chr4 – сосново-кедрово-березовые, вязово-дубовые и ивовые леса; Chr5 – сосново-березовые леса с примесью вяза и липы. В числе характерных таксонов черепетьской палинофлоры – *Pinus* s. *Cembra*, *Carpinus betulus*, *C*. cf. *orientalis*, *Ostrya* sp., *Quercus robur*, *Q*. cf. *pubescens*, *Tilia cordata*, *T. tomentosa* и др.

В ***днепровское оледенение*** шло накопление трехслойной морены и подморенных водно-ледниковых супесчано-суглинистых осадков, характеризующихся тундро-степными палиноспектрами (Болиховская, 1995) и лемминговой фауной (Агаджанян, 1971). Внутриднепровское межстадиальное потепление и распространение сосновых редколесий выявлено в средней, слоистой морене. На днепровских отложениях залегают верхнеплейстоценовые образования: делювий (в понижениях – балочный аллювий), мезинский ПК и валдайские лёссовые и почвенные горизонты. Днепровская трехслойная морена Чекалина коррелируется автором с верхней (московской) мореной Подмосковья и верхней (днепровской) мореной Украинского Поднепровья.

Заключение. Значение Лихвинского (Чекалинского) опорного разреза плейстоцена трудно переоценить – он содержит отложения стратотипов лихвинского, калужского и чекалинского горизонтов межрегиональной схемы МСК, а также жиздринский и черепетьский горизонты региональной схемы.

Статья подготовлена в рамках темы госзадания МГУ им. М.В. Ломоносова «Глобальные изменения климата и эволюция природной среды Северной Евразии и арктических морей в квартере: методы, палеореконструкции, долгосрочное прогнозирование».

Список литературы

1. Агаджанян А.К. Грызуны плейстоцена центра и юга Русской равнины. АКД. М., 1971. 24 с.
2. Болиховская Н.С. Глава 3.6. Основные этапы развития растительности и климата в плейстоцене // География, общество, окружающая среда. Т. 1. Структура, динамика и эволюция природных геосистем. М.: ГЕОС, 2004. С. 561–582.
3. Болиховская Н.С. Эволюция лёссово-почвенной формации Северной Евразии. М.: Изд-во Московского университета, 1995. 270 с.
4. Болиховская Н.С., Молодьков А.Н. Реконструкция развития палеоклиматических событий плейстоцена по данным палинологических и ЭПР исследований на территории Северной Евразии // Археология, этнография и антропология Евразии. Новосибирск, 2002. Вып. 2 (10). С. 2-21.
5. Болиховская Н.С., Судакова Н.Г. Стратиграфическое и корреляционное значение Чекалинского (Лихвинского) опорного разреза плейстоцена Русской равнины // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1996. Т.4. № 3. С. 86–97.

Позднеголоценовые отложения диатомовых водорослей в озере Пеюнгда близ окрестностей Тунгусской катастрофы 1908

Болобанщикова Г.Н.[1], Рогозин Д.Ю.[1,2]

[1]Обособленное подразделение Федерального исследовательского центра КНЦ СО РАН «Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИБФ СО РАН) улица Академгородок, д. 50/50, Красноярск, 660036, Россия, galina.ibp@mail.ru

[2]Сибирский Федеральный Университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия

Аннотация. Диатомовые водоросли являются основным компонентом озёрной биоты. Благодаря способности диатомовых створок к сохранению в течение длительных временных рамок (от сотен до млн. лет) они давно стали одним из постоянных инструментов в палеореконструкции донных отложений. На протяжении последних десяти лет нами активно изучается самый малонаселённый и труднодоступный, вследствие чего слабоизученный Эвенкийский район Красноярского края. Центрально-Тунгусское плато, расположенное в южной части Эвенкийского района, интересно тем, что 30 июля 1908 года здесь произошла Тунгусская катастрофа 1908 (далее - ТК 1908). В районе плато также расположены несколько озер ранее вызвавших интерес исследователей в связи с ТК 1908 (Rogozin et al., 2017). Была исследована морфология озер Чеко, Заповедное и Пеюнгда, расположенных в окрестностях эпицентра ТК 1908 и было выявлено, что возраст отложений озера Пеюнгда исчисляется тысячелетиями (Rogozin et al., 2023a; 2025) и, скорее всего, оно, как и другие исследованные озёра, имеет геологическое происхождение. Тем не менее, возникновение этого и других озёр района ТК 1908 до настоящего времени неясно, и исследование донных отложений сможет дать ответ на этот вопрос. В настоящей работе представлен детально изученный видовой состав диатомовой альгофлоры донных отложений центральной глубоководной части озера Пеюнгда с целью палеоэкологических реконструкций изучаемого региона.

Ключевые слова. Палеолимнология. Палеореконструкция. Палеоэкология. Диатомовые водоросли. Донные отложения.

Введение. *Озеро Пеюнгда* (60°37,174' с.ш., 101°38,442' в.д.) - водоем почти правильной округлой формы диаметром около 600 м и максимальной глубиной 35 м (Rogozin et al., 2023), расположенный в южной части Эвенкийского района Красноярского края на границе Государственного природного заповедника «Тунгусский» в 60 км от поселка Ванавара и приблизительно в 50 км к югу от предполагаемого эпицентра ТК 1908 года. Водоем проточный, с севера в него впадает небольшая река Верхняя Лакура, приток реки Подкаменная Тунгуска, она же вытекает из водоема с южной стороны. С северо-востока в озеро впадает еще одна небольшая речка Пеюнгда. Вода озера Пеюнгда пресная, минерализацией около 40 г л-1, pH в верхних слоях 6.2-6.5, в придонных слоях 5.7.

Материалы и методы. В сентябре 2022 года из самой глубокой части озера (60°37,541' с.ш., 101°38,740' в.д.) был извлечен керн длиной 1460 мм. Отбор керна производился с помощью гравитационного пробоотборника UWITEC (Австрия) и съемной пластиковой трубки диаметром 90 мм. После транспортировки в лабораторию в вертикальном положении керн был разобран и разрезаны на слайсы с шагом в 2 см. Образцы донных отложений, отобранные из каждого слайса, проходили стандартную пробоподготовку для диатомового анализа с использованием 30% H_2O_2 (Bolobanshchikova et al., 2015). Подсчёт осуществлялся по отработанной методике параллельных трансект (Давыдова, 1985). Для построения диаграмм и кластерного анализа использовали Tilia 3.0.3 (Grimm, 2004). Видовая принадлежность

диатомовых устанавливалась с помощью определителей и систематических сводок (например, как в Bolobanshchikova et. al., 2023).

Результаты и обсуждение. Всего было обнаружено 222 таксона, рангом ниже рода. На протяжении всего керна доминирует планктонно-бентосный вид *Tabellaria fenestrate* (Lyngbye) Kützing. Наиболее заметными сигналами являются исчезновение в середине керна *Discotella stelligera* (Cleve & Grunow) Houk & Klee (планктоннно-бентосный космополит стоячих вод, индифферентный по отношению к солёности и pH), а также три локальные вспышки *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen (планктонный, космополит, алкалифил стояче-текучих вод, индифферентный по отношению к солёности). Всего выделено пять зон (Рис. 1).

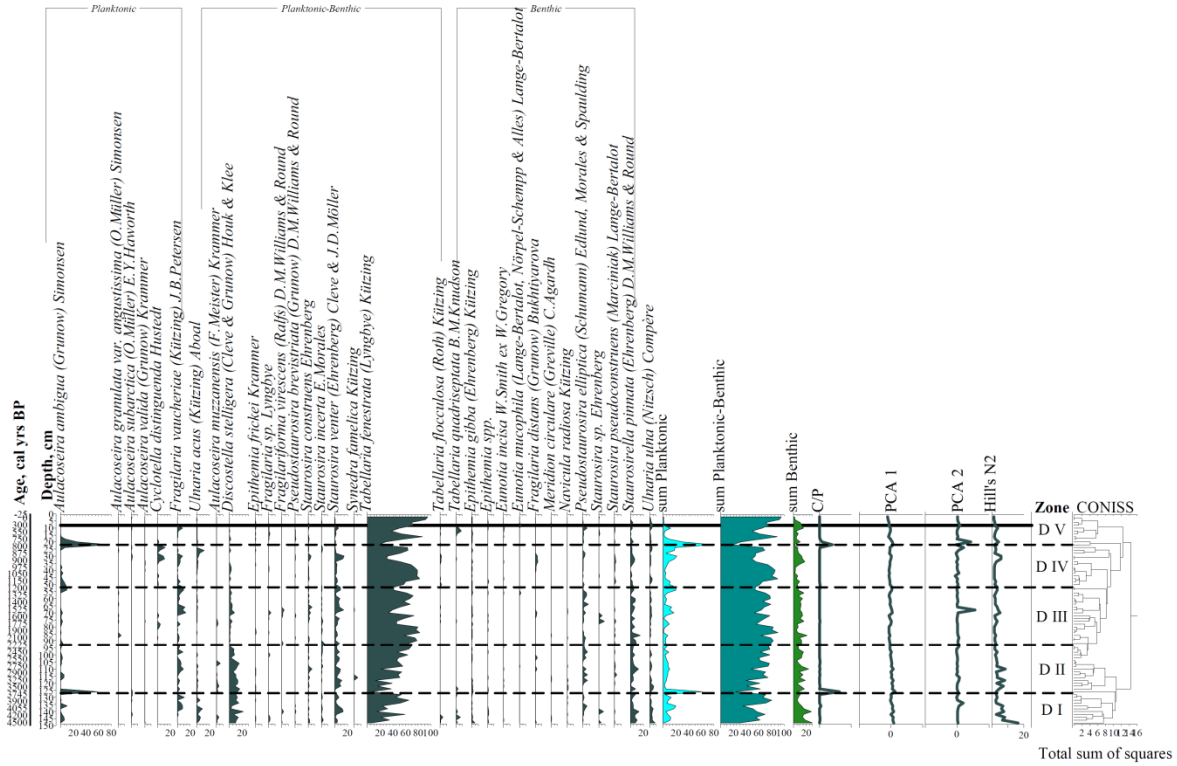


Рис. 1. Распределение диатомовых водорослей в донных отложениях озера Пеюнгда

Зона DI (4620-3745 BP). В зоне наблюдается наибольшее видовое разнообразие. Доля *Tabellaria fenestrate* здесь наименьшая, тем не менее, доминирование *T. fenestrate*, вероятно говорит о большом количестве погружного субстрата, необходимого для развития этого вида. Субдоминирует *D.stelligera*, предпочитающая стоячие, либо слабо-текущие воды (Баринова, 2006), что, скорее всего, указывает на стагнацию в озере. Появление в нижней части зоны ацидофильных видов-эпифитов *T. flocculosa* (Roth) Kützing и *T. quadriseptata* B.M.Knudson примерно на уровне засухи начала мегхалайского периода (4245 BP) может говорить об уменьшении pH литоральной зоны (Flower, Battarbee, 1985). Условия в данной зоне можно интерпретировать как пограничные на стыке северогриппианского и мегхалайского периодов, и переход к среднесуббореальному потеплению.

Зона DII (3745 – 2200 BP). Зона начинается со вспышки численности планктонного вида *Aulacoseira ambigua* около 3745 лн, предпочитающего прибрежные мелководья с более высокой долей минерализации (Давыдова, 1985), наиболее вероятно, относится

к засушливому эпизоду, после окончания которого могло произойти переотложение створок этого вида из илистых накоплений прибрежных литоральных зон в более глубоководных частях озера. Постепенно увеличивается доля *T. fenestrate*. По-видимому, в этой зоне произошло увеличение уровня воды в озере. В пользу этого свидетельствует и стабильно высокая доля одного из массовых видов диатомей *D. stelligera*, предпочитающего умеренное перемешивание и лимитированного факторами притока биогенных элементов в озеро, а также светодоступностью (Saros, Anderson, 2015). Повышение доли *T. fenestrate* и появление минорного вида *Meridion circulare* (Greville) C.Agardh обитающий в чистых, проточных водоёмах (Баринова, 2006), говорит об увеличении притока воды из впадающей в озеро реки Верхняя Лакура. В целом данный период можно назвать относительно влажным и стабильным.

Зона DIII (2200 – 1200 BP). Последовательное, стойкое повышение доли планктонно-бентосной, галофобной диатомовой проточных вод *T. fenestrate* (Баринова, 2006), снижение доли алкалифильных видов *Fragilaria vaucheriae*, в т.ч. теплолюбивых видов *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & J.D.Möller и исчезновение планктонно-бентосной *D. stelligera* около 1300 BP указывает на повышение проточности и уровня озера и снижение трофического статуса. Период нестабильный, с тенденцией к похолоданию.

Зона DIV (1200 – 700 BP). Неизменно высока доля *T. fenestrate*. Внизу зоны наблюдается очередной всплеск численности *A. ambigua*. Полностью исчезают створки вида *A. muzzanensis* (F.Meister) Krammer, предпочитающего постоянное перемешивание водной толщи (Лудикова и др., 2021). В зоне наблюдается сильное снижение доли *Discostella stelligera* и постепенное уменьшение доли *S. pinnata*. Этот короткий промежуток характеризуется как относительно холодный и засушливый эпизод.

Зона DV (700 BP – по н.в.). В этой зоне видовое разнообразие минимально. *Tabellaria fenestrate,* доля которой доходит до 98%, вероятно спровоцировала исчезновение вида-индикатора эвтрофикации и застойных явлений (Saros, Anderson, 2015) *D. stelligera.* В интервале около 500-600 лет назад резкий пик *Aulacoseira ambigua,* свидетельствует об эпизоде засухи, что подтверждается увеличением пожарных частиц в этот период (Rogozin et. al., 2022). В районе 1908 года наблюдается незначительное увеличение *Ulnaria ulna* и ацидофильных видов *T. quadriseptata* и *Eunotia mucophila* (Lange-Bertalot, Nörpel-Schempp & Alles). Таким образом, в данный период с уверенностью можно утверждать, что есть тенденция к потеплению и эвтрофикации, также есть признаки повышения влажности.

Заключение. Вероятно, исчезновение *D. stelligera* и появление ацидофильных видов *T. quadriseptata* и *E. mucophila* в районе ТК 1908 может косвенно отражать снижение pH литоральной зоны вследствие привноса терригенного материала. Комплексный подход к поиску свидетельств ТК 1908, в т.ч. и с помощью диатомового анализа в донных отложениях озёр близ окрестностей места событий, должен продолжаться.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект 22-17-00185-П.

Список литературы

1 Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio Press. 2006. 498 с.

2 Bolobanschikova G.N., Rogozin D. Yu., Firsova A.D., Radionova E.V., Degermendzhy N.N., Shabanov A.V., Analysis of diatoms in the water column and bottom sediments of Lake Shira (Khakassia, Russia) // *Contemporary Problems of Ecology*. 2015. 2, pp. 215-228.

3 Bolobanschikova G.N., Palagushkina O.V., Rogozin D.Yu. Species composition of diatom algae in modern bottom sediments of lakes on Central Tunguska plateau, Evenkia // *Contemporary Problems of Ecology* 2023. 30(2), pp. 119-135.
4 Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли-индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние. 1985. 253 с.
5 Flower Roger J., Battarbee Richard W. The morphology and biostratigraphy of Tabellaria quadriseptata (Bacillariophyceae) in acid waters and lake sediments in Galloway, Southwest Scotland // British Phycological Journal. 1985. 20:1, pp. 69-79.
6 Grimm E. Tilia software (Version 3.0.3). Illinois State Museum Res. and Collect. Cent., Springfield, 2004.
7 Рогозин Д.Ю., Дарьин А.В., Калугин И.А., Мельгунов М.С., Мейдус А.В., Дегерменджи А.Г.. Оценка скорости накопления донных отложений в озере Чеко (Эвенкия, Сибирь): новые сведения по проблеме Тунгусского феномена 1908 года // Докл. АН. Науки о Земле. 2017. 476 (6). С. 685-687.
8 Rogozin D.Y., Bolobanshchikova G.N., Burdin L.A., Meydus A.V. Macroparticle Charcoal in Lake Sediments of the Central Tunguska Plateau (Siberia, Evenkia) as an Indicator of Forest Fires and a Possible Trace of the Tunguska Event of 1908 // Contemporary Problems of Ecology. 2022. Vol. 15, No. 4, pp. 337–344.
9 Рогозин Д. Ю., Крылов П. С., Даутов А. Н., Дарьин А. В., Калугин И. А., Мейдус А. В., Дегерменджи А. Г. Морфология озер Центрально-Тунгусского плато (Красноярский Край, Эвенкия): новые сведения по проблеме Тунгусской катастрофы 1908 года // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. 510(1). С. 81-85.
10 Rogozin D.Y., Nazarova L.B., Rudaya N.A., Frolova L.A., Syrykh L.C., Bolobanshchikova G.N., Palagushkina O.V., Darin A.V., Meydus A.V. Tracking late Holocene climate change and the 1908 Tunguska impact event from lake sediments in Central Siberia // Quaternary Research. 2025. 125, May 2025, pp. 1–19.
11 Saros, J.E., and Anderson, N.J. The ecology of the planktonic diatom Cyclotella and its implications for global environmental change stud-ies // Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society. 2015. V. 90, pp. 522–541.

Короткопериодные климатические колебания раннего голоцена в бассейне верхнего Днепра по данным палинологических исследований озерных отложений

Борисова О.К., Нарышкина Н.Н., Панин А.В.

Институт географии РАН, Москва, paleo@mail.igras.ru

Введение. Несмотря на довольно многочисленные палинологические исследования разрезов озерно-болотных отложений голоцена, проведенные к настоящему времени в средней полосе Восточно-Европейской равнины (Хотинский и др., 1991; Kremenetski et al., 2000; Wohlfarth et al., 2007; Novenko, Olchev, 2015; Борисова и др., 2022; Tarasov et al., 2022; Borisova et al., 2024; и др.), ранний голоцен по сей день остается наименее изученной частью современного межледниковья. Причинами этого дефицита данных являются небольшие мощности преимущественно терригенных озерных отложений, накапливавшихся в позднеледниковье и в начале голоцена, и ограниченные возможности их радиоуглеродного датирования без применения ускорительной масс-спектрометрии. Новые подробные палинологические данные по раннему голоцену были получены по разрезу старичных отложений, вскрытых скважиной на пойме р. Десны около г. Сельцо Брянской обл. (53°20′48″ с. ш., 34°6′30″ в. д.). Значительная мощность озерных осадков раннего голоцена в данном разрезе и результаты радиоуглеродного AMS-датирования позволили провести пыльцевой анализ с необычно высоким для этого интервала разрешением по времени (20-25 лет для раннего пребореала, 25-35 лет для позднего пребореала и около 25 лет для раннего бореала). Изучение состава непыльцевых палиноморф (устьиц хвои сосны, специализированных клеток и тканей нимфейных и др.) в пыльцевых препаратах обеспечило дополнительные возможности реконструкции изменений локальных растительных сообществ, как наземных, так и водных.

Результаты и обсуждение. По всему разрезу в спектрах преобладает пыльца деревьев и кустарников (55-85% от суммы пыльцы наземных растений Σ), представленная в основном *Pinus sylvestris* (до 60-70% Σ) и *Betula* sect. *Albae* (до 40-50% Σ).

В слое гиттии (335-311 см), накопившемся в начале раннего пребореала, доля древесной пыльцы возрастает вверх по разрезу с 55% до 85% Σ, в основном за счет пыльцы сосны (с 20% до 60% Σ). Встречается редкая пыльца *Picea* и *Pinus sibirica*, а в верхней части слоя – также *Larix* и *Juniperus*. Пыльца белой березы составляет около 15% Σ, содержания пыльцы ивы снижаются вверх по слою с 15% до 8-10% Σ. Найдена также пыльца кустарниковых берез, смородины, жимолости, ольхи и др. Из травянистых растений в основании слоя наиболее обильна пыльца Cyperaceae, Poaceae и *Artemisia* (до 10-15% Σ); их содержания резко сокращаются вверх по разрезу. Очень разнообразна пыльца лугового разнотравья и водных растений (*Myriophyllum*, *Nuphar*, *Utricularia* и др.). В вышележащем слое глинистой гиттии (311-276 см) отмечен новый подъем содержаний пыльцы трав и кустарничков до 35% Σ, в основном за счет осоковых, полыней и разнотравья. В нижней части этого слоя встречается *Ephedra*. Содержание пыльцы *Pinus sylvestris* в нижней части слоя снижается с 60% до 30% Σ, а затем вновь повышается, а доля пыльцы *Betula* sect. *Albae* возрастает до 25-30% Σ. Присутствует пыльца микротермных кустарников – карликовой березы, ольховника. Состав пыльцы водных растений становится беднее, но появляется разнообразная пыльца прибрежно-водных и влаголюбивых растений – *Sagittaria sagittifolia*, *Menyanthes trifoliata*, *Typha latifolia*, *Sparganium* sp., *Filipendula ulmaria*. В верхней части зоны при высоких содержаниях спор папоротников возрастает общее разнообразие спор: здесь отмечены споры *Botrychium*, *Equisetum*, *Lycopodium*, *Pteridium* и *Sphagnum*.

Описанные изменения в составе пыльцевых спектров позволяют заключить, что в начале пребореала растительный покров имел сложное мозаичное строение, унаследованное от холодной стадии позднего дриаса. Обилие и разнообразие пыльцы травянистых растений и одновременное присутствие ксерофильных и микротермных видов указывают на ограниченную роль лесов и существование растительности, близкой к перигляциальной лесостепи. В лесах этого времени встречались лиственница и сибирский кедр – породы, в настоящее время распространенные в регионах с более континентальным климатом, чем современный климат в районе разреза. При этом роль лесных сообществ, в первую очередь сосновых, возрастала в условиях быстрого потепления. Находки устьиц хвои сосны доказывают, что эта порода появилась и быстро расселилась вблизи озера уже 11,5 тыс. калибр. л. н. Об относительно высоких летних температурах в это время свидетельствует также состав водной растительности: уруть и кубышка росли в озере уже в самом начале пребореала, а около 11,5 тыс. калибр. л. н. появилась и более теплолюбивая кувшинка. В конце раннего пребореала по палинологическим данным прослеживаются признаки похолодания длительностью около 200 лет. Его влияние на расселение сосны в непосредственной близости от разреза проявилось в резком сокращении количества устьиц хвои *Pinus*. Тем не менее, лето во время этого похолодания оставалось достаточно теплым для развития разнообразных луговых сообществ: в каждом образце из соответствующего интервала обнаружена пыльца трав из 12-15 семейств, в том числе *Sanguisorba*, *Thalictrum* spp., *Polygonum bistorta*, *Valeriana* и др. В начальную фазу похолодания в составе водной растительности сохранялись только наиболее холодостойкие виды (уруть, ряска, роголистник), однако в его конце в озере вновь появилась кубышка. На несколько более мягкий и влажный климат поздней части похолодания указывает распространение мезофильных кустарников – березы низкой, ольховника и видов ивы, а также новый этап расселения папоротников и появление плаунов и сфагновых мхов в наземном покрове.

Для слоя торфянистой гиттии (276-216 см), относящегося к позднему пребореалу, характерны наиболее высокие для всего пребореального интервала содержания пыльцы деревьев и кустарников (80-85% Σ), в том числе белой березы (до 40-50% Σ в верхней части слоя). Доля пыльцы сосны составляет от 30% до 50% Σ. Пыльца темнохвойных пород (*Picea* и *Pinus sibirica*) изредка встречается только в нижней части слоя, пыльца *Larix* и *Juniperus* не обнаружена. Пыльца мезофильных кустарников (*Betula* sect. *Fruticosae*, *Salix* spp.) более обильна в нижней части слоя, где найдена также пыльца видов сем. Malaceae (вероятно, черемухи и рябины) и хмеля. Из травянистых растений здесь наиболее многочисленна пыльца осоковых и полыней; разнообразие пыльцы луговых растений быстро убывает вверх по разрезу. Полученные данные показывают, что возобновление потепления в позднем пребореале привело к новому этапу распространения березовых и сосновых лесов в окрестностях разреза. Доля открытых травянистых сообществ в растительном покрове значительно сократилась. В условиях потепления развивался процесс заиления и зарастания старичного озера.

В слое низинного торфа, накопившемся в раннем бореале (210-175 см), доля пыльцы деревьев и кустарников колеблется в пределах 75-85%, иногда достигая 90% Σ. В нижней части этого горизонта преобладает пыльца сосны (45-55% и до 85% Σ в одном образце). Доля пыльцы белой березы снижается до 10% спектра. В небольшом количестве присутствует пыльца мезофильных деревьев и кустарников – ивы, ольхи, березы низкой (*Betula humilis*). Из травянистых растений наиболее обильна пыльца Cyperaceae, Poaceae, *Artemisia* и влаголюбивых растений – рогоза (*Typha latifolia*)

и ежеголовки (*Sparganium*) (до 10-15% Σ), встречаются споры папоротников и сфагновых мхов, однако в целом таксономическое разнообразие спектров относительно низкое. Выше по разрезу доля пыльцы сосны сокращается до 25-40%, а доля пыльцы белой березы возрастает до 50-60% спектра. Одновременно отмечен рост содержаний пыльцы ольхи и березы низкой, появление пыльцы вяза, дуба, ясеня, липы, а также, вероятно, черемухи и/или рябины. Единично встречается пыльца *Pinus sibirica* и *Juniperus*. При сохранении высоких содержаний пыльцы гигрофитов, после некоторого сокращения вновь возрастает разнообразие пыльцы лугового разнотравья (в каждом образце определена пыльца растений из 15-19 семейств). В верхней части интервала отмечена также пыльца разнообразных водных растений (*Myriophyllum*, *Nymphaea*, *Nuphar*, *Hydrocharis*, *Potamogeton*), обнаружены микроскопические фрагменты кожицы семян и склереиды нимфейных, а также листовые волоски роголистника, что позволяет более надежно проследить их участие в растительности водоема на разных этапах его зарастания. В середине бореала резко возрастает содержание спор Polypodiaceae, которое здесь в 2-3 раза превышает сумму пыльцы наземных растений Σ. В этом слое встречены многочисленные спорангии папоротников, что подтверждает локальное происхождение этого пика.

Изменения в составе водной и прибрежно-водной растительности и новое резкое повышение роли папоротников в наземном покрове отражают процессы заиления и зарастания старичного озера и заболачивания его берегов в раннем бореале. Эти процессы отражены в составе пыльцевых спектров преобладанием пыльцы осоковых, злаковых, зонтичных, лютиковых, розоцветных (семейств, включающих в себя многочисленные влаголюбивые растения) в группе трав и кустарничков, а также обилием пыльцы водно-болотных растений (рогоза, ежеголовки) и спор папоротников. По окраинам болота росли береза низкая, ольха и ива. На окружающей территории господствовали сосновые и березовые леса. К середине бореала произошло расширение березовых лесов за счет сокращения доли сосновых боров и сформировались смешанные леса с участием вяза, дуба, ясеня, липы и разнообразными кустарниками в подлеске. Широко распространились луговые сообщества. В растительности на болотном массиве большую роль играли папоротники сем. Polypodiaceae; встречались также хвощи и сфагновые мхи. Теплые и влажные климатические условия этого времени привели к частичному обводнению старичного понижения и развитию разнообразной водной растительности в небольшом хорошо прогреваемом водоеме.

Заключение. Спорово-пыльцевой анализ с высоким разрешением по времени, проведенный по разрезу Сельцо, позволил проследить изменения состава растительности и реконструировать короткопериодные (вековые и тысячелетние) колебания климата, развивавшиеся в ходе потепления при переходе от позднеледниковья к голоцену, в течение пребореала и раннего бореала на западе современной подзоны восточноевропейских сосново-широколиственных лесов. На основе геохронологических и палеоботанических данных впервые в этом регионе обнаружены следы кратковременного похолодания, соответствующего так называемой пребореальной осцилляции (ПБО), выделенной по изменениям изотопного состава льда в Гренландии (Rasmussen e al., 2007). В целом, полученные данные позволяют сделать вывод о большей стабильности ландшафтно-климатической обстановки бореала по сравнению с пребореалом: несмотря на достигнутое высокое временное разрешение, внутри этого интервала не обнаружено следов резких климатических колебаний. В течение бореала продолжалось развитие потепления, начавшегося в позднем пребореале после окончания ПБО, при достаточном увлажнении.

Благодарности. Исследования поддерживаются РНФ, проект 22-17-00259-П.

Список литературы

1. Борисова О.К., Нарышкина Н.Н., Константинов Е.А., Панин А.В. Ландшафтно-климатические изменения в пребореале на северо-западе европейской части России // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 1. С. 19-28.
2. Хотинский Н.А., Алешинская З.В., Гуман М.А. и др. Новая схема периодизации ландшафтно-климатических изменений в голоцене // Известия АН СССР. Серия геогр. 1991. № 3. С. 30-42.
3. Borisova O., Naryshkina N., Panin A. Short-term climatic oscillations in the central region of the East-European Plain at the beginning of the Holocene based on palynological studies of lacustrine deposits // Quaternary. 2024. V. 7. № 2. Paper 22.
4. Kremenetski K.V., Borisova O.K., Zelikson E.M. The Late Glacial and Holocene history of vegetation in the Moscow region // Paleontological J. 2000. V. 34. Suppl. 1. P. S67-S74.
5. Novenko E.Y., Olchev A.V. Early Holocene vegetation and climate dynamics in the central part of the East European Plain (Russia) // Quat. Int. 2015. V. 388. P. 12-22.
6. Rasmussen S.O., Vinther B.M., Clausen H.B., Andersen K.K. Early Holocene climate oscillations recorded in three Greenland ice cores. Quat. Sci. Rev. 2007. Vol. 26. Iss. 15-16. P. 1907-1914.
7. Tarasov P.E., Savelieva L.A., Kobe F., Korotkevich B.S., Long T., Kostromina N.A., Leipe C. Lateglacial and Holocene changes in vegetation and human subsistence around Lake Zhizhitskoye, East European midlatitudes, derived from radiocarbon-dated pollen and archaeological records. Quat. Int. 2022. V. 623. P. 184-197.
8. Wohlfarth B., Lacourse T., Bennike O., Subetto D., Tarasov P., Demidov I., Filimonova L., Sapelko T. Climatic and environmental changes in north-western Russia between 15,000 and 8000 cal yr BP: A review. Quat. Sci. Rev. 2007. V. 26. P. 1871-188.

Особенности формирования геокриологических условий в западной части котловины озера Лама в позднем неоплейстоцене-голоцене

Борцов А.В.

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, bav_mgt@mail.ru

Введение. Озеро Лама расположено в юго-западной части плато Путорана. Район озера Лама уникален по природным условиям и является зоной отдыха жителей Норильского района. Геокриологические условия данной территории и их эволюция в позднем неоплейстоцене-голоцене, несмотря на близость к Норильскому промышленному району, недостаточно изучены. Одним из ключевых факторов, препятствующих освоению данной территории, являются сложные геокриологические условия. Следует отметить, что палеогеографические условия прошлых эпох оказали значительное влияние на формирование современной криолитозоны. При этом сложность и неоднородность природных условий на протяжении четвертичного периода предопределили многократное изменение геокриологической обстановки.

Регион исследований, объекты и методы. Район находится за Полярным кругом, климат повышенно-континентальный со среднегодовой температурой воздуха -9,3 °С. Среднегодовое количество осадков составляет 429 мм, из них 236 мм выпадает в виде снега. Территория относится к подзоне северной тайги и, в основном, покрыта лесом из ели, лиственницы и березы и редколесьями. Район исследования охватывает равнинную территорию северного и южного берегов оз. Лама (абс. высоты 45-175 м), которая включает озерные террасы, террасы р. Микчангды и самый высокий уровень - ледникового генезиса. Распространение многолетнемерзлых пород по данным геофизических исследований прерывистое и островное.

Для оценки влияния природных факторов на формирование температуры пород выполнено специальное ландшафтное микрорайонирование территории и составлена соответствующая карта. Признаками районирования выбраны рельеф и микрорельеф поверхности, состав пород верхней части разреза и характер растительности, которые являются основными температуроформирующими факторами. В каждом выделенном микрорайоне в нескольких точках описаны поверхностные условия, измерена глубина сезонного оттаивания, изучен разрез отложений и произведен отбор проб мерзлых и сезонноталых пород для определения влажности и объемной массы скелета грунта.

Для наиболее характерных выделенных микрорайонов проведено математическое моделирование геотемпературного поля за последние 130 тысяч лет. Полученные данные позволили оценить температурный режим и динамику многолетнемерзлых пород. В модели учитывался ход осадконакопления во времени. Материалы по изменению палеоклимата и развитию событий (оледенений, трансгрессии моря и пр.) послужили основой для разработки палеогеографического сценария, на основании которого задавался ход изменения температуры на поверхности пород. Температура под морями и озерами задавалась как величина, характерная для придонной воды, под ледником – рассчитывалась в зависимости от его мощности и температуры поверхности, в субаэральных условиях – принималась в соответствии с ходом изменения температуры воздуха и характера снегонакопления.

Результаты и обсуждение. В казанцевское межледниковье в результате трансгрессии моря ММП полностью деградировали. В муруктинскую стадию развивалось покровное оледенение. Ледник мощностью до 500 м просуществовал до 50 тыс. л.н. Мощность многолетнемерзлых пород достигла 450 м и при деградации

ледника сократилась до 330 м. В каргинский межстадиал 50-33 тыс. л.н. многолетнемерзлые породы вначале развивались в субаэральных условиях. Около 40 тыс. л.н. образуется обширное Вальковское озеро и начинается деградация многолетнемерзлых пород. К 35 тыс. л.н. многолетнемерзлые породы сохранились на глубине 125-195 м. Праозеро существовало до 11 тыс. л.н. и многолетнемерзлые породы со временем деградировали полностью. В голоценовое время (Andreev, 2004; Koshkarova, 1995) мощность многолетнемерзлых пород несколько изменяется как в сторону увеличения, так и уменьшения. Так, в голоценовый оптимум, при температуре поверхности пород 3,2°С, мощность ММП деградирует до 30 м.

Выводы. В котловине озера Лама важную роль в формировании многолетнемёрзлых пород играют геологические события, такие как оледенения и отепляющее воздействие пресного водоёма. Особенностью этого региона, выделяющей его среди других территорий криолитозоны, является каргинско-сартанский период, когда существовал Вальковский водоём. Его длительное существование привело к оттаиванию всей ранее сформировавшейся мёрзлой толщи, что отличает динамику геокриологических условий данной местности от других высокоширотных районов криолитозоны с аналогичными современными природными условиями. Таким образом, многолетнемёрзлые породы в пределах Норильской котловины сформировались в голоцене. Именно этим объясняется наличие маломощных мёрзлых толщ даже при холодных среднегодовых температурах пород, соответствующих современному уровню теплообмена на поверхности.

Список литературы

1. Andreev A.A., Tarasov P.E., Klimanov V.A., Melles M, Lisitsyna O.M., Hubberten H.-W. Vegetation and climate changes around the Lama Lake, Taymyr Peninsula, Russia during the Late Pleistocene and Holocene // Quaternary International, Vol. 122, Iss. 1, 2004, pp. 69-84.
2. Koshkarova V.L. Vegetation response to global and regional environment change on the Taymyr Peninsula during the Holocene//Polar Geography, 1995, 19, 1, pp.145-151.

Озерно-ледниковые отложения в центральной части Кольского полуострова

Вашков А.А., Толстоброва А.Н., Коваленко Н.А., Сергиенко Д.Д

Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, a.vashkov@ksc.ru

Озерно-ледниковые отложения являются важным палеоархивом природной среды четвертичного периода. Наиболее яркие отложения приледниковых водоёмов, ленточные глины, являются классическим объектом исследования этапов и рубежей распространения, а также хронологии ледниковых покровов (Каплянская, Транградский, 1993; Астахов, 2020; Benn, Evans, 2010), в том числе, в Кольском регионе (Колька, 1996; Евзеров и др., 1998). На сегодня актуальной задачей является определение положения всех фрагментов озерно-ледниковых отложений в системе ледниковых аккумулятивных форм, а также реконструкция условий их осадконакопления и выявление стратиграфической позиции. Данная информация важна для правильного понимания процессов дегляциации территории и этапов развития последнего оледенения.

В Кольском регионе одним из ключевых районов распространения озерно-ледниковых отложений является участок к югу и юго-западу от Хибин, включая котловину озера Имандра (Рис. 1). Здесь в ходе полевых работ установлены как под-, так и над-моренные пески тонко-, мелкозернистые и алевриты, которые ранее соотносились с межстадиальными образованиями валдайского оледенения (Арманд, 1964; Евзеров, Кошечкин, 1980).

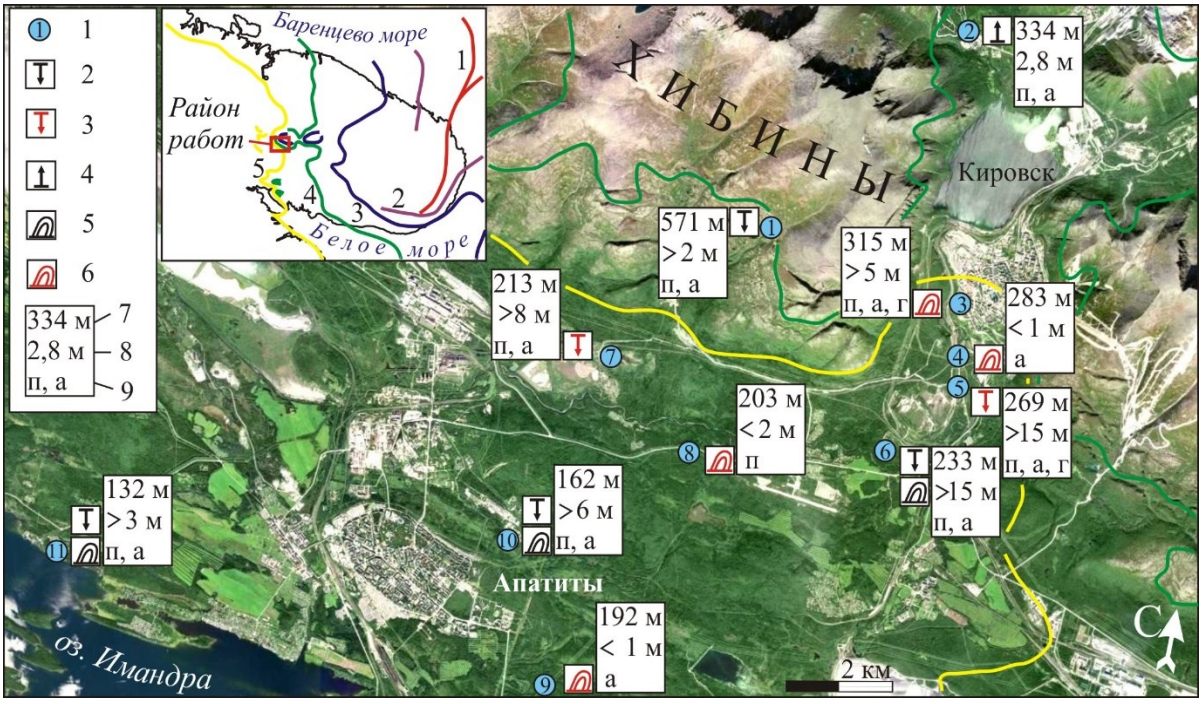


Рис. 1. Расположение обследованных разрезов озерно-ледниковых отложений в районе работ. 1 – местоположение и его номер; залегание озерно-ледниковых отложений: 2 – под мореной последнего оледенения, 3 – под флювиогляциальными отложениями и абляционной мореной, 4 – над мореной последнего оледенения, 5 – в дислоцированном виде, 6 – в виде линз и блоков в составе гляциодислокаций или в морене; 7 – абсолютная высота кровли отложений (м, над уровнем моря); 8 – мощность отложений; 9 – состав отложений (п – пески мелко- и тонкозернистые, а – алевриты, г – глины)

Обследование озерно-ледниковых отложений производилось в ходе полевых работ в 2024–2025 гг комплексом геолого-геоморфологических методов, апробированных

ранее в Кольском регионе (Вашков и др., 2024). Также для уточнения условий осадконакопления субаквальных отложений проводился диатомовый анализ. Подготовка постоянных препаратов выполнена по стандартным методикам (Диатомовые водоросли СССР, 1974).

В результате работ было описано 10 разрезов с озерно-ледниковыми отложениями, которые можно разделить на 4 основных группы. К первой группе относятся озерно-ледниковые осадки в нормальном залегании, которые залегают под мореной и флювиогляциальными отложениями (1, 5 и 7 на рис. 1). Так, под диамиктоном оливково-серым, преимущественно песчаного состава и маломощными флювиогляциальными песками в разрезе 1 залегают пески т.з. и алевриты с горизонтальной слоистостью, с включением единичных обломков гравия, гальки и валунов. В толще встречаются прослои и линзы песков м.з. и с.з. с гравием и редкой галькой, толщиной до 0,8 м. Диатомовый анализ одного образца из алевритов, залегающих в основании разреза, не показал наличия в них диатомовой флоры. В разрезах 5 и 7 толща озерно-ледниковых отложений залегает под валунно-галечными отложениями и песками к.з., гравелистыми, общей мощностью от 2,5 до 7 м. Эти отложения формировались в водно-ледниковых потоках со значительной замутненностью за счет размыва, в том числе, ледниковых отложений. Озерно-ледниковые осадки тут представлены песками м.з. и т.з., в которых вниз по разрезу встречаются прослои алевритов, толщиной от первых см до 0,3–0,4 м. В этих прослоях иногда встречаются тонкие прослои глины оливковой, толщиной до 1 см. Слоистость толщи субгоризонтальная, параллельная, в песках иногда волнистая. Обследование 9 образцов из песков и алевритов в разрезе 5 также не показало ни в одном из них диатомовой флоры.

Разрезы второй группы характеризуются дислоцированным залеганием озерно-ледниковых отложений под слоем морены последнего оледенения и флювиогляциальными отложениями (6, 10 и 11 на рис. 1). Лимногляциальные осадки представлены песками т.з. и м.з. серыми и светло-оливково-серыми с прослоями алевритов серо-оливковых и оливковых, с отдельными тонкими прослоями алевритов глинистых, плотных. Слоистость в отложениях субпараллельная, иногда волнистая. В разрезе 6 пачка озерно-ледниковых отложений мощностью около 15 м смята в крупную складку-флексуру. В разрезе 10 дислокации песков т.з. и алевритов смяты в небольшие лежачие складки волочения в интервале до 2,5 м ниже подошвы морены. В разрезе 11 озерно-ледниковые пески м.з., т.з. и алевриты вместе с флювиогляциальными песками с.з. залегают в едином блоке, с уклоном в юго-западном направлении. Нижняя граница дислоцированного блока прослеживается по микроскладкам и пологим надвигам в песках и алевритах. Диатомовый анализ 8 проб из песков и алевритов не выявил в них диатомовой флоры.

К третьей группе отнесены озерно-ледниковые отложения, которые залегают в составе складчатых и надвиговых гляциодислокаций (3, 4, 8 и 9 на рис. 1). Гляциодислокации обычно приурочены к грядово-холмистым комплексам, например, у г. Кировск (разрезы 3 и 4), где пески т.з. и алевриты смяты в серию складок, а также нарушены плоскостями надвигов под мореной последнего оледенения (Арманд, 1964). Также они встречены в виде небольших линз (до 0,4 м) алевритов и песков т.з. строении моренных гряд южнее г. Апатиты (9 на рис. 1). В строении северного склона холма у автодороги Апатиты – Кировск (8 на рис. 1) озерно-ледниковые алевриты и пески залегают в крупной линзе совместно с флювиогляциальными гравелистыми песками, при этом, линза залегает между двумя блоками диамиктонов, идентичных по цвету, гранулометрическому и петрографическому составу.

Разрезы с залеганием озерно-ледниковых отложений над мореной последнего оледенения ранее были известны в долине р. М. Белая и по берегам оз. Имандра (Арманд, 1964). Нами они описаны в разрезе у санатория «Тирвас» (2 на рис. 1), где представляют собой переслаивание алевритов оливково-серых и песков серых, м.з. и т.з., общей мощностью до 3 м и залегающих на оливково-сером диамиктоне. Слоистость субпараллельная, горизонтальная и волнистая. В отдельных четко ограниченных интервалах разреза первичное залегание алевритов и песков нарушено многочисленными деформациями: пламенеобразными складками и складками с пережатыми ядрами (подушечные структуры), песчаными микродайками, характерными для текстур осадка мягкого ложа (Астахов, 2020).

Гранулометрический состав и полное отсутствие диатомовой флоры в озерно-ледниковых осадках указывают на формирование отложений в крайне холодных обстановках сезонно-проточных водоёмов. Наличие линз не сортированного материала и дропстоунов показывает, что берега этих водоёмов были полностью или частично ледяными. Им были характерны как обрушения ледяных берегов с формированием плавучих глыб льда, так и сползания грязекаменного материала с ледника в водоём. Закономерность перехода озерно-ледниковых отложений вверх по разрезу во флювиогляциальные образования показывает, что данные водоёмы относительно быстро заполнялись осадками и в последующем находились в зоне деятельности потоков талых ледниковых вод.

Озерно-ледниковые осадки установлены в районе работ на отметках от 571 до 132 м н.у.м., как на склонах Хибин, так и в депрессии оз. Имандра. Это позволяет сделать вывод о формировании в районе каскада небольших приледниковых водоёмов. Отмечается их взаимосвязь с конечно-моренными грядами и грядово-холмистыми комплексами. Озерно-ледниковые отложения могут как прислоняться к краевым образованиям (разрезы 1, 2, 5 и 7), так и непосредственно участвовать в строении напорных ледниковых образований (разрезы 3, 4, 6, 8 и 9). В этой связи формирование серии водоёмов мы связываем непосредственно с этапами развития последнего оледенения. Начало формирования приледниковых водоёмов в районе работ в позднеледниковое время можно сопоставить с фазой активизации ледника около 14,1–13,9 тысяч лет назад (тыс. л.н.). В это время были сформированы краевые образования на юго-западном склоне Хибин на отметках от 450 до 600 м н.у.м. (Вашков и др., 2024, 2025). Формирование каскада небольших приледниковых водоёмов на равнине, примыкающей к Хибинам с юго-востока, могло происходить позже, во время потепления аллерёд (около 13,9–13,3 тыс. л.н.). Последующая деформация отложений или их включение в состав гляциодислокаций происходили во время последующей подвижки активного ледникового покрова в позднем дриасе, около 12,9–12,5 тыс. л.н. (Korsakova et al, 2023), когда ледниковый покров достигал склонов Хибин до отметок 300–400 м н.у.м. (Вашков и др., 2025).

Продолжение исследования озерно-ледниковых отложений региона необходимо для их сопоставления с материалами по строению и возрасту минерагенной части донных осадков крупных и малых современных озер Кольского региона (Korsakova et al, 2020; Lenz et al, 2020).

Благодарности. Работа выполнена в Геологическом институте КНЦ РАН по теме НИР FMEZ-2024-0007. Авторы благодарны студентам СПбГУ, МАУ, БГУ и МГУ за помощь в проведении полевых работ.

Список литературы

1 Арманд А.Д. Развитие рельефа Хибин и прихибинской равнины. Апатиты: ГИ КФАН СССР, 1964. 244 с.
2 Астахов В.И. Четвертичная геология суши. Учебное пособие. СПб: СПбГУ, 2020. 440 с.
3 Вашков А.А., Алфертьев Н.Л., Шилкина Ю.Н., Носова О.Ю., Коваленко Н.А., Сергиенко Д.Д. Ледниковые гряды на склонах низких гор Кольского региона: морфология, строение, генезис. // Труды Ферсмановской сессии ГИ КНЦ РАН. 2025. С. 41–51.
4 Вашков А.А., Носова О.Ю., Толстобров Д.С. Ледниковый рельеф центральной части Кольского региона// Геоморфология и палеогеография. 2024. Т. 55. №1. С. 70–92.
5 Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.
6 Евзеров В.Я., Горбунов Е.О., Колька В.В. Размещение месторождений и прогнозных запасов песка и песчано-гравийных смесей в связи со структурой и динамикой последнего ледникового покрова // Літасфера. № 9. 1998. С. 42–46.
7 Евзеров В.Я., Кошечкин Б.И. Палеогеография плейстоцена западной части Кольского полуострова. Л.: Наука, 1980. 104 с.
8 Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д. Гляциальная геология: Методическое пособие по изучению ледниковых образований при геологической съемке крупного масштаба. СПб.: Недра, 1993. 328 с.
9 Колька В.В. Геология и условия формирования позднеледниковых глин Кольского полуострова. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геол.-мин. наук. М.: МГГА, 1996. 213 с.
10 Benn D.I., Evans D.J.A. Glaciers & Glaciations. Second Edition. London: Hodder Education, 2010. 802 p.
11 Korsakova O., Tolstobrov D., Nikolaeva S., Kolka V., Tolstobrova A. Lake Imandra depression in the Late Glacial and early Holocene (Kola Peninsula, north-western Russia). // Baltica. 2020. Vol. 3 (2). P. 177–190.
12 Korsakova O., Vashkov A., Nosova O. European Russia: glacial landforms during deglaciation. In: European Glacial Landscapes. The Last Deglaciation / Eds. D. Palacios, P.D. Hughes, J.M. Garcia-Ruiz, N. Andres. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier, 2023. P. 105–110.
13 Lenz M., Savelieva L., Frolova L., Cherezova A., Moros M., Baumer M.M., Gromig R., Kostromina N., Nigmatullin N., Kolka V., Wagner B., Fedorov G., Melles M. Lateglacial and Holocene environment history of the central Kola region, northwestern Russia revealed by sediment succession from Lake Imandra. Boreas. 2020. Vol. 50. Iss. 1 P. 76–100.

Хорологическая структура рецентных Cladocera в поверхностных донных отложениях озер острова Средний (Республика Карелия)

Ветлужских С. Д., Фролова Л. А.

Казанский федеральный университет, Казань, VetluzhskikhSD@kpfu.ru

Введение. Несмотря на длительную историю использования остатков Cladocera в палеолимнологических реконструкциях, их пространственное распределение в донных отложениях озер до сих пор представляет особый интерес для изучения. Рецентные Cladocera поверхностных донных отложений используются для реконструкции условий среды и при изучении видового разнообразия (Нигматуллин, 2021), что представляется актуальным в условиях современного глобального изменения климата (Frolova, 2018).

Для исследования было отобрано 25 образцов поверхностных донных отложений из трех озер, расположенных на острове Средний, Керетский архипелаг Кандалакшского залива Белого моря. В каждом озере образцы отбирались в нескольких участках, охватывающих различные глубины, литоральные (в том числе заросшие макрофитами) и пелагические местообитания. Для отбора образцов использовали дночерпатель Петерсена. Полученные образцы донных отложений обрабатывали согласно стандартной методике Корхола и Раутио (Korhola, 2001), после чего микроскопировали. Сохранившиеся хитинизированные остатки экзоскелета Cladocera (головные щиты, створки карапакса, постабдомены, постабдоминальные коготки и т. д.) идентифицировали с использованием определителей современных (Котов, 2010) и субфоссильных (Szeroczyńska, 2007) Cladocera. Классы доминирования выделяли согласно шкале Любарского (Любарский, 1974), оценку биоразнообразия проводили с использованием индексов Хилла (Hill, 1973), выравненность сообщества определяли с использованием индекса Пиелу (Pielou, 1966).

В результате кладоцерного анализа поверхностных донных отложений озер было обнаружено 35 таксонов ветвистоусых ракообразных, среди которых наибольшее обилие принадлежало представителям семейства Chydoridae. По биотопической приуроченности преобладали таксоны, ассоциированные с литорально-бентосными местообитаниями.

В озере Большом, расположенном поблизости от южного берега острова (глубина 7.2 м; площадь водного зеркала 64 тыс. м^2) было обнаружено 33 таксона Cladocera. На литорали встречаются отдельные заросли осок, вахты трехлистной, кубышек и кувшинок. Во всех образцах литоральный таксон *Alonella nana* (Baird, 1850), ассоциированный с кислыми олиготрофными или мезотрофными водами (Duigan, 1992), выступал в качестве доминанта или субдоминанта, достигая максимальных значений обилия на глубине 3.1 м (53.7%). На глубинах 4.75 м, 6.7 м и 7.2 м в центральной части озера таксон *Bosmina (Eubosmina) longispina* Leydig, 1860 выступал в качестве доминанта. В отложениях, отобранных в зарослях вахты трехлистной на глубине 0.6 м таксон *Acroperus harpae* (Baird, 1834) являлся субдоминантом (28.1%), что может быть следствием приуроченности данного таксона к литоральным субстратам (Fryer, 1968). Помимо этого, до глубины 1,8 м сохраняется относительно высокая доля таксонов *Biapertura affinis* (Leydig, 1860) и *Chydorus* cf. *sphaericus* (O.F. Müller, 1776). Наибольшее видовое разнообразие (17 таксонов) обнаружено на глубинах 6.7 и 7.2 м в центральной части озера, в то же время, значение индексов биоразнообразия Hill's N1 и Hill's N2 достигло

максимальных значений (7.3 и 5.1 соответственно) в литоральных образцах, отобранных в непосредственной близости от макрофитов. Наименьшие показатели Hill's N1 (4.1), Hill's N2 (2.9) а также индекса выравненности Пиелу (0.32) обнаружены для сообщества, отобранного на глубине 4.75 м.

В озере Малом, расположенном в пределах верхового болота, занимающего центральную часть острова (глубина 2.5 м; площадь водного зеркала 4 тыс. м^2), обнаружено 25 таксонов Cladocera. Литораль озера заросла сфагнумом, встречались отдельные заросли вахты трехлистной и кубышек. Во всех образцах таксон *A. nana* выступал в качестве субдоминанта, причем обилие остатков таксона не сильно различалось в зависимости от глубины, колеблясь от 24.5 до 32.7%. В образцах, отобранных в зарослях сфагнума, а также на расстоянии около 1 м от них *C.* cf. *sphaericus* выступал в качестве субдоминанта и достигал максимального значения обилия 33.1%. Относительное обилие литорального таксона *A. harpae* достигало максимальных значений (14.7%) в центральной части озера, занимаемой зарослями кубышек. В тафоценозе озера была отмечена сравнительно высокая доля (до 8.8%) хищного рачка *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1758). Для водоема были характерны наибольшие средние значения индексов биоразнообразия Хилла Hill's N1 (8.6) и Hill's N2 (6.5), а также выравненности (0.61). Наибольшее видовое разнообразие (Hill's N0 = 19) обнаружено в центральной точке озера.

Озеро Безымянное (глубина 2 м; площадь водного зеркала 6.2 тыс. м^2) расположено на территории Беломорской биологической станции Казанского федерального университета и испытывало интенсивное антропогенное воздействие. Литораль озера обильно заросла вахтой трехлистной, белокрыльником и осоками. В поверхностных донных отложениях озера обнаружено 22 таксона Cladocera. Во всех образцах *C.* cf. *sphaericus* выступал в качестве доминанта (41.0-53.9%). Мелкие литоральные таксоны *Alona guttata* Sars, 1862/*Coronatella rectangula* (Sars, 1861) являлись доминантами или субдоминантами во всех образцах, достигая максимального обилия 46% в зарослях белокрыльника. На глубине 1.75 таксон *Bosmina (Bosmina) longirostris* (O.F. Müller, 1776) выступил в качестве субдоминанта (22%). Среднее значение индекса Hill's N1 составило 3.9, индекса Hill's N2 – 2.9. Значение индекса выравненности Пиелу составило 0.37, что свидетельствует о сравнительно низкой выравненности сообщества. Наибольшее видовое разнообразие (Hill's N0 = 16) обнаружено в центральной точке озера, там же отмечены максимальные значения индексов биологического разнообразия Hill's N1 (6.1) и Hill's N2 (3.8).

Заключение. В результате карцинологического анализа поверхностных донных отложений озер острова Средний получены данные по таксономическому составу тафоценоза Cladocera исследуемых водоемов. Наибольшие значения индексов биологического разнообразия и выравненности получены для озера с небольшой глубиной и площадью водного зеркала, при этом распределение остатков в озере в целом довольно равномерно. Наибольшая гетерогенность в распределении остатков обнаружена в относительно крупном озере, при этом в центральной части озера значения индексов биологического разнообразия были близки к минимальным. Таким образом, полученные данные подтверждают ранее проведенные исследования распределения рецентных Cladocera в поверхностных донных отложениях озёр (Nevalainen, 2011; Жаров 2018).

Благодарности. Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 25-27-00744, https://rscf.ru/project/25-27-00744/.

Список литературы

1. Жаров А. А., Хасанов Б. Ф., Котов А. А. Пространственная неоднородность тафоценоза озера Кендур (Московская область, Российская Федерация) по данным комплексного зоологического и кладоцерного анализа // Зоологический журнал. 2018. Т. 97. №. 11. С. 1330-1339.
2. Любарский Е. Л. К методике экспресс-квалификации и сравнения описаний фитоценозов. БФАН СССР. Количественные методы анализа растительности: материалы Четвёртого Всесоюзного совещания. Уфа: Ротапринт БФАН СССР, 1974. 126 с.
3. Нигматуллин Н. М., Нигаматзянова Г. Р., Валиева Э. А., Фролова Л. А. Рецентные Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) в тафоценозах озер дельты реки Печоры // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2021. Т. 163. №. 3. С. 527-537.
4. Котов А.А., Синев А.Ю., Глаголев С.М., Смирнов Н.Н. Ветвистоусые ракообразные (Cladocera) // *Алексеев В.Р., Цалолихин С.Я. (ред.)* Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1: Зоопланктон. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. – С. 151–276.
5. Duigan C. A. The ecology and distribution of the littoral freshwater Chydoridae (Branchiopoda, Anomopoda) of Ireland, with taxonomic comments on some species // Hydrobiologia. 1992. V. 241. №. 1. P. 1-70.
6. Frolova L. A. Cladocera from bottom deposits as an indicator of changes in climate and ecological conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2018. V. 107. №. 1. P. 012084.
7. Fryer G. Evolution and adaptive radiation in the Chydoridae (Crustacea: Cladocera): a study in comparative functional morphology and ecology // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. 1968. V. 254. №. 795. P. 221-385.
8. Hill M. *O.* Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences //Ecology. 1973. Т. 54. №. 2. С. 427-432.
9. Korhola A., Rautio M. Cladocera and other branchiopod crustaceans // Tracking environmental change using lake sediments: volume 4: zoological indicators. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001. С. 5-41.
10. Nevalainen L. Intra-lake heterogeneity of sedimentary cladoceran (Crustacea) assemblages forced by local hydrology // Hydrobiologia. 2011. Т. 676. №. 1. С. 9-22.
11. Pielou E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections / E. C. Pielou // Journal of theoretical biology. 1966. Т. 13. С. 131-144.
12. Szeroczyńska K., Sarmaja-Korjonen K. Atlas of subfossil Cladocera from central and northern Europe. Friends of the Lower Vistula Society, Świecie, 2007. 84 pp.

Диатомовые комплексы из донных отложений озера Северное (г. Мурманск, Россия)

Вокуева С.И.[1], Слуковский З.И.[1,2], Денисов Д.Б.[1]

[1] Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты, s.vokueva@ksc.ru

[2] Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

Введение. Озеро Северное представляет собой небольшой водный объект, зеркало которого составляет 0,009 км², а максимальная глубина достигает 3,9 м. Оно расположено в северной части города Мурманск рядом с автомобильной трассой Мурманск-Североморск (Слуковский и др., 2023). Воды озера характеризуются средними показателями минерализации, нейтральной реакцией среды и малым содержанием питательных веществ, что позволяет отнести водоём к мезотрофному типу (Слуковский и др., 2023; Postevaya et al., 2023). Так как донные отложения (ДО) озёр аккумулируют в себе информацию о всех изменениях на территории водосбора, а диатомовые водоросли используются как чувствительные биоиндикаторы, изучение диатомовых комплексов в ДО позволяет оценить современное состояние экосистемы и его трансформации, как связанные с естественными причинами, так и антропогенно обусловленные. Целью данного исследования являлось изучение диатомовых комплексов ДО озера Северное, изменений их состава и структуры в результате смены условий водоёма, а также выявление причин этих смен.

Материалы и методы. Для исследования использовалась колонка ДО длиной 39 см, отобранная на озере Северное в апреле 2019 года, отбор и анализ проб выполнялись стандартными методами (Давыдова, 1985), с изменениями, описанными в (Сандимиров и др., 2019). После лабораторной обработки проб производилась таксономическая идентификация диатомовых водорослей с помощью микроскопа «Motic BA 300». Полученные данные по диатомовому составу и количественным характеристикам заносились в запатентованную базу данных «Водоросли Евро-Арктического региона» (Денисов, Косова, 2017). Таксономическая информация сверялась с актуальной мировой базой водорослей (Guiry, Guiry, 2026). Все постоянные препараты и очищенный материал створок диатомовых водорослей хранятся в гербарии Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН (Боровичев и др., 2018).

Результаты и обсуждение. В результате диатомового анализа колонки ДО было обнаружено 205 таксонов диатомовых водорослей рангом ниже рода, принадлежащих к 60 родам. Наибольшего таксономического разнообразия достигают представители родов *Eunotia* (25), *Aulacoseira* (11), *Encyonema* (10) и *Pinnularia* (10). Текущее исследование расширило изученный ранее материал (Вокуева и др., 2025), в том числе была уточнена видовая идентификация некоторых таксонов. Преобладающими таксонами в общем являются *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & J.D.Möller (до 33%), *Stauroforma exiguiformis* (Lange-Bertalot) R.J.Flower, V.J.Jones & Round (до 20%), *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing (до 19,5%), *Diatoma tenuis* C.Agardh (до 19%), *Frustulia crassinervia* (Brébisson ex W.Smith) Lange-Bertalot & Krammer + *Frustulia saxonica* Rabenhorst (до 17%), *Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer (до 17%), *Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot (до 14%), *Aulacoseira pfaffiana* (Reinsch) Krammer (до 12%).

Анализ колонки ДО показал значительные изменения состава и структуры диатомовых комплексов от нижних к верхним слоям. С помощью кластерного анализа были выделены четыре этапа развития экосистемы.

Первый этап (слои 23-39 см) охватывает доиндустриальный период до начала интенсивного промышленного освоения в 1930-х годах. Здесь в основном развивается диатомовая флора северных тундровых водоёмов с преобладанием центрических видов *Aulacoseira alpigena, A. pfaffiana, A. lacustris* (Grunow) Krammer, *A. subborealis* (Nygaard) Denys, Muylaert & Krammer, предпочитающих кислые слабоминерализованные воды, также в субдоминантах отмечены *Tabellaria flocculosa* и *Diploneis elliptica* (Kützing) Cleve. Вид *Stauroforma exiguiformis* во всех слоях колонки встречается в массе. Значения pH составляют от 6,9 до 6,98, сапробность минимальная для всей колонки – 0,9. Видовое разнообразие достигает 5,13 бит/экз.

Второй этап включает слои 11-22 см, где отмечается сильное снижение долей центрических видов *Aulacoseira,* доминирующих на предыдущем этапе. Наблюдается переход в массовые виды ацидофилов рода *Frustulia* и *Tabellaria flocculosa*, и в то же время появляются алкалифильные и алкалибионтные виды *Diatoma tenuis*, *Staurosira venter* и *Brachysira vitrea* (Grunow) R.Ross. Кроме того, начиная со слоя 21-22 см, наблюдается резкое увеличение концентраций некоторых химических элементов, таких как Ni, Cu, Cd, Co, Pb, Sr, P, достигая максимальных для этого этапа значений в слоях 16-18 см, что соответствует 1954-1960 гг. — периоду интенсивной застройки города (Слуковский и др., 2023). Несмотря на это, экосистема в данный период сохраняет своё естественное состояние, уровень pH остаётся менее 7, а индекс сапробности варьируется от 0,94 до 1,12, что соответствует первому и второму классам качества вод («очень чистые» и «чистые» воды).

Во время третьего этапа (7-10 см) происходит дальнейшая перестройка диатомовых комплексов: снижается доля ацидофильных видов, почти полностью исчезают виды рода *Aulacoseira,* численность эвтрофного вида *Diatoma tenuis* достигает 17,5%. Индекс сапробности превышает 1,5, указывая на увеличение степени загрязнённости вод. Видовое богатство уменьшается, как и видовое разнообразие. Концентрации Ni, Cu и Cd продолжают увеличиваться, что свидетельствует об антропогенном загрязнении водоёма в конце XX века.

Четвёртый этап (0-6 см) отражает современное состояние экосистемы за последние 20 лет. Здесь массовые виды представлены тем же комплексом, меняется только их соотношение. Численность *Staurosira venter* достигает 33%, *Diatoma tenuis* – 19%. Доля ацидофильных видов снижается до субдоминантных и сопутствующих, впервые уступая алкалифилам, также практически исчезают галофобные виды, вытесняемые индифферентными к минерализации воды. Отмечено минимальное для колонки видовое разнообразие – 3,75 бит/экз., максимальное значение pH – 7,17, индекс сапробности достигает 1,5. Наблюдается постепенное снижение концентраций токсических элементов, однако они по-прежнему значительно превышают фоновый уровень.

Заключение. Полученные на основе диатомового анализа результаты позволили сделать вывод об изменениях экосистемы озера Северное за последние 145-150 лет. Выявлены значительные изменения видового состава и структуры диатомовых комплексов. В результате влияния антропогенных факторов в верхних слоях ДО наблюдаются повышение уровня pH и сапробности, снижение видового разнообразия диатомей, увеличение общей минерализации воды, начинаются процессы эвтрофирования. Несмотря на отсутствие прямых источников загрязнения, помимо близости автотрассы, в ДО отмечены повышенные уровни некоторых химических элементов, в том числе загрязнение Zn и V, которое происходит из-за автотранспорта и деятельности Мурманской ТЭЦ (Слуковский и др., 2023; Postevaya et al., 2021;

Slukovskii, 2023). Воды озера по ряду показателей соответствуют «чистым», однако наблюдается тенденция к продолжающимся изменениям состояния экосистемы вследствие влияния антропогенных факторов, что подтверждает исследование схожего городского озера Семёновское, где экосистема в современный период в большей степени трансформирована (Косова и др., 2023).

Благодарности. Работа выполнена в Институте проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН по теме НИР FMEZ-2024-0014, а также при финансовой поддержке гранта РНФ №24-17-20006.

Список литературы

1. Боровичев Е.А., Денисов Д.Б., Корнейкова М.В., Исаева Л.Г., Разумовская А.В., Химич Ю.Р., Мелехин А.В., Косова А.Л. Гербарий ИППЭС КНЦ РАН // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. № 9 (9-6). С. 179-186.
2. Вокуева С.И., Денисов Д.Б., Слуковский З.И. Диатомовые водоросли в оценке качества вод городского озера Северное (г. Мурманск, Россия) // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1-2(37-38). С. 166-170.
3. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли — индикаторы экологических условий водоёмов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
4. Денисов Д.Б., Косова А.Л. Разработка базы данных по водорослям Евро-Арктического региона // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. № 6-5 (8). С. 45-52.
5. Косова А.Л., Денисов Д.Б., Слуковский З.И., Вокуева С.И. Диатомовые комплексы из донных отложений озера Семеновского (г. Мурманск) // Вопросы современной альгологии. 2023. №2 (32). С. 91-93.
6. Сандимиров С.С., Кудрявцева Л.П., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Косова А.Л., Черепанов А.А., Вандыш О.И., Валькова С.А., Терентьев П.М., Королева И.М., Зубова Е.М., Кашулин Н.А. Методы экологических исследований водоёмов Арктики. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2019. 180 с.
7. Слуковский З.И., Денисов Д.Б., Даувальтер В.А., Зубова Е.М., Мязин В.А., Гузева А.В., Черепанов А.А., Постевая М.А., Валькова С.А., Терентьев П.М., Фокина Н.В., Косова А.Л., Постнова С.В., Сошина А.С. Озёра города Мурманска: гидрологические, гидрохимические и гидробиологические особенности. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2023. 174 с.
8. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway. 2026. https://www.algaebase.org. (дата обращения: 1.06.2026).
9. Postevaya M.A., Slukovskii Z.I., Dauvalter V.A., Bernadskaya D.S. Estimation of Heavy Metal Concentrations in the Water of Urban Lakes in the Russian Arctic (Murmansk) // Water. 2021. 13(22). 3267.
10. Postevaya M.A., Dauvalter V.A., Slukovskii Z.I., Kudryavtseva L.P. Chemical composition and trophic status of urban lakes of the Arctic zone of the Russian Federation (Murmansk) // Ecohydrology. 2023. 16 (2). 11 p.
11. Slukovskii Z.I. Vanadium in modern sediments of urban lakes in the North of Russia: natural and anthropogenic sources // Marine Pollution Bulletin. 2023. 197.14 p.

Водная растительность островных озер в Ладожском озере: прошлое и настоящее

Газизова Т.Ю., Сапелко Т.В.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, tssml@bk.ru

Введение. Озера отличаются индивидуальными особенностями сообществ водной растительности: видовым составом, обилием, занимаемой площадью, распределением по территории водоема. Большую роль в этом играют температурный и световой режим водоема, гидрологические, гидрохимические, морфометрические показатели водоема и другие факторы, определяющие благоприятные условия для существования тех или иных сообществ макрофитов (Садчиков, Кудряшов, 2005). Несмотря на консервативность по отношению к кратковременным изменениям среды, направленные многолетние изменения водной растительности могут свидетельствовать о трансформации озерной экосистемы (Вейсберг, 1999). Таким образом, макрофиты являются индикаторами локальных условий, а их пыльца, оседающая в донных отложениях, служит ценным источником информации о прошлом водоема.

В ходе палеолимнологических работ Института озероведения на Ладожском озере впервые были отобраны колонки донных отложений и поверхностные пробы трех озер на о. Лункулансаари (Сапелко и др., 2018). Исследование проводилось в рамках апробации новой методики, посвященной роли пыльцы макрофитов в изучении изменений уровня островных озер в связи с трансгрессивно-регрессивными фазами Ладожского озера в позднем голоцене (Газизова, Сапелко, 2020; Сапелко и др., 2023; Gazizova, Sapelko, 2024; Сапелко и др., 2026).

Район исследования, материалы и методы. Остров Лункулансаари находится в северо-восточной части Ладожского озера. Изучаемые озера (Куйккалампи, Соккасенлампи и Ховатанлампи) расположены на разных абсолютных высотах над уровнем моря (17 м, 14 м, 10 м соответственно). В прошлом они были частью Ладоги, но изолировались в ходе регрессии последней около 3000 л. н. В ходе полевых работ для озерных сплавин выполнялось стандартное геоботаническое описание. Колонки донных отложений (мощностью 50, 100 и 195 см соответственно) были изучены палинологическим и радиоуглеродным методами. Отобранные колонки содержат осадки всех этапов озерного развития, что позволяет детально изучить водную растительность озер в позднем голоцене.

Результаты. По данным палинологического анализа, литологического состава донных отложений и радиоуглеродных дат была реконструирована водная растительность озер на о. Лункулансаари в позднем голоцене на фоне трансгрессивно-регрессивных фаз Ладожского озера (рис. 1). Выделение ассоциаций по пыльце макрофитов в донных отложениях носит гипотетический характер и затрудняется в частности ее низким содержанием. Однако была предпринята попытка выделить сообщества водных растений с опорой на содержание и обилие пыльцы макрофитов в колонках и данные об их современном распространении в озерах. Присутствие пыльцы в отложениях достоверно свидетельствует о произрастании в водоеме конкретного вида, а высокое содержание пыльцевых зерен говорит об его широком распространении и преобладании (Газизова и др., 2023; 2025).

Озеро Куйккалампи (площадь 12000 м^2, глубина 2,8 м). Во второй половине суббореального периода оз. Куйккалампи являлось частью мелководного залива Ладоги, в котором обитала бедная водная растительность, характерная для «ладожского» периода (Vuorela et al., 2001): рдесты и горец земноводный. 3350 кал. л. н. в результате

регрессии Ладожского озера началась изоляция оз. Куйккалампи. Первоначальное резкое падение уровня Ладоги вызвало дестабилизацию озерного дна, что индицируется исчезновением пыльцы макрофитов со спектров. Околоводные экосистемы быстрее адаптируются к новым условиям: берега все еще сохраняющего связь Ладогой оз. Куйккалампи начинают постепенно заселяться рогозовыми сообществами. После окончательной изоляции 2970 кал. л. н. в оз. Куйккалампи формируется собственная водная растительность, преобладают кубышковые и рдестовые сообщества, повторно появляется горец земноводный, берега занимает рогоз. Начинается формирование сплавины, занятой вахтой трехлистной. Около 2000 кал. л. н. исчезают сообщества погруженных макрофитов (рдестов), в озере доминируют кубышки. Около 1000 кал. л. н. появляется кувшинка чисто-белая, верхняя часть разреза связана с существованием кувшинково-кубышковых сообществ и активным формированием сплавины с вахтой трехлистной. По данным палинологического анализа поверхностных проб, в настоящее время в водоеме обитает кубышка желтая и ряска малая. По данным геоботанического описания оз. Куйккалампи имеет мощную сплавину с аапа-комплексами, на которой преобладают *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia*, *Eriophorum angustifolium*, *Sphagnum fallax*; с меньшим обилием и проективным покрытием присутствуют *Rubus chamaemorus*, *Vaccinium oxycoccus*, *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Lysimachia thyrsiflora*, *Drosera rotundifolia*, *Scheuchzeria palustris*, *Carex rostrata*, *Carex limosa*, *Polytrichum strictum*. В озере произрастает *Nuphar lutea*, увлажненные участки заняты *Menyanthes trifoliata*.

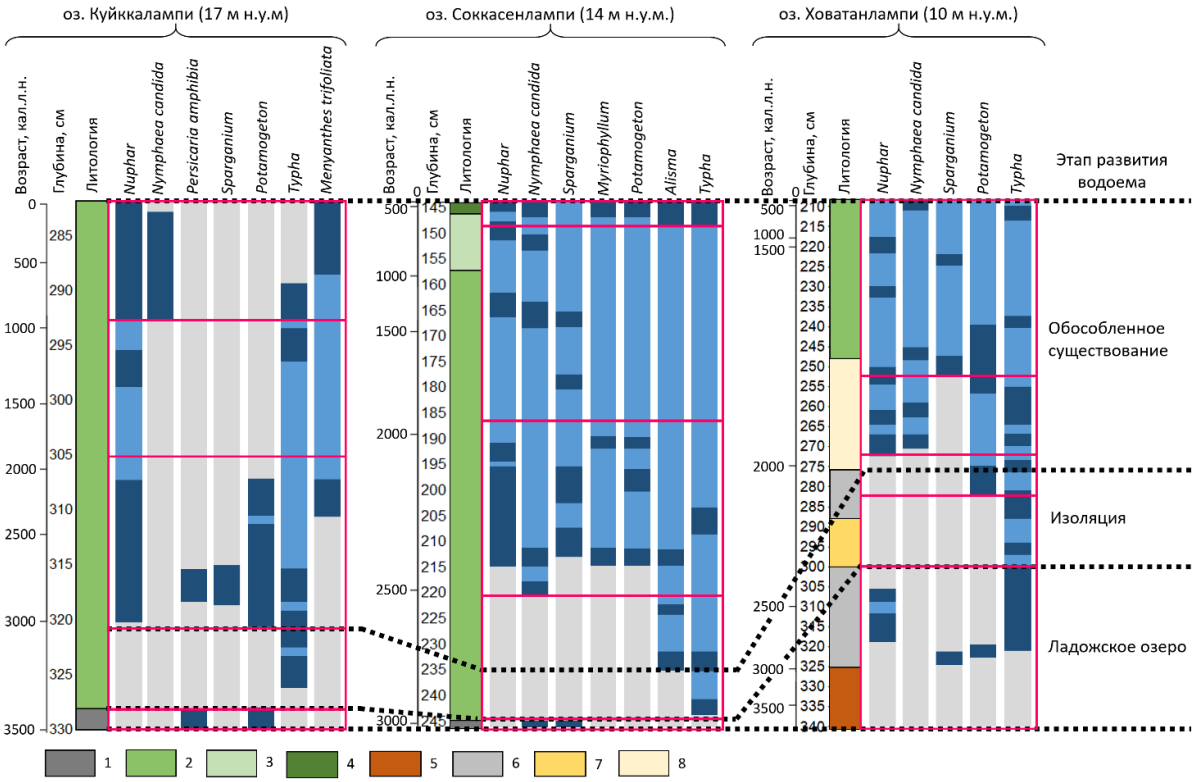


Рис. 1. Содержание пыльцы макрофитов в озерах на о. Лункулансаари. Условные обозначения: 1 – глина, 2 – гиттия, 3 – торфянистая гиттия, 4 - неразложившийся торф, 5 – опесчаненный алеврит, 6 – глинистая гиттия, 7 – песок, 8 – опесчаненная гиттия. Темно-синие блоки отражают встреченную пыльцу макрофитов, светло-синие – ее предполагаемое присутствие. Розовые границы разделяют предполагаемые сообщества макрофитов

Озеро Соккасенлампи (площадь 1450 м^2, глубина 2 м). В конце суббореального периода в оз. Соккасенлампи, являющемся частью залива Ладожского озера, произрастала характерная для «ладожского» периода немногочисленная водная растительность: кувшинка чисто-белая и ежеголовники. 2865 кал. л. н. в результате регрессии Ладоги началась изоляция оз. Соккасенлампи, пыльца макрофитов, как и в оз. Куйккалампи, временно исчезает со спектров, а берега практически сразу начинают заселяться группировками рогоза. Около 2700 кал. л. н. завершается изоляция оз. Соккасенлампи, мелководья заселяются частухой. Около 2500 кал. л. н. в озере формируются все группы макрофитов: погруженные (рдесты, уруть), с плавающими листьями (кубышки, кувшинка, ежеголовники) и прибрежные (частуха, рогоз). Около 2000 кал. л. н. начинают преобладать кувшинково-кубышковые и ежеголовниковые сообщества. Около 1000 кал. л. н. усиливается заболачивание озера, начинают накапливаться торфянистые гиттии. Около 500 кал. л. н. отложения сменяются торфом, усиливается эвтрофирование водоема, повышается роль частухи и рогоза. Продолжается зарастание озера, произрастают кубышки, кувшинки, рдесты, уруть, как и в настоящее время по данным палинологического анализа поверхностных проб. По данным геоботанического описания оз. Соккасенлампи активно заболачивается и имеет мощную сплавину: преобладает *Eriophorum angustifolium*, ближе к кромке воды – осоки. Макрофиты представлены *Nuphar lutea*.

Озеро Ховатанлампи (площадь 161000 м^2, глубина 2,5 м). В конце суббореального периода озеро являлось частью Ладоги, пыльца макрофитов не представлена в отложениях. Около 3000 кал. л. н. уровень Ладожского озера понизился, сформировался мелководный залив, в котором возросло разнообразие и содержание пыльцы макрофитов: появились кубышки, рдесты, ежеголовники, группировки рогозов по берегам. 2090 кал. л. н. в результате регрессии Ладоги началась изоляция оз. Ховатанлампи, индицируемая временным исчезновением пыльцы макрофитов, однако в отложениях сохраняется пыльца рогоза. Когда связь с Ладогой практически исчезает, в оз. Ховатанлампи формируются рдестовые сообщества. После окончательной изоляции около 2000 кал. л. н. в озере представлены все группы макрофитов, формируются также кувшинково-кубышковые сообщества, по берегам растет рогоз. Около 1700 кал. л. н. появляются ежеголовники. Верхняя часть донных отложений активно размывалась (последние 1500-1000 лет). По данным палинологического анализа поверхностных проб в настоящее время в озере растут рдесты, ежеголовники, ряска; по берегам – частуха и рогоз широколистный. Сплавина *оз. Ховатанлампи* схожа со сплавиной оз. Куйккалампи, в центральной части сплавины доминирует *Eriophorum angustifolium*, у края воды – *Menyanthes trifoliata*, *Typha latifolia*, *Phragmites australis,* сфагновые мхи. Среди макрофитов в озере обитают *Nuphar lutea* и *Potamogeton* sp.

Заключение. Донные отложения озер на о. Лункулансаари содержат отложения всех этапов озерного развития, определяемых трансгрессивно-регрессивными фазами Ладожского озера, что позволило детально изучить динамику макрофитов в позднем голоцене по палинологическим данным.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме № FMNG-0154-2024-0001 «Экосистемы Ладожского озера, водоемов его бассейна и прилегающих территорий в условиях воздействия природных и антропогенных факторов на фоне климатических изменений».

Список литературы

1. Вейсберг, Е. И. Структура и динамика сообществ макрофитов озер Ильменского заповедника. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 1999. 122 с.
2. Газизова, Т. Ю., Сапелко, Т. В. Обоснование значения пыльцы макрофитов для палеолимнологических реконструкций на примере озер острова Лункулансаари (северо-восток Ладожского озера) // Биосфера. 2020. Т. 12. № 4. С. 231-241.
3. Газизова Т.Ю., Русанов А.Г., Сапелко Т.В. Оценка сходства видового состава макрофитов современной водной растительности и субрецентных спорово-пыльцевых спектров малых озер на острове Валаам (Ладожское озеро) // Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Лимнология и океанология. 2023. № 6. С. 73-83.
4. Газизова Т.Ю., Русанов А.Г., Сапелко Т.В., Лапенков А.Е. Субрецентные спорово-пыльцевые спектры в донных отложениях и современная водная растительность озер на Кургальском полуострове, Балтийское море // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2025. Т. 80. № 1. С. 158-169.
5. Садчиков, А. П., Кудряшов, М. А. Гидроботаника: прибрежно-водная растительность. Учебное пособие для вузов. М.: Издат. центр «Академия», 2005. 240 с.
6. Сапелко Т.В., Терехов А.В., Газизова Т.Ю., Кузнецов Д.Д., Корнеенкова Н.Ю., Лудикова А.В., Анисимов М.А. Палеолимнология острова Лункулансаари, Ладожское озеро: предварительные результаты // Международная конференция «Пресноводные экосистемы – современные вызовы», тезисы докладов и стендовых сообщений. Иркутск. 2018. С. 295-296.
7. Сапелко, Т. В., Газизова, Т. Ю., Моисеенко, А. Д. и др. Особенности процесса изоляции озера Витальевское (остров Валаам) и динамика растительности в связи с изменением уровня Ладожского озера в позднем голоцене // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 4. С. 72-89.
8. Сапелко, Т. В., Газизова, Т. Ю., Мазей, Н. Г. и др. Динамика растительности и экосистемы островного озера в регрессивной стадии Ладоги в позднем голоцене (по данным комплексного анализа отложений озера Куйккалампи на острове Лункулансаари) // Геоморфология и палеогеография. 2026. № 1. С. 195-213.
9. Gazizova T., Sapelko T. Macrophyte pollen in the Late Holocene history studies of the Ladoga island lakes // Journal of Paleolimnology. 2024. V. 72. № 4. P. 419-428.
10. Vuorela, I., Lempiänen, T., Saarnisto, M. Land use pollen record from the Island of Valamo, Russian Karelia // Annales Botanici Fennici. – 2001. – № 38. – P. 139–165.

Позднеледниковые и голоценовые озера в долине Малой Белой (Хибины): опыт реконструкции размеров и условий формирования древних водоемов

Гаранкина Е.В.[1], Беляев Ю.Р.[1], Гуринов А.Л.[1,2], Захаров А.Л.[2], Мишуринский Д.В.[3], Романенко Ф.А.[1], Ващалова Т.В.[1], Ананьева Э.Г.

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, evgarankina@gmail.com

[2] Институт географии РАН, Москва

[3] ГБОУ г. Москвы «Пятьдесят седьмая школа», Москва

Введение. Большая часть послеледниковых ландшафтно-климатических реконструкций для субарктических горных районов и Хибин в частности строится на результатах аналитического исследования озерных кернов, иногда с привлечением геофизических данных. Это обусловливает важность поиска новых более полных озерных палеоархивов и в то же время более тщательной проработки вопросов морфолитогенеза, определявшего режим функционирования древних водоемов, характер поступления, распределения и переработки в них материала. Для этого необходимы палеогеоморфологические данные о размерах озерных ванн и котловин, их глубине и потенциальных причинах как их изначальной локализации, так и изменения уровня озер в последующем (происхождение подпоров и динамика эрозионных событий).

Поскольку Хибинский горный массив испытал значительные преобразования в ходе плейстоценовых оледенений, то на этапе деградации поздневалдайского покрова более крупные водоемы формировались перед фронтом языков покровного ледника, вторгавшегося в крупные долины. Зачастую выше по течению их распространение блокировалось встречным выдвижением горно-долинных ледников. В этом сценарии в качестве запруды в начале выступал лед, перегораживавший долины ниже по течению. Позднее при прогрессирующем таянии льда, озера могли либо полностью спускаться, либо снижать свой уровень до порогов стока, контролируемых конечно-моренными образованиями – крупными валами, перегогаживающими троги, как например, Вудъявский и Хибиногорский валы в долине Кукисйока-Энемайока (Большой Белой) и Юмечоррский вал в нижнем течении р. Малой Белой. Прорывы таких моренно-подпрудных озер – как при их переполнении, так и в результате катастрофических событий в их бассейне (например, экстремальные селевые или обвальные события) – могли приводить к существенному врезанию в толщу моренных дамб, создавая глубокие эрозионные прорези и значительно понижая пороги стока озер вплоть до их редукции до небольших остаточных водоемов. Из упомянутых, лишь Хибиногорский вал пока избежал подобного сценария и несмотря на довольно крупную долину р. Б. Белой ниже по течению, сохранил моренную подпруду Большого Вудъявра.

В остальных же случаях после исчезновения крупных приледниковых и моренно-подпрудных водоемов, существовавших довольно ограниченный промежуток времени (в позднеледниковье и в отдельных долинах в течение пребореального времени раннего голоцена), распространение лимнических условий осадконакопления свелось к локальных переуглублениям кровли гляцигенного комплекса: моренным западинам, гляциокарстовым котловинам, эрозионно-суффозионным воронкам и ложбинам в пределах днищ трогов, выступающим в качестве седиментационных ловушек. Для восточных предгорий Хибин установлены перепады высот кровли гляцигенных отложений, под озерно-болотными накоплениями, от первых до 4–5 м, обусловливающие крайнюю неравномерность распределения мощностей их голоценовых выполнений.

Район исследований. Малобельский трог, по которому протекает Лутнермайок (р. Малая Белая), дренирует западный макросклон Хибин. Долина типична для Хибин по набору основных морфогенетических комплексов рельефа и богата упомянутыми седиментационными ловушками разного размера, унаследованными от периода ее дегляциации: от небольших, но крутосклонных воронок и котловин гляциокарстово-суффозионного генезиса, осложняющих конечно-моренные образования, до пологих моренных западин и более крупных озерных ванн, подпруженных терминальными моренами. Часть из них впоследствии была полностью снивелирована озерно-аллювиальной и склоновой аккумуляцией, часть – напротив дренирована водотоками и вовлечена в общий каскад литопотоков, а часть – сохранила свое выражение в рельефе и поныне. Сопряженное изучение аккумулятивных толщ, заполняющих такие ловушки, и следов рельефообразующих процессов на их водосборах – ключ к пониманию функционирования геоморфологических систем территории на постледниковом этапе ее развития, и, соответственно, для количественной оценки темпов денудации.

Ключевой участок и методы исследования. В качестве ключевого мы выбрали участок днища Малобельского трога между устьями рек Ферсмана и Голубичной, снизу ограниченный Юмечоррским конечно-моренным валом. В этих пределах в целом равнинный слабоамплитудный (50–70 м) рельеф, при ближайшем рассмотрении, оказывается крайне гетерогенным. Анализ данных ДЗЗ (космоснимки и детальный ортофотоплан района конуса Алявумйока, полученный с помощью съемки с БПЛА) и полевой геоморфологической съемки позволил локализовать основные седиментационные ловушки. Значительную часть днища здесь занимают плоские и слабонаклонные заболоченные участки меж невысоких моренных гряд, соседствующие с фрагментами мелкорукавных разливов реки и ее палеорусел. Более и менее крупные формы аллювиальной и селевой аккумуляции – внутренние дельты (как ниже устья реки Ферсмана) и конус выноса руч. Алявумйок по левому борту – наложены на заболоченное днище трога. Сглаженный рельеф днища выше по течению от относительно небольшого моренного вала, перегораживающего трог в створе долины р. Голубичной и встреченные нами слоистые алевриты по берегам и в русле Лутнермайока, а также в шурфах под конусом выноса Алявумйока, натолкнули нас на мысль о существовании здесь котловины относительно крупного моренно-подпрудного озера.

Для утонения границ предполагаемого водоема и выявления закономерностей осадконакопления в нем была заложена сеть разведочных скважин (~40 шт.) ручного ударного бурения, с последующим отбором наиболее представительных кернов на литофациальный анализ и селективное радиоуглеродное датирование органических включений. Дополнительно осуществлено георадарное зондирование (9 профилей) озерно-болотной котловины, перегораживающей современное днище трога почти нацело, и налегающего на нее конуса Алявумйока.

Результаты. Обнаружено, что единой обширной котловины изначально не существовало: распространение озерных отложений указывает на наличие не менее двух разобщенных понижений глубиной. Единое же выположенное днище сформировано в поздне- и послеледниковое время за счет прогрессивной аккумуляции в разных обстановках: сначала озерно-ледниковых («холодные» плотные серые контрастно-тонкослоистые алевриты); уже с пребореального времени – озерных («теплые» менее уплотненные желтовато-светло-серые тонко-мелкослоистые по обогащению органическим веществом алевриты) и озерно-аллювиальных (более

опесчаненные разности до преимущественно тонко-среднезернистых и иногда более грубых песков); а уже с бореального времени в периферийных частях котловин и с атлантического и на основной части их акватории начинается заболачивание с накоплением торфов и сплавины. Наиболее поздние признаки спокойного озерного режима осадконакопления (а местами – его возобновления) обнаружены в субатлантическое время вплоть до начала Малого ледникового периода (МЛП), когда преобладающая часть территории либо окончательно стала болотом, либо перешла к субаэральному режиму в результате спуска озера при врезании Малой Белой.

Судя по всему, начиная с самой дегляциации, но достоверно также в субатлантике, на суб- и супераквальные обстановки осадконакопления локально накладывалась регулярная селевая аккумуляция из долин Алявумйока (не менее 15 событий за последние 2,5 тыс. л., из которых около половины – в МЛП, включая современную еще незадернованную поверхность конуса) и более мелких притоков по соседству (наиболее древние датированные следы относятся к началу бореального времени).

Существует некоторая вероятность того, что наиболее молодые тонкозернистые осадки, относимые нами к «теплым» озерам формировались в пойменно-затонных условиях. Однако современное аллювиальное осадконакопление в пределах аналогов таких позиций не превышает первых см – первых десятков см, тогда как рассматриваемые пачки достигают более чем метровой мощности. Кроме того, данные режимных наблюдений свидетельствуют о незначительной современной величине стока взвешенных наносов. С другой стороны, совпадение накопления «теплых» алевритов с регулярным развитием селевых явлений в субатлантическое время может предполагать периодически повышенную мутность речного потока за счет перемыва свежего пролювия.

Заключение. Таким образом, реконструировано развитие небольших разобщенных водоемов меж моренных гряд. Озерные условия непрерывно сохранялись по крайней мере в части понижений на протяжении практически всего голоцена, тогда как их периферические и более мелководные части активно заболачивались уже начиная с пребореального и особенно атлантического времени. Установленная длина отдельных озерных бассейнов составляла 400–700 м, мощность осадконакопления в них – преимущественно ~ 1–2 м с отдельными переуглублениями до 4,5–5,5 м. Поскольку наиболее хорошо выраженным конечно-моренным образованием в Малобельском троге является Юмечоррский вал, то его можно предположительно соотнести по времени с последней фазой активизации покровного оледенения в позднем дриасе. Соответственно, более мелкий моренный рельеф в пределах ключевого участка, расположенного выше этого вала, имеет более древний возраст и его понижения могли начать выполняться «холодными» озерными алевритами в это время. Хорошая сохранность тонкой слоистости в них говорит о довольно значительной глубине озерно-ледникового водоема того времени, которой превышения современного моренно-грядового рельефа не вполне отвечают (перепад от кровли «холодных» алевритов до их гребней (324–330 м абс.) составляет от 7 до 12 м, тогда как варвы обычно считают характерными для водоемов глубже 15–20 м). Вероятность того, что они накапливались в супра- или интрагляциальных полостях активного ледникового языка довольно мала, поскольку их распространение хорошо соответствует переуглублениям моренного комплекса, а не плащеобразно перекрывает его. На данный момент можно предположить две гипотезы, объясняющие такую картину распространения «холодных» озерных осадков. С одной

стороны, озера могли формироваться в понижениях моренного рельефа на этапе деградации блоков мертвого льда, выступавших в качестве ледяных берегов водоемов (что предполагает, что мертвый лед «пережил» позднеледниковый интерстадиал и начал разрушаться лишь в конце позднего дриаса вместе с основным активным языком покровного ледника). Другой версией может служить предположение о наличии крупной ледяной подпруды ниже по течению, поднимавшей зеркало единого водоема на достаточный уровень (не менее 335–340 м абс.) для формирования глубоководных осадков в переуглублениях. В таком случае проблематично отсутствие прибрежных фаций озерных осадков на более обширной территории, которые должны были откладываться на всей потенциально заливавшейся территории. Вероятно, это можно объяснить активным воздействием криогенеза в мелководных условиях (до 1 м глубиной), даже сейчас приводящего к криотурбированию тонких озерных фаций вплоть до полной текстурной гомогенизации и вымораживанию «сквозь» них подстилающих грубых обломков, вплоть до формирования характерных каменных полигонов на днищах. Если отдельные трактовки развития озерного морфолитогенеза в днище Малобельского трога на ранних этапах пока не нашли однозначного подтверждения, то наши представления о его голоценовой истории уже вполне уверенны, а их достоверность контролируется сопряженным анализом разнотипных геолого-геоморфологических данных. Установлены размеры озерных ванн и мощности седиментации в них, тенденции смены обстановок осадконакопления на фоне направленного выполнения локальных седиментационных ловушек.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №25-27-00007.

Микрослоистость озерно-ледниковых отложений озер Великое, Полевское и Лавкозеро, Заонежский полуостров

Гольева А.А.[1], Лебедева М.П.[2], Субетто Д.А.[3], Мергелов Н.С.[1], Орлов А.В.[3], Макиевский Н.В.[2]

[1]Институт географии РАН, Москва, Golyevaaa@yandex.ru

[2] Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва

[3] Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, факультет географии, Санкт-Петербург

Введение. Материалы конференции являются продолжением изучения озерных осадков с целью определения причин специфической окраски «розового горизонта» в ленточных глинах Онежского приледникового озера (ОПО) (Гольева и др., 2025; Палеолимнология …, 2022; Страховенко и др., 2025). Этот горизонт представляет собой стратиграфически выдержанный маркирующий слой в озерно-ледниковых отложениях ОПО и датируется примерно 13300–13200 календарных лет назад (Hang et al., 2019). Происхождение и структура этого горизонта остаются предметом дискуссий (Демидов, 2004; Палеолимнология …, 2022). Наши предыдущие исследования (Гольева и др., 2025) выявили наличие микробных матов в его составе, но ожидаемой какой-либо выраженной концентрации отдельных химических элементов в «розовых горизонтах» по сравнению с вмещающими их другими отложениями ленточных глин обнаружено не было. Было высказано предположение, что причиной, не позволившей определить геохимическую специфику «розовых горизонтов», является ошибка при отборе проб на анализ. На исследования отбиралась усредненная проба всего горизонта, в то время как вся толща «розового горизонта» представлена чередованием микрослоев разной окраски и плотности. Под термином «микрослои» мы понимаем слои, имеющие толщину ≤ 2 мм. Чтобы сохранить последовательность слоев, их специфику (мощность, характер сложения и пр.) было принято решение изучить образцы в виде шлифов.

Целью работы было определение специфики микростроения «розового горизонта» и его состава.

Объекты и методы. Объектами исследования были озерные осадки (ленточные глины) трех озер – Великого, Полевского и Лавозера. Отбор проб проводился как из «розового горизонта», так и с целью сравнительного анализа из залегающих выше и нижк «обычных» горизонтов ленточных глин. Пробы отбирались в пластиковые контейнеры размером 24х24 мм. Из этих проб были изготовлены аншлифы. Использование аншлифов обусловлено тем, что отсутствие покровного стекла позволило рассматривать препараты под различными микроскопами, а пропитка смолами позволила зафиксировать тонкую слоистость осадков.

Для достижения поставленных целей использовались: рамановский микроспектрометр (Renishaw inVia Reflex), флуоресцентный микроскоп ADF и электронный сканирующий микроскоп (SEM) JEOL 6610LV (JEOL) с микроанализатором INCAx-act (MAn). Помимо состава самих слоев озерно-ледниковых глин микроанализатором был определен элементный состав смолы, использованной для пропитки образцов, чтобы исключить возможную ошибку при анализе данных.

Микроморфологические исследования проводились с использованием поляризационного микроскопа нового поколения Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26.

Результаты. Рамановский микроспектрометр показал, что все темноцветные (углистые) частицы в образцах имеют минеральную природу – это древний углерод –

шунгит. Другие темноцветные частицы представлены магнетитом и гематитом, скорее всего, так же геологического происхождения.

С помощью флуоресцентного микроскопа какие-либо признаки колоний микроорганизмов не обнаружены.

Микроморфологичесий анализ показал, что микрослои ленточных глин имеют разную плотность – идет чередование рыхлых и плотных прослоев. И «розовая» окраска, влияющая на общий цвет горизонта обусловлена спецификой более рыхлых отложений. Анализ позволил выявить скопления каких-то округлых ярко малиновых стяжений в рыхлых микропрослоях «розовых горизонтов» всех трех озер. Помимо этого, в «розовых горизонтах» оз. Лавозеро обнаружены тонкие глинистые кутаны, а в отложениях оз. Полевское обнаружена трещиноватость слоя с последующими микросдвигами. Глина в этих слоях имеет струйчатую оптическую ориентацию, а в нижней части шлифов – микросбросы, нарушающие горизонтальное залегание сразу нескольких слоев. В подобном горизонте отложений оз. Великое тонкие глинистые слои встречаются в рыхлых прослоях в виде «рубашек» вокруг песчаных зерен. Глина имеет колломорфную структуру и красноватый цвет, что может говорить о присутствии окисленного железа. Эти особенности характерны для аэробных условий.

На электронном сканирующем микроскопе чередование плотных и рыхлых микрослоев было заметно так же хорошо, как и под оптическим микроскопом. Однако, когда микрозондом было применено геохимическое картирование поверхности, то никаких признаков микрослоистости ни по какому химическому элементу не было выявлено. Все элементы, по которым было сделано картирование (Al, O, C, Fe, S, Si, Mg, Mn, Ca, Ti) показывали ровное равномерное заполнение всей площади просмотра без выделение каких-либо зон или прослоев. Это касалось образцов как из «розовых горизонтов», так и из фоновых «обычных» слоев всех трех озер. Химический состав смол, использованных для пропитки образцов показал абсолютное преобладание углерода (73-76%) и кислорода (18-25%) с небольшими примесями Cl, Si, Na, Zr. Таким образом, смолы имели иной химический состав, и пропитка при создании шлифов не могла повлиять на однородный характер распределения элементов по поверхности слоев.

Было проведено сравнение по величине концентрации элементов между «розовыми горизонтами» и фоновыми слоями и выявлены различия по ряду элементов. Различия невелики, но они есть и повторяются во всех трех озерах. Это позволяет считать выявленные различия не ошибкой или шумом, но реально существующими. Во всех «розовых горизонтах» несколько увеличены концентрации S, Ti, в двух из трех – Mg, Mn и Fe. Вероятно, именно какие-то диффузные соединения этих элементов и влияют в конечном счете на окраску горизонта в целом.

Заключение. Работа показала разные информационные возможности при использовании разной микроскопной техники для решения поставленных задач. В совокупности полученные результаты позволили получить новые, ранее неизвестные данные.

Микроморфологически было показано, что осадконакопление в период формирования «розовых горизонтов» характеризовалось, возможно, чередованием анаэробных и аэробных условий. Микроструктурность данных признаков свидетельствует о кратковременности этих этапов.

Выявлен определенный парадокс наличия микрослоистости и равномерного распределения химических элементов по всей поверхности сканируемого слоя без

каких-либо изменений в концентрации между плотными и рыхлыми прослоями в «розовом горизонте». Показано, что состав смол, использованных при изготовлении шлифов не мог влиять на распределение исследованной группы элементов.

Обнаружена повышенная концентрация ряда химических элементов в «розовых горизонтах» всех озер, что, возможно, влияет на специфичность окраски горизонтов в целом.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206

Работы на рамановском, флуоресцентном и электронном сканирующем микроскопах были выполнены в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН.

Микроморфологические исследования проводились в ЦКП «Функции и свойства почв и почвенного покрова» ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева».

Список литературы

1. Гольева А.А., Субетто Д.А., Мергелов Н.С., Орлов А.В., Дзини С., Хохлов Н.В. 2025. К вопросу о составе «розового горизонта» в ленточных глинах Онежского приледникового озера //Журнал Сибирского федерального университета. Биология, № 18(3), с. 272-284.
2. Демидов И. Н. Донные отложения и колебания уровня Онежского озера в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. Вып. 7. С. 207–218.
3. Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям: [коллективная монография] / Д.А. Субетто., Н.А. Белкина, В.Д. Страховенко [и др.]; ответственный редактор Д. А. Субетто; Министерство науки и высшего образования РФ, Министерство просвещения РФ, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Российский научный фонд. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. — 332 с.
4. Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Рыбалко А.Е., Малов В.И., Белкина Н.А., Потахин М.С., Орлов А.В. 2025. Минералого-геохимические особенности донных отложений Онежского озера в разрезе последнего ледникового – озерно-ледникового – озерного седиментационного цикла (верхний неоплейстоцен – голоцен). Геоморфология и палеогеография. Т. 56. № 4. С. 598—625. https://doi.org/10.7868/S2949179725040041
5. Hang T., Gurbich V., Subetto D., Strakhovenko V., Potakhin M., Belkina N., Zobkov M. A local clay-varve chronology of Onega Ice Lake, NW Russia // Quaternary International 524 (2019) 13-23. DOI: 10.1016/j.quaint.2019.03.021

Результаты спорово-пыльцевого анализа донных отложений озера Антюх-Ламбина (Кандалакшский берег Белого моря)

Греков И.М., Левкова Д.Н.

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, ivanmihgrekov@gmail.com

Введение. Донные отложения озер являются архивами, содержащими информацию об изменении природных условий в прошлом. Их комплексное послойное исследование позволяет получить широкий спектр различных палеогеографических данных. Реконструкции динамики природно-климатических событий дают возможность сформировать представление как об истории развития отдельного водоёма, так и трансформации окружающей среды на локальном, региональном и глобальном уровнях, а также оценить ее реакцию на будущие изменения под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Материалы и методы. Озеро Антюх-Ламбина расположено южнее озера Колвицкого (67.09° с. ш. 33.16° в. д.; 59 м н.у.м.), с которым соединено небольшой протокой. С юга в него впадает ручей, берущий начало в Колвицких тундрах. Керн донных отложений оз. Антюх-Ламбина (мощность 3 метра) был отобран с глубины 4 метра с использованием поршневого бура. Выполнены радиоуглеродное датирование, литолого-стратиграфический анализ, анализ потери массы образца при прокаливании (ППП) и микропалеонтологические анализы донных отложений: диатомовый, кладоцерный, хирономидный и спорово-пыльцевой (Лудикова и Греков, 2017; Ibragimova et. al. 2016; Греков и др., 2024).

Результаты. Литологический анализ показал, что в основании исследованного разреза лежат серые илистые глины, которые перекрыты коричневым алевритом с органикой. Осадконакопление проходило без нарушений, однако отсутствует верхняя часть колонки, которая могла быть смыта в результате антропогенной деятельности вблизи озера (Grekov and Kolka, 2016; Греков и др., 2024).

По результатам радиоуглеродного датирования и диатомового анализа определено, что глинистый горизонт формировался в солоноводных условиях до 10.5 тысяч калиброванных лет назад (кал.л.н.), а пресноводная озерная фация начинает накапливаться около 9 тысяч кал.л.н. (Лудикова и Греков, 2017).

По данным спорово-пыльцевого анализа колонки донных отложений оз. Антюх-Ламбина выделено четыре палинозоны, отражающие смену растительности с пребореального периода по суббореальный период голоцена. При расчётах за 100% принималась сумма пыльцы древесных, травянистых и спор. Дополнительно подсчитывались клетки зелёных водорослей *Botryococcus* и *Pediastrum*, споры грибов, в том числе *Glomus*, устьица *Pinus* и микрочастицы угля.

Палинозона 1 (6.95-6.38 м) формировалась в пребореальном периоде раннее 10.5 тысяч кал.л.н. в условиях прохладного и влажного климата, когда оз. Антюх-Ламбина являлось частью моря. Для образцов характерно очень низкое содержание пыльцы и спор, особенно для нижней части разреза, что может быть связано с неблагоприятными условиями для ее сохранения в отложениях. Около половины палиноспектров занимает пыльца древесных пород, в основном *Betula*, *Pinus,* в меньшей степени *Picea* и *Betula nana*. Отмечаются пыльцевые зерна *Alnus*, *Salix*, *Corylus* и *Juniperus*. Среди травянистых преобладает пыльца Poaceae. В споровых значительное содержание *Lycopodium clavatum*. В составе непыльцевых палиноморф отмечается самое высокое по разрезу содержание микрочастиц угля. В это время распространены

березовые леса с примесью сосны, в травяно-кустарничковом покрове представлены ерник, лугово-степные растения и представители влажных прибрежных и болотных местообитаний

В период образования палинозоны 2 (6.38-6.13 м) возрастает доля пыльцы древесных растений, при этом в палиноспектрах преобладает пыльца *Pinus*, устьица которой впервые появляются и далее часто отмечаются в образцах. Пыльцевые зерна *Picea* практически не встречаются. Содержание травянистых сокращается, по-прежнему преобладает доля Poaceae, но возрастает роль Cyperaceae. Впервые отмечена пыльца макрофитов — *Typha*, *Alisma* и *Nuphar*. В споровых преобладают Polypodiaceae, *Dicranum*, *Lycopodium clavatum* и *Equisetum*. Среди непыльцевых палиноморф впервые появляются и далее постоянно присутствуют зеленые водоросли *Botryococcus* и *Pediastrum*. Содержание грибов, в том числе *Glomus*, максимальное по всему разрезу. Количество микрочастиц угля в сравнении с палинозоной 1 незначительно. Палинозона формировалась в бореальном периоде между 10.5 и 9 тыс. кал.л.н., озеро на этом этапе изолируется от морского водоема, на что указывает появление прибрежно-водной и водной растительности. Климат становится суше, но все еще прохладно. Березовые леса сменяются на сосновые с примесью мелколиственных пород, сокращается площадь травянистого покрова, сохраняется заболоченность вокруг озера.

Для палинозоны 3 (6.13-5.23 м) характерно появление пыльцы термофильных широколиственных древесных пород — *Ulmus*, *Tilia* и *Quercus*. Содержание *Pinus* достигает пиковых значений, возрастает количество пыльцы *Betula* и *Alnus*. Пыльца *Picea* снова начинает появляться лишь в конце палинозоны. В травянистом покрове Poaceae уступает Cyperaceae, в водных постоянно присутствует пыльца *Potamogeton*. Впервые отмечены споры *Isoetes*. Среди споровых преобладают Polypodiaceae, *Equisetum* и *Sphagnum*. Количество микрочастиц угля продолжает сокращаться. Палинозона формировалась в атлантический период до 4.5 тысяч кал.л.н. в теплом и влажном климате. Распространены сосновые леса с примесью широколиственных пород, березы и ольхи.

Палинозона 4 (5.23-4.07 м) образуется между 4.5 и 1.5 тысячами кал.л.н. (верхняя дата, вероятно, омоложена) в условиях суббореального периода, климат влажный и прохладный. Значительно возрастает содержание пыльцы *Picea*, роль *Betula* снижена. Отмечены единичные пыльцевые зерна *Ulmus*. Среди травянистых доминирует Cyperaceae, увеличивается содержание пыльцы Ericaceae. Сокращается количество спор грибов, количество микроуглей минимально. В это время лес становится сосново-еловым с примесью березы и ольхи. В травянистом покрове преобладают осоки, увеличивается площадь распространения вересковых.

Вывод. Исследованная колонка донных отложений оз. Антюх-Ламбина начала формироваться в раннем голоцене. На протяжении всего периода в регионе преобладает лесная растительность, территория вокруг озера заболочена. В пребореальном периоде, в прохладном и влажном климате озеро является частью Белого моря, в это время распространены березовые леса с примесью сосны. В бореале климатические условия становятся суше, но все еще прохладные, березовые леса сменяются на сосновые с примесью мелколиственных пород. Около 10.5-9 тысяч кал.л.н. происходит изоляция озера, что подтверждается появлением пресноводной растительности и началом накопления алевритистой органогенной гиттии. Далее в атлантическом периоде в теплых и относительно влажных условиях в сосновых лесах с примесью березы и ольхи распространяются вяз, липа и дуб. После

4.5 тысяч кал.л.н. в суббореальном периоде увеличивается площадь ельников, лес становится сосново-еловым с примесью березы и ольхи.

Результаты спорово-пыльцевого анализа донных отложений озера Антюх-Ламбина выявили динамику изменения растительности в районе Колвицкого озера за последние более чем 10.5 тысяч лет. Выявленные палеоклиматические изменения согласуются с палеоэкологическими обстановками водоема, установленными на основе раннее проведенных исследований.

Список литературы

1. Греков И.М., Сырых Л.С., Назарова Л.Б. История озера Антюх-Ламбина (Кандалакшский берег Белого моря) по данным изучения донных отложений // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. С. 390-393.
2. Лудикова А.В., Греков И.М. Предварительные результаты диатомового анализа проб донных отложений оз. Антюх-Ламбина (ЮЗ Кольского полуострова // География арктических регионов. Тез. докл. Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена, 2017. С. 33-36.
3. Grekov I.M., Kolka V.V. Paleolimnological studies of bottom sediments of lakes South of the Kola Peninsula // Paleolimnology of Northern Eurasia. Experience, Methodology, Current Status: Proceedings of the International Conference. Yakutsk. 2016, 44-47 p.
4. Ibragimova A. G., Frolova L. A. and Grekov I. M. Results of subfossil Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) analyses from bottom deposits of Lake Antyukh-Lambina (Kola Peninsula, Murmansk region) // RJPBCS. 2016. 7(6). P.3201-3206

Ретроспективная оценка пожарной активности в пределах южной тайги Средней Сибири в условиях изменяющегося климата голоцена

Гренадерова А.В., Подобуева О.В.

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, grenaderova-anna@mail.ru, olga.podobueva@mail.ru

Введение. В настоящее время в южной тайге Средней Сибири отмечается значительная доля (43 %) производных послепожарных сообществ, что свидетельствует о высоком вкладе пирогенного фактора в изменение растительности (Лесные экосистемы.., 2002). Пространственно-временное распределение крупных лесных пожаров во многом определяется интенсивностью и продолжительностью засух. Наибольшее число засух в таежной зоне Красноярского края фиксируется в средней тайге и в северной части южной тайги, где период дефицита влажности менее продолжительный, но более частый по сравнению с северными территориями (Валендик и др., 2014). Для понимания основных тенденций развития таежных ландшафтов представляется чрезвычайно важным анализ отклика лесных экосистем на глобальные и региональные изменения климата в прошлом, особенно в этапы голоцена, отличающиеся увеличением температуры воздуха. Описать частоту и интенсивность пожаров, реконструировать ход климатических условий и трансформацию растительного покрова возможно с помощью использования палеоантракологического и палеоботанического анализа при изучении торфяных отложений.

Объектом настоящего исследования являются отложения болот южной тайги Красноярского края: Ожеговское и Большое Сполошинское.

Болото Ожеговское общей площадью 4820 га располагается на первой надпойменной террасе реки Енисей, в 7,4 км на север от города Енисейск. В северо-западной части болота были отобраны отложения торфа мощностью 180 см из шурфа, ниже до отметки 380 см – с помощью бура. Отбор проб на палеоантракологический анализ выполнен с интервалом в 1 см, в настоящей работе представлены результаты верхних 180 см. Радиоуглеродный возраст в интервале глубин 175-180 см составил 5100±160 лет (ИМКЭС-14С3191), датирование выполнено жидкостно-сцинтилляционным методом с помощью спектрометра-радиометра Quantulus (ТомЦКП СО РАН). Калибрование радиоуглеродных дат проводилось в программе R с помощью пакета «Bacon» (Blaauw, Christen, 2011).

В 130 км на юго-восток от болота Ожеговское располагается болото Большое Сполошинское общей площадью 23 487 га. Большое Сполошинское находится в системе болот на правобережье Енисея, занимающей поверхность 10-12 м террасы, сформированной зарастанием пойменных озер енисейских притоков рр. Малая Сполошная, Большая Сполошая, Ягодкина. Большое Сполошинское болото является одним из крупнейших в Казачинском районе, ненарушенность естественного напластования позволила использовать этот фитогенный палеоархив для восстановления экологических условий времени осадконакопления (Гренадерова и др., 2021). С помощью палеоантракологического метода изучена колонка торфа мощностью 195 см, отобранная на южной окраине болота примерно в 500 метрах от кромки суходольного леса (разрез «Большое Сполошинское-1»), радиоуглеродный возраст в интервале 195-200 см составляет 4625 ± 30 лет (BA182427).

Для палеоантракологического анализа из каждого интервала была отобрана осредненная проба объёмом 1 $см^3$. Лабораторный этап включал пробоподготовку по стандартной методике (Clark, 1988), с предварительной обработкой 10% раствором пирофосфата натрия ($Na_2P_2O_7$) и 6% перекисью водорода (H_2O_2). Подсчет частиц угля проведен при увеличении ×20, учитывались все частицы крупнее 100 мкм.

Выявленное количество угольков в каждом временном интервале и полученный с помощью глубинно-возрастной модели калиброванный интерполированный возраст были проанализированы алгоритмом, предложенным Higuera (2009) в пакете «tapas» среды RStudio (Finsinger, Bonnici, 2022). В настройках обработки задавали шаг интерполяции 10 лет; для сглаживания использовали локально-взвешенную регрессию с робастными весами (LOWESS) с шириной окна 500 лет. Минимальный уровень скорости аккумуляции угля (CHAR) отсекался на уровне вероятности 0,05.

