

ISSN 2949-1185



Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

1/2024(3)

СЕРИЯ: ЕСТЕСТВЕННЫЕ
И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

0+

Российская Академия Наук
ТРУДЫ

1/2024(3)

Научно-информационный журнал
Основан в 2010 году
Выходит 4 раза в год

Кольского научного центра. Серия: Естественные и гуманитарные науки



Главный редактор
акад. РАН, д. г.-м. н. С. В. Кривовичев

Заместитель главного редактора
к. б. н. Е. А. Боровичев

Редакционный совет:
акад. РАН, д. г. н. Г. Г. Матишов,
чл.-корр. РАН, д. б. н. В. К. Жиров,
чл.-корр. РАН, д. т. н. А. И. Николаев,
чл.-корр. РАН, д. х. н. И. Г. Тананаев,
д. э. н. Ф. Д. Ларичкин,
д. ф.-м. н. Е. Д. Терещенко,
к. т. н. А. С. Карпов (отв. секретарь)

Редколлегия серии:
акад. РАН, д. г.-м. н. С. В. Кривовичев,
акад. РАН, д. г. н. Г. Г. Матишов,
чл.-корр. РАН, д. б. н. В. К. Жиров,
д. г.-м. н. В. В. Балаганский,
д. г.-м. н. Т. Б. Баянова,
д. и. н. С. Г. Веригин,
д. и. н. И. Ю. Винокурова,
д. ф.-м. н. В. Г. Воробьев,
д. г. н. В. А. Даувальтер,
д. и. н. В. В. Ефимова,
д. и. н. И. Л. Жеребцов,
д. ф.-м. н. В. Е. Иванов,
д. б. н. Л. А. Иванова,
д. ф.-м. н. Б. В. Козелов,
д. г.-м. н. Н. Е. Козлов,
д. б. н. Н. А. Константинова,
д. б. н. П. Р. Макаревич,
д. т. н. Д. В. Макаров,
д. и. н. Е. П. Мартынова,
д. т. н. В. А. Маслобоев,
д. ф.-м. н. И. В. Мингалев,
д. ф.-м. н. О. В. Мингалев,
д. и. н. С. А. Никонов,
д. и. н. И. А. Разумова,
д. и. н. А. А. Селин,
д. и. н. Ю. П. Шабает,
д. б. н. Н. Ю. Шамакова,
к. ф.-м. н. Ю. В. Балабин,
к. ф.-м. н. В. Б. Белуховский,
к. б. н. Е. А. Боровичев,
к. б. н. Д. А. Давыдов,
к. б. н. Д. Б. Денисов,
к. б. н. И. В. Зенкова,
к. и. н. К. С. Казакова,
к. б. н. Н. Е. Королева,
к. г. н. Д. В. Моисеев,
к. г.-м. н. С. В. Мудрук,
к. ф.-м. н. Я. А. Сахаров,
к. ф.-м. н. К. Г. Орлов,
к. и. н. Е. А. Пивнева,
к. ф.-м. н. Ю. В. Федоренко

Ответственный редактор номера
к. б. н. Е. А. Боровичев

Учредитель — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН»
(ФИЦ КНЦ РАН)

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-83506 от 24 июня 2022 г.
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.

Научное издание

Технический редактор В. Ю. Жиганов
Редактор Е. Н. Еремеева
Подписано к печати 17.05.2024.
Дата выхода в свет 20.05.2024.
Формат бумаги 60 × 84 1/4.
Усл. печ. л. 25,81. Заказ № 2. Тираж 500 экз.
Свободная цена.

Адрес учредителя, издателя и типографии: Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр РАН» (ФИЦ КНЦ РАН).
184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14.
Тел.: 8 (81555) 7-53-50; 7-95-95, факс: 8 (81555) 7-64-25.
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Каменева Ю. С., Черноусенко Е. В., Митрофанова Г. В.	Влияние состава гидроксамовых кислот на показатели флотации перовскита.....	9
Гулаков В. О., Масленникова А. В.	Практические аспекты цифровизации лимнологических и палеолимнологических исследований.....	16
Двоеглазова Н. В., Чубаренко Б. В.	Гидрологическая ситуация накануне осолонения устьевого участка реки Преголи (Юго-Восточная Балтика).....	21
Чернышев А. Н.	Сравнительная характеристика зоопланктона озер Сиссярви и Лещевое в 2020–2021 гг. (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро).....	27
Исаева Л. Г., Зануздаева Н. В., Чуева Н. В.	Интродукция кедрового стланика в Лапландском заповеднике (Мурманская область).....	34
Юдин С. И.	Пион уклоняющийся (<i>Paeonia anomala</i> L.) флоры Алтая в условиях Кировска (Мурманская область).....	40
Рябов Н. С., Зануздаева Н. В., Исаева Л. Г.	Анализ изменения сезонных явлений хвойных пород Лапландского заповедника и их связь с климатическими факторами.....	51
Кашулин П. А., Калачева Н. В.	Когерентная фотосинтетическая активность листопадных лесообразующих деревьев.....	63
Другова Т. П.	Ревизия видов рода <i>Sphagnum</i> (Sphagnaceae, Bryophyta) подрода <i>Cuspidata</i> в Мурманской области.....	71
Константинова Н. А., Афонин Д. А.	К флоре печеночников полуостровов Рыбачий и Средний (Мурманская область).....	82
Тростенюк Н. Н., Святковская Е. А., Салтан Н. В.	Оценка посевных качеств семян и сезонного развития многолетних травянистых растений, интродуцированных в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте.....	91
Комулайнен С. Ф., Барышев И. А.	Структура и динамика гидробиоценозов (фитоперифитон, зоопланктон, зообентос) рек Карельского побережья Белого моря.....	104

Добродеева Л. К., Самодова А. В., Балашова С. Н., Пашинская К. О.	Иммунологические критерии риска сосудистых катастроф у лиц, проживающих и работающих в Арктике.....	116
Пашинская К. О., Самодова А. В., Добродеева Л. К.	Риск срыва адаптационных перестроек и развития сердечно-сосудистых катастроф у жителей Европейского Севера и Арктики Российской Федерации.....	124
Губкина Л. В., Самодова А. В., Добродеева Л. К.	Особенности системных и местных иммунных реакций у кольских саамов и русских, проживающих на Крайнем Севере.....	131
Лесная А. С., Даренская М. А., Семёнова Н. В., Колесникова Л. И.	Адаптивные и дизадаптивные реакции организма у представительниц коренного этноса Восточной Сибири.....	137
Сюрин С. А., Кизеев А. Н.	Охлаждающий микроклимат как фактор риска профессиональной патологии в Арктике.....	146
Луговая Е. А., Степанова Е. М.	Дисбаланс химических элементов в организме жителей циркумполярного региона как отражение геохимических факторов среды.....	153
Никифорова Н. А., Карапетян Т. А., Доршакова Н. В.	Роль отдельных эссенциальных и токсичных микроэлементов в патогенезе внебольничной пневмонии.....	160
Пожарская В. В.	Некоторые факторы, оказывающие влияние на заболеваемость ОРВИ детей (10–18 лет), проживающих на территории Мурманской области.....	170
Соловьева В. А., Соловьева Н. В., Удовенкова Л. П., Соловьев А. Г.	Развитие синдрома алкогольной дислипидемии — фактор нарушения социальной безопасности в Арктическом регионе.....	179
Яшева С. Ю., Барачевский Ю. Е., Масляков В. В.	Влияние антропогенного фактора на последствия применения огнестрельного оружия ограниченного поражения.....	187

Гаврильева Т. Н., Парилова В. Д.	Особенности потребления продуктов питания в Республике Саха (Якутия).....	192
Гонтарь О. Б., Жиров В. К., Соловьев А. Г.	Алгоритм проведения профилактических и лечебных курсов арктической ландшафтной терапии для купирования различных типов стресса.....	203
Красильникова Н. А., Неустроева А. Б., Сосин В. В.	Экологическая готовность промышленных компаний в Республике Саха (Якутия) и влияние изменяющихся внешних условий на корпоративную экологическую политику.....	210

1/2024(3)

Scientific journal
Published since 2010
Publication frequency — four times a year

Russian Academy of Sciences
TRANSACTIONS

Kola Science Centre. Series: Natural Sciences and Humanities



Editor-in-Chief

S. V. Krivovichev, Academician of RAS,
Dr. Sc. (Geology & Mineralogy)

Deputy Editor-in-Chief

E. A. Borovichev, PhD (Biology)

Editorial Council:

G. G. Matishov, Academician of RAS, Dr. Sc. (Geography),
V. K. Zhiron, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Biology),
A. I. Nikolaev, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Engineering),
I. G. Tananaev, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Chemistry),
F. D. Larichkin, Dr. Sc. (Economics),
E. D. Tereshchenko, Dr. Sc. (Physics and Mathematics),
A. S. Karpov, PhD (Engineering) — Executive Secretary

Editorial Board:

S. V. Krivovichev, Academician of RAS,
Dr. Sc. (Geology & Mineralogy),
G. G. Matishov, Academician of RAS, Dr. Sc. (Geography),
V. K. Zhiron, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Biology),
V. V. Balaganskiy, Dr. Sc. (Geology & Mineralogy),
T. B. Bayanova, Dr. Sc. (Geology & Mineralogy),
S. G. Verigin, Dr. Sc. (History),
I. Yu. Vinokurova, Dr. Sc. (History),
V. G. Vorobjov, Dr. Sc. (Physics & Mathematics),
V. A. Dauvalter, Dr. Sc. (Geography),
V. V. Efimova, Dr. Sc. (History),
I. L. Zherebtsov, Dr. Sc. (History),
V. E. Ivanov, Dr. Sc. (Physics & Mathematics),
L. A. Ivanova, Dr. Sc. (Biology),
B. V. Kozelov, Dr. Sc. (Physics & Mathematics),
N. E. Kozlov, Dr. Sc. (Geology & Mineralogy),
N. A. Konstantinova, Dr. Sc. (Biology),
P. R. Makarevich, Dr. Sc. (Biology),
D. V. Makarov, Dr. Sc. (Engineering),
E. P. Martynova, Dr. Sc. (History),
V. A. Masloboev, Dr. Sc. (Engineering),
I. V. Mingalev, Dr. Sc. (Physics & Mathematics),
O. V. Mingalev, Dr. Sc. (Physics & Mathematics),
S. A. Nikonov, Dr. Sc. (History),
I. A. Razumova, Dr. Sc. (History),
A. A. Selin, Dr. Sc. (History),
Yu. P. Shabaev, Dr. Sc. (History),
N. Yu. Shmakova, Dr. Sc. (Biology),
Yu. V. Balabin, PhD (Physics & Mathematics),
V. B. Belakhovskiy, PhD (Physics & Mathematics),
E. A. Borovichev, PhD (Biology),
D. A. Davidov, PhD (Biology),
D. B. Denisov, PhD (Biology),
I. V. Zenkova, PhD (Biology),
K. S. Kazakova, PhD (History),
N. E. Koroleva, PhD (Biology),
D. V. Moiseev, PhD (Geography),
S. V. Mudruk, PhD (Geology & Mineralogy),
Ya. A. Sakharov, PhD (Physics & Mathematics),
K. G. Orlov, PhD (Physics & Mathematics),
E. A. Pivneva, PhD (History),
Yu. V. Fedorenko, PhD (Physics & Mathematics)

Executive Editor

E. A. Borovichev, PhD (Biology)

Founder — Federal State Budget Institution of Science
Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian
Academy of Sciences"

Mass Media Registration Certificate
ПИИ No. ФС77-83506 issued by the Federal Service for Supervision
of Communications, Information Technology and Mass Media
on June 24, 2022.

Scientific publication

Technical Editor V. Yu. Zhiganov
Editor Ye. N. Yeremeyeva

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia.
Tel.: 8 (81555) 7-93-80. Fax: 8 (81555) 7-64-25.
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru.

CONTENTS

Kameneva Yu. S., Chernousenko E. V., Mitrofanova G. V.	Influence of hydroxamic acids composition on perovskite flotation performance.....	9
Gulakov V. O., Maslennikova A. V.	Practical aspects of digitalization of limnological and paleolimnological studies.....	16
Dvoeglazova N. V., Chubarenko B. V.	Hydrological situation on the eve of salinization of the mouth section of the Pregolya River (South-East Baltic).....	21
Chernyshev A. N.	Comparative characteristics of zooplankton in Sisyarvi and Leschovoye lakes in 2020–2021 (Valaam Archipelago, Ladoga Lake).....	27
Isaeva L. G., Zanuzdayeva N. V., Chueva N. V.	Introduction of Siberian dwarf pine in the Lapland State Nature Biosphere Reserve (Murmansk Region).....	34
Yudin S. I.	<i>Paeonia anomala</i> L. from Altai in Kirovsk (Murmansk Region)	40
Ryabov N. S., Zanuzdayeva N. V., Isaeva L. G.	Analysis of seasonal events changes of Lapland State Nature Reserve coniferous species and their relations to climate factors.....	51
Kashulin P. A., Kalacheva N. V.	Coherent photosynthetic activity between deciduous arboreal trees.....	63
Drugova T. P.	A revision of the genus <i>Sphagnum</i> (Sphagnaceae, Bryophyta) subgenus <i>Cuspidata</i> in Murmansk Province).....	71
Konstantinova N. A., Afonin D. A.	Additions to liverwort flora of Rybachiy and Sredniy Peninsulas (Murmansk Region).....	82
Trostenyuk N. N., Svyatkovskaya E. A., Saltan N. V.	Assessment of sowing qualities of seeds and seasonal development of perennial herbal plants introduced at the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute.....	91
Komulaynen S. F., Baryshev I. A.	The structure and dynamics of hydrobiocenosis (phytoperiphyton, zooplankton, zoobenthos) of the rivers of the Karelian coast of the White Sea.....	104

Dobrodeeva L. K., Samodova A. V., Balashova S. N., Pashinskaya K. O.	Immunological criteria for the risk of vascular disaster in persons living and working in the Arctic.....	116
Pashinskaya K. O., Samodova A. V., Dobrodeeva L. K.	The risk of disruption of adaptation changes and the development of cardiovascular disasters in residents of the European North and the Arctic of the Russian Federation.....	124
Gubkina L. V., Samodova A. V., Dobrodeeva L. K.	Features of systemic and local immune reactions in the Kola samis and Russians living in the Far North.....	131
Lesnaya A. S., Darinskaya M. A., Semenova N. V., Kolesnikova L. I.	Adaptive and disadaptive reactions of the body in representatives of the indigenous ethnic group of Eastern Siberia.....	137
Syurin S. A., Kizeev A. N.	Cooling microclimate as a risk factor for occupational pathology in the Arctic.....	146
Lugovaya E. A., Stepanova E. M.	Imbalance of chemical elements in the circumpolar region residents as a result of environmental geochemical influence.....	153
Nikiforova N. A., Karapetyan T. A., Dorshakova N. V.	The role of certain essential and toxic trace elements in the pathogenesis of community-acquired pneumonia.....	160
Pozharskaya V. V.	Some factors of affecting the incidence of cold diseases in children (10–18 years old) living in the Murmansk region....	170
Solovieva V. A., Solovyova N. V., Udovenkova L. P., Soloviev A. G.	Development of alcoholic dyslipidemia syndrome — social security violation factor in the Arctic region.....	179

Yasheva S. Yu., Barachevskiy Yu. E., Maslyakov V. V.	The impact of anthropogenic factors on the consequences of the use of non-lethal kinetic weapons.....	187
Gavrilyeva T. N., Parilova V. D.	Food consumption patterns in the Republic of Sakha (Yakutia).....	192
Gontar O. B., Zhirov V. K., Soloviev A. G.	Algorithm for conducting preventive and therapeutic courses of Arctic landscape therapy to relieve various types of stress.....	203
Krasilnikova N. A., Neustroeva A. B., Sosin V. V.	Environmental readiness of industrial companies in the Republic of Sakha (Yakutia) and the impact of changing external conditions on corporate environmental policy.....	210

Научная статья
УДК 622.349 : 622. 778 : 622.765.061
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.001

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГИДРОКСАМОВЫХ КИСЛОТ НА ПОКАЗАТЕЛИ ФЛОТАЦИИ ПЕРОВСКИТА

**Юлия Сергеевна Каменева¹, Елена Владимировна Черноусенко²,
Галина Викторовна Митрофанова³**

¹⁻³Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

¹yu.kameneva@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9325-3397>

²e.chernousenko@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4266-9418>

³g.mitrofanova@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1230-5381>

Аннотация

На пробе перовскитсодержащей руды Африкандского месторождения проведено тестирование реагентов-собирателей из класса гидроксамовых кислот, отличающихся строением углеводородного радикала. Рассмотрены реагенты, полученные на основе октановой кислоты и кислот растительных масел — кокосовых и талловых. Показано, что в щелочной области pH происходит более активная основная флотация, в пенный продукт переходит значительное количество породных минералов. Прочное закрепление собирателя на всех минералах определяет низкую эффективность перемычных операций в щелочной среде. Оптимальным pH флотации является 6,2–6,5. Увеличение длины углеводородного радикала выше 10 атомов углерода приводит к значительному снижению селективности действия собирателя. Реагенты на основе кокосовых и талловых кислот активно флотируют как перовскит, так и породообразующие минералы. Октангидроксамовая кислота из рассмотренных реагентов характеризуется наиболее оптимальными флотационными свойствами и обеспечивает получение перовскитового концентрата с содержанием TiO₂ ~49–50 %.

Ключевые слова:

перовскитовая руда, Африкандское месторождение, флотация, гидроксамовые кислоты

Финансирование:

работа выполнена в рамках технологического проекта «Кольский горно-химический комплекс: горно-геологические, химико-технологические и экологические решения для Арктики».

Для цитирования:

Каменева Ю. С., Черноусенко Е. В., Митрофанова Г. В. Влияние состава гидроксамовых кислот на показатели флотации перовскита // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 9–15. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.001.

Original article

INFLUENCE OF HYDROXAMIC ACIDS COMPOSITION ON PEROVSKITE FLOTATION PERFORMANCE

Yulia S. Kameneva¹, Elena V. Chernousenko², Galina V. Mitrofanova³

¹⁻³Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

¹yu.kameneva@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9325-3397>

²e.chernousenko@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4266-9418>

³g.mitrofanova@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1230-5381>

Abstract

On a sample of perovskite-bearing ore of the testing of reagents-collectors from the class of hydroxamic acids, differing in the structure of the hydrocarbon radical, was carried out. The reagents based on octanoic acid and acids of vegetable oils — coconut and tall oil — were considered. It is shown that in the alkaline pH range the rough flotation is more active, and a considerable amount of gangue minerals is transferred to the froth product. Strong attachment of the collector on all minerals determines low efficiency of re-cleaning operations in alkaline conditions. The optimum pH of flotation is pH = 6.2–6.5. Increase in the length of hydrocarbon radical above 10 carbon atoms leads to a significant decrease in the selectivity of the collector action. Reagents based on coconut and tallic acids actively float both perovskite and gangue minerals. Of the reagents considered, octylhydroxamic acid is characterized by the most optimal flotation properties and provides obtaining perovskite concentrate with TiO₂ ~49–50 %.

Keywords:

Perovskite ore, Afrikand deposit, flotation, hydroxamic acids

Funding:

the work was carried out within the framework of the technological project “Kola Mining and Chemical Complex: Mining and Geological, Chemical and Technological and Environmental Solutions for the Arctic”.

For citation:

Kameneva Y. S., Chernousenko E. V., Mitrofanova G. V. Influence of hydroxamic acids composition on perovskite flotation performance. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 9–15. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.001.

Введение

Титан и его соединения, благодаря своим уникальным свойствам, находят широкое применение в различных высокотехнологичных отраслях промышленности — авиакосмической и химической, медицине и энергетике. Распоряжением Правительства РФ в августе 2022 г. титан внесен в список стратегических видов сырья. Однако, несмотря на значительную собственную минерально-сырьевую базу титаносодержащих руд, основные объемы титана в России производятся из импортного сырья [1; 2]. Обеспечение экономической безопасности страны требует расширения собственного производства титаносодержащих концентратов. С этой точки зрения следует говорить как о возобновлении работы ранее действующих предприятий, обогащающих ильменит-титаномагнетитовые руды [3], так и о вовлечении в переработку перспективных месторождений перовскитовых руд. На Кольском полуострове расположено несколько таких месторождений, из которых Африкандское является наиболее изученным. В пределах месторождения выявлены несколько типов руд, отличающихся содержанием рудных минералов и вкрапленностью перовскита [4; 5]. Рудные минералы представлены перовскитом и титаномагнетитом, нерудные — оливином и пироксенами, вермикулитом, нефелином, кальцитом.

Разработанные в результате проведенных исследований схемы обогащения руды Африкандского месторождения предусматривают получение двух видов концентратов: титаномагнетитового и перовскитового. Наиболее рациональной представляется магнитно-флотационная сепарация, с получением на первой стадии титаномагнетитового концентрата [6]. При этом изучение степени раскрытия титаномагнетита в процессе сокращения крупности показало возможность проведения магнитной сепарации на грубозернистом питании с получением черного титаномагнетитового концентрата. Такой подход позволяет исключить переизмельчение титаномагнетита.

Достаточное различие в плотностях разделяемых минералов позволило рассмотреть также гравитационное обогащение немагнитной фракции магнитной сепарации методами винтовой сепарации и концентрации на столе. Была показана принципиальная возможность получения отвальных хвостов и гравитационного перовскитового концентрата (~50 % TiO_2) с извлечением 32 %. Однако и в этом случае доизвлечение перовскита из промпродукта, в котором остается до 42 % TiO_2 , требует применение флотационного метода [7].

Таким образом, флотация остается неотъемлемой частью технологической схемы обогащения перовскитовой руды, для повышения эффективности которой актуальным вопросом остается расширение ассортимента реагентов-собирателей.

Ранее проведенными исследованиями была показана эффективность использования для прямой флотации перовскита реагента ИМ-50. Этот собиратель, разработанный институтом Механобр, представляет собой продукт взаимодействия фракции синтетических насыщенных кислот C_7 - C_9 с гидроксиламином. В состав реагента ИМ-50 входит ~75 % алкилгидроксамовых и ~25 % алкилкарбоновых кислот.

Использование гидроксамовых кислот в качестве комплексообразующего собирателя для флотации руд переходных и редкоземельных элементов широко известно [8], его эффективность обусловлена возможностью образования на поверхности минералов моно- или бидентатных комплексов [9]. Причем рассматриваются реагенты с различной структурой углеводородного радикала, как алифатического [10], так и ароматического [11].

В настоящей работе проведена оценка флотационного поведения гидроксамовых кислот с различной структурой углеводородной части молекулы, синтезированных на основе растительного сырья.

Материалы и методы

В качестве собирателей флотации перовскита в сравнении с каприлгидроксамовой кислотой (C_8 -ГК) рассмотрены гидроксамовые кислоты на основе кокосового масла, в состав которого преимущественно входят насыщенные кислоты фракции C_9 - C_{13} (C_9 - C_{13} -ГК) и на основе смеси предельных и непредельных кислот состава C_{15} - C_{17} , полученных из талловых масел. Реагенты использовали в виде водных растворов их натриевых солей.

Флотационные опыты проводили на пробе перовскитовой руды (11,78 % TiO_2), характеризующейся содержанием основных минералов в %: оливин — 72; перовскит — 15; титаномагнетит — 11; прочие минералы (кальцит, полевой шпат и пр.) — 2. Содержание оксида титана в основных минералах составляет: ~53; 7,5 и 2 % в перовските, титаномагнетите и оливине соответственно.

На первом этапе из руды магнитной сепарации был выделен титаномагнетит. Измельченную немагнитную фракцию (содержание класса $-0,071$ мм 69,9 %) после обесшламливания по классу -30 микрон флотировали в открытом цикле на водопроводной воде с проведением основной (ОФ), контрольной (КФ) флотаций и перечистных (ПФ) операций (рис. 1). Для создания рН среды использовали серную кислоту. Время агитации с собирателем составляло 2 мин, основной флотации — 2,5 мин, перечистных операций — 2 мин.



Рис. 1. Принципиальная схема флотации перовскитовой руды

Результаты

Исследованиями по флотируемости чистых минералов было показано, что реагент ИМ-50 эффективно взаимодействует с перовскитом в достаточно широком диапазоне рН — от 4,5 до 9,0. Для сопутствующих силикатных минералов в кислой среде наблюдается меньшая по сравнению с перовскитом флотируемость, в то время как при смещении в щелочную область это различие уменьшается.

Однако в кислой среде наблюдается растворимость титан- и кальцийсодержащих минералов, что приводит к переходу в жидкую фазу поливалентных катионов, негативно влияющих на флотационный процесс. В связи с этим было целесообразно оценить зависимость от рН показателей флотации перовскита непосредственно из руды.

Расход собирателя во всех опытах составил 600 г/т в основную флотацию и 50 г/т — в контрольную. Необходимое значение рН создавали добавлением раствора серной кислоты в основную флотацию и по необходимости в перечистные операции. Выход шламов с содержанием TiO_2 ~9 % во всех опытах составил ~15 %. Зависимости показателей основной флотации и второй перечистки (получение концентрата) от рН приведены на рис. 2 на примере октилгидроксамовой кислоты.

Как показали результаты, первая стадия флотации (ОФ) идет более активно в щелочной среде, выход пенного продукта ОФ значительно превышает эту величину в нейтральной и кислой средах, так как совместно с перовскитом в пенный слой переходит значительное количество сопутствующих минералов. Однако извлечение полезного компонента в пенный продукт ОФ во всех случаях примерно одинаково и составляет ~80 %. КФ в щелочной среде также идет более активно, при этом наблюдается повышение с увеличением рН содержания TiO_2 в пенном продукте КФ.

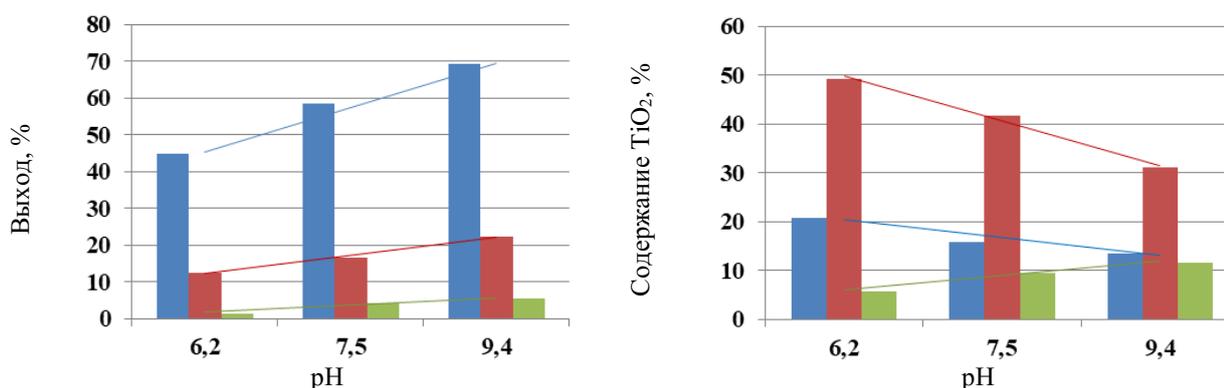


Рис. 2. Выход и содержание TiO₂ в пенных продуктах:
 ■ — основной флотации; ■ — второй перерешетки; ■ — контрольной флотации

По результатам двух перерешеточных операций концентрат требуемого качества (50 % TiO₂) был получен только при флотации в слабокислой среде. Содержание оксида титана в концентратах, полученных при pH = 7,5 и 9,4, составило соответственно 41,76 и 31,06 %. При этом извлечение полезного компонента в концентрат также оказалось примерно на одинаковом уровне — ~60 % TiO₂. Повышение качества концентратов, получаемых в нейтральной и щелочной средах до 50 % возможно при условии проведения дополнительных двух перерешеточных операций, но со значительной потерей извлечения.

Кроме того, при перерешетках, проводимых в щелочной и нейтральной среде, отмывается значительное количество более бедного продукта — содержание TiO₂ в камерных продуктах перерешеток составило 5,2–5,5 %. Возврат этих продуктов в процесс при замыкании схемы приведет к разубоживанию питания операций, росту циркуляционных потоков и в итоге к потере качества концентрата.

Следует отметить, что, несмотря на примерно одинаковое содержание TiO₂ в хвостах, потери оксида титана с хвостами при флотации в кислой среде больше ввиду более высокого выхода этого продукта.

С учетом полученных результатов оценку эффективности собирателей, отличающихся строением углеводородного радикала, проводили в слабокислой среде при pH основной флотации 6,2–6,4 (рис. 3). Выход шламов во всех опытах составил 20–21 % с содержанием 8,9 % TiO₂.

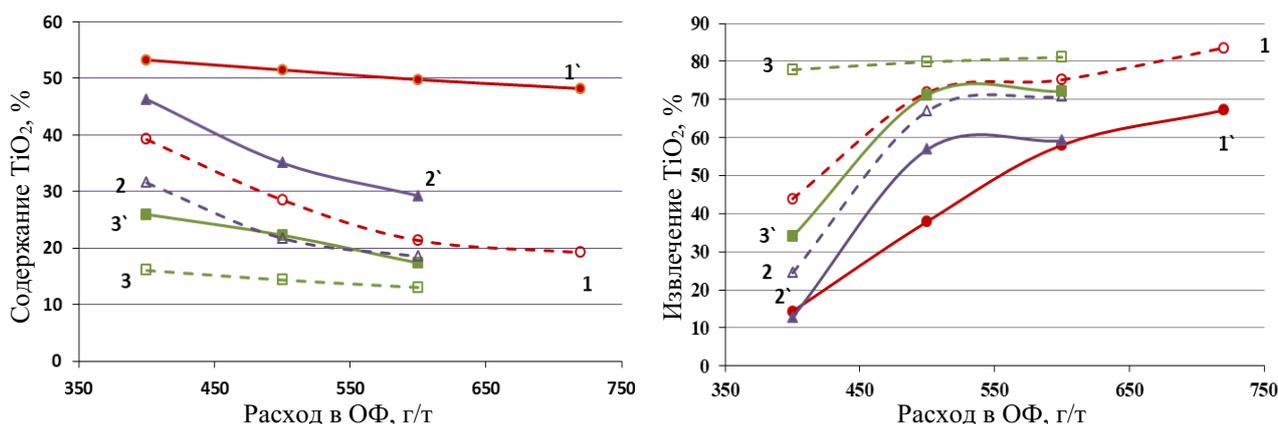


Рис. 3. Характеристика пенных продуктов основной флотации (1–3) и второй перерешетки (1'–3') с реагентами: C₈-ГК (1, 1'); C₉-C₁₃-ГК (2, 2'); C₁₅-C₁₇-ГК (3, 3')

Из данных рис. 3 видно, что лучшие показатели получения перовскитового концентрата обеспечиваются использованием реагента C₈-ГК. Повышение расхода этого собирателя обеспечивает значительный рост извлечения полезного компонента как в пенный продукт основной флотации, так

и в концентрат. При этом сам реагент отличается прочностью закрепления на перовските по сравнению с породными минералами. Разница в содержании TiO_2 в пенном продукте ОФ и концентрате при использовании C_8 -ГК максимальна среди исследуемых реагентов, что обеспечивает получение концентратов требуемого качества ($\sim 50\% TiO_2$) на всем диапазоне рассмотренных расходов (табл.).

Результаты флотации перовскитовой руды с использованием гидроксамовых кислот

Продукт	Выход, %	Содержание TiO_2 , %	Извлечение TiO_2 , %	Расход, г/т
Собиратель C_8 -ГК				
Концентрат	2,91	53,25	14,35	500
Хвосты	67,59	6,17	38,62	
Концентрат	7,87	51,50	37,96	600
Хвосты	50,89	2,00	9,53	
Концентрат II переч.	12,51	49,80	58,09	750
Хвосты	40,44	1,77	6,68	
Концентрат II переч.	15,58	48,21	67,18	820
Хвосты	37,02	1,53	5,06	
Собиратель C_{15} - C_{17} -ГК				
Концентрат II переч.	14,95	25,96	34,04	500
Хвосты	10,68	2,34	2,19	
Концентрат II переч.	36,94	22,30	71,19	600
Хвосты	6,04	2,9	1,51	
Концентрат II переч.	47,40	17,39	72,15	750
Хвосты	2,74	2,8	0,67	
Собиратель C_9 - C_{13} -ГК				
Концентрат II переч.	3,04	46,31	12,80	450
Хвосты	70,09	8,74	55,70	
Концентрат II переч.	19,94	32,05	56,88	600
Хвосты	42,84	3,66	13,95	
Концентрат II переч.	22,03	29,27	59,15	750
Хвосты	33,86	2,62	8,14	

Сравнение показателей основной флотации и второй перечистой операции (получение концентрата) показало, что увеличение длины углеводородного радикала приводит к значительному снижению селективности действия собирателя. Для реагента на основе кислот таллового масла (C_{15} - C_{17} -ГК) наблюдается высокий выход пенных продуктов, в которые вместе с перовскитом переходит значительное количество породных минералов. Извлечение TiO_2 в пенный продукт основной флотации при использовании C_{15} - C_{17} -ГК на уровне 80 % и практически не зависит от расхода собирателя. Но перечистки идут плохо, собиратель достаточно прочно закрепляется на всех минералах, что определяет низкое качество полученных концентратов. Дальнейшее уменьшение расхода реагента приведет только к снижению извлечения полезного компонента. Очевидно, что наличие неперехватываемых связей в структуре молекулы гидроксамовых кислот увеличивает активность реагента, но в значительной степени нарушает селективность действия (см. табл.).

Реагент на основе кислот кокосового масла (C_9 - C_{13} -ГК) действует более селективно. Однако для него характерно достаточно резкое снижение качества получаемого концентрата с ростом расхода собирателя. При этом извлечение TiO_2 в пенный продукт основной флотации и концентрат примерно одинаково, начиная с расхода 500 г/т. Проведение дополнительных перечистных операций с целью повышения качества концентрата приведет к потере извлечения полезного компонента (см. табл.).

Все рассмотренные реагенты представляют собой алифатические гидроксамовые кислоты с углеводородным радикалом разной длины и степени неперехватываемости, что и определяет их различные флотационные свойства. На первый взгляд, следовало бы ожидать более высокую эффективность действия для соединений с углеводородным радикалом, обеспечивающим более высокую степень

гидрофобизации минерала. Однако из полученных результатов видно, что в этом случае более сильное гидрофобное взаимодействие радикалов не позволяет эффективно десорбировать собиратель с поверхности породных минералов в перемешивающих операциях.

Выводы

Рассмотрены реагенты из класса гидроксамовых кислот, отличающиеся длиной и степенью неопределенности углеводородного радикала. Показано, что октангидроксамовая кислота, характеризуется максимальной эффективностью при флотации перовскитовой руды.

Реагенты с более высоким углеводородным радикалом, полученные на основе кокосового и таллового масел, активно флотируют как перовскит, так и порообразующие минералы и не обеспечивают получение качественного перовскитового концентрата.

Список источников

1. Тигунов Л. П., Быховский Л. З., Зубков Л. Б. Титановые руды России: состояние и перспективы освоения. М.: ВИМС, 2005. 104 с.
2. Кучумова А. Российский титан: от легенд к реальности // Добывающая промышленность. 2022. № 3. С. 110–119.
3. Садыхов Г. Б. Фундаментальные проблемы и перспективы использования титанового сырья в России // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Т. 63, № 3–4. С. 178–194. doi:10.17073/0368-0797-2020-3-4-178-194.
4. Найфонов Т. Б., Белобородов В. И., Захарова И. Б. Флотационное обогащение комплексных титановых и цирконовых руд. Апатиты, 1994. 155 с.
5. Potter N. J., Ferguson M. R. M., Kamenetsky V. S., Chakhmouradian A. R., Sharygin V. V., Thompson J. M., Goemann K. Textural evolution of perovskite in the Afrikanda alkaline-ultramafic complex, Kola Peninsula, Russia // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2018. Vol. 173, № 12. 100. doi:10.1007/s00410-018-1531-9.
6. Андронов Г. П., Филимонова Н. М., Хохуля М. С. Разделение титансодержащих минералов магнитной сепарацией // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22, № 1. С. 109–119. doi:10.21443/1560-9278-2019-22-1-109-119.
7. Хохуля М. С., Герасимова Л. Г., Николаев А. И. Новые технологические решения подготовки перовскита // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 9, № 2–1. С. 196–200. doi:10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.1.196-200
8. Lin Y., Chen C., Wang W., Jiang Y., Cao X. Beneficial effects and mechanism of lead ions for bastnaesite flotation with octyl hydroxamic acid collector // Minerals Engineering. 2020. V. 148. 106199. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106199>.
9. Wanhala A. K., Doughty B., Bryantsev V. S., Wu L., Mahurin S. M., Jansone-Popova S., Cheshire M. C., Navrotsky A., Stack A. G. Adsorption mechanism of alkyl hydroxamic acid onto bastnaesite: Fundamental steps toward rational collector design for rare earth elements // Journal of Colloid and Interface Science. 2019. V. 553. P. 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.025>.
10. Duan H., Liu W., Wang X., Gu X., Sun W., Peng X., Yue H. Investigation on flotation separation of bastnaesite from calcite and barite with a novel surfactant: Octylamino-bis-(butanohydroxamic acid) // Separation and Purification Technology. 2021. V. 256. 117792. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117792>.
11. Cao S., Cao Y., Liao Y., Ma Z. Depression Mechanism of Strontium Ions in Bastnaesite Flotation with Salicylhydroxamic Acid as Collector // Minerals. 2018. 8 (2). 66. <https://doi.org/10.3390/min8020066>.

References

1. Tiginov L. P., Byhovskij L. Z., Zubkov L. B. *Titanovye rudy Rossii: sostoyanie i perspektivy osvoeniya* [Titanium Ores in Russia: Status and Prospects of Development]. Moscow, Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mineral'nogo syr'ja [All-Russian Research Institute of Mineral Raw Materials], 2005, 104 p. (In Russ.).

2. Kuchumova A. Rossijskij titan: ot legend k real'nosti [Russian titanium: from legends to reality]. *Dobyvajushhaja promyshlennost'* [Extractive industry], 2022, No. 3, pp. 110–119. (In Russ.).
3. Sadyhov G. B. Fundamental'nye problemy i perspektivy ispol'zovaniya titanovogo syr'ya v Rossii [Fundamental problems and prospects of using titanium raw materials in Russia]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Spermaya metallurgiya* [Izvestiya. Ferrous Metallurgy], 2020, Vol. 63, No. 3, pp. 178–194. (In Russ.). doi:10.17073/0368-0797-2020-3-4-178-194.
4. Najfonov T. B., Beloborodov V. I., Zaharova I. B. *Flotacionnoe obogashchenie kompleksnyh titanovyh i cirkonovyh rud* [Flotation beneficiation of complex titanium and zircon ores]. Apatity, 1994, 155 p. (In Russ.).
5. Potter N. J., Ferguson M. R. M., Kamenetsky V. S., Chakhmouradian A. R., Sharygin V. V., Thompson J. M., Goemann K. Textural evolution of perovskite in the Afrikanda alkaline-ultramafic complex, Kola Peninsula, Russia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2018, Vol. 173, No. 12, 100. doi:10.1007/s00410-018-1531-9.
6. Andronov G. P., Filimonova N. M., Hohulya M. S. Razdelenie titansoderzhashchih mineralov magnitnoj separaciej [Separation of titanium-bearing minerals by magnetic separation]. *Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta* [Bulletin of Murmansk State Technical University], 2019, Vol. 22, No. 1, pp. 109–119. (In Russ.). doi:10.21443/1560-9278-2019-22-1-109-119.
7. Hohulya M. S., Gerasimova L. G., Nikolaev A. I. Novye tekhnologicheskie resheniya podgotovki perovskita [New technological solutions for the preparation of perovskite]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2018, Vol. 9, No. 2–1, pp. 196–200. (In Russ.). doi:10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.1.196-200.
8. Lin Y., Chen C., Wang W., Jiang Y., Cao X. Beneficial effects and mechanism of lead ions for bastnaesite flotation with octyl hydroxamic acid collector. *Minerals Engineering*, 2020, V. 148, p. 106199. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106199>.
9. Wanhala A. K., Doughty B., Bryantsev V. S., Wu L., Mahurin S. M., Jansone-Popova S., Cheshire M. C., Navrotsky A., Stack A. G. Adsorption mechanism of alkyl hydroxamic acid onto bastnaesite: Fundamental steps toward rational collector design for rare earth elements. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2019, Vol. 553, pp. 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.025>.
10. Duan H., Liu W., Wang X., Gu X., Sun W., Peng X., Yue H. Investigation on flotation separation of bastnaesite from calcite and barite with a novel surfactant: Octylamino-bis-(butanohydroxamic acid). *Separation and Purification Technology*, 2021, Vol. 256, p. 117792. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117792>.
11. Cao S., Cao Y., Liao Y., Ma Z. Depression Mechanism of Strontium Ions in Bastnaesite Flotation with Salicylhydroxamic Acid as Collector. *Minerals*, 2018, Vol. 8, no. 2, p. 66. <https://doi.org/10.3390/min8020066>.

Информация об авторах

Ю. С. Каменева — младший научный сотрудник;

Е. В. Черноусенко — старший научный сотрудник;

Г. В. Митрофанова — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

Yu. S. Kameneva — Junior Researcher;

E. V. Chernousenko — Senior Researcher;

G. V. Mitrofanova — PhD (Eng.), Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 004:504.45:504.738
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.002

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ И ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Василий Олегович Гулаков¹, **Анна Валерьевна Масленникова²**

^{1, 2}Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии
Уральского отделения Российской академии наук, Миасс, Россия

¹vasiliygulakov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2190-5150>

²adenophora@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0434-4372>

Аннотация

Статья посвящена описанию программных продуктов, созданных с помощью информационных технологий для исследования озер Урала. База данных LaDa содержит информацию о 107 озерах Урала и позволяет проводить многовариантный поиск, используя морфометрические параметры и данные диатомового, гидрохимического и геохимического анализов и визуализировать полученные результаты на карте. База данных — определитель диатомовых водорослей DiatomDB представляет собой совокупность собранных и систематизированных авторами данных, позволяющих идентифицировать вид диатомеи по набору наблюдаемых признаков, используя строгий и нестрогий поиск, а также визуализировать полученную информацию для подтверждения точности определения.

Ключевые слова:

база данных, цифровизация, информационные технологии, озера, определитель диатомовых водорослей

Финансирование:

работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант No. 21-17-00071, <https://rscf.ru/project/21-17-00071/>).

Для цитирования:

Гулаков В. О., Масленникова А. В. Практические аспекты цифровизации лимнологических и палеолимнологических исследований // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 16–20. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.002.

Original article

PRACTICAL ASPECTS OF DIGITALIZATION OF LIMNOLOGICAL AND PALEOLIMNOLOGICAL STUDIES

Vasily O. Gulakov¹, **Anna V. Maslennikova²**

^{1, 2}South Ural Federal Scientific Center for Mineralogy and Geoecology, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Miass, Russia

¹vasiliygulakov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2190-5150>

²adenophora@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0434-4372>

Abstract

The article is devoted to the description of software products created with the help of information technologies for the study of lakes in the Urals. The LaDa database contains information about 107 lakes of the Urals and allows you to conduct a multivariate search using morphometric parameters and data from diatom, hydrochemical and geochemical analysis and visualize the results on a map. The diatom identification database "DiatomDB" is a collection of data collected and systematized by the authors, allowing one to identify a diatom species based on a set of observed characteristics, using a strict and non-strict search, as well as visualize the information obtained to confirm the accuracy of the identification.

Keywords:

database, digitalization, information technology, lakes, diatom identification

Funding:

the work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 21-17-00071, <https://rscf.ru/project/21-17-00071/>).

For citation:

Gulakov V. O., Maslennikova A. V. Practical aspects of digitalization of limnological and paleolimnological studies. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1. pp. 16–20. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.002.

Введение

На Урале находится большое количество озер, донные отложения которых содержат информацию об изменении палеосреды в голоцене, а также об истории развития озерных экосистем. Поскольку палеолимнологические и лимнологические исследования основаны на значительном объеме аналитических данных, информатизация процесса изучения озер является особенно актуальной. Для реализации этой задачи часто используются базы данных [1–6]. Недостатками существующих баз данных являются их реализация в виде таблиц Microsoft Excel [1; 3] и/или отсутствие многовариантного поиска, позволяющее оперировать результатами комплексного анализа [5; 6].

Поэтому первой задачей цифровизации палеолимнологических и лимнологических исследований озер Урала было создание базы данных на основе системы управления базами данных (СУБД), позволяющей получать результаты поиска по запросу, применять инструменты для реструктуризации данных и проводить многовариантный поиск без необходимости экспорта результатов в сторонние программы.

Кроме необходимости оперировать результатами комплексного анализа, палеолимнологические исследования включают ряд методов, наиболее трудоемкой частью которых является идентификация микрофоссилий. К ним относится диатомовый анализ, являющийся очень информативным методом изучения истории озер. В настоящее время доступны электронные ресурсы, позволяющие определять диатомовые водоросли на основе микрофотографий [7; 8]. Одним из главных недостатков данных определителей является полное отсутствие или недостаточное описание экологии и распространения видов, что для палеолимнологического исследования является решающим. Экологическую информацию можно получить из других электронных ресурсов, которые, однако, не содержат микрофотографии [9; 10]. Электронный определитель диатомей Северной Америки, кроме высококачественных фотографий, содержит подробные описания морфологии, а для некоторых видов — и экологии, а также подобие ключа, основанного на главных особенностях диатомовых водорослей, таких как симметрия, наличие и тип шва [11]. Полноценного ключа, позволяющего идентифицировать диатомею на основе расширенного набора признаков, нет ни в одном из найденных нами электронных ресурсов.

Поэтому второй задачей информатизации палеолимнологических исследований была разработка базы данных диатомовых водорослей, содержащей подробное описание морфологии, экологии, распространения вида, а также электронный диатомовый ключ, позволяющий идентифицировать диатомовую водоросль на основе выбора из большого количества признаков.

Материалы и методы

Базы данных LaDa и DiatomDB разрабатывались на основе СУБД MariaDB в среде операционной системы Linux. Области определения анализировались на основе проводимых исследований [12] и определителей диатомей [13; 14]. LaDa имеет древовидную структуру, благодаря авторской организации данных позволяющую использовать единым образом разнородную информацию о результатах анализа. Для визуализации результатов поиска использовался открытый API сервиса Яндекс.Карты. DiatomDB, в свою очередь, реализована в виде двоичного сквозного поискового ключа, для чего авторами был разработан специальный способ хранения определений диатомей. Управление и работа с базами осуществляются через веб-приложение. Это обеспечивает хорошую масштабируемость и полную кроссплатформенность системы.

Результаты и обсуждение

Разработанная база данных озер Южного Урала LaDa хранит информацию о гидрохимии озер, результатах диатомового и силикатного анализов поверхностных слоев озерных отложений, содержании микроэлементов в воде и донных отложениях, а также морфометрические параметры озер и климатические характеристики мест отбора проб [15]. База данных спроектирована с возможностью масштабирования для будущего увеличения количества типов результатов анализов и исследований, что дает возможность не только надежно хранить результаты анализов, но и ускорить их обработку и математический анализ. LaDa создана с акцентом на масштабируемость с простым добавлением любых методов обработки результатов запросов. Проектирование схем данных с упором

на масштабирование дополнительно позволило упростить процесс работы с различными типами анализов и исследований, облегчить добавление новых типов данных и создать инструмент конструирования запросов на основе результатов комплексного анализа. Также это позволило сделать базу данных компактной, что положительно отражается на ее быстродействии. Кроме того, выдача результатов запросов в виде таблиц позволяет легко экспортировать эти результаты в сторонние программные пакеты, такие как, например, Statistica. Многовариантный поиск с конструктором запросов и визуализацией получаемых результатов на карте существенно экономит время на подборку результатов анализов для статистической обработки, а также позволяет эмпирически определять закономерности с их последующим статистико-математическим обоснованием. В целом LaDa существенно сократила время, требуемое на обработку результатов различных анализов и выявление закономерностей в седиментогенезе. В настоящее время в ней открыт доступ к конструктору запросов в базе данных (<http://paleolimnology.info/DB/construct.php>).

База данных — определитель диатомовых водорослей DiatomDB [16] представляет собой организованную по авторскому алгоритму совокупность собранных и систематизированных авторами данных, позволяющих идентифицировать вид диатомовой водоросли по набору наблюдаемых признаков, используя строгий и нестрогий поиск, и визуализировать полученную информацию для подтверждения точности определения. В отличие от дихотомических определителей, на каждом шаге уменьшающих пул потенциальных результатов вдвое, электронный диатомовый ключ, включенный в базу данных, использует принцип сита, просеивая все виды по заданному набору признаков за один шаг. База данных хранит характерный набор признаков для однозначной идентификации, а также фотографии диатомей, сделанные с помощью оптической и электронной микроскопии. В DiatomDB заложена неограниченная возможность масштабирования как по количеству видов, так и по количеству признаков, поэтому при последующем дополнительном внесении данных она может применяться для определения диатомей любого ареала обитания. Кроме диатомового ключа, важным отличием нашей базы данных от других электронных определителей диатомовых водорослей является наличие не только микрофотографий, но и подробной информации о распространении и экологии диатомей. Кроме того, в диатомовом ключе реализована возможность перехода в конструктор запросов базы данных LaDa, в котором можно изучить распространение и экологию вида на Южном и Среднем Урале, задав необходимые гидрохимические и морфометрические параметры и получив табличные и картографические данные. Благодаря ограничениям области определения данных, авторы смогли разработать схему данных с высоким быстродействием и сравнительно малым объемом, что благоприятно сказывается на работе DiatomDB. База данных имеет реляционную структуру. Для удобства работы с ней используется веб-приложение (<http://paleolimnology.info/DDB/start.php> или с сайта проекта РНФ <http://uralspaleolakes.info>, вкладка “DiatomDB”). В настоящее время DiatomDB продолжает заполняться новой информацией.

Заключение

Таким образом, на основе применения информационных технологий к совокупности данных гидрохимии озер, результатов диатомового и силикатного анализов поверхностных слоев озерных отложений, содержания микроэлементов в воде и донных отложениях, а также морфометрических параметров озер и климатических характеристик озер Урала созданы базы данных LaDa и DiatomDB, позволяющие работать с большим объемом аналитических данных и качественно идентифицировать диатомовые водоросли с получением подробной информации о распространении и экологии диатомовых водорослей. Созданные базы данных позволяют изменять и добавлять информацию.

Список источников

1. Разработка палеолимнологической базы данных PaleoOnego / В. А. Гурбич [и др.] // Палеолимнология северной Евразии. Опыт, методология, современное состояние. 2016. С. 171–174.
2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621709. База данных «Озёра Центральной Якутии» / Пестрякова Л. А., Ушницкая Л. А., Субетто Д. А., Жирков И. И. Оpubл. 10.12.2014.

3. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012621208. База данных SPBLAKES для озер Ленинградской области Российской Федерации / Рянжин С. В., Субетто Д. А., Кочков Н. В., Нестерова Л. А., Малоземова О. В. Оpubл. 23.11.2012.
4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621070. База палеолимонологических данных «PaleoLake» / Субетто Д. А., Сырых Л. С. Оpubл. 31.07.14.
5. Pienitz R., Cournoyer L. Circumpolar Diatom Database (CDD): a new database for use in paleolimnology and limnology // *Journal of Paleolimnology*. 2017. № 57. P. 213–219. <https://doi.org/10.1007/s10933-016-9932-0>.
6. The Neotoma Paleocology Database, a multiproxy, international, community-curated data resource / J. W. Williams [et al.] // *Quaternary Research*. 2018. V. 89. P. 156–177. <https://doi.org/10.1017/qua.2017.105>.
7. Freshwater Diatom Flora of Britain and Ireland / I. Jüttner [et al.] // *Amgueddfa Cymru. National Museum Wales*, 2023. URL: <https://naturalhistory.museumwales.ac.uk/diatoms>.
8. Charles N. Oamaru diatoms. 2018. URL: <https://www.oamarudiatoms.co.uk/index.html>.
9. Lecointe C., Coste M., Prygiel J. Omnidia: software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management // *Hydrobiologia*. 1993. V. 269, № 270. P. 509–513. URL: <https://omnidia.fr/presentation/>.
10. Schmidt-Kloiber A., Hering D. www.freshwaterecology.info — an online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences // *Ecological Indicators*. 2015. № 53. P. 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.007>.
11. Diatoms.org: supporting taxonomists, connecting communities / S. A. Spaulding [et al.] // *Diatom Research*. 2021. V 36, № 4. P. 291–304. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2021.2006790>.
12. Maslennikova A. V. Southern and Middle Urals lakes diatom abundance and hydrochemistry. PANGAEA. 2019. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.904675>.
13. Определитель диатомовых водорослей России / М. С. Куликовский [и др.]. Ярославль: Филигрань, 2016. 803 с.
14. Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment. English edition with updated taxonomy and added species / H. Lange-Bertalot [et al.]. Schmittner-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books, 2017. 942 с.
15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621834. Комплексная база данных озер Урала (LaDa) / Масленникова А. В., Гулаков В. О. Оpubл. 19.11.2018. URL: <http://paleolimnology.info/DB/lada.php>.
16. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620230. База данных определитель диатомей «DiatomDB»/Diatoms database-key «DiatomDB» / В. О. Гулаков, А. В. Масленникова, Н. А. Исакова. Оpubл 16.01.2023. URL: http://paleolimnology.info/DDB/show_all.php.

References

1. Gurbich V. A. et al. Razrabotka paleolimnologicheskoy bazy dannyh PaleoOnego [Development of paleolimnological database PaleoOnego]. *Paleolimnologiya severnoj Evrazii. Opyt, metodologiya, sovremennoe sostoyanie*, 2016, pp. 171–174. (In Russ.).
2. Certificate of state registration of the database No. 2014621709. Baza dannyh “Ozyora Central'noj Yakutii” [Database "Lakes of Central Yakutia"]. Pestryakova L. A., Ushnickaya L. A., Subetto D. A., Zhirkov I. I. Published 10.12.2014.
3. Certificate of state registration of the database No. 2012621208. Baza dannyh SPBLAKES dlya ozer Leningradskoj oblasti Rossijskoj Federacii [SPBLAKES database for lakes of the Leningrad region of the Russian Federation]. Ryzanzhin S. V., Subetto D. A., Kochkov N. V., Nesterova L. A., Malozemova O. V. Published 23.11.2012.
4. Certificate of state registration of the database No. 2014621070. Baza paleolimnologicheskikh dannyh “PaleoLake” [Paleolimnological data base "PaleoLake"]. Subetto D. A., Syryh L. S. Published 31.07.14.
5. Pienitz R., Cournoyer L. Circumpolar Diatom Database (CDD): a new database for use in paleolimnology and limnology. *Journal of Paleolimnology*, 2017, no. 57, pp. 213–219. <https://doi.org/10.1007/s10933-016-9932-0>.

6. Williams J. W. et al. The Neotoma Paleocology Database, a multiproxy, international, community-curated data resource. *Quaternary Research*, 2018, V. 89, pp. 156–177. <https://doi.org/10.1017/qua.2017.105>.
7. Jüttner I. et al. Freshwater Diatom Flora of Britain and Ireland. *Amgueddfa Cymru. National Museum Wales*, 2023. Available at: <https://naturalhistory.museumwales.ac.uk/diatoms>.
8. Charles N. Oamaru diatoms. 2018. Available at: <https://www.oamarudiatoms.co.uk/index.html>
9. Lecointe C., Coste M., Prygiel J. Omnidia: software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia*, 1993, vol. 269, no. 270, pp. 509–513. Available at: <https://omnidia.fr/presentation/>.
10. Schmidt-Kloiber A., Hering D. www.freshwaterecology.info — an online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences. *Ecological Indicators*, 2015, no. 53, pp. 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.007>.
11. Spaulding S. A. et al. Diatoms.org: supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Research*, 2021, V 36, no. 4, pp. 291–304. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2021.2006790>.
12. Maslennikova A. V. Southern and Middle Urals lakes diatom abundance and hydrochemistry. PANGAEA. 2019. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.904675>.
13. Kulikovskij M. S. et al. *Opredelitel' diatomovyh vodoroslej Rossii* [Identification book of diatoms from Russia]. Yaroslavl', Filigran', 2016, 803 p. (In Russ.).
14. H. Lange-Bertalot et al. *Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment. English edition with updated taxonomy and added species*. Schmitten-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books, 2017, 942 p.
15. Certificate of state registration of the database No. 2018621834. Kompleksnaya baza dannyh ozer Urala (Lada) [Integrated database of Ural Lakes (Lada)]. Maslennikova A. V., Gulakov V. O. Published 19.11.2018. Available at: <http://paleolimnology.info/DB/lada.php>.
16. Certificate of state registration of the database No. 2023620230. Baza dannyh opredelitel' diatomej “DiatomDB”/Diatoms database-key “DiatomDB”. V. O. Gulakov, A. V. Maslennikova, N. A. Isakova. Published 16.01.2023. Available at: http://paleolimnology.info/DDB/show_all.php.

Информация об авторах

В. О. Гулаков — инженер;

А. В. Масленникова — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник.

Information about the authors

V. O. Gulakov — engineer;

A. V. Maslennikova — PhD (Geology), Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 556
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.003

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ НАКАНУНЕ ОСОЛОНЕНИЯ УСТЬЕВОГО УЧАСТКА РЕКИ ПРЕГОЛИ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА)

Надежда Вадимовна Двоеглазова¹, Борис Валентинович Чубаренко²

^{1,2}*Институт океанологии имени П. П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия*

¹*Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Калининград, Россия*

¹*nadya2eyes@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3864-8086>*

²*chuboris@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7988-1717>*

Аннотация

По результатам натурных измерений весной 2023 г. зафиксировано вторжение вод из приемного водоема (Калининградского залива) на 7,5 км вглубь устьевого участка реки Преголи (г. Калининград). Выявлено наличие двух ярко выраженных фронтальных разделов (первый — между морскими и заливными водами, второй — между солоноватыми водами Калининградского морского канала и пресными водами реки Преголи), а также зоны смешения с соленостью 4–5 psu длиной 20–25 км между ними. Отмечено, что придонная граница речного фронтального раздела находится существенно «глубже» в эстуарии реки Преголи, чем это наблюдалось на рубеже 2000-х гг. Зоны смешения в пределах Калининградского морского канала и Калининградского залива независимы, так как разделены цепочкой островов и являются разными гидрологическими объектами.

Ключевые слова:

интрузии солоноватых вод, эстуарий, натурные данные, соленость, температура, река Преголя, Калининградский залив, Юго-Восточная Балтика

Благодарности:

авторы благодарны научному сотруднику лаборатории прибрежных систем АО ИО РАН, кандидату географических наук А. В. Килесо за помощь в проведении натурных наблюдений.

Финансирование:

сбор натурных данных и их анализ выполнялись за счет государственного задания ИО РАН, темы № FMWE-2021-0012 и № FMWE-2024-0025 соответственно.

Для цитирования:

Двоеглазова Н. В., Чубаренко Б. В. Гидрологическая ситуация накануне осолонения устьевого участка реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 21–26. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.003.

Original article

HYDROLOGICAL SITUATION ON THE EVE OF SALINIZATION OF THE MOUTH SECTION OF THE PREGOLYA RIVER (SOUTH-EAST BALTIC)

Nadezhda V. Dvoeglazova¹, Boris V. Chubarenko²

^{1,2}*Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia*

¹*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

¹*nadya2eyes@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3864-8086>*

²*chuboris@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7988-1717>*

Abstract

Based on the results of field measurements in the spring of 2023, the water intrusion from the receiving reservoir (Vistula Lagoon) 7.5 km deep into the mouth section of the Pregolya River (Kaliningrad) was recorded. The presence of two sharp frontal zones was revealed (the first one is between the marine and lagoon waters, the second one is between the brackish waters of the Kaliningrad Sea Canal and the fresh waters of the Pregolya River), as well as a mixing zone (salinity of 4–5 psu) 20–25 km long between them. It is noted that the near-bottom boundary of the river frontal zone is significantly “deeper” in the estuary of the Pregolya River than it was observed at the turn of the 2000s. The mixing zones within the Kaliningrad Sea Canal and the Vistula Lagoon are independent, because they are separated by a chain of islands, and the lagoon and canal are different hydrological objects.

Keywords:

brackish water intrusions, estuary, natural data, salinity, temperature, Pregolya River, Vistula Lagoon, South-East Baltic

Acknowledgements:

the authors are grateful to their colleague researcher of the Laboratory for Coastal Systems Study AB IORAS PhD (Geo. Sci.) Alexander Kileso for the assistance in the field observations.

Funding:

the data collection and interpretation of field data were carried out at the expense of the state assignment of the IO RAS (themes No. FMWE-2021-0012 and No. FMWE-2024-0025 respectively).

For citation:

Dvoeglazova N. V., Chubarenko B. V. Hydrological situation on the eve of salinization of the mouth section of the Pregolya River (South-East Baltic). *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 21–26. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.003.

Согласно закономерностям сезонных изменений гидрологической структуры в устьевой области реки Преголи, в том числе на ее эстуарном участке [1; 2], включающем Калининградский морской канал (станции 11–21, рис. 1), весной внутренняя (пресноводная) граница фронтального раздела обычно располагается между г. Светлым и пос. Взморье (ст. 15–19, см. рис. 1), после чего в течение годового цикла (до зимнего сезона) происходит вторжение солоноватых вод вверх по каналу и реке (вплоть до ст. 27, см. рис. 1).

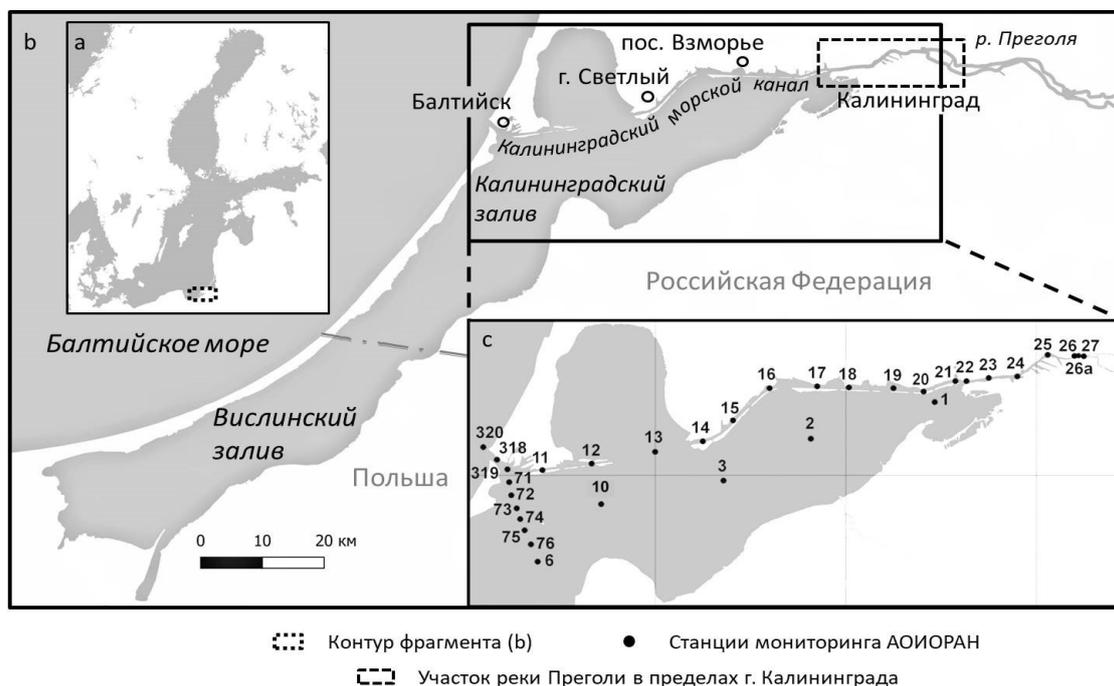


Рис. 1. Схема станций мониторинга АО ИОРАН¹ в Калининградском морском канале, Калининградском заливе и устьевом участке реки Преголи

В качестве начала годового цикла наблюдений с целью оценки современного состояния пространственно-временной динамики гидрологических характеристик (солёности и температуры, с учетом вертикальной и горизонтальной стратификации) на устьевом взморье (Калининградский морской канал и Калининградский залив) и устьевом участке реки Преголи (выше ст. 22) были проведены детальные гидрологические съемки (вертикальные STD-зондирования, 5 апреля 2023 г.) и выполнено сравнение с ранее полученными результатами.

Непрерывные вертикальные профили измерений температуры и солёности в точках мониторинга (см. рис. 1) были получены при выполнении STD-зондирований с борта маломерного плавсредства (резиновой моторной лодки) прибором Idronaut Ocean Seven 316 Plus Multiparameter Probe.

По результатам натурных измерений весны 2023 г. зафиксированы две зоны смешения между морскими и речными водами — в Калининградском морском канале и в Калининградском заливе.

¹ Атлантическое отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук.

В день проведения работ воды залива вытекали в море в поверхностном горизонте, и фронтальный раздел между морскими водами и водами залива (и канала) был явно выражен в промежуточных слоях с глубинами 2,5–11 м (ст. 320–319, рис. 2, 4). Контакт между морскими водами и водами залива осуществлялся. Воды залива, стекая в, попадали в море, имея типичную для припроливной части залива соленость (чуть более 4,5 psu). Морская вода с соленостью более 6 psu была перекрыта вытекающим потоком и не проникала в залив. Эта зона смешения морских и заливных вод обычно расположена на переходном участке между искусственно углубленным фарватером в Калининградском морском канале и более мелким Калининградским заливом. Существенная разница глубин (см. рис. 2) является препятствием для свободного проникновения более плотной морской воды в залив. Такие проникновения происходят во время подъема уровня вод моря различного генезиса [3; 4], но в момент проведения съемки реализовывалась обратная ситуация — происходил сток заливных вод в море.

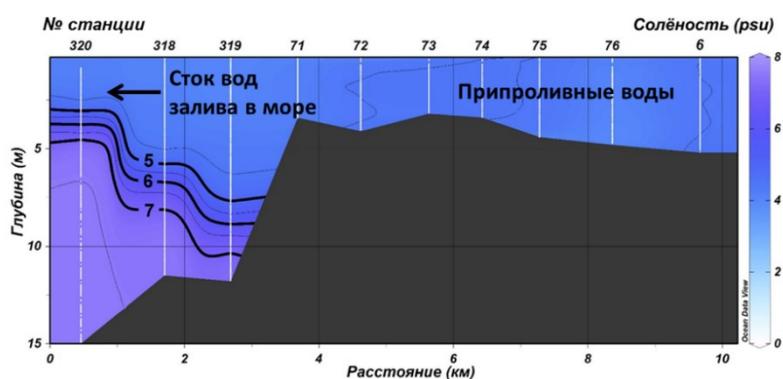


Рис. 2. Вертикальные разрезы в поле солености в районе, примыкающем к выходу из Калининградского залива в море (по данным измерений 5 апреля 2023 г.)

Зона смешения в пределах Калининградского залива (рис 3) характеризовалась фактически отсутствием вертикальных градиентов и слабыми горизонтальными градиентами. Большую ее часть занимали воды с соленостью, близкой к 3 psu (2,5–3,6 psu), которые образовывали ядро заливных вод, обрамленных с обеих сторон зонами повышенных градиентов. Одна из этих зон (горизонтальные градиенты порядка 1 psu/км) — это зона смешения ядра заливных вод с водами припроливной части залива, имеющими соленость более 4 psu. Вторая зона повышенных градиентов (горизонтальные градиенты порядка 0,7 psu/км) — зона смешения между ядром заливных вод и речными водами (см. рис. 3). Распресненная речным стоком вода не проникала далеко вглубь залива (на станции 2 значения солености по всей глубине составили около 3,6 psu).

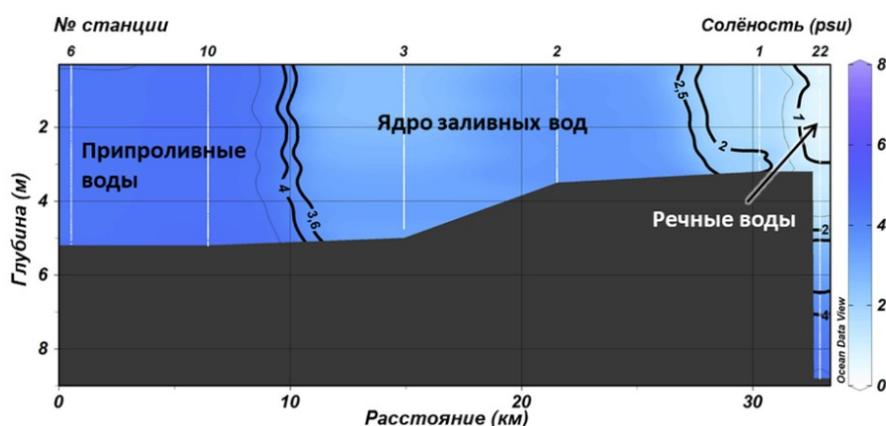


Рис. 3. Вертикальные разрезы в поле солености в Калининградском заливе (включена ст. 22, принадлежащая устьевому участку реки Преголи) по данным измерений 5 апреля 2023 г.

В зоне смешения, находящейся в пределах Калининградского морского канала, было выявлено наличие двух ярко выраженных фронтальных разделов (рис. 4). Первый из них (контакт морских вод и вод, наполняющих канал) был локализован на начальном участке канала (ст. 318–320). Второй был расположен в районе смешения вод Калининградского морского канала и пресных речных (ст. 16–26). Он имел ярко выраженную веерную структуру: сужение у дна и расширение у поверхности. Изменение солёности на 4 psu происходило в пределах 2 км у дна и 12 км (ст. 16–21) у поверхности. Величины горизонтальных градиентов (2 psu/км у дна и 0,3 psu/км у поверхности) были больше, чем типичные значения для весеннего сезона (0,2 psu на 1 км согласно [1]). Максимальные величины вертикальных градиентов у дна (1,5 psu/м на станции 26 или 2,46 psu за 1,6 м) были в 5 раз больше, чем максимальные вертикальные градиенты у поверхности (0,3 psu/м в верхних 5 м на станции 17, т. е. перепад на 1,7 psu на толще воды в 5,2 м).

Изотермы повторяют структуру солёности на первом фронтальном разделе (4,2–4,6 °C на ст. 320–319), а изотермы 5,4–5,8 °C — на втором (ст. 16–26). Максимальные значения температуры 5,8–6,0 °C были в районе ст. 24. Аналогичная структура прослеживалась и в структуре распределения мутности: 3–9 NTU на ст. 320–319 и 8–27 NTU на ст. 16–26.

Зафиксированное вторжение солоноватых вод в придонном слое (см. рис. 4) на 7,5 км вглубь устьевого участка реки Преголи (до верхней границы портовых акваторий, между ст. 26–26а) было более глубоким, чем могло бы ожидаться по данным 1990-х гг. [1]. Его внутренняя граница (пресноводная граница зоны смешения вод канала и реки) располагалась дальше в сторону реки Преголи (ст. 21–26), чем фиксировалось ранее (между ст. 15–18). Это может быть связано с отсутствием активного снеготаяния после зимы этого (2023) года и, как следствие, со слабым сдерживанием затоковых вод речным потоком. В свою очередь, это может быть проявлением общей закономерности потепления климата [5].

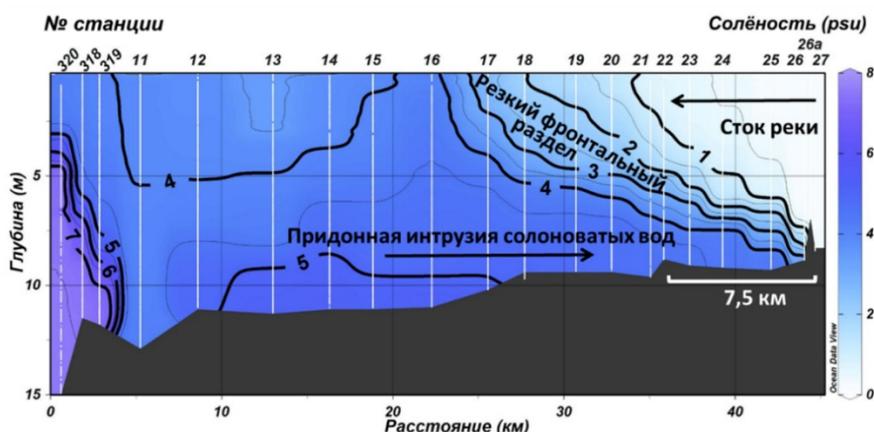


Рис. 4. Вертикальные разрезы в поле солёности в Калининградском морском канале и устьевом участке реки Преголи по данным измерений 5 апреля 2023 г.

Две зоны смешения между морскими и речными водами, в Калининградском морском канале и Калининградском заливе, существуют параллельно и имеют разные характеристики на сравнимых глубинах (до 3 м). Это обеспечивается барьерным разделением этих акваторий островами защитной дамбы (представлены на рис. 1, с). Проникновение вод сквозь проходы между островами возможны в основном при южных или северных ветрах, но объемы водообмена незначительны.

Выводы

По результатам натурных измерений весной 2023 г. зафиксированы две зоны смешения между морскими и речными водами — в Калининградском морском канале и в Калининградском заливе.

В пределах зоны смешения, находящейся в Калининградском морском канале, зафиксировано вторжение природной интрузии солоноватых вод (Калининградского залива) на 7,5 км вглубь устьевого участка реки Преголи (г. Калининград). Выявлено наличие двух ярко выраженных фронтальных

разделов (первый — между морскими и заливными водами, второй — между солоноватыми водами Калининградского морского канала и пресными водами реки Преголи), а также области смешения с соленостью 4–5 psu длиной 20–25 км между ними. Отмечено, что граница речного фронтального раздела находится существенно «глубже» в эстуарии реки Преголи, чем это наблюдалось на рубеже 2000-х гг.

Анализ гидрологических данных в Калининградском заливе (ст. 1–10) показал отсутствие эффективного взаимодействия его вод с водами Калининградского морского канала, т. е. проходы между разделяющими их островами защитной дамбы являются слабопроницаемой границей даже при воздействии ветра благоприятных (южных и северных) румбов. Таким образом, еще раз показано [2], что Калининградский морской канал и Калининградский залив, независимо от того что они разделены всего лишь цепочкой островов, являются разными гидрологическими объектами.

Список источников

1. Чубаренко Б. В., Шкуренок В. И. Особенности гидрологической структуры вод в эстуарии реки Преголи и в точке стоянки НИС «Витязь» // Экологические проблемы Калининградской области и Юго-Восточной Балтики. Калининград. КГУ. 1999. С. 41–47.
2. Chubarenko B., Domnin D., Navrotskaya S., Stont Zh., Chechko V., Bobykina V., Pilipchuk V., Karmanov K., Domnina A., Bukanova T., Topchaya V., Kileso A. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea (Chapter 6). [In] R. Kosyan (ed.) The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World. Springer. Switzerland, 2017. pp. 149–191. doi:10.1007/978-3-319-43392-9_6.
3. Железова Е. В., Чубаренко Б. В. Гидрологические условия в Калининградском / Вислинском заливе Балтийского моря при наличии стационарной припроливной полыньи в 2021 г. // Океанологические исследования. 2022. Т. 50, № 2. С. 56–71. doi:10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).3.
4. Chubarenko B. V., Zakirov R. B. Water Exchange of Nontidal Estuarine Coastal Vistula Lagoon with the Baltic Sea. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. 2021, Vol. 147, No 4, pp. 05021005.
5. Стонт Ж. И., Навроцкая С. Е., Чубаренко Б. В. Многолетние тенденции изменчивости гидрометеорологических характеристик в Калининградском регионе // Океанологические исследования. 2020. Т. 48, № 1. С. 45–61. doi:10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(1).3.

References

1. Chubarenko B. V., Shkurenko V. I. Osobennosti gidrologicheskoy struktury vod v estuarii reki Pregoli i v tochke stojanki NIS “Vityaz” [Features of the hydrological structure of waters in the estuary of the Pregol River and at the anchorage point of the R/V Vityaz]. *Ekologicheskie problemy Kaliningradskoj oblasti i Jugo-Vostochnoj Baltiki* [Ecological problems of the Kaliningrad region and the South-East Baltic]. Kaliningrad, KGU, 1999, pp. 41–47. (In Russ.).
2. Chubarenko B., Domnin D., Navrotskaya S., Stont Zh., Chechko V., Bobykina V., Pilipchuk V., Karmanov K., Domnina A., Bukanova T., Topchaya V., Kileso A. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea (Chapter 6). [In] R. Kosyan (ed.) The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World. Springer. Switzerland, 2017, pp. 149–191. doi:10.1007/978-3-319-43392-9_6.
3. Zhelezova E. V., Chubarenko B. V. Gidrologicheskie uslovija v Kaliningradskom / Vislinskom zalive Baltijskogo morja pri nalichii stacionarnoj priprolivnoj polyn'i v 2021 g. [Hydrological conditions in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea in the presence of a stationary strait polynya in 2021]. *Okeanologicheskie issledovanija* [Journal of Oceanological Research], 2022, Vol. 50, No 2, pp. 56–71. doi:10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).3. (In Russ.).
4. Chubarenko B. V., Zakirov R. B. Water Exchange of Nontidal Estuarine Coastal Vistula Lagoon with the Baltic Sea. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 2021, Vol. 147, No 4, pp. 05021005.
5. Stont Z. I., Navrotskaya S. E., Chubarenko B. V. Mnogoletnie tendencii izmenchivosti gidrometeorologicheskikh harakteristik v Kaliningradskom regione [Long-term tendencies in variations of hydro-meteorological characteristics in Kaliningrad Oblast]. *Okeanologicheskie issledovanija* [Journal of Oceanological Research], 2020, Vol. 48, No 1, pp. 45–61. doi:10.29006/1564-2291.JOR-2020.48(1).3. (In Russ.).

Информация об авторах

Н. В. Двоеглазова — аспирант; старший лаборант;

Б. В. Чубаренко — кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией.

Information about the authors

N. V. Dvodeglazova — PhD student, assistant;

B. V. Chubarenko — PhD (Phys. and Math. Sci.), Head of Laboratory.

Статья поступила в редакцию 27.08.2023; одобрена после рецензирования 20.12.2023; принята к публикации 21.12.2023.
The article was submitted 27.08.2023; approved after reviewing 20.12.2023; accepted for publication 21.12.2023.

Научная статья
УДК 574.34/52
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.004

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕР СИСЯЯРВИ И ЛЕЩЕВОЕ В 2020–2021 гг. (ВАЛААМСКИЙ АРХИПЕЛАГ, ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО)

Александр Николаевич Чернышев

*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия,
chernyshev.alexander2015@yandex.ru*

Аннотация

Проанализированы видовой состав и ряд структурно-функциональных показателей зоопланктона озер Сисяярви и Лещевое (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро) в 2020–2021 гг. Выявлено различие в структуре доминантного комплекса зоопланктона водоемов, несмотря на их близкое расположение и связь за счет системы проток. В отличие от оз. Сисяярви, в оз. Лещевое отмечена большая изменчивость показателей численности и биомассы и невысокая индивидуальная масса зоопланктона. Дана сравнительная оценка трофического статуса исследуемых озер.

Ключевые слова:

зоопланктон, структурно-функциональные характеристики, малые озера, Валаамский архипелаг

Благодарности:

автор выражает признательность Е. Ю. Воякиной, П. А. Тальянову, А. К. Котовой. за помощь в проведении исследования и отборе проб.

Для цитирования:

Чернышев А. Н. Сравнительная характеристика зоопланктона озер Сисяярви и Лещевое в 2020–2021 гг. (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро) // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 27–33. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.004.

Original article

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF ZOOPLANKTON IN SISYARVI AND LESCHOVOYE LAKES IN 2020–2021 (VALAAM ARCHIPELAGO, LADOGA LAKE)

Alexander N. Chernyshev

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia, chernyshev.alexander2015@yandex.ru

Abstract

Taxonomic composition, some structural and functional zooplankton characteristics of Lake Sisyarvi and Lake Leschovoye were analysed for the period of 2020–2021. In spite of close location of the lakes and their connection through the channels system differences in dominant species were discovered. In contrast to Lake Sisyarvi great variability in the zooplankton abundance and biomass in Lake Leschovoye was recorded as well as low values of the zooplankton individual mass. Comparative evaluation of the lakes trophic status was given.

Keywords:

zooplankton, structural and functional characteristics, small lakes, Valaam Archipelago

Acknowledgments:

the author is grateful to E. Yu. Voyakina, P. A. Tal'yanov, A. K. Kotova for assistance in research and sampling.

For citation:

Chernyshev A. N. Comparative characteristics of zooplankton in Sisyarvi and Leschovoye lakes in 2020–2021 (Valaam Archipelago, Ladoga Lake). *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 27–33. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.004.

Введение

Зоопланктон является неотъемлемым компонентом водных экосистем, принимающим активное участие в транзите вещества и энергии, а также в самоочищении водоемов. За счет восприимчивости отдельных компонентов сообщества к изменению условий среды обитания его характеристики активно

используются при оценке состояния водных объектов, особенно трофического статуса [1–4]. Знание последнего, наряду с пониманием скорости процессов эвтрофирования, крайне важно для водоемов, подверженных антропогенному воздействию.

В последние годы на территории Валаамского архипелага активно ведется хозяйственная деятельность, связанная, в частности, с функционированием фермы Спасо-Преображенского Валаамского монастыря (30–60 голов рогатого скота, до 100 голов куриц) [5]. Наиболее сильному антропогенному воздействию подвергаются озера Сисяярви и Лещевое. В связи с этим возникает необходимость сопоставления характеристик зоопланктона этих озер, а также оценки их трофического статуса.

Цель — дать сравнительную характеристику зоопланктона озер Сисяярви и Лещевое в период 2020–2021 гг.

Задачи: сопоставить таксономическую структуру двух озер; дать сравнительную оценку показателей численности (N), биомассы (B), ряда структурных показателей — индивидуальной массы зоопланктона (ω), соотношений N_{Clad}/N_{Cop} и B_{Cycl}/B_{Cal} ; оценить сезонную изменчивость структурных показателей зоопланктона.

Объекты и методы

Валаамский архипелаг расположен в северной части Ладожского озера и по площади занимает 36 км^2 [6]. На территории крупнейшего острова — Валаам — расположено 11 малых озер, различающихся как по площади, так и по гидрохимическим параметрам [7].

Озеро Сисяярви является самым большим по площади водоемом архипелага, занимает площадь $0,81 \text{ км}^2$ и расположено в северо-западной части о. Валаам. Из-за ледниково-тектонического происхождения оно имеет сложную удлинненно-вытянутую форму с лопастным расчленением. Средняя глубина озера — 7 м, максимальная — до 19 м. В летние месяцы наблюдается устойчивая температурная стратификация — выраженный металимнион отмечается на глубине 3–5 м. По гидрохимическим характеристикам [8], в соответствии с классификацией С. П. Китаева [9], водоем может быть отнесен к нейтрально-олигощелочным олиго-мезогумозным.

Озеро Лещевое, по площади занимающее $0,24 \text{ км}^2$, расположено в юго-западной части о. Валаам. Средняя глубина водоема 3 м, максимальная — до 7 м. Из-за относительно небольших средних глубин летом водоем прогревается по всей толще, и только в зоне с глубинами более 5 м ($0,35 \%$ от общей площади) наблюдается устойчивая температурная стратификация [10]. Водоем относится к нейтральным мезополигумозным [7].

Оба озера за счет системы проток связаны с Ладожским озером и друг с другом. В годы с высоким уровнем воды площадь водоемов может существенно увеличиваться. Так, в 2018 г. было зафиксировано увеличение площади оз. Лещевое в 1,5 раза [10]. Также в отдельные периоды, как это было в 2003 г. и в 2010 г., протоки могут пересыхать, что приводит к изоляции озер.

Как было отмечено выше, водоемы подвержены антропогенному воздействию, связанному с сельскохозяйственной деятельностью. В частности, в оз. Сисяярви поступают сточные воды монастырской фермы. Это приводит к тому, что в водоеме отмечаются повышенные концентрации аммонийного азота и соединений фосфора [11–13]. В свою очередь, на водосборе оз. Лещевое с 2015 г. для выращивания кормовых культур регулярно распахиваются луга [14]. Это приводит к тому, что в северо-восточном заливе, наиболее близко расположенном к распахиваемым территориям, отмечаются максимальные для озера значения перманганатной окисляемости и цветности [10].

В работе использованы данные мониторинговых наблюдений, проводимых на базе Учебно-научной станции Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ) на о. Валаам. В рамках исследуемого периода с 2020 г. по 2021 г. было обработано 19 проб зоопланктона. На оз. Сисяярви было отобрано 11 проб на двух станциях — в Московском и Скитском заливах, на оз. Лещевое — 8 проб на одной станции в северо-восточном заливе (рис. 1).

Отбор проб осуществлялся средней количественной сетью Джели (размер ячеек 108 мкм) ежемесячно с июня по август/сентябрь. Камеральная обработка выполнена с использованием общепринятых методов гидробиологического анализа [15]. Для получения показателя биомассы зоопланктона применялся расчетный метод с применением весовых коэффициентов [16].



Рис. 1. Расположение станций отбора проб и источников антропогенного воздействия на исследуемые озера

Результаты и обсуждение

В зоопланктоне оз. Сисяярви за исследуемый период отмечено 19 видов сетяного зоопланктона (9 — Copepoda, 9 — Cladocera, 1 — Rotifera (р. *Asplanchna*)), в зоопланктоне оз. Лещевое — 20 видов (6 — Copepoda, 13 — Cladocera, 1 — Rotifera (р. *Asplanchna*)). Нужно отметить, что в озере Сисяярви присутствовал гляциально-морской реликтовый вид *Limnocalanus macrurus* G. O. Sars, 1863 [17]. В оз. Лещевое он отмечен не был.

Доминантный комплекс обоих водоемов представлен тремя видами: *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863), *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888), *Daphnia cristata* Sars, 1862. Несмотря на подобное сходство и связь между водоемами, в оз. Сисяярви наибольшим обилием отличался *E. graciloides* (42 % от численности) — фильтратор, представитель тепловодного комплекса [18–20]. В оз. Лещевое, в свою очередь, доминировал хищник холодноводного комплекса *T. oithonoides* [21], доля которого в общей численности в среднем составляла 34 %.

Из двух исследуемых озер наибольшая изменчивость численности и биомассы была характерна для Лещевого озера — экстремальные значения различались на порядок, а диапазоны составили 2,8–32,3 экз/дм³ и 0,03–1,12 мг/дм³ соответственно. В оз. Сисяярви максимальные и минимальные значения N и B отличались не столь сильно, варьируя в пределах 1,6–12,4 экз/дм³ и 0,05–0,41 мг/дм³ соответственно (рис. 2).

Относительно высокий разброс значений численности и биомассы зоопланктона оз. Лещевое может быть связан с некоторой степенью непостоянства условий обитания. Так, при более благоприятных условиях и при более высоких концентрациях биогенных элементов, источником которых выступает сток с мелиорируемых лугов, зоопланктон активно развивается [22; 23]. Именно это, вероятно, и наблюдалось в 2020 г., когда численность не опускались ниже 16 экз/дм³.

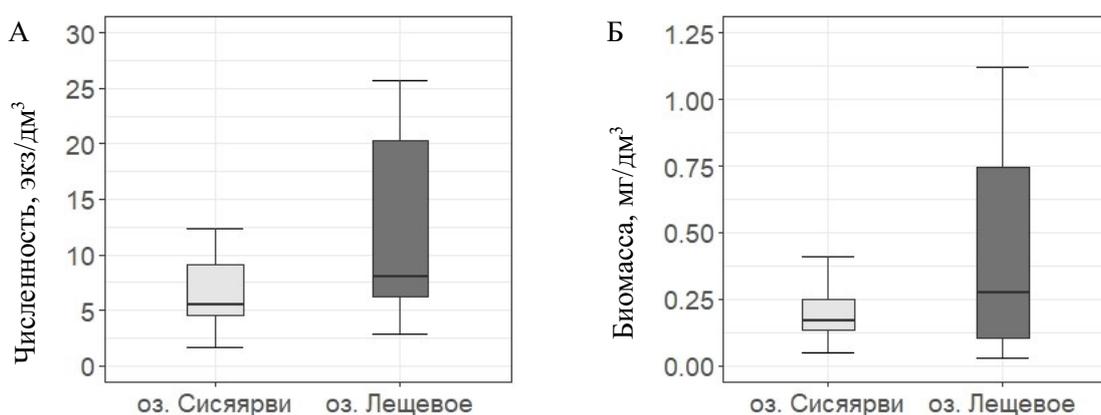


Рис. 2. Диапазоны значений численности (А) и биомассы (Б) зоопланктона в озерах Сисяярви и Лещевое в 2020–2021 гг.

Для структурных показателей зоопланктона обоих водоемов за исследуемый период отмечена высокая вариабельность ($C_v > 20\%$), что усложняет оценку трофического статуса исследуемых озер. Однако нужно отметить, что в оз. Лещевое встречались более мелкие особи зоопланктона, чем в оз. Сисяярви — медианная величина показателя ω для двух водоемов составила 0,017 и 0,033 мг соответственно. Для оз. Лещевое также отмечена более высокая биомасса *Cyclopoidea* относительно *Calanoida* — медианное значение $V_{Cycl}/V_{Cal} = 0,8$. В оз. Сисяярви эта величина была в 10 раз меньше, что свидетельствует о выраженном доминировании калянид по биомассе. По данным отдельных работ [1], вышеописанное может свидетельствовать о более высоком трофическом статусе оз. Лещевое по сравнению с оз. Сисяярви.

На примере 2020 г. была рассмотрена сезонная динамика биомассы в исследуемых водоемах (рис. 3).

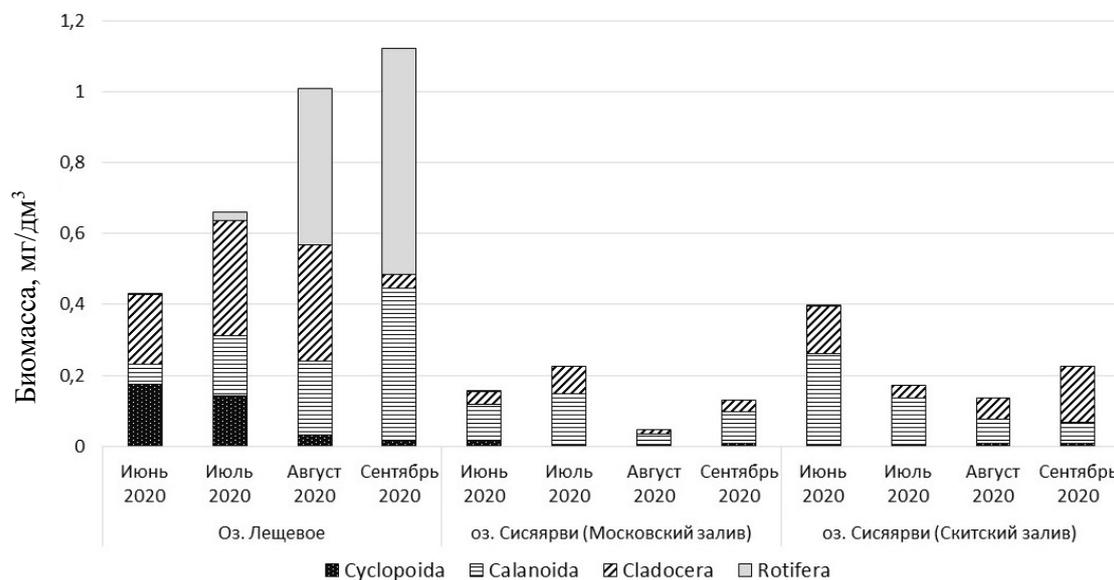


Рис. 3. Сезонная динамика биомассы озер Лещевое и Сисяярви в 2020 г.

Для оз. Лещевое в этот период было отмечено одновершинное распределение сезонной биомассы, что характерно для эвтрофных водоемов. В оз. Сисяярви на разных станциях наблюдалось двувершинное распределение, свойственное олиготрофным водоемам.

Заключение

Таким образом, на основе сопоставления характеристик зоопланктона можно предположить, что из двух исследуемых озер более высокий трофический статус был характерен для оз. Лещевое. Подобное может быть связано с особенностями морфометрических характеристик, в частности с площадью и глубиной водоемов, а также с различной степенью антропогенного воздействия. Также возможно, что в оз. Лещевое самоочищение идет медленнее, так как доля принимающих в нем участие организмов-фильтраторов в 2020–2021 гг. составила 50 %. Это почти в два раза ниже соответствующего показателя для оз. Сисьярви.

Тем не менее, объективная оценка трофического статуса озер требует проведения дополнительных исследований наряду с увеличением периода наблюдения. Для анализа причин, определяющих особенности развития видов доминантного комплекса, необходим анализ гидрохимических показателей.

Список источников

1. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
2. Ferdous Z., Muktadir A.K.M. A Review: Potentiality of Zooplankton as Bioindicator // *American Journal of Applied Sciences*. Vol. 6. P. 1815–1819.
3. Chen G., Dalton C., Taylor D. Cladocera as indicators of trophic state in Irish lakes // *Journal of Paleolimnology*. Vol. 44. P. 465–481. doi:10.1007/s10933-010-9428-2.
4. Haberman J., Laugaste R., Nõges T. The role of cladocerans reflecting the trophic status of two large and shallow Estonian lakes // *Hydrobiologia*. Vol 1. P. 157–166. doi: 10.1007/s10750-007-0592-y.
5. Внутренние озера, связанные с Ладогой / А. Б. Степанова [и др.] // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. М.: Российская акад. наук, 2021. С. 471–477.
6. Ладожское озеро — прошлое, настоящее, будущее / под ред. В. А. Румянцева, В. Г. Дробковой. СПб.: Наука, 2002. 327 с.
7. Степанова А. Б., Шарафутдинова Г. Ф., Воякина Е. Ю. Гидрохимические особенности малых озер о. Валаам // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. № 12. С. 97–109.
8. Воякина Е. Ю. Фитопланктон внутренних водоемов Валаамского архипелага и прилегающей акватории Ладожского озера: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2007. 23 с.
9. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
10. Особенности лимнологических параметров системы «Лещевое озеро — Лещевый залив» в период максимального прогрева воды (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро) / А. Н. Чернышев [и др.] // Гидрометеорология и экология. № 61. С. 460–479. doi: 10.33933/2074-2762-2020-61-460-479.
11. Панова Н. В., Воякина Е. Ю. Влияние монастырской фермы на динамику лимнологических параметров озера Сисьярви (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро) // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докладов: XXVII Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы). Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2020. С. 58–61.
12. Панова Н. В., Воякина Е. Ю. Сравнение лимнологических параметров оз. Сисьярви в точках антропогенного воздействия и свободных от него (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро) // Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. СПб.: РГГМУ, 2020. С. 774–776.
13. Ерышева С. П., Воякина Е. Ю. Пространственно-временная динамика ряда лимнологических параметров оз. Сисьярви (Валаамский архипелаг) // Метеорологический вестник. № 2. С. 74–78.
14. Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние / под ред. А. Б. Степановой. СПб.: РГГМУ, 2016. 44 с.
15. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
16. Кононова О. Н., Фефилова Е. Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик зоопланктона Европейского Севера России. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 152 с.

17. Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т. Жизненный цикл рачка *Limnocalanus macrurus* Sars 1863 (Copepoda, Calaniformes, Centropagidae) в Онежском озере // Зоологический журнал. № 1. С. 3–13. doi:10.31857/S0044513421110064.
18. Зоопланктон Онежского озера / И. И. Николаев [и др.]; под ред. С. В. Калесника. Л.: Наука, Ленингр. отделение, 1972. 327 с.
19. Монаков А. В. Питание пресноводных беспозвоночных. М.: Тип. Россельхозакадемии, 1998. 322 с.
20. Рогозин А. Г., Снитько Л. В., Тимошкин О. А. Термоиндикаторные свойства видов зоопланктона и их измерение // Водные ресурсы. № 1. С. 85–91. doi:10.7868/S0321059615010125.
21. Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т. Жизненный цикл рачка *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) в Онежском озере // Принципы экологии. № 3. С. 144–154.
22. Zooplankton and fish communities in Finnish lakes of different trophic status: responses to eutrophication / M. Rask [et al.] // SIL Proceedings, 1922–2010. Vol. 1. P. 396–401. doi:10.1080/03680770.2001.11902612.
23. Кулаков Д. В. Сезонные и межгодовые изменения зоопланктона реки Неман // Принципы экологии. № 2. С. 87–102. doi:10.15393/j1.art.2018.7582.

References

1. Andronikova I. N. *Strukturno-funkcional'naya organizaciya zooplanktona ozernyh ekosistem raznyh troficheskikh tipov* [Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types]. Saint Petersburg, Nauka, 1996, 189 p. (In Russ.).
2. Ferdous Z., Muktadir A. K. M. A Review: Potentiality of Zooplankton as Bioindicator. *American Journal of Applied Sciences*, No. 6, pp. 1815–1819.
3. Chen G., Dalton C., Taylor D. Cladocera as indicators of trophic state in Irish lakes. *Journal of Paleolimnology*, No. 44, pp. 465–481. doi:10.1007/s10933-010-9428-2.
4. Haberman J., Laugaste R., Nõges T. The role of cladocerans reflecting the trophic status of two large and shallow Estonian lakes. *Hydrobiologia*, No. 1, pp. 157–166. doi:10.1007/s10750-007-0592-y.
5. Stepanova A. B., Voyakina E. Yu., Zueva N. V., Kulichenko A. Yu., Chernyshev A. N. Vnutrennie озера, svyazannye s Ladogoj [Inland lakes connected with Ladoga]. Moscow, Russian academy of science, 2021, ch. 11.2, pp. 471–477. (In Russ.).
6. Rumyansev V. A., Drabkova V. G. *Ladozhskoe ozero — proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Lake Ladoga — past, present, future]. Saint Petersburg, Nauka, 2002, 327 p. (In Russ.).
7. Stepanova A. B., Sharafutdinova G. F., Voyakina E. Yu. Gidrohimiicheskie osobennosti malyh ozer o. Valaam [Hydrochemical features of small lakes of Valaam island]. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University], No. 12, pp. 97–109. (In Russ.).
8. Voyakina E. Yu. *Fitoplankton vnutrennih vodoemov Valaamskogo arhipelaga i privileyushchej akvatorii Ladozhskogo ozera: avtoref. ... dis. rand. boil. nauk* [Phytoplankton of inland water bodies of the Valaam Archipelago and the adjacent water area of Lake Ladoga. PhD (Biology) dis. abstract]. Saint Petersburg, 2007, 23 p.
9. Kitaev S. P. *Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ihtiologov* [Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2007, 395 p. (In Russ.).
10. Chernyshev A. N., Sergeeva V. O., Kotova A. K., Nikitina S. N., Babin A. V., Voyakina E. Yu., Stepanova A. B. Osobennosti limnologicheskikh parametrov sistemy “Leshchevoe ozero — Leshchevyj zaliv” v period maksimal'nogo progrevva vody (Valaamskij arhipelag, Ladozhskoe ozero) [Limnological parameters features of “Lake Leschovoye Leschovy bay” system in maximum water heating period (Valaam archipelago, lake Ladoga)]. *Gidrometeorologiya i ekologiya* [Hydrometeorology and ecology], No. 61, pp. 460–479. doi:10.33933/2074-2762-2020-61-460-479. (In Russ.).
11. Panova N. V., Voyakina E. Yu. Vliyanie monastyrskoj fermy na dinamiku limnologicheskikh parametrov ozera Sis"yarvi (Valaamskij arhipelag, Ladozhskoe ozero) [Influence of the monastery farm on the dynamics of limnological parameters of Lake Sisyarvi (Valaam Archipelago, Lake Ladoga)]. *Aktual'nye problemy biologii i ekologii: materialy dokladov: XXVII Vserossiyskaya molodezhnaya nauchnaya konferenciya (s elementami nauchnoj shkoly)* [Actual problems of biology and ecology: materials of reports: XXVII All-Russian Youth Scientific Conference (with elements of a scientific school)]. Syktyvkar, Publ. IB FRC Komi SC UB RAS, 2020, pp. 58–61. (In Russ.).

12. Panova N. V., Voyakina E. Yu. Sravnenie limnologicheskikh parametrov oz.Sis"yarvi v tochkah antropogennogo vozdejstviya i svobodnyh ot nego (Valaamskij arhipelag, Ladozhskoe ozero) [Comparison of limnological parameters of Lake Sisyarvi at points of anthropogenic impact and those free from it (Valaam archipelago, Lake Ladoga)]. *Sbornik tezisov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Collection of abstracts of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Russian State Hydrometeorological University]. Saint Petersburg, Publ. RSHU, 2020, pp. 774–776. (In Russ.).
13. Erysheva S. P., Voyakina E. Yu. Prostranstvenno-vremennaya dinamika ryada limnologicheskikh parametrov oz. Sisyayarvi (Valaamskij arhipelag) [Spatiotemporal dynamics of a number of limnological parameters of the lake. Sisyarvi (Valaam archipelago)]. *Meteorologicheskij vestnik* [Meteorological Bulletin], No. 2, pp. 74–78. (In Russ.).
14. Stepanova A. B. *Ekosistemy Valaamskogo arhipelaga (Ladozhskoe ozero) na rubezhe 20 i 21 vekov. Cherty unikal'nosti i sovremennoe sostoyanie* [Ecosystems of the Valaam archipelago (Lake Ladoga) at the turn of the 20th and 21st centuries. Features of uniqueness and present state]. Saint Petersburg, RSHU, 2016, 44 p. (In Russ.).
15. Abakumov V. A. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverhnostnykh vod i donnykh otlozhenij* [Guidelines on methods for hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 239 p. (In Russ.).
16. Kononova O. N., Fefilova E. B. *Metodicheskoe rukovodstvo po opredeleniyu razmerno-vesovykh harakteristik zooplanktona evropejskogo severa Rossii* [Methodological Guide to Determining the Size and Weight Characteristics of Zooplankton in the European North of Russia]. Syktyvkar, IB FRC Komi SC UB RAS, 2018, 152 p. (In Russ.).
17. Fomina Yu. Yu., Syarki M. T. Zhiznennyj cikl rachka *Limnocalanus macrurus* Sars 1863 (Copepoda, Calaniformes, Centropagidae) v Onezhskom ozere [Life cycle of the crustacean *Limnocalanus macrurus* Sars 1863 (Copepoda, Calaniformes, Centropagidae) in Lake Onega]. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal], No. 1, pp. 3–13. doi: 10.31857/S0044513421110064. (In Russ.).
18. Nikolaev I. I., Smirnova T. S., Mazhekajte S. I., Tyong N. Zooplankton Onezhskogo ozera [Zooplankton of Lake Onega]. Leningrad, Nauka, 1972, 327 p. (In Russ.).
19. Monakov A. V. Pitanie presnovodnykh bespozvonochnykh [Feeding of freshwater invertebrates]. Moscow, Tip. Rossel'hoz akademii, 1998, 322 p. (In Russ.).
20. Rogozin A. G., Snit'ko L. V., Timoshkin O. A. Termoindikatornyye svoystva vidov zooplanktona i ih izmerenie [Thermal indicator properties of zooplankton species and their measurement]. *Vodnye resursy* [Water resources], No. 1, pp. 85–91. doi: 10.7868/S0321059615010125. (In Russ.).
21. Fomina Yu. Yu., Syarki M. T. Zhiznennyj cikl rachka *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) v Onezhskom ozere [Life cycle of crustacean *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) in Lake Onega]. *Principy ekologii* [Principles of ecology], No. 3, pp. 144–154. (In Russ.).
22. Rask M., Olin M., Horppila J., Lehtovaara A., Väisänen A., Ruuhijärvi J., Sammalkorpi I. 2002. Zooplankton and fish communities in Finnish lakes of different trophic status: responses to eutrophication. *SIL Proceedings*, No 1, pp. 396–401.
23. Kulakov D. V. Sezonnnye i mezhgodovye izmeneniya zooplanktona reki Neman [Seasonal and interannual changes in the zooplankton of the Neman River]. *Principy ekologii* [Principles of ecology], No. 2, pp. 87–102. doi:10.15393/j1.art.2018.7582. (In Russ.).

Информация об авторе

А. Н. Чернышев — аспирант.

Information about the author

A. N. Cherhyshev — postgraduate student.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 633.814:581.522.4:502.5(470.21)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.005

ИНТРОДУКЦИЯ КЕДРОВОГО СТЛАНИКА В ЛАПЛАНДСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Людмила Георгиевна Исаева¹, Наталья Владимировна Зануздаева², Наталья Владимировна Чуева³

¹Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

^{2,3}Лапландский государственный природный биосферный заповедник, Мончегорск, Россия

¹l.isaeva@inep.ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4636-112X>

²natazan@mail.ru

³nataliechueva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2090-09653>

Аннотация

В работе представлены результаты исследования состояния кедрового стланика — *Pinus pumila* (Pall.) Regel, высеянного в 1971 г. семенами из г. Магадана на территории Лапландского заповедника. Кедровый стланик прошел акклиматизацию, показал зимостойкость, не имел повреждений и оказался устойчивым к условиям Мурманской области.

Ключевые слова:

интродукция, кедровый стланик, Лапландский заповедник, Мурманская область

Благодарности:

исследования выполнены по темам НИР Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук «Биоразнообразие и мультифункциональность наземных экосистем Евро-Арктического региона» № FMEZ-2022-0021 и Лапландского заповедника.

Для цитирования:

Исаева Л. Г., Зануздаева Н. В., Чуева Н. В. Интродукция кедрового стланика в Лапландском заповеднике (Мурманская область) // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 34–39. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.005.

Original article

INTRODUCTION OF SIBERIAN DWARF PINE IN THE LAPLAND STATE NATURE BIOSPHERE RESERVE (MURMANSK REGION)

Lyudmila G. Isaeva¹, Natalia V. Zanuzdayeva², Natalia V. Chueva³

¹Institute of North industrial Ecology Problems of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

^{2,3}Lapland State Nature Biosphere Reserve, Monchegorsk, Russia

¹l.isaeva@inep.ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4636-112X>

²natazan@mail.ru

³nataliechueva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2090-09653>

Abstract

The paper reflects the results of the condition of *Pinus pumila* (Pall.) Regel, which was sown in 1971 with seeds from Magadan City on the territory of the Lapland State Nature Biosphere Reserve. Siberian dwarf pine has been acclimatized, showed winter-hardy, has no damage, resistant to the conditions of the Murmansk Region.

Keywords:

introduction, cedar elfin, Lapland State Nature Biosphere Reserve, Murmansk Region

Acknowledgments:

this study was supported by "Biodiversity and multifunctionality of terrestrial ecosystems of the Euro-Arctic region" No. FMEZ-2022-0021.

For citation:

Isaeva L. G., Zanuzdayeva N. V., Chueva N. V. Introduction of Siberian dwarf pine in the Lapland State Nature Biosphere Reserve (Murmansk Region). *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 34–39. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.005.

Введение

Предусмотренное Положением о заповеднике сохранение природных комплексов в естественном состоянии определяет методы лесовосстановления как естественный процесс. В то же время, в целях повышения продуктивности лесов, важную роль играют мероприятия по увеличению биологического разнообразия и расширению породного состава древесных пород в защитных лесах, в первую очередь за счет интродукции ценных древесных растений [1]. В 1930-е гг., конце 1950-х и начале 1960-х гг. интродукция древесных пород была признана задачей народнохозяйственного уровня [2]. Характер и ход лесовосстановительных процессов в этой связи представляют большой научный и практический интерес.

Кедровый стланик, сосна низкая, кедровая сосна стланиковая — *Pinus pumila* (Pall.) Regel, семейство Сосновые *Pinaceae* Lindl. Вечнозеленый приземистый, от основания ветвистый или стелющийся кустарник высотой 4,0–5,0 м с пригибающимися к земле или восходящими невысокими ветвями. Область распространения: Восточная Сибирь и Дальний Восток. Северная граница произрастания кедрового стланика заходит за полярный круг, достигая 71° с. ш., и выходит к Анадырскому заливу. Растет он на территории республик Якутия, Бурятия, Чукотского автономного округа, Еврейской автономной области, Магаданской, Сахалинской, Иркутской и Амурской областей, в Забайкальском, Хабаровском, Камчатском и Приморском краях [3]. Кедровый стланик нетребователен к почвенным условиям, растет на бедных, каменистых, песчаных почвах. Он морозо- и зимостоек, медленнорастущий, выносит городской климат, не переносит засуху и застой влаги.

На территории Мурманской области кедровый стланик вводился в интродукционный эксперимент в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте (ПАБСИ) несколько раз начиная с 1947 г. На территории сада в г. Кировске и на экспериментальном участке в окрестностях г. Апатиты семена кедрового стланика из Магаданской области были высеяны в 1974 г. [4]. Один куст кедрового стланика (около 1,5 м высотой) выявлен на острове Ряжков Кандалакшского заповедника [5]. Была попытка интродуцировать саженцы кедрового стланика из экспериментального участка ПАБСИ в дендрологический парк Кандалакшского заповедника (годы посадки 1984, 1985). К сожалению, эти саженцы погибли [6]. В Лапландском заповеднике семена кедрового стланика были посеяны летом 1971 г. на юго-восточном склоне горы Курт-Варенч, часть семян была высеяна в дендропитомнике заповедника (Чунозерская усадьба). Семена были получены из г. Магадана от зоолога А. А. Меженного [7].

Цель исследований — обобщение имеющихся сведений и проведение оценки состояния кедрового стланика на территории Лапландского заповедника.

Материалы и методы

Объектом исследования является кедровый стланик — *Pinus pumila* у подножия юго-восточного склона горы Курт-Варенч на территории Лапландского заповедника. Обследование выполнено в июле 1994 г. и в сентябре 2023 г.

В 1994 г. было подсчитано количество посадочных мест кедрового стланика, измерены высота ветвей, их количество и максимальный диаметр у основания ветви. В сентябре 2023 г. выполнен пересчет стланика по кустам, учтено количество стволов в кусте, высота кустов, диаметр на высоте 1,3 м, измерена длина хвои текущего года.

Результаты и обсуждение

Известно, что в дендропитомнике заповедника в 1938 г. были посеяны семена сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) и корейского (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.) кедров. В 1950–1960 гг. сибирский и корейский кедры (посева 1938 г.) росли медленно, и рост 20-летних деревьев не превышал 1–1,5 м [8]. Осенью 1971 г. в дендропитомник была высеяна часть семян кедрового стланика, присланных из г. Магадана [7]. В 1990-е гг. в дендрарии заповедника было зафиксировано 8 экземпляров «кедров» высотой до 1,5–2 м. В настоящее время на участке произрастает 9 «кедров», по состоянию на сентябрь 2023 г. высотой от 2 до 9 м, все имеют форму дерева, женских шишечек нет, кора светло-серого цвета, хвоя зеленая. В книгах «Летопись природы» заповедника нет информации о том, что это кедровый стланик, а не сосна сибирская (кедровая) или кедр корейский. Сосна сибирская (кедровая) в дендропитомнике высевалась в 1938 г., сколько было всходов в первые годы роста не известно. В 1956–1958 гг. в окрестностях Чунозерской усадьбы тоже были посеяны семена сосны сибирской [9], возможно, часть семян — в дендропитомнике, так как официально заповедник в этот период был

закрыт, сведений об этом нет. В то же время некоторыми авторами упоминается, что в лесной зоне кедровый стланик может приобретать форму дерева, или же древовидный стланик может быть гибридом кедр сибирского и кедрового стланика, который сохраняет форму дерева [3; 10; 11]. Поэтому пока не ясно, что растет в дендропитомнике заповедника *Pinus pumila*, *Pinus koraiensis* или *Pinus sibirica*. На основании того, что это одноствольные растения с гладкой корой светло-серого цвета и зеленой хвоей (без голубого оттенка), относим их к сосне сибирской (кедровой).

Летом 1994 г. был проведен осмотр участка с посевом кедрового стланика у подножия юго-восточного склона горы Курт-Варенч. Всего было учтено 68 посадочных мест. Стланик на исследуемый период был в основном стелющейся формы, высотой от 9 до 70 см. Количество веток на одном стволике варьировало от 2 до 6, диаметр веток у основания — от 0,3 до 2,0 см. Кедровый стланик был в ослабленном состоянии.

В начале сентября 2023 г. (через 52 года после посева семян) выполнено повторное обследование состояния кедрового стланика. Рядом со стлаником растет сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), в составе подроста ель (*Picea obovata* Ledeb.), сосна. Напочвенный покров представлен кустарничками (*Vaccinium vitis-idaea* L., *Empetrum hermaphroditum* Nagerup) и небольшими куртинками лишайников р. *Cladonia*. Почва — илювиально-железистый подзол. Кедровый стланик растет в двух плотных рядах, еще 3 экземпляра немного в стороне. Всего выявлено 30 кустов стланика, количество стволиков (крупных ветвей из одного корня) варьирует от 2 до 16 штук. Особи в хорошем, здоровом состоянии, хвоя темно-зеленого цвета с голубым оттенком (рис. 1). Средняя высота ветвей в кусте составляет $2,58 \pm 0,16$ м, варьирует от 1,6 до 4,3 м. Максимальный диаметр ветви в кусте — от 1,7 до 4 см. Средняя длина хвои текущего года $7,12 \pm 0,09$ (n = 106), максимальная длина хвои составила 9,0 см, минимальная — 5,0 см (табл.). Возраст хвои от 3 до 5 лет. В 2023 г. было 19 особей с микростробилами (мужскими колосками), молодые мегастробилы (женские шишки) от 1,5 до 2 см были зафиксированы на 7 кустах (рис. 2). Спелых шишек прошлых лет не выявлено.



Рис. 1. Кедровый стланик, сентябрь 2023 г. Фото Н. В. Чуевой



Рис. 2. Мегастробилы, сентябрь 2023. Фото Н. В. Чуевой

Для сравнения приведены данные по изучению кедрового стланика на территориях: научной опытной станции «Отрадное», расположенной на северо-востоке Карельского перешейка Ленинградской области [12]; Полярно-альпийского ботанического сада-института в г. Кировске и его экспериментального участка в окрестностях г. Апатиты Мурманской области [4], а также Лапландского заповедника (Мурманская область). Все посевы стланика были созданы из семян Магаданской области (табл.).

Характеристика кедрового стланика в разных регионах России

Показатель	НОС «Отрадное» [12] (n = 2)	ПАБСИ [4]		Лапландский заповедник (n = 30)
		Кировск (n = 2)	Апатиты (n = 16)	
Происхождение семян	Магаданская область	Магаданская область	Магаданская область	Г. Магадан, или область
Год посева	Весна 1984–1985 гг.	Осень 1974 г.	Осень 1974 г.	Осень 1971 г.
Год обследования	Весенне-летний период 2017–2020 гг.	Осень 2021 г.	Осень 2021 г.	Осень 2023 г.
Возраст, лет	35–36	47	47	50–51
Жизненное состояние, балл	1	1,5	1,5	1
Максимальная высота, м	5,1	Нет данных	Нет данных	4,3
Средняя высота, м	3,75 ± 1,35	1,7 ± 0,2	3,3 ± 0,2	2,58 ± 0,16
Средний диаметр, мм	58 ± 27	23,6 ± 3,3*	47,3 ± 2,7*	26,8 ± 0,14
Максимальный диаметр ствола, мм	90	57*	112*	40
Средняя длина хвои, мм	65 ± 5	65,5 ± 0,4	92,3 ± 0,2	71,2 ± 0,1**
Среднее количество стволов, шт.	2,5	Нет данных	Нет данных	8,5***

* Средний диаметр на высоте 30–40 см от корневой шейки.

** Средняя длина хвои текущего года (n = 106).

*** Количество стволов (ветвей) в кусте.

Кедровый стланик в районе горы Курт-Варенч по сравнению со стлаником на экспериментальном участке ПАБСИ (г. Апатиты) отстает в радиальном росте ствола и длине хвои. Почти все показатели у кедрового стланика на НОС «Отрадное» (Ленинградская область) выше по сравнению с заповедником, кроме длины хвои. Возможно, сказались хорошие погодные условия 2023 г. в Мурманской области: вегетационный период был теплым и в меру дождливым.

Выводы

Результаты нашего исследования показали, что выросший из семян кедровый стланик успешно произрастает на территории Лапландского заповедника, зимостоек, не имеет повреждений. Подтверждены данные об устойчивости стланика к условиям Кольского Заполярья. Многие исследователи рекомендуют использовать его для озеленения городов [12–14]. Кусты стланика в районе горы Курт-Варенч расположены рядом с границей заповедника, недалеко от ЛЭП и трассы Мурманск — Санкт-Петербург, поэтому очень важен постоянный мониторинг его состояния, охрана, так как лесные пожары могут полностью их уничтожить.

Список источников

1. Дружинин Н. А., Дружинин Ф. Н., Корякина Д. М., Ципилев С. В., Чухина О. В. Результаты многолетней интродукции на особо охраняемых природных территориях южно-таежного района // Известия вузов. Лесной журнал. 2020. № 6. С. 74–87.
2. Дроздов И. И. Интродукция ценного лесообразователя // Лесной вестник. 1998. № 3. С. 99–103.
3. Усенко Н. В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока: справ. кн. 2-е изд., перераб. и доп. Хабаровск: Кн. изд-во, 1984. 270 с.
4. Зыкова П. С., Гончарова О. А. *Pinus pumila* (Pall.) Regel в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2022. Т. 21, № 2. С. 43–47.
5. Кожин М. И. Новые и редкие виды сосудистых растений Мурманской области // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение Биологическое. 2014. Т. 119, № 1. С. 67–71.
6. Кожин М. И. Дендрологический парк Кандалакшского заповедника (Мурманская область) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение Биологическое. 2018. Т. 123, № 5. С. 50–57.
7. Летопись природы за 1970–1971 гг. Книга 7. Часть 1. 455 с. Рукопись из архива Лапландского государственного природного биосферного заповедника.
8. Летопись природы за 1958–1960 гг. Книга 1. 154 с. Рукопись из архива Лапландского государственного природного биосферного заповедника.
9. Исаева Л. Г., Ершов В. В., Урбанавичюс Г. П., Боровичев Е. А. Интродукция кедра и лиственницы в условиях Кольского Заполярья // Известия вузов. Лесной журнал. 2023. № 4. С. 41–57.
10. Горщкевич С. Н. О возможности естественной гибридизации *Pinus sibirica* и *Pinus pumila* в Прибайкалье // Ботанический журнал. 1999. Вып. 84 (9). С. 48–57.
11. Бобринев В. П., Пак Л. Н. Кедровый стланик (*Pinus pumila*) древовидной формы на севере Забайкальского края // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8 (часть 2). С. 9–12.
12. Трофимук Л. П., Пузанский Р. К., Карамышева А. В. Итоги интродукции *Pinus pumila* (*Pinaceae*) в условиях Карельского перешейка (Ленинградская область) // Растительные ресурсы. 2021. Т. 57, № 3. С. 245–259.
13. Гонтарь О. Б., Жиров В. К., Казаков Л. А., Святковская Е. А., Тростенюк Н. Н. Зеленое строительство в городах Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 292 с.
14. Лебедев П. А., Трофимук Л. П., Карамышева А. В., Пузанский Р. К. Успешный опыт акклиматизации кедрового стланика (*Pinus pumila*) на севере Ленинградской области // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2020. Т. 12, № 4. С. 196–205.

References

1. Druzhinin N. A., Druzhinin F. N., Koryakina D. M., Cipilev S. V., Chuhina O. V. Rezul'taty mnogoletnej introdukcii na osobo ohranyaemyh prirodnyh territoriyah yuzhno-taezhnogo rajona. *Izv. vuzov. Lesnoj zhurnal*, 2020, No 6, pp. 74–87. (In Russ.).
2. Drozdov I. I. Introdukciya cennogo lesoobrazovatelya. *Lesn. vestn.*, 1998, No 3, pp. 99–103. (In Russ.).
3. Usenko N. V. *Derev'ya, kustarniki i liany Dal'nego Vostoka*. Habarovsk, Kn. izd-vo, 1984, 270 p. (In Russ.).

4. Zykova P. S., Goncharova O. A. *Pinus pumila* (Pall.) Regel v Polyarno-al'pijskom botanicheskom sadu-institute. *Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii*, 2022, vol. 21, No 2, pp. 43–47. (In Russ.).
5. Kozhin M. I. Novye i redkie vidy sosudistyh rastenij Murmanskoy oblasti. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody. Otdelenie Biologicheskoe*, 2014, vol. 119, no. 1, pp. 67–71. (In Russ.).
6. Kozhin M. I. Dendrologicheskij park Kandalakshskogo zapovednika (Murmanskaya oblast'). *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody. Otdelenie Biologicheskoe*, 2018, vol. 123, no. 5, pp. 50–57. (In Russ.).
7. *Letopis' prirody. Kniga 7 za 1970–1971 gg.* Rukopis' iz arhiva Laplandskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika, 455 p. Unpublished. (In Russ.).
8. *Letopis' prirody. Kniga 1 za 1958–1960 gg.* Rukopis' iz arhiva Laplandskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika, 154 p. Unpublished. (In Russ.).
9. Isaeva L. G., Ershov V. V., Urbanavichyus G. P., Borovichev E. A. Introdukciya kedra i listvennic v usloviyah Kol'skogo Zapolyar'ya. *Izvestiyavuzov. Lesnojzhurnal*, 2023, No 4, pp. 41–57. (In Russ.).
10. Gorshchkevich S. N. O vozmozhnosti estestvennoj gibridizacii *Pinus sibirica* i *Pinus pumila* v Pribajkal'e. *Botanicheskij zhurnal*, 1999, Vyp. 84 (9), pp. 48–57. (In Russ.).
11. Bobrinev V. P., Pak L. N. Kedrovij stlanik (*Pinus pumila*) drevovidnoj formy na severe Zabajkal'skogo kraja. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2014, No 8 (chast' 2), pp. 9–12. (In Russ.).
12. Trofimuk L. P., Puzanskij R. K., Karamysheva A. V. Itogi introdukcii *Pinus pumila* (*Pinaceae*) v usloviyah Karel'skogo pereshejka (Leningradskaya oblast'). *Rastitel'nye resursy*, 2021, vol. 57, No 3, pp. 245–259. (In Russ.).
13. Gontar' O. B., Zhironov V. K., Kazakov L. A., Svyatkovskaya E. A., Trostenyuk N. N. *Green construction in the cities of the Murmansk region*. Apatity, Kola Science Centre of the RAS' Publ., 2010, 292 p. (In Russ.).
14. Lebedev P. A., Trofimuk L. P., Karamysheva A. V., Puzanskij R. K. Uspeshnyj opyt akklimatizacii kedrovogo stlanika (*Pinus pumila*) na severe Leningradskoj oblasti. *Mezhdisciplinarnyj nauchnyj i prikladnyj zhurnal "Biosfera"*, 2020, vol. 12, No 4, pp. 196–205. (In Russ.).

Информация об авторах

Л. Г. Исаева — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник;

Н. В. Зануздаева — научный сотрудник;

Н. В. Чуева — заместитель директора по научной работе.

Information about the authors

L. G. Isaeva — PhD (Agriculture), Leading Researcher;

N. V. Zanuzdayeva — Researcher;

N. V. Chueva — Deputy Director for Scientific Work.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.

The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 631.524.6(470.21)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.006

ПИОН УКЛОНЯЮЩИЙСЯ (*PAEONIA ANOMALA* L.) ФЛОРЫ АЛТАЯ В УСЛОВИЯХ КИРОВСКА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Сергей Иванович Юдин

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук, Кировск, Россия, yudin.pabgi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6252-8765>

Аннотация

Представлены результаты многолетнего сравнительного изучения растений двух наиболее характерных для Горного Алтая экотипов (предгорного и высокогорного) *Paeonia anomala* L. в условиях г. Кировска (Мурманская обл.). Установлено, что при интродукции в ПАБСИ алтайские растения пиона уклоняющегося успешно проходят полный цикл развития, плодоносят, наблюдается самосев, что свидетельствует о широких адаптационных возможностях этого вида. Выявлены особенности ритмов сезонного развития, онтогенеза растений, прорастания семян этих экотипов в условиях первичной культуры. Сравнительное изучение условий произрастания растений этого вида *in situ* и *ex situ* позволяет выявить, что условиям высокогорий Алтая — местообитанию растений высокогорного экотипа — в большей степени соответствуют условия северной тайги Хибинских гор Кольского полуострова. Особенности роста и развития растений высокогорного экотипа *ex situ* свидетельствуют об успешной адаптации данной группы растений изучаемого вида в условиях Кольского Заполярья. Даны рекомендации по их размножению и выращиванию.

Ключевые слова:

Paeonia anomala L., интродукция, экотип, Алтай, Мурманская область

Для цитирования:

Юдин С. И. Пион уклоняющийся (*Paeonia anomala* L.) флоры +Алтая в условиях Кировска (Мурманская область) // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 40–50. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.006.

Original article

PAEONIA ANOMALA L. FROM ALTAI IN KIROVSK (MURMANSK REGION)

Sergey I. Yudin

Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Kirovsk, Russia, yudin.pabgi@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6252-8765>

Abstract

The results of comparison study of two ecotypes (foothills and high mountain) of *Paeonia anomala* L. the most typical for the Mountain Altai in Kirovsk (Murmansk region) are presented. It has been stated that while introduced in PABGI, this plants pass complete cycle of growth and development, bear fruit. The findings of investigations processed indicate a good adaptation of this species. The special features of seasons rhythm, ontogenesis of plants, germination of seeds of these ecotypes under the conditions of culture were found. The comparative study feature of growth conditions *in situ* and *ex situ*, season rhythms, ontogenesis of plants this ecotypes, gave the possibility to determine optimal conditions for growing that plants under introduction in Khibiny mountains of the Kola peninsula. The findings of investigations processed indicate a good adaptation of the plants of high mountains ecotypes in Kola North. The recommendations on the reproduction and cultivation that plants are given.

Keywords:

Paeonia anomala L., introduction; ecotype, Altai, Murmansk region

For citation:

Yudin S. I. *Paeonia anomala* L. from Altai in Kirovsk (Murmansk Region). *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 40–50. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.006.

Введение

Популяционный подход к подбору интродуцентов является важным этапом на пути успешного введения в культуру полезных видов природной флоры. Наиболее актуально это направление исследований при интродукции растений горных флор. В горных районах, как нигде, на фоне резких смен природно-климатических условий в пределах ограниченной территории и под воздействием эколого-географической изменчивости в процессе эволюции формируется внутривидовое генотипическое

разнообразии растений. В данных условиях основной потенциал линнеевского вида согласно Н. И. Вавилову [4] «...дифференцируясь в пространстве и подчиняясь действию естественного отбора обособляет группу наследственных форм, наиболее соответствующих данной среде». Е. Н. Синская [16] рассматривает эти наследственные формы как систему экотипов, отражающих характер приспособления вида к различным частям своего ареала. Один из таких видов — пион уклоняющийся (*Paeonia anomala* L.) — декоративное и лекарственное растение флоры Западной Сибири.

Пион уклоняющийся широко распространен на территории Горного Алтая. Издавна используется населением этого региона как лекарственное и декоративное растение. Бесконтрольный сбор растений как лекарственного сырья и для букетов приводит к резкому сокращению природных популяций этого вида, который в конце прошлого столетия был включен в Список редких растений «Редкие и исчезающие виды флоры СССР» [14]. Представляет определенный научный и практический интерес для интродукции и селекции [7; 11]. Одной из мер по сохранению *P. anomala* в природе, по мнению сибирских ботаников, является его введение в практику озеленения как высоко декоративного раннецветущего растения. Наиболее актуально данное направление исследований этого вида для районов Мурманской области, так как по южному и юго-восточному побережьям Кольского полуострова располагаются самые крайние северо-западные точки его местонахождения. Здесь он имеет статус редкого вида, подлежащего полной охране. В природных условиях встречается небольшими группами и единично [6].

В культуре пион уклоняющийся изучен сравнительно хорошо. Положительный опыт выращивания в ботанических садах СНГ свидетельствует о широких адаптационных возможностях этого вида [1; 5; 7; 10; 17; 18; 19; 20; 22; 24–29]. В Кировске (ПАБСИ) *P. anomala* выращивается с 1934 г. Здесь он представлен сибирскими (Алтай, Саяны) и местными (Мурманская обл.) популяциями, которые положительно зарекомендовали себя в новых условиях. Интродуценты в большинстве случаев не только цветут, но и плодоносят, увеличивая численность растений в культуре за счет семенного и вегетативного размножения [1; 20].

Однако, несмотря на положительные результаты первичной интродукции и высокие декоративные характеристики растений пиона уклоняющегося в условиях Кировска, широкого распространения в декоративном цветоводстве Кольского полуострова этот вид до сих пор не получил. Всё это, а также некоторое недопонимание в интродукционной практике важности популяционного подхода при переселении и введения в культуру растений горных флор в новых условиях определяет научную и практическую значимость разностороннего изучения внутривидового разнообразия растений *P. anomala* как объекта интродукции. В Кировске интродукционные испытания экотипического разнообразия природных образцов алтайских растений этого вида проведены впервые.

Объекты и методы

Объект исследования — природные образцы растений основных экотипов пиона уклоняющегося (*Paeonia anomala* L.) из семейства пионовые (*Paeoniaceae* Rudolphi) флоры Горного Алтая (рис. 1).

Цель исследования — сравнительное изучение особенностей их роста и развития в крайних эколого-географических условиях северной тайги Хибинских гор Кольского Заполярья в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте им. Н. А. Аврорина (ПАБСИ) Кольского НЦ РАН (Кировск, 2005–2023 гг.).

Задачи исследования: интродукция алтайских растений (экотипов) данного вида в ПАБСИ; выявление адаптационного потенциала интродуцентов; рекомендации по их выращиванию, размножению и практическому использованию.

В сравнительном эксперименте использовали природные образцы растений пиона уклоняющегося различного эколого-географического происхождения, выращенные из семян и корней, собранных автором в природных местообитаниях этих растений во время экспедиций (1983, 1984, 1989 гг.) по Горному Алтаю, а также природные образцы растений *P. anomala*, выращиваемые в коллекциях ПАБСИ. В полевых и лабораторных испытаниях действовали также семена кировской репродукции. Полевые испытания проводились на экспериментальных грядках интродукционного питомника, а также в искусственно создаваемом фитоценозе ботанико-географического участка «Алтай» в ПАБСИ [28; 29]. Почвы лесные с добавлением торфа. Ритм сезонного развития изучали согласно [9]. В лабораторных условиях семена проращивали в чашках Петри (субстрат — увлажненный

прокаленный речной песок) при температурных режимах: 0–4, 4–8 и 16–22 °С. Во всех опытах соблюдалась трехкратная повторность. Латинское название вида приведено согласно современной номенклатуре The Plant List (<http://www.theplantlist.org>).



Рис. 1. Пион уклоняющийся (*P. anomala*) в экспозиции Полярно-альпийского ботанического сада

Результаты и обсуждение

Пион уклоняющийся, или Марьин корень, — крупный летне-зеленый травянистый многолетник, мезофит. Имеет обширный евразийский ареал. Обитает по лесам и лугам в таежной зоне и хвойно-лесном поясе гор Западной и Восточной Сибири, Средней Азии, Тянь-Шаня. В прируслевых лесах поднимается также в высокогорья, где растет на субальпийских лугах, является сопутствующим видом черневой тайги. В таежной зоне севера европейской части России встречается на юге и востоке Мурманской области [13; 21].

Высокий адаптационный потенциал *P. anomala*, наблюдаемый при его расселении с севера на юг и в горы, позволяет исследователю проследить промежуточные этапы морфологической изменчивости растений и наметить реально существующий эколого-морфологический ряд внутривидовой дифференциации данного вида. Крайним выражением этого ряда в условиях Горного Алтая является наличие двух основных экологически и географически обособленных экотипов: предгорного (Северный Алтай) и высокогорного (Юго-Восточный Алтай).

По утверждению В. П. Малеева [8], внедрение растений в новые районы идет тем успешнее, чем более сходны условия той страны, куда данное растение вводится, с теми, которые существуют на территории его ареала. Общий анализ природно-климатических условий очага и пунктов интродукции показал, что условия перезимовки и вегетационного периода растений в Кировске [15], расположенном в 120 км севернее полярного круга, в южной части Хибинских гор (лето короткое, прохладное и влажное, с непрерывным световым днем — с 26 мая по 18 июля длится полярный день; зима сравнительно мягкая и многоснежная — высота снежного покрова достигает 180 см),

по основным показателям во многом близки условиям высокогорных местообитаний *P. anomala* Юго-Восточного Алтая, климат которого резко континентальный и характеризуется низкими зимними температурами, повышенным увлажнением почв, обилием солнечного сияния. Лето короткое и прохладное. Заморозки и снег, как и в Хибинах, возможны в любой летний месяц. Климат предгорий Северного Алтая умеренно континентальный, с теплым и умеренно влажным летом, мягкой и малоснежной зимой [2] (табл.).

Климатические показатели очагов и пункта интродукции растений Алтая

Климатические показатели (средние многолетние величины)	Юго-Восточный Алтай	Северный Алтай	Кировск
Годовая температура, °С	-6,7	1,0	-1,1
Температура самого теплого месяца, °С	13,8	17,8	12,5
Температура самого холодного месяца, °С	-32,2	-16,1	-11,6
Абсолютный максимум температур, °С	29,7	36,5	31,5
Абсолютный минимум температур, °С	-55,1	-48,6	-36,0
Осадки за летний период, мм	218	313	266
Безморозный период, сутки	63	116	87
Число суток с температурой воздуха > 0 °С	161	186	160
Число суток с температурой воздуха > 5 °С	125	163	106

Наблюдения за растениями пиона уклоняющегося в природе и культуре показали, что изменчивость высоты растений, формы и размеров элементов листьев, цветков, плодов, семян имеет явно выраженную приспособительную направленность. Эта особенность проявляется в пределах широкого спектра адаптационной изменчивости вида и является непосредственной реакцией растений на изменившиеся условия окружающей среды. В свою очередь, направленность морфометрической изменчивости растений и семян высокогорных популяций демонстрирует выработанный в процессе эволюции вида в горных условиях защитный механизм фенотипической изменчивости растений, направленный на уменьшение их размеров и придания отдельным их частям (в том числе и семенам) форм, помогающих противостоять неблагоприятным факторам окружающей среды. Вследствие этого семена и особенно их эндосперм приобретают наиболее эффективную в плане защиты и противодействия овально-шаровидную форму.

Природные адаптации, как правило, закреплены естественным отбором и проявляются при интродукции в пределах широкого спектра адаптационной изменчивости вида. Например, диаметр цветка и ширина лепестка в зависимости от принадлежности растений к тому или иному экотипу в условиях культуры изменяются в диапазоне от 9,7 и 2,1 см (высокогорный экотип) до 12,9 и 3,3 см (предгорный экотип). Высота растений и ширина доли листа соответственно от 71 и 1,8 см до 118 и 2,4 см. Длина листовки плода — от 2,6 см (предгорный экотип) до 3,2 см (высокогорный экотип). Надо отметить, что размеры листовки растений предгорного экотипа, выращиваемых в условиях ПАБСИ, уменьшились почти в 2 раза по сравнению с природными популяциями, тогда как длина листовок растений высокогорного экотипа в новых условиях изменилась незначительно, сохранив в основном прежние размеры (рис. 2, А).

Длина и ширина семян растений *P. anomala* предгорного экотипа, полученных при интродукции в условиях ПАБСИ, достигают 6,88 и 6,17 мм, а высокогорного экотипа — 7,27 и 5,85 мм. Тогда как в природных популяциях Горного Алтая эти биометрические показатели семян данного вида соответствуют: 8,62 и 5,95 мм (предгорный экотип); 7,40 и 5,12 мм (высокогорный экотип) [27]. Процентное отношение ширины семян предгорного экотипа к их длине в условиях Кировска достигает 90 %, тогда как в природных местообитаниях Северного Алтая (окрестности г. Горно-Алтайска) — 69 %. Таким образом, семена алтайских растений предгорного экотипа, полученные в суровых условиях Заполярья, мельчают и принимают наиболее приемлемую в данной обстановке шаровидную форму, тогда как семена высокогорного экотипа в новых условиях в основном сохраняют параметры семян, свойственные семенам растений природной популяции, что в процентном отношении соответствует 81 и 70 % (см. рис. 2, Б).

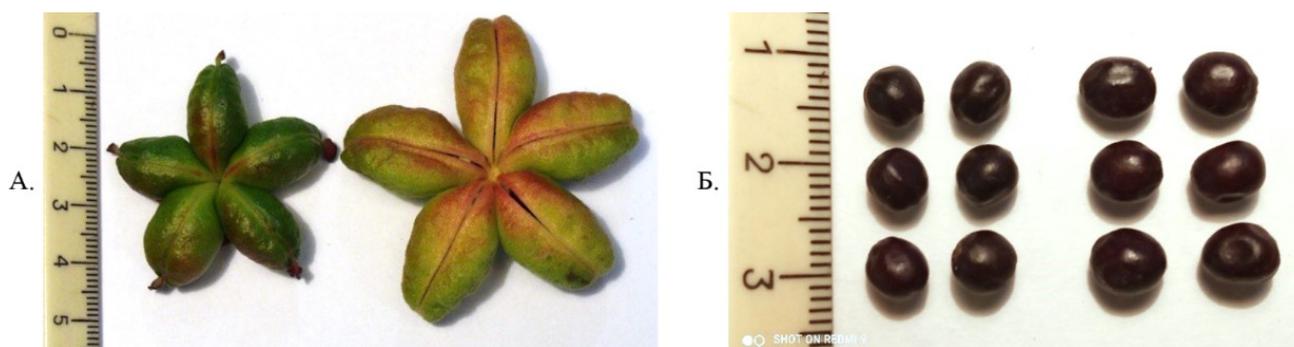


Рис. 2. Размеры и форма плодов на 26 августа (А) и зрелых семян (Б) *P. anomala* при интродукции в ПАБСИ в зависимости от экотипа: предгорный — зеленые плоды (слева) и высокогорный — начало плодоношения (справа) (А); семена предгорного (слева) и высокогорного экотипов (справа) (Б)

Наследственный характер природных адаптаций также четко просматривается в особенностях сезонного ритма — в сроках начала и завершения основных фаз развития этих растений при интродукции. Проведенные исследования показали, что в зависимости от природно-климатических условий естественных местообитаний, на фоне которых формировались наследственные особенности ритма развития растений того или иного экотипа, изучаемые природные образцы растений *P. anomala* в новых условиях демонстрируют разнообразие ритмов развития и темпов роста (рис. 3).

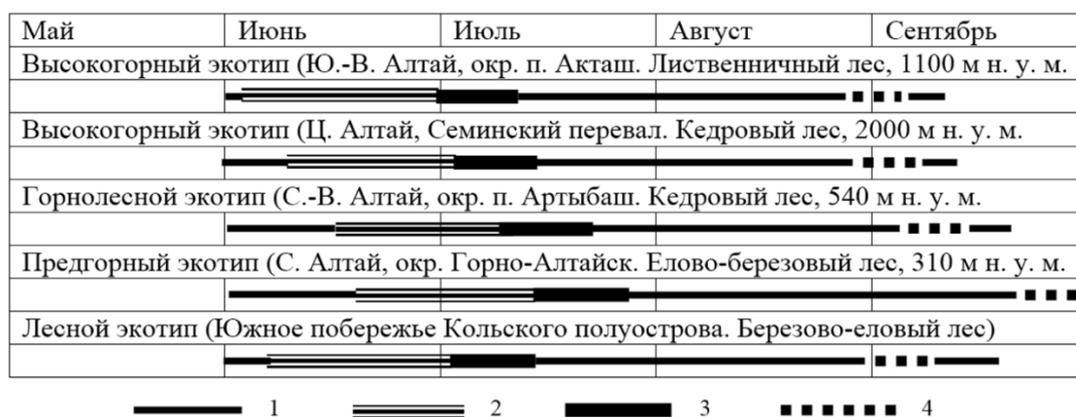


Рис. 3. Феноспектр алтайских растений (экотипов) *P. anomala* в условиях ПАБСИ: 1 — вегетация; 2 — бутонизация; 3 — цветение; 4 — плодоношение. Ю.-В. — Юго-Восточный; Ц. — Центральный; С. — Северный Алтай

В силу наследственной толерантности горных растений к низким положительным температурам первыми в условиях Кировска начинали цвести и плодоносить растения высокогорного экотипа (Юго-Восточный Алтай) и лишь спустя 13 и 26 суток соответственно наблюдалось начало этих фаз развития у растений предгорного экотипа (Северный Алтай) (рис. 4, 5).

Ритм развития представителей горных популяций Юго-Восточного, Центрального и Северо-Восточного Алтая в определенной степени укладывается в рамки климатической периодичности северной тайги Хибинских гор и характеризуется как устойчивый, соответствующий в основном природному ритму растений аборигенных популяций этого вида, испытанных при совместном выращивании на одном агротехническом фоне. Эти интродуценты также цветут, плодоносят, формируют жизнеспособные семена в 150 км севернее естественной границы распространения этого вида на Кольском полуострове, т. е. за пределами его ареала на высоте более 300 м н. у. м., где условия более суровые, чем в природных местообитаниях.



Рис. 4. Пион уклоняющийся. Фаза развития растений в ПАБСИ на 1 июня в зависимости от экотипа: предгорный — отращивание (задний план); высокогорный — начало бутонизации (передний план)



Рис. 5. Пион уклоняющийся. Фаза развития растений в ПАБСИ на 9 июля в зависимости от экотипа: предгорный — начало цветения (задний план); высокогорный — зеленые плоды (передний план)

Обитатели смешанных лесов предгорий Северного Алтая (предгорный экотип) испытывают определенный экологический дискомфорт в новых условиях, обусловленный тепловым режимом. В условиях короткого и прохладного лета более теплолюбивые растения предгорного экотипа отличаются неустойчивым ритмом, поздним началом вегетации, цветения и нестабильным плодоношением. В отдельные годы плодоношение полностью отсутствует, семена не вызревают. В данном случае растения предгорного экотипа явно не укладываются в короткие сроки вегетационного периода (106 суток) и, как правило, завершают годичный цикл в фазе зеленых плодов, застигнутые врасплох устойчивыми заморозками и первыми снегопадами, обычными в Хибинах в конце сентября. Для успешного

завершения годового цикла развития в новых условиях растениям необходимы более высокие температуры, чем те, которые зафиксированы для Кировска. Средняя месячная температура самого теплого месяца (июль) здесь достигает 12,5 °С, тогда как в предгорьях Северного Алтая — 17,8 °С, а продолжительность вегетационного периода составляет 163 суток (см. табл.).

Размножается пион уклоняющийся семенным и вегетативным способами. Деление корневища применяют при размножении данного вида в условиях культуры. В природе он считается вегетативно неподвижным и размножается исключительно семенами. Выращивание растений этого вида из семян в условиях культуры не представляет больших трудностей. Следует лишь помнить, что в условиях открытого грунта Заполярья посевы желательно проводить свежесобранными семенами. В данном случае дружное появление всходов приходится на весну второго последующего года, т. е. через 20 месяцев. При весенне-летних посевах (подсохшие семена) всходы наблюдаются лишь через 2 года.