В сложении торфяной толщи на периферийном участке болота Большое Сполошинское преобладают виды торфа лесного и лесо-топяного подтипа. По данным спорово-пыльцевого анализа установлено, что в целом, на протяжении последних 5000 кал.лет в пределах рассматриваемого района южной тайги господствовали темнохвойные елово-пихтово-кедровые леса, с небольшой долей участия сосны обыкновенной в составе древостоя. Процентное соотношение пыльцы темнохвойных (сумма пыльцы *Pinus sibirica, Abies sibirica, Picea obovata*) и светлохвойных (*Pinus sylvestris* и *Larix*) пород в составе спектра древесных меняется слабо, и составляет в среднем 67/33.

Средняя скорость аккумуляции частиц угля за период торфонакопления – около 5-7 частиц/см^2 в год, в периоды пожарной активности отмечалось повышение до 15-20 частиц/см^2 в год (рис. 1).

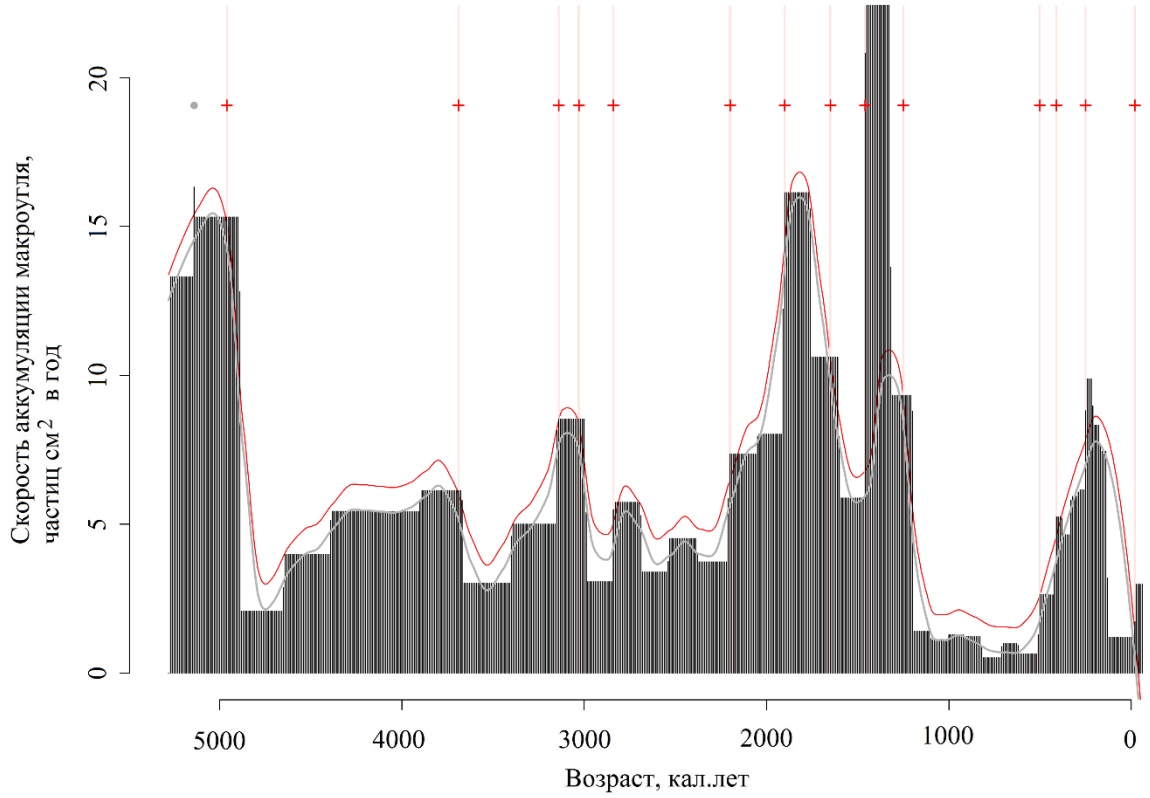


Рис. 1. Скорость аккумуляции макроскопических частиц угля, распределение локальных пожарных эпизодов (+) по данным анализа частиц макроугля из отложений разреза «Большое Сполошинское – 1»

Максимальная скорость аккумуляции угля – несколько более 20 частиц/см^2 в год фиксируется около 1400-1200 кал.л.н. Состав спорово-пыльцевого спектра, накопившийся за это время, характеризуется сокращением доли темнохвойных видов с 69% до 22%, при этом резко увеличилось содержание пыльцы *Betula* sect. *Albae*

(до 26% от состава пыльцевого спектра), что может указывать на послепожарную сукцессию, когда в составе суходольных лесов большее развитие получили смешанные с высокой долей березы леса. Минимальное значение зольности по разрезу (5,6 %), пришедшееся на этот интервал, также может указывать на снижение общей увлажненности, способствовавшей возникновению пожаров.

Пожарный эпизод около 2200-2000 кал.л.н. сопровождается минимумом пыльцы *Abies* (2,5%) в составе пыльцевого спектра при высоком участии *Picea* – 11%, *Pinus sibirica* – 30%, *Pinus sylvestris* – 25%, *Betula* sect. *Nanae* – 11%, а *Betula* sect. *Albae* – 4%. В это же время севернее, на болоте Ожеговское, отмечен следующий состав пыльцевого спектра: *Abies* – 6%, *Picea* – 12%, *Pinus sibirica* – 22%, *Pinus sylvestris* – 33%, *Betula* sect. *Albae* – 14%. А пожарный эпизод на болоте Ожеговское около 2200-2000 кал.л.н. определяется как самый сильный, скорость аккумуляции частиц макроугля достигла 6-7 частиц/см^2 в год (рис.2).

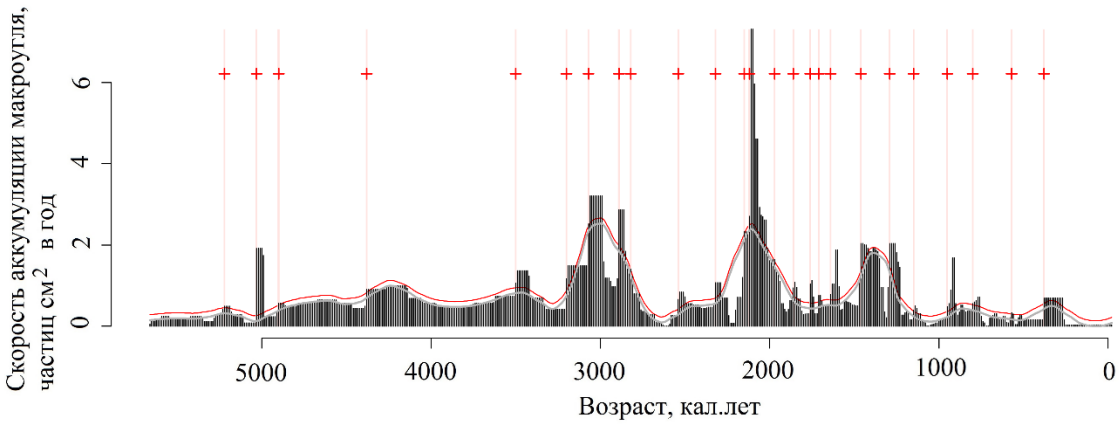


Рис. 2. Скорость аккумуляции макроскопических частиц угля, распределение локальных пожарных эпизодов (+) по данным анализа частиц макроугля из отложений разреза «Ожеговское»

Пожарное событие около 1400-1200 кал.л.н. по данным реконструкции болота Ожеговское не отличалось наивысшей скоростью аккумуляции частиц угля, однако состав спорово-пыльцевого спектра свидетельствует о снижении общей увлажненности (*Abies* – 4%, *Picea* – 7%, *Pinus sibirica* – 11%, *Pinus sylvestris* – 38%, *Betula* sect. *Albae* – 22%). Кроме того, в сложении торфяной толщи, слой, сформированный в это время, состоит исключительно из тканей *Sphagnum divinum* Flatberg & K. Hassel (медиум торф), выше и нижерасположенные слои представлены комплексным верховым торфом, в составе волокна примерно в равном количестве встречаются *Sphagnum divinum* Flatberg & K. Hassel, *Sph. angustifolium* C. Jens., *Sph. fuscum* (Schimp.) Klinggr. Слой с аналогичным составом (*Sph. divinum* – 100%) также определен в интервале, накопившемся около 4200-4000 кал.л.н., когда произошла резкая смена шейхцериевого вида торфа на сфагновый.

Заключение. В целом, в строении двух южнотаежных болот выделяются индикаторы усиления пожарного режима в ответ на климатические изменения в сходные временные интервалы: около 5000, 3700-3600, 3100-2800, 2200-2000, 1900, 1600 и 1500, 1400-1200 кал.л.н. и последние 500 лет. Скорость аккумуляции частиц макроугля по результатам данного сравнения выше в южном районе южной тайги.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 26-27-20021, https://rscf.ru/project/26-27-20021/, за счет целевого финансирования (гранта) Красноярского краевого фонда науки № КФ-1037.

Список литературы

1 Валендик Э. Н., Кисиляхов Е. К., Рыжкова В. А., Пономарев Е. И., Голдаммер Й. Г. Лесные пожары в Средней Сибири при аномальных погодных условиях // Сибирский лесной журнал. 2014. № 3. С. 43–52.

2 Гренадерова А. В., Мандрыка П.В., Сяокунь В., Сенотрусова П. О., Михайлова А. Б., Цянькунь Ц. Комплексные археолого-палеоэкологические исследования голоценового хроноряда в южной тайге Среднего Енисея // Stratum Plus. 2021. № 6. С. 299-313.

3 Плешиков Ф.И., Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф. и др. Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2002. 356 с.

4 Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. 2011. № 6. С. 457-474.

5 Clark J.S. Particle motion and the theory of charcoal analysis: source area, transport, deposition, and sampling // Quaternary Research, 1988, 30: 67-80.

6 Finsinger W., Bonnici I. (2022) tapas: an R package to perform trend and peaks analysis. (v0.1.0). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.6344463

7 Higuera P. (2009) CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. Bozeman, MT, Montana State University, 27 p.

Донные отложения приледниковых озёр Центрального Кавказа как архив дегляциации на их водосборах

Гуринов А.Л.[1], Иванов М.М.[1,2], Суханова Т.Д.[2], Кузьменкова Н.В.[1,2], Александрин М.Ю.[1], Успенский М.И.[2], Шоркунов И.Г.[1], Гаранкина Е.В.[2], Голосов В.Н.[1,2]

[1] Институт географии РАН, Москва, gurinov.artem@gmail.com

[2] Московский государственный университет, Москва

Введение. В последние десятилетия дегляциация в высокогорных регионах сопровождается формированием приледниковых и надледниковых озёр. Данные озера характеризуются непродолжительностью существования и динамичностью уровня, а также часто большой вероятностью прорыва плотин, блокирующей сток, с образованием паводка или даже мощного селевого потока (Виноградов, 1977, Carrivick & Tweed, 2013). Ключевая особенность седиментогенеза приледниковых озёр — поступление твердого разнообломочного материала, содержащегося в леднике, с последующей его сортировкой: осаждение крупной фракции (песок, крупный алеврит) в период таяния и медленная аккумуляция тонкодисперсной взвеси (тонкий алеврит, глина) в зимний период, когда озеро покрывается льдом. Циклическое чередование данных процессов формирует характерные осадки — обломочные варвы, ритмичная слоистость которых представляет собой информативный палеоархив, отражающий изменения природной среды на водосборе, включая состояние горных ледников. Изучение донных отложений высокогорных озёр позволяет таким образом и реконструировать историю дегляциации на основе изменений условий на водосборах. При отсутствии детализированных данных и наблюдений данный подход обеспечивает более высокое временное разрешение по сравнению, например, с датированием конечных морен. Анализ мощности, времени формирования и других характеристик донных осадков может применяться также и для количественной оценки темпов денудации.

Район исследования и методы. Отбор донных отложений выполнен в трёх высокогорных приледниковых озёрах Центрального Кавказа: Донгуз-Орун (2544 м над ур. м.), Сылтранкёль (3197 м над ур. м.) и Башкара (2573 м над ур. м.). Исследуемые водоёмы Приэльбрусья являются крупнейшими высокогорными озёрами региона, различающимися генезисом котловин и степенью оледенения водосборных бассейнов. Основным источником водного баланса служат талые снеговые и ледниковые воды. Полученные колонки донных осадков подвергнуты комплексному анализу, включающему визуальное описание, подсчёт варв, определение гранулометрического и минерального состава, а также измерение удельной активности природных (^{210}Pb, ^{226}Ra) и техногенных (^{137}Cs, ^{241}Am) радиоизотопов методом гамма-спектрометрии. Выбор методов анализа и последующая интерпретация данных определяются конкретными характеристиками каждого озера. Весьма распространен при анализе донных отложений метод варвохронологии, основанный на подсчете годичных слоев и измерения их мощности и др. параметров (Zolitschka et al., 2015). Наряду с варвохронологией использованы радиометрические методы датирования, что позволило провести независимую верификацию полученных результатов.

Результаты. Озеро Донгуз-Орун образовалось вследствие подпруживания одноимённым ледником. Установлено, что в постчернобыльский период темпы осадконакопления значительно возросли по сравнению с серединой XX века.

Однако данный факт не может быть непосредственно связан с деградацией ледников на водосборе вследствие наличия крупной дельты, сформированной твердым стоком двух ручьев, питаемых талыми ледниковыми водами.

Озеро Башкара — наиболее молодое из исследованных. Сформировалось как надледниковое озеро в первой половине XX века, увеличиваясь в размерах по мере отступания ледника. В настоящее время представляет собой приледниковый водоём, берега которого образованы моренной грядой и краем ледника. После частичного разрушения плотины и последовавшего прорыва 1 сентября 2017 года глубина озера сократилась почти вдвое — с более чем 30 до 17 м. Радиоизотопное датирование показало, что более метра осадочной толщи накопилось менее чем за 50 лет. Высокие темпы седиментации могут привести к быстрому заполнению озёрной котловины и, вероятно, повышению опасности, связанной с образованием новых катастрофических паводков.

Озеро Сылтранкёль расположено в ледниковом каре, утратившем большую часть ледникового покрова в XIX–XX веках, что подтверждается как различными историческими источниками, которые хорошо согласуются между собой, так и результатами изучения кернов донных отложений. В результате дегляциации в 1881 году произошел обвал ледово-каменных масс котловину озера (Сейнова, Золотарев, 2001), что спровоцировало в свою очередь мощный прорывной паводок и снижение уровня воды в озере. Авторами ранее (Иванов и др., 2024) на основании анализа одного керна были выделены четыре этапа формирования донных осадков, коррелирующие с состоянием горных ледников и изменениями конфигурации озёрного водосбора. Анализ трёх колонок показал неравномерный характер осадконакопления в акватории озера, связанный с удалённостью от основных маршрутов поступления наносов в котловину. Колонка донных отложений оз. Сылтранкёль, отобранная в 2025 году (SK-2), по результатам радиоцезиевого и первичного визуального анализов содержит седиментационную запись около двухсот лет, что делает её дальнейшее изучение особенно перспективным.

Заключение. Полученные данные позволили проследить изменения поступления осадочного материала, аккумулируемого на дне озёр, на фоне продолжающейся дегляциации. Сходимость результатов, полученных на основе независимых источников, подтверждает высокую методическую ценность исследования донных осадков горных озёр как одного из немногочисленных архивов природной среды, фиксирующих изменения оледенения в динамичных условиях высокогорий. Результаты свидетельствуют также о важной роли морфологии рельефа в процессах мобилизации, транзита наносов на водосборе и их дальнейшей аккумуляции в приёмном бассейне. В ходе таяния ледников на водосборах «открываются» новые участки, которые начинают активно осваиваться эрозией. Вместе с тем в краевой зоне отступающего ледника формируются многочисленные замкнутые и полузамкнутые котловины — т.н. ловушки наносов, — которые, перехватывая значительную часть грубообломочного материала выше по течению, снижают объёмы осадочного материала, поступающего в приледниковые водоёмы. Анализ кернов донных отложений без учета изменений рельефа и путей транзита наносов на водосборе в условиях высокогорий Кавказа может привести к неверным выводам относительно темпов денудации.

Благодарности. Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ №25-17-00143.

Список литературы

1 Виноградов Ю. Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Гидрометеоиздат, Ленинград. — 1977. 155 с.

2 Иванов М.М. и др. Донные осадки как природная летопись дегляциации в бассейне озера Сылтранкёль, Приэльбрусье // Криосфера Земли, 2024, т. XXVIII, № 2, с. 33–46.

3 Сейнова И. Б., Золотарев Е. А. Ледники и сели Приэльбрусья. (Эволюция оледенения и селевой активности). — Научный мир Москва, 2001. — 204 с.

4 Carrivick J. L., Tweed F. S. Proglacial lakes: character, behaviour and geological importance // Quaternary Science Reviews. — 2013. — Т. 78. — С. 34–52.

5 Zolitschka B. et al. Varves in lake sediments–a review // Quaternary Science Reviews. — 2015. — Т. 117. — С. 1–41.

Динамика содержания тяжелых металлов в донных отложениях озер в зоне влияния арктической горно-металлургической компании в последнее столетие

Даувальтер В.А., Слуковский З.И.

Институт проблем промышленной экологии Кольского научного центра РАН, Апатиты, v.dauvalter@ksc.ru

Введение. Горно-металлургический комбинат «Североникель» (г. Мончегорск) является одним из основных источников загрязнения окружающей среды Мурманской области на протяжении более 80 лет (с 1939 г.). Основными загрязняющими веществами, поступающими в окружающую среду в результате деятельности комбината, являются тяжелые металлы (ТМ – Ni, Cu, Co и др.) и сернистый газ. В конце 1980-х гг. были зафиксированы максимальные выбросы Ni, Cu и сернистого газа комбинатом «Североникель», достигающие соответственно 7.5, 5.7 и 280 тыс.т/год (Kashulina et al., 2014). Экономический кризис в России, связанный с распадом Советского Союза в 1991 г., привел к резкому падению объема производства (с 1990 по 1994 г.г. в 1.5 раза) и к уменьшению сброса сточных вод, атмосферных выбросов и загрязняющих веществ в их составе. Атмосферные выбросы SO_2, Ni и Cu в 2011 гг. уменьшились до 31 тыс. т, 350 т и 460 т в год соответственно (Kashulina et al., 2014). Проведение природоохранных мероприятий на комбинате в последнее время (в 2021 г. был закрыт металлургический цех, в 2025 г. введены в эксплуатацию комплекс системы газоочистки и обновленное сернокислотное отделение) привело к значительному сокращению выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Целью исследований является выявление динамики химического состава донных отложений (ДО) озер, находящихся под влиянием долговременного воздействия атмосферных выпадений и сточных вод комбината «Североникель».

Материалы и методы. Проведены исследования химического состава ДО пяти озер (Нюдъявр, Кумужье, Сопчъявр, Пыслысчимъявр и Травяное), находящихся под влиянием производственной деятельности комбината «Североникель». Для оценки современного состояния водоемов и изучения истории развития и загрязнения территории, подверженной влиянию выбросов и стоков комбината «Североникель», были отобраны колонки ДО в северной части оз. Нюдъявр, а также из озер Кумужье, Травяное, Сопчъявр и Пыслысчимъявр. Отбор колонок ДО в озерах производился отборником колонок открытого гравитационного типа (внутренний диаметр 44 мм) с автоматически закрывающейся диафрагмой (Skogheim, 1979) с глубин 1.8, 3.0, 2.5, 5.0 и 7.5 м соответственно. Длина колонок ДО в озерах 27, 49, 50, 22 и 50 см соответственно. Концентрации элементов (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Mn, Fe, Na, K, Ca, Mg, Sr, Cr, Al, P) в пробах ДО определялись методом атомно-адсорбционной спектрометрии. Подробно методика отбора и анализа проб ДО описана ранее (Даувальтер, 2012).

Результаты исследований. Проведенные исследования химического состава ДО озер, расположенных в пределах промышленной площадки комбината «Североникель», показали, что, несмотря на снижение выбросов и стоков в последние десятилетия после снижения выпуска продукции в результате экономического кризиса (следствие распада СССР) и проведения серьезных природоохранных и технологических программ на комбинате, экологическое состояние водоемов в настоящее время вызывает тревогу. Содержание ТМ в поверхностных слоях ДО

всех исследуемых озер увеличились относительно фоновых значений в десятки и сотни раз. Максимальные концентрации практически всех ТМ зафиксированы на различной глубине в диапазоне от 1 до 15 см, а потом по направлению к поверхности ДО отмечается снижение содержания элементов.

Исследуемое озеро Нюдъявр расположено вблизи промышленной площадки комбината «Североникель», принимает сточные воды комбината, и, по сути, выполняет роль водоема-отстойника сточных вод, и поэтому подвержено значительному антропогенному воздействию по сравнению с другими водоемами в индустриально развитых районах Мурманской области. За период деятельности комбината «Североникель» в ДО оз. Нюдъявр накоплено тысячи тонн ТМ (Даувальтер, Кашулин, 2012). Эти накопленные в ДО озера ТМ (первую очередь Ni, Cu и Co) можно использовать для извлечения металлов на комбинате.

В вертикальном распределении исследуемых элементов, в первую очередь ТМ, в толще ДО оз. Нюдъявр отмечается общая для всех исследуемых озер закономерность. Максимальные содержания фиксируются на глубине 12-14 см, а затем по мере приближения к поверхности ДО происходит постепенное уменьшение концентраций элементов (рис. 1). В колонке ДО озера, отобранной в 2006 г. максимальное содержание элементов отмечается ближе к поверхности ДО в слое 5-6 см (Даувальтер, Кашулин, 2012). Это можно объяснить тем, что за десятилетие с момента последнего исследования произошло накопление ДО с меньшими содержаниями элементов, что можно связать с уменьшением концентраций ТМ в стоках комбината и с проведением природоохранных мероприятий. Также возможен вариант, что места отбора колонок ДО оз. Нюдъявр при исследованиях в различные годы точно не совпали, поэтому в толще ДО может происходить аккумуляция разных концентраций элементов, в зависимости от гидродинамических, гидрологических, гидрохимических и других условий осадконакопления. Содержания ТМ в толще ДО оз. Нюдъявр тесно коррелируют между собой, что говорит в пользу факта, что основным источником поступления этих элементов в водоем является производственная деятельность комбината. Высокие значения коэффициента корреляции с ТМ зафиксированы также для Fe, Mn, Ca, Sr и P. Интересным является факт, что максимальное содержание Ca (1.35%) зафиксировано в том же слое ДО (13-14 см), что и максимальное содержание Ni (6.37%). Возможно, это связано с тем, что для осаждения солей ТМ в солевом стоке цеха электролиза никеля использовалась сода (Na_2CO_3), в воде озера образовался перенасыщенный раствор карбоната кальция, и в ДО осаждался кальцит ($CaCO_3$). Максимальное содержание Mg (1.43%) отмечается на большей глубине (18-19 см), и возможно его осаждение происходило в виде доломита ($CaMg(CO_3)_2$ или магнезита $MgCO_3$). В ДО оз. Нюдъявр происходит также резкое четырехкратное увеличение содержания Fe, что связано с присутствием в медно-никелевой руде минералов, содержащих этот металл, например, пентландит $(Fe,Ni)_9S_8$, халькопирит $CuFeS_2$. Возможно также осаждение в условиях щелочной обстановки карбоната железа в виде минерала сидерита $FeCO_3$, а также оксидов и гидрооксидов железа или сульфида железа пирита FeS_2, что ранее было установлено в ДО оз. Нюдъявр (Слуковский, Даувальтер, 2019).

В ДО оз. Нюдъявр были обнаружены техногенные минеральные частицы, обогащенные Ni, Cu, Fe и S, образовавшиеся в результате различных процессов общего цикла переработки руды на комбинате, такими как дробление, обжиг

и электролиз. Обнаружены также глобулы аутигенного минерала пирита (FeS_2), сформировавшиеся в восстановительной геохимической обстановке при больших концентрациях Fe и S (Слуковский, Даувальтер, 2019). Важно отметить, что по химическому составу и структуре техногенные частицы из ДО оз. Нюдъявр сильно отличаются от первичных пирротина, пентландита, халькопирита, магнетита и других минералов, слагающих основу перерабатываемой на металлургическом комбинате руды (Gregurek et al., 1998). В 100% изученных техногенных частицах из ДО оз. Нюдъявр было установлено присутствие Ni от 1.5 до 93% и Fe от 1 до 70%, а в 70% частиц – присутствие S в концентрациях от 0.5 до 40% (Слуковский, Даувальтер, 2019). Наибольшее представительство среди всех частиц имеют сульфиды Ni, которые отмечаются во всех изученных слоях отложений водоема.

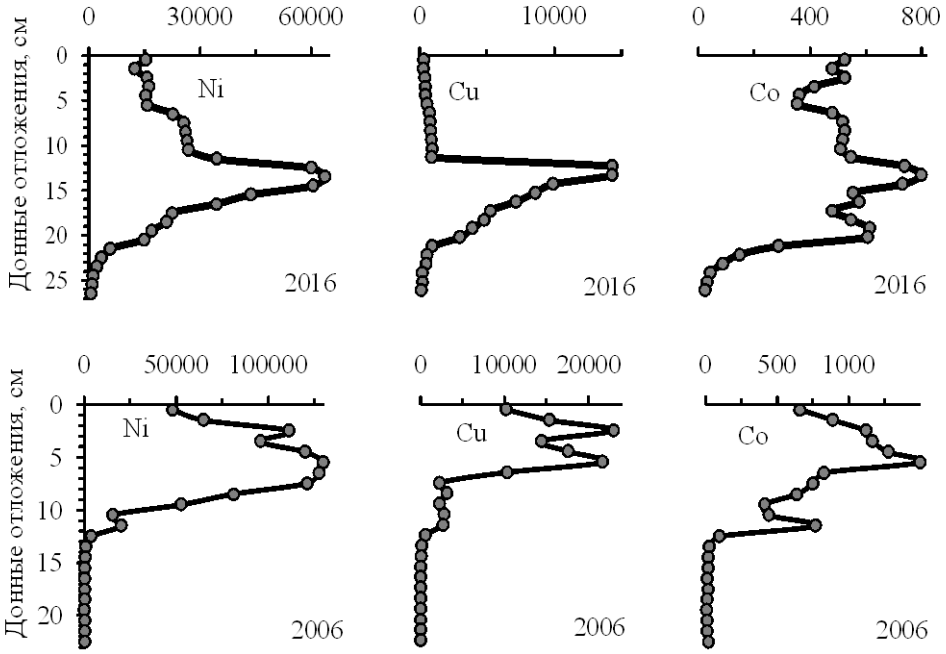


Рис. 1. Вертикальное распределение содержания ТМ (мкг/г) в ДО оз. Нюдъявр, отобранных в 2006 и 2016 гг.

Высокий уровень антропогенной нагрузки на водоемы промышленной площадки комбината «Североникель» сказался в структурной перестройке в них сообществ гидробионтов и ихтиофауны (Denisov et al., 202). Рыбы обнаружены только в двух озерах из пяти исследованных. Гидробионты характеризуются обедненным видовым составом, устойчивыми к загрязнению видами и пониженными количественными показателями по сравнению с фоновыми территориями.

Заключение. Исследования химического состава ДО озер в пределах промышленной площадки комбината «Североникель» показали, что современные отложения обогащены ТМ относительно фоновых значений в десятки и сотни раз. Наибольшие коэффициенты загрязнения установлены для ТМ, составляющих основу продукции комбината (Ni, Cu, Co). Эти элементы относятся к приоритетным загрязнителям окружающей среды промышленной территории. Ключевая роль в образовании геохимических аномалий этих элементов в верхних слоях ДО озер выбросам и стокам комбината. Сокращение производства после распада СССР

в начале 90-х г. прошлого века, уменьшение выбросов и проведение природоохранных мероприятий на комбинате «Североникель» привели к значительному уменьшению содержания ТМ в поверхностных слоях ДО.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы гранта РНФ 24-17-20006 «Фоновые озера Арктической зоны Мурманской области: гидрохимия, аномалии тяжелых металлов и микропластик как новый тип загрязнения водоемов мира».

Список литературы

1. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во Мурманского гос. техн. ун-та, 2012, 242 с.
2. Даувальтер В.А., Кашулин Н.А. Эколого-экономические аспекты использования донных отложений озера Нюдьявр // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2012. Т. 30. № 2. С. 77-83.
3. Слуковский З.И., Даувальтер В.А. Морфология и состав техногенных частиц донных отложений оз. Нюдъявр, Мурманская область // Записки Российского минералогического общества. 2019. № 3. С. 102-117.
4. Denisov D., Terentjev P., Valkova S., Kudryavtzeva L. Small lakes ecosystems under the impact of non-ferrous metallurgy (Russia, Murmansk Region) // Environments. 2020. V. 7. № 4. 29.
5. Gregurek D., Melcher F., Pavlov V.A., Reimann C., Stumpf E.F. Mineralogy and mineral chemistry of snow filter residues in the vicinity of the nickel-copper processing industry, Kola Peninsula, NW Russia // Miner. Petrol. 1999. V. 65. P. 87-111.
6. Kashulina G., de Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the «Severonikel» industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis // Atmos. Environ. 2014. V. 89. P. 672–682.
7. Skogheim O.K. Rapport fra Arungenprosjektet. Oslo: As- NLH, 1979. № 2. 7 p.

Климат юго-восточной Прибалтики в позднем неоплейстоцене в свете палеоклиматических реконструкций по данным Балтийского региона

Дружинина О.А.

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, olga.alex.druzhinina@gmail.com

Введение. В видении существовавшей в позднем неоплейстоцене палеоклиматической ситуации в регионе Балтийского моря не существует единого взгляда. Часть исследователей исходят из общей суровости климата во второй половине МИС 2, предполагая арктические климатические условия при близости края ледника (Stancikaite et al., 2015 и др.) на протяжении большей части рассматриваемого интервала. В то же время, в последнее десятилетие растет число научных работ, свидетельствующих о том, что температурные условия в пленигляциале и позднеледниковье в регионе Балтийского моря были разнообразнее и мягче, чем долгое время предполагалось (Schenk et al., 2020; European Glacial Landscapes, 2023). Согласно данной точке зрения, главной тенденцией глобального климатического перехода от последнего ледникового периода к голоцену было быстрое потепление с температурами, близкими или, возможно, превышающими современные. Предполагается, что оно было вызвано увеличением орбитальной летней инсоляции над высокими северными широтами. Тенденция к потеплению прерывалась несколькими более холодными климатическими этапами, связанными с особенностями Атлантической меридиональной циркуляции (Schenk et al., 2020). Значительное потепление с повышением среднегодовой температуры до 0°C (17−18 тыс. л.н.), а также этап значительного повышения атмосферных осадков (17−19 тыс. л.н.) в позднем пленигляциале выявлены не только в Балтийском регионе, но и в центральной части Восточно-Европейской равнины (Борисова, 2021). Полученный к настоящему моменту в Скандинавии, Прибалтике и Польше массив данных (ботанических макроостатков, хирономидных, спорово-пыльцевых) по седиментационным палеоархивам позволяет получить не только качественную, но и количественную оценку климатических параметров данного региона.

Материалы и методы. Для сравнительного анализа использованы результаты палеоклиматических реконструкций по данным изучения хирономидных сообществ и пыльцы палеоархивов Камышовое, Куликово, Самбийский (Калининградская область РФ) (Пронина и др., 2023; Druzhinina et al., 2020; 2025). Привлекаются опубликованные палеоклиматические данные по результатам макроботанического, хирономидного и палинологического исследований 25 разрезов осадочных отложений Скандинавии, Прибалтики и Польши (Kisiliene et al., 2005; Płóciennik et al. 2011; Heiri et al. 2014; Dzieduszyńska et al. 2014; Stancikaite et al., 2015; Veski et al. 2015; Luoto et al. 2019; Stivrins et al., 2019; Schenk et al., 2020; Šeirienė et al., 2020; Gedminiene et al., 2025).

Результаты и обсуждение. Палеоклиматические характеристики позднего плейстоцена, полученные по трем различным видам данных – макроботаническим, хирономидным, палинологическим, в целом, хорошо коррелируются (табл. 1). Реконструкции, основанные на результатах макроботанического анализа, указывают на июльские температуры +14+16°; по данным хирономидного анализа температуры июля варьировали от +14 до +18°C (за исключением более низких значений для позднего дриаса по данным оз. Камышовое); летние температуры воздуха по палинологическим данным попадают в интервал +10+17°C с преобладающими температурами +13.5+15 °C. Перепады зимних температур в этот период были выражены сильнее: минимальные составляли –22°C, максимальные –5 –1°C, среднее значение для значительной части позднеледниковья составляет –10–12°C. Зафиксировано усиление континетальности

климата за счет аридизации зимних сезонов. По данным разрезов Куликово, Dukštelis (Gedminiene et al., 2025) и Āraiši (Stivrins et al., 2019) отмечено значительное снижение (от 4 до 10 градусов) зимних температур в начале позднего дриаса. По результатам Куликово и Dukštelis оно сопровождается снижением количества зимних осадков. При этом, снижение средней летней температуры находится в пределах температурных колебаний, характерных для всего исследуемого интервала позднеледниковья, или остается стабильным.

Таблица 1

Преобладающие температуры летнего периода
в позднем плейстоцене Балтийского региона

Период	Бот. макроостатки, Скандинавия	Хирономиды				Пыльца (Кал. обл.)
		Польша	Литва	Кал. обл. (Куликово)	Кал.обл. (Камышовое)	
PLN	+16	+16 +18				+15+16
BØ	+14	+16 +18	+14		+15.5+16.5	+14+16
OD	+14	+16 +18			+15.5+16.5	+13+14
AL	+16	+16 +18	+16	+14.5+15.5	+14+18	+10+17
YD	+16	+14 +18	+14	+14.5+15.5	+11.5+14	+13+16
PB	+16	+16 +18			+13+15	+12+15

PLN – поздний пленигляциал, BØ – беллинг, OD – средний дриас, AL – аллеред, YD – поздний дриас, PB – пребореал.

В целом, реконструируемые в диапазоне +13 +18 °С июльские температуры позднего плейстоцена Балтийского региона характерны для зоны тайги: как северной, с летними температурами +12 +16 °С, так и средней и южной с июльской температурой +16 +18 °С. По температурным характеристикам реконструируемый позднеплейстоценовый палеоклимат юго-восточной Прибалтики (Калининградская область) соответствует современному климату атлантико-арктической области умеренного пояса России со средними температурами января от –10 до –20 °С, средними температурами июля +10+15 °С (Национальный атлас России, 2007).

Заключение. Сопоставлены палеоклиматические характеристики позднего плейстоцена Балтийского региона по трем различным видам данных – макроботаническим, хирономидным, палинологическим. В целом, реконструируемые в диапазоне +13+18 °С июльские температуры характерны для зоны тайги: как северной, с летними температурами +12 +16 °С, так и средней и южной с июльской температурой +16 +18 °С. Минимальные зимние температуры составляли –22 °С, максимальные –5–1 °С, среднее значение для значительной части позднего плейстоцена –10–12 °С. Полученные летние и зимние температурные значения соответствуют умеренному климату. Климат позднего плейстоцена юго-восточной Прибалтики характеризовался более выраженной континентальностью с большей амплитудой годовой температуры, чем современный.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-17-00113-П, https://rscf.ru/project/22-17-00113.

Список литературы

1 Борисова О.К. Ландшафтно-климатические условия в центральной части Восточно-Европейской равнины в последние 22 тысячи лет (реконструкция по палеоботаническим данным). Водные ресурсы, 2021, том 48, № 6, с. 664–675.

2 Национальный атлас России. Том 2. Природа. Экология. Т. 2 [Карты] / сост. и подгот. к изданию ПКО "Картография" под общ. рук. М-ва транспорта Российской Федерации и Роскартографии; отв. ред. Г. Ф. Кравченко; редкол.: А. В. Бородко (пред.) и др. - 2007 (Калининград: ОАО "Янтарный сказ"). С. 146 – 150.

3 Пронина А.В., Л.С. Сырых, Л.Б. Назарова, И.М. Греков, О.А. Дружинина. Таксономический состав комаров-звонцов в озерных отложениях разреза Куликово (Калининградская область) // Материалы XV молодежной научной школы- конференции «Меридиан»: исследования природы и общества в условиях глобальных трансформаций, Москва, ИГ РАН, 8-11 ноября 2023.
4 Dzieduszyńska, D.; Kittel, P.; Petera-Zganiacz, J.; Brooks, S.; Korzeń, K.; Krapiec, M.; Pawłowski, D.; Płaza, D.; Płóciennik, M.; Stachowicz-Rybka, R.; et al. Environmental influence on forest development and decline in the Warta River valley (Central Poland) during the Late Weichselian. Quat. Int. 2014, 324, 99–114.
5 Druzhinina O., Kublitskiy Y., Stančikaitė M., Nazarova L., Syrykh L., Gedminienė L., Uogintas D., Skipityte R., Arslanov Kh., , Kulkova M., Subetto D. The Late Pleistocene - Early Holocene Palaeoenvironmental Evolution in the SE Baltic Region, Kaliningrad District, Russia: a new approach based on chironomid, geochemical and isotopic data from Kamyshovoe Lake // Boreas. – 2020. – V. 49. Is. 3. – P. 544–561. doi: 10.1111/bor.12438.
6 Druzhinina O.A., Gedminienė L., Skhodnov I.N., Burko A.A. Anthropogenic activity in prehistory as seen from archaeological and palaeoenvironmental data in the south-eastern Baltic on the background of the Holocene climate // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2025. Vol. 70. № 1. doi: 10.21638/spbu07.2025.104
7 European Glacial Landscapes. The Last Deglaciation. Palacios D., Hughes P., Garcia-Ruiz J., Andres N., Eds; Elsevier: Am-sterdam, the Netherlands, 2023. 623 p.
8 Gedminiene, L.; Spiridonov, A.:, Stancikaite, M.; Skuratovic, Z.; Vaikutiene, G.; Daumantas, L.; Salonen, S. Temporal and spatial climate changes in the mid-Baltic region in the Late Glacial and the Holocene: Pollen-based reconstructions. Catena, 2025, 252, 108851.
9 Kisieliene, D.; Stancikaite, M.; Merkevicius, A.; Namickiene, R. Vegetation responses to climatic changes during the late glacial according to palaeobotanical data in western Lithuania: preliminary results. Polish Geological Institute Special Papers, 2005, 16, 45–52.
10 Luoto, T.; Kotrys, B.; Płóciennik, M. East European chironomid-based calibration model for past summer temperature recon-structions. Climate Research, 2019, 77, 63-76.
11 Płóciennik, M., Self, A., Birks, H. J. B. & Brooks, S. J. 2011: Chironomidae (Insecta: Diptera) succession in Żabieniec bog and its palaeo-lake (central Poland) through the Late Weichselian and Holocene. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 307, 150−167.
12 Schenk, F.; Bennike, O.; Valiranta, M.; Avery, R.; Bjorck, S.; Wohlfarth, B. Floral evidence for high summer temperatures in southern Scandinavia during 15 - 11 cal ka BP. Quaternary Science Reviews 2020, 233, 106243
13 Stančikaitė, M.; Šeirienė, V.; Kisielienė, D.; Martma, T.; Gryguc, G.; Zinkutė, R.; Mažeika, J.; Šinkūnas, P. Lateglacial and early Holocene environmental dynamics in northern Lithuania: A multi-proxy record from Ginkūnai Lake. Quaternary International 2015, 357, 44-57.
14 Stivrins, N., Cerina A., Gałka M., Heinsalu A., Lõugas L., Veski S. Large herbivore population and vegetation dynamics 14,600–8300 years ago in central Latvia, northeastern Europe. Review of Palaeobotany and Palynology 266, 2019, 42–51
15 Šeirienė V., Gastevičienė N., Stančikaitė M., Gedminienė L. The record of postglacial environmental changes of the lake sediment section, north Lithuania. Регіональні геоекологічні проблеми в умовах сталого розвитку. Збірник наукових праць IV Міжнар. наук.-практ. конференції (Рівне, 22-24 вересня 2020 р.) / Голова редкол. проф. Д.В. Лико [та ін.]. – Рівне: видавець О. Зень, 2020, 47-54
16 Veski, S.; Amon, L.; Heinsalu, A.; Reitalu, T.; Saarse, L.; Stivrins, N.; Vassiljev, J. Lateglacial vegetation dynamics in the eastern Baltic region between 14,500 and 11,400 к.л.н.: A complete record since the Bølling (GI-1e) to the Holocene. Quat. Sci. Rev. 2012, 40, 39–53.

Морфометрические и гидрохимические характеристики озер с повышенной минерализацией Лено-Амгинского междуречья

Егоров А.В., Пестрякова Л.А.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, aital.e@mail.ru

Введение. На территории Якутии насчитывается около 708644 озер, занимая 2,4% от площади республики (Кириллов, 2002). Термокарстовые озера являются характерным элементом ландшафтов криолитозоны и играют важную роль в региональном водном и геохимическом циклах. Особый интерес представляют водоемы с повышенной минерализацией, формирование которых связано с испарительным концентрированием растворов в условиях резко континентального климата. В Центральной Якутии такие озера широко распространены в пределах аласных комплексов, однако их гидрохимические особенности изучены недостаточно. Под действием климатических изменений оттаивание приводит к изменению местных ландшафтов, будь то лес, то луг или другая экосистема. Образуется проседание грунта и высвобождение воды из многолетнемерзлых пород. Данный процесс и называется термокарст, то есть образование озера, а экосистема именуется, как – Алас. На территории одной только Центральной Якутии насчитывается почти 15 тыс. водоемов (Иванов, Корнилова, 2011). Цель работы — анализ морфометрических и гидрохимических характеристик озер с повышенной минерализацией Лено-Амгинского междуречья.

Район исследований. Лено-Амгинское междуречье расположено на территории Центральной Якутии в пределах нескольких административных улусов: Мегино-Кангаласского, Усть-Алданского, Чурапчинского. Изучаемые озера расположены в диапазоне координат 61.4–62.7° с.ш. и 130.1–131.6° в.д. (рис. 1). Рельеф территории — полого-холмистая и равнинная поверхность с абсолютными отметками 102–256 м н.у.м. Согласно 3D-фрагменту рельефа (рис. 1), для района характерно чередование плоских котловин — аласов с озерами — и слабо эродированных лесистых водоразделов. Хорошо выражен «озерный пояс» на высотах 160–230 м н.у.м., где сосредоточена значительная часть исследованных водоемов. Климат Лено-Амгинского междуречья, как и всей Якутии, резко континентальный, отличается очень низкими среднегодовыми и зимними температурами, характерными большими сезонными колебаниями и весьма малым количеством осадков. По осадкам Центральная Якутия относится к аридному климату. Растительность — преимущественно лиственничные леса (тайга) с хорошо выраженным подлеском из кустарников.

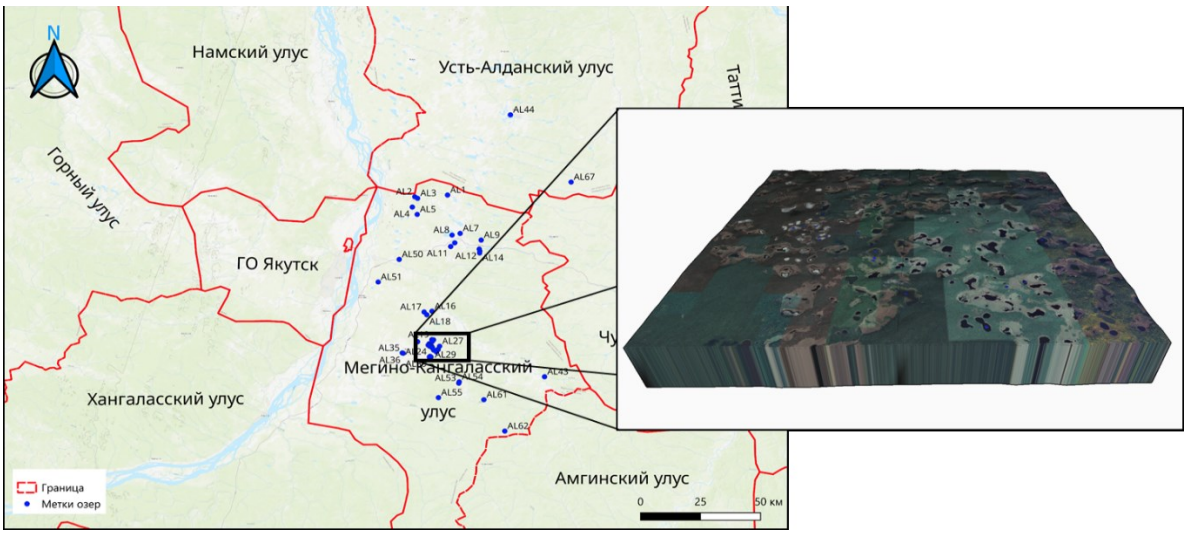


Рис. 1. Пространственное расположение исследованных озер Лено-Амгинского междуречья (справа — 3D-фрагмент рельефа с озерными котловинами)

Материалы и методы. Исследования выполнены на 51 озере, расположенном в пределах Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии. Отбор проб и экспедиционные исследования выполнены в летний период времени при помощи стандартных общепринятых методов по единой программе исследований с применением сходного набора приборов и материалов (Городничев и др., 2017).

Результаты. Исследованные озера характеризуются значительным разнообразием морфометрических параметров. Площадь водного зеркала изменяется от 0,0008 до 30 км² при среднем значении 0,85 км². Большинство водоемов (около 70 %) имеют площадь менее 0,1 км². Максимальная глубина варьирует от 0,5 до 19,3 м, средняя глубина составляет 2,13 м. Основную часть выборки составляют термокарстовые озера (86 %), реже встречаются термокарстово-реликтовые (6 %) и антропогенно-термокарстовые (8 %) водоемы.

Воды всех исследованных озер имеют щелочную реакцию среды. Значения pH изменяются от 7,74 до 9,96 при среднем значении 8,83. Электропроводность составляет от 379 до 7744 (μS/cm) и тесно связана с минерализацией вод.

Минерализация изменяется в широких пределах — от 501 до 5307 мг/л, среднее значение составляет 1882 мг/л. Среди исследованных водоемов 19 озер относятся к пресным (<1000 мг/л), 26 — к слабопресным (1000–3000 мг/л) и 6 — к соленым (>3000 мг/л).

Анионный состав вод характеризуется устойчивым преобладанием гидрокарбонат. Для большинства озер доля HCO_3^- превышает 80 % суммы анионов, что свидетельствует о доминировании гидрокарбонатного типа вод. Исключение составляют наиболее минерализованные озера, в которых возрастает содержание хлоридов и сульфатов.

В катионном составе наблюдается переход от кальциево-магниевых вод к натриево-магниевым по мере увеличения минерализации. Средние концентрации основных катионов составляют: Ca^{2+} — 23,3 мг/л, Mg^{2+} — 122,0 мг/л и $Na^+ + K^+$ — 253,1 мг/л. Наиболее минерализованные озера характеризуются высоким содержанием натрия и хлоридов, что отражает влияние процессов соленакопления и, вероятно, разгрузки минерализованных подземных вод.

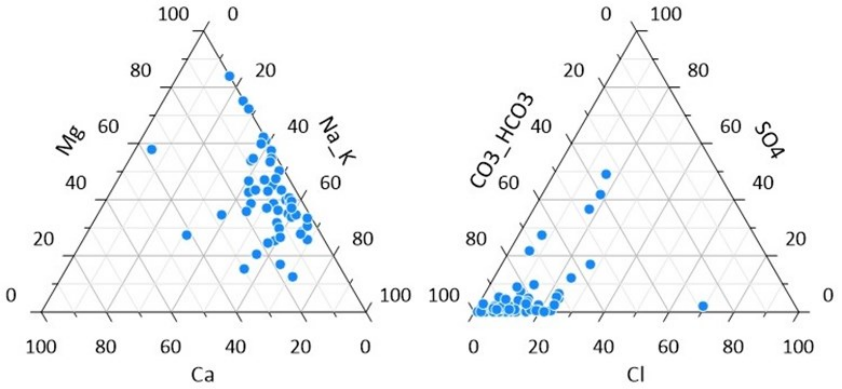


Рис. 2. Диаграммы Пайпера для исследованных озер Лено-Амгинского междуречья (левый треугольник — катионный состав; правый треугольник — анионный состав)

Заключение. Проведенное исследование позволило охарактеризовать морфометрические и гидрохимические параметры 51 озера с повышенной минерализацией Лено-Амгинского междуречья. Установлено, что изученные водоемы преимущественно имеют небольшие размеры (медианная площадь 0.05 км²) и неглубокие (медианная

глубина 2.4 м), относятся к термокарстовому типу. Минерализация варьирует в широком диапазоне — от 501 до 5307 мг/л при среднем значении 1882 мг/л; большинство водоемов слабопресные. Щелочная реакция среды (pH 7.74–9.96) обусловлена накоплением гидрокарбонатов и карбонатов в условиях криолитозоны. Гидрокарбонатный состав анионной части воды является универсальным для всех озер; в катионной — доминируют Mg^{2+} и Na^{+}. Наиболее минерализованные водоемы характеризуются значительной долей $Na^{+}+K^{+}$ и Cl^{-}

Благодарности. Работа выполнена в рамках Проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ по теме FSRG-2023-0027 и FSRG-2026-0010.

Список литературы

1. Городничев Р.М, Пестрякова Л. А., Ядрихинский И.В, Ушницкая Л.А, Фролова Л.А. Методы экологических исследований. // Озерные экосистемы: учебно-методическое пособие. – Якутск, 2017.
2. Иванов, К. П., Корнилова, Т. И. Возможности дноуглубительных работ на озѐрах Центральной Якутии / В. И. Романов, И. Б. Бабкина, Т. А. Бочарова, Н. А. Залозный, О. Г. Карманова, А. П. Петлина // Водные экосистемы Сибири и перспективы их использования: Материалы Всероссийской конференции посвящѐнной 100-летию со дня рождения Б. Г. Иоганзена и 80-летию открытия в ТГУ кафедры ихтиологии и гидробиологии. – Томск, 19- 21 апреля 2011 г.: Изд-во ТГУ, 2011. – С. 326-328.
3. Кириллов А.Ф. Промысловые рыбы Якутии / А.Ф. Кириллов; Департамент биол. ресурсов МОП РС(Я), Якут. гос. ун-т им. М.К. Аммосова. М.: Науч. мир, 2002. С. 186-193.

Реконструкция ландшафтно-климатических условий по результатам исследования донных отложений озера Аджибайчикское (Северо-Западный Крым)

Ерохова М.С., Кулькова М.А., Маркова М.А., Стрельцов М.А.

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, slenderina135@gmail.com, kulkova@mail.ru, mcpav@yandex.ru, michail1996@mail.ru

Введение. Озеро Аджибайчикское – бессточный соленый водоем лиманного происхождения, расположенный к юго-востоку от села Штормовое. Относится к Евпаторийской группе соляных озер Крыма. Для оценки процессов седиментогенеза и реконструкций ландшафтно-палеоклиматических условий голоцена были проведены геохимический и гранулометрический анализы донных отложений. Результаты исследований сопоставлены с опубликованными данными по оз. Ойбурскому.

Материалы и методы. Гранулометрический и геохимический анализы донных отложений оз. Аджибайчикское выполнены для 30 проб с глубин 0,16-3,12 м. Координаты точки пробоотбора: 45°15'26.42"N; 33°5'37.32"E (Кузнецов, 2024). Литология керна снизу-вверх: 3,12-2,85 м – синеватая синяя однородная глина, 2,85-0,95 м – серый слоистый глинистый алеврит, 0,95-0,4 м – серый глинистый алеврит, 0,4-0,16 м – черная однородная гиттия.

Для установления гранулометрического состава пробы подготовлены и проанализированы на лазерном анализаторе частиц «ЛАСКА-ТД» по стандартной методике (Кувшинова и Сардаева, 2016). Классификация фракций донных отложений по размеру частиц произведена по В.Д. Ломтадзе (Ломтадзе, 1984).

Для проведения геохимического анализа пробы высушены при температуре 105 °С, растерты в яшмовой ступке до состояния пудры и запрессованы в таблетку на подложке из борной кислоты. Анализ проводился с помощью рентген-флуоресцентного волно-дисперсионного спектрометра «Спектроскан МАКС-GV». Определены концентрации 32 породообразующих оксидов и микроэлементов. Рассчитаны геохимические индикаторы изменения условий осадконакопления: Na_2O/K_2O, Rb/Sr – индикаторы изменения относительных температур (Джеррард, 1984), CaO/MgO CIA=$Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO^*+Na_2O+K_2O)$ – индикаторы изменения относительной влажности (Nesbitt and Young, 1982), SiO_2 biog – индикаторы биопродуктивности (Keller, 1963), P_2O_5 antr - изменение антропогенной нагрузки (Кулькова, 2012).

Результаты и обсуждение. В ходе проведения геохимического и гранулометрического (рис.1) исследования было выделено несколько этапов, отражающих процессы осадконакопления, связанных с изменениями климата (относительной температуры, относительной влажности) и уровня воды в озере, а также антропогенной активностью.

Формирование синевато-серой однородной глины на глубине 3,12-2,85 м происходило в условиях перехода от относительно теплого и влажного климата к более прохладному и сухому, что подтверждается повышением значений индекса Na_2O/K_2O и снижением индекса CIA. Снижение доли песчаной фракции и увеличение доли пелитовой фракции по результатам гранулометрического анализа также может указывать на уменьшение процессов эрозии. Предположительно, в водоеме происходят процессы эвтрофикации, о чем свидетельствует уменьшение биопродуктивности водоема SiO_2 biog.

2,85-2,74 м – отложения серого слоистого глинистого алеврита формируется в относительно засушливых условиях, на что указывают снижение значений CIA, а также повышенные значения CaO/MgO, накопление эвапоритовых компонентов (CaO и S). По данным гранулометрического анализа регистрируется уменьшение песчаной фракции, возрастает доля пелитовой фракции.

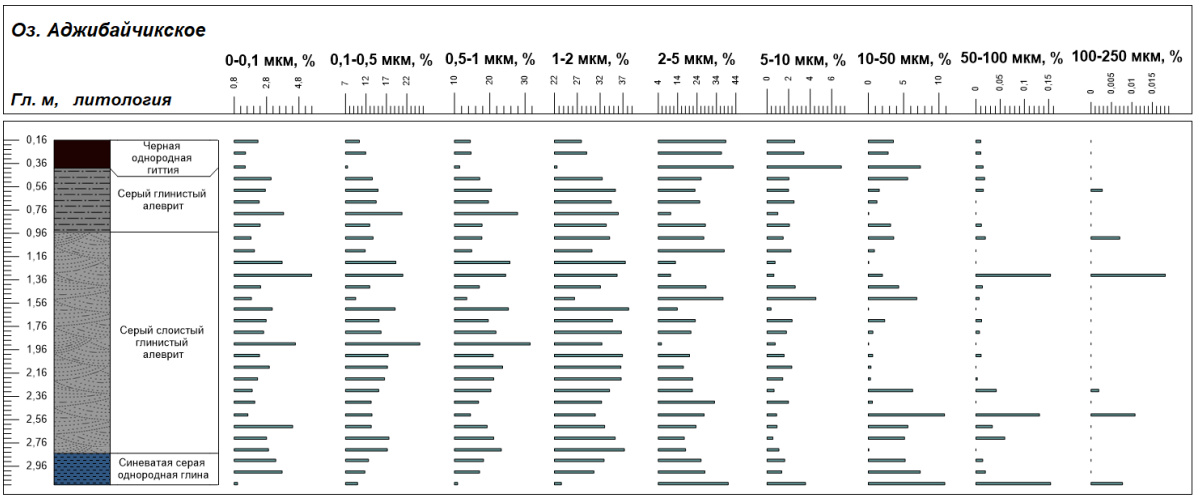


Рис.1. Графики относительного содержания фракций в донных отложениях оз. Аджибайчикское

Серый слоистый глинистый алеврит на глубине 2,74-2,16 м формируется в относительно влажных условиях, что подтверждается повышением значений CIA, пониженными концентрациями (CaO и S). По данным гранулометрического анализа увеличивается доля песчаной фракции. Содержание терригенной составляющей возрастает в результате усиления процессов эрозии берегов.

2,16-0,96 м – формирование отложений в условиях резких климатических изменений, характеризующегося сменой сухих и влажных условий. По данным гранулометрического анализа отмечается ритмичность в накоплении пелитовых и песчаных фракций. Фиксируется увеличение антропогенной активности по индикатору P_2O_5 antr в отложениях на глубине 1,45 м. По данным геохимического анализа, отложений на этой глубине коррелируются с отложениями оз. Ойбурское с глубины 3,16-2,94 м, и могут быть отнесены к концу суббореального периода (Кулькова, 2024).

Серый глинистый алеврит на глубине 0,96-0,36 м формировался в аридных условиях, о чем свидетельствует понижение значений Na_2O/K_2O и увеличение значений элементов, входящих в состав эвапоритов (CaO и S), а также увеличиваются значения соотношения CaO/MgO, отражающего содержание CaO и MgO в карбонатах, что может также указывать на аридные условия.

Черная однородная гиттия на глубине 0,36-0,16 м сформирована предположительно в относительно влажных и теплых условиях, на что указывают повышение значений CIA и понижение значений Na_2O/K_2O. По данным гранулометрического анализа, на этой глубине увеличивается доля алевритовой и песчаной фракций, что свидетельствует об увеличении эрозии и сноса вещества с берегов.

Заключение. Проведены комплексные исследования донных отложений оз. Аджибайчикское. В частности, изучение гранулометрического состава выявило преобладание в отложениях пелитовой фракции (соотношение тонкой и грубой – 53:47, соответственно), содержание которой колеблется от 43,01% до 93,55%. Доля алевритовой фракции 6,45-56,98%, количество песчаной фракции достигает 0,17%. По результатам геохимической индикации ландшафтно-палеоклиматических условий и гранулометрического анализа были установлены основные этапы седиментогенеза в озере. Повышенная антропогенная активность в отложениях отмечается на глубине 1,45 м. Корреляция с данными по оз. Ойбурскому, показала, что этот эпизод связан с концом суббореального периода, когда происходит активное освоение прилежащих к озеру территорий человеком.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект №22-18-00065-П, https://rscf.ru/project/22-18-00065/ «Культурно-исторические процессы и палеосреда в позднем бронзовом – раннем железном веке Северо-Западного Причерноморья: междисциплинарный подход») в РГПУ им. А. И. Герцена.

Список литературы

1. Джеррард А. Д. Почвы и формы рельефа. Ленинград: Недра, 1984. 208 с
1. 2. Кувшинова О.А., Сардаева М.Н. Методика работы на лазерном анализаторе «ЛАСКА-1К» // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. 2016. С. 268-273.
2. Кузнецов Д.Д. Приложение II. Стратиграфия отложений озер Северо-Западного Крыма // Палеосреда и культурно-исторические процессы в Северо-Западном Причерноморье в эпоху бронзы - раннем железном веке: первые результаты исследований. СПб. : Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2024. С. 201-204.
3. Кулькова М.А. Методы прикладных палеоландшафтных геохимических исследований. Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ, 2012. 152 с
4. Кулькова М.А. и др. Палеосреда и культурно-исторические процессы в Северо-Западном Причерноморье в эпоху бронзы-раннем железном веке: первые результаты исследований. СПб.: Изд-во РГПУ, 2024. 335 с.
5. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология; Инженерная петрология. Л. : Недра, 1984. 511 с.
6. Keller J.B. Conductivity of a medium containing a dense array of perfectly conducting spheres or cylinders or nonconducting cylinders // Journal of Applied Physics. 1963. V. 34. № 4. P. 991-993.
7. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. № 5885. P. 715-717.

Минеральный состав донных отложений озера Верхние Богуты (Горный Алтай)

Жданова А.Н.[1], Агатова А.Р.[1,2], Непоп Р.К.[1,2], Щетников А.А.[3]

[1]Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

[2] Уральский Федеральный Университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

[3]Институт земной коры, Иркутск, Россия

Введение. Донные отложения высокогорных озер представляют собой репрезентативные природные архивы, фиксирующие отклики на флуктуации климата, изменения гидрологического режима и интенсивность эрозионных процессов на водосборе. Для Горного Алтая, находящегося на стыке различных систем атмосферной циркуляции, воссоздание детальных летописей осадконакопления имеет принципиальное значение для понимания механизмов региональной ландшафтно-климатической эволюции. В условиях ультраолиготрофных высокогорных водоемов традиционные биологические маркеры часто ограничены из-за низкой продуктивности биоты. В связи с этим возрастает роль минералого-геохимических индикаторов, среди которых наиболее чувствительными к термодинамическим и физико-химическим параметрам среды (pH, Eh растворов) являются тонкодисперсные слоистые силикаты (Дриц, Коссовская, 1991).

Минералы групп хлорита и слюд обладают лабильным изоморфизмом. Индекс структурной асимметрии хлоритов, характер послойного распределения катионов железа и магния между жестким талькоподобным 2:1 каркасом и межслоевым бруситовым 1:1 слоем (Дриц, 1981), а также степень гидратации и состав слюд напрямую зависят от насыщения кислородом придонных слоев и проточности бассейна. В настоящей работе впервые на основе непрерывного высокоразрешающего кристаллохимического профилирования керна донных отложений озера Верхние Богуты проведена детальная реконструкция палеогидрологического режима водоема в позднем плейстоцене — голоцене.

Высокогорное озеро Верхние Богуты (высота уреза воды — 2468 м над у.м.) расположено в восточной части Кош-Агачского района Республики Алтай вблизи российско-монгольской границы. Водоем имеет сложную форму, изрезанную береговую линию, площадь 2,13 км² и максимальную глубину 4 м. Через озеро протекает р. Богуты (бассейн р. Чуя). Район озера отличается суровым резко континентальным климатом и полным отсутствием древесной растительности (высокогорная тундростепь).

Материалы и методы. Объектом исследования послужили два керна донных отложений оз. Верхние Богуты VB-1 (49°42'16.35" с.ш., 89°32'2.46" в.д.) и VB-2 (49°42'17.02" с.ш., 89°32'0.65" в.д.), отобранные с глубины 2,5 м. Литологический разрез мощностью до 4,71 м имеет трехчленное строение (снизу верх): алевритистая глина, переходная зона и биогенно-терригенный ил. Возраст изученной толщи охватывает последние 24 тыс. кал. л. н., включая максимум последнего оледенения (MIS 2) и голоцен (Агатова и др., 2024).

Максимальная глубина изученных отложений составила 3,88 м. Опробование проводилось через 1-3 см, что обеспечило получение репрезентативной выборки из 133 образцов. Минеральный состав осадков исследовался методом порошковой рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре ДРОН-8 (CuKα-излучение, диапазон 2–65° 2θ, шаг 0,05°, экспозиция 3 с). Диагностика фаз проводилась как в исходных (воздушно-сухих), так и в насыщенных этиленгликолем препаратах для прецизионного анализа смешанослойных фаз.

Результаты и обсуждение. В составе исследованных отложений повсеместно преобладают слоистые силикаты, кварц и полевые шпаты; локально отмечаются гипс, амфибол и пирит. Группа слоистых силикатов представлена хлоритом (от железисто-

магнезиального до магнезиально-железистого состава), слюдами (биотит, мусковит, иллит) и смешанослойным иллит-смектитом с варьирующим соотношением слоев.

По изменению минеральных ассоциаций в разрезе выделено четыре ключевых интервала:

Интервал 388–325 см (нижняя часть разреза). Наблюдается высокое содержание кварца, альбита, калиевого полевого шпата, железистой триоктаэдрической слюды и железисто-магнезиального хлорита при участии амфибола и кальцита (рис. 1е). Такая ассоциация отражает доминирование процессов физического выветривания и депонирование неизмененного материала в холодный и сухой криоаридный период.

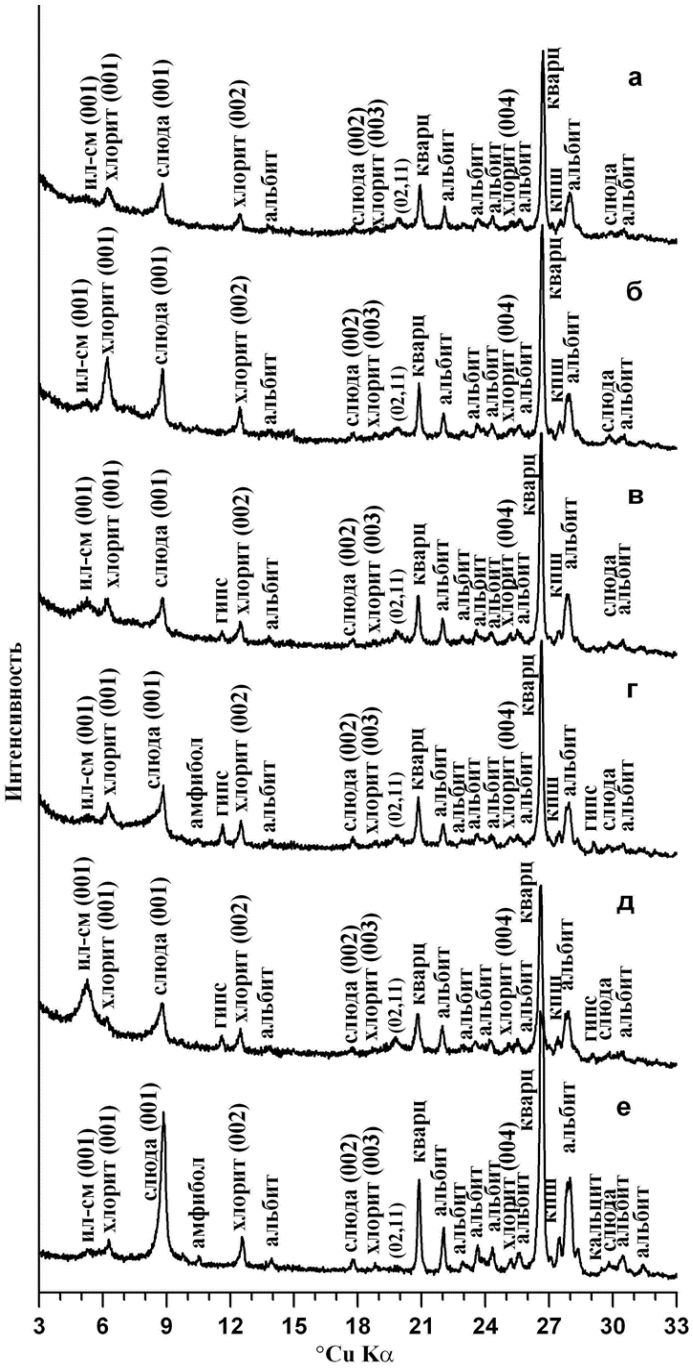


Рис. 1. Характерные рентгеновские спектры отложений оз. Верхние Богуты:
а – гл. 24 см, б – гл. 70 см, в – гл. 174 см, г – гл. 215 см, д – гл. 291 см, е - гл. 366 см

Интервал 324–238 см. Отмечено снижение концентраций кварца и полевых шпатов на фоне смены состава слюд (преобладают мусковит и иллит) и появления гипса. Фиксируется резкий рост доли иллит-смектита, где содержание смектитовых слоев достигает 95% (рис. 1д). Это свидетельствует об интенсификации химического выветривания на водосборе в условиях гумидизации климата.

Интервал 237–181 см. Характеризуется незначительным увеличением содержания кварца и полевых шпатов. Хлорит сменяется магнезиально-железистой разновидностью. Общее количество иллит-смектита падает, а доля смектитовых слоев в нем сокращается до 30% (рис. 1г). Данная тенденция указывает на аридизацию климата, подавлявшую развитие смектитовых пакетов.

Интервал 180–0 см характеризуется циклической сменой трех минеральных ассоциаций (рис. 1 в, а, б): гумидной (с ростом доли иллит-смектита до 70%), переходной/аридной (со слабой выраженностью рефлекса иллит-смектита) и динамической, отличающейся аномально высокой интенсивностью рефлекса 001 хлорита, что фиксирует масштабные перестройки в бассейне.

Заключение. Кристаллохимические параметры и эволюция ассоциаций слоистых силикатов в керне оз. Верхние Богуты выступают надежным индикатором палеоклиматических изменений Юго-Восточного Алтая на протяжении последних 24 тыс. лет. Выявленная динамика отражает последовательную смену криоаридных условий этапами кратковременного, но интенсивного химического выветривания (гумидизации) и последующей стабилизации климата, осложненной высокоамплитудными циклическими колебаниями в голоцене.

Список литературы

1. Агатова А.Р., Непоп Р.К., Щетников А.А., Крайнов М. А., Иванов Е. В., Филинов И. А., Динг П., Шу Я. Первые результаты исследований донных отложений высокогорных озер аридной зоны Русского Алтая // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2024. – Т. 514, № 1. – С. 172–180.
2. Дриц В. А. Кристаллохимия минералов и метод дифракции электронов / В. А. Дриц. — М.: Наука, 1981. — 256 с.
3. Дриц В. А. Глинистые минералы: слюды, хлориты / В. А. Дриц, А. Г. Коссовская. — М.: Наука, 1991. — 214 с. — (Труды Геологического института АН СССР; вып. 465).

Сухонское приледниковое озеро в контексте истории озёр по периферии последнего Скандинавского оледенения: возраст и конфигурация

Зарецкая Н.Е., Баранов Д.В., Уткина А.А., Шухвостов Р.С.

Институт географии РАН, Москва, n_zaretskaya@inbox.ru

Введение. Подпруживание ледниками речных долин, перестройка систем стока и формирование приледниковых озёр – взаимосвязанные явления, являющиеся объектом палеолимнологических исследований. Последнее Скандинавское (оно же поздневалдайское или осташковское) оледенение, блокируя реки северного стока, являлось причиной формирования приледниковых подпрудных озёр в их долинах. Юго-восточная макролопасть ледника блокировала реки бассейна р. Северной Двины, формируя подпрудные озёра в долине реки и её притоков (Квасов, 1975; Zaretskaya et al., 2024). Д.Д. Квасов реконструировал обширные Котласское приледниковое озеро в долине р. Северной Двины, Важское – в долине Ваги, а в долине Сухоны – Сухонское приледниковое озеро, которое во время максимума последнего оледенения сообщалось с Костромским, и, таким образом, входило в Верхневолжскую систему приледниковых озёр (Квасов, 1975). В дальнейшем идея формирования Сухонского приледникового водоёма была развита во время геологической съёмки (Государственная..., 1989; Гей и др., 2000): было выдвинуто предположение, что Сухонское приледниковое озеро начало формироваться во время деградации московского оледенения, и существовало в течение микулинского межледниковья и всей валдайской эпохи, с максимальным уровнем воды 130 м н.у.м. во время деградации последнего оледенения. Применение в начале XXI века цифровых моделей рельефа и анализа космических снимков привело, с одной стороны, к "продвижению" юго-восточной лопасти Скандинавского ледника на восток, в связи с чем конфигурация приледниковых озёр по её периферии также сильно поменялась (Larsen et al., 2014), а с другой – к выделению 3 отдельных приледниковых бассейнов в долине р. Сухоны (Анисимов и др., 2016). Разнообразие существующих концепций, а также интерес к существованию соединений между Важским и Сухонским озёрами с севера, и Сухонским и Костромским озёрами с юга, мотивировали нас к проведению исследований с целью установления возраста, размеров и конфигурации приледникового бассейна в долине р. Сухоны за последние 150 тысяч лет.

Методы. Во время полевых исследований было проведено бурение поперечного профиля через долину р. Сухоны усовершенствованным шнековым способом с помощью буровой установки «Pride Mount 80», смонтированной на базе автомобиля УАЗ 3303. Кроме того, отложения Сухонского приледникового озера были прослежены нами в разрезах в нижнем течении притоков р. Сухоны (реки Царева, Леденьга, Старая Тотьма и Городишна). Проводилось литостратиграфическое изучение разрезов и кернов скважин и отбор образцов на геохронологические (ОСЛ и радиоуглеродные) исследования.

Результаты. Исследование доступных обнажений показало, что слои ленточноподобных глин мощностью не более 5 метров залегают на высотах в диапазоне от 117-126 до 110-116 м н.у.м.; высота их кровли снижается вниз по течению современной Сухоны. Из разреза в приустьевой части р. Старая Тотьма под дистальными ритмично-слоистыми осадками была получена ^{14}C дата 43-42 тыс. кал. л.н. Ниже устья р. Старой Тотьмы ритмично-слоистые отложения выклиниваются, и в кровле разреза в нижнем течении р. Городишны уже залегает морена средненеоплейстоценового оледенения (Государственная…, 1989).

В нижнем течении р. Царева в 13-метровом разрезе на её левом берегу вскрываются две толщи ритмично-слоистых отложений. Нижняя (глубины 12.7-11.7 м от бровки разреза) представлена очень плотной коричневой ритмично-слоистой ожелезнённой пачкой – тонким переслаиванием глины и алеврита. На нижних ритмитах с эрозионной границей залегает несортированная толща (11.7-8.5 м), состоящая из пачек разнозернистого песка с обломочным материалом размером от гравия до валунов, крупнослоистых пачек дресвы и гравия в заполнителе из разнозернистого песка, и переслаивания серой алевритистой глины и разнозернистого песка; из этой толщи с глубин 11 и 9 м были получены ОСЛ-даты 73-72 тыс. л.н. На этой толще несортированных отложений залегает верхняя ритмично-слоистая толща (8.5-0 м), состоящая из нескольких пачек ритмитов (тонкозернистого песка, алеврита и алевритистой глины), чередующихся с прослоями разнозернистого песка с гравием и галькой. В нижней части толщи мощность прослоев песка достигает 15 см, глины – 10 см, вверх по разрезу она уменьшается до 0.5-1 см. Из нижней части пачки была получена ОСЛ-дата 71 тыс. л.н., а из верхней – серия ^{14}C и ОСЛ дат в диапазоне 23-18 тыс. л.н.

По всему разрезу распространены палеокриогенные клиновидные структуры. Все обнаруженные структуры можно отнести к псевдоморфозам по повторно-жильному льду. Максимальная вертикальная протяженность до 2.8 м, минимальная – до 1.3 м. Ширина в устье варьируется от 20 до 40 см. Во вмещающих породах часто наблюдаются сбросовые деформации амплитудой до 10 см, а также отгибание слоев со следами течения вниз по оси клиньев. Все трещины заполнены материалом из перекрывающих слоев.

На более низких уровнях долинного комплекса р. Сухоны (105-110 м н.у.м.) было проведено бурение по профилю в створе г. Тотьмы. Здесь ниже 100 м н.у.м. вскрывается средненеоплейстоценовый аллювий, по-видимому, относящийся к фазе деградации московского оледенения (160-130 тыс. л.н.). После перерыва его перекрывает ранне-средневалдайский аллювий (86-54 тыс. л.н.), формирующий цоколь низкой террасы р. Сухоны. Голоценовых отложений не обнаружено; по-видимому, они слагают самую верхнюю часть низкой террасы реки.

Заключение. Таким образом, из полученных новых геохронологических и литостратиграфических данных можно заключить, что в долине р. Сухоны в конце среднего и в позднем неоплейстоцене формировались обширные водоёмы преимущественно приледникового генезиса. Возраст и конфигурацию позднемосковского водоёма оценить пока не представляется возможным. После его деградации в долине р. Сухоны текла река и шло накопление аллювия; при этом основной сток воды мог проходить по руслу в стороне от современного. Начиная со средневалдайского времени в верховьях Сухоны снова образовался водоём, достигший своего максимума в поздневалдайское время в период с 23 до 18 тыс. л.н. По-видимому, он формировался в приледниковом прогибе, поэтому после деградации ледника и спуска озера из-за гляциоизостатической адаптации лимногляциальные отложения получили обратный уклон, в сторону современного устья реки.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 26-17-00259п.

Список литературы

1. Анисимов Н.В., Субетто Д.А., Максутова Н.К. Реконструкция приледниковых озёр юго-восточной периферии Скандинавского ледникового щита в неоплейстоцене и голоцене // Общество. Среда. Развитие. 2016. № 4 (41). С. 165-169.

2. Гей В.П., Плешивцева Э.С., Ауслендер В.Г. Проблемы стратиграфии четвертичных отложений и краевые ледниковые образования Вологодского региона. Материалы международного симпозиума. М.: ГЕОС, 2000, 99 с.
3. Государственная геологическая и гидрологическая карты СССР, масштаб 1:200000, серия Мезенская (листы P-38-XXXI, P-38-XXXII, P-38-XXXIII, O-38-I, O-38-II), объяснительная записка. М., 1989, 157 с.
4. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 278 с.
5. Larsen E, Fredin O, Jensen M, et al. 2014. Subglacial sediment, proglacial lake-level and topographic controls on ice extent and lobe geometries during the Last Glacial Maximum in NW Russia. Quaternary Science Reviews, v. 92, p. 369–387.
6. Zaretskaya N., Utkina A., Baranov D., Panin A., Trofimova S., Simakova A., Kurbanov R. Limited extension of the MIS 2 proglacial lake in the Severnaya Dvina valley, south-eastern margin of the last Scandinavian Ice Sheet. Journal of Quaternary Science, 2024b, 39(1), 82-101 DOI: 10.1002/jqs.3

Ландшафтно-климатические изменения в пределах гидрологического заказника «Гайно-Бродня» на примере поздне- и послеледниковой истории развития озера Великое (Республика Беларусь)

Зерницкая В.П.[1], Власов Б.П.[2], Кухарик Е.А.[1], Можейко А.К.[2]

[1] Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь, valzern@gmail.com

[2] Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, borisvlasov@gmail.com

Введение. Гидрологический заказник «Гайно-Бродня» расположен в восточной окраинной части Минской возвышенности, основные черты рельефа которой сформировались во время припятского (днепровская и сожская стадии) оледенения. Наибольшую роль в строении возвышенности играют моренные отложения сожского (московского) возраста, представленные валунными супесями и суглинками. Краевые комплексы расчленены ложбинами ледникового выпахивания и размыва. Территория заказника заболочена и занимает наиболее пониженные участки земной поверхности, приуроченные к абсолютным отметкам 164–168 м в пределах флювиогляциальной равнины, к которой с северо-запада примыкает древняя долина стока ледниковых вод, унаследованная р. Гайна (Матвеев и др., 1988). В границах заказника велась добыча торфа и в настоящее время выработанные участки затоплены. Оставшимися архивами ландшафтно-климатической истории развития этой территории являются отложения озер (Великое, Святец, Малое) позднеледникового возраста (рис. 1).

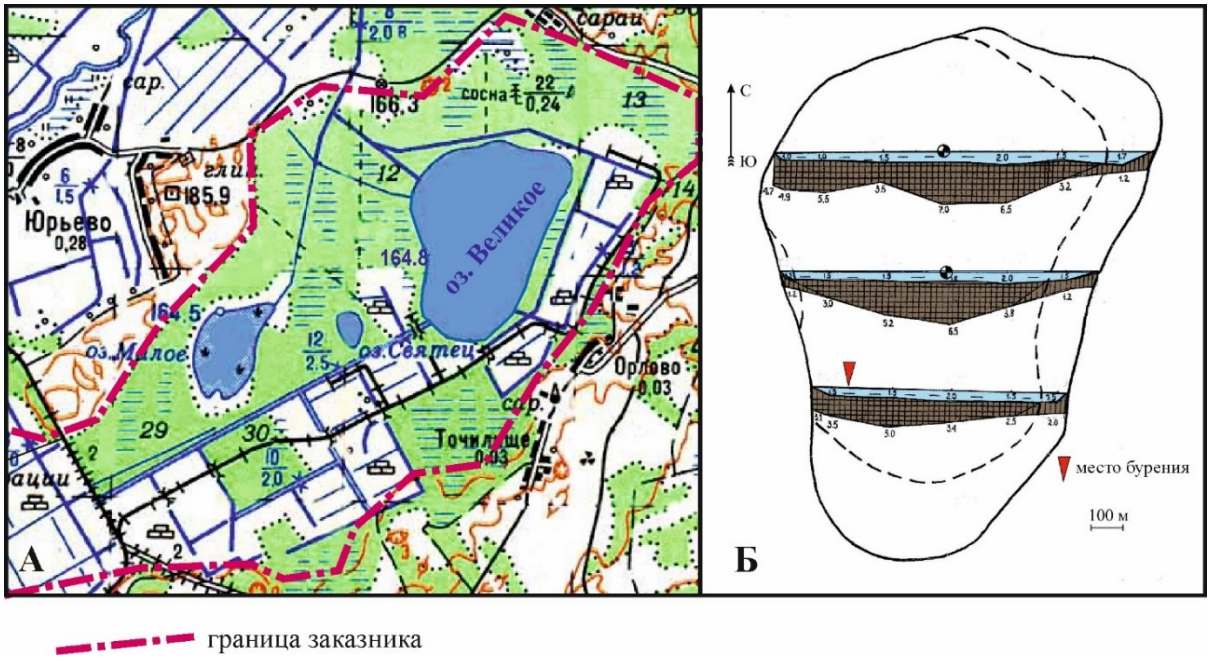


Рис. 1. Схема расположения гидрологического заказника «Гайно-Бродня» (А) и батиметрическая схема оз. Великое (Б)

Материалы и методы исследования. Для восстановления динамики окружающей среды в позднеледниковье и голоцене были изучены отложения оз. Великое, которое расположено в центральной части территории заказника «Гайно-Бродня». Ранее исследования позднеледниковых и раннеголоценовых аккумуляций этого водоема были представлены в работе (Stančikaitė et al., 2022). Новые данные, полученные при изучении верхней части разреза, приуроченного к сублиторальной зоне озера, позволили проследить ландшафтно-климатические изменения в течение голоцена и уточнить возрастные диапазоны динамики природных событий в позднеледниковье.

Выполненные реконструкции базируются на результатах палеоботанических (пыльца и споры, макроостатки, устьица, спорангии и др.), литологических (LOI) и изотопных (^{14}C) исследований.

Полученные результаты. Начало накопления озерных отложений, которые представлены плотными илами черного цвета с включением карбонатов, в прибрежной части озерной котловины датируется AL в интервале 13500–13200 кал. л. н. Разреженный лесной покров состоял из сосново-березовых сообществ, в напочвенном покрове доминировали светолюбивые травы, на увлажненных участках бриевые мхи, вдоль берега рос рогоз.

Во временном интервале 13200–12700 кал. л. н. отмечен подъем уровня озерных вод и накопление кремнеземистого слабокарбонатного сапропеля. В структуре лесов сокращается участие березы, появляется ель. Водная растительность характеризуется расцветом харовых водорослей, присутствием рдестов и кувшинок (Stančikaitė et al., 2022).

В позднем дриасе (12700–11700 кал. л. н.) в озере продолжал накапливаться слабокарбонатный кремнеземистый сапропель, в составе которого возросла доля органического вещества и минеральной фракции, что может свидетельствовать об активизации эрозионных процессов. На прилегающей территории сократились площади, занятые лесом, в структуре которого доминировала ель, возросла доля кустарников и открытых пространств, покрытых высокотравной растительностью с преобладанием полыни. В водоеме сократилось присутствие харовых водорослей и прибрежной водной растительности. Описанные изменения в природной среде были вызваны похолоданием климата.

Быстрые изменения лесной растительности отмечены в начале голоцена: в интервале 11700–11400 кал. л. н. доминировали сосновые леса; 11400–10000 кал. л. н. – березовые; 10000–9000 кал. л. н. – смешанные сосново-березовые с участием вяза и лещины; 9000–8000 кал. л. н. – сосново-широколиственные и ольховые леса. Около 11400 кал. л. н. произошла резкая смена режима осадконакопления: в озере начинает накапливаться слоистый карбонатный сапропель с включениями вивианита вплоть до временного рубежа ~8000 кал. л. н. Присутствие вивианита в отложениях может быть маркером, указывающим на заболачивание прилегающей территории (источник поступления железа), а анаэробные условиях необходимые для его образования – на повышение уровня воды в водоеме. Изменился состав водной растительности: харовые водоросли и рдесты исчезают, а в интервале от 10500 до 8000 кал. л. н. отмечено преобладание наяд, рогоза, кубышек и кувшинок (Stančikaitė et al., 2022).

Около 8000 кал. л. н. аккумуляция карбонатного сапропеля в прибрежной зоне озера прекратилась, началось накопление органических илов, которое продолжалось до ~7000 кал. л. н. В пределах водоема постепенно сокращается присутствие водной растительности, увеличивается распространение водно-болотной флоры. В составе смешанных хвойно-широколиственных лесов возросло участие ели.

Во временном интервале от 6800 до 4200 кал. л. н. отмечено падение уровня водоема, которое в отложениях маркируется торфянистым слоем. В напочвенном покрове доминируют папоротники. Реорганизация лесного покрова была направлена на сокращение доли широколиственных пород и увеличение участия в нем хвойных.

Начиная с ~4200 кал. л. н. уровень в озере начал повышаться, возобновилась аккумуляция органических илов. По берегам рос тростник, сфагновые мхи и папоротники. Повышенные участки рельефа были покрыты сосновый лесом с участием дуба и граба, по склонам и в более увлажненных местах произрастала ель, в окрестностях озера – ольха, а на низинных болотах территории заказника «Гайно-Бродня» – береза.

В настоящее время, в результате антропогенного воздействия, лесные ландшафты, в которых преобладают сосновые, еловые и березовые формации, встречаются ограниченно по берегам водоемов, окраинам болот, участками в пределах моренных возвышенностей. Подлесок представлен крушиной, рябиной, ивой, ежевикой и малиной, реже встречается можжевельник, калина и др. (рис. 2).



Рис. 2. Озеро Великое и окружающие его антропогенно нарушенные ландшафты (фото С. Плыткевича, https://planetabelarus.by/sights/ozero-velikoe-smolevichi/)

Благодарности. Результаты исследований получены в Институте природопользования НАН Беларуси при выполнении НИР «Изучение особенностей накопления и распределения газов в воде и донных отложениях разнотипных озер Беларуси и их роль в формировании экологического состояния водоемов» (2024–2025 гг.).

Авторы благодарят сотрудников Центра природных исследований Литвы за предоставленные данные при проведении совместных исследований позднеледниковой толщи оз. Великое.

Список литературы

1. Матвеев А.В., Гурский Б.Н., Левицкая Р.И. Рельеф Белоруссии. Мн.: Университетское, 1988. 320 с.
2. Stančikaitė M., Zernitskaya V., Kluczynska G., Valūnas D., Gedminienė L., Uogintas D., Skuratovč Ž., Vlasov B., Gastevičienė N., Ežilvinas Ž., Šapolaitė J., Šeirienė V. The Lateglacial and Early Holocene vegetation dynamics: New multi-proxy data from the central Belarus // Quaternary International. 2022. V. 630. P. 121–136.

Распределение хлорфенольных соединений в торфе верховых болот Европейского Севера России

Колпакова Е.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН, Архангельск, kolpelen@yandex.ru

Введение. Актуальной экологической проблемой современности является накопление в природной среде хлорорганических соединений различной степени токсичности антропогенного и естественного природного происхождения. Значительная часть хлорорганических соединений способна переноситься на локальные, региональные и межгосударственные расстояния в атмосфере в газообразном состоянии либо в адсорбированном виде на пылевых частицах. В северных широтах при снижении температуры и уменьшении летучести таких веществ вместе с атмосферными осадками происходит их осаждение на земную поверхность. Образование природных хлорорганических соединений в окружающей среде обусловлено процессами ферментативного биосинтеза и биотрансформации (Gribble, 2023). Одной из наиболее распространённых групп подобных веществ являются хлорфенольные соединения (ХФС), включающие хлорированные фенолы и их производные, различающиеся по степени токсичности и липофильности.

Торф представляет собой сложный комплекс органических компонентов, характеризующийся высокой концентрацией функциональных групп и развитой пористой структурой. Благодаря этим свойствам верховые торфяники способны эффективно аккумулировать широкий спектр токсикантов различного происхождения и физико-химических характеристик, поступающих с атмосферными выпадениями.

На территории Европейского Севера России, в том числе в Архангельской области, заболоченные ландшафты занимают до 70 % площади. Одновременно регион является одним из крупнейших центров лесопромышленного производства страны. В течение многих десятилетий для защиты экспортируемых пиломатериалов использовался хлорфенольный биоцид, содержащий значительное количество токсичных хлорорганических соединений, включая стойкие загрязнители. Ранее было установлено, что загрязнённые почвы промышленных площадок деревообрабатывающих предприятий длительное время выступают вторичными источниками поступления хлорорганических соединений в природные экосистемы (Колпакова, 2019). Особенности климата региона и высокая степень заболоченности создают условия для накопления разнообразных ХФС различного происхождения.

В лаборатории экоаналитических исследований ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН собран значительный объём данных о содержании ХФС в водных объектах Европейского Севера России, включая воду, донные отложения и почвы, расположенные на разном удалении от источников антропогенного воздействия. Вместе с тем сведения о содержании этих соединений в торфяных отложениях остаются ограниченными и фрагментарными

Объекты и методы. В качестве объекта исследования был выбран Иласский болотный массив, относящийся к прибеломорскому типу верховых болот, наиболее широко распространённому в Архангельской области.

В качестве целевых ХФС для исследований были выбраны компоненты хлорфенольного биоцида (пентахлорфенол и тетрахлорфенолы) и их производные (моно-, ди-, трихлорфенолы; хлоргваяколы и хлоркатехолы).

Поскольку верховые болота питаются преимущественно атмосферными осадками, поступление загрязняющих веществ в торфяную толщу осуществляется главным образом воздушным путём. Высокое содержание органического вещества и кислая реакция среды способствуют быстрому закреплению ХФС в торфе. По этой причине для исследования была выбрана верхняя метровая часть торфяной залежи.

Отбор образцов проводили методом послойного бурения с применением торфяного пробоотборника из нержавеющей стали Р 04.09 (EIJKELKAMP, Нидерланды). Диаметр получаемого керна составлял 52 мм. Всего было отобрано десять образцов с шагом 10 см по глубине.

Экстракцию ХФС из воздушно-сухих образцов осуществляли методом жидкостной экстракции в аппарате Сокслета смесью гексана и ацетона (3:1) на протяжении 16 часов. Количественное определение соединений выполняли согласно стандарту ISO 14154:2005 методом капиллярной газовой хроматографии с электронозахватным детектором на приборе «Кристалл 5000.1» («Хроматэк», Россия). Суммарное содержание ХФС рассчитывали как сумму концентраций соединений в легко- и трудноэкстрагируемых фракциях.

Элементный состав торфа определяли методом сжигания на CHN-анализаторе EuroEA 3000 CHN.

Обсуждение. Иласский болотный массив представляет собой крупную систему преимущественно верховых болот общей площадью свыше 90 км². Он относится к европейским субокеаническим сфагновым северным бореальным болотам. Торфяная толща сформирована слаборазложившимся верховым торфом, который непосредственно залегает на глинисто-суглинистой морене. Подстилающие породы представлены песчаниками и слоистыми глинами. Средняя мощность торфяной залежи составляет 3–3,5 м, а максимальная достигает 6–8 м.

Степень разложения торфа не превышает 12 %, а её средние значения находятся в пределах 4–5 %. Максимальная степень разложения зафиксирована в горизонте 30–40 см (11,8 %), тогда как минимальные значения (3–5 %) отмечены в поверхностных слоях и на глубинах 50–100 см.

Содержание минеральной части варьирует от 0,05 до 0,34 % массы торфа. Наиболее высокие значения характерны для верхних горизонтов, а с увеличением глубины наблюдается снижение доли минеральных компонентов. Элементный состав органического вещества остаётся относительно стабильным: содержание углерода составляет 47,2–48,6 %, водорода — 6,1–6,5 %, азота — 0,61–1,00 %. При этом отношение C/N увеличивается по мере углубления в профиль. Для торфяной залежи характерен выраженный градиент окислительно-восстановительных условий: от окислительных процессов в поверхностных слоях до интенсивно восстановительной среды ниже 50 см.

Хлорфенольные соединения были выявлены во всех исследованных образцах, однако их концентрации существенно различались по глубине. Из 34 анализируемых соединений были обнаружены только хлорированные фенолы, тогда как их производные (хлоргваяколы и хлоркатехолы) отсутствовали.

Максимальное накопление ХФС отмечено в верхних 40 см торфяной толщи. Наибольшие концентрации зарегистрированы в слоях 0–10 см (1,437 мкг/г) и 20–40 см (0,894 мкг/г).

Согласно данным датирования по изотопу Pb-210, возраст торфа на глубине 50 см составляет около 120–130 лет (Yakovlev, 2022). Расчёты средней скорости торфонакопления показывают, что верхние 40 см сформировались начиная с 1920–1930-х годов

и до настоящего времени. Этот период соответствует эпохе активного развития хлорной химии, сопровождавшейся масштабным производством и использованием хлорорганических соединений в Европе и европейской части России. Вероятно, именно этим объясняется повышенное содержание ХФС в верхней части профиля.

Основную долю (50–90 %) суммарного содержания ХФС составляют низкохлорированные фенолы — прежде всего 4-хлорфенол, а также 2,4- и 2,6-дихлорфенолы. Концентрация наиболее токсичного представителя группы — пентахлорфенола — не превышала 4 % от общего содержания ХФС. Его максимальное количество (0,0026 мкг/г) обнаружено в горизонтах до 30 см.

Кроме того, во всех исследованных слоях выявлены хлорфенолы, характерные для процессов горения и сжигания органического топлива (Kokryatskaya, 2026). Их присутствие может быть связано с атмосферным переносом вместе с пылевыми и зольными частицами.

Известно также, что ХФС способны образовываться в результате естественных биотических и абиотических процессов. В частности, моно- и дихлорфенолы синтезируются некоторыми видами лишайников, почвенных грибов и микроорганизмов (Gribble, 2023).

Заключение. Впервые получены сведения о содержании и вертикальном распределении хлорфенольных соединений в торфяной толще верхового болота Европейской субарктической зоны России. Хлорфенольные соединения, в том числе стойкие, обнаружены по всему исследованному профилю, однако их максимальное накопление характерно для верхних горизонтов торфяной залежи (до 40 см).

Установлено присутствие в торфяной залежи широкого спектра хлорфенольных соединений, происхождение которых связано не только с атмосферным переносом загрязняющих веществ, но и с естественными биотическими и абиотическими процессами, протекающими в окружающей среде.

Список литературы

1 Gribble G. W. Naturally Occurring Organohalogen Compounds. Seria: Progress in the Chemistry of Organic Natural Products. Springer Cham, 2023. V. 121. 546 p.

2 Kokryatskaya N. M., Velyamidova A. V., Kolpakova E. S., Losyuk G. N., Vakhrameeva E. A. Sulfur and chlorine compounds in water and sediments of Mogilnoe Lake (Kildin Island, Barents Sea, Russian Federation) // Environmental Science and Pollution Research. 2026. V. 33. № 15. P. 7252-7262.

3 Yakovlev E., Orlov A., Kudryavtseva A., Zykov S. Estimation of physicochemical parameters and vertical migration of atmospheric radionuclides in a raised peat-bog in the Arctic zone of Russia // Applied Sciences. 2022, V. 12, Art. 10870. P. 1-21.

4 Колпакова Е. С., Вельямидова А. В. Стойкие органические загрязнители в современных почвах на юге Архангельской области // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 3. С. 32-41.

Новые данные о трансгрессии озера Ильмень в голоцене

Комагорова М.А.[1,2], Борисевич Е.А.[1,3], Украинцев В.Ю.[1], Шашерина Л.В.[1], Лудикова А.В.[4], Панин А.В.[1]

[1] Институт географии РАН, Москва, egorova.com@gmail.com

[2] Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва

[3] Новгородский государственный университет, Великий Новгород

[4] Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург

Введение. Реконструкция динамики уровней крупных озёр (>1000 км²) является ключевым направлением палеогеографических исследований, поскольку такие водоёмы аккумулируют информацию о региональных изменениях географической среды (Cohen, 2003; Magny, 2004; Субетто, 2009). Для северо-запада Восточно-Европейской равнины особую значимость имеют реконструкции за последние 10 тыс. лет, когда происходило активное заселение территории человеком (Еремеев, Дзюба, 2010).

Вопрос об изменении уровня озера Ильмень до сих пор остаётся дискуссионным. Различные гипотезы о его трансгрессиях и регрессиях высказывались археологами (Передольский, 1893; Иностранцев, 1905), геологами и палеогеографами (Соколов, 1926; Былинский, 1959; Давыдова и др., 1992; Васильева и др., 2012), однако фактические данные остаются немногочисленными. Некоторые исследователи предполагают подъём уровня до 30 м н.у.м. в суббореале (Васильева и др., 2012), тогда как другие указывают на более низкие уровни в голоцене (Виноградов и др., 2019). Современный уровень оз. Ильмень изменчив – инструментально зафиксированные максимальные сезонные колебания от 16 до 23 м (Виноградов, 2019)

Всего в Северном Приильменье проведено бурение 22 скважин, геодезические измерения, диатомовый анализ отложений и изучение данных археологических исследований.

Результаты. *Западный берег.* На абсолютных отметках выше 20,6 м н.у.м. скважинами вскрыты флювиогляциальные или озёрно-ледниковые отложения (коричневые глины с прослоями алеврита). Диатомовый анализ проб, отобранных в двух скважинах, подтверждает их озёрно-ледниковое происхождение: крайне низкое содержание створок диатомей свидетельствует об ультрапресных водах и поступлении больших объемов взвешенных минеральных частиц, осаждавшихся на дне водоема, что характерно для приледниковых бассейнов. Единственная скважина, расположенная на высоте 19,5 м н.у.м., вскрывает современный пойменный осадок близлежащей протоки.

Восточный берег. Наиболее низко расположенная скважина (19,47 м н.у.м.) вскрывает в кровле современный пойменный осадок, подстилаемый коричневыми глинами озёрно-ледникового генезиса. Скважины, расположенные выше этого уровня, обнаруживают флювиогляциальный песок и озёрно-ледниковые отложения большой мощности.

Северный берег. В скважинах на высотах 19,76 м н.у.м. и 22,35 м н.у.м. приповерхностные отложения интерпретируются нами как техногенные или пойменные осадки локальных водоёмов, не связанные с трансгрессией оз. Ильмень.

Археологические данные. На стоянке Юрьево (левый берег р. Волхов) выявлен культурный слой неолитического времени, перекрытый серо-коричневой алевритистой глиной. По нагару на дне обнаруженного в одном из шурфов глиняного сосуда получена радиоуглеродная дата, которая может маркировать время бытования стоянки, когда трансгрессия еще не началась. Также то, что кровля культурного слоя находится на абс. высоте 17,4 м н.у.м. свидетельствует о более низком уровне озера во время бытования стоянки.

Обсуждение. Полученные в ходе комплексного исследования данные позволяют существенно уточнить представления о динамике уровня озера Ильмень в голоцене. Ключевым результатом является отсутствие во всех изученных разрезах, расположенных на абсолютных отметках выше 19,5 м н.у.м., отложений озёрного генезиса голоценового возраста. Этот факт имеет принципиальное значение для оценки масштабов возможных трансгрессий: если бы уровень озера действительно поднимался до 30 м н.у.м., как предполагалось в ряде работ (Вербицкий, 2007, Васильева и др., 2012), то на прибрежных территориях должны были сохраниться соответствующие осадки. Однако буровые работы, охватившие различные элементы рельефа Северного Приильменья, не выявили таких отложений. Вместо них на высоких отметках вскрываются преимущественно озёрно-ледниковые и флювиогляциальные образования, что согласуется с данными более ранних исследований (Соколов, 1926; Малаховский и др., 1960; Вербицкий и др., 2007).

Результаты диатомового анализа играют важную роль в интерпретации генезиса вскрытых отложений. Низкое содержание створок диатомей в пробах из верхних интервалов скважин указывает на обстановки, неблагоприятные для развития этой группы водорослей (дефицит биогенных элементов, низкая прозрачность водной толщи, обусловленная высоким содержанием взвешенного вещества), а также аккумуляции створок (терригенное разбавление концентраций микрофоссилий в осадках в результате осаждения больших объемов минеральных частиц). Наряду с присутствием планктонной *Aulacoseira islandica*, характерного вида приледниковых бассейнов Северо-Запада, это свидетельствует об осадконакоплении в условиях приледникового водоёма. Такие условия характерны для этапа деградации ледникового покрова, а не для голоценовых озёрных бассейнов. Высокое содержание фитолитов и присутствие видов-аэрофилов *Hantzschia amphioxys* и *Pinnularia* spp. в ряде проб свидетельствует о последующем установлении субаэральных условий и развитии почвенных процессов, что также не соответствует обстановке устойчивого субаквального осадконакопления, ожидаемой при масштабной трансгрессии.

Археологические данные со стоянки Юрьево предоставляют важную хронологическую привязку для реконструкции уровня озера. Обнаружение неолитического культурного слоя на высоте 17,4 м н.у.м. и радиоуглеродные даты позволяют утверждать, что до середины голоцена уровень озера был существенно ниже современного, что создавало благоприятные условия для расселения древнего населения по берегам водоёма и впадающих рек. Затопление стоянки произошло при достижении уровня порядка 17,5 м н.у.м., что не превышает амплитуду современных внутригодовых колебаний озера (до 7 м). Этот факт ставит под сомнение представления о высоком стоянии уровня в атлантический период и его последующем снижении в суббореале, основанные на интерпретации диатомовых данных из донных отложений самого озера (Давыдова и др., 1992). Вероятно, различия обусловлены тем, что донные колонки отражают локальные изменения условий осадконакопления в центральной части озера, тогда как прибрежные разрезы фиксируют интегральную динамику уровня.

Вопрос о связи изменений уровня озера Ильмень с процессами в Ладожском озере остаётся дискуссионным. Гипотеза о синхронности «новоладожской» трансгрессии и подъёма уровня Ильменя, а также о влиянии прорыва р. Невы на гидрологический режим Ильмень-Волховского бассейна (Вербицкий и др., 2007; Васильева и др., 2012), не находит подтверждения в полученных данных. Если бы такая связь существовала, максимальный уровень озера Ильмень должен был наблюдаться в среднем голоцене, однако результаты наших исследований указывают на то, что современное стояние воды является наиболее высоким за всё послеледниковое время. Это согласуется

с данными по другим крупным озёрам региона, где также отмечается тенденция к постепенному повышению уровня в позднем голоцене под влиянием климатических и гляциоизостатических факторов (Константинов и др., 2021; Субетто и др., 2025).

Важным аспектом является учёт антропогенного влияния на гидрографию изученной территории. Северное Приильменье, особенно в районе Новгорода, подверглось значительным преобразованиям: осушение болот, спрямление русел, строительство каналов и насыпей. Это осложняет интерпретацию приповерхностных отложений в некоторых скважинах, где верхние горизонты могут представлять собой техногенные или пойменные осадки локальных водоёмов, а не отложения трансгрессии оз. Ильмень. Тем не менее, даже с учётом этих факторов, отсутствие голоценовых озёрных отложений на гипсометрически высоких отметках остаётся надёжным индикатором отсутствия масштабных подъёмов уровня.

Наконец, следует отметить, что изменчивость уровня озера Ильмень в последние 5000 лет, вероятно, определялась преимущественно климатическими факторами и режимом стока притоков, а не тектоническими или гляциоизостатическими процессами. Широкий диапазон современных колебаний (от ~16 до ~23 м н.у.м.) отражает высокую чувствительность озера к изменениям водного баланса, что, по-видимому, было характерно и для прошлого. Таким образом, реконструкции уровня должны учитывать не только средние значения, но и амплитуду краткосрочных флуктуаций, которые могли иметь существенное влияние на условия обитания древнего населения.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 25-27-00074

Список литературы

1. Васильева Н.В., Субетто Д.А., Вербицкий В.Р., Кротова-Путинцева А.Е. История формирования Ильмень-Волховского бассейна // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2012. С. 141–150.
2. Вербицкий В. Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 / В. Р. Вербицкий и др. // Изд-е 2-е. Серия Ильменская. Лист O-36-XIV (Великий Новгород). Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 255 с.
3. Виноградов А.Ю., Обязов В.А., Субетто Д.А. и др. Уровенный режим озера Ильмень // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. Вып. 2. С. 190–218.
4. Давыдова Н.Н., Субетто Д.А., Хомутова В.И. Озеро Ильмень // История озер Восточно-Европейской равнины. СПб: Наука, 1992. С. 101–117.
5. Еремеев И.И., Дзюба О.Ф. Очерки исторической географии лесной части Пути из варяг в греки. СПб: Нестор-История, 2010. 667 с.
6. Иностранцев А.А. Отчёт о поездках в местность «Коломцы» близ Новгорода // Известия Императорской Археологической Комиссии. 1905. Вып. 17. С. 127–132.
7. Константинов Е.А., Панин А.В., Карпухина Н.В. и др. Речное прошлое озера Селигер // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 5. С. 481–491.
8. Передольский В.С. Бытовые остатки насельников Ильменско-Волховского державства каменного века. СПб: Тип. А.С. Суворина, 1893. 339 с.
9. Соколов Н.Н. Геоморфологический очерк района р. Волхов и оз. Ильмень // Материалы по исследованию р. Волхов и его бассейна. Вып. VII. Л., 1926. С. 25–34.
10. Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. М.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 349 с.
11. Субетто Д.А., Разжигаева Н.Г., Рогозин Д.Ю. Донные отложения озер – сквозь время и пространство // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т. 56. № 4. С. 553–555.
12. Cohen A.S. Paleolimnology: The history and evolution of lake systems. Oxford: Oxford University Press, 2003. 500 p.
13. Magny M. Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements // Quaternary International. 2004. Vol. 113. P. 65–79.
14. Reimer P.J. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. Vol. 62(4). P. 725–757.

Обстановки осадконакопления в озере Сомино (Ярославская область) во второй половине голоцена

Константинов Е.А.[1], Кузьменкова Н.В.[2], Рудинская А.И.[1]

[1] Институт географии РАН, Москва, eakonst@igras.ru

[2] МГУ имени М.В. Ломоносова

Введение. Поздний голоцен представляет особый интерес для палеоэкологических исследований центра Русской равнины, поскольку именно в этот период природные системы претерпели существенные изменения, обусловленные как климатическими флуктуациями, так и нарастающим антропогенным воздействием. Однако большинство существующих реконструкций основаны на данных низкого временного разрешения – сотни лет. Повысить временное разрешение позволяют палеоархивы с высокими темпами прироста – например, озерные осадки с высокими скоростями седиментации.

В настоящем исследовании на основе изучения керна донных отложений SOM анализируются обстановки осадконакопления в озере Сомино (Ярославская область) за последние ~6000 лет. Донные отложения озера Сомино характеризуются уникальными мощностями сапропелевой толщи (до 40 м – Нейштадт, 1965), что делает этот объект одним из немногих седиментационных палеоархивов региона, способных обеспечить временное разрешение порядка 10–30 лет на протяжении всего позднего голоцена. Исследование опирается на широкий комплекс литологических методов, а также хронологию на основе трех независимых серий ^{14}C датировок и радиоцезиевой стратиграфии.

Результаты и обсуждение. Керн SOM был получен из южной части озера Сомино, где ранее были описаны максимальные мощности сапропеля (Нейштадт, 1965). Бурение выполнялось поршневым буром Ливингстона стык в стык. Общая длина проходки составила 15 м. К настоящему времени исследованы верхние 10 м керна.

Изменения удельной активности и запасов ^{137}Cs по глубине демонстрируют ассиметричное распределение с низкими значениями в интервале 0.85-0.55 м, выраженным пиком на глубине 0.45 м, постепенным спадом на глубинах 0.4-0.2 м и небольшим ростом значений на глубинах 0.15-0.0 м. На основании представлений об интенсивности выпадений ^{137}Cs на территории центра европейской части России (Вакуловский и др., 1998; Филиппова и др., 2023) пик 0.45 м интерпретируется как след Чернобыльской катастрофы (1986 год). Пик глобальных выпадений не фиксируется.

Глубинно-возрастная модель по колонке SOM охватывает верхние 8.5 м. В интервале верхних трех метров наблюдается большой разброс дат. Приоритет в выборе траектории модели был отдан молодым датам по древесным макроостаткам, которые считаются более надежным материалом для датирования, чем TOC (Andree et al., 1986). Кроме того, выбранная траектория лучше согласуется с цезиевой датировкой.

Средние скорости осадконакопления за последние 6000 лет составили 1.7 мм/год. Среднее значение MAR (темпы прироста массы) составило 0.031 г/см^2 в год. В интервале от 5000 до 3000 лет назад наблюдается направленное падение MAR от 0.045 до 0.018 г/см^2 в год. Затем MAR выходит на плато низких значений в интервале от 3000 до 1100 лет назад. После чего наблюдается рост MAR, достигающий локального пика (0.052 г/см^2 в год) ~ 800 лет назад. Этот средневековый пик MAR может быть следствием активного освоения территории, распашки и сведения лесов, что сказалось на росте темпов эрозии и поступления наносов в системы стока. В XIX в и первой половине XX в значения MAR низкие ~ 0.025 г/см^2 в год, что может быть связано со строительством плотины на р. Векса, задерживающей существенную часть твердого стока. Максимальные значения MAR (до 0.07 г/см^2 в год) пришлись на вторую

половину XX века, что вероятно связано активизацией агрогенного поступления наносов и привноса большого количества биофильных элементов в озера в результате смыва удобрений с полей, которые увеличили биопродуктивность водных сообществ. В последние три десятилетия наблюдается тенденция на снижение MAR, что может объясняться снижением агрогенной активности на водосборе.

Вскрытые отложения представлены различными типами сапропеля, состоящего преимущественно из тонкодисперсного органического вещества, хемогенного и биогенного карбоната, а также кластического материала. Доля последнего варьирует от 30 до 60 % и возрастает в верхних 3 м, что отражает усиление эрозии вследствие антропогенного освоения. Главная литологическая граница в колонке SOM фиксируется на глубине 8.5 м, она отделяет органо-карбонатный сапропель ($CaCO_3$ до 40 %) от органического и органоминерального ($CaCO_3$ 4–24 %). Аналогичная граница возрастом 5000–7000 лет назад установлена во многих озёрах центра Русской равнины – например, Неро и Чухломское (Константинов и др., 2023; Филиппова и др., 2023). Эта граница регистрирует смену биохимических условий в озере (в частности, переход pH от щелочного к кислому), которые реагируют на смену ландшафтно-климатической обстановки при переходе от оптимума голоцена к позднему голоцену. Рост $CaCO_3$ в интервале 1–3 м обусловлен преимущественно биогенным кальцитом (раковинный детрит), однако возможен и небольшой сдвиг pH в сторону слабощелочных условий за последние ~1500 лет. В верхнем метре осадка отмечаются рост магнитной восприимчивости, что может быть вызвано как усилением терригенного привноса, так и увеличением аэрации осадка вследствие снижения глубины и более интенсивного перемешивания водной массы.

Заключение. Отложения озера представлены различными типами сапропеля, состоящего преимущественно из тонкодисперсного органического вещества, хемогенного и биогенного карбоната, а также кластического материала. На рубеже ~ 5000 лет назад фиксируются быстрые изменения в характере седиментации – органо-карбонатный сапропель ($CaCO_3$ до 40 %) сменяется органическим и органоминеральным ($CaCO_3$ – 4–24 %), что от регистрирует смену биохимических условий в озере (изменение pH от щелочного к кислому). Возрастная модель, основанная на комплексном радиоуглеродном датировании и радиоцезиевой стратиграфии, указывает на устойчивый, но неоднородный характер осадконакопления. График MAR отражает крупные этапы природной и хозяйственной динамики: спад осадконакопления после голоценового оптимума, стабилизацию в середине голоцена и выраженный рост около 800 кал. л.н., связанный с активным освоением территории. Максимальная интенсивность поступления наносов наблюдается во второй половине XX века, после чего следует снижение из-за спада агроландшафтной нагрузки.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024).

Список литературы

1. Вакуловский С. М. и др. Атлас радиационного загрязнения европейской части России, Беларусии и Украины //М.: ИГКЭ. Ростография. 1998.
2. Нейштадт М. И. и др. Озеро Сомино (Ярославская область) // Сб. «Палеогеография и хронология верхнего плейстоцена и голоцена по данным радиоуглеродного метода». М., Наука. 1965.
3. Филиппова К. Г. и др. Строение и происхождение донного рельефа Чухломского озера (Костромская область) // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. №. 4. С. 145-162.
4. Andree M. et al. ^{14}C dating of plant macrofossils in lake sediment // Radiocarbon. 1986. Vol. 28, №. 2A. P. 411-416.

Озера заболоченных депрессий Северного Прикамья: новые данные о морфометрии, генезисе и возрасте

Копытов С.В.[1,2], Санников П.Ю.[1], Новикова Е.А.[1], Самаркина А.А.[1], Баль А.Н.[1], Пехтерева М.К.[1]

[1] Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, sergkopytov@gmail.com

[2] Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, Пермь

Введение. Для рельефа северо-востока Русской равнины (южная часть Республики Коми, север Пермского края, северо-восток Кировской области) характерно наличие большого количества заболоченных депрессий, которые в неоплейстоцене и голоцене становились аренами перестроек речных бассейнов (Квасов, 1975; Panin et al., 2020). Наиболее крупные из таких депрессий – Камско-Кельтминская, Веслянская и Язьвинско-Вишерская низменности В пределах низменностей протекают реки Кама, Южная Кельтма, Тимшер, Бортом, Чепец, Весляна, Вишера, Колва. Днища котловин заняты, в основном, олиготрофными грядово-мочажинными верховыми болотами, а также озёрами (Большой и Малый Кумикуш, Новожилово, Чёлвинское, Адово, Оныл, Чусовское, Нюхти, Дикое и др).

С 2022 г. по настоящее время в рамках различных проектов проводятся комплексные палеогеографические исследования ключевых озер в этом регионе – Новожилово и Чёлвинского в пределах Камско-Кельтминской, Адово в пределах Веслянской, Нюхти в пределах Язьвинско-Вишерской низменностей, а также Чусовского в пределах северной оконечности Колво-Вишерской депрессии. Цель – реконструкция природных обстановок позднего квартера на основе донных отложений озер и корреляция их с результатами, полученными из архивов болот и рек. Важным направлением исследований также является геоархеологический контекст – полученные палеоэкологические данные необходимы как для более точного планирования археологических изысканий, так и для интерпретации результатов раскопок.

Методы. Проведенные исследования основывались на методических принципах изучения рельефа и четвертичных отложений. Работа предварялась анализом цифровых моделей рельефа, топографических карт, комплектов Госгеолкарты. Полевые исследования озерных котловин проводились по стандартной методике. На первом этапе измерялись глубины при помощи эхолота с лодки в летнее время, а также при помощи лота или лазерного глубиномера со льда в зимний период. Для уточнения структуры донных отложений проводилось зондировочное бурение полуцилиндрическим пробоотборником, опорные колонки были получены с помощью поршневого бура Ливингстона.