Для ускорения данного процесса и своевременного получения всходов (весна следующего года) следует провести посевы семян в ящики с парниковой землей и поместить их в теплицу или иное помещение с температурой 16–22 °С на 1,5–2 месяца. По прошествии указанного срока ящики выставляют на 1–1,5 месяца в неотопляемое помещение с температурой 2–8 °С. После этого ящики можно снова переносить в теплицу или в условия открытого грунта (третья декада мая), где через 18–25 суток появляются всходы. Подтверждением данных рекомендаций служат результаты лабораторных и полевых опытов по выявлению оптимальных температур проращивания, сроков и последовательности стратификации семян этого вида. Так, выявлено, что в лабораторных условиях (16–22 °С) они начинают прорасти на 41-е сутки. Энергия прорастания на 30-е сутки достигает 81 %. Отметим, что здесь мы фиксируем лишь начальную стадию прорастания — частичное растрескивание семенной кожуры и незначительное отрастание зародышевого корешка (0,3–1,0 см). После этого рост корешка временно приостанавливается. Перенос семян в холодильную камеру с температурой 4–8 °С на один месяц и последующий возврат их в комнатные условия (16–22 °С) стимулирует дальнейший рост корешка и начало отрастания (на 23-е сутки) первого настоящего листа. Проращивание семян при температурах 0–5 и 4–8 °С в течение года не дало положительного результата. В полевых условиях, при раскапывании почвы на грядках в сентябре, нами неоднократно отмечались «наклонувшиеся» семена. В таком виде они зимуют. Весеннее появление всходов определяется надземным отрастанием первого настоящего листа. Семядоли так и остаются в семенной оболочке, характеризуя тем самым подземный тип прорастания семян этого вида. Полевая всхожесть семян составляет более 90 %.

Из этого следует, что для успешного прорастания семян *P. anomala*, которые, согласно М. Г. Николаевой [12], характеризуются глубоким эпикотильным морфофизиологическим типом покоя, необходима двухэтапная стратификация. Сначала теплая (летний период) в режиме умеренных температур (16–25 °С), при которых проходит доразвитие зародыша и частичное прорастание семян (отрастание зародышевого корешка), затем холодная (осенне-зимний период) в режиме низких положительных температур (0–10 °С) для выведения эпикотиля из состояния покоя. В этот период «наклонувшиеся» семена без вреда переносят кратковременное промерзание почвы. Лишь после этого, при нарастающем повышении температур весной, наблюдается окончательное их прорастание (надземное отрастание первого настоящего листа).

Растения первого года жизни характеризуются наличием одного (реже двух) листьев. В последующие годы растения представлены 2–3 листьями и развивающимся корневищем с той лишь разницей, что ежегодно они увеличиваются в размерах. Начало генеративного периода развития алтайских растений пиона уклоняющегося, выращенных из семян в открытом грунте, приходится на 6–7-й год (высокогорный экотип) или на 7–8-й год (предгорный экотип) [26; 27].

При вегетативном размножении *P. anomala* используют зрелые корневища, которые легко делятся на отдельные части (партикулы) пропорционально наличию у них 2–3 развитых почек возобновления. Заготовку и высадку частей корневища следует проводить в середине августа в подготовленную заранее почву. Пересаженные растения зацветают на 3–4-й год. Наиболее сильный рост и обильное цветение растений пиона уклоняющегося наблюдается на влажных дренированных, богатых перегноем почвах. В смешанных посадках искусственно создаваемых насаждений ботанико-

географического участка «Алтай» отличается высокой зимостойкостью. Хорошо переносит весенние и летние резкие перепады температур. Повреждений вредителями и болезнями не наблюдалось. Рекомендуются для использования в зеленых композициях на опушках и под пологом разреженных древесных пород в парковых насаждениях. Хорошо смотрится в смешанных посадках растений, представляющих противоположные экотипы, что почти в два раза продлевает период цветения растений этого вида и усиливает эстетический эффект композиции. В коллекционных питомниках ПАБСИ (с 1934 г.) природные образцы алтайских растений сохраняются свыше 80 лет. Хорошие декоративные качества, ранние сроки (июль) цветения, продолжительность большого жизненного цикла в культуре ставят пион уклоняющийся в ряд наиболее перспективных растений для озеленения населенных пунктов Кольского Заполярья.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования подтвердили широкие адаптационные возможности *P. anomala*. Эти приспособительные особенности (различные реакции растений одного и того же вида на одинаковые условия их выращивания при интродукции) зависят не только от общей экологической природы вида в целом, но и от природно-климатических условий местообитания конкретной группы растений (экотипа) данного вида. На фоне этих условий в результате естественного отбора в ряде последующих поколений происходили наследственные изменения (в ту или другую сторону) диапазона их нормы реакции. Это соответствует утверждению П. А. Баранова [3] о том, что на процесс приспособления растений к новым условиям влияет не только общая история вида, но и история последних генераций исходных для интродукции форм растений этого вида.

Морфометрическая изменчивость горных растений при интродукции демонстрирует выработанный в процессе эволюции вида защитный механизм фенотипической изменчивости растений, направленный на уменьшение их размеров и придания отдельным их частям (в том числе и семенам) форм, помогающих противостоять неблагоприятным факторам окружающей среды. Вследствие этого растение и его части уменьшаются в размерах, а семена, особенно их эндосперм, приобретают наиболее эффективную в плане защиты и противодействия овално-шаровидную форму.

Результаты интродукционного эксперимента показали, что алтайские растения пиона уклоняющегося успешно развиваются в условиях Кольского Заполярья и, при учете индивидуальных биологических особенностей конкретной популяции (экотипа), могут занять достойное место в ассортименте ценных декоративных и лекарственных растений Горного Алтая, выращиваемых в Мурманской области.

Приоритет растений высокогорного экотипа в условиях Кольского Заполярья при определении перспектив введения в культуру алтайских растений *P. anomala* еще раз указывает на эффективность использования популяционного подхода при интродукции, а также способствует оптимизации этого процесса в плане подбора форм растений вводимого в культуру вида, соответствующих условиям района интродукции.

Список источников

1. Аврорин Н. А. Многолетники для озеленения Крайнего Севера // Декоративные растения для Крайнего Севера СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 42–103.
2. Агроклиматический справочник по Горно-Алтайской А. О. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 82 с.
3. Баранов А. П. Проблема акклиматизации как ведущая задача ботанических садов // Бюл. Гл. ботан. сада. 1953. Вып. 15. С. 18–23.
4. Вавилов Н. И. Линнеевский вид как система // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1931. Т. 26, вып. 3. С. 109–134.
5. Винтерголлер Б. А., Грудзинская Л. М., Аралбаев Н. К. и др. Растения природной флоры Казахстана. Алма-Ата: Гылым, 1990. 228 с.
6. Красная книга Мурманской области. Кемерово: Азия-принт, 2014. 584 с.
7. Лучник З. И. Декоративные растения Горного Алтая. М.: Сельхозгиз, 1951. 224 с.
8. Малеев В. П. Теоретические основы интродукции. Л.: Сельхозгиз, 1933. 160 с.

9. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М.: Гл. ботан. сад. Совет ботанических садов СССР, 1975. 28 с.
10. Мальшева Р. М. Пионы в Томской области. Томск: Изд-во ТГУ, 1975. 113 с.
11. Минаева В. Г. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск: Наука, 1991. 428 с.
12. Николаева М. Г. Покой семян // Физиология семян. М.: Наука, 1982. С. 125–288.
13. Орлова Н. И. Род *Paeonia* L. // Флора Мурманской области. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. Вып. III. С. 259–260.
14. Редкие и исчезающие растения флоры СССР. Л.: Наука, 1981. 263 с.
15. Семко А. П. Климатическая характеристика Полярно-альпийского ботанического сада // Флора и растительность Мурманской области. Л.: Наука, 1972. С. 73–130.
16. Синская Е. Н. Вид и его структурные части на различных уровнях органического мира // Бюл. Всесоюз. НИИ растениеводства. 1976. Вып. 91. С. 7–24.
17. Скворцов А. К., Трулевич Н. В., Алфёрова З. Р. и др. Интродукция растений природной флоры СССР. М.: Наука, 1979. 431 с.
18. Савкина З. П., Андреева Т. В., Говорина Т. П. Дикорастущие травы Якутии в культуре. Новосибирск: Наука, 1981. 234 с.
19. Токарский О. Ф. Интродукція рослин Алтаю // Інтродукція на Україні корисних рослин природної флори СРСР. Київ: Наук. думка, 1972. С. 196–234.
20. Филипова Л. Н. Введение в культуру и биология развития видов местной флоры. Апатиты: Кольский НЦ АН СССР, 1990. 132 с.
21. Шипчинский Н. В. Род *Paeonia* L. // Флора СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. Т. VII. С. 24–35.
22. Шулькина Т. В. Биология некоторых травянистых интродуцентов в Ленинграде // Труды БИН АН СССР. 1970. Сер. 6. Вып. 10. С. 131–161.
23. Юдин С. И. Результаты интродукции растений Алтая в Киеве // Бюл. Гл. ботан. сада. 2001. Вып. 182. С. 25–30. ISSN 0366-502X.
24. Юдин С. И. Особенности прорастания семян алтайских представителей сем. *Ranunculaceae* и *Paeoniaceae* // Бюл. Гл. ботан. сада. 2004. Вып. 188. С. 174–179. ISSN 0366-502X.
25. Юдин С. И. Популяционные аспекты интродукции растений Горного Алтая в условиях Кольского Заполярья // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники. (Мат. всеросс. конференции). Часть 6: Экологическая физиология и биохимия растений. Интродукция растений. Петрозаводск, 2008. С. 382–384.
26. Юдин С. И. Интродукция *Paeonia anomala* L. в условиях ботанических садов Киева и Кировска // Інтродукція рослин. 2012. № 1. С. 52–57. ISSN 1605-6574.
27. Юдин С. И. Морфометрические особенности семян алтайских видов семейств *Ranunculaceae* Juss. и *Paeoniaceae* Rudolphi в условиях Киева и Кировска (Мурманская обл.) // Інтродукція рослин. 2014. № 1. С. 9–17. ISSN 1605-6574.
28. Юдин С. И. Растения Алтая из семейств *Ranunculaceae* Juss. и *Paeoniaceae* Rudolphi в условиях Кольского Севера // Субтропическое и декоративное садоводство. 2020а. № 75. С. 38–48. ISSN 2225-3068.
29. Юдин С. И. К созданию экспозиции растений флоры Алтая в Полярно-альпийском ботаническом саду // Бюл. Гос. Никитского бот. сада. 2020б. № 137. С. 84–93. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2020-137-84-93>.

References

1. Avrorin N. A. *Mноголетники для озеленения Крайнего Севера* [Perennials for landscaping in Far North]. *Декоративные растения для Крайнего Севера СССР* [Ornamental plants for the Far North of the USSR]. Moscow, Leningrad, Izd-vo SSSR, 1958, pp. 42–103. (In Russ.).
2. *Агроклиматический справочник по Горно-Алтайской А. О. Л.* [Agroclimatic reference book for the Altai Autonomous Oblast]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1962, 82 p. (In Russ.).

3. Baranov A. P. Problema akklimatizatsii kak vedushchaya zadacha botanicheskikh sadov [The problem of acclimatization as the leading task of botanical gardens]. *Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of Main Botanical Gardens], 1953, Is. 15, pp. 18–23. (In Russ.).
4. Vavilov N. I. Linneevskij vid kak sistema [Linnaean view as a system]. *Trudy po prikladnoy botaniki, genetiki i selekcii. Vypusk 3* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Issue 3]. Leningrad, 1931, Vol. 26, pp. 109–134. (In Russ.).
5. Vintergoller B. A., Grudzinskaya L. M., Aralbaev N. K. et al. *Rasteniya prirodnoj flory Kazahstana* [Plants of natural flora of Kazakhstan]. Alma-Ata, Gylym, 1990, 228 p. (In Russ.).
6. *Krasnaya kniga Murmanskoy oblasti* [Red data book of Murmansk Region]. Kemerovo, 2014, 584 p. (In Russ.).
7. Luchnik Z. I. *Dekorativnyye rasteniya Gornogo Altaya* [Ornamental plants of the Altai Mountains]. Moscow, Selkhozgiz, 1951, 224 p. (In Russ.).
8. Maleev V. P. *Teoretichskiye osnovy introduktsii* [Theoretical foundations of introduction]. Leningrad, Selkhozgiz, 1933, 160 p. (In Russ.).
9. *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy v botanicheskikh sadakh SSSR* [Methodology for phenological observations in botanical gardens of the SSSR]. Moscow, Main Botanical Garden, Council of Botanical Gardens of the USSR, 1975, 28 p.
10. Malysheva R. M. *Piony v Tomskoy oblasti* [Peonies in the Tomsk region]. Tomsk, Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 1975, 113 p. (In Russ.).
11. Minaeva V. G. *Lekarstvenniye rasteniya Sibiri* [Medicinal plants of Siberia]. Novosibirsk, Nauka, 1991, 428 p. (In Russ.).
12. Nikolaeva M. G. Pokoy semyan [Seed dormancy]. *Fiziologiya semyan* [Seed physiology]. Moscow, Nauka, 1982, pp. 125–288. (In Russ.).
13. Orlova N. I. Rod Paeonia L. [The genus Paeonia L.]. *Flora Murmanskoy oblasti* [Flora of the Murmansk region]. Moscow, Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1956, Is. III, pp. 259–260. (In Russ.).
14. *Redkiye i ischezayushchiye rasteniya flory SSSR* [Rare and endangered plants of the flora of the USSR]. Leningrad, Nauka, 1981, 263 p. (In Russ.).
15. Semko A. P. Klimaticheskaya kharakteristika Polyarno-alpiyskogo botanicheskogo sada [Climatic characteristics of the Polar-Alpine Botanical Garden]. *Flora i rastitelnost Murmanskoy oblasti* [Flora and vegetation of the Murmansk region]. Leningrad, Nauka, 1972, pp. 73–130. (In Russ.).
16. Sinskaya E. N. Vid i yego strukturnyye chasti na razlichnykh urovnyakh organicheskogo mira [The species and its structural parts at various levels of the organic world]. *Byulleten Vserossiyskogo NII rastenyevodstva* [Bulletin All-Russian Research Institute of Plant Growing], 1976, Is. 91, pp. 7–24. (In Russ.).
17. Skvortsov A. K., Trulevich N. V., Alferova Z. R. *Introduktsiya rasteniy prirodnoy flory SSSR* [Introduction of plants of the natural flora of USSR]. Moscow, Nauka, 1979, 431 p. (In Russ.).
18. Savkina Z. P., Andreeva T. V., Govorina T. P. *Dikorastushchiye travy Yakutii v culture* [Wild herbs of Yakutia in culture]. Novosibirsk, Nauka, 1981, 234 p. (In Russ.).
19. Tokarsky O. F. *Introduktsiya roslyn Altayu* [Introduction of Altai plants]. *Introduktsiya na Ukraine korisnikh roslyn prirodnoi flori SRSR* [Introduction of useful plants of natural flora in Ukraine]. Kiev, Naukova dumka, 1972, pp. 196–234.
20. Filipova L. N. *Vvedeniye v kulturu i biologiya razvitiya vidov mstnoy flory* [Introduction to the culture and developmental biology of native flora species]. Apatity, KNC RAN USSR, 1990, 132 p. (In Russ.).
21. Shipchinsky N. V. Rod Paeonia L. [Genus Paeonia L.]. *Flora USSR* [Flora of the USSR]. Moscow, Leningrad, Izd-vo AN USSR, 1937, Vol. VII, pp. 24–35. (In Russ.).
22. Shulkina T. V. *Biologiya nekotorykh travyanistykh introdutsentov v Leningrade* [Biology of some herbaceous introduced plants in Leningrad]. *Trudy BIN AN SSSR. Ser. 6. Vip. 10* [Proceedings of the BIN AN USSR. Ser. 6. Is. 10.], 1970, pp. 131–161. (In Russ.).

23. Yudin S. I. Rezultaty introduksii rasteniy Altaya v Kiyeve [Results of the introduction of Altai plants in Kyiv]. *Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of Main Botanical Garden], 2001, Is. 182, pp. 25–30. (In Russ.). ISSN 0366-502X.
24. Yudin S. I. Osobennosti prorstaniya semyan altayskikh predstaviteley sem. *Ranunculaceae* i *Paeoniaceae* [Peculiarities of seeds germination Altai representatives of the family *Ranunculaceae* and *Paeoniaceae*]. *Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of Main Botanical Garden], 2004, Is. 188, pp. 174–179. ISSN 0366-502X.
25. Yudin S. I. Populyatsionnyye aspekty introduksii rasteniy Gornogo Altaya v usloviyakh Kolskogo Zapolyarya [Population aspects of the introduction of plants of the Altai Mountains in the conditions of the Kola Arctic]. *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy botaniki (Materialy vserossiyskoy nauchnoy konferentsii). Chast 6: Introduktsiya rasteniy* [Fundamental and applied problems of botany (Materials of the All-Russian scientific conference). Part 6: Introduction of plants]. Petrozavodsk, 2008, pp. 382–384. (In Russ.).
26. Yudin S. I. Introduktsiya *Paeonia anomala* L. v usloviyakh dotanicheskikh sadov Kiyeva i Kirovska [Introduction of *Paeonia anomala* L. in the conditions of the botanical gardens of Kyiv and Kirovsk]. *Introduktsiya roslin* [Plant introduction], 2012, No. 1, pp. 52–57. (In Russ.). ISSN 1605-6574.
27. Yudin S. I. Morfometricheskiye osobennosti semyan altaiskikh vidov semeystv *Ranunculaceae* Juss. i *Paeoniaceae* Rudolphi v usloviyakh Kiyeva i Kirovska (Murmanskaya oblast) [Morphometric features of seeds of Altai species of families *Ranunculaceae* Juss. and *Paeoniaceae* Rudolphi in the conditions of Kiev and Kirovsk (Murmansk region)]. *Introduktsiya roslin* [Plant introduction], 2014, No. 1, pp. 9–17. (In Russ.). ISSN 1605-6574.
28. Yudin S. I. Rasteniya Altaya iz semeystv *Ranunculaceae* Juss. i *Paeoniaceae* Rudolphi v usloviyakh Kolskogo Severa [Plants of Altai from families *Ranunculaceae* Juss. and *Paeoniaceae* Rudolphi in the conditions of Kola North]. *Subtropicheskoye i dekorativnoye sadovodstvo* [Subtropical and ornamental gardening], 2020, No. 75, pp. 38–48. (In Russ.). ISSN 2225-3068.
29. Yudin S. I. K sozdaniyu ekspozitsii rasteniy flory Altaya v Polyarno-alpiyskom botanicheskom sadu [Towards the creation of an exposition of plants of the Altai flora in the Polar-Alpine Botanical Garden]. *Bulletin Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [State Nikitsky Botanical Garden], 2020, No. 137, pp. 84–93. (In Russ.). <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2020-137-84-93>.

Информация об авторе

С. И. Юдин — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник.

Information about the author

S. I. Yudin — PhD (Biology), Senior Researcher.

Статья поступила в редакцию 21.02.2024; одобрена после рецензирования 29.03.2024; принята к публикации 02.04.2024.
The article was submitted 21.02.2024; approved after reviewing 29.03.2024; accepted for publication 02.04.2024.

Научная статья
УДК 582.47:551.58:502.5 (470.21)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.007

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЗОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ХВОЙНЫХ ПОРОД ЛАПЛАНДСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И ИХ СВЯЗЬ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

Николай Сергеевич Рябов¹, Наталья Владимировна Зануздаева², Людмила Георгиевна Исаева³

¹ *Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

² *Лапландский государственный природный биосферный заповедник, Мончегорск, Россия*

¹ *n.ryabov@ksc.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4611-9207>*

² *natazan@mail.ru*

³ *l.isaeva@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4636-112X>*

Аннотация

Охарактеризован температурный режим за 29 лет (1994–2022) по метеостанции г. Мончегорска. Приведены средние даты наступлений 9 фенологических фаз у сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea obovata* Ledeb.). За рассматриваемый период значимые тренды обнаружены только для нескольких фенологических фаз ели. При сравнении дат наступления фенофаз «начало разворачивания хвои» для ели и «начало цветения» сосны за период с 2013 по 2022 г. с датами периода с 1964 по 1972 г. обнаружены значимые сдвиги в сторону более раннего наступления этих фенофаз (на 10 и 8 суток соответственно). Для сосны и ели по девяти фенофазам были определены корреляционные связи со среднемесячными температурами воздуха, выявлена высокая зависимость наступления ряда фенологических фаз от температур мая у ели и июня у сосны.

Ключевые слова:

Pinus sylvestris L., *Picea obovata* Ledeb., фенологические фазы, климат, фенология, фенологический сдвиг, Лапландский заповедник

Для цитирования:

Рябов Н. С., Зануздаева Н. В., Исаева Л. Г. Анализ изменения сезонных явлений хвойных пород Лапландского заповедника и их связь с климатическими факторами // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 51–62. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.007.

Original article

ANALYSIS OF SEASONAL EVENTS CHANGES OF LAPLAND STATE NATURE RESERVE CONIFEROUS SPECIES AND THEIR RELATIONS TO CLIMATE FACTORS

Nickolay S. Ryabov¹, Natalia V. Zanutdayeva², Ludmila G. Isaeva³

¹ *Institute of North industrial Ecology Problems of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

² *Lapland State Nature Biosphere Reserve, Monchegorsk, Russia*

¹ *n.ryabov@ksc.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4611-9207>*

² *natazan@mail.ru*

³ *l.isaeva@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4636-112X>*

Abstract

The temperature regime for 29 years (1994–2022) at the weather station of Monchegorsk City is characterized. The average dates of onset of 9 phenological phases in pine (*Pinus sylvestris* L.) and spruce (*Picea obovata* Ledeb.) are given; for the period under consideration, significant trends were found only for several phenological phases of spruce. When comparing the dates of the phenophases "beginning of needle unfolding" for spruce and "beginning of flowering" for pine for the period from 2013 to 2022 with the dates of the period from 1964 to 1972, significant shifts towards earlier onset of these phenophases (by 10 and 8 days, respectively) were found. Correlations with mean monthly air temperatures were determined for nine phenophases for pine and spruce, and a high dependence of the onset of a number of phenological phases on temperatures in May for spruce and June for pine was revealed.

Keywords:

Pinus sylvestris L., *Picea obovata* Ledeb., phenological phases, climate, phenology, phenological shift, Lapland Reserve

For citation:

Ryabov N. S., Zanutdayeva N. V., Isaeva L. G. Analysis of seasonal events changes of Lapland State Nature Reserve coniferous species and their relations to climate factors. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 51–62. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.007.

Введение

Одним из важнейших направлений современной науки является изучение процессов изменения климата, где более актуальным становится выявление динамики климатических условий на основе изучения фенологических процессов [23]. Исследования фенологии растений приобретают особенное значение и распространение благодаря биоиндикационной способности живых организмов в вопросах влияния изменения климата на биоту [11]. Это связано с гидротермическими факторами, которые являются значимыми в жизни живых существ [25]. Однако определяющая роль температурного фактора верна только для весенне-летних фитофеноявлений [21]. Биологические виды по-разному и неоднозначно реагируют на климатические изменения. Одним из показателей климатических изменений является смещение дат наступления фенологических фаз растений [26; 28]. Такие смещения наблюдаются как во всем мире [27; 30; 33; 35], так и в России [12; 14; 22; 34; 36].

Обнародование и обработка результатов многолетних наблюдений за природой Арктического региона имеет особое значение [16]. Причинами тому являются, во-первых, накапливаемые преимущественно заповедниками, огромные массивы данных, осмысление и обработка которых важны для исследования причинной зависимости сроков наступления отдельных явлений от условий среды и в целом природы фенологических процессов в то или иное время года [21]. Во-вторых, территориальный фактор — заполярное положение заповедника, который обуславливает хрупкость экосистем, скудное биоразнообразие и короткий период вегетации. Прогнозирование климатических изменений и их влияния на природу Арктики — крайне сложная задача [10]. В-третьих, важность наблюдения за древесными растениями и обработки многолетних данных по датам наступления фенологических фаз, так как сосна и ель являются основными лесобразующими породами в Мурманской области, их плодоношение влияет на лесовозобновление, также семена хвойных пород являются кормом для многих лесных животных [9]. Известно, что деревья более устойчивы к стрессовым экзогенным условиям, поскольку у них более развита морфологическая адаптация и продолжительность жизни, поэтому изучение именно дендрофенологии наиболее показательно для индикации природных трансформаций на экосистемном уровне [3].

Изучение закономерностей развития сезонных процессов — это одна из ключевых задач Лапландского государственного природного биосферного заповедника. Он был создан в 1930 г. в центральной части Мурманской области, территория его полностью входит в подзону северной тайги. Фенологические наблюдения в заповеднике ведутся со времени его основания. В 1961 г. была написана первая книга «Летопись природы», с этого времени она формируется ежегодно.

Цель данного исследования — оценить взаимосвязи наступления фенологических фаз сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) с датами устойчивых переходов среднесуточных температур, оценить достоверность фенологических сдвигов.

Материалы и методы

Фенологические наблюдения ведутся по двум методикам [1; 24]. Учет плодоношения сосны и ели в Лапландском заповеднике организован с 1964 г. [9] на трех стационарах в долинах рек Верхняя Чуна и Мавра, в сосняках кустарничково-лишайниковых и в ельниках кустарничково-зеленомошных; на трех стационарах в районе расположения усадьбы заповедника. Фенологические наблюдения за высшими растениями ведутся на трех постоянных маршрутах, два из которых были заложены в 1936 г., третий — в 1994 г.

С 1994 г. наблюдение за сосной и елью сместилось из стационаров в район Чунозерской усадьбы, и тогда же значительно расширилось количество отмечаемых у растений фенологических фаз [2; 18; 19]. Ежегодно у хвойных пород на территории заповедника фиксируются следующие фенофазы: «лопнули почки», «начало развития хвои», «появление полного листа», «начало бутонизации», «начало цветения», «массовое цветение», «начало отцветания», «массовое отцветание», «полное отцветание». В соответствии с рекомендациями [17], названия фенофаз были приведены в единый формат по руководству А. А. Минина [13] с учетом специфики природы Мурманской области [16] с указанием международного номера фазы [31; 32]. В данной статье представлены результаты обработки данных наступления фаз у сосны и ели за период с 1994 по 2022 г.

Температурные данные взяты по метеостанции г. Мончегорска, расположенной в 30 км от фенологического маршрута в северном направлении. Даты наступления фенофаз переводились в непрерывный ряд чисел от 1 марта по Г. Н. Зайцеву [7]. Значения коэффициентов корреляции даны на уровне значимости $p < 0,05$.

Использовался линейный регрессионный анализ, заключающийся в построении линий тренда, нахождении коэффициента корреляции (r), детерминации (R^2) и вероятности ошибки (p). Также для определения достоверности смещений дат наступлений применялся непараметрический статистический критерий Манна — Уитни. Для статистической обработки данных использовались программы MS Excel и Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

В период с 1994 по 2022 г. наблюдалась положительная динамика среднегодовых температур в г. Мончегорске (рис. 1). Среднегодовая температура воздуха за рассматриваемый период составила $+0,89$ °С. По показателям температуры воздуха самый теплый год — 2020 ($+2,3$ °С), наиболее холодный — 1998 г. ($-2,17$ °С). Линейный тренд за период (1994–2022 гг.) показывает смещение температуры атмосферного воздуха в сторону повышения, аналогичный результат получен и за период 1971–2020 гг. [8].

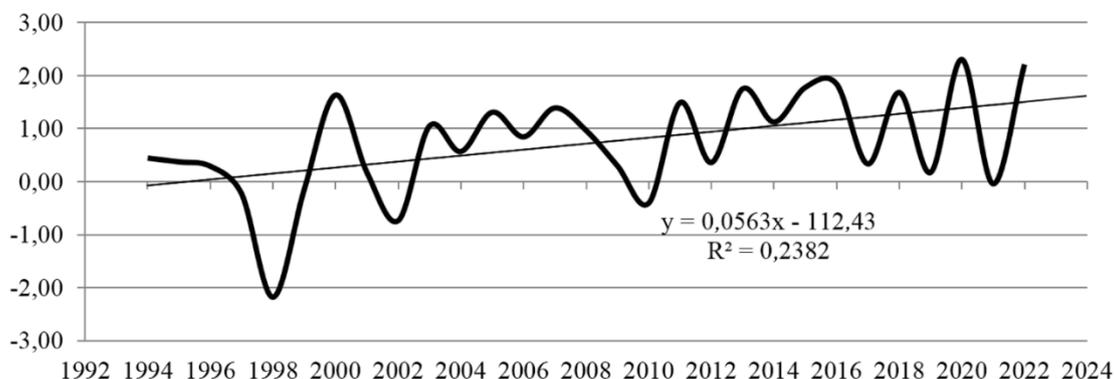


Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха в г. Мончегорске за период 1994–2022 гг.

В динамику среднегодовых температур наибольший вклад вносили температуры мая ($R^2 = 0,24$), в меньшей степени — апреля и ноября ($R^2 = 0,11$). Для рассматриваемого периода характерно увеличение количества дней с температурами выше $+5$ °С ($R^2 = 0,19$), в особенности у весенних месяцев — апреля и мая ($R^2 = 0,20$). Характерно также увеличение сумм положительных среднесуточных температур для весенних месяцев (>0 °С, >5 °С; $R^2 = 0,20$), для летних — июль-август — отмечен рост сумм температур >10 °С ($R^2 = 0,16$). Проведенный анализ динамики зимних оттепелей (ноябрь-март) выраженной и статистически значимой динамики не показал.

Среднегодовая температура воздуха за период с 1994 по 2022 г. стала выше на $1,53$ °С средней температуры за период с 1961 по 1990 г. и выше на $0,74$ °С среднегодовой температуры периода с 1981 по 2010 г. Среднегодовая температура за десятилетие с 2013 по 2022 г. уже на $2,1$ °С превысила норму периода с 1961 по 1990 г. и на $1,3$ °С — норму периода с 1981 по 2010 г., что соответствует мировой тенденции повышения среднегодовой температуры [29] и локальным прогнозам по стране и региону [5; 6].

Средние даты фенологических фаз сосны обыкновенной и ели представлены в табл. 1. Сосна обыкновенная не показывает достаточно выраженной динамики по смещению наступления фенофаз. Тенденция к смещению на более ранние сроки наступления проявляют фенофазы начала цветения и массового цветения (рис. 2), однако показатели коэффициента детерминации статистически незначимы ($R^2 = 0,12$).

Таблица 1

Средние даты наступления фенологических фаз у хвойных пород
за период с 1994 по 2022 г.

Фенофаза	Сосна			Ель		
	Дата наступления	Кол-во наблюдений	R ²	Дата наступления	Кол-во наблюдений	R ²
Начало роста (ВВСН 10)	11.06 ± 10	14	-0,07	8.06 ± 7	15	-0,29*
Начало разветвляния хвои (ВВСН 11)	20.06 ± 10	25	-0,01	14.06 ± 7	28	-0,14
Полное облиствение** (ВВСН 12-13)	18.07 ± 6	25	-0,02	12.07 ± 7	28	-0,09
Начало бутонизации (ВВСН 51)	20.06 ± 6	29	0,00	11.06 ± 7	27	-0,13
Начало цветения (ВВСН 61)	25.06 ± 6	29	-0,12	16.06 ± 7	28	-0,23*
Массовое цветение (ВВСН 65)	28.06 ± 7	29	-0,12	19.06 ± 8	28	-0,25*
Начало отцветания (ВВСН 66-67)	30.06 ± 7	25	-0,03	21.06 ± 8	24	-0,19*
Массовое отцветание (ВВСН 68-69)	4.07 ± 7	25	-0,002	25.06 ± 9	24	-0,18*
Полное отцветание (ВВСН 69)	9.07 ± 8	29	-0,08	1.07 ± 9	27	-0,20*

Примечание. В скобках даны названия фенофаз по международной классификации; после дат указаны округленные до целых суток значения стандартного отклонения.

* Отмечены значения R², значимые на 95 %-м уровне, знак добавлен для понимания направленности тренда.

** Полное завершение роста хвои текущего года.

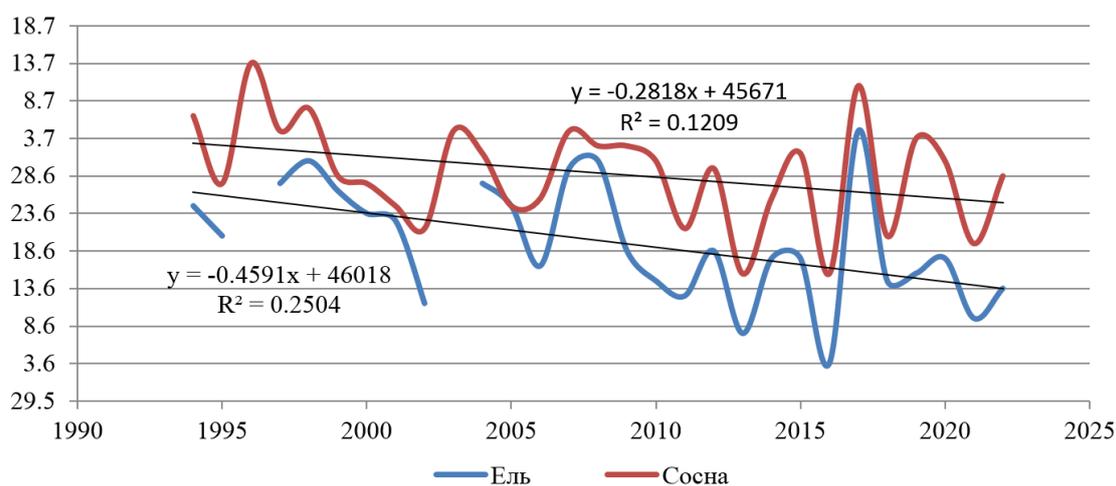


Рис. 2. Динамика дат начала массового цветения сосны и ели

В среднем все фенологические фазы развития сосны происходят на 8 ± 6 суток позже фаз развития ели. За десятилетие с 2013 по 2022 г. фазы развития сосны происходили в среднем уже на 10 ± 6 суток позже фаз развития ели. Увеличение разницы в наступлении фенофаз

наблюдавшихся хвойных деревьев заповедника происходит за счет ели сибирской. Выявлено статистически значимое смещение сроков наступления на более ранние даты следующих фаз развития ели: «начало роста», «начало цветения» и «массовое цветение», «начало отцветания», «массовое отцветание», «полное отцветание» ($R^2 = 0,18...0,29$).

Для двух пород деревьев было проведено сравнение средних дат наступления восьми фенологических фаз за десятилетие с 1994 по 2003 г. и за пять лет с 2018 по 2022 г. (табл. 2). Фенологический этап начала роста не обрабатывался по причине пробелов в данных. Применение непараметрического статистического критерия Манна — Уитни показало, что значимые временные сдвиги фенологических дат имелись только для фенологических фаз ели. Фенодаты «начало цветения», «массовое цветение» наступили раньше на 7 и 9 дней соответственно, а «начало отцветания», «массовое отцветание» и «полное отцветание» — на 9, 10 и 12 дней соответственно.

Таблица 2

Анализ временных сдвигов начала фенологических фаз ели сибирской и сосны обыкновенной

Фенологическая фаза	Сосна				Ель			
	I	II	Δ_1	p_1	I	II	Δ_2	p_2
Начало разворачивания хвои	21.6±11	22.6±4	-1	0,715	17.6±6	12.6±3	5	0,205
Полное облиствление	21.7±5	18.7±5	3	0,273	14.7±7	6.7±3	8	0,064
Начало бутонизации	20.6±6	19.6±3	1	0,951	13.6±6	8.6±3	4	0,188
Начало цветения	27.6±6	22.6±4	5	0,159	19.6±6	12.6±3	7	0,028
Массовое цветение	1.7±7	26.6±6	5	0,221	23.6±6	14.6±3	9	0,023
Начало отцветания	2.7±4	28.6±8	4	0,411	24.6±4	15.6±5	9	0,022
Массовое отцветание	6.7±4	6.7±5	0	0,855	28.6±4	18.6±6	10	0,028
Полное отцветание	12.7±7	9.7±5	3	0,501	4.7±7	23.6±7	12	0,034

Примечание: I — средняя дата наступления во временной период с 1994 по 2003 г.; II — средняя дата наступления во временной период с 2018 по 2022 г.; после дат указаны округленные до целых суток значения стандартного отклонения; $\Delta_i = I - II$ — смещение сроков наступления феноявления, округленных до целых суток.

Несколько иная картина наблюдалась в заповеднике «Столбы» [14], где, хотя и анализировались данные за более длительный период (1952–2008 гг.), был выявлен достоверный сдвиг фенофазы «начало разворачивания хвои» у сосны (на 11 дней раньше в период с 1990 по 2008 г. по сравнению с периодом с 1952 по 1989 г.), на 22 дня раньше у сосны регистрировалось «полное облиствление», ель же показывала достоверное смещение только по фенофазе «полное облиствление» (на 8 дней раньше). В Лапландском заповеднике сосна и ель за исследуемый период не проявляли достоверных смещений по данным фенофазам.

На основе доступных литературных источников [20] были обработаны данные по двум фенологическим фазам — «начало разворачивания хвои» у ели и «начало цветения» у сосны — за девять лет с 1964 по 1972 г. и выполнено сравнение этих фенодат в различные периоды с 1994 по 2022 г. (табл. 3). Выявлено, что средние даты наступления этих фенофаз за девять лет (с 1964 по 1972 г.) достоверно не отличаются от средних дат наступления за период с 1994 по 2003 г. и за период с 1994 по 2022 г. При этом при сравнении данных за десятилетие с 2013 по 2022 г. с более ранним периодом (1964–1972) обнаружено значимое различие дат наступления как для ели, так и для сосны (смещение к более раннему наступлению на 10 и 8 суток соответственно). Однако необходимо отметить, что в период с 1964 по 1972 г. сбор данных по сосне и ели осуществлялся на специальных стационарах, тогда как с 1990-х гг. фенологическая информация собиралась в районе Чунозерской усадьбы Лапландского заповедника.

Подобные результаты по фенофазе «начало цветения» были обнаружены в Печоро-Илычском заповеднике [4]. Сравнивались даты наступления в период с 1961 по 1990 г. и с 2003 по 2016 г., был определен достоверный сдвиг к более раннему наступлению цветения у сосны и у ели (на 7 суток).

Таблица 3

Временные сдвиги фенофаз сосны и ели (сравнение с периодом 1964–1972 гг.)

Период	Начало цветения сосны			Начало разворачивания хвои ели		
	Дата наступления	Δ	r	Дата наступления	Δ	r
1964–1972	30.6 ± 5			20.6 ± 5		
1994–2003	27.6 ± 6	3	0,306	17.6 ± 6	4	0,289
1994–2022	25.6 ± 6	5	0,285	14.6 ± 7	7	0,314
2013–2022	22.6 ± 8	8	0,036	11.6 ± 8	10	0,003

Примечание. Полужирным отмечен период, с которым сравниваются все последующие; после дат указаны округленные до целых суток значения стандартного отклонения; Δ — смещение сроков наступления феноявления, округленных до целых суток, в сравнении с периодом с 1964 по 1972 г.

Рассчитанные величины коэффициентов корреляции позволили выделить наиболее сильные статистически достоверные связи наступления фенологических фаз со среднемесячными температурами воздуха за 29 лет — с 1994 по 2022 г. (табл. 4).

Таблица 4

Значения коэффициентов корреляций среднемесячных температур воздуха и фенофаз сосны и ели

Фенологическая фаза	Сосна		Ель	
	Месяц	r	Месяц	r
Начало роста	Январь	0,62	Май	-0,62
Начало разворачивания хвои	Январь	0,51	Май	-0,59
	Май	-0,51		
Полное облиствение	Май	-0,50	Июнь	-0,56
Начало бутонизации	Июнь	-0,64	Май	-0,67
Начало цветения	Июнь	-0,70	Май	-0,72
Массовое цветение	Июнь	-0,74	Май	-0,74
Начало отцветания	Июнь	-0,71	Май	-0,68
Массовое отцветание	Май	-0,59	Май	-0,64
Полное отцветание	Май	-0,64	Май	-0,63

Результаты показывают, что сильная отрицательная корреляционная связь с температурами мая характерна для фенофаз «начало цветения» и «массовое цветение» ели ($r = -0,72 \dots -0,74$). «Начало цветения», «массовое цветение» и «начало отцветания» сосны обладают сильной отрицательной корреляционной связью с температурами июня. Стоит выделить наличие положительной достоверной корреляционной связи фенофаз «начало роста» и «начало разворачивания хвои» сосны с январскими температурами.

Заключение

Рассмотрен температурный режим по метеостанции г. Мончегорска. Климатические тенденции в целом подобны общероссийской и мировой динамике потепления. Среднегодовая температура за десятилетие с 2013 по 2022 г. увеличилась на 2,1 °С по сравнению с нормой температуры за 1961–1990 гг. и стала на 1,26 °С выше нормы среднегодовой температуры периода с 1981 по 2010 г.

Проанализирована динамика изменений наступления фенологических фаз сосны и ели за 29 лет. Обнаружено, что сосна не проявляет достоверных смещений фенофаз к раннему или позднему наступлению, тогда как для фенофаз ели («начало роста», «начало цветения» и «массовое цветение», «начало отцветания», «массовое отцветание», «полное отцветание») характерен достоверный тренд

к более раннему наступлению ($R^2 = 0,18 \dots 0,29$). Это подтверждается анализом временных сдвигов наступления выше упомянутых фенологических фаз, кроме «начало роста»: существует достоверный сдвиг к более ранним датам наступления (на 7–12 суток).

Сравнение данных наступления фенофаз «начало разветвления хвои» у ели и «начало цветения» у сосны с 1964 по 1972 г. с периодом 2013–2022 гг. показало достоверное смещение в наступлении этих феноявлений как для ели, так и для сосны на 10 и 8 суток соответственно.

Для сосны и ели по девяти фенофазам были определены корреляционные связи со среднемесячными температурами воздуха (за период 1994–2022 гг.), выявлена высокая зависимость наступления фенологических фаз от температур разных месяцев, особенно мая у ели ($r = -0,59 \dots -0,74$) и июня у сосны ($r = -0,64 \dots -0,74$).

Данные многолетних фенологических наблюдений — единственный массовый, сопоставимый и достоверный источник информации о реакции живой природы на изменения климата, собственно, об изменениях в природе регионов и России в целом. Основная цель научных исследований заповедников — изучение функционирования природных комплексов. Неотъемлемой частью таких исследований является изучение характера фенологических процессов. Поэтому очень важно продолжить эти исследования и именно на тех стационарах, маршрутах и объектах, где ведется длительный период наблюдений. Многолетнее накопление дат наступления сезонных явлений в природе позволяет выявлять общие и частные пространственные и временные закономерности ритмики местной природы.

Список источников

1. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука, 1974. 154 с.
2. Берлина Н. Г., Зануздаева Н. В., Исаева Л. Г. Организация и проведение фенологических наблюдений в Лапландском заповеднике // Летопись природы России: фенология. Материалы I Международной фенологической школы-семинара в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике. Великие Луки, 2018. С. 18–25.
3. Бисикалова Е. А. Влияние природно-климатических факторов на дендрофенологию в заповеднике «Кедровая падь» // Летопись природы России: фенология. Материалы I Международной фенологической школы-семинара в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике. Великие Луки, 2018. С. 26–35.
4. Бобрецов, А. В., Тертица Т. К., Теплова В. П. Влияние изменения климата на фенологию растений и животных юго-восточной части Республики Коми (Печоро-Илычский биосферный заповедник) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Т. 28, № 4. С. 74–93. doi:10.21513/0207-2564-2017-4-74-93.
5. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 60 с.
6. Демин В. И. Основные климатические тенденции на Кольском полуострове за период инструментальных метеорологических измерений // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. № 3 (10). С. 98–110.
7. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука. 1984. 424 с.
8. Зануздаева Н. В., Каримова М. Е. Влияние изменений климата на феноявления в Лапландском государственном заповеднике (Мурманская область) // Труды Кольского НЦ РАН. Серия: Прикладная экология Севера. 2021. Вып. 9. С. 169–174. doi:10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.022.
9. Заповедники Европейской части РСФСР. Ч. 1. М.: Мысль, 1988.
10. Климатический паспорт Кольского экорегиона. М.: Всемирный фонд природы, 2003. 26 с. ISBN 5-89932-033-8.

11. Кузнецова, В. В., Минин А. А., Голубева Е. И. Фенологические явления в системе биоиндикации климатических трендов // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 66–71.
12. Минин А. А. [и др.] Феноиндикация изменений климата за период 1976–2015 гг. в центральной части европейской территории России: береза бородавчатая (повислая) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Т. 28, № 3. С. 5–22. doi:10.21513/0207-2564-2017-3-5-22.
13. Минин А. А., Ананин А. А., Буйволоу Ю. А., Ларин Е. Г., Лебедев П. А., Поликарпова Н. В., Прокошева И. В., Руденко М. И., Сапельникова И. И., Федотова В. Г., Шуйская Е. А., Яковлева М. В., Янцер О. В. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020. Т. 5, № 4. С. 89–110. doi:10.24189/ncr.2020.060.
14. Овчинникова Т. М., Фомина В. А., Андреева Е. Б. Анализ изменений сроков сезонных явлений у древесных растений заповедника «Столбы» в связи с климатическими факторами // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1–2. С. 54–59.
15. Поликарпова Н. В., Макарова О. А. Фенологический атлас растений / под ред. канд. биол. наук А. В. Кравченко. На русск. и англ. яз. Рязань: НП «Голос губернии», 2016. 236 с.
16. Поликарпова Н. В., Макарова О. А., Берлина Н. Г., Зануздаева Н. Г., Толмачева Е. Л., Татарникова И. П., Чемякин Р. Г. Календарь природы заповедников Мурманской области // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы VI Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2016. С. 137–142.
17. Сапельникова, И. И., Шуйская Е. А., Прокошева И. В. Математическая обработка фенологических данных для задач ООПТ // Изменения климата и погодные аномалии: механизмы и эффективность фенологических гомеостатических реакций: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Екатеринбург, 7–10 сентября 2022 года) / под ред. О. В. Янцер, А. М. Юровских, Н. С. Братанова. Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2022. С. 121–136.
18. Сезонная жизнь природы Кольского Севера. Мурманск, 1996. 41 с.
19. Сезонная жизнь природы Кольского Севера (Растения). 1994–2000 гг. Мурманск, 2001. 68 с.
20. Сезонная жизнь природы Русской равнины. Календари природы Нечерноземной зоны РСФСР за 1960–1972 гг. Л.: Наука, 1979. 163 с.
21. Семенов-Тянь-Шанский О. И., Аблаева З. Х. Календарь природы Лапландского заповедника // Сезонная и разногодичная динамика растительного покрова в заповедниках. М., 1983. С. 44–58.
22. Соловьев, А. Н., Шихова Т. Г. Фенологические реакции биоты востока Русской равнины на погодные аномалии // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2021. Т. 32, № 1–2. С. 37–55. doi:10.21513/0207-2564-2021-1-2-37-55.
23. Федотова В. Г. Современное состояние отечественной фенологии // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2009. № 4. С. 166–176.
24. Филонов К. П., Нухимовская Ю. Д. Летопись природы в заповедниках СССР: Метод. пособие / отв. ред. В. Е. Соколов, К. Д. Зыков. М.: Наука, 1990. 142 с. ISBN 5-02-005470-4.
25. Шульц Г. Э. Общая фенология. Л.: Наука, 1981. 188 с.
26. Amano T., Smithers R. J., Sparks T. H., Sutherland W. J. A 250-year index of first flowering dates and its response to temperature changes // Proceedings of the Royal Society of London. B. 210. V. 277, No. 1693. P. 2451–2457. doi:10.1098/rspb.2010.0291.
27. Gu H., Qiao Y., Xi Z., Rossi S., Smith N. G., Liu J. & Chen L. Author Correction: Warming-induced increase in carbon uptake is linked to earlier spring phenology in temperate and boreal forests // Nature Communications. 2022. V. 13. Article number 3698. doi:10.1038/s41467-022-31972-3.
28. Ihouye D. W. Climate change and phenology // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. 2022. V. 13(3). doi:10.1002/wcc.764.

29. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability and Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. NY: Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 2022. 3056 p. doi: 10.1017/9781009325844.
30. Camarero J., Campelo F., Colangelo M., Valeriano C., Knorre A., Solé G., Cuadrado Á. R. Decoupled leaf-wood phenology in two pine species from contrasting climates: Longer growing seasons do not mean more radial growth // *Agricultural and Forest Meteorology*. V. 327. 2022. doi:10.1016/j.agrformet. 2022.109223.
31. Meier U. (Ed.). Growth stages of mono- and dicotyledonous plants: BBCH Monograph. Quedlinburg: Open Agrar Repositorium. 2018. 204 p.
32. Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Heß M., Lancashire P. D., Schnock U., Stauß R., van den Boom T., Weber E., Zwerger P. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants — history and publications // *Journal für Kulturpflanzen*. V. 61 (2). 2009. P. 41–52. doi:10.5073/JfK.2009.02.01.
33. Menzel A., Sparks T. H., Estrella N. [et al.] European phenological response to climate change matches the warming pattern // *Global Change Biology*. 2006. V. 12. P. 1969–1976.
34. Ovaskainen O., Meyke E., Lo C. [et al.] Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology // *Science Data*. 2020. V. 7. Article number 118. doi:10.1038/s41597-020-0454-2.
35. Pudas E., Leppälä M., Tolvanen A. [et al.] Trends in phenology of *Betula pubescens* across the boreal zone in Finland // *International Journal of Biometeorology*. V. 52. 2008. P. 251–259.
36. Rosbakh, S., Hartig, F., Sandanov, D. V., Bukharova, E. V., Miller, T. K., & Primack, R. B. Siberian plants shift their phenology in response to climate change // *Global change biology*. V. 27 (18). 2021. P. 4435–4448. doi:10.1111/gcb.15744.

References

1. Bejdeman I. N. *Metodika izuchenija fenologii rastenij i rastitel'nyh soobshhestv* [Methods of studying phenology of plants and plant]. Novosibirsk, Nauka, 1974, 154 p. (In Russ.).
2. Berlina N. G., Zanzudaeva N. V., Isaeva L. G. Organizacija iprovedenie fenologicheskikh nabljudenij v Laplandskom zapovednike [Organization and conduct of phenological observations in the Lapland Reserve]. *Letopis' prirody Rossii: fenologija. Materialy I Mezhdunarodnoj fenologicheskoy shkoly-seminara v Central'no-Lesnom gosudarstvennom prirodnom biosfernom zapovednike* [Chronicle of Nature of Russia: phenology. Materials of the I International phenological school-seminar in the Central Forest State Natural Biosphere Reserve on August 13–17, 2018], 2018, pp. 18–25. (In Russ.).
3. Bisikalova E. A. Vlijanieprirodno-klimaticheskikhfaktorovnadendrofenologiju v zapovednike “Kedrovaja pad'” [Influence of natural-climatic factors on dendrophenology in the reserve “Kedrovaya Pad’”]. *Letopis' prirody Rossii: fenologija. Materialy I Mezhdunarodnoj fenologicheskoy shkoly-seminara v Central'no-Lesnom gosudarstvennom prirodnom biosfernom zapovednike 13–17 avgusta 2018 g. Velikie Luki* [Chronicle of Nature of Russia: phenology. Materials of the I International phenological school-seminar in the Central Forest State Natural Biosphere Reserve on August 13–17, 2018], 2018, pp. 26–35. (In Russ.).
4. Bobrecov A. V., Tertica T. K., Teplova V. P. Vlijanie izmenenija klimata na fenologiju rastenij i zhivotnyh jugo-vostochnoj chaste Respubliki Komi (Pechoro-Ilychskij biosfernyj zapovednik) [Impact of climate change on the phenology of plants and animals of the southeastern part of the Komi Republic (Pechoro-Ilych Biosphere Reserve)]. *Problemy jekologicheskogo monitoring i modelirovanija jekosistem* [Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems], 2017, V. 28, № 4, pp. 74–93. doi:10.21513/0207-2564-2017-4-74-93. (In Russ.).

5. *Vtoroj ocenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshhee rezjume* [Second Assessment Report on Climate Change and its Impacts on the Territory of the Russian Federation. General summary]. Moscow, Rosgidromet, 2014, 60 p. (In Russ.).
6. Demin V. I. Osnovnye klimaticheskie tendencii na Kol'skom poluostrove za period instrumental'nyh meteorologicheskikh izmerenij [Main climatic trends on the Kola Peninsula for the period of instrumental meteorological measurements]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2012, № 3 (10), pp. 98–110. (In Russ.).
7. Zajcev G. N. *Matematicheskaja statistika v jeksperimental'noj botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka, 1984, 424 p. (In Russ.).
8. Zanzudaeva N. V., Karimova M. E. Vlijanie izmenenij klimata na fenojavlenija v Laplandskom gosudarstvennom zapovednike (Murmanskaja oblast') [Influence of climate change on pheno-events in the Lapland State Reserve (Murmansk region)]. *Trudy Kol'skogo NC RAN. Serija: Prikladnaja jekologija Severa* [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Series: Applied Ecology of the North], 2021, V. 9, pp. 169–174. doi:10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.022. (In Russ.).
9. *Zapovedniki Evropejskoj chasti RSFSR. Chast' 1* [Reserves of the European part of the USSR. Part 1]. Moscow, Mysl', 1988. (In Russ.).
10. *Klimaticheskij pasport Kol'skogo jekoregiona* [Climate Passport of the Kola Ecoregion]. Moscow, Vsemirnyj fond prirody [WWF], 2003, 26 p. ISBN 5-89932-033-8. (In Russ.).
11. Kuznecova V. V., Minin A. A., Golubeva E. I. Fenologicheskie javlenija v sisteme bioindikacii klimaticheskikh trendov [Phenological events in the system of bioindication of climatic trends]. *Problemy regional'noj jekologii* [Problems of Regional Ecology], 2014, no. 5, pp. 66–71. (In Russ.).
12. Minin A. A., Ran'kova E. Ya., Rybina E. G., Bujvolov U. A., Sapel'nikova I. I., Filatova T. D. Fenoidikacija izmenenij klimata za period 1976–2015 gg. V central'noj chaste evropejskoj territorii Rossii: bereza borodavchataja (povislaja) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.)), cheremuha obyknovennaja (*Padus avium* Mill.), rjabina obyknovennaja (*Sorbus aucuparia* L.), lipa melkolistnaja (*Tilia cordata* Mill.) [Phenoidication of climate change for the period 1976–2015. In the central part of the European territory of Russia: warty (hanging) birch (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.)), common bird cherry (*Padus avium* Mill.), common mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.), small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.)]. *Problemy jekologicheskogo monitoring i modelirovanija jekosistem* [Problems of Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems], 2017, V. 28, no. 3, pp. 5–22. doi:10.21513/0207-2564-2017-3-5-22. (In Russ.).
13. Minin A. A., Ananin A. A., Bujvolov Ju. A., Larin E. G., Lebedev P. A., Polikarpova N. V., Prokosheva I. V., Rudenko M. I., Sapel'nikova I. I., Fedotova V. G., Shujskaja E. A., Jakovleva M. V., Jancer O. V. Rekomendacii po unifikacii fenologicheskikh nabljudenij v Rossii [Recommendations on unification of phenological observations in Russia]. *Zapovednaja nauka* [Nature Conservation Research], 2020, V. 5, no. 4, pp. 89–110. doi:10.24189/ncr.2020.060. (In Russ.).
14. Ovchinnikova T. M., Fomina V. A., Andreeva E. B. Analiz izmenenij srokov sezonnyh javlenij u drevesnyh rastenij zapovednika Stolby v svjazi s klimaticheskimi faktorami [Analysis of changes in the timing of seasonal events in woody plants of the Stolby Reserve in connection with climatic factors]. *Hvojnye boreal'noj zony* [Conifers of the Boreal Zone], 2011, V. 28, no. 1–2, pp. 54–59. (In Russ.).
15. Polikarpova N. V., Makarova O. A. Fenologicheskij atlas rastenij [Phenological atlas of plants]. Rjazan', Golos gubernii, 2016, 236 p. (In Russ.).
16. Polikarpova N. V., Makarova O. A., Berlina N. G., Zanzudaeva N. G., Tolmacheva E. L., Tatarnikova I. P., Chemjakin R. G. Kalendar' prirody zapovednikov Murmansknoj oblasti [Calendar of nature reserves of the Murmansk region]. *Jekologicheskie problem severnyh regionov i putihreshenija: Materialy VI Vseross. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem* [Environmental problems of the northern regions and ways to solve them: Proceedings of the VI All-Russian scientific conference with international participation]. Apatity, Izd-vo Kol'skogo nauchnogo centra RAN, 2016, pp. 137–142. (In Russ.).

17. Sapel'nikova, I. I., Shujskaja E. A., Prokosheva I. V. Matematicheskaja obrabotka fenologicheskikh dannyh dlja zadach OOPT [Mathematical processing of phenological data for the tasks of protected areas]. *Izmenenija klimata i pogodnye anomalii: mehanizmy i jeffektivnost' fenologicheskikh gomeostaticeskikh reakcij: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Ekaterinburg, 7–10 sentjabrja 2022 goda)* [Climate change and weather anomalies: mechanisms and efficiency of phenological homeostatic reactions: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Yekaterinburg, September 07–10, 2022)]. Ekaterinburg, Ural'skij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet, 2022, pp. 121–136. (In Russ.).
18. *Sezonnaja zhizn' prirody Kol'skogo Severa (Rastenija) 1994–2000* [Seasonal life of nature of the Kola North (Plants) 1994–2000]. Murmansk, 2001, 68 p. (In Russ.).
19. *Sezonnaja zhizn' prirody Kol'skogo Severa* [Seasonal Life of Nature in the Kola North]. Murmansk, 1996, 41 p. (In Russ.).
20. *Sezonnaja zhizn' prirody Russkoj ravniny. Kalendari prirody Nechernozemnoj zony RSFSR za 1960–1972 gg* [Seasonal life of nature of the Russian Plain. Calendars of Nature of the Non-Black Earth Zone of the RSFSR for 1960–1972]. Leningrad, Nauka, 1979, 163 p. (In Russ.).
21. Semenov-Tjan-Shanskij O. I., Ablava Z. Kh. Kalendar' prirody Laplandskogo zapovednika [Nature Calendar of the Lapland Reserve]. *Sezonnaja i raznogodichnaja dinamika rastitel'nogo pokrova v zapovednikah* [Seasonal and different annual dynamics of vegetation cover in nature reserves]. Moscow, 1983. (In Russ.).
22. Solov'ev, A. N., Shihova T. G. Fenologicheskie reakcii bioty vostoka Russkoj ravniny na pogodnye anomalii [Phenological reactions of biota of the eastern Russian Plain to weather anomalies]. *Jekologicheskij monitoring i modelirovanie jekosistem* [Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems], 2021, V. 32, no. 1–2, pp. 37–55. doi:10.21513/0207-2564-2021-1-2-37-55. (In Russ.).
23. Fedotova V. G. Sovremennoe sostojanie otechestvennoj fenologii [Modern state of domestic phenology]. *Obshhestvo. Sreda. Razvitie (Terra Humana)* [Society. Environment. Development (Terra Humana)], 2009, no. 4, pp. 166–176. (In Russ.).
24. Filonov K. P., Nuhimovskaja Ju. D. Letopis' prirody v zapovednikah SSSR [Chronicle of nature in the USSR reserves]. Moscow, Nauka, 1990, 142 p. ISBN 5-02-005470-4 (In Russ.).
25. Shul'c G. Je. *Obshhaja fenologija* [General phenology]. Leningrad, Nauka, 1981, 188 p. (In Russ.).
26. Amano T., Smithers R. J., Sparks T. H., Sutherland W. J. A 250-year index of first flowering dates and its response to temperature changes. *Proceedings of the Royal Society of London*, B. 210, Vol. 277, No. 1693, pp. 2451–2457. doi:10.1098/rspb.2010.0291.
27. Gu H., Qiao Y., Xi Z. [et al.] Author Correction: Warming-induced increase in carbon uptake is linked to earlier spring phenology in temperate and boreal forests. *Nature Communications*, 2022, V. 13, doi:10.1038/s41467-022-31972-3.
28. Ihouye D. W. Climate change and phenology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2022, V. 13 (3). doi:10.1002/wcc.764.
29. *IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. NY: Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, 3056 p., doi:10.1017/9781009325844.
30. Camarero J., Campelo F., Colangelo M., Valeriano C., Knorre A., Solé G., Rubio-Cuadrado Á., Decoupled leaf-wood phenology in two pine species from contrasting climates: Longer growing seasons do not mean more radial growth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2022, V. 327, ISSN 0168-1923, doi:10.1016/j.agrformet.2022.109223.
31. Meier U. (Ed.). *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants*: BBCH Monograph. Quedlinburg: Open Agrar Repository. 2018, 204 p.
32. Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Heß M., Lancashire P.D., Schnock U., Stauß R., van den Boom T., Weber E., Zwerger P. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants — history and publications. *Journal für Kulturpflanzen*, 2009, Vol. 61 (2), pp. 41–52. doi:10.5073/JfK.2009.02.01.

33. Menzel A., Sparks T. H., Estrella N. [et al.] European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 2006, V. 12, pp. 1969–1976.
34. Ovaskainen, O., Meyke, E., Lo, C. [et al.] Author Correction: Chronicles of nature calendar, a long-term and large-scale multitaxon database on phenology. *Science Data*, 2020, V. 7, Article number 118, doi:10.1038/s41597-020-0454-2.
35. Pudas E. [et al.]. Trends in phenology of *Betula pubescens* across the boreal zone in Finland. *International Journal of Biometeorology*, 2008, V. 52, pp. 251–259.
36. Rosbakh S., Hartig F., Sandanov D. V., Bukharova E. V., Miller T. K., & Primack R. B. Siberian plants shift their phenology in response to climate change. *Global change biology*, 2021, V. 27 (18), pp. 4435–4448. doi:10.1111/gcb.15744.

Информация об авторах

Н. С. Рябов — инженер 1-й категории;

Н. В. Зануздаева — научный сотрудник;

Л. Г. Исаева — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

N. S. Ryabov — Engineer;

N. V. Zanuzdayeva — Researcher;

L. G. Isaeva — PhD (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.02.2024; принята к публикации 05.02.2024.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.02.2024; accepted for publication 05.02.2024.

Научная статья
УДК 581.132
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.008

КОГЕРЕНТНАЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛИСТОПАДНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ДЕРЕВЬЕВ

Петр Александрович Кашулин¹, Наталия Васильевна Калачева²

^{1, 2}Полярно-альпийский ботанический сад-институт имени Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук, Кировск, Россия

Аннотация

В вегетационных сезонах 2014–2020 гг. исследовали многодневную динамику фотосинтетической активности аборигенных экотипов Кольского Севера осины и березы повислой методами амплитудно-модулированной флуоресцентной спектроскопии хлорофилла *in situ*. Обнаружена временная корреляция многодневного паттерна флуоресценции хлорофилла между листовыми пластинками индивидуальных крон и кронами соседних деревьев. Похолодания и другие изменения условий среды способствовали переходу независимой динамики листьев в согласованный квазициклический режим с последующей синхронизацией, наибольший уровень которой был отмечен осенью 2014 г. Предполагается, что внутри- и межкрановая когерентность фотосинтетических функций способствует большей устойчивости индивидуальных растений или их популяций.

Ключевые слова:

биосферные изменения, лесообразующие деревья, фотосинтез, флуоресценция хлорофилла, синхронность, устойчивость

Для цитирования:

Кашулин П. А., Калачева Н. В. Когерентная фотосинтетическая активность листопадных лесообразующих деревьев // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 63–70. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.008.

Original article

COHERENT PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY BETWEEN DECIDUOUS ARBOREAL TREES

Piotr A. Kashulin¹, Natalia V. Kalacheva²

^{1, 2}Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Kirovsk, Russia

Abstract

The long-term time course of photosynthetic activity in arboreal trees of aspen *Populus tremula* L. and birch *Betula pendula* Roth species native for Kola Subarctic was observed through 2014–2017 yr vegetation seasons in terms of PAM (Pulse Amplitude Modulated) foliage chlorophyll fluorescence measurements *in situ*. The temporal pairwise correlation chlorophyll fluorescence pattern between any leaf blades couple for the whole any single crone as well as for proximate tree crones was found. The abrupt temperature drops and other environmental changes promote transition to blades coherence, the most synchronicity between trees was observed in 2014th fall. The global synchronization between any leaf couple was often preceded by transition of the foliar blades photosynthetic activity in common coherent quasi-cyclic rhythm. It is suggested that mutual crone's intra and inter temporal organization and cooperative assimilation promote resistance and optimal realization of adaptive species potential.

Keywords:

biosphere changes, arboreal trees, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, synchronicity, resistance

For citation:

Kashulin P. A., Kalacheva N. V. Coherent photosynthetic activity between deciduous arboreal trees. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 63–70. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.008.

Введение

Ускорившиеся глобальные биосферные изменения обусловлены современными климатическими трендами и оказывают влияние на существование лесных экосистем. Влияние взаимосвязано и взаимозависимо. Леса играют ключевую роль в углеродном балансе атмосферы, поддерживая общую устойчивость биосферы. Они подвержены влиянию меняющихся факторов среды, в котором обнаруживаются ненаблюдаемые ранее изменения динамики продуктивности и устойчивости. Недавно была найдена пространственная синхронность продуктивности и развития деревьев среди

протяженных лесных массивов Евро-Азиатского континента [1], которую объясняют климатическими изменениями. Приросты древесных колец древостоев на больших географических пространствах в разных биомах синхронны. Физиолого-биохимические изменения и необычные пространственно-временные паттерны физиологической активности, лесной продуктивности могут быть индикаторами изменений климата в субконтинентальных масштабах и предвестниками отдаленных неблагоприятных последствий. Для оценки климатических рисков необходимы регулярные мониторинговые измерения физиологического состояния и ассимиляционной активности лесообразующих видов. Для этих целей желательно применение достаточно чувствительной и неповреждающей техники наблюдения. Таким требованиям отвечают современные оптические методы наблюдения фотосинтетической активности хлорофиллсодержащих структур растений на базе импульсно-модулированной флуоресцентной спектроскопии [2; 3].

На основе флуоресцентных измерений фотосинтетических параметров индикаторных деревьев лесообразующих доминантов Кольского Севера нами обнаружены различные режимы ассимиляции в разные месяцы вегетационного сезона. Взаимно не зависящая, нерегулярная динамика фотосинтеза разных листьев кроны одного или нескольких соседних деревьев при резких изменениях внешней среды могла переходить во взаимосогласованный синхронный режим. Возможно, что глобальная синхронизация [4] фотосинтетических структур на уровне популяций связана с континентальной синхронностью древесных приростов. Целью данной работы было более подробное исследование феномена, обсуждение физиологических механизмов, лежащих в его основе, на примере небольшой группы соседних лесообразующих деревьев двух листопадных видов, произрастающих в лесопарковой зоне Кольской Субарктики.

Материалы и методы

Для мониторинга использовали индикаторные деревья аборигенных экотипов растений осины *Populus tremula* L. и березы *Betula pendula* Roth из лесопарковой зоны предгорной долины Хибин.

Физиологическую активность фотосинтетического аппарата (ФСА) листьев оценивали, измеряя их собственную или искусственно активированную светодиодами импульсно-модулированную флуоресценцию.

Анализировали ее долю $Y(II)$, контролируемую фотосистемой II (ФС II). $Y(II) = Fv'/Fm'$, где $Fv' = Fm' - Fo'$ — переменная, Fo' — минимальная, Fm' — максимальная флуоресценция в условиях активирующего освещения. $Y(II)$ отражает долю энергии возбужденных реакционных центров, расходуемую на фотохимическую конверсию, которая близка к среднему квантовому выходу фотосинтеза и зависит от световых условий. Использовали также нормированную переменную флуоресценцию Fv/Fm , когда переменную и максимальную эмиссии измеряли вечером после темновой адаптации [3].

Индекс $Fv/Fm = (Fm - Fo)/Fm$ — нормированная переменная флуоресценция, отражает долю энергии возбужденных реакционных центров, расходуемую на фотохимическую конверсию, она пропорциональна среднему квантовому выходу фотосинтеза, зависит от световых условий и физиологического состояния ФСА.

Измерения флуоресценции не менее пяти разных листьев кроны проводили ежедневно в вечернее время портативным флуориметром PAM-2100, WALZ, Effetrich, ФРГ, начиная с весны до осеннего листопада. В качестве источника активирующего света использовали светодиод, излучающий импульсы света $\lambda = 655$ нм, интенсивностью $3000 \text{ мкЕ/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, длительностью 800 мс. Интенсивность измеряющего импульсного света частотой 0,6 или 20 кГц не превышала $5 \text{ мкЕ/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Неинвазивность метода обеспечивала получение данных о текущем состоянии ФСА одних и тех же листовых пластинок *in situ* вплоть до их опадения. Параллельно измеряли освещенность, УФ-радиацию и температуру анализатором ТКА-ПКМ. Интенсивность потока фотонов ФАР (фотосинтетически активная радиация) и локальную температуру в непосредственной близости листовой пластинки измеряли микроквантовым сенсором листовой клипсы Leaf-Clip Holder 2030-B флуориметра PAM-2100.

Результаты и обсуждение

Регулярные измерения флуоресцентных параметров ассимиляционных органов индикаторных деревьев раскрывают качественную картину динамики их физиологической активности. Наблюдения проводили в 2014–2020 гг. В каждом отдельном сезоне ежедневно записывали флуоресценцию одних и тех же листовых пластинок, каждый год использовали те же фрагменты деревьев. Динамика фотосинтетической активности наблюдаемых деревьев зависела от метеоусловий, меняясь во время сезона. В результате измерений обнаружено значительное повышение среднего уровня F_0 в начале и конце вегетации. Перед массовым листопадом для разных видов характерно кратковременное повышение среднего уровня F_0 в 2–3 раза. За подъемом следовало резкое падение $Y(II)$, отношения F_v/F_m , темновой F_0 и максимальной F_m флуоресценции. В течение сезона происходили качественные изменения характера многодневной динамики измеряемых величин: она могла меняться от спорадической и независимой у разных листьев до квазициклической. Во втором случае при устойчивой суточной и многодневной инфрадианной цикличности с периодами в несколько дней в некоторые месяцы наблюдали появление синхронных режимов фотосинтетической активности кроны. Параллельное сравнение серий многодневных измерений флуоресценции разных листьев показало, что в этом случае общий разброс значений F_v/F_m и F_m разных листьев снижается, временные паттерны временных серий измерений становятся качественно схожими, происходит пространственная синхронизация фотосинтетической активности кроны (рис. 1).

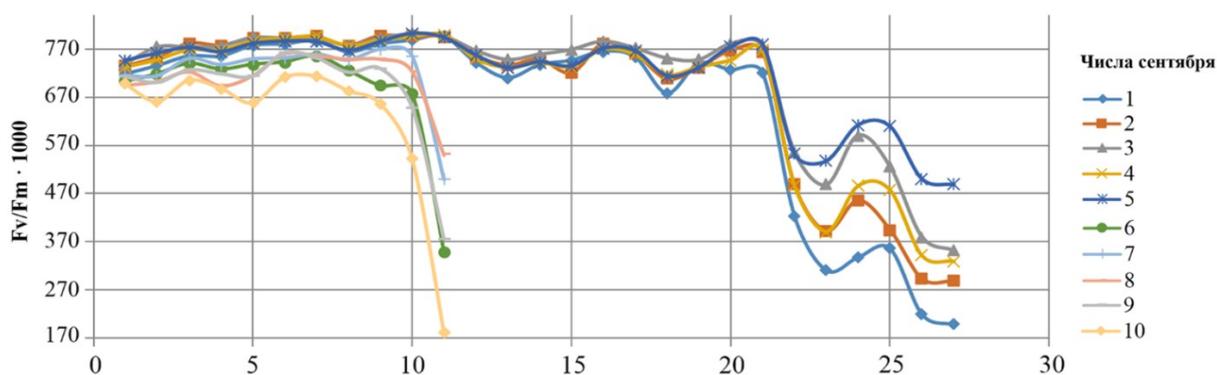


Рис. 1. Сравнительная динамика угасания фотоассимиляционной активности десяти листьев старовозрастного (1–5) и молодого (6–10) деревьев березы в сентябре 2014 г.

Степень синхронности фотосинтетической активности разных листьев оценивали по взаимной корреляции многодневных записей ее динамики. На матричном рис. 2 изображены распределения средних за месяц значений F_v/F_m пяти разных листьев осины и взаимные парные корреляции ежедневных измерений, характерные для августа. Дистанция между листьями варьировала в пределах 10–150 см, монотонно увеличиваясь с ростом пластохрона листа, от апекса ветки к ее основанию. Аналогичные зависимости получены и для максимальной флуоресценции хлорофилла листьев F_m .

Наиболее высокая степень синхронности фотосинтетической активности была отмечена в сентябре 2014 г., в год высокой солнечной активности. Непосредственно перед листопадом согласованную во времени динамику фотосинтеза наблюдали в пределах крон отдельных деревьев, между кронами деревьев одного или разных видов, растущих в пределах по меньшей мере 20 м одного от другого (рис. 3). Во втором случае расстояние между парами листьев варьировало в более широких пределах: от нескольких сантиметров до нескольких метров, дистанция между листьями отображенными на рисунке, увеличивалась с их порядковым номером. Как видно на ячейках матричного рис. 2, в правом верхнем и нижнем левом углах, даже для наиболее удаленных пар листьев, пронумерованных у осины цифрами 1, 2, 3 и у березы — 4, 5 соответственно, согласованность динамики переменной флуоресценции

в сентябре была высока. В целом у этих и других изученных видов корреляционные связи фотосинтетической активности листвы осенью были выше, чем летом. Наблюдаемые статистические связи выглядят как проявление «глобальной синхронизации», когда каждый отдельный элемент системы (в данном случае — листовая пластинка) синхронизируется с каждым другим [4].

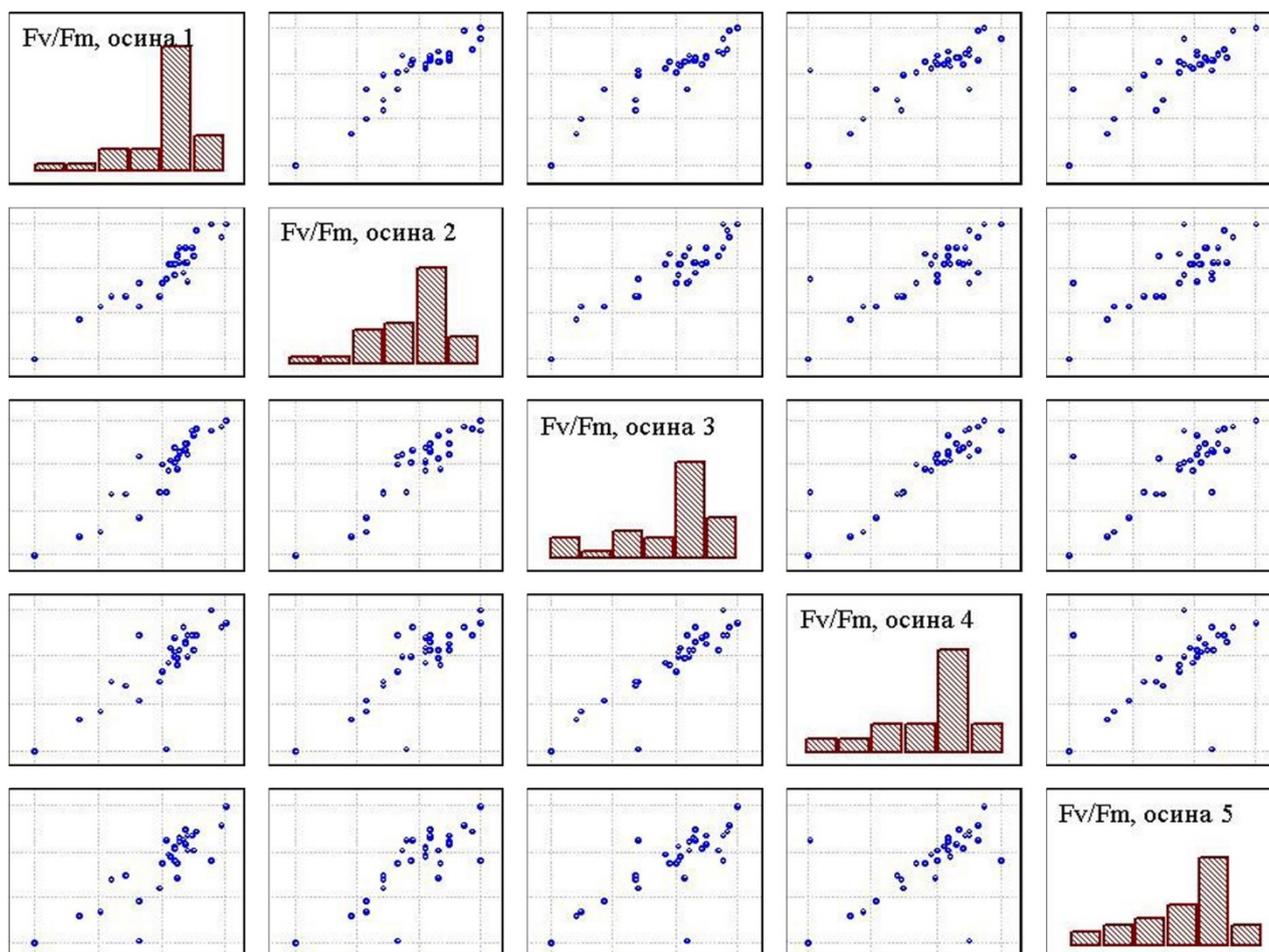


Рис. 2. Статистическая связь записи переменной флуоресценции пяти разных листьев кроны осины в августе. Показаны распределения средних значений флуоресценции листа и парные корреляции соответствующих временных рядов

В большинстве случаев переходу в синхронные режимы предшествовало появление устойчивой многодневной цикличности флуоресценции хлорофилла с дискретным набором основных частот и ростом амплитуды циклов, это заметно даже при качественной оценке паттерна динамики (см. рис. 1).

Для анализа ритмов, количественной оценки их робастности использовали частотные распределения спектральной мощности на основе Фурье-анализа временных серий. Для частотных спектров активности ФСА разных наблюдаемых видов характерны септанные (околонедельные) и семисептанные (полунедельные) ритмы. Происхождение таких ритмов в живых системах связывают с гелиогеофизическими факторами [5]. Частотные распределения спектров мощности флуоресценции листовых пластинок для серий измерений тех же деревьев представлены на рис. 4, видно, что околонедельные ритмы доминируют, а соответствующие максимумы частных распределений результатов для осины и березы совпадают.

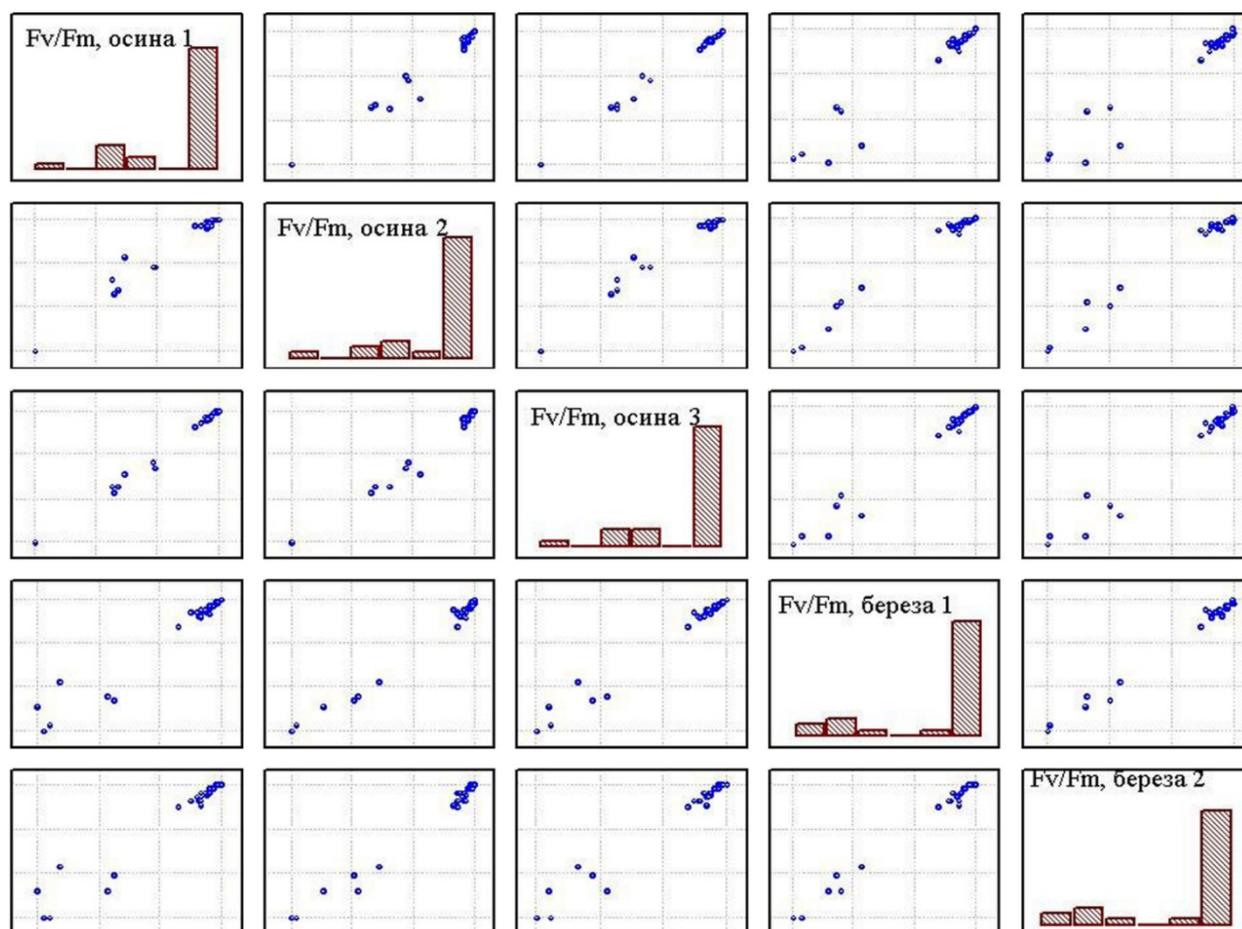


Рис. 3. Статистическая связь параметра Fv/Fm трех листьев осины и двух листьев березы в сентябре. На диагонали — распределения ежедневных значений

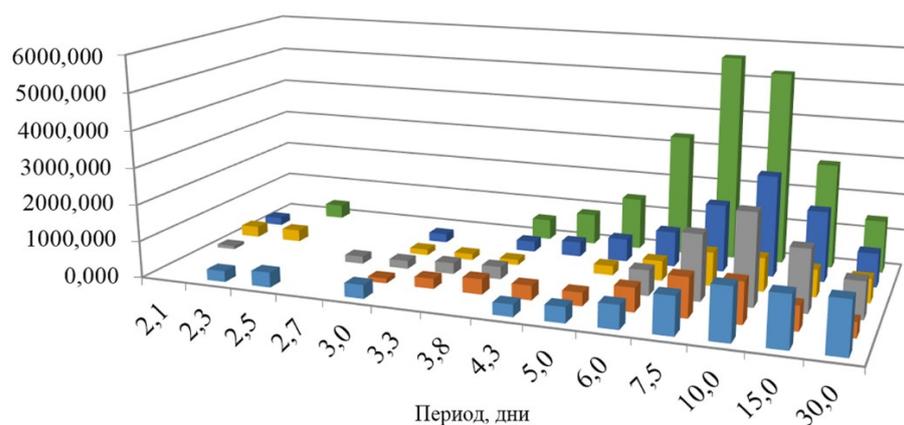


Рис. 4. Спектральная плотность десяти основных частот спектров мощности записи переменной флуоресценции трех листьев березы (1–3) и трех листьев осины (4–6)

Из теории нелинейных динамических систем следует, что цикличность и близость частот циклов могут способствовать их фазовой синхронизации [4; 6]. По нашим данным, совпадения или близость основных гармоник серий измерений имели место в сентябре 2014 г. и в другие годы наблюдений, например, в июне 2016-го. Аналогичные циклы в это время были зафиксированы и в спектрах мощности временных рядов измерений освещенности, солнечной УФ-радиации и температуры [7], которые непосредственно влияют на фотосинтез и ФСА. Синхронизирующая роль этих внешних факторов среды в настоящее время исследуется. Синхронизация плазмодия миксомицета *Physarum* гармонически изменяющимся градиентом температуры была обнаружена ранее [8]. В пользу участия внешнего затачика ритма в модуляции динамики фотосинтеза говорит совпадение или близость частот ритмов у ряда разных видов (черемуха, сирень венгерская, жимолость татарская, жимолость съедобная) в конце лета 2014 г. [7]. По мнению биоритмологов Центра хронобиологии Ф. Халберга, септанные (околонедельные) ритмы могут иметь и эндогенную природу, будучи «встроенными в геном» [9]. В то же время синхронизация может быть результатом спонтанной самоорганизации, слабо зависимой от внешних причин и природы синхронизирующего агента.

Зависимость взаимной лиственной корреляции фотосинтеза от интенсивности собственной эмиссии хлорофилла дает основание предполагать, что она может прямо или косвенно участвовать в синхронизации. В пользу этого говорит резкое усиление собственной темновой флуоресценции хлорофиллсодержащих структур растений разных видов в стрессовых условиях конца вегетативного сезона незадолго до массового листопада. Несколько меньшее усиление F_0 наблюдали в начале сезона вегетации, в мае и июне при пониженных температурах.

Излучаемая хлорофиллом эмиссия имеет большую длину волны, чем поглощаемая, и уже не может восприниматься «узкополосными» антенными комплексами ФСII, влияя на их флуоресценцию. Однако живые структуры растения способны излучать собственную сверхслабую и вторичную люминесценцию [10], индуцированную физическими агентами в широком диапазоне волн: от ближнего ультрафиолета до ИК-области. Излучение обусловлено делокализованным когерентным электромагнитным полем живых организмов и может выполнять регуляторные функции [11]. Его интенсивность зависит от температуры, спадает с расстоянием по гиперболическому закону и нелинейно, с экстремумом, зависит от плотности эмиттеров [12]. Исходя из этого, можно ожидать более высокую согласованную цикличность разных листовых пластинок старых деревьев с мощной кроной, что и наблюдали. У столетней березы наблюдали более отчетливую цикличность и синхронность, листья дольше удерживались осенью, чем у 20-летней. Причиной вторичного биогенного излучения могут быть и физические агенты космического происхождения [11], что согласуется с тем, что наиболее высокий уровень фотосинтетической синхронности нами был отмечен в 2014 г. — в период максимума солнечной активности.

Ассимиляционная цикличность может быть связана с активацией нефотохимических физиолого-биохимических путей утилизации поглощаемой световой энергии. Снижение переменной флуоресценции происходит при нефотохимическом тушении флуоресценции, отражаемом ростом индекса NPQ, и цикличность F_v/F_m может быть обусловлена чередованием активной ассимиляции с другими энергетически затратными процессами, например с метаболическим термогенезом. Ранее нами показано, что при внезапных осенних похолоданиях происходит скачок NPQ у листьев черемухи, сирени венгерской и жимолости татарской [13]. При изменении механизма дыхания может происходить периодический сброс протонного градиента внутренних мембран митохондрий без биохимического сопряжения, но с выделением тепла, способствуя холодоустойчивости растения и продлению сезона фотосинтеза. Одним из основных фотозащитных механизмов высших растений, влияющим на величину NPQ, является виолаксантиновый цикл, для которого необходим достаточный пул каротиноидов. В ходе циклического превращения виолаксантина в зеаксантин избыток поглощенной энергии в антенне ФСII диссипирует в тепло, приводя к нефотохимическому тушению флуоресценции хлорофилла [14]. Это позволяет замедлить резкие локальные падения температуры хлоропластов и сгладить неблагоприятные последствия холода.

Характер осеннего угасания фотосинтетической активности зависит от многих факторов, температуры, световых условий, собственной теплопродукции. Устойчивость к неблагоприятным условиям среды, эффективность ассимиляции, своевременная активация фотозащитных функций

хлоропластов и биохимических механизмов, ответственных за переход растения в состояние физиологического покоя, требуют пространственно-временной координации функций листьев и разных фрагментов кроны. Универсальным динамическим механизмом, обеспечивающим решение таких системных задач, являются биологические ритмы и синхронизация компонентов биологических систем, которые повышают устойчивость растений в экстремальных условиях.

Независимо от физиолого-биохимических причин роста собственной флуоресценции отдельных хлорофиллсодержащих структур, в экстремальных условиях происходит генерализованное усиление их дистанционного физического взаимодействия с возможным переходом в синхронный режим. В целом цикличность и синхронность повышают температурную и общую устойчивость растения, способствуют своевременной и более эффективной реализации адаптационного потенциала вида, помогая ему более или менее благополучно пережить резко меняющиеся экологические условия без привлечения дополнительных энергетических ресурсов и метаболических затрат.

Список источников

1. Shestakova T. A., Gutiérrez E., Kirdeyanov A. V., Camarero J. J., Génova M., Knorre A. A., Linares J. C., Resco de Dios V., Sánchez-Salguero R., Voltas J. Forests synchronize their growth in contrasting Eurasian regions in response to climate warming // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016. 113 (3). P. 662–667.
2. Венедиктов П. С., Казимирко Ю. В., Кренделева Т. Е., Кукарских Г. П., Макарова В. В., Погосян С. И., Яковлева О. В. Изучение физиологического состояния древесных растений по характеристикам флуоресценции в коре однолетних побегов деревьев // *Экология*. 2000. № 5. С. 338–342.
3. Bolhar-Nordenkamp H. R., Long S. P., Baker N. R., Oquist G., Schreiber U., and Lachner E. G. 1989. Chlorophyll fluorescence as a probe for photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. *Funct. Ecol.* Vol. 3. P. 497–514.
4. Пиковский А. С., Розенблом М. Г., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2003. 496 с.
5. Клейменова Н. Г., Троицкая В. А. Геомагнитные пульсации как один из экологических факторов среды // *Биофизика*. 1992. Т. 37, вып. 3. С. 567–572.
6. Björnstad O. N. Cycles and synchrony: Two “historical” experiments and one experience // *Journal of Animal Ecology*. 2000. Vol. 69. P. 869–873.
7. Кашулин П. А., Калачева Н. В. Цикличность фотосинтеза и геокосмические факторы // XIV Межд. научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки XXI века». М.: Cognitio, 2016. С. 14–19.
8. Колинько В. Г., Архангельская Т. А., Романовский Ю. М. Движение протоплазм плазмодия миксомицета *Physarum* в условиях меняющейся температуры // *Stud. Biophys.*, 1985. V. 106, № 3. P. 215–222.
9. Halberg F., Cornelissen G., Otsuka K., Katinas G., Schwartzkopf O. Physiological monitoring from bacteria and eukaryotic unicells to humans for chronoastrobiology and chronomedicine // *Proceedings of the 7th Annual meeting of Japanese Society for Chronobiology. The 1st Int. Symposium. Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy, November 11th 2000. Kudan, Chiyodaku, Tokyo, 2000. P. 56–75.*
10. Тарусов Б. Н., Веселовский В. А. Сверхслабое свечение растений и их прикладное значение. МГУ, 1978. 151 с.
11. Кузин А. М. Роль природного радиоактивного фона и вторичного биогенного излучения в явлениях жизни. М.: Наука, 2002. 78 с.
12. Chang Jiin-Ju // *Indian Journal of Experimental Biology*. 2008. Vol. 46. No 5. P. 371–377.
13. Кашулин П. А., Калачева Н. В. Суточные ритмы фотосинтеза и устойчивость растений // *Вестник КНЦ РАН*. 2015. Т. 20, № 1. С. 85–92.
14. Demmig-Adams B. et al. *In vivo* functions of carotenoids in higher plants // *FASEB J*. 1996. V. 10. P. 403–412.

References

1. Shestakova T. A., Gutiérrez E., Kirdyanov A. V., Camarero J. J., Génova M., Knorre A. A., Linares J. C., Resco de Dios V., Sánchez-Salguero R., Voltas J. Forests synchronize their growth in contrasting Eurasian regions in response to climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016, 113 (3), pp. 662–667.
2. Venediktov P. S., Kazimirko YU. V., Krendeleva T. E., Kukarskih G. P., Makarova V. V., Pogosyan S. I., Yakovleva O. V. Izuchenie fiziologicheskogo sostoyaniya drevesnyh rastenij po harakteristikam fluorescencii v kore odnoletnih pobegov derev'ev. *Ekologiya*, 2000, no. 5, pp. 338–342. (In Russ.).
3. Bolhar-Nordenkampf H. R., Long S. P., Baker N. R., Oquist G., Schreiber U., and Lachner E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe for photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. *Funct. Ecol.*, 1989, Vol. 3, pp. 497–514.
4. Pikovskij A. S., Rozenblyum M. G., Kurts Yu. *Sinhronizatsiya. Fundamental'noe nelinejnoe yavlenie*. Moscow, Tekhnosfera, 2003, 496 p. (In Russ.).
5. Klejmenova N. G., Troickaya V. A. Geomagnitnye pul'sacii kak odin iz ekologicheskikh faktorov sredy. *Biofizika*, 1992, vol. 37, issue 3, pp. 567–572. (In Russ.).
6. Björnstad O. N. Cycles and synchrony: Two “historical” experiments and one experience. *Journal of Animal Ecology*, 2000, Vol. 69, pp. 869–873.
7. Kashulin P. A., Kalacheva N. V. Ciklichnost' fotosinteza i geokosmicheskie factory. *XIV Mezhd. nauchno-prakticheskaya konferenciya “Aktual'nye problemy nauki XXI veka”*. Moscow, Cognito, 2016, pp. 14–19. (In Russ.).
8. Kolin'ko V. G., Arhangel'skaya T. A., Romanovskij Yu. M. Dvizhenie protoplazm plazmodiya miksomiceta Physarum v usloviyah menyayushchejsya temperatury. *Stud. Biophys.*, 1985, vol. 106, no. 3, pp. 215–222. (In Russ.).
9. Halberg F., Cornelissen G., Otsuka K., Katinas G., Schwartzkopf O. Physiological monitoring from bacteria and eukaryotic unicells to humans for chronoastrobiology and chronomedicine. *Proceedings of the 7th Annual meeting of Japanese Society for Chronobiology. The 1st Int. Symposium. Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy*, November 11th 2000. Kudan, Chiyodaku, Tokyo, 2000, pp. 56–75.
10. Tarusov B. N., Veselovskij V. A. *Sverhslaboe svechenie rastenij i ih prikladnoe znachenie*. MGU, 1978, 151 p. (In Russ.).
11. Kuzin A. M. *Rol' prirodnogo radioaktivnogo fona i vtorichnogo biogennoho izlucheniya v yavleniyah zhizni*. Moscow, Nauka, 2002, 78 p. (In Russ.).
12. Chang Jiin-Ju. *Indian Journal of Experimental Biology*, 2008, Vol. 46, No 5, pp. 371–377.
13. Kashulin P. A., Kalacheva N. V. Sutochnye ritmy fotosinteza i ustojchivost' rastenij. *Vestnik KNC RAN*, 2015, vol. 20, no. 1, pp. 85–92. (In Russ.).
14. Demmig-Adams B. et al. In vivo functions of carotenoids in higher plants. *FASEB J.*, 1996, V. 10, pp. 403–412.

Информация об авторах

П. А. Кашулин — доктор биологических наук, главный научный сотрудник;

Н. В. Калачева — младший научный сотрудник.

Information about the authors

P. A. Kashulin — Dr. Sci. (Biological Sciences), Main Sci Researcher;

N. V. Kalacheva — Junior Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 582.34 (470.21)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.009

РЕВИЗИЯ ВИДОВ РОДА *SPHAGNUM* (SPHAGNACEAE, BRYOPHYTA) ПОДРОДА *CUSPIDATA* В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Татьяна Петровна Другова

Полярно-альпийский ботанический сад-институт имени Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук, Кировск, Россия, darktanya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1360-3591>

Аннотация

Проведена ревизия сфагновых мхов таксономически сложного подрода *Cuspidata* в Мурманской области на основе гербарной коллекции ПАБСИ (КРАБГ). Подрод *Cuspidata* представлен в регионе 12 видами. В статье приведены сведения о распространении и экологических особенностях видов подрода *Cuspidata*, уточнен ряд определений.