Результаты. На основе космических снимков сверхвысокого разрешения и полевых батиметрических съёмок (2021, 2023 гг.) рассчитан комплекс морфометрических параметров для 12 озёр. Для оз. Адово максимальная глубина составила 5,8 м (средняя 4,2 м, объём 15,3 млн м³), Чёлвинского – 5,0 м (средняя 3,15 м, объём 6,7 млн м³), Нюхти – 2,8 м (средняя 1,1 м, объём 6,0 млн м³). Наибольшие площади имеют Чусовское (15,9 км²) и Большой Кумикуш (18,4 км²). Сравнение с данными Государственного водного реестра выявило значительные расхождения: площадь оз. Большой Кумикуш занижена на 3,2 %, а Чусовского завышена на 22,2% соответственно (Санников и др., 2024). Жаркий и засушливый 2023 г., вероятно, вызвал снижение уровня воды, особенно в мелководном Нюхти. Характерная особенность дна Нюхти – отчётливая русловидная ложбина, указывающая, по-видимому, на флювиальное происхождение котловины.

К настоящему времени получены три колонки: NZH-1 (5,2 м) и NZH-2 из оз. Новожилово, CHOL-1 из оз. Чёлвинское. Нижняя часть NZH-1 охватывает позднеледниковье – ранний голоцен (14 150–9 730 кал. л. н.), а NZH-2 и CHOL-1 – весь голоцен. По 14 радиоуглеродным датам (LSC и AMS) с использованием байесовского моделирования построены возрастные модели и рассчитаны скорости осадконакопления (от 50 до 130 см/тыс. лет). Максимальные скорости (120–130 см/тыс. лет) зафиксированы в интервале 14 150–12 420 кал. л. н.

По методу потерь при прокаливании (ППП) выделено шесть периодов осадконакопления. Три этапа повышенного накопления органического вещества – в бёллинг-аллерёде (среднее значение ППП 75 %), в начале голоцена (87 %) и в середине голоцена (96 %) – соответствуют фазам высокой биопродуктивности озёр. Низкие значения (14–30 %) приурочены к переходу от пленигляциала к аллерёду и к позднему дриасу, что указывает на доминирование аллювиального привноса. Данные магнитной восприимчивости и гранулометрического состава (лазерная дифрактометрия) подтверждают чередование минерагенных и органогенных обстановок (Kopytov et al., 2024).

Палинологический анализ керна NZH-1 дал первую детальную летопись растительности и климата для бассейна верхней Камы. В аллерёде (14 150–12 700 кал. л. н.) господствовали берёзово-лиственничные редколесья при июльских температурах от 10 до 16 °C и осадках ~400 мм/год (Lapteva et al., 2024). В позднем дриасе (12 700–11 500 кал. л. н.) произошла резкая аридизация: доля полыни выросла до 30–45 %, появились ксерофиты, осадки снизились до 300–350 мм/год, сформировалась лиственничная лесостепь. В раннем голоцене (11 500–10 000 кал. л. н.) распространились елово-лиственничные редколесья (ель до 55 %), осадки достигли современных 600 мм/год после 10 700 кал. л. н. Диатомовый анализ (71 таксон) подтверждает смену обстановок: пионерные таксоны (*Staurosira, Pseudostaurosira*) маркируют начальные этапы формирования водоёма, а *Tabellaria flocculosa* – холодные условия позднего дриаса. На основе антракологического анализа были выявлены эпизоды мощных пожаров, которые случались на этой территории: 14000, 13200, 12500, 11000, 9200 и 8500 кал. л. н.

Для оз. Новожилово реконструировано четыре этапа формирования: 14 150–13 500 кал. л. н. – озерно-аллювиальный, с высокой проточностью и накоплением песков; 13 500–12 420 кал. л. н. – органо-минеральный, замедление водообмена; 12 420–10 700 кал. л. н. – переходный, с преобладанием аллювиального привноса; после 10 700 кал. л. н. – эвтрофное озеро с высоким содержанием органического вещества. Новожилово, вероятно, сформировалось как «сор» – пойменный водоём, связанный с разливами Камы, аналогично западно-сибирским сорам.

Заключение. Комплексный подход позволил впервые установить морфометрию, возраст осадков и палеогеографическую историю ключевых озёр северного Прикамья. Полученные палеоэкологические записи дают основу для корреляции региональных событий с глобальными климатическими ритмами и могут быть использованы для прогноза изменений озёрных экосистем в условиях современного климата.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-68-10023, https://rscf.ru/project/23-68-10023/.

Список литературы

1. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 280 с.

2. Санников П.Ю., Копытов С.В., Игошева Е.А., Мехоношина Е.А., Новикова Е.А., Пехтерева М.К., Соловьева Е.Е., Самаркина А.А. Оценка морфометрических параметров озер болотных котловин севера Пермского Прикамья // Географический вестник. 2024. № 2 (69). С. 109–123.
3. Kopytov S.V., Zaretskaya N.E., Konstantinov E.A., Lapteva E.G., Sannikov P.Yu., Sychev N.V. and Mekhonoshina E.A. Palaeoenvironment of the Upper Kama Region during the Late Glacial and Early Holocene (Novozhilovo Lake Sediments Case Study) // Doklady Earth Sciences. 2024. Vol. 519. Part 2. P. 2208–2216. doi: 10.1134/S1028334X24603341
4. Lapteva E.G., Rudaya N.A., Zaretskaya N.E., Kopytov S.V., Sannikov P.Yu. Palaeoecological reconstruction of the Late Glacial and Early Holocene based on pollen data from lake Novozhilovo (Perm region, Russia) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. Vol. 4. P. 481–486. doi: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-481
5. Panin A.V., Astakhov V.I., Lotsari E., Komatsu G., Lang J., Winsemann J. Middle and Late Quaternary glacial lake-outburst floods, drainage diversions and reorganization of fluvial systems in northwestern Eurasia // Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 201. 103069.

Древнее население на берегах Чусовского озера и рек его водосбора (Среднее Предуралье): природные факторы освоения и жизнеобеспечения в голоцене

Копытов С.В.[1,2], Санников П.Ю.[1], Новикова Е.А.[1]

[1] Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, sergkopytov@gmail.com

[2] Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, Пермь

Введение. Чусовское озеро, расположенное на севере Пермского края, представляет собой уникальную территорию, где на протяжении многих тысячелетий происходило активное взаимодействие человека с окружающей средой. Озеро, вытянутое в субмеридиональном направлении (протяженность до 10 км при ширине до 2,5 км), является ключевым звеном единой речной системы, соединяющей бассейны Камы, Вычегды и Печоры. Берега озера и впадающей в него р. Березовки с самого начала голоцена являлись перспективными местами для освоения древним человеком, что подтверждается концентрацией здесь 18 археологических памятников, охватывающих период от мезолита до Средневековья. Особую значимость району придает его роль как транспортного узла на миграционных путях — через Чусовское озеро проходили как меридиональные связи (с юга на север и обратно), так и трансуральские маршруты, связывающие Приуралье с Зауральем (Денисов, 1969). Это подтверждается находками артефактов различных культур: камской неолитической, гаринской энеолитической, лебяжской, гамаюнской и ерзовской культур позднего бронзового века, ананьинской и гляденовской культур раннего железного века, ванвиздинской и родановской культур Средневековья.

Несмотря на богатое археологическое наследие, озеро и его окрестности остаются слабо изученными в палеогеографическом отношении. Требуют уточнения данные о генезисе и возрасте озера, его динамике в голоцене и влиянии природных изменений на расселение древнего населения, что определяет актуальность комплексных геоархеологических исследований.

Район исследования и методы. Первые сведения об археологических находках на берегах Чусовского озера относятся к концу XIX в., когда членами Уральского общества любителей естествознания М.В. Малаховым и Н.А. Рыжниковым было открыто 4 памятника. Активные исследования развернулись в 1960-е гг. (В.П. Денисов, В.А. Оборин), когда были проведены раскопки на ключевых памятниках — Васюково II, Чирва II, Ларевка I, Поздеевское Озеро I.

История геологического изучения района Чусовского озера насчитывает более полувека. В ходе буровых работ, проводившихся под проект переброски стока северных рек, были вскрыты мощные толщи четвертичных отложений, отражающие сложную историю развития озерной котловины. По данным геологов, возникновение озера относится к плиоцену–началу плейстоцена и тесно связано с заложением в пределах узких глубоких понижений древней гидрографической сети (Рябков, 1976).

В 2024–2026 гг. новые геоархеологические экспедиции продолжили изучение района с привлечением методов батиметрической съемки, скважин ручного бурения, литостратиграфического описания обнажений, радиоуглеродного и ОСЛ-датирования. К проведению исследований также привлекается анализ цифровых моделей рельефа, космических снимков и БПЛА-съемки для поиска топографических и фитоиндикаторов разноуровневых террас. Геоморфологическое картографирование проводится на основе описаний скважин, пробуренных в середине XX в. в рамках инженерно-геологических изысканий (Яхимович и др., 1973), а также комплектов Госгеолкарты (Государственная геологическая карта, 2005).

Результаты. Ключевыми элементами палеогеографической реконструкции являются установление возраста, генезиса и обстановок формирования озера Чусовское, а также выделение системы Пра-Березовки – древней речной долины, аллювиальные отложения которой (пески с гравийно-галечным материалом мощностью до 25 м) прослеживаются до абсолютной глубины 44 м (Яхимович и др., 1973).

Морфологические особенности современного рельефа характеризуются чередованием заболоченных низин, террас и участков с выраженным эоловым рельефом. Современные речные и болотные отложения представлены преимущественно водонасыщенными песками, зачастую с примесью гравия и гальки, перекрытыми мощной (до 6 м) толщей торфа (Яхимович и др., 1973). По результатам проведенной в августе 2024 г. батиметрической съемки максимальная глубина озера составила 1,8 м в приустьевой части р. Березовки.

В пределах древнего обширного понижения последовательно формировались различные генерации озерно-аллювиальных и озерно-ледниковых отложений, разделенных моренными горизонтами, связанными с оледенениями нижнего и среднего плейстоцена (Яхимович и др., 1973) Стоит отметить, что дно ложбины, вмещающей озеро Чусовское и р. Березовку, при составлении комплектов Госгеолкарты (2005) отнесено уже к трем террасам преимущественно аллювиального и озерно-аллювиального генезиса (первая терраса среднего плейстоцена, вторая и третья – нижнего).

В течение голоцена происходила активная трансформация озерной котловины. Постепенное заполнение речными наносами, заболачивание и заторфовывание северной части озерного бассейна сопровождалось, по-видимому, его сокращением до современных границ. Начало формирования поймы (контакт руслового и пойменного аллювия в скважине в районе стоянок Поздеевское озеро I-II) по данным радиоуглеродного датирования пришлось на начало голоцена. Начало накопления торфа, по данным двух скважин, пробуренных в пределах Поздеевского и Межозерного болот, также показало раннеголоценовую датировку.

Характерной особенностью расположения памятников является их преимущественная приуроченность к левым берегам Березовки и озера Чусовское – 16 из 18 известных объектов расположены именно на левобережье. По-видимому, это объясняется наличием реликта прируслового вала (песчаного возвышения высотой до 4-5 м над заболоченными низинами), покрытого сосняком. Прирусловой вал фиксируется примерно от устья р. Еловки на севере до впадения р. Ларевки в Вишерку, маркируя границу первой и второй террас. Сухие ландшафты сосняков были привлекательными для населения в этом оживленном районе на протяжении всего голоцена.

Заключение. Предварительные результаты показывают, что Чусовское озеро и его водосборная система являются ключевым районом для понимания закономерностей расселения древнего человека в северной части Прикамья. На протяжении всего голоцена эта территория служила важным транспортным коридором, связывающим бассейны Камы, Печоры и Зауралья, о чем свидетельствует многослойность археологических памятников и присутствие на них артефактов различных культур.

Динамика природной среды в голоцене (колебания уровня воды в озере и реках, заболачивание) определяла доступность различных участков для хозяйственного освоения. Многослойность поселений объясняется ограниченностью пригодных для проживания участков (прежде реликтов прируслового вала Пра-Березовки – сухих сосняков), которые неоднократно заселялись в различные эпохи.

Дальнейшие исследования района с применением современных методов (радиоуглеродное и ОСЛ-датирование отложений, палинологический и карпологический анализ, измерение потерь при прокаливании) позволят уточнить возраст и генезис

ландшафтных элементов, реконструировать палеогеографическую обстановку в моменты активного заселения.

Благодарности. Исследование выполнено за счёт средств субсидии ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», полученной в результате победы в конкурсе научных, образовательных, инновационных, внедренческих и просветительских проектов по направлению «Политика в области развития современного социальногуманитарного знания» (№ 2025-306/2-1)

Список литературы

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист P-40 (Североуральск). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. 332 с.
2. Демаков Д. А. Заселение древним человеком берегов Чусовского озера и р. Берёзовки в голоцене // Экология древних и традиционных обществ : материалы VI Межд. науч. конф. Тюмень: ТюмНЦ СО РАН, 2020. Вып. 6. С. 26–29.
3. Денисов В. П. Свидетели древности – камень, бронза, железо // На Западном Урале. 1969. Вып. 5. С. 312–327.
4. Рябков Н. В. Древние приледниковые бассейны междуречья Камы, Печоры, Вычегды и их реликты // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 1976. 45. С. 94–105.
5. Яхимович В.Л., Немкова В.К., Семёнов И.Н. Стратиграфия плиоценовых и плейстоценовых отложений Тимано-Уральской области и их корреляция по Предуралью. М.: Наука, 1973. 100 с.

Диатомовые комплексы донных отложений озера Шуонияур (Мурманская область)

Косова А.Л., Денисов Д.Б.

Институт проблем промышленной экологии Кольского научного центра РАН, Апатиты, annkosova1976@yandex.ru

Мурманская область является наиболее индустриально развитым арктическим регионом Российской Федерации. Интенсивное освоение минерально-сырьевых ресурсов оказывает масштабное воздействие на природные ландшафты региона. Пресноводные экосистемы Кольского региона отличаются повышенной уязвимостью к антропогенному прессу. Источником загрязнения на северо-западе Мурманской области выступает горно-металлургический комбинат «Печенганикель» (АО «Кольская ГМК»). Деятельность комбината началась в 1940 г. со строительства подземного рудника. Первая промышленная плавка сульфидных медно-никелевых руд была осуществлена в 1946 г. Основными приоритетными загрязнителями водных объектов в зоне влияния предприятия являются тяжелые металлы (Ni, Cu, Co, Zn), сульфаты (Даувальтер, Канищев, 2008; Моисеенко, Гашкина, 2015). Загрязнители поступают в водные экосистемы с территории водосбора и с атмосферными осадками. Донные отложения, формирующиеся в озерных котловинах, являются уникальными природными архивами. Диатомовый анализ донных отложений имеет важное значение для палеоэкологических реконструкций. В настоящее время он входит в группу руководящих методов, применяемых для реконструкции исторической динамики окружающей среды. Диатомовые водоросли – традиционный инструмент биоиндикации состояния водных экосистем. Метод диатомового анализа позволяет оценить изменения параметров водоемов в условиях техногенных нагрузок в районах воздействия горно-металлургических предприятий. Изучение диатомовых комплексов в стратиграфической последовательности донных отложений позволяет реконструировать ответные реакции экосистемы на многолетнюю антропогенную нагрузку.

Озеро Шуонияур (69.235720 N, 29.975598 E) расположено в 20 км южнее от комбината «Печенганикель». Озеро имеет ледниковое происхождение, максимальную глубину 10 м и площадь зеркала 11,3 км^2, овально-удлиненную форму с запада на восток, наибольшая длина которого – 7,2 км, наибольшая ширина – 2,8 км. Северный берег озера высокий, каменистый, южный – болотистый, поросший кустарником и березовым лесом (Кашулин и др., 2009). Согласно данным гидрохимического мониторинга 2000–2010 гг., вода в озере гидрокарбонатно-кальциевая с минерализацией 15,0 мг/л, слабокислой реакцией воды (pH 6,5–6,8). Несмотря на олиготрофный статус (P – 4 мкгP/л, N – 192 мкгN /л), в водной толще фиксировались повышенные концентрации Ni (4,7–17,0 мкг/л) и Cu (2,0–11,0 мкг/л). Для оценки динамики озерной экосистемы выполнено палеолимнологическое исследование на основе диатомового анализа.

Отбор колонки донных отложений мощностью 14 см и анализ проб выполнялись стандартными методами (Давыдова, 1985), с дополнениями, описанными в (Сандимиров и др., 2019). После лабораторной обработки проб производилась таксономическая идентификация диатомовых водорослей с помощью микроскопа «Motic BA 300». Полученные данные по диатомовому составу и количественным характеристикам заносились в запатентованную базу данных «Водоросли Евро-Арктического региона» (Свидетельство..., 2018). Все постоянные препараты и очищенный материал створок диатомовых водорослей хранятся в гербарии Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН (Боровичёв и др., 2018). Возраст и скорость осадконакопления определены с помощью анализа активности ^{210}Pb.

По результатам диатомового анализа в течение 200 лет типичными видами были *Pantocsekiella schumannii* (Grunow) K.T.Kiss, *Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer, *Pantocsekiella michiganiana* (Skvortzov) K.Schultz, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, *Cyclotella bodanica var. lemanica* (O.Müller ex Schröter) Bachmann, *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) D.M.Williams. Нынешние типичные субарктические условия аналогичны тем, которые существовали 200 лет назад, и за этот период в озере не произошло никаких радикальных изменений.

Работа выполнена в Институте проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН в рамках темы НИР FMEZ-2025-0061

Список литературы

1. Боровичёв Е.А., Денисов Д.Б., Корнейкова М.В., Исаева Л.Г., Разумовская А.В., Химич Ю.Р., Мелехин А.В., Косова А.Л. Гербарий ИППЭС КНЦ РАН // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. № 9 (9-6). С. 179–186.
2. Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли — индикаторы природных условий водоемов в голоцене Л.: Наука, 1985. 244 с.
3. Даувальтер В.А., Канищев А.А. Геоэкологическая обстановка водоемов в зоне влияния ГМК «Печенганикель» // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11. С. 398–406.
4. Диатомовый анализ. Л.: Госгеолиздат, 1949. Кн. 1. 240 с.; кн. 2. 238 с.
5. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Терентьев П.М., Денисов Д.Б. Экологический каталог озер Мурманской области. Часть 2. Северо-западная часть Мурманской области и приграничные территории сопредельных стран. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2009. 262 с.
6. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод Мурманской области в условиях функционирования горнорудных и металлургических производств // Арктика: экология и экономика. 2015. № 4 (20). С. 4–13.
7. Сандимиров С. С., Кудрявцева Л. П., Даувальтер В. А. и др. Методы экологических исследований водоемов Арктики: монография. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2019. 180 с.
8. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621734 Российская Федерация. Водоросли Евро-Арктического региона: № 2018621040: заявл. 19.07.2018: опубл. 02.11.2018 / А. Л. Косова, Д. Б. Денисов; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН).

Динамика растительности и климат района хребта Мустатунтури в голоцене

Костромина Н.А.[1,2]; Волкова Я.Н.[1,3]; Толстоборов Д.С.[4]

[1]СПбГУ, ИНоЗ, Санкт-Петербург, kostromina132@yandex.ru
[2]ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург
[3]Институт Карпинского, Санкт-Петербург
[4]ГИ КНЦ РАН, Апатиты

Одним из важных направлений палеогеографических исследований четвертичного периода является изучение изменений растительных сообществ и природных условий прошлого, позволяющим проследить динамику природной среды и климатические изменения. Для северной части Кольского региона одним из ключевых вопросов реконструкции растительных сообществ в голоцене является вопрос существования лесной зоны близ побережья Баренцева моря в период климатического оптимума. Современные статистические методы позволяют получить дополнительную информацию на основе обработки данных спорово-пыльцевого анализа. В работе представлены результаты палинологического анализа, реконструкции доминирующих биомов и климатические реконструкции на их основе.

Озеро СР-2, расположено на северных отрогах хребта Мустатунтури, недалеко от перешейка полуострова Средний (северо-запад Кольского региона) на абсолютной высот 31 м. Изучение озерных отложений проводились летом 2021 года в рамках экспедиции КНЦ РАН. Настоящая работа продолжает цикл исследований малых озер района. Литологическое описание колонки донных отложений и результаты радиоуглеродного датирования были опубликованы (Толстобров и др., 2023; Толстоброва, Толстобров, 2024; Толстоброва и др., 2024). Колонка донных отложений мощностью 1,85 м, отобрана с глубины 1.8 м. Методом спорово-пыльцевого анализа было изучено 28 проб с переменным интервалом. Пробоподготовка проводилась по классической методике с применением плавиковой кислоты (Berglund, Ralska-Jasiewiczowa, 1986). По результатам палинологического анализа была построена диаграмма (рис.1), на ней выделено 6 зон. Ниже приводится их краткая характеристика:

ПЗ-1 (365-356 см). В спорово-пыльцевых спектрах доминирует пыльца кустарников и кустарничков, среди которых преобладает *Betula nana* (до 70%), также присутствует Ericaceae (до 4%) и *Salix* (до 2%). В группе трав доминантным таксоном является Poaceae (до 5%), субдоминантой – Cyperaceae (до 4%). Среди споровых лидирующим таксоном является *Lycopodium* (до 20%).

ПЗ-2 (356-342 см). Характерно увеличение доли древесных таксонов, в особенности древесной формы березы (*Betula Albae* – 60%). Сокращается доля *Betula nana*, Ericaceae, *Salix*. В группе споровых доминирующим таксоном становится Polypodiaceae.

ПЗ-3 (342-329 см). Зона выделяется по нарастанию доли пыльцы *Pinus* и уменьшению доли *Betula Albae*, при это доля пыльцы кустарников остается стабильно высокой (до 40%).

ПЗ-4 (329-267 см). Доминантным таксоном становится *Pinus* (до 40%), субдоминантами являются *Betula Albae* (до 30%) и *Betula nana* (до 25%).

ПЗ-5 (267-236 см). Основные доминанты остаются неизменными, однако значительно увеличивается доля Ericaceae (до 10%). Отмечено единичное присутствие пыльцы *Picea*.

ПЗ-6 (236-180 см). Зона выделяется по увеличению доли пыльцы травянистых таксонов (до 10%), и стабильному присутствию пыльцы *Picea* (до 2%).

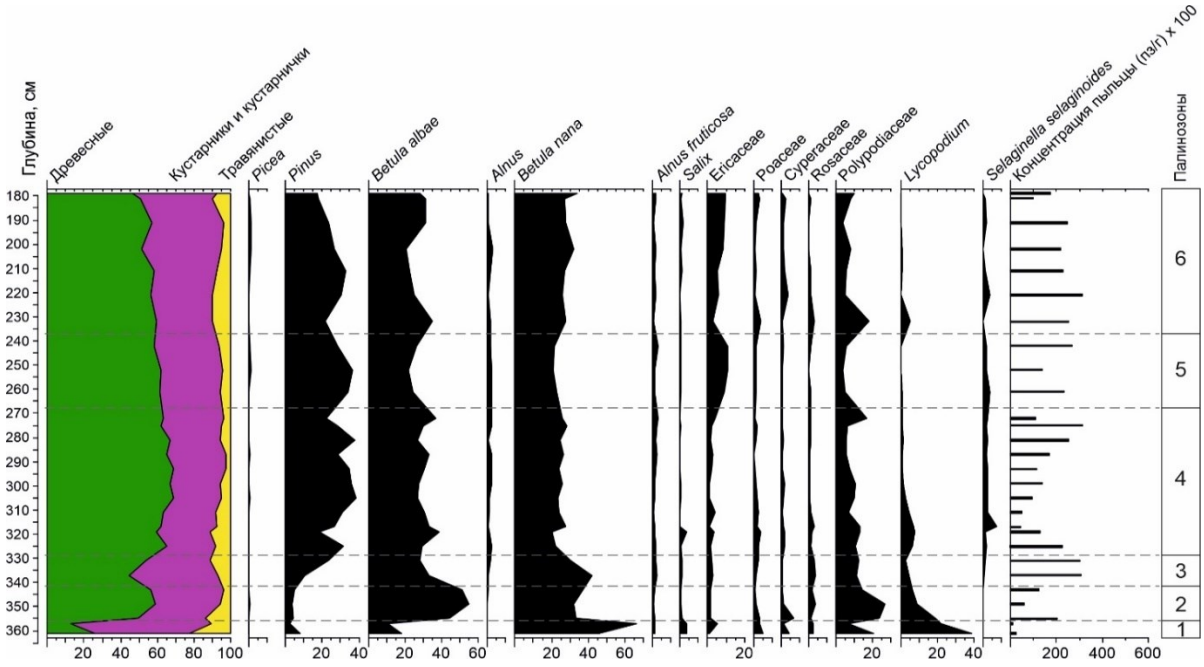


Рис. 1. Спорово-пыльцевая диаграмма колонки донных отложений озера СР-2.
Представлены доминирующие таксоны

Основываясь на результатах споро-пыльцевого анализа и данных радиоуглеродного датирования, которые были опубликованы ранее возможно реконструировать динамику растительности региона от раннего голоцена до современности. Для интерпретации также был применен метод биомизации (Prentice et al., 1996; Tarasov, 1998), результаты которого представлены на рисунке 2. Палинозоне 1 соответствует тундровый биом, и коэффициент открытости ландшафта меньше 0. В палинозоне 2 доминирует биом холодных мелколиственных лесов, однако коэффициент открытости ландшафта менее 2, что может говорить развитии не полноценных лесных сообществ, а скорее переходных лесотундровых. В палинозоне 3 возрастает удельный вес биома холодных мелколиственных лесов, и коэффициент открытости ландшафта возрастает до 4, что в свою очередь все еще в большей степени соответствует переходной зоне лесотундр. Для палинозоны 4 характерен максимальный коэффициент открытости ландшафта (более 5). В палинозонах 5 и 6 доминирует таежный биом, а коэффициент открытости ландшафта постепенно снижается, что может говорить о нарастающей роли тундровых сообществ.

Климатические параметры были реконструированы с применением метода современных аналогов, использована Европейская пыльцевая база (Davis et al., 2013). Наиболее репрезентативными из реконструированных показателей стали среднегодовая сумма осадков и средняя температура самого теплого месяца (рис. 2). На основе климатических кривых возможно выделить 3 этапа: прохладный и относительно влажный (палинозоны 1-3); теплый и относительно сухой (палинозона 4); прохладный и относительно влажный (палинозоны 5-6).

Суммируя полученные данные с результатами радиоуглеродного датирования (Толстоброва и др., 2024), возможно представить следующую схему развития природной среды:

1. Распространение кустарничковых березовых тундр на начальном этапе развития ландшафта.

2. Около 11 тыс. кал. лет кустарничковые тундры постепенно сменяются березовым криволесьем, которое развивается на изучаемой территории до 9,7 тыс. кал. лет.

3. В период с 9,7 до 9,3 тыс. кал. лет происходит постепенная смена доминирующего растительного на березово-сосновое редколесье. Три описанных этапа проходят в условиях постепенного роста летних температур воздуха и постепенного уменьшения среднегодовой суммы осадков.

4. Около 9,3 тыс. кал. лет устанавливаются березово-сосновые лесотундровые ландшафты, которые развиваются на данной территории до 6.8 тыс. кал. лет. Климатические условия можно считать наиболее благоприятными для развития лесной растительности.

5. После 6,8 тыс. кал. лет происходит постепенный переход к более отрытым ландшафтам – кустарниковым березовым тундрам с вересковыми в травяно-кустарничковым ярусе. Данная смена происходит в условиях снижения летних температур воздуха и повышения среднегодовой суммы осадков.

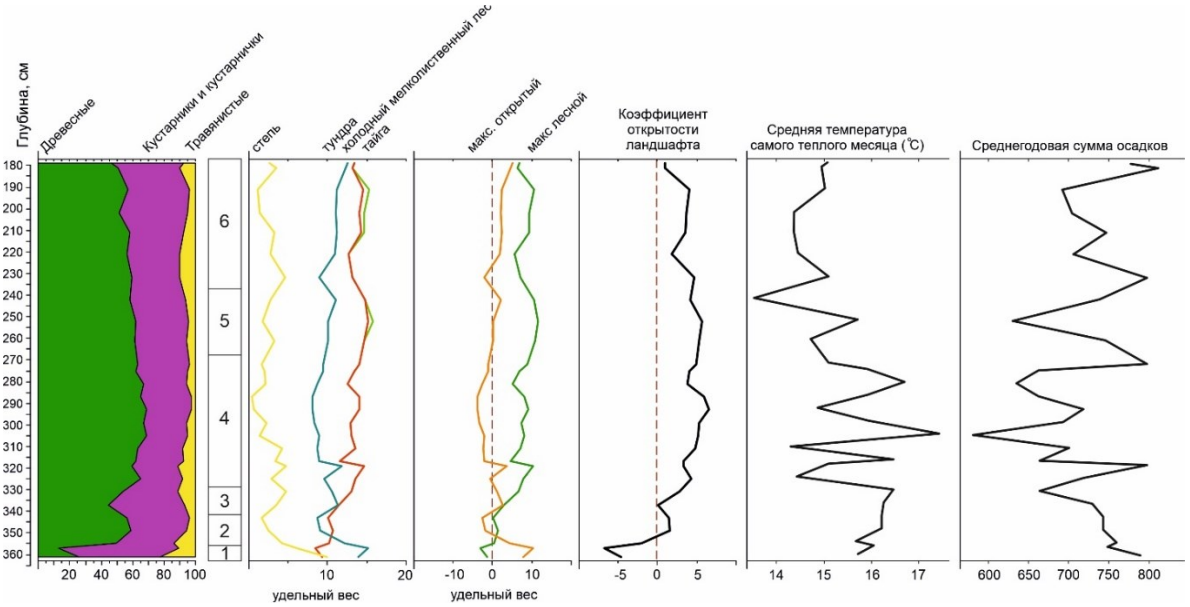


Рис. 2. Результаты биомизации полученных данных и климатические кривые, построенные на базе метода современных аналогов

Список литературы

1. Berglund B. E., Ralska-Jasiewiczowa M. Pollen analysis and pollen diagrams // Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology, 1986. V. 455. P. 484-486.
2. Davis, B.A.S., Zanon, M., Collins, P. et al. The European Modern Pollen Database (EMPD) project. Veget Hist Archaeobot 22,2013 P 521–530
3. Prentice C. et al. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka // Climate Dynamics, T. 12. №. 3. 1996. P. 185-194
4. Tarasov P.E., Gubin S.V., Kremenetski K.V., et al. Present-day and mid-Holocene biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from the former Soviet Union and Mongolia. Journal of Biogeography. 1998; 25: 1029–1053.
5. Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Шихирина К.А. Предварительные данные об изменении уровня Баренцева моря в районе хребта Мустатунтури, северо-запад Мурманской области // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. — 2023. — Вып. 20. — С. 211-217
6. Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С. Палеоэкологическое изучение донных осадков озёр района хребта Мустатунтури, Кольский регион (по данным диатомового анализа) // Морские и озёрные бассейны восточной периферии Балтийского щита в четвертичное время: материалы Всерос. конф. и полевого симпоз. — Апатиты, 2024. — С. 96–98.
7. Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С., Шихирина К.А. Характеристика условий среды при накоплении донных отложений озера в районе хребта Мустатунтури (Кольский регион) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. С. 779–784.

Первые результаты геохимического анализа донных отложений оз. Бретьорна (Западный Шпицберген)

Кублицкий Ю.А.[1], Рассолова А.А. [1], Леонтьев П.А.[1], Малов В.И.[1,2], Веркулич С.Р.[1,3], Субетто Д.А.[1]

[1] Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург uriy_87@mail.ru

[2] Институт геологии и минералогии имени В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск

[3] Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

Введение. В контексте реконструкции осадконакопления приледниковых озёр позднеледникового времени (Балтийское ледниковое озеро; Онежское приледниковое озеро и др.) особый интерес представляет изучение механизмов седиментации в современных приледниковых водоёмах. Арктический регион, в настоящее время, характеризуется одними из самых высоких темпов потепления климата. В частности, в пределах архипелага Шпицберген ускоренное таяние ледников сопровождается существенным сокращением их площади и формированием новых приледниковых озёр. Одним из крупнейших и одновременно наиболее доступных для детальных исследований приледниковых озёр на Западном Шпицбергене является озеро Бретьорна (норв. Bretjørna).

Озеро Бретьорна (N 77.94810, E 14.31199, высота над уровнем моря: ~8 м) расположено между краем ледника Грёнфьорд (норв. Grønfjorden) и его конечной мореной в кутовой части залива Грёнфьорд. История формирования и осадконакопления озера достаточно хорошо изучены: выделены два этапа образования озёрно‑ледниковых отложений, рассчитаны скорости осадконакопления на основе радиоизотопного датирования и данных седиментационных ловушек (Мешеряков и др., 2023), а также определены изменения гранулометрического состава осадочной последовательности донных отложений (Мещеряков, Тарасов, 2021). Однако геохимический состав донных отложений озера Бретьорна до настоящего времени практически не изучен.

Материалы и методы. Для данного исследования донные отложения озера Бретьорна были отобраны в 2022 году с использованием пробоотборника Uwitec ударно-канатного типа и русского бура. Отбор русским буром выполнен на расстоянии около 150 м от края ледника, где вскрыта толща осадков 152 см, а пробоотборником Uwitec в центральной части озера, где мощность вскрытых отложений составила 153 см, глубина в точке пробоотбора составила 23,75 м.

Для кернов донных отложений из центральной части озера выполнено сканирование с использованием автоматизированной системы Geotek MSCL-XYZ в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва, Россия). Анализ включал фотосканирование, измерение магнитной восприимчивости и определение элементного состава (Croudace, Rothwell, 2015). Фотосканирование выполнялось с применением поляризационных фильтров на объективе камеры при разрешении 400 и 200 линий на сантиметр; в результате были получены высококачественные изображения кернов. Магнитная восприимчивость измерялась с шагом 5 мм с использованием системы Bartington MS3 и точечного датчика Bartington MS2E.

Элементный состав осадков определялся с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра Geotek (Rh-анод) с гелиевой ячейкой, при шаге 2–10 мм и размере зоны одиночного анализа от 15×1 мм до 15×10 мм. Были определены следующие элементы: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co (при напряжении 10 кВ на рентгеновской трубке), а также Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc (при напряжении 40 кВ).

Результаты. Для выявления закономерностей изменения концентраций отдельных элементов с глубиной был использован корреляционный анализ (рис. 1).

По матрице коэффициентов корреляции Пирсона было выделено восемь пар элементов с положительными значениями r>0,73. (табл. 1). Эти пары образуют тесно связанный кластер, включающий K, Fe, Ti, Rb, Al и Si, что позволяет трактовать их как единую терригенную ассоциацию, отражающую поступление минерального обломочного материала в озёрный бассейн.

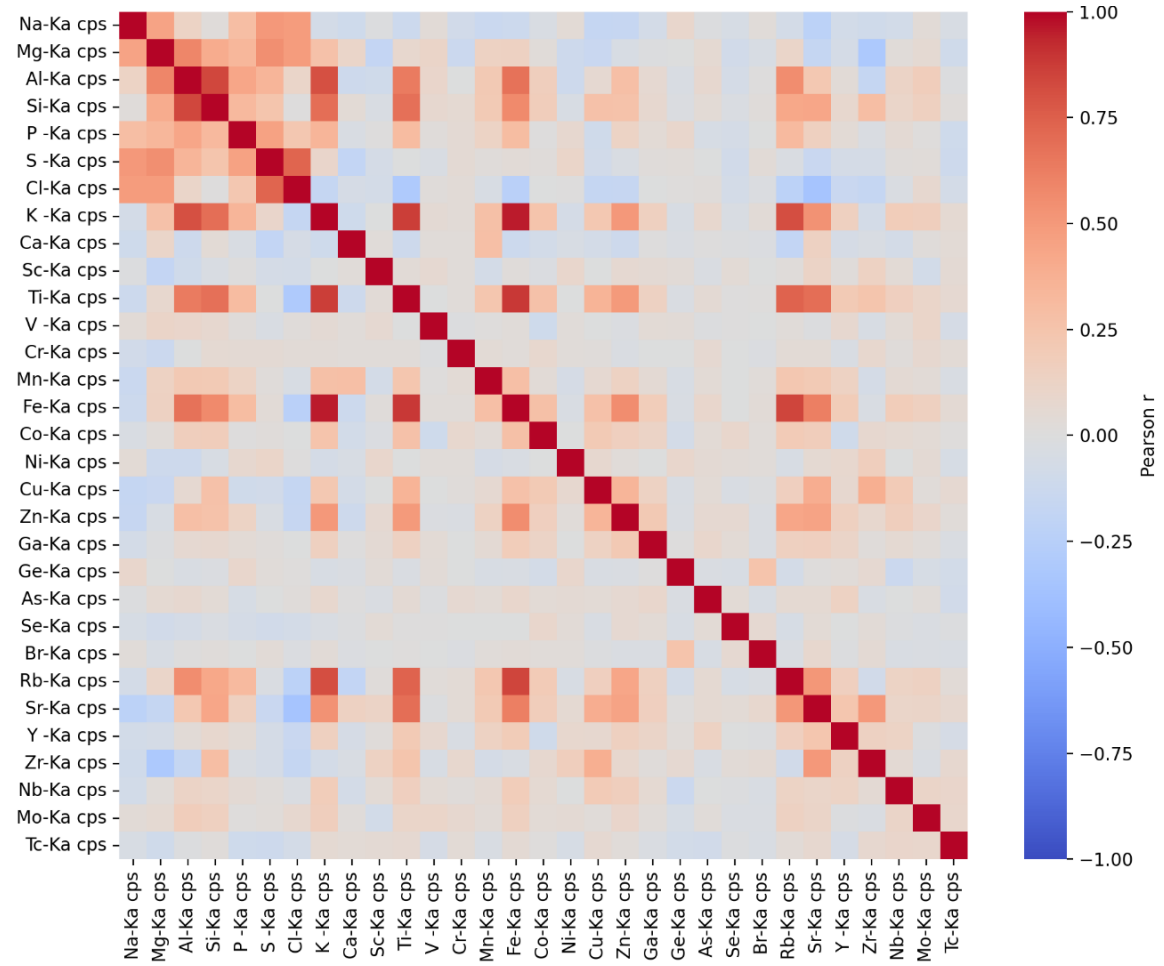


Рис. 1. Корреляционная матрица элементов донных отложений оз. Бретьорна

Таблица 1

Пары элементов и значения коэффициента корреляции Пирсона (r >0,73)

Al-Ka cps	Si-Ka cps	0,84
Al-Ka cps	K -Ka cps	0,81
K -Ka cps	Ti-Ka cps	0,87
K -Ka cps	Fe-Ka cps	0,96
K -Ka cps	Rb-Ka cps	0,81
Ti-Ka cps	Fe-Ka cps	0,89
Ti-Ka cps	Rb-Ka cps	0,74
Fe-Ka cps	Rb-Ka cps	0,84

Заключение. Предварительные результаты геохимического анализа донных отложений оз. Бретьорна показывают, что ключевым фактором, определяющим

распределение большинства элементов, является интенсивность поступления ледниково-терригенного материала в озёрный бассейн. Наиболее отчётливо выделяется литогенная ассоциация Fe–K–Ti–Rb–Al–Si, которая связана с поступлением минерального вещества.

Благодарности. Авторы благодарят зимовочный состав РАЭ-Ш 2022 года за предоставленную помощь. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206

Список литературы

1. Мещеряков Н.И., Тарасов Г.В. Гранулометрический состав донных отложений озера Бретъёрна (Западный Шпицберген) // Исследование арктических экосистем. Материалы XXXVII конф. Молодых учёных ММБИ КНЦ РАН. Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2019. С. 55–59.
2. Мещеряков Н. И., Кокин О. В., Усягина И.С., Касаткина Н. Е. Приледниковое озеро Бретъёрна (Западный Шпицберген): История формирования и современное осадконакопление // Лёд и Снег. 2023. №3 (63). С. 426-440.
3. Croudace I.W., Rothwell R.G. (Eds.). (2015). Micro-XRF Studies of Sediment Cores. Springer. 656 p. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5

Динамика накопления органического вещества в отложениях Ладожского озера и озер его водосбора как индикатор резких изменений уровенного режима в прошлом

Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В.

Институт озероведения СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, dd_kuznetsov@mail.ru

В 1956 г. начались масштабные работы по отбору и изучению колонок донных отложений Ладожского озера под руководством Н.И. Семеновича. За прошедшие 70 лет накоплен огромный фактический материал, позволивший реконструировать основные этапы развития Ладожского озера в позднем плейстоцене и голоцене. В истории озера реконструируется большое количество палеогеографических событий, повлиявших на характер осадконакопления. Среди них катастрофический спуск Балтийского ледникового озера, Анциловая и Ладожская трансгрессии, голоценовый термический оптимум, прекращение функционирования Гейниокского пролива, прорыв р. Вуоксы, возникновение р. Невы и пр. Многие вопросы хронологии данных событий остаются непроработанными до настоящего времени. Целью данной работы является характеристика отобранных нами в последние годы колонок отложений с точки зрения возможности хронологически оценить принципиальные изменения в ходе накопления органического вещества в осадках и связать их с существующим событийным каркасом.

Для открытой части ладожской акватории ход органонакопления имеет 2 выраженных максимума – в среднем голоцене и в приповерхностных горизонтах (Кузнецов и Субетто, 2019). Традиционно, среднеголоценовый максимум связывается с повышенной биологической продуктивностью озерной экосистемы во время голоценового термического оптимума. Малое количество радиоуглеродных датировок ладожских отложений не позволяет точно оценить время формирования горизонта с максимальным накоплением органического вещества, но существующие приблизительные оценки возраста начала его падения лежат в слишком широком диапазоне ~4500-5900 кал. л.н.

В отложениях малых озер Приладожья, на определенных этапах своего развития представлявших собой заливы Ладожского озера и впоследствии от него отделившихся, одним из индикаторов изоляции является резкое увеличение содержания органического вещества в осадках. Изоляция этих озер от Ладожского озера обычно связывается с резким понижением уровня последнего в результате завершения Ладожской трансгрессии ~3000-4000 кал. л.н.

Однако наши последние результаты выявили хронологическую близость вышеотмеченных изменений в содержании органического вещества, а именно 1) резкого роста в отложениях малых озер Приладожья в результате их изоляции от Ладожского озера, и 2) резкого либо постепенного, но отчетливого спада в отложениях непосредственно Ладожского озера.

Резкое падение содержания органического вещества в колонке, отобранной в северной части Ладожского озера (станция S2) (рис. 1) соотносится с возрастом около 4000 кал. л.н. Аналогичный возраст получен при датировании изоляционного контакта в отложениях озера Лавиярви, расположенного вблизи ладожского побережья на абсолютной отметке, сопоставимой с современным уровнем Ладожского озера (Кузнецов и др., 2025). Т.е. изоляция озера Лавиярви от Ладожского озера в результате понижения уровня последнего произошла

синхронно с резким снижением содержания органического вещества в отложениях Сортавальского залива. Последнее объясняется увеличением поступления аллохтонного минерального материала в ходе регрессии Ладожского озера и сопутствующих изменений конфигурации береговой линии. Эти данные позволяют говорить о возможной недооценке влияния гидродинамических условий на ход органонакопления в Ладожском озере.

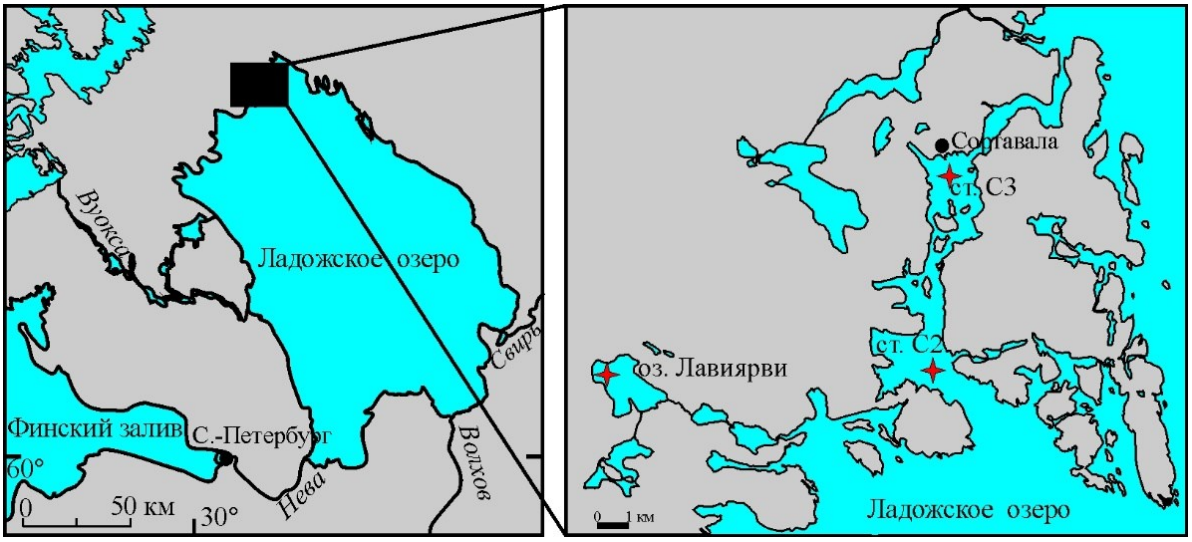


Рис. 1. Местоположение упоминаемых разрезов

Благодарности. Исследование выполнено в рамках ГЗ ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН (no FFZF-2024-0001).

Список литературы

1. Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В., Субетто Д.А., Ревунова А.В., Белкина Н.А., Потахин М.С. Эволюция условий осадконакопления в палеозаливе Ладожского озера (по данным лито-, био- и хроностратиграфического изучения донных отложений озера Лавиярви в северном Приладожье) // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т. 56. № 4. С. 626-641.
2. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А. Голоценовое накопление органического вещества в донных отложениях Ладожского озера // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 2. С. 63-71.

Морфологические типы древесного угля в озёрных и болотных отложениях как индикатор источников топлива и типов ландшафтных пожаров в голоцене

Куприянов Д.А.[1], Носова М.Б[2]

[1]Институт географии РАН, Москва, dmitriykupriyanov1994@yandex.ru

[2]Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН, Москва, mashanosova@mail.ru

Введение. Ландшафтные пожары выступают в роли как одного из ведущих факторов функционирования многих экосистем, так и оказывают существенное воздействие на некоторые аспекты хозяйственной деятельности. Кроме того, пожары служат важным индикатором климатических изменений и антропогенной активности в настоящем и прошлом. Анализ периодичности пожаров, а также их типологии (путём определения основных источников топлива) в прошлом позволяет создать фундаментальную основу для прогноза пожарной динамики и определяющих её факторов в будущем. Это особенно актуально в контексте современных глобальных климатических изменений и возрастающего антропогенного прессе на экосистемы.

Реконструкции пожарных режимов в прошлом на локальном и региональном уровнях основаны на анализе макроскопических (т.е. размером >100 мкм) частиц угля в озёрных и болотных отложениях. Подсчёт концентрации фрагментов угля позволяет установить основные закономерности смен пожарных режимов, а анализ морфологических типов угля даёт информацию о составе типах пожаров и составе растительных сообществ, послуживших источником топлива (Enache, Cumming, 2006).

В настоящее время анализ морфотипов угля только начинает внедряться в палеоэкологические исследования (Feurdean, 2021; Рогозин и др., 2023), и до сих пор не существует общепринятой их классификации. В данном исследовании была использована наиболее распространённая в настоящий момент классификация (Mustaphi, Pisaric, 2014), основанная на анализе формы частиц, а также наличии специфических особенностей угольных фрагментов: блеска, плотности и наличии визуально определимых анатомических признаков. Эти признаки позволяют выделить следующие морфологические типы: травы, древесина, листья древесных и кустарниковых, хвоя, а также в виде отдельного класса фрагменты семян, смол, фитолитов и аморфные структуры.

Материалы и методы. Объектами исследования послужили два расположенных в непосредственной близости (расстояние около 1,6 км) разреза озёрных (озеро Петрово) и болотных (болото Косилово) отложений. Их близкое расположение позволяет провести сравнение результатов анализа разных палеоархивов в условиях сходной динамики пожарных режимов. Территория исследования находится в зоне хвойно-широколиственных лесов на западе Валдайской возвышенности в междуречье рек Западная Двина и Ловать в краевой зоне Валдайского оледенения с характерными грядово-холмистым рельефом. Современная растительность представлена вторичными хвойно-мелколиственными лесами. Мощность отложений болота Косилово составляет 298 см, озера Петрово – 1574 см. Отбор отложений для палеантракологического анализа отложений болота Косилово осуществлялся непрерывно каждый сантиметр отложений, озере Петрово – с шагом от 5 до 2 см (в общей сложности из отложений озера Петрово отобрано 618 образцов). Лабораторный анализ макроскопических частиц угля осуществлялся по стандартной методике (Mooney, Tinner, 2011). Для установления динамики растительных сообществ и выявления связи между ними и пожарными режимами использованы данные спорово-пыльцевого анализа.

Результаты. Результаты палеантракологичесокго и спорово-пыльцевого анализов (рис. 1) показали, что датировки пожарных режимов по обоим разрезам сходны. В раннем голоцене максимум пожарной активности по данным разреза болота

Косилово приходится на 10200-9500 кал. л.н. (календарных лет назад), а по данным разреза озера Петрово - 11100-9700 кал. л.н. В обоих случаях в структуре спектров морфлогических типов фрагментов макроскопических углей преобладают остатки древесины и листьев древесных видов, что говорит о преобладании верховых типов пожаров. Спорово-пыльцевые спектры (Nosova et al., 2025) свидетельствуют о том, что в это время в регионе доминировали сосново-берёзовые леса, характеризующие высокой степенью пожарной опасности. Относительно низкое содержание остатков обгоревшей хвои, вероятно, объясняются их низкой сохранностью и сложностью идентификации. Подобный пожарный режим характерен для раннеголоценовых ландшафтов Центральной и Восточной Европы (Feurdean et al., 2020) и обусловлен как относительно сухими и тёплыми климатическими условиями, так и особенностями растительного покрова.

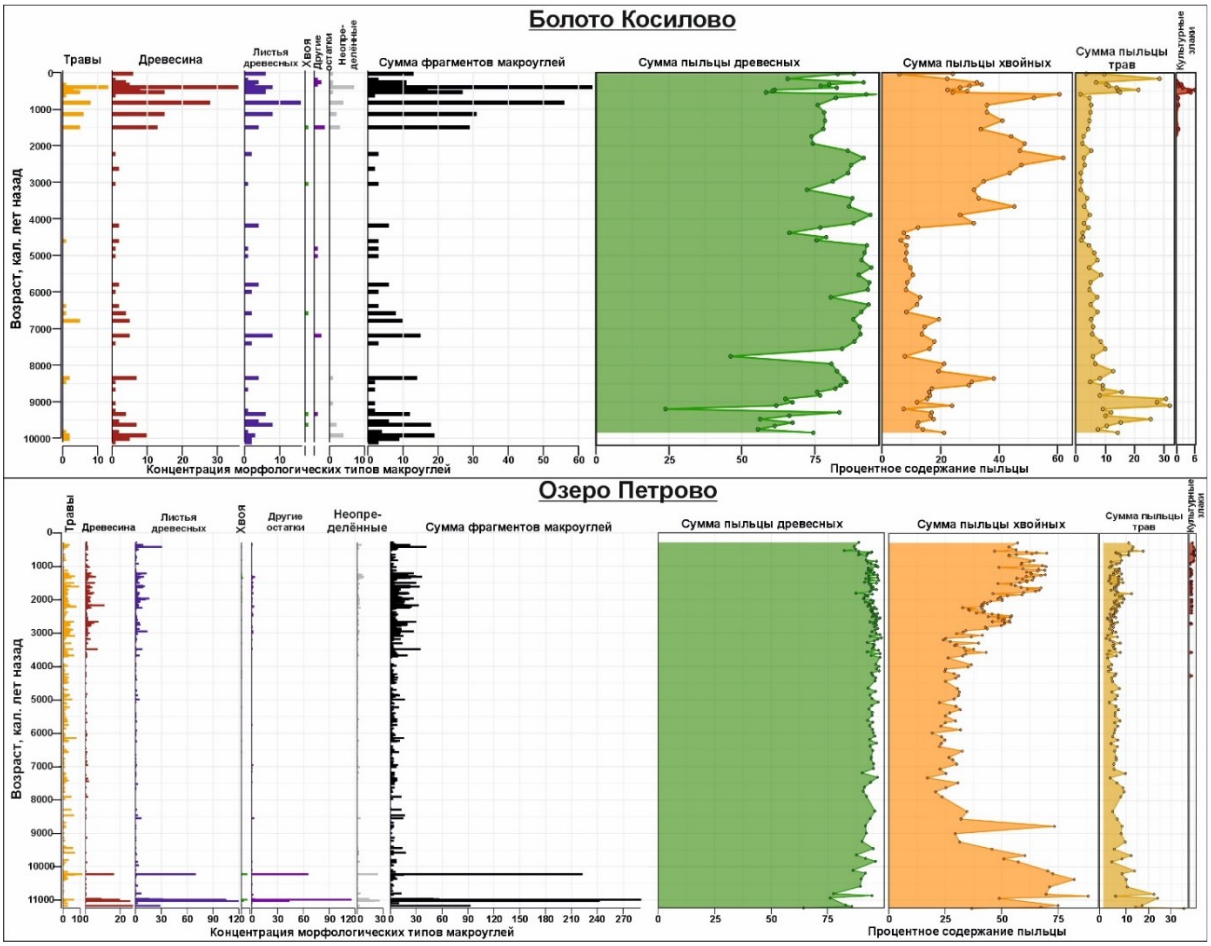


Рис. 1. Сравнение спектров морфологических типов макроскопических частиц угля и растительного покрова по данным изучения отложений болота Косилово и озера Петрово

После 9700-9500 кал. л.н. пожарная активность резко снижается, увеличивается роль широколиственных пород в составе древостоев (Nosova et al., 2025). Подобная динамика характерны для центрально- и восточноевропейских ландшафтов и связана как с климатическими изменениями, так и замещением сосны и берёзы более устойчивыми к пожарам видами (Feurdean et al., 2020). Немногочисленные локальные пожарные эпизоды среднего голоцена в разных палеоархивах отразились по-разному: в отложениях болота Косилово преобладали остатки древесины и листьев древесных видов, тогда как

в отложениях озера Петрово накапливались преимущественно остатки сгоревших трав. Вероятно, это связано с локальными условиями осаждения и накопления различных фрагментов углей в разных палеоархивах – открытом водоёме и болоте, покрытом древесной растительностью (Feurdean, 2021).

Увеличение пожарной активности по данным разреза болота Косилово началось около 1800 кал. л.н. По данным разреза озера Петрово рост количества пожаров отмечается начиная с 3800 кал. л.н. Смена пожарного режима сопровождалась синхронным увеличением количества пыльцы культурных злаков в пыльцевых спектрах, что свидетельствует об антропогенном характере пожаров. Различия в датировках начала антропогенного воздействия и роста пожарных режимов предположительно связаны с локальными особенностями хозяйственного освоения. Анализ спектра морфотипов фрагментов угля показывает, что в обоих разрезах примерно равные доли занимают обгоревшие остатки трав, древесины и листьев древесных видов, что указывает на наличие как верховых, так и низовых пожаров. Остатки древесины и листьев служат косвенным индикатором расчистки лесных земель под сельскохозяйственные угодья. Синхронное увеличение доли пыльцы трав и снижение доли пыльцы древесных видов указывают на наличие открытых луговых ландшафтов, связанных с хозяйственной деятельностью человека, которые, вероятно, также были подвержены периодическим выжиганиям.

Заключение. Установлено, что в максимум пожарной активности 11100-9500 кал. л.н преобладали верховые пожары, а обилие пожаров обусловлено относительно тёплыми и сухими климатическими условиями. С середины раннего голоцена до начала существенного антропогенного воздействия пожарная активность была относительно низкой, немногочисленные пожары носили как верховой, так и низовой характер. С началом антропогенного воздействия (3800-1800 кал. л.н.) активность пожаров вновь возросла, пожары были как верхового, так и низового типа и, вероятно, были связаны с расчисткой лесных территорий под сельскохозяйственные земли и их использованием.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024).

Список литературы

1. Рогозин Д.Ю., Бурдин Л.А., Болобанщикова Г.Н. Угольные макрочастицы в верхних слоях донных отложений озёр Северо-Минусинской котловины (юг Сибири) как индикатор динамики пожаров на окружающей территории // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2023. Т. 16, № 2. С. 252-266.
2. Enache M., Cumming B. Tracking recorded fires using charcoal morphology from the sedimentary sequence of Prosser Lake, British Columbia (Canada) // Quaternary Research. 2006. № 65. P. 282–292.
3. Feurdean A. Experimental production of charcoal morphologies to discriminate fuel source and fire type: an example from Siberian taiga // Biogeosciences. 2021. №18. P. 3805-3821.
4. Feurdean A., B. Vannière, W. Finsinger et al. Fire hazard modulation by long-term dynamics in land cover and dominant forest type in eastern and central Europe. // Biogeosciences. 2020. Vol. 17(5). P. 1213–1230.
5. Mooney S., Tinner, W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // Mires and Peat, 2011. – Vol. 7. – P. 1–18.
6. Mustaphi C., Pisaric M. A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments // Prog. Phys. Geogr. 2014. №38. P. 734–754.
7. Nosova M., Zakharov A., Lavrenov N. et al. Multi-proxy centennial-resolution paleoecological record of Holocene lake sediments in the marginal zone of last Scandinavian glaciation (Tver region, Russia) // Quaternary International, 2025. №729. 109778.

Особенности палиноспектров донных отложений каскада малых озер Кандалакшского залива (Белое море)

Лаврова Н.Б.[1], Толстобров Д.С.[2], Вашков А.А.[2]

[1] Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, lavrova-58@mail.ru

[2] Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты

Введение. Исследования донных отложений озер, расположенных в прибрежной зоне на разных гипсометрических уровнях, дают возможность реконструировать этапы развития озер и выявить положение береговой линии моря в прошлом. В последние годы изучены донные отложения разновысотных изолированных бассейнов, расположенных на побережье Кандалакшского залива. Ранее в разрезах донных отложений в озерных котловинах выделены фациальные разновидности донных отложений, представленные осадками морских условий седиментации, осадками переходной зоны от морских к озерным отложениям; континентальными осадками пресноводного озера. Для реконструкции изменения положения береговой линии и процесса изоляции озер используются различные биоиндикаторы. Основным показателем смены морских условий пресноводными являются диатомовые водоросли благодаря установленным экологическим предпочтениям. Ранее было выявлено, что к диагностическим признакам морских условий осадконакопления может быть отнесена пыльца растений-галофитов, осадки пресных озер характеризуются присутствием пыльцы макрофитов (*Nymphaea*, *Nuphar*, *Sparganium*, *Typha*, *Myriophyllum*), водорослей *Pediastrum* и *Botryococcus*. Результаты палинологических исследований колонок донных отложений трех озер, расположенных на разных абсолютных отметках, показали, что индикаторное значение может иметь изменение соотношений внутри группы пыльцы древесных пород. Озера находятся на южном берегу пролива Глубокая Салма (район Корабельной бухты, Кандалакшский залив Белого моря). На территории исследования преобладают северотаежные сосновые, елово-сосновые леса, которые чередуются друг с другом или с болотами. Березняки приурочены к долинам рек, ручьев и к морским побережьям, на которых протягиваются узкой полосой между приморским лугом и хвойным лесом. Изучены донные отложения трех озер: безымянное озеро (Кор-1) с высотной отметкой порога стока 30 м над уровнем моря (н. у. м.), безымянное озеро (Кор-II) – 15.7 м н. у. м., безымянное озеро (Кор-III) – 12 м н. у. м. Во всех озерных котловинах на основании литологических характеристик можно выделить следующую последовательность фаций: морская, переходная зона от морских условий к озерным, пресноводная. Комплекс фаций отражает перемещение береговой линии Белого моря.

Результаты и обсуждение. Как свидетельствуют данные (рис. 1), преимущественно минеральные отложения этапа морского осадконакопления всех трех разрезов характеризуются преобладанием пыльцы *Pinus*.

В морских отложениях разреза Кор-I и Кор-II, сформированных в среднем голоцене, количество пыльцы *Pinus* достигает 45-70% и 40-60%, *Betula* sect. *Albae* – 15-40% и 25-40% соответственно. В позднеголоценовых морских осадках разреза Кор-III также доминирует *Pinus*, ее участие колеблется в пределах 55-67%, а доля *Betula* sect. *Albae* составляет 17-20%. Большое количество пыльцы сосны в морских осадках обусловлено не только преобладанием сосны в растительном покрове, но и высокой пыльцевой продуктивностью и особенностью морфологического строения зерен – наличием воздушных мешков, обеспечивающих плавучесть. В отложениях обнаружена пыльца растений-галофитов, произрастающих в прибрежной

полосе Белого моря. Галофитный флористический комплекс растений приморской полосы Белого моря насчитывает более 70 видов растений. До ранга вида возможны определения пыльцы *Plantago maritima*, *Atriplex nudicaulis*, *Salicornia herbacea*, а также *Tripolium vulgare.* Эта пыльца используется в пыльцевом анализе как индикатор морских условий осадконакопления.

В палиноспектрах осадков переходной зоны от морских к озерным отложениям отмечено перераспределение в пользу пыльцы *Betula* sect. *Albae,* представленной *Betula pubescens* и *Betula czerepanovii*. Пики пыльцы берёзы отчётливо видны на диаграммах (рис. 1). В осадках разреза Кор-I количество пыльцы *Betula* sect. *Albae* возрастает до 50%, а сосны уменьшается до 30%, в разрезе Кор-II соотношение *Betula* sect. *Albae* и *Pinus* составляет 60% и 15% соответственно. В отложениях разреза Кор-III пик пыльцы *Betula* sect. *Albae* достигает 60% при падении значений *Pinus* до 15%.

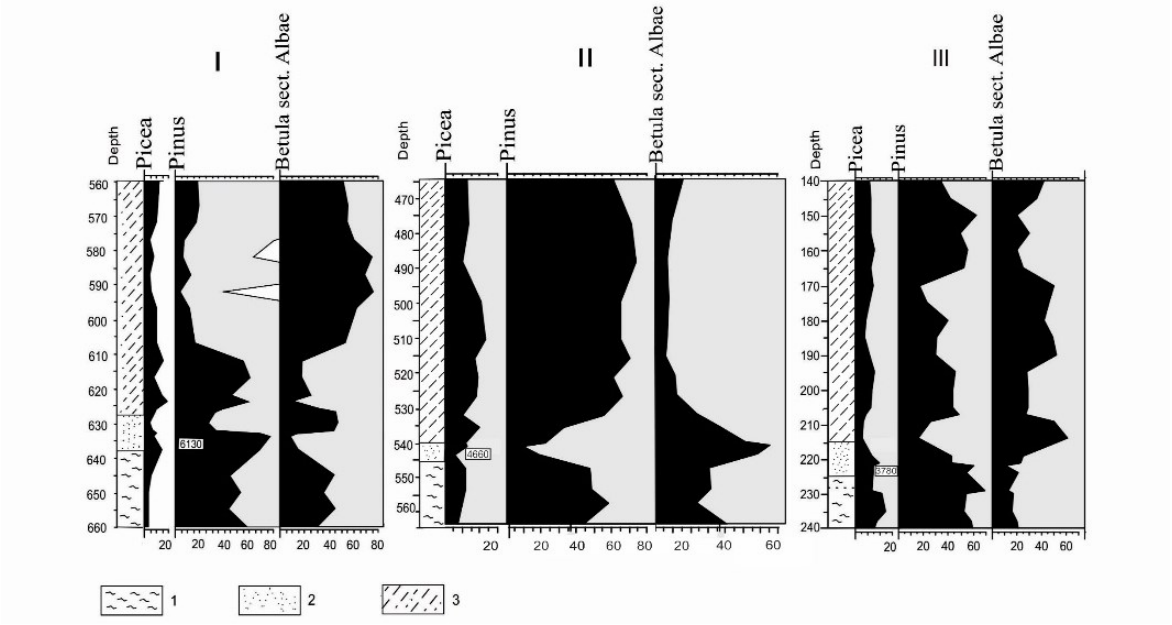


Рис. 1. Сокращенные спорово-пыльцевые диаграммы каскада озер в районе Корабельной бухты.
1 – морские осадки, 2 – осадки переходной зоны от морских условий к озерным, 3 – осадки пресноводного озера

Такие изменения в спектрах отражают регрессивное перемещение береговой линии. Отступание ее приводит к отделению озерных котловин от морского бассейна и освобождению суши от воды, а новые местообитания колонизируются пионерными растениями, к числу которых относится берёза. Берёза Черепанова – гипоарктический евросибирский вид, один из основных лесообразующих видов деревьев в субарктических районах России и Скандинавии, выдерживает экстремальные климатические условия. Берёза пушистая – бореальный вид, проникает в субарктические районы, достигая северной границы лесотундры и образуя редколесья. Берёзы светолюбивы, могут быстро расти даже на бедных почвах, их крылатые плоды очень эффективно распространяются ветром, а корни легко создают ассоциации с большим количеством эктомикоризных грибов. Эти характеристики в совокупности позволяют берёзам осваивать новые местообитания (Beck et al., 2016), на которых берёзе часто предшествует ольха (*Alnus incana*). В отложениях рассматриваемых разрезов вклад пыльцы ольхи не превышает 10%. В палиноспектрах, соответствующих

пику *Betula* sect. *Albae*, отмечено лишь незначительное увеличение пыльцы *Alnus*, которая также является пионерной древесной породой. Возможно, это связано с большей конкурентной способностью берёзы в определенных условиях. Так, например, на побережье Ботнического залива, испытывающим гляциоизостатическое поднятие, преобладают каменистые субстраты, насыщенные валунами, а гумусовый слой обычно отсутствует. Здесь *Alnus incana* не может создавать плотные заросли, что позволяет другим видам деревьев, таким как *Sorbus aucuparia* и *Betula pubescens*, закрепиться (Svensson, Jeglum, 2000). Полоса берёзовых лесов на побережье доминирует благодаря лучшей устойчивости к экстремальным прибрежным климатическим условиям по сравнению с сосной и елью и разделяет приморские луга и хвойные леса (Ericson, Wallentinus, 1979). В изученных ранее осадках переходной зоны от морских к озерным отложениям каскадов озер (район поселков Энгозеро, Кереть, Сонострова и др.) не зафиксированы пики пыльцы *Betula* sect. *Albae*. Вероятно, это обусловлено тем, что распространение растительности на освободившихся от воды морских побережьях контролируется множеством факторов (климат, субстрат, экспозиция и уклон берега, ориентация конкретного берега относительно преобладающих ветров, расстояние от источника семян и др.). Так, при изучении первичных сукцессий на поднимающихся берегах вдоль Ботнического залива было отмечено, что на крутых склонах переход от мелколиственных пород к хвойным обычно происходит резко, а на пологих склонах может наблюдаться длительная смешанная переходная зона (Svensson, Jeglum, 2000).

Заключение. Изменения внутри группы древесных пород может служить косвенным показателем перемещения береговой линии моря, но подобная интерпретация становится возможной только с учетом совокупности индикационных признаков.

Благодарности. Работа выполнена в Институте геологии КарНЦ РАН в рамках темы № FMEN-2023-0008 и в Геологическом институте КНЦ РАН в рамках темы НИР FMEZ-2024-0007

Список литературы

1. Beck, P., Caudullo, G., de Rigo, D., Tinner, W. *Betula pendula*, *Betula pubescens* and other birches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, 2016. pp.70-73.
2. Ericson, L. & Wallentinus, H.G. Sea-shore vegetation along the Gulf of Bothnia. *Wahlenbergia,* 1979 142 pp.
3. Svensson, J.S. & Jeglum, J.K. Primary succession and dynamics of Norway spruce coastal forests on land-uplift ground moraine. *Studia Forestalia Suecica.* 2000. № *209.* 32 pp.

Реконструкция палеоэкологических условий позднеледниковья и голоцена на основе изучения донных отложений озер и торфяников Камско-Кельтминской низменности (Пермский край)

Лаптева Е.Г.[1, 2], Копытов С.В.[2, 3], Зарецкая Н.Е.[4]

[1] Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, lapteva@ipae.uran.ru
[2]Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, Пермь
[3] Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь
[4] Институт географии РАН, Москва

Единичные палеоэкологические исследования в пределах Камско-Кельтминской низменности на севере Пермского края (Назаров и др., 2020; Копытов и др., 2025; Kopytov et al., 2024) обусловили наш интерес к изучению палеоархивов донных отложений озер и торфяников с данной территории.

Камско-Кельтминская низменность представляет собой подковообразное понижение рельефа между Северными Увалами и Немской возвышенностью, самые низкие отметки которого - уровень поймы Камы и Южной Кельтмы. Территория низменности очень сильно заболочена. Болота в основном сфагновые, верхового или переходного типа. Характерной чертой низменности являются озера различного генезиса. В центральной части насчитывается около двух десятков водоемов, в том числе такие крупные озера, как Большой Кумикуш, Новожилово, Челвинское, Нахты. Для территории характерен умеренный континентальный климат с тёплым или жарким летом и довольно холодной продолжительной зимой. Зональной растительностью являются среднетаежные пихтово-еловые леса. В пределах всего района до недавнего времени велись интенсивные рубки, поэтому большие площади заняты вырубками и вторичными березовыми и осиновыми лесами. Чистые березовые, равно как и осиновые леса встречаются довольно редко, гораздо чаще отмечаются березово-еловые, березово-осиново-еловые и осиново-еловые с преобладанием мелколиственных пород, в древостое которых изредка встречается пихта. На террасах верхней Камы и зандровой равнине на северной периферии Камско-Кельтминской низменности встречаются сосняки-зеленомошники и сосняки-беломошники.

Объектом палеоэкологического исследования является оз. Новожилово, расположенное в пределах Большого Камского болота. Его площадь составляет 7,12 км². Глубина озера изменяется от 2,2 до 3,7 м. Абсолютная отметка уреза воды в озере составляет 131 м.

Керн донных отложений мощностью 5,2 м был получен из скважины NZH-1 (60°19′18.5″N, 55°25′15.6″E) с помощью поршневого бура Ливингстона зимой 2023 года. Для палинологического изучения в лабораторных условиях были отобраны 102 образца мощностью по 2–5 см. Частично результаты его исследования были опубликованы (Копытов и др., 2025). Керн озерных отложений мощностью 2,5 м был получен из скважины NZH-2, пробуренной в прибрежной части озера (60°19′36,594″ с.ш., 55°24′15,387″ в.д.). В керне скважины последовательно вскрыты ил, обогащенный растительными остатками сапропель и торф. Судя по радиоуглеродным датам и составу отложений, скважина пробурена в части озера, которая была затоплена при повышении его уровня приблизительно 5 тыс. кал. л.н. Для палинологического изучения в лабораторных условиях были отобраны 49 образцов мощностью по 5 см.

Для отложений керна скв. NZH-1 были получены восемь радиоуглеродных дат, по которым была построена глубинно-возрастная модель накопления отложений, охватывающая временной интервал более 14 тыс. кал. л.н. Для керна скв. NZH-2

были получены семь радиоуглеродных дат. Согласно глубинно-возрастной модели, формирование озерно-болотных осадков происходило в первой половине голоцена (Kopytov et al., 2024).

Палинологические данные из керна скв. NZH-1 свидетельствуют о существовании древесной растительности среди доминирующих открытых ландшафтов в условиях континентального и относительно холодного климата в интервале 14,15–10,6 тыс. кал. л.н. Заметно участие в растительности березы древовидной (*Betula* sect. *Betula*) в аллерёде, лиственницы (*Larix*) в позднем дриасе, лиственницы и ели (*Picea*) в начале раннего голоцена. После 10,6 тыс. кал. л.н. распространились елово-лиственничные редколесья. В это время началось активное формирование торфяной залежи, что также подтверждается данными из керна скв. NZH-2. Согласно палинологическим записям из кернов скв. NZH-1 и NZH-2, около 10 тыс. кал. л.н. сосна (*Pinus sylvestris*) и береза древовидная начали расселяться в окрестностях водоема, формируя леса из березы и сосны с участием ели. В среднем голоцене после 7,5 тыс. кал. л.н. стали распространяться широколиственные породы (вяза, липы, возможно дуба), возросла роль ели и формировались широколиственно-еловые леса с участием березы и сосны. В позднем голоцене с 3,6 тыс. кал. л.н. активно расселялась пихта, широколиственные породы выпали из состава древостоя и сформировались леса современного таежного облика.

Заключение. По палинологическим записям, полученным из донных отложений оз. Новожилово, нам удалось восстановить историю природно-климатических изменений позднеледниковья и голоцена. Если для территории Камско-Кельтминской низменности реконструкция изменений в течение аллерёда и позднего дриаса является пока первой и единственной, то динамику изменений в голоцене можно уже верифицировать по нескольким летописям. Незначительные расхождения в возрастных рубежах тех или иных изменений связаны с локальными особенностями пыльцевых записей отложений, отражая как мозаичность растительного покрова, так и завышенную роль пыльцы древесных пород, в большей степени сосны и березы, типичных для облесенных болот. Сравнение нескольких палинологических записей из донных отложений озера позволяет элиминировать эти расхождения на региональном уровне.

Благодарности. Палинологические исследования выполнены в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 23-68-10023, https://rscf.ru/project/23-68-10023/).

Список литературы

1. Копытов С.В., Зарецкая Н.Е., Константинов Е.А., Лаптева Е.Г., Санников П.Ю., Сычев Н.В., Механошина Е.А. Природная среда Верхнего Прикамья в позднеледниковье и раннем голоцене по данным изучения донных отложений озера Новожилово // Доклады Академии наук. 2025. Т. 520. № 1. С. 105-114.
2. Назаров Н.Н., Копытов С.В., Жуйкова И.А., Чернов А.В. Плейстоценовые каналы стока в южной части Кельтминской ложбины (Камско-Вычегодское междуречье) // Геоморфология. 2020. № 4. С. 74-88.
3. Kopytov S.V., Sannikov P.Yu., Mekhonoshina E.A., Solovyova E.E., Samarkina A.A. Organic matter in the lacustrine sediments of the Kama-Keltma lowland (Cis-Urals): assessment of distribution and dynamics in the Late Pleistocene and Holocene // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. C.440-445.

Таксономический и биоэкологический анализ состава современной, субрецентной и голоценовой флор Малоземельской тундры

Лаптева Е.Г, Корона О.М.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, lapteva@ipae.uran.ru

Экосистемы арктических и субарктических регионов очень чувствительны к климатическим изменениям. Озерно-болотные отложения этих регионов при использовании палеоэкологических методов позволяют получить информацию о природно-климатических изменениях регионального и глобального характера в различные периоды голоцена. Большинство реконструкций на основе палеоботанических методов (спорово-пыльцевой и палеокарпологический анализы) базируются на сравнении палеоархивных материалов с субрецентными данными, которые в свою очередь в разной степени отражают современные экосистемы. Для восстановления адекватной картины изменения природных комплексов Малоземельской тундры в голоцене мы акцентировали свое внимание на сравнительном анализе биоразнообразия трех видов флор в пределах окрестностей оз. Голодная Губа: 1) современной тундровой, 2) субрецентной, полученной при исследовании поверхностных проб, и 3) голоценовой, выделенной при изучении озерно-болотных отложений.

Район исследования – окрестности оз. Голодная Губа (67º51′40″ с.ш., 52º40′34″ в.д.) на территории Малоземельской тундры, расположенное в 26 км к северу от Нарьян-Мара между дельтой Печоры на востоке и Ненецкой грядой на западе. Окрестности озера являются частью ООПТ – Государственный природный заказник регионального значения «Нижнепечорский». Многолетние исследования современной флоры и растительности окрестностей оз. Голодная Губа были проведены сотрудниками отдела природы Музейного объединения НАО (г. Нарьян-Мар) под руководством Н.М. Николаевой (2013), а детальные исследования флоры и растительности Малоземельской тундры были сделаны А.А. Дедовым (2006). Зональным типом растительности окрестностей оз. Голодная Губа являются южные субарктические тундры (Дедов, 2006; Николаева, 2013). В составе исследуемой флоры отмечено 206 видов из 49 семейств. Ядро флоры составляют 13 семейств, на долю видов которых приходится 67%: Asteraceae, Cyperaceae, Poaceae, Salicaceae, Caryophyllaceae, Ranunculaceae, Brassicaceae, Scrophylariaceae, Rosaceae, Juncaceae, Fabaceae, Polygonaceae, Equisetaceae. Суммарная доля видов 26 одновидовых семейств составляют 13%, в том числе Pinceae, Cupressaceae, Grossulariaceae, Cornaceae, Menyanthaceae, Polemoniaceae, Dryopteridaceae и др. В составе флоры доминируют гипоарктические (*Betula nana* L., *Salix phylicifolia* L., *S. lapponum* L., *S. glauca* L., *Empetrum nigrum subsp. hermaphroditum* (Hagerup) Böcher, *Rododendron tomentosum* Harmaja, *Eriophorum vaginatum* L., *Rubus chamaemorus* L. и др.) и бореальные (*Carex globularis* L., *Vaccinium myrtillus* L., *V. uliginosum* L., *V. vitis-idaea* L. и др.) виды, различные сочетания которых формируют ерниковые и ивняковые тундры. На вершинах и сопках имеются песчаные и щебнистые выдувы с редкими куртинами гипоарктических кустарничков *Arctous alpine* (L.) Spreng., *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Empetrum nigrum subsp. hermaphroditum, Salix herbacea* L. и лишайниками. Помимо зональных фитоценозов встречаются нехарактерные для тундр группировки из древесной растительности (экстразональные растительные сообщества) с травяным покровом из бореальных видов: еловые островки из ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), березняки из березы извилистой (*Betula pubescens* var. *pumila* (Zanoni ex Murray) Govaerts) с черничным (*Vaccinium myrtillus*) или морошковым (*Rubus chamaemorus*) травяным покровом, заросли из можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.) с седмичником европейским (*Lysimachia europaea* L.) и грушанкой малой (*Pyrola minor* L.).

Субрецентная флора получена на основе изучения 31 поверхностной пробы моховой подушки с мертвым лиственным опадом, которые были отобраны в зональных (водораздельные тундры), интразональных (поймы и болота) и экстразональных (островки древесной растительности) типах сообществ в 2013 и 2025 годах. Поверхностные пробы отбирали методом конверта (усредненная проба из четырех краевых и одной серединной точек) с глубины не более 3 см на пробных площадях размером 100 м^2. В точках отбора описывался флористический состав с указанием обилия основных таксонов, ярусов растительности, формулы древостоя (в лесных сообществах) и др. Субрецентная флора сформирована на основе таксономического состава спорово-пыльцевых спектров и комплексов макроостатков растений, включая определения пыльцы, спор, плодов, семян и других идентифицируемых частей растений (хвоинки, укороченные побеги, чешуи шишек и целые шишки хвойных растений, побеги листостебельных мхов, мелкие листочки вересковых кустарничков, берез и других мелколистных растений). В составе этой флоры выявлено 30 семейств, что составляет 61% от семейственного спектра флоры окрестностей оз. Голодная Губа. Представлена пыльца и макроостатки как видов семейств из ядра современной флоры (Cyperaceae, Poaceae, Asteraceae, Salicaceae Rosaceae и др.), так и видов монотипных семейств (Pinaceae, Onagraceae, Cupressaceae, Menyanthaceae, Polemoniaceae, Dryopteridaceae, Violaceae и др.). Определены пыльца и макроостатки гипоарктических и бореальных видов. Состав субрецентных спорово-пыльцевых спектров и комплексов макроостатков растений кустарничково-кустарниковых тундр, в том числе формирующихся на незадернованных субстратах, сходен с составом зональной субарктической тундровой растительностью по доминированию пыльцы и макроостатков кустарников (*Salix* sp. и *Betula nana*) и вересковых кустарничков (Ericales, *Empetrum nigrum subsp. hermaphroditum*. *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*). Состав спорово-пыльцевых спектров и комплексов макроостатков растений экстразональных сообществ отражает лесной тип растительности с доминированием пыльцы и макроостатков преобладающей лесной породы: пыльца *Picea* и хвоинки *Picea obovata* преобладают в ельниках, пыльца и крылатки *Betula* sect. *Betula* обильны в березняках. Причем спорово-пыльцевые спектры и комплексы макроостатков растений лесных островков в окрестностях оз. Голодная Губа сходны с субрецентными спектрами и комплексами лесотундры. Следует отметить, что в окрестностях озера *Larix sibirica* Ledeb. не встречается, однако в лесотундре в окрестностях г. Нарьян-Мара помимо ели сибирской и березы извилистой произрастает лиственница. В поверхностных пробах лиственничников лесотундры доля пыльцы *Larix* sp. составляет лишь 1–2%, что согласуется с представленностью пыльцевых зерен лиственницы по данным других авторов (Новенко и др., 2021; Lisitsyna et al., 2011), а семена и вегетативные части обильны. В целом, локальная флора пробных площадей наиболее полно и адекватно отражена в субрецентных комплексах макроостатков растений, так как большинство из них можно определить до видового ранга. В спорово-пыльцевых спектрах часто присутствует пыльца растений, которые не произрастают в месте отбора поверхностных проб, в том числе как результат дальнего ветрового заноса (*Pinus sylvestris*).

На основе изучения озерно-болотных отложений трех разрезов в береговых обнажениях оз. Голодная Губа: «у Черного Ручья» (Лаптева, Корона, 2022), «мыс Гусиный» и «Нютнейяха-1» получена флора голоценового возраста. Согласно радиоуглеродным датам, полученным для каждого разреза, толщи отложений начали формироваться в интервале от 11.2 до 9.2 тыс. кал. л.н. Таким образом, голоценовая флора сформирована на основе определения палино- и макроостатков из трех

палеоархивов, охватывающих временной интервал с раннего голоцена до современности. Как для отдельных хронологических этапов голоцена, так и для голоценовой флоры в целом был проведен таксономический и биоэкологический анализ биоразнообразия. Всего в составе флоры голоценового возраста выявлено 28 семейств, что составляет 57% от семейственного спектра современной флоры окрестностей оз. Голодная Губа. Определены пыльца и макроостатки представителей как из ядра современной флоры, так и одновидовых семейств. Биоэкологический анализ голоценовой флоры из озерно-болотных отложений показал, что в ее составе выделяется группа бореальных видов (*Picea obovata*, *Betula* sect. *Betula*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Carex cinerea*, *C. vesicaria*, *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata* и др.) и арктических, включая гипоарктические и арктоальпийские виды (*Juniperus sibirica*, *Betula nana*, *Alnus alnobetula* ssp. *fruticosa* (Rupr.) Raus, *Rododendron tomentosum*, *Rubus chamaemorus*, *Empetrum nigrum subsp. hermaphroditum*, *Vaccinium uliginosum*, *Viola bifolia* и др.). По приуроченности к местообитаниям с разными условиями увлажнения найдены пыльца и макроостатки растений, преимущественно, умеренно-увлажненных экотопов (мезофитов). В тоже время обнаружены плоды растений избыточно увлажненных экотопов (гигро-, гидро-, гигро-гидрофиты, гигромезофиты), большинство которых в современной флоре не только окрестностей озера, но и Малоземельской тундры в целом не отмечены: *Ceratophillum demersum* L. и *C. Submersum* L., *Nuphar lutea* (L.) Sm. и *N. Pumila* (Timm) DC., *Myriophyllum verticillatum* L. и ряд видов рода *Potamogeton*.

Заключение. Таксономический и биоэкологический анализ трех разновозрастных флор показал, что более половины семейственных спектров современной флоры окрестностей оз. Голодная Губа представлены в субрецентной и голоценовой флорах, причем выявлены таксоны, как из ядра семейственного спектра, так и одновидовых семейств. Выявлено соучастие гипоарктических и бореальных видов во всех трех типах изученных флор, при этом флора раннего голоцена включает виды, которые в современной флоре окрестностей оз. Голодная Губа не отмечены. Наличие и обилие пыльцы и макроостатков бореальных видов, в том числе древесных пород, во флорах раннего и среднего голоцена свидетельствует о существовании таежных лесов в голоцене на территории современной Малоземельской тундры. Это указывает, вероятно, на реликтовое происхождение современных экстразональных лесных (еловых и березовых) островков, встречающихся в окрестности оз. Голодная Губа.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 25-24-00244, https://rscf.ru/project/25-24-00244/).

Список литературы

1. Дедов А.А. Растительность Малоземельской и Тиманской тундр. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2006. 160 с.
2. Лаптева Е.Г., Корона О.М. Новые данные о динамике растительности Малоземельской тундры в голоцене на основе комплексного палеоботанического изучения озерно-болотных отложений в районе озера Голодная Губа // Экология. 2022. № 2. С. 120-128.
3. Николаева Н.М. Растительность и флора сосудистых растений окрестностей озера Голодная Губа // Озеро Голодная Губа. Заказник «Нижнепечорский». Нарьян-Мар: ГБУК «Ненецкий краеведческий музей», 2013. С. 15-21.
4. Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г., Куприянов Д.А., Филимонова Л.В., Лаврова Н.Б. Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры лиственничных лесов центральной Эвенкии: особенности интерпретации для целей палеоэкологических исследований // Экология. 2021. № 6. С. 403-411.
5. Lisitsyna O.V., Giesecke T., Hicks S. Exploring pollen percentage threshold values as an indication for the regional presence of major European trees // Revew of Palaeobotany and Palynology. 2011. Vol. 166 (3-4). P. 311-324.

Физико-химические особенности и качество воды Атласовских озер г. Якутска

Левина С.Н., Городничев Р.М., Кондакова Н.С., Пестрякова Л.А.

СВФУ им. М.К. Аммосова, Якутск, 677000, levina_sardan@mail.ru

Введение. Объектом исследования являются Атласовские озера, входящие в состав сети взаимосвязанных водоемов, образующих Якутский городской канал (рис. 1) (Руфова, Ксенофонтова, 2015; Николаев, Архипов, 2021). Использование воды из реки Шестаковка привело к нарушению проточности и наполняемости озер, что в конце XX века негативно сказалось на их экологическом состоянии.

Целью работы является установление особенностей физико-химических параметров воды и диатомовой флоры Атласовских озер.

Результаты, полученные в ходе исследования, могут дополнить существующие данные о качестве воды и текущем состоянии водных объектов города Якутска, а также могут быть использованы при планировании и реализации водохозяйственных и природоохранных мероприятий на территории исследования.

Материалы и методы. Пробы воды, донных отложений (0-1 см) и фитопланктона были отобраны в 2023 г. в летний период в местах с максимальной глубиной озера с использованием стандартных методов отбора проб и обработки материала, описанных в работах авторов (Городничев и др., 2015; Левина и др., 2021). Диатомовый анализ был выполнен по общепринятой количественной методике (Общие закономерности…, 1986; Пестрякова 2008б). С применением метода Пантле-Букка в модификации Сладечека (Sládeček, 1973) проведена биоиндикационная оценка современного состояния качества воды Атласовских озер.

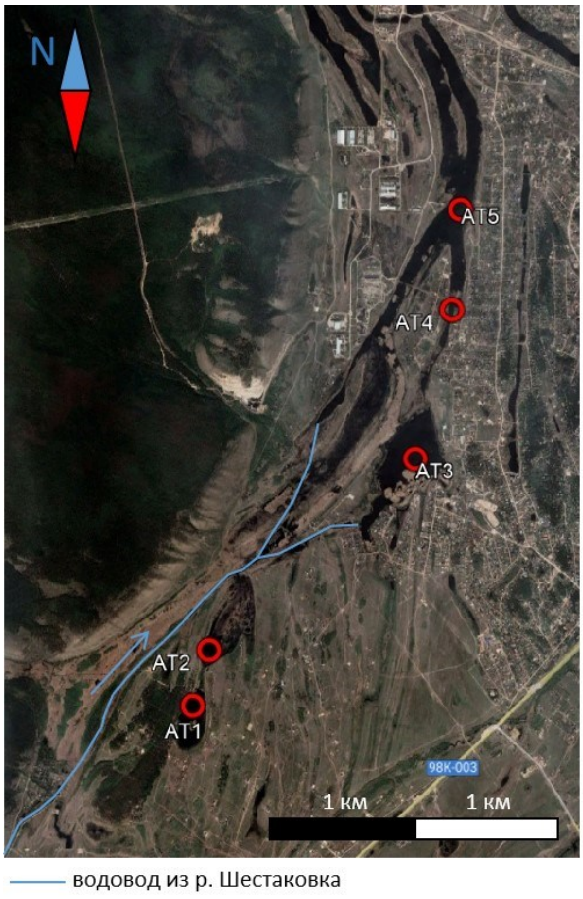


Рис. 1. Карта-схема района исследования

Результаты исследования. По результатам гидрохимического анализа вода исследуемых озер является ультрапресной (АТ3 и АТ5) и пресной. Минерализация колеблется от 150 до 390 мг/л. Водородный показатель варьирует от нейтральной (7,5) до слабощелочной (8,0). Вода охарактеризована как мягкая и умеренно-жесткая (Курлов, 1928). По структуре главнейших ионов наблюдаются разнообразные сочетания долей основных катионов, согласно Алекину (Алекин, 1970) вода охарактеризована как гидрокарбонатная, кальциевая и магниевая.

Для проведения диатомового анализа были однократно взяты пробы поверхностных донных отложений и фитопланктона на озере Ат3 в течение четырёх месяцев – с июня по сентябрь. Диатомовая флора озера представлена 31 видами, относящимися к 18 родам, 15 семействам, 8 порядкам и 1 классу Bacillariophyceae. Список массовых форм состоит из 8 видов, 4 доминантов (более 10 % во флоре), 2 субдоминантов (от 5 до 10 %) и 2 видов, выступающих и доминантами, и субдоминантами. Во флоре изученных озер следует отметить такие виды, как *Cyclotella meneghiniana* (до 70,3 % в пробе Ат3-5), *Fragilariforma mesolepta* (до 84,3 % в Ат3-4). Данные виды характеризуются как планктонный вид, обитающий в мезотрофных и эвтрофных щелочных водоёмах и вид-обрастатель, преимущественно встречающийся в пресных водоёмах, предпочитающий умеренно питательные воды с хорошей аэрацией. По эколого-географической структуре диатомовая флора представлена, в основном, обрастателями, индифферентными видами, преимущественно развивающимися при щелочной среде, широкого температурного спектра. Биоиндикационная оценка качества воды показала, что индекс сапробности варьирует от 1,5 до 2, а качество воды озера относится к 3 классу (b-мезосапробная) (рис. 2).

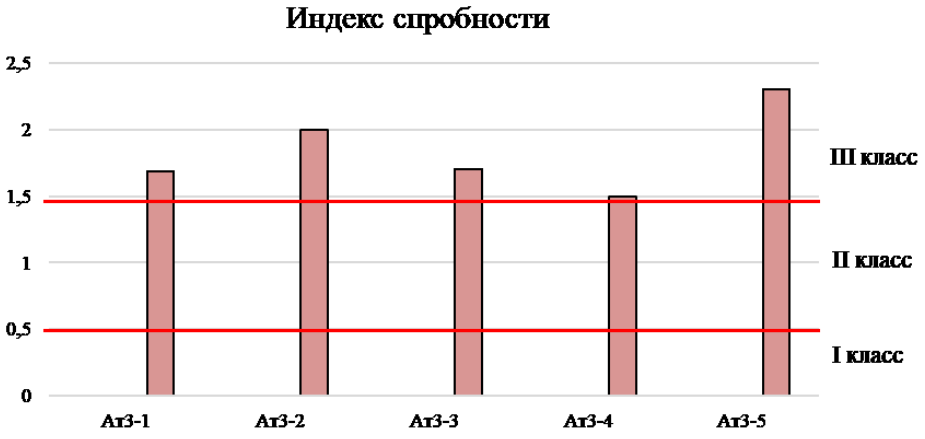


Рис. 2. Оценка сапробности изученных водоемов и их класс качества (ГОСТ – 17.1.3.07-82)

Выводы. Согласно полученным данным установлено, что между котловинами озёр АТ3, АТ4 и АТ5 существуют связи и обмен водными массами, а также они получали воду из реки Шестаковка. Благодаря этому гидрохимический состав этих озер оказался схожим. Вода в этих озерах характеризуется как ультрапресная и пресная, очень мягкая и мягкая, с нейтральной реакцией. В их ионном составе доминировали гидрокарбонаты и кальций, при этом концентрации фосфатов были выше.

Вода озёр АТ1 и АТ2, которые не связаны с остальной частью исследуемых озёр, отличалась более высокой минерализацией и общей жёсткостью, а также преобладанием магния и снижением доли гидрокарбонатов в ионном составе. Для воды всех исследуемых озер характерны повышенные концентрации общего железа,

что является типичной особенностью озёр Центральной Якутии и связано с высокими фоновыми уровнями этого элемента в окружающей среде.

Качество воды, выявленное с расчетным индексом сапробности по диатомеям, показало, что вода озера Ат3 относится к 3 классу, т.е. умеренно-загрязненой.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки РФ № FSRG-2023-0027 и FSRG-2026-0010.

Список литературы

1. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1970. – 444 с.
2. Городничев Р. М., Пестрякова Л. А., Ядрихинский И. В. Взаимосвязи диатомовых водорослей с морфометрическими, гидрохимическими характеристиками и параметрами местоположения озер Севера Якутии // Вестник СВФУ. 2015. № 6 (50). С. 14–26.
3. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. Введ. 1984-01-01. М., Изд-во стандартов, 10 с.
4. Курлов, М. Г. Классификация сибирских целебных минеральных вод / М. Г. Курлов – Томск : Издание Физиотерапевтического института, 1928. – 74 с.
5. Левина, С. Н. Оценка современного состояния озер низовья реки Индигирка / С. Н. Левина, П. В. Давыдова, И. А. Баишева // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45. – № 2. – С. 168-182. – DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-2-168-182.
6. Николаев А.А., Архипов И.В. Экологическое состояние озер города Якутска для туристско-рекреационного использования // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 106-113
7. Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения озер. 1986. Серия: История озер СССР. Отв. редактор Д.Д. Квасов. Л., Наука, 256 с.
8. Пестрякова, Л. А. Диатомовые комплексы озер Якутии : монография / Л. А. Пестрякова. – Якутск : Издательство ЯГУ, 2008б. – 197 с.
9. Руфова А.А., Ксенофонтова М.И. Гидрохимический состав как один из индикаторов современных условий формирования озер (на примере г. Якутска) // Наука и образование. 2015. № 2. С. 145-151.
10. Sládeček V. 1973. System of water quality from the biological point of view. Stuttgart, Schweizerbart, 218 p.

Предварительные результаты палинологического исследования донных отложений оз. Банного (о. Анзер, Соловецкий архипелаг)

Левкова Д.Н.[1], Сапелко Т.В.[2], Леонтьев П.А.[1], Субетто Д.А.[1]

[1] Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, velajrad@gmail.com

[2] Институт озероведения РАН - СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург

Соловецкий архипелаг находится в юго-западной части Белого моря у входа в Онежский залив и включает более 130 островов, самыми крупными из которых являются острова Большой Соловецкий (Бол. Соловецкий) (225,28 км^2) и Анзер (48,51 км^2), расположенные в 5 км друг от друга и разделённые проливом Анзерская Салма (рис.1 А и Б). На островах архипелага существует более 400 озёр (Природная среда…, 2007), что делает их особенно перспективными в палеолимнологическом отношении. Изучение донных отложений озёр, расположенных на разных высотных отметках над уровнем моря (н.у.м.), способствует решению ряда палеогеографических задач: динамика изменения уровня моря, реконструкция климатических и природных условий в прошлом, выявление реакции окружающей среды на изменения, происходящие под влиянием природных и антропогенных факторов.

Палеолимнологические работы проводятся на Соловецких островах с 2006 года. За это время установлена хронология изоляции котловин озёр от Белого моря по данным радиоуглеродного датирования, литологического, палинологического и диатомового анализов, посчитаны скорости осадконакопления и установлены временные рамки голоценовых регрессий и трансгрессии Тапес (Субетто и др., 2012; Кузнецов и др., 2022; Леонтьев, 2026).

Ключевым методом реконструкции климата и растительности прошлого является палинологический (спорово-пыльцевой) анализ. Первые палинологические данные на о. Бол. Соловецкий получены Т.Д. Боярской для морских террас, отражающих трансгрессивные этапы Белого моря (Никишин, 1984). Изучены и сопоставлены с современной растительностью палиноспектры субрецентных (поверхностных) проб, показывающие, что при реконструкциях необходимо учитывать возможность переноса пыльцы с материка и влияние антропогенных факторов (Sapelko, Subetto, 2014). По результатам изучения колонок озёрных отложений выявлены природно-климатические изменения в голоцене на о. Бол. Соловецкий с атлантического периода голоцена (Сапелко, 2011; Сапелко, Субетто, 2014) и о. Анзер с позднеледниковья (Левкова и др., 2024).

В 2015 году на о. Анзер проведены первые комплексные палеолимнологические исследования, в ходе которых с помощью Русского бура отобраны колонки донных отложений нескольких озёр, расположенных на разных абсолютных высотах н.у.м., установлены этапы и условия осадконакопления (Кузнецов и др., 2022). С помощью палинологического анализа изучены донные отложения оз. Надбанного (65°8.8026′ с.ш., 36°1.8666′ в.д.; 20-21.5 м н.у.м.), полученные палиноспектры отражают историю развития озера с позднего дриаса по настоящее время (Левкова и др., 2024). Также получены предварительные результаты спорово-пыльцевого анализа оз. Банного (65°8.7012′ с.ш., 36°2.3028′ в.д.; 13.7 м н.у.м.), расположенного в 150 м к юго-востоку от оз. Надбанного (рис.1 В). Озеро имеет вытянутую с запада на восток форму, площадь зеркала 0.03 км^2. Колонка донных отложений отобрана в восточной части озера с глубины 2.7 м мощностью 1.94 м и сложена серой опесчаненной глиной в нижней части, выше слоистой зеленовато-черной глинистой гиттией и бурой гиттией, с обводнённым верхним слоем (рис.1 Г).



Рис. 1. А — район исследований; Б — Соловецкие острова, символом обозначено расположение оз. Банного на о. Анзер; В — оз. Банное и оз. Надбанное; Г — литологическая колонка отложений оз. Банного, где 1) серая опесчаненная гиттия, 2) слоистая зеленовато-черная глинистая гиттия, 3) бурая гиттия

По предварительным результатам спорово-пыльцевого анализа выделены 3 палинозоны, отражающие смену растительного покрова с атлантического периода. При расчётах за 100% принималась сумма пыльцы древесных, травянистых растений и спор. Также в образцах подсчитывались клетки зелёных водорослей *Pediastrum* и *Botryococcus*, споры грибов, включая *Glomus*, раковинные амёбы и микроуголь, динамика содержания которых дополняет палиноспектры.

Палинозона 1 (4.64-4.10 м) формировалась в атлантическом периоде голоцена в условиях тёплого и влажного климата, когда оз. Банное было частью морского водоёма. В палиноспектрах преобладает пыльца древесных пород, в основном *Pinus*, *Betula* и *Picea*, встречаются пыльцевые зёрна *Alnus*, *Corylus* и *Salix*. Характерно постоянное присутствие термофильных широколиственных пород — *Tilia*, *Ulmus*, *Quercus*, *Carpinus* и *Fraxinus*. Среди травяно-кустарничкого покрова отмечается широкое разнообразие таксонов, но в основном преобладают Poaceae и Cyperaceae. В составе споровых значительно содержание Polypodiaceae, в частности, *Dryopteris*. Непыльцевые палиноморфы в основном представлены микрочастицами углей. В это время распространяются сосновые леса с примесью широколиственных пород и берёзы.

В период формирования **палинозоны 2 (4.10-2.94 м)** доля пыльцы древесных сокращается за счет увеличения спор. Преобладает пыльца *Pinus* и *Betula*. В целом невысокое содержание пыльцы *Picea* к концу палинозоны достигает пика. Увеличивается количество пыльцы *Betula nana* и *Alnus*. Сокращается содержание широколиственных пород. В составе травянистых по-прежнему преобладает пыльца Poaceae и Cyperaceae, значительно сокращается разнообразие среди прочих таксонов. Появляется пыльца макрофитов — *Potamogeton*, *Nuphar*, *Alisma* и *Myriophyllum*. Впервые отмечаются споры *Isoetes*. Из спор преобладают *Dicranum* и *Equisetum*. Среди непыльцевых палиноморф отмечены зеленые водоросли *Pediastrum* и *Botryococcus*, частицы микроуглей, споры грибов и др. Палиноспектры отражают этап изоляции оз. Банного и становление его самостоятельным пресноводным водоёмом, что подтверждается как появлением пресноводной растительности и полушника,

так и резко возросшим содержанием спор грибов. Распространяются сосново-берёзовые леса с примесью ели и ольхи. Территория вокруг озера с карликовой берёзой заболочена. Вероятно, палинозона 2 формируется в суббореальном периоде в более прохладном и влажном климате, нижняя граница совпадает с горизонтом слоистой глинистой гиттии и фиксируется радиоуглеродными датами — 5.9-5.2 и выше 4.9 и 4.2 и 5-4.5 тысяч калиброванных лет назад (инверсия может быть обусловлена способом отбора материала на датирование).

В **палинозоне 3 (2.94-2.71 м)** доля древесных снова с преобладанием *Pinus* и *Betula*. Характерно снижение содержания пыльцы *Picea*. Снова чаще отмечается пыльца *Tilia*, *Ulmus* и *Carpinus*. Травянистые сопоставимы по разнообразию и количеству с палинозоной 1, увеличивается количество рудеральных трав — *Taraxacum*, *Rumex*, *Artemisia*, *Plantago* и *Urtica*. Стабильно присутствует пыльца макрофитов: Nymphaeaceae, в частности, *Nuphar*, *Potamogeton*, *Myriophyllum,* впервые появляется *Typha.* Среди споровых преобладают *Polypodiaceae* и *Sphagnum*, в небольшом количестве присутствуют споры *Isoetes*. Среди непыльцевых палиноморф сокращается содержание спор грибов, значительно увеличивается количество микроуглей. Постоянно встречаются водоросли *Botryococcus* и *Pediastrum*. Палинозона сложилась в субатлантическом периоде в условиях более холодного и сухого климата. Леса вокруг озера приобретают современный вид — сосновые с примесью ели и обширными площадями березняков, увеличивается площадь антропогенно нарушенных участков.

Первые археологические памятники на о. Анзер датируются IV тысячелетием до нашей эры (Мартынов, 2021). С XV века на Соловках проживают монахи, которые практиковали посадки нетипичных для северных широт растений. В XX веке леса, в частности еловые, активно вырубались для хозяйственных нужд. С 1967 года леса Соловецкого архипелага отнесены к наиболее ценным лесам России, рубки здесь запрещены (Ипатов и др., 2009).

Изученная с помощью палинологического анализа колонка донных отложений оз. Банного начала формироваться в атлантическом периоде в условиях тёплого и относительно влажного климата, озеро в это время было частью Белого моря. В суббореальный период, более прохладный и влажный, произошла изоляция озера, что подтверждается как сменой глинистого осадка на органогенную гиттию, так и активным распространением пресноводной растительности. В это время наблюдается сильное заболачивание территории. В субатлантическом периоде на водосборном бассейне озера появляются следы человеческой деятельности — в палиноспектрах отмечается пыльца рудеральных трав, липы, вяза и граба, которые могли быть посажены, значительно возрастает содержание микроуглей. На протяжении всего изученного периода в регионе господствовала лесная растительность. Полученные результаты в целом соотносятся с данными исследования донных отложений оз. Надбанного.

Благодарности. Работа при поддержке Государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме № FFZF-2024-0002.

Список литературы

13. Ипатов Л.Ф., Косарев В.П., Проурзин Л.И. и др. Леса Соловецкого архипелага. Архангельск: СОЛТИ. 2009. 244 с.
14. Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В., Субетто Д.А. и др. Хроно- и литостратиграфия озерных отложений острова Анзер (Соловецкие острова) в контексте послеледниковой истории Белого моря // Изв. РАН. Сер. геогр. 2022. № 6. С. 914–932.

15. Левкова Д.Н., Сапелко Т.В., Леонтьев П.А. и др. Роль древесных пород в формировании растительности голоцена на о. Анзер (Белое море) по данным спорово-пыльцевого анализа донных отложений оз. Надбанного // Морские и озерные бассейны восточной периферии Балтийского щита в четвертичное время. Тез. докл. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2024. С. 56–60.
16. Леонтьев П.А. Изменение относительного уровня Белого моря в голоцене (Онежский полуостров, Соловецкие острова). Автореф. дисс. … канд. геогр. наук. Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена. 2026. 26 с.
17. Мартынов А.Я. Изучение и сохранение первобытных и средневековых («домонастырских») памятников археологии Соловецкого архипелага // Музей. Памятник. Наследие. 2021. №. 1. – С. 108–120.
18. Никишин Н.А. Особенности развития берегов Соловецких островов в голоцене // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1984. № 5. С. 55–57.
19. Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Под ред. Ю.Г. Шварцмана, И.Н. Болотова. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 184 с
20. Сапелко Т.В. Палинология соловецких озер // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Тез. докл. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2011. Т.2. С. 220–222.
21. Сапелко Т.В., Субетто Д.А. История развития озерных ландшафтов Соловецких островов // Науч.-практич. конф. по водным ресурсам, включая биологические ресурсы, Соловецкого архипелага. Тез. докл. Пос. Соловецкий, 2014. С. 51–53.
22. Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В. и др. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т.446. № 2. С. 183–190.
23. Sapelko T.V., Subetto D.A. Palaeoecological data from Holocene lake sediments in the Solovki Islands, the White Sea // 9th EPPC. Padova, Italy. 2014. P. 242.

Геохимические индикаторы условий седиментогенеза оз. Иткуль как отражение климатических флуктуаций голоцена лесостепной зоны юга Западной Сибири (Барабинская низменность)

Леонова Г.А.[1], Мальцев А.Е.[1], Кривоногов С.К.[1,2], Смоленцева Е.Н.[3]

[1] *Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск,* leonova@igm.nsc.ru

[2] *Кызылординский университет им. Коркыт-Ата, Казахстан*

[3] *Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск*

Оз. Иткуль расположено в лесостепной ландшафтной зоне Новосибирской области (Чулымский район) в пределах Восточно-Барабинской низменной равнины, на краю междуречного пространства рек Чулым и Каргат. Озеро вытянуто с востока на запад и имеет две котловины (плёсы): западную и восточную, которые соединены между собой проливом шириной ~130 м. Восточный плёс значительно больше западного: длина восточного плёса составляет 5.2 км, а с западным плёсом длина всего современного озера — 8.7 км. Ранее, в центральной части восточного плёса оз. Иткуль в 2012 и 2013 гг. нами были пробурены ряд скважин и исследована геохимия и минералогия донных отложений (Солотчина и др., 2019; Мальцев и др., 2020). Скважинами вскрыты минеральные осадки, представленные мергелистыми глинами, возрастом 8.8 тыс. кал. л. н. (рис. 1).

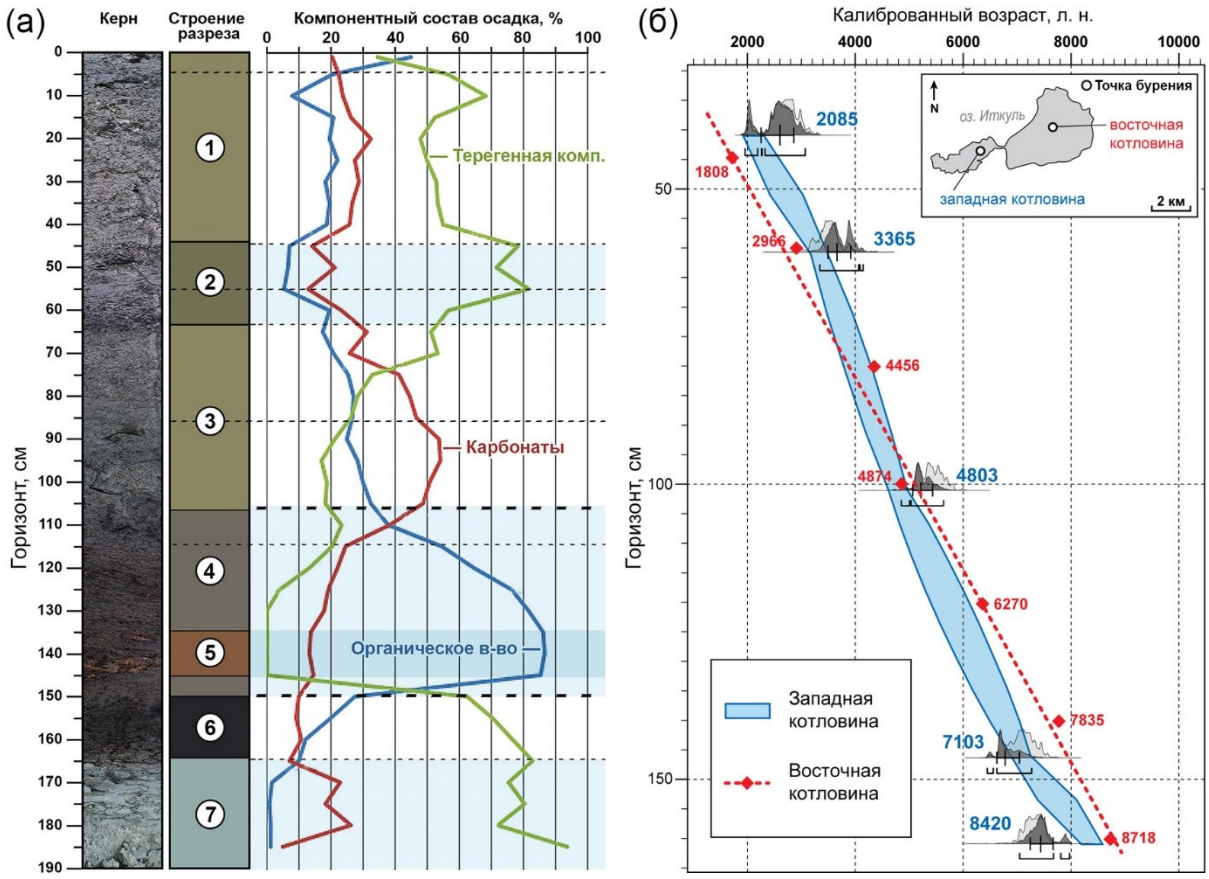


Рис. 1. Строение и результаты седиментологического анализа донных отложений западной котловины оз. Иткуль (а), возрастная модель западной и восточной котловин (б). 1–3. макрофитогенный сапропель, 4. торфянистый сапропель, 5. торф, 6. органо-минеральные отложения, 7. подстилающие отложения (лёссы)

Было показано, что донные отложения оз. Иткуль характеризуются неоднородным вещественным составом, различиями в распределении по разрезу Al, Fe, Na, K, Mg, Ca,

Sr, Mn, Cu, Zn, Pb, карбонатов, а также разной степенью магнезиальности кальцитов, что связано, прежде всего, как с изменениями условий озерного седиментогенеза, так и с повышением или понижением уровня озера: 1. на этапах обмеления водоема складывались благоприятные условия для осаждения карбонатов, что приводило к росту в осадке концентраций Ca, Sr, Mn; 2. на этапах повышения уровня воды усиливался терригенный снос с водосборного бассейна озера, что приводил к росту Si, Al, Fe, Na, K (Мальцев и др., 2020).

В 2019 г. была пробурена западная котловина озера. Мы предполагали, что ее отложения и история формирования аналогичны восточной, однако бурение показало иную картину: скважина вскрыла не однородный по вещественному составу разрез донных отложений, представленных макрофитогенным и торфянистым сапропелем, который имеет следующее строение (рис. 1а):

(1) 0–43 см — макрофитогенный сапропель, оливково-серый со слаборазложившимися растительными остатками, сильнообводненный в верхних ~10 см. (2) 43–64 см — макрофитогенный сапропель, темного цвета, более грубый по составу за счет бóльшего количества растительных остатков. (3) 64–107 см — сапропель оливково-серый со слаборазложившимися растительными остатками, аналогичный интервалу (1), но с большим скоплением раковин остракод в интервале 67–107 см. (4) 107–153 см — торфянистый сапропель, черноватого цвета, грубый, с мелкими раковинами двустворчатых моллюсков. (5) 134–145 см — это черный, озерный торф — отложения тростникового займища, в интервале 142–145 см — прослой светло-коричневого торфа, сформированного чистым тростником. (6) 153–164 см — темные, почти черные органо-минеральные отложения (ОМО) — по-видимому, почвенный слой, развитый по подстилающим отложениям. (7) 164–190 см — суглинок лессовидный голубовато-серый.

Последовательность отложений предполагает следующую историю заполнения западной озерной котловины осадками. Вначале на субстрате из лессовидных отложений гривной толщи формировалась почва. Затем котловина начала обводняться и возникло тростниковое займище, в котором накапливался торф. Постепенное повышение воды привело к образованию озера и накоплению макрофитогенного сапропеля. Разные слои сапропеля свидетельствуют об изменениях условий осадконакопления и трофического статуса озера.

Донное отложения западной котловины оз. Иткуль являются редким случаем полного соответствия седиментологических характеристик слоям (рис. 1а). Подстилающие лессы (слой 7) имеют высокую карбонатность и почти полное отсутствие ОВ. Развитая на них почва (слой 6) показала постепенное увеличение содержания ОВ. Торфянистый сапропель (слои 5 и 4) — полное доминирование ОВ, терригенное вещество практически не поступало в займище. Макрофитогенный сапропель слоя 3 показывает постепенный рост уровня озера — увеличение терригенной составляющей, одновременно наблюдается увеличение количества карбонатов. Нижняя часть слоя 3 отражает условия значительного выпадения карбонатов, снижения органической составляющей и роста терригенной компоненты. По-видимому, это фаза значительного сокращения и засоления озера. Условия начали стабилизироваться, водность бассейна начала расти, в верхней части слоя 3 — резкое увеличение (преобладание) доли терригенного материала, сокращение карбонатности и содержания ОВ. Максимум обводнения водоема, соответствующий фазе трансгрессии, приходится на период формирования слоя 2. Слой 1 показывает относительно высокий уровень озера с преобладанием терригенного осадконакопления. Повышение доли ОВ у кровли слоя отражает современные условия понижения уровня озера и его зарастания. При этом, карбонатность отложений все еще уменьшается.

На основе 5 радиоуглеродных дат была построена возрастная модель с использованием программного обеспечения *OxCal 4.4* (кривая IntCal20) (рис. 1б). Модель демонстрирует высокую степень надежности: индексы согласия составили A_{model} = 78.7% $A_{overall}$ = 79.3%, что подтверждает отсутствие стратиграфических инверсий и общую стабильность процесса осадконакопления в изученном интервале. Согласно результатам моделирования, колонка охватывает период за последние 8420 кал. л. н. (медианное значение для глубины 160–161 см). Дата 2085 кал. л. н. указывает возраст окончания самой крупной трансгрессии оз. Иткуль и начала современной фазы относительно высокого уровня. Наши данные показывают, что западная и восточная котловины оз. Иткуль длительное время своего развития были раздельными котловинами, и только в позднем голоцене стали единым озером. Средняя скорость седиментации для всего разреза западной котловины составила 0.19 мм/год, однако в разные периоды голоцена наблюдалась заметная вариативность темпов накопления:

1. Ранний голоцен (8.4–7.1 тыс. кал. л. н.): отмечен минимальными скоростями накопления сапропеля — 0.11 мм/год. Это может свидетельствовать о низкой биологической продуктивности водоема или преобладании условий, ограничивающих приток ОВ в начальной фазе формирования изученных отложений, что вероятно, связано с дефицитом увлажнения, характерным для раннего и начала среднего голоцена в Барабе. Это согласуется с данными по другим озерам региона, указывающими на аридность климата в это время (Волков, Орлова, 1988; Жданова и др., 2017; Солотчина и др., 2019; Zhilich et al., 2017; Krivonogov et al., 2023).

2. Средний голоцен (7.1–3.3 тыс. кал. л. н.): в этот период наблюдается существенный рост скоростей седиментации. Пик скорости накопления зафиксирован в интервале 4.8–3.37 тыс. кал. л. н. (глубины 61–101 см) и составил 0.28 мм/год, что в 2.5 раза выше значений раннего голоцена, что маркирует наиболее активную фазу формирования донных отложений. Этот интервал соответствует периоду субатлантического похолодания и повышения общей влажности климата (Волков, Орлова, 1988). Увеличение водного зеркала и притока биогенных элементов с водосбора, по-видимому, способствовали расцвету растительных сообществ (макрофитов) и благоприятствовал формированию сапропеля. Аналогичные пики увлажнения в интервале 5.0–3.5 тыс. кал. л. н. фиксировались в палинологических записях озерных отложений региона (Жданова и др., 2017; Солотчина и др., 2019; Мальцев и др., 2020; Zhilich et al., 2017; Krivonogov et al., 2023).

3. Поздний голоцен (3.3 тыс. кал. л. н. — по наст. вр.): темпы накопления стабилизировались. В интервале 3.37–2.09 кал. тыс. л. н. скорость несколько снизилась до 0.16 мм/год, после чего в последние два тысячелетия (экстраполяция для слоя 0–41 см) выросла до 0.20 мм/год. Замедление скорости до 0.16–0.20 мм/год в последние три тысячи лет свидетельствует о переходе экосистемы озера в режим относительной «стабильности». Небольшое ускорение темпов в интервале 0–41 см (0.20 мм/год) может быть обусловлено как естественным процессом неполного уплотнения верхних слоев сапропеля, так и нарастающим антропогенным воздействием на водосбор в последние столетия, что привело к увеличению поступления минерального и органического вещества в озеро (Мальцев и др., 2020).

Таким образом, наиболее активная фаза формирования сапропелей в западной котловине оз. Иткуль пришлась на интервал 4.8–3.3 тыс. кал. л. н., что согласуется с общими палеогеографическими трендами для Барабинской лесостепи (Волков, Орлова, 1988).

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН и ИГМ СО РАН (FWZN-2026-0008, FWZN-2026-0004) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Список литературы

1. Волков И.А., Орлова Л.А. Голоцен Барабы (стратиграфия и радиоуглеродная хронология) Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. 100 с.
2. Жданова А.Н., Солотчина Э.П., Кривоногов С.К. и др. Минеральный состав осадков озера Малые Чаны как индикатор изменения климата в голоцене (юг Западной Сибири) // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 5. С. 732–744.
3. Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К., Мирошниченко Л.В., Восель Ю.С., Мельгунов М.С. Геохимия карбонатных осадков малых озер юга Западной Сибири на примере голоценового разреза оз. Иткуль // Геология и геофизика. 2020. т. 61, № 3, с. 378–399.
4. Солотчина Э.П., Кузьмин М.И., Солотчин П.А., Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Даниленко И.В. Аутигенные карбонаты голоценовых осадков озера Иткуль (юг Западной Сибири) — индикаторы изменений климата // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487. №1. С. 54–59.
5. Krivonogov, S.K., Zhdanova, A.N., Solotchin, P.A., Kazansky, A.Y, Chegis, V.V., Liu, Z., Song, M, Zhilich, S.V., Rudaya, N.A., Cao, X., Palagushkina, O.V., Nazarova, L.B., Syrykh, L.S. The Holocene environmental changes revealed from the sediments of the Yarkov sub-basin of Lake Chany, south-western Siberia // Geoscience Frontiers. 2023. N 14. P. 101518.
6. Zhilich, S., Rudaya, N., Krivonogov, S., Nazarova, L., Pozdnyakov, D. Environmental dynamics of the Baraba forest-steppe (Siberia) over the last 8000 years and their impact on the types of economic life of the population // Quaternary Science Reviews. 2017. N 163, v. 1. P. 152–161.

«На берегу пустынных волн»: история послеледниковых палеобассейнов на территории г. Санкт-Петербурга – новые данные

Лудикова А.В.[1], Кузнецов Д.Д.[1], Городилов А.Ю.[2]

[1] Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, ellerbeckia@yandex.ru

[2] Центр спасательной археологии ИИМК РАН, Санкт-Петербург

Эволюция природных обстановок на территории, занимаемой г. Санкт-Петербургом, в поздне- послеледниковое время тесным образом связана с историей Балтийского моря и Ладожского озера. Изменения уровней и конфигурации балтийских палеобассейнов (Балтийского ледникового озера, Анцилового озера, Литоринового моря) в значительной степени сформировали рельеф поверхности, а их отложения стали тем субстратом, на котором впоследствии возникли первые поселения древнего человека. Образование стока из Ладожского озера через р. Неву привело к формированию системы рукавов и островов (Невской дельты), где в начале XVIII в. был основан г. Санкт-Петербург.

В 2025 г. был исследован новый разрез послеледниковых отложений, расположенный на правом берегу р. Охты у впадения ее в р. Неву и обнаруженный в ходе археологических раскопок Городской Охтинской археологической экспедиции ИИМК РАН. Под культурным слоем вскрыта осадочная последовательность, представленная (снизу вверх): 1) серым мелкозернистым песком, содержащим небольшое количество створок пресноводных диатомей; 2) плотным темно-коричневым торфом, в котором отмечены фрагменты створок диатомовых водорослей и фитолиты; 3) серым опесчаненным алевритом с высоким содержанием створок бентосных галофильных и солоноватоводных диатомей. В направлении р. Невы указанная осадочная последовательность с наклонным эрозионным контактом замещается серо-коричневым тонкозернистым алевритовым наклонно-слоистым песком с падением слоев в сторону р. Невы. Отмечены углистые пятна и наклонные углистые прослои, крупные и мелкие фрагменты древесины. В отложениях преобладают планктонные диатомеи, причем особенно многочисленны виды, характерные для ладожского и невского фитопланктона.

По предварительным данным, песчаные отложения, залегающие в основании разреза, накапливались в мелководной зоне пресноводного бассейна, вероятнее всего, в раннеголоценовую стадию Анцилового озера на Балтике. В нижнем течении р. Невы и восточной части Финского залива анциловые отложения залегают на абсолютных отметках от +5 м до –6 м (Усикова и др., 1963). В Центральном и Василеостровском районах г. Санкт-Петербурга они вскрыты ниже уровня моря (Знаменская, Черемисинова, 1974). Формирование перекрывающего их торфа маркирует регрессию палеобассейна и установление субаэральных условий на территориях, расположенных выше ~0,9-1,0 м над у.м. Вышележащие алевритовые отложения с солоноватоводной и галофильной диатомовой флорой накапливались в мелководной части распресненного морского залива в ходе литориновой трансгрессии Балтики, начавшейся ~8500 кал. л.н. Отложения литориновой трансгрессии ранее были обнаружены в разрезах археологического памятника «Охта 1», расположенного на противоположном берегу р. Охты (Кулькова и др., 2010; Сергеев и др., 2013), а также в скважинах, заложенных в разных районах города (Яковлев, 1926). На территории г. Санкт-Петербурга выделены две литориновые террасы с отметками 0-3 м над у.м. и 4-6 м над у.м. (Знаменская, Черемисинова, 1974). Присутствие представителей

ладожского и невского диатомового планктона в песчано-алевритовых осадках, под углом срезающих субгоризонтально залегающие слои ранне- и среднеголоценового возраста в рассматриваемом разрезе, дает основание связать их образование с активизацией эрозионно-аккумулятивной деятельности р. Невы. Полученная радиоуглеродная датировка позволяет предварительно соотнести это событие с завершением ладожской трансгрессии и прорывом невских вод в Финский залив, имевшим место ~3300 кал. л.н. (Virtasalo et al., 2014).

Благодарности. Исследование проводится в рамках государственного задания Института озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН № FFZF-2024-0002.

Список литературы

1. Знаменская О.М., Черемисинова Е.А. Развитие бассейнов восточной части Финского залива в позднe- и послеледниковое время // Baltica. 1974. Т. 5. С. 95-104.
2. Кулькова М.А. Сапелко Т.В., Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Нестеров Е.М., Гусенцова Т.М., Сорокин П.Е. Палеогеография и археология стоянок неолита – раннего металла в устье р. Охты (Санкт-Петербург) // Известия РГО. 2010. Т. 142. Вып. 6. С. 13-31.
3. Сергеев А.Ю., Гусенцова Т.М., Рябчук Д.В. Сорокин П.Е., Кулькова М.А., Нестерова Е.Н., Жамойда В.А., Спиридонов М.А. Реконструкция палеорельефа береговой зоны литоринового моря в районе археологического памятника Охта 1 // Российский археологический ежегодник. 2013. № 3. С. 501-525.
4. Усикова Т.В., Клейменова Г.И., Джиноридзе Р.Н. Поздне- и послеледниковая история развития района Ленинграда // Baltica. 1963. Т. 1. С. 150-173.
5. Яковлев С.А. Наносы и рельеф гор. Ленинграда и его окрестностей. Ч. 2. Л., 1926. 264 с.
6. Virtasalo J.J., Ryabchuk D., Kotilainen A.T. Zhamoida V., Grigoriev A., Sivkov V., Dorokhova E. Middle Holocene to present sedimentary environment in the easternmost Gulf of Finland (Baltic Sea) and the birth of the Neva River // Marine Geology. 2014. Vol. 350. P. 84–96.

Эволюция растительности и климата Южной Эвенкии за последние 5,3 тыс. лет

Макарова Е.А.[1], Новенко Е.Ю.[1], Мазей Н.Г.[2], Зюганова И.С.[1], Куприянов Д.А.[1]

[1] Институт географии РАН, Москва, katmak2001@gmail.com

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Для внутриконтинентальных районов Средней Сибири, в частности для Южной Эвенкии, палеогеографические данные о динамике растительности и климата в голоцене остаются крайне фрагментарными. Восполнение этого пробела необходимо не только для понимания естественных закономерностей эволюции экосистем, но и для верификации палеоклиматических моделей и прогноза дальнейших изменений природной среды в условиях современных глобальных изменений климата. В настоящей работе представлены результаты комплексного палеоботанического исследования разреза погребенного торфяника в буферной зоне Тунгусского заповедника, охватывающего последние 5,3 тыс. кал. (калиброванных) лет.

Район исследований расположен в среднем течении реки Подкаменная Тунгуска, примерно в 20 км западнее поселка Ванавара (Эвенкийский район, Красноярский край). Изучаемая территория находится в пределах Центрально-Тунгусского плато (часть Среднесибирского плоскогорья) с высотами 100-300 м (Васильев и др., 2003). Климат – умеренный резко континентальный, характерно наличие массивно-островной многолетней мерзлоты. Растительность представлена преимущественно лиственнично-сосновыми и березово-сосново-лиственничными лесами.

Объектом исследования послужило обнажение торфяника с подстилающими старичными отложениями, вскрытое на левом берегу первой надпойменной террасы р. Чамба в буферной зоне Государственного природного заповедника «Тунгусский». Из разреза общей мощностью 280 см с шагом 10 см отобрано 28 образцов, которые использованы для анализа ботанического состава торфа, определения потерь при прокаливании, а также для спорово-пыльцевого и карпологического исследований. Анализы выполнены по стандартным методикам. Визуализация и обработка результатов проведены в программах Tilia и TGView (Grimm, 1990). Получено шесть радиоуглеродных дат. Датирование выполнено в Институте наук о Земле СПбГУ. Модель роста отложений построена с помощью пакета “bacon” в программной среде R.

Согласно радиоуглеродному датированию, формирование отложений, вскрытых в разрезе, началось около 5,3 тыс. кал. л. н. По результатам комплексного анализа разреза выделено 5 этапов изменения растительности и климата Южной Эвенкии в среднем и позднем голоцене (рис. 1).

Изученный торфяник, вероятно, возник на месте старичного понижения в пойме, на что указывает как положение разреза в обнажении надпойменной террасы, так и результаты анализов: низкие значения потерь при прокаливании (30-37%), преобладание плодов рдестов, осок, кубышки и урути, а также единичные фрагменты коры древесных растений, остатки зеленых мхов, осок, хвоща и других эвтрофных трав. Особого внимания заслуживает обнаружение в нижних горизонтах разреза карпологических остатков видов, вероятно отсутствующих в современной флоре Тунгусского заповедника (*Myriophyllum verticillatum*, *Ceratophyllum demersum*, *Najas flexilis*, *Potamogeton natans, P. praelongus* и *P. friesii*). Такой набор соответствует обстановке мелководного старичного озера (5,3-4,1 тыс. кал. л. н.) и ранней стадии заболачивания в условиях избыточного увлажнения и богатого минерального питания. В окружающих лесах в интервале 5,3-4,5 тыс. кал. л. н. господствовали елово-лиственничные сообщества с примесью пихты, сосны, кедра и березы, а климат был теплее современного, что благоприятствовало произрастанию ели.

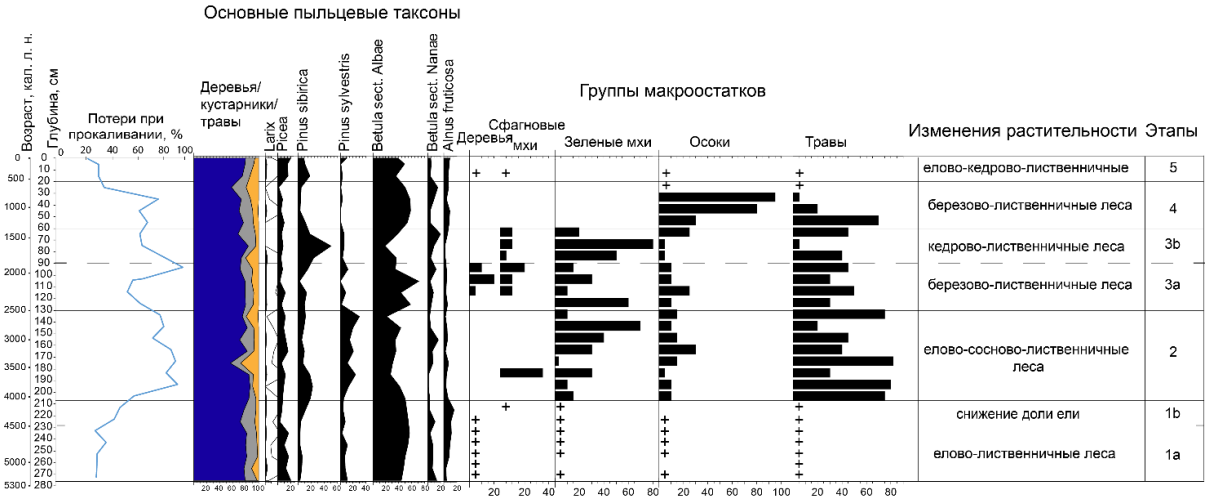


Рис. 1. Сопоставление данных по потерям при прокаливании, спорово-пыльцевому анализу и ботаническому состава торфа в разрезе на реке Чамба и выделенные этапы изменений растительности Южной Эвенкии

На следующем этапе (4,1-2,3 тыс. кал. л. н.) ослабление аллювиального процесса привело к началу устойчивого торфонакопления. Болотная растительность была представлена зелеными мхами (*Calliergon*, *Drepanocladus*), осоками, вахтой трехлистной, сабельником болотным, хвощом и пушицей. Деревья исчезли с самого болота из-за интенсивного заболачивания, но могли сохраняться на более дренированных участках. Для данного этапа характерны хорошо увлажненные условия с богатым минеральным питанием. В растительном покрове на территории, окружающей болото, доля ели начала снижаться, тогда как роль кедра и березы возросла. Начиная с 3,1 тыс. кал. л. н., участие сосны в древостоях увеличилось. Климат оставался теплее современного.

В период 2,3-1,3 тыс. кал. л. н. на болоте появились сфагновые мхи (*Sphagnum* sp., *Sphagnum palustre* и *Sphagnum teres*) и вновь стала произрастать лиственница, что свидетельствует о переходе к умеренным мезотрофным условиям. Уменьшение обводненности способствовало появлению древесных пород и сокращению доли типичных болотных травянистых видов. Кроме того, данные изменения, возможно, отражают промерзание болота и зарождение бугров пучения, вызванное похолоданием климата. Растительный покров, вероятно, стал мозаичным, сочетая сфагновые бугры с эвтрофными мочажинами, занятыми осоками и вахтой. В окружающей растительности также произошли существенные изменения, вызванные похолоданием и изменением условий увлажнения. В начале этапа (2,5-1,9 тыс. кал. л. н.) преобладали березово-лиственничные леса, которым затем (1,9-1,3 тыс. кал. л. н.) сменились кедрово-лиственничными.

На следующем этапе (1,3-0,57 тыс. кал. л. н.) болото снова стало эвтрофным и обводненным с преобладанием осок и пушицы при исчезновении сфагновых мхов, что могло быть обусловлено термокарстовыми процессами, связанными с потеплением климата. Вокруг болота в этом интервале вновь распространились березово-лиственничные леса.

На протяжении последних 570 лет отмечено переслаивание торфа и суглинков, указывающее на чередование периодов пойменных и болотных условий, вероятно, вызванное изменениями высоты паводков и половодий на реке Чамба. Впоследствии

изучаемая территория и вовсе вышла из режима затопления. На данном этапе на болоте произрастали осоки, хвощ и пушица, постепенно начала появляться древесная растительность, а торфонакопление прекратилось. В окружающем растительном покрове возросла доля ели и появилась пихта. В настоящее время здесь произрастает ельник хвощово-грушанково-мелкотравно-зеленомошный.

Представленное исследование разреза на реке Чамба впервые позволило выявить основные этапы эволюции растительности Южной Эвенкии в среднем и позднем голоцене. Установлено, что изменения болотной и лесной растительности региона определялись как климатическими колебаниями, так и локальными гидрологическими факторами. Полученные данные хорошо согласуются с региональными реконструкциями и заполняют существующий пробел в палеогеографии внутриконтинентальных районов Средней Сибири.

Исследование выполнено при поддержке гранта Министерства науки и Высшего образования РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024 г.).

Список литературы

1. Васильев Ю.А., Львов Г.Ф., Плеханов Л.Н., Логунова Л.Н., Мульдияров Е.Я., Бибикова В.В., Волков А.Е., Кузьмин С.Л., Лапшина Е.Д., Папанотиди А.И., Сергиева З.М., Сидоров К.С., Травинский И.В., Шефтель Б.И., Щербина С.С. Государственный природный заповедник «Тунгусский» (очерк основных данных) / Тунгусский заповедник // Биоценозы северной тайги и влияние на них экстремальных природных факторов. Труды ГПЗ «Тунгусский». Вып. 1. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. С. 33-89.
2. Grimm E.C. TILIA and TILIA GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data // INQUA Working Group on Data Handling Methods. Newsletter. 1990. № 4. P. 5-7.

Палинологическая реконструкция условий осадконакопления озера Сабакты (Южный Урал) в конце позднеледниковья — начале голоцена

Масленникова А.В.

Южно-уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс adenophora@inbox.ru

Введение. Палеолимнологические реконструкции изменений условий осадконакопления южной части Урала актуальны в связи с большим количеством археологических памятников и слабой палеоэкологической изученностью региона. Для озера Сабакты, расположенного на границе горных лесов и степей Южного Урала, были выполнены палеолимнологические реконструкции на основе геохимических и минералогических данных (Масленникова и др., 2023; Юсупова и др., 2023; 2024). Спорово-пыльцевой анализ донных отложений оз. Сабакты, сделанный обзорно, позволил выявить особенности спорово-пыльцевых спектров 10 проанализированных образцов (Юсупова, 2023). Однако, для реконструкции условий периода быстрых изменений климата необходимо гораздо более высокое разрешение летописи. Подробный палинологический анализ донных отложений оз. Сабакты, накопленных в период значительных перестроек экосистем на всей планете (12.3-11.3 тыс. кал.л.н. (калиброванных лет назад)), позволит определить начало и особенности изменений климата южной части Урала в конце позднеледниковья и в начале голоцена.

Методы. Основным методом исследования является спорово-пыльцевой анализ, дополненный подсчетом и идентификацией непыльцевых палиноморф (NPP) с использованием специальной базы данных (Shumilovskikh et al., 2022). Методика спорово-пыльцевого анализа подробно описана в предыдущей публикации (Масленникова и др., 2014). Хронология колонки донных отложений оз. Сабакты определена на основе ускорительной масс-спектрометрии (AMS ^{14}C) (Масленникова и др., 2023).

Результаты и обсуждение. Период накопления серовато-сизой глины (>12.15 тыс. кал. л.н.). Спорово-пыльцевые спектры (СПС) характеризуются доминированием пыльцы анемофильных трав (Amaranthaceae, Poaceae и *Artemisi*a spp.) и низким значением отношения суммы пыльцы полыни к сумме пыльцы маревых (A/C индекс) (рис. 1). Древесные растения представлены редкой пыльцой *Betula* spp., *Pinus sylvestris* L. и *Larix sibirica* Ledeb. Встречаются единичные пыльцевые зерна *Salix* spp. и *Ephedr*a sp., найдена пыльца Aster-type и Cichorium-type семейства Asteraceae. Непыльцевые палиноморфы представлены в основном фрагментами тканей растений. Кроме того, встречаются гифы и споры грибов (cf. GE-5, UAB-30A), а также единичные, часто деформированные и заполненные кристаллами пирита, ценобии зеленых водорослей родов *Botryococcus* и *Pediastrum*. Предположительно, оз. Сабакты в это время было мелководным, часто пересыхающим водоемом, с преимущественным накоплением терригенного материала, что подтверждается и ранее полученными геохимическими данными (Масленникова и др., 2023). Доминирование пыльцы трав, а также низкие значения индекса A/C, предполагают сравнительно засушливые условия данного периода (Feng et al., 2006; Бляхарчук и Амельченко, 2012; Wang et al., 2020).

Период накопления минерогенных щебнистых отложений (12.15-12.06 тыс. кал. л.н.) характеризуется снижением роли пыльцы трав, главным образом, за счет Amaranthaceae и *Artemisia* spp. Увеличивается разнообразие пыльцы разнотравья: *Fillipendula* sp., *Thalictrum* spp., Cirsium-type, Caryophyllaceae, *Sanguisorba officinalis* L.. Данные изменения состава палиноморф свидетельствуют о смягчении климата, вероятно, его гумидизации. Возрастает количество пыльцы гидрофитов (*Potamogeton* sp. и *Myryophillum* sp.) и содержание непыльцевых палиноморф. Среди них увеличивается доля *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini, появляются фрагменты Cladocera и споры *Glomu*s spp. Данные изменения

состава палиноморф указывают на возрастание глубины озера, повышение его продуктивности, а также увеличение эрозии берегов, вероятно, связанной с ростом поверхностного стока. Индекс A/C не меняется, что указывает на то, что климат был все еще достаточно засушливым.

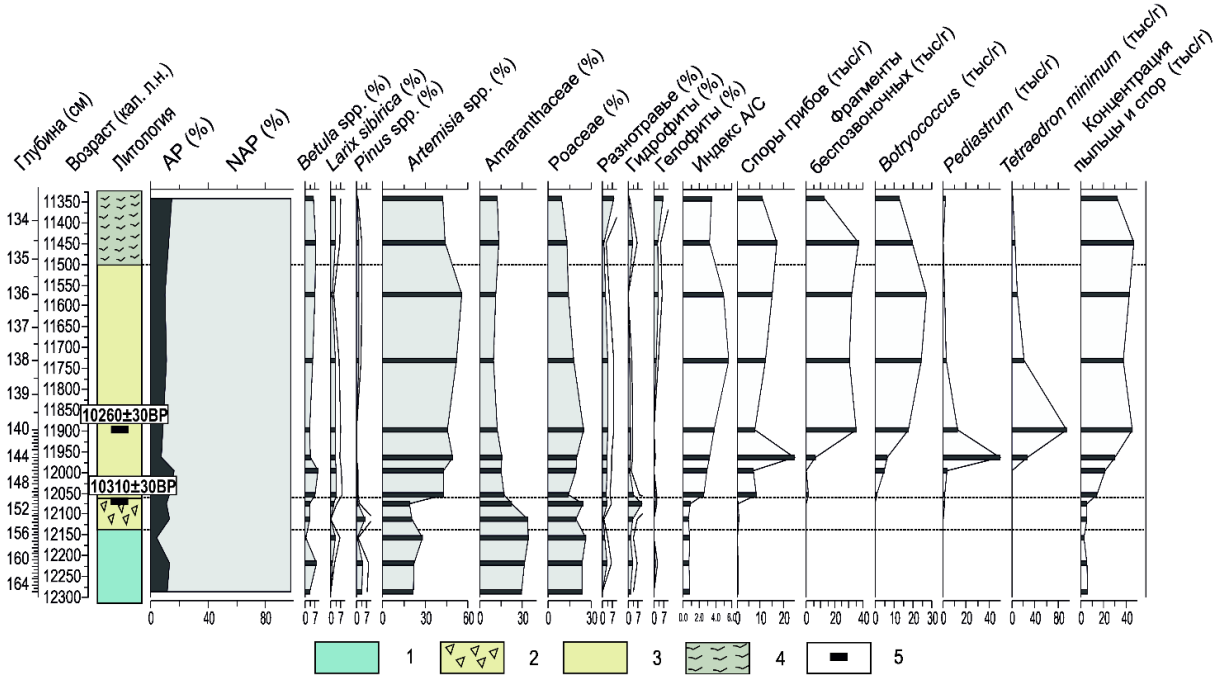


Рис. 1. Палинологическая диаграмма донных отложений оз. Сабакты для конца позднеледниковья-начала голоцена. 1 — серовато-сизая глина; 2 — минерогенные щебнистые отложения; 3 — глинистый сапропель; 4 — серо-оливковый сапропель с темными слойками и раковинами перловицы; 5 — место отбора проб для AMS^{14}C датирования. AP — пыльца древесных и кустарниковых растений; NAP — пыльца трав и кустарничков

Период накопления глинистого сапропеля (12.06-11.5 тыс. кал.л.н.) характеризуется возрастанием роли пыльцы трав в основном за счет *Artemisia* spp. Доля пыльцы Amaranthaceae, наоборот, существенно снижается. Индекс A/C, концентрация пыльцы и непыльцевых палиноморф резко возрастает. Среди NPP значительно увеличивается доля ценобиев микроводорослей (*Pediastrum boryanu*m, *Botryococcus* spp., *Tetraedron minima,* а *также Scenedesmus* sp.), постоянно встречаются волоски *Ceratophyllum* sp. Нижняя часть горизонта (12.06-11.95 тыс. кал.л.н.) характеризуется повышением доли пыльцы Betula sect. Albae и резким возрастанием концентрации спор и гиф грибов. Затем (11.95-11.5 тыс. кал.л.н) возрастает доля участия фрагментов водных беспозвоночных, представленных в основном Cladocera, появляются яйца ротифер (*Filinia longiseta*-type или NN-74 в базе NPP). Споры грибов разнообразны (cf. UAB-20, cf. BAA-11, *Glomus spp.,* и др.*)*. Максимумы *Pediatrum boryanum* (11.96 тыс. кал.л.н,) *Tetraedron minimum* (A.Braun) Hansgirg (11.9 тыс. кал.л.н.)*, Botryococcus* Kützing (11.57 тыс. кал.л.н.). постепенно сменяют друг друга. Такие изменения состава палиноморф предполагают достаточно резкую гумидизацию климата 10310±30 ^{14}C лет назад. Исходя из модели возраст-глубина, быстрые изменения климата произошли не более чем в течение 30 лет (между 12.08 и 12.05 тыс. кал.л.н.). Возрастание содержания спор и гиф грибов, повышение концентрации и разнообразия пыльцы разнотравья указывает на развитие почв и растительного покрова территории. Увеличение количества и разнообразия водных палиноморф индицирует повышение уровня озера и рост его продуктивности.

Эти выводы подтверждается ранее полученными геохимическими данными, свидетельствующими об увеличении роли органогенного осадконакопления в это время (Масленникова и др., 2023). Изменение литологии и геохимии донных отложений 12.1 тыс. кал.л.н. зафиксировано также в озерах Тургояк и Уфимское, расположенных севернее оз. Сабакты в горных лесах Южного Урала. Особенности спорово-пыльцевых спектров и диатомовых комплексов этих озер указывают на потепление климата, однако резкого повышения коэффициента увлажнения для более северных территорий Южного Урала не отмечается (Maslennikova et al., 2026).

Начало периода накопления серо-оливкового сапропеля с темными слойками с макрофитами и раковинами перловицы (11.5-11.3 тыс. кал.л.н.) характеризуется уменьшением содержания пыльцы трав за счет *Artemisia* spp. и снижением индекса A/C (рис. 1). Увеличивается количество пыльцы гелофитов, представленных *Typha* spp., уменьшается количество ценобиев зеленых микроводорослей в основном за счет *Botryococcus* spp. Данные изменения могут свидетельствовать о снижении уровня водоема, зарастании его береговой линии гелофитами. Согласно ранее полученным геохимическим данным, содержание терригенной компоненты уменьшается (Масленникова et al., 2023), что может быть связано с развитием почв и растительного покрова водосбора, а также зарастанием берега водоема, что препятствует его эрозии во время колебаний глубины озера.

Заключение. Исследование палиноморф в колонке донных отложений горно-степного озера Сабакты, охватывающей более 12 тыс. лет, позволило определить, что потепление климата на Южном Урале началось не 11.7 тыс. кал.л.н., как предполагалось ранее, а в конце позднего дриаса (12.15 тыс. кал.л.н.), причем наиболее сильные и резкие изменения палинологической летописи произошли 12.08-12.05 тыс. кал.л.н.

Список литературы

1 Бляхарчук, Т.А., Амельченко, В.П. Динамика ареала рода полыней на территории Западной Сибири и прилегающих территорий в голоцене по данным пыльцевого анализа в связи с изменением климата // Сибирский экологический журнал. 2012. №2. С.185–196.

2 Масленникова, А.В., Удачин, В.Н., Дерягин, В.В., Палеоэкология и геохимия озерной седиментации голоцена Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 136 с.

3 Масленникова, А.В., Артемьев, Д.А., Зазовская, Э.П., Дерягин, В.В., Гулаков, В.О., Удачин, Н.В., Аминов, П.Г., Удачин, В.Н. Геохимическая летопись озера Сабакты: количественная оценка электропроводности вод и реконструкция обстановок осадконакопления позднеледниковья и голоцена степной зоны Южного Урала // Литосфера. 2023. Т.23. №3. С. 410–429. doi:10.24930/1681-9004-2023-23-3-410-429

4 Юсупова, А.Р. Литологические особенности и условия осадконакопления плейстоцен-голоценовых донных отложений озер Банное и Сабакты, Южный Урал: Дис …. канд. геол. мин. наук. Казань, 2023. 204 с.

5 Юсупова, А.Р., Нургалиева, Н.Г., Кузина, Д.М., Косарева, Л.Р., Юнусова, Д.А. Особенности вещественного состава донных отложений озера Сабакты (Южный Урал) // Успехи Современного Естествознанияю. 2023. №7. С. 72–81. doi:10.17513/use.38074

6 Юсупова, А.Р., Нургалиева, Н.Г., Рогов, А.М. Минеральный состав донных отложений озера Сабакты как индикатор палеоклимата, Южный Урал, Россия // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Т.335. №8. С. 77–90. doi:10.18799/24131830/2024/8/4403

7 Feng, Z.-D., An, C.B., Wang, H.B. Holocene climatic and environmental changes in the arid and semi-arid areas of China: a review // The Holocene. 2006. V. 16. № 1. P. 119-130. doi:10.1191/0959683606hl912xx

8 Maslennikova, A., Artemyev, D., Udachin, V., Aminov, P., Udachin, N., Deryagin, V. Changes in the Southern Urals environment: Holocene records of the deep-water lake, regional correlations, and global climate events // Quaternary International. 2026. V. 767. P. 110259. doi:10.1016/j.quaint.2026.110259

9 Shumilovskikh, L.S., Shumilovskikh, E.S., Schlütz, F., van Geel, B. NPP-ID: Non-Pollen Palynomorph Image Database as a research and educational platform // Vegetation History and Archaeobotany. 2022. 31. P. 323–328. doi:10.1007/s00334-021-00849-8

10 Wang, Y., Wang, W., Liu, L., Jiang, Y., Et., A., 2020. Reliability of the Artemisia/Chenopodiaceae pollen ratio in differentiating vegetation and reflecting moisture in arid and semi-arid China. The Holocene. 2020. V. 30. № 5. P. 1-7. doi:10.1177/0959683620902219

Условия седиментации в озере Черное, Магаданская область

Минюк П.С., Пожидаева Д.К.

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан, minyuk@neisri.ru

Введение. Озеро Черное (61°01.244′ с.ш., 151°44.212′ в.д) находится в Хасынском округе Магаданской области в Черноозерской межгорной впадине. Впадина выполнена неоплейстоценовыми-голоценовыми моренами, флювиогляциальными, озерными, аллювиальными, делювиально-солифлюкциальными отложениями, мощностью 84–97 м (Аянитова, 1992). Окружающие озеро сопки сложены юрскими осадочными породами, меловыми вулканитами ольской и мыгдыкитской свит, конгломератами первомайской свиты позднего мела.

Озеро непроточное, из него вытекает один безымянный ручей, впадающий в р. Малтан. Северный берег озера пологий, заболоченный. Южный берег имеет крутые обрывы, сложенным отложениями впадины с повторно-жильным льдом, уходящим ниже уреза воды. Высота обрыва составляет 9.5 м. Береговая линия имеет овальную форму. Коэффициент изрезанности 1.13. Длина озера 1100 м, ширина 750 м. Коэффициент вытянутости 1.5. Площадь водного зеркала составляет 0.5 км^2. При средней глубине озера 2.2 м, в южной части выделяется 4 ямы с максимальной глубиной 6.8 метров. Вода озера ультрапресная с низкой минерализацией, которая составляет 46.8–110.7 мг/л. По химическому составу она соответствует гидрокарбонатной кальциевой. Кислотность воды нейтральная.

Методы. Бурение озерных осадков проводилось в летнее время в 2014 и 2024 году с платформы с использованием поршневого пробоотборника Ливингстона. В разных частях озера пробурено 7 скважин, вскрывших осадки озера и отложения впадины. Поверхностные донные отложения отбирали сеткой примерно 150*150 м. Опробованы галька коренных пород, береговые обнажения, отложения пляжа. По образцам выполнены петромагнитные, геохимические, минералогические, литологические, палинологические исследования. Основные породообразующие элементы из осадков скв. Че-5 (50 проб), скв. 2 (4 пробы), берегового обнажения (6 образцов), гальки-гравия (7 образцов), поверхностных данных осадков (91 проба) определены на рентгенофлуоресцентном спектрометре S4 Pioneer (Bruker AXS, Германия). Относительное количество органического материала оценено по величине потери при прокаливании (ППП) после прогрева образцов до 550°с (2 часа). Исследования элементного состава отдельных образцов осадка, аутигенных минералов проводились на сканирующем электронном микроскопе EVO-50 с энерго-дисперсионными спектрометрами AXS XFlash фирмы Bruker и системой рентгеновского микроанализа Quantax Esprite 1.9 (аналитики Т.В. Субботникова, О.Т. Соцкая).

Смерслайды (мазки, smear slide) изготовлены на предметных стеклах с помощью оптического клея Norland. В слайдах изучали относительное количество сульфидов, вивианита, диатомовых водорослей, диагностировали тефру. Измерения магнитной восприимчивости (МВ) осадков (1342 образца) и ее температурной зависимости (нагрев до 700°С) выполнены на многофункциональном каппаметре MFK 1FA с термоприставкой CS3 (AGICO Ltd., Чехия). Измерения индуктивной намагниченности (Ji) в процессе нагрева до температуры 700°С выполнены на магнитных весах Кюри (КФУ, Казань).

Магнитный гистерезис измерен на автоматическом коэрцитиметре J-meter (КФУ, Казань) (Буров и др., 1986) для 238 образцов в поле до 500 мТл. Определены величины

остаточной намагниченности насыщения (Jrs), намагниченности насыщения (Js), индуктивной намагниченности, коэрцитивной силы (Bc), остаточной коэрцитивной силы (Bcr), относительное содержание парамагнитной компоненты намагниченности (Jp). Палинологический анализ выполнен в СВКНИИ ДВО РАН Морозовой М.А.

Результат. Источниками сноса материала в озеро являются продукты выветривания коренных пород, а также размываемые отложения впадины. Коренные породы представлены галькой вулканитов, преимущественно риолитового, риодацитового состава (SiO_2 = 67.9–75.9 мас. %, Na_2O+K_2O = 2.1–4.5 мас.%). Галька слабомагнитная, медианное значение $МВ_{мед.}$ составляет 0.08 × 10-6 $м^3$/кг. Грубозернистые отложения, включающие гальку, гравий песок распространены узкими полосами вдоль береговой линии. Галька наиболее обильна на южных берегах озера. Более магнитными являются пески и алевриты, слагающие береговые обнажения ($МВ_{мед}$ = 0.2 × 10^{-6} $м^3$/кг) и отложения впадины, вскрытые скважинами ($МВ_{мед}$ = 0.57 × 10^{-6} $м^3$/кг). Эти отложения характеризуются повышенными содержаниями кремнезема. Магнитные минералы представлены магнетитами и титаномагнетитами. В осадках береговых обрывов отмечены фрамбоидальные аутигенные сульфиды железа.

Геохимические и петромагнитные характеристики поверхностных донных проб связаны с гранулометрическим составом отложений, который в свои очередь контролируется глубиной озера (рис. 1).

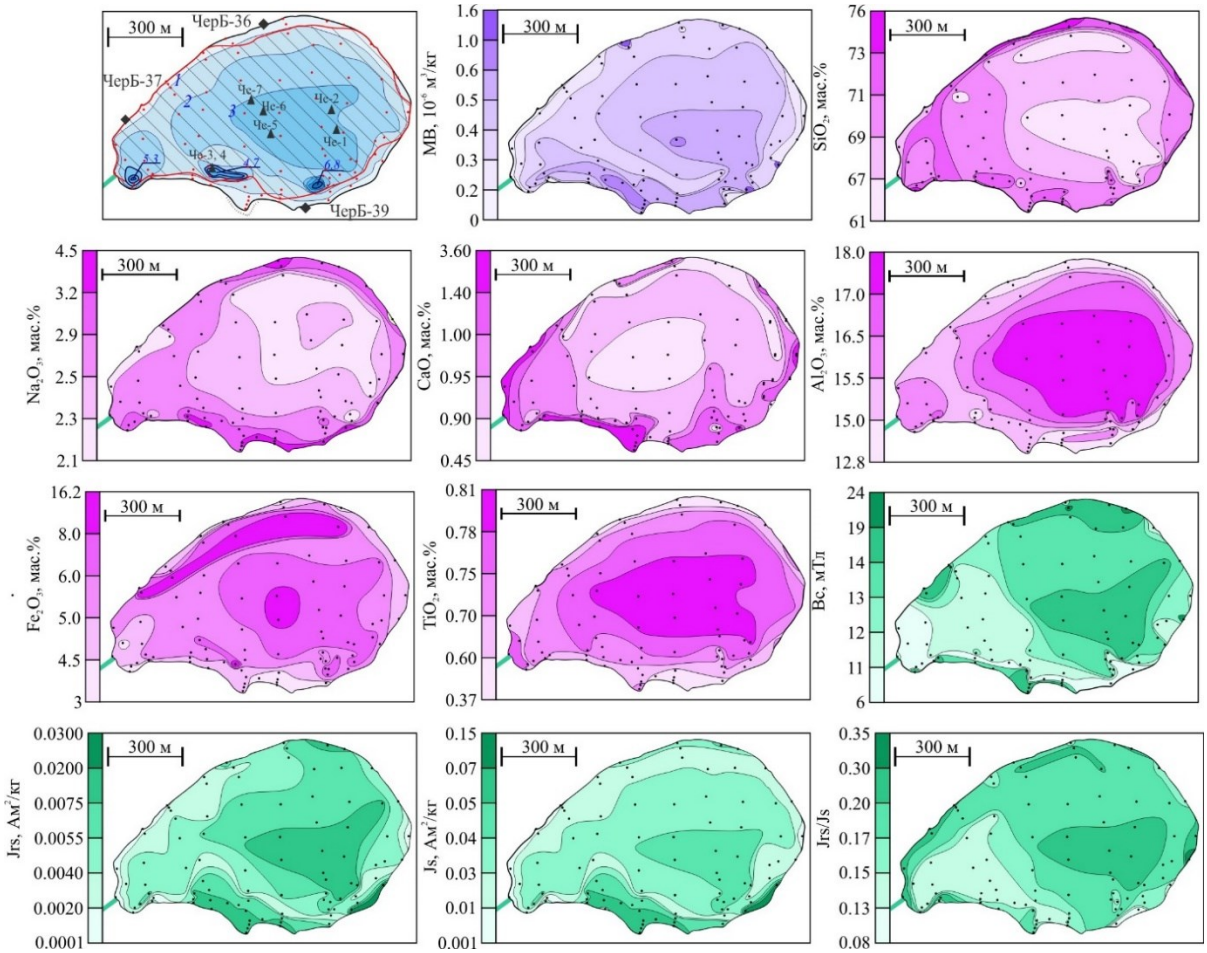


Рис. 1. Распределение отдельных геохимических и петромагнитных параметров в поверхностных донных пробах озера Черное. Красная заштрихованная область – зона распространения илистых осадков

Сложное распределение параметров характерно для осадков южной части бассейна с расчлененным рельефом дна. Осадки центральной части озера, более глубоководной, характеризуются повышенными содержаниями Al_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3, MgO, K_2O, V, MnO, P_2O_5, минимальными концентрациями мобильных элементов SiO_2, CaO, Na_2O, повышенными значениями МВ, Js, Jrs. Минимальные значения ППП установлены для прибрежных осадков северной и южной частей озера.

Озерные осадки, вскрытые скважинами, характеризуются изменчивостью геохимических и петромагнитных параметров. Уровни повышенных содержаний SiO_2, Na_2O указывают, в основном, на детритовые осадконакопление, а низкие величины МВ, Js, Jrs и повышенные значения ППП – на органогенное. Высокие содержания Fe_2O_3, Fe_2O_3/TiO_2, P_2O_5, MnO, низкие концентрации TiO_2, отражают хемогенные процессы. Положительная корреляция Fe_2O_3 с МВ, Js, Jrs может свидетельствовать об образовании магнитных минералов.

Современно озеро образовано на осадках впадины, возможно, также являющихся осадками древнего озера. Эти отложения обнажены в береговых обрывах и вскрыты скважинами (слой 2). В разрезе скв. Че-2 их мощность составляет 3 м, они не содержат пыльцы, в смерслайдах не обнаружены диатомеи. Это детритовый материал с низким величинами ППП – (3.2–3.7 мас %) и повышенными содержаниями кремнезема (SiO_2 (среднее) = 71.4 мас.%).

Формирование озера прошло несколько этапов. В самом начале голоцена образовался современный водоем, однако меньший по площади, осадки которого представлены слоем 1. Они характеризуются пыльцевыми спектрами, в нижней части которых зафиксированы зона *Betula*, затем *Alnus* и затем *Pinus Haploxylon*. В самых нижних спектрах заметное участие трав. Спектров типичных для позднего неоплейстоцена не зафиксировано. Заполнение водоема водой происходило, по-видимому, за счет таяния многолетнемерзлых отложений. Дно образованного водоема было ровным. Накопление осадков, преимущественно детритово-органогенных (ППП (среднее) = 14.3 мас.%; SiO_2 (среднее) = 67.2 мас.%), продолжалось в течение всего раннего голоцена. В среднем и позднем голоцене озеро расширяется за счет размыва береговых обрывов и вытаивания ледяных жил и льдистых толщ. Рельеф дна расширенной части озера неровный, с глубокими ямами (рис. 1). Осадки сложены алевритами и песчаными алевритами с крупными обломками органики. Прослои тефры в осадках отсутствуют. Подобный процесс наблюдается сейчас при размыве высокого (9.5 м) берегового обнажения с ледяной жилой на южном берегу озера. Характерная комковатость отложений на многих уровнях в кернах скважин указывает на то, что озеро в прошлом промерзало. Комковатую структуру имею также верхние слои осадков древнего озера (впадины). Резкая смена петромагнитных параметров на границе слоев 1 и 2 указывает на стратиграфическое несогласие. Возможно, некоторые уровни промерзания в осадках, имеют климатостратиграфическое значение. Осадки с комковатой структурой имеют повышенные значения магнитной восприимчивости, Js, Jrs. В составе пыльцевым спектров незначительно увеличивается содержание пыльцы трав и спор *Sphagnum*. На осушенную поверхность водоема ветрами сносился материл с пляжей и обнажений, увеличивая значения МВ, Js, Jrs. Холодное событие в среднем голоцене отмечено в осадках озера Грязевое (Минюк и др., 2025), для которых характерны высокие содержания литогенных элементов, повышенные значения петромагнитных параметров, сокращение процентного содержания древесных таксонов в споро-пыльцевых спектрах.

Заключение. В формировании озера Черное участвовали тектонические, климатически и термокарстовые процессы. Современный водоем образовался в начале голоцена. Термокарстовые процессы способствовали расширению площади озера и формированию разновозрастных осадков по латерали бассейна, которые трудно сопоставимы по петромагнитным параметрам.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 25-27-00428.

Список литературы

1. Аянитова К. А. Отчет о детальной разведке отощающих добавок Черноозерского месторождения в Хасынском районе Магаданской области (Черноозерский ПРО-89). Кн. 1–4. ТФ СВПО «Севвостгеология», Центральная ГФЭ, 1992.
2 Буров Б.В., Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. Палеомагнитный анализ / Ред. В.П. Боронин. Казань, Изд-во Казан. ун-та, 1986, 167 с.
3 Минюк П.С., Пожидаева Д.К., Бурнатный С.С. Изменение петромагнитных характеристик в позднеплейстоценовых-голоценовых осадках ледникового озера Грязевое, Верхняя Колыма // Тихоокеанская геология. 2026. Т. 45. № 2. С. 81–98.

Отклик болотных ландшафтов бассейна р. Енисей в экотоне тайга-лесостепь на суббореальный ксеротермический максимум

Михайлова А.Б., Гренадерова А.В.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, arodionova@sfu-kras.ru

Введение. Суббореальный ксеротермический максимум голоцена (в глобальном масштабе – по Н.А. Хотинскому 4,2–3,8 тыс. кал.л.н. (3,6–3,5 тыс. 14С л.н.), является одним из наиболее ярко выраженных этапов изменения климата голоцена. Н. А. Хотинский пришел к выводу, что термические изменения в голоцене на всей территории Северной Евразии были однонаправленными и более или менее синхронными, хотя и имели разномасштабный характер (Хотинский, 1977; Борисова, 2014, Новенко, 2021). Целью данного исследования стало выявление отклика природных ландшафтов на суббореальный ксеротермический максимум голоцена в бассейне р. Енисей в экотоне тайга-лесостепь, как переходной границе, способной наиболее чутко реагировать на изменения.

Объектами исследования стали опорные разрезы на территории южнотаёжной подзоны - болото Большое Сполошинское (Гренадерова и др, 2021), территории лесостепи в пределах Рыбинской межгорной впадины на границе с северо-западным макросклоном Восточного Саяна – болота Большое и Сосновка (Гренадерова и др., 2024,2025) в бассейне р. Кан (приток р. Енисей 1го порядка), болото Рыбное (бассейн р. Рыбная, приток р. Кан), болото Кускун (бассейн р. Есауловка, приток р. Енисей 1го порядка) (Mikhailova et al.,2024).

Для всех изученных объектов был применен комплексный палеоэкологический подход, который позволяет максимально полно и достоверно реконструировать отклик болотных и окружающих лесных экосистем на климатические изменения голоцена. Надежная хронология была обеспечена детальным датированием объектов методом AMS. На основе результатов спорово-пыльцевого анализа стало возможным восстановить региональную динамику лесной растительности (смену темнохвойных, светлохвойных и мелколиственных пород) и участие травянистых сообществ в облике ландшафта (Moore,1991). Динамика локальной растительности была установлена при помощи ботанического анализа торфа (Куликова, 1974). На основании палеоантракологического анализа были установлены локальные пожарные эпизоды, межпожарные интервалы и частота пожаров, рассчитаны фоновая и пиковая скорости аккумуляции угля (Clark,1988). В дополнении определялась зольность (ГОСТ-2013) и степень разложения методом фотометрии (Chambers,2010), являющиеся индикаторами привноса минеральных частиц и обводнённости.

Для болота Большое Сполошинское (южнотаёжная подзона) в интервале 3850–3150 кал. л.н. установлено снижение доли пыльцы *Abies sibirica* Ledeb. и *Picea obovata* Ledeb. и увеличение доли *Pinus sibirica* Du Tou. В составе спор исчезают папоротники. По данным палеоантракологического анализа фиксируется большое содержание частиц макроугля (290 частиц/см^3). На окружающих болото суходолах были распространены кедровые зеленомошные леса с небольшим участием пихты, ели и сосны. На болоте произрастали лесотопяные разнотравно-осоковые сообщества с развитым древесным ярусом из ивы, берёзы, сосны, что указывает на уменьшение увлажнения.

По имеющимся археологическим данным именно на период суббореального ксеротермического максимума приходится распространение в южной тайге археологических

культур лесостепного облика (шепилевская, красноярская), что исследователи связывают с иссушением климата и расширением пойменных лугов (Мандрыка, Сенотрусова, 2017).

По данным реконструкции «болото Большое» (Рыбинская впадина, бассейн р. Кан, лесостепная зона) в период суббореального ксеротермического максимума отмечено сокращение ареала темнохвойных и соответственно осветление лесов, подъем нижней границы леса выше по склону в пределах горного обрамления. Возрастает роль *Betula* sect. *Albae*, а также пыльцы степных трав (Poaceae, Asteraceae, Artemisia). Установлена максимальная пожарная активность за весь период реконструкции (6600 кал.л.н.) – выделено 4 пожарных эпизода (4000, 3950 и 3750 кал. л. н.) с наименьшими межпожарными интервалами. Болота переходит на мезотрофную осоково-сфагновую стадию в условиях уменьшения водно-минерального питания.

Схожая тенденция фиксируется и для второго опорного разреза в бассейне р. Кан болота Сосновка: отмечено сокращение ареала темнохвойных лесов, снижение доли пыльцы *Pinus sibirica* Du Tou., *Abies sibirica* Ledeb. и *Picea obovata* Ledeb. Возрастает доля пыльцы *Pinus sylvestris* L., появилась *Betula* sect. *Nanae*, увеличилось разнообразие травянистых растений (включая степные и луговые виды). Зафиксировано крупное пожарное событие около 3.7–3.6 тыс. кал. л. н. со скоростью аккумуляции макроугля до 250 частиц/см²/год (один из самых высоких показателей для территории Рыбинской впадины). Само болото переходит на мезотрофную стадию.

Усиление пожарной активности на территории Рыбинской впадины в период суббореального ксеротермического максимума отмечено и в бассейнах рек Рыбная и Есауловка. Установлено, что в интервале 4000-3000 кал.л.н. в составе локальных растительных сообществ значительное участие принимали древесные породы. Так, для болота Рыбное наблюдается доминирование в древесном ярусе *Picea obovata* Ledeb, а после 3000 кал.л.н. отмечено увеличение *Betula pubescence* L., что может отражать смену пород вследствие пирогенной сукцессии. Для болота Кускун в указанный период 4000-3000 кал.л.н. фиксируется стабильное присутствие в торфе макроостатков березы, что напрямую указывает на её произрастание непосредственно на болоте. При реконструкции локального увлажнения (на качественном уровне) по результатам ботанического анализа торфа на основании требовательности растений к условиям увлажнения в соответствии со шкалой Л.Г. Раменского (Раменский, 1956) была установлена тенденция уменьшения увлажнения болот с 3800 кал.л.н., минимальные значение отмечаются для интервала 3300-3000 кал.л.н.

Выводы, сделанные нами для территории лесостепи в пределах Рыбинкой впадины, согласуются с полученными данными для Красноярской лесостепи. Так авторы Кошкаров и Кошкарова (2022) по результатам исследования Погорельского бора (северная граница Красноярской лесостепи, междуречье рек Бузим и Сухой Бузим) на основе палеокарпологического анализа установили восстановление лесостепных и степных сообществ в период 3500-3000 кал.л.н. Авторы также отмечают увеличение доли *Pinus sylvestris* L. и сокращение темнохвойных пород.

По имеющимся опубликованным данным исследований северной части бассейна р. Енисей в среднетаёжной подзоне (долина р. Дубчес) суббореальный ксеротермический максимум не проявился в усилении пожарной активности, как это прослеживалось для территории южной тайги и лесостепи в пределах Рыбинской впадины. Авторы связывают это с локальным высоким уровнем грунтовых вод (Карпенко и др, 2021).

В Центральной Эвенкии исследователи чётко выделяют (Shatunov et al.,2024) этап 3800-2900 кал. л. н. как период увеличения частоты и интенсивности пожаров после длительного холодного и влажного интервала. Межпожарные интервалы сократились с 500 до 200-400 лет. В окрестностях Игарки (Новенко и др, 2022) потепление 4700–3600 кал. л. н. привело к продвижению среднетаёжных лесов на 200 км севернее современной границы. Крупный пожар зафиксирован около 3600–3500 кал. л. н. (скорость аккумуляции части макроугля до 2,9 частиц/см²/год).

Заключение. Таким образом, на основе нашего исследования установлен отклик болотных ландшафтов в экотоне тайга-лесостепь на суббореальный ксеротермический максимум голоцена в бассейне р. Енисей, проявившийся в сокращении доли темнохвойных пород, осветлении лесов и периоде усиления пожарной активности за весь период голоцена. Проведенные обзор имеющихся данных демонстрирует схожесть отклика на изменение глобальных условий в период голоценового суббореального ксеротермического максимума, но и указывает на отличия, проявляющиеся в неоднородности и силе реакции, в особенности таёжных ландшафтов. Не вызывает сомнения необходимость дальнейшего более детального исследования по выявлению отклика ландшафтов южной тайги на климатические изменения голоцена.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 26-27-20021, https://rscf.ru/project/26-27-20021/, за счет целевого финансирования (гранта) Красноярского краевого фонда науки № КФ-1037».

Список литературы

1. Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Известия РАН. Серия географическая. 2014. № 2. С. 5–20.
2. ГОСТ 11306-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М.: Стандартинформ, 2019. 6 с.
3. Гренадерова А.В., Мандрыка П.В., Сяокунь В., Сенотрусова П.О., Михайлова А.Б., Цянькунь Ц. Комплексные археолого-палеоэкологические исследования голоценового хроноряда в южной тайге Среднего Енисея // Stratum plus. Археология и культурная антропология. 2021. № 6. С. 299–313.
4. Гренадерова А.В., Михайлова А.Б., Курьина И.В., Подобуева О.В. Отклик растительного покрова в предгорье Восточного Саяна на голоценовые экстремумы климата по данным изучения болота Большое // Геоморфология и палеогеография. 2024. № 4. С. 157–176.
5. Гренадерова А.В., Михайлова А.Б., Шарафутдинов Р.А., Стойко Т.Г. Ландшафтно-климатические условия голоцена в предгорье Восточного Саяна (по данным комплексного изучения отложений болота Сосновка) // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т. 56. № 3. С. 64–88.
6. Карпенко Л.В., Гренадерова А.В., Михайлова А.Б., Подобуева О.В. Реконструкция локальных пожаров в голоцене по данным содержания макрочастиц угля в торфяной залежи в долине реки Дубчес // Сибирский лесной журнал. 2022. № 4. С. 3–13.
7. Кошкарова В.Л., Кошкаров А.Д., Кольцова В.Г. Климатическая обусловленность динамики позднеголоценовых ценотипов древесных пород во внутреннем экотоне лесов Восточного Саяна // Экология. 2006. № 5. С. 350–359.
8. Кошкаров А.Д., Кошкарова В.Л. Формирование видовой структуры растительных сообществ на северной границе Красноярской лесостепи за последние 6000 лет // География и природные ресурсы. 2022. № 1. С. 28–39.
9. Куликова Г.Г. Краткое пособие к ботаническому анализу торфа. М.: Изд-во МГУ, 1974. 94 с.
10. Мандрыка П.В., Сенотрусова П.О. Красноярская археологическая культура: историография и современное состояние // Междисциплинарные исследования в археологии, этнографии и истории Сибири. Материалы Международной научной конференции, посвященной 125-летию со дня рождения Николая Константиновича Ауэрбаха (1892–1930). Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2017. С. 74–81
11. Новенко Е.Ю. Динамика ландшафтов и климата в Центральной и Восточной Европе в голоцене – прогнозные оценки изменения природной среды // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 3. С. 24–47.

12. Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г., Куприянов Д.А., Шатунов А.Е., Андреев Р.А., Макарова Е.А., Бородина К.А., Руденко О.В., Прокушкин А.С., Волкова Е.М. Изменения растительности Приенисейской Сибири в последние 4700 лет: новые палеоэкологические данные из района Игарки (Красноярский край) // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 3. С. 51–60.
13. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1956.280 с.
14. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии: опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития растительности и климата. М.: Наука, 1977. 197 с.
15. Chambers F.M., Beilman D.W., Yu Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics // Mires and Peat. 2010. V. 7. № 07. P. 1–10.
16. Clark J.S. Particle Motion and the Theory of Charcoal Analysis: Source Area, Transport, Deposition, and Sampling // Quat. Res. 1988. V. 30. № 1. P. 67–80.
17. Mikhailova A.B., Grenaderova A.V., Chentaeva Z.V., Skrebatun A.A. Peat deposits for studying the Holocene fire regime in the example of Kansk forest-steppe mires // Limnology and Freshwater Biology. 2024. V. 4. № 4. P. 452–457.
18. Moore P.D., Webb J.A., Collinsom M.E. Pollen analysis. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1991. 216 p.
19. Shatunov A.E., Kupriyanov D.A., Mazei N.G., Prokushkin A.S., Novenko E.Yu. The mid- and Late Holocene history of forest fires in Central Evenkia inferred from macrocharcoal analysis // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4.

Позднеголоценовая история растительности и климата юга Западной Сибири по спорово-пыльцевым данным отложений озера Колыванское

Нигаматзянова Г.Р.[1], Страховенко В.Д.[2], Фролова Л.А.[3, 4]

[1] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Gurninagamatzyanova@kpfu.ru

[2] Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск

[3] Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск

[4] Институт географии РАН, Москва

Введение. Изменения климата оказывают непосредственное влияние на трансформацию экосистем, что отражается в динамике растительных сообществ (Borisova et al., 2011; Rudaya et al., 2020). Реконструкция подобных изменений возможна благодаря анализу природных архивов, в частности, донных отложений озер, которые служат надежными индикаторами экологических и климатических флуктуаций (Andreev et al., 2007; Frolova et al., 2022; Нигаматзянова, Фролова, 2026). Одним из ведущих методов реконструкций растительного покрова выступает палинологический анализ, позволяющий детально проследить динамику растительных сообществ (Blyakharchuk et al., 2014).

В данном исследовании представлены результаты палинологического изучения донных отложений озера Колыванское (Алтайский край). Цель работы – реконструкция изменений растительного покрова в окрестностях водоема и климатических условий региона.

Материалы и методы. Озеро Колыванское (51°21'56.73" с.ш., 82°11'32.03" в.д.) расположено в междуречье рек Локтевки и Поперечной, у подножий Колыванского хребта, в 2 км от села Саввушка (Алтайский край). Водоем характеризуется небольшими размерами: длина 4,0 км, ширина 2,4 км, средняя глубина 2,2 м (Страховенко и др., 2014). Климат региона умеренно-континентальный, средняя температура января достигает –14,7°С, июля – +19,3°С (Алтайский край, 1978). Растительный покров в окрестностях озера представлен разнотравно-типчаково-ковыльными степями, на склонах развиты сосново-березовые леса (Александрова и др., 1958). Колонка донных отложений мощностью 94 см отобрана с помощью пробоотборника конструкции научно-производственного объединения «Тайфун». Пробоподготовка на палинологический анализ осуществлена согласно стандартной методике (Faegri, Iversen, 1989). В общей сложности было исследовано 47 образцов. Наряду с пыльцой и спорами подсчитаны непыльцевые палиноморфы. Пыльцевые индексы (открытости/лесистости ландшафта, аридности, увлажненности) были рассчитаны с целью оценки параметров растительности и климата (Liu et al., 1999; Herzschuh, 2007). Датирование образцов колонки проводилось в лаборатории NTU AMS (Национальный университет Тайваня) на основе измерения содержания изотопов ^{210}Pb, ^{137}Cs, ^{14}C (Li et al., 2024а, б).

Результаты и их обсуждение. Возраст исследованного керна составил 3100 лет (Li et al., 2024а, б). На основе кластерного анализа CONISS на диаграмме были выделены четыре палинологические зоны (PZ) (рис. 1).

PZ I (94–67 см, 3,1–2,3 тыс. кал. л.н.). Доля пыльцы древесной растительности составила 35–50 %. Выявлено высокое содержание пыльцы *Betula* sect. *Albae*-type (береза) (19–28 %) и *Pinus* (20–26 %) (сосна). Доля участия пыльцы травянистых таксонов составила 50–65 %, она представлена *Artemisia* (29–38 %) (полынь) и Amaranthaceae (амарантовые). Из широколиственных пород отмечена пыльца *Ulmus* (вяз), *Corylus* (лещина), *Populus* (тополь), *Tilia* (липа). Концентрация пыльцевых

зерен в спектрах зоны составила 14*10^5 зерен/г (максимальное значение). Из непыльцевых палиноморф отмечено значительное количество остатков водорослей *Pediastrum*.

PZ II (67–51 см, 2,3–1,8 тыс. кал. л.н.). Доля участия пыльцы древесных таксонов составила 55 %. Количество пыльцы *Pinus* увеличилось до 28 %, *Betula* sect. *Albae*-type снизилось до 24 %. Сократилось обилие пыльцы *Artemisia* (36 %), Amaranthaceae (7 %) и Cyperaceae (осоковые). Концентрация пыльцевых зерен варьировала в диапазоне 4–8*10^5 зерен/г. Резко сократилось содержание водорослей *Pediastrum*.

В спектрах PZ III (51–19 см, 1,8–0,6 тыс. кал. л.н.) снизилась доля пыльцы древесных таксонов (35 %). Количество пыльцы *Pinus* не превышало 30 %, *Betula* sect. *Albae*-type – 17–29 %. Повысилось содержание пыльцы *Salix*. Среди пыльцы травянистой растительности возросла доля участия Poaceae (злаки), Amaranthaceae и Cyperaceae. Понизилась концентрация пыльцевых зерен до 2–7*10^5 зерен/г. Возросла численность водорослей *Pediastrum*.

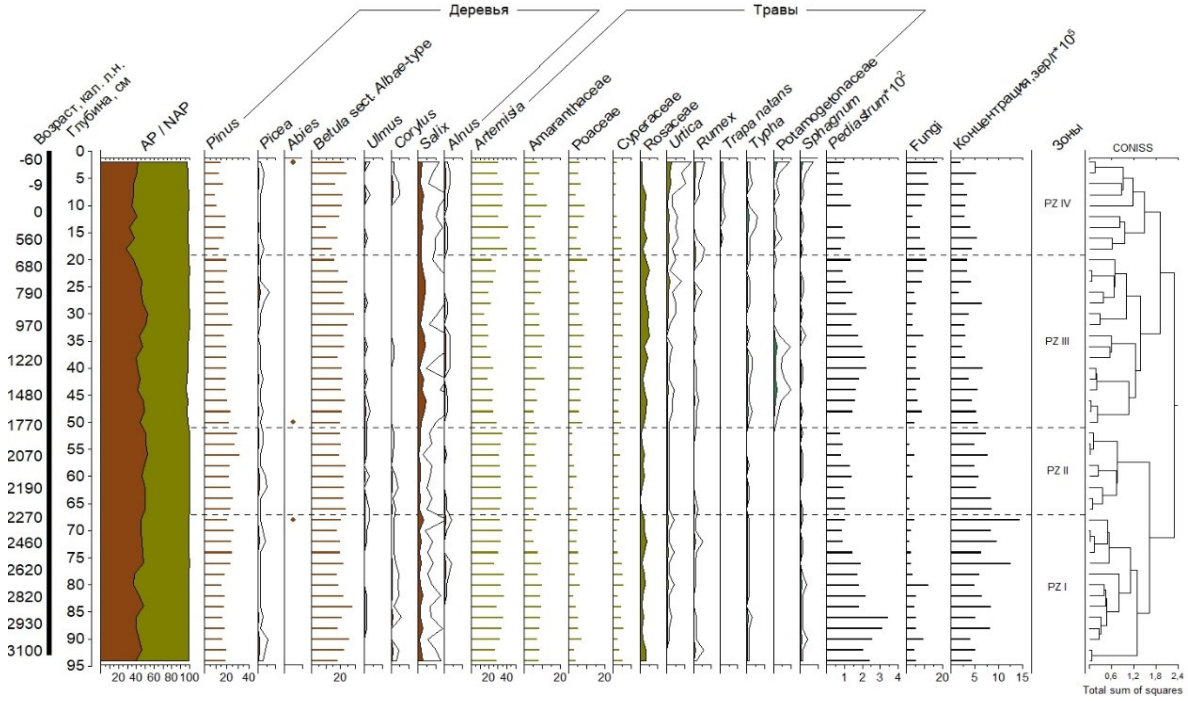


Рис. 1. Сокращенная спорово-пыльцевая диаграмма колонки донных отложений озера Колыванское

В PZ IV (19–0 см, 0,6 тыс. кал. л.н. – настоящий период) снизилось содержание пыльцы древесной растительности (34–42 %), количество пыльцы травянистых таксонов составило 58–66 %. Продолжилось доминирование пыльцы *Betula* sect. *Albae*-type (11–25 %), при этом сократилось присутствие пыльцы *Pinus*. Количество пыльцы *Artemisia* достигло максимального значения – 45 %, возросла доля Amaranthaceae и Poaceae. В спектрах данной зоны отмечена пыльца эндемичного вида *Trapa natans* (чилим, или водяной орех). Концентрация пыльцевых зерен варьировала в небольшом диапазоне 2–6*10^5 зерен/г. В данной зоне отмечено значительное количество спор паразитических, копрофильных грибов.

Согласно расчетам пыльцевых индексов (рис. 2) по палиноданным оз. Колыванское, наибольшая лесистость ландшафта вокруг водоема наблюдалась ~0,9 тыс. кал. л.н., минимальная – ~0,6 тыс. кал. л.н. Индекс аридности характеризуется несколькими пиками. Значения индекса увлажненности остаются относительно стабильными.

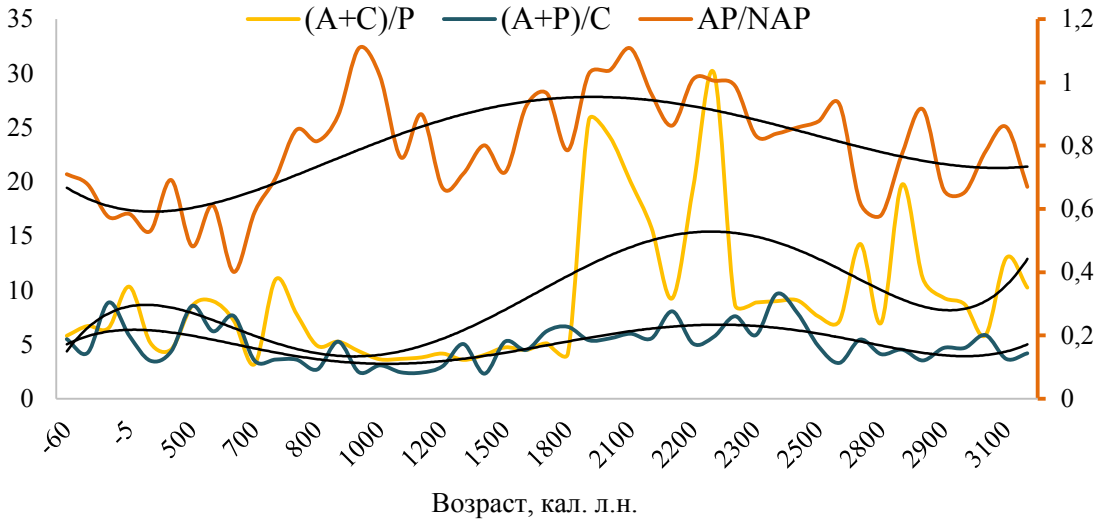


Рис. 2. Значения палинологических индексов для донных отложений оз. Колыванское: индекс открытости/лесистости ландшафта (AP/NAP); индекс аридности ((A+C)/P); индекс увлажненности ((A+P)/C); пыльца: AP –древесной растительности; NAP – травянистой растительности; A – полыни; P – злаковых; C – маревых

Заключение. Реконструкция растительного покрова и климатических изменений на территории вокруг оз. Колыванское за последние 3,1 тыс. л. позволила выявить следующие стадии. В интервале 3,1–1,8 тыс. л.н. существовали смешанные леса и луговые степи при относительно гумидных условиях. В период 1,8–1,1 тыс. л.н. на фоне аридизации распространились сухие степи и гидрофиты на мелководьях. Увеличение площади березовых лесов наблюдалось в интервале 1,1–0,7 тыс. л.н. В аридных условиях в период 0,7–0,5 тыс. л.н. преобладали полынные степи. На современном этапе на территории, окружающей озеро, произрастают разнотравные луга, на склонах – смешанные березовые и сосновые леса. Таким образом, на основе данных палинологических исследований колонки донных отложений оз. Колыванское выявлен общий тренд к аридизации в регионе за последние 3,1 тыс. кал. л.н.

Благодарности. Авторы выражают благодарность участникам экспедиционных работ.

Список литературы

1. Александрова В.Д., Гуричева Н.П., Иванина Л.П. Растительный покров и природные кормовые угодья Алтайского края (без Горно-Алтайской АО). Под ред. А.Н. Розанова, Н.И. Базилевич // Природное районирование Алтайского края. Москва: Изд-во Академии наук СССР, 1958. Т. 1. С. 135–161.
2. Алтайский край. Атлас / редкол.: И. С. Процюк и др.; ст. ред. В. Н. Белоглазова. Москва: Главное управление геодезии и картографии, 1978. Т.1. 222 с.
3. Нигаматзянова Г.Р., Фролова Л.А. Динамика растительности на юге Западной Сибири в позднем голоцене по результатам палинологического анализа отложений озера Колыванское // Естественные и технические науки. 2026. № 2 (213). С. 132-135.
4. Страховенко В.Д., Кабанник В.Г., Маликова И.Н. Геохимические особенности экосистемы озера Колыванское (Алтайский край) и влияние на нее техногенного воздействия // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 3. С. 220–234. DOI: 10.7868/S0024497X14030069.
5. Andreev A.A., Pierau R., Kalugin I., Daryin A.V., Smolyaninova L.G., Diekmann B. Environmental changes in the northern Altai during the last millennium documented in Lake Teletskoye pollen record // Quaternary Research. 2007. V. 67 (3). P. 394–399. DOI: 10.1016/j.yqres.2006.11.004.
6. Blyakharchuk T.A., Tchebakova N.M., Parfenova E.I., Soja A.J. Potential influence of the Late Holocene climate on settled farming versus nomadic cattle herding in the Minusinsk Hollow, south-central Siberia // Environmental Research Letters. 2014. V. 9. 065004. DOI: 10.1088/1748-9326/9/6/065004.

7. Borisova O.K., Novenko E.Yu., Zelikson E.M., Kremenetski K.V. Lateglacial and Holocene vegetational and climatic changes in the southern taiga zone of West Siberia according to pollen records from Zhukovskoye peat mire // Quaternary International. 2011. V. 237 (1–2). P. 65–73. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.01.015.
8. Faegri K., Iversen J. Textbook of Pollen Analysis. Caldwell: The Blackburn Press, 1989. 328 p.
9. Frolova L.A., Nigamatzyanova G.R., Nigmatullin N.M., Valieva E.A., Frolova A.A. A multi-proxy study of Holocene environmental and climate change in Pechora Delta // Limnology and Freshwater Biology. 2022. No. 4. P. 1421–1422. DOI: 10.31951/2658-3518-2022-A-4-1421.
10. Herzschuh U. Reliability of pollen ratios for environmental reconstructions on the Tibetan Plateau // Journal of Biogeography. 2007. V. 34. No. 7. P. 1265–1273.
11. Li H.-Ch., Frolova L., Misra S., Strakhovenko V., Shen Tz.-Ts. Palaeoenvironmental variations of the past 3000 years in Russian Altai: insights from 14C and 210Pb/137Cs dating and elemental records of Lake Kolyvanskoe // The 16th international conference on accelerator mass spectrometry. 2024 б. P. 14.
12. Li H.-Ch., Kuzina D., Frolova L., Shen Tz.-Ts., Misra S., Nigamatzyanova G., Yusupova A., Nigmatullin N., Strakhovenko V., Nurgaliev D. Climate and environmental changes during the past 1,500 years in Altai, Western Siberia, Russia: elemental geochemistry from four lake cores // EGU24–2450. 2024 a.
13. Liu H., Cui H., Pott R., Speier M. The surface pollen of the woodland–steppe ecotone in southeastern Inner Mongolia, China // Review of Palaeobotany and Palynology. 1999. V. 105. № 3–4. P. 237–250.
14. Rudaya N., Krivonogov S., Michał S., Xianyong C., Zhilich S. Postglacial history of the Steppe Altai: climate, fire and plant diversity // Quaternary Science Reviews. 2020. V. 249. 106616. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106616.

Следы катастрофических событий во внутренних бассейнах мира и их отражение в разрезах донных осадков

Николаева С.Б.

Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, Россия, s.nikolaeva@ksc.ru

Введение. Исследователи бассейновых отложений, в том числе и донных отложений озер, отдельные несогласия и нарушения стратификации осадков, аномалии в спектрах биоиндикаторов и резкие изменения фаций, наблюдаемые в разрезах, чаще всего объясняют климатическими флуктуациями. При этом редко учитывается региональная сейсмотектоника и не обращается должного внимания на несогласованность с базовыми схемами смены климатических фаз региона и с кривыми трансгрессий и регрессий Мирового океана. При таком подходе зачастую исключается из рассмотрения возможность распознавания в осадочных разрезах следов катастрофических процессов (землетрясений, оползней, селей, цунами и пр.), особенно в асейсмических регионах и областях.

В сообщении представлен обзор и современное состояние исследований катастрофических событий, запечатленных в осадочных разрезах водных бассейнов, расположенных в различных геолого-тектонических обстановках. Приводятся наиболее выразительные примеры отражения в кернах озер катастрофических явлений и процессов. Рассматриваются методические подходы к их изучению. Особое внимание уделяется критериям распознавания следов землетрясений и цунами, признакам нарушений и деформаций в водоемах.

Отражение катастрофических процессов в донных осадках озер и методические подходы к их изучению. Хорошо известно, что разрезы донных осадков выступают в качестве архивов катастрофических событий, по которым реконструируются прошлые геологические обстановки (Chapron et al., 1999; Monecke et al., 2006; Guyard et al., 2007; Doig, 2011; Ojala et al., 2019; Darin et al., 2020; Nikolaeva et al., 2023). Литостратиграфические свидетельства сильных событий включают смещение прибрежных и шельфовых отложений, таких как отложения массового переноса, оползни, гомогениты, турбидиты, осадочные брекчии. Обнаруживаемые в кернах деформации, перерывы в осадконакоплении и стратиграфические несогласия часто напрямую связаны с землетрясениями, как современными, так и доисторическими. Так, геохимический след катастрофического события – Монгольского землетрясения 1761 г., был обнаружен в донных осадках озера Кучерлинского на Алтае (Darin et al., 2020). Следы исторических землетрясений 1862, 1905 и 1912 г.г. сохранились в пределах южной котловины озера Байкал и в заливе Провал рядом с дельтой р. Селенги (Vologina et al., 2021). В серии небольших озер Канады осадки брекчиевой текстуры сформированы оползнями при турбидитных потоках в результате землетрясения 1935 г. с магнитудой M=6.3 и более ранними голоценовыми сейсмическими событиями (Doig, 2011). Исследования турбидитных отложений в донных осадках озера *Wörthersee* (Австрия, Восточные Альпы), свидетельствуют о 44 землетрясениях за последние ~14 тыс. лет с локальной сейсмической интенсивностью от ~V до ~X (Daxer et al., 2022). Следы трех крупных исторических и семи доисторических землетрясений за последние 15 000 лет обнаружены в осадочных отложениях четырех озер в Центральной Швейцарии (Monecke et al., 2006). Во Франции в районе северо-западных Альп, в ледниковом озере *Le Bourget* сейш, вызванный землетрясением 1822 г. спровоцировал подводный оползень, в результате которого были сформированы гомогениты (Chapron et al., 1999). Аналогичные нарушения наблюдались в осадках озера *Bramant* в западной части Французских Альп (Guyard et al., 2007).

В Фенноскандии, согласно Ojala et al. (2019), разломы со смещением на 1–2 см в отложениях озера Иммельярви в Финляндии, интерпретируются как следы землетрясения, произошедшего около 6.7 тыс.л.н. Ученые Восточной Норвегии сделали вывод, что обломки диамиктона (оползня) в районе Хомм образовались в результате землетрясения возрастом 6.4 тыс. л.н. (Mangerud et al., 2018). В восточной, российской части Фенноскандии, катастрофический прорыв и синхронные массовые перемещения, мелкомасштабные оползни, обвалы, брекчированные горизонты, обнаруженные в серии озер на юго-западе Кольского региона, связывают со среднеголоценовым землетрясением с возрастом около 6.5 тыс.л.н. (Nikolaeva et al., 2023). Перерывов в осадконакоплении озерных осадков, резкая смена доминирующего диатомового комплекса и последующий спуск озера в районе горы Воттоваара в Карелии был обусловлен палеоземлетрясением, случившимся около 9 тыс.л.н. (Shelekhova, Lavrova, 2019). Следы голоценовых цунами зафиксированы в результате бурения донных осадков озер, отчленившихся от моря в результате гляциоизостатического поднятия региона на Беренцевоморском побережье Кольского региона (Толстобров и др., 2018).

Анализ изучения аномальных слоев в донных осадках показал, что для их надежной идентификации, наиболее применимы литолого-геохимические и георадарные методы исследования, батиметрическая и сейсмоакустическая съемки, а также микропалеоботанические индикаторы (особенно реакция диатомовых сообществ на катастрофические события). Использование широкого комплекса применяемых методов, наряду с учетом тектонической и палеогеографической обстановки исследуемой области, как правило дает наилучшие результаты.

Заключение. Обобщение полученных данных показывает несколько общих факторов, характерных для идентификации следов катастрофических процессов в различных геолого-тектонических обстановках. К ним относятся свидетельства нарушения спокойной гидродинамической обстановки, спонтанный характер возникновения, нарушения свойств водной среды на нескольких участках до сейсмического события и во время него. При этом практически неизбежно перемещение и перемешивание придонного грунта по вертикали и латерали, взмучивание и переотложение осадков, разрывы. Закономерным следствием этих процессов является то, что вместе с диспергированным донным грунтом перемещаются микро - и макрофоссилии. Последующее осаждение взвешенного материала уже способствует возникновению прослоев терригенного или иного чуждого материала с иными спектрами диатомовых в разрезах.

Палеолимнологические исследования с сейсмотектонической составляющей применяются в настоящее время для корректировки оценок сейсмической опасности отдельных регионов и областей, уточнения возраста и периодичности сейсмособытий, пополнения палеосейсмических каталогов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме НИР Геологического института Кольского научного центра РАН, г. Апатиты (FMEZ-2024-0007).

Список литературы

1. Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Колька В.В., Корсакова О.П., Субетто Д.А. Возможные следы голоценовых цунами в озёрных донных отложениях в районе пос. Териберка (Кольский полуостров, Россия) // Труды КарНЦ РАН. Сер. Лимнология. Океанология. 2018. №9. С. 92-102.
2. Chapron E., Beck C., Pourchet M., Deconninck J.-F. 1822 earthquake-triggered homogenite in Lake Le Bourget (NW Alps) // Terra Nova. 1999. V. 11. № 2/3. P. 86-92.

3. Darin A.V., Chu G., Sun Q., Babich V.V., Kalugin I.A., Markovich T.I., Novikov V.S., Darin F.A., Rakshun Y.V. Archive of climate changes and tectonic events in the glacial clays of Lake Kucherla (Altai Region, Russia)// Geodynamics & Tectonophysics. 2020. №11 (3). P. 624-631.
4. Daxer C., Huang J., Weginger S., Hilbe M., Strasser M., Moernaut J. Validation of seismic hazard curves using a calibrated 14 ka lacustrine record in the Eastern Alps, Austria // Scientific Reports. 2022. 12:19943.
5. Doig R. Effects of strong seismic shaking in lake sediments, and earthquake recurrence interval, Temiscaming, Quebec // Canadian Journal of Earth Sciences. 2011. V. 28. № 9. P. 1349-1352.
6. Guyard H., St-Onge G., Chapron E., Anselmetti F. S., Francus P. The AD 1881 earthquake-triggered slump and late holocene flood-induced turbidites from proglacial lake Bramant, Western French Alps. In: Lykousis V., Sakellariou D. and Locat J. (eds.) Submarine Mass Movements and Their Consequences. Springer. 2007. P. 279-286.
7. Mangerud J., Birks H.H., Halvorsen L.S. et al. The timing of deglaciation and sequence of pioneer vegetation at Ringsaker, eastern Norway – and an earthquake-triggered landslide // Nor. J. Geol. 98. 2018. P. 1-18.
8. Monecke K., Anselmetti F.S., Becker A. et al. Earthquake-induced deformation structures in lake deposits: a Late Pleistocene to Holocene paleoseismic record for Central Switzerland// Eclogae Geologicae Helvetiae. 2006. V. 99. P. 343–362. https://doi.org/10.1007/s00015-006-1193-x
9. Nikolaeva S., Tolstobrov D., Ryazantsev P. Evidence for postglacial seismicity in lacustrine records in the western Kola Peninsula (North-Western Russia) // The Holocene. 2023. V. 33 (12) P. 1441-1452. https://doi.org/10.1177/09596836231197738
10. Ojala AEK, Mattila J, Hämäläinen J et al. Lake sediment evidence of paleoseismicity: Timing and spatial occurrence of late- and postglacial earthquakes in Finland// Tectonophysics 771. 2019. P. 228–227. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228227
11. Shelekhova T.S., Lavrova N.B. Paleoenvironmental reconstructions and sedimentological evidence of paleoseismic activity ca 9000 yr BP in Karelia, NW Russia, based on lake sediment studies on Mount Vottovaara // Baltica 32 (2). 2019. P. 90-201.
12. Vologina E.G., Sturm M., Radziminovich Ya.B., Traces of high seismic activity in the uppermost sediments of Lake Baikal, Siberia// Geodynamics & Tectonophysics 12 (3), 2021. P. 544-562.

Изменения растительности в нижнем течении р. Енисей в районе Игарки в среднем и позднем голоцене

Новенко Е.Ю.[1], Мазей Н.Г.[1,2], Прокушкин А.С.[1,3], Куприянов Д.А.[1], Руденко О.В.[4]

[1]*Институт географии РАН, Москва,* eynovenko@yandex.ru

[2]*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

[3]*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск*

[4]*Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орел*

Введение. Лесные экосистемы криолитозоны Сибири проявляют высокую уязвимость к современному изменению климата, что требует детального изучения их долговременной динамики. Однако палеоботанические данные с высоким временным разрешением для севера региона остаются крайне ограниченными. Исследования проведены в окрестностях г. Игарка в Туруханском районе Красноярского края. Район работ расположен на восточной окраине Западно-Сибирской низменности, в нижнем течении р. Енисея, у северной границы лесной зоны. Реконструкции изменений растительности выполнены на основе комплексного палеоботанического изучения плоскобугристого болота Малая Гравийка (67,481279° с.ш., 86,435738° в.д.), цель которых - не только реконструкция растительности и климата района исследований с высоким временным разрешением, но и выявление роли лиственницы в растительном покрове в голоцене. Известный факт о существенном занижении доли пыльцы лиственницы в составе спорово-пыльцевых спектров по сравнению с ее участием в древостое, затрудняет интерпретацию полинологических данных из разрезов голоценовых отложений. В представленной работе для реконструкции лесной растительности были использованы не только результаты спорово-пыльцевого анализа, но и данные по макроостаткам древесных пород, как полученные в ходе настоящего исследования, так и опубликованные ранее.

Методы. Полевые работы и бурение торфяной залежи болота были проведены в марте 2022 г. Отбор образцов торфа выполнен с помощью переносной буровой станции, оснащенной мотобуром колонкового способа бурения. Пробурено две скважины, первая из которых заложена на поверхности бугра пучения – скважина МГ2 (Малая Гравийка-2), вторая скважина приурочена к талой мочажине – скважина МГ3 (Малая Гравийка-3). В лаборатории мерзлые керны были распилены на образцы толщиной 2 см и упакованы в полиэтиленовые пакеты. Образцы для ботанического анализа торфа из обеих скважин отобраны с интервалом 4 см. Спорово-пыльцевой анализ для скважины МГ3 выполнен с интервалом 2 см. Анализы проведены по общепринятым методикам.

Для разреза торфяного бугра (скв. МГ2) получено 3 радиоуглеродные AMS-даты, для разреза скважины из мочажины (скв. МГ3) получено 9 AMS-дат. Радиоуглеродное датирование проведено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США). Для построения модели роста отложений торфяного бугра применен пакет Bacon в программной среде R. Построение спорово-пыльцевой диаграммы процентных соотношений таксонов и концентрации пыльцы выполнено в программе TILIA и TGView. Результаты исследования болота Малая Гравийка дополнены полученными нами ранее палоеботаническими данными по болоту Игарка (Новенко и др., 2022; Novenko et al., 2023), расположенного в 10 км к северо-востоку от изученного разреза. Торфяная залежь здесь начала формироваться около 6200 кал. л.н. (калиброванных лет назад).

Результаты и их обсуждение. Строение разрезов и скорость осадконакопления мерзлого торфяного плато (скважина МГ2, глубина 286 см) и талой мочажины (МГ3, 280 см) существенно различаются. В разрезе МГ2 верхние 250 см сложены торфом

с прослоями льда, ниже залегает темно-серый суглинок; базальный возраст торфа составляет 3740 кал. л.н., а датировки древесины с глубины 135 см (3305±25 кал. л.н.) и растительных остатков с 25–27 см (1490±20 кал. л.н.) типичны для бугров пучения, т.е. наличие 260-см толщи торфа, накопившейся за 2,2 тыс. лет отражает не столько реальную скорость торфонакопления, сколько расширение торфа при пучении и образование шлирового льда. В верхних 25 см скорость прироста торфа резко снижается из-за возможной эрозии. В скважине МГ3 мощность торфа 165 см, его базальный возраст – 3685±25 кал. л.н., близкий к МГ2; ниже залегает темно-серый суглинок (возраст 6600 кал. л.н. на глубине 250–253 см), а ещё ниже – голубовато-серая глина, относящаяся к отложениям Игаркского приледникового озера ермаковского возраста. Длительный перерыв в осадконакоплении, от времени окончания формирования голубовато-серых глин до примерно 6600 кал. л.н. не позволяет реконструировать природные условия для раннего и первой половины среднего голоцена. После возобновления аккумуляции отложений и до 4200 кал. л.н. на изучаемой территории существовал мелкий эвтрофный водоём, который впоследствии трансформировался в болото.

Для анализа изменений растительности на протяжении последних 6600 лет мы обобщили данные по пыльце древесных пород в спорово-пыльцевых спектрах, а также по пыльце и макроостаткам лиственницы в изученных разрезах в районе Игарки (рис. 1). Анализ находок показал, что, за исключением короткого интервала 2450–2000 кал. л.н., пыльца или макроостатки лиственницы постоянно встречаются в отложениях разрезов в окрестностях Игарки. Однако доля пыльцы *Larix* в обоих разрезах невысока и варьирует от 0.5 до 7.2%. Также как и в поверхностных пробах из района Игарки (Novenko et al., 2024), в ископаемых спектрах высокую долю составляет пыльца *Pinus sibirica*, *Betula alba*-type, *B. nana*-type, пики содержания которых последовательно сменяли друг друга. Пыльца *Alnus fruticosa* обильна в отложениях, сформировавшихся до 3500 кал. л.н. Пыльца *Picea* присутствует в спектрах почти постоянно, а её доля варьирует от нескольких процентов до 12–15 %, также в ряде образцов обнаружены ее кора и устьица.

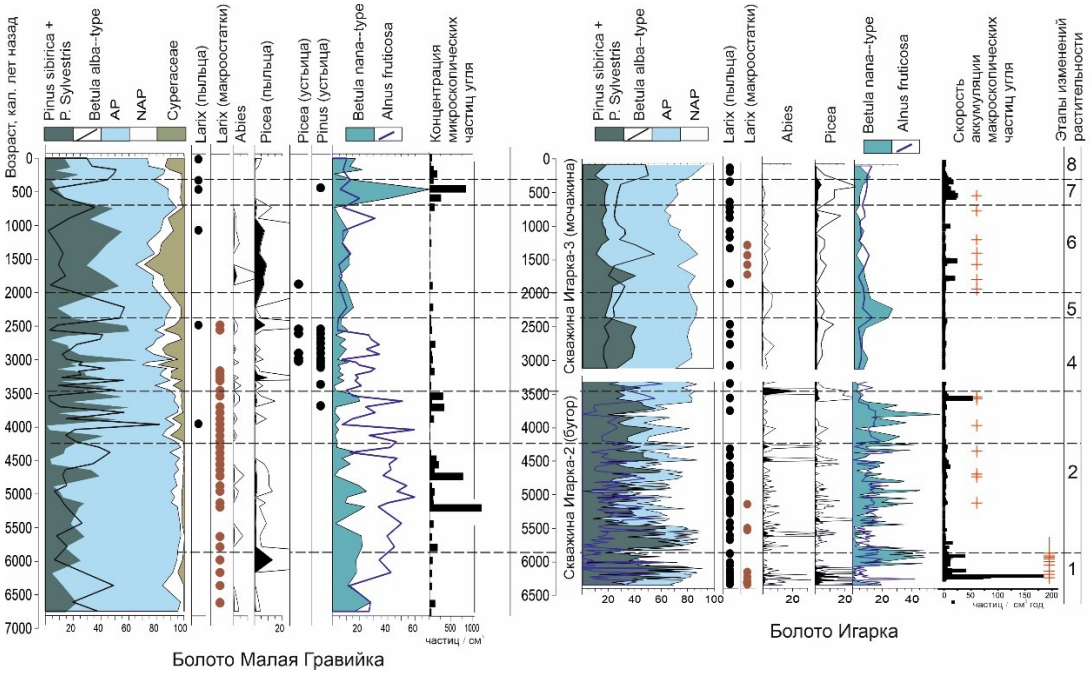


Рис.1. Сопоставление результатов анализа пыльцы и макро-остатков древесных пород в разрезах болот Малая Гравийка и Игарка

Выделено восемь основных этапов изменений растительности. В период между 6600 и 6000 кал. л.н. (этап 1) в районе Игарки были распространены среднетаежные елово-кедрово-лиственничные леса с участием пихты. Лесные сообщества испытывали значительное воздействие лесных пожаров. Начиная с 6000 кал. л.н. (этап 2, 6000–4500 кал. л.н.), в растительном покрове увеличилось участие ольховника. В современной растительности Средней Сибири *Alnus fruticosa* часто встречается в сообществах с *Betula nana*, формируя подлесок в разреженных лиственничных лесах и редколесьях. Об изреживании лесного полога свидетельствует и высокое обилие спор плауна колючего (*Lycopodium pungens*), типичного обитателя напочвенного покрова редколесий и редин, - до 60-70% по отношению к суммарному количеству пыльцы высших растений в спектрах. В то же время увеличилось до 70-120% содержание плауна годичного (*L. annotinum*), который преимущественно встречается в темнохвойных лесах, в ассоциациях класса Vaccinio-Piceetea на богатых, хорошо увлажненных почвах. В лиственничниках он чаще всего встречается на участках с близким залеганием многолетней мерзлоты и, следовательно, избыточным увлажнением. Подобный состав спорово-пыльцевых спектров свидетельствует о мозаичном растительном покрове, характерного для экотона северной тайги и лесотундры, включающем как сомкнутые леса, так и редколесья и редины.

В начале позднего голоцена в районе Игарки распространялись северо-таежные лиственничные леса с участием кедра и ели и берёзово-лиственничные леса, значительную долю составляли редколесья с развитым кустарниковым ярусом из ольховника и карликовой березки (этап 3, 4500-3500 кал. л.н.). В спорово-пыльцевых спектрах отложений болота Малая Гравийка высокое обилие ольховника сохранялось вплоть до 2400 кал. л.н. Палинологические данные по болоту Игарка, напротив, указывают на начало сокращения доли *Alnus fruticosa* и *Betula nana* и одновременное увеличение участия кедра в интервале 3500–2400 кал. л.н. (этап 4).

Существенные изменения растительного покрова изучаемой территории произошли в интервале 2400–2000 кал. л.н. (этап 5). Сокращение доли ели и кедра и их концентраций в образцах на фоне увеличения содержания пыльцы березы (как древесной, так и кустарниковой) указывает на похолодание и деградацию таёжных сообществ за счет широкого распространения берёзовых редколесий с кустарниковым ярусом из карликовой берёзки и ольховника. Пыльца и макроостатки лиственницы выявлены не были.

Следующий этап изменения растительности изучаемой территории (6) продлился с 2000 до 700 кал. л.н. Начиная с 2000 кал. л.н., в лесных сообществах в районе Игарки увеличилась доля участия кедровой сосны и ели, а в интервале 2000–1500 кал. л.н. - пихты. Содержание пыльцы ели в спектрах на участке Малая Гравийка существенно выше, чем на участке в Игарке, что, вероятно, связано с более благоприятными условиями для произрастания пихты и ели в долине Енисея благодаря отепляющему влиянию крупной реки.

Значительная трансформация растительного покрова, связанная с деградацией лесов и распространением ерниковых сообществ и березовых редколесий, выявлена в период между 700 и 230 кал. л.н. (этап7), который совпадает с Малым ледниковым периодом. Для спорово-пыльцевых спектров этого периода характерно резкое возрастание доли пыльцы *Betula nana*-type, её концентрации и количества макроостатков, а также сокращение доли пыльцы остальных древесных пород, в том числе и обладающих высокой пыльцевой продуктивностью (таких, как сосна и берёза). В спектрах болота Малая Гравийка пыльца *Picea* в этот период полностью отсутствует, тогда как в спектрах болота Игарка её доля составляет 3–5%, что указывает на возможное произрастание ели в районе исследований.

В течение последних 250 лет (этап 8) на фоне потепления климата сформировался современный растительный покров, в котором увеличилась доля березы, кедровой сосны и ели. Развитие лесопромышленного комплекса и строительство речного порта в Игарке в XX веке, безусловно, сопровождались активной вырубкой лесов.

Представленные комплексные палеоботанические исследования болот Малая Гравийка и Игарка существенно дополняют палеоэкологические реконструкции для севера Сибири и могут служить основой для прогноза реакции высокоширотных лесов на современное потепление климата.

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024).

Список литературы

1. Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г.4, Куприянов Д.А. и др. Изменения растительности Приенисейской Сибири в последние 4700 лет: новые палеоэкологические данные из района Игарки (Красноярский край) // Геоморфология. 2022. Т. 53, № 3. С. 51–60.
2. Novenko, E., Mazei, N., Shatunov, A., Chepurnaya, A., Borodina, K., Korets, M., Prokushkin, A., Kirdyanov, A.V., Modern Pollen–Vegetation Relationships: A View from the Larch Forests of Central Siberia // Land. 2024. Vol. 13, 1939.
3. Novenko, E., Rudenko, O., Mazei, N., Kupriyanov, D., Andreev, R., Shatunov, A., Kusilman, M., Prokushkin, A., Olchev, A. Effects of Climate Change and Fire on the Middle and Late Holocene Forest History in Yenisei Siberia // Forests. 2023. Vol. 14, 2321.

Береговые образования позднеплейстоценовых палеоозер в Курайско-Чуйской системе межгорных котловин (Горный Алтай): гипсометрия, морфология, возраст

Новиков И.С., Добрецов В.Н.

Институт геологии и минералогии имени академика В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, novikov@igm.nsc.ru

Введение. Присутствие на склонах Курайской и Чуйской межгорных котловин Горного Алтая серий многочисленных мелких озерных террас отмечалось еще В.В. Сапожниковым (Сапожников, 1912) и В.А. Обручевым (Обручев, 1915). Позднее они описывались многими исследователями (Попов, 1962; Девяткин, 1965; Рудой, 1981; Бутвиловский, 1985; Русанов, 2007; Бородавко, 2009).

Судя по сохранившимся террасовым уровням, во время первого позднеплейстоценового оледенения в верховьях реки Оби в Курайско-Чуйской системе котловин существовало единое озеро с уровнем 2250 м с общим объемом 1170 км^3 (Зольников и др., 2025). Это примерно четыре годовых стока современной реки Обь. Единовременное поступление такого объема воды в дренажный бассейн существенно преобразовало строение рыхлых отложений в долинах Чуи, Катуни, Оби и многих ее притоков, сформировав геоморфологическую формацию катафлювиальных равнин (Новиков, 2024).

Береговые озерные формы хорошо дешифрируются на современных космических снимках высокого разрешения. Используя возможности современных ГИС, мы составили крупномасштабную геоморфологическую карту для рассматриваемой территории, дающую представление о пространственном размещении береговых образований (рис. 1). Используя ЦМР Copernicus проанализировали высотные закономерности их распространения и объемы палеоозер. Всего в пределах Курайско-Чуйской системы межгорных котловин выделены следующие береговые образования: серии террас срабатывания, абразионные террасы, береговые и подводные бары, нагонные бары и нагонные абразионные террасы.

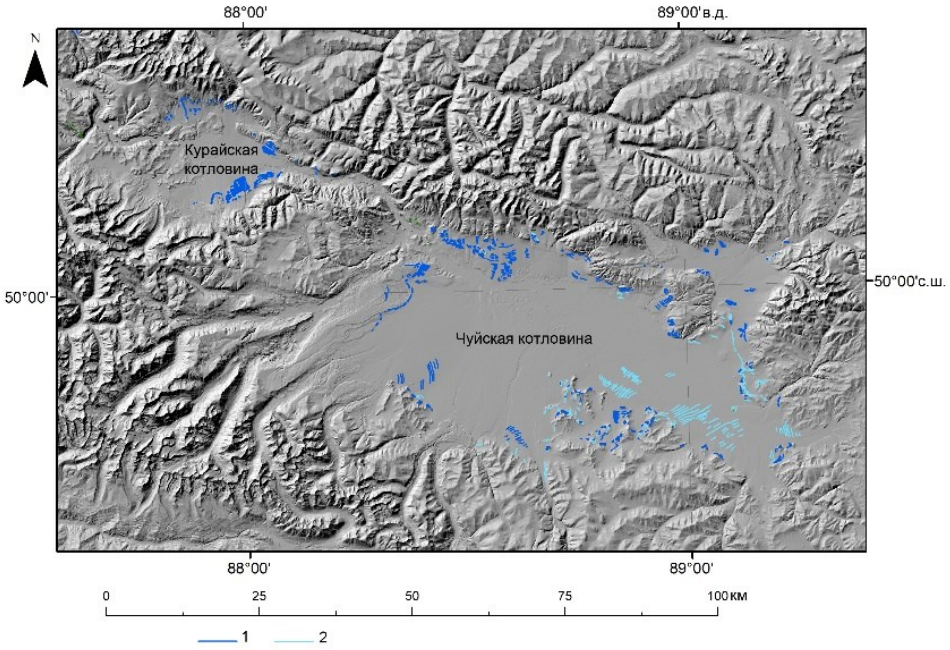


Рис. 1. Береговые образования позднеплейстоценовых палеоозер в Курайской и Чуйской котловинах. Подложка – теневой рельеф на основе ЦМР Copernicus. 1 – террасы срабатывания и абразионные террасы, 2 – береговые, подводные и нагонные бары

Выявленные береговые образования палеоозер. Серии террас срабатывания по северному и южному бортам в западной части Курайской котловины и по периферии Курайской котловины. Представляют собой серии многочисленных сглаженных террас с высотой уступа первые метры, шириной площадки первые десятки метров и протяженностью сохранившихся фрагментов до 4 км. В северной части Курайской котловины сохранились в диапазоне абсолютных высот 1660-2100 м, в южной 1530-1754 м. В Чуйской котловине серии террас срабатывания сохранились на севере в диапазоне 1760-2100 м, на юге 1900-2100 м, на западе 1850-1980 м и на востоке 2000-2100 м. Террасы выработаны в конечно-моренных полях первого позднеплейстоценового оледенения, его флювиогляциальных шлейфах, осушенном днище Курайско-Чуйского палеоозера, реже в склоновых отложениях бортов Чуйской и Курайской котловин. Террасы сохраняются в основном на аккумулятивных поверхностях с уклонами менее 5°, реже до 10°.

Абразионные террасы представляют собой небольшие серии в 3-5 редко до 8-10 сглаженных террас с высотой уступа первые метры, шириной площадки первые метры и протяженностью сохранившихся фрагментов до первых сотен метров. Они выработаны в склоновом чехле и незначительно в скальном основании склонов с углами наклона 17-23°, редко на сухих склонах южной экспозиции до 23-29°. Абразионные террасы распространены на тектоногенных уступах и расположенных выше фрагментах поверхности выравнивания в северо-восточной Курайской котловины где занимают высотный диапазон 1800-2000 м. В Чуйской котловине они также приурочены в основном к тектоногенным уступам имеют высотный диапазон на северо-востоке 1900-2100 м в отдельных случаях они окольцовывают небольшие тектоногенные выступу в основании уступов (форберги) где высота уступов абразионных террас достигает 10-15 м, а ширина площадок 100-150 м. Абразионные уступы также развиты в восточной части Чуйской котловины где развиты на выположенных тектоногенных склонах в высотном диапазоне 1900-2100 м.

Береговые и подводные бары неизвестны в Курайской котловине. Они имеют широкое распространение только на востоке и юго-востоке Чуйской котловины, где поверхность полого повышалась и палеоозеро становилось мелководным. Они представляют собой протяженные по горизонтали валы с пологими склонами относительной высотой до 3-5 м. Особо выделяется вал с абсолютными отметками 1965-1975 м, опоясывающий восточную часть впадины полукольцом. Протяженность сохранившихся фрагментов вала от 1 до 6 км. Вероятно, это береговой вал позднеплейстоценового палеоозера. На северо-востоке Чуйской котловины из пляжевых песков этого уровня получена серия OSL датировок около 20 тыс. л.н. (Зольников и др., 2025). Бары с более низкими абсолютными отметками более сглаженные и вероятно имеют подводное происхождение. На больших абсолютных отметках сохранились сглаженные бары, протяженность сохранившихся фрагментов которых обычно менее 1 км. Вероятно, это следы волноприбойной деятельности более древнего (первого позднеплейстоценового?) палеоозера для песков которого пока еще нет OSL датировок.

Нагонные бары широко распространены в восточной и юго-восточной частях Чуйской котловины, где впервые описаны Е.В.Девяткиным (Девяткин, 1965). Они представляют собой террасоподобные аккумулятивные формы на противоположных от палеоозера склонах мелких скальных выступов и представляют собой склоновые отложения, перемещенные штормовыми волнами через скальные холмы и отложенные в гидравлической тени. Протяженность нагонных баров до 1500 м, высота уступов до 20 м.

Нагонные абразионные террасы распространены на небольшом участке на юго-восточной границе Чуйской котловины где выработаны в выположенном тектоногенном уступе. Они представляют собой систему террасовидных форм протяженностью 1-2 км, высота уступа которых до 10-15 м, а ширина до 50 м. Абсолютные высоты распространения 2050-2100 м. Нагонными они считаются поскольку являются единственными линейными береговыми образованиями палеоозер не имеющими горизонтального простирания. Напротив, их абсолютные отметки повышаются с северо-запада на юго-восток примерно 50 м на 1 км. С неотектоническими движениями такие перекосы связаны быть не могут, поскольку активных в голоцене тектоногенных уступов по близости не наблюдается

Помимо береговых образований в пределах днищ Курайской и Чуйской котловин широкое развитие имеют генетически однородные поверхности, возникшие в результате деятельности палеоозер. Это обширные озерные равнины имеющие аккумулятивный генезис в центральных частях котловин и срезающих более древние образования ближе к периферии котловин с формирование сингенетичного чехла мощностью 1-2 м. Цоколем равнин обычно служат среднечетвертичные морены, реже скальные породы. Озерные равнины далеко заходят в долины горных сооружений, обрамляющих Чуйскую котловину с востока и юго-востока там, где долины не были заняты позднеплейстоценовыми ледниками. Они образуют плоские днища с озерным чехлом и распространены вверх по долинам до абсолютных отметок 2250 м. Голоценовые поймы вложены в них с эрозионным углублением на 10-30 м.

Заключение. В пределах Чуйской и Курайской межгорных котловин существуют многочисленные геоморфологические существования ледниково-подпрудных палеоозер позднеплейстоценового возраста. По имеющимся данным можно определить, что палеоозера возникали как минимум дважды. Боле крупное (первое позднеплейстоценовое?) было единым для Курайской и Чуйской котловин и имело верхний уровень с абсолютными отметками 2250 м. Его глубина достигала 750 м в Курайской и 500 м в Чуйской котловинах. Ледниковая подпруда располагалась в районе западного выхода из Курайской котловины. По нашим оценка его объем достигала 1200 км^2. В позднем плестоцене палеоозера в котловинах имели разный уровень. Озеро в Курайской котловине подпруживалось ледником с южного горного обрамления на выходе из котловины. Оно имело абсолютные отметки уровня заполнения около 1700 м, глубину до 250 м. Объем палеоозера составлял примерно 40 км^2. Озеро в Чуйской котловине подпруживалось ледником с северногогорного обрамления на выходе из котловины. Имеются OSL даты, подтверждающие его существование до 18-19 тыс. л. н. (Зольников и др., 2023). Оно имело абсолютные отметки уровня заполнения около 1975 м, глубину до 200 м. Объем палеоозера составлял около 200 км^2. Имеются OSL даты, подтверждающие его существование до 21-23 тыс. л. н. (Зольников и др., 2025).

Таким образом, суммарный объем палеоозер Курайско-Чуйской системы котловин около 240 км^2, что в пять раз меньше объема палеоозера существовавшего на завершающем этапе первого позднеплейстоценового оледенения. Последовательность спуска озер позднего плейстоцена пока не установлена. Следует отметить что имеются отчетливые геолого-геоморфологические следы экстремального волнового режима позднеплейстоценового Чуйского палеоозера. При абсолютных отметках зеркала озера около 1975 м, в период штормов его волны перехлестывали скальные выступы в восточной части Чуйской котловины с абсолютными отметками 2010-2025 м.

Развитию аномально больших волн способствовали большая протяженность Чуйского палеоозера (боле 65 км с северо-запада на юго-восток) и очень пологий подъем днища палеоозера в прибрежной части в этом направлении (около 25 м на 1 км).

Благодарности. Работа выполнена по государственным заданиям ИГМ СО РАН (FWZN-2026-0004, FWZN-2026-0011).

Список литературы

1. Бородавко П.С. Четвертичная эволюция озерных систем Алтайской горной страны // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2009. Т. 2, № 1. С. 18-29.
2. Бутвиловский В.В. Катастрофические сбросы вод ледниково-подпрудных озер Юго-Восточного Алтая и их следы в рельефе // Геоморфология. 1985. - № 1. С. 65-74.
4. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. М.: Наука, 1965. 244 с.
5. Зольников И.Д., Деев Е.В., Курбанов Р.Н., Панин А.В., Новиков И.С., Васильев А.В. Возраст ледниковых и водноледниковых отложений чибитского гляциокомплекса и его подпрудное озеро (Горный Алтай) // Геоморфология и палеогеография, 2023. Т.54, № 1. С. 90-98.
6. Зольников И.Д., Новиков И.С., Курбанов Р.Н., Филатов Е.А., Глушкова Н.В., Левицкая П.С. Возраст и размеры последнего ледниково-подпрудного озера Чуйской котловины (Горный Алтай) // Доклады академии наук. Науки о Земле. 2025. №1. С. 5-12.
7. Новиков И.С. Геоморфологические формации юга Западной Сибири // Геоморфология и палеогеография, 2024. Т.55, № 4. С. 26-41.
8. Обручев В.А. Алтайские этюды (этюд первый). Заметки о следах древнего оледенения в Русском Алтае // Землеведение. 1914. № 4. С. 50-97.
9. Попов В.Е. О древних береговых образованиях в Курайской степи на Алтае// Гляциология Алтая. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1962. Вып. 2 С. 78-90.
10. Рудой А.Н. К истории приледниковых озер Чуйской котловины в Горном Алтае // Материалы гляциологических исследований. 1981. Вып. 41. С. 213-218.
11. Русанов Г.Г. О следах позднеплейстоценового ледниково-подпрудного озера на бортах Чуйской котловины в 11. Горном Алтае // Природные ресурсы Горного Алтая. 2007. № 1 (7). С. 66-72.
1 Сапожников В.В. Пути по Русскому Алтаю. Томск: Типо-литография Сибирского товарищества печатного дела, 1911. 169 с.

Антропогенная динамика растительности в позднем голоцене: от Смоленского Поозерья до Валдая

Носова М.Б.[1], Лавренов Н.Г.[2], Ваганова С.А.[3], Северова Е.Э.[3], Шашерина Л.В.[4], Захаров А.Л.[4], Зарецкая Н.Е.[4], Зазовская Э.П.[4], Константинов Е.А.[4]

[1]Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, г.Москва, mashanosova@mail.ru
[2]Институт проблем экологии и эволюции им. Северцова РАН, г. Москва
[3]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г.Москва
[4]Институт географии РАН, г. Москва

Краевая зона Валдайского оледенения в пределах ЕЧР располагается на пространстве от Смоленской области до восточных предгорий Урала на северо-востоке. Поозерные ландшафты, сложившиеся в этой зоне, привлекали группы охотников и собирателей с момента отступления оледенения, и в последующие исторические эпохи были привлекательны для человека в силу разнообразия условий и ресурсов (Еремеев, 2024).

Озера являются наиболее оптимальным объектом для изучения взаимодействия человека и среды в голоцене по нескольким причинам: 1) приуроченность поселений к озерам как источнику воды и пищевых ресурсов; 2) возможность отбора проб с высоким разрешением, что не всегда возможно для болотных разрезов; 3) как правило, прибрежное положение поселений и их хозяйственных зон, что исключает фильтрующий эффект леса и повышает вероятность уловить ранние слабые сигналы хозяйственной деятельности. Ограничение, которое раньше существовало вследствие затруднений с отбором неконсолидированной верхней части отложений, можно считать преодоленным с помощью метода заморозки, разработанного в Институте географии РАН (Константинов, 2019), а применяемое к замороженному керну датирование по цезию позволяет сделать верхнюю часть хронологической модели более точной.

На примере трех озер, расположенных в краевой зоне Валдайского оледенения, рассмотрим вторую половину голоцена на предмет естественных и антропогенно обусловленных изменений природной среды. Озеро Каспля расположено в Смоленском районе Смоленской области на территории Смоленского поозерья (54,964167 N, 31,5975 E); озеро Петровское — малое озеро в системе оз. Ручейского — в Торопецком районе Тверской области (56,72481 N, 31,57739 E); оз. Глухое — на острове Муравьиный в Валдайском озере — в Валдайском районе Новгородской области (57,995458 N, 33,294015 E). Отложения всех объектов датированы, озера Каспля и Петровское изучены комплексом палеоэкологических методов, результаты опубликованы (Nosova et al., 2025; Shasherina et al., 2025, 2026; Носова и др., 2026), для оз. Глухое выполнен спорово-пыльцевой анализ (Носова и др., 2025). Результаты СПА интерпретированы как традиционным для СПА методом, так и с использованием математического аппарата.

Результаты спорово-пыльцевого анализа показывают, что впервые бесспорные признаки земледелия (пыльца Cerealia) появляются в озере Каспля около 6500 кал. л.н., далее в озере Петровском — 4200 кал. л.н., и последними в оз. Глухом — 3400 кал. л.н. «Мерцающие» признаки земледелия появляются после этих дат во всех трех озерах вплоть до времени 2800 кал. л.н., когда с началом Раннего железного века в зоне подтайги распространяется подсечно-огневое земледелие и присутствие Cerealia становится регулярным: в Каспле — с 2400 кал. л.н., в Петровском — с 2700 кал. л.н., в Глухом — с 2000 кал. л.н. Максимум, который можно наблюдать в верхней части диаграмм, относится к древнерусскому периоду и позднее. В противофазе увеличению антропогенных индикаторов происходит «бореализация» лесной растительности на всех трех изученных территориях. Она заключается в деградации

широколиственных элементов в результате, вероятно, избирательного сведения лесов на более продуктивных почвах. По-видимому, это общая черта динамики растительности позднего голоцена в современной зоне подтайги.

Перед началом интерпретации с использованием математических инструментов, из спорово-пыльцевых спектров были выбраны антропогенные индикаторы (АИ) с разбиением на категории согласно A. Poska (2004) с небольшими корректировками. В частности, Ericales были исключены из пожарных индикаторов; оставлен только *Calluna vulgaris* в тех объектах, где этот таксон был посчитан отдельно от прочих вересковых.