Ключевые слова:

листочекельные мхи, род *Sphagnum*, подрод *Cuspidata*, география, экология, Мурманская область

Финансирование:

работа выполнена в рамках темы Полярно-альпийского ботанического сада-института имени Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук № 0229-2019-0004.

Для цитирования:

Другова Т. П. Ревизия видов рода *Sphagnum* (Sphagnaceae, Bryophyta) подрода *Cuspidata* в Мурманской области // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 71–81. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.009.

Original article

A REVISION OF THE GENUS *SPHAGNUM* (SPHAGNACEAE, BRYOPHYTA) SUBGENUS *CUSPIDATA* IN MURMANSK PROVINCE

Tatjana P. Drugova

Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Kirovsk, Russia, darktanya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1360-3591>

Abstract

The genus *Sphagnum* taxonomically difficult subgenus *Cuspidata* is revised for the first time from KPABG herbarium collected in Murmansk Province. Subgenus *Cuspidata* includes 12 species. Data on distribution and ecology are provided.

Keywords:

mosses, genus *Sphagnum*, subgenus *Cuspidata*, geography, ecology, Murmansk Province

Funding:

the work was carried out within the framework of the topic of PABGI KSC RAS, No. 0229-2019-0004.

For citation:

Drugova T. P. A revision of the genus *Sphagnum* (Sphagnaceae, Bryophyta) subgenus *Cuspidata* in Murmansk Province. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 71–81. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.009.

Введение

Род *Sphagnum* подрод *Cuspidata* входит в состав монородового семейства *Sphagnaceae*, которое целом в мире насчитывает по разным оценкам от 350 до 500 видов [1]. В России насчитывается 61 вид сфагновых мхов [2], для Европы в целом известно 16 видов сфагновых мхов из *Cuspidata* [3]. Сфагновые мхи распространены в основном в Северном полушарии в различного типа болотах, заболоченных лесах и тундрах, зачастую являются доминантами и содоминантами растительного покрова болотных сообществ [4]. Сфагны занимают огромные пространства таежной зоны и определяют многие природные процессы функционирования болотных и лесных экосистем [5]. Подрод *Cuspidata* представлен мхами от средних до мелких по размеру, варьирующих по окраске от зеленых до желтоватых и коричневых. Преимущественно это виды мочажин и топей, ковров, реже — низких кочек [6].

Представители рода трудны для определения в связи с множеством схожих признаков. Только интегральный подход к определению с учетом как макропризнаков (размеров, характеристик веточек, окраски растений, формы головки, расположения листьев на веточках и стебле), так и микропризнаков (формы листьев, характера клеточной сети, наличия и расположения пор и волокон в клетках) дает правильные результаты [5].

Материалы и методы

Проведена критическая ревизия всех ранее собранных на территории Мурманской области образцов из рода *Sphagnum* подрода *Cuspidata*, хранящихся в гербарии Полярно-альпийского ботанического сада-института (КРАВГ). Определение видов осуществлялось традиционным сравнительным анатомо-морфологическим методом с использованием отечественных и зарубежных руководств [5–10]. Препараты исследовались на микроскопе AxioPlan 2 imaging, также на нем был выполнен ряд фотографий препаратов. Вся информация по переопределениям, заметки, данные этикеток и фотографии препаратов для отдельных видов доступны для просмотра в информационной системе L [11]. Объем подрода в настоящей работе понимается в соответствии с чек-листом мхов Европы, Макаронезии и Кипра [3] с рассмотрением ранее считавшихся самостоятельными таксонами *Sphagnum viride* Flatberg в качестве вариации внутри *Sphagnum cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm (*S. cuspidatum* var. *viride* (Flatberg) Lonnell & Hassel) и *Sphagnum isoviitae* Flatberg внутри *S. fallax* (H.Klinggr.) H. Klinggr (*S. fallax* var. *isoviitae* (Flatberg) Lonnell & Hassel), поскольку молекулярные исследования показали очень слабое различие для возведения их в ранг видов. Всего изучено 300 гербарных образцов, содержащих от 1 до 4 видов *Sphagnum*. Составлен итоговый аннотированный список мхов из рода *Sphagnum* подрода *Cuspidata*, выявленных в Мурманской области, на основе гербарной коллекции КРАВГ. Указаны точки нахождения в соответствии с флористическим районированием Мурманской области [12], коллекторы и гербарные номера.

Результаты и обсуждение

Список видов рода *Sphagnum* подрода *Cuspidata* в Мурманской области по данным гербария КРАВГ насчитывает 12 видов В скобках после фамилий коллекторов приведены гербарные номера КРАВГ. Приводятся данные по экологии и географии для каждого вида как для мира в целом, так и для Мурманской области.

S. angustifolium (С. Е. О. Jensen ex Russow) С. Е. О. Jensen [13–28]

Экология и распространение. Растет на низких кочках, в коврах и мочажинах олиготрофных и мезоолиготрофных болот. Имеет широкую толерантность к условиям трофности. Циркумпольярный вид с тенденцией к континентальному распространению. Очень частый в Европе: от юга арктической до неморальной зоны [5; 6; 9].

В Мурманской области один из наиболее частых и обильных видов. Встречается в самых различных местообитаниях: верховых болотах и на кочках низинных болот, в заболоченных лесах, криволесьях, тундрах, по берегам водоемов [11].

Изученные образцы I, заповедник «Пасвик», Кузнецов (# 122529); **II**, бассейн р. Териберки, Шляков (# 7609), залив Подпахтинский, Белкина (# 10474); **III**, р. Поной, Белкина (# 120303); **IV**, Лавна-Тундра, Белкина, Лихачев (## 6666, 6678, 6679, 6700, 6701), Зверосовхоз, Медведев (# 125585); **V**, окрестности г. Апатиты, Другова, Белкина, Копеина, (## 122018, 122915, 122926, 122934, 122935, 123027, 124180), Волчьи Тундры, Белкина (## 20962, 20964); заказник «Кайта», Бойчук (# 21412); р. Вува, Белкина (## 9081, 9082, 9110), оз. Вырмес, Белкина (## 9894, 9987), Сальные Тундры, Белкина, (# 12480), Чунатундра, Белкина (# 21221), г. Гремяшка, Белкина (# 13085, ранее как *S. fallax*); **VI**, Ловозерские горы, Белкина, Лихачев, (## 20962, 125133, ранее как *S. sp.*), Хибинские горы, Другова, Лихачев, Константинова, Газе, Шляков, (## 1625, 6681, 8005, ранее как *S. balticum*, 19346, 121420, 121427, 125179), оз. Умбозеро, Гутковский (# 7992), окрестности пос. Умба, Боч (# 7998); **VII**, оз. Вуориярви, Шляков (# 125187), пос. Куоляярви, Шляков (# 7987); **VIII**, окрестности пос. Умба, Боч,

(# 7998), пос. Кашкаранцы, *Боч* (# 7991), бассейн р. Варзуги, *Боч*, *Зайцев*, *Кузьмина* (## 7994, 7996, 7997), Панские Тундры, *Белкина* (# 20833); **IX**, Кандалакшский залив, о. Великий, *Лихачев* (## 6462, 6469, 6539, 6633, 6636), арх. Кемь-Лудский, *Белкина*, *Лихачев* (# 3049).

***S. annulatum* H. Lindb. ex Warnst.** [15; 17; 27; 29]

Экология и распространение. Вид мезотрофных болот, предпочитает влажные незатененные минеротрофные местообитания. Имеет циркумполярное дизъюнктивное распространение. В Европе преимущественно растет на севере и северо-западе, более редок в океанических и западных секторах, становится более частым видом в континентальных районах. Встречается в Северной Фенноскандии, России и на Северо-Восточном Кавказе. Распространение вида недостаточно хорошо изучено из-за трудностей с отличием *S. annulatum* от *S. jensenii* [5; 6; 9].

Встречается рассеянно в различных районах области, как в горных, так и на равнине. Более часто в центральной и юго-западной континентальных частях Кольского полуострова с единичными точками на побережьях Белого и Баренцева морей. В основном растет в мезо- и эвтрофных болотах, в мочажинах, редко — по берегам водоемов [11].

Изученные образцы: **II**, бассейн р. Териберки, *Шляков* (# 6815, ранее как *S. jensenii*); **IV**, Лавнатундра, *Белкина*, (## 13036, 13185); **V**, Сальные Тундры, *Белкина*, (# 12439, ранее как *S. tajus*), пос. Алакургтти, *Шляков* (# 1379) заказник «Кайта», *Бойчук* (# 21687), Мончегорский р-н, *Левина* (# 128813, ранее как *S. tajus*); **VI**, Хибинские горы, *Медведев*, *Шляков* (## 1376, ранее как *S. jensenii*, 1381, 125186); **VII**, пос. Куоляярви, *Шляков* (# 1378); **VIII**, р-н Капустных озер, *Полянская* (## 13082, ранее как *S. cuspidatum*, 13219, ранее как *S. obtusum*), бассейн р. Умбы, *Гутовский*, *Боч* (## 8006, ранее как *S. balticum*, 13220, ранее как *S. obtusum*); **IX**, Кандалакшский залив, о. Ряжков, *Белкина*, *Лихачев* (# 1372)

***S. balticum* (Russow) C. E. O. Jensen** [13–15; 17; 18; 22; 25; 26–30]

Экология и распространение. Широко распространенный вид арктической и бореальной зон Голарктики. Растет в мочажинах и коврах открытых верховых болот. Европейское распространение преимущественно северное и северо-восточное, более редок в океанических районах и част в континентальных. Обычен в Скандинавии, на северо-западе России, более редок в Центральной Европе, на Кавказе и севере Китая [4–6; 9].

В Мурманской области встречается часто в различных частях, за исключением восточной оконечности Кольского полуострова. Более част в мочажинах, открытых или слабо облесенных небогатых болот, изредка встречается в комплексных болотах, по заболачивающимся берегам озер, единично — в заболоченном лесу [11].

Изученные образцы: **I**, заповедник «Пасвик», *Бойчук* (# 122608), ст. Печенга, *Шляков* (# 8001); **II**, р. Дроздовка, *Разумовская* (# 124311), Дальние Зеленцы, *Белкина* (# 10359, ранее как *S. flexuosum*); Семь Островов, *Раменская* (# 125166); **III**, Лумбовский залив, *Белкина* (# 19849), **V**, ст. Оленья, *Левина* (# 8003), Сальные Тундры, *Белкина*, (## 11621, 11665, ранее как *S. angustifolium*, 12529, ранее как *S. jensenii*), оз. Вырмес, *Белкина* (# 9816), р. Вува, *Белкина* (# 9117), пос. Нивский, *Шляков* (# 13191); **VI**, Хибинские горы, *Шляков* (# 8004), Ловозерские горы, *Белкина*, *Лихачев* (## 13195, 125137, ранее как *S. sp.*); **VIII**, бассейн р. Варзуги, *Боч*, *Зайцев* (## 8007, 8008), р-н Капустных озер, *Полянская* (## 8009, 8010, 13215, ранее как *S. tajus*), к востоку от оз. Умбозеро, *неизвестно* (# 125181, ранее как *S. angustifolium*); **IX**, Кандалакшский залив, о. Великий, *Лихачев*, *Парфентьев* (## 2981, 6523, ранее как *S. angustifolium*), о. Ряжков, *Белкина*, *Лихачев* (# 752, ранее как *S. angustifolium*), арх. Кемь-лудский, *Белкина*, *Лихачев* (# 3183)

***S. cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm.** [13; 18; 19; 26; 28, 29; 31; 32]

Экология и распространение. *S. cuspidatum* — широко распространенный вид с субокеанической тенденцией. Част в средних и южных районах бореальной зоны, встречается и в тропических [4]. Обычно растет погруженным в мочажинах олиготрофных болот и прочих затопленных водой местах [9].

В Мурманской области отмечен всего в семи точках, пять из которых — в приокеанических северной и южной частях полуострова, две — в центральных районах. В регионе вид растет преимущественно типичных для него погруженных местообитаниях, в воде мочажин и водоемов [11].

Изученные образцы: **IV**, Зверосовхоз, *Медведев* (# 8002, ранее как *S. balticum*), г. Кола, *Другова* (# 121482); **V**, г. Апатиты, *Другова* (# 15992); **VI**, Хибинские горы, г. Кировск, *Другова* (# 11810), **VIII**, Порья губа, *Лихачев* (## 86, 125180), мыс Корабль, *Белкина* (# 8523).

***S. fallax* (H. Klinggr.) H. Klinggr.** [13; 14; 16–19; 22; 24–31; 33; 34]

Экология и распространение. Мезотрофный, предпочитает бедные до умеренно эвтрофных участков. Амфиатлантический вид, широко распространенный в Европе, со слабой южной тенденцией [9]. В Арктике растет преимущественно в южной части, в бореальной зоне — один из наиболее частых видов. В центральных районах растет в коврах переходных болот, к северу расширяя диапазон местообитаний до заболоченных лесов и прочих болотных экотопов [4].

В Мурманской области встречается рассеянно в различных частях как на побережьях морей, так и в центральных районах в различного типа болотах и пойменных ивняках [11].

Изученные образцы: **I**, заповедник «Пасвик», *Бойчук* (# 122599), г. Мурманск, *Другова* (# 13025); **II**, бассейн р. Териберки, *Шляков* (# 128815, ранее как *S. angustifolium*), залив Подпахтинский, *Белкина* (# 10468), Семь Островов, *Раменская* (# 125163, добавлено определение к другим видам); **III**, Лумбовский залив, *Белкина* (#20003, добавлено определение к другим видам); **IV**, г. Кола, *Другова* (# 120948), р. Тулома, *Шляков* (# 13084), Лавнатундра, *Белкина*, (# 13083); **V**, г. Полярные Зори, *Другова* (# 21477), окрестности г. Апатиты, *Другова* (## 122934, 123034), бассейн р. Ены, *Шляков* (#13086), окрестности пос. Алакуртти, *Шляков* (## 13088, 13089); **VI**, Ловозерские горы, *Белкина*, *Лихачев* (## 13087, 125133, ранее как *S. sp.*); **VIII** р-н Капустных озер, *Полянская* (# 13090), р. Умба, плес Жемчужный, *Копеина* (# 124210), турбаза «Карельские пороги», *Королева* (# 120717), оз. Салларви, *Белкина* (# 123538); **IX**, Кандалакшский залив, о. Великий, *Лихачев* (## 2977, 2982, 6489, 6637, 6638).

***S. flexuosum* Dozy & Molk.** [13; 14; 16–18; 24–29; 35]

Экология и распространение. Мезотрофный вид, растет в переходных и низинных болотах с бедным до среднего содержанием питательных веществ. Циркумполярный, встречается в средних частях бореальной и неморальной зон, более редок в северных районах. В Европе широко распространенный вид, в основном в южных частях [9]. В России относительно нечастый вид, распространение которого нуждается в уточнении [4; 9].

В регионе отмечен в четырех точках, две из них — в бассейне р. Умбы, еще одна — в Сальных Тундрах, последняя — в заповеднике «Пасвик». В регионе вид приурочен к осоково-сфагновым и осоково-ивовым болотам [11].

Изученные образцы: **I**, заповедник «Пасвик», *Бойчук* (# 122527); **V**, Сальные Тундры, *Белкина*, (# 9202, ранее как *S. flexuosum*); **VIII**, к юго-востоку от Умбозера, *Гутовский* (# 13197), р. Умба, плес Жемчужный, *Копеина* (# 124195).

***S. jensenii* H. Lindb.** [13; 15; 17; 20; 24–29; 36]

Экология и распространение. Мезотрофный вид, растет в обводненных мочажинах мезотрофных и олиготрофных болот [4; 5]. Циркумполярный, северный вид с дизъюнктивным ареалом. Распространение в Европе умеренно северное и северо-восточное, редок в океанических и западных секторах, более широко распространен в континентальных [9]. Встречается от юга Арктики до юга бореальной зоны, где становится уже редким, имеются единичные находки в неморальной зоне [9].

Встречается в Мурманской области спорадически как в приморских частях, так и в континентальных, за исключением восточной части Кольского полуострова. Растет как в равнинных, так и в горных местообитаниях до тундрового пояса, в основном в мочажинах небогатых болот и в воде по берегам озер [11].

Изученные образцы: **I**, заповедник «Пасвик», *Бойчук* (## 122555, 122606); **II**, бассейн р. Териберки, *Шляков*, *Белкина* (## 7613, 7614, 124934, добавлено определение к другим видам), залив Подпахтинский, *Белкина* (## 10473, 12110); **IV**, Лавнатундра, *Белкина*, (# 13238); **V**, Сальные Тундры, *Белкина*, (# 11937),

Мончетундра, *Обабко* (# 122836), пос. Алакуртти, *Шляков* (#13214, ранее как *S. majus*), оз. Вырмес, *Белкина* (## 9943, 9944); **VII**, пос. Куолаярви, *Шляков* (# 1377, ранее как *S. annulatum*), г. Саллатунтури, *Шляков* (# 13196); **VIII**, р-н Капустных озер, *Полянская*, *Копеина* (## 13216, ранее как *S. majus*, 124159); **IX**, Кандалакшский залив, о. Ряжков, *Лихачев* (# 1373)

***S. lindbergii* Schimp.** [13–18; 20–29; 31; 36]

Экология и распространение. Преимущественно олиготрофный вид, растет в олиготрофных и мезотрофных болотах, покрывая иногда обширные площади. Также характерный вид берегов озер и ключевых болот [9]. Циркумполярный, северный вид, част в арктической и бореальной зонах, но наиболее обилён в лесотундре [4; 5].

В Мурманской области самый часто встречающийся представитель подрода *Cuspidata*. Встречается от тундровой до таежной зоны, в горах от лесного до тундрового пояса. Предпочитает мочажины осоковых, осоково-сфагновых, сфагново-кустарничковых, пушицевых и пухоносных болот, часто растет в лужицах и по берегам водоемов [11].

Изученные образцы: **I**, Печенгские тундры, *Кузнецова*, *Пономарева*, *Раменская* (## 13178, 13179, 13180, 13181, 13182), Печенга, *Кузенева* (# 8453), р-н Лиинахамари, *Белкина* (# 127515), Айновы о-ва, *Белкина* (## 20338, 20352, 20435), окрестности Титовки, *Константинова* (## 9289, 9290), заповедник «Пасвик», *Бойчук* (## 122527, 122607); **II**, г. Мурманск, *Другова* (# 18741), залив Подпахтинский, *Белкина* (# 10475), бассейн р. Териберки, *Качурины*, *Белкина*, *Лихачев*, *Шляков* (## 6825, 7496, 13183, 124827, 124836, 124834, 124931, 124933, 124934, 124935), р. Дроздовка, *Белкина*, *Разумовская* (## 121023, 121616, 121622, 124311), бассейн р. Вороньей, *Шляков*, *Белкина* (## 7589, 10590), Дальние Зеленцы, *Белкина* (## 10359, 10371, 10466), бухта Западная Малонемецкая, *Белкина* (## 127551, 127567, 127568, 127580); **III**, Лумбовский залив, *Белкина* (## 19737, 19749, 20003), р. Поной, *Белкина* (## 120298, 120300); **IV**, Лавнатундра, *Белкина* (## 5983, 6351, 6701, 13185, 13186, 13187, 13189), Лавнатундра, *Белкина*, *Лихачев* (## 13036, 13184, 13188), массив Чильтальд, *Белкина* (# 7381); **V**, окрестности г. Апатиты, *Другова*, *Шляков*, *Копеина* (## 13190, 13192, 122914, ранее как *S. giragium*, 123027, 123032, 124175), оз. Вырмес, *Белкина* (## 9816, 9945, 10017, 10032), Волчья Тундры, *Белкина* (# 21064, 21073, 21074, 124564, 124704), Чунатундра, *Белкина* (## 19614, 21152, 21221), Мончетундра, *Обабко* (# 122835), Сальные Тундры, *Белкина*, *Андреева* (## 11621, 11964, 12432, 12458, 12482, 12529, 12632, 21635, 12643), р. Вува, *Белкина* (## 9081, 9082, 9109, 9110), Кандалакшские горы, *Лихачев* (## 125211, ранее как *S. sp.*, 125215, ранее как *S. sp.*), ст. Пинозеро, *Шляков* (# 13193), пос. Нивский, *Шляков* (# 13191); **VI**, Ловозерские горы, *Белкина*, *Лихачев* (## 13194, 13195, 125129, ранее как *S. sp.*), Хибинские горы, *Шляков*, *Белкина*, *Медведев* (## 1376, ранее как *S. annulatum*, 1566, 1567, 1568, 122000, 125093); **VII**, оз. Саалаярви, *Белкина* (## 123045, 123046), ст. Кутса, *Белкина* (## 123082, 123083, 123086); **VIII**, р-н Капустных озер, *Полянская* (## 13198, 13199, 13200, 13201), к юго-востоку от Умбозера, *Гутовский* (# 13197), Терский р-н, *Боч*, *Смагин* (## 13202, 13203, 13204), Колвицкая губа, *Белкина* (# 10226), бассейн р. Варзуги, *Белкина*, *Боч* (## 7994, добавлено определение к другим видам, 8557, 8586), Порья губа, *Лихачев* (## 125337, 128805); **IX**, Кандалакшский залив, о. Олений, *Белкина*, *Лихачев* (## 6687, 6696), о. Ряжков, *Бреслина*, *Белкина*, *Лихачев* (## 18674, 125338, 125339), арх. Кемь-Лудский, *Белкина*, *Лихачев* (## 3045, 3241).

***S. majus* (Russow) С. Е. О. Jensen** [13; 15–17; 24–29]

Экология и распространение. Олиготрофный вид. Встречается в обводненных мочажинах и коврах олиго- и мезотрофных болот [5]. Широко распространенный вид с циркумполярным ареалом и слабой тенденцией к океаническим районам [9]. В Арктике и южнее бореальной зоны известен по немногим находкам, в целом более северный вид, обильный в местах распространения олиготрофных болот [4].

В Мурманской области встречается рассеянно, в основном в пределах бореальной зоны и в лесном поясе в горах, имеются единичные находки в тундровой зоне. Приурочен к осоковым, осоково-сфагновым и пухоносно-пушицево-сфагновым болотам и берегам водоемов [11].

Изученные образцы: **I**, заповедник «Пасвик», *Бойчук* (# 122553); **II**, р. Дроздовка, *Белкина* (# 121023, добавлено определение к другим видам), бассейн р. Вороньей, *Белкина* (# 13001); **IV**, Лавнатундра, *Белкина*, (# 6680, ранее как *S. angustifolium*); **V**, окрестности г. Апатиты, *Королева*, *Копейна* (# 122514, ранее как *S. angustifolium*); **VI**, Хибинские горы, *Смирнова*, *неизвестно* (## 1573, ранее как *S. cuspidatum*, 125089, ранее как *S. sp.*); **VIII**, Терский р-н, *Боч*, *Смагин*, (## 13217, 13218), р-н Капустных озер, *Копейна* (# 124192, ранее как *S. flexuosum*), бассейн р. Умбы, *Гутовский* (# 13221, ранее как *S. obtusum*).

***S. tenellum* (Brid.) Pers. ex Brid.** [13; 24–26; 28; 29]

Экология и распространение. Олиготрофный вид. Встречается единичными побегами или рыхлыми разреженными подушечками по кочкам и окраинам болот [9], иногда — в мочажинах [5]. Вид с выраженным океаническим распространением, гемибореальный до умеренно бореального [4]. Встречается спорадически в России [5], широко распространен в Европе, в океанических секторах: от южной части арктической зоны до неморальной [9].

На территории региона редкий, отмечен в пяти точках, две из которых расположены на юге области (ст. Ковда, арх. Кемь-Лудский), две в западной части (Лапландский заповедник, бассейн Кокоренского ручья и Сальные Тундры), одна — на севере (бассейн реки Вороньей). *S. tenellum* растет в регионе в небогатых пухоносных, кустарничково-осоково-сфагновых и пушицево-сфагновых болотах [11].

Изученные образцы: **II**, бассейн р. Вороньей, *Белкина* (# 12953); **V**, Сальные Тундры, *Белкина*, (# 12439), Лапландский заповедник, Кокоренский ручей, *Андреева* (# 21671); **IX**, ст. Ковда, *Шляков* (# 13312), арх. Кемь-Лудский, *Белкина*, *Лихачев* (# 3241).

***S. obtusum* Warnst.** [27]

Экология и распространение. Эвтрофный вид. Предпочитает мезо-эвтрофные низинные и переходные болота, берега водотоков, сплавины озер [4; 9]. Имеет циркумполярное распространение, гемибореальное до северного бореального. Распространение в Европе с восточной континентальной тенденцией [9]. Имеет широкое распространение и в Арктике, а также южнее бореальной зоны — в горах Европы, Кавказа и Японии, в основном по единичным находкам [4].

В Мурманской области редкий, известен из трех точек. Две из них расположены в Белом море, на островах (на скалах, спускающихся к воде, и в пушицево-осоковом болоте), одна — на северо-западе, в низинном богатом болоте на территории Заповедника «Пасвик» [11].

Изученные образцы: **I**, заповедник «Пасвик», *Кузнецов* (# 122552); **IX**, о. Олений, *Белкина*, *Лихачев* (# 6684, ранее как *S. lindbergii*), арх. Кемь-Лудский, *Белкина*, *Лихачев* (# 3241, добавлено определение к другим видам).

***S. riparium* Ångstr.** [13–15; 17–24; 26–29; 31; 37]

Экология и распространение. Мезотрофный вид. Растет в весьма разнообразных обводненных местах — облесенных низинных болотах, в слабопроточной воде вдоль ручьев и канав, по берегам озер [5; 9], встречается в зарастающих торфяных карьерах [4]. Широко распространенный циркумарктический вид, встречается по всей территории арктической и бореальной зон Голарктики, достигая наивысшего обилия в лесотундре, встречается и в неморальной зоне, где становится редким [4; 9].

В Мурманской области частый вид. Встречается в тундровой и таежной зонах, в горах в лесном поясе и поясе криволесий. Много находок по побережью Баренцева моря, на сырых приморских скалах и заболоченных участках на островах. Предпочитает различного типа болота, сырые ивняки, берега озер и ручьев, изредка — сырые сфагновые леса [11].

Изученные образцы: **I**, заповедник «Пасвик», *Бойчук* (# 122604), Айновы о-ва, *Белкина* (## 20414, 20415, 20486, 20494, 20538); **II**, залив Подпахтинский, *Белкина* (# 10468); бассейн р. Териберки, *Белкина*, *Шляков* (## 6816, 124837, 12841, 124934); Дальние Зеленцы, *Белкина* (# 10359), Семь Островов, *Раменская* (## 7697, 125163, 125164, 125167, 125174, 125175, 125177, 125178, ранее как *S. flexuosum*), бухта Западная Малонемецкая, *Белкина* (# 127566); **III**, Лумбовский залив, *Белкина* (# 19787, ранее как *S. lindbergii*); **V**, Волчьи Тундры, *Белкина* (# 21071), оз. Вырмес, *Белкина* (# 9998), р. Вува, *Белкина* (# 9083),

пос. Нивский, *Другова* (# 123655), Кандалакшские горы, *Лихачев* (# 125215); **VI**, Ловозерские горы, *Белкина*, (# 11125), Хибинские горы, *Шляков*, *Белкина*, *Другова*, *Медведев* (## 17907, ранее как *S. sp.*, 122936, 125198, 128616, 128617); **VII**, станция Кутса, *Белкина* (# 123077); **IX**, Кандалакшский залив, о. Великий, *Лихачев* (# 6470), арх. Кемь-Лудский, *Белкина*, *Лихачев* (## 3122, 3126), Кандалакшский залив, о. Великий, *Лихачев* (# 6469).

Заключение

Пять из 12 встречающихся на территории Мурманской области видов *Sphagnum* из подрода *Cuspidata* являются частыми для региона. Это широко распространенные в Северном полушарии (от Арктики до бореальной зоны) мхи (*S. angustifolium*, *S. balticum*, *S. fallax* и *S. riparium*). Пятый вид — *S. lindbergii* — также частый вид арктической и бореальной зон, однако наивысшего обилия достигает в лесотундре. Все эти мхи — обитатели олиго-мезотрофных болот, занимают в регионе соответствующие экотопы — осоковые, осоково-сфагновые, пушицевые и пухоносные болота, часто произрастают по берегам озер и в воде лужиц.

S. annulatum, *S. jensenii* и *S. majus* встречаются в регионе рассеянно. Это, так же как и предыдущие виды, представители олиго-мезотрофных болот и подтопленных водой небогатых местообитаний. *S. annulatum* и *S. jensenii* имеют более северные ареалы с максимальным распространением на севере бореальной зоны, тогда как *S. majus* — типичный бореальный, известный в Арктике и южнее лишь по немногим находкам. Вероятно, эти виды в Мурманской области должны встречаться чаще в связи с их эколого-географической приуроченностью.

Четыре представителя подрода *Cuspidata* — редкие для области. Два из них — *S. cuspidatum* и *S. flexuosum* — являются более южными, характерными для южных частей бореальной и для неморальной зон, чем обусловлена их редкость на территории региона. Два других — *S. tenellum* и *S. obtusum*, хоть и встречаются в Арктике и на севере таежной зоны, также являются гемибореальными. Все они, за исключением *S. obtusum*, также приурочены к небогатым болотам и подтопленным ивнякам. *S. obtusum* — мезоэвтрофный вид, предпочитающий переходные и низинные болота, отмечен в трех точках: на островах Белого моря в нехарактерных местообитаниях — на скалах, спускающихся к воде, и в заповеднике «Пасвик», в низинном болоте.

В результате ревизии образцов сфагновых мхов подрода *Cuspidata* в гербарии КРАВГ для 7 видов в целом по области не изменилось распространение. Большинство из них — часто встречающиеся мхи (*S. angustifolium*, *S. balticum*, *S. lindbergii* и *S. riparium*), один — встречающийся в области рассеянно (*S. jensenii*), два — редкие (*S. cuspidatum* и *S. tenellum*).

Для пяти видов имеются изменения в распространении по флористическим районам региона. Так, *S. annulatum* был выявлен во II и VIII районах, *S. fallax* — в III, *S. majus* — в IV и V. Для *S. flexuosum* не подтвердилась находка во II районе, а для *S. obtusum*, помимо исключения в VIII районе, есть обнаружение в IX.

Список источников

1. Shaw A. J., Cox C. J., Buck W. R., Devos N., Buchanan A. M., Cave L., Seppelt R., Shaw B., Larra J., Andrus R., Greilhuber J., Tensch E. M. Newly resolved relationships in an early land plant lineage: Bryophyta class Sphagnopsida (peat mosses) // American Journal of Botany. 2010. 97 (9). P. 1511–1531.
2. Максимов А. И. Флора сфагновых мхов России // Болота северной Евразии: биосферные функции, разнообразие и управление: тезисы докладов Международного симпозиума, Петрозаводск, 25–28 сентября 2023. г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. С. 59–60.
3. Hodgetts N. G., Söderström L., Blockeel T. L., Caspari S., Ignatov M. S., Konstantinova N. A., Lockhart N., Papp B., Schröck C., Sim-Sim M., Bell D., Bell N. E., Blom H. H., Bruggeman-Nannenga M. A., Bruges M., Enroth J., Flatberg K. I., Garilleti R., Hedenäs L., Holyoak D. T., Hugonnot V., Kariyawasam I., Köckinger H., Kucera J., Lara F., Porley R. D. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus // Journal of Bryology. 2020. 42:1. P. 1–116.
4. Игнатов М. С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части Европейской России. Sphagnaceae — Hedwigiaceae. М.: КМК, 2003. 608 с.

5. Носкова М. Г. Полевой атлас — определитель сфагновых мхов таежной зоны Европейской России. Тула: Аквариус, 2016. 112 с.
6. Laine J., Harju P., Timonen T., Laine A., Tuittila E. S., Minkkinen K., Vasander H. The intricate beauty of Sphagnum mosses — a Finnish guide to identification. University of Helsinki department of forest ecology publications. 2009. 39. 190 p.
7. Абрамова А. Л., Савич-Любицкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель листостебельных мхов Арктики СССР. М.; Л., 1961. 715 с.
8. Савич-Любицкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель сфагновых мхов СССР. Л.: Наука, 1968. 112 с.
9. Laine J., Flatberg K. I., Timonen T., Minkkinen K., Laine A., Tuittila E.-S., Vasander H. Sphagnum mosses — The stars Of European mires. University of Helsinki department of forest sciences, Sphagna Ky, 2018. Helsinki. 326 pp.
10. Flatberg K. I. Norges torvmosser. Akademica forlag, Trondheim, 2013. 307 pp.
11. <https://isling.org/>.
12. Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л., 1983. 216 с.
13. Шляков Р. Н., Константинова Н. А. Конспект флоры мохообразных Мурманской области. Апатиты, 1982. 22 с.
14. Белкина О. А., Константинова Н. А., Костина В. А. Флора высших растений Ловозерских гор. Мохообразные и сосудистые растения. СПб., 1991. 206 с.
15. Белкина О. А., Лихачёв А. Ю. Аннотированный список мхов // Мохообразные и сосудистые растения территории Полярно-альпийского ботанического сада (Хибинские горы, Кольский полуостров). Апатиты, 2001. С. 30–45.
16. Белкина О. А., Лихачёв А. Ю. Флора листостебельных мхов горных массивов Чильтальд и Ионн-Ньюгоайв (Мурманская область) // *Arctoa*. 2004. № 13. С. 211–222.
17. Drugova T. P., Belkina O. A., Likhachev A. Yu. Mosses of surroundings of Alakurtti Settlement and Kutsa Nature Reserve (Murmansk Province, North-west of Russia // *Arctoa*. 2017. 26. P. 72–80.
18. Другова Т.П. Мхи города Мурманска // *Новости систематики низших растений*. 2008. Т. 43. С. 321–336.
19. Другова Т. П. Флора листостебельных мхов города Кировска (Мурманская область, север Европейской части России) // *Arctoa*. 2005. № 14. С. 203–209.
20. Белкина О. А., Лихачев А. Ю. К флоре мхов окрестностей Териберки (Кольский полуостров, Россия) // *Труды КарНЦ РАН*. 2023. № 1. С. 51–63.
21. Белкина О. А., Лихачев А. Ю. К флоре мхов тундровой зоны Кольского полуострова // *Новости систематики низших растений*. 2021. 55 (1). С. 229–247.
22. Белкина О. А., Лихачев А. Ю. Мхи побережья Лумбовского залива (Кольский полуостров, Россия) // *Arctoa*. 2016. 25 (2). С. 393–407.
23. Kozhin M. N., Belkina O. A., Likhachev A. Yu., Ignatova E. A. Moss flora of the Ainov Islands, Barents Sea // *Arctoa*. 2016. 25. P. 408–419.
24. Белкина О. А., Лихачёв А. Ю. Флора мхов горнотундрового пояса в горах Мурманской области // *Вестник МГТУ*. 2013 16 (3). С. 425–430.
25. Белкина О. А., Лихачев А. Ю. Список листостебельных мхов Лапландского заповедника // *Вестник МГТУ*. 2010. 13 (4/2). С. 984–988.
26. Белкина О. А., Лихачёв А. Ю. Флора листостебельных мхов Сальных тундр (Мурманская область) // *Arctoa*. 2005. 14. С. 177–196.
27. Боровичев Е. А., Бойчук М. А. мохообразные заповедника «Пасвик». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 145 с.
28. Белкина О. А., Андреева Е. Н., Лихачев А. Ю. Материалы к флоре мхов Лапландского заповедника // *Труды Лапландского государственного природного биосферного заповедника*. Выпуск VII. Апатиты, 2019. С. 66–118.
29. Белкина О. А., Лихачёв А. Ю. Конспект флоры листостебельных мхов Кандалакшского заповедника (Белое море). Апатиты, 1997. 48 с.

30. Кожин М. Н., Боровичев Е. А., Белкина О. А., Давыдов Д. А., Денисов Д. Б., Исаева Л. Г., Константинова Н. А., Мелехин А. В., Попова К. Б., Урбанавичюс Г. П., Химич Ю. Р. История и основные итоги изучения криптогамных организмов Зеленого пояса Фенноскандии в пределах Мурманской области // Труды КарНЦ РАН. 2019. 4. С. 64–88.
31. Другова Т. П. Листостебельные мхи города Кола (Мурманская область) // Вестник КНЦ РАН. 2018. 2 (10). С. 87–98.
32. Другова Т. П. Сравнительный анализ флор мхов городов Кировска и Апатитов (Мурманская область, север Европейской России) // Бюлл. МОИП. 2008. Т. 113, вып. 4. С. 45–55.
33. Константинова Н. А., Лихачев А. Ю., Белкина О. А. Дополнения и уточнения к конспекту флоры мохообразных Мурманской области // Флористические и геоботанические исследования в Мурманской области. Апатиты, 1993. С. 6–44.
34. Другова Т. П. Листостебельные мхи города Полярные Зори // Вестник МГТУ. 2014. 1 (17). С. 128–138.
35. Drugova T. P. Mosses of Kandalaksha City (Murmansk Province, North-West Russia) // *Arctoa*. 2007. Vol. 16. P. 145–152.
36. Белкина О. А., Обабо Р. П., Боровичев Е. А., Лихачев А. Ю. Мхи района озера Вайкис (горный массив Монче-гундра, Мурманская область) — ключевой ботанической территории // Новости систематики низших растений. 2020. 54 (2). С. 479–495.
37. Другова Т. П. Листостебельные мхи поселка Нивский // Вестник КНЦ РАН. 2019. 3 (11). С. 13–32.

References

1. Shaw A. J., Cox C. J., Buck W. R., Devos N., Buchanan A. M., Cave L., Seppelt R., Shaw B., Larra J., Andrus R., Greilhuber J., Temsch E. M. Newly resolved relationships in an early land plant lineage: Bryophyta class Sphagnopsida (peat mosses). *American Journal of Botany*, 2010, 97 (9), pp. 1511–1531.
2. Maksimov A. I. Flora sfagnovykh mхов Rossii [Flora of the sphagnum mosses of Russia]. *Bolota severnoj Evrazii: biosfernye funkicii, raznoobrazie i upravlenie: tezisy dokladov Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Bogs of Northern Eurasia: biosphere functions, diversity and management: abstracts of international symposium]. Petrozavodsk, 25–28 september 2023. Petrozavodsk, KarRC RAS, 2023, pp. 59–60. (In Russ.).
3. Hodgetts N. G., Söderström L., Blockeel T. L., Caspari S., Ignatov M. S., Konstantinova N. A., Lockhart N., Papp B., Schröck C., Sim-Sim M., Bell D., Bell N. E., Blom H. H., Bruggeman-Nannenga M. A., Bruges M., Enroth J., Flatberg K. I., Garilleti R., Hedenäs L., Holyoak D. T., Hugonnot V., Kariyawasam I., Köckinger H., Kucera J., Lara F., Porley R. D. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus. *Journal of Bryology*, 2020, 42:1, pp. 1–116.
4. Ignatov M. S., Ignatova E. A. *Flora mхов srednej chasti Evropejskoj Rossii. Sphagnaceae — Hedwigiaceae* [Moss flora of the Middle European Russia. Sphagnaceae — Hedwigiaceae]. Moscow, KMK, 2003, 608 p. (In Russ.).
5. Noskova M. G. *Polevoj atlas — opredelitel' sfagnovykh mхов taezhnoj zony Evropejskoj Rossii* [The field atlas — handbook of sphagnum mosses of taiga zone of European Russia]. Tula, 2016, 112 p. (In Russ.).
6. Laine J., Harju P., Timonen T., Laine A., Tuittila E. S., Minkkinen K., Vasander H. The intricate beauty of Sphagnum mosses — a Finnish guide to identification. University of Helsinki department of forest ecology publications. 2009, 39, 190 p.
7. Abramova A. L., Savich-Lyubitskaya L. I., Smirnova Z. N. *Opredelitel listostebelnykh mkhov Arktiki SSSR* [Handbook of mosses of Arctic of USSR]. Moscow; Leningrad, 1961, 715 p. (In Russ.).
8. Savich-Lyubitskaya L. I., Smirnova Z. N. *Opredelitel' sfagnovykh mхов SSSR* [Handbook of mosses of Arctic of USSR]. Leningrad, Nauka, 1968, 112 p. (In Russ.).
9. Laine J., Flatberg K. I., Timonen T., Minkkinen K., Laine A., Tuittila E.-S., Vasander H. *Sphagnum mosses — The stars Of European mires*. University of Helsinki department of forest sciences, Sphagna Ky, 2018, Helsinki, 326 p.

10. Flatberg K. I. *Norges torvmosser*. Akademica forlag, Trondheim, 2013. 307 p.
11. <https://isling.org/>.
12. Ramenskaya M. L. *Analiz flory Murmanskoy oblasti i Karelii* [Analysis of the flora of the Murmansk Region and Karelia]. Leningrad, 1983, 216 p. (In Russ.).
13. Shlyakov R. N., Konstantinova N. A. *Konspekt flori mokhoobraznykh Murmanskoi oblasti* [A checklist of bryophytes of Murmansk Province]. Apatity, 1982, 22 p. (In Russ.).
14. Belkina O. A., Konstantinova N. A., Kostina V. A. *Flora vysshikh rasteniy Lovozerskikh gor* [Flora of higher plants of the Lovozero Mountains]. Saint Petersburg, Nauka, 1991, 205 p. (In Russ.).
15. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. Annotirovannyj spisok mhov (Bryopsida) [Annotated list of mosses (Bryopsida)]. *Mohoobraznye i sosudistye rasteniya territorii Polyarno-al'pijskogo botanicheskogo sada-instituta* (Hibinskiye gory, Kol'skij Poluostrov) [Bryophytes and Vascular Plants of Polar-alpine Botanical Garden-Institute (Khibiny Mountains, Kola Peninsula)]. Apatity, 2001, pp. 30–45. (In Russ.).
16. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. Flora listostebel'nyh mhov gornyh massivov Chiltald i IonN-Njugoayv (Murmanskaya oblast') [Moss flora of the Chiltald and IonN-Njugoayv Mountains (Murmansk Region)]. *Arctoa*, 2004, Vol. 13, pp. 211–222. (In Russ.).
17. Drugova T.P., Belkina O.A., Likhachev A. Yu. Mosses of surroundings of Alakurtti Settlement and Kutsa Nature Reserve (Murmansk Province, North-west of Russia). *Arctoa*, 2017, 26, pp. 72 – 80.
18. Drugova T. P. Mhi goroda Murmanska [Mosses of Murmansk City. *Novosti sistematiki nizshikh rastenii* [Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium], 2008, V. 43, pp. 321–336. (In Russ.).
19. Drugova T. P. Flora listostebel'nyh mhov goroda Kirovska (Murmanskaya oblast', sever Evropejskoj chasti Rossii) [Moss flora of Kirovsk Town]. *Arctoa*, 2005, no. 14, pp. 203–209. (In Russ.).
20. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. K flore mhov okrestnostej Teriberki (Kol'skij poluostrov, Rossiya) [On the moss flora of the Teriberka Area (Kola Peninsula, Russia)]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Transactions of the Karelian Research Centre RAS], 2023, no. 1, pp. 51–63. (In Russ.).
21. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. K flore mhov tundrovoj zony Kol'skogo poluostrova [Contribution to the moss flora of tundra zone of the Kola Peninsula (North-West of Russia)]. *Novosti sistematiki nizshikh rastenii* [Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium], 2021, 55 (1), pp. 229–247. (In Russ.).
22. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. Mhi poberezh'ya Lumbovskogo zaliva (Kol'skij poluostrov, Rossiya) [Mosses of the Lumbovsky Bay Coast (Kola Peninsula)]. *Arctoa*, 2016, 25 (2), pp. 393–407. (In Russ.).
23. Kozhin M. N., Belkina O. A., Likhachev A. Yu., Ignatova E. A. Moss flora of the Ainov Islands, Barents Sea. *Arctoa*, 2016, 25, pp. 408–419.
24. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. Flora mhov gornotundrovogo poyasa v gorah Murmanskoy oblasti [Moss flora of mountain tundra belt in Murmansk Province]. *Vestnik murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Murmansk State Technical University], 2013, 16 (3), pp. 425–430. (In Russ.).
25. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. Spisok listostebel'nyh mhov Laplandskogo zapovednika [List of mosses of Lapland Nature Reserve]. *Vestnik murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Murmansk State Technical University], 2010, 13 (4/2), pp. 984–988. (In Russ.).
26. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. Flora listostebel'nyh mhov Salnyh tundr (Murmanskaya oblast') [Moss flora of the Salnye tundra (the Murmansk Region)]. *Arctoa*, 2005, 14, pp. 177–196. (In Russ.).
27. Borovichev E. A., Boychuk M. A. *Mohoobraznye zapovednika "Pasvik"* [Bryophytes of the Pasvik State Nature Reserve]. Petrozavodsk, KarRC RAS, 2018, 145 p. (In Russ.).
28. Belkina O. A., Andreeva A. N., Likhachev A. Yu. Materialy k flore mhov Laplandskogo zapovednika [Materials on moss flora of Lapland Nature Reserve]. *Trudy Laplandskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. Vypusk VII* [Proceedings of the Lapland State Natural Biosphere Reserve. Issue VII]. Apatity, 2019, pp. 66–118. (In Russ.).
29. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. *Konspekt flori listostebel'nyh mhov Kandalakshskovo zapovednika (Beloje more)* [Checklist of moss flora of the Kandalaksha Nature Reserve (the White Sea)]. Apatity, 1997, 45 p. (In Russ.).

30. Kozhin M. N., Borovichev E. A., Belkina O. A., Davydov D. A., Denisov D. B., Isaeva L. G., Konstantinova N. A., Melekhin A. V., Popova K. B., Urbanavichus G. P., Khimich Yu. R. Istoriya i osnovnye itogi izucheniya kriptogamnyh organizmov Zelenogo poyasa Fennoskandii v predelakh Murmanskoy oblasti [History and main outputs of cryptogams study in the green belt of Fennoscandia within Murmansk Region]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Transactions of the Karelian Research Centre RAS], 2019, 4, pp. 64–88. (In Russ.).
31. Drugova T. P. Listostebel'nye mhi goroda Kola (Murmanskaya oblast') [Mosses of Kola Town]. *Vestnik Kol'skogo Nauchnogo Centra RAN* [Bulletin of the Kola Science Center of RAS], 2018, 2 (10), pp. 87–98. (In Russ.).
32. Drugova T. P. Sravnitel'nyj analiz flor mhov gorodov Kirovska i Apatitov (Murmanskaya oblast', sever Evropejskoj Rossii) [Comparative analysis of mosses flora of Kirovsk and Apatity Towns (the Murmansk Region, Northern European Russia)]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody* [Bulletin of the Moscow Society of Nature Reserchers], 2008, Vol. 113 (4), pp. 45–55. (In Russ.).
33. Konstantinova N. A., Likhachev A. Yu., Belkina O. A. Dopolneniya i utochneniya k konspektu flory mohobraznyh Murmanskoy oblasti [Additions and refinements to the Bryophyte flora checklist of the Murmansk Region]. *Floristicheskie i geobotanicheskie issledovaniya v Murmanskoy oblasti* [Floristic and geobotanical studies in the Murmansk Region]. Apatity, 1993. pp. 6–44. (In Russ.).
34. Drugova T. P. Listostebel'nye mhi goroda Polyarnye Zori (Murmanskaya oblast') [Mosses of Polyarnye Zori Town (the Murmansk Region)]. *Vestnik murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Murmansk State Technical University], 2014, 1 (17), pp. 128–138. (In Russ.).
35. Drugova T. P. Mosses of Kandalaksha City (Murmansk Province, North-West Russia). *Arctoa*, 2007, Vol. 16, pp. 145–152.
36. Belkina O. A., Obabko R. P., Borovichev E. A., Likhachev A. Yu. Mhi rajona ozera Vajkis (gornyj massiv Monche-tundra, Murmanskaya oblast') — klyuchevoj botanicheskoy territorii [Mosses of the Important Plant Area in Vaikis Lake Valley environs (Monche-Tundra Ridge, Murmansk Region)]. *Novosti sistematiki nizshikh rastenii* [Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium], 2020, 54 (2), pp. 479–495. (In Russ.).
37. Drugova T. P. Listostebel'nye mhi poselka Nivskij [Mosses of Nivskij Settlement]. *Vestnik Kol'skogo Nauchnogo Centra RAN* [Bulletin of the Kola Science Center of RAS], 2019, 3 (11), pp. 13–32. (In Russ.).