Затем процентные значения таксонов-АИ были просуммированы с исключением дублирующихся таксонов, входящих одновременно в разные категории АИ. Для первичного выявления кратковременных и среднесрочных эпизодов повышенного антропогенного сигнала было использовано 300-летнее скользящее окно, реализованное в R с использованием пакета *dplyr* (Wickham et al., 2023). Для каждого объекта рассчитывали среднее значение суммы антропогенных индикаторов (за исключением пожарных) в окне с шагом 50 лет; затем ряд оконных средних стандартизовали внутри каждой колонки. Окна с повышенными значениями интерпретировались как эпизоды усиления антропогенного воздействия. Этот подход позволил сопоставить кратковременные и среднесрочные пики АИ между колонками.

Однако длительные устойчивые фазы освоения с помощью скользящего окна выявляются хуже, поскольку продолжительный высокий сигнал может восприниматься как новый фон. Поэтому дополнительно была использована changepoint-сегментация (пакет changepoint; Killick, Eckley, 2014), которая определяет переходы между статистически различающимися участками временного ряда без жёсткой привязки к размеру окна. Так были выделены интервалы устойчиво повышенного антропогенного воздействия.

Для проверки того, сопровождаются ли выявленные антропогенные фазы перестройками растительности, был использован rate-of-change анализ с помощью пакета RRatepol (Mottl et al., 2021). Этот метод применялся не для выделения самих фаз освоения, а для поиска устойчивых моментов быстрых изменений в составе наземных пыльцевых спектров. Устойчивость границ проверяли с помощью анализа чувствительности: для changepoint варьировали трансформацию ряда, минимальную длину сегмента и penalty, а для RRatepol — сглаживание, меру различия и порог выделения пиков. В итоговую интерпретацию включались только те границы, которые повторялись в нескольких разумных конфигурациях метода.

Согласно полученным результатам, антропогенная динамика в изученных разрезах не образует единой синхронной волны, а проявляется как последовательность локальных и разновременных эпизодов. Наиболее ранние кратковременные повышения суммы АИ выявлены в Каспле около 4300–4000 и 3950–3650 кал. л. н.; они связаны главным образом с ростом индикаторов открытых и нарушенных местообитаний (Poaceae, Cyperaceae, *Artemisia*, *Urtica*) и пока не выглядят как уверенный сигнал земледелия. В Петровском наиболее ранний вероятный рубеж около 4450 кал. л. н. фиксируется changepoint-сегментацией, но не соответствует устойчивой фазе предполагаемого антропогенного воздействия, однако коррелирует с первым появлением Cerealia; более надёжная граница приходится примерно на 2300 кал. л. н., где рост АИ совпадает с устойчивым RRatepol-переломом и связан с мозаикой открытых, луговых и рудеральных местообитаний. В Глухом ранние всплески (до 2200 кал. л. н.) имеет смысл рассматривать как разрозненный слабый фон нарушений; более устойчивая

фаза нарушений начинается около 2100–2000 кал. л.н., когда вместе с ростом суммы АИ появляется пыльца Cerealia, однако наиболее выраженное усиление сигнала фиксируется позднее, после 1100 кал. л. н.

В верхней части разрезов фаза интенсивного антропогенного воздействия проявляется во всех трёх объектах: в Глухом она выражена умеренно около 900 кал. л.н. и связана с Poaceae, *Rumex*, Cerealia и рудерально-луговыми таксонами; в Петровском усиливается после ок. 700 кал. л. н.; в Каспле после ок. 900 кал. л. н.. В это время формируется интенсивный аграрный сигнал с высокими значениями Cerealia, *Secale*, Poaceae, *Humulus*/*Cannabis* и других индикаторов открытых местообитаний.

В ходе интерпретации традиционным методом и с применением математических инструментов оказалось, что одиночные зерна хлебных злаков, которые хорошо коррелируют с археологическими периодами, часто не настолько синхронны перестройкам спектров, чтобы это ощущалось математическими алгоритмами как резкая смена. По-видимому, таксоны с низким содержанием в спектре и нерегулярной встречаемостью слишком «быстрые», чтобы их заметило скользящее окно или тем более сегментация. Очевидно, алгоритмы в этом случае не оценивают индикаторное значение таксонов и оба метода имеет смысл применять одновременно для более обоснованных выводов о времени и интенсивности антропогенного воздействия.

Работа выполнена при поддержке грантов РНФ №24-24-00201 и № 23-77-10063, а также государственного задания ГБС РАН № 122042700002–6.

Список литературы

1. Еремеев И.И. Средневековый Торопец и древности Верхнего Подвинья (историко-археологические очерки). К 950-летию первого упоминания Торопца в русских летописях. СПб., 2024. 274 с.
2. Константинов Е.А. Новая технология отбора колонок слабоконсолидированного донного осадка // Океанология. 2019. Т. 59. № 5. С. 875-880.
3. Nosova M. B. Zakharov, A. L., Lavrenov, N. G. et al. A multi-proxy centennial-resolution paleoecological record of Holocene lake sediments in the marginal zone of Last Scandinavian Glaciation (Tver Region, Russia) // Quaternary International. 2025. V. 729. P. 109778.
4. Shasherina, L., Alexandrin, M., Konstantinov, E., Zakharov, A., Rudinskaya, A. An age and accumulation patterns of laminated sediments of Lake Kasplya (Smolensk region) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. P. 653-658.
5. Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., Vaughan, D. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package. 2023.
6. Mottl O., Grytnes J.-A., Seddon A. W. R., Steinbauer M. J., Bhatta, K. P., Felde, V. A., Flantua, S. G. A., Birks, H. J. B. (2021). Rate-of-change analysis in paleoecology revisited: A new approach // Review of Palaeobotany and Palynology. V. 293. P. 104483.
7. Killick, R., & Eckley, I. A. changepoint: An R Package for Changepoint Analysis // Journal of Statistical Software. 2014. V.58, №3. P. 1–19.

История формирования и развития малых озер Заонежья в позднем неоплейцстоцене и голоцене

Орлов А.В.[1,2], Гасымова И.И.[1], Субетто Д.А.[1]

[1] Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, 95orlov@rambler.ru

[2] Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

Введение. Онежское озеро является вторым по величине пресным водоемом Европы, его максимальная глубина превышает 120 м, современная площадь озера составляет 9720 км^2. Современная высота над уровнем моря составляет 33 м. Бассейн Онежского озера на завершающих этапах позднего неоплейстоцена и в раннем голоцене претерпевал значительные преобразования, связанные с процессом дегляциации и формированием приледникового водоема. Онежское приледниковое озеро (ОПО) достигло своих максимальных размеров около 13,3 тыс. л.н. Отложения того периода представлены типичными ленточными глинами. На рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена открытие новых порогов стока вызвало ряд значительных регрессий ОПО, что в совокупности с изостатическим поднятием освободившихся от ледника территорий послужило причиной образования малых изолированных водоемов (Демидов, 2005; Субетто и др., 2022).

Результаты. Исследования малых озер происходили в несколько этапов. Для выбранных на основе картографических материалов подходящих по параметрам водоемах проводились батиметрическая съемка при помощи эхолота и геофизическое профилирование при помощи геоградарнонго комплекса ОКО-3 с антенной АБ-250 М. На полученных радарограммах четко видна форма дна котловины озера и отчетливо выделяется граница озерных и озерно-ледниковых отложений, что позволило определить условную мощность донных отложений в разных частях профиля для выбора оптимальной точки пробоотбора. Отбор кернов донных отложений проводился при помощи штангового торфяного бура (*Russian Corer*) с длиной пробоотборной части 1 м и диаметром 5 см, позволяющего производить отбор с глубины до 16,5 м от поверхности. Для отобранных кернов в полевых условиях выполнялось литостратиграфическое описание и их фотографирование. Отбор кернов производился в летний период с водной поверхности со специальной плавучей платформы, в зимний период с поверхности льда. Керны отбирались с наложением для формирования непрерывных колонок донных отложений.

В ходе ряда экспедиционных исследований в период с 2021 по 2024 г. были получены керны отложений ряда озер в районе северной оконечности Уницкой губы Онежского озера (Кондопожский район, Республика Карелия). Мощность вскрытых отложений составила 5,83 м в озере Лавкозеро, 2,7 м в озере Гангозеро и 3,1 м в озере Великое. Для уточнения данных об абсолютных отметках урезов воды исследуемых озер были проведены замеры относительных превышений при помощи GNSS-приемника PrinCe i50. Определение значения высот уреза воды являлось необходимым для корреляции разрезов отложений исследуемых озер, так как по данным топографических карт достоверно были известны уровни только некоторых из них. Уровни озер были определены относительно озера Лавкозеро (59,9 м). В результате измерений определены уровни озер Гангозеро – 76,0 м и Великое – 82,4 м (Орлов и др., 2024). Для части исследованных разрезов получены радиоуглеродные датировки.

В марте 2025 года с целью получения новых данных и материала для датирования проведены экспедиционные исследования на озере Полевское (Медвежьегорский

муниципальный округ, Республика Карелия). Озеро Полевское расположено в центральной части Заонежского полуострова на высоте 54 м. Структура донных отложений озера отличается большой мощностью позднеледниковых осадков. Мощность вскрытого в 2025 г. разреза отложений составила 14 м, что делает его наиболее мощным в сравнении с более ранними исследованными (Гурбич и др., 2017; Субетто и др., 2022). Из разреза отложений озера Полевское произведен отбор образцов для радиоуглеродного датирования (C^{14}) и датирования с использованием метода оптически стимулированной люминесценции (*OSL*). Ожидаемые результаты датирования отложений крайне важны для реконструкции развития палеобассейна в исследуемом регионе.

В исследованных разрезах отдельно стоит выделить так называемый «розовый» горизонт в ленточных глинах, который широко распространен в отложениях Онежского озера. Причины формирования данного горизонта однозначно не установлены. По мнению И.Н. Демидова (Демидов, 2004), формирование «розового» горизонта ленточных глин связано с регрессией ОПО на 20-25 м в связи с открытием на относительно короткий срок нового порога стока в Беломорскую котловину около 11,2 тыс. л.н. Это событие могло привести к резкой смене направления течений и гидрохимической обстановки в озере, что в свою очередь вызвало бы окисление верхних горизонтов донных отложений. Мощность «розового» горизонта составляет до 20 см в открытой части Онежского озера и от 5 до 20 см в малых озерах, что говорит о непродолжительности времени его формирования. По более современным данным возраст «розового горизонта» оценивается в 13–13,2 тыс. л.н. (Hang et al., 2019). Отложения «розового» горизонта достаточно сильно отличаются от выше и нижележащих ленточных глин по геохимическому составу. Изменения в минеральном составе ленточных глин указывает на существенные изменения условий среды на водосборе ОПО в период их формирования (Страховенко и др., 2018). Горизонт «розовых» ленточных глин был обнаружен в буровой скважине в Петрозаводской губе, в ряде скважин в открытой части Онежского озера, верховьях Уницкой губы (Субетто и др., 2022) и в озерах Лавкозеро, Гангозеро, Великое и Полевское (Орлов и др., 2024).

Заключение. В ходе нескольких полевых сезонов и лабораторных исследований накоплена информация о структуре донных отложений малых озер Заонежья, являвшихся на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена частью Онежского приледникового озера. Во вскрытых разрезах выявлена характерная для изолированных водоемов структура отложений. Можно выделить две основные пачки отложений. В верхней части разрезов отложения представлены органоминеральными илами (сапропелями), характерными для малых эвтрофных водоемов. Нижележащие слои представлены отложениями бассейна с большой акваторией и значительными глубинами (алевриты, глинистые алевриты, ленточные глины) – Онежского озера на разных стадиях его развития, от приледникового водоема до претерпевающего регрессии озера, потерявшего связь с отступившим краем ледника. Данные о структуре донных отложений озер и их высотных отметках в совокупности с результатами датирования позволяют построить реконструкцию событий, приведших к формированию современных малых озер Заонежья.

Благодарности. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00206 «Роль глобальных, региональных и локальных природно-климатических факторов в формировании озерных/озерно-ледниковых отложений на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена (14000-9000 лет назад)», https://rscf.ru/project/24-17-00206/.

Список литературы

1. Гурбич В.А., Потахин М.С., Субетто Д.А. Стратиграфия донных отложений реликтовых водоемов Онежского озера (на примере оз. Полевское) // Астраханский вестник экологического образования. 2017. № 3(41). С. 4-13.
2 Демидов И.Н. 2004. Донные отложения и колебания уровня Онежского озера в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2004. Т.7. С. 207-218.
3 Демидов И.Н. Деградация поздневалдайского оледенения в бассейне Онежского озера // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2005. Т.8. С. 134-142.
4 Орлов А.В., Потахин М.С., Субетто Д.А. Корреляция отложений малых изолированных водоемов Заонежского полуострова в контексте изменения уровня Онежского приледникового озера // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. С. 761-766.
5 Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Овдина Е.А. и др., 2018. Современные донные отложения Онежского озера: строение, минеральный состав и систематика редкоземельных элементов // Доклады Академии Наук. 2018. Т.481. № 4. С. 1-4.
6 Субетто Д.А., Белкина Н.А., Страховенко В.Д. и др. Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2022. 331 с.
7 Hang T., Gurbich V., Subetto D. et al. A local clay-varve chronology of Onega Ice lake, NW Russia // Quaternary International. 2019. V 524. P. 13-23.

Палеоэкология торфяника в пределах распространения позднечетвертичного эолового рельефа в долине среднего течения р. Лены (Центральная Якутия)

***Павлова М.Р.*[1,2]**

[1] *Научно-исследовательский Томский государственный университет, Томск*

[2] *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Nigaer@yandex.ru*

Введение. Долина среднего течения р. Лены является одним из районов распространения позднечетвертичного и современного эолового рельефа и отложений Центральной Якутии. Эоловые образования встречаются на всех гипсометрических уровнях, формируя дефляционно-корразионные, дефляционно-аккумулятивные (дюнные массивы, котловины и коридоры выдувания и пр.) и аккумулятивные (ледово-лессовые плато) формы рельефа.

На правобережье р. Лены в среднем течении в 60 км выше устья р. Алдан и в 14 км к северо-востоку от пос. Графский берег расположен один из ключевых объектов позднечетвертичного эолового дефляционно-аккумулятивного рельефа и покровных песчаных отложений – обнажение Песчаная гора. Оно приурочено к береговому обрыву 18-25-метровой третьей надпойменной террасы р. Лены и имеет протяженность более 7 км. Поверхность террасы сложена параллельными рядами U-образных дюн, ориентированных в юго-восточном направлении. Бровки дюн покрыты сосновым лесом с толокнянково-лишайниковым покровом. В междюнных понижениях распространены березовые группировки, ерниково-осоковые заросли, разнотравные луга, болота и мелкие озера (Галанин, 2021).

В ходе полевых исследований в пределах обнажения Песчаная гора в верхней части 25-метрового обрыва на всем его протяжении вскрыта серия небольших по мощности горизонтов, заполненные озерными и болотными отложениями. Такие участки приурочены к реликтовым дефляционным котловинам, которые в свою очередь являются наиболее перспективными для реконструкций климата и окружающей среды, поскольку в таких типах отложений фиксируются локальные сигналы климатических, растительных и экологических изменений.

В пределах одной из реликтовых котловин заложен разрез № 537 (62°88′21′′ с. ш.; 129°80′68′′ в. д.). В данной работе представлены данные комплексных исследований отложений, на основе которых выполнена предварительная реконструкция строения, возраста, состава растительности и условий формирования торфяника в пределах позднечетвертичного эолового рельефа в долине среднего течения р. Лены.

Материалы и методы. Вскрытый торфяник (разрез № 537) в верхней части 25-метрового обнажения Песчаная гора имеет мощность 6 м. Он сложен преимущественно озерно-болотными отложениями, которые имеют следующее строение (сверху вниз):

0-0.7 м – торф темно-коричневый мохово-кустарничковый хорошо спрессованный.

0.7-1.3 м – торф темно-коричневый моховый, полурыхлый, плохо разложившийся со стебельками и листиками травянистых растений.

1.3-1.9 м – торф темно-коричневый моховый, рыхлый, полуразложившийся со стебельками и листиками травянистых растений.

1.9-2.2. м – торф темно-коричневый моховый хорошо разложившийся талый.

2.2-2.4 м – супеси темно-коричневые легкие пылеватые с рассеянным органическим детритом, мерзлые.

2.4-3.0 м – пески светло-коричневые среднезернистые с рассеянным органическим детритом и единичным гравием.

3.0-6.0 м – пески светло-серые среднезернистые с тонким прослоями супесей темно-серых пылеватых с сизоватым оттенком.

Радиоуглеродное датирование пяти образцов выполнено методом жидкостной сцинтилляции на спектрометре-радиометре Quantulus 1220 в лаборатории общей геокриологии Института мерзлотоведения СО РАН (г. Якутск).

Палинологический анализ выполнен для 20 проб согласно общепринятым методикам. Затем образцы исследовались под микроскопом с 400-кратным увеличением. Диаграммы процентного содержания пыльцы и концентрации пыльцы построены с помощью программы Tilia_2.0.41 (Grimm, 2004). На диаграмме процентные значения всех таксонов рассчитывали в соотношении древесная пыльца + недревесная пыльца (AP + NAP).

Карпологический и палеоэнтомологический анализы. Пробоподготовка образцов и определение макроостатков растений и жуков выполнялась согласно общепринятым методикам. Карпологические данные получены для одного образца на базе отдела палеонтологии и стратиграфии СНИИГГиМС в.н.с. М.В. Михаревич; палеоэнтомологические (3 пробы) – на базе палеонтологического института РАН с.н.с. С.А. Кузьминой.

Результаты. Радиоуглеродные даты получены для пяти образцов с глубин 1, 1.5, 2, 2.5 и 3 метров, что соответствует датам MPI-120 – 7250±310, MPI-119 – 10880±530, MPI-118 – 7420±360, MPI-121 – 9220±320, MPI-183– 14880±540 (Галанин, 2021).

Характеристика палинозон разреза торфяника № 537 (рис. 1).

Палинозона PZI (6-2.4 м) характеризуется преобладанием древесных растений (83.3-99 %) с доминированием пыльцы *Picea* (62.4-93.4 %). Пыльца трав составляет 1-12.5% с преобладанием Poaceae и *Artemisia*. Споры составляют 0.1-6%. Отмечены дочетвертичные споры. Концентрация – 210-580 зерен / г.

Палинозона PZII (2.4-0 м) характеризуется преобладанием древесных растений (62.9-92.3 %) с доминированием *Betula* spp. (19.8-67.8 %). Пыльца трав составляет 7.4-32.4 % с доминированием Poaceae (1.9-20.2 %) и *Artemisia* (1-11.2 %). Споры составляют 0.1-4.7 %. Отмечены дочетвертичные споры, водоросли *Botryococcus*, споры и остатки грибов *Glomus* и *Gelasinospora*, раковины амеб *Arcella* и *Centropyxis*. Концентрация – 27100-284400 зерен / г.

Результаты карпологического анализа получены для образца, отобранного на глубине 1 м (537_1 м), который имеет следующий состав: бриевые мхи Bryopsida, хвощи *Equisetum* sp., лиственница Гмелина *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen, *Larix* sp., ель сибирская *Picea obovata* Ledeb., триостренник морской *Triglochin maritima* L., осоки *Carex* spp., болотница яйцевидная *Eleocharis ovata* (Roth.) Roemer et Schultes, березы *Betula* sect. *Albae* и *Betula* sect. *Nanae*, кувшинка четырехгранная *Nymphaea tetragona* Georgi, *Potentilla* sp., сабельник болотный *Comarum palustre* L., вахта трехлистная *Menyanthes trifoliata* L., чистец *Stachys* sp., верескоцветные Ericales gen. indet.

Палеоэнтомологический анализ. В пробе Pg-29 (1 образец, 557_2.2 м) отмечены следующие таксоны жуков, которые можно подразделить по экологическому признаку: **аквальные** (aq) – *Gyrinus* sp., *Oreodytes sanmarkii* Sahl., *Hydrobius fuscipes* F., *Bagous* sp., *Salda* sp., *Micrasema gelidum* McLachlan?, *Trichoptera* gen. indet. (larvae), *Erpobdella cocoons*; **прибрежные** (ri) –*Elaphrus* sp., *Dyschiriodes* sp., *Bembidion* (*Peryphus*) sp., *Agonum* sp., *Georissus* sp., *Cymbiodyta* sp., *Heterocerus* sp., *Donacia* sp., *Plateumaris* sp.; **тундровые мезогигрофилы** (mt) – *Pterostichus* (Cryobius) sp., *Dactylotus globosus* Gebl.; **листовой подстилки** (pl) – *Cercyon* sp., *Tachinus* sp., *Gymmusa* sp., *Philonthus* sp.; *Lumbricidae cocoons*; **ксерофилы** (ks) – *Morychus subparallelus* Motsch.; **луговые** (me) – *Meligethes* sp., **лугово-степные** (ms) – *Otiorhynchus cribrosicollis* Boh.; **лесные** (fo) – *Magdalis duplicata* Germ., *Camponotus herculeanus* L., **прочие** (oth) – *Hymenoptera* (Parasitica) gen. indet., *Tipulidae* gen. indet. (larvae).

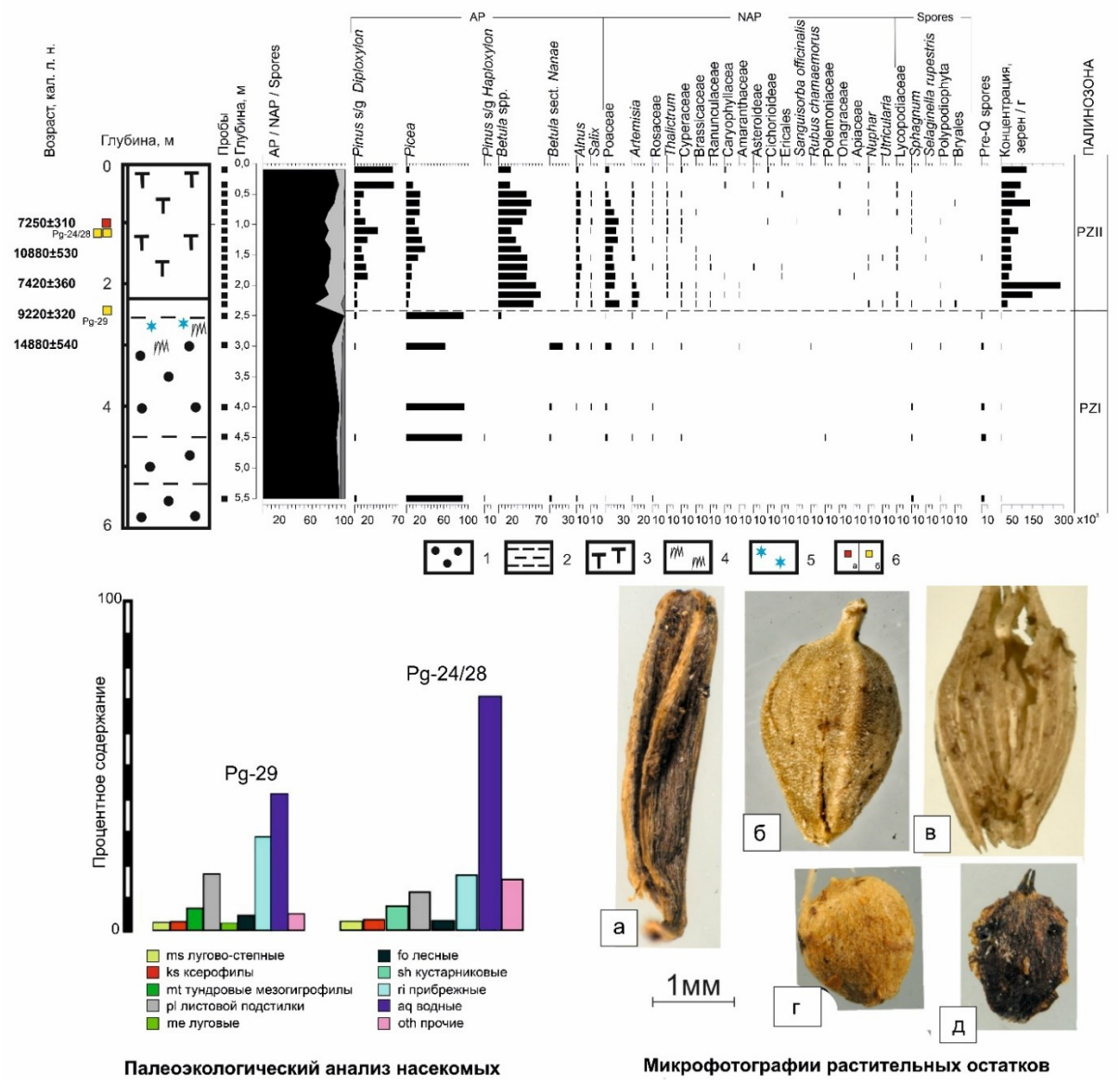


Рис.1. Геологическое строение, палинологическая и палеоэнтомологические диаграммы торфяника и озерных отложений (разрез № 537) в интервале 0-6 м (обнажение Песчаная гора, Центральная Якутия). 1 – пески среднезернистые, 2 – супеси пылеватые, 3 – торф, 4 – растительный детрит, 5 – мёрзлые отложения, 6 – пробы на карпологический (а) и палеоэнтомологический (б) анализы. * AP – древесная пыльца, NAP – недревесная пыльца. а – *Triglochin maritima* L., плодик; б – *Carex* sp., орешек; в – *Carex* sp., мешочек; г – *Eleocharis ovata* (Roth) Roemer et Schultes, плодик; д – *Betula* sect. *Albae* (*verrucosa*?), орешек

В пробе Pg-24/28 (2 образца, 557_1.1 м) отмечены следующие таксоны: **аквальные** (aq) – *Haliplus* sp., *Dytiscidae* gen. indet., *Trichoptera* gen. indet. (larvae), *Colymbetes* sp., *Bagous* sp., *Micrasema gelidum* McLachlan?, *Erpobdella cocoons*; **прибрежные** (ri) – *Elaphrus* sp., *Bembidion* (*Peryphus*) sp., *Notaris* sp., *Agonum* sp., *Cymbiodyta* sp., *Aegalia kamtschatica* Motsch.; **листовой подстилки** (pl) – *Cercyon* sp., *Quedius* sp.; **ксерофилы** (ks) – *Aphodius* sp.; **лугово-степные** (ms) – *Coniocleonus* sp.; **кустарниковые** (sh) – *Rhynchaenus* sp.; **лесные** (fo) –*Camponotus herculeanus* L., **прочие** (oth) – *Atholus* sp., *Thanatophilus* sp., *Hymenoptera* (*Parasitica*) gen. indet., *Diptera* gen. indet. (puparia)., *Curculionidae* gen. indet.

Обсуждение и выводы. Таким образом, формирование дефляционно-аккумулятивного эолового рельефа, в том числе дефляционных котловин, в долине среднего течения р. Лены в пределах обнажения Песчаная гора происходило во вторую половину МИС-2. Около 14.7-12.8 тыс. л. н. происходит затухания эоловой активности и закрепления дюнных массивов травянисто-кустарничковыми ксерофитными группировками, формированию в котловинах выдувания небольших озер с последующим накоплением отложений, местами отмечались островки древесной растительности. В интервале ~ 12.8-11.7 тыс. л. н. происходит эвтрофикация озер с последующим заболачиванием и формированием болота. На рубеже позднего неоплейстоцена – раннего голоцена начинается торфонакопление. На протяжении первой половины голоцена происходит увеличение увлажнения и смягчения климата это способствует интенсивному формированию болотных отложений и ко второй половине раннего голоцена происходит окончательное замещение озера низинным торфяником. После оптимума голоцена (около 8.19 тыс. л. н.) в среднем голоцене происходит формирование верхового торфяника и закрепление древесной растительностью. Предположительно в начале позднего голоцена происходит прекращение осадконакопления. Палеоботанические и палеоэнтомологические данные, также указывают на высокое разнообразие ландшафтов – долинные леса, луга и пресноводные водоемы.

Благодарности. Работа выполнена в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН по теме НИР № FWRG-2026-0007.

Список литературы

1. Галанин А.А. Позднечетвертичные песчаные покровы Центральной Якутии (Восточная Сибирь): строение, фациальный состав и палеоэкологическое значение // Криосфера Земли. 2021. Т. XXV. № 1. С. 3-34.
2. Grimm E. Tilia software 2.0.2. Illinois State Museum Research and Collection Center Springfield. 2004.

К закономерностям географического распределения диатомовых водорослей современных донных осадков озер Голарктики

Палагушкина О.В.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Казань, olpalagushkina@gmail.com

Во флористическом районировании растений суши различают пять царств, из которых Голарктическое - крупнейший биогеографический регион, охватывающий бóльшую часть Северного полушария с флористическими областями в Северной Америке и Евразии (Овеснов, 2007). Природно-климатические зоны флористических областей Голарктики включают в себя арктические пустыни, тундру, тайгу, широколиственные и смешанные леса, а также зоны степей, пустынь и полупустынь. В географическом распределении низших растений хорошо выражена географическая зональность у морских бентосных и планктонных водорослей с распределением видового разнообразия по широтным зонам (Вассер, 1989). В отношении пресноводных видов существуют разные точки зрения на возможность их географической приуроченности к определённым природно-климатическим зонам и флористическим областям. Предполагается, что и диатомовая флора континентальных озер также должна меняться в соответствии с природными климатическими зонами. Попытки выявить влияние широтного градиента предпринимались для бентосных диатомовых озер Феноскандии (Pienitz et al, 1995), рек США (Potapova, Charles, 2002), Финляндии (Soininen, 2004), для диатомовых поверхностных донных осадков высокогорных европейских озер (Clark et al, 2005). Поскольку в целом, информации о широтном распределении диатомовых мало, то целью исследования стало выявление закономерностей географического распределения диатомовых водорослей современных донных осадков некоторых озер Голарктики.

Материалом для исследования послужили диатомовые водоросли, полученные при обработке проб верхних 2 см современных донных осадков 103 озер в пределах восьми природно-климатических зон Голарктического царства. Географические координаты мест исследования различных частей Голарктики расположены в диапазоне от 75.05° до 46.54° северной широты и от -98.03° до 74.88° восточной долготы (от озер Евразии до водных объектов Северной Америки). Максимальная дистанция между северной и южной широтами исследований составила 3300 км, дистанция по долготе составила более 7000 км.

В Евразии исследовались диатомовые современных донных осадков озер шести природно-климатических зон - от зон арктических пустынь, тундр Северо-Восточной и Северо-Западной Сибири, севера Европейской части России до зон тайги, смешанных лесов Верхнего и Среднего Поволжья, лесостепной зоны южного Урала, лесостепи и степи юго-востока Западной Сибири, а также степной зоны Монголии и Казахстана.

В Северной Америке исследования проводились на водных объектах зон арктических пустынь и тундр Канадского арктического архипелага (острова Батерст, Хершел) и США (полуостров Сьюард). Сбор и обработка материала проводились в период с 2008 по 2024 гг. при финансовой поддержке грантов ДФГ, ДААД, РНФ и государственных заданий РФ.

Техническую обработку образцов донных отложений на диатомовый анализ осуществляли с использованием метода водяной бани (Battarbee, 1986). Для изготовления постоянных препаратов брали высокопреломляющую смолу Naphrax. При установлении видового состава использовались отечественные и зарубежные определители. Подсчет створок диатомей проводился в постоянных препаратах по параллельным трансектам до 500 штук с использованием светового микроскопа Axioplan Zeiss и иммерсионной среды.

Станции отбора проб были сгруппированы в 8 природно-климатических зон (Olson et al. 2001), в 6 скорректированных природно-климатических зон и 3 континента. Для статистической обработки были использованы методы многомерного анализа, перестановочные линейные модели и др. (Anderson, 2006, Clarke, 1993, Bray, Curtis,1957) Дополнительно станции были алгоритмически сгруппированы по географическим координатам с ограничением: групп должно быть больше двух. Этому ограничению удовлетворяли результаты сравнения группировки с моделью разломанного стержня (broken stick) (Legendre, Legendre, 2012), выделившей 6 групп станций.

В общей сложности в 103 образцах поверхностных донных осадков было идентифицировано 389 видов диатомовых водорослей двух классов 45 родов. Анализ CCA показал, что ось абсцисс (2.9% var) соответствует географической широте, ось ординат (1.7% var) – долготе, а распределение станций пропорционально реальным географическим координатам. Модель статистически значима ($p<<0.001$) из-за большого количества наблюдений. Для уточнения вклада широты и долготы в распределение диатомовых было проведено сравнение флористического сходства между станциями с физическим расстоянием между станциями и отдельно с расстоянием по широте и по долготе. По каждой станции посчитана корреляция флористической и физической дистанции со всеми остальными станциями. Средний коэффициент корреляции между флористической и физической дистанцией составил 0.43, статистически значимых коэффициентов с поправкой Хольма – 78 из 103 возможных. Средний коэффициент корреляции с дистанцией по широте – 0.4, значимых коэффициентов – 87. Средний коэффициент корреляции с дистанцией по долготе – 0.21, значимых коэффициентов – 18.

Перестановочная линейная модель зависимости флористической дистанции от физической по всем 5253 парам станций имела уровень значимости perm $p<<0.0001$ и коэффициент детерминации R^2 0.23. По диаграмме рассеивания было отмечено, что тренд на положительную зависимость пропадает при физической дистанции больше 3500 км. Данные были разделены по этой границе на две части, по которым было построено две линейные модели. Модель зависимости на данных до 3500 км имела уровень значимости perm $p <<0.0001$ и коэффициент детерминации R^2 0.14. Модель на данных свыше 3500 км имела уровень значимости perm $p=0.56$ и скорректированный коэффициент детерминации R^2 меньше нуля.

Алгоритмическое разделение флористического разнообразия диатомовых по широтному градиенту (географическим координатам) позволило выделить 6 групп водных объектов, которым были присвоены условные названия «Арктика», «Якутия», «Европа», «Азия», «Канада» и «Аляска». По нему обособлена группа «Арктика», группы «Якутия» и «Канада», а также «Европа» и «Азия» имеют большую степень сходства, группа «Аляска» является переходной между ними. Минимальная гомогенность видового состава диатомовых наблюдается в группах «Европа» и «Азия», поскольку озерам этих групп свойственна максимальная широтная удаленность. Наиболее гомогенны по видовому составу являются самые северные и географически «компактные» группы «Арктика» и «Канада». Распределение диатомовых водорослей современных донных осадков озер Голарктики по природно-климатическим, флористическим и географическим зонам и континентам не показала статистически значимого отличия межгрупповых дисперсий ($p=0.3$, $p=0.24$ соответственно).

Попытка найти объяснение формирования шести флористически отдельных групп привела к мысли о влиянии географической широты в виде среднегодовой температуры воздуха. Подобная закономерность рассматривалась при изучении распределения

бентосных диатомовых в реках США, где значимым оказался градиент, связанный с широтными и высотными колебаниями температуры. Было показано, что в исследованиях, проводимых на обширных территориях, среднегодовая температура воздуха объясняла больше изменений в сообществах диатомовых водорослей, чем температура воды (Potapova, Charles, 2002). Влияние широтного, долготного и высотного градиентов на формирование флористического богатства диатомовых были отмечены и при изучении поверхностных донных осадков высокогорных озер Европы (Clarke et al, 2005).

Результаты статистической обработки собственных материалов показали, что порядок расположения флористически отдельных групп «Арктика», «Якутия», «Европа», «Азия», «Канада» и «Аляска» связан с убыванием средней широты с севера на юг, а также с увеличением средней годовой температуры воздуха на станциях в группах. Сама средняя широта станций и среднегодовая температура в группах обратно пропорциональны с регрессионным коэффициентом –0.98 (Adj. R^2=0.97, perm. p-value=0.003).

В отношении тренда на положительную зависимость вклада широты и долготы в формирование флористического богатства диатомовых, пропадающего при физической дистанции больше 3500 км, собственные исследования подтвердили отмеченную ранее закономерность о роли масштаба исследований. Предполагается, что в континентальном масштабе (на расстояниях между станциями исследований более 3000 км) сообщества одноклеточных организмов должны быть сильнее подвержены влиянию исторических событий (например, оледенения) и видообразования, в меньшей степени контролю со стороны экологических факторов среды. В промежуточных масштабах (10-3000 км) как исторические эффекты, так и современные экологические факторы, будут влиять на биотические сообщества (Soininen et al., 2004). В распределении диатомовых водорослей современных донных осадков озер Голарктики при промежуточном масштабе исследований, предполагается совместный контроль пространственных и экологических факторов.

За помощь в проведении статистической обработки материалов автор благодарит Селезнева Д.Г., н.с. Лаборатории экологии водных беспозвоночных ИБВВ РАН.

Список литературы

1. Водоросли. Справочник / Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. и др. - Киев: Наук. думка, 1989. 608 с. Овеснов С.А. Флористическое районирование Земли, учебное пособие к курсу "География растений".2007. 67 с.
2. Anderson, M.J. Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions// Biometrics. 2006. V. 62.P. 245–253.
3. Battarbee R.W. Diatom analysis // In Berglund B.E. (ed) Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. J. Wiley & Sons. 1986. P.527-570.
4. Bray, R. J. & J. T. Curtis. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin // Ecol. Monogr. 1957. V.27: 325-349.
5. Clarke, K. R. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure// Australian Journal of Ecology. 1993. V. 18, P. 117–143.
6. Gina Clarke, Martin Kernan, Aldo Marchetto, Sanna Sorvari and Jordi Catalan Using diatoms to assess geographical patterns of change in high-altitude European lakes from pre-industrial times to the present day // Aquat. Sci. 2005. DOI 10.1007/s00027-004-0745-2
7. Legendre, P. and Legendre, L. Numerical Ecology, Developments in Environmental Modelling. 3rd Edition, Elsevier, Amsterdam,2012, 419 p.
8. Marina G. Potapova, Donald F. Charles. Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients, Journal of Biogeography. 2002.V. 29, P.167–187.

9. Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D'Amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P., Kassem, K. R. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth // Bioscience. 2001. V. 51 (11). P. 933-938.
10. Pienitz, R. Douglas M.,Smol J.,Huttunen P., Merilainen J. Diatom, chrysophyte and protozoan distributions along a latitudinal transect in Fennoscandia// Ecography, 1995. V. 18. P 429-439.
11. Soininen Benthic diatom communities in boreal streams: community structure in relation to environmental and spatial gradients // Ecography. 2004. V. 27. P. 330-342.

Реконструкция условий формирования поздненеоплейстоценовых – голоценовых осадков озер Форель и Уи, Магаданская область

Пожидаева Д.К., Минюк П.С., Морозова М.А.

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан, dashapozhidaeva01@gmail.com

Введение. В работе представлены первые данные по комплексному исследованию двух озер озерно-речной системы р. Уи (Сусуманский район Магаданской области), реконструированы условия осадконакопления, климатические сигналы в донных отложениях.

Озера Форель (63°50.038′ с.ш., 147°51.119′ в.д.) и Уи (63°49.647′ с.ш., 147°53.475′ в.д.) расположены в среднегорье на высоте около 1000 м н.у.м. Оз. Форель небольшое – имеет площадь водного зеркала около 190 тыс. м^2. Озеро овальное с простой береговой линией, максимальные глубины достигают 10.7 м при средней глубине 3.8 м. В озеро впадает 3 небольших ручья и один вытекает в оз. Уи.

Озеро Уи соединено 100-метровой протокой с оз. Форель. Оно является самым крупным водоемом системы бассейна р. Уи. Площадь водного зеркала составляет около 3.1 млн. м^2. В центральной части озера расположены 4 крупных острова. Береговая линия сложная, извилистая. Максимальная глубина озера 3.5 м, при средней глубине 1.4 м. Южный берег заросший, мелководный, визуально прослеживается реликтовая часть котловины площадью около 1.3 км^2 с мелкими озерами. Отступание озера отмечено по всей береговой линии примерно на 50-100 м. Через озеро течет р. Уи.

Вода озера ультрапресная с низкой минерализацией, которая составляет 9.8–19.9 мг/л. По химическому составу она соответствует гидрокарбонатной кальциевой. Кислотность воды нейтральная.

Методы. Бурение толщи озерного осадка проведено с использованием поршневого пробоотборника Ливингстона. Мощность осадков составляет до 2.3 м по результатам бурения 2 скважин в оз. Форель и 3.5 м по 5 скважинам в оз. Уи. Пробы из моренных валов и флювиальных зандровых равнин объемом 5-10 л отбирали с водосборной площади озер. Материал включал различные гранулометрические разности от глыбово-галечных до глинистых, разделенных в лаборатории ситованием на 10 фракций от 2500 до 1 мкм.

Геохимические исследования морены и озерных осадков (260 проб) проводили методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре S4 Pioneer (Германия). Содержания породообразующих элементов найдены методом фундаментальных параметров и приведены к 100% без учета потерь при прокаливании. Потери при прокаливании (ППП) (260 проб) определяли после прогрева проб в течение 2 часов при температуре 550 и 1000°С.

Смерслайды (40 штук) изготовлены на основе предметных и покровных стекол с использованием оптического клея Norland NOA63. В смерслайдах изучали относительное количество сульфидов, диатомовых водорослей, диагностировали тефру. Измерение магнитной восприимчивости (МВ) 565 образцов проведено на приборе MFK1-FA (AGICO Ltd., Чехия).

Палинологические исследования 63 проб проведены в проходящем свете под микроскопом с увеличением ×200-400. Для подсчета насчитывали статистически значимое количество зерен пыльцы и спор (свыше 300).

Радиоуглеродное датирование микрочастиц органического материала из озерного осадка выполнено в Национальном университете Тайваня (NTUAMS Lab, Тайвань) на ускорительном масс-спектрометре 1.0 MV HVE (код лаборатории NTUAMS).

Анализ главных компонент проведен в программе PAST.

Результат. Основным источником детритового материала, поступающего в долину р. Уи, являются продукты выветривания юрского гранитного массива. Они преобладают среди обломков морен, распространенных вблизи озер Уи и Форель. Данные по геохимии морены позволяют оценить первичный сигнал озерного осадка. Установлена зависимость геохимических параметров от гранулометрического состава. С уменьшением размера фракций содержание TiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3, MgO возрастает, в то время как содержания мобильных элементов (SiO_2, Na_2O, CaO, K_2O) уменьшаются. С целью оценки состава поступающего в озера вещества посчитаны средние содержания элементов по всем пробам морены для фракций менее 63 мкм, которые являются доминирующими в озерных осадках.

Разрезы озерных осадков расчленены на три литологические слоя: слой 1, представленный органогенными неслоистыми алевритами, с прослоем тефры вулкана, образовавшего кальдеру Курильского озера 7600 лет назад (Ponomareva et al. 2004), слой 2, сложенный неясно слоистыми алевритами, и слой 3, выполненный слоистыми осадками.

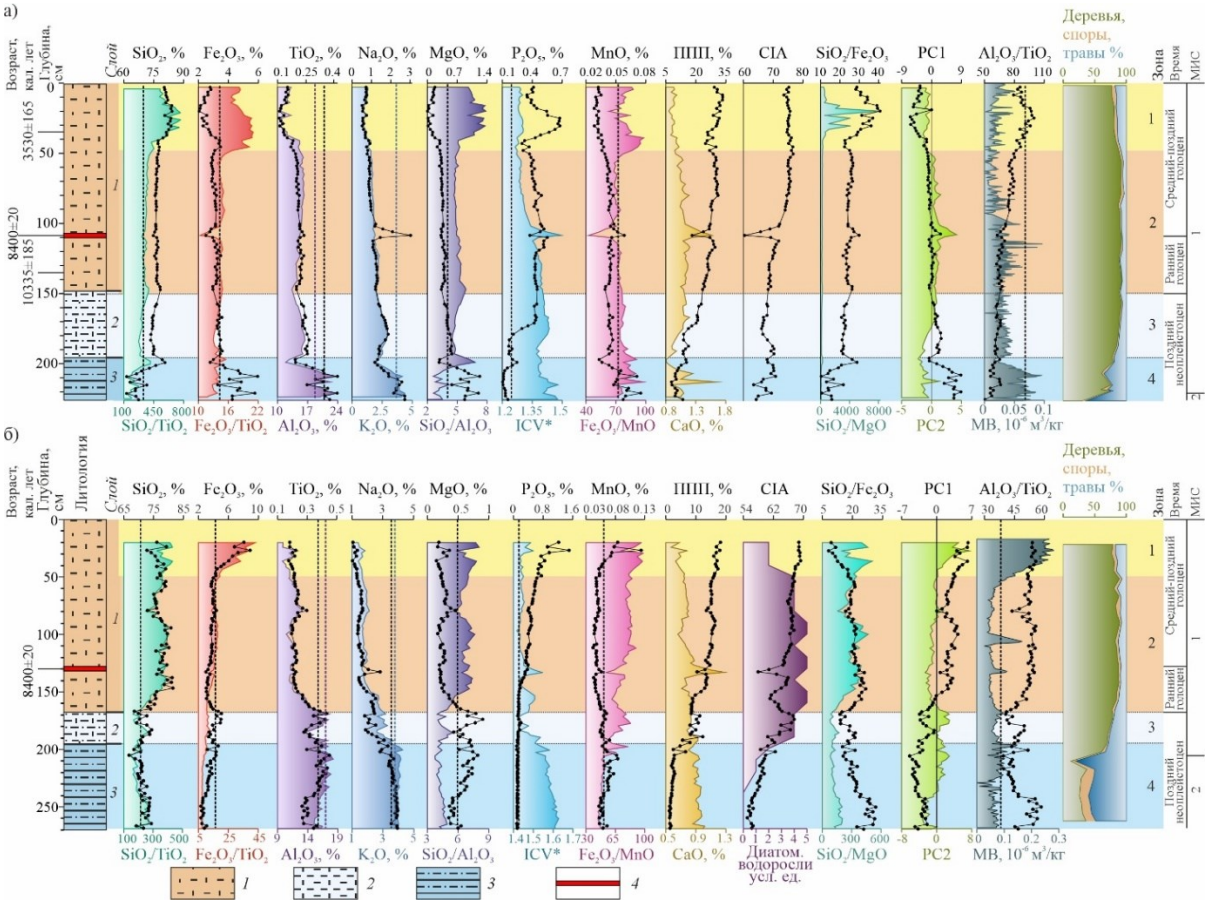


Рис. 1. Распределение геохимических, биогенных, статистических параметров в осадках скважин оз. Форель (а) и оз. Уи (б): *1* – слой 1; *2* – слой 2; *3* – слой 3; *4* – прослой вулканического пепла

Осадочные разрезы разделены на 4 геохимические зоны, схожие в двух озерах (рис. 1). Наблюдаются тенденции снижения сверху вниз по разрезам содержания кремнезема и ППП. Наиболее высокие значения этих параметров характерны для зоны

1. Обратную тенденцию имеют литокластические индикаторы – Al_2O_3, Na_2O, K_2O, TiO_2, MnO, MgO. Зоны 4 и 3 имеют максимальные значения детритовых компонент.

Главное отличие осадков озера Уи заключается в особенностях зоны 1. Осадки зоны обогащены железом, фосфором, марганцем и органическим веществом. Корреляция МВ с этими компонентами свидетельствует об аутигенном образовании магнитных минералов. В озере Форель, напротив, максимум магнитной восприимчивости приурочен к нижней части разреза и коррелирует с алюминием, титаном, железом и магнием, что типично для терригенного накопления.

Компонентный анализ показал, что главная компонента объясняет 59.8% изменчивости данных для обоих озер. Этот параметр отделяет осадки с доминированием органогенного и биогенного накопления от детритового. Компонента 2, объясняющая 19.3% изменчивости, разделяет индикаторы аутигенно-биогенного (Fe, Mn, P, Si) и органоргенно-детритового накопления (Al, Ti, Mg, Ca, ППП).

Согласно возрастной модели, осадконакопление в оз. Форель началось 15 тыс. лет назад, что подтверждается косвенными признаками. Так, в нижней части разреза содержание в спорово-пыльцевых спектрах древесных таксонов составляет всего 30% (рис. 1), а выше по разрезу начинает возрастать. По многочисленным данным для Верховьев Колымы и Северного Приохотья время перестройки растительных сообществ близко к границе морских изотопных стадий (МИС) 1 и 2, (~ 14.7 кал. тыс. лет). Примерно на этом же уровне наблюдается увеличение содержания SiO_2 и отношения SiO_2/TiO_2. Эти два показателя могут указывать на **рост** биопродуктивности (увеличение количества диатомовых водорослей).

Для осадков озера Уи датировки не получены, однако по комплексу данных осадконакопление началось раньше. Около четверти разреза приходится на осадки с преимущественно травянистыми пыльцевыми спектрами, низким содержанием кремнезема и отсутствием створок диатомовых водорослей в смерслайдах, что указывает на холодный климат во время их формирования.

На глубине около 185 см в оз. Форель наблюдается повышение значений МВ, увеличение содержания литокластических элементов, снижение величин ППП, биогенного кремнезема. Такие характеристики могут указывать на холодный эпизод позднего дриаса (около 12.9–11.7 тыс. кал. лет). Ранее он был выявлен по петромагнитным и геохимическим свойствам в осадках озера Соседнее (Пожидаева и др., 2025). В озерном осадке скв. Уи-3 схожий по характеристикам холодный эпизод установлен на глубине 170-180 см. На территории Северо-Востока поздний дриас практически не выделяется по спорово-пыльцевым спектрам (например, Kokorowski et al., 2008).

Средние значения МВ и содержаний главных породообразующих элементов тонких фракций морены показаны на рис. 1 вертикальными пунктирными линиями. Совпадение этих значений со значениями озерных осадков обоих скважин характерно для нижних детритовых частей разрезов. Содержание кремнезема в зоне 4 близко к содержанию в делювии, а в зонах 1 и 2 оно выше в среднем на 6-9 %. Увеличение кремнезема в осадках снижает содержание остальных литокластических элементов.

Заключение. Верхний слой 1 сформирован в голоцене в условиях высокой биопродуктивности бассейна. В осадках слоя 2, вероятно, зафиксирован поздний дриас. Осадки нижнего детритового слоя 3 накопились в позднем неоплейстоцене в условиях холодного климата. Принципиальный компонентный анализ разделил данные по климатическому фактору и по специфике осадконакопления. Основной

фактор геохимической изменчивости – смена климатических обстановок от холодного плейстоцена к тёплому голоцену, локальные особенности осадконакопления имеют подчиненное значение.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 25-27-00428.

Список литературы

1 Пожидаева Д.К., Минюк П.С., Цыганкова В.И. Поздненеоплейстоценовое и голоценовое осадконакопление в ледниковом озере Соседнее, Магаданская область: петромагнитные свидетельства изменений природной среды // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т. 56, № 4. С. 748-769

2 Kokorowski H.D., Anderson P.M., Mock C.J., Lozhkin A.V. A re-evaluation and spatial analysis of evidence for a Younger Dryas climatic reversal in Beringia. Quaternary Science Reviews. 2008. V. 27. P. 1710–1722. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.06.010

3 Ponomareva V.V., Kyle P.R., Melekestsev I.V., Rinkleff P.G., Dirksen O.V., Sulerzhitsky L.D., Zaretskaia N.E., Rourke R. The 7600 (14C) year BP Kurile Lake caldera‐forming eruption, Kamchatka, Russia: stratigraphy and field relationships // Journal of Volcanology and Geothermal Research.2004. Vol. 136. P. 199–222. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2004.05.013.

Таксономический состав диатомовых водорослей
озера Караколь-Нур (Республика Алтай)

Попова Д.Н.[1], Пестрякова Л.А.[1], Рудая Н.А.[2]

[1] Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, dianapr-92@mail.ru

[2] Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск

Введение. В данной работе представлены результаты исследования диатомовой флоры озера Караколь-Нур (Республика Алтай). Материалом послужила колонка донных отложений озера для диатомового анализа. В ходе исследования было обнаружено 192 вида водорослей, которые относятся к 71 роду, 31 семейству, 16 порядкам и 3 классам. Наиболее многочисленным оказался класс Bacillariophyceae.

Район исследования. Территориально озеро Караколь-Нур относится к Кош-Агачскому району на юго-востоке Республики Алтай и характеризуется высокогорным положением – 2390 м над уровнем моря (рис. 1). Озеро относится к бассейну реки Джазатор и находится в левобережье ее верхнего течения, между хребтами Сайлюгем и Южно-Чуйский.

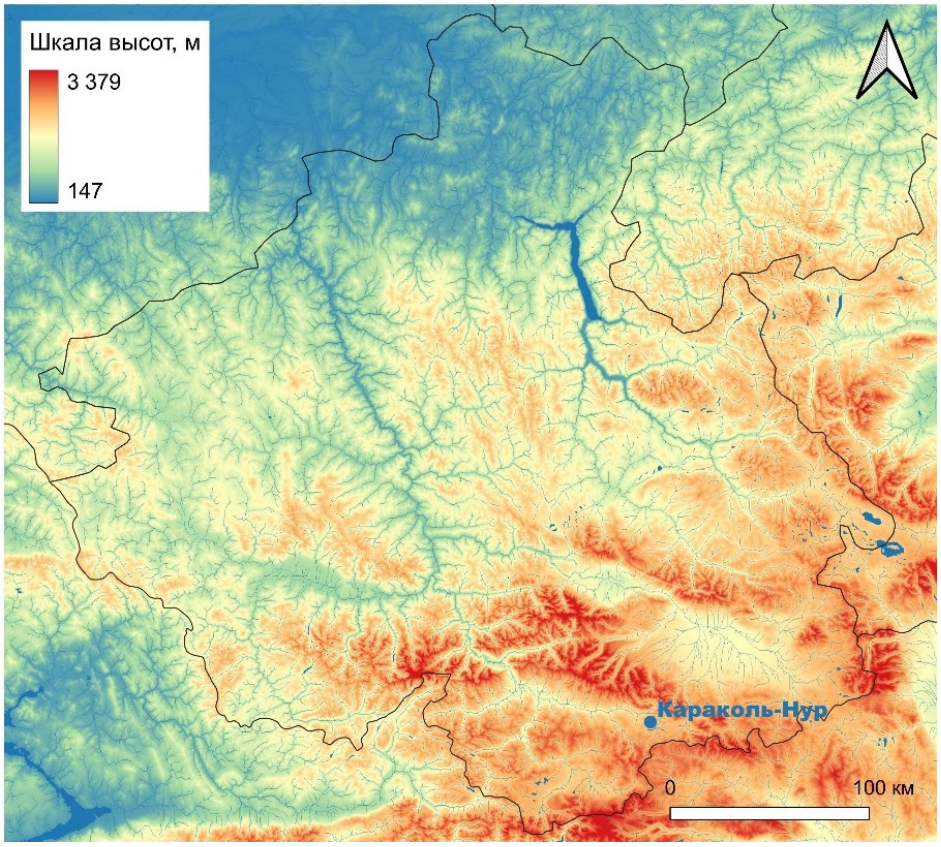


Рис. 1. Местоположение озера Караколь-Нур

Материалы и методы исследований. Колонка донных отложений длиной 2,26 м была отобрана в 2021 году с глубины 39,8 м с использованием модифицированного гравитационного пробоотборника UWITEC.

Техническая обработка проб и приготовление постоянных препаратов на диатомовый анализ выполнялись по стандартной методике (Давыдова, 1985; Диатомовый анализ, 1949; Общие закономерности…,1986; Пестрякова, 2016 и др.).

При формировании таксономического списка диатомей учитывались актуальные номенклатурные разработки (Krammer, 2000, 2002, 2003; Lange Bertalot, 2001; Round et al., 1990 и др.).

Результаты исследований. Список диатомовых водорослей разреза из колонки Караколь-Нур включает 192 вида, принадлежащих к 71 роду, 31 семейству, 16 порядкам и 3 классам. Самым многочисленным классом является Bacillariophyceae (87,5% от общего таксономического богатства), в котором зарегистрировано 12 порядков, 27 семейств, 62 рода, 168 видов и подвидов.

Наиболее распространенным семейством является Achnanthidiaceae, включающий 8 родов, Stephanodiscaceae 6 родов и Cymbellaceae 5 родов.

Остальные классы значительно уступают описанной выше классу. Распределение видового богатства диатомовых водорослей исследуемых озер приведена на рисунке 2.

Доминирующий диатомовый комплекс разреза состоял в основном из видов следующих порядков: Fragilariales, Stephanodiscales, Cymbellales, Aulacoseirales, Thalassiophysales, Licmophorales и Naviculales.

Используя процентное соотношение от общей численности диатомовых водорослей, удалось определить состав доминирующих комплексов: единичные или редкие виды, составляющие менее 1% от общего числа диатомовых водорослей; обычные виды, представленные в количестве от 1 до 5%; субдоминанты, занимающие от 5 до 10%; доминанты, составляющие от 10% и более.

В число доминантных форм вошли 19 видов, субдоминантных – 23 вида. Среди них особо стоит отметить: *Staurosira venter* – вид, доминирующий в 79 пробах с максимальным значением 80,9 %; *Cymbellafalsa diluviana* – вид, присутствующий в 33 пробах с максимальным значением до 70 %, *Pantocsekiella ocellata* – вид, занимающий лидирующее место в 32 пробах с максимальным значением 61,1 %; *Pseudostaurosira brevistriata* – вид, также присутствует в 17 пробах с максимальным значением 62,3 %.

Анализ показал крайне высокую вариабельность концентрации диатомовых створок в донных отложениях. Максимальная концентрация створок диатомей (7787,88 млн ств./г) зафиксирована в пробе №122, минимальный показатель обнаружен в пробе № 14 (0,59 млн ств./г).

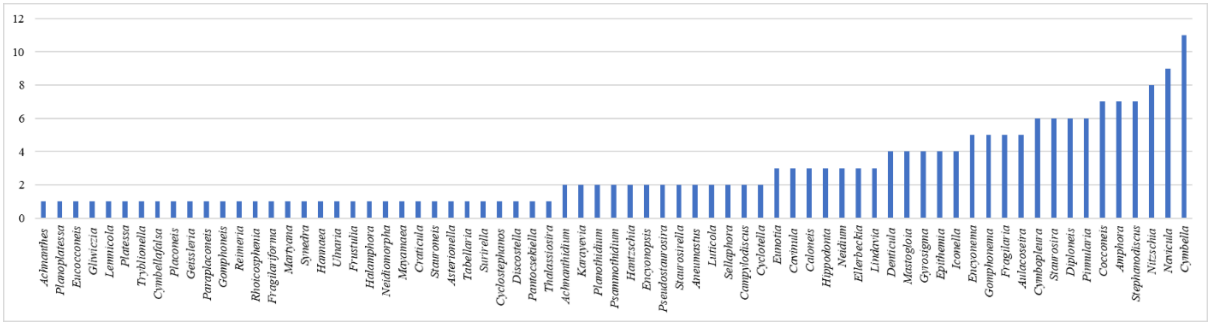


Рис. 2. Распределение видового богатства диатомовых водорослей по родам

Заключение. Таким образом, в ходе исследования диатомовой флоры из колонки донных отложений озера Караколь-Нур установлено высокое таксономическое разнообразие: 192 вида и подвида из 71 рода, 31 семейства и 16 порядков, относящихся к трем классам. Доминирующее положение занимает класс Bacillariophyceae (87,5 %

от общего богатства). Наиболее распространенными семействами являются Achnanthidiaceae, Stephanodiscaceae и Cymbellaceae. Доминирующий комплекс образован преимущественно видами порядков Fragilariales, Stephanodiscales, Cymbellales и Naviculales. Абсолютными доминантами выступают *Staurosira venter*, *Cymbellafalsa diluviana*, *Pantocsekiella ocellata* и *Pseudostaurosira brevistriata*, достигающие в отдельных пробах 61,1–80,9 % от общей численности. Концентрация диатомовых створок в разрезе варьирует в широких пределах — от 0,59 до 7787,88 млн ств./г, что свидетельствует о значительной изменчивости условий осадконакопления.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке НИР № FWZG-2025-0005 «Природные условия обитания древнего человека в четвертичном периоде Евразии» (Рудая Н.А. работала в рамках этого проекта) и по проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ по заданию FSRG-2023-0027.

Список литературы

1. Krammer K. 2000. Diatoms of Europe. The Genus Pinnularia. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G., 703 p.
2. Krammer K. 2002. Diatoms of Europe: Cymbella. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G., 584 p.
3. Krammer K. 2003. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbella. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G., 529 p.
4. Lange-Bertalot H. 2001. Diatoms of Europe. Navicula sensu stricto, 10 Genera Separated from Navicula sensu lato, Frustulia. Königstein, A.R.G. Gantner Verlag, 526 p.
5. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. 1990. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. New York, Cambridge University Press, 747 p.
6. Давыдова, Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене / Н. Н. Давыдова. – Ленинград : Наука, 1985. – 244 с.
7. Диатомовый анализ / Под общей редакцией А. Н. Криштофовича; Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт Министерства геологии ; Ботанический институт им. В. Л. Комарова АН СССР. – Ленинград : Госгеолиздат, 1949 а, б.
8. Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения озер. 1986. Серия: История озер СССР. Отв. редактор Д.Д. Квасов. Л., Наука, 256 с.
9. Пестрякова Л.А. 2016. Палеоэкология. Методологические основы палеоэкологии: учебно-методическое пособие. Якутск: Издательский дом Северо-Восточного федерального университета.

Реконструкции развития Ладожского озера и его водосбора в поздне- и послеледниковое время ГИС-методами

Потахин М.С.[1,2], Зобков М.Б. [1], Кублицкий Ю.А.[2], Кузнецов Д.Д. [3], Науменко М.А.[4], Субетто Д.А.[2]

[1]Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, mpotakhin@mail.ru
[2]Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург
[3]Институт озероведения РАН, Санкт-Петербургский ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург
[4]Санкт-Петербургский филиал «ВНИРО» («ГОСНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург

Вопрос эволюции котловины Ладожского озера в поздне- и послеледниковое время имеет более чем полутора вековой период изучения. Существует ряд оригинальных гипотез, по-разному оценивающих гляциоизостатическое поднятие территории, расположение и высоту порогов стока, размеры водоема и, в том числе, причины изменения его уровня (Ailio, 1915; Квасов, 1975; Кошечкин, Субетто, 2015 и др.). При этом в истории Ладоги в течение позднего неоплейстоцена и голоцена четко прослеживается несколько трансгрессивно-регрессивных этапов развития (Субетто, 2007; Subetto et al., 2020 и др.).

Первый этап: Ладожский залив Балтийского ледникового озера (БЛО) (14000–11600 кал. л.н.). В ходе деградации валдайского оледенения по его периферии образовывались приледниковые водоемы, последним из которых было БЛО. Ладожское озеро являлось его восточным заливом, уровень водоема достигал современных абсолютных отметок 60-80 м (Карельский перешеек). Около 11600–11700 кал. л.н. в районе Центральной Швеции произошло освобождение порогов стока, что в дальнейшем привело к падению уровня БЛО (Björck, 2008).

Второй этап: первая изоляция Ладожского озера (11600–10700 кал. л.н.). Спуск БЛО и проникновение океанических вод в балтийскую котловину привело к образованию Иольдиевого моря. Ладожское озеро в это время потеряло связь с солоноводным бассейном. При этом южная часть современной ладожской котловины была сушей, сток из озера осуществлялся через северную низменную часть Карельского перешейка (Гейниокский пролив) (Subetto et al., 2020).

Третий этап: Ладожский залив Анцилового озера (10700–9800 кал. л.н.). Компенсационное изостатическое поднятие способствовало вздыманию порога стока, изоляции Балтики от Мирового океана и образованию Анцилового озера, уровень которого достигал отметок 12 м в восточной акватории Финского залива и 17 м в северной части Карельского перешейка (Miettinen et al., 2007; Dolukhanov et al., 2009). Ладожское озеро сообщалось с Анциловым озером через Гейниокский пролив и являлось его восточным заливом.

Четвертый этап: вторая изоляция Ладожского озера (9500–5900 кал. л.н.). Около 9800 кал. л.н. началось падение уровня Анцилового озера, которое привело к обособлению котловины Ладоги. Поднятие уровня Мирового океана способствовало проникновению морских вод в балтийскую котловину через вновь сформированные датские проливы и наступлению стадии Литоринового моря. Морские воды не проникали в Ладожское озеро, сток из него происходил через обмелевший Гейниокский пролив.

Пятый этап: Ладожская трансгрессия (5900–~3300 кал. л.н.). Продолжающееся изостатическое поднятие, а также высокая сейсмическая активность (Subetto et al., 2018) способствовало прорыву конечно-моренной гряды Сальпаусселькя-I водами озера Сайма и образованию канала стока — реки Вуоксы, воды которой поступали в Гейниокский пролив, подпруживая сток из Ладоги и повышая ее уровень. Сайменско-

Вуоксинская система значительно увеличила водосборный бассейн Ладожского озера. Это событие произошло около 5900 кал. л.н. (Saarnisto, 2012; Subetto et al., 2018).

Шестой этап: Ладожское озеро после образования Невы (~3300 кал. л.н.–н.в.). Невская протока между Ладогой и Балтийским морем образовалась главным образом в результате гляциоизостатического поднятия северного Приладожья и перекоса Ладожской котловины. Вследствие этого воды озера затопили южную часть котловины и внедрились в долину р. пра-Мги, впадавшей в Ладожское озеро. Они достигли высоты Мгинско-Тосненского водораздела, представленного моренной грядой высотой около 18 м, размыли её и осуществили спуск ладожских вод по долине р. пра-Тосны, впадавшей ранее в Финский залив. При этом нижние части долин были расширены и углублены стоком из Ладожского озера (Квасов, 1975; Субетто, 2007). Гейниокский пролив прекратил свое существование около 3000–3500 кал. л.н., притом, что первые признаки уменьшения стока через него отмечены уже 4500–4000 кал. л.н. (Кузнецов и др., 2022).

В настоящее время существует несколько палеореконструкций развития Ладожского озера, созданных на основе цифровых моделей рельефа (ЦМР) с использованием ГИС-инструментов (Амантов, Амантова, 2017; Анисимов, Минина, 2020). Все они воспроизводят основные этапы развития водоема, но не дают оценок изменения его морфометрических характеристик и показателей (площадь, глубина, объем и др.), т.к. для их создания не использовались цифровые батиметрические модели (ЦБМ).

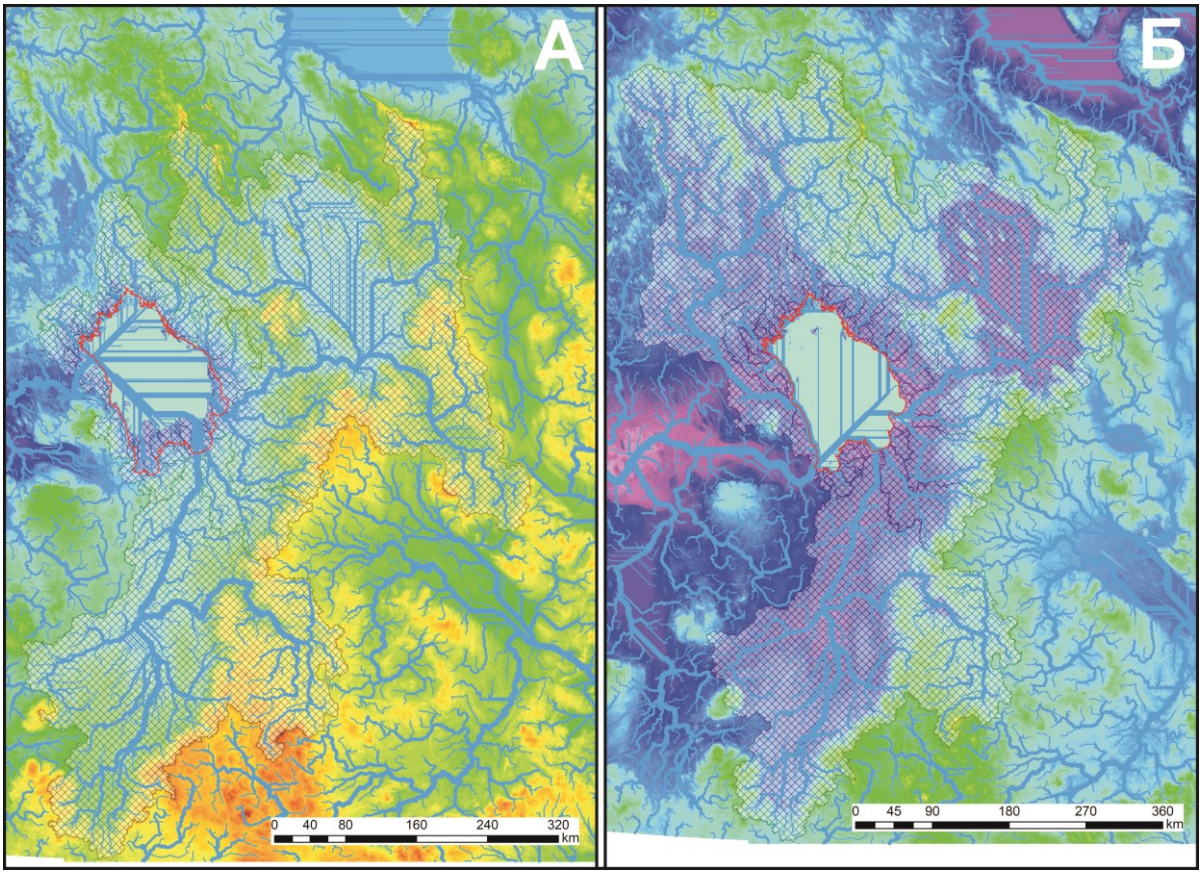


Рис. 1. Пример ГИС-реконструкции развития Ладожского озера и его котловины:
А — 9000 кал. л.н.; Б — 3000 кал. л.н.

Нами разработана ЦМР исследуемого района, включающая высотные отметки суши из модели JdF (Kirmse, de Ferranti, 2017) и данные о глубинах из ЦБМ Ладожского (Naumenko, 2020) и Онежского (Потахин и др., 2024) озер. ЦМР была дополнена специально созданными цифровыми моделями восточной части Финского залива Балтийского моря и крупных финских озер (Сайма, Пиелинен, Пуула и др.). Также для наполнения ЦМР использовались векторные карты глубин малых озер Финляндии, имеющиеся в открытом доступе и цифровые модели некоторых озер Карельского перешейка. Депрессии ряда малых озер Карелии были интерполированы исходя из информации об их максимальной глубине (Zobkov et al., 2019). На основе созданной интегрированной ЦМР и геофизической модели изостазии Земли Ice6G (Argus et al., 2014) проведены реконструкции развития Ладожского озера и его водосбора с шагом 1000 лет (10000–1000 кал. л.н.).

Анализ выполненных палеореконструкций показывает, что они достаточно хорошо отражают основные этапы развития Ладожского озера в голоцене. Так была воспроизведена вторая изоляция Ладожского озера, сток из которого шёл в котловину Балтики через Гейниокский пролив (рис. 1А).

За счет гляциоизостатического подъема происходил постепенный перекос ладожской котловины на юг, площадь озера увеличилась с 12800 до18000 км^2 за последующие 5000 лет. Реконструкции также воспроизвели пятый и шестой этапы развития Ладожского озера. Первый из них связан с открытием стока из оз. Сайма в котловину Ладоги через р. Вуокса, что привело к увеличению площади водосбора Ладожского озера с 228000 до 292000 км^2, а второй — с образованием реки Невы (рис. 1Б).

В настоящее время проводятся ГИС-реконструкции развития Ладожского озера и его водосбора в позднем неоплейстоцене (16000–11000 кал. л.н.). Для этого будут использованы модели дегляциации изучаемой территории (Stroeven et al., 2016) и изменения уровня Мирового океана (Peltier, Fairbanks, 2006).

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206.

Список литературы

1. Амантов А.В., Амантова М.Г. Моделирование послеледникового развития района Ладожского озера и восточной части Финского залива // Региональная геология и металлогения. 2017. № 69. С.5-14.
2. Анисимов Н.В., Минина М.В. Реконструкции палеобассейнов крупных озерных систем юго-восточной периферии Скандинавского ледникового щита в позднем плейстоцене // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Вып. 7. С. 264-268.
3. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л: Наука, 1975. 278 с.
4. Кошечкин Б.И., Субетто Д.А. Этапы развития Ладожского озера в позднее- и послеледниковый период // Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. Атлас. СПб, 2015. С. 31-33.
5. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Лудикова А.В. Соединение Ладожского озера с Балтийским морем в позднем голоцене — новые палеолимнологические данные // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. 506(1). С. 111-116.
6. Потахин М.С., Зобков М.Б., Беляев П.Ю. Новая цифровая батиметрическая модель Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища): разработка, верификация, применение // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2024. 69(1). С. 85-107.
7. Субетто Д.А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем // Общество. Среда. Развитие. 2007. № 1(10). С. 111-120.
8. Ailio J. Die geographikche Entwicklung des Ladogasees // Fennia. 1915. 8(3). 157 p.
9. Argus D.F., Peltier W.R., Drummond R., Moore A.W. The Antarctica component of postglacial rebound model ICE-6G_C (VM5a) based upon GPS positioning, exposure age dating of ice thicknesses, and relative sea level histories // Geophysical Journal International. 2014. 198(1). P. 537-563.

10. Björck S. The late Quaternary development of the Baltic Sea basin. In: Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. P. 398-407.
11. Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Djinoridze E.N., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-Western Russia // Quaternary International. 2009. 203(1). P. 33-51.
12. Kirmse A., de Ferranti J. Calculating the prominence and isolation of every mountain in the world // Progress in Physical Geography. 2017. 41(6). P. 788-802.
13. Miettinen A., Savelieva L., Subetto D.A., Dzhinoridze R., Arslano, K., Hyvärinen H. Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of Finland, during the Litorina Sea stage of the Baltic Sea history // Boreas. 2007. 36. P. 441-458.
14. Naumenko M.A. Lake Ladoga Digital Bathymetric Models: envelopment Approaches and Insight for Limnological Investigations // *Limnology Review*. 2020. *20*(2). P. 65-80.
15. Peltier W.R., Fairbanks R.G. Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados Sea level record // Quaternary Science Reviews. 2006. 25. P. 3322-3337.
16. Saarnisto M. Late Holocene land uplift/neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // Quaternary International. 2012. 260. P. 143-152.
17. Stroeven A.P., Hättestrand C., Kleman J., Heyman J., Fabel D., Fredin O., Goodfellow B.W., Harbor J.M., Jansen J.D., Olsen L., Caffee M.W., Fink D., Lundqvist J., Rosqvist G.C., Strömberg B., Jansson K.N. Deglaciation of Fennoscandia // Quaternary Science Reviews. 2016. 147. P. 91-121.
18. Subetto D.A., Kuznetsov D.D., Minina M.V., Druzhinina O.A. Palaeorunoff from Lake Ladoga to the Baltic Sea during the Holocene // Hydrosphere. Hazard processes and phenomena. 2020. 2(2). P. 148-157.
19. Subetto D.A., Shvarev S.V., Nikonov A.A., Zaretskaya N.E., Poleshchuk A.V., Potakhin M.S. New evidence of the Vuoksi River origin by geodynamic cataclysm // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2018. 90. P. 275-289.
20. Zobkov M., Potakhin M., Subetto D., Tarasov A. Reconstructing Lake Onego evolution during and after the Late Weichselian glaciation with special reference to water volume and area estimations// Journal of Paleolimnology. 2019. 62(1). P. 53-71.

Озеро Ажабачье как палеоархив природной среды Камчатки: предварительные результаты изучения верхней колонки донных осадков

Пронина А. В.[1], Сёмкин П. Ю.[2]

[1] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, anastasiya.2802@mail.ru*

[2] *Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток*

Введение. Озеро Ажабачье (Азабачье) находится в Усть-Камчатском районе Камчатского края, в 40 км от устья реки Камчатка на правом берегу (в 6 км от основного русла, с озером соединено протокой Ажабачья), является четвертым по площади пресным водоемом полуострова (56,5 км^2). Длина озера – 13 км, ширина – 7,7 км, максимальная глубина – 36,8 м, средняя – 18,2 м, длина береговой линии – 37 км, площадь водосбора – 486 км². Озеро расположено на высоте 6 метров над уровнем моря, в средней части межгорной депрессии, вытянутой в северо‑восточном направлении и ограниченной с запада хребтом Кумроч и с востока хребтами Токинец и Коврижка, наивысшая точка гора Азабач (700 м). К западу находятся вулканы Ключевской группы, к северо‑западу – вулкан Шивелуч (Базаркина, 2018).

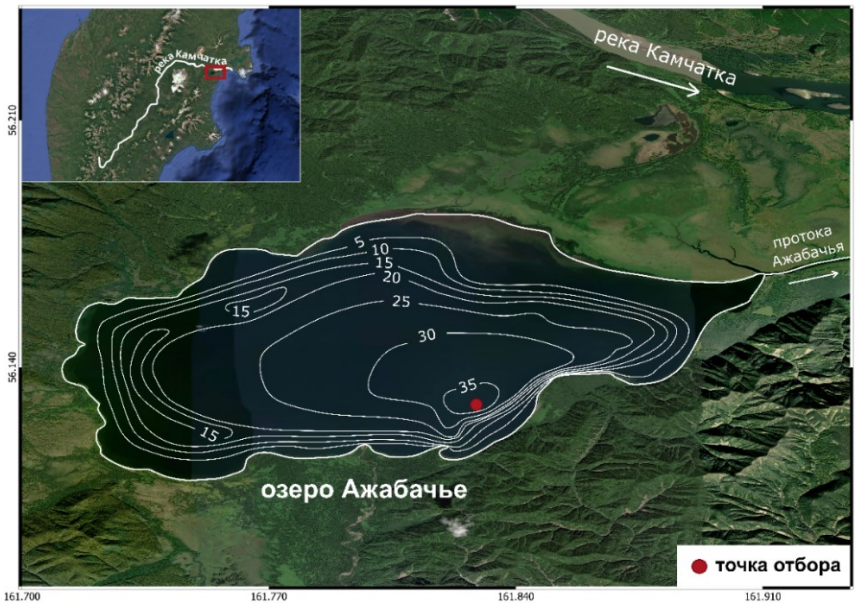


Рис. 1 Озеро Ажабачье, место отбора проб осадков.
Батиметрия приведена по (Николаев и Николаева, 1991)

Озеро имеет высокую трофность, дно покрыто илами, литораль каменисто-галечная с примесью песка (Бусарова, 2022). Водоем имеет реликтовое происхождение – накопление наносов реки Камчатка и поднятие суши привели к полному обособлению котловины озера от морского залива (Лебедев, 1911).

С 1937 года на озере Ажабачьем были начаты систематические исследования, посвященные биологии лососевых и условиям их естественного воспроизводства. В 1963 году здесь был организован наблюдательный пункт Камчатского отделения ТИНРО, что позволило перейти к более детальным стационарным наблюдениям. В 1971 году на протоке Ажабачьей начала функционировать биологическая станция «Радуга» Института биологии моря Дальневосточного отделения АН СССР, расширившая возможности долговременного изучения экосистемы озера и прилегающих водотоков. В настоящее время проводится ряд гидрологических и ихтиологических исследований озера (Николаев и Николаева, 1991; Базаркина, 2002, 2018, 2024).

Материалы и методы. В сентябре 2025 года проведен отбор колонки донных отложений (56.129416194, 161.828800979) с помощью пробоотборника ГОИН ТГ-1 в наиболее глубокой части водоема (36 м) для рекогносцировки мощности толщи осадков и проведения первичных литологических анализов: литостратиграфического описания колонки, гранулометрического анализа, определения концентраций общего органического углерода (TOC) и магнитной восприимчивости. Также были отобраны пробы для палинологического анализа. Отобрано всего 75 см отложений.

Гранулометрический анализ был выполнен на лазерном анализаторе частиц LS 13 320 (Beckman Coulter, США), классификация фракций осадка приведена по (Wentworth, 1922).

TOC определялся методом высокотемпературного окисления на анализаторе Shimadzu TOC-L (ГОСТ, 2024) после пробоподготовки осадка (сушка и растирка образцов). Определение концентрации органического углерода при помощи анализатора основано на разности определенных в пробе общего и неорганического углерода: TOC=TC-IC.

Из проб осадка формировались образцы одинакового объема для определения изменения магнитной восприимчивости в керне по стандартной методике на ИМВ-2.

Результаты и обсуждение. В верхней колонке осадков озера Ажабачье установлена выраженная неоднородность осадочного разреза, отражающая смену условий осадконакопления в пределах исследованного интервала. В керне выделяются горизонты с различным гранулометрическим составом, изменяющимися концентрациями общего органического углерода и магнитной восприимчивостью, что может свидетельствовать о вариациях источников поступления осадочного материала и интенсивности седиментационных процессов (рис. 2). Керн сложен серо-оливковым обводненным и серым коричневатым горизонтами минерагенного ила, по всей длине разреза наблюдаем присутствие черные рыхлые прослои от 0,5 до 4 см.

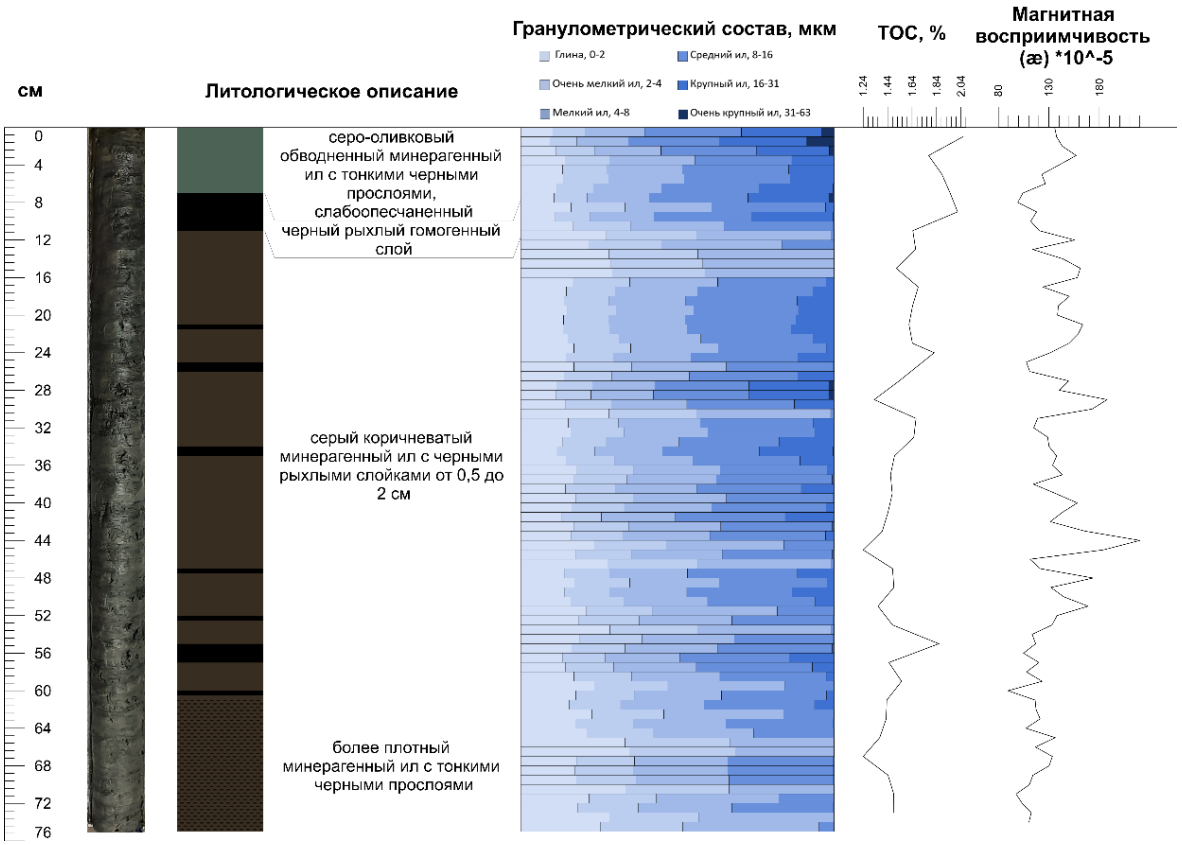


Рис. 2. Результаты исследования верхней колонки отложений оз. Ажабачье

Верхняя часть колонки представлена преимущественно илистыми (фракции ила различной размерности и глина) отложениями (0-10 см), присутствует фракция очень крупного ила. В горизонте 10-17 см фиксируется горизонт с преобладанием тонкодисперсного осадка (глина, очень мелкий и мелкий ил). Ниже по разрезу (17-63 см) наблюдаем относительно стабильную картину накопление механических частиц, выраженную в единообразном фракционном распределении с некоторыми колебаниями в процентном содержании ила различной размерности. Такие участки могут быть связаны как с усилением поступления минерального материала, так и с перераспределением органического вещества в толще осадка. В нижней части керна (63-75 см) отсутствует фракция крупного ила, преобладает более тонкий осадок.

Концентрации общего органического углерода в разрезе осадков невелики (1,2-2%), колебания графика находятся в естественных пределах изменчивости накопления TOC, однако наблюдаем тренд на увеличение концентраций вверх по разрезу, который прослеживается в различных исследованиях углерода в донных отложениях озер в разных регионах планеты. В разрезе отсутствует неорганический углерод (IC), поэтому значения общего органического углерода (TOC) равны значениям общего углерода (TC).

Магнитная восприимчивость по разрезу изменяется неравномерно, образуя отдельные максимумы и минимумы. Участки повышенных значений, вероятно, соответствуют интервалам усиленного поступления магнитно-активного терригенного, либо вулканогенного материала, тогда как пониженные значения отражают преобладание органогенных и тонкодисперсных осадков с меньшей долей ферро- и парамагнитных минералов.

Сопоставление полученных данных демонстрирует, что эти параметры в целом согласуются между собой и позволяют выделить различные этапы осадконакопления, различающихся по степени поступления минерального материала и условиям формирования донных отложений. Полученные результаты подтверждают информативность колонки донных отложений озера Ажабачье как палеоархива природной среды Камчатки и создают основу для дальнейших реконструкций изменений гидрологического режима, терригенного стока и вулканогенного влияния на экосистему озера.

Заключение. В результате проведенного предварительного исследования верхней колонки донных отложений озера Ажабачье установлено, что разрез характеризуется литологической и геохимической неоднородностью, отражающей изменения условий осадконакопления в озере. Сочетание данных гранулометрического анализа, содержания общего органического углерода и магнитной восприимчивости показывает, что в формировании разреза участвовали как тонкодисперсный автохтонный материал, так и терригенный и, вероятно, вулканогенный компонент.

Полученные результаты подтверждают, что колонка донных отложений озера Ажабачье является перспективным палеоархивом для реконструкции изменений природной среды полуострова Камчатка. Следует отметить, что данная колонка осадков еще не была датирована, поэтому на текущем этапе невозможно определить временные рамки накопления выделенных горизонтов и сопоставить их с региональными этапами климатических и вулканических событий. Проведение датирования планируется в рамках дальнейших исследований, что позволит уточнить скорость осадконакопления и определить возрастную структуру разреза осадков для последующих исследований палеогеографических обстановок полуострова.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Межведомственной комплексной программы научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий в 2024–2026 гг., рег. № 124072200009-5 (экспедиционные работы и частичный анализ проб).

Список литературы

1. Базаркина Л. А. К проблеме повышения кормовых ресурсов молоди нерки в озере Азабачье // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. 2002. Вып. 6. С. 251–259.
2. Базаркина, Л. А. Многолетние изменения гидрологического режима озера Азабачьего (бассейн р. Камчатки) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2018. № 51. С. 47–59. DOI 10.15853/2072-8212.2018.51.47-59.
3. Базаркина, Л. А. Состояние планктонного сообщества пелагиали озера Азабачьего (Восточная Камчатка) в 2020–2023 гг // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы XXV Всероссийской научной конференции, посвящённой 130-летию со дня рождения выдающегося российского исследователя ихтиофауны Дальнего Востока, Москва: Издательство Центра охраны дикой природы, 2024. С. 270–275.
4. Бусарова О. Ю. Трофическая специализация симпатрических форм мальмы Salvelinus malma (Salmonidae) озера Азабачье, Камчатка // Вопросы ихтиологии. 2022. Т. 62, № 5. С. 621–633. DOI: 10.31857/S0042875222040051.
5. ГОСТ ISO 10694-2024 Качество почвы. Определение содержания органического и общего углерода после сухого сжигания (элементный анализ). М.: Российский институт стандартизации, 2024. 16 с.
6. Лебедев В. Н. Предварительный отчет обследования вод Камчатки в 1908–1909 гг. // Изв. Географического общества. 1911. Т. XI–XII, вып. 1–5. С. 27–82.
7. Николаев А. С., Николаева Е. Т. Некоторые аспекты лимнологической классификации нерковых озер Камчатки // Исслед. биологии и динамики численности промысловых рыб камчатского шельфа. Сб. науч. тр. КамчатНИРО. 1991. Вып. I, ч. 1. С. 3–17.
8. Wentworth C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments // Journal of Geology, 30. 1922. P. 377-392.

Особенности накопления углерода в донных отложениях озер Карело-Кольского региона в голоцене

***Пронина А. В.*[1,2], *Белкина Н. А.*[1,2]**

[1] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, anastasiya.2802@mail.ru*

[2] *Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург*

Введение. Озера бореальной зоны выполняют роль накопителя органического вещества. Количественное определение запасов углерода в донных отложениях озер необходимо для оценки роли озерных экосистем в глобальном цикле углерода и в формировании эмиссии парниковых газов в северных экосистемах.

Отсутствие детальных исследований о динамике накоплении углерода в период голоцена и его генезисе в донных отложениях озер Карело-Кольского региона является основанием для изучения закономерностей аккумуляции углерода в озерных донных отложениях по меридиональной трансекте. Это позволит выполнить палеоэкологические реконструкции изменений процесса в голоцене и оценить запасы углерода в озерных системах региона с целью выявления роли озер бореальной зоны в глобальном цикле углерода.

Смена минерагенного осадконакопления органогенным и накопление гиттии с высоким содержанием органического вещества являются характерной особенностью голоценового озерного седиментогенеза на северо-западе Европейской части России. На развитие озер Карело-Кольского региона оказали воздействие поздне- и послеледниковые изменения Ладожского (Кузнецов и др., 2019, 2025) и Онежского озер (Палеолимнология Онежского озера…, 2022), а также трансрессионно-регрессионные обстановки Белого и Баренцева морей (Толстоброва, 2022).

Материалы и методы. Для отбора объектов была использована палеолимнологическая база данных PaleoLake, которая содержит литостратиграфическую, биостратиграфическую и хроностратиграфическую информацию о разрезах донных отложений озер, расположенных на Восточно-Европейской равнине. Она представляет результаты исследований 287 водоемов, собранные за 70 лет (Syrykh et al., 2021).

В пределах исследуемого региона из базы данных PaleoLake были рассмотрены 210 озер, из них выбраны озера, функционирующие в настоящее время в разных климатических и ландшафтных условиях, для полных голоценовых разрезов донных отложений которых есть геохронологическая привязка (радиоуглеродный анализ) и данные по накоплению углерода (TOC – total organic carbon) в течение всего голоцена (3 объекта, Ilyashuk et al., 2005; Ilyashuk et al., 2013; Kublitskiy et al., 2022).

Также мы добавили озера, для донных отложений которых авторами был проведен анализ концентраций органического углерода (10 объектов) по стандартной методике с использованием анализатора Shimadzu TOC-L (ГОСТ ISO 10694-2024). Хотя на данный момент не для всех разрезов имеются данные о датировании осадка, мы включаем их в выборку для понимания общей картины количественного накопления углерода на трансекте. Начало голоцена определяем по смене литологического состава пачек отложений (глина/гиттия).

Результаты и обсуждение. Для 13 модельных объектов была собрана информация об их географическом положении, морфометрических характеристиках водоема, мощности исследованного разреза осадков, мощности голоценовой части осадка и рассчитан запас углерода в донных отложениях на единицу площади дна озера по методике (Пронина и др., 2026) (табл.).

Анализ данных показал существенную вариабельность запасов TOC в донных отложениях, что отражает влияние локальных седиментационных обстановок накопления органического вещества. Величины запасов TOC варьируют от 9.6 т/м²

в оз. Святое до 158.4 т/м² в оз. Мурмозеро, при этом высокие значения также отмечены в оз. Полевское (139.9 т/м²) и оз. Южное Хаугилампи (135.8 т/м²). Наименьшие запасы, помимо оз. Святое, зафиксированы в оз. Чудесная ламба (10.5 т/м²) и оз. Курккоярви (15.5 т/м²), что указывает на выраженную пространственную неоднородность накопления углерода в пределах исследуемой выборки.

Сопоставление запасов TOC с максимальной глубиной озер не выявляет однозначной линейной зависимости. Максимальные значения запасов TOC обнаружены в оз. Мурмозеро (10.7 м), тогда как в оз. Чудесная ламба (8.9 м) запас TOC остается низким. Аналогично, оз. Беркут (глубина 6 м) характеризуется повышенным запасом TOC, тогда как оз. Святое (1.5 м) отличается минимальным значением запаса. Следовательно, водная экосистема может выступать фактором, способствующим аккумуляции и сохранению органического вещества в донных отложениях, однако ее влияние реализуется в сочетании с особенностями процесса седиментогенеза на стадиях выветривания, транспортировки и осаждения материала.

Таблица

Характеристика озер и запасы С в осадках
(голубые ячейки – авторские данные, зеленые – литературные)

Субъект РФ	№ п/п	Озеро	Координаты	S, км²	Глубина, м		Мощность исследованного разреза осадков (всего м)	Мощность голоценового разреза осадков (для расчетов)	Среднее значение TOC в разрезе, %	Запас TOC, т/м²
					max	avg				
Мурманская область	1	СР-2	69.643679 31.805932	0.007	1.8	-*	1.79	1.75	16.2	31.2
	2	Щучье	67.838496 33.672955	0.3	-	2.3 (?)	5.49	4.99	5.7	31.3
	3	Купальное	67.665348 33.631852	0.02	4.5	2	1.3	1.3	35.9	51.3
	4	Беркут	66.344834 36.662836	0.008	6	-	1.57	1.6	36.7	64.6
Архангельская область	5	Большое Корзино	65.060970 35.641647	0.2	8 (?)	4	1.71	1.71	16.5	31.0
	6	Святое	65.025044 35.717905	0.2	1.5	0.8	0.97	0.58	15	9.6
	7	Мураканское	64.823989 38.094111	16.2	6	2	3.08	3.08	7.9	26.8
Республика Карелия	8	Курккоярви	64.530359 30.708495	0.8	2 (?)	-	1.93	1.93	7.3	15.5
	9	Южное Хаугилампи	63.553550 33.333426	0.25	-	2.5	3.41	3.11	39.7	135.8
	10	Керацкое	62.327725 35.261750	1.9	2	1.7 (?)	3.56	3.13	22	75.7
	11	Полевское	62.311414 35.281423	0.45	-	3.2	6.1	5.3	24	139.9
	12	Чудесная ламба	62.286097 34.017227	0.007	8.9	4.9	0.36	0.19	50	10.5
	13	Мурмозеро	61.662584 36.348468	1.2	10.7	5.6	6	6	24	158.4

* - нет данных

Связь запасов TOC с площадью озер выражена еще слабее. Наибольший по площади водоем выборки, Мураканское озеро (16.2 км²), не демонстрирует максимального запаса TOC и характеризуется относительно умеренным значением 26.8 т/м². В то же время ряд малых озер, таких как Мурмозеро, Полевское и Южное Хаугилампи, обладает наиболее высокими запасами TOC.

Более информативной представляется интерпретация запасов TOC через сочетание морфометрических характеристик и мощности голоценового разреза. Для части озер повышенные запасы TOC согласуются с относительно мощными голоценовыми отложениями, что указывает на длительное и устойчивое накопление органического

вещества. Вместе с тем ряд объектов с сопоставимой мощностью разреза демонстрирует существенно различающиеся значения запасов, что подтверждает роль локальных ландшафтно-гидрологических и биогеохимических условий. К числу таких факторов могут относиться продуктивность водной экосистемы, степень аллохтонного привноса, условия кислородного режима, интенсивность разложения органики и литологическая структура осадков.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о существенной неоднородности накопления ТОС в донных отложениях озер Карело-Кольского региона, что отражает неодинаковые условия седиментации, продуктивности и сохранности органического вещества. Запасы углерода в осадках варьируются от 9.6 до 158.4 т/м^2. Наибольшие величины ТОС выявлены в ряде озер Республики Карелия (Мурмозеро, Полевское, Южное Хаугилампи), тогда как озера Мурманской и Архангельской областей демонстрируют более мозаичный характер накопления ТОС.

Максимальная глубина может способствовать повышению запасов углерода, однако эта связь не является универсальной и не может рассматриваться как линейная. Площадь озера, напротив, демонстрирует слабую сопряженность с запасами ТОС и не может служить надежным предиктором накопления углерода. Следовательно, количественная оценка запасов ТОС требует учета не только размеров и глубины озера, но и палеоэкологических условий голоцена и сохранности органического вещества в донных отложениях.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206.

Список литературы

1. ГОСТ ISO 10694-2024 Качество почвы. Определение содержания органического и общего углерода после сухого сжигания (элементный анализ). Москва: Российский институт стандартизации, 2024. 16 с.
2. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А. Стратиграфия донных отложений озер Карельского перешейка. Рос. акад. наук, Ин-т озероведения и др. Москва: ГЕОС, 2019. 119 с. ISBN 978-5-89118-801-3.
3. Кузнецов, Д. Д., Субетто, Д. А. и Лудикова, А. В. (2025) «Особенности голоценового осадконакопления в малых озерах южного Приладожья» // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 70(1). doi: 10.21638/spbu07.2025.106.
4. Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям (коллективная монография), отв. ред. Субетто Д. А. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. 332 с.
5. Пронина А. В., Рязанцев П. А., Белкина Н. А. Определение запасов углерода в донных отложениях с использованием георадарных данных на примере озера Полевское (Заонежский полуостров) // Вестник ВГУ. Серия: Геология, 1, 2026, 117–129. https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2026/1/117-129
6. Толстоброва, А. Н. Особенности строения и формирования донных отложений изолированных бассейнов Северо-Восточной части Фенноскандинавского щита (по литологическим и диатомовым данным): диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук, 2022. 236 с.
7. Ilyashuk, Elena & Ilyashuk, Boris & Hammarlund, Dan & Larocque, Isabelle. (2005). Holocene climatic and environmental changes inferred from midge records (Diptera: Chironomidae, Chaoboridae, Ceratopogonidae) at Lake Berkut, southern Kola Peninsula, Russia // The Holocene. 15. 897-914. 10.1191/0959683605hl865ra.
8. Ilyashuk EA, Ilyashuk BP, Kolka VV, Hammarlund D. Holocene climate variability on the Kola Peninsula, Russian Subarctic, based on aquatic invertebrate records from lake sediments // Quaternary Research. 2013;79(3):350-361. doi:10.1016/j.yqres.2013.03.005
9. Kublitskiy Y., Repkina T., Leontiev P., Shilova O., Zaretskaya N., Gurinov A., Lugovoy N., Subetto D., Yakovleva A., Nam Seung Il, Ki Jung-Hyund, Son Yeong-Jud, Peretrukhina A. ; Kublitskiy Y., Repkina T., Leontiev P., Shilova O., Zaretskaya N., Gurinov A., Lugovoy N., Subetto D., Yakovleva A., Nam Seung Il, Ki Jung-Hyund, Son Yeong-Jud, Peretrukhina A. Reconstruction of Relative Sea-Level Changes Based on a Multiproxy Study of isolated basins on the Onega Peninsula (White Sea, Northwestern Russia) // Quaternary International. 2022. Volumes 644-645. P. 79-95.
10. Syrykh, L., Subetto, D., Nazarova, L. Paleolimnological studies on the East European Plain and nearby regions: the PaleoLake Database // J Paleolimnol. 2021. 65. P. 369-375.

Пространственно-временная изменчивость динамики пожаров в Западной Сибири в голоцене по данным комплексных палеоэкологических исследований озерно-болотных отложений

Пупышева М.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, 455207@mail.ru

Введение. Западная Сибирь представляет собой один из наиболее перспективных регионов для изучения природных условий прошлого посредством палеоэкологического анализа озерно-болотных отложений. Около 70% территории этого обширного региона занимают водно-болотные угодья, при этом торфяные болота составляют примерно 40% от общероссийской площади (Кирпотин и др., 2021). Природное разнообразие и насыщенность озерно-болотными объектами превращает Западную Сибирь в «кладезь палеоэкологической информации», хранящей в себе бесценные данные о прошлых эпохах и изменениях окружающей среды.

В условиях нарастающих климатических изменений и участившихся экстремальных погодных явлений, в Западной Сибири наблюдается увеличение числа и интенсивности лесных пожаров. К концу текущего века прогнозируется увеличение продолжительности пожароопасных сезонов в Сибири на 35% (Malkanova, Ponomarev, 2025). Для достоверного моделирования будущих пожароопасных ситуаций региона нам необходимы данные о фоновом уровне долговременной динамики пожаров. Частицы микро- и макроугольков, тысячелетиями сохраняющиеся в озёрно-болотных отложениях, являются индикаторами пирогенных событий и позволяют реконструировать историю природных пожаров (Mooney, Tinner, 2011). Представленная работа является первым комплексным исследованием долговременной динамики пожаров в различных природных зонах и горных областях вдоль меридионального трансекта Западной Сибири (Пупышева, 2025). Целью данного исследования является реконструкция динамики пожаров в голоцене в Западной Сибири с учетом ландшафтно-климатических особенностей региона.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования выбрано 5 ключевых участков, расположенных в разных природных зонах Западной Сибири (табл.). (Пупышева, 2025).

Таблица

Ключевые участки исследования

Природная зона/горные области	**Участок**	**Субъект РФ**	**Глубина отложений, см**	**Возраст отложений, кал.л.н.**
Средняя тайга	Озеро S14	Ханты-Мансийский автономный округ	231	11900
Южная тайга	Озеро Щучье	Томская область	346	13200
Лесостепь	Болото Николаевский рям	Новосибирская область	320	3200
Горно-таежные леса Горной Шории	Болото Малый Лабыш	Кемеровская область	250	2800
Лесостепные предгорья Северного Алтая	Болото Моховое	Алтайский край	640	16185

Датирование образцов выполнялось радиоуглеродным методом жидкостной сцинтилляции в лаборатории ИМКЭС СО РАН, методом ускорительной масс-спектрометрии в Национальном университете Тайваня и в радиоуглеродной лаборатории г. Познань (Польша) (Бляхарчук, Пупышева, 2022; Пупышева, Бляхарчук, 2023; Пупышева, Бляхарчук, 2024; Пупышева, 2025; Pupysheva, Blyakharchuk, 2024; Blyakharchuk et al., 2025). В качестве материала для датирования использовались образцы торфа или озёрного сапропеля. Для всех полученных 29 радиоуглеродных дат выполнена калибровка в программном пакете ‘rbacon’ (Blaauw, Christen, 2011) в пространстве R (R Core Team, 2020) с использованием калибровочной кривой «IntCal20» (The IntCal20…, 2020). На основе калиброванных значений возраста в системе счисления «от настоящего времени» (за нулевую точку отсчета принят 1950 г.) построены глубинно-возрастные модели отложений для всех изученных разрезов и рассчитан календарный возраст каждого образца торфяных или озерных колонок.

Для реконструкции локальной истории пожаров использовался метод анализа макроугольковых частиц в торфяных и озерных отложениях. Основные этапы физико-химической обработки образцов представлены в работе (Mooney, Tinner, 2011). Статистическую обработку полученных макроугольковых данных проводили с использованием программы CharAnalysis (Higuera, 2009) в пространстве R (R Core Team, 2020). В качестве хронологической основы использовались данные глубинно-возрастных моделей рассматриваемых отложений.

Полученные данные по динамике пожаров были сопоставлены с ранее опубликованными палинологическими, микроугольковыми и палеоклиматическими реконструкциями для исследуемых ключевых участков.

Результаты и обсуждение. На основе полученных результатов ля 5 ключевых участков исследования, расположенных в разных природных зонах и горных областях Западной Сибири, были выявлены общие периоды высокой пожарной активности (Пупышева, 2025):

В конце позднеледниковья в пределах южной тайги (озеро Щучье) и предгорий Северного Алтая (болото Моховое) реконструирован общий период высокой пожарной активности (12300-11800 кал. л. н). Причем, в предгорьях пожары были более интенсивными, чем в таежной зоне. В начале раннего голоцена в средней (озеро S14) и южной тайги равнины (озеро Щучье) наблюдались крупные локальные пожары с общим периодом высокой пожарной активности (11500-11100 кал. л. н.), однако их интенсивность была значительно ниже, чем в предгорьях Северного Алтая. В средней тайге и в предгорьях также выделены общие периоды пожаров – 11100-10500, 9850-9500 кал. л. н. В среднем голоцене для изучаемой территории средней тайги и предгорий Северного Алтая отмечен общий период пожаров (7600-7200 кал. л. н.). Самые интенсивные пожары в среднем голоцене произошли в пределах болота Моховое 5500-5000 кал. л. н. В таежной зоне 5000 кал. л. н. также отмечены пожары, однако они были менее интенсивными. В позднем голоцене увеличилась частота пожаров, особенно это характерно для лесостепи равнины на примере отложений болота Николаевский рям и Горной Шории (болото Малый Лабыш). Средневековая климатическая аномалия отразилась на всех ключевых участках в виде серии пожаров. В малый ледниковый период также происходили пожары в средней тайге, лесостепи равнины и в горно-таежных лесах Горной Шории. Следует отметить, что в позднем голоцене наиболее интенсивные пожары в Барабинской лесостепи и в горно-таежных лесах

Горной Шории происходили при аридизации климата и увеличении участия берез в древесном ярусе растительных сообществ (Пупышева, 2025).

В ходе исследования нами выявлена пространственно-временная неоднородность в динамике пожаров:

Для таежной зоны Западной Сибири реконструирована самая низкая интенсивность и частота пожаров по сравнению с другими ключевыми участками исследования. В средней тайге максимум пожаров отмечен в начале раннего голоцена (11500-10400 кал. л. н.), а в южной тайге – на границе позднеледниковья и раннего голоцена (12300-11100 кал. л. н.). В таежной зоне на примере ключевых участков наблюдается тенденция к снижению пожарной активности с раннего голоцена и до современности (Пупышева, 2025).

В пределах ключевого участка в Барабинской лесостепи реконструирован самый высокий уровень интенсивности пожаров по сравнению с другими ключевыми участками исследования. Максимальная скорость аккумуляции частиц угольков достигла во время средневековой климатической аномалии (до 580 частиц на $см^2$/год в период 1150-1050 кал. л. н). В пределах Николаевского ряма пожары происходили в среднем каждые 150-100 лет. (Пупышева, Бляхарчук, 2024; Пупышева, 2025).

В лесах Горной Шории отмечен максимум пожаров в середине позднего голоцена (1900-1700, 1450-1300, 1200-1100 кал. л. н.). Однако, их интенсивность была намного ниже, чем в лесостепной равнинной зоне (Пупышева, 2025).

В предгорьях Северного Алтая неоднократно возникали крупные локальные пожары. Максимальная их интенсивность реконструирована в конце среднего голоцена (5500-5000 кал. л. н. со скоростью аккумуляции макроугольков до 70 частиц на $см^2$/год). В предгорьях наблюдается тенденция к уменьшению пожарной активности к настоящему времени (Пупышева, 2025).

Заключение. Пожарная активность в пределах ключевых участков в южной тайге возрастала в конце позднеледниковья – начале раннего голоцена, в средней тайге – в начале раннего голоцена, в предгорьях Северного Алтая – в конце среднего голоцена, в лесостепи равнины и в горно-таежных лесах Горной Шории – в позднем голоцене. Наши данные свидетельствуют о высокой пожарной активности в равнинной и предгорной лесостепи Западной Сибири в голоцене. В таежной зоне равнины реконструирован самый низкий фоновый уровень пожаров.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госзадания ИМКЭС СО РАН № FWRG-2026-0007.

Список литературы

1. Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process. Bayesian Analysis. 2011. №6. P. 457–474
2. Blyakharchuk T.A., van Hardenbroek M., Pupysheva M.A., Kirpotin S.N., Blyakharchuk P.A. Late Glacial and Holocene history of climate, vegetation landscapes and fires in South Taiga of Western Siberia based on radiocarbon dating and multi-proxy palaeoecological research of sediments from Shchuchye Lake //Radiocarbon. 2025. V. 67. №. 1. P. 1-24.
3. Malkanova A. V., Ponomarev E. I. Spatiotemporal Variability of Forest Burning Characteristics in Siberia //Russian Meteorology and Hydrology. 2025. V. 50. №. 5. P. 437-448.
4. Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A. The impact of wildfires on the dynamics of vegetation cover in the middle taiga subzone of Western Siberia during the Holocene // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2024. Т.15, вып.3. с. 200–210.
5. R Core Team 2020 R: a language and environment for statistical computing; R foundation for statistical computing. Vienna. (available at: www.r-project.org/index.html)

6. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kB) / P. J. Reimer, W. E. N. Austin, E. Bard [et al.] // Radiocarbon. 2020. V. 62, № 4. P. 725–757.
7. Бляхарчук Т.А., Пупышева М.А. Динамика растительного покрова и пожаров Горной Шории (Северный Алтай) в позднем голоцене: по палеоэкологическим данным торфяника Малый Лабыш // Сибирский экологический журнал. 2022. Т. 29, № 2. С. 133–146.
8. Кирпотин С.Н., Березин А.Е., Семенова Н.М. [и др.] Западная Сибирь как природный коллайдер: климаторегулирующая функция водно-болотных угодий / // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы шестого международного полевого симпозиума. Ханты-Мансийск, 28 июня – 08 июля 2021 г. Томск: Издательство Томского университета, 2021. С. 23–26.
9. Пупышева М.А., Бляхарчук Т.А. Реконструкция локальных пожаров на примере торфяных отложений болота Моховое (Северный Алтай) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2023. № 8: Экологические исследования. С. 90–93.
10. Пупышева М.А., Бляхарчук Т.А. Позднеголоценовая динамика пожаров в лесостепной зоне Западной Сибири (на примере Николаевского ряма) // География и природные ресурсы. 2024. № 1. С. 54–61.
11. Пупышева М. А. Реконструкция динамики пожаров в Западной Сибири с позднеледниковья до современности на фоне изменения климата и растительного покрова : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук : 1.6.21 / Пупышева Мария Александровна ; науч. рук. Бляхарчук Т. А.; Ин-т мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Томск: [б. и.]. 2025. URL: http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/koha:001265580

Реконструкция динамики пожаров в тундровой и таежной зонах Западной Сибири в голоцене по данным анализа озерно-болотных отложений

Пупышева М.А.[1], Шефер Н.В[2]

[1] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, 455207@mail.ru

[2] Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

Введение. С конца XX века на территории России наблюдается увеличение пожарной активности. Для территории Сибири регистрируется до 70% пожаров от их ежегодного числа, и, согласно прогнозам, к концу века ожидается увеличение пожароопасных дней (Malkanova, Ponomarev, 2025). В связи с этим возникает необходимость в определении фонового уровня пожаров для моделирования будущих пожароопасных ситуаций. Для этого необходимы данные о долговременной динамике пожаров с учетом ландшафтно-климатических особенностей территории. В качестве объекта исследования рассматриваются тундровая и таежная зоны Западной Сибири, характеризующиеся высокой уязвимостью экосистем. Для реконструкции палеопожаров используются методы микро- и макроуголькового анализов озерно-болотных отложений (Mooney, Tinner, 2011). Выявленные в отложениях частицы микро- и макроугольков являются прямыми индикаторами пожаров. Целью настоящей работы является комплексная реконструкция пространственно-временной динамики пожаров на территории тундровой и таежной зон Западной Сибири в голоцене для выявления их пространственно-временных изменений.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования мы выбрали 4 ключевых участка, расположенные разных природных зонах Западной Сибири (табл.).

Таблица. Ключевые участки исследования

Природная зона	Участок	Регион	Глубина отложений, см	Возраст отложений, кал.л.н.
Субарктическая тундра	Болото СКТ-15-3D Болото СКТ-21	ЯНАО	400 48	11200 3400
Северная тайга	Болото СКН-21-3	ЯНАО	172	8700
Средняя тайга	Озеро S14	ХМАО	231	11900
Южная тайга	Озеро Щучье	Томская область	346	13200

Датирование образцов выполнялось радиоуглеродным методом жидкостной сцинтилляции в лаборатории ИМКЭС СО РАН, методом ускорительной масс-спектрометрии в Национальном университете Тайваня и в радиоуглеродной лаборатории г. Познань (Польша) (Шефер и др., 2023; Шефер, Бляхарчук, 2023; Shefer et al., 2024; Pupysheva, Blyakharchuk, 2024; Blyakharchuk et al., 2025). В качестве материала для датирования использовались образцы торфа или озёрного сапропеля. Для всех полученных 32 радиоуглеродных дат выполнена калибровка в программном пакете ‘rbacon’ (Blaauw, Christen, 2011) в пространстве R (R Core Team, 2020) с использованием калибровочной кривой «IntCal20» (The IntCal20…, 2020). На основе калиброванных значений возраста в системе счисления «от настоящего времени» (за нулевую точку отсчета принят 1950 г.) построены глубинно-возрастные модели отложений для всех изученных разрезов и рассчитан календарный возраст каждого образца торфяных или озерных колонок.

Для реконструкции локальной истории палеопожаров использовался метод макроуголькового анализа торфяных и озерных отложений. Основные этапы физико-химической обработки образцов представлены в работе (Mooney, Tinner, 2011). Статистическую обработку полученных макроугольковых данных проводили с использованием программы CharAnalysis (Higuera, 2009) в пространстве R (R Core Team, 2020). В качестве хронологической основы использовались данные глубинно-возрастных моделей рассматриваемых отложений. Макроугольковые данные получены для болота СКТ-21 (монолит), озер S14 и Щучье. Для болот СКТ-15-3D (керн), СКН-21-3 реконструирована динамика региональных пожаров на основе микроуголькового анализа. Локальная динамика пожаров для данных участков восстановлена по наличию в отложениях непыльцевых палиноморф (нпп) (*Gelasinospora* sp.). Полученные данные по динамике пожаров были сопоставлены с ранее опубликованными палеоэкологическими результатами для исследуемых ключевых участков.

Результаты и обсуждение. В пребореальном периоде голоцена (РВ) для отложений тундровой и таежной зон Западной Сибири,отмечены максимальные концентрации микро- и макроуглей. Столь значительные концентрации угольков свидетельствуют о высокой пирогенной активности, однако необходимо отметить, что наблюдаемые концентрации угольковых частиц несколько завышены и могут быть следствием особенностей озерного осадконакопления, со значительно большей в сравнении с болотами, площадью водосбора. В районе болота СКТ-15-3D максимум региональных и локальных пожаров отмечен в интервале 11200–10700 кал. л. н. Растительный покров в это время был представлен редколесьем из березы пушистой и лиственницы с зарослями кустарников и лугами (Шефер и др., 2023; Shefer et al., 2024). В пределах озера S14 реконструирован максимум пожарной активности 11500-10400 кал. л. н (до 7 частиц на $см^2$/год) при доминирующей роли лиственнично-еловых редколесий и лугов. Выделены локальные пожарные эпизоды – 11400, 11200, 10600 кал. л. н. (Pupysheva, Blyakharchuk, 2024). В районе озера Щучье пик пожарной активности отмечен 11700, 11200 кал. л. н. (до 5 частиц на $см^2$/год) при преобладании кустарниково-березовой лесостепи в растительном покрове (Blyakharchuk et al., 2025).

В бореальном периоде голоцена (ВО) для ключевого участка СКТ-15-3D реконструированы пожары как на локальном, так и региональном уровнях 10500, 9000 кал. л. н. (Shefer et al., 2024). В средней тайге в районе озера S14 наиболее интенсивные пожары произошли в период 9800-9500 кал. л. н. Единичные локальные пожары возникали 10250, 9800, 9500 кал. л. н. (Pupysheva, Blyakharchuk, 2024), но они были менее интенсивными по сравнению с РВ. Это могло быть вызвано увеличением обилия осадков и активизацией процессов заболачивания в Западной Сибири. В южнойтаежной подзоне в близи озера Щучье реконструированы локальные пожары 9400, 8900 кал. л. н. (Пупышева, 2025). Во всех ключевых участках отмечена преобладающая роль березы в составе растительного покрова.

В атлантическом периоде голоцена (АТ) в районе болота СКТ-15-3D реконструированы локальные (8200, 8100 кал. л. н.) и региональные пожары (8100, 7900, 7600, 7300, 6900, 6500, 6100 кал. л. н.). В это время заметно увеличилось участие березы в растительном покрове (Shefer et al., 2024). В северной тайге в районе болота СКН-21-3 отмечен пик пожарной активности 8700-7800 кал. л. н., о чем свидетельствует наличие микроугольков и *Gelasinospora sp.* в отложениях. В в этот период здесь наблюдался максимум участия березы. По мере наступления атлантического оптимума голоцена, пожарная активность стала снижаться. Для среднетаежной подзоны

реконструированы локальные пожары 7500, 7000, 6100 кал. л. н. (до 0,5 частиц на см^2/год) при преобладании елово-сосново-березовых лесов в растительном покрове (Pupysheva, Blyakharchuk, 2024). В южной тайге локальные пожары отмечены 8200, 7550, 6700, 5650 кал. л. н., при этом период высокой пожарной активности здесь отмечен 5800-5500 кал. л. н. В это время здесь произрастали березово-пихтово-кедровые и сосновые леса (Blyakharchuk et al., 2025). Во всех ключевых участках отмечено влияние атлантического оптимума голоцена на общее снижение интенсивности пожаров в регионе.

В суббореальном периоде голоцена (SB) в южной тундре реконструирована пожарная активность на региональном (5300, 5000, 4900, 4700 кал. л. н.) и локальном (3200, 2900, 2700, 2600 кал. л. н.) уровнях. Максимум пожарной активности здесь отмечен 2900 кал. л. н. в при значительном участии берез, ели и сосны в растительном покрове (Шефер и др., 2023). Для ключевого участка северной тайги характерно снижение интенсивности пожаров, сопровождаемое уменьшением роли берез в древесном ярусе растительных сообществ. В районе озера S14 отмечены пожары 5100, 4500, 3800, 3200, 3000 кал. л. н., однако их интенсивность была крайне низой (до 0,2 частиц на см^2/год). В растительном покрове доминировали березово-сосновые леса с примесью кедра (Pupysheva, Blyakharchuk, 2024). В пределах южной тайги в окрестностях озера Щучье реконструирована низкая интенсивность пожаров 5050, 4800, 2750 кал. л. н. (до 1,1 частиц на см^2/год). В это время здесь увеличилось участие сосны в древесном ярусе растительных сообществ (Blyakharchuk et al., 2025).

В субатлантическом периоде голоцена (SA) в пределах болота СКТ-21 наблюдалось увеличение пожарной активности: 2600, 2300, 2000, 1600, 1500, 1300, 1200, 1100, 600 кал. л. н. При этом пик пожаров отмечен 2300 кал. л. н. (до 4,2 частиц на см^2/год) (Шефер и др., 2023). Для северной тайги характерно увеличение пожарной активности за последние 500 кал. л., что вероятно связано с антропогенной деятельностью на территории региона. В средней тайге отмечены частые, но низкоинтенсивные пожары (2600, 2000, 1500, 1150, 850, 490, 300 кал. л. н.). В южной тайге локальные пожары произошли 1200, 1050 кал. л. н. (за последние 1000 кал. л. отстутствуют данные) (Пупышева, 2025).

Заключение. В пребореальном периоде голоцена выявлена максимальная пожарная активность для изученных территорий. Отмеченная для этого периода максимальная скорость накопления угольков в отложениях, вероятно завышена и является отражением особенностей озерного осадконакопления. С бореала резко снизилась пирогенная активность, вероятно, в связи с активизацией болотообразования в Западной Сибири. Атлантический оптимум голоцена также повлиял на снижение интенсивности пожаров, однако не способствовал их полному предотвращению. Средневековая климатическая аномалия проявилась на всех участках в виде серии пожаров. Для ключевого участка северной тайги установлено возможное антропогенное влияние на динамику пожаров за последние 500 кал. л.

Благодарности. Исследование в тундре и северной тайге выполнены в НИ ТГУ в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2024-0006). Исследование в средней и южной тайге выполнено в рамках госзадания ИМКЭС СО РАН № FWRG-2026-0007.

Список литературы

1. Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process. Bayesian Analysis. 2011. №6. P. 457–474

2. Blyakharchuk T.A., van Hardenbroek M., Pupysheva M.A., Kirpotin S.N., Blyakharchuk P.A. Late Glacial and Holocene history of climate, vegetation landscapes and fires in South Taiga of Western Siberia based on radiocarbon dating and multi-proxy palaeoecological research of sediments from Shchuchye Lake // Radiocarbon. 2025. V. 67. №. 1. P. 1-24.
3. Malkanova A. V., Ponomarev E. I. Spatiotemporal Variability of Forest Burning Characteristics in Siberia // Russian Meteorology and Hydrology. 2025. V. 50. №. 5. P. 437-448.
4. Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A. The impact of wildfires on the dynamics of vegetation cover in the middle taiga subzone of Western Siberia during the Holocene // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2024. Т.15, вып.3. с. 200–210.
5. R Core Team 2020 R: a language and environment for statistical computing; R foundation for statistical computing. Vienna. (available at: www.r-project.org/index.html)
6. Shefer N.V. The most comprehensive history of fire activity in the Pur-Taz interfluve over the last 11,000 years (Western Siberia, Russia) / N. V. Shefer, S. V. Loiko, I. V. Krickov, A. G. Lim // Acta Biologica Sibirica. 2024. V. 10. P. 1755–1777.
7. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kB) / P. J. Reimer, W. E. N. Austin, E. Bard [et al.] // Radiocarbon. 2020. V. 62, № 4. P. 725–757.
8. Пупышева М. А. Реконструкция динамики пожаров в Западной Сибири с позднеледниковья до современности на фоне изменения климата и растительного покрова : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук : 1.6.21 / Пупышева Мария Александровна ; науч. рук. Бляхарчук Т. А.; Ин-т мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Томск: [б. и.]. 2025. URL: http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/koha:001265580
9. Шефер Н. В. Бляхарчук Т. А., Лойко С. В., Шумиловских Л. С., Гуреева И. И. История растительности и пожаров арктической части Пур-Тазовского междуречья в голоцене. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Т. 69. № 2. С. 244–263.
10. Шефер Н.В. Реконструкция развития озерно-болотной системы субарктической части Пур-Тазовского междуречья по данным палинологического изучения торфяного керна. / Н.В. Шефер, Т.А. Бляхарчук // Болота Северной Евразии: биосферные функции, разнообразие и управление: тезисы докладов международного симпозиума. Петрозаводск, 25–28 сентября 2023 г. Петрозаводск, 2023. С. 103.

Отражение мультидекадных климатических изменений среднего-позднего голоцена в отложениях малых озер Приморья

Разжигаева Н.Г.[1,2], Ганзей Л.А.[1], Гребенникова Т.А.[1], Мохова Л.М.[1], Белянин П.С.[1],Копотева Т.А.[3], Климин М.А.[3]

[1] Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, nadyar@tigdvo.ru

[2] Институт географии РАН, г. Москва

[3] Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

Введение. Малые озера на морском побережье, возникшие на месте лагун, весьма чувствительно реагировавшие на короткопериодные климатические изменения, являются информативными объектами для реконструкций природной среды в голоцене. Как правило, эти водоемы быстро реагировали на изменение интенсивности процессов, происходивших в системе "континент-океан-атмосфера", включая изменчивость температурного режима, количество атмосферных осадков и штормовую активность, связанную с прохождением глубоких циклонов и тайфунов. Развитие озер во многом определялось колебаниями уровня моря, влиявшими на ход литодинамических процессов в береговой зоне, определявших связь озер с морем и изменение уровня грунтовых вод на побережье. Цель работы – восстановить эволюцию ряда озер на побережье Восточного и Южного Приморья и определить реакцию биотических компонентов ландшафтов прилегающей суши на разнонаправленные гидроклиматические изменения, связанные с изменением интенсивности муссонной циркуляции и активности циклогенеза в среднем-позднем голоцене, а также выявить связь с процессами, происходившими в Тихом океане.

Материалы и методы. Объектами для реконструкций выбраны палеоозера на побережье бух. Бойсмана и болота по обрамлению озер Заря и Лотос. Серия скважин была сделана с помощью ручного бура. Выполнены диатомовый, ботанический и спорово-пыльцевой анализы и установлена зольность органогенных отложений по стандартным методикам. Возраст определен по данным радиоуглеродного датирования и тефростратиграфии с использованием возрастных моделей, построенных в программе Bacon 2.2 (Blaauw, Christen, 2011). По тексту приведен календарный возраст. Химический состав вулканического стекла показал, что источником тефры являлся влк. Байтоушань. Найдена криптотефра кальдерообразующего извержения 946/947 гг. и других крупных извержений.

Результаты и обсуждение. На побережье Восточного Приморья озеро Заря за последние 5500 лет прошло 13 стадий развития: от водоема лагунного типа до небольшого водоема с заболоченными берегами. В настоящее время болото занимает большую часть котловины, мощность органогенных отложений – более 5 м. Временное разрешение реконструкций – 30–88 лет. На начальном этапе в озере накапливалась гиттия с большим количеством минеральной примеси. Скорости осадконакопления были низкими, что способствовало формированию тонких прослоев диатомитов за счет сезонных или декадных вспышек развития диатомей. Голоценовые диатомиты впервые найдены в Приморье. Изученный разрез запечатлел события, близкие к окончанию термического оптимума. Более холодный и сухой эпизод выделяется 5190–5120 л.н. – повысилось количество арктобореальных диатомей. Водоем имел связь с морем до 4860 л.н., далее развивалось пресноводное озеро с органогенным осадконакоплением. Снижение зольности указывает на уменьшение количества атмосферных осадков 4860–4380 л.н. Циклогенез стал менее активным. Начало этой стадии развития озера, в котором условия стали более благоприятными для развития арктобореальных диатомей, хорошо совпадает с глобальным холодным событием 4800–4600 л.н. (Wanner et al., 2011). Наибольшая экологическая

перестройка водоема связана с похолоданием ~4200 л.н., сопровождавшемся снижением увлажнения. Озеро сильно обмелело и начало заболачиваться, резко снизилось содержание фитопланктона, повышалось участие арктобореальных видов диатомей, образовывались осушенные участки, где развитие получали почвенные виды. В северо-восточной части котловины 4210–3930 л.н. образовалось олиготрофно-дистрофное болото. Пик почвенных диатомей указывает, что увлажнение особенно сильно уменьшилось 4210–4030 л.н. Тренд на повышение увлажнения и увеличение повторяемости частых ливней зафиксирован в развитии хорошо обводненного олиготрофно-мезотрофного болота по увеличению концентрации диатомей, роли видов-реофилов и повышению зольности с 3980–3930 л.н. Скорости осадконакопления увеличились.

Изменение величины зольности позволило выделить два этапа (5500–2180 и с 2180 л.н), отличавшихся по проявлению плоскостного смыва, вызванного сильными ливнями. Признаками прохождения наводнений являются пики зольности и рост количества диатомей, характерных для текучих вод. Более активным циклогенез был 5500–2180 л.н. с периодами снижения 4990–4600, 4540–4440, 4210–3900, 3160–3080, 2900–2560 и 2280–2240 л.н. В дальнейшем поступление терригенного материала в котловину резко уменьшилось, выделяются лишь короткие периоды, когда повторяемость наводнений увеличивалась. Признаками проявления наводнений являются пики зольности и рост количества реофилов. Со второй половины средневекового климатического оптимума и в малый ледниковый период (МЛП) гидрологический режим характеризовался частыми и резкими сменами. Увеличение обводнения произошло со второй половины XIX века, плоскостной смыв был более активным в первой половине XX в.

Выделено 20 фаз развития растительности длительностью от 670 до 120 лет, на фоне которых происходили вариации мультидекадного масштаба (Разжигаева и др., 2026). Короткопериодные гидроклиматические события отражены в структуре палиноспектров в изменениях соотношения пыльцы широколиственных и темнохвойных пород, пики которых хорошо согласуются с вариациями солнечной активности. Длительная фаза устойчивого развития кедрово-широколиственных лесов отмечена 5050–4380 л.н. Зафиксированы изменения растительности в похолодание ~4200 л.н. Распространение кедра корейского происходило, как правило, в более прохладных, влажных условиях, а снижение его участия – в фазы уменьшения увлажнения. Наибольший расцвет кедровников отмечен в похолодание 2820–2640 л.н. Темнохвойные леса получили широкое распространение в начале МЛП. Роль берез увеличилась в позднем голоцене и современных условиях. Заросли ольхи распространялись на заболоченных берегах озера при уменьшении увлажнения. В переносе спор большую роль играл плоскостной смыв. Обнаружена аллохтонная пыльца (*Cryptomeria, Fagus*), перенесенная в составе биоаэрозолей с Японских о-вов. Пыльца *Ephedra,* возможно, поступала с пыльными бурями с внутренних частей континента.

На побережье бух. Бойсмана в Южном Приморье изучено развитие двух палеоозер (Разжигаева и др., 2025). Формирование «южного» палеоозера на месте сильно распресненной лагуны произошло около 4060 л.н. Озеро прошло 10 фаз развития. На начальном этапе видовое разнообразие диатомовой флоры в озере было максимальным, хотя условия для развития диатомей нельзя считать благоприятными – концентрация створок резко снизилась. Болото на месте озера стало развиваться около 3370 л.н., что близко к началу периода длительных засух в регионе, связанных с уменьшением интенсивности летнего муссона (Chen et al., 2015). «Центральное» палеоозеро прошло 11 фаз развития за 3600 лет. Высокоразрешающие записи показали, что в данном

районе проявились два «сухих» холодных события, сопоставляемые с глобальными (2800–2600, 1700–1300 л.н.). Вторая половина малого оптимума голоцена (945–830 л.н.) была наиболее теплой, увлажнение снижалось. МЛП отличался повышенной влажностью. Изученные разрезы фиксируют ряд экстремальных событий. Найдены следы цунами, проходившего ~3200 л.н. в зимний сезон и вызвавшего взлом льда, "перемоловшего" створки диатомовых водорослей. Наибольшее количество морских диатомей, в том числе, с открытой части моря позволили выделить следы цунами 1026 г., одного из крупнейших региональных исторических событий. Периоды высокой штормовой активности совпадали с похолоданиями.

Обилие пыльцы трав (до 70%) в палиноспектрах свидетельствует о развитии на побережье открытых ландшафтов на побережье. Максимальное количество пыльцы широколиственных (до 52%) отмечено в отложениях, которые накапливались в начале позднего голоцена. Распределение пыльцы хвойных пород отражает как расширение участков темнохвойных лесов и кедровников в горах и увеличение их роли в хвойно-широколиственных лесах при похолоданиях, так и активность ветрового режима и изменение направления господствующих ветров. «Центральное» палеоозеро, закрытое увалами, являлось более «эффективной» ловушкой пыльцы хвойных – содержание ее в отложениях на 10–20% выше, чем в разрезе «южного» палеоозера, открытого к морю. Активное поступление пыльцы хвойных с горных районов на побережье возможно при северо-западных ветрах, не типичных для весенне-летнего сезона, когда происходит перестройка от зимней циркуляции на летнюю. Рост содержания пыльцы граба рассматривается как свидетельство активизации переноса южными циклонами. Особенно активный перенос пыльцы *Carpinus* происходил ~340–140 л.н.

Климатические изменения на крайнем юге Приморья восстановлены на основе анализа эволюции озера Лотос образованном ~2460 л.н. при переходе от глобального похолодания к более теплым условиям, сопоставляемым с римским потеплением. Начальный этап развития озера проходил в условиях незначительного увеличения количества атмосферных осадков. Обводнение 2430–1770 кал. л.н. зафиксировано и в развитии торфяников на побережье бух. Бойсмана. При более прохладном и сухом климате 1750–1710 л.н. заболоченный берег стал зарастать ольхой, активизировались пожары. В начале похолодания (1700–1650 л.н.) наблюдалось незначительное обводнение озера, сменившееся сильным обмелением, что фиксируется по появлению осок в береговой зоне, кратковременно (1650–1600 л.н.) на берегу развивалось осоковое болото. Небольшое обводнение озера с более активным притоком речных вод происходило 1600–1230 л.н. Развитие в озере тропического вида диатомей *Eunotia monodon* var. *tropica* показывает, что летом водоем хорошо прогревался. Наиболее контрастные изменения в развитии озера Лотос произошли 1230 л.н., когда в условиях сокращения атмосферных осадков его берега начали активно заболачиваться. Резко упало содержание планктонных диатомей. У берега начал накапливаться гипново-осоковый торф. Болото стало осоковым 860 л.н. Режим увлажнения с постоянного меняется на переменный, контрастный по сезонам. Резкое увеличение зольности торфа говорит о том, что начались наводнения, вызванные сильными тайфунами. В МЛП режим озера был неустойчивым, увеличивалась обводненность, но были и более сухие периоды, о чем свидетельствует снижение зольности торфа 800–690 л.н. и развитие почвенных диатомей.

Заключение. Эволюция изученных озер тесно связана с климатическими изменениями тысячелетнего-столетнего масштаба, на фоне которых проявлялись мультидекадные изменения разной направленности, большую роль играло изменение количества атмосферных осадков, определяемого интенсивностью летнего муссона

и активностью циклогенеза. Как правило, стадии обводнения палеоозер и болот, образованных на их месте, совпадают с короткопериодными потеплениями; снижение увлажнения происходило в более холодных условиях, исключением являлся влажный МЛП. Основным драйвером палеоклиматических смен было изменение потока солнечной радиации. На изменение климатической ситуации на юге Приморья сильно влияла крупномасштабная циркуляция атмосферы, а также процессы в Тихом океане, включая западную часть тропической зоны, где изменялись температура поверхности, повторяемость и интенсивность Эль-Ниньо и активность течения Куросио.

Благодарности. Работа выполнена в ТИГ ДВО РАН (НИР № 125021302113-3) и ИВЭП ДВО РАН (НИР № 121021500060-4), а также при финансовой поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024).

Список литературы

1. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. Запись климатических изменений в осадках палеоозер на побережье бух. Бойсмана, юг Приморья // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т. 56. № 4. С. 770-794.
2. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Мохова Л.М. Реакция растительности обрамления бухты Заря (Японское море) на мультидекадные климатические вариации за последние 5500 лет // Геосистемы переходных зон. 2026. Т. 10. № 1. С. 33-56.
3. Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. 2011. V. 6. P. 457-474.
4. Chen R., Shen J., Li C., Zhang E. et al. Mid- to late-Holocene East Asian summer monsoon variability recorded in lacustrine sediments from Jingpo Lake, Northeastern China // The Holocene. 2015. V. 25. P. 454-468.
5. Wanner H., Solomina O., Grosjean M. et al. Structure and origin of Holocene cold events // Quaternary Science Review. 2011. V. 30. P. 3109-3123.

Первые результаты изучения условий седиментации в Плещеевом озере в позднем плейстоцене и голоцене

Рудинская А.И.[1], Константинов Е.А.[1], Александрин М.Ю.[1], Бердинских Д.В.[1,2]

[1] Институт географии РАН, Москва, anna.rudinskaya@igrasl.ru

[2] ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург

Введение. Плещеево озеро — это один из крупнейших и наиболее древних водоёмов центра Русской равнины, возникший примерно 130 тысяч лет назад (Писарева и др., 1978). Имеются данные о достаточно высоких скоростях осадконакопления в этом озере (Palagushkina et al., 2018; Rudinskaya et al., 2024), что делает его отложения ценнейшим источником информации для высокоразрешающих палеогеографических реконструкций. В то же время имеющиеся сведения об истории развития озера Плещеева охватывают главным образом средний и поздний голоцен, в то время как более древние этапы остаются неисследованными. Одна из причин — технические сложности проведения буровых работ в акватории озера Плещеева, поскольку его глубина в центральной части превышает 20 м.

Материалы и методы. В марте 2025 г. в ходе совместных буровых работ сотрудников Института географии РАН и кафедры геоморфологии Института наук о Земле СПбГУ в центральной глубоководной части акватории озера Плещеева была получена непрерывная колонка донных отложений суммарной длиной 22 м с использованием оборудования UWITEC. Для этой толщи осадка в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН было выполнено фотографирование в видимом свете с помощью линейной сканирующей камеры Geoscan V, измерение магнитной восприимчивости с помощью системы Bartington MS3 и поверхностного точечного датчика Bartington MS2E, были определены характеристики донных осадков и их элементный с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра Geotek. В лаборатории палеоархивов природной среды ИГ РАН для этих отложений было выполнено измерение влажности, плотности, потерь при прокаливании и гранулометрического состава (на лазерном дифрактометре Malvern Mastersizer 3000 с приемником-диспергатором Hydro EV). Для пробной серии из 14 образцов был проведен диатомовый анализ.

Результаты. Судя по имеющимся данным о возрасте и скоростях осадконакопления в озере Плещееве в позднем голоцене (Rudinskaya et al., 2024), можно предполагать, что накопления отложений полученной 22-метровой колонки охватывает поздний плейстоцен, позднеледниковье и голоцен. Подобное предположение подтверждается и литологическим строением осадка. Верхние 6.0 м отложений, накопленные, вероятнее всего, в позднем голоцене (Palagushkina, 2018), представлены органо-минеральными илами, (до 20-30% органического вещества). Соотношение Si/Ti указывает на высокую биопродуктивность, значения Mn/Fe - на вероятные восстановительные обстановки. Видовой состав диатомовых комплексов свидетельствует о глубоководных мезотрофно-олиготрофных условия. На глубинах 6.0-11.0 м отложения представлены карбонатными илами (содержание $CaCO_3$ достигает 50-70%), предположительно относящимися к среднему голоцену. Вероятно, во время накопления этой толщи условия в озере отличались высокой биопродуктивностью. Высокое содержание диатомей-обрастелей на этом этапе может быть связано с увеличением площадей мелководий. В интервале глубин 11.0-15.5 м содержание карбонатов падает, в то время как содержание органического вещества в верхней части толщи достигает более чем 30% и затем снижается к низу слоя (синхронно с соотношением Si/Ti). Вероятная высокая биопродуктивность озера на этапе формирования этих отложений и их стратиграфическая позиция позволяет отнести их бёллинг-аллерёдскому интерстадиалу. Судя по видовому составу диатомовых комплексов в этих отложениях,

во время их накопления характеризовалось глубоководными мезотрофными условиями. Створки диатомей на глубинах ниже 14.0 м не обнаружены. В песчаных алевритах с глубин 15.5-17.7 м отмечаются признаки активного привноса обломочного материала (высокие значения медианного размера частиц, соотношения Ti/Ca, магнитной восприимчивости в верхней части слоя), биопродуктивность озера во время накопления этих отложений, судя по соотношению Si/Ti и содержанию органического вещества, была низкой. В глинистых алевритах с глубин 17.7-22.0 отмечаются признаки снижения терригенного привноса по сравнению с вышележащим слоем. Выявленные характеристики позволяют предполагать, что отложения с глубин 15.5-22.0 были сформированы в позднем пленигляциале.

Заключение. Впервые для 22-метровой толщи отложений озера Плещеева, время накопления которых предположительно охватывает поздний пленигляциал, позднеледниковье и голоцен, были получены данные о литологическом строении, гранулометрическом и геохимическом составе. Получены предварительные данные о глубине и трофическом статусе озера в позднеледниковье и голоцене.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке РНФ по проекту № 25-77-00115 «Динамика палеоэкологических обстановок Плещеева озера (Ярославская область) в позднеледниковье и голоцене», https://rscf.ru/project/25-77-00115/. Авторы выражают глубокую благодарность участникам полевых работ - сотрудникам ИГ РАН А.Л.Захарову, И.Г.Шоркунову, Р.С.Шухвостову, Р.Р.Бичурину, сотрудникам кафедры геоморфологии Института наук о Земле СПбГУ Л.А. Савельевой, Н.А. Костроминой, А.О.Аксенову, лаборанту отдела палеолита ИИМК РАН Я.Д.Иванову и сотруднику Института ботаники НАН Республики Армения Г.Б.Федорову.

Список литературы

1. Писарева В.В., Гунова В.С., Шик С.М. Древнее озеро Плещеево // История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины. СПб.: Наука, 1998. С.291-299.
2. Palagushkina O., Frolova L., Zinnatova E. et al. Diatoms of sediments of Plescheevo Lake (Russia) as indicators of environmental changes in Holocene // Proceedings of 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconferense SGEM 2018, Albena, Bulgaria, 2-8 July 2018. Sofia: STEF92 Technology Ltd, 2018. P.283-288.
3. Rudunskaya A.I., Konstantinov E.A., Shukhvostov R.S., Kuzmenkova N.V. Sedimentation rate in Lake Plescheevo in the Late Holocene // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. P. 625–629.

Озерный этап развития Беломорского бассейна в позднем неоплейстоцене

Рыбалко А.Е.[1,2,3], Савельева Л.А.[2], Пушина З.В.[1], Токарев М.Ю., Бирюк М.А.[4]

[1] ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, alek-rybalko@yandex.ru

[2] Институт наук о Земле, Санкт-Петербург

[3] Российский Государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

[4] Институт Карпинского, Санкт-Петербург

Введение Озерный этап играет большую роль в палеогеографическом развитии внутренних бассейнов Северо-Запада. Это первый этап развития послеледниковой водной системы после деградации ледника и освобождения территории ото льда. Известны реконструкции этого этапа, когда значительная часть Карелии и Ленинградской области были заняты так называемым озером Рамсея (Квасов, 1974). В настоящее время их существование в Ладожской и Онежской котловинах подтверждено геологическими данными (Аксенов и др.,2023, Палеолимнология…, 2022). Ледниково-озерный этап развития Финского залива также получил подтверждение поданным морских геологических исследований (Рыбалко и др., 2017), при этом понятно, что на каком-то этапе единое приледниковое озеро существовало на месте существования современных Финского залива и Ладожского озера. В геологических разрезах этому этапу обычно отвечают толстослоистые ленточные супесчаные глины. Менее ясным это этап представляется для Белого моря, где близкие по текстурным особенностям ленточноподобные осадки залегают в основании надледниковых разрезов, непосредственно перекрывая моренные отложения. Эти глины хорошо выделяются на сейсмоакустических разрезах по характеру слоистой записи, но в большинстве разрезов, полученных при пробоотборе в них установлено наличие солоновато-водных или даже морских диатомей (Мануйлов и др., 1981, Рыбалко и др., 2017). Проблему развития беломорского бассейна по мере отступания ледника из впадины Белого моря мы и хотим обсудить в настоящем докладе.

Геолого-геофизические данные о возрасте и характере слоистых надледниковых отложений. В классической сейсмостратиграфической схеме четвертичных отложений ледниковые образования с несогласием перекрываются толщей слоистых осадков, которые диагностируются как толща флювиогляциальных, ледниково-озерных и ледниково-морских отложений, развитие которых происходило главным образом на завершающих этапах осташковского времени (Рыбалко и др., 2017). Иногда по характеру слоистости в основании этой толщи выделяется пачка ледниково-озерных глин (Старовойтов и др., 2022), однако это предположение не нашло отражения в данных геологического пробоотбора.

Наиболее достоверно ледниково-озерные глины выделены в южной части Онежского залива. Небольшая по мощности (первые метры) пачка песчанистых толстослоистых (мощность ритма составляет 15-20 мм, которая вверх по разрезу сменяется мощностью в 5-4мм) ленточных глин непосредственно перекрывает размытую кровлю морены. По данным спорово-пыльцевого анализа (Е.А.Спиридонова) и палеомагнитных измерений (В.В. Кочегура) эти отложения были условно отнесены к охтинскому межстадиалу, т.е имеют возраст 13-14 т.л н (радиоуглеродные возраст). В описываемых глинах диатомовые не были обнаружены, но севернее, в районе острова Жужмуй (южнее Соловецкого архипелага), где время формирования первых приледниковых бассейнов оценивается как средний дриас, в перекрывающих их слоистых осадках были обнаружены Е.А. Кириенко единичные фораминиферы Cossidulina subacuta (Рыбалко и др., 1987).

Принципиальное значение имело изучение позднеледниковых отложений чуть южнее о-ва Большой Соловецкий, где в аллередских отложениях, в их нижней

части присутствовали только пресноводные диатомеи, такие как Aulacosira ambiqua, Stephanodiscus dubius, var. Articus, которые характерны для ледниково-озерных отложений. В отложениях верхнего дриаса эти диатомовые сменяются сублиторальным, арктбореальным солоноватоводным комплексом диатомовых с преобладанием Coscinodiscus lacustis var.septentrionalis, Chaetoceras holtsalticus, что может указывать на сильно опресненный, но уже ледниково-морской бассейн, который начал формироваться на ранних стадиях трансгрессии Портляндия. При этом, в осадках севернее Соловецких островов, в верхнедриасовых отложениях появляются уже чисто морские диатомовые (Гей и др.1988).

Таким образом, можно представить, что впервые приледниковый пресноводный бассейн с накоплением ленточных песчанистых глин, появился в самой южной части Онежского залива, когда край ледника предположительно начал отступать с Лямицкого краевого комплекса. Возраст этого бассейна был 13-14 тыс.т.т.н (радиоуглеродные данные). В среднем дриасе этот приледниковый бассейн достиг линии о-в Жужмуй - м. Чесменский, а уже в аллереде существовал в районе Соловецкого архипелага. В позднем дриасе сюда начали проникать воды трансгрессии Портляндия.

Полученные нами данные по Соловецко-Анзерской лагуне в 2023 году свидетельствуют, что уже в пребореальное, а также в бореальное время здесь существовал морской бассейн. В отобранной на Анзерском плесе колонке в ее основании, для которой по данным СПА был определен бореальный возраст (Рыбалко и др., 2025), З.В Пушиной был выделен диатомовый комплекс с преобладанием морских неритических аркто-бореальных *Thalassiosira angulata* (до 48% от общего состава комплекса), *T. eccentrica* (до 5%), *T. gravida* (до 3%), виды рода *Chaetoceros* (до 24%), *Thalassionema nitzschioides* (до 13%), из сублиторальных заметны *Paralia sulcata* (до 23%), виды рода *Grammatophora* (до 9%). Присутствие арктических видов (до 5% - *Detonula confervacea* до 2% и др.) и относительно тепловодных тоже с такой же долей до 5% (*Coscinodiscus radiatus* до 1% и др.) отражает относительно холодноводные условия осадконакопления, что позволяет сопоставить время накопления вмещающих осадков с трансгрессивной фазой Тапес II.

Выше, в осадках атлантического-суббореального возраста выделен комплекс диатомовой флоры с относительно высоким количеством неритических морских видов, отражающих осадконакопление в трансгрессивную фазу - Тривия. В диатомовых комплексах преобладают морские и солоноватоводно-морские диатомеи, представленные тихопелагическим *Paralia sulcata* (до 54%), неритическими видами рода *Chaetoceros* (до 11%), *Thalassiosira angulata* (до 10%). Присутствие относительно тепловодных видов до 8% (*Coscinodiscus asteromphalus*, *C. perforatus*, *C. radiatus*) (Джиноридзе, 1971, Полякова и др., 2017) отражает более оптимальные условия развития диатомовой флоры в период климатического оптимума. Именно в этом интервале, по нашим данным, отмечался расцвет фауны гребешков, а температура воды в это время превышала современную на 2-3 градуса (Рыбалко и др, 2025). Эти данные полностью совпадают с материалами более ранних стратиграфических исследований ВСЕГЕИ (Мануйлов и др., 1981), которые также подтверждают установление наиболее теплых условий во второй половине голоцена.

Вдоль Терского побережья Кольского полуострова наиболее древними установленными отложениями верхнего неоплейстоцена являются аллередские. Обедненный диатомовый комплекс появляется только в отложениях позднего дриаса, который состоит из холодноводных аркто-бореальных видов, обитающих на незначительных глубинах при пониженной солености. Характерным видом является *Coscinoscus lacustris* var. *septenfrionalis* Grin. - эвригалинная форма, обитающая на мелководьях вблизи

кромки льда. Это указывает на то, что еще на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена ледниковый покров хотя бы частично сохранялся на берегах Кольского полуострова, по крайней мере, в районе течения реки Варзуги. (Джиноридзе и др., 1979). В Кандалакшском заливе, где в ряде колонок были установлены осадки среднедриасового возраста, в разрезах аллередского возраста появляются солоноватоводные диатомеи и даже морской вид *Melosira sulcata*. Следовательно, начиная с аллереда, морские воды начинают проникать на северо-запад Белого моря.

Проведенные в 2021-2022 году высокоразрешающие сейсмоакустические исследования показали, что толща надледниковых слоистых отложений имеет сложный характер и по текстурным особенностям может быть разделена на две или даже три толщи (Рыбалко и др., 2025). При этом наиболее глубокие из них до сих пор не могут быть обследованы с помощью грунтовых трубок. Возможно, именно базальные пачки и сложены варвами первых приледниковых бассейнов.

Выводы. Анализ полученных в настоящее время данных и материалов результатов прошлых лет показывает, что первые приледниковые бассейны возникли 12-14 тыс.л.н. в Онежском заливе. Достаточно близко, вероятно, и время формирования подобных бассейнов в глубоководной части Кандалакшского залива. После прорыва баренцевоморских вод в аллереде через Горло Белого моря они достигли Онпежского залива в позднем дриасе и в начале голоцена морской режим установился здесь полностью. Вдоль северного берега и в Кандалакшский залив морские воды проникли раньше, вероятно, уже в аллереде и пресноводный приледниковый бассейн здесь закончился уже к началу аллереда. Однако близость остаточного ледника на Кольском полуострове способствовала тому, что переходный ледниково-морской режим существовал здесь до конца бореального времени.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206

Список литературы

1. Аксенов А. О., Рыбалко А.Е.,Науменко М.А. и др. Строение рельефа котловины ладожского озера по результатам интерпретации сейсмоакустических и батиметрических данных. Геоморфология и палеогеография, 2023, Т. 54, № 4, С. 26-39
2. Гей Н.А., Джиноридзе Р.Н., Рыбалко А.Е. и др. Стратиграфия позднеплейстоценовых и голоценовых отложений Онежского залива - Вест. ЛГУ, 1988, сер. 7. вып. 4, с. 65-72.
3. Джиноридзе Р.Н. Диатомовые водоросли из донных осадков Белого моря в связи с его историей в голоцене. Автореф. канд. диссертации. Л.: ЛГУ, 1971, 24с.
4. Джиноридзе Р.Н. Калугина Л.В., Рыбалко А.Е. и др. Стратиграфия верхнечетвертичных отложений северной части Белого моря. В кн.: Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. М.: Наука, 1979, с.34-39.
5. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: изд-во Наука,. 1974. 278 с.
6. Мануйлов С.Ф., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А. и др. Стратотип позднеплейстоценовых и голоценовых отложений Соловецкого шельфа Белого моря // Палинология плейстоцена и голоцена. Л.: изд-во ЛГУ, 1981, с. 116-134
7. Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям (ответственный редактор Д. А. Субетто). Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2022. 331 с
8. Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Лисицын А.П. и др. Современные данные по биостратиграфии и геохронологии донных осадков Белого моря. ДАН. 2014. Т. 454. № 4. С. 467–473.
9. Рыбалко А.Е., Журавлев В.А., Семенова Л.Р. и др.. Четвертичные отложения Белого моря и история развития современного Беломорского бассейна в позднем неоплейстоцене-голоцене. // Система Белого моря. Т.IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017, С.16–84
10. Рыбалко А.Е., Репкина Т.Ю., Корсакова О.П. и др. Соловецкий архипелаг в позднем неоплейстоцене–голоцене: корреляция данных морских и наземных исследований. ДАН, 2025, Т 525, № 2, С. 185–193

11. Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Спиридонова Е.А. и др. Четвертичные отложения Онежского залива и основные черты его палеогеографии в плейстоцене-голоцене. // Комплексные морские геолого-геофизические исследования внутренних морей гляциального шельфа. Л.: ВСЕГЕИ, 1987, С 38-52.
12. Рыбалко, А.Е., Токарев, М.Ю., Рябчук, Д.В. и др. Новые данные о строении четвертичного покрова Кандалакшского залива Белого моря по материалам высокоразрешающего сейсмического профилирования. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 2025, №70 (1), С. 143–165
13. Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Замотина З.С. и др. Роль ледникового и литодинамического факторов в формировании осадочного чехла пролива Великая Салма (Белое море) // Вестник МГУ. Серия Геологическая. 2022. № 1. С. 62–70.

Результаты хирономидного анализа оз. Новожилово (Пермское Прикамье)

Самаркина А.А,[1] Сырых Л.С.[2], Назарова Л.Б.[3], Санников П.Ю.[1]

[1]Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, alya.samarkina.01@mail.ru
[2]Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург
[3] Институт биофизики Сибирского отделения РАН, Красноярск

Введение. В последние годы изучение климатических изменений является одной из ключевых задач современной науки. Для реконструкции условий прошлого широко используются природные архивы, в том числе донные отложения озер, сохраняющие сведения о многовековой динамике климата и окружающей среды (Субетто и др., 2017). Одним из эффективных методов палеоклиматических исследований является хирономидный анализ, основанный на изучении хорошо сохраняющихся в осадках головных капсул хирономид. Состав сообществ хирономид позволяет реконструировать изменения температуры и экологических условий в прошлом (Назарова и др., 2015, 2018).

К числу важных палеоархивов Пермского Прикамья относятся озерные отложения Камско-Кельтминской низменности. Первые итоги их исследования с применением радиоуглеродного, гранулометрического, палинологического и диатомового анализов уже представлены в научных публикациях (Kopytov et al., 2024).

Материалы и методы. Озеро Новожилово расположено на севере Пермского края, в пределах Камско-Кельтминской низменности. В январе 2023 г. с помощью поршневого бура Ливингстона из скважины NZH-1 была извлечена колонка донных отложений мощностью 5,2 м (Kopytov et al., 2024). Из колонки было отобрано 54 образца для хирономидного анализа.

Обработку проб рыхлых отложений проводят по стандартной методике (Brooks et al., 2007). Определение таксономического состава проведено по специализированным определителям (Brooks et al., 2007). Для оценки структуры сообществ были рассчитаны показатели биоразнообразия (индекс Шеннона) и выравненности (индекс Пиелоу) (Pielou, 1966; Shannon, 1948). Для выявления основных направлений изменчивости хирономидных комплексов был выполнен анализ главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) (ter Braak, 1983).

Результаты. Кластерный анализ позволил выделить четыре статистически значимые зоны, отражающей тренды изменения видового состава хирономид:

Зона I (14,1-12,8 тысяч калиброванных лет назад (тыс. кал. л.н.). Период характеризуется малым видовым разнообразием. Преобладает таксон *Microtendipes pedellus-type*. Обнаружен холодноводный таксон *Sergentia coracina-type*, а также профундальный таксон *Chironomus anthracinus-type*.

Зона II (12,7-9,0 тыс. кал. л.н.). В этот период повышается видовое разнообразие и фиксируется смена доминантных таксонов хирономид: *M. pedellus-type* замещен *Corynocera ambigua*, *Tanytarsus pallidicornis*-type 1.

Зона III (8,8-3,2 тыс. кал. л.н.). Фауна характеризуется преобладанием теплолюбивого *Dicrotendipes nervosus*-type. Доминантный *Corynocera ambigua* заменяется *M. pedellus-type*. Появляются фитофильные таксоны *Pseudothocladius, Limnophyes-Paralimnophyes*, *Corynoneura lobata-type*, *Chironomus plumosus-type*. Для периода характерно максимальное видовое разнообразие

Зона IV (3,2-0,6 тыс. кал. л.н.). В этот период доминантный таксон *Microtendipes pedellus* сменяется таксоном-убиквистом *T. pallidicornis*-type 1. Появляются *Pagastiella*, *Phaenopsectra flavipes-type*, *Paratanytarsus*. Увеличивается содержание *Limnophyes-Paralimnophyes.*

Обсуждение. Зона I характеризует начальную стадию формирования озера в беллинг–аллерёдское время. По составу хирономид можно предположить, что водоем характеризовался нестабильными экологическими условиями. Холодноводные профундальные *Propsilocerus lacustris*-type, *S. coracina*-type развиваются параллельно с *Cryptochironomus*, *Glyptotendipes severini*-type, *Polypedilum nubeculosum*-type – индикаторами умеренно-теплых, продуктивных водоемов. Реконструированные условия показывают, что озеро в данный период представляло собой водоем с нестабильным гидрологическим режимом.

К позднему дриасу и в раннем голоцене возрастает доля мезотрофных таксонов (*Endochironomus albipennis*-type, *Tanytarsus glabrescens*-type и др.), тогда как количество олиготрофных, холодноводных форм снижается. Увеличение разнообразия и смена доминирующих таксонов свидетельствуют о потеплении климата и стабилизации экологических условий. Возрастает количество литоральных и фитофильных таксонов (*Paratanytarsus, Tanytarsus*), что указывает на развитие водной растительности и расширение мелководных участков. По температурным значениям июльского оптимума отдельных таксонов хирономид можно предположить, что в этот период климат становился теплее.

В среднем голоцене (Зона III) в составе хирономид возрастает доля мезо- и эвтрофных таксонов (*Procladius, D. nervosus*-type, *Glyptotendipes barbipes*-type), что указывает на повышение трофности водоема. Возрастает количество фитофильных таксонов, что вероятно, свидетельствует о стабилизации условий. В данный период наблюдается наибольшее таксономическое разнообразие хирономид, что вероятно свидетельствует о наиболее благоприятных климатических условиях.

В позднем голоцене наблюдается расширение мелководных участков и усиление процессов заболачивания прибрежной зоны. Высокая численность *Limnophyes–Paralimnophyes* и *Pagastiella*, связанных с мелководными и заросшими местообитаниями, указывает на нестабильный уровень воды и активное развитие прибрежной растительности. Преобладание эвтрофных и ацидофильных таксонов свидетельствует о накоплении органического вещества, повышении кислотности среды и росте трофности водоема.

Выводы. Полученные результаты показывают, что хирономидные сообщества чутко реагировали на изменения климатических условий на протяжении позднеледниковья и голоцена. Изменения таксономического состава, соотношения профундальных и литоральных форм, а также увеличение доли мезо- и эвтрофных таксонов отражают постепенное потепление климата и рост биологической продуктивности водоема.

Максимальное видовое разнообразие хирономид отмечается в среднем голоцене, что свидетельствует о наиболее благоприятных условиях среды. В это время широко распространяются литоральные и фитофильные таксоны, связанные с развитой водной растительностью и повышением трофностью озера. Подобные изменения хорошо согласуются с представлениями о голоценовом климатическом оптимуме (Cartapanis et al., 2022).

Список литературы

1. Назарова Л.Б., Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д., Сырых Л.С. Палеоэкологические и палеоклиматические реконструкции голоцена по результатам хирономидного анализа донных отложений оз. Глубокое // Доклады академии наук. 2015. Т. 460(6). С. 736-739. https://doi.org/10.1134/S0012496615010172

2. Назарова Л.Б., Субетто Д.А., Сырых Л.С., Греков И.М., Леонтьев П.А. Реконструкция палеоэкологических и палеоклиматических условий позднего плейстоцена и голоцена по результатам хирономидного анализа донных отложений оз. Медведевское (Карельский перешеек) // Доклады Академии Наук, 2018, 480(5), С. 568-572.
3. Субетто Д.А., Назарова Л.Б., Пестрякова Л.А., Сырых Л.С., Андроников А.В., Бискаборн Б., Дикманн Б., Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д., Греков И.М. Палеолимнологические исследования озёр северной Евразии. Обзор исследований. // "Сибирский экологический журнал". № 4. 2017. С. 369-380. https://doi.org/10.15372/SEJ20170401
4. Brooks S.J., Birks H.J.B. Chironomidae (Insecta: Diptera) // Global change in the Holocene. London: Arnold, 2003. P. 328-341.
5. Brooks, S.J., Langdon, P.G., Heiri, O. The Identification and Use of Palaearctic Chironomidae Larvae in Palaeoecology. Technical Guide. No. 10. Quaternary Research Association, London, 2007. 276 p.
6. Cartapanis O., Jonkers L., Moffa-Sanchez P. Complex spatio-temporal structure of the Holocene Thermal Maximum // Tature communications. 2022. Vol. 13. https://doi.org/10.1038/s41467-022-33362-1
7. Kopytov S.V., Zaretskaya N.E., Konstantinov E.A., Lapteva E.G., Sannikov P.Yu., Sychev N.V., Mekhonoshina E.A. Palaeoenvironment of the Upper Kama Region during the Late Glacial and Early Holocene (Novozhilovo Lake Sediments Case Study) // Doklady Earth Science. 2024. Vol. 519. Part 2. P. 2208-2216. https://doi.org/10.1134/S1028334X24603341
8. Pielou E.C. The Measurement of Diversity in Different Types of Biological Collections // Journal of Theoretical Biology. 1966. Vol. 13. P. 131-144. https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0
9. Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. P. 379-423.
10. ter Braak C.J.F. Principal Components Biplots and Alpha and Beta Diversity // Ecology. 1983. Vol. 64 (3). P. 454-462.

Растительность Борисоглебской возвышенности в финальном пленигляциале и позднеледниковье: первые результаты палинологического исследования отложений Сарского болота

Самусь А.В., Захаров А.Л., Константинов Е.А.

Институт географии РАН, Москва, avsamus@igras.ru

Введение. Сарское болото расположено на Борисоглебской возвышенности в Ярославской области, в котловине размерами 1,8 км на 2,5 км и глубиной 35–40 м, к югу от границы поздневалдайского оледенения. В позднем пленигляциале и позднеледниковье здесь существовал небольшой водоем, в котором накапливались озерные осадки. Отложения озер, особенно непроточных и слабопроточных, отличаются высокой концентрацией и хорошей сохранностью пыльцы и спор, а также характеризуются стабильным осадконакоплением с устойчивыми скоростями аккумуляции. Это делает разрез Сарского болота ценным объектом для палеоботанических реконструкций позднего плейстоцена.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования является колонка Gat-6a длиной 19,35 м, полученная в центральной части Сарского болота с помощью озерного поршневого бура Ливингстона. Для колонки методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) получена серия из 28 радиоуглеродных дат. Датирование выполнено в двух лабораториях: в Радиоуглеродной лаборатории национального центра ускорительной масс-спектрометрии им. Андре Э. Лалонда (Оттава, Канада) и в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН (измерение – в Центре изотопных исследований Университета Джорджии, США). Калибровка дат выполнена с помощью программы OxCal20 (Reimer et al., 2020). В программном пакете rbacon построена модель глубина–возраст.

Лабораторная пробоподготовка для пыльцевого анализа включала в себя обработку 10% раствором HCl, кипячение в 10% растворе KOH, сепарацию тяжелой жидкостью плотностью 2,25 г/см³ (Гричук, Заклинская, 1948) и ацетолиз (Мазей, Новенко, 2021).

Спорово-пыльцевой анализ отложений Сарского болота проводился с шагом 25 см под бинокулярным микроскопом при увеличении 400х. Для статистической надежности в каждом образце определялось и подсчитывалось не менее 300 пыльцевых зерен и спор. Дополнительно анализировались непыльцевые палиноморфы. Обработка данных и визуализация результатов осуществлялись с использованием программ TILIA и TILIA*GRAPH (Grimm, 1990). Процентное содержание пыльцевых зерен и спор рассчитывалось от суммы пыльцы наземных растений. Для выявления основных этапов смены растительности применялся кластерный анализ (CONISS).

Результаты. На спорово-пыльцевой диаграмме отложений колонки Сарского болота выделено 5 локальных пыльцевых зон (ЛПЗ).

Временное разрешение в интервале 19–16 тыс. кал. л.н. в пыльцевой летописи Сарского болота составило около 100–150 лет. Спорово-пыльцевые спектры ЛПЗ 1 (19–17,2 тыс. кал. л.н.) и ЛПЗ 2 (17,2–16,1 тыс. кал. л.н.) довольно схожи между собой. Преобладает пыльца трав и кустарничков (80–87%). Группа пыльцы трав очень разнообразна и включает в себя растения более 20 семейств. Доминирует пыльца злаков (20–32%) и полыни (10–36%). В палинофлоре отмечена пыльца растений из разных эколого-фитоценотических групп: криофиты (например, *Betula* sect. *Nanae, Alnus fruticosus, Selaginella selaginoides*), галофиты (Plumbaginaceae), ксерофиты (*Ephedra, Eurotia ceratoides*), гелиофиты (*Helianthemum, Hippophae rhamnoides*), степные и луговые растения, виды нарушенных грунтов (*Cannabis, Plantago* и др.), водные и прибрежно-водные травы. В группе деревьев и кустарников встречается пыльца ели, сосны, сибирского кедра, березы, ольхи; изредка – лиственницы, пихты,

можжевельника, смородины и калины. В палиноспектрах регулярно присутствует пыльца широколиственных пород (особенно в ЛПЗ 1), а также дочетвертичные споры и споры грибов *Glomus*, что свидетельствует о переотложении пыльцы и спор из более древних осадков при развитии эрозионных процессов на водосборе озера в условиях разреженной растительности.

В спектрах ЛПЗ 3 (16,1–14,5 тыс. кал. л.н.) фиксируется подъем кривой пыльцы древовидной березы (до 30–50%), за счет которого увеличивается и процентное содержание пыльцы деревьев и кустарников (50–65%). Спорово-пыльцевые спектры ЛПЗ 4 (14,5–13,0 тыс. кал. л.н.) характеризуются увеличением доли пыльцы ели (до 25–30%), а в палиноспектрах ЛПЗ 5 (13,0–11,7 тыс. кал. л.н.) отмечается второй максимум пыльцы древовидной березы (25–45%), который сопровождается максимумом пыльцы полыни (10–28%).

Обсуждение результатов и выводы. Полученные данные указывают на господство перигляциальной степи в интервале 19–16,1 тыс. кал. л.н., сочетавшей в себе как криофильные, так и ксерофильные элементы. О преобладании открытых пространств свидетельствует постоянное наличие в палиноспектрах пыльцы гелиофитов и высокое разнообразие пыльцы трав. Присутствие пыльцы галофитов позволяет предполагать распространение вечной мерзлоты (наличие мерзлоты препятствует выносу легкорастворимых солей в более глубокие горизонты почвы). Отдельные группы морозостойких деревьев (лиственница, кедр, береза, ель) могли сохраняться лишь в наиболее защищенных местообитаниях. Сходство спектров ЛПЗ 1 и ЛПЗ 2 при высоком временном разрешении (100–150 лет) позволяет заключить, что растительный покров оставался практически неизменным на протяжении около 3000 лет. Это указывает на устойчивость перигляциальных ландшафтов в условиях сурового климата финального плениглациала.

Временное разрешение пыльцевой летописи для позднеледниковья невысокое (в среднем около 500 лет), что позволяет сделать общие выводы об изменении растительного покрова. Подъем кривой пыльцы древовидной березы после 16,1 тыс. кал. л.н. может свидетельствовать о локальном присутствии березы в регионе, однако перелески могли занимать только места с лучшими условиями грунтового увлажнения, подобно современным березовым колкам в степной зоне Западной Сибири, а ландшафты в раннем дриасе оставались преимущественно открытыми. В интервале 14,5–13,0 тыс. кал. л.н. в регионе господствовали еловые редколесья, а после 13,0 тыс. кал. л.н. и до начала голоцена преобладала березовая лесостепь с перигляциально-степными и луговыми сообществами.

Растительный покров в позднеледниковье вплоть до рубежа голоцена имел мозаичный облик, характерный для перигляциальной лесостепи.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта РНФ 23–77–10063 «Реконструкция природных событий по высокоразрешающим седиментационным палеоархивам центра Восточно-Европейской равнины за последние 25 тысяч лет».

Список литературы

1. Гричук В.П., Заклинская Е.Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз, 1948. 224 с.
2. Мазей Н.Г., Новенко Е.Ю. Применение пропионового ангидрида при подготовке проб для спорово-пыльцевого анализа // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2021. Т. 6. № 3. С. 110–112. DOI: 10.24189/ncr.2021.036
3. Grimm E.C. TILIA and TILIA*GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data // INQUA, Working Group on Data-Handling Methods. Newsletter. 1990. №4. 5–7.
4. Reimer P., Austin W.E.N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon. 2020. V. 62. №4. P. 725–757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41

Новые методы комплексных палеолимнологических исследований Ладожского озера

Сапелко Т.В.[1], Цыганов А.Н.[2], Чернышов В.А.[3], Игнатьева Н.В.[1], Куприянов Д.А.[4], Гусева М.А.[5], Крылова В.Ю.[1], Мазей Ю.А.[2]

[1]Институт озероведения РАН - СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург, tsapelko@mail.ru
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва
[3]Пензенский государственный университет, Пенза
[4]Институт географии РАН, отдел палеогеографии четвертичного периода, Москва
[5]ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга, Санкт-Петербург

Донные отложения Ладожского озера, самого большого озера Европы, являются важнейшим архивом, позволяющим реконструировать глобальные процессы природной среды с позднеледниковья и на протяжении голоценового периода. История Ладоги на первых этапах своего развития тесно связана с формированием Балтийского моря, являлась частью Балтийского Ледникового озера, а затем Анцилового озера (Субетто, 2009). Изучение новых колонок донных отложений из разных частей современной котловины Ладожского озера с применением современных палеолимнологических методов. Проводимые реконструкции особенностей озера и его бассейна позволяет выявить сходства и различия в процессах осадконакопления в разных частях озера на различных этапах развития водоема и позволяет получить полную картину эволюции озера, что обосновывает необходимость таких исследований

Палеолимнологические исследования на Ладожском озере проводятся уже 70 лет (Современное состояние…, 2021). В 2026г. исполняется 70 лет Ладожской экспедиции Института озероведения. Тем не менее, совершенствование старых классических методов и развитие новых, позволяет существенно дополнять и уточнять результаты предыдущих работ. Так, например, главной проблемой палеолимнологических исследований Ладоги долгое время оставалось отсутствие датированных колонок донных отложений из-за крайне низкого содержания органического вещества. До 2019 года имелись лишь отдельные радиоуглеродные даты из разных колонок (Арсланов и др., 1996; Subetto et al, 1998). Благодаря развитию радиоуглеродного метода и применению AMS – датирования в 2019г. были получены сразу две датированные колонки донных отложений Ладожского озера (Sapelko et al., 2019; Savelieva et al., 2019). К настоящему времени датированы еще четыре колонки из разных частей озера (рис.1). Комплексное изучение этих колонок дает возможность коррелировать условия осадконакопления на все этапах голоцена в различных акваториях Ладожского озера.

Еще одним новым методом, впервые примененным для изучения колонок донных отложений Ладожского озера, является ризоподный анализ. Ранее раковинные амёбы в Ладоге и озерах сопредельных территорий исследовались лишь эпизодически, в основном в фаунистическом аспекте (Гассовский, 1936; Ленцман, 1997), а их палеолимнологический потенциал оставался нереализованным, несмотря на успешное использование этих организмов для реконструкций в других крупных озёрах Европы и Северной Америки (Schönborn, 1962; Laminger, 1975; Patterson et al., 1985; Medioli, Scott, 1988; McCarthy et al., 1995). В настоящее время получены результаты по одной из датированных колонок, отобранной в северной части Ладожского озера в районе г. Питкяранта. В результате выделены биостратиграфические зоны, отражающие изменения видовой структуры сообществ на протяжении голоцена, установлено последовательное доминирование видов *Centropyxis aculeata*,

Centropyxis cassis и *Difflugia oblonga*, а также выявлены различия между субфоссильными и современными (рецентными) сообществами, что позволяет использовать раковинных амёб в качестве надёжного инструмента палеоэкологических реконструкций для Ладожского озера.

Ещё одним методом, недавно введённым в практику комплексных палеолимнологических исследований Ладожского озера, является анализ вертикального распределения содержания фосфора в донных отложениях, который позволяет сформировать косвенное представление об обеспеченности озерной экосистемы этим ключевым биогенным элементом на разных этапах ее развития (Сапелко и др., 2011). Применение данного метода позволило сформировать косвенное представление об уровне биопродуктивности озера в голоцене и выявить периоды повышенной продуктивности, связанные как с природными, так и с антропогенными факторами (Sapelko et al., 2025).

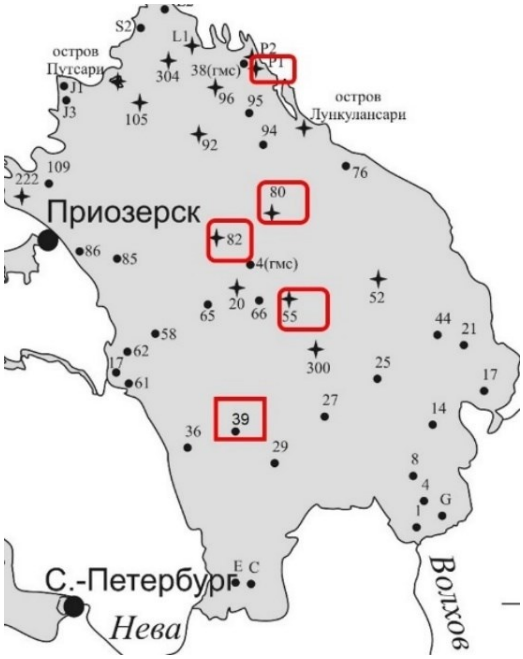


Рис. 1. Схема Ладожского озера с изученными станциями (выделены).
Цифрами обозначены номера мониторинговых станций Института озероведения РАН

В 2023 г. при отборе колонки донных отложений в северо-восточной части Ладожского озера в ее нижней части был обнаружен крупный фрагмент древесины. По нему впервые для акватории озера изучено анатомическое строение тканей древесины, осуществлено определение таксона и выполнено радиоуглеродное датирование; даты получены и для вышележащих горизонтов. Кроме того, для этой же колонки впервые для Ладожского озера применен палеоантракологический анализ. Динамика концентрации макрочастиц угля показала устойчивый тренд на увеличение их накопления от нижней части колонки к верхней. При этом пики максимального накопления совпали с максимальным содержанием фосфора в колонке (Sapelko et al., 2025). Это позволило связать изменения пожарной активности и биопродуктивности озера.

Впервые на Ладожском озере проведено исследование динамики микробных сообществ по колонке донных отложений с выделением ДНК. Ранее подобные молекулярно-генетические подходы для палеореконструкций на Ладоге не применялись, что ограничивало понимание роли микроорганизмов в трансформации экосистемы

в прошлом. Полученные данные позволят открыть новые возможности для реконструкции микробного разнообразия и его связи с изменениями климата, а также трофического статуса водоёма на протяжении голоцена.

Наряду с новыми подходами, в комплексных палеолимнологических исследованиях Ладожского озера продолжают применяться и классические методы, такие как литологический (с определением содержания органического вещества), гранулометрический, анализ содержания металлов, палинологический и диатомовый анализы, которые использовались и при первых работах по изучению донных отложений Ладожского озера. Однако и они получили развитие: появились новые способы определения геохимических параметров, а при палинологических исследованиях помимо пыльцы и спор стали изучаться непыльцевые палиноморфы, что значительно расширило источники палеоэкологической информации.

В результате проведенных комплексных палеолимнологических исследований получены уникальные данные реконструкции экосистемы Ладожского озера и его водосбора на протяжении голоцена – от позднеледниковья и до настоящего времени. При примерно одинаковой мощности отложений в разных частях озера удалось охарактеризовать как осадки, охватывающие весь период истории от Балтийского Ледникового озера до современности, так и осадки, соответствующие отдельным этапам голоцена более с локальной повышенной мощностью. Радиоуглеродное датирование подтвердило низкую скорость осадконакопления практически по всей акватории Ладожского озера в современный период. Реконструкция климатических периодов для датированных колонок в целом совпадает, что подтверждает корректность использования палиностратиграфии для корреляции результатов всех изученным с помощью палинологического анализа колонкам. Особенности растительного покрова, реконструированного для разных частей озера, показывают в целом осредненную картину изменения растительности на зональном уровне. Разница в составе растительности обусловлена большой площадью водосборного бассейна со своими региональными особенностями. К таким особенностям относится, например, антропогенное влияние.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме № FFZF-2024-0001.

Список литературы

1. Арсланов Х. А., Гей Н. А., Давыдова Н. Н и др. Новые данные по позднеплейстоценовой и голоценовой истории Ладожского озера // Известия РГО. 1996. Т. 128. Вып. 2. С. 12–212
2. Гассовский Г. Н., Новые Rhizopoda из озер Кончезерской группы (в Карелии) // Труды Бород. биол. ст. 1936. Т. 8. Вып. 2. С. 101–119.
3. Ленцмаи Н.В. Минеральные частицы в составе раковинных амеб (Rhizopoda; Testacealobosa) из донных осадков внутренних озер острова Валаам // Проблемы экологической минералогии и геохимии. СПб, 1997. С.47-48.
4. Сапелко Т. В., Игнатьева Н. В., Кузнецов Д. Д. Антропогенные и природные факторы развития Ладожского озера в позднем голоцене по данным комплексного анализа донных отложений // Сохраним природное и культурное наследие Ладожского озера. Сборник научных трудов. СПб. 2011. С. 170–181.
5. Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата/ Под ред. С.А. Кондратьева, Ш.Р. Позднякова, В.А. Румянцева. М. 2021. 637 с.
6. Субетто Д. А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена. 2009. 339 с.
7. Laminger H. Die Sukzession der Testaceen-Assoziationen (Protozoa Rhizopoda) im rezenten und subfossilen Sphagnum des Obersees bei Lunz (Niederosterreich). Hydrobiologia. 1975. 46: 465–487.

8. McCarthy F.M.G., Collins E.S., McAndrews J.H., Kerr H.A., Scott D.B., Medioli F.S. A comparison of postglacial arcellacean (‘thecamoebian’) and pollen succession in Atlantic Canada, illustrating the potential of arcellaceans for paleoclimatic reconstruction. Journal of Paleontology. 1995. 69, 980–993.
9. Medioli F.S., Scott D.B. Lacustrine thecamoebians (mainly arcellaceans) as potential tools for paleolimnological interpretations: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1988. 62, 361−386.
10. Patterson R.T., MacKinnon K.D., Scott D.B., Medioli F.S. Arcellaceans ("thecamoebians") in small lakes of New Brunswick and Nova Scotia; modern distribution and Holocene stratigraphic changes. The Journal of Foraminiferal Research. 1985. 15:114–137. doi:10.2113/gsjfr.15.2.114
11. Sapelko T, Pozdnyakov S, Kuznetsov D, Ludikova A, Ivanova E, Guseva M, Zazovskaya E Holocene sedimentation in the central part of Lake Ladoga. Quat Int. 2019. 524:67–75 https://doi. org/10.1016/j. quaint.2019.05.028
12. Sapelko T.V., Ignatyeva N.V., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Guseva M.A., Revunova A.V., Zazovskaya E.P., Pozdnyakov Sh.R. The natural and anthropogenic impact on Lake Ladoga and its catchment area through Holocene time according to novel palaeolimnological records // Journal of Paleolimnology. 2024. Vol. 72. P. 241–259
13. Sapelko T., Ignatyeva N., Krylova V., Kupriyanov D. Human Traces in Lake Ladoga records during Holocene//PAGES, China, 2025. P.106-107
14. Savelieva LA, Andreev AA, Gromig R, Subetto DA, Fedorov GB, Wennrich V, Wagner B, Melles M Vegetation and climate changes in northwestern Russia during the lateglacial and Holocene inferred from the Lake Ladoga pollen record. Boreas. 2019. 48: 349–360.
15. Schönborn W., Die Ökologie der Testaceen im oligotrophen See, dargestellt am Beispel des Grössen Stechlinsees // Limnologica. Bd. 1962. 1. S. 111–182.
16. Subetto DA, Davydova NN, Rybalko AE Contribution to the lithostratigraphy and history of Lake Ladoga // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1998. 140:113–119.

Развитие растительности дельты Волги с X в. н.э. по палинологическим данным (на материале изучения археологического памятника Малый Костюбе 1)

Сапрыкин А. Д.[1], Болиховская Н.С.[1], Сарапулкин В.А.[2], Котеньков С.А.[3], Соловьев Д.С.[4]

[1] Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Sapron1812@yandex.ru
[2] Белгородский государственный университет, Белгород
[3] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Астрахань
[4] ООО «Археоцентр», Астрахань

Проведенные исследования посвящены реконструкциям зональных и локальных особенностей растительности центральной части дельты Волги, выполненным на основе результатов палинологического анализа голоценовых отложений мощностью 110 см в разрезеа, заложенном в раскопе архитектурного комплекса Малый Костюбе 1. Этот палеообъект, расположенный в Приволжском районе Астраханской области, входит в число раннесредневековых памятников Семибугоринского археологического комплекса (Сарапулкин, Соловьев, 2025), и представляет собой остатки трехнефной постройки базиликального типа с апсидным выступом в западной части. Сооружение построено из обожжённого кирпича и известкового раствора, с использованием бетонообразных массивов. Приблизительные размеры сооружения составляют 104 м × 47 м. В настоящее время объект сохранился на уровне котлована фундамента, заполненного фрагментами кирпича, известковым раствором и штукатурки, а также содержащим остатки фундаментных кладок. Время постройки сооружения датируется IX веком н.э. После разбора сооружения на его поверхности существовал поселок, датируемый второй половиной X-XII вв. Абсолютная высота дневной поверхности в месте заложения разреза составляет –24,0 м.

К настоящему времени реконструкции климато-фитоценотических изменений, происходивших на протяжении 11500 лет, получены по палинологическим записям голоценовых отложений для районов Волго-Ахтубинской поймы и юго-западной части дельты Волги (Дамчикского участка Астраханского заповедника) (Болиховская, Касимов, 2008; Болиховская, 2019; Richards, Bolikhovskaya et al., 2014). Палиноиндикация изменений позднеголоценовой (SA-2 и SA-3) растительности в центральной части дельты Волги предпринимается впервые.

Спорово-пыльцевые спектры (СПС) 5-ти образцов, полученные из датированных радиоуглеродным методом позднеголоценовых отложений памятника Малый Костюбе 1, показали изменения как фациальных условий осадконакопления, так и зональных и локальных особенностей растительного покрова. СПС пробы №23 (глубина 100 см) предварительно может отвечать концу IX в. - началу первой половины XI в. и сформированв субаквальных условиях осадконакопления. Для этого палиноспектра характерно максимальное среди всех проб содержание пыльцы *Picea* (6,1% от всей суммы палиноморф). Соотношение основных групп палиноморф, а также существенное превышение доли п. Poaceae (54,1%) над п. Chenopodiaceae (13,5%) и преобладание подрода *Euartemisia* среди п. *Artemisia*, а также очень высокая доля п. *Cannabis sativa* (21,6%) позволяют предположить, что зональная растительность в этот период была представлена сухими (кустарничково-дерновиннозлаковыми) степями, локальная – водными и прибрежно-водными лотосовыми и рдестовыми сообществами в окружении разнотравно-осоково-злаковых лугов и коноплевых (*Cannabis sativa*) сообществ. Не исключено выращивание конопли и культурных злаков.

СПС пробы № 22 (глубина 74 см) из слоя, датированного второй половиной XI-XII вв., отражает пустынный тип растительности и более сухой и прохладный климат, чем СПС образца № 23, и менее аридные условия, чем СПС № 21. Можно предположить условия периодически затапливаемого в половодье пойменного разнотравно-злакового луга, что подтверждается сходством этого СПС с субрецентными СПС почвенных проб с поймы Волго-Ахтубы. 99,1% СПС составляет п. трав и кустарничков, среди которой преобладают п.з. Chenopodiaceae, а доля п. злаков существенно сократилась. Исчезновение из спектра не переотложенной пыльцы *Picea* может свидетельствовать об удалении границы темнохвойных лесов, связанным с похолоданием и аридизацией климата. Для этого спектра характерна наивысшая доля п.з. *Artemisia* подрода *Seriphidium*. Локальная растительность, скорее всего, была представлена пойменным разнотравно (Asteraceae, Polygonaceae, Liliaceae)-злаковым лугом (при возможном наличии понижений с доминированием крапивы). Весьма вероятно, антропогенное воздействие в виде близкой селитьбы и/или выпаса скота. Палиноспектр пробы № 21 (глубина 52 см, XII – середина XIII в.) сформирован при еще более аридных и засушливых условиях. Зональный растительный покров был представлен полукустарничковыми пустынями (с доминированием Chenopodiaceae), а условия осадконакопления оставались подобны тем, которые существовали в период формирования СПС пробы №22. Однако условия увлажнения и питания могли сместиться в сторону более засушливых (п. трав и кустарничков составляет 100%, среди них п. Chenopodiaceae – 96,8%); в локальном растительном покрове возможно присутствие разнотравно-(Liliaceae)-коноплево-злаковых сообществ.

СПС пробы №20 (глубина 35 см) свидетельствует о осадконакоплении в условиях мелководья со спокойной распресненной водой, возможно, в пределах авандельты или замкнутого внутридельтового пресноводного водоема, где были представлены рдестовые (*Potamogeton* sp.), лотосовые (*Nelumbo nucifera* subsp. *caspicum*) и сальвиниевые (*Salvinia natans*) сообщества с участием ежеголовника (*Sparganium* sp.). На побережье произрастали ивовые (*Salix* sp.) галерейные леса и разнотравно (Asteraceae, Caryophyllaceae, Fabaceae, Brassicaceae, Scrophulariaceae) - злаковые луга, а зональная растительность была представлена полынно-злаково-полукустарничковыми (Chenopodiaceae) пустынями. Климатические условия, возможно, были несколько более гумидными, чем при формировании нижележащих отложений, датированных интервалом XII – середина XIII в., однако континентальнее, чем при накоплении отложений в основании изученого разреза (обр. № 23). Для этого слоя отсутствуют радиоуглеродные датировки, однако сопоставление с имеющимися данными по изменению уровня Каспийского моря (Варущенко и др., 1987, Рычагов, 2011) позволяет предположить, что накопление осадков, охарактеризованных СПС пробы № 20, происходило не позже 1820-х гг. СПС образца №19 (гл. 17 см) отражает развитие полукустарничковых пустынь в климатических условиях, близких к современным климатическим условиям. Локальная растительность, по-видимому, была представлена тамарисковыми (*Tamarix ramosissima*) осоково-разнотравно (Asteraceae, Fabaceae, Liliaceae) - злаковыми залежами, а также агроценозами. На формирование спектра оказало влияние постоянное перемешивание осадка при сельскохозяйственной обработке, затопление в периоды половодий и/или искусственного наполнения водой.

Сопоставление полученных результатов с литературными данными – реконструкциями климато-фитоценотических сукцессий, изменений уровня Каспийского моря и выделенных палеоклиматических этапов, полученными для Нижнего Поволжья и дельты Волги

по разрезам у пос. Соленое Займище и скважинам Дамчикского участка дельты Волги (Болиховская, Касимов, 2008; Болиховская, 2019; Richards, Bolikhovskaya et al., 2014), а также данными по изменению уровня моря в рассматриваемый хронологический интервал (Варущенко и др., 1987, Рычагов, 2011, Макшаев и др., 2025) позволило сделать вывод о том, что СПС изученных отложений памятника Малый Костюбе 1 отражают 4 этапа развития растительности центральной части дельты Волги, начиная с X в.

I этап соответствует трансгрессии Каспийского моря в конце X в., когда зональная растительность в районе дельты Волги была представлена сухими кустарничково-дерновиннозлаковыми степями, тогда как в районе Волго-Ахтубинской поймы были представлены типичные дерновиннозлаковые степи. В это время происходила экспансия авандельтовой растительности в центральную часть современной дельты. II этап соответствует нарастанию континентальности, постепенно развивавшемуся с XI в. и достигшего максимума в конце XII-XIII вв., и Дербентской регрессии Каспия. При этом, зональный растительный покров, как и в последующие стадии, был представлен полукустарничковыми пустынями. Растительность центральной части дельты Волги при этом была представлена разнотравно-коноплево-злаковыми лугами при значительном участии ксерофитных и галофитных полукустарничков из сем. Chenopodiaceae. III этап соответствует повышению уровня Каспийского моря и повышению увлажнения при сохранении полукустарничковых пустынь в зональном растительном покрове, наблюдавшемуся в XIV – начале XIX в. Центральная часть дельты Волги при этом подвергалась экспансии авандельтовой растительности. IV этап, начавшийся с первой половины XIX в., характеризуется усилением аридности при одновременном потеплении климата. Зональная растительность представлена полукустарничковыми пустынями, растительность центральной части дельты соответствует современной. При этом, на протяжении X-XIII вв. растительность в центральной части дельты Волги могла подвергаться антропогенному воздействию в виде выпаса, возделывания культурных злаков и, возможно, выращивания конопли, что подтверждается археологическими данными и письменными источниками.

Возможная кратковременная экспансия авандельтовой растительности в X в. в самой дельте Волги выявлена впервые, и, по-видимому, отвечает периоду повышенного увлажнения и потепления в Нижнем Поволжье, а также трансгрессивной стадии Каспийского моря во второй половине X в., выявленной ранее по геолого-геоморфологическим, археологическим и малакофаунистическим данным (Макшаев и др., 2025). Полученная летопись фитоценотических изменений оказалась неполной: так, возможен перерыв в осадконакоплении в интервале XIV-XVIII (отложения интервала между пробами №№21 и 20). Дальнейшему уточнению истории развития растительности и флоры дельты Волги будут способствовать подробные видовые определения пыльцы и спор, позволяющие точнее установить эдафотопические условия и смену растительных формаций, палинологическое изучение осадков тех хронологических интервалов, которые оказались недостаточно охарактеризованы разрезом Малый Костюбе 1 и скважинами Дамчикского участка, а также пополнение банка субрецентных спорово-пыльцевых спектров для дельты Волги и Прикаспийской низменности в целом для лучшего понимания факторов формирования СПС в условиях дельтового осадконакопления.

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории Новейших отложений и палеогеографии плейстоцена Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова при поддержке проекта РНФ 25-17-00024.

Список литературы

1. Болиховская Н.С. Изменения климата, ландшафтов и растительности Нижней Волги в голоцене // В кн. Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата [под ред. Т.А. Яниной]. М.: Географ. фак-т МГУ, 2019. С. 81-109.
2. Болиховская Н.С., Касимов Н.С. Ландшафтно-климатические изменения на территории Нижней Волги в последние 10 тысяч лет // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. Сборник научных трудов к 70-летию Географического факультета МГУ и 40-летию НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена. Под ред. Болиховской Н.С., Каплина П.А. Вып. 2. М.: Географический факультет МГУ, 2008. С. 99–117.
3. Варущенко С. И., Варущенко А. Н., Клиге Р. К. Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. М.: Наука, 1987. – 240 с.
4. Макшаев Р.Р., Матлахова Е.Ю., Ткач А.А., Лобачева Д.М., Лысенко Е.И., Тихонова Т.И., Ткач Н.Т., Котеньков С.А., Соловьев Д.С. Верхнеголоценовые отложения центральной части дельты р. Волги // Экзолит-2025: Собрание (научные чтения), посвященные 220-летию основания Московского общества испытателей природы, 2025. С. 103–106.
5. Рычагов Г.И. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, прогноз // Вестник Московского университета. Серия 5. География, (2), 2011. С. 4–12.
6. Сарапулкин В. А., Соловьёв Д. С. Поселения хазарского времени в дельте Волги (по результатам работ 2023 года) // Археология евразийских степей. 2025. № 4. С. 258–270.
7. Richards K., Bolikhovskaya N. S., Hoogendoorn R. M., Kroonenberg S. B., Leroy S. A. G., Athersuch J. Reconstructions of deltaic environments from Holocene palynological records in the Volga delta, northern Caspian Sea // The Holocene. 2014. Vol. 24(10). P. 1226–1252.

Палеолимнология урбанизированной среды: эколого-геохимические аспекты исследования современных отложений городских озер

***Слуковский З.И.*[1,2]**

[1] *Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты, slukovsky87@gmail.com*

[2] *Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск*

Введение. Исследования современных донных отложений (ДО), сформировавшихся в индустриальный период развития общества, имеют важное значение при ретроспективном анализе антропогенного влияния на озера. Известно, что при оценке техногенного влияния на водоемы и их ДО ключевыми геохимическими индикаторами служат биогенные элементы, нефтепродукты и элементы, относящиеся к группе тяжелых металлов (ТМ). При этом, несмотря на богатую историю изучения озерных ДО на территории России и вообще мира, озерам городской среды было уделено недостаточно внимания. Цель работы – показать основные закономерности накопления микроэлементов, включая ТМ, в современных ДО озер урбанизированных территорий разных регионов России и оценить роль локальных и глобальных источников загрязнения в процессе озерного седиментогенеза в индустриальный период развития общества.

Фактический материал и методы исследования. Сбор основного фактического материала выполнялся на территории Мурманской области, Республики Карелии, Архангельской, Ленинградской и Челябинской областях (рис. 1). С разной степенью детализации изучены озера в следующих городах или вблизи них: Кировск, Мурманск, Мончегорск, Никель (Мурманская область), Петрозаводск, Медвежьегорск, Суоярви, Сортавала, Сегежа (Карелия), Архангельск (Архангельская область), Челябинск (Челябинская область), Норильск и Дудинка (Красноярский край). Полевые работы проводились на озерах, как в период открытой воды, так и со льда. Водные пробы отбирались 2-х литровым пластиковым батометром либо сразу в пластиковые бутылки объемом 1 л. Пробы ДО отбирались при помощи дночерпателей для получения нестратифицированных проб, а также с использованием пробоотборников гравитационного типа: системы Скогхейма и системы Limnos. Последние два прибора позволяют получать стратифицированные ненарушенные колонки (керны) ДО, которые можно разделять на слои от 0.5 см в зависимости от вида дальнейших работ. Чаще всего колонки делились на слои 1-2 см. Концентрации микроэлементов определялись при помощи масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой на приборе XSeries-2 ICP-MS.

Результаты исследований. Исследования, проведенные на примере урбанизированных территорий нескольких регионов России, а также фоновых территориях Северо-Запада России показали, что современные ДО озер городских территорий и территорий вблизи них обогащаются различными элементами, включая ТМ, относительно средних концентраций элементов в верхней части земной коры, и региональных фоновых значений. Наибольшие коэффициенты концентрации установлены для V, Ni, Cu, Mo, Cd, Sb, W, Pb и Bi. Эти элементы относятся к приоритетным загрязнителям окружающей среды урбанизированных территорий исследованных регионов. Ключевая роль в образовании геохимических аномалий этих элементов в верхних слоях отложений озер урбанизированных территорий принадлежит выбросам промышленных предприятий (мазутные и угольные ТЭЦ и котельные, металлургические и машиностроительные заводы), транспорта и другим антропогенным источникам.

Палеолимнологические реконструкции выявили историческую динамику накопления химических элементов в ДО озер урбанизированных территорий (рис. 1). В пределах городов озерные осадки показывают единую динамику увеличения концентраций большого спектра микроэлементов от нижних (фоновых) слоев к верхним (современным). Это относится, как к ТМ, так и к литофильным элементам, включая породообразующие элементы, редкоземельные (РЗЭ) и щелочные металлы. Во втором случае это происходит в результате интенсивных эрозионных процессов на антропогенно нарушенных территория, разрушения дорожных покрытий и строений. Таким образом, индикация антропогенного воздействия на городские озера может осуществляться при помощи анализа вертикального распределения в колонках ДО классических загрязнителей, в том числе из числа ТМ и литофильных элементов.

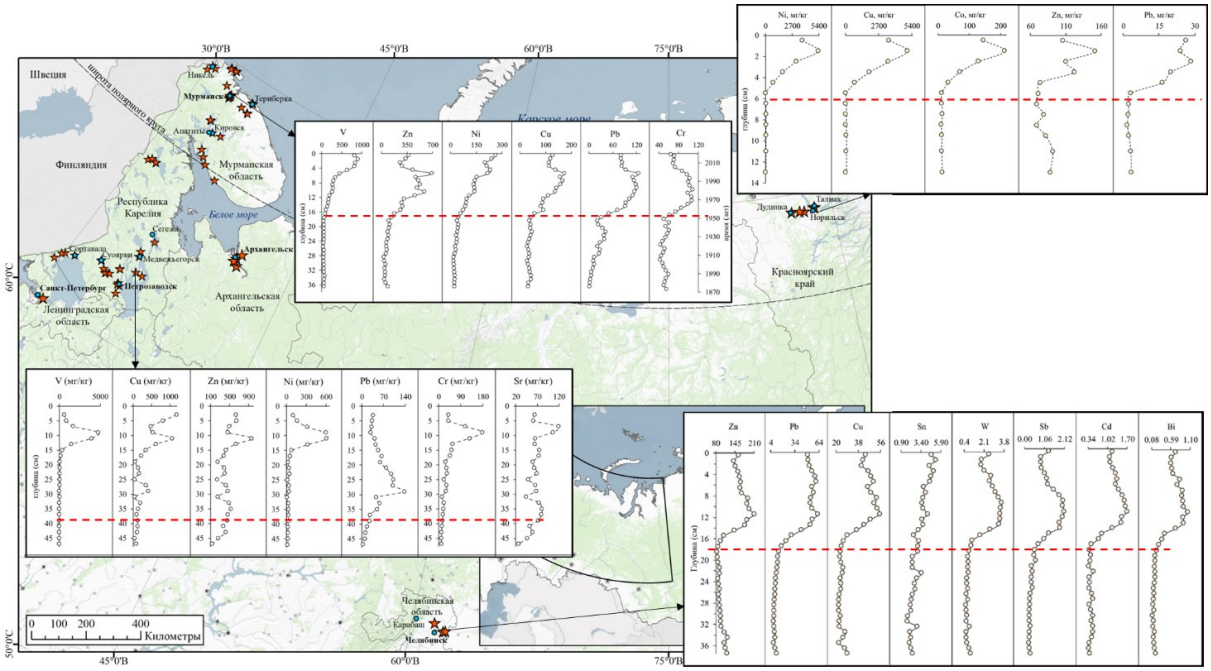


Рис. 1. Карта районов исследования с графиками вертикального распределения микроэлементов в колонках ДО озер урбанизированных территорий

Практически на всех урбанизированных территориях Северо-Запада России был установлен геохимический след влияния ТЭЦ и котельных, которые работали и/или работают в городах, используя в качестве топлива мазут. Индикаторами этого вида загрязнения урбанизированной среды являются V и Ni, чьи концентрации и динамика накопления в отложениях озер указывают на историческое влияние предприятий энергоблока. Самые экстремальные концентрации V достигают 135-кратного превышения фона. Установлено, что за пределами городских территорий (более 20 км) влияние мазутных ТЭЦ и котельных не наблюдается. На фоновых территория V и Ni в пресноводных осадках связаны, главным образом, с природными факторами. Аномально высокие концентрации V в некоторых городских озерах связываются также с влиянием рудоносности горных пород водосборной площади. Также в пределах урбанизированных территорий некоторых регионов отмечаются аномальные концентрации U, Mo, Cu, связанные с влияние геологии.

На фоновых и условно-фоновых территориях накопление микроэлементов преимущественно подчиняется естественным закономерностям. В частности, для РЗЭ отмечается влияние климатического и ландшафтного фактора, что выражается

в больших медианных концентрациях РЗЭ в озерах в ряду тундра-лесотундра-тайга. В замкнутых геологических системах, например, на острове Кинг-Джордж (Антарктика) озерные отложения практически полностью повторяют закономерности накопления микроэлементов, включая РЗЭ, ранее отмечавшиеся в вулканических и осадочных породах водосборной площади.

Техногенное влияние в отложениях озер фоновых территорий в основном связано с эффектом дальнего атмосферного переноса загрязнителей, в который из ТМ вовлечены Pb, Cd, Sb, Bi, Tl, Sn в Северном полушарии Земли и Pb с Sb – в Южном. На территории Мурманской области и северной части Карелии в верхних слоях ДО (до 5-7 см) малых фоновых озер формируются также повышенные концентрации Ni и Cu, что связано с деятельностью металлургических предприятий в Арктике, которые могу располагаться на расстоянии до ~250 км от изучаемых водных объектов.

В пределах урбанизированных территорий суммарный эффект накопления большого спектра ТМ в верхних слоях ДО выражается в установлении экстремально высокого и высокого уровней загрязнения при расчете индекса антропогенной нагрузки PLI (значения от 2 до 11 в зависимости от озера). Самые большой уровень загрязнения отмечается в озерах городов Петрозаводск, Медвежьегорск, Мурманск, Мончегорск, а также в озерах импактных зон пгт Никель и города Норильска, где действуют металлургические предприятия. Озера фоновых районов Северо-Запада России преимущественно характеризуются слабым или умеренным уровнем антропогенной нагрузки: значения индекса PLI от 1 до 2. Установлено, что наиболее загрязненные ДО городских озер обоих регионов имеют больший потенциал для экологического риска, рассчитанного по индексу RI, и наоборот.

Полученные эколого-геохимические данные и расчеты хорошо соотносятся с результатами анализа поведения биоты (планктона и бентоса) некоторых озер урбанизированных территорий. Отмечается, что диатомовые водоросли, исследованные на примере озер городов Карелии и Мурманской области, кардинально меняют свою структуру в ходе современных, связанных с техногенных воздействием, этапов развития городских озер. В колонках современных ДО озер выделяются разные диатомовые зоны, что соответствует разным типам доминирующего антропогенного воздействия на озера, маркируемым по уровню накопления загрязнителей городской среды. Аналогичные закономерности наблюдаются также на примере исследования макрозообентоса из отложений городских озер. Установлено доминирование представителей подсемейств Chironominae (хирономид) в современных отложениях, то есть видов толерантных к неблагоприятным условиям среды. Также на примере озер города Мурманска отмечается накопление химических элементов, включая ТМ, в телах зообентосных организмов. Причем отмечаются аномальные концентрации тех элементов (V, U, Pb), которые имеют повышенный уровень аккумуляции в основной матрице ДО.

Доминирующей формой нахождения микроэлементов в ДО озер урбанизированных территорий городов Северо-Запада России является труднорастворимая минеральная форма, связанная с первичными минералами из материнских пород, подвергшихся выветриванию и попавших затем в озера, а также с минералами или глинистыми частицами, которые хорошо сорбируют ТМ. Второй по значимости формой нахождения элементов является – органическая, лучше всего с ней связываются такие элементы-загрязнители, как V, Sb, Cu, Mo, U и РЗЭ. С подвижными и потенциально доступными формами в основном связаны Cd (практически во всех изученных озерах), Ni, Zn, Co, Pb и U. Медианный уровень биодоступности некоторых из этих металлов может достигать 22%, что создает предпосылки для миграции ТМ по трофическим цепям.

В загрязненных ТМ слоях ДО озер вблизи деятельности металлургических предприятий (Мончегорск, Никель) установлено наличие техногенных минеральных образований (частиц) размером до ~200 мкм, состоящих из оксидов и сульфидов Fe, Ni и реже Cu с примесью других элементов, включая ТМ. Данные образования – результат металлургических процессов (дробление, обжиг и плавление). В нижних (фоновых) слоях ДО озер вблизи заводов такие частицы не обнаруживаются, что позволяет использовать их в качестве эколого-минералогического индикатора по оценке влияния техногенеза на озера промышленных зон и урбанизированных территорий.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН № FMEN-2024-0014 и государственного задания Института геологии Карельского научного центра РАН № FMEN-2023-0008.

Минеральные индикаторы климата голоцена в донных отложениях озер юга Западной Сибири

Солотчин П.А., Жданова А.Н., Мальцев А.Е., Солотчина Э.П.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск

Введение. Осадочные разрезы внутриконтинентальных водоемов, образовавшихся после завершения последнего оледенения, представляют собой естественные архивы климатических событий голоцена. Одним из действенных инструментов для реконструкции природно-климатических обстановок недавнего прошлого является изучение минеральных индикаторов палеоклимата в донных осадках озерных бассейнов. Перспективными объектами для подобных исследований считаются отложения малых и средних минеральных озер с интенсивным аутигенным карбонатообразованием (Last, 2002). Состав и структурные характеристики аутигенных карбонатов отчетливо реагируют на изменения параметров среды осадкообразования (соленость, щелочность, Mg/Ca-отношение, pH, температура озерных вод), которые контролируются, главным образом, климатом региона. Степные и лесостепные районы юга Западной Сибири являются территорией широкого распространения мелководных минеральных озер. Цель работы - детальное изучение минералого-кристаллохимических особенностей аутигенной составляющей донных осадков двух таких озер различной минерализации для реконструкции изменений регионального климата в голоцене.

Материалы и методы. Объектами исследований послужили голоценовые отложения озёр Большое Яровое (Кулундинская равнина) и Большие Тороки (Барабинская низменность) (рис.1). В гипергалинном оз. Большое Яровое (площадь 70 км^2, средняя глубина 4 м, минерализация 150 г/л) вскрыт разрез донных осадков мощностью 483 см, возрастом ~6850 кал. лет. Отложения солоноватоводного оз. Большие Тороки (площадь 9,5 км^2, средняя глубина 1 м, минерализация ~1,1 г/л) охарактеризованы керном до глубины 160 см, возраст которых ~7000 кал. лет. Таким образом, время формирования обеих толщ – средний-поздний голоцен (середина атлантика – настоящее время, по шкале Блитта-Сернандера). Оба озера являются бессточными, водное питание осуществляется за счет атмосферных осадков, подземных и паводковых вод.

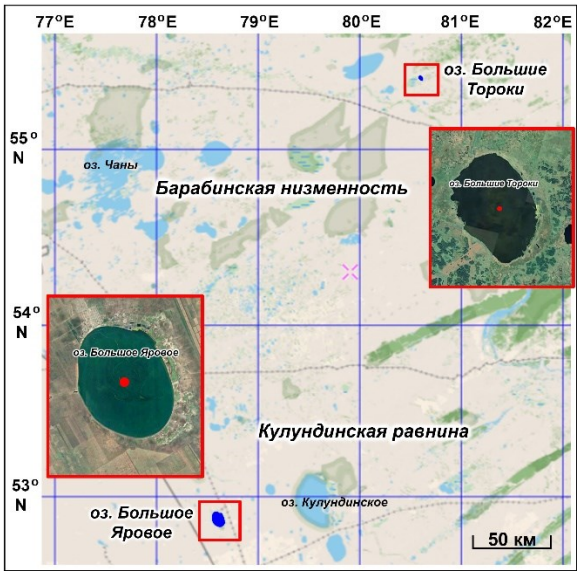


Рис. 1. Карта-схема расположения изученных озер на территории юга Западной Сибири (изображение ©OpenTopoMap). На врезках - морфология озерных котловин и точки бурения (фото Google Earth)

Для отложений обоих озер был проведен комплекс литолого-минералогических и геохимических исследований, включавший рентгеновскую дифрактометрию (XRD), ИК-спектроскопию, лазерную гранулометрию, элементный анализ, радиоуглеродное датирование (AMS ^{14}C). Данные радиоуглеродного анализа были откалиброваны для приведения в соответствие с реальным возрастом. Дифференциальная диагностика карбонатных минералов выполнена методом математического моделирования XRD-профилей высокого разрешения (Solotchina, Solotchin, 2014).

Результаты и обсуждение. Лазерный гранулометрический анализ показал, что донные осадки обоих озер на всем протяжении разрезов имеют глинисто-алевритовую размерность. По данным XRD анализа и ИК-спектроскопии минеральная часть отложений оз. Большие Тороки сложена преимущественно кварцем, плагиоклазом, карбонатами, калиевым полевым шпатом, слоистыми силикатами (слюдой и хлоритом), пиритом. В осадках оз. Большое Яровое доминирует кварц, присутствуют плагиоклаз, слоистые силикаты (слюда, хлорит, смектит), карбонаты, часто встречаются гипс и галит.

Карбонаты в озерных осадках представлены преимущественно низкотемпературными тригональными Mg-кальцитами $(Ca,Mg)CO_3$ разной степени магнезиальности Как правило, карбонаты представляют собой мелкозернистые агрегаты плохо окристаллизованных частиц низкой структурной упорядоченности и имеют в основной своей массе хемогенное происхождение. Эпизодически в небольших количествах в отложениях встречаются арагонит и родохрозит, в частности, в отложениях оз. Большие Тороки обнаружен арагонит биогенного происхождения в виде раковин моллюсков и остракод. По современным представлениям, Mg-кальциты являются смешанными кристаллами, структура которых меняется от истинных твердых растворов до смешанослойных структур в зависимости от содержания магния, определяя их устойчивость. По содержанию $MgCO_3$ в структуре Mg-кальциты делятся на три группы: 1) низко-Mg кальциты ($MgCO_3$ <4-5мол.%); 2) промежуточные магнезиальные кальциты (5-18 мол.% $MgCO_3$); 3) высоко-Mg кальциты (18-43 мол.% $MgCO_3$) (Solotchina, Solotchin, 2014). Разложением дифракционных профилей карбонатов на отдельные пики с помощью функции Пирсона VII выявлены положение их максимумов, интегральная интенсивность аналитического пика (*hkl* = 104) каждой карбонатной фазы и получены их количественные соотношения. Ранее нами было установлено, что сравнительно влажный климат и высокое стояние воды в бассейне ведут к осаждению преимущественно низко-Mg кальцитов, а его аридизация сопровождается осаждением карбонатных фаз с более высоким содержанием магния (Солотчина и др., 2012; Солотчин и др., 2023).

На основе минералого-кристаллохимического анализа карбонатов донных осадков изученных озёр выделены этапы их эволюции в зависимости от изменений регионального климата. Судя по полученным данным AMS-датирования, нижние горизонты обоих разрезов сформировались приблизительно в одно и то же время (средний голоцен, середина атлантического периода). Оз. Большие Тороки в этот период было практически пресным, о чем свидетельствуют минимальные содержания карбонатов (5-6% минеральной компоненты). Оз. Большое Яровое представляло собой мелководный бассейн умеренной солености, в котором в обстановках сравнительно теплого и сухого климата накапливались низко-Mg кальциты и гипс. Выше по разрезу, в течение второй половины среднего голоцена (вторая половина атлантика - суббореал) в отложениях обоих водоемов наблюдаются признаки аридизации климата. В оз. Большие Тороки наряду с низкомагнезиальным кальцитом установлены промежуточные и высокомагнезиальные его разновидности.

На протяжении этой стадии отмечаются вариации в количестве карбонатов, что указывает на колебания уровня озера, которое в данный период было в целом мелководным и хорошо прогреваемым солнцем, с высокой биопродуктивностью. О последнем свидетельствует существенное падение зольности осадков (от 90% на ур. 160 см, до 40% на ур. 125 см). В осадках оз. Большое Яровое в указанный период также наблюдаются явные показатели аридизации – рост магнезиальности карбонатных фаз, увеличение содержания гипса (рис. 2, а). В разрезе периодически появляются маломощные прослои, существенно обогащенные галитом, что может указывать на короткие периоды экстремального иссушения климата.

Наступление позднего голоцена (переход суббореал/субатлантик – наше время) характеризуется общей гумидизацией регионального климата. Как в оз. Большие Тороки, так и в оз. Большое Яровое отмечаются признаки повышения уровня вод и снижения их минерализации, выражающиеся в росте содержания низкомагнезиальных разновидностей кальцита и падении высокомагнезиальных, вплоть до полного их исчезновения из осадков (рис. 2, б). Вместе с тем в обоих разрезах на уровне ~600 кал. л.н. фиксируется кратковременное проявление обратного тренда. Вероятно, таким образом проявилось на территории Барабинской степи и Кулундинской равнины глобальное похолодание Малого ледникового периода.

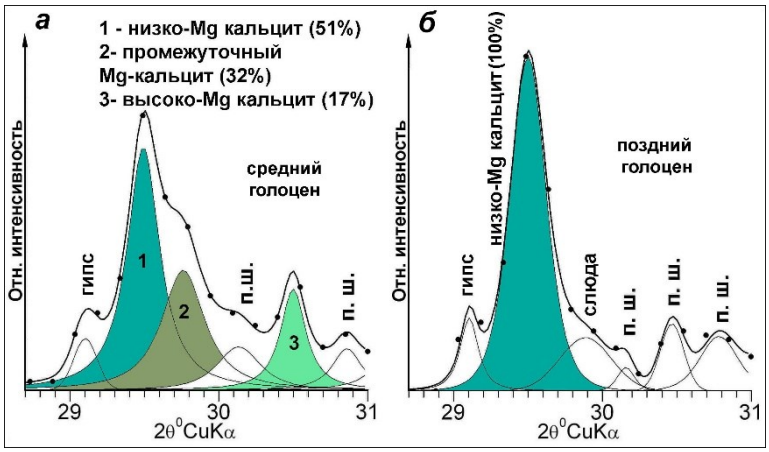


Рис. 2. Результаты моделирования экспериментальных XRD-профилей карбонатов осадков оз. Большое Яровое

В последних 5-и сантиметрах разреза оз. Большие Тороки наблюдается некоторый рост содержаний Ca и карбонатов, что может свидетельствовать об увеличении аридности на современном этапе. В оз. Большое Яровое в настоящее время происходит осаждение низкомагнезиальных и промежуточных разновидностей кальцитов, а также галита при достаточно высокой минерализации вод, однако отмечается отсутствие в отложениях гипса. Этот факт, скорее всего, обусловлен изменением геохимической специфики озерных вод. Можно предположить, что поступающие в бассейн подземные воды в прошлом содержали значительно большее количество сульфат-ионов (SO_4^{2-}), нежели сейчас.

Заключение. Таким образом, комплексные литолого-минералогические исследования донных отложений минеральных озёр Большие Тороки и Большое Яровое и сравнительный анализ полученных результатов позволили выполнить реконструкцию эволюции природно-климатических обстановок южных районов Западной Сибири во второй

половине голоцена. Показана высокая перспективность изучения аутигенных карбонатов кальцит-доломитового ряда, в качестве палеоклиматических индикаторов. Полученная в ходе исследований информация способствует более глубокому пониманию современных процессов изменения климата на территории Сибирского региона.

Благодарности. Авторы выражают благодарность д.г.-м.н. С.К. Кривоногову за предоставленные материалы. Работа выполнена по государственным заданиям ИГМ СО РАН (FWZN-2026-0011, FWZN-2026-0008). Основные аналитические работы проведены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН.

Список литературы

1. Солотчина Э.П., Скляров Е.В., Солотчин П.А., Вологина Е.Г., Столповская В.Н., Склярова О.А., Ухова Н.Н. Реконструкция климата голоцена на основе карбонатной осадочной летописи малого соленого озера Верхнее Белое, Западное Забайкалье // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 12. С. 1756-1775.
2. Солотчин П.А., Солотчина Э.П., Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Кривоногов С.К., Жданова А.Н., Даниленко И.В. Карбонатная седиментация в высокоминерализованном озере Большой Баган (юг Западной Сибири): зависимость от изменений климата голоцена // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 9. С 1318-1329.
3. Last W.M. Geolimnology of salt lakes // Geosciences Journal. 2002. V. 6. № 4. P. 347–369.
4. Solotchina E.P., Solotchin P.A. Composition and structure of low-temperature natural carbonates of the calcite-dolomite series // Journal of Structural Chemistry. 2014. V. 55. № 4. P. 779–785.

Закономерности седиментации в период перехода от ледниковых к межледниковым условиям на примере малых озёр, ранее входивших в акватории Балтийского ледникового, Онежского приледниковых озер и высоко/среднегорных озер Горного Алтая

Страховенко В.Д.[1,2]*, Субетто Д.А.[1], Малов В.И.[1,2], Белкина Н.А.[1,3], Орлов А.В.[1,3]

1 Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербур;
2 Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск; strahova@igm.nsc.ru
3 Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Введение. Отложения озер представлены осадками последнего гляциоседиментационного цикла, включающего этапы оледенения (валунные суглинки, ленточные глины) и постоледенения (голоценовые глины и илы). Актуальность их изучения базируется на сохранившейся в донных отложениях (ДО) информации об эволюции системы озера от позднего неоплейстоцена (приледникового озера) до современного времени, что позволяет проследить непрерывно реакцию и изменение экосистемы озера на природно-климатические трансформации от ледникового периода до антропогена. Цель работы - сопоставить информацию об основных особенностях/закономерностях процессов седиментации, аккумуляции и диагенетического преобразования осадков на этапе перехода природно-климатических условий от ледниковых к межледниковым на примере малых озер, котловины которых затапливались водами Балтийского ледникового озера (БЛО) (до 11500 лет назад), Онежского приледникового озера (ОПО) и малых высоко-среднегорных озер Горного Алтая.

Материалы и методы исследования. В статье рассматриваются особенности минералообразования и геохимии в разрезах четвертичных ДО в малых озер: Карельского перешейка (разрез четвертичных глин в карьере «Эталон», Приневсская низменность; оз. Налимовка), Карелии (озера Полевское, Керацкое, Лавозеро, Гангозеро, Великое, Муромское, Безымянное) и Горного Алтая (малые высоко-среднегорные озера Теплое, Аргамджи, Перевальное, Малое и Большое Тархатинские, Гусиное, Безымянное, Игисту-кёль, Бирюзовое, Зерлюколь-нур), находящихся в настоящее время в условиях нивального и гумидного климата (седиментогенеза). Котловины изученных на СЗ России озер затапливались водами крупнейших приледниковых пресноводных бассейнов – БЛО (Карельский перешеек) и ОПО (Карелия). Изучение химического и минерального состава ДО проводилось в Аналитическом центре многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН, Новосибирск. Определения содержаний макро- и микроэлементов проводились с помощью РФА, атомно-абсорбционного и ICP-MS методов. Изучение минерального состава и структурных особенностей, морфологии на уровне минеральных зерен проводилось с помощью метод рентгеновской дифрактометрии, сканирующего электронного микроскопа, оборудованного энергетический детектор Si(Li), позволяющий проводить количественный химический анализ на микрообъемах. Расчет литохимических модулей производился по данным РФА по формулам (Маслов, Подковыров, 2023).

Обсуждение результатов. Согласно визуальным описаниям литологических разрезов ДО изученных озер выявлено трёхчленное строение: нижние минеральные отложения сменяются верхними минерально-органогенными с присутствуем маломощного переходного горизонта между ними. Нижние горизонты отложений представлены глубоководными озёрно-ледниковыми отложениями (ленточные глины), формировавшихся на разных стадиях развития приледниковых озёр – от приледникового водоёма до озера, потерявшего связь с отступившим краем ледника. Пачки ленточных глин сложены осадочным материалом преимущественно алевро-пелитовой размерности. От подошвы колонок ДО вверх по разрезу варвы (пара слоев в ленточных глинах,

сформировавшаяся за одни год) утоняются и приобретают небольшую мощность, а затем сменяются гомогенными глинами. В минеральном составе количество слоистых силикатов (хлорит, иллит, иллит-смектит) с начало увеличивается по отношению к кварцу, полевым шпатам, достигая максимума в верхних пачках ленточных глин, а затем уменьшается, особенно в гомогенных глинах и илах малых изолированных озер голоцена. Состав терригенной фракции, что для ДО БЛО и ОПО, что для ДО озер Горного Алтая сходен между собой. Отличия между составом ДО в кернах разных озер отмечается для основных минералов: в морфологии их зерен, их размерности, по степени изменения и соотношения между собой. Минеральный состав горных пород водосборных площадей изученных озер определяет соотношение между основными минералами в ДО, а также присутствие отдельных акцессорных минералов, соответствующих металлогенической специфики водосборных территорий. Например, в составе ленточных глин БЛО значительно больше калиевого полевого шпата (кпш), роговой обманки, биотита, что связано с распространением на водосборной площади гранитов-рапакиви, что приводит также к обогащению этих ДО K, Zn, Th, U, P, TR, Zr, Hf (рис. 1а).

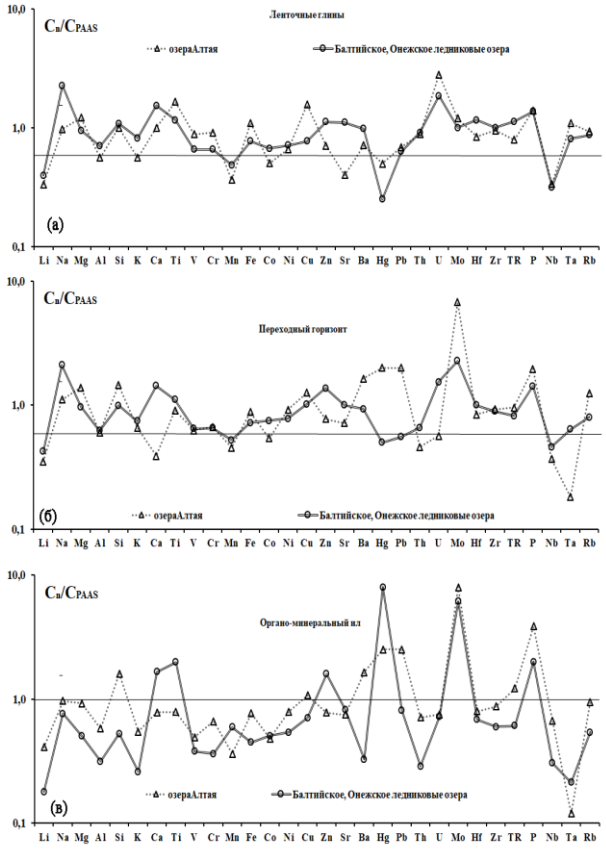


Рис. 1. Усредненные содержания элементов в ДО озер на разных стадиях лимногенеза: (а) приледниковые озера, (б) переходный горизонт, (в) органо-минеральный ил, нормированные на PAAS (постархейский средний глинистый сланец) (Taylor, McLennan, 1985)

Выше по разрезу ДО в переходном горизонте во всех изученных озерах в минеральной ассоциации наблюдается набор минералов, который обнаружен в ленточных глинах, но к ним добавляется рентгеноаморфная фаза (до 15% от общей массы ДО) органического происхождения (обломки створок диатомей и остатки гидробионтов), а также железистый иллит и фрамбоидры пирита (рис. 1б). Размерность

зерен уменьшается до пелитовой. Минеральный состав хорошо согласуется с геохимическими результатами: в гомогенных глинах переходных горизонтов от приледниковых к постледниковым условиям в разрезах отложений озёр увеличивается содержания Si, P, Mo, а для озер Горного Алтая характерно также увеличение в ДО, таких элементов, как Ba, Hg, Pb относительно нижележащих пачек ленточных глин. Это связано с появлением органического материала, и поступлением минералов тяжелой фракции со склонов гор в котловины озер после отступления ледников (рис. 1в). Высокое количество тонкочешуйчатых агрегатов железистого иллита в гомогенных глинах и илах можно объяснить тем, что часть агрегатов слюд, привносятся в воды озер в деградированном состоянии. В озере в период его промерзания данные зерна совместно с аморфными агрегатами железа могут агрегировать, что и приводит к образованию железистых разновидностей иллита. В вышележащих пачках гомогенных илов количество рентгеноаморфной фазы (органические остатки (в основном это обломки диатомей) и железистый иллит) достигает 50%, а фрамбоидров пирита до 5%. Геохимические спектры элементов для илов имеют схожий характер распределения относительно ниже залегающих ДО соответствующих территорий, но при этом характеризуются более низкими содержаниями элементов за счёт большего количества органического вещества, за исключением высоких концентраций P, Hg, Mo для всех озер и Ti, Zn для озер территорий БЛО. Повышенные концентрации Ti в озёрных илах этой территории можно объяснить унаследованием его в составе иллитов и иллит-смектитов (до 2,5% изоморфная примесь), образующихся по деградированным агрегатам биотита (примесь Ti до 3,5%). (рис. 1в).

На тройной диаграмме Al2O3–CaO+Na2O–K2O фигуративные точки обобщенных концентраций в озёрно-ледниковых отложениях (ленточные глины) и озёрных голоценовых илах расположены между областями выветривания плагиоклазов, биотита, кпш (рис. 2). Это полностью соответствует данным минералогических исследований: разрушение именно этих минералов с образованием иллитов, иллит-смектита и присутствие в ДО значительного количества пластинок мусковита.

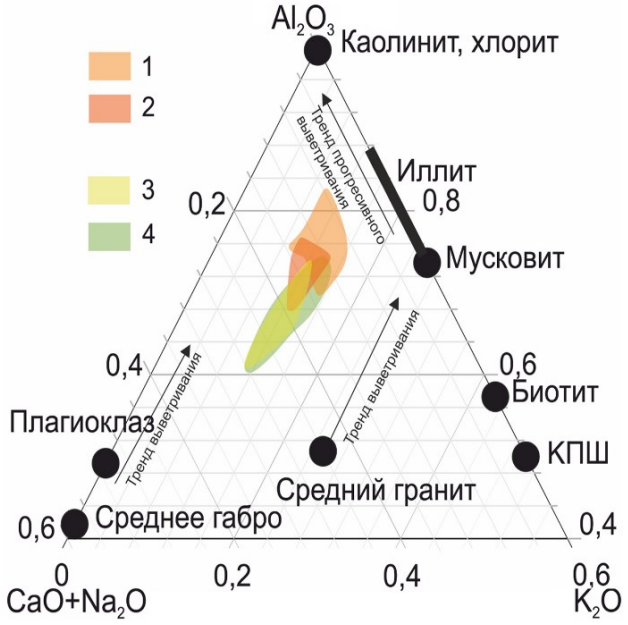


Рис. 2. Распределение фигуративных точек усредненного состава донных осадков озер Алтая, озер, котловины которых затапливались водами Балтийского и Онежского приледниковых озер на тройной диаграмме направленности выветривания (Маслов, Подковыров, 2023)

Современные гомогенные илы демонстрируют более высокую степень разложения исходных пород относительно состава ленточных глин, что соответствует более агрессивной обстановке физико-химической денудации на водосборной площади во время их накопления. Для ленточных глин территории Балтийского щита наблюдаются распределения усредненного состава точек отдельных озер по тренду выветривания в последовательности с севера-запада на юго-восток, от менее к более выветрелым отложениям. Для озер Горного Алтая характерно преобладание более разрушенных слоистых минералов как для ленточных глин, так и для голоценовых илов.

Выводы. Установлено, что донные отложения озёр, формировавшиеся на протяжении всего постледникового цикла, имеют схожий минеральный и геохимический состав. Основу отложений составляет обломочный материал. В нижних частях разрезов (ленточные и гомогенные глины) фиксируется слабая степень выветривания, что свидетельствует о преобладании интенсивной физической эрозии на незакреплённых субстратах водосборных площадей в условиях криогенных процессов. В пачках озёрных гомогенных илов преобладает умеренно выветрелый материал. Этот факт указывает на существенную гумидизацию климата в период их формирования. Смена климатических условий — от холодных арктических в позднем неоплейстоцене к тёплым и влажным в голоцене — привела к трансформации минерального типа седиментации в органо‑минеральный. Это выразилось в росте доли органического вещества и содержания аутигенных минералов в современных илах, а также в формировании специфических железосодержащих фаз иллита. Геохимические данные подтверждают влияние геологического строения водосборных площадей на состав и свойства донных отложений озер на всех этапах формирования. В частности, наблюдается: унаследованность геохимических характеристик от пород водосбора; повышенные концентрации Hg, P, Mo в голоценовых отложениях, что связано с увеличением поступления этих элементов совместно с органическим веществом; региональные особенности накопления микроэлементов, обусловленные литологией и металлогенической спецификой водосборных территорий конкретных озёр.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206.

Список литературы

1. Маслов А. В., Подковыров В. Н. Индексы химического выветривания и их использование для палеоклиматических реконструкций (на примере разреза венда–нижнего кембрия Подольского Приднестровья) // Литология и полезные ископаемые, 2023, № 3, с. 249–273. DOI: 10.31857/S0024497X22700033
2. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. Oxford: Blackwell Sci., 1985 (Publ.). 330 p.

Особенности озерного осадконакопления на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена: источники вещества, условия и механизмы

Субетто Д.А.[1]*, Страховенко В.Д.[1,2], Рыбалко А.Е.[1,3,4], Белкина Н.А.[1,5], Орлов А.В.[1,5], Кублицкий Ю.А.[1], Потахин М.С.[1,5], Зобков М.Б.[1]

[1] Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, факультет географии, Санкт-Петербург, Россия, subetto@mail.ru

[2]Институт геологии и минералогии имени В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

[3]Институт наук о Земле СПБГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

[4]ФГБУ «ВНИИОкеангеология», г. Санкт-Петербург, Россия

[5]Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

Введение. Уникальные природно-климатические условия перехода от холодных нивальных к теплым гумидным обстановкам на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена (14 000–9 000 лет назад) отразились в особенностях озерного осадконакопления. Изменение природных и климатических условий повлияло на формирование донных отложений, что выразилось в смене источников осадочного вещества, его переноса, осаждения и диагенетической трансформации, а также в изменении мощности, вещественного состава и физических свойств озерных осадков.

В позднеледниковое время (15000–12000 лет назад) в северной Европе происходило активное таяние последнего ледникового щита валдайского оледенения. По периферии этого ледника формировались крупные приледниковые водоемы (Балтийское ледниковое озеро, Онежское приледниковое озеро, Беломорское приледниковое озеро), в которых накапливались уникальные донные отложения – озерно-ледниковые глины, суглинки и супеси, отличающиеся от современных, преимущественно органогенных, озерных отложений, наличием отчетливо выраженной слоистостью (парная ленточная годичная слоистость – варвы), высокими скоростями осадконакопления (до нескольких сантиметров и более в год, в отличие от долей миллиметров в год в современных озерах), низким содержанием органического вещества (доли процента).