Информация об авторе

Т. П. Другова — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник.

Information about the author

T. P. Drugova — PhD (Biology), Senior Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 582.58.009 (470.21)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.010

К ФЛОРЕ ПЕЧЕНОЧНИКОВ ПОЛУОСТРОВОВ РЫБАЧИЙ И СРЕДНИЙ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Надежда Алексеевна Константинова¹, Данил Андреевич Афонин²

^{1, 2}Полярно-альпийский ботанический сад-институт имени Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

¹nadya50@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7600-0512>

²danka.afona2546@yandex.ru

Аннотация

В рамках работ по обследованию флоры природного парка регионального значения «Полуострова Рыбачий и Средний», проводимых ПАБСИ в 2023 г., выявлено 20 видов печеночников, ранее не указывавшихся для этих полуостровов. В числе вновь обнаруженных видов — *Eremonotus myriocarpus*, внесенный в Красную книгу Мурманской области, и два вида из числа угрожаемых в Европе (*Moerckia blyttii*, *Lophozipsis rubrigemma*). С учетом новейших таксономических изменений флора печеночников полуостровов Рыбачий и Средний насчитывает 111 видов.

Ключевые слова:

печеночники, новые находки, полуострова Рыбачий и Средний, редкие и угрожаемые виды, ООПТ

Благодарности:

мы глубоко признательны А. Н. Савченко за подготовку карты и восстановление координат точек сбора. Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы Полярно-альпийского ботанического сада-института имени Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук.

Для цитирования:

Константинова Н. А., Афонин Д. А. К флоре печеночников полуостровов Рыбачий и Средний (Мурманская область) // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 82–90. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.010.

Original article

ADDITIONS TO LIVERWORT FLORA OF RYBACHIY AND SREDNIY PENINSULAS (MURMANSK REGION)

Nadezhda A. Konstantinova¹, Danil A. Afonin²

^{1, 2}Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

¹nadya50@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7600-0512>

²danka.afona2546@yandex.ru

Abstract

As part of the study of the flora of the Regional Natural Park “Rybachy and Sredny Peninsulas”, 20 species of liverworts were recorded that had not previously been found for these peninsulas. Among the newly discovered species is *Eremonotus myriocarpus*, a species listed in the Red Book of the Murmansk region and two species that are threatened in Europe (*Moerckia blyttii*, *Lophozipsis rubrigemma*). Taking into account the latest taxonomic changes and new records, the flora of liverworts of the Rybachy and Sredny peninsulas counts now 111 species.

Keywords:

liverworts, new records, Rybachiy and Sredny Peninsulas, threatened and rare species

Acknowledgements:

We are deeply grateful to Mr. Anatoly Savchenko for preparing the map and restoring the coordinates of the collection points. The article was prepared within the framework of the research work of PABGI KSC RAS.

For citation:

Konstantinova N. A., Afonin D. A. Additions to liverwort flora of Rybachiy and Sredny Peninsulas (Murmansk Region). *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 82–90. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.010.

Введение

Печеночники представляют собой мелкие и очень мелкие растения и образуют отдельную филогенетическую линию, рассматриваемую в настоящее время как отдел царства Растения [1]. На севере и в горах эти, казалось бы, невзрачные и непримечательные растения играют очень важную роль, поселяясь в местах, недоступных для более крупных и требовательных к условиям обитания сосудистых растений. Чаще всего они являются пионерами заселения различных субстратов, не оккупированных сосудистыми растениями — скал, камней, оголенной почвы, гниющей древесины

и др. Причем, будучи пойкилогидрическими, т. е. растениями, у которых количество воды в тканях непостоянно и зависит от условий влажности среды, они наиболее широко распространены и разнообразны в районах с приокеаническим климатом. Полуострова Рыбачий и Средний, с их мягким влажным субокеаническим климатом и разнообразными формами рельефа, включающими каменистые россыпи и осыпи, скальные гряды и выходы горных пород с прорезающими их ручьями и речками, ущельями, различные типы тундр с обнаженными участками грунта, — крайне благоприятный район для такой группы, как печеночники.

Первые исследования печеночников на полуостровах Рыбачий и Средний были проведены финскими учеными. Для двух точек, в частности Керванто на полуострове Рыбачий и Пумманки на полуострове Средний, относившихся тогда к Финляндии, приводилось 34 вида [2]. В 1978 и 1981 гг. Н. А. Константиновой проводились сборы печеночников на обоих полуостровах, в результате обработки которых был опубликован аннотированный список, включающий 93 вида, в том числе 6 видов, приводившихся Näyren [2], но не подтвержденных новыми сборами [3]. В августе 2023 г. авторы занимались изучением печеночников на территории организованного в 2014 г. природного парка регионального значения «Полуострова Рыбачий и Средний» с целью выявления редких и охраняемых в области видов. Нами были обследованы побережье губы Большая Волоковая на полуострове Средний и низовья реки Скорбеевской на северном побережье полуострова Рыбачий. В результате были выявлены печеночники, ранее не указывавшиеся для полуостровов, а также новые точки нахождения ряда нечастых в области видов, в том числе внесенных в Красную книгу Мурманской области [4].

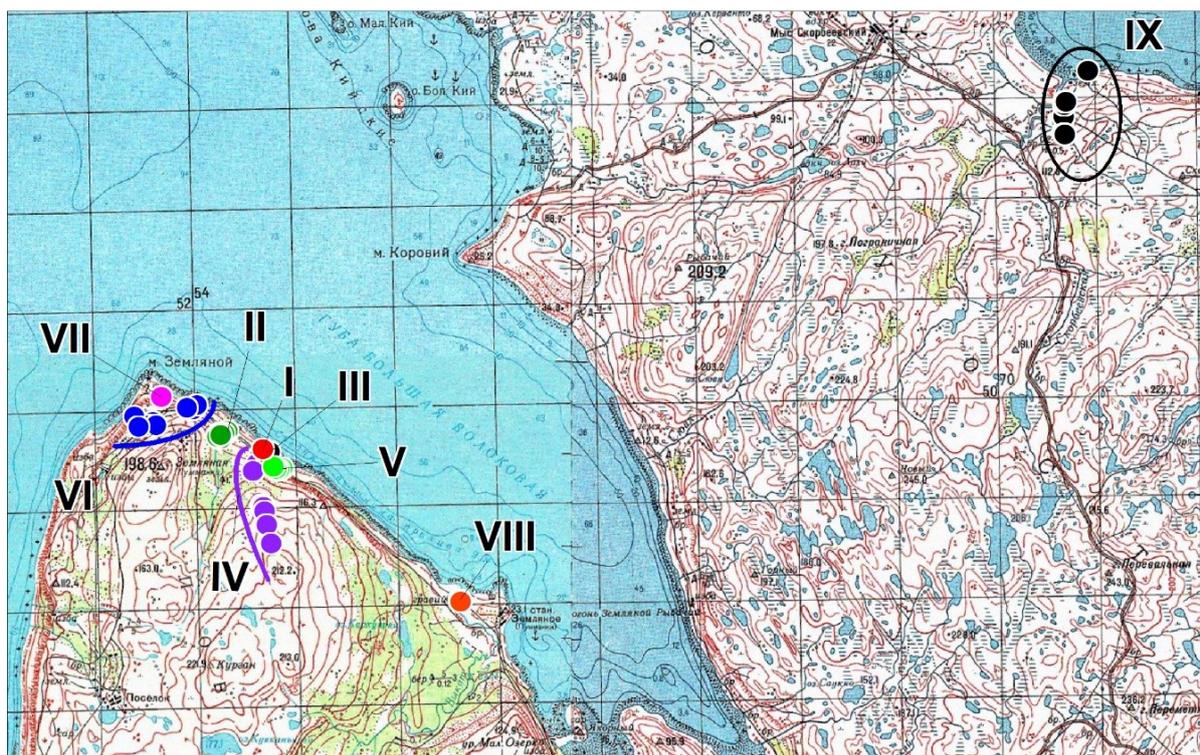
Материалы и методы

Работы на полуострове Средний проводились с 5 по 9 августа 2023 г. в основном на скальной гряде, протянувшейся вдоль западного берега губы Большая Волоковая, на пологих тундровых склонах над скальной грядой и в районе мыса Земляной, 10 августа 2023 г. был обследован район мыса Скорбеевский на полуострове Рыбачий. Всего было собрано около 150 пакетов из 42 местонахождений (рис.). Краткое описание местонахождения включало координаты, характеристику рельефа, в том числе экспозицию склона, и растительности. Кроме того, давалась характеристика микрорельефа, почвы или грунта, характера увлажнения. Широта и долгота местонахождений определялась с помощью GPS. Однако в связи с поломкой GPS восстановить данные точек, взятые на полуострове Средний, не удалось, там координаты были определены по карте. На полуострове Рыбачий был использован другой GPS-приемник, там координаты указаны точно. Определение печеночников выполнено в основном первым автором в лаборатории флоры и растительности Полярно-альпийского ботанического сада-института Кольского НЦ РАН с использованием бинокля Nikon SMZ800 и микроскопа Nikon eclipse SOi.

Природные условия

Полуострова Рыбачий и Средний, омываемые водами Баренцева моря, расположены на северо-западе Мурманской области. Рельеф полуостровов — круто обрывающееся к морю плато высотой до 200–300 м над уровнем моря, сложенное глинистыми сланцами, песчаниками и известняками. Климат относительно мягкий для таких широт, океанический, что обусловлено влиянием теплого южного Нордкапского течения, в результате чего зимой прибрежные воды не замерзают. У северного берега полуострова Рыбачий среднегодовые температуры достигают +1,5 °С. При этом сильные северо-западные, западные и юго-западные ветра препятствуют развитию древесной растительности, которая приурочена к защищенным от ветра основаниям, склонам, понижениям и пр. Несколько относительно крупных рек прорезают плато, нередко ручейки и речки, в том числе круто сбегаящие со скал и с водопадами. На пологих участках широко распространены озера. Согласно геоботаническому районированию В. Д. Александровой [5], растительность полуостровов Рыбачий и Средний относится к Кольской провинции субарктических тундр. Преобладают на полуостровах кустарничковые, кустарничково-лишайниковые и кустарничково-мохово-лишайниковые тундры. Участки березовых криволесий встречаются в защищенных от ветра местах при основании скальных гряд, по понижениям — в долинах рек.

Разнообразие форм рельефа, выходящих на поверхность пород, и мягкий климат предопределяют богатство флоры полуостровов.



Полуостров Средний, побережье губы Большая Волоковая. **I.** Пологий склон первой морской террасы: 1. При основании камня, 69.8172N, 31.8372E. **II.** Долина глубоко врезанного ручья, прорезающего первую морскую террасу; 2. Камни, покрытые торфом, в зарослях трав, 69.8205N, 31.8186E; 3. Замшелые выходы горных пород, правый берег ручья с водопадом, 69.82N, 31.8168E; 4. Камни и в нише по бортам глубоко врезанного ручья, 69.82N, 31.8146E; 5. Берега глубоко врезанного ручья, 69.8192N, 31.8154E; 6. Покрытые торфом валуны в долине ручья, 69.8194 N, 31.8135E; 7. Покрытые торфом валуны в долине ручья, 69.8197N, 31.8151E; 8. Камни в верхней части крутого склона, в каньоне с ручьем, 69.8197N, 31.8151E. **III:** 9. Скалы на берегу моря, 69.8158N, 31.8354E. **IV.** Скальная гряда в 0,5–1 км от берега моря, скалы северо-восточной экспозиции, обращенные к морю: 10. При основании скал, 69.8158N, 31.8354E; 11. Покрытые торфом камни по берегу медленно текущего ручья, 69.8145N 31.834E; 12. Основания скал в березовом криволесье с *Asplenium* и *Polystichum longisetum*, 69.8133N, 31.8319E; 13. Основания скальных выходов, 69.807N, 31.8365E; 14. Пологий склон северо-восточной экспозиции над скалами, кустарничково-мохово-лишайниковая тундра, 69.8067N, 31.8374E; 15. Широкая расщелина на пологом северо-восточном склоне, 69.806N, 31.8379E; 16. Пятно мелкозема на пологом склоне, на песчаной почве, 69.8035N, 31.8391E; 17. Пятно мелкозема на пологом склоне в кустарничково-лишайниковой тундре, 69.8001N, 31.8412E. **V.** Скалы восточной экспозиции в скальной гряде в 0,5–1 км от моря: 18. Каменистая россыпь в березовом криволесье при основании скал, 69.8137N, 31.8469E; 19. Основание скал, 69.8134N, 31.8453E; 20. Основание скал, 69.8134N, 31.8453E; 21. В основании скал, 69.8141N, 31.8424E. **VI.** Мыс Земляной: 22. Крутой склон к дороге, 69.8252N, 31.803 E; 23. Заболоченный ручей со множеством рукавов, каменистым дном и покрытыми торфом валунами, 69.8243N, 31.8009E; 24. Основание крутого откоса к дороге, по краю небольшой лужи, 69.8243N, 31.8009E; 25. Слоистые скалы на сухом склоне север-северо-западной экспозиции, 69.8221N, 31.7802E; 26. Кустарничково-лишайниковая каменистая тундра с плоскими горизонтальными плитами, при основании плит, в трещинах, 69.8215N, 31.7786E; 27. Горизонтальные плиты, покрытые лишайниками, 69.8215N, 31.7818E; 28. Заболоченная тундра, на торфянистой почве на берегу ручья, 69.8231N, 31.7705E; 29. Сырые скалы вдоль дороги, в сырых трещинах, 69.8212N, 31.7727E. **VII.** Мыс Земляной, скалы на берегу моря Два Брата, 69.8266N, 31.7845E. **VIII.** Пойма реки Выкат: 31. Правый берег реки 09.08.2023N, 69.7899E; 32. Крутой склон к дороге, на правом берегу, 69.7897N, 31.9395E. **IX.** Полуостров Рыбачий, залив Skorbeevskiy, долина реки Skorbeevskoy: 33. Правый борт ручья со скалистыми берегами : 69.87463 N, 32.25128E; 34. Сырые скалы южной экспозиции по борту водопада 69.87469 N, 32.25158E; 35. Сырые скалы южной экспозиции по борту ручья; 69.87745N, 36. 32.25151E; 36. Сырые скалы северной экспозиции по левому борту ручья; 37. Сырые скалы северной экспозиции по левому борту ручья, 69.87421N, 32.25229 E; 38. Сырые скалы по правому борту долины в нижнем течении реки 69.87949N, 32.25174E; 39. Сырые скалы западной экспозиции по правому борту долины в нижнем течении реки, 69.87949N, 32.25174E; 40. Сырые, обращенные к морю скалы, 69.88009N, 32.25195E; 41. Сырые, обращенные к морю скалы, 69.88007N, 32.25261E

Результаты

В результате определения собранных образцов выявлено 20 видов, ранее не укальзывавшихся для полуостровов Рыбачий и Средний. Ниже мы приводим аннотированный список видов, впервые найденных в этом регионе. Виды приводятся по алфавиту. Названия даются по последнему чек-листу печеночников Европы [1] с некоторыми изменениями в отношении ряда видов в связи с последними публикациями [6]. После названия вида приводятся некоторые его синонимы, использовавшиеся ранее в наиболее широко известных работах по Мурманской области, затем указывается наличие, если имеется, андроцеов (and.), гинецеов (gyn.), периантиев или псевдопериантиев (per.), спорофитов (spor.), выводковых почек (gemmae), после чего перечисляются точки нахождения вида в соответствии с рисунком и следом даются характеристика местообитаний, наиболее характерные сопутствующие виды и по крайней мере одна ссылка на номер образца в гербарии ПАБСИ (КРАВГ). Большинство видов снабжены комментариями, в которых дается краткая характеристика их распространения на территории Мурманской области и поясняются возможные причины их отсутствия в ранее опубликованном списке печеночников полуостровов Рыбачий и Средний.

Вся информация об изученных образцах внесена в информационную систему L, ранее известную как CRIS (<https://isling.org>), а образцы инсерированы в гербарий ПАБСИ (КРАВГ).

Barbilophozia hatcheri (A. Evans) Loeske [*Barbilophozia lycopodioides* (Wallr.) Loeske var., *hatcheri* (Evans) Schljak.] — 12: в трещинах на скалах [126017]. В работе по полуостровам Рыбачий и Средний [3] *Barbilophozia lycopodioides* понималась в широком смысле, разновидности не были включены в список. Вид широко распространен на скалах обследованных территорий.

Blasia pusilla L. (gem.) — 32: откос к дороге и вдоль дороги, почти чистые куртины [126062]. В 1970-х гг. территория полуостровов Рыбачий и Средний была практически недоступна, а в XXI в. активное развитие туризма могло способствовать распространению таких антропофитов, как *Blasia pusilla*.

Blepharostoma brevirete (Bryhn et Kaal.) Vilnet et Bakalin [*Blepharostoma trichophyllum* (L.) Dumort subsp. *brevirete* (Bryhn & Kaal.) R. M. Schust. *Blepharostoma trichophyllum* (L.) Dumort var. *brevirete* Bryhn & Kaal.] — 6, 10, 12, 13, 19, 20, 21, 23, 27, 30, 32, 40. K30-1a-23. В работе по полуостровам Рыбачий и Средний [3] *Blepharostoma trichophyllum* рассматривалась в широком смысле и разновидности, в списке не указывались. Здесь мы вслед за Бакалиным с соавторами [7] рассматриваем этот таксон в статусе вида.

Cephaloziella varians (Gottsche) Steph. (была *C. grimsulana*) — 28: на торфянистой почве по берегу ручья в заболоченной тундре [126056]. Арктомонтанный циркумполярный вид, нередкий в Мурманской области.

В работе Константиновой [3] приводится *Cephaloziella grimsulana* (Gott. et Rabenh.) Lac. как нередкий вид. Ранее *Cephaloziella varians*, следуя Р. Н. Шлякову [8], рассматривалась как *Cephaloziella grimsulana* f. *arctica* (Bryn et Douin) Schljak. и не выделялась как отдельный вид. Позже трактовка таксона была пересмотрена, и в настоящее время мы следуем трактовке, принятой в чек-листе мохообразных Европы [1], и рассматриваем *Cephaloziella varians* как отдельный вид. Для уточнения распространения *C. grimsulana* и *C. varians* на полуостровах необходима ревизия всех образцов.

Eremonotus myriocarpus (Carrington) Lindb. & Kaal. ex Pearson (per.) — 41: в трещинах на сырых, обращенных к морю скалах [126081], в нескольких образцах рассеян среди других печеночников вместе с *Odotoschisma macounii*, *Schistochilopsis grandiretis*, *Preissia quadrata*, *Saccobasis polita*, *Aneura pinguis*. Вид сравнительно недавно был найден в Мурманской области [9], где он довольно редок, встречается спорадически в Хибинских и Ловозерских горах (l.c.) и Сальных Тундрах [10]. В Мурманской области вид внесен в Красную книгу [4]. Вид редок в сопредельных странах (Швеции и Норвегии) и рассматривается как NT в Европе [11].

Gymnomitrium corallioides Nees (per.) — I: 10, 17, 27, 28. В углублениях скал и на пятнах мелкозема в каменистых кустарничково-лишайниковых тундрах [126053], видимо, нередок. Ранее, вероятно, пропускался из-за встречаемости в серых, сливающихся по цвету с грунтом, обычно небольшого размера ковриках. Арктомонтанный циркумполярный, нередкий в Мурманской области вид.

Isopaches bicrenatus (Schmidel ex Hoffm.) H. Buch (per., gemm.) — 1, 22. На мелкоземке при основании камня в вороничнике [125996]. Спорадически встречающийся в области вид, нередко пропускаемый из-за очень мелких размеров.

Jungermannia polaris Lindb. [*Jungermannia pumila* subsp. *polaris* (Lindb.) R. M. Schust.] (per., and., jung spor.) — 21. В трещинах и на полочках при основании скалистых выходов. Ранее для полуострова Рыбачий из района Керванто приводилась *Jungermannia pumila* With. [2]. Возможно, это указание также относится к *Jungermannia polaris*, поскольку этот вид рассматривается некоторыми авторами, например R. M. Schuster [12], как подвид *Jungermannia pumila*.

Lophozia silvicola H. Buch (per., gemm.) — 2, 6, 8, 12. На торфянистой почве, покрывающей валуны, по трещинам в скальных стенках, обращенных к морю [126006]. Трактовки видов *Lophozia* с зелеными выводковыми почками неоднократно менялись. Здесь мы придерживаемся понимания этих видов Бакалиным [13]. Ранее Константинова [3] приводила *Lophozia ventricosa* для одной точки, скорее всего, это указание следует отнести также к *Lophozia silvicola*.

Lophozia excisa (Dicks.) Konstant. & Vilnet [*Lophozia excisa* (Dicks.) Dumort.] (per., and., spor., gemm.) — 18. На мелкоземке между валунами среди каменной россыпи у подножья скальной гряды [126029], единичные побеги.

Lophozia rubrigemma (R. M. Schust.) Konstant. & Vilnet [*Lophozia rubrigemma* R. M. Schust.] (gemm.) — 9. На «полочках» на скалах на берегу моря. Основа ковриков на мелкоземке. *Lophozia rubrigemma* — редкий и малоизученный арктический вид, ранее не указывавшийся для полуостровов Рыбачий и Средний, известный в Мурманской области по двум образцам — из долины реки Иоканги и с острова Озерчанка (Кандалакшский залив Белого моря). Популяция вида в Мурманской области крайне мала, хотя, возможно, вид пропускается при сборах и определении. В Европе вид оценивается как DD, data deficient [14].

Marsupella apiculata Schiffn. [*Gymnomitrium apiculatum* (Schiffn.) Müll. Frib.] — II: 35. На скальных выходах по бортам глубоко врезанного ручья. В плотных дерновинках без примесей других видов. Арктомонотанный, преимущественно приокеанический вид, нередкий в горных районах области.

Marsupella boeckii (Austin) Lindb. ex Kaal. (per. and.) — II: 33, 36. Трещины в крутых, скалистых бортах глубоко врезанного ручья [126071]. Рассеяно в коврах других печеночников, вместе с *Cephalozia bicuspidata*, *Nardia scalaris*, *Saccobasis polita*. Спорадически встречающийся в области, очень мелкий печеночник, легко пропускаемый при сборах.

Marsupella sprucei (Limpr.) Bernet var. *ustulata* (per., and.) — I: 2, 17. На суглинистой почве, покрывающей камень на склоне в долине ручья, и на мелкоземке по краю пятен обнаженного грунта в кустарничково-лишайниковой тундре [126000]. Рассеяно в куртинах с другими печеночниками (*Barbilophozia sudetica*, *Anthelia juratzkana*, *Gymnomitrium* spp.).

Очень мелкий арктомонотанный печеночник, спорадически встречающийся в области. Практически никогда не образует чистых куртин, встречаясь отдельными экземплярами в куртинах других мохообразных, поэтому легко пропускаемый при сборах и определении.

Odontoschisma macounii (Austin) Underw. — I: 20, 23, 27; II: 41. На торфянистых кочках при основании сырых скал, по сырым трещинам в скалах, на сырых пятнах оголенного субстрата в тундрах [126048], везде в смеси с другими печеночниками, часто с *Mesoptychia* sp., *Preissia quadrata*, *Saccobasis polita*, *Aneura pinguis*. Нередкий в Арктике бази- и кальцефильный арктомонотанный вид, встречающийся обычно в смеси с другими печеночниками.

Pseudomoerckia blyttii (Moerch) Vilnet, Konstant., D. G. Long, Lockhart & Mamontov [*Moerckia blyttii* (Mørch ex Hornem.) Brockm. (and.) — 37. На торфянистых дернинах у воды по берегу глубоко врезанного ручья, в смеси с *Schistochilopsis opacifolia* [126072]

Нечастый вид, отнесенный к угрожаемому (VU) в Европе [15], включен в Красные книги многих европейских стран, в том числе в сопредельной с Мурманской области Финляндии [Hodgetts, 2015, 16]. В Мурманской области вид изредка встречается в Мончетундре, Сальных Тундрах и Лавнатундрах,

массиве Чильтальд, бассейнах рек Иоканьга и Териберка [<https://isling.org>]. Учитывая значительную фрагментацию и малочисленность популяций вида в Мурманской области, предлагаем внести вид в Красную книгу Мурманской области на основании критериев B2ab(iii).

Scapania curta — I: 22; II:40. На крутом, обращенном к морю склоне к дороге, среди трав вместе с *Nardia scalaris*, *Solenostoma sphaerocarpum*, *Trilophozia quinquedentata* [КРАВГ126044] и на торфянистой дернине на скалах, обращенных к морю, в смеси с *Cephalozia bicuspidata*, *Fuscocephaloziaopsis pleniceps*, *Schistochilopsis grandiretis*, *Blepharostoma brevirete*, *Mesoptychia heterocolpos*, *Aneura pinguis* [КРАВГ 126078]. Нередкий в области вид, однако мелкие формы вида без периантиев трудно определяемы из-за того, что вид встречается нередко в виде незначительной примеси.

Scapania cuspiduligera (Nees) Müll. Frib. (gemm.) — I: 21. На полочках и по трещинам при основании скал [126038]. Нечастый в Мурманской области, базифильный, преимущественно кальцефильный арктомонтанный вид.

Scapania lingulata H. Buch. — I: 12. В трещине на скале [126016]. Редкий в области вид, возможно, пропускаемый при сборах из-за мелких размеров и встречаемости отдельными растениями в куртинах других мохообразных.

Scapania parvifolia Warnst. — I: 7, 42. На полочках и в трещинах, на скалах [126086]. Вид выявлен в нескольких образцах, где встречался единичными экземплярами среди других печеночников.

Обсуждение

Всего нами найдено 20 видов, ранее не указывавшиеся для полуостровов Рыбачий и Средний. Ранее первым автором для этого региона приводилось 93 вида [3]. Однако два вида в результате таксономических ревизий были сведены в синонимы к другим видам, которые также приводились для района исследования. В частности, это *Lophozia rufescens* Schljak., позже синонимизированная В. А. Бакалиным [13] с *Barbilophozia sudetica* и *Saccobasis polymorpha* (R. M. Schust.) Schljak., сведенный в синонимы к *Saccobasis polita* [16]. Таким образом, с учетом этих изменений и дополнений, флора печеночников полуостровов Рыбачий и Средний насчитывает 111 видов. Столь большое число новых видов, найденных впервые на полуостровах в ходе обследования относительно небольших участков, свидетельствует о том, что флора печеночников полуостровов выявлена еще совершенно недостаточно. В частности, вполне можно ожидать находок нечастых в области арктомонтанных видов. Например, на слабо обследованных пятнах в пятнистых тундрах, в зависимости от подстилающих пород, велика вероятность нахождения мелких, часто пропускаемых печеночников, например *Cladopodiella francisci*, *Cephaloziella integerrima*, *Isopaches alboviridis*, *Mesoptychia badensis*, *Prasanthus suecicus*, *Solenostoma sphaerocarpum* и др. Практически не обследованы болотные участки, где возможно нахождение *Heterogemma laxa*, *Moerckia flotoviana*, *Cephaloziella elachista* и др. В глубоких, трудно доступных ущельях полуострова Средний могут быть найдены некоторые виды *Scapania*, например *S. crassiretis*, *S. spitsbergensis*.

Подавляющее большинство печеночников, впервые обнаруженных на полуостровах Рыбачий и Средний, — виды спорадически встречающиеся в Мурманской области. Это в основном довольно мелкие печеночники, не образующие обширных ковров и даже хотя бы небольших, но чистых, т. е. без примеси других видов, куртинок. Многие из них рассеяны отдельными побегами или небольшими скоплениями в куртинах других мохообразных. Нередко, встречаясь в таких примесях, растения не имеют периантиев и выводковых почек, что делает их идентификацию крайне трудной и порой просто невозможной. Очевидно, что раньше они не были выявлены на полуостровах в том числе и по этим причинам.

Наибольший интерес представляет находка *Eremonotus myriocarpus*. Это очень мелкий печеночник, на первый взгляд напоминающий собой виды рода *Cephaloziella*, от которых, однако, сразу отличается отсутствием масляных телец, крупными поверхностными клетками стебля, формой периантия и др. [9]. В Мурманской области в большинстве найденных образцов вид представлен небольшим числом побегов, находящихся в угнетенном состоянии. В двух образцах, собранных на Рыбачьем, вид тоже представлен небольшим числом побегов. На основании значительной фрагментации

ареала, а также угнетенного состояния вид внесен в Красную книгу Мурманской области [4]. Он редок в сопредельных странах (Швеции и Норвегии) и рассматривается как EN в Финляндии [17] и NT в Европе [11]. Несомненный интерес представляет собой находка *Pseudomoerckia blyttii* — довольно редкого в Мурманской области и в Европе вида.

Несколько печеночников из числа впервые приводящихся для полуостровов Рыбачий и Средний были выделены в результате пересмотра объема видов в последние десятилетия. Так, *Barbilophozia hatcheri* долгое время рассматривалась как разновидность *B. lycopodioides*, *Blepharostoma brevirete* — как разновидность или подвид *Blepharostoma trichophyllum*, *Cephaloziella varians* — как форма *C. grimsulana*.

Несколько печеночников, ранее известных на Среднем и Рыбачьем из одной точки, были найдены неоднократно, более того, местами оказались обильны. Например, *Tetralophozia setiformis*, приводящаяся в работе Константиновой [3] только для мыса Коровьего (восток полуострова Рыбачий), оказалась обильна на каменистых россыпях при основании скал на побережье губы Волоковой. *Schistochilopsis grandiretis*, ранее известный из одной точки в районе Цып-Наволока, рассеяно встречается на скалах в бухте Скорбеевская. Неоднократно на полуострове Средний в 2023 г. собраны многие виды рода *Mesoptychia*, известные до этого из единичных точек. Довольно широко распространены *Lophozia ventricosa* и *L. wenzelii*, которые прежде приводились из одной точки каждая.

Хотя список видов, найденных на полуостровах Рыбачий и Средний достаточно внушительный (111 видов для столь небольшой по площади территории с относительно небольшими высотами), флора печеночников полуостровов еще выявлена неполно. Для достаточно полного ее выявления требуется дальнейшее обследование участков, занятых различными типами болот. Прибавку к списку может дать более тщательное изучение глубоких ущелий с речками, ручьями и скальными обнажениями, а также берегов и камней в руслах ручьев и рек. Большой интерес в отношении прибавки видов могут представлять выходы скал на берегу моря. Полное выявление флоры печеночников полуостровов Рыбачий и Средний значимо и в теоретическом плане, поскольку эти территории — хороший пример локальной среднегорной флоры Мурманской области.

Список источников

1. Hodgetts N. G., Söderström L., Blockeel T. L., Caspari S., Ignatov M. S., Konstantinova N. A., Lockhart N., Papp B., Schröck C., Sim-Sim M., Bell D., Bell N. E., Blom H. H., Bruggeman-Nannenga M. A., Brugués M., Enroth J., Flatberg K. I., Garilleti R., Hedenäs L., Holyoak D. T., Hugonnot V., Kariyawasam I., Köckinger H., Kučera J., Lara F. & Porley R. D. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus // *Journal of Bryology*. 2020. 42 (1): p. 1–116.
2. Näyren, E. Mossor fran Lapponia petsamoënsis. *Mem. Soc. Fauna Fl. Fenn.*, 31, 1955. p. 56–62.
3. Константинова Н. А. Печеночники полуостровов Рыбачьего и Среднего Мурманской области // *Новости систематики низших растений*. 1983. 20. С. 194–200.
4. Красная книга Мурманской области / отв. ред. Н. А. Константинова, А. С. Корякин, О. А. Макарова, В. В. Бианки. Изд. 2-е, перераб. и доп. Кемерово: Азия-принт, 2014. 1–584 с. ISBN 978-5-85905-446-6.
5. Александрова В. Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977. 189 с.
6. Konstantinova N. A., Vilnet A. A., Long D. G., Mamontov Yu. S. & Lockhart N. An integrative approach to the study of *Moerckia* (Marchantiopsida: Moerckiaceae), with description of a new genus, *Pseudomoerckia*, and new family, Pseudomoerckiaceae // *Journal of Bryology*. 2021. 43:2. 99–114.
7. Bakalin V. A., Anna A. Vilnet, Seung Se Choi, Van Sinh Nguyen. *Blepharostoma trichophyllum* s. l. (Marchantiophyta): the complex of sibling species and hybrids // *Plants*. 2020. 9. 1423. 1–28.
8. Шляков Р. Н. Печеночные мхи Севера СССР. Л.: Наука, 1997. 2: 1–192.
9. Konstantinova, N. A. *Eremonotus myriocarpus* (Carr.) Lindb. & Kaal. — an addition to the hepatic flora of Russia // *Arctoa*. 2001. 10: 115–120.
10. Borovichev E. A. Checklist of liverworts of the Lapland State Nature Biosphere Reserve (Murmansk Province, Russia) // *Folia Cryptog. Estonica*, Fasc. 2014. 51: 1–11.

11. Hallingbäck T. 2019. *Eremonotus myriocarpus* (Europe assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T78604176A87836498. URL: <https://www.iucnredlist.org/species/78604176/87836498> (дата обращения: 14.08.2023).
12. Schuster R. M. The Hepaticae and Anthocerotae of North America east of the hundredth meridian. New York, 1969. Vol. 2: 1–1062.
13. Бакалин В. А. Монографическая обработка рода *Lophozia* (Dumort.) Dumort. s. str. М.: Наука, 2005. 238 с.
14. Konstantinova N. 2019. *Lophoziaopsis rubrigemma* (Europe assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T87520329A87755515. URL: <https://www.iucnredlist.org/species/87520329/87755515> (дата обращения: 19.10.2023).
15. Hallingbäck T. 2019. *Moerckia blyttii* (Europe assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T87540974A87837473. URL: <https://www.iucnredlist.org/species/87540974/87837473> (дата обращения: 18.10.2023).
16. Konstantinova N. A., Vilnet A. A. & Mamontov Yu. S. How many taxa are in the genus *Saccobasis* H. Buch? Evidence from integrative taxonomy // *Arctoa*. 2022. 31: 166–180.
17. Hodgetts N. G. Checklist and country status of European bryophytes — towards a new Red List for Europe // *Irish Wildlife Manuals*. 2015. No. 84. National Parks and Wildlife Service, Department of the Arts, Heritage and the Gaeltacht, Ireland.

References

1. Hodgetts N. G., Söderström L., Blockeel T. L., Caspari S., Ignatov M. S., Konstantinova N. A., Lockhart N., Papp B., Schröck C., Sim-Sim M., Bell D., Bell N. E., Blom H. H., Bruggeman-Nannenga M. A., Brugués M., Enroth J., Flatberg K. I., Garilleti R., Hedenäs L., Holyoak D. T., Hugonnot V., Kariyawasam I., Köckinger H., Kučera J., Lara F. & Porley R. D. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus, *Journal of Bryology*, 2020, 42, No 1, pp. 1–116.
2. Häyren, E Mossor fran Lapponia petsamoënsis. *Mem. Soc. Fauna Fl. Fenn.*, 1955, No 31, pp. 56–62.
3. Konstantinova N. A. Pechenochniki poluostrovov Rybach'ego i Srednego Murmanskoy oblasti [Liverworts of the Rybachy and Sredny Peninsulas of the Murmansk region]. *Novosti sistematiki nizshih rastenij* [News of systematics of lower plants], 1983, No 20, pp. 194–200. (In Russ.).
4. *Krasnaja kniga Murmanskoy oblasti* [Red data book of the Murmansk Region]. Kemerovo, Azija-print, 2014, pp. 1–584. (In Russ.).
5. Aleksandrova V. D. *Geobotanicheskoe rajonirovanie Arktiki i Antarktiki* [Geobotanical zoning of the Arctic and Antarctic]. Leningrad, Nauka, 1977, pp. 189. (In Russ.).
6. Konstantinova N. A., Vilnet A. A., Long D. G., Mamontov Yu. S. & Lockhart N. An integrative approach to the study of *Moerckia* (Marchantiopsida: Moerckiaceae), with description of a new genus, *Pseudomoerckia*, and new family, Pseudomoerckiaceae. *Journal of Bryology*, 2021, No 43:2, pp. 99–114.
7. Bakalin V. A., Anna A. Vilnet, Seung Se Choi, Van Sinh Nguyen. *Blepharostoma trichophyllum* s.l. (Marchantiophyta): the complex of sibling species and hybrids. *Plants*, 2020, No 9, 1423, pp. 1–28.
8. Shljakov R. N. *Pechenochnye mhi Severa SSSR* [Liverworts of the northern USSR]. Leningrad, Nauka, 1997, No 2, pp. 1–192. (In Russ.).
9. Konstantinova N. A. Annotirovannyj spisok pechenochnikov (Hepaticae). Mohoobraznyei sosudistye rastenija territorii Poljarno-al'pijskogo botanicheskogo sada (Hibinskie gory, Kol'skij poluostrov) [Annotated list of liverworts (Hepaticae)]. *Bryophytes and vascular plants of the territory of the Polar-Alpine Botanical Garden (Khibiny Mountains, Kola Peninsula)*. Apatity, KNC RAN, 2001, pp. 15–29. (In Russ.).
10. Borovichev E. A. Checklist of liverworts of the Lapland State Nature Biosphere Reserve (Murmansk Province, Russia). *Folia Cryptog. Estonica, Fasc*, 2014, No 51, pp. 1–11.
11. Hallingbäck T. 2019. *Eremonotus myriocarpus* (Europe assessment), *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019: e.T78604176A87836498. Available at: <https://www.iucnredlist.org/species/78604176/87836498> (accessed 14.08.2023).

12. Schuster R. M. *The Hepaticae and Anthocerotae of North America east of the hundredth meridian*. New York, 1969, Vol. 2, pp. 1–1062.
13. Bakalin V. A. Monograficheskaja obrabotka roda Lophozia (Dumort.) Dumort. s. str. [Monographic treatment of the genus Lophozia (Dumort.) Dumort. s. str.]. Moscow, Nauka, 2005, pp. 1–238. (In Russ.).
14. Konstantinova N. 2019, *Lophozia rubrigemma (Europe assessment)*, *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019: e.T87520329A87755515. Available at: <https://www.iucnredlist.org/species/87520329/87755515> (accessed 19.10.2023).
15. Hallingbäck T. 2019, *Moerckia blyttii (Europe assessment)*, *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019: e.T87540974A87837473. Available at: <https://www.iucnredlist.org/species/87540974/87837473> (accessed 18.10.2023).
16. Konstantinova N. A., Vilnet A. A. & Mamontov Yu. S. How many taxa are in the genus *Saccobasis* H. Buch? Evidence from integrative taxonomy. *Arctoa*, 2022, No 31, pp. 166–180.
17. Hodgetts N. G. Checklist and country status of European bryophytes — towards a new Red List for Europe. *Irish Wildlife Manuals*, 2015, No. 84, National Parks and Wildlife Service, Department of the Arts, Heritage and the Gaeltacht, Ireland.

Информация об авторах

Н. А. Константинова — доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник;
Д. А. Афонин — инженер.

Information about the authors

N. A. Konstantinova — Dr. Sci. (Biology), Professor, Chief Researcher of Laboratory;
D. A. Afonin — Engineer.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 581.522.4 (470.21)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.011

ОЦЕНКА ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН И СЕЗОННОГО РАЗВИТИЯ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ, ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ-ИНСТИТУТЕ

**Надежда Николаевна Тростенюк¹, Екатерина Александровна Святковская²,
Наталья Владимировна Салтан³**

^{1–3}Полярно-альпийский ботанический сад-институт имени Н. А. Аврорина
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

¹tnn_aprec@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6574-9624>

²sviatkovskaya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4069-7020>

³saltan.natalya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5905-9774>

Аннотация

Изучены феноритмы и посевные качества семян 8 видов травянистых многолетних растений (*Arnica unalaschcensis*, *Aster bellidiastrum*, *Cirsium spinosissimum*, *Doronicum glaciale*, *Erigeron glacialis*, *Geum rhodopeum*, *G. virginianum*, *Rheum tataricum*), интродуцированных в ПАБСИ. Самый ранний срок созревания семян выявлен у *Aster bellidiastrum*, *Doronicum glaciale*, *Erigeron glacialis*, несколько поздний — у *Arnica unalaschcensis*, *Rheum tataricum*. Для этих видов получены высокие показатели лабораторной всхожести (92–100 %), что свидетельствует об их успешной адаптации к условиям региона. Самый растянутый срок созревания семян с низкой всхожестью (37 %) выявлен у *Cirsium spinosissimum*.

Ключевые слова:

интродукция, травянистые растения, фенология, сезонное развитие, лабораторная всхожесть семян, Кольское Заполярье

Благодарности:

работы выполнены на уникальной научной установке «Коллекции живых растений Полярно-альпийского ботанического сада-института», рег. № 499394.

Для цитирования:

Тростенюк Н. Н., Святковская Е. А., Салтан Н. В. Оценка посевных качеств семян и сезонного развития многолетних травянистых растений, интродуцированных в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 91–103. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.011.

Original article

ASSESSMENT OF SOWING QUALITIES OF SEEDS AND SEASONAL DEVELOPMENT OF PERENNIAL HERBAL PLANTS INTRODUCED AT THE POLAR-ALPINE BOTANICAL GARDEN-INSTITUTE

Nadezhda N. Trostenyuk¹, Ekaterina A. Svyatkovskaya², Natalia V. Saltan³

^{1–3}*Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Centre
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹tnn_aprec@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6574-9624>

²sviatkovskaya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4069-7020>

³saltan.natalya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5905-9774>

Abstract

The study investigated the phenorhythms and sowing qualities of seeds from eight herbaceous perennial plant species (*Arnica unalaschcensis*, *Aster bellidiastrum*, *Cirsium spinosissimum*, *Doronicum glaciale*, *Erigeron glacialis*, *Geum rhodopeum*, *G. virginianum* and *Rheum tataricum*) introduced in Polar-Alpine Botanic Garden-Institute. *Aster bellidiastrum*, *Doronicum glaciale*, and *Erigeron glacialis* exhibited the earliest seed ripening, while *Arnica unalaschcensis*, and *Rheum tataricum* displayed a somewhat delayed ripening process. Notably, these species demonstrated high laboratory germination rates ranging from 92 % to 100 %, indicating their successful adaptation to the local environmental conditions. Conversely, *Cirsium spinosissimum* exhibited an extended period of seed maturation, with a lower germination rate of 37 %.

Keywords:

introduction, herbaceous plants, phenology, laboratory seed germination, Kola Polar Region

Acknowledgements:

the work was carried out at the Unique scientific installation “Collection of living plants of the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute”, No. 499394.

For citation:

Trostenyuk N. N., Svyatkovskaya E. A., Saltan N. V. Assessment of sowing qualities of seeds and seasonal development of perennial herbal plants introduced at the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 91–103. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.011.

Введение

Деятельность ботанических садов свидетельствует, что интродукция является эффективным, а иногда единственно возможным способом сохранения биологического разнообразия растений, а также методом увеличения численности сохраняемого таксона и расширения его культивируемого ареала [15; 30; 31]. Ботанические сады служат для сохранения генофонда растений, расширяют ареал произрастания редких и исчезающих, а также эндемичных видов [3; 6–8; 11; 13; 28].

Полярно-альпийский ботанический сад-институт (ПАБСИ) с первых дней создания проводит интродукционные испытания и вводит в культуру новые виды растений, ранее не встречающиеся в аборигенной флоре Кольского Севера. В результате интродукционного эксперимента за полярным кругом на коллекционных питомниках ПАБСИ прошли испытания более 5000 видов растений различного эколого-географического происхождения. В настоящее время в коллекции интродуцированных многолетних растений ПАБСИ содержится 1266 видов и таксонов внутривидового ранга, которые относятся к 265 родам, 51 семейству.

Получение качественного семенного материала — один из показателей успешности интродукции. Возможность семенного размножения интродуцентов в конечном счете зависит от качества семян, которые могут служить одним из критериев степени акклиматизации вида в новом районе. Сохранение жизнеспособности семян — важное биологическое свойство вида, определяющее его положение, состояние в составе фитоценоза и один из стратегических факторов успешной его интродукции за пределы ареала.

По мнению Н. В. Трулевича [21], выращивание растений из семян — наиболее эффективный способ пополнения коллекций, так как обеспечивается их лучшая адаптация к новым условиям произрастания.

В 1970–1980-х гг. в ПАБСИ начаты исследования по изучению всхожести семян некоторых интродуцентов. В это же время были установлены закономерности изменения количественной и качественной характеристик плодоношения изучаемых растений в зависимости от их биологии, экологии, географического происхождения, возраста и кратности репродукции [4; 5]. В настоящее время эти исследования продолжены [16–20].

Целью настоящей работы стала оценка всхожести семян 8 видов интродуцированных травянистых многолетних растений на коллекционных питомниках ПАБСИ как показателя успешности интродукции.

Материалы и методы

Сбор семян проводился в 2021 г. с растений, выращенных в ПАБСИ, расположенном на Кольском полуострове в центре Хибин, природно-климатические условия которого определяются поступлением солнечной радиации, процессами циркуляции воздушных масс, характером подстилающей поверхности, особенностями рельефа и растительного покрова. Из географических факторов, влияющих на климат, наиболее существенны широта и высота местности, близость к Баренцеву и Белому морям, а также теплотеку Гольфстрим, влияние которого сказывается на повышении зимних температур и понижении летних, в результате чего зима в Мурманской области мягкая, а лето прохладное. Самая высокая средняя температура отмечается в июле — +12 ... +14 °С. Средняя температура наиболее холодных зимних месяцев (январь, февраль) не опускается ниже -13 °С [25]. Зимой, осенью и в начале весны наиболее часты южные и юго-западные ветры, летом — северные и северо-восточные. Средняя годовая скорость ветра составляет 3 м/сек [26]. За год в среднем выпадает 700 мм осадков. Снежный покров окончательно устанавливается в середине октября — начале ноября. Особенностью

климатических условий данного района является сравнительно короткий вегетационный период, который составляет 90–115 дней. Почти ежегодно отмечаются заморозки в конце июня — начале июля и в конце августа [14].

Интродукционные питомники с многолетними травянистыми растениями расположены в подзоне редкостойной северной тайги, в парковой части ПАБСИ, на первой и второй озерных террасах (316 и 340 м над ур. моря). Для сбора семян основным является семенной питомник, созданный в начале 1970-х гг., который также предназначен для массового размножения декоративных травянистых многолетников, включенных в озеленительный ассортимент городов Заполярья. Планировка питомника строго регулярная и представлена параллельно расположенными грядками. В настоящее время здесь содержится более 100 видов и таксонов внутривидового ранга многолетних травянистых растений из 27 семейств. В 2017 г. часть питомника была использована для создания экспозиции редких и нуждающихся в охране видов травянистых растений площадью 260 м².

С целью изучения адаптационных способностей травянистых интродуцентов в коллекции ПАБСИ определена всхожесть у 8 видов растений (*Arnica unalaschcensis* Less., *Aster bellidiastrum* Scop., *Cirsium spinosissimum* (L.) Scop., *Doronicum glaciale* (Wulf.) Nyman, *Erigeron glacialis* (Nutt.) A. Nelson, *Geum rhodopeum* Stoj. et Stef., *G. virginianum* L., *Rheum tataricum* L. f.), которые принадлежат 3 семействам: *Asteraceae* Dumort. (5), *Rosaceae* Juss. (2), *Polygonaceae* Juss. (1). Латинские названия семейств, родов и видов растений приведены согласно World Flora Online.

Плодоносящие виды растений в питомнике можно разделить на три группы: 1) дающие зрелые семена ежегодно (90 %); 2) семена которых созревают в зависимости от погодных условий (8 %); 3) не имеющие зрелых семян из-за позднего цветения (2 %).