Совпавшие по времени на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена (поздний дриас, 12800 – 11500 лет назад) ряд значительных палеогеографических событий, а именно, резкое потепление климата, спуск крупных приледниковых бассейнов Северного полушария (Балтийского ледникового озера, Онежского приледникового озера, Беломорского приледникового озера, приледникового озера Агассис (Северная Америка)), активизация вулканической деятельности (вулканы Лаахар Зе (Германия), Катла (Исландия) и др.), падение крупного метеорита («импактное событие-12,8» – 12800 лет назад), могут быть взаимосвязанными событиями, нашедшими свое отражение в особенностях озерно-ледникового и озерного осадконакопления.

Рассмотрим на примере Онежского озера, как протекали процессы аквальной седиментации на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена.

Объект и результаты. Онежское озеро (62°42′ с.ш., 33°25′ в.д.; высота над уровнем моря 33,3 м БС) – второе по величине пресноводное озеро в Европе, являющееся частью бассейна Балтийского моря (Палеолимнология…, 2022). Площадь Онежского озера составляет 9970 км^2 (водное зеркало 9720 км^2, острова – 250 км^2). Максимальная глубина составляет 120 м, средняя – 30 м, объём водной массы – 295 км^3. Онежское озеро имеет большой по площади водосборный бассейн, почти в 5 раз превышающий его размеры (53100 км^2). Онежское озеро в своем современном виде сформировалось за последние 15000-14000 лет, пройдя путь от огромного приледникового озера к современному состоянию. Смена климатических условий от холодных, арктических позднего неоплейстоцена к тёплым и влажным

условиям голоцена в Северном полушарии около 11500 лет назад привела к изменению процессов озерного осадконакопления от минерагенного к органогенному типу, наблюдающихся повсеместно в виде смены глинистых отложений органогенными илами. Керны озерных отложений, где бы они не были отобраны, имеют двухчленное строение: нижняя часть разреза донных отложений представлена минеральными отложениями позднего неоплейстоцена, формировавшихся в условиях холодного, континентального (нивального) климата, а верхняя часть разреза – органогенными отложениями голоцена, формировавшихся в условиях умеренно теплого, влажного (гумидного) климата. Во время ледниковой стадии своего максимального развития (ок. 13300 л.н., рис. 1), Онежское приледниковое озеро (ОПО) имело существенно бóльшие морфометрические характеристики, превышающие современные, примерно в 3 раза: площадь зеркала воды – 33000 км^2, объём воды – 900 км^3, максимальная глубина достигала значений 250-300 м (при таких характеристиках озеро относится к классу «великое»). Озеро было холодоводным, ультра-олиготрофным, с низкой прозрачностью и невысокой биопродуктивностью.

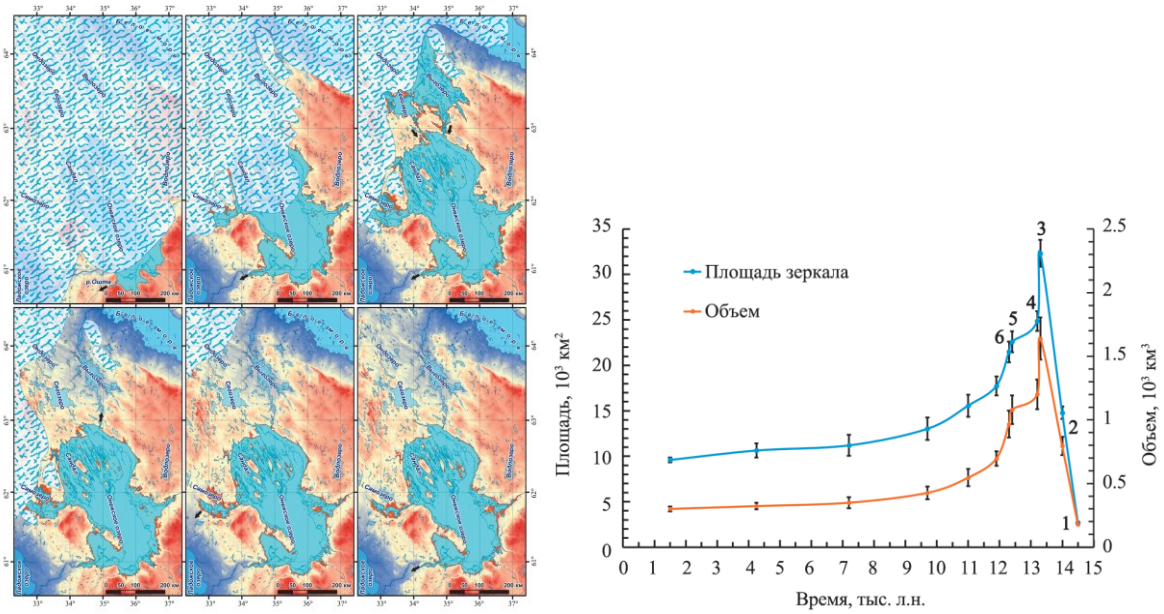


Рис. 1. Реконструированные этапы развития Онежского озера со времени начала дегляциации котловины ок. 15000 лет назад (слева направо: 14,5; 14,0; 13,3; 13,2; 12,4; 12,3 тыс.л.н.) и его площади и объёмы (1-сток на запад через рр. Ошта и Оять; 2,3,5,6 – сток в Ладогу (пра-Свирь, рр. Нялма и Видлица (5), р. Свирь; 4-сток в Белое море) (Палеолимнология…, 2022)

Этот этап соотносится с нивальным типом седиментогенеза и литогенеза с преобладанием физической и криогенной денудации на водосборе. Господствующими процессами являлись эрозия, экзарация и абразия. Питание ОПО осадочным веществом осуществлялось за счет поверхностного стока (как с тающего ледника, так и с открытых пространств с речным стоком), ледового разноса и воздушными массами (атмосферный перенос). Ритмичное накопление отложений (преимущественно пульсационное поступление вещества с ледника, турбидиты) способствовало формированию ленточно-слоистых глинистых отложений (ленточные глины). По нашим оценка, объём озерно-ледниковых отложений ОПО составляет 52 км^3 с массой ок. 30000 млн.т сухого вещества. Эта огромная масса осадочного вещества накопилась за относительно короткий промежуток времени – 1000-2000 лет. Тогда как оценочный

объем голоценовых озерных отложений меньше в пять раз - ок.10 км^3 (масса в 10 раз меньше – 3000 млн. т сухого вещества), а время накопления этого объема осадочного вещества 9000-10000 лет. Донные отложения, сформировавшиеся в озерно-ледниковых условиях, имеют схожий минеральный и геохимический состав, формировавшийся на протяжении всего гляциоседиментационного цикла. В их составе преобладает обломочный материал смешения продуктов размыва архейских и протерозойских гранитоидов и вулканогенно-осадочных пород, включая шунгиты (Балтийского щита) и осадочных пород Русской плиты. Пелитовая и алевритовая размерность основной массы обломочного вещества, слагающего озерно-ледниковые отложения, и обогащенность донных осадков устойчивыми минералами и слоистыми силикатами указывают на длительный характер переноса или отложения рециклированного осадочного материала. Слабая степень его химического выветривания свидетельствует о преобладании интенсивной эрозии на незакрепленных субстратах водосборных площадей в условиях преобладания криогенных процессов и существенной роли эоловой транспортировки материала с водосборного бассейна в озеро. В период формирования пачек ленточных и большей части пачки гомогенных глин основным источником поступления терригенной фракции являлись рыхлые осадочные отложения Русской плиты, поэтому в составе осадков преобладают хлорит и иллит. По мере отступания ледника с территории водосборного бассейна происходило постепенное смещение водосборного бассейна с юга и юго-востока к северо-западу на территорию распространения кристаллических пород Балтийского щита. Значительная мощность серых гомогенных глин в разрезе дает основание считать, что в период их формирования ледник отступил с водосборного бассейна Онежского озера, а существенную роль мог играть эоловый перенос вещества. Результаты исследования показали, что «розовый горизонт» (рис. 2) в ленточных глинах Онежского приледникового озера имеет более высокое содержание железа по сравнению с ниже- и вышележащими слоями (Страховенко и др., 2025; Гольева и др., 2025).



Рис. 2. Фотография керна донных отложений оз. Полевского (Заонежье), представленных ленточными глинами ОПО с отчетливо выраженным «розовым горизонтом» с нижней четкой границей (отн. глубина 136 см) и с постепенным исчезновением «розовой» окраски (отн. глубина 116 см)

Этот факт, а также стратиграфическая выдержанность «розового горизонта» с контрастной сменой окраски указывают на внешнее поступление вещества, в том

числе железа, например, в виде пыли. «Розовый горизонт» может служить маркером «импактного события 12,8». Недавнее исследование вещественного состава «розового горизонта» в ленточных глинах северного Прионежья выявило магнетитовые микросферулы с высоким содержанием железа (Shelekhova et al., 2026). Это усиливает аргументы в пользу связи этого горизонта с позднедриасовым похолоданием и предполагаемым падением космического болида на земную поверхность 12800 лет назад.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206.

Список литературы

1. Гольева А.А., Субетто Д.А., Мергелов Н.С., Орлов А.В., Дзини С., Хохлов Н.В. 2025. К вопросу о составе «розового горизонта» в ленточных глинах Онежского приледникового озера // Журнал Сибирского федерального университета. Биология, № 18(3), с. 272-284.
2. Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям: [коллективная монография] / Д.А. Субетто., Н.А. Белкина, В.Д. Страховенко [и др.]; ответственный редактор Д. А. Субетто; Министерство науки и высшего образования РФ, Министерство просвещения РФ, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Российский научный фонд. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. — 332 с.
3. Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Рыбалко А.Е., Малов В.И., Белкина Н.А., Потахин М.С., Орлов А.В. 2025. Минералого-геохимические особенности донных отложений Онежского озера в разрезе последнего ледникового – озерно-ледникового – озерного седиментационного цикла (верхний неоплейстоцен – голоцен). Геоморфология и палеогеография. Т. 56. № 4. С. 598—625. https://doi.org/10.7868/S2949179725040041
4. Shelekhova, T., Lavrov, O., Rodionov, O. 2026. Preliminary evidence for possible extraterrestrial material in bottom sediments from periglacial Lake Onega (Karelia, Russia). Quaternary Science Reviews 389 110101. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2026.110101

Корреляция спорово-пыльцевых комплексов озерных отложений позднеледниковья и голоцена Молого-Шекснинской низменности

Суворова А.Н.[1,2], Садоков Д.О.[3], Савельева Л.А.[1], Петров А.Ю.[1], Бабешко К.В.[4]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, plinkol@yandex.ru

[2] Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского, Санкт-Петербург

[3] Пекинский университет, Пекин

[4]Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне, Шэньчжэнь

Введение. Палеогеографические и палеоботанические исследования Молого-Шекснинской низменности (МШН), расположенной на северо-западе Русской равнины, остаются фрагментарными. Палинологические исследования озёрных и болотных отложений последних лет позволяют уточнить время и условия установления голоценового потепления и общую схему развития растительности МШН на протяжении голоцена и позднеледниковья. Однако результаты исследования отдельных разрезов до сих пор не были синхронизированы и скоррелированы между собой, тогда как послеледниковые природно-климатические особенности МШН отличаются от близлежащих районов краевой зоны осташковского оледенения.

В работе представлено сравнение спорово-пыльцевых комплексов позднеледниковья и голоцена отложений озер Змеиное, Згонское и Отно, расположенных в юго-восточной и центральной частях МШН. Разрезы сопоставлены с опубликованными данными по озерам Хотавец (Сапелко, Садоков, 2022) и Мотыкино (Камыгина, Ершова, 2024) (центр МШН) и болот Серебряниковское (Савельева, 2007ф), Дедово поле и Закозье (Плешивцева, 2002ф) (сопредельные регионы).

Материалы и методы. Отбор отложений из озер проводился полуцилиндрическим торфяным буром в марте 2022, августе 2025 и марте 2026 годов.

Озеро Змеиное (58°33'45.0" с.ш., 37°36'43.0" в.д.). Литологические горизонты: 1) 4,09-3,96 м – алевропелит серо-черный; 2) 3,96-0,49 – темно-коричневый торфянистый сапропель; 3) 0,49-0 м – гомогенные органогенные илы.

Озеро Згонское (58°43′27″ с.ш., 37°36′17″ в.д.). Литологические горизонты: 1) 1,75-1,65 м – серо-коричневый глинистый м/з песок с угольками; 2) 1,65-1,32 м – сапропель оливковый с растительными остатками, в нижней части с мелкозернистым песком; 3) 1,32-0 м – сапропель зеленовато-черный с остатками растений.

Озеро Отно (59°9’26’’ с.ш., 36°26’49’’ в.д.). Литологические горизонты: 1) 1,34-1,02 м – алевропелит зеленовато-коричневая с м/з песком; 2) 1,02-0,87 м – алевропелит серовато-коричневая с м/з песком; 3) 0,87-0 м – сапропель темно-коричневый с растительными остатками.

Спорово-пыльцевой анализ и радиоуглеродное датирование стандартным методом выполнены в лаборатории “Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана” им. В.П. Кёппена Института наук о Земле СПбГУ. Из отложений озера Змеиное изучено 42 образца с частотой 10 см, из Згонского – 66 образцов с интервалом 1-4 см, из Отно – 18 образцов с интервалом 8 см. Предварительная химическая подготовка выполнена по стандартной методике.

Определение возраста отложений озер Змеиное и Згонское было выполнено методом AMS^{14}C в Институте геохимии Гуанчжоу, Китайская Академия наук, Китай. Калибровка выполнялась с использованием кривой IntCal20 (пакет ‘rbacon’).

Результаты. Растительный покров МШН реконструируется с аллереда по данным озер Згонское и Отно и с начала голоцена по данным озера Змеиное. Корреляция результатов спорово-пыльцевого анализа показала как общие закономерности в динамике спорово-пыльцевых комплексов (СПК), так и различия.

Аллеред зафиксирован в отложениях озер Згонское и Отно и характеризуется доминированием пыльцы *Picea*. При этом в СПС Отно доля пыльцы *Picea* достигает 52%, а в СПС Згонского колеблется от 9 до 40%. В СПС Отно отмечается меньшая

доля пыльцы *Betula* sect. *Albae* и большая доля пыльцы *Artemisia* относительно СПС Згонского, что можно объяснить его более северным расположением. В отложения болота Закозье доля пыльцы *Picea* также достигает 50%. СПС озера Хотавец отличается доминированием пыльцы доминированием пыльцы *Pinus* (до 55%) при значительном количестве пыльцы *Picea* (10-15%) и трав. Озера Згонское и Хотавец находятся на расстоянии всего в 17 км и в схожем геоморфологическом положении, от чего появляется вопрос такого различия в доминирующих таксонах. СПС Згонского отличается присутствием пыльцы *Alnus* (до 5%) от спектров других озер, где пыльца *Alnus* отсутствует, либо встречается единично.

Таблица 1. Спорово-пыльцевые комплексы отложений исследованных озер

Этап по схеме Блитта-Сернандера	оз. Змеиное	оз. Згонское	оз. Отно
Субатлантический период	*Betula* sect. *Albae* – *Picea* - *Pinus*	*Betula* sect. *Albae* - *Picea* - *Pinus*	*Picea* - *Pinus* - *Betula* sect. *Albae*
Суббореальный период	*Betula* sect. *Albae* - *Alnus* - *Pinus*	*Betula* sect. *Albae* - *Picea* - *Pinus*	
Атлантический период	*Betula* sect. *Albae* – *Pinus* - Широколиственные	*Betula* sect. *Albae* - *Pinus* - *Picea*	*Betula* sect. *Albae* - *Pinus* - *Alnus*
Бореальный период	*Betula* sect. *Albae* - *Pinus* - *Salix*	*Betula* sect. *Albae* - *Pinus* - *Betula nana*	*Betula* sect. *Albae* - *Betula nana* - *Alnus*
Пребореальный период	*Betula* sect. *Albae* - *Pinus* - *Picea*	*Betula* sect. *Albae* – *Picea* - *Betula nana* - Poaceae	*Betula* sect. *Albae* - *Betula nana* - *Picea* - Poaceae
Поздний дриас		*Betula* sect. *Albae* – *Picea* - *Betula nana* - *Artemisia*	*Picea* - *Artemisia* - *Betula nana*
Аллеред		*Picea* - *Betula* sect. *Albae* - *Betula nana*	

Поздний дриас по пыльцевым данным также выделяется в отложениях озер Згонское и Отно. СПС Згонского характеризуется уменьшением доли пыльцы *Picea* до 15%, при этом количество пыльцы *Betula* sect. *Albae* увеличивается до 35%. Наши данные схожи с СПС болота Закозье. СПС озера Хотавец значительно отличается от наших данных отсутствием пыльцы *Betula* и доминированием пыльцы *Pinus* и Poaceae. Отличительной особенностью СПС позднеледниковья по нашим данным также является присутствие пыльцы *Salix* (2-5%), что не отмечается в разрезах озера Хотавец и болота Закозье. Во всех СПС единично встречена пыльца *Ephedra*.

На границе верхнего неоплейстоцена и голоцена резких изменений в СПС не наблюдается. Нижняя граница *пребореального периода* подтверждена данными радиоуглеродного датирования: начало палинозоны (136-137 см) озера Згонское, которая соотносится с пребореальным периодом, датируется 11460±750 кал.л.н. (10290±50 ^{14}C л.н.), а нижняя часть колонки озера Змеиное (399-409 см) – 12040±510 кал. л.н. (10330±370 ^{14}C л.н.) (Суворова и др., 2023). Общий состав пыльцы характеризуется плавным ростом суммы пыльцы древесных как в наших колонках, так и в опубликованных. В СПС пребореала доминирует *Betula* sect. *Albae* при значительном количестве *Betula nana* и *Picea*, что согласуется

с данными болот Серебряниковское и Закозье и озера Мотыкино. При этом в СПС пребореала озера Хотавец и болота Дедово поле доминирует пыльца *Pinus*. Данный период также характеризуется максимумом пыльцы *Salix* – 4-6% по нашим данным.

Бореальный период характеризуется заметным увеличением процента пыльцы деревьев и кустарников в общем составе СПС до 85-90%, а также повсеместным доминированием пыльцы *Betula* sect. *Albae* на фоне возрастающей роли пыльцы *Pinus*. Отличается СПС Отно, где высок процент пыльцы *Betula nana* – 13-22%. В середине палинозон, соотносимых нами с бореалом, появляется пыльца *Ulmus* и *Alnus*, а в конце – *Corylus* и *Tilia*. Наши данные согласуются с опубликованными разрезами МШН.

В СПС *атлантического периода* также доминирует пыльца *Betula* sect. *Albae*, при этом вновь появляется пыльца *Picea* и достигает до 20% (озеро Згонское), а также продолжает увеличиваться доля пыльцы *Pinus.* Процент пыльцы *Alnus* достигает 8-12% в СПС изученных озер. *Конец атлантика* отличается максимумом пыльцы (до 12%) широколиственных пород деревьев (*Ulmus*, *Tilia, Quercus*) и *Corylus.* Отличается СПС болота Закозье, где доля пыльцы *Picea* составляет 50%.

Суббореальный период характеризуется пиком пыльцы *Picea*: 22-23% в озерах Згонское и Отно, однако в СПС Змеиного доля пыльцы *Picea* составляет заметно меньше – до 12%. СПС суббореала озера Змеиное также выделяются по максмуму пыльцы *Corylus* (до 5%) и *Quercus* (до 6%). Максимум пыльцы *Quercus* также отмечается в СПС озера Згонское и Отно. Суббореал характеризуется незначительным увеличением процента пыльцы трав, в частности *Artemisia*. В начале палинозоны в озере Згонское отмечается пессимум пыльцы *Picea*. Отличается СПС болота Закозье, где процент пыльцы *Picea* наоборот уменьшается до 10%.

Субатлантический период явно не выражается в изменениях СПС изученных озер. Для данного периода отмечается уменьшение пыльцы широколиственных пород деревьев до 2-3% и *Alnus*. В озеро Отно отмечена пыльца *Secale*.

Заключение. Для МШН наибольшим различием в составе спорово-пыльцевых спектров характеризуется позднеледниковье, что, вероятно, обусловлено зависимостью от местных условий. Так, аллеред и поздний дриас озера Отно отличается от Згонского преобладанием более холодо- и сухолюбивых таксонов. Также наши данные по позднеледниковью выделяются значительным количеством пыльцы *Picea*. Доминирующим таксоном голоцена зачастую является *Betula* sect. *Albae* при различных субдоминантах (*Picea*, *Pinus*, *Alnus*, *Betula nana* или *Artemisia*). Наблюдается закономерность в миграции *Pinus* с юго-востока на северо-запад с пребореала по атлантик, когда она становится стабильным элементом СПС.

Список литературы

1. Информационный отчет о результатах научно-исследовательских работ по “созданию регионального банка микропалеонтологических данных и уточнению микропалеонтологического обоснования стратиграфии четвертичных отложений севера и северо-запада Русской плиты” / книга 1; отв. исполнитель - Плешивцева Э.С., - Санкт-Петербург, 2002. - Инв. № 27290
2. Камыгина А.В., Ершова Е.Г. Палинология озера Мотыкино в голоцене (Вологодская область, Северо-Запад европейской части России) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 340-345.
3. Савельева Л.А. «Особенности миграции ели и ольхи в голоцене на Северо-Западе европейской части России (по данным палинологического анализа болотных и озерных отложений)». Диссертация на соискание научной степени кандидата географических наук, 2007
4. Сапелко Т.В., Садоков Д.О. Палинология озер Молого-Шекснинской низменности // XV Всероссийская палинологическая конференция, 2022. С. 316-320
5. Суворова А.Н., Садоков Д.О., Петров А.Ю., Савельева Л.А. Изменчивость растительного покрова Молого-Шекснинской низменности в голоцене по данным изучения озера Змеиное: первые результаты // LXXVI Герценовские чтения. География: развитие науки и образования. Материалы международной научно-практической конференции, Т. 1. 2023. С. 369-374

Предварительные результаты хирономидного анализа колонки донных отложений оз. Большое Корзино, Соловецкий архипелаг

Сырых Л.С.[1], Григорьева О.Е.[1], Назарова Л.Б.[2], Орлов А.В.[1,3], Белкина Н.А.[3], Субетто Д.А.[1]

[1] РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург
[2] Институт биофизики Сибирского отделения РАН, Красноярск
[3] Институт водных проблем Севера, ФИЦ КарНЦ РАН, Петрозаводск

Введение. Личинки хирономид (Diptera, Chironomidae) широко применяются в палеогеографических исследованиях в качестве надежных биоиндикаторов трансформации окружающей среды (Brooks et al., 2007; Nazarova et al.,2015). Их высокая чувствительность к изменениям климатических (температура воздуха) и гидрологическим (глубина, трофность, содержание кислорода, соленость) условий позволяет использовать их для точных палеоэкологических реконструкций. В экотонах, таких как прибрежные озера, развивающиеся в зоне влияния морских бассейнов, наблюдается высокая гидродинамика и выраженная вариабельность экологических факторов (Mardashova et al., 2020). В связи с этим исследование изменений хирономидных сообществах дает возможность детально реконструировать этапы развития водоемов в пределах переходных прибрежно-морских зон (Nazarova et al., 2025).

Материалы и методы. В качестве объекта исследования выбрано озеро Большое Корзино (65,06 с.ш., 35,64 в.д., 17 м над у.м.; глубина в точке отбора 5 м), расположенное в западной части о. Большой Соловецкий. Колонка длинной 1,83 м была исследована рядом палеолимнологических методов (гранулометрический, анализ потери органической массы при прокаливании). В литостратиграфии четко выделяется переслаивание органогенных и терригенных отложений. Пробы также направлены на радиоуглеродное датирование и диатомовый анализ.

Для хирономидного анализа из колонки отобрано 30 проб с интервалом ~5 см. Лабораторная обработка проб выполнена по стандартной методике, описанной Бруксом (Brooks et al., 2007). Определение проводилось по специализированным определителям (Brooks et al., 2007; Wiederholm, 1982). Характеристика экологии таксонов приведена в соответствии с Moller Pillot (2009, 2013) и Nazarova et al. (2015; 2017). Полученные результаты визуализированы с помощью программного пакета C2 (Juggins, 2007). Разнообразие таксонов оценивалось с помощью индекса Хилла (Hill, N2; Hill, 1973)

Результаты. Из каждой пробы извлечено от 2 до 64 головных капсул хирономид. Всего идентифицировано 58 таксонов. Доминирующие таксоны относятся к 3 подсемействам: *Chironominae* (*Chironomus anthracinus*-type, *Microtendipes pedellus*-type, *Tanytarsus pallidicornis*-type), *Orthocladiinae* (*Cricotopus cylindraceus*-type, *Psectrocladius sordidellus*-type), *Tanypodinae* (*Ablabesmyia*). Ни один из обнаруженных таксонов не встречается во всех пробах.

В горизонтах 6,84 – 6,72 и 6,30 – 6,00 м, представленных песчаными и алевритовыми отложениями с низким содержанием органики, обнаружены единичные головные капсулы хирономид (от 2 до 10 шт. в пробе). Таксономическое разнообразие низкое, значение индекса Хилла варьирует от 1,3 до 6,2.

Таксоны, обнаруженные в горизонте 6,84 – 6,72 м относятся обитателям литорали заросших неглубоких пресных водоемов (*Psectrocladius septentrionalis*-type, *Tanytarsus lugens*-type, *Tanytarsus pallidicornis*-type) или мелководьям (*Limnophyes* – *Paralimnophyes*, Cricotopus spp) (Brooks et al., 2007; Moller Pillot.,2013).

В горизонте 6,30 – 6,00 м преобладают *C. cylindraceus*-type и *Orthocladius* type I, являющиеся типичными фитофильными таксонами (Brooks et al., 2007). Субдоминантные таксоны *Polypedilum nubeculosum*-type, *Heterotrissocladius maeaeri*-type 2, *Chironomus*

anthracinus-type обычно ассоциируются со слабоминерализованными и слабокислыми водоемами умеренной климатической зоны (Brooks et al., 2007; Moller Pillot., 2009).

Таксономическое разнообразие резко возрастает в горизонте 6,72 – 6,30 м отложений, отличающихся высоким содержанием органического вещества. Индекс Хилла N2 здесь достигает 20,8, а общее количество таксонов здесь составляет 25 – 30 на пробу. К доминантам относятся *Ablabesmyia*, *Chironomus anthracinus*-type, *P. sordidellus*-type, *Limnophyes – Paralimnophyes*.

В нижней части выделенного горизонта зафиксировано максимальное обилие таксона *Limnophies-Paralimnophies*, экологически связанного с мелководьями и прибрежной зоной (Brooks., 2007; Nazarova et al., 2025). Синхронное присутствие ассоциирующихся с макрофитами (*Corynoneura arctica*-type, *Paratanytarsus*, *Ablabesmyia*) и полуназемных таксонов (*Pseudorthocladius*) может свидетельствовать о нестабильности гидрологического режима и существенных колебаниях уровня озера.

В вышележащих горизонтах увеличивается численность литоральных таксонов (*P.sordidellus*-type, *Phaenopsectra flavipes*-type, *Parakiefferiella bathophila*-type, *Cladopelma*) характерных для мезотрофных неглубоких озер. Повышение видового разнообразия и общей численности хирономид могут свидетельствовать о стабилизации условий в данный период.

В верхней части колонки (5,90 – 5,02 м) наблюдается рост обилия профундальных таксонов (*Sergentia coracina*-type, *Zalutschia zalutschicola*-type, *Protanypus*, *Monodiamesa*) при высоком разнообразии литоральных таксонов.

В исследованной колонке донных отложений оз. Большое Корзино четко прослеживается перестройка структуры хирономидных сообществ. Литостратиграфические особенности донных осадков отражают процесс изоляции озера от морского бассейна. Нижние горизонты исследованной колонки, по-видимому, соответствуют инициальной стадии развития оз. Б. Корзино, а вышележащие прослои алеврита с низким содержанием органики, чередующиеся с органогенными горизонтами, могут быть отнесены к этапам изоляции.

Согласно результатам диатомового и литостратиграфического анализов, представленных в более ранних исследованиях, оз. Б. Корзино на раннем этапе своего развития, представляло собой морской залив. Его изоляция и переход к озерному осадконакоплению которого произошли в среднем голоцене (Лудикова А.В., Субетто Д.А., 2015; Субетто и др., 2012). В то же время обнаружение пресноводных, типично озерных хирономид во всех исследованных горизонтах может указывать на существование опресненных участков или влиянии флювиальных процессов на развитие озера в переходный период.

Заключение. Предварительный анализ хирономидных сообществ донных отложений озера Большое Корзино продемонстрировал существенную перестройку таксономического состава всей истории существования водоема. Выявленная смена доминирующих комплексов хирономид в изученной колонке донных осадков отражает поэтапное развитие экосистемы озера. Увеличение таксономического разнообразия в верхних горизонтах отложений свидетельствуют о стабилизации экологических и гидрологических условий в озере. Дальнейшие исследования и корреляция результатов хирономидного анализа с другими палеолимнологическими данными помогут детализировать картину развития оз. Большое Корзино в голоцене.

Благодарности. Полевые и литостратиграфические исследования выполнены в рамках темы НИР ИВПС КарНЦ РАН «Состояние прибрежной экосистемы Белого моря в пределах Соловецкого архипелага» (FMEN 2024-0016).

Список литературы

1. Лудикова А.В., Субетто Д.А. Изменение уровня Белого моря в позднем плейстоцене-голоцене по данным диатомового анализа донных отложений озер Соловецкого архипелага // Вопросы современной альгологии. 2015. № 3 (10). URL: http://algology.ru/824
2. Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Лисицын А.П., Евзеров В.Я., Беек П., Суо М., Субетто Г.Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // Доклады Академии наук. 2012. Т. 446, № 2. С. 183-190
3. Brooks S.J., Langdon P.G., Heiri O. Using and identifying chironomid larvae in palaeoecology // QRA Technical Guide № 10, Quaternary Research Association, London, 2007. 276 p.
4. Juggins S. C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle University. Newcastle upon Tyne, UK, 2007
5. Hill M.O. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences // Ecology. 1973. Vol. 54(2). P. 427-432. DOI: 10.2307/1934352
6. Mardashova M.,Voronov D., Krasnova E. Benthic Communities of Coastal Water Bodies at Different Stages of Isolation from the White Sea in the Vicinity of the White Sea Biological Station, Moscow State University, Kandalaksha Bay, White Sea // Biology Bulletin. 2020. Vol. 47, No. 9. P. 1159-1178. 10.1134/S1062359020090095
7. Moller Pillot H. Chironomidae Larvae of the Netherlands and Adjacent Lowlands, Biology and Ecology of the aquatic Orthocladiinae // KNNV Publishing, 2013, 316 p.
8. Moller Pillot, H.K. Chironomidae Larvae of the Netherlands and Adjacent Lowlands: Biology and Ecology of the Chironomini // KNNV Publishing, 2009, 272 p.
9. Nazarova L., Krasheninnikov A.B., Frolova L.A., Palagushkina O.V., Golovatyuk L.V., Syrykh L.S., Biskaborn B.K., Fuchs H.G.E., Gavrilo M.V. Evolution of the Hydrobiological Communities of a Coastal Lake in the Novaya Zemlya Archipelago (Southern Island, Arctic Russia) in Relation to Climate Change Following the End of the Little Ice Age // Water. 2025. V.17(13). P.1868. https://doi.org/10.3390/w17131868
10. Nazarova, L., Self, A., Brooks, S.J., van Hardenbroek, M., Herzschuh, U., Diekmann, B. 2015: Northern Russian chironomid-based modern summer temperature data set and inference models // Global Planetary Change. 2015. V. 134. P. 10-25
11. Nazarova L.B., Self A.E., Brooks S.J., Solovieva N., Syrykh L.S., Dauvalter V.A. Chironomid Fauna of the Lakes from the Pechora River Basin (East of European part of Russian Arctic): Ecology and Reconstruction of Recent Ecological Changes in the Region // Contemporary Problems of Ecology. 2017. V. 10. P. 350–362.
12. Wiederholm, T. Chironomidae of the Holarctic Region, Keys and Diagnoses. Part 1—Larvae // Entomologica Scandinavica, Supplement 19. 1983. P. 1-457

Реконструкция климата и экологии оз. Плещеево (Ярославская область) за последние 2000 лет по данным хирономидного анализа

Сырых Л.С.[1], Назарова Л.Б.[2], Хонг-Чун Ли (Hong-Chun Li)[3,4], Фролова Л.А.[5,6]

[1] РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

[2] Институт биофизики Сибирского отделения РАН, Красноярск

[3] Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 106319, Taiwan, ROC

[4] Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, and Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao, China

[5] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

[6] Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН, Новосибирск, larissa.frolova@kpfu.ru

Введение. Трансформация природы и климата последних двух тысяч лет занимает отдельное место в палеогеографии (Subetto et al., 2017). Исследование данного временного интервала помогают понять механизмы и установить ключевые факторы природно-климатических перестроек, что необходимо для разработки точных долгосрочных прогнозов и моделирования будущих процессов. Хирономиды (Сем.Двукрылые; Insecta: Diptera) хорошо зарекомендовали себя как высокочувствительные индикаторы для построения температурных реконструкций (Brooks et al., 2007; Nazarova et al.,2015). Их высокая чувствительность к факторам среды (температура воздуха, глубина, трофность, содержание кислорода, соленость и др) позволяет использовать их в качестве надежных инструментов для анализа изменений окружающей среды прошлых эпох. (Nazarova et al., 2017, 2023).

Озеро Плещеево (56,77 с.ш., 38.78 в.д., 137 м над у.м.; 51,8 км²), расположенное на северо-восточной окраине Московской возвышенности, привлекает повышенное внимание палеолимнологов и палеогеографов (История плейстоценовых озер.., 1992) Отдельный комплекс работ посвящен позднеголоценовому этапу развития озера (Palagushkina et al., 2018; Rudinskaya et al., 2024 и др.). Тем не менее количественные реконструкции и локальное моделирование климата всё ещё сохраняют здесь свою высокую актуальность (Новенко Е.Ю., 2021; Kaufman et al., 2020; Syrykh et al., 2021).

Материалы и методы. Колонка донных отложений мощностью 128 см была отобрана летом 2022 года из озера Плещеево с глубины 21,5 м пробоотборником Uwitec (Австрия). Согласно результатам радиоуглеродного датирования (AMS) возраст донных отложений исследованной колонки охватывает последние 2000.

Пробы для хирономидного анализа были отобраны с интервалом ~4-5 см. Всего было проанализировано 27 проб. Из каждой пробы извлечено от 60 до 68 головных капсул хирономид. Пробоподготовка выполнена по стандартной методике (Brooks et al., 2007). Идентификация таксонов проводилась по определителям Brooks et al., 2007 и Wiederholm, 1982. Стратиграфическая программа построена в программе C2 версии 1.8 (Juggins, 2007). Количественная реконструкция средней июльской температуры воздуха (T July, ℃) и глубины (WD, м) воды основана на калибровочных наборах данных по озерам севера России (Nazarova et al., 2011, 2015). Разнообразие таксонов оценивалось с помощью индекса Хилла (Hill, N2; Hill, 1973).

Результаты. Идентифицированые таксоны принадлежат 3 подсемействам *Chironominae*, *Orthocladiinae*, *Tanypodinae*. Доминирующие таксоны принадлежат подсемейству *Chironominae* триб *Chironomini* (*Chironomus anthracinus*-type) и *Tanytarsini* (*Cladotanytarsus mancus*-type). Таксоны *Psectrocladius sordidellus*-type, *Polypedilum nubeculosum*-type, *Stictochironomus*, *Tanytarsus pallidicornis*-type встречаются во всех выделенных зонах.

Значение индекса видового разнообразия меняется незначительно в пределах исследованного керна. Среднее значение N2 равно 5. Понижение N2 зафиксировано около 1700, 1500 and 700 калиброванных лет назад (кал. л.н.), когда его значение составляет 3,7. Максимальное значение N2 = 7 отмечено около -40 кал. л. н.

Соотношение доминирующих *C. anthracinus*-type и *C. mancus*-type меняется на протяжение всего исследованного периода. Оба таксона имеют сходные условия обитания: они фитофильные, толерантны к кислотности среды, предпочитают умеренные климатические условия. При этом, *C. anthracinus*-type отличается более широким экологическим спектром и часто ассоциируется с прохладным климатом, в то время как *C. mancus*-type предпочитает более тёплый климат (Heiri, 2011).

Шесть стратиграфически значимых зон было выделено в исследованной колонке:

Зона 1 (127 – 115 см, 1900 – 1760 кал. л.н.). В этот период доминирует *C. mancus*-type. В начале зоны также отмечено большое количество холодноводных *Polypedilum nubifer*-type и *Paratanytarsus*, которое значительно снижается к концу зоны. Параллельно увеличивается доля более тепловодных *P. sordidellus*-type и *P. nubeculosum*-type. В течение данного периода увеличивается содержание органики, параллельно с этим увеличивается количество фитофильных таксонов (*P. sordidellus*-type, *P. nubeculosum*-type, *Cricotopus intersectus*-type), включая *Cryptochironomus*, который отличается высокой чувствительностью к содержанию биогенов (Vallenduuk and Morozova, 2004).

За этот период средние реконструированные июльские температуры воздуха выросли на 1,5℃, при этом глубина воды снизилась на ~0,8 м.

В зоне 2 (115 – 100 см, 1760 – 1600 кал. л.н.) *C. anthracinus*-type становится доминирующим таксоном. Появляется *Glyptotendipes barbipes*-type, ассоциирующийся с погруженной древесной растительностью (Brooks et al., 2007). Также в данной зоне отмечено большое количество таксона-убиквиста *T. pallidicornis*-type.

Реконструированные средние июльские температуры воздуха выросли на 2℃ по сравнению с предыдущей зоной, глубина воды увеличилась.

В зоне 3 (100 – 80 см, 1600 – 1420 кал. л.н.) *C. mancus*-type вытесняет *C. anthracinus*-type. В начале зоны преобладают теплолюбивые таксоны *Stictochironomus*, *Endochironomus albipennis*-type, *Microchironomus*, которые затем замещаются холодноводными *P. nubifer*-type, *Paratanytarsus*.

Реконструированные температуры существенно снижаются (до 1.5℃). Колебания глубины остаются незначительными.

В зона 4 (80 – 58 см, 1420 – 1180 кал. л.н.) также доминирует *C. mancus*-type, однако резкое увеличение доли *C. anthracinus*-type отмечено в начале и в конце зоны. Субдоминантным таксоном становится холодноводный *Tanytarsus lugens*-type.

В зоне 5 (58 – 25 см, 1180 – 600 кал. л.н.) ведущую роль играет *C. mancus*-type. В данной зоне обнаружено большое количество *Corynocera ambigua*, ассоциирующийся с распространением харовых водорослей *Chara* (Nazarova et.al., 2013, 2021, Maslennikova et al. 2026), остатки которых также обнаружены в данной зоне. Их присутствие может свидетельствовать о повышении минерализации воды в течение данного периода. Фитофильные таксоны (*E. albipennis*-type, *P. sordidellus*-type и др.) при этом становятся редкими и практически исчезают.

Реконструированная глубина показывает незначительное повышение. Средние летние температуры воздуха снижаются на ~1℃.

В зоне 6 (20 – 0 см, 0 – -70 кал. л.н.) доминирует *C. mancus*-type, при этом *C. anthracinus*-type практически полостью исчезает. Широко распространяются

фитофильные таксоны *C. intersectus*-type, *Endochironomus tendens*-type, *Orthocladius oliveri*-type предпочитающие умеренные и прохладные условия.

Реконструированная глубина на протяжении двух верхних зон изменяется незначительно. Реконструированная июльская температура повышается к середине зоны и достигает своего максимума за весь исследованный период. В конце зоны наблюдается снижение температуры на 2℃

Колебания глубины воды незначительны практически в течение всего исследованного периода. Самое большое падение уровня воды фиксируется около 1770 – 1750 кал. л.н., когда уровень воды падает практически на 1 метр по сравнению с предыдущим периодом. После этого постепенно возвращается к предыдущим значениям. Начиная с 1300 кал. л.н. колебания уровня воды не превышают 20-30 см. Около 600 - 0 кал. л.н. (25 - 20 см) идентифицирована очень низкая скорость седиментации.

В то же время реконструированные температуры показывают заметные изменения в исследованный период. С 1900 до 1700 кал. л.н. и 1500 – 1250 кал. л.н. отмечаются относительно низкие средние летние температуры воздуха. За последние 70 лет средние летние температуры показывают устойчивый тренд к повышению (температуры повысились на 1-2 ℃).

Заключение. В структуре хирономидных сообществ оз. Плещеево за последние 1900 кал.л. наблюдаются значительные изменения. Полученные результаты показали четкую динамику соотношения доминантных таксонов, *C. mancus*-type и *C. anthracinus*-type, на протяжении исследуемого периода. Согласно полученной реконструкции, наиболее высокие средние июльские температуры воздуха фиксируются около 1600, 1180 и -40 кал. л. н. При этом глубина воды оз. Плещеево менялась незначительно в течение изученного периода.

Продолжение исследований и сравнение результатов анализа хирономид с другими анализами позволит нам лучше понять позднеголоценовые изменения озера Плещеево.

Список литературы

1. История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины // Наука. СПб. 412 с.
2. Новенко Е.Ю. Динамика ландшафтов и климата в Центральной и Восточной Европе в голоцене – прогнозные оценки изменения природной среды // Геоморфология. 2021. Том.52(3). С. 24-47.
3. Brooks S.J., Langdon P.G., Heiri O. Using and identifying chironomid larvae in palaeoecology // QRA Technical Guide № 10, Quaternary Research Association, London, 2007. 276 p.
4. Heiri O., Brooks S.J., Birks H.J.B., Lotter A.F. A 274-lake calibration data-set and inference model for chironomid-based summer air temperature reconstruction in Europe // Quaternary Science Reviews. 2011. Vol. 30. Iss. 23–24. P. 3445-3456
5. Hill M.O. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences // Ecology. 1973. Vol. 54 (2). P. 427-432. DOI: 10.2307/1934352
6. Juggins S. C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle University. Newcastle upon Tyne, UK, 2007.
7. Kaufman, D., McKay, N., Routson, … A global database of Holocene palaeotemperature records // Scientific Data. 2020.7, 115.
8. Maslennikova A., Syrykh L., Nazarova L., Gulakov V., Grigoriev V., Filippova K., Sadykov S., Aminov P., Udachin N., Blinov I. Ecosystem of mountain oligotrophic Lake Yaktykul (Bannoe) (Southern Urals, Russia): shifts and drivers for more than 300 years // Hydrobiologia. 2026. Vol. 853. P. 1469–1504 https://doi.org/10.1007/s10750-025-06010-0
9. Nazarova, L., Herzschuh, U., Wetterich, S., Kumke, T. & Pestjakova, L. Chironomid-based inference models for estimating mean July air temperature and water depth from lakes in Yakutia, northeastern Russia // Journal of Paleolimnology. Vol. 45. 2011. P. 57–71
10. Nazarova, L., Self, A., Brooks, S.J., van Hardenbroek, M., Herzschuh, U., Diekmann, B. 2015: Northern Russian chironomid-based modern summer temperature data set and inference models // Global Planetary Change. 2015. Vol. 134. P. 10–25

11. Nazarova, L.; Syrykh, L.; Grekov, I.; Sapelko, T.; Krasheninnikov, A.B.; Solovieva, N. Chironomid-Based Modern Summer Temperature Data Set and Inference Model for the Northwest European Part of Russia. Water 2023, 15, 976. https://doi.org/10.3390/w15050976
12. Nazarova, L.B., Self, A.E., Brooks, S.J., Solovieva, N., Syrykh, L.S. & Dauvalter, V.A. Chironomid Fauna of the Lakes from the Pechora River Basin (East of European part of Russian Arctic): Ecology and Reconstruction of Recent Ecological Changes in the Region // Contemporary Problems of Ecology. Vol. 10. 2017. P. 350–362
13. Palagushkina O., Frolova L., Zinnatova E., Kosareva L., Nurgaliev D. Diatoms of sediments of Plescheevo Lake (Russia) as indicators of environmental changes in Holocene // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconferense. 2018. P. 283-288. doi: 10.5593/sgem2018/5.1/S20.037
14. Rudinskaya A.I., Konstantinov E.A., Shukhvostov R.S., Kuzmenkova N.V. Sedimentation rate in Lake Plescheevo in the Late Holocene // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 624-629. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-624
15. Subetto DA, Nazarova LB, Pestryakova LA, et al. Paleolimnological studies in Russian northern Eurasia: A review // Contemporary Problems of Ecology. 2017. №10. P. 327-335
16. Syrykh L, Subetto D and Nazarova L. Paleolimnological studies on the East European Plain and nearby regions: the PaleoLake Database // Journal Of Paleolimnology. 2021. Iss.65. P.369-375.
17. Vallenduuk H.J. & Morozova E. Cryptochironomus. An identification key to the larvae and pupal exuviae in Europe. Lauterbornia 55: 1-22, D-86424 Dinkelscherben, 2005-08-19
18. Wiederholm, T. Chironomidae of the Holarctic Region, Keys and Diagnoses. Part 1—Larvae: Entomologica Scandinavica, Supplement 19. 1983. P. 1–457

Положение береговой линии моря в Колвицкой депрессии (Кольский полуостров)

Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Корсакова О.П.

Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, d.tolstobrov@ksc.ru

Введение. Проблема, связанная с изменением береговой линии Белого моря на побережье Кандалакшского залива, привлекает внимание исследователей на протяжении многих лет (Колька и др., 2013; Колька, Корсакова, 2017 и др.), т.к. здесь в голоцене имеют место эндогенные и экзогенно обусловленные неотектонические процессы, которые во многом определяют простанственно-временное положение относительного уровня моря. В настоящем исследовании проведен анализ и систематизация опубликованных и новых данных (Grekov, Kolka, 2016, Zaretskaya et al., 2025, Корсакова и др., 2024) для района долины р. Колвица и оз. Колвицкое (рис. 1), на основании которого построен график, отражающего динамику изменения положения береговой линии моря.

Район исследования и материалы. Колвицкая депрессия расположена на юго-западе Кольского полуострова и представляет собой впадину между выступами коренного фундамента в виде массивов Лувеньгских, Елка и Колвицких тундр. Она вмещает долину р Колвица, которая вытекает из оз. Колвицкое (58 м над уровнем моря (н. у. м.)) и впадает в Колвицкую губу Кандалакшского залива Белого моря (рис. 1). Район исследования находится между поясами краевых образований, по последним данным сопоставленных с невской стадией и стадией Сальпаусселька I (Вашков, Носова, 2022).

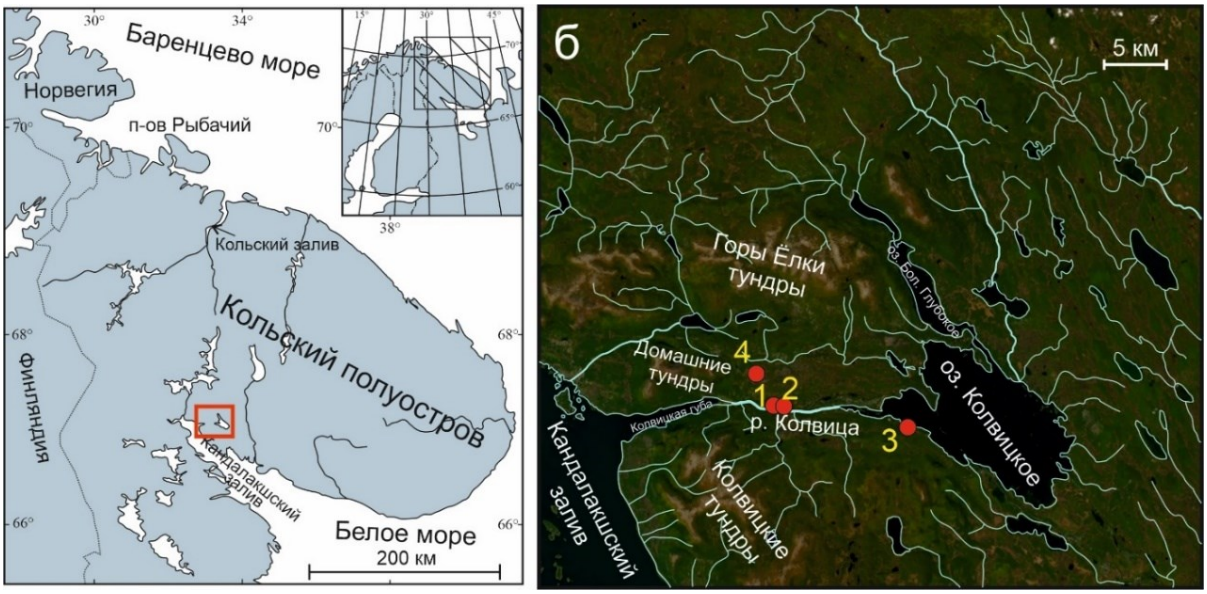


Рис. 1. Район исследования (а); положение исследованных озерных котловин (показаны красными кружками) в Колвицкой депрессии (б): 1 – безымянное озеро (Zaretskaya et al., 2025); 2 - оз. Половинная Ламбина (Корсакова и др., 2024); 3 - оз. Антюх-Ламбина (Grekov, Kolka, 2016); 4 – Выдра-Ламбина (Корсакова и др., 2024)

Для палеогеографических неотектонических реконструкций проанализированы данные, полученные из 4-х озёрных котловин (рис. 1): оз. безымянное (Zaretskaya et al., 2025), оз. Антюх-Ламбина (Grekov, Kolka, 2016), оз. Половинная Ламбина и оз. Выдра-Ламбина (Корсакова и др., 2024), а также результаты радиоуглеродного (^{14}C) датирования морских раковин из рыхлых отложений (Zaretskaya et al., 2025).

Котловина оз. Выдра-Ламбина с урезом воды 75.6 м н.у.м. находится на севере Колвицкой депрессии. Озеро вытянуто на северо-запад, его размер 300 × 70 м,

площадь 0.021 км^2, глубина воды 2.1–2.5 м. Озеро слабопроточное, является истоком р. Выдра – правого притока р. Колвица. Донные отложения озера изучены в северо-восточной его части (67.10448° с.ш., 33.03116° в.д.) с глубиной воды 2.5 м. Литологические, диатомовые и ^{14}C данные (Корсакова и др., 2024) показывает, что отчленение котловины от моря произошло 10299–10736 л.н. (кал.) (табл. 1). Этому событию в разрезе соответствуют глинистый песок с морскими диатомовыми (*Nitzschia* sp., *Mastogloia* sp., *Nitzschia sp*., *Navicula hanseatica, N. sp.*), который сменяются алевритистой гиттией, где морские диатомовые исчезают.

Котловина оз. Антюх-Ламбина с урезом воды 59.4 м н.у.м. и площадью 4.8 км^2 является заливом оз. Колвицкое. В керне осадков мощностью 3 м, отобранных с глубины 4 м, в основании разреза представлены серые илистые глины, которые постепенно сменяются коричневым алевритом с органикой (Grekov, Kolka, 2016). Здесь выражена регрессивная последовательность осадков, представленных морской, переходной и озерной фациями, (Лудикова, Греков, 2017). По данным ^{14}C датирования (Grekov, Kolka, 2016) котловина отделилась от моря около 10300–10600 л.н. (кал.) (табл. 1).

Таблица 1. Данные ^{14}C датирования осадков, изученных в Колвицкой депрессии

Датированные отложения из изученных озерных котловин	^{14}C возраст, лет	Калиброванный возраст, кал. лет*
Выдра Ламбина, глубина 445–438, гиттия с алевритом (изоляция озера)	9350 ± 140	10299–10736
Выдра Ламбина, глубина 438–432, гиттия (постизоляционный интервал)	9000 ± 120	9905–10250
Антюх-Ламбина, глубина 637–630, алеврит с органикой (изоляция озера)	9200-9300	10300–10600
Половинная Ламбина, глубина 407–401, гиттия с алевритом (изоляция озера)	6350 ± 70	7168–7415
Половинная Ламбина, глубина 401–396, гиттия с алевритом (постизоляционный интервал)	6010 ± 80	6746–6946
Безымянное озеро, глубина 610–617 см, гиттия (постизоляционный интервал)	5250 ± 85	5926–6177
Безымянное озеро, глубина 617–625 см, гиттия (изоляция озера)	6685 ± 85	7435–7615
Раковины, глубина 0.8–0.9 м от бровки карьера (морские условия)	8860 ± 40	9300–9445

* Калибровка радиоуглеродных дат выполнена в программе Calib 8.2 (http://calib.org)

Котловина безымянного озера расположена в ледниково-карстовой впадине между двумя озами на высоте 48.2 м н.у.м. Донные осадки, изученные в центральной части котловины с глубины 1.5 м, представлены глиной с песком, которая вверх по разрезу сменяется гиттией и торфом (Zaretskaya et al., 2025). По диатомовым данным минерагенные отложения накапливались в прибрежной зоне морского бассейна, а верхняя органогенная часть в небольшом пресном водоеме. ^{14}C датировка гиттии (табл. 1), которая соответствует времени изоляции озерной котловины от морского бассейна составила 7435–7615 л.н. (кал.).

В карьере (67.083074°с.ш., 33.057329° в.д.), который расположен рядом с упомянутым выше безымянным озером, в верхней части разреза выявлена глина с многочисленными фрагментами раковин *Mytilus edulis*, *Macoma* sp., *Littorina* sp.

(Zaretskaya et al., 2025). ^{14}C датировка раковин *Mytilus edulis* (табл. 1) указывает на время, когда береговая линия моря была выше отметки примерно 55 м н.у.м.

Котловина оз. Половинная Ламбина с урезом воды 43–44 м н.у.м. расположена в осевой части Колвицкой депрессии у дороги Кандалакша-Умба. Озеро длиной 165 м вытянуто на восток-северо-восток, имеет сток в р. Колвица. В запад-юго-западной части его ширина 83–84 м, в остальной части до 52 м. Глубина воды достигает 3.6 м. Донные осадки изучены в центральной части озера (67.08186° с.ш., 33.08106° в.д.), где глубина воды составляет 3.0 м. Здесь представлена регрессивная их последовательность: от алевритистого песка с морскими диатомовыми (*Mastogloia* sp., *Rhopalodia gibberula*, *Navicula hanseatica*) через тонкое переслаивание алеврита и гиттии к пресноводной гиттии (Корсакова и др., 2024). Положение береговой линии моря соответствует верхней части алевритистого песка и нижней части алевритистой гиттии с ^{14}C датировкой 7168–7415 л.н. (кал.) (табл. 1).

Результаты и обсуждение. По результатам ^{14}C датирования, представленных в табл. 1, построен график изменения относительного уровня моря (изменения положения береговой линии Белого моря) в Колвицкой депрессии (рис. 2). Анализ использованных данных показывает, что относительный уровень моря в начале голоцена в долине р. Колвица был выше 75 метров. Примерно 11000–10500 л.н. здесь имело место активное поднятие земной поверхности и, соответственно, быстрая - примерно со скоростью до 30 мм/год - регрессия береговой линии моря. В интервале времени от 10000 до 7500 л.н. происходило поднятие земной поверхности и регрессия береговой линии со скоростью примерно 4–5 мм/год. Замедление поднятия связано с проявлением голоценовой трансгрессии Тапес, следы которой фиксируются на Мурманском берегу Баренцева моря (Kolka et al., 2023) и в бассейне Белого моря (Колька, Корсакова, 2017). Начиная с 7500 л.н. скорость поднятия увеличивается, а во второй половине голоцена она постепенно замедляется (рис. 2).

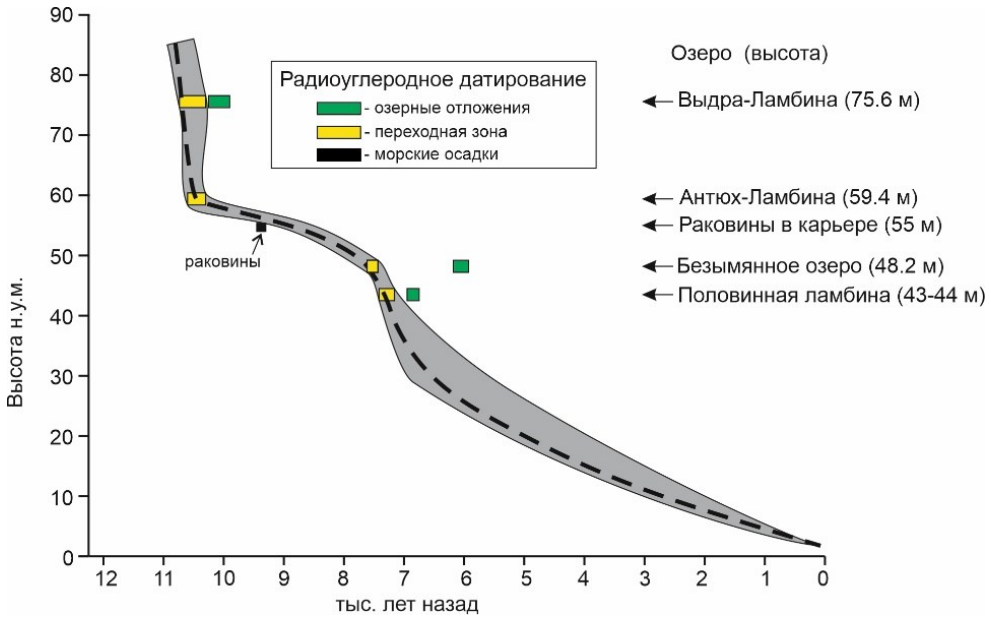


Рис. 2. График изменения относительного уровня Белого моря в Колвицкой депрессии на побережье Кандалакшского залива; серым цветом показана область возрастной неопределенности

Благодарности. Работа выполнена в Геологическом институте КНЦ РАН по теме НИР FMEZ-2024-0007.

Список литературы

1. Вашков А.А., Носова О.Ю. Новая схема корреляции краевых образований последнего ледникового покрова в Кольском регионе // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022. № 19. С. 20–26. doi:10.31241/FNS.2022.19.00
2. Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Д.Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 1. С. 73–88. http://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-73-88
3. Колька В.В., Корсакова О.П. Положение береговой линии Белого моря и неотектонические движения северо-востока Фенноскандии в позднеледниковье и голоцене // Система Белого моря. Том IV: Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. С 222–249.
4. Корсакова О.П., Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н. Донные отложения из котловин озер Выдра-Ламбина и Половинная Ламбина в Колвицкой депрессии (юго-запад Кольского полуострова) // Морские и озёрные бассейны восточной периферии Балтийского щита в четвертичное время: Мат. Всеросс. конф. и полевого симпозиума (г. Апатиты, 10-15 сентября, 2024). Апатиты, 2024. С. 39–42. https://DOI.10.37614/978.5.91137.520.1.011
5. Лудикова А.В., Греков И.М. Предварительные результаты диатомового анализа проб донных отложений оз. Антюх-Ламбина (ЮЗ Кольского полуострова) // География арктических регионов. Санкт-Петербург, 2017. С. 33-36.
6. Grekov I.M., Kolka V.V. Paleolimnological studies of bottom sediments of lakes South of the Kola Peninsula // Paleolimnology of Northern Eurasia. Experience, Methodology, Current Status: Proceedings of the International Conference (Yakutsk, 22-27 August, 2016.). Yakutsk, 2016. P. 44-47.
7. Kolka V., Tolstobrov D., Corner G. D., Korsakova O., Tolstobrova A., Vashkov A. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change on the Barents Sea coast at Teriberka, Kola Peninsula, northwestern Russia // The Holocene. 2023. Vol. 33(9). P. 1060-1072. https://doi.org/10.1177/09596836231176489
8. Zaretskaya N.E., Vashkov A.A., Shilova O.S., Khaitov V.M., Lugovoy N.N., Bashilov K.V., Batakovskaya M.P. The Association of the Late Glacial–Early Holocene Glaciofluvial and Marine Sediments of the Kandalaksha Coast of the White Sea // Dokl. Earth Sc. 2025. Vol. 525: 61. https://doi.org/10.1134/S1028334X25609721

Диатомовая флора донных осадков озера Гирвас (Кольский регион)

Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С.

Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, a.tolstobrova@ksc.ru

Введение. Считается, что после деградации последнего ледникового щита по Туломской и Ноттинской депрессиям вглубь континента могли проникать морские воды, доходя до котловины оз. Гирвас, расположенного на высотной отметке 102,8 м на западе Кольского региона. Признаки проникновения морских вод вглубь континента ранее фиксировались в рыхлых отложениях по берегам рек Лотта и Нотта (Никонов, 1964). Следы морского проникновения были установлены при изучении донных отложений озер в долине р. Тулома, где уровень моря достигал высотной отметки более 93 метров (Толстобров и др., 2015). Однако вопрос о существовании морского залива в котловине оз. Гирвас остается открытым. В работе приводятся результаты изучения диатомовой флоры донных отложений озера Гирвас, которые позволяют достоверно выполнить реконструкцию палеогеографических условий.

Материалы и методы. Материалы получены во время полевых работ в 2022 году. При помощи ручного торфяного пробоотборника выполнен отбор кернов донных отложений оз. Гирвас. В результате были вскрыты 3 м осадков, выполнено их литологическое описание, отбор проб на различные виды анализов. Литологическое описание и первичная интерпретация условий осадконакопления приведены в (Толстобров Д.С. и др., 2022). Методом диатомового анализа исследовано 67 образцов. Техническая обработка образцов проведена по стандартной методике (Диатомовые водоросли СССР, 1974).

Результаты и обсуждение. В осадках оз. Гирвас выявлена богатая и разнообразная диатомовая флора, всего было выделено 368 таксонов диатомовых водорослей рангом ниже рода. Изменения в соотношении видов, их экологических характеристик и концентрации створок диатомей позволили выделить в осадках озера 7 диатомовых зон (ДЗ).

ДЗ 1 выделена в нижней части разреза в глинах с гидротроиллитом и песке с глиной, где обнаружены обломки и единичные целые створки как пресноводных, так и морских видов. Пресноводные представлены планктонно-бентосными *Staurosira construens*, *Tabellaria flocculosa*, обрастателями *Staurosirella martyi*, *Tetracyclus glans*, здесь же встречены фрагменты, вероятно, *Aulacoseira* sp., *Navicula* sp., *Pinnularia* sp. Морские представлены бентосными *Diploneis sp.*, обломками морских центрических видов. Тонкослоистые осадки и наличие единичных диатомовых водорослей свидетельствует о накоплении осадков в условиях приледникового водоема, а совместное присутствие как пресноводных, так и морских указывает на то, что данный водоем соединялся с морем.

Особенностью ДЗ 2а в глине тонкослоистой является увеличение концентрации видового разнообразия. Преобладают солоноватоводные (мезогалобы) виды (60-65%). Морские полигалобы составляют от 1 до 4%. Пресноводно-солоноватоводным видам (галофилам) здесь принадлежит 8-15%, пресноводным индифферентным видам – 15-23%. Единично встречены и галофобы. В качестве доминантов здесь выступают солоноватоводные сублиторальные виды - планктонно-бентосная *Melosira inflexa* и бентосный *Diploneis* aff. *smithii*. В качестве субдоминантов выделены мезогалобные бентосные *Amphora commutata*, *Tryblionella apiculata*, *T. navicularis*. Среди субдоминантов выделены и пресноводные виды, они представлены планктонными *Aulacoseira subarctica* и обрастателями *Epithemia adnata*, *Rhopalodia gibba* var. *minuta*.

Увеличение концентрации створок диатомей и видового разнообразия свидетельствуют об улучшении условий окружающей среды. Преобладание солоноватоводных сублиторальных диатомовых водорослей и наличие в качестве

субдоминантов пресноводных диатомей указывает на формирование данного интервала в прибрежных условиях опресненного морского залива.

ДЗ 2б выделена в верхней части слоистого интервала и нижней части глин неясно-слоистых с органикой. ДЗ 2б отличается увеличением концентрации створок, их видового разнообразия, значительным повышением до 39-49% полигалобов и снижением мезогалобов до 19.5-26%. Основу диатомового комплекса составляют покоящиеся споры рода *Chaetoceros* (39-57% от общего числа видов), вегетативные формы которого являются важнейшим компонентом неритических планктонных сообществ. Сублиторальная *Melosira inflexa* здесь практически исчезает, а бентосный *Diploneis* aff. *smithii* переходит в разряд субдоминантов. Субдоминантами также выступают эпифитный *Epithemia sorex*, галофил, и планктонный пресноводный вид *Aulacoseira subarctica*. В рассматриваемых отложениях повышенное содержание спор *Chaetoceros* мы связываем с пиком позднеледниковой трансгрессии, так как значительное их количество служит индикатором притока океанических вод.

ДЗ 3 характеризуется значительным снижением количества морских (до 2-5%) и солоноватоводных (до 7-13%) видов. Количество пресноводных видов составляет 73-86%. Единственным доминирующим таксоном здесь является планктонная *Aulacoseira subarctica* (от 40 до 70%), это индифферентный по отношению к минерализации, олиго-мезотрофный, предпочитающий холодные воды с высокой турбулентностью, широко распространенный вид в северном полушарии. В качестве непостоянных субдоминантов присутствуют планктонные индифферентные *Aulacoseira granulata* и *Aulacoseira valida*. Бентосные виды составляют 10-19%, обрастатели - 5-14%. Стоит также отметить, что концентрация створок немного увеличивается в нижней части зоны (до 40,5 млн.ств./г), а вверх по разрезу резко сокращается (до 5 млн.ств./г), при этом видовое разнообразие остается на прежнем уровне.

Резкое сокращение роли морских и солоноватоводных диатомей отвечает довольно быстрой регрессии морских вод. Состав диатомовой флоры соответствует пресноводному уже отделившемуся от моря водоему, морские воды могли проникать сюда во время приливов или штормов. Преобладание холодноводной планктонной *Aulacoseira subarctica* и снижение концентрации створок диатомей, возможно, косвенно отражает начало похолодания позднего дриаса.

В осадках ДЗ 4 по сравнению с ДЗ 3 отмечается как и пониженная концентрация створок (4-6 млн.ств./г), так и снижение видового разнообразия (до 25-32 видов на образец), их повышение отмечено только в верхней части зоны. Здесь произошла полная перестройка в диатомовых ассоциациях. Основу комплекса составляют пресноводные планктонно-бентосные и бентосные мелкоклеточные виды семейства Fragiliaceae. Морские и солоноватоводные виды встречены единично. Доминанты представлены индифферентными по отношению к минерализации мезотрофно-эвтрофными *Staurosirella lapponica*, *Staurosira construens* и *Pseudostaurosira brevistriata*. С численностью субдоминантов и обычных видов встречаются *Staurosira venter*, *Staurosirella martyi*, *S. ovata*, *S. pinnata*, три последних предпочитающие воды с повышенным содержанием кальция. Общее количество планктонных видов *Aulacoseira* spp. на протяжении этой ДЗ составляют первые проценты, и только в верхней части на границе с ДЗ 5 поднимается до 11%.

Такой комплекс диатомей соответствует пресноводному мелководному мезотрофно-эвтрофному водоему со средним уровнем минерализации. Заметное снижение концентрации створок диатомей в конце ДЗ 3 и начале ДЗ 4, уменьшение таксономического разнообразия, доминирование в составе бентосных мелкоклеточных диатомей семейства Fragilariaceae, вероятнее всего, отражает похолодание позднего дриаса. Озеро в это время было перекрыто ледовым покровом, возможно, что в летнее время оттаивала только узкая полоса вблизи берега, что позволяло развиваться только бентосным видам.

ДЗ 5 выделена в гиттии, в нижней части ДЗ 5 мелкоклеточные тихопланктонные мезотрофно-эвтрофные виды *Fragilaria* sensu lato сменяются планктонными олиготрофно-мезотрофными видами рода *Aulacoseira*. В верхней части ДЗ 5 преобладают планктонные олигогалобы-индифференты (до 64-81%). Отмечено повышение видового разнообразия (до 100 видов) и концентрации створок (до ~900 млн. ств./г), что отражает тенденцию в потеплении климата. Кроме того, смена тихопланктонных видов на планктонные таксоны *Aulacoseira* отражает не только увеличение глубины водоема, но и увеличение продолжительности безледного периода.

Для осадков ДЗ 6 характерны по-прежнему высокие концентрации створок диатомей и высокое таксономическое разнообразие. Преобладающей группой, как и в ДЗ 5, являются планктонные индифферентные по отношению к солености виды рода *Aulacoseira*. Доминантом здесь является ацидофил *A. lirata* (16-44%), в комплекс доминантов-субдоминантов входят *A. valida*, *A. alpigena*, *A. ambigua*, *A. lacustris*. В верхней части зоны увеличивается численность эпифитных видов.

Кроме того, в осадках этой зоны зафиксировано повышение содержания ацидофилов. Анализ экологической структуры диатомовых сообществ указывает на формирование осадков в условиях глубоководного пресноводного водоема со средним уровнем минерализации и со слабокислой-нейтральной реакцией среды.

В осадках ДЗ 7 выявлено снижение процентного содержания планктонных видов, увеличение бентосных видов (как обрастателей, так и донных). В качестве доминантов выделены планктонные *A. alpigena*, *A. valida*. Снизилось процентное содержание *A. lirata*, *A. ambigua*. В качестве субдоминанта-доминанта отмечен обрастатель *Pseudostaurosira brevistriata*. Высокое видовое разнообразие диатомовых водорослей, а в частности увеличение количества бентосных видов, указывает на увеличение разнообразия их местообитаний. В целом состав диатомовой флоры соответствует относительно глубокому с обширной прибрежной зоной олиготрофно-мезотрофному водоему.

Заключение. Таким образом, диатомовый анализ донных отложений оз. Гирвас показывает, что в позднеледниковое время в котловине озера сформировался приледниковый водоем, который имел связь с морем. В ходе позднеледниковой трансгрессии, обусловленной подъемом уровня Мирового океана, в котловине были сформированы морские условия. В голоцене в результате интенсивного гляциоизостатического поднятия территории уровень моря отступил, здесь стали накапливаться пресноводные озерные отложения.

Благодарности. Работа выполнена в Геологическом институте КНЦ РАН по теме НИР FMEZ-2024-0007. Авторы благодарят сотрудников ГИ КНЦ РАН и студентов АФ МГТУ и СПбГУ за помощь в полевых работах.

Список литературы

1. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.
2. Никонов А. А. Развитие рельефа и палеогеография антропогена на западе Кольского полуострова. М.; Л.: Наука. 1964. 181 с.
3. Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Колька В.В., Корсакова О.П.Постледниковое поднятие земной коры в северо-западной части Кольского региона // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18. № 2. С. 295–306.
4. Толстобров Д. С., Корсакова О. П., Вашков А. А., Толстоброва А. Н., Топазов Е. В., Королева Т. А., Бутина Д. В. Условия формирования осадков озер юго-западной части Мурманской области в голоцене // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Выпуск 9. 2022.

Реконструкция пожарной динамики Приишьмья по материалам торфяника Гладиловский Рям

Трубицына Э.Д.[1], Рябогина Н.Е.[2]

[1] Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия, el.yuzh@gmail.com

[2] Гётеборгский университет, Гётеборг, Швеция

Введение. Начиная с конца XX века в России наблюдается рост числа лесных пожаров, что связано как с климатическими изменениями, так и антропогенной деятельностью (Kharuk et al., 2021; Wang et al., 2021; Harrison et al., 2022). Прогнозы показывают, что продолжительность и интенсивность пожароопасных периодов постепенно увеличивается (Шерстюков, Шерстюков, 2014), что влечет за собой разрушительные последствия для природной среды, общества и экономики. Несмотря на рост пожаров, они также являются необходимой частью развития и существования экосистем (Бондур и др., 2020). Современный уровень знаний о динамике пожарной активности недостаточен для построения надежных долгосрочных моделей и разработки эффективных мер предотвращения негативных последствий расширения пожаров. В связи с этим для моделирования будущих пожароопасных ситуаций и оценки их ожидаемых последствий, остро встает необходимость всестороннего изучения истории пожаров, начиная с позднеледниковья и до наших дней.

Для реконструкции палеопожарной динамики был изучен палеоархив торфяник Гладиловский Рям (56°22′10″ N, 68°32′42″ E), расположенный на Ишимской равнине в 500 м к юго-востоку от с. Гладилово Голышманского район. Болото образовалось на месте древнестаничного водоема р. Емец, имеет подковообразную форму, размером около 22 га. Торфяник расположен на первой надпойменной террасе и приурочен к притеррасному понижению. С севера и северо-востока болото окружают сосново-кустарничково-сфагновые сообщества, в краевых частях болота возрастает доля березы. Южная и юго-восточная стороны болота заняты осоково-рогозово-тростниковыми сообществами с березовым сухостоем и переувлажненным лугом.

Первое исследование данного торфяника было проведено в 2003 году, отложения были изучены спорово-пыльцевым методом. Полученная серия радиоуглеродных дат и данные палинологического анализа, позволили восстановить динамику природно-климатических изменений лесостепи Ишимской равнины на протяжении 4 тыс лет (Рябогина, Орлова, 2004).

В 2023 году повторно были отобраны озерно-болотные отложения торфяника Гладиловский Рям с целью реконструкции пожарной динамики в Приишимье. Определение возраста отложений было выполнено по общей навеске торфа в Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук всего получено 13 радиоуглеродных датировок из керна Гладиловский Рям-23. Калибровка дат выполнена по калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020), возрастные интервалы приведены в работе в калиброванных значениях. Сопоставление с данными спорово-пыльцевого анализа сделано по радиоуглеродным датировкам (Рябогина, Орлова, 2004)

Для реконструкции палеопожаров был выполнен подсчет макрочастиц древесного угля (>100 мкм), образцы объемом 1 $см^3$ отобраны с шагом один сантиметр. Торфяные отложения подготовлены согласно стандартному протоколу (Mooney, Tinner, 2001). Концентрация подсчитанных частиц осадочного угля (частиц/$см^3$) была переведена в показатель притока этих макрочастиц угля на единицу площади в год (CHAR, частиц/$см^2$ в год) с использованием модели роста отложений и пакета tapas (Finsinger,

Bonnici, 2022) в программе CharAnalysis (Higuera, 2009), в программной среде R (R Core Team, 2017) При выявлении пожарных эпизодов использовалась функция peak_detection, в которой все параметры использовались по умолчанию, кроме временного разрешения, равного 20 годам (медианное временное разрешение отобранных образцов); была выбрана сглаживающая функция rob.lowess (локально-взвешенная полиномиальная регрессия) сглаживающее окно размером 1000 лет.

Несмотря на то, что отложения керна Гладиловский Рям-23 охватили 7.1 тыс. л., до 4.6 тыс. л.н. наблюдаются крайне низкие значения пирогенной активности (рис.1). Возрастание пожарной активности отмечено в периоды 4.6-4.0 тыс. л.н., 3.4-3.0 тыс. л.н., 2.5-2.0 тыс. л.н., с наибольшим возрастанием и частотой пожаров в период 1.8-1.4 тыс. л.н., и затем резкие пики около 1050, 600 и последние 80 л.н. В связи с тем, что территория вокруг торфяника Гладиловский Рям на протяжении позднего голоцена была слабо заселена (по археологическим данным в радиусе 20 км от торфяника обнаружено всего девять археологических памятников (Археологическое наследие…, 1995; Белянин, 2010; Хромых, 2014; Западная Сибирь…., 2022; Еньшин, Скочина, 2023)), влияние хозяйственной активности человека слабо отразилось на записях пожарной динамики в этом природном архиве. Таким образом, выявленные фазы усиления или ослабления пожарной активности обусловлены в первую очередь климатическими факторами, что подтверждается палинологическими данными разреза Гладиловский Рям, происходит увеличение индекса аридности (Рябогина, Орлова, 2004).

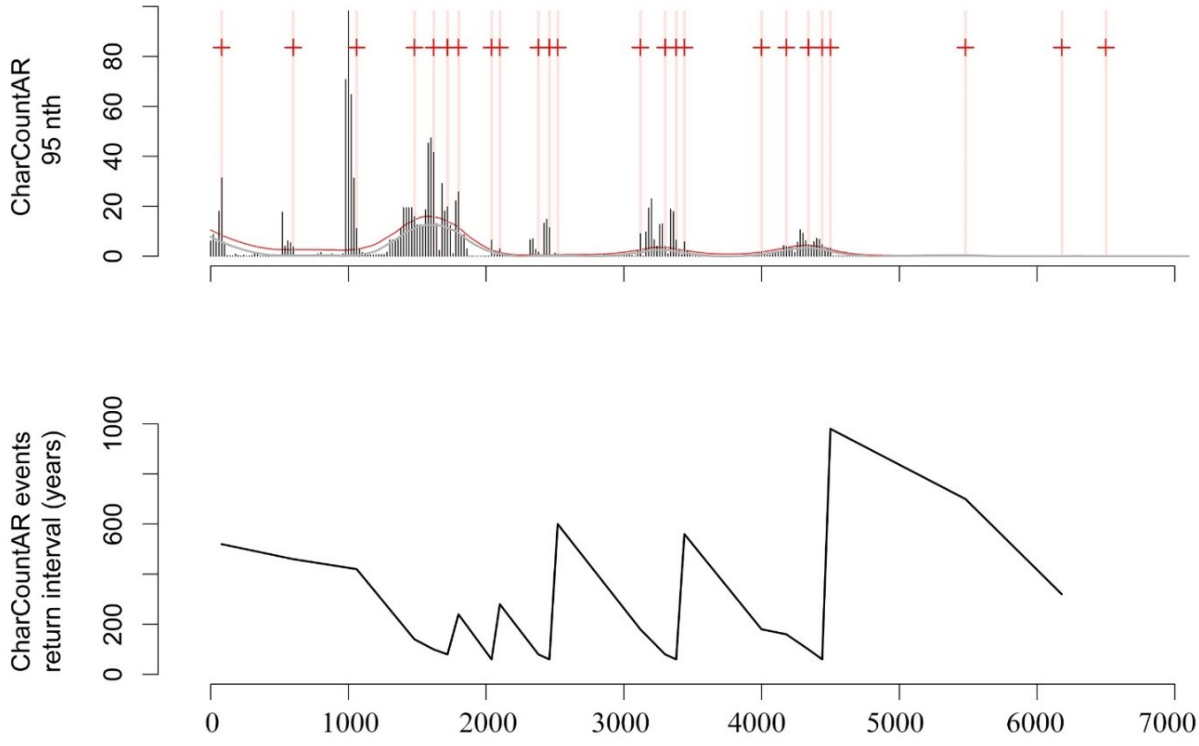


Рис.1. **А** - Скорость аккумуляции макроскопических частиц угля и распределение локальных пирогенных эпизодов Гладиловский Рям-23.
В - График изменения межпожарных интервалов по данным изучения торфяника Гладиловский Рям-23

Благодарности. Работа выполнена в Тюменском научном центре СО РАН в рамках госзадания: Исследование палеопопуляций человека в контексте анализа природных и антропогенных экосистем Западной Сибири и прилегающих территорий (FWRZ-2026-0029), № 126022618022-2

Список литературы

1. Археологическое наследие Тюменской области: Памятники лесостепи и подтаежной полосы / А.В. Матвеев, Н.П. Матвеева, А.Н. Панфилов, М.А. Буслова, В.А. Зах, В.А. Могильников. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН. 1995. 240 с.
2. Еньшин Д.Н., Скочина С.Н. Хронология неолита Нижнего Приишимья (по данным Мергенского АМР) // Уральский исторический вестник. 2023. № 1 (78). С. 46−54.
3. Западная Сибирь в эпоху раннего Средневековья: взаимодействие этнокультурных общностей / Н. П. Матвеева, А. П. Зыков, А. С. Зеленков [и др.]. Тюмень: Тюменский государственный университет. 2022. 260 с.
4. Зах В.А. Оборонительные линии в системе русского расселения в Тоболо-Ишимском междуречье в конце XVI - середине XVIII века // Научный диалог.2022. № 8. С.370-385.
5. Белянин, Д.Н. Организация крестьянских переселений на казенные земли Сибири в XIX начале XX вв. // Вестник Кемеровского государственного университета. 2010. № 4. С. 16-22.
6. Бондур В.Г., Мохов И.И., Воронова О.С., Ситнов С.А. Космический мониторинг сибирских пожаров и их последствий: особенности аномалий 2019 г. и тенденции 20-летних изменений. Доклады Российской академии наук // Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 1. С. 99–106.
7. Рябогина Н.Е., Орлова Л.А. Позднеголоценовый торфяник Гладиловский Рям как индикатор изменения палеоэкологических условий Ишимской равнины // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2004. № 4. С. 203–214.
8. Хромых А.С. История Сибири (конец XVI - начало XVIII века): учеб. пособие. Красноярск: КГПУ. 2014. - 317 с.
9. Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. Оценки тенденций усиления лесных пожаров в России до конца XXI в. по данным сценарных экспериментов климатических моделей пятого поколения // Метеорология и гидрология. 2014. № 5. С. 17-30.
10. Finsinger W., Bonnici I. Tapas: an R package to perform trend and peaks analysis. Github.com. [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/wfinsinger/tapas
11. Harrison S. P., Villegas-Diaz R., Cruz-Silva E., Gallagher D., Kesner D., Lincoln P., Shen Y., Sweeney L., Colombaroli D., Ali A., Barhoumi C., Bergeron Y., Blyakharchuk T., Bobek P., Bradshaw R., Clear J. L., Czerwinski S., Daniau A.-L., Dodson J., Edwards K. J., Edwards M. E., Feurdean A., Foster D., Gajewski K., Gałka M., Garneau M., Giesecke T., Romera G. G., Girardin M. P., Hoefer D., Huang K., Inoue J., Jamrichová E., Jasiunas N., Jiang W., Jiménez-Moreno G., Karpinska-Kołaczek M., Kołaczek P., Kuosmanen N., Lamentowicz M., Lavoie M., Li F., Li J., Lisitsyna O.,, López-Sáez J. A., Luelmo-Lautenschlaeger R., Magnan G., Magyari E. K., Maksims A., Marcisz K., Marinova E., Marlon J., Mensing S., Miroslaw-Grabowska J., Oswald W., Pérez-Díaz S., Pérez-Obiol R., Piilo S., Poska A., Qin X., Remy C. C., Richard P. J.H., Salonen S., Sasaki N., Schneider H., Shotyk W., Stancikaite M., Šteinberga D., Stivrins N., Takahara H., Tan Z., Trasune L., Umbanhowar C. E., Väliranta M., Vassiljev J., Xiao X., Xu Q., Xu X., Zawisza E., Zhao Y., Zhou Z., Paillard J. The Reading Palaeofire Database: an expanded global resource to document changes in fire regimes from sedimentary charcoal records //Earth System Sci. Data. 2022. V. 14, №3. P. 1109–1124.
12. Higuera P. CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis // Montana State University: Bozeman. 2009. P. 27.
13. Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan S.C.P., Flannigan M.D. Wildfires in the Siberian taiga // Ambio. 2021. 50(11). P. 1953–1974
14. Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // Mires and Peat. 2001. V. 7. P. 1-18.
15. R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. URL https://www.R-project.org/
16. Reimer PJ, Austin W, Bard E, Bayliss A, Blackwell P, Bronk Ramsey C, Butzin M, Cheng H, Edwards R, Friedrich M, et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. № 62(4). P. 725–757.
17. Wang, D., Guan, D., Zhu, S. et al. Economic footprint of California wildfires in 2018. Nature Sustainability. 2021. №4. P. 252–260.

Реконструкция динамики уровня озера Неро по данным бурения палеорусел

Украинцев В.Ю.
Институт географии РАН, Москва, celerymors@gmail.com

Введение. Неро — одно из крупнейших озёр центра Восточно-Европейской равнины. Вопрос изменения его уровня в прошлом изучается уже длительный срок, и в последнее время внимание исследователей в основном приковано к его динамике в конце плейстоцена−голоцене (Алёшинская, Гунова, 1975; Константинов и др., 2023). Реконструкции положения его уровня в разные временные промежутки в основном сделаны на основании бурения донных отложений озера, а также различных видов анализов, применённых к керну. Высотное положение русловой фации аллювия палеорусел рек, впадающих и вытекающих из озера, также можно рассматривать в качестве маркера уровней озера в прошлом. Особенно такой поход актуален в связи с высокой внутригодовой изменчивостью уровня Неро в период до начала его искусственного регулирования от 93 до 96 м (Литвинов, Поддубный, 2003).

Исходный материал исследования включает в себя несколько глубоких скважин из палеорусел рек Устье, Которосль и Сара. Помимо бурения, исследование включало в себя установление абсолютной высоты скважин GNSS-приёмником EFT M4 и возраста образцов аллювия посредством радиоуглеродного датирования (см. результаты в (Украинцев, 2027)).

К северу от Ростова Великого, в 8 км выше от озера Неро, пробурено палеорусло реки Устье. В скважине обнаружено 2 горизонта руслового аллювия, отвечающих руслу реки в средневалдайскую эпоху и раннем голоцене. Русловой аллювий раннеголоценовой реки в 4 км от устья залегает на высоте около 90−94 м (здесь и далее — значения в абсолютной высоте), а средневалдайской — 91−89 м и ниже. Скважина в палеорусле реки Сары расположена в 8 км выше озера. Здесь река протекала тоже дважды — в конце плениглациала и позднем голоцене. Высота залегания руслового аллювия позднеголоценовой реки находится в диапазоне 92−94 м, что отвечает росту уровня Неро в это время (Константинов и др., 2023). Русловой аллювий большого палеорусла падает до 86 м, что говорит о том, что в конце плениглациала минимальный уровень Неро был примерно на этой высоте.

Скважины в палеоруслах Которосли (дренирует озеро вместе с рекой Вёксой) находятся в 14 км ниже озера, в древней долине реки. В одной скважине также обнаруживается два русловых аллювия. Русловой аллювий в другой скважине соотносится с верхним русловым аллювием предыдущей, имеет позднеледниковый возраст и находится на высоте около 92−94 м, что подтверждает тезис о том, что диапазон уровней Неро в это время был немного выше этой отметки (Константинов, Украинцев, 2025). 19 тыс. кал. лет назад сформировалось само большое палеорусло. Русловой аллювий находится на высоте 90−92 м, что плохо согласуется с данными по Саре, впадающей в реку (86 м). Это можно объяснить тем, что с 16 тыс. лет назад Которосль перестроилась в современную долину, где пески, которые можно интерпретировать как русловые, находятся на высоте ниже 90 м (Константинов, Украинцев, 2025), как в большом палеорусле Сары. Следовательно, с 19 до 16 тыс. лет назад уровень озера рос.

Заключение. В средневалдайское время минимальный уровень озера Неро находился ниже абсолютной высоты около 89 м, 19 тыс. лет назад — не ниже 86 м, 15−16 тыс. лет назад — поднялся до 92 м и выше. В позднеледниковье уровень мало отличался от современного. В раннем голоцене диапазон уровней Неро находился около 90−94 м абсолютной высоты, в позднем — рос выше 92 м.

Благодарности. Автор выражает большую благодарность Е.А. Константинову (ИГ РАН) за совместные обсуждения истории развития Ростовской низины. Исследование проведено при финансовой поддержке гранта РНФ №24-77-00034

Список литературы

1. Алешинская З.В., Гунова В.С. Голоценовая история озера Неро по данным сопряженного анализа // История озер в голоцене. Л.: Ротапринт ГО СССР, 1975. С. 150–158.
2. Константинов Е.А., Карпухина Н.В., Захаров А.Л., Бричева С.С., Украинцев В.Ю., Лазукова Л.И., Рудинская А.И. Колебания уровня озера Неро в голоцене // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 2. С. 51−60.
3. Константинов Е.А., Украинцев В.Ю. Трансформация озерных бассейнов в Ростовской низине (Ярославская область) в позднеледниковье и раннем голоцене. Матер. Всерос. конф. “IX Щукинские чтения” и “XXXVIII Пленум геоморфологической комиссии РАН”. М.: ИГ РАН, МГУ, 2025. С. 299−302.
4. Литвинов А.С., Поддубный С.А. Гидрология // Гидрология и гидрохимия озера Неро. Рыбинск: изд-во ОАО “Рыбинский дом печати”, 2003. С. 7−49.
5. Украинцев В.Ю. История развития речной сети Ростовской низины в конце плейстоцена и голоцене // География и природные ресурсы. 2027 (в печати).

Позднеголоценовые диатомовые комплексы озера Сомино (Ярославская область)

Фадеева Е.Л.[1], Рудинская А.И.[2], Константинов Е.А.[2]

[1] *Центр природно-антропогенных геосистем ИГ РАН, Москва, eveelizaveta@yandex.ru*

[2] *Лаборатория палеоархивов природной среды ИГ РАН, Москва*

Введение. Озеро Сомино расположено в пределах Нерльской низменности в центре Восточно-Европейской равнины, на юге Ярославской области. В настоящее время это небольшой мелководный водоем, окруженный заболоченными территориями. Сомино относится к проточным озерам: в него впадает вытекающая из Плещеева озера р.Вёкса, а из северо-западной части Сомино вытекает р. Нерль. Площадь акватории составляет около 1,8 км², средняя глубина — около 1 м. По данным предыдущих исследований (Нейштадт, 1965), в южной части озерной котловины залегает около 40 м голоценовых отложений. Такие высокие скорости осадконакопления делают Сомино уникальным архивом, позволяющим проводить высокоразрешающие палеогеографические реконструкции. В отличие от многих других озер региона, где позднеголоценовая запись может быть фрагментарной или иметь более низкое временное разрешение, Сомино потенциально сохраняет детальную непрерывную запись изменений природной среды. Поэтому именно это озеро может рассматриваться как один из наиболее перспективных седиментационных архивов центра Восточно-Европейской равнины.

Несмотря на высокий потенциал, донные отложения озера Сомино до настоящего времени не были исследованы в полной мере с применением современного комплексного подхода. Ранее для озера были получены сведения о мощности сапропеля и общих особенностях осадконакопления (Нейштадт, 1965), однако детальная реконструкция позднеголоценовой динамики озерной экосистемы оставалась недостаточно разработанной. Создание подобной реконструкции для озера Сомино позволяет не только уточнить историю развития конкретного водоема, но и рассмотреть более общие закономерности трансформации мелководных озер в условиях длительного природного и антропогенного воздействия.

Материалом исследования послужили донные отложения озера Сомино, полученные при бурении в южной части акватории, где были установлены максимальные мощности сапропеля (Нейштадт, 1965). По результатам радиоуглеродного датирования была построена глубинно-возрастная модель. В ходе диатомового анализа были изучены образцы, охватывающие последние 2,5 тыс. кал. лет назад.

Результаты диатомового анализа показали, что на протяжении последних 2,5 тыс. лет озеро Сомино сохраняло черты мелководного водоема с преобладанием бентосных и эпифитных форм диатомей. Это указывает на хорошую освещенность водной толщи и развитие прибрежно-водной растительности. По отношению к минерализации в диатомовых комплексах преобладают пресноводные олигогалобные формы, а по отношению к pH — виды, характерные для слабощелочной и нейтральной среды. Таким образом, основные гидрохимические условия водоема в течение исследованного интервала оставались относительно стабильными.

Вместе с тем структура диатомовых комплексов существенно менялась во времени. На раннем этапе развития, около 2500–2000 кал. лет назад, сообщества характеризовались низким видовым разнообразием и выраженным доминированием *Staurosira construens*. В отложениях этого интервала отмечается повышенная доля песчаной фракции, что свидетельствует о более высоких скоростях осадконакопления. Состав диатомовых ассоциаций в сочетании с данными литологического анализа указывает на достаточно динамичные условия среды и повышенную проточность.

Примерно около 2000 кал. л. н. в составе диатомовых комплексов фиксируются заметные изменения. Увеличивается видовое разнообразие, возрастает участие эпифитных и бентосных таксонов, связанных с более разнообразными мелководными местообитаниями. В этот период в диатомовых ассоциациях увеличивается роль представителей рода *Cocconeis*, которые преимущественно связаны с обрастаниями и развитием прибрежно-водной растительности. На протяжении всего разреза значительную долю составляют представители родов *Pseudostaurosira* и *Staurosirella*, характерные для мелководных литоральных местообитаний. Планктонные виды также присутствуют, в основном представители рода *Aulacoseira*. В последние десятилетия возрастает доля *Aulacoseira granulata*, что может свидетельствовать о повышении трофности водоема. В совокупности эти данные указывают на мелководность озера, развитие стабильных прибрежных местообитаний и постепенное усиление эвтрофикации.

Полученные результаты согласуются с данными других методов, использованных для изучения донных отложений озера Сомино. Литолого-геохимические показатели подтверждают смену более динамичных условий осадконакопления на более спокойные. Спорово-пыльцевой анализ фиксирует изменения растительного покрова водосбора и появление признаков хозяйственного освоения территории, увеличение содержания водорослей *Pediastrum* также указывают на повышение продуктивности водоема (Отчет…, 2025).

Заключение. Таким образом, по данным диатомового анализа в истории озера Сомино за последние 2400 лет можно выделить два основных этапа. Первый этап характеризовался более динамичными условиями осадконакопления, повышенной проточностью и низким разнообразием диатомовых сообществ. Второй этап, начавшийся около 2000 кал. лет назад, связан со стабилизацией условий в водоеме, увеличением разнообразия диатомовых комплексов и постепенным усилением эвтрофикации. Эти изменения могли быть обусловлены возрастающим влиянием человека на водосбор, так как по археологическим данным в этот период в районе исследования появляется оседлое земледелие (Леонтьев, 2012).

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта «Глобальные климатические вызовы на территории России: ретроспективный анализ, прогноз и механизмы адаптации» при поддержке Минобрнауки РФ, соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024.

Список литературы

1 Леонтьев А. Е. На берегах озёр Неро и Плещеево // Русь в IX–X вв.: археологическая панорама / отв. ред. Н. А. Макаров. М.; Вологда: Древности Севера, 2012. С. 162–177.

2 Нейштадт М. И. Озеро Сомино (Ярославская область) // Палеогеография и хронология верхнего плейстоцена и голоцена по данным радиоуглеродного метода. М.: Наука, 1965. С. 91–97.

3 Отчет о выполненных научно-исследовательских работах по проекту "Глобальные климатические вызовы на территории России: ретроспективный анализ, прогноз и механизмы адаптации" (промежуточный) / Институт географии РАН; Руководитель Соломина О.Н. - Москва, 2025. - 355 с. - № госрегистрации НИОКТР 124052100082-1

Микролитологическая диагностика озёрно-ледниковых песчаных отложений Чуйской котловины (Горный Алтай)

Фоменко А.В.[1,2], Зольников И.Д.[1,2], Новиков И.С.[1], Филатов Е.А.[1], Фетисов И.С.[1,2]

[1] Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева, Сибирское отделение Российской академии наук, Новосибирск, Россия, Fomenko.ann.v@yandex.ru

[2] Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Изучение четвертичных озёрно-ледниковых отложений Чуйской котловины играет важную роль для стратиграфии квартера всего Горного Алтая, которая основана на выделении ледниковых эпох. Несмотря на то, что этот регион изучается уже более века, исследователи до сих пор не могут прийти к единому мнению относительно последовательности и периодизации оледенений. Согласно данным Е. В. Девяткина (1965), на территории Чуйской котловины существовало три ледниково-подпрудных озера, которые соответствуют крупным этапам похолодания. Одно среднечетвертичное, которое предварительно можно скоррелировать с морской стадией MIS-6 и два позднечетвертичных, соответствующих эпохам MIS-5d и MIS-2. Однако в текущей региональной стратиграфической схеме возраст подразделений определяется ограниченным числом датировок. Термолюминесцентные датировки первого поколения, со слов авторов (Разрез…, 1978), изначально не являлись релевантными и не нашли подтверждения при последующих исследованиях, а в 2018 году решением секции четвертичной системы СибРМСК и вовсе были признаны некондиционными (Зольников и др., 2021).

Отложения, которые можно достоверно идентифицировать как озёрно-ледниковые, были найдены на северо-восточном борту Чуйской котловины у подножия Курайского хребта близ посёлка Кокоря. Координаты: N=49.92008°; E=89.00278°; A.o.=1880 м. В разрезе вскрыты мелкозернистые, хорошо промытые пески с субгоризонтальной тонкой параллельной слоистостью. По четырём OSL-датам установлено, что последнее ледниково‑подпрудное озеро в Чуйской котловине существовало в период 21,7-23,4 тыс. л. н. Это соответствует последнему ледниковому максимуму (LGM) эпохи MIS-2 и подтверждает оледенение этого возраста, сформировавшее Куэхтанарскую ледниковую плотину в районе перемычки между Чуйской и Курайской котловинами. Данный разрез лимногляциальных отложений можно считать парастратотипом чибитского горизонта (четвёртая ступень верхнего неоплейстоцена) стратиграфической схемы Горного Алтая (Зольников и др., 2025).

Озёрно-ледниковые отложения Чуйской котловины представлены многими литотипами: валуногалечниками с мульдообразной или параллельной слоистостью; гравийно-галечниками; песками с косослоистой или субгоризонтальной тонкой параллельно слоистой текстурой; ленточными глинами – ритмично переслаивающимися песчано-глинистыми отложениями. Однако наибольший интерес представляют отложения с доминирующей песчаной фракцией, так как только они пригодны для OSL-датирования. Абсолютный возраст отложений ледниково-подпрудных озёр позволяет напрямую определить время оледенений. Однако для получения достоверных результатов крайне важно убедиться, что датируемые пески действительно являются озёрно-ледниковыми. С этой целью на основе анализов минералогического состава, микро- морфоскульптуры и морфологии песчаных кварцевых зёрен были разработаны критерии для дифференциальной микролитологической диагностики. Выявленные признаки позволяют надёжно

отличать озёрно-ледниковые пески от эоловых и аллювиальных отложений, находящихся на территории Чуйской котловины.

Ключевым признаком является высокое содержание слюд в озёрно-ледниковых отложениях – около 15%, что существенно выше, чем в песках субаквального генезиса: не более 5% в отложениях завально-подпрудного озера, располагавшегося рядом с ледниковой плотиной на выходе из Чуйской котловины; в образцах аллювиальных песков лишь изредка встречаются единичные слюды. В эоловых отложениях легкие пластинки слюд полностью отсутствуют. В ледниково-подпрудном озере в условиях спокойной гидродинамики интенсивность волноприбойной деятельности недостаточна для разрушения хрупкой слоистой структуры слюды.

Помимо пёстрого минерального состава для озёрно-ледниковых песков характерны: уплощённо-удлинённая и изометричная форма зёрен, глянцевая поверхность, умеренная и средняя степень окатанности кварцевых зёрен, стеклянный блеск и раковистые сколы. В субаквальной среде на поверхности зёрен остаются многочисленные желобки и борозды, а также более крупные и изометричные серповидные, блюдцеобразные углубления. Субаэральные отложения существенно подвержены вторичным изменениям – появлению карбонатных плёнок и налипанию алевритовых частиц. В эоловых песках преобладают изометричные, хорошо окатанные, округлённые, матовые зёрна кварца. Их тип поверхности обусловлен микроямчатым рельефом: в результате соударения частиц в воздушной среде на поверхности зёрен образуются небольшие углубления и треугольные ямки. Однако у переотложенных, изначально субаквальных зёрен может оставаться собственная морфоскульптура – борозды и желобки. Но чем дольше зёрна подвергаются эоловой переработке, тем больше заматовывается изначальная субаквальная морфоскульптура.

Отложения уверенно дифференцируются по коэффициентам матовости и окатанности. Для озёрно-ледниковых и озёрных песков коэффициент окатанности составляет 45%, у аллювиальных песков он несколько выше – достигает 50%. Распределение в обоих случаях унимодальное, с доминированием зёрен средней окатанности, однако у аллювиальных отложений распределение по классам более равномерное. Идеально окатанные кварцевые зёрна в аллювии встречаются значительно чаще, тогда как в озёрных отложениях, напротив, в разы возрастает доля неокатанных и слабо окатанных частиц. Повышенная угловатость зёрен лимногляциального генезиса свидетельствует о кратковременности механической обработки материала. Под влиянием длительных эоловых процессов окатанность зёрен может достигать 70% и более. Вне зависимости от интенсивности переработки, мода распределения для эоловых песков смещена в сторону высокой степени окатанности. У субаквальных отложений пик содержания неизменно приходится на средний класс.

По коэффициенту матовости субаквальные отложения практически неотличимы, значения невысоки – около 20%. В составе преобладают четверть матовые зёрна, до трети приходится на глянцевые, а полностью матовые почти не встречаются. Для эоловых песков, прошедших длительную переработку, характерна высокая степень матовости (коэффициент составляет около 60%), с доминированием полуматовых зёрен и значительным количеством зёрен с матовой поверхностью. Слабо переработанный эоловый материал имеет заметно меньший коэффициент матовости – от 23% до 30%.

Применение выделенных микролитологических критериев для песков Чуйской котловины повышает надёжность генетической интерпретации, что даёт возможность уверенно выделять озёрно-ледниковые пески и получать корректные датировки.

Установление возраста отложений ледниково-подпрудных озёр помогает уточнить периодизацию оледенений Горного Алтая. Полученные результаты имеют существенное значение для построения региональной стратиграфической схемы.

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию НИР ИГМ СО РАН № FWZN–2026–0004 при поддержке Минобрнауки РФ

Список литературы

1. Возраст последнего ледниково-подпрудного озера Чуйской котловины (Горный Алтай) / И.Д. Зольников, И.С. Новиков, Р.Н. Курбанов [и др.] // Доклады Академии наук. 2025. Т. 522, № 1, С. 5-12.
2. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. М.: Наука, 1965. 243 с. (Тр. ГИН АН СССР, вып. 126)
3. Зольников И.Д., Шпанский А.В., Михаревич М.В. Проблемы четвертичной стратиграфии Сибирского региона // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2021. № 10. С. 3-6.
4. Разрез новейших отложений Алтая / А.А. Свиточ, Т.Д. Боярская, Т.Н. Воскресенская [и др.] под ред. К.К. Маркова. М.: Изд-во МГУ, 1978. 208 с.

Палеоэкологическая реконструкция развития озера Ямбето (юг полуострова Ямал) по данным субфоссильных Cladocera

Фролова Л.А., Нигматуллин Н.М.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

Введение. Озёрные отложения являются уникальными архивами, хранящими информацию об изменениях природной среды на протяжении тысячелетий (Пестрякова и др, 2016; Karachurina et al., 2023). В последние десятилетия палеолимнологические исследования в арктических и субарктических регионах приобретают особую актуальность в связи с интенсивными климатическими изменениями и усилением антропогенного воздействия на уязвимые экосистемы Севера (Frolova et al., 2026; Ibragimova et al., 2016; Nigamatzyanova et al., 2016).

Объектом настоящего исследования является озеро Ямбето (68˚11′74.7″ с.ш., 068˚58′42.8″ в.д.), расположенное на юге полуострова Ямал в Ямало-Ненецком автономном округе. Водоём представляет собой систему слившихся озёрных котловин с максимальной глубиной 6,9 м, хорошо развитой литоралью и болотистыми берегами. Территория относится к подзоне южной тундры, для которой характерны заболоченные поймы, мохово-травянистая растительность и кустарниковые формы (берёза карликовая). Озеро испытывает умеренный антропогенный пресс, что делает его удобным модельным объектом для оценки реакции экосистем на совокупность природных и антропогенных факторов.

Цель работы – реконструировать этапы развития озера Ямбето в позднеголоценовое время на основе анализа сообществ субфоссильных Cladocera в донных отложениях. Для достижения поставленной цели были определены таксономический состав и количественное распределение остатков ветвистоусых ракообразных в колонке донных отложений; на основе кластерного анализа выделены стратиграфические зоны, отражающие смену экологических условий; оценен статус водоёма по индексу сапробности на разных этапах его развития. Полученные данные позволят не только восстановить историю формирования современного облика озера, но и выявить направленность изменений в условиях нарастающего антропогенного влияния в регионе.

Материалы и методы. Отобранная колонка донных отложений из озера Ямбето была нарезана послойно с высокой степенью разрешения 1-2 см в полевых условиях. В камеральных условиях образцы были подвергнуты методом сублимационной сушки. Подготовка образцов для анализа субфоссильных Cladocera осуществлялся по стандартной методике, разработанной А. Корхолой и М. Раутио (Korhola, Rautio, 2001). Пробы просматривались под световым микроскопом Carl Zeizz Axio lab.A1 при увеличении x100-400. Остатки, обнаруженные в препарате подсчивали и идентифицировали с использованием специализированных определителей как субфоссильных и рецентных остатков (Szeroczyńska, 2007), так и современных Cladocera (Котов, 2010; Коровчинский, 2021). Из каждого образца было подсчитано не менее 200 фоссилизированных остатков кладоцера. По данным радиуглеродного датирования возраст донных отложений отобранной колонки оз. Ямбето составил 2500 кал. лет.

Результаты. В составе реконструированных сообществ зоотанатоценозов Cladocera отмечено 26 таксонов, принадлежащих к 15 родам и 5 семействам (Chydoridae-73%, Bosminidae-8%, Daphniidae-12%, Eurycercidae-4% и Sididae-4%). Концентрация остатков субфоссильных кладоцера варьировала от 87 до 390 экз./г сухого веса, в среднем составив 249 экз./г. При оценке по шкале Любарского доминантом в сообществе являлся холодноводный пелагический таксон *Bosmina (Eubosmina)*

longispina (40,1% от общей численности). Субдоминантами являлись *Chydorus* cf. *sphaericus* (28,3%) и *Bosmina longirostris* (18,8 %). В палеосообществе ветвистоусых ракообразных также были отмечены малочисленные таксоны как *Graptoleberis testudinaria, Pleuroxus uncinatus, Leydigia leidigi* и *Eurycercus* sp. По количественным показателям в озере преобладали пелагические Cladocera, но большее таксономическое богатство наблюдается в литоральной группе. Индекс сапробности по Пантле и Букка изменялся в пределах от 1,40 до 1,64, со средним значением 1,52 ± 0,96, что характерно для β-мезосапробных условий.

Выявленные изменения в составе субфоссильных кладоцерных сообществ колонки донных отложений озера Ямбето позволили на основе кластерного анализа CONISS программы Tilia выделить четыре стратиграфические зоны.

Горизонт, соответствующий образцам 124-86 см (2500-1650 кал. л.н.) выделен в зону I. В общей сложности в зоне выявлено 22 таксона Cladocera. Ранний этап развития озера характеризуется более низкими концентрациями остатков субфоссильных кладоцер (200 экз./г) по сравнению с последующими периодами его развития. Согласно шкале Любарского, в этой зоне доминировала *Bosmina (Eubosmina) longispina* (55,95%) – пелагический холодноводный вид, предпочитающий большие олиготрофные озера (Bledzki, 2016). Также имеется один субдоминантный таксон – *Chydorus* cf. *sphaericus* (28,09%), преимущественно литоральный вид. По соотношению остатков пелагических и литоральных организмов преобладают пелагические формы.

Зона II (85-60 см) характеризуется заметным снижением видового богатства, было обнаружено 16 таксонов ветвистоусых ракообразных. В отдельных образцах количество идентифицированных таксонов меняется от 4 до 11. Наблюдается увеличение концентрации субфоссильных остатков экзоскелета. На эту зону приходится наименьшее количество литорально-фитофильных видов на протяжении всей колонки и преобладание остатков пелагических таксонов. Ранее представленная в незначительных количествах *Bosmina longirostris* увеличивает свою долю до 6,31% и становится второстепенным таксоном по шкале Любарского. Среднее значение индекса спароапробности увеличивается до 1,53.

Горизонт, на глубине 59-18 см, выделенный в зону III характеризуется изменениями в структуре сообщества субфоссильных Cladocera. Несколько уменьшается концентрация остатков экзоскелетов кладоцер (259 экз./ г), при одновременном увеличении таксономического разнообразия (выявлен 21 таксон кладоцера). *Bosmina (Eubosmina) longispina*, занимавшая роль супердоминанта в предыдущей зоне становится второстепенным видом согласно шкале Любарского, снизив свою долю в сообществе до 10,10%. Место доминантного таксона занимает *Bosmina longirostris* (44,67%), а субдоминантом по-прежнему остается *Chydorus* cf. *sphaericus* (32,10%). Это может свидетельствовать о значительных экологических изменениях в водоеме и его водосборе. *Bosmina longirostris* описывается как эврибионтный вид, встречающийся в планктоне разнотипных водоемов, где держится в прибрежье, но также нередко населяет пелагиаль и адаптирован к разному химическому составу воды (Коровчинский, 2021). Среднее значение индекса сапробности продолжает увеличиваться и равняется 1,55, водоем сохраняет β-мезосапробный статус.

Образцы донных отложений на глубине 17-0 см выделены в зону IV отражают современные условия развития озера. Обнаружено 19 таксонов Cladocera. Доля прибрежных организмов начинает превалировать над таксонами, обитающих в открытой части водоема. Согласно шкале Любарского, абсолютные доминанты и доминанты отсутствуют. Роль субдоминантов принадлежит *Chydorus* cf. *sphaericus* (34,48%) и *Bosmina*

(Eubosmina) longispina (31,67%). Второстепенное значение в сообществе играют *Bosmina longirostris* (11,46%), *Eurycercus* sp. (5,42%) и *Alona affinis* (4,27%). Повышение количества остатков *Alona affinis*, обитающей среди водной растительности говорит о наличии большого количества макрофитов, что характерно для сегодняшнего этапа развития озера.

Заключение. Выполнен палеобиологический анализ сообществ Cladocera в донных отложениях озера Ямбето. По результатам кладоцерного анализа выделены 4 стратиграфические зоны в разрезе донных отложений озера, по таксономическому составу которых была сделана реконструкция изменений условий среды в водоеме. Среди обнаруженных и идентифицированных остатков доминируют экзоскелеты пелагического холодноводного вида *Bosmina (Eubosmina) longispina*. Значительная доля остатков принадлежала *Chydorus* cf. *sphericus*. Мы можем говорить о наличии глубокой пелагиали, состоящей из нескольких отдельных воронок и хорошо развитой литоральной зоне, с мелководными участками, где произрастает водная растительность. Существенные изменения условий среды происходит на этапе осадконакопления, охватывающий глубины 59-18 см (1000-300 кал. л.н.), о чем свидетельствует резкая смена доминантных организмов, ведущую роль начинает играть более адаптивная *Bosmina longirostris*. Концентрация остатков субфоссильных Cladocera увеличивается по мере развития озера.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00744, https://rscf.ru/project/25-27-00744/.

Список литературы

1. Bledzki L.A., Rybak J.I. Freshwater crustacean zooplankton of Europe. Cham: Springer International Publishing Switzerland, 2016. 923 p.
2. Frolova L.A. Subfossil Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) in climatic and palaeoenvironmental investigations in Eastern Siberia (Russia) // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016. Conference Proceedings. 2016. С. 601-606.
3. Ibragimova A.G., Frolova L.A., Grekov I.M. Results of subfossil Cladocera (Branchiopoda, Crustacea) analyses from bottom deposits of Lake Antyukh-Lambina (Kola Peninsula, Murmansk region) // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Т. 7. № 6. С. 3201-3206.
4. Karachurina S., Rudaya N.A., Frolova L.A., Kuzmina O., Cao X., Chepinoga V.V., Stoof-Leichsenring K., Biskaborn B., Herzschuh U., Nigmatullin N.M., Vnukovskaya Y.D., Grekov I.M., Pestryakova L.A. Terrestrial vegetation and lake aquatic community diversity under climate change during the mid-late Holocene in the Altai Mountains // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2023. Т. 623. С. 111623.
5. Korhola A., Rautio M. Cladocera and other branchiopod crustaceans // Tracking environmental change using lake sediments. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. Vol. 4: Zoological indicators. P. 125–165.
6. Nigamatzyanova G.R., Frolova L.A., Abramova E.N. Zooplankton spatial distribution in thermokarst lake of the Lena River delta (Republic of Sakha (Yakutia)) // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Т. 7. № 5. С. 1288-1297.
7. Szeroczyńska K., Sarmaja-Korjonen K. Atlas of Subfossil Cladocera from Central and Northern Europe. Świecie: Friends of the Lower Vistula Society, 2007. 84 p.
8. Коровчинский Н.М., Котов А.А., Синёв А.Ю., Неретина А.Н., Гарибян П.Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. II. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. 544 с.
9. Котов А.А., Синев А.Ю., Глаголев С.М., Смирнов Н.Н. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод европейской России. Ветвистоусые ракообразные (Cladocera) / Под ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 126 с.
10. Пестрякова Л.А., Николаев А.Н., Субетто Д.А., Фролова Л.А., Бобров А.А., Городничев Р.М. Палеоэкология. Методологические основы палеоэкологии. Учебно-методическое пособие. Якутск, 2016.

Выявление климатического сигнала при сопоставлении палинологических и геохимических данных из отложений оз. Каракель (Западный Кавказ) для времени позднего голоцена

Чепурная А.А.

Институт географии РАН, a_che@bk.ru

Поиск новых достоверных методов реконструкции климата прошлых эпох, является одной из важнейших задач в палеогеографии. В этом аспекте пристальное внимание уделяется изучению геохимических данных озерных отложений с целью выявления элементов-индикаторов изменения климатических характеристик. Одним из таких элементов является бром, Настоящая работа посвящена поиску взаимосвязей между изменчивостью спорово-пыльцевых спектров и динамикой концентрации брома в отложениях озера Каракель. А также, попытке обнаружения климатического сигнала, основанного на результатах этого сопоставления.

Озеро Каракель (43◦26′12.44″ с.ш.; 41◦44′36.18″ в.д.), расположено в пределах западной высокогорной провинции Большого Кавказа, в долине р. Теберда, берущей свое начало на склонах Главного Кавказского хребта. Высота уреза озера 1335 м над уровнем моря. Размеры озера 140*280м, глубина колеблется в пределах 6-8м.

Сводный разрез отложений озера Каракель имеет мощность 76 см и возраст, согласно данным радиоуглеродного датирования около 2200 лет (Alexandrin et al., 2023; Чепурная, Новенко, 2024). Образцы для спорово-пыльцевого анализа были отобраны с интервалом 1 см. Данные по концентрации брома были получены SR-XRF сканированием озерных кернов с разрешением 1мм (Darin et al., 2013, Alexandrin et al., 2023).

Содержание брома имеет статистическую связь, согласно результатам многих исследований (Guyard et al., 2007; Liu et al., 2013; Kalugin et al., 2007), с долей общего органического углерода в осадках. В качестве индикатора органики в озерных отложениях Br рассматривался в работах Федотова и др. (Fedotov et al., 2015) и Степановой и др. (Stepanova et al., 2019) для озер Восточной Сибири. Федориным и др. (Phedorin et al., 2000) было доказано, что бром накапливается диатомовыми водорослями озера Байкал. Калугиным и др. (Kalugin et al., 2007) в результате рентгенофлуорисцентного сканирования отложений Телецкого озера была выявлена прямая корреляция между содержанием органического вещества и Br в осадках и сделан вывод о том, что концентрация Br увеличивается в более теплые периоды. Новые методы анализа кернов осадочных пород, такие как μXRF и SR XRF, позволили получить концентрацию Br с высоким разрешением. Это открыло возможности для использования Br в качестве индикатора для высокоточных палеоклиматических реконструкций. Калугин и др. (Kalugin et al., 2007) провели корреляцию между содержанием Br и годовой температурой на метеорологической станции Барнаул в период 1840–1996 гг. ($r = 0,41$, $p < 0,05$). При исследовании отложений озера Каракель (Западный Кавказ) в работе Александрина и др. (Alexandrin et al., 2023) концентрация брома, полученная SR-XRF сканированием отложений была сопоставлена с палинологическими данными, а конкретнее с кривой суммы пыльцы широколиственных пород, в результате чего рассчитан высокий коэффициент корреляции $r = 0,72$; $p < 0,05$, что послужило одной из причин для утверждения, что содержание брома можно рассматривать как индикатор потепления климата. Данное исследование вдохновило нас на следующий шаг в отношении сопоставления геохимических и пыльцевых данных в отложениях озера Каракель. В нашей работе мы взяли для корреляции все древесные породы, пыльца которых была обнаружена в осадках, и доля которой в спектрах превышает 3%,

за исключением интразональных видов (березы, облепихи и др.) Выбранные виды древесных пород были подразделены на ксерофиты и мезофиты. Ксерофиты (в т.ч. гемиксерофиты): **Сосна крючковатая** *(Pinus sylvestris subsp. hamata*), **Дуб скальный** (*Quercus petraea*), **Грабинник** (Carpinus orientalis). Мезофиты: **Бук восточный** (*Fagus orientalis*), **Граб обыкновенный** (*Carpinus betulus*), **Пихта Нордмана** *(Abies nordmanniana)*, **Ель восточная** *(Picea orientalis).*

Далее мы провели корреляцию между кривыми содержания брома, суммы процентного содержания пыльцы мезофитов и кривой суммы процентного содержания широколиственных пород (рис.1). Для количественной оценки корреляции был использован полиномиальный сплайн для трех упомянутых наборов данных. Коэффициент корреляции в первом случае оказался довольно высоким r=0.67, во втором – существенно ниже – r=0.35. Таким образом, высокую корреляцию содержания брома и суммы доли пыльцы широколиственных пород, полученную в статье Александрина и др. (Alexandrin et al., 2023) нам подтвердить не удалось. Однако была выявлена другая интересная корреляция – между долей пыльцы мезофитов и концентрацией Br (r=0.67). Чтобы получить более точное представление о том, что привело к высокому коэффициенту, корреляции мы построили отдельную кривую хвойных мезофитов и наложили ее на две предыдущие. Как видно на рисунке (рис.1), первый максимум кривой брома и кривой хвойных мезофитов практически совпадают, в то время как кривая широколиственных в этом месте графика уходит в минимум. Стоит упомянуть, что Пихта Нордмана и Ель восточная менее требовательны к теплу, чем Бук Восточный и Граб обыкновенный. При этом Пихта Нордмана и Бук Восточный одинаково гигрофильны (Зернов, 2006). Таким образом, второй максимум брома, который приходится на максимум кривой пыльцы хвойных пород – пихты и ели – соответствует более прохладным, но гумидным климатическим условиям.

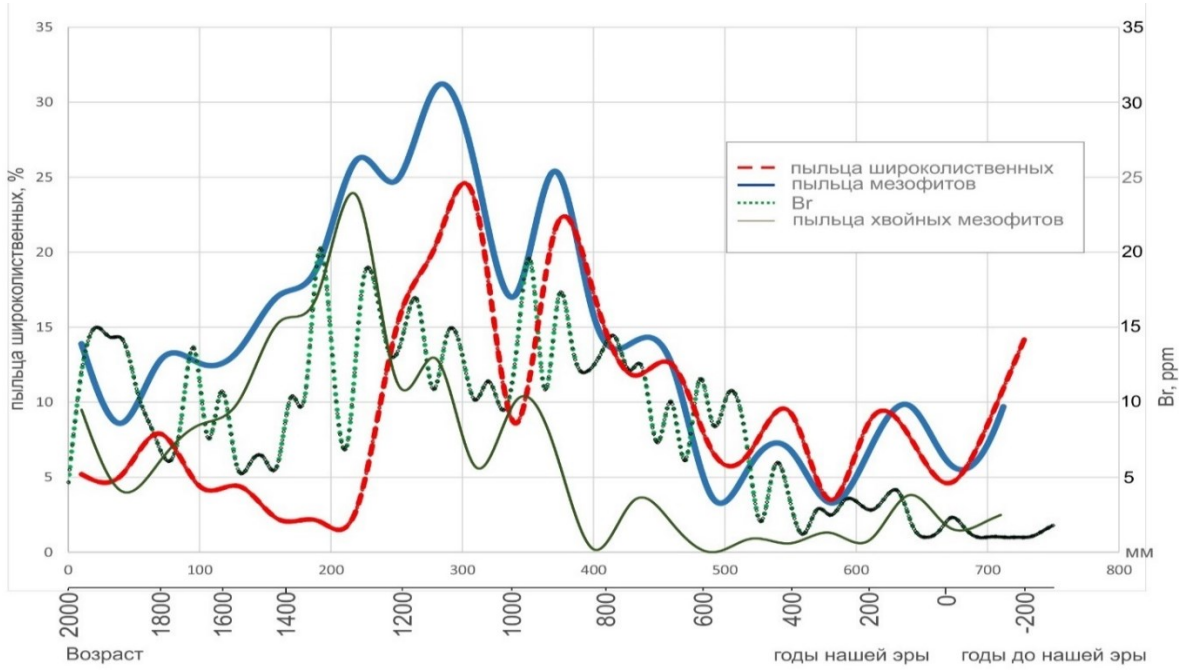


Рис.1. Результаты сопоставления концентрации брома
и содержанием пыльцы древесных видов в отложениях озера Каракель

Полученные результаты позволяют нам предположить, что при сопоставлении концентрации Br и климатических данных следует более пристальное внимание

обратить на показатели, характеризующие степень гумидности климата – влажность, среднегодовое количество осадков и т.п. При этом нельзя отрицать связи содержания брома с температурными показателями, так как, частичная корреляция с долей пыльцы широколиственных видов (являющихся индикатором наиболее теплых интервалов на Кавказе (Серебрянный и др., 1984)) бесспорно присутствует, о чем говорит совпадение первого максимума Br и максимума кривой пыльцы широколиственных.

Благодарности Исследования выполнены при поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024).

Автор выражает глубокую благодарность член-корр. РАН О.Н. Соломиной и научному сотруднику ИГ РАН М.Ю. Александрину за предоставленные для исследования данные.

Список литературы

1. Зернов А.С. Флора Северо-Западного Кавказа. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2006. 664 с.
2. Серебрянный Л.Р., Голодковская Н.А., Орлов А.В. и др. Колебания ледников и процессы моренонакопления на Центральном Кавказе. М.: Наука, 1984. 216 с.
3. Чепурная А.А., Новенко Е.Ю. Реконструкция растительности и климата долины р. Теберды (Западный Кавказ) в позднем голоцене по палинологическим данным. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2024. Т. 79. № 5. С. 78–89.
4. Alexandrin M.Y., Solomina O.N., Darin A.V. Variations of Heat Availability in the Western Caucasus in the Past 1500 Years Inferred from a High-Resolution Record of Bromine in the Sediment of Lake Karakel// Quaternary International. 2023. vol. 664. p. 20–32.
5. Darin, A.V., Kalugin, I.A., Rakshun, Y.V., 2013. Scanning X-ray microanalysis of bottom sediments using synchrotron radiation from the BINP VEPP-3 storage ring. Bull. Russ. Acad. Sci. 77, 182 –184.
6. Fedotov, A.P., Trunova, V.A., Enushchenko, I.V., Vorobyeva, S.S., Stepanova, O.G., Petrovskii, S.K., et al., 2015. A 850-year record climate and vegetation changes in East Siberia (Russia), inferred from geochemical and biological proxies of lake sediments. Environ. Earth Sci. 73 (11), 7297 –7314.
7. Guyard, H., Chapron, E., St-Onge, G., Anselmetti, F.S., Arnaud, F., Magand, O., et al. High-altitude varve records of abrupt environmental changes and mining activity over the last 4000 years in the WesternFrench Alps (Lake Bramant, Grandes Rousses Massif)// Quat. Sci. Rev. 2007. 26 (19 –21). P. 2644–2660.
8. Kalugin, I., Daryin, A., Smolyaninova, L., Andreev, A., Diekmann, B., Khlystov, O. 800-yr-long records of annual air temperature and precipitation over southern Siberia inferred from Teletskoye Lake sediments// Quat. Res. 67 (3). P. 400 –410.
9. Liu, X., Colman, S.M., Brown, E.T., Minor, E.C., Li, H. Estimation of carbonate, total organic carbon, and biogenic silica content by FTIR and XRF techniques in lacustrine sediments// J. Paleolimnology. 2013. 50 (3). P. 387–398.
10. Phedorin M.A, Goldberg E.L., Grachev M.A., Levina O.L., Khlystov O.M., Dolbnya I.P. The comparison of biogenic silica, Br and Nd distributions in the sediments of Lake Baikal as proxies of changing paleoclimates of the last 480kyr//Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2000. V. 448, Issues 1–2. P. 400-406.
11. Stepanova, O.G., Trunova, V.A., Osipov, E.Y., Kononov, E.E., Vorobyeva, S.S., Parkhomchuk, E.V., et al. Glacier dynamics in the southern part of East Siberia (Russia) from the final part of the LGM to the present based on from biogeochemical proxies from bottom sediments of proglacial lakes// 2019. Quat. Int. 524. P. 4–12.

Связь радиального прироста деревьев в Центральной Якутии с уровнем термокарстового озера Тюнгюлю

Чжан Сяохун, Николаев А.Н., Давыдова П.В., Пестрякова Л.А.

СВФУ им. М.К. Аммосова, Якутск, 677000, z461306425@gmail.com

Введение. Термокарстовые озера (аласы) Центральной Якутии являются чувствительными индикаторами изменений климата и состояния многолетней мерзлоты (ММП) (Соловьев, 1962; Босиков, 1977; Саввинов и др., 2005). Колебания их уровня отражают сложное взаимодействие атмосферных осадков, температуры, поверхностного стока и криогенных процессов (Босиков, 1991; Десяткин, 2008). Дендрохронологические исследования позволяют оценить влияние гидрологического режима озер на прилегающие лесные экосистемы (Николаев и Федоров, 2004; Николаев и др., 2011; Zhang, 2024). Цель работы — выявить характер и степень влияния изменений уровня озера Тюнгюлю на радиальный прирост лиственницы и сосны, а также оценить возможность реконструкции уровня озера по древесно-кольцевым данным.

Материалы и методы. Объект исследования — мелководное термокарстовое озеро Тюнгюлю (62.18° с.ш., 130.72° в.д.). Использованы данные гидрологического поста за 1962–2020 гг. (59 лет наблюдений) (Ресурсы поверхностных вод, 1965; Государственный доклад, 2021). Дендрохронологический материал представлен выборками лиственницы Каяндера и сосны обыкновенной с пробных площадей, расположенных в водосборном бассейне озера. Для анализа использованы стандартные хронологии (STD) и показатели BI для ранней (EW) и поздней (LW) древесины, а также их разность (D). Применены методы корреляционного, регрессионного, вейвлет-анализа и анализ точек структурных изменений (тест Петтитта, скользящий t-тест).

Результаты и обсуждение. Динамика уровня озера. Анализ уровня воды в озере показал, что его между годами были довольно значительными (стандартное отклонение –105,1 см). Тренд снижения уровня (–1,38 см/год) был статистически незначимым для всего периода наблюдений (p = 0,089). Однако в летний сезон наблюдается достоверное снижение уровня (–14,03 см за 10 лет, p = 0,038). Тест Петтитта выявил 2008 год как важный момент, когда произошло структурное изменение. С помощью скользящего t-теста были определены четыре фазы смены режима: в 1979, 1992, 2003 и 2008 годах (рис.1). Эти фазы позволили выделить пять гидрологических этапов: 1. Медленные колебания уровня (1962–1978). 2. Подъем уровня (1979–1991). 3. Аридное снижение (1992–2002). 4. Экстремально низкий уровень (2003–2007). 5. Быстрые колебания (2008–2018). Вейвлет-анализ подтвердил сложную многомасштабную структуру изменчивости с доминирующим периодом 37,1 года.

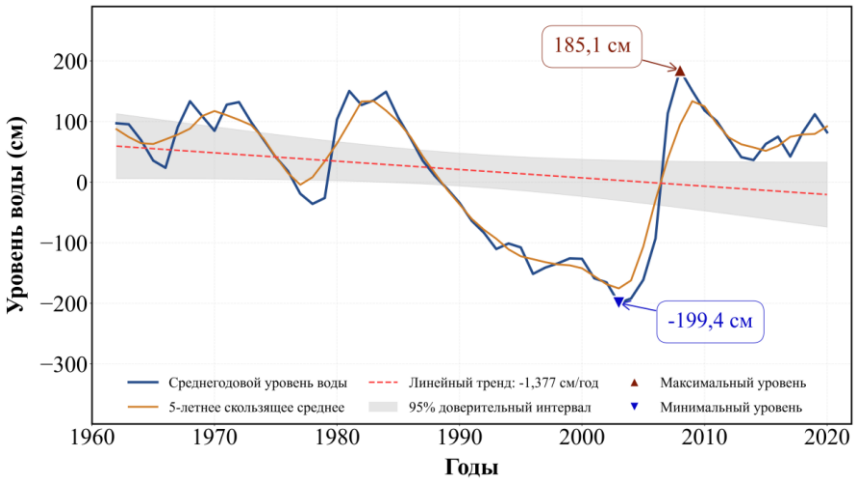


Рис. 1. Тенденции изменения уровня озера и линейный тренд

Реакция деревьев на изменение уровня озера. Корреляционный анализ обнаружил тесную связь между уровнем воды в озере и показателями роста деревьев (рис.2). Для лиственницы была выявлена положительная корреляция между показателем STD и летним уровнем воды (коэффициент корреляции r до 0,619). В то время осенние BI-показатели (BI-EW, BI-LW, BI-D) показали отрицательную корреляцию с уровнем воды (r до –0,53). Для сосны зафиксирована положительная корреляция всех показателей (STD, BI-EW, BI-LW, BI-D) с летним уровнем (r до 0,55). Установлено, что характер и сила этих связей не являются постоянными и значительно изменяются в зависимости от гидрологических этапов. В некоторых случаях корреляция даже меняет свой знак. Наиболее тесные связи были обнаружены в периоды быстрых изменений уровня озера, таких как 2003–2007 и 2008–2018 годы.

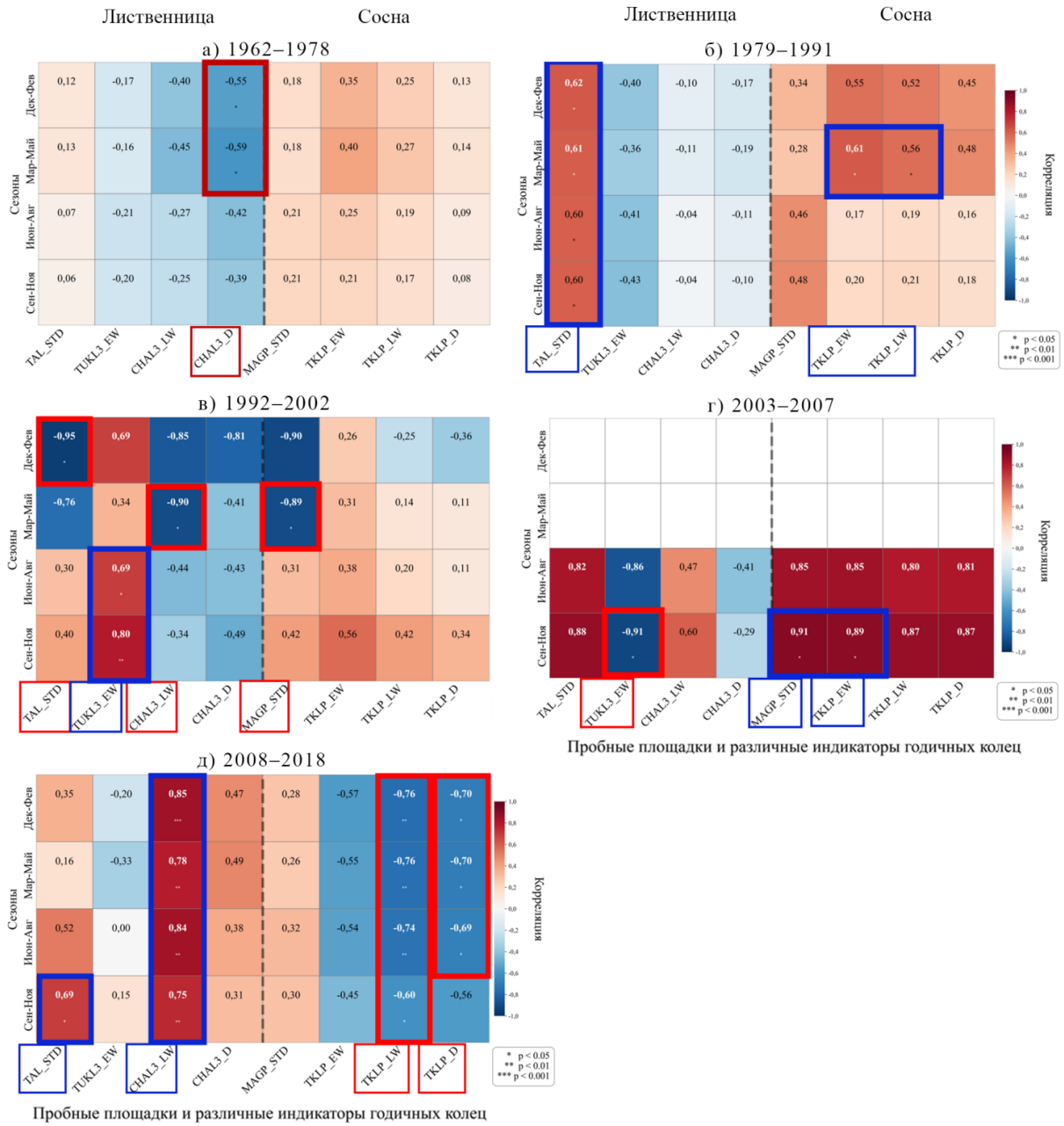


Рис. 2. Корреляционные матрицы с радиальным приростом деревьев по этапам

Реконструкция уровня. Исследование возможности количественной реконструкции уровня озера с помощью единого линейного индикатора показало низкую эффективность (максимальный коэффициент корреляции $R^2 = 0{,}268$). Однако поэтапное многопараметрическое моделирование позволило улучшить описание внутрифазовых связей (средний $R^2 = 0{,}601$). Однако, как показала кросс-валидация, модели обладают крайне продемонстрировала крайне низкой прогностической способностью (средний прогностический $R^2 = –9{,}25$). Это свидетельствует о нелинейном, нестационарном и пороговом характере связи между уровнем озера и ростом деревьев в условиях криолитозоны.

Выводы. Динамика уровня воды в термокарстовом озере Тюнгюлю демонстрирует циклические колебания и фазы режимных изменений, что отражает сложную взаимосвязь между климатическими и криогенными факторами. Наблюдения за ростом лиственницы и сосны в окружающих лесах показали, что эти деревья чувствительны к колебаниям уровня воды, однако эта связь не является стабильной во времени. Традиционные методы дендрогидрологической реконструкции не всегда применимы в данных условиях из-за нелинейности и изменения режимов реакции. Перспективным направлением для будущих исследований является использование мультипрокси-подходов, включая данные озерных отложений, для более точной интерпретации гидрологических изменений в прошлом.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки РФ № FSRG-2023-0027 и FSRG-2026-0010.

Список литературы

1. Соловьев П.А. Аласный рельеф Центральной Якутии и его происхождение // Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – С. 38–53.
2. Босиков Н.П. Динамика уровней и развития аласных озер Центральной Якутии // Известия Всесоюзного географического общества. – 1977. – Т. 109, вып. 4. – С. 357–361.
3. Саввинов Д.Д., Миронова С.И., Босиков Н.П. и др. Аласные экосистемы: Структура, функционирование, динамика / отв. ред. Д. Д. Саввинов. – Новосибирск : Наука, 2005. – 264 с.
4. Босиков Н.П. Динамика термокарстовых озер Центральной Якутии. – Якутск, 1991. – 128 с.
5. Десяткин Р.В. Почвобразование в термокарстовых котловинах–аласах криолитозоны. – Новосибирск : Наука, 2008. – 324 с.
6. Николаев А.Н., Фёдоров П.П. Влияние климатических факторов и термического режима мерзлотных почв Центральной Якутии на радиальный прирост лиственницы и сосны // Лесоведение. – 2004. – № 6. – С. 3–13.
7. Николаев А.Н., Федоров П.П., Десяткин А.Р. Влияние гидротермического режима мерзлотных почв на радиальный прирост лиственницы и сосны в Центральной Якутии // Сибирский экологический журнал. – 2011. – Т. 18. – № 2. – С. 189–201.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Ленско-Индигирский район. Вып. 5. Нижняя Лена / Под ред. Н. Д. Шека. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1965. – 119 с.
9. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среде Республики Саха (Якутия) в 2020 году. – Якутск, 2021.
10. Zhang X. Correlation of Lake Tyungyulyu Water Level with Larch Radial Growth in Central Yakutia // Limnology and Freshwater Biology. – 2024. – No. 4. – P. 737–740.

Этапы эволюции озера Аджибайчикского в голоцене
по результатам диатомового анализа

Шаталова А.Е., Кулькова М.А., Стрельцов М.А.
РГПУ им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург, shatalova10@gmail.com, kulkova@mail.ru, michail1996@mail.ru

Введение. Аджибайчикское озеро расположено в западной части степной зоны Крымского полуострова. Этот бессточный солёный водоём имеет лиманное происхождение, отделен от Черного моря песчаной пересыпью, отличается плоским и мелководным дном (глубина не превышает 0,2 м). В целях палеоклиматических реконструкций была отобрана колонка донных осадков озера Аджибайчикского. Литологический и геохимический анализы позволили установить особенности процесса седиментогенеза: наблюдается резкая смена сухих и влажных климатических условий (Кулькова, Кашуба, 2024). Для восстановления колебаний уровня водоёма и его связи с Черным морем был проведен диатомовый анализ.

Методы. Диатомовый анализ выполнялся для 32 образцов озера Аджибайчикского в интервале 3,2-0,17м. Пробоподготовка проводилась по стандартной методике (Давыдова, 1985) с добавлением HCl для удаления карбонатов и калий-кадмиевой жидкостью для обогащения образца диатомеями. Пробы просматривались с использованием микроскопа Микмед-6 при увеличении 1000х. Определение родов и видов диатомовых водорослей осуществлялось с помощью определителей Krammer, Lange-Bertalot, 1986–1991; Krammer, 2000, Witkowski, A. et al., 2000**,** Lange-Bertalot et al., 2017. Подсчет створок выполнялся до 10 трансект.

Результаты. Из 32 готовых препаратов диатомовые водоросли были обнаружены в 11 образцах. Всего было отмечено 43 вида диатомей, включая внутривидовые таксоны и створки, определенные до рода. 20 видов были представлены в обломочной форме вследствие плохой сохранности в осадке, поэтому были определены только до рода. В пробах с крайне низкой концентрацией диатомей (интервалы 3,2–2,85 м и 2,2–1,15 м) подсчет до 10 трансект не превышал 15 створок на препарат, что подтверждает их обедненный характер. В более богатых видами образцах (1,15–0,4 м и 0,32–0,17 м) общее число подсчитанных створок составило 45 и 91 соответственно, что является статистически значимым для оценки соотношения экологических групп. По отношению к местообитанию диатомовые были разделены на планктонных, обрастателей и донных видов. По отношению к солености были обнаружены как диатомеи-галофилы, живущие в условиях повышенной солености, так и пресные виды, и виды-космополиты, обитающие в широком диапазоне уровня солености.

На глубинах 3,2-2,85 м, в синевато-серой однородной глине в трех из четырех образцах были встречены единичные створки планктонных видов *Aulacoseira* и обрастателя *Fragilaria* (таблица 1). Пробы крайне обедненные, единичные находки не позволяют сделать надежных выводов.

На глубинах 2,85-2,2 м (серый слоистый глинистый алеврит) диатомовые водоросли полностью отсутствуют (0 образцов из 6). Вероятно, в этот период условия для развития диатомовых были неблагоприятными, возможно гипергалинные условия.

На глубинах 2,2-1,15 м в 4 из 9 образцах в осадках серого слоистого глинистого алеврита отмечены единичные створки *Fragilaria pinnata, Aulacoseira sp., Encyonopsis subminuta, Tabellaria flocculosa, Cocconeis costata, Achnanthes spec.* Это представители как солоноватоводных, так и пресных водоемов. Возможно формировались лагунные условия слабосоленого водоема, либо водоем был распресненным, глубина которого позволяла существовать планктонным *Aulacoseira sp.* Вероятнее всего существовал распресненный водоем с периодическим подсолонением за счет проникновения

морских вод, которые позволили развиваться в водоеме галофильным *Cocconeis costata, Achnanthes spec*., *Encyonopsis subminuta.*

На глубинах 1,15-0,4м серый слоистый глинистый алеврит сменяется на темно- и светло-серый глинистый алеврит, что находит отражение в составе диатомовых комплексов. В 2 из 8 образцах отмечено 23 вида и разновидностей диатомовых водорослей. Доминируют (55%) представители рода *Aulacoseira* и *Cyclotella,* которые являются планктоном. Встречены также створки галофилов *Fragilaria pinnata, Navicula cancellata, Cyclotella meneghiniana, Encyonopsis subminuta, Actinocyclus normanii.* Вероятно, в этот период, как и в предыдущем диапазоне, происходило распреснение водоема, которое позволило развиваться в толще воды пресноводным видам рода *Aulacoseira.* Водоем был слабосоленым/сильнораспресненным, с хорошо развитым планктоном и бентосом. ИФР (индекс флористического разнообразия) - 0,51. Высокое значение ИФР отражает стабильные условия с умеренной минерализацией, что может указывать на фазу относительного увлажнения. Природные условия были достаточно благоприятными для развития наибольшего числа видов.

Таблица 1

Изменение состава диатомовых комплексов
в донных отложениях оз. Аджибайчикского

глубина, м	литологическое описание	кол-во просмотренных проб	кол-во проб, в которых обнаружены диатомовые водоросли (диапазон проб)	доминирующие виды	интерпретация
3,2-2,85	синеватая серая однородная глина, граница резкая, в забое - бурая глина с единичным гравием	4	3 (3,14-3,12м; 3,02-3,0м; 2,9-2,88м)	единичные *Aulacoseira ambigua, Fragilaria sp., Aulacoseira sp.*	недостаточно данных
2,85-2,2	серый слоистый глинистый алеврит	6	0	0	неблагоприятные условия для развития диатомовых комплексов
2,2-1,15	серый слоистый глинистый алеврит	9	4 (2,12-2,10м; 1,82-1,80м; 1,51-1,53м; 1,16-1,14м)	единичные *Fragilaria pinnata, Aulacoseira sp., Encyonopsis subminuta, Tabellaria flocculosa, Cocconeis costata*	слабосоленый/сильнораспресненный водоем
1,15-0,4	темно-и светло-серый глинистый алеврит	8	2 (0,5-0,48м; 0,44-0,42м)	*Aulacoseira sp., Cyclotella meneghiniana, Encyonopsis subminuta, Navicula cancellata, Actinocyclus normani, Fragilaria pinnata*	слабосоленый/сильнораспресненный водоем
0,4-0,32	мелкозернистый серый песок	1	0	0	неблагоприятные условия для развития диатомовых комплексов
0,32-0,17	однородная гиттия, нижняя граница размыта	4	2 (0,32-0,3м; 0,5-0,18м)	*Aulacosiera sp., Cyclotella rossii, Encyonopsis subminuta, Cymbella naviculiformis, Navicula directa, Nitzschia amplectens, Fragilaria quebecensis*	переход к современным соленым условиям

На глубинах 0,4-0,32м диатомовых обнаружено не было, что свидетельствует о неблагоприятных условиях для развития диатомовых. Накопление мелкозернистого серого песка в разрезе донных осадков говорит о резкой смене условий осадконакопления и, вероятно, об изменении гидродинамической активности водоема. Мелкозернистый песок мог быть переотложен во время сильного шторма. Волны временно разрушали песчаную косу, отделяющую озеро от моря, и заносили песчаный материал в озеро. Отсутствие диатомей в этом слое не позволяет определить соленость, однако сам факт появления песка может указывать на кратковременный прорыв морской

пересыпи во время шторма, что привело к засолению водоема. Этот период является переходным из слабосоленого распресненного водоема в современный соленый.

На глубинах 0,32-0,17м начинает накапливаться однородная гиттия, что находит отражение в составе диатомовых комплексов. В 2 образцах из 4 отмечено 23 вида и разновидностей диатомовых водорослей. ИФР сократился до 0,25. Сокращение ИФР говорит о том, что природные условия, уровень водоема и его соленость стали устойчивыми для развития более узкого круга диатомовых видов. Видовой состав водорослей схож с диапазоном 1,15-0,4м, к нему добавляются виды-галофилы *Nitzschia amplectens, Navicula directa, Fragilaria quebecensis* и космополит *Cymbella naviculiformis.* В этот период водоем переходит к более соленым современным условиям, вероятно начало засоления озера из-за аридизации климата.

Заключение. Таким образом, диатомовый анализ донных осадков озера Аджибайчикское позволил выделить три основных этапа эволюции водоема в голоцене: (1) продолжительный гипергалинный или бедный диатомеями период (ниже 2,2 м), (2) фаза выраженного распреснения и расцвета диатомовых водорослей (2,2–0,4 м, ИФР 0,51), (3) переход к осолонению и формированию современного гипергалинного состояния (0,32–0,17 м), прерванный кратковременным эпизодом штормового прорыва (0,4–0,32 м).

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проекты № 22-18-00065-П «Культурно-исторические процессы и палеосреда в позднем бронзовом - раннем железном веке Северо-Западного Причерноморья: междисциплинарный подход» и № 25-78-10114 «Керамика эпохи бронзы из памятников степного Крыма: археометрическая база данных») в ЦКП «Геоэкология» РГПУ им. А.И. Герцена.

Список литературы

1. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л.: «Наука», 1985. – 244 с.
2. Палеосреда и культурно-исторические процессы в Северо-Западном Причерноморье в эпоху бронзы — раннем железном веке: первые результаты исследований : коллективная монография / науч. ред. М.А. Кулькова, М.Т. Кашуба. — СПб. : Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2024. — 336 с. : ил.
3. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa / Ed. by H. Ettl, J. Gerloff, H. Heying, D. Mollenhauer. Band 2/1-4. Stuttgart: G. Fisher Verlag. 1986-1991
2. Krammer K. Diatoms of Europe. Volume 1: The genus Pinnularia / K. Krammer // Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats, edited by Horst Lange-Bertalot. A.R.G. – 2000. – 703 pp.
1. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom flora of marine coasts I. — Vaduz : Koeltz Scientific Books, 2000. — 925 p. — (Iconographia Diatomologica ; vol. 7). — ISBN 3-904144-10-3
3. Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. Freshwater benthic diatoms of Central Europe: over 800 common species used in ecological assessments / ed. by M. Cantonati [et al.]. — Schmitten-Oberreifenberg : Koeltz Botanical Books, 2017. — 942 p. — ISBN 978-3-946583-06-6

Результаты диатомового анализа по донным осадкам озера Водоносного (Белое море)

Шаталова А.Е.[1], Левкова Д.Н.[1], Сапелко Т.В.[2], Репкина Т.Ю.[3]

[1]Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия shatalova10@gmail.com

[2]Институт озероведения РАН- СПБ ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

[3]Институт географии РАН, г. Москва, Россия

В 2022 г. на о. Жижгин (Белое море) проведены геоморфологические и палеолимнологические исследования оз. Водоносного (Репкина и др., 2025; Левкова и др., 2025). Для реконструкции колебаний его уровня в голоцене и определения роли трансгрессий Белого моря был проведен диатомовый анализ донных отложений. Диатомовый анализ выполнен для 44 образцов в интервале 6,52-1,77 м по стандартной методике (Давыдова, 1985). В донных осадках оз. Водоносного было отмечено 305 видов диатомовых водорослей (рис. 1). Состав диатомовых комплексов позволяет выделить 6 зон (ДЗ), соответствующих основным этапам развития оз. Водоносного.

Зона ДЗ-1 (6,52-6,4 м). Доминируют диатомеи бентоса, достигая суммарно показателей 99-100%, среди которых многочисленны *Tabularia fasciculata, Ctenophora pulchella* и виды рода *Fragilaria*. Преобладают индифферентные по отношению к солености диатомовые виды. Доминирование обрастателей свидетельствует о том, что осадконакопление происходило в условиях мелководного водоема, не имеющего постоянной связи с морем.

В ДЗ-2 (6,4-6,16 м) увеличивается содержание солоноватоводных диатомовых (до 64%), сокращается количество индифферентных и пресноводных видов (до 36%). Природные условия в этот период были наиболее благоприятными для развития разнообразной флоры диатомовых водорослей. При этом численность планктона остается на низком уровне 0-3%, что говорит о сохранении небольшой глубины водоема. В этой зоне доминирует *Diatoma moniliformis* (30 %), возрастает содержание донных диатомовых, в том числе появляются различные виды рода *Navicula*. Вероятнее всего в это время началось поступление морских вод в котловину озера, что обуславливает развитие и преобладание в этой зоне солоноватоводных и морских диатомовых видов.

ДЗ-3 (6,16-5,7 м). В диатомовых сообществах для этой зоны характерно увеличение содержания планктонных диатомовых водорослей (максимальное значение 60% на глубине 6,0-5,98 м). Среди диатомей планктона важно отметить присутствие *Stephanocyclus meneghinianus* и *Cyclostephanos dubius*, которые являются галофилами и достигают численности доминанта и субдоминанта (суммарно до 60%). Процентное содержание эпифитов сокращается с 87% в начале зоны до 22 % на глубине 6,0 м. На этом же уровне наблюдается пиковое значение в доли содержания органического вещества по разрезу: на глубине 6,03 м содержание органического вещества составляет 46%. Преобладание диатомей планктона, доминирование галофильных диатомовых видов, наряду с максимальным содержанием органического вещества по колонке говорит о трансгрессии Белого моря в этот период. К верхней границе зоны возрастает содержание *D. moniliformis*, которая является солоноватоводным обрастателем. Высокое содержание этого вида (до 56%) свидетельствует об ослабевании стока в озеро и уменьшении уровня воды в его котловине.

В ДЗ-4 (5,7-4,3 м) сокращается содержание пресных и солоноватоводных видов, преобладают индифферентные (до 90%) по отношению к солености виды и эпифиты (до 78%), такие как *Fragilaria construens, Nanofrustulum sopotense*. Содержание планктона колеблется в пределах от 7 до 38%, среди которых *S. meneghinianus,*

Discostella pseudostelligera, C. dubius. В это время также появляются эпифиты *Tabellaria fenestrata* и *Tabellaria flocculosa,* которые являются галофобами. На данном этапе озеро развивалось изолированно.

ДЗ-5 (4,3-2,7 м). Зона характеризуется увеличением содержания планктона: *Aulacoseira ambigua, Aulacoseira subarctica, D. pseudostelligera* и др. до 87% на глубине 2,8 м и сокращением эпифитов до 11%. По-прежнему преобладают виды, индифферентные по отношению к солености, содержание галофильных диатомовых варьируется от 3 до 27%. Доминирование планктона говорит об увеличении уровня воды в озере, однако перечисленные виды являются индифферентными по отношению к солености, и в озере продолжают развиваться галофобные *T. fenestrata* и *T. flocculosa*, *D. pseudostelligera, Stephanodiscus medius*. Суммарно количество пресных видов достигает 30%, поэтому сложно говорить о возможной трансгрессии на этом уровне, озеро продолжает развиваться изолированно.

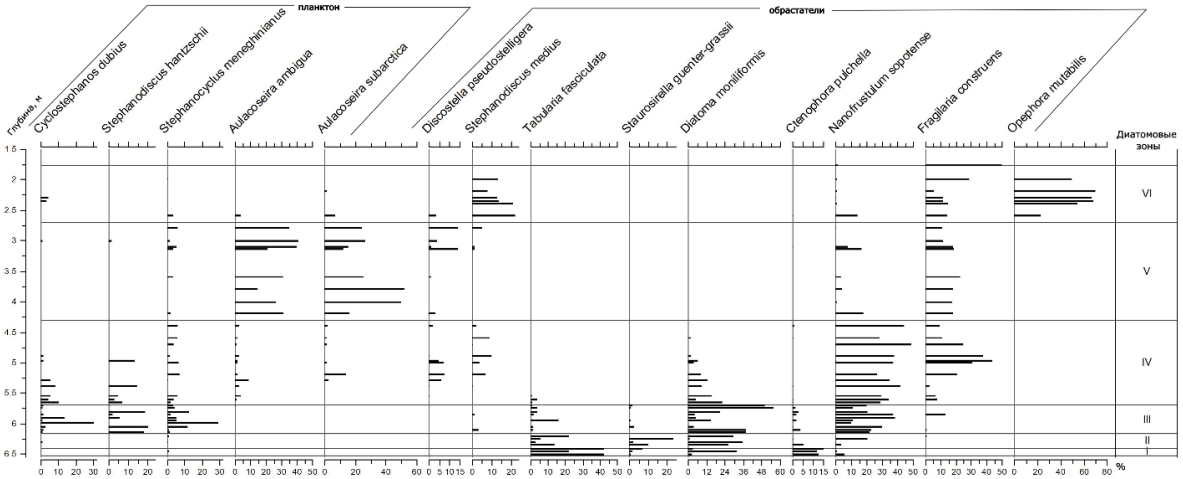


Рис. 1. Процентное содержание основных родов и видов диатомовых водорослей в оз. Водоносном

В ДЗ-6 (2,7-1,77 м) наблюдается рост числа солоноватоводных и галофильных диатомовых водорослей (до 73%), сокращается число индифферентов и планктона. Доминирующим видом является морская *Opephora mutabilis* (до 70% на глубине 2,2 м). На глубине 1,77м исчезает планктон и солоноватоводные виды, остаются виды-эпифиты, индифферентные по отношению к солености. Постепенное сокращение планктона и рост числа эпифитов говорит об уменьшении уровня воды в озере. Преобладание в ДЗ-6 солоноватоводных и галофильных видов указывает на существование морского стока в озеро, который прекратился на глубине 1,77м.

Таким образом, начало поступления морских вод в котловину оз. Водоносного зафиксировано в ДЗ-2 по преобладанию солоноватоводной диатомовой флоры. Дальнейшее увеличение содержания органического вещества и галофильных диатомовых планктона свидетельствует о трансгрессии Белого моря в ДЗ-3, после чего озеро развивалось изолированно. Дополнительный период морского воздействия также отмечен в ДЗ-6.

Список литературы

1. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л.: «Наука», 1985. – 244 с.

2. Репкина Т.Ю., Леонтьев П.А., Кублицкий Ю.А., Крехов А.К., Орлов А.В., Левкова Д.Н., Вяткин Е.Д., Яковлева А.П. Морфодинамика берегов Белого моря в позднеледниковье и голоцене: Соловецкий архипелаг и о. Жижгин // Геология морей и океанов: Материалы XXVI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М.: ИО РАН, 2025. С. 259-263. DOI: 10.29006/978-5-6051054-9-7
2. Левкова Д.Н., Сапелко Т.В., Репкина Т.Ю., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А. Голоценовая история о. Жижгин в Белом море по результатам изучения донных отложений оз. Водоносного // Динамика экосистем в голоцене: Материалы VII Всероссийской научной конференции, Пермь, Тов-во научн. изданий КМК., 2025. С. 228-–232.

Пожарный режим в среднем течении Подкаменной Тунгуски в голоцене

Шатунов А.Е.[1], Куприянов Д.А.[1], Андреев Р.А.[1,2], Макарова Е.А.[1], Мазей Н.Г.[2], Прокушкин А.С.[3], Новенко Е.Ю[1].

[1] Институт географии РАН, Москва, toxavilli@yandex.ru

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

[3] Сибирский Федеральный Университет, Институт экологии и географии, Красноярск, Россия

Введение. Пожары – важная составляющая функционирования и развития лесных экосистем. Реконструкция пожарных событий в прошлом и выявление причин, с которыми они связаны, позволит спрогнозировать их вероятную динамику в условиях меняющегося климата, что определяет актуальность данного исследования.

Цель работы – реконструировать историю локальных пожаров и проследить связь поступления макроуглей с эволюцией болота в среднем течении р. Подкаменная Тунгуска (п. Ванавара). В основу исследования положены данные разреза болота Ванавара, расположенного на первой надпойменной террасе Подкаменной Тунгуски (60.317145° с. ш., 102.305757° в. д.). Скважина глуиной 250 см включает слои торфа, гиттии и суглинка (рис. 1); для разреза получено 12 AMS–датировок, на основе которых построена возрастная модель. В работе использованы данные о потерях при прокаливании, степени гумификации и концентрации макрочастиц угля, а также расчёты скорости аккумуляции отложений и скорости аккумуляции макроуглей.

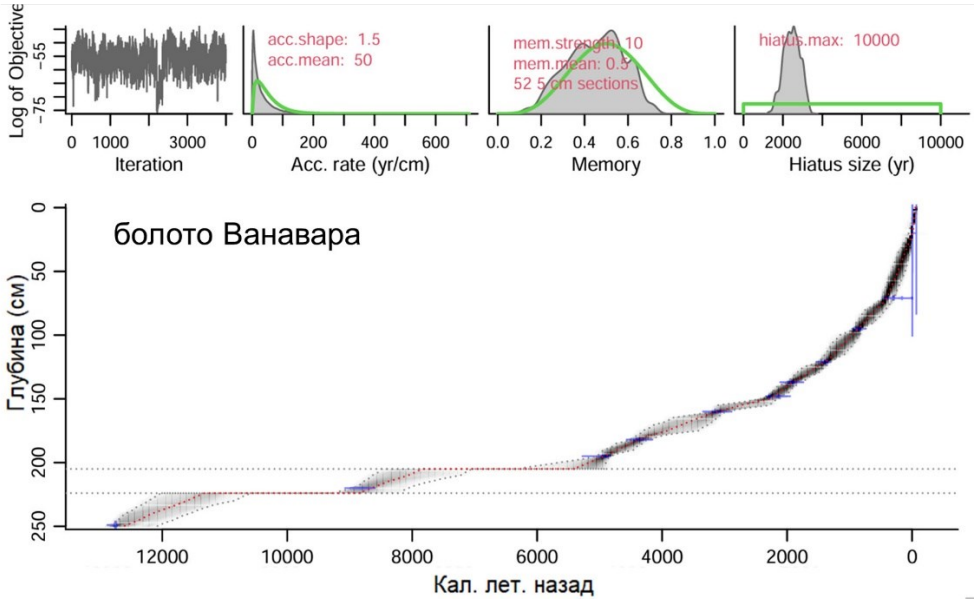


Рис. 1. Модель роста отложений в разрезе болота Ванавара

Результаты. Основание разреза датируется около 12 600 кал. л. н. (рис. 1). В возрастной модели выявлены два хиатуса на глубинах 224 и 210 см, которые интерпретируются как следствие смены режима осадконакопления, эрозии поверхности болота и, вероятно, частичного выгорания торфяной толщи во время сильного пожара. Скорость аккумуляции осадков в нижней части профиля составляла около 0,18 мм/год, а в верхней части разреза возрастала до 1,26 мм/год и 3,58 мм/год в самых молодых слоях, что отражает усиление торфонакопления на поздних этапах развития болота.

В соответствии с результатами анализа макрочастиц угля в торфе, разрез был разделен на 4 зоны. В нижней части профиля отложения суглинка и гиттии, содержат экстремально высокие концентрации макрочастиц угля – более 1000 частиц/см³, в основном древесные, включая большое количество мегачастиц (рис. 2). Эти данные

свидетельствуют об интенсивных локальных пожарах в раннем голоцене в непосредственной близости от водоёма. После около 5300 кал. л. н., когда начинается активное заболачивание территории, поступление макроуглей резко сокращается: в интервале 5300–400 кал. л. н. максимальные концентрации не превышают 18 частиц/см³, а в большинстве образцов уголь отсутствует. В интервале 400 кал. л. н. – 4 г. н. макрочастицы угля не фиксируются вовсе, а в верхних 20 см разреза появляются лишь единичные частицы.

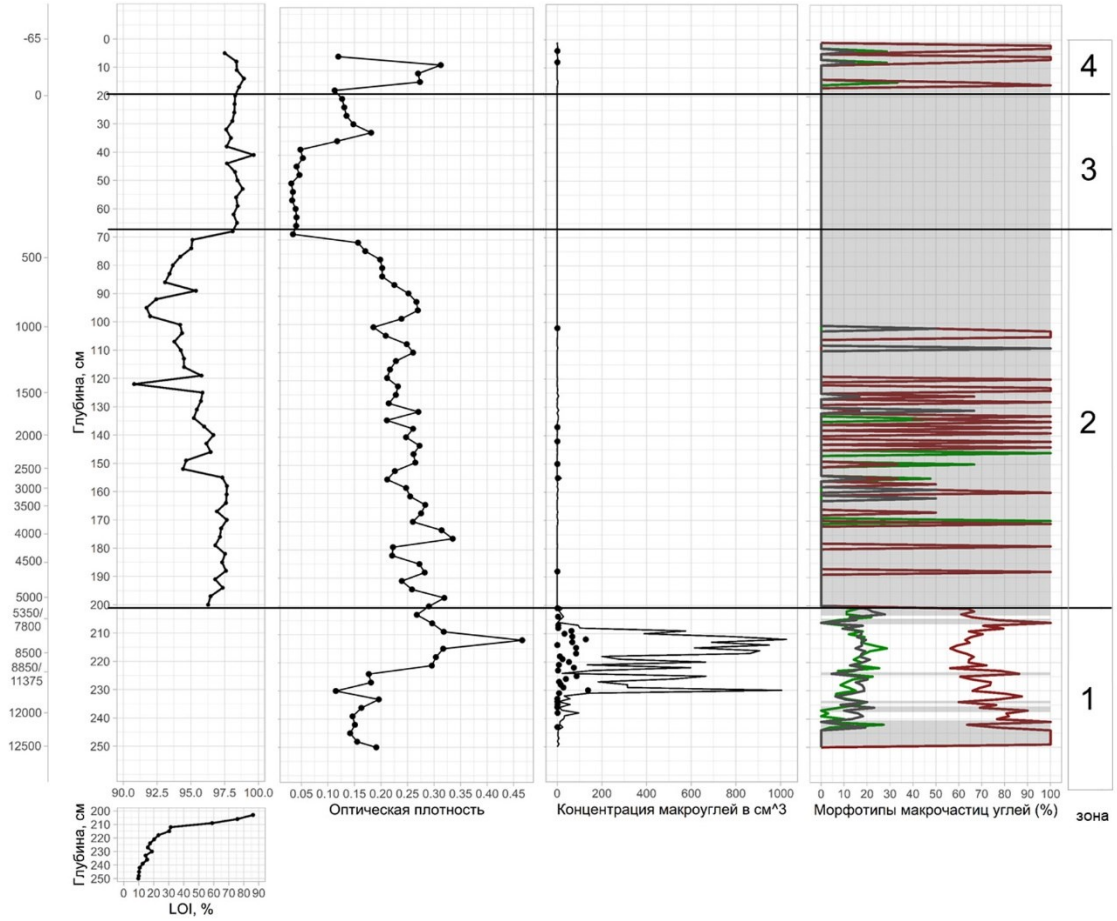


Рис. 2. Изменение потерь при прокаливании (LOI), оптической плотности торфа, концентрации макрочастиц угля и соотношения морфотипов угля в залежи болота Ванавара (зеленым – травяные, коричневым -древесные, серым – неопределённые). Серым фоном обозначены глубины с концентрацией макрочастиц угля менее 30 частиц/см³

По скорости аккумуляции макрочастиц угля в болоте Ванавара выделяются три периода смены пожарного режима. В первый период (12 600–11 700 кал. л. н.) значения не превышали 2 частиц/см²·год, однако к 11 300 кал. л. н. возрастали до 19 частиц/см²·год, что указывает на резкое усиление локальной пожарной активности (рис. 3). Во второй период (8700–7700 кал. л. н.), выделяемый после хиатуса, скорости аккумуляции макроуглей были сопоставимы с раннеголоценовыми. В третий период, начиная с 5300 кал. л. н., значения оставались крайне низкими – менее 1 частицы/см²·год. Сопоставление с соседними архивами в регионе показывает, что столь слабый угольный сигнал не отражает полного отсутствия пожаров. По данным исследования озёр Тунгусского заповедника, в ближайшем к Подкаменной Тунгуске озере Заповедное средняя скорость аккумуляции макроуглей в последние 200 лет составляла около 0,4 частиц/см²·год, а в озере Чеко достигала в среднем 2 частиц/см²·год при пиках до 15 частиц/см²·год (Рогозин и др., 2022).

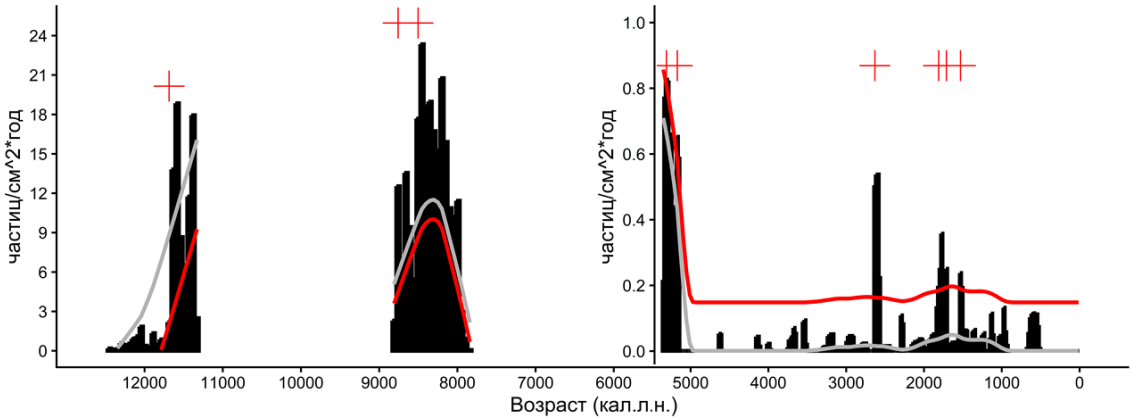


Рис. 3. Скорости аккумуляции макрочастиц угля в торфе в болоте Ванавара

Обсуждение. Наиболее интенсивные пожары были выявлены в раннем голоцене 11700-11300 кал.л.н. и 8700-7700 кал.л.н. После 5300 кал.л.н. Макроугли обнаруживаются как правило единично. Наиболее высокие скорости выявлены 5300-5000 кал.л.н., одинокий пик 2650 кал.л.н., а также увеличение в интервале 2000-1000 кал.л.н. Снижение частоты пожаров и привноса макрочастиц угля отмечается после 6000 кал.л.н. также в Якутии (Glückler et al., 2022) и в меньшей степени в Западной Сибири (Pupysheva, Blyakharchuk, 2024).

В верхней части залежи, сформировавшейся в последние 200 лет, выявлены нулевые концентрации макроуглей, что не соответствует высокой современной частоте пожаров (Dvornikov et al., 2022), и наличию макроуглей в озерах в регионе (Рогозин и др., 2022). что может быть связано с особенностью формирования торфяной залежи болота.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024).

Список литературы

1. Рогозин Д. Ю., Болобанщикова Г. Н., Бурдин Л. А., Мейдус А. В. Угольные макрочастицы в донных отложениях озер центрально-тунгусского плато (Сибирь, Эвенкия) как индикатор динамики лесных пожаров и возможный след Тунгусской катастрофы 1908 г. // Сибирский экологический журнал. – 2022. – Т. 29, № 4. – С. 404–414.
2. Dvornikov Y., Novenko E., Korets M., Olchev A. Wildfire Dynamics along a North-Central Siberian Latitudinal Transect Assessed Using Landsat Imagery // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14, No. 4. – Art. 790.
3. Glückler R., Geng R., Grimm L. [et al.] Holocene wildfire and vegetation dynamics in Central Yakutia, Siberia, reconstructed from lake-sediment proxies // Frontiers in Ecology and Evolution. – 2022. – Vol. 10. – Art. 962906.
4. Pupysheva M. A., Blyakharchuk T. A. The impact of wildfires on the dynamics of vegetation cover in the middle taiga subzone of Western Siberia during the Holocene // Environmental Dynamics and Global Climate Change. – 2024. – Vol. 15, No. 3. – P. 200–210.

Реконструкция колебаний уровня долинных озер Днепро-Двинского региона в позднеледниковье и голоцене

Шашерина Л.В., Панин А.В., Константинов Е.А.

Институт географии РАН, Москва, lida.sh.vs@gmail.com

Введение. Вопросы динамики уровней озёр в позднеледниковье и голоцене и факторов, определявших их изменения, остаются дискуссионными (Тарасов и др., 1997; Константинов и др., 2024). Они имеют важное значение не только для палеогеографических исследований, но и для смежных дисциплин, в частности геоархеологии. В пределах Днепро-Двинского региона на берегах озёр сосредоточено большое количество археологических памятников, относящихся к различным археологическим эпохам. Палеогеографические реконструкции на озерах (в т.ч. реконструкции уровней) позволяют уточнить условия существования древних поселений и функционирования исторических транспортных путей.

Изучение озер территории последнего оледенения тесно связано с исследованием истории речных долин. Генетическая связь молодой гидрографической сети и ледниковых форм рельефа показана и обоснована в работах предшественников (Квасов, 1963; Вальчик и др., 1994; Kaiser et al., 2012). Для северо-запада Восточно-Европейской равнины характерно широкое распространение проточных озёр, гидрологический режим которых определяется не только климатическими факторами, но и процессами в речных долинах. В подобных системах колебания уровней нередко обусловлены изменениями порогов стока и эрозионно-аккумулятивной деятельностью рек (Константинов и др., 2024).

В качестве объектов исследования были выбраны долинные озёра Днепро-Двинского региона. Это озера в долинах крупных и средних рек ледниковых и приледниковых ландшафтов, а также в брошенных в ходе оледенения доледниковых речных долинах.

Объекты и методы. Ключевыми объектами исследования выбраны три озера: Шниткино (Тверская обл.), Каспля и Купринское (Смоленская обл.), а также связанные с ними участки речных долин. Оз. Шниткино расположено в долине реки Торопы – правого притока р. Западная Двина. Озеро Каспля является истоком одноименной реки, левого притока Западной Двины. Озеро Купринское является истоком р. Катынка, правого притока р. Днепр.

В дополнение к озеру Шниткино были изучены два дополнительных участка: 1) озерная перемычка между оз. Соломенное и Заликовское и 2) долина р. Торопа в районе д. Селяне.

Несмотря на общие черты – долинное положение, проточность и принадлежность к зоне последнего оледенения, исследованные озёра находятся в различных геоморфологических условиях относительно максимального распространения поздневалдайского ледника. Озеро Шниткино расположено между вепсовскими и крестецкими краевыми образованиями, оз. Каспля – в пределах краевой зоны максимума оледенения, оз. Купринское находится в области стока талых ледниковых вод и подпруживания речных систем (Astakhov et al., 2016).

Схема работ для каждого ключевого участка – озеро и его окрестности, речные долины притоков/истоков – включала полевые и дистанционные геолого-геоморфологические исследования, батиметрические работы, изучение особенностей донных и прибрежных осадков различными методами бурения, определение возраста методом радиоуглеродного датирования. Реконструкция уровней водоёмов выполнялась с использованием археологических данных (высотное положения

археологических памятников на берегах озер) и методической концепции Г. Дигерфельдта о седиментационных признаках колебаний уровня воды (Digerfieldt, 1986).

История изменения уровней озер. Для позднеледниковья и раннего голоцена индикаторов уровня озера Шниткино из осадочных летописей мало. Признаков того, что уровень когда-либо превышал современную отметку (167 м над у.м.), не обнаружено, отсутствуют соответствующие береговые террасы.

В период 12–9 тыс. л.н. уровень оз. Шниткино, скорее всего, оставался ниже современного. В разрезах фиксируются хиатусы (перерывы осадконакопления), вероятно, вызванные эрозионной деятельностью впадающей в озеро реки Торопы.

С ~9 тыс. л.н. голоцена прослеживается тенденция к повышению уровня, более поздние прослои торфа (маркеры перехода от субаквального режима к субаэральному) вскрываются стратиграфический выше. Около 1 тыс. л. н., во время существования на берегу озера раннеславянского поселения, уровень оставался немного ниже современного, примерно на 0,5 м. В целом за последние 9 тыс. лет уровень Шниткино изменялся в диапазоне 163–167 м над у.м., демонстрируя постепенную тенденцию к повышению.

В раннем голоцене более низкий уровень наблюдался и в системе озер Соломенное-Заликовское. За последние 11 тыс. л.н. уровень в системе озер повысился на 2 м.

Уровень озера Каспля претерпевал небольшие изменения за голоцен. На раннем этапе существования Каспля могла быть глубоким озером, но оно не затапливало водно-ледниковые террасы уровня 164 м над. у.м. Наличие варв в отложениях позднего дриаса и раннего голоцена свидетельствует о значительной глубине и выраженной стратификации водной толщи того времени. Сопоставление с морфологически похожими озерами (Larsen et al., 1998) показывает, что максимальная глубина Каспли могла достигать ~15 м. При этом подошва варв расположена на глубине 15,3 м от современного среднего уреза (160,2 м), а кровля – на глубине 9,6 м. Четкость варв снижается вверх по разрезу вплоть до исчезновения ритмичности около 7,4 тыс. л.н. Вероятнее всего, максимальная глубина на протяжении варвонакопления постепенно уменьшалась за счет подъема дна вследствие осадконакопления при стабильном уровне. Исчезновение варв может означать достижение критической глубины, когда водная толща перестала быть стратифицированной.

Строение пойм рр. Клёц и Каспля также отражает стабильность уровня озерно-речной системы. В долине вытекающей реки Каспли отсутствуют признаки врезания реки и надпойменные террасы, а значит, уровень не мог быть заметно ниже современного. Археологические данные показывают, что в неолите уровень не мог быть выше 164 м над у.м., а в середине первого тысячелетия н.э. уровень был близок к современному. По историческим сведениям, ещё в середине прошлого века уровень был на 1 м выше (около 161 м над у.м.) вследствие постройки плотины в устье р. Каспля. После короткого этапа эксплуатации плотины, уровень озера понизился до современного.

Уровень озера Купринское изменялся с наибольшей амплитудой относительно других рассмотренных озёр. Лимногляциальные отложения в основании колонке Kup-8 и других скважинах в дне Купринской ложбины свидетельствует о существовании здесь глубокого водоёма, распространение которого вверх по долине Днепра позволяет оценить его уровень не выше 173–175 м над у.м. (Panin et al., 2015) при современной отметке уровня 164 м над у.м. Около 21 тыс. л.н., после прорыва Днепра, приледниковое озеро было спущено, но водоём в Купринской долине сохранился как самостоятельный бассейн. Понижение уровня Купринского озера до отметок ниже современных произошло 15–18 тыс. л.н. Это может быть связано с врезанием вытекающей из озера

реки Катынки. Насколько глубокой была регрессия, определить сложно, однако минимальный уровень не мог быть ниже 155 м над у.м., на котором аккумулировался аллювий в русле Днепра недалеко от впадения в него Катынки (Panin et al., 2015). После 7–8 тыс. л.н. в озере началась трансгрессия: уровень поднялся с отметки ~161 м над у.м. до современного значения (164 м над у.м).

Выявленные изменения соответствуют тенденциям, реконструированным для других озер умеренного пояса Европы: понижение уровня в позднеледниковье и повышение уровня в раннем и среднем голоцене (Тарасов и др., 1997; Kaiser et al., 2012; Konstantinov et al., 2024).

Строение пойм рек региона отражает типичную для послеледниковых территорий ситуацию: реки наследуют бывшие озёрные котловины, заполняют их аллювием, формируя долины с озеровидными расширениями. При этом интенсивная аккумуляция наносов ведёт к сокращению площади озёр даже в условиях повышения уровня воды. В долинах рек Торопа, Каспля и Катынка отсутствуют террасы, что указывает на преобладание процессов накопления осадков и постепенное повышение уровня русел и пойм. Поскольку русла вытекающих из озер рек служат их порогами стока, направленная аккумуляция в руслах вызывает и направленное повышение уровня озер.

Заключение. Современный уровень долинных озер Днепро-Двинского региона является наиболее высоким за весь голоцен. Уровень оз. Каспля был относительно стабильным в позднеледниковье и голоцене. Для озер Шниткино и Купринское выявлены признаки повышения уровня как минимум в среднем и позднем голоцене, включая затопление прибрежных участков и формирование торфяников/гиттии на ранее субаэральных поверхностях. В озерах Соломеннное и Заликовское трансгрессия происходила уже в раннем и закончилась к позднему голоцену

Благодарности. Работа выполнена в Институте географии РАН по теме НИР FMWS-2026-0004.

Список литературы

1 Вальчик М.А., Маккавеев А.Н., Фаустова М.А., Шупричинский Я. Формирование гидросети Польши и европейской части России в процессе дегляциации. / Палеогеографическая основа современных ландшафтов. Советско-польский сборник. / М., Наука. 1994. С. 40–54.
2 Квасов Д.Д. Влияние оледенения на развитие гидрографической сети Русской равнины // Труды лаборатории озёроведения АН СССР, том XV. Озёра полуаридной зоны. 1963. С. 247 – 286.
3 Константинов Е.А., Карпухина Н.В., Захаров А.Л., Рудинская А.И., Украинцев В.Ю., Самусь А.В., Лазукова Л.И. Динамика уровня озер центра Восточно-Европейской равнины в голоцене // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. С. 428-433.
4 Тарасов П.Е., Гунова В.С., Успенская О.Н. Уровни озер бассейна Волги как индикатор изменения климата в голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5, Геогр. 1997. №3. С. 36-41.
5 Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko M. Glaciomorphological Map of the Russian Federation/ Quaternary International. 420. 2016. P. 4-14
6 Digerfieldt G. Studies of lake-level fluctuations. In: Handbook of Holocene Paleoecology and paleohydrology. 1986. P. 127-144
7 Kaiser, K., Lorenz, S., Germer, S., Juschus, O., Küster, M., Libra, J., Bens, O. & Hüttl, R. F. Late Quaternary evolution of rivers, lakes and peatlands in northeast Germany reflecting past climatic and human impact – an overview. – E&G Quaternary Science Journal, 2012. V. 61 (2). P. 103–132.
8 Larsen, C.P.S., Pienitz, R., Smol, J.P., Moser, K.A., Cumming, B.F., Blais, J.M., Macdonald, G.M., Hall, R.I. Relations between lake morphometry and the presence of laminated lake sediments: a re-examination of Larsen and Macdonald (1993). // Quat. Sci. Rev. 1998. V. 17 (8). P. 711-717.
9 Panin A. V., Adamiec G., Filippov V. V. Fluvial response to proglacial effects and climate in the Upper Dnieper valley (western Russia) during the Late Weichselian and the Holocene. // Quaternaire. –2015. V. 26(1). P. 27-48.

Первые результаты спорово-пыльцевого анализа донных отложений оз. Налимовка (Карельский перешеек)

Шихирина К.А.[1], Суворова А.Н.[2], Клешняк И.Д.[1]

[1]РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, kristinashikhirinaa@gmail.com

[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Введение. Спорово-пыльцевой анализ донных отложений озёр позволяет реконструировать изменения растительного покрова и климатических условий в прошлом, в особенности в позднеледниковье и голоцене. Для территории Карельского перешейка, испытавшей сложную историю послеледниковых трансгрессий и регрессий Балтийского моря, такие исследования особенно актуальны (Кузнецов и др., 2015). В частности, северная часть перешейка представляет интерес в контексте реконструкции границ и ландшафтов на территории ранее существовавшего Хейниокского пролива, соединявшего Балтийское море и Ладожское озеро.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования было выбрано озеро Налимовка, расположенное на абсолютной высоте 23 м над современным уровнем моря, с координатами 60°52'25" с. ш., 29°07'30" в. д. Отбор донных отложений производился со льда в марте 2025 года с помощью русского торфяного бура. Было отобрано 7 кернов осадка, каждый мощностью 1 м.

Спорово-пыльцевой анализ выполнен для 28 образцов из участка колонки на глубинах 7,7–9,6 м (с интервалом в 10 см) и на границах выделенных горизонтов осадков. Данный участок колонки отражает наиболее явные изменения условий осадконакопления и. как следствие, содержит информацию об основных этапах развития озерного бассейна. В исследуемом интервале по результатам полевого петрографического описания горизонтов выделяется 4 фации отложений (табл.1). Ранее в данном озере уже был выполнен пробоотбор аналогичной колонки отложений, для проб которой был выполнен анализ магнитной восприимчивости, анализ потерь массы вещества при прокаливании и гранулометрический анализ (Клешняк и др., 2025а; 2025б).

Таблица 1

Литология донных отложений для изученного спорово-пыльцевым методом фрагмента колонки оз. Налимовка

Описание горизонта	**Глубина, см**
Темно-бурая гиттия	818-770
Зеленовато-бурая алеврит-пелитовая гиттия (в инт. 845-850 см прослой темно-бурой гиттии)	875-818
Серая гомогенная глина	900-875
Серые ленточные глины	960-900

Спорово-пыльцевой анализ выполнен в лаборатории «Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана» им. В.П. Кёппена Института наук о Земле СПбГУ. Предварительная химическая пробоподготовка проводилась в соответствии с сепарационным методом (Гричук, Заклинская, 1948). За 100% принята сумма пыльцы наземных растений. Спорово-пыльцевая диаграмма построена с применением специализированной программы “Tilia” (Grimm, 2004). Палинозоны были определены при помощи кластерного анализа CONISS.

Результаты. По итогам спорово-пыльцевого анализа и кластерного анализа было выделено 6 палинозон.

PZ1 (960-943 см). Характеризуется практически полным отсутствием спор и пыльцы в пробах. Встречаются отдельные включения пыльцы древесных растений *Picea, Pinus, Betula Albae, Betula nana, Alnus, Alnus fruticosae*, травянистых *Artemisia*, *Ericales*, *Cannabis type* и споровых Polypodiaceae, *Lycopodium clavitum*. Литологически горизонт представлен серыми ленточными глинами Балтийского ледникового озера (Клешняк и др., 2025а; 2025б).

PZ2 (943-900 см). Представлен ленточными глинами и содержит заметно большие концентрации пыльцы и спор. В горизонте доминируют *Pinus, Betula Albae* и *Betula nana*. До 5–6% в образце – это пыльца *Picea*, стабильно присутствующая во всех пробах палинозоны. Обнаруживается пыльца *Corylus*. Стоит отметить сопоставимое с пыльцой *Picea* содержание пыльцы *Alnus, Alnus fruticosae*, которое можно назвать высоким. Среди травянистых выделяются *Cannabis-type*, концентрация которых достигала до нескольких процентов пробы. По несколько процентов стабильно встречается пыльца Poaceae, Cyperaceae, *Artemisia*, Chenopodiaceae и *Ericales*. До 20% проб занимают споры *Lycopodium clavitum*. В верхней пробе зафиксировано высокое содержание *Pediastrum*. Резкая граница между PZ2 и PZ3 согласуется со сменой ленточных глин гомогенными.

PZ3 (900-885 см). Представленные гомогенными глинами, пробы этой палинозоны характеризуются меньшей долей пыльцы древесных по всем обнаруженным таксонам (при этом концентрация пыльцы *Pinus* снизилась менее значительно и осталась на уровне 20%) и всплеском доли травянистых *Ericales* с появлением *Ephedra*. *Pediastrum* полностью отсутствует в пробах PZ3, при этом резко возрастает доля *Botryoccus* до 10%. Доля *Lycopodium clavitum* снизилась до 10%.

PZ4 (885-865 см). Доля *Pinus* снизилась до 5–10%, при этом доли *Betula Albae и Betula nana* значительно выросли до 40% и 25% соответственно. Доля Polypodiaceae доходит до почти 20%, как и *Botryoccus*, в пробах алеврит-пелитовой гиттии, сменившей на глубине 875 см ленточные глины.

PZ5 (865-805 см). Палинозона характеризуется доминированием *Pinus* (до 50%), еще большим преобладанием *Betula Albae* над *Betula nana* и практически полным исчезновением широколиственных пород, а также травянистых и споровых таксонов. Исключение составляют Poaceae (до 5%), появившиеся в данной палинозоне. Вновь отмечается до 10–15% *Pediastrum*, до 5% снижается концентрация *Botryoccus*.

PZ6 (865-770 см). В данной палинозоне, относящейся к горизонту гиттии, вновь появляются широколиственные породы: 10% достигает *Alnus,* до 1–2% *Ulmus и Corylus,* появляются *Salix*, *Quercus* и *Tilia*. Споры *Pediastrum* и *Botryoccus* остались на том же уровне.

Обсуждение. Выполненный спорово-пыльцевой анализ и сравнения его результатов с полученными ранее спорово-пыльцевыми данными для донных отложений Ладожского озера, менее восприимчивого к локальным событиям (Savelieva et al., 2019), и с данными, напротив, довольно близко расположенному малому оз. Вишневского, Карельский перешеек (Arslanov et al., 1999), можно сделать ряд предположений о времени формирования горизонтов отложений озера Налимовка. В ленточных глинах, генетически связанных с развитием Балтийского ледникового озера, выделяются две палинозоны. Нижняя палинозона PZ1, в образцах которой практически отсутствуют споры и пыльца, вероятно сформировалась не в позднем, а в среднем дриасе, поскольку для менее холодного позднего дриаса не характерны настолько малые концентрации спор и пыльцы. Осадки следующей палинозоны PZ2 уже могут относиться к периоду аллерёда: не только пыльца ели, березы и сосны, но и широколиственных пород (ольха, лещина, вяз) составляет

значительную долю в пробах. Высокая доля спор плауна булавовидного, сфагнума и полиподиевых папоротников, а также рост вересковых и ксерофитных растений, указывает в совокупности на распространение редколесий в переувлажненных условиях на берегах приледникового озера.

Резкой границе между PZ2 и PZ3 стоит уделить особое внимание, поскольку вместо ожидаемого плавного изменения концентраций пыльцы наблюдаются контрастные изменения, включающие значительную смену доминирующих таксонов. Концентрации пыльцы древесных пород снизились, однако, не настолько, чтобы можно было предполагать поздний дриас как время формирования данных осадков. Наблюдается скачок кривой вересковых – классического маркера раннепребореального увеличения площади суши в регионе вследствие гляциоизостатического поднятия и регрессии БЛО. Таким образом, можно предположить, что граница является эрозионным контактом. Принимая во внимание данные гранулометрического анализа, выполненного для колонки донных отложений оз. Налимовка ранее, фиксирующие резкое снижение долей пылеватых фракций и скачок доли мелко- и среднезернистого песка в пробе данного контакта (Клешняк и др., 2025а), а также смену ленточных глин гомогенными глинами, иллюстрирующую изменение гидродинамических условий водоема, можно сделать предположение, что данный контакт мог быть вызван прорывом и спуском БЛО около 11500 лет назад. Менее плотные верхние слои отложений, сформировавшиеся во время холодного позднего дриаса, могли физически подвергнуться эрозии из-за резкого спуска БЛО на 25 м (Субетто, 2009).

В следующей палинозоне PZ3 резкое изменение гидродинамического режима маркирует замещение планктонных водорослей *Pediastrum* на более устойчивый планктонно-бентосный *Botryococcus*. Скачок концентрации вересковых достиг максимума в колонке донных отложений именно в данной палинозоне, что дает основание предполагать период формирования данной палинозоны как пребореальный период. По данным анализа потерь массы вещества при прокаливании именно на данном участке колонки начинается рост содержания органического вещества вверх по разрезу, что свидетельствует об изоляции озера и установлении менее проточных и более эвтрофных условий анализ (Клешняк и др., 2025а; 2025б). Рост *Botryococcus* сопровождался повторным формированием сообществ *Pediastrum.*

Несмотря на схожую мощность, палинозона PZ5 и горизонт алевритистой гиттии не согласуются напрямую, палинозона немного смещена вверх, иллюстрируя необходимое для растительного покрова время для реакции на климатические изменения. Падение практически до нуля концентрации пыльцы широколиственных пород, сопровождаемое ростом доли пыльцы березовых формаций, а также рост доли злаков до 5% указывает на формирование более сухих условий, типичных для бореала. Похожее снижение доли широколиственных лесов (в частности, ольхи) наблюдается и в Ладожском озере (Savelieva et al., 2019). Смена отложений вверх по разрезу органогенными гиттиями сопровождается появлением в пробах вверх по разрезу пыльцы широколиственных лесов различных пород (дуб, липа, вяз, ива, лещина), а также исчезновение плауна булововидного, что указывает, видимо, на смену условий на более теплые, которые существовали здесь в атлантический период.

Заключение. Проведённые исследования позволили реконструировать ключевые этапы развития озера Налимовка и изменения растительного покрова северной части Карельского перешейка на рубеже позднеледниковья и послеледниковья. В разрезе донных отложений выделен перерыв между палинозонами PZ2 и PZ3, связанный, вероятно, со снижением уровня Балтийского ледникового озера

около 11500 лет назад, что привело к размыву осадков позднего дриаса и резкой смене отложений от ленточных глин к гомогенным. Эволюция растительности прослеживается от тундростепных сообществ с ксерофитами в позднеледниковье (PZ1) через разреженные сосново-березовые леса с вересковыми, характерные для интерстадиала аллерёд (PZ2), к пребореальным сообществам (PZ3) и формированию широколиственных лесов (дуб, липа, вяз, ольха, лещина) в бореально-атлантический период (PZ5–PZ6). Смена доминирующих групп водорослей (*Pediastrum* на *Botryococcus*) и рост содержания органического вещества в осадках свидетельствуют об изоляции водоёма и переходе к менее проточным, эвтрофным условиям в начале голоцена. Полученные данные согласуются с региональными палинологическими реконструкциями и дополняют представления о ландшафтно-экологических изменениях на территории Карельского перешейка в позднеледниковье и голоцене.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206

Список литературы

1. *Arslanov Kh. A., Saveljeva L. A., Gey N. A., Klimanov V. A., Chernov S. B., Chernova G. M., Kuzmin G. F., Tertychnaya T. V., Subetto D. A., Denisenkov V. P*. Chronology of vegetation and paleoclimatic stages of northwestern Russia during the Late Glacial and Holocene // Radiocarbon. 1999. Vol. 41. Nr. 1. P. 25–45.
2. *Grimm E.C.* Tilia. Version 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum, Research and Collections Center, 2004.
3. *Savelieva L. A., Andreev A. A., Gromig R., Subetto D. A., Fedorov G. B., Wennrich V., Wagner B., Melles M.* Vegetation and climate changes in northwestern Russia during the Lateglacial and Holocene inferred from the Lake Ladoga pollen record // Boreas. 2019. Vol. 48. № 2. P. 349–360.
4. *Гричук В.П., Заклинская Е.Д.* Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз, 1948. 224 с.
5. *Клешняк И.Д., Шихирина К.А., Орлов А.В., Кублицкий Ю.А.* Результаты гранулометрического анализа и потерь при прокаливании разреза донных отложений оз. Налимовка (Карельский перешеек) // Материалы международной научно-практической конференции LXXVIII Герценовские чтения. 2025. С. 212–216.
6. *Клешняк И.Д., Шихирина К.А., Субетто Д.А., Орлов А.В.* Анализ магнитной восприимчивости донных отложений оз. Налимовка (Карельский перешеек) // Рабочая группа Перибалтик. 2025. С. 24–28.
7. *Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Лудикова А.В.* Гидрографическая сеть северной части Карельского перешейка в голоцене по данным о строении отложений малых озер // Геоморфология. 2015. № 1. С. 54–69.
8. *Субетто Д.А.* Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд. РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 344 с.

Гранулометрический состав и содержание органического вещества в донных отложениях изолированных озер полуострова Рыбачий

Шихирина К.А.[1], Толстобров Д.С.[2]

[1] *РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, kristinashikhirinaa@gmail.com*

[2] *Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты*

Введение. Территория северо-востока Фенноскандинавского щита является классическим районом изучения изменений положения береговой линии моря, связанных с неотектоническими движениями земной коры. Для определения характера перемещения береговой линии моря в последние годы применяется методика, предложенная скандинавскими учеными (Donner et al., 1977). Методика основана на определении пространственного и временного положения изоляционного контакта – переходной зоны от осадков морского генезиса к озерному – в колонках донных отложений озер. Такие работы были проведены на баренцевоморском побережье Кольского региона в районах пос. Дальние Зеленцы (Snyder et al., 1997), г. Никель (Corner et al., 1999) и г. Полярный (Corner et al., 2001), в долине р. Тулома (Толстобров и др., 2015; 2016), а также на беломорском побережье Кольского полуострова и Карелии (Колька и др., 2013; 2014; 2015). При этом остаются районы, для которых нет данных об амплитуде и скорости поднятия земной поверхности. Так, в 2021 году для определения характера перемещения береговой линии Баренцева моря были проведены полевые работы в районе хребта Мустатунтури и полуострова Средний (Толстобров и др., 2021; 2023, 2025; Shikhirina et al., 2022; 2024; Tolstobrova et al., 2024), а в 2025 году полевые работы были проведены уже и в западной части полуострова Рыбачий (Шихирина и др., 2025), отобранный тогда фактический материал лёг в основу данной работы.

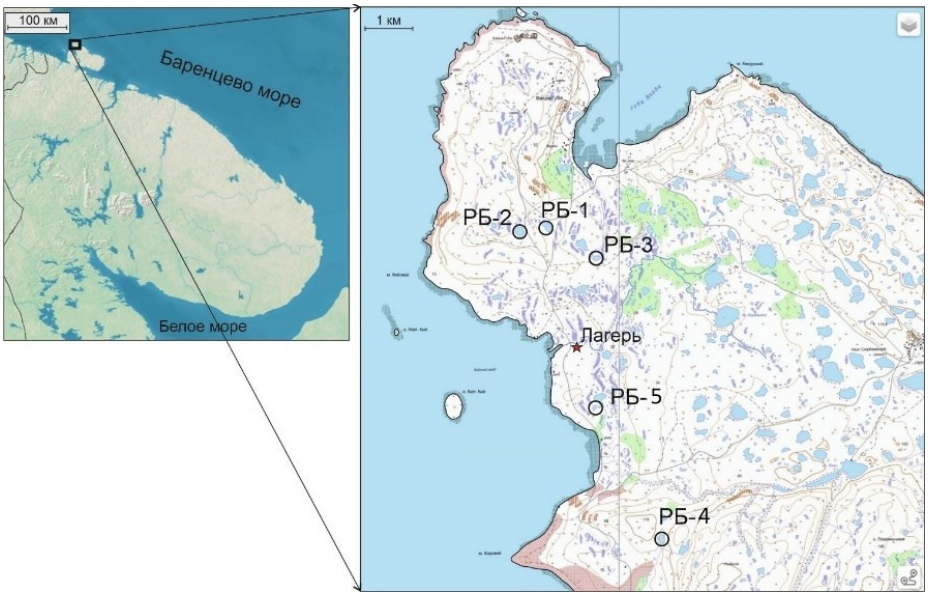


Рис. 1. Положение района исследования и изученных озерных котловин на западе полуострова Рыбачий

Материалы и методы. В данной работе представлены результаты гранулометрического анализа и анализа потери массы вещества при прокаливании (ППП) 206 проб донных отложений изолированных озерных бассейнов. В качестве объектов были выбраны 5 озерных котловин, расположенных на высотных отметках от 14 до 80 метров над современным уровнем моря, географическое положение

изученных озер отмечено на рис. 1. Безымянным озерам были присвоены рабочие названия: РБ-5 (14 м), РБ-3 (30 м), РБ-1 (49 м), РБ-2 (60 м), РБ-4 (80 м). Отбор проб производился с плота с помощью русского торфяного бура.

Анализы были выполнены по стандартной методике в научно-исследовательской лаборатории «Рационального природопользования» факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена. Анализ ППП проводился по следующей методике: образцы просушивались при 105 ^{o}C, растирались в керамической ступе, взвешивались, прокаливались при 550 ^{o}C, повторно взвешивались. Рассчитанная массовая доля вещества, потерянная при прокаливании, интерпретировалась как доля органического вещества в пробе (Meyers, 1999). Для гранулометрического анализа был выбран метод лазерной дифракции с использованием лазерного анализатора LaSca-1C. Пробоподготовка осуществлялась по методике T. Vaasma (Vaasma, 2008): к пробам был добавлен 40% пероксид водорода, затем пробы нагревались до 80 ^{o}C, по мере прекращения бурного выделения углекислого газа и разложения пероксида водорода пероксид водорода добавлялся до завершения активной реакции. Фракции минеральной части осадка определялись согласно классификации Н. А. Качинского (Качинский, 1965).

Результаты и обсуждение. В разрезах озерных котловин предварительно было выделено три осадочные фации, формирование которых происходило в различных условиях – морские осадки (фация I), осадки переходной зоны от морского к озерному генезису (фация II) и осадки пресноводного озера (фация III). В большей части разрезов зафиксирована регрессивная последовательность фаций I–II–III. Исключение составило РБ-2, где переходная фация (II) отсутствует. В озёрах РБ-3 и РБ-5 морские отложения (фация I) не были вскрыты из-за ограничений ручного бурения, однако по косвенным признакам (следы алевритистых/глинистых осадков предположительно морского генезиса отмечались на конце погружной части бура) их присутствие предполагается.

В таблице 1 представлены в краткой форме характеристика содержания органического вещества (ОВ) в каждом разрезе, а также особенности гранулометрического состава. Более подробно литология изложена в предыдущей работе авторов (Шихирина и др., 2025).

Стоит отметить несколько наиболее информативных сопоставлений результатов двух выполненных анализов. В озере РБ-1 интерес представляет участок 111–109 см, характеризующийся низким содержанием ОВ в 17–18% и наличием средне- и мелкозернистого песка (в отличие от остальных, более мелких по составу проб разреза), что может свидетельствовать об увеличении проточности озера в этот период. В РБ-4, однако, на глубине 186–181 см скачок содержания мелкого и среднего песка коррелирует уже с повышением доли ОВ (диапазон 202–177 см). Прослой песка на 141-140 см в РБ-1 (49 м) может быть маркером либо сейсмичности, связанной с серией подводных оползней Стурегга, либо вызванным ими одноименным цунами (Bondevik et al., 1997; Romundset and Bondevik, 2011). Аналогичный прослой был отмечен в озере СР-2 (31,2 м) на глубине 316-315 см при изучении цепи изолированных озер на материке в окрестностях хребта Мустатунтури. Ранее диатомовый анализ показал резкое падение концентрации створок (Tolstobrova et al., 2024), а в результатах выполненного тогда датирования горизонтов, залегающих выше и ниже прослоя, наблюдается инверсия, а также, возможно, возраст осадка завышен – что может быть вызвано влиянием морских вод и «резервуарным эффектом» (Stuiver, Braziunas, 1993). На данном этапе можно предположить, что разница в относительной высоте упомянутых бассейнов в 20 м может помочь уточнить существующие изобазы на карте гляциоизостатического поднятия северо-запада Кольского региона по результатам радиоуглеродного датирования.

Заключение. Проведённые исследования подтвердили, что западная часть полуострова Рыбачий испытывала последовательное освобождение из-под влияния Баренцева моря в ходе гляциоизостатического поднятия. Во всех изученных озёрных котловинах зафиксированы регрессивные последовательности осадков, а в наиболее высоко расположенном озере (РБ-4, 80 м) вскрыты морские отложения (о чём свидетельствуют обломки раковин), что указывает на значительную амплитуду поднятия.

Таблица 1

Основные результаты гранулометрического и ППП анализов

Объект	**Высота**	**Литология**	**Характеристика содержания ОВ**	**Особенности гранулометрического состава**
РБ-5	14 м	120–114 фация II 114–70 фация III	На глубинах 120–111 см колебания от 6,6 до 52%. С 111 см ОВ равномерно растет вверх с 44 до 89%.	В диапазоне 120–111 см до 10% песка, в основном тонкозернистого песка, его же до 0,6% отмечается по всему разрезу вверх, во всех пробах преобладает крупная пыль.
РБ-3	30 м	147–145 фация I 145–120 фация II 120–70 фация III	На глубинах 147–145 см ОВ составляет 8,8%, далее вверх весь разрез содержит 35–40%, за исключением пика в 51,6% на 137–135 см.	До 50% пробы составляет крупная пыль, при этом на глубинах 115–121 ее доля резко снижается до 15–20% и доминирует уже мелкая пыль, отмечаются включения гравия, гальки и дресвы. На глубине 105–103 см более крупные включения отсутствуют. На 135–147 до 7% – мелкий и средний песок.
РБ-1	49 м	168–155 фация I 155–149 фация II 149–99 фация III	ОВ от 1,6 до 49% и неравномерно растет вверх по разрезу. Осадки на 168–155 см содержат всего 1,6–6% ОВ, на глубинах 155–141 см уже 17–48% (с пиком на 150-149), прослой на 141-140 см содержит 12% ОВ. Далее вверх – 25–38%.	На глубинах 168–155 см включения гравия, гальки и дресвы и обломки раковин, высокая доля песка (до 27%), фракции коллоидов, ила и крупной пыли распределены почти равномерно (по 10-25%), при этом средняя и мелкая пыль там почти отсутствует. Далее вверх по разрезу мелкая пыль в пробах, напротив, преобладает. Отмечен прослой песка на 141–140 см.
РБ-2	60 м	181–180 фация I 180–104 фация III	181–180 см – 21,3%, с 180 до 147 см ОВ составляло 55–60%, 147-122 см плавное увеличение до 69%, а далее вверх понижение до 32% (на 112–111 см).	В горизонте 181–180 см до 6% мелко- и среднезернистого песка, включения гравия, гальки и дресвы. С 180 до 121 см гран. состав не изменяется, до 64% пробы – крупная пыль. С 121 см вверх доля мелкого песка выросла с 0–1% до 3,4%. На 112–111 см отмечен скачок доли среднего песка с ~0,5% до 1,1%
РБ-4	80 м	310–306 фация I 306–280 фация II 280–152 фация III	В горизонте 310–306 см содержание ОВ до 3,5%. Далее вверх по разрезу ОВ равномерно растет до 35%, затем в диапазоне 202–177 см поднимается до 47%.	На глубинах 310–307 отмечается средний и крупный песок. На глубине 284–276 см до 8% образца – мелкозернистый песок, который больше практически не встречается вверх по разрезу. На глубине 186–181 см фиксируется скачок содержания мелкого и среднего песка. Во всех пробах преобладает мелкая пыль.

Различия в высотном положении изоляционных контактов (РБ-1 на 49 м, РБ-4 на 80 м) свидетельствуют о неоднородности этого процесса в пределах изученного района, что может быть связано с дифференцированными подвижками отдельных морфоструктурных блоков. Радиоуглеродное датирование переходных горизонтов позволит скорректировать существующие изобазы гляциоизостатического поднятия, сопоставив новые данные с результатами по сопредельным территориям (хребет Мустатунтури), полученным командой ранее. В дальнейшем для данных разрезов будут также выполнены диатомовый, спорово-пыльцевой и геохимический анализ, что позволит более точно реконструировать динамику ландшафта северо-запада Кольского региона в позднеледниковье и голоцене.

Благодарности. Авторы выражают благодарность Толстобровой А.Н., Коваленко Н.А., Булановой А.А., Толмачеву А.Э. и Стафоркину А. А. за помощь в проведении полевых работ.

Список литературы

1. Качинский Н.А. Физика почв. М.: Высшая школа, 1965. Ч. 1. 324 с.
2. Колька В.В., Евзеров В.Я., Меллер Я.Й., Корнер Д.Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене-голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Известия РАН. Серия геогр. 2013. № 1. С. 73–88. doi:10.15356/0373-2444-2013-1-73-88
3. Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Алексеева А.Н., Толстобров Д.С., Лаврова Н.Б. Временная последовательность перемещения береговой линии Белого моря в голоцене по данным изучения донных отложений озер района Кузема (Северная Карелия) // Известия РГО. 2014. Т. 146. Вып. 6. С. 14–26.
4. Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Толстоброва А.Н. 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) // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18. № 2. С. 255–268.
5. Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Колька В.В., Корсакова О.П. Постледниковое поднятие земной коры в северо-западной части Кольского региона // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18. № 2. С. 295–306.
6. Толстобров Д.С., Колька В.В., Толстоброва А.Н., Корсакова О.П. Опыт хронологической корреляции береговых форм рельефа голоценового моря в депрессии реки Тулома и Кольском заливе // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 1/1. С. 142–150. doi:10.21443/1560-9278-2016-1/1-142-150
7. Толстобров Д.С., Николаева С.Б., Толстоброва А.Н., Костромина Н.А., Шихирина К.А., Пронина А.В., Королева А.О., Комаров А.О. Литология донных отложений озер на Мурманском побережье Баренцева моря (район хребта Мустатунтури и полуострова Средний, Мурманская область) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-запада России. 2021. № 8. С. 235–239. doi:10.24412/2687-1092-2021-8-235-239
8. Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Шихирина К.А. Предварительные данные об изменении уровня Баренцева моря в районе хребта Мустатунтури, северо-запад Мурманской области // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. № 20. С. 211–217.
9. Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Шихирина К.А. Реконструкция голоценовых природных событий на побережье Баренцева моря по данным исследования донных отложений безымянного озера (район хребта Мустатунтури, Мурманская область) // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т. 56. № 4. С. 556–570. doi:10.7868/S2949179725040029
10. Шихирина К.А., Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Коваленко Н.А., Буланова А.А., Толмачев А.Э. Литология донных отложений озер на мурманском побережье Баренцева моря (полуостров Рыбачий, Мурманская область) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2025. Вып. 12. С. 225–230. doi:10.24412/2687-1092-2025-12-225-230
11. Bondevik S., Mangerud J., Birks H.H., Gulliksen S., Reimer P. The Storegga tsunami along the Norwegian coast, its age and runup // Boreas. 1997. Vol. 26. P. 29–53.
12. Corner G.D., Yevzerov V.Ya., Kolka V.V., Moller J.J. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change at the Norwegian-Russian border north of Nikel, northwest Russia // Boreas. 1999. Vol. 28. № 1. P. 146–166. doi:10.1111/j.1502-3885.1999.tb00211.x

13. Corner G.D., Kolka V.V., Yevzerov V.Ya., Moller J.J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia // Global and Planetary Change. 2001. Vol. 31. P. 153–175. doi:10.1016/S0921-8181(01)00118-7
14. Donner J., Eronen M., Jungner H. The dating of the Holocene relative sea-level changes in Finnmark, North Norway // Norsk geografisk Tidsskrift. 1977. Vol. 31. P. 103–128. doi:10.1080/00291957708552013
15. Meyers P.A., Teranes J.L. Sediment organic matter // Tracking environmental changes using lake sediments. Vol. 2: Physical and geochemical methods. Dordrecht–Boston–London: Kluwer Academic Publishers, 1999. P. 239–269.
16. Romundset A., Bondevik S. Propagation of the Storegga tsunami into ice-free lakes along the southern shores of the Barents Sea // Journal of Quaternary Science. 2011. Vol. 26. № 5. P. 457–462. doi:10.1002/jqs.1511
17. Shikhirina K.A., Tolstobrov D.S., Tolstobrova A.N. Barents Sea coastline dynamics in the Holocene in the Kola region: grain-size and LOI analyses of lake sediments // Limnology and Freshwater Biology. 2022. № 4. P. 1583–1585.
18. Shikhirina K.A., Tolstobrov D.S. Reconstruction of changes in sedimentation conditions of lakes of the Barents Sea coast during their isolation from the sea in the Holocene (Mustatunturi Ridge, Kola region) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. P. 676–683. doi:10.31951/2658-3518-2024-A-4-676
19. Snyder J.A., Forman S.L., Mode W.N., Tarasov G.A. Postglacial relative sea-level history: sediment and diatom records of emerged coastal lakes, north-central Kola Peninsula, Russia // Boreas. 1997. Vol. 26. P. 329–346. doi:10.1111/j.1502-3885.1997.tb00859.x
20. Stuiver M., Braziunas T.F. Modeling atmospheric 14C influences and 14C ages of marine samples // Paleoceanography. 1993. Vol. 8. № 2. P. 137–173.
21. Tolstobrova A.N., Tolstobrov D.S., Shikhirina K.A. Characteristics of environmental conditions during the accumulation of lake bottom sediments in the Mustatunturi ridge area (Kola region) // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. P. 779–784. doi:10.31951/2658-3518-2024-A-4-779
22. Vaasma T. Granulometric analysis of lake sediments: comparison of pretreatment methods // Estonian Environmental Journal. 2008. Vol. 57. № 4. P. 231-243.

Исследования сфагновых болот с прерывистым типом залежи лесостепной зоны Европейской части России: динамика развития и экологические параметры

Щуряков Д.С.[1,2], Гришуткин О.Г.[1], Чернова Н.А.[2,3]

[1]Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, Ярославская обл., Россия, shuryakoff@yandex.ru

[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

[3]Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

Болота в лесостепной зоне Европейской части России являются ключевыми участками сохранения биоразнообразия и природными архивами палеоэкологических данных. Для защиты этих уникальных экосистем необходимо расширять сеть ООПТ регионального значения на сфагновых болотах и прилегающих водосборных площадях с водоохранными зонами, где будет запрещена хозяйственная деятельность. Одновременно следует налаживать регулярный мониторинг загрязнения, пожароопасности и условий местообитаний, а также проводить инвентаризацию биоты и научное сопровождение природоохранных мероприятий. Наконец, необходимо вести просветительскую работу о роли болот как хранилищ углерода и индикаторов климатических изменений.

Особый интерес представляет изучение сфагновых болот с озером и сплавиной, прежде всего выявление особенностей их сукцессионной динамики и мониторинг биоразнообразия, поскольку такие массивы являются очень редким элементом ландшафта лесостепи. Подобные болота отличаются прерывистым типом залежи – он характеризуется чередованием торфяных слоёв с прослойками других пород и водяными линзами. Стоит отметить, что палеоботанические исследования подобных болот в регионе имеют длительную историю (Чигуряева, 1941; Хмелев, 1970; Самсель, 1990; Благовещенский, 2006; Благовещенская, 2009; Артемова, 2025)

Для изучения особенностей формирования и развития сфагновых болотных массивов с прерывистым типом залежи в лесостепи Европейской части России в 2024–2025 гг. на 9 болотах суффозионных и эоловых котловин, расположенных на территории Республики Мордовия (Мордовская Козловка, Явас-1), Пензенской (Софьино, Никольское), Ульяновской (Поганое), Липецкой (Добринка) и Тамбовской (Большое, Карамжай-1, Карамжай-2) областей, было пробурено 9 скважин с интервалом отбора образцов в 10 см. Для анализа стратиграфии торфяных отложений и реконструкции палеосообществ было проанализировано 143 образца торфа – по ботаническому составу (с идентификацией остатков по атласам (Домбровская и др., 1959; Кац и др., 1977), степени разложения и уровню минерального загрязнения. Фитоиндикация экологических условий на разных стадиях болотообразовательного процесса проводилась с использованием программы IBIS 7.2 (Зверев, 2007) на основе экологических шкал увлажнения, трофности, кислотности и обеспеченности азотом Л.Г. Раменского (1956), Д.Н. Цыганова (1976) и Г. Элленберга (Ellenberg, 1974).

В составе торфяных отложений исследованных болот идентифицировано 63 вида растений – 37 видов сосудистых (древесные – 2, кустарнички – 3, травянистые – 32) и 26 видов мхов (зелёных – 11, сфагновых – 15). Наши исследования торфяных залежей показали, что к настоящему времени разные болотные массивы прошли от 2 до 5 стадий развития, причем основной их паттерн связан с закономерными сукцессионными сменами от эвтрофных до олиготрофных палеосообществ (таблица 1). На начальных этапах торфонакопления наиболее часто формируются эвтрофные палеофитоценозы (травяные, травяно-моховые и древесно-травяные), однако изредка болотообразовательный процесс начинается с мезотрофной стадии (древесный сосновый переходный палеоценоз).

Таблица 1

Стадии и этапы развития исследованных болотных массивов (по данным ботанического анализа торфа) и виды-доминанты слагавших их палеофитоценозов

Стадия	Этап	Палеосообщество	Преобладающие виды-торфообразователи
Добринка			
4	М	Сфагновое	*Sphagnum angustifolium* (до 85%)
2	Э	Осоково-сфагновое	*Carex omskiana* (до 35%), *C. vesicaria (до 20%)*, *Sphagnum teres (до 60%), S. centrale (до 20%)*.
3	Э	Гипновое	*Drepanocladus aduncus* (до 50%), *D. vernicosus* (до 35%)
1	Э	Травяное (водное)	*Nuphar lutea* (до 70%), *Nymphaea candida* (до 30%), *Najas major* (до 10%), *Sparganium* sp.
Большое			
2	О	Сфагновое	*Sphagnum divinum* (до 70%), *Vaccinium oxycoccos*
1	Э	Смешанное*	Четкая стратификация отсутствует, слои перемешаны.
Карамжай-1			
5	О	Сфагновое	*Sphagnum angustifolium*, вересковые кустарнички
4	Э	Травяно-сфагновое	*Sphagnum fallax*, *S. squarrosum*, *Carex rostrata*
3	М	Травяно-сфагновое	*Sphagnum fallax*, *Eriophorum* sp., *Carex juncella*
2	Э	Кубышковое	*Nuphar lutea* (до 90%)
1	М	Осоковое	*Carex rostrata*, *C. lasiocarpa* (оба вида – 45–50%)
Карамжай-2			
3	О	Сфагновое	*Sphagnum angustifolium* (до 75%), *S. fallax*
2	Э	Травяно-сфагновое	*Carex vesicaria* (до 40%), *S. fallax*
1	Э	Травяное (осоковое)	*Carex rostrata*
Мордовская Козловка			
5	О	Сфагновое	*Sphagnum cuspidatum* (до 90%), *S. papillosum*
4	М	Травяное	*Eriophorum* sp.
3	О	Сфагновое	*Sphagnum divinum* (до 95%)
2	М	Травяное	*Eriophorum vaginatum* – до 70%.
1	М	Древесное	*Pinus sylvestris* – до 95%, *Betula pubescens*.
Никольское			
4	М	Сфагновое	*Sphagnum fallax* (до 75%)
3	Э	Сфагновое	*Sphagnum teres* (до 70%)
2	Э	Гипновое	*Drepanocladus aduncus*
1	Э	Травяно-гипновое	*Nuphar lutea* (до 65%), *Drepanocladus aduncus*
Поганое			
3	О	Кустарничково-осоково-сфагновое	*Sphagnum angustifolium*, *Chamaedaphne calyculata, Carex lasiocarpa*
2	М	Травяно-сфагновое	*Sphagnum divinum, Carex rostrata, C. lasiocarpa*
1	М	Древесно-травяное	*Pinus sylvestris, Betula pubescens, Carex lasiocarpa*
Софьино			
5	М	Сфагновое	*Sphagnum fallax*, *S. angustifolium*
4	Э	Травяно-моховое	*S. squarrosum*, *Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*
3	Э	Древесно-травяное	*Betula pubescens*, *Carex omskiana* (до 50%)
2	Э	Травяное	*Carex omskiana, Menyanthes trifoliata*
1	Э	Травяное (вахтовое)	*Menyanthes trifoliata* (до 95%)
Явас-1			
2	О	Сфагновое	*Sphagnum angustifolium* (до 90%)
1	М	Травяно-сфагновое	*Sphagnum fallax*, *S. angustifolium*, *Nuphar lutea*

*Примечание: в столбце «Стадия/Этап» обозначены этапы: «Э» – эвтрофный, «М» – мезотрофный, «О» – олиготрофный.

Палеосообщества характеризуются высокой динамичностью: смена доминирующих видов растений – ключевой фактор трансформации их структуры. Наиболее отчётливые проявления динамики наблюдаются в осоковых и сфагновых фитоценозах. В отдельных

случаях формируются стабильные палеосообщества, отлагающие мощные пласты торфа, – в частности, монодоминантные сфагновые фитоценозы из *Sphagnum divinum*, *S. angustifolium*, *S. fallax* или *S. teres*. В сплавинной части торфяные отложения нередко сформированы сфагновыми мхами (*S. fallax*, *S. angustifolium*, *S. divinum* и др.), а в придонной – остатками травянистых растений (*Nuphar lutea*, *Menyanthes trifoliata,* мезотрофные виды рода *Carex*.

На протяжении всего развития болот, условия увлажнения остаются относительно стабильными (преимущественно в пределах болотно‑лесолуговой/сыро‑лесолуговой серий местообитаний (15,6–16,8) по шкале Д.Н. Цыганова (Цыганов, 1976)), хотя индексы местообитаний, полученные на основе шкалы увлажнения Л.Г. Раменского (Раменский и др., 1956), показали более резкие переходы (от болотных к болотно‑луговым (87,5–99,0), а Г. Элленберга (Ellenberg, 1974) подтверждали сохранение влажных/сырых условий (7,8–8,9). Трофность постепенно снижалась: от бедных/небогатых на первых стадиях до олиготрофных в современности (5,7–3,5). Шкалы Л.Г. Раменского оказались наиболее чувствительны к этим изменениям (7,6–2,4). Кислотность среды повышалась от слабокислых (5,4–5,5) до сильнокислых (2,8–4,7) из‑за накопления органических кислот сфагновых мхов. Обеспеченность азотом снижалась от низкого уровня (3,4–5,6) до крайне бедных условий (2,9–4,3), что особенно заметно по данным шкалы Г. Элленберга.

Специфика отдельных болотных массивов определялась совокупностью условий развития: болото Добринка имела озёрный генезис и резкую смену условий при переходе к мезотрофной стадии. Карамжай-1 и Карамжай-2 отличались крупными водными линзами и значительной мощностью пластов кубышкового торфа. Торфонакопление на болоте Мордовская Козловка началось с заболачивания мезотрофного сосняка, максимального обводнения оно достигло на этапе переходного травяного (пушицевого) палеосообщества. Болото Никольское демонстрировало комбинированный тип заболачивания (в ходе которого на начальной стадии при умеренном увлажнении формируется торф по дну понижения, а затем происходит заполнение депрессии водой, что приводит к образованию сплавины (Леонова, Волкова, 2024)). Болото Софьино отличается пирогенным воздействием и регрессией от древесно-осокового низинного к осоковому палеоценозу. Болото по берегу озера Поганое характеризуется довольно динамичной сменой палеоценозов на всех этапах формирования.

Таким образом, полученные данные расширяют понимание процессов болотообразования в лесостепной зоне, позволяют прогнозировать реакцию болот на климатические изменения и служат научной основой для сохранения уникальных природных комплексов. Сфагновые болота лесостепной зоны имеют важное значение для поддержания биоразнообразия, углеродного баланса и гидрологического режима региона, а их охрана способствует сохранению ценного природного наследия для будущих поколений.

Благодарности. Выражается благодарность Д.А. Филиппову, Н.В. Цывкуновой за помощь в проведении полевых исследований. Исследование поддержано Президентским Фондом Природы (Номер заявки: ЭКО-26-2-001427). Работа Д.С. Щурякова и О.Г. Гришуткина по исследованию болотных экосистем лесостепи проведена в рамках госзадания ИБВВ РАН, тема №124032100076-2 "Структура, функционирование и разнообразие первичных продуцентов континентальных вод", работа Н.А. Черновой выполнена в рамках госзадания ИМКЭС СО РАН № FWRG-2026-0007.

Список литературы

1. Артемова, С. Н. Геоэкологический анализ и оценка экологического состояния верховых болот лесостепной зоны (на примере болота Никольское Пензенской области) / С. Н. Артемова, Н. В. Сидоров // Успехи современного естествознания. – 2025. – № 11. – С. 22-29. – DOI 10.17513/use.38447. – EDN CUSBPR.

2. Благовещенский И.В. Структура растительного покрова, систематический, географический и эколого-биологический анализ флоры болотных экосистем центральной части Приволжской возвышенности: автореф. дис. … докт. биол. наук. Ульяновск, 2006. 41 с.
3. Домбровская А.В., Коренева М.М., Тюремнов С.Н. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе. М.: Госэнергоиздат, 1959. 228 с.
4. Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: учебное пособие. Томск: ТМЛ‑Пресс, 2007. 128 с.
5. Кац Н.Я., Кац С.В., Скобеева Е.И. Атлас растительных остатков в торфах. М.: Недра, 1977. 376 с.
6. Леонова О. А., Волкова Е. М. Динамика экологических условий в генезисе разных типов болот северной части Среднерусской возвышенности // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2024. – № 3. – С. 100-120. – DOI 10.24412/2071-6176-2024-3-100-120.
7. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижикова О.Н. и др. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М., 1956. 471 с.
8. Самсель Н.В. 1990. Растительность озера Карамжай (Тамбовская область). Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 95 (5): 136–140.
9. Хмелёв К.Ф. О значении сфагновых болот Липецкой области и их охране. Природа Липецкой области и ее охрана. Воронеж, 1970. С. 128-133.
10. Цыганов Д.Н. Экоморфы флоры хвойно‑широколиственных лесов. М.: Наука, 1976. 60 с.
11. Чигуряева А.А. 1941. Ивановские торфяники. Ученые записки Саратовского государственного университета. Биология, 15(7): 3–79.
12. Ellenberg H. Ziegerwerte der Gefaspflanzen Mitteleuropeas // Scripta geobotanica. Göttingen, 1974. V. 9. 197 p.

Как геофизические методы помогают реконструировать историю озер (на примере Сарской котловины, Ярославская область)?

Юрченко А.П.[1], Константинов Е.А.[1], Захаров А.Л.[1], Шоркунов И.Г.[1], Шухвостов Р.С[1,2]

[1] Институт географии РАН, Москва, yurchenap@outlook.com

[2] Московский государственный университет, Москва

Введение. Озерные котловины представляют собой ключевой элемент геоморфологического ландшафта междуречий в областях распространения континентальных оледенений плейстоцена. В центре Русской равнины, в краевой части московского оледенения сформировалось множество разномасштабных котловин, генезис которых связан с таянием мертвого льда и неравномерной ледниковой аккумуляцией (Garankina et. al., 2018). Для палеогеографов особый интерес представляют осадочные последовательности, заполняющие днища таких котловин, в них «записана» подробная информация о климатических изменениях позднего плейстоцена.

Рельеф бортов и днищ озерных котловин, а также строение и состав осадков позволяют восстановить уровни палеоводоёмов, а это ключевой индикатор изменений климата прошлого (Harisson and Digerfeldt, 1993). В основе подобных исследований традиционно лежит бурение, точечное или по линиям профилей. Такой подход результативен, однако он не позволяет в деталях установить трехмерную картину строения отложений. А выбор точек бурения «вслепую» не оптимален и может породить ошибочные выводы. Помочь с решением указанных проблем могут геофизические методы. За счет своей экспрессности они позволяют изучить строение толщ по плотной сети профилей и дать пространственное, трехмерное строение исследуемого объекта, что значительно упрощает интерпретацию и позволяет перейти к более обоснованному определению генезиса форм рельефа

Материалы и методы. Сарская котловина (57° 05' 21" N, 38° 49' 55" E) находится в центральной части Борисоглебской возвышенности. На текущий момент основную часть котловины занимает Сарское болото, площадь которого составляет 3,29 км^2, при этом котловина имеет относительно малый водосбор - 10,5 км^2. Форма котловины овальная, вытянутая в северном направлении, глубиной от бровок до днища 35 – 40 м. В болото втекает несколько ручьев, а в южной части берет начало река Сара – главный приток озера Неро. Поверхность сфагнового верхового болота слабовыпуклая, покрытая редкими соснами в центральной части.

В основе исследовании комплекс из трех геофизических методов. Методом электротомографии (электроразведочная станция «СКАЛА 48К12») выполнено 2 профиля в районе истока реки Сары, 5 метровый шаг электродов применялся на продольном профиле (длина 955 м) и 2 метровый шаг на поперечном профиле (длина 382 м), данная методика позволяет получить глубинное строение ложе долины (до 60 метров) и детальное строение бортов. Методом георадиолокации суммарно выполнено 23 км съемки антенной 50 МГц (неэкранированный антенный блок Тритон - М) исследовалось преимущественно центральная часть котловины, антенной 250 МГц (георадар «ОКО – 3») борта котловины и мелководные заливы. Методом магниторазведки (оверхаузеровский магнитометр «MaxiMag») пройдено 59,8 км по нерегулярной сети профилей, более детальная съемка выполнялась в районе предполагаемой палеодолины реки Сары, более разреженная съемка в остальной части котловины.

Геофизические методы заверялись бурением с отбором кернов с помощью поршневого бура Ливингстона. В общей сложности пробурено 5 скважин с глубиной проходки от 5 до 22 метров.

Результаты и обсуждение. По данным электроразведки и георадиолокации удалось выделить 8 различных проводящих фаций, каждая из которых имеет свои физические свойства, литологический состав и генезис. Строение в южной части котловины значительно отличается от строения в центральной части (Zakharov et al., 2024). Так, в районе истока по данным электротомографии обнаружено высокоомное (вероятно, песчанистое) тело, которое выступало порогом стока на ранних стадиях формирования котловины, а в 200 м севернее от современного истока р. Сары, на продольном профиле обнаружено низкоомное (суглинистое) тело, которое было интерпретировано как изгиб палеорусла. Поперечный профиль через долину реки Сары показал ее внутреннее строение: палеодолина имела глубину до 15 м от бровки террасы, в то время как современная имеет глубину до 4 метров. Борта сложены наиболее высокоомным материалом, до этого не обнаруженным ни в одной из частей всей котловины, это интерпретируется как песчано-гравийные отложения, происхождение которых, вероятно, связано с таянием «мертвого» льда и переносом материала из центральной части котловины, в направлении ее основного стока.

Результаты магниторазведки подтвердили локализацию палеодолины в южной части котловины. Палеоисток реки Сары был обнаружен на 300 м севернее современного – ближе к центру котловины.

Дополнительно, для понимания точного строения палеодолины применена площадная георадиолокация: 12 параллельных поперечных и 3 продольных профиля образовали густую сеть наблюдений. На основе этих данных построена карта глубин отражающих границ, на которой удалось выделить разные типы палеорельефа, так была построена карта палеорельефа, который предположительно существовал в конце плейстоцена.

Также с помощью георадиолокации были обнаружены ступени в рельефе подводного берегового склона, выдержанные на всех бортах котловины – геоморфологический признак древних береговых линий, фиксирующих низкий уровень воды в озере. Тыловые швы погребенных уступов были пропикированы и нанесены на геоподоснову. Они фиксируются на глубине (ниже современной поверхности): ~1,6 м, ~4 м и ~6 м.

Собранные геофизические данные, скоррелированные с маркерами в разведочных скважинах и темпом осадконакопления в водоеме, позволили реконструировать изменения уровня в Сарском палеоозере в позднем плейстоцене и голоцене. Полученная кривая изменения уровня Сарского палеоозера на основе геофизических данных имеет высокую согласованность с колебаниями оз. Неро, которые были получены с помощью классических палеогеографических методов (Константинов и др., 2023): низкий уровень в позднеледниковье и раннем голоцене, постепенный подъем уровня на протяжении голоцена с максимальными отметками в позднем голоцене.

Заключение. Комплекс геофизических методов (электротомография, георадариолокация, магниторазведка) позволил реконструировать погребённый доголоценовый рельеф днища Сарской котловины. Под голоценовыми органогенно-минеральными отложениями выявлены береговые линии древнего озера и погребённая долина реки Сары, начинавшаяся на 300 м севернее современного истока. Уровень воды в котловине за последние 20 тыс. лет испытывал значительные изменения: в позднеледниковье он был примерно на 6 м ниже современного, в голоцене преобладал рост с кратковременной регрессией 6–8 тыс. лет назад, а современный уровень стал максимальным за весь период. Электротомография успешно диагностирует основные литологические типы (биогенные, песчаные, алевритовые, суглинистые отложения), но не позволяет чётко выделять зоны размыва и переходные слои

(сапропель, тонкое переслаивание). Георадар хорошо работает на торфяной толще и её подошве, но бесполезен для поиска литостратиграфических несогласий в толще плйстоценовых озерных алевритов из-за их высокой проводимости. Магниторазведка выявила погребённые русловые процессы, но не дала информации о строении самой котловины. Таким образом, комбинирование разных геофизических методов позволяет компенсировать ограничения отдельных методов и получить более полную картину строения толщи отложений, заполняющих котловину.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках гранта РНФ 23-77-10063 «Реконструкция природных событий по высокоразрешающим седиментационным палеоархивам центра Восточно-Европейской равнины за последние 25 тысяч лет».

Список литературы

1 Константинов Е.А., Карпухина Н.В., Захаров А.Л. и др. Колебания уровня озера Неро в голоцене // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 2. С. 51–60.

2 Garankina E. V., Belyaev V. R., Shorkunov I. G., Andreev P. V., Verlova T. A., Shishkina Y. V., Bondar A. I. Evolution of borisoglebsk upland interfluves over last 150,000 years (marginal zone of moscow glaciation, central part of russian plain) // Practical Geography and XXI Century Challenges. International Geographical Union Thematic Conference dedicated to the Centennial of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences. Conference Book. Moscow. 2018. P. 197 - 204.

3 Harrison, S. P.; Digerfeldt, G. European Lakes as Palaeohydrological and Palaeoclimatic Indicators // Quaternary Science Reviews. 1993. V. 12. 233–248.

4 Zakharov A. L., Garankina E. V., Konstantinov E. A., Rudinskaya A. I., Shorkunov I. G., Yurchenko A. P., and Shukhvostov R. S. Prospects for studying the paleo archive of lake sediment from the sarskoe bog // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. P. 733–736.

Научное издание

«ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЯ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ»
VII Международная конференция
и школа молодых ученых
(Апатиты, 21–31 августа 2026 г.)
Тезисы докладов

Технический редактор В. Ю. Жиганов

Подписано в печать 28.09.2026. Формат бумаги 60 × 84 $^{1}/_{8}$.
Усл. печ. л. 38,6. Заказ № 48. Тираж 300 экз.

Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр Российской академии наук».
184209, Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14.

Отпечатано в Федеральном исследовательском центре
«Кольский научный центр Российской академии наук».

ISBN 978-5-91137-573-7