В течение всего вегетационного периода 2021 г. каждые 2–3 дня проводили фенологические наблюдения за ростом и развитием исследуемых видов по общепринятым методикам [2; 9]. Фиксировали основные фенологические фазы: вегетация, бутонизация, начало и конец цветения, созревание семян. Три раза за вегетационный сезон (в начале вегетации, в фазы массового цветения (более 50 %) и плодоношения) измеряли высоту растений и размеры цветков.

Правильно и вовремя собранные семена — залог высокой всхожести. В условиях Кольского Севера основной период их созревания — с середины июля до второй декады сентября. В целях лучшей сохранности семена собирали в сухую, солнечную погоду после высыхания росы. Это особенно важно для семейства *Asteraceae*, так как соцветия-корзиночки, собранные при высокой влажности, могут сгнить во время сушки. В тепле они нагреваются, покрываются плесенью и портятся. Признаками готовности семян семейства *Asteraceae* (*Arnica unalaschcensis*, *Aster bellidiastrum*, *Doronicum glaciale*, *Cirsium spinosissimum* и *Erigeron glacialis*) являются легкое отделение язычковых цветков от отцветшей корзинки, появление пушка в соцветии, а также изменение формы корзинки — она разваливается в стороны. В этот период лучше всего проводить сбор семян, иначе они начнут осыпаться и будут потеряны самые лучшие и полноценные из них.

Семенной материал, собранный только со здоровых растений, хорошо просушивали, для этого пакеты держали приоткрытыми. С начала октября начинали очистку семян, после которой они хранились в течение шести месяцев в помещении при температуре воздуха в весеннее и летнее время от 15–20 °С, в осеннее и зимнее — 20–25 °С. Посевные качества семян определяли по показателям лабораторной всхожести и периоду прорастания. Лабораторную всхожесть проводили по общепринятой методике: 100 штук зрелых семян каждого вида в 3-кратной повторности проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, смоченной водой. Проросшие семена ежедневно подсчитывали в течение всего периода наблюдений [10; 12].

Результаты и обсуждение

Ареал естественного произрастания, предпочитаемые места обитания, описание изученных видов растений представлены в таблице.

При семенном размножении важными являются посевные качества семян, в особенности всхожесть, поскольку только из здоровых семян можно получить декоративные растения высокого качества.

Описание исследованных видов травянистых многолетних растений

1 Природное распространение	2 Информация о поступлении	3 Описание цветков/плодов
<p>Дальний Восток России, Япония и Алеутские острова. Произрастает на щебнисто-глинистых склонах, вулканических шлаковых полях, нивальных луговинах, в щебнисто-кустарничковой горной тундре, реже — на песчано-галечниковых наносах и среди кустарников в поймах рек [23]</p>	<p><i>Arnica unalascensis</i> (Asteraceae) В Саду испытывается с 1982 г., семена от растений, выращенных в культуре, получены из г. Тромсё (Норвегия)</p>	<p>Соцветие — одиночная корзинка 3,5 см в диаметре. Цветки желтые. Плоды — мелкие темно-серые семечки с хохолком из волосков, чуть превышающим длину самой семечки. Цвет семянок от желтовато-зеленого до темно-серого или черного. Семечка длиной 3–4,5 мм, линейная, серая, покрыта рассеянными, косо вверх направленными волосками, иногда почти голая. Семена созревают ежегодно</p>
<p>Распространение — горы Центральной и Южной Европы, в Альпах. Произрастает на незагнетенных скальных склонах и обвальных насыпях от предгорий и выше. В Альгойских Альпах он поднимается к северу от вершины Ифен на высоту 2000 м, но может встречаться и выше [29]</p>	<p><i>Aster bellidiastrium</i> (Asteraceae) В Саду испытывается с 1999 г., семена собраны в природе получены из г. Лансинга (США)</p>	<p>Соцветие — одиночная корзинка 3,0 см в диаметре. Линейные язычковые цветки в два раза длиннее оберток. Лепестки венчика белые. Семечки волосистые, имеют пашпус, который состоит из желтовато-белых, мелкошерстных щетинок длиной 4–5 мм. Семена созревают ежегодно</p>
<p>Встречается во Франции, Италии, Германии, Швейцарии, Австрии и на Балканах. Произрастает в сухих каменистых местах [https://ru.wikipedia.org/wiki/Cirsium_spinosissimum]</p>	<p><i>Cirsium spinosissimum</i> (Asteraceae) В Саду испытывается с 1999 г., семена от растений, выращенных в культуре, получены из г. Женева (Швейцария)</p>	<p>Соцветие — корзинка, терминальное, шаровидное, окружено жесткой желтоватой оберткой. Окраска цветка бледно-желтая, диаметром 2,5 см. Плод размером 4 мм, придаюток-пашпус около 1,5 мм длиной. Семена созревают ежегодно</p>
<p>Встречается в Германии, Австрии. Предпочитает осыпи, каменистые местообитания [https://ru.wikipedia.com/wiki/Doronicum_glaciale]</p>	<p><i>Doronicum glaciale</i> (Asteraceae) В Саду испытывается с 2013 года, семена от растений, выращенных в культуре, получены из г. Акюрейри (Исландия)</p>	<p>Соцветие — корзинка, желтого цвета. Диаметр цветка 7,0 см. Плоды — семечки, продолговатые или продолговато-кубарчатые, тупые, с 10 равными продольными ребрышками, зрелые бурые или темно-коричневые, гладкие или покрытые прижатыми, вверх направленными белыми, прямыми волосками. Семена созревают ежегодно</p>

Окончание табл.

1	2	3
<p><i>Erigeron glacialis</i> (Asteraceae)</p> <p>Основная область распространения — Северная Америка (северо-запад). В России известен только с Командорских островов и юга Камчатки, представлен здесь на западной границе ареала. Кустарничковые и кустарничково-разнотравные тундры, приморские склоны, прибрежные лужайки [1]</p>	<p>В Саду испытывается с 1989 г., семена от растений, выращенных в культуре, получены из г. Акюрейри (Исландия)</p>	<p>Корзинки 4–5 см в диаметре, одиночные. Окраска цветка розово-сиреневая. Плоды семени, семена мелкие, на каждом семени есть серебристый хоолок. Семена созревают ежегодно</p>
<p><i>Geum rhodopaeum</i> (Rosaceae)</p> <p>Эндемик на Балканском полуострове (Болгария, Греция и Македония). В Греции встречается в северо-восточной части страны, а также на острове Тасос, в Болгарии — в западной части гор Родопы и на Фракийской равнине. Пронзрастает на известковых горных скалах [27]</p>	<p>В Саду испытывается с 1957 г., семена от растений, выращенных в культуре, получены из г. Либерца (Чехия)</p>	<p>Цветки желтые, широко раскрытые, смотрящие вверх, собраны по 3–5 штук в зонтиковидные или метельчатые соцветия. Диаметр цветка 1,2 см. Плод — многоорешок. Семена с хвостиком, загнутым крючком на конце, легко опадают от цветков. Семена созревают ежегодно</p>
<p><i>Geum virginianum</i> (Rosaceae)</p> <p>Сухие открытые места широколиственной зоны Канады [https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/geum/virginianum/]</p>	<p>В Саду испытывается с 1956 г., семена от растений, выращенных в культуре, получены из г. Праги (Чехия)</p>	<p>Цветки на длинных цветоножках, густо опушенных мелкими бархатистыми волосками, и с редкими более длинными раскидистыми волосками. Чашелистики 3,5–5,0 мм длиной, чередующиеся с более короткими чашелистиками. Лепестки 2–4 мм длиной, заметно короче чашелистиков, от кремовых до желтых. Диаметр цветка 1,0 см. Плод сухой, но при созревании не раскрывается. Семена созревают ежегодно</p>
<p><i>Rheum tataricum</i> (Polygonaceae)</p> <p>Эндемик Средней Азии, Заволжский район европейской части России. На территории бывшего СССР — европейская часть (Заволжье). Средняя Азия — Арало-Каспийский и Прибалхашский регионы. Растет по степям, на щебнистых, глинистых склонах и на солончаках [22]</p>	<p>В Саду испытывается с 1939 г., семена от растений, выращенных в культуре, получены из г. Москвы (Тимирязевская сельскохозяйственная академия)</p>	<p>Цветки желтоватые, диаметром 0,4 см. Плоды длиной 10–12 мм, шириной 8–10 мм. Орешки обратнояйцевидной формы, темно-бурые, мелко морщинистые; крылья узкие, шириной 1–1,5 мм, темно-красно-бурые, кверху суживающиеся, с жилкой по самому краю крыла. Доли околоцветника прижаты к плоду. Семена созревают ежегодно</p>

Анализ результатов показал, что максимальную лабораторную всхожесть (92–100 %) имели семена *Erigeron glacialis*, *Rheum tataricum*, *Arnica unalaschcensis*, *Aster bellidiastrum*, *Doronicum glaciale* (рис. 1). Минимальная лабораторная всхожесть определена у *Cirsium spinosissimum* — 37 %.

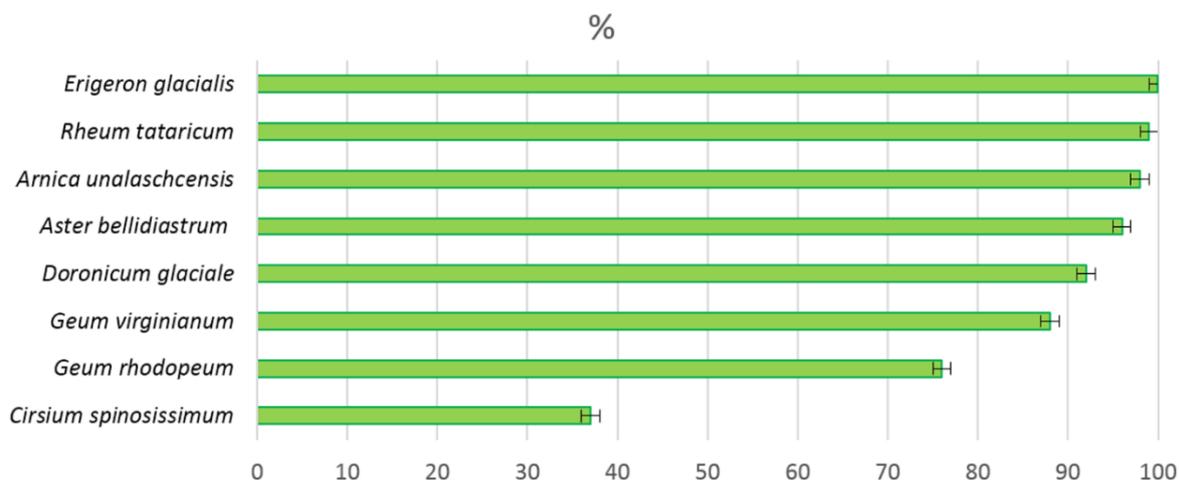


Рис. 1. Лабораторная всхожесть семян, %

Исследуемые образцы различались по динамике прорастания семян. По данному показателю их можно условно разделить на две группы: 1) растения с коротким периодом появления проростков (6–14 дней); 2) растения с продолжительным и неравномерным прорастанием 27–39 дней (рис. 2). Массовое прорастание (более 50 %) семян приходилось преимущественно на середину срока определения всхожести у *Arnica unalaschcensis*, *Geum rhodopeum*, *G. virginianum*. У остальных видов ближе к концу периода (см. рис. 2).

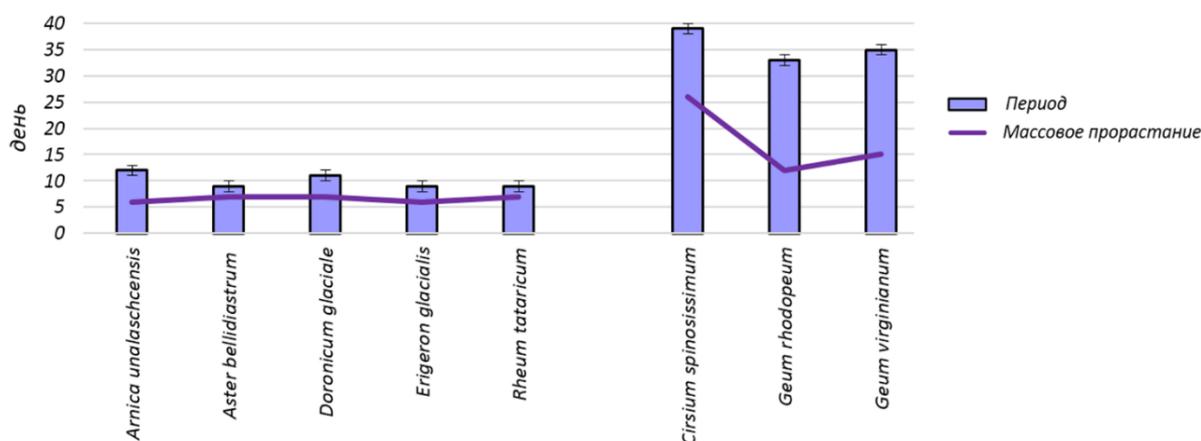


Рис. 2. Динамика прорастания семян изученных травянистых многолетников

Процесс формирования семян для каждого вида растений значительно зависит от фаз прохождения сезонного развития, возможности адаптировать свою феноритмику к новым условиям. Фенологические ритмы зависят от особенностей регионального климата, варьируют от показателей температуры и влажности вегетационного периода конкретного года.

Погодные условия вегетационного сезона 2021 г. на основе данных метеостанции (Envoy 8X Davis Instruments), расположенной в территории ПАБСИ, в целом характеризовались как благоприятные для роста и развития растений (рис. 3). Отмечена засушливая и относительно жаркая первая декада июля.

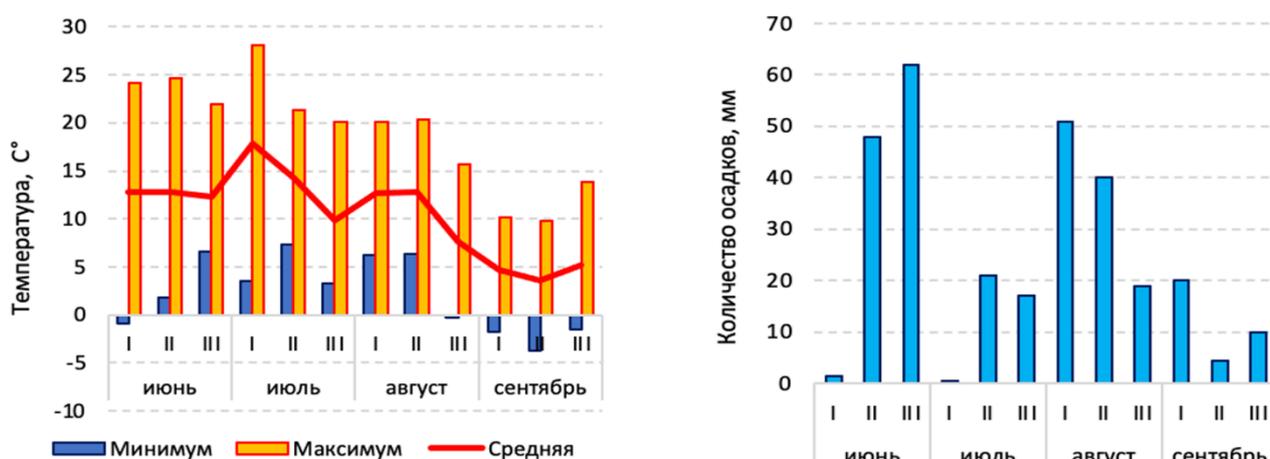


Рис. 3. Погодные условия вегетационного сезона 2021 г.

Для изученных растений построены феноспектры на основе данных фенологических наблюдений, проведенных в 2021 г. (рис. 4). Начало вегетации приходится на первую декаду июня. Самый ранний срок характерен для *Doronicum glaciale*, самый поздний — для *Arnica unalaschcensis* и *Cirsium spinosissimum*. Период начала цветения у разных видов варьировал с 25 июня (*Doronicum glaciale*) до 15 июля (*Arnica unalaschcensis*). Раньше всех полностью отцвевал *Geum rhodopeum* (самый короткий период цветения — 10 дней), позже всех — *Geum virginianum* (23 августа) и *Cirsium spinosissimum* (25 августа).

Самым ранним сроком созревания семян характеризовались *Doronicum glaciale*, *Erigeron glacialis*, а также *Aster bellidiastrum* (25 июля — 9 августа). Для этих видов получены высокие показатели лабораторной всхожести, что свидетельствовало об их высокой адаптационной способности. *Arnica unalaschcensis* и *Rheum tataricum*, несмотря на более длительный период созревания (конец августа), сформировали полноценные семена, вследствие чего их лабораторная всхожесть имела высокие показатели. Для двух родственных видов *Geum rhodopeum* и *Geum virginianum* показан растянутый срок формирования семян, особенно первого вида, у которого и лабораторная всхожесть оказалась ниже. У вида с самыми низкими значениями всхожести — *Cirsium spinosissimum* — стадия завязывания семян приходится на конец июля и длится до середины сентября, что, вероятно, недостаточно для формирования зрелых семян.

Заключение

Изучение посевных качеств семян 8 видов травянистых многолетних растений (*Arnica unalaschcensis*, *Aster bellidiastrum*, *Cirsium spinosissimum*, *Doronicum glaciale*, *Erigeron glacialis*, *Geum rhodopeum*, *Geum virginianum*, *Rheum tataricum*), интродуцированных в ПАБСИ, выявило различия по всхожести и динамике прорастания семян. Показана высокая лабораторная всхожесть семян у *Erigeron glacialis*, *Rheum tataricum*, *Arnica unalaschcensis*, *Aster bellidiastrum*, *Doronicum glaciale* (92–100 %), с периодом прорастания 6–14 дней. Минимальные показатели у *Cirsium spinosissimum* (37 %), с периодом прорастания 39 дней.

Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений продемонстрировали, что самым ранним сроком созревания семян характеризовались *Aster bellidiastrum*, *Doronicum glaciale*, *Erigeron glacialis* (25 июля — 9 августа). *Arnica unalaschcensis* и *Rheum tataricum* за вегетационный период успевали сформировать полноценные семена, хотя и имели более продолжительный период их созревания. Для вышеперечисленных видов получены высокие показатели лабораторной всхожести, что свидетельствует об их высоком адаптационном потенциале к условиям Крайнего Севера. Слабой адаптационной способностью характеризовался *Cirsium spinosissimum*, его период созревания семян был продолжительным и менее успешным, чем у других видов.

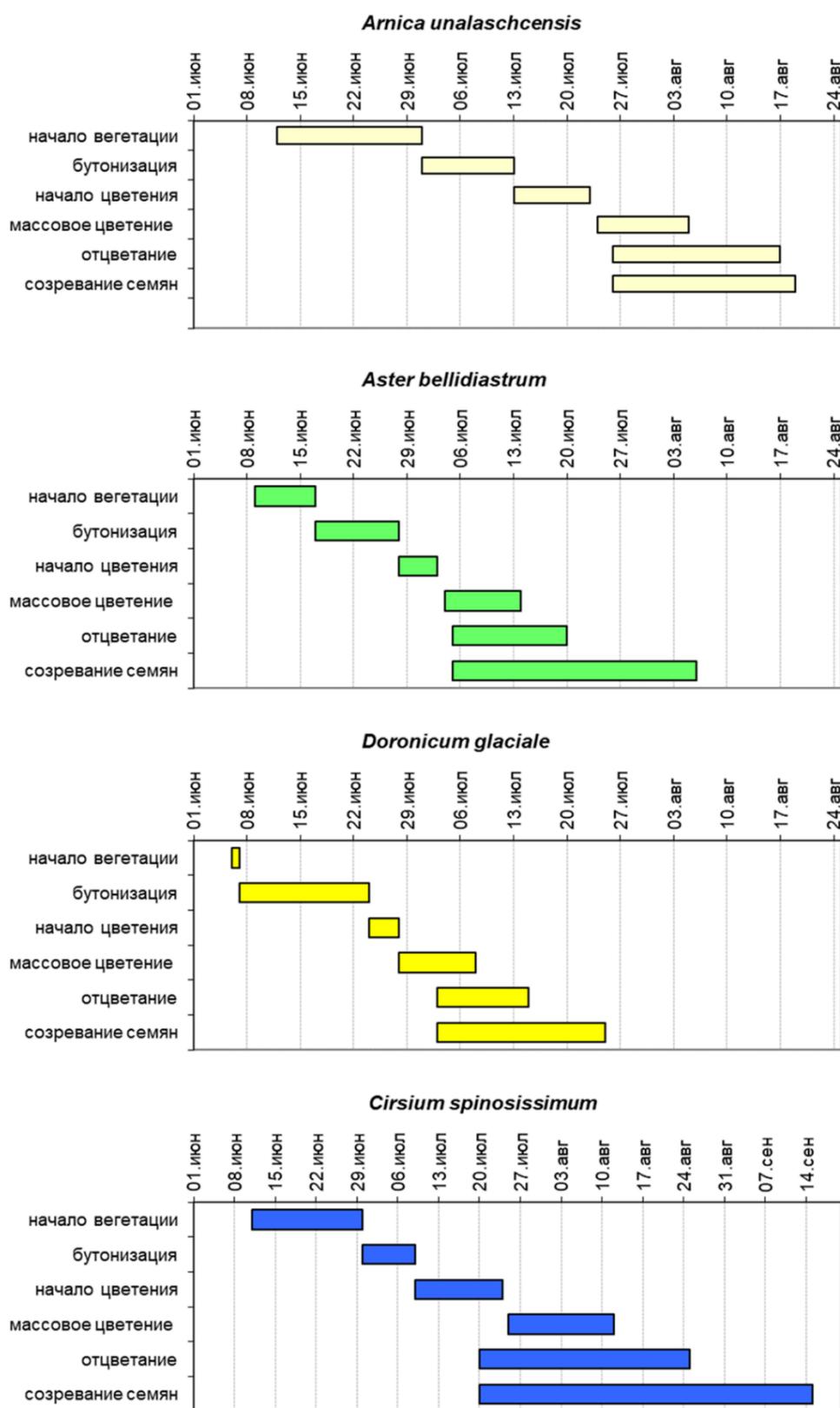


Рис. 4. Феноспектры развития изученных растений в 2021 г. (начало)

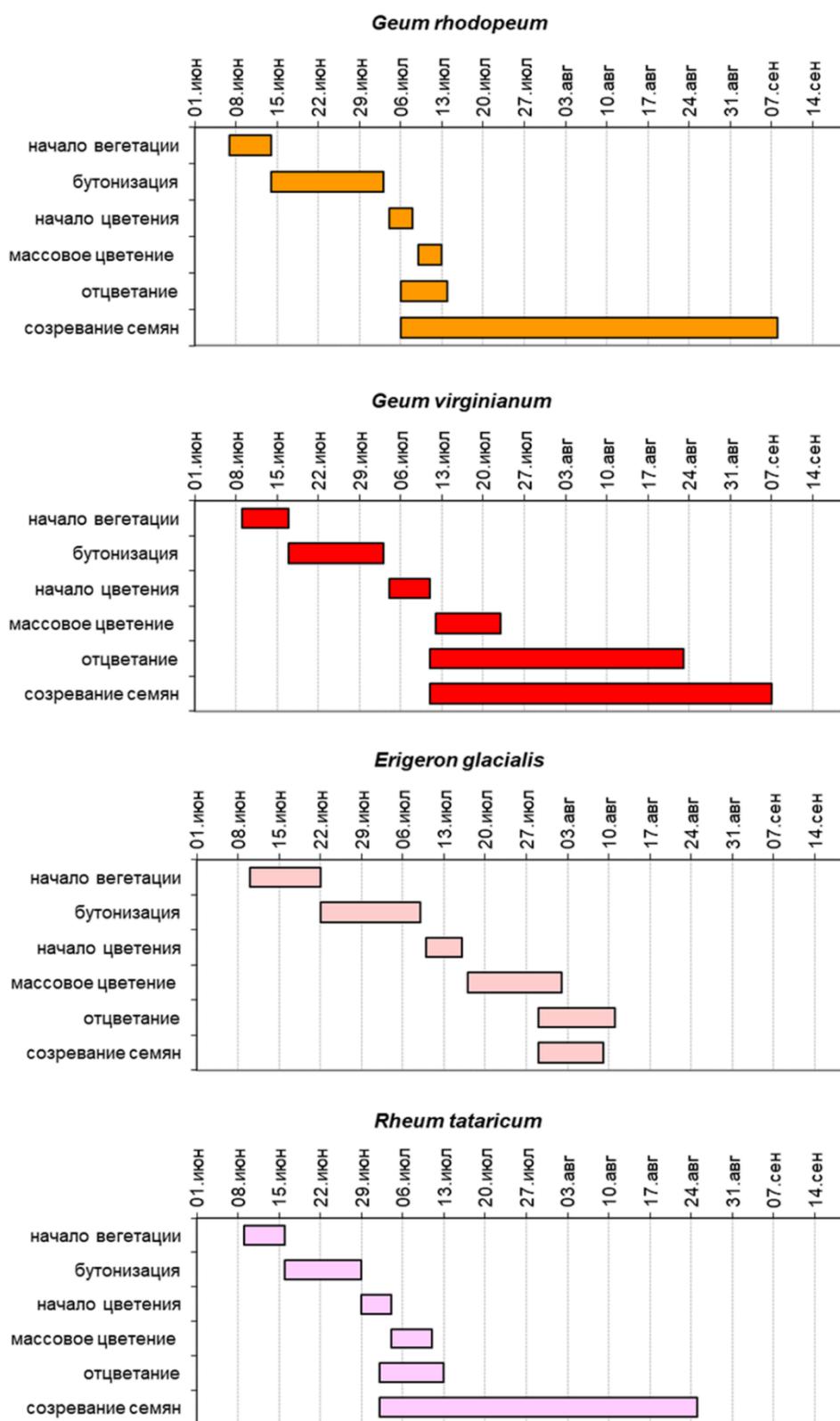


Рис. 4. Феноспектры развития изученных растений в 2021 г. (окончание)

Список источников

1. Баркалов В. Ю. Семейство Астровые — Asteraceae Dumort. Сосудистые растения советского Дальнего Востока. СПб.: Наука, 1992. Т. 6. 428 с.
2. Бейдеман И. Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 130 с.
3. Бондорина И. А., Кабанов А. В, Мамаева А. В. Подходы к формированию и поддержанию коллекционного фонда сортов травянистых многолетников отдела декоративных растений ГБС РАН // Вестник Удмуртского ун-та. 2016. Т. 26, № 3. С. 40–45.
4. Виравчева Л. Л. Всхожесть семян некоторых видов растений, рекомендованных для озеленения городов и поселков Крайнего Севера, в зависимости от сроков хранения // Флористические исследования и зеленое строительство в Мурманской области. Апатиты, 1975. С. 98–105.
5. Виравчева Л. Л. О качестве семян козульников, пригодных для озеленения городов Мурманской области // Декоративные растения и зеленое строительство за Полярным кругом. Апатиты, 1987. С. 18–22.
6. Волкова Г. А., Рябина М. Л., Моторина Н. А. Научно-практические аспекты интродукции декоративных травянистых растений на европейском северо-востоке России // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1 (3). С. 728–731.
7. Вронская О. О. Интродукция редких и исчезающих видов в Кузбасском ботаническом саду // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. Т. 18, № 1. С. 566–569.
8. Интродукция и селекция декоративных растений в Никитском ботаническом саду (современное состояние, перспективы развития и применение в ландшафтной архитектуре): Монография / под общ. ред. Ю. В. Плугатаря. Ялта: ГБУ РК «НБС-ННЦ», 2015. 435 с.
9. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Бюл. Гл. ботан. сада. 1979. Вып. 113. С. 3–8.
10. Методические указания по семеноведению интродуцентов. М.: Наука, 1980. 64 с.
11. Молканова О. И., Горбунов Ю. Н., Ширнина И. В., Егорова Д. А. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов растений // Ботанический журнал 2020, Т. 105, № 6. С. 610–619. doi:10.31857/S0006813620030072.
12. Николаева М. Г., Разумова М. В., Гладкова В. Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 346 с.
13. Реут А. А., Миронова Л. Н. Интродукция декоративных травянистых многолетников в Республике Башкортостан // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2014. Вып. 11. С. 267–270.
14. Семко А. П. Климатическая характеристика Полярно-альпийского ботанического сада // Флора и растительность Мурманской области. Л., 1972. С. 73–129.
15. Стратегия ботанических садов России по сохранению биоразнообразия растений / отв. ред. Л. Н. Андреев. М., 2003. 32 с.
16. Тростенюк Н. Н., Кудрявцева О. В. Влияние сроков хранения на посевные качества семян и выращивание рассады *Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch интродуцированного в Заполярье // Растительные ресурсы для здоровья человека (возделывание, переработка, маркетинг): Тез. 1-й междунар. науч.-практич. конф. (Сергиев Пасад, 23–27 сент. 2002 г.). Сергиев Пасад, 2002. С. 25–29.
17. Тростенюк Н. Н., Кудрявцева О. В. Семенной обмен с ботаническими садами Азиатской части Кольского полуострова // Ботанические исследования в Азиатской России. Ботаническое образование в России. Т. 3. Тез. 11-го съезда РБО (Барнаул, 17–27 августа 2003 г.). Барнаул, 2003. С. 258–260.
18. Тростенюк Н. Н., Кудрявцева О. В., Виравчева Л. Л. Интродукционный эксперимент как один из способов расширения видового разнообразия Кольского Севера // Жизнь в гармонии: Ботанические сады и общество: Матер. Междунар. науч. конф., посвящ. 125-летию Ботанического сада Тверского государственного университета (Тверь, 19–22 сент. 2004 г.). Тверь, 2004. С. 79–81.

19. Тростенюк Н. Н., Святковская Е. А. Эффективные способы размножения интродукционных травянистых растений на Кольском Севере // Биологическое разнообразие. Интродукция растений. Материалы четвертой Междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 5–8 июня 2007 г.). СПб., 2007. С. 622–623.
20. Тростенюк Н. Н., Святковская Е. А., Салтан Н. В. Поиск эффективных путей получения посадочного материала *Arnica montana* L. в условиях Кольского Заполярья // Агропромышленные технологии Центральной России. 2019. Вып. 1 (11). С. 59–68.
21. Трулевич Н. В. Эколого-фитоценологические основы интродукции растений. М.: Наука, 1991. 215 с.
22. Флора СССР. Т. 5 / под ред. В. Л. Комарова. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936. С. 489–490.
23. Харкевич С. С. Сосудистые растения советского Дальнего Востока. СПб.: Наука, 1992. Т. 6. С. 27.
24. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с.
25. Яковлев Б. А. Климат Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 1961. 180 с.
26. Яковлев Б. А. Что такое полярная ночь и почему зимой на севере теплее, чем на юге // Природа Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 1964. С. 47–55.
27. Assyov B., Petrova A., Dimitrov D. and Vasilev R. 2012. Conspectus of the vascular flora of Bulgaria. Sofia, Bulgarian biodiversity foundation.
28. Boom B. B. The role of The New York Botanical Garden in plant and fungal conservation // Brittonia. 2016. 68 (3). doi:10.1007/s12228-016-9421-9.
29. Frodin D. G. Guide to standard floras of the world. 2. Auflage. Cambridge University Press, Cambridge 2001. P. 572–574.
30. Mitrofanova I. V., Molkanova O. I. Biotechnology strategy of plant biodiversity conservation in botanical gardens of Russia // Acta Horticulturae 2020. DOI:10.17660/ActaHortic.2020.1298.32.
31. Ojeleye A. E., Iyiola A. O., Babafemi O. P., Adebayo O. S. Botanical Gardens: A Reliable Tool for Documenting Sustainability Patterns in Vegetative Species // Biodiversity in Africa: Potentials, Threats and Conservation. 2022. P. 51–77. doi:10.1007/978-981-19-3326-4_3.

References

1. Barkalov V. Yu. *Semejstvo Astrovyje — Asteraceae Dumort. Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka*. Saint Petersburg, Nauka, 1992, vol. 6, 428 p. (In Russ.).
2. Bejdeman I. N. *Metodika fenologicheskikh nablyudenij pri geobotanicheskikh issledovaniyah*. Moscow; Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1954, 130 p. (In Russ.).
3. Bondorina I. A., Kabanov A. V., Mamaeva A. V. Podhody k formirovaniyu i podderzhaniyu kollekcionnogo fonda sortov travyanistykh mnogoletnikov otdela dekorativnykh rastenij GBS RAN. *Vestnik Udmurtskogo un-ta*, 2016, vol. 26, no. 3, pp. 40–45. (In Russ.).
4. Viracheva L. L. Vskhozhest' semyan nekotorykh vidov rastenij, rekomendovannykh dlya ozeleneniya gorodov i poselkov Krajnego Severa, v zavisimosti ot srokov hraneniya. *Floristicheskie issledovaniya i zelenoe stroitel'stvo v Murmanskoy oblasti*. Apatity, 1975, pp. 98–105. (In Russ.).
5. Viracheva L. L. O kachestve semyan kozul'nikov, prigodnykh dlya ozeleneniya gorodov Murmanskoy oblasti. *Dekorativnye rasteniya i zelenoe stroitel'stvo za Polyarnym krugom*. Apatity, 1987, pp. 18–22. (In Russ.).
6. Volkova G. A., Ryabinina M. L., Motorina N. A. Nauchno-prakticheskie aspekty introdukcii dekorativnykh travyanistykh rastenij na evropejskom severo-vostoke Rossii. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 1 (3), pp. 728–731. (In Russ.).
7. Vronskaya O. O. Introdukciya redkih i ischezayushchih vidov v Kuzbasskom botanicheskom sadu. *Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii*, 2019, vol. 18, no. 1, pp. 566–569. (In Russ.).
8. *Introdukciya i selekciya dekorativnykh rastenij v Nikitskom botanicheskom sadu (sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya i primenenie v landshaftnoj arhitekture)*. Yalta, GBU RK “NBS-NNC”, 2015, 435 p. (In Russ.).

9. Metodika fenologicheskikh nablyudenij v botanicheskikh sadah SSSR. *Gl. botan. sada*, 1979, issue 113, pp. 3–8. (In Russ.).
10. *Metodicheskie ukazaniya po semenovedeniyu introductentov*. Moscow, Nauka, 1980, 64 p. (In Russ.).
11. Molkanova O. I., Gorbunov Yu. N., Shirnina I. V., Egorova D. A. Primenenie biotekhnologicheskikh metodov dlya sohraneniya genofonda redkih vidov rastenij. *Botanicheskij zhurnal*, 2020, vol. 105, no. 6, pp. 610–619. (In Russ.). doi:10.31857/S0006813620030072.
12. Nikolaeva M. G., Razumova M. V., Gladkova V. N. *Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchihsya semyan*. Leningrad, Nauka, 1985, 346 p. (In Russ.).
13. Reut A. A., Mironova L. N. Introdukciya dekorativnyh travyanistyh mnogoletnikov v Respublike Bashkortostan. *Ekosistemy, ih optimizaciya i ohrana*, 2014, issue 11, pp. 267–270. (In Russ.).
14. Semko A. P. Klimaticheskaya karakteristika Polyarno-al'pijskogo botanicheskogo sada. *Flora i rastitel'nost' Murmanskoy oblasti*. Leningrad, 1972, pp. 73–129. (In Russ.).
15. *Strategiya botanicheskikh sadov Rossii po sohraneniyu bioraznoobraziya rastenij*. Moscow, 2003, 32 p. (In Russ.).
16. Trostenyuk N. N., Kudryavceva O. V. Vliyanie srokov hraneniya na posevnye kachestva semyan i vyrashchivanie rassady *Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch introducirovannogo v Zapolyar'e. *Rastitel'nye resursy dlya zdorov'ya cheloveka (vozdelyvanie pererabotka, marketing): Tez. 1-j mezhdunar. nauch.-praktich. konf. (Sergiev Pasad, 23–27 sent. 2002 g.)*. Sergiev Pasad, 2002, pp. 25–29. (In Russ.).
17. Trostenyuk N. N., Kudryavceva O. V. Semennoj obmen s botanicheskimi sadami Aziatskoj chasti Kol'skogo poluoostrova. *Botanicheskie issledovaniya v Aziatskoj Rossii. Botanicheskoe obrazovanie v Rossii. T. 3. Tez. 11-go s"ezda RBO (Barnaul, 17–27 avgusta 2003 g.)*. Barnaul, 2003, pp. 258–260. (In Russ.).
18. Trostenyuk N. N., Kudryavceva O. V., Viracheva L. L. Introdukcionnyj eksperiment kak odin iz sposobov rasshireniya vidovogo raznoobraziya Kol'skogo Severa. *Zhizn' v garmonii: Botanicheskie sady i obshchestvo: Mater. Mezhdunar. nauch. konf., posvyashch. 125-letiyu Botanicheskogo sada Tverskogo gosuniversiteta (Tver', 19–22 sent. 2004 g.)*. Tver', 2004, pp. 79–81. (In Russ.).
19. Trostenyuk N. N., Svyatkovskaya E. A. Effektivnye sposoby razmnozheniya introdukcionnyh travyanistyh rastenij na Kol'skom Severe. *Biologicheskoe raznoobrazie. Introdukciya rastenij. Materialy chetvertoj Mezhdunar. nauch. konf. (Sankt-Peterburg, 5–8 iyunya 2007 g.)*. Saint Petersburg, 2007, pp. 622–623. (In Russ.).
20. Trostenyuk N. N., Svyatkovskaya E. A., Saltan N. V. Poisk effektivnyh putej polucheniya posadochnogo materiala *Arnica montana* L. v usloviyah Kol'skogo Zapolyar'ya. *Agropromyshlennye tekhnologii Central'noj Rossii*, 2019, issue 1 (11), pp. 59–68. (In Russ.).
21. Trulevich N. V. *Ekologo-fitocenoticheskie osnovy introdukcii rastenij*. Moscow, Nauka, 1991, 215 p. (In Russ.).
22. *Flora SSSR. T. 5*. Moscow; Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1936, pp. 489–490. (In Russ.).
23. Harkevich S. S. *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka*. Saint Petersburg, Nauka, 1992, vol. 6, pp. 27. (In Russ.).
24. Cherepanov S. K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nyh gosudarstv*. Saint Petersburg, Mir i sem'ya, 1995, 990 p. (In Russ.).
25. Yakovlev B. A. *Klimat Murmanskoy oblasti*. Murmansk, Kn. izd-vo, 1961, 180 p. (In Russ.).
26. Yakovlev B. A. Chto takoe polyarnaya noch' i pochemu zimoy na severe teplee, chem na yuge. *Priroda Murmanskoy oblasti*. Murmansk, Kn. izd-vo, 1964, pp. 47–55. (In Russ.).
27. Assyov B., Petrova A., Dimitrov D. and Vasilev R. 2012. Conspectus of the vascular flora of Bulgaria. Sofia, Bulgarian biodiversity foundation.
28. Boom B. B. The role of The New York Botanical Garden in plant and fungal conservation. *Brittonia*, 2016, 68 (3). doi:10.1007/s12228-016-9421-9.
29. Frodin D. G. Guide to standard floras of the world. 2. Auflage. Cambridge University Press, Cambridge 2001, pp. 572–574.

30. Mitrofanova I. V., Molkanova O. I. Biotechnology strategy of plant biodiversity conservation in botanical gardens of Russia. *Acta Horticulturae*, 2020. DOI:10.17660/ActaHortic.2020.1298.32.
31. Ojeleye A. E., Iyiola A. O., Babafemi O. P., Adebayo O. S. Botanical Gardens: A Reliable Tool for Documenting Sustainability Patterns in Vegetative Species. *Biodiversity in Africa: Potentials, Threats and Conservation*, 2022, pp. 51–77. doi:10.1007/978-981-19-3326-4_3.

Информация об авторах

Н. Н. Тростенюк — научный сотрудник лаборатории интродукции и акклиматизации растений;
Е. А. Святковская — научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения;
Н. В. Салтан — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения.

Information about the authors

N. N. Trostenyuk — Researcher at the Plant Introduction and Acclimatization Laboratory;
E. A. Sviatkovskaya — Researcher of the Laboratory of Decorative Floriculture and Landscaping;
N. V. Saltan — PhD (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Decorative Floriculture and Landscaping.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 582.232/275:574.586:556.52/55(470.2)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.012

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ (ФИТОПЕРИФИТОН, ЗООПЛАНКТОН, ЗООБЕНТОС) РЕК КАРЕЛЬСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ

Сергей Федорович Комулайн¹, Игорь Александрович Барышев²

^{1, 2}Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия

¹komsf@mail.ru, <https://orcid.org/000-0002-5738-9489>

²i_baryshev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3534-874X>

Аннотация

В статье обобщены результаты исследований структурной организации и динамики биоты в малых реках карельского побережья Белого моря. Рассмотрены химический состав воды, гидрографические и гидрологические характеристики речных участков и структура биологических сообществ. Выполнен анализ видового состава, численности и биомассы фитоперифитона, зоопланктона и зообентоса. Проанализировано влияние природных и антропогенных факторов на химический состав воды и формирование структуры гидробиоценозов. Показано, что различия в структуре сообществ водных организмов обусловлены в первую очередь специфическими гидрографическими и гидрологическими характеристиками речных участков. Доминантный комплекс представлен небольшим набором видов, устойчивых к динамической нагрузке воды. Оценен трофический статус рек, их сапробиологическое состояние и значение отдельных сообществ и биотических индексов для биоиндикации экологического состояния рек. Сделан вывод о том, что рассмотрение трех групп организмов позволяет осуществлять более полный и надежный мониторинг, чем оценка на основе одной группы.

Ключевые слова:

реки, фитоперифитон, зоопланктон, зообентос, видовой состав, обилие, экология

Финансирование:

финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Карельского научного центра Российской академии наук «Структурно-функциональная организация сообществ гидробионтов разнотипных водоемов Северо-Запада России». (FMEN-2022-0007).

Для цитирования:

Комулайн С. Ф., Барышев И. А. Структура и динамика гидробиоценозов (фитоперифитон, зоопланктон, зообентос) рек Карельского побережья Белого моря // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 104–115. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.012.

Original article

THE STRUCTURE AND DYNAMICS OF HYDROBIOCENOSIS (PHYTOPERIPHERYTON, ZOOPLANKTON, ZOOBENTHOS) OF THE RIVERS OF THE KARELIAN COAST OF THE WHITE SEA

Sergey F. Komulaynen¹, Igor A. Baryshev²

^{1, 2}Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

¹komsf@mail.ru, <https://orcid.org/000-0002-5738-9489>

²i_baryshev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3534-874X>

Abstract

This paper summarizes the results of the studies of biota structural organization and dynamics of small rivers of the Karelian White Sea coast. The chemical features and the structure of biological communities in the watercourses were investigated. Analysis of the species composition, abundance and biomass of phytoperiphyton, zooplankton, and zoobenthos was carried out. Variations in the structure of aquatic communities primarily are due to specific hydrographic and hydrological characteristics of river stretches. The paper discusses the main principles of the changes in a structure and functioning of hydrobiont communities in rivers. The trophic status of the rivers, their saprobiological state, and the significance of individual communities and biotic indices for bioindication of the ecological state of the rivers, are estimated. We concluded that the consideration of three groups of organisms enables a more comprehensive and reliable monitoring than the assessment based on a single group.

Keywords:

rivers, phytoperiphyton, zooplankton, zoobenthos, taxonomy, abundance, ecology

Funding:

the studies were funded from the federal budget through state assignment to KarRC: RAS Structural and functional organization of communities of aquatic organisms of different types of water bodies of the North-West of Russia. (FMEN-2022-0007).

For citation:

Komulaynen S. F., Baryshev I. A. The structure and dynamics of hydrobiocenosis (phytoperiphyton, zooplankton, zoobenthos) of the rivers of the Karelian coast of the White Sea. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 104–115. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.012.

Введение

Белое море расположено на северной окраине европейской части России между 68°39' и 63°47' с. ш. и 32°05' и 44°32' в. д. По географическому положению и климатическим условиям оно принадлежит к арктическим морям, а в структурно-геоморфологическом аспекте относится к окраинным шельфовым, полузамкнутым субарктическим эпиконтинентальным водоемам. Площадь бассейна Белого моря составляет 717,7 тыс. км², что почти в 8 раз превышает площадь самого моря (90 тыс. км²), Гидрографическую сеть водосбора формируют более 2600 рек. Это является косвенным показателем большой роли речного стока, который превышает 4000 млн м³/год [6].

Изучение речных экосистем на Карельском побережье Белого моря до середины XX в. практически не велось [2; 22; 25]. Данные о структуре альгоценозов в реках отсутствовали. Первые сведения о видовом составе зоопланктона р. Ковды можно найти в работе С. В. Герда [9], а наиболее ранние материалы о зообентосе — в публикациях Н. Я. Данилевского [11; 12] и К. Ф. Кесслера [13]. Это объясняется отсутствием широкомасштабной хозяйственной деятельности местного населения, плотность которого всегда была небольшой. И сегодня на территории Карельского побережья (67100 км²) проживает всего 72 тыс. человек (чуть более 1 человека на км²), а речные экосистемы, за исключением р. Кемь, не подвергаются антропогенному воздействию [10].

Регулярные наблюдения за функционированием пресноводных экосистем начались в регионе лишь во второй половине XX в. Это было связано с созданием каскада гидроэлектростанций и разработкой Костомукшского железорудного месторождения комбината. Начиная с конца 1990-х гг., проводятся активные работы по инвентаризации пресноводных систем для оценки их состояния и в связи с планами создания на их водосборах особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Основное внимание при этом уделялось изучению озер и водохранилищ.

Цель данной работы — обобщить и систематизировать результаты многолетних исследований видового состава и динамики сообществ водных организмов в реках Карельского побережья Белого моря и дать общую характеристику современного состояния водотоков.

Материал и методика

Карельский берег Белого моря (Прибеломорская низменность) — побережье в западной части Белого моря, которое простирается от Кандалакшской губы до устья реки Кемь. Это один из наиболее неблагоприятных в климатическом отношении районов Карелии с продолжительной зимой, коротким и прохладным вегетационным сезоном. Основу его гидрографии составляют относительно небольшие водотоки длиной до 80 км, короткие протоки между озерами и ручьи длиной до 10 км. Тридцать семь рек впадают непосредственно в Белое море, остальные — это в основном притоки рек Кемь и Ковда. Только река Кемь имеет протяженность около 360 км, а верховье реки Ковды находится на территории Финляндии более чем в 250 км от устья. Значительная часть речных систем (до 50 %) может приходиться на проточные озера. Благодаря избыточному увлажнению для бассейнов рек характерно заболачивание (до 90 %) и высокая озерность частных водосборов (до 20 %). Водотоки имеют небольшие средние удельные падения (1–2 м/км для больших рек), однако существуют отдельные участки с большими сосредоточенными падениями [24].

Материалом для работы послужили пробы, собранные в 2015–2020 гг. в реках Карельского побережья [1; 3; 4; 18; 19; 23; 28; 29]. Кроме того, при анализе использовали результаты более ранних исследований авторов [7; 14–16; 21; 30]. Всего за время исследований пробы были собраны более чем в 40 водотоках (табл. 1). Детальная характеристика отдельных водотоков и их карты приводятся в работах авторов.

Таблица 1

Реки, на которых проводился отбор проб, и число исследованных водотоков

Речная система	Число водотоков		
	Фитоперифитон	Зоопланктон	Зообентос
Шуя Беломорская	1	—	—
Кемь	11	7	10
Поньгома	1	—	1
Кузема	2	1	2
Воньга	1	—	—
Ундукса	1	1	—
Лепручей	1	—	—
Моржовый	1	—	—
Хлебная	1	1	—
Кереть	2	1	2
Пулонга Карельская	1	1	1
Плавежма	1	—	—
Мельничная	1	—	—
Ковда	18	8	8
<i>Всего</i>	43	20	24

Пробы перифитона отбирались с макрофитов, а также с камней. Чтобы избежать потери части материала в результате смыва, субстрат вместе с перифитоном непосредственно под водой помещался в склянку или полиэтиленовый мешок, либо обрастания смывались в них, при этом исследуемый субстрат не извлекался. Прикрепленный материал с поверхности субстрата смывался водой, счищался скальпелем или зубной щеткой, а у мягких водных растений, кроме того, отжимались стебли. Пробы зоопланктона отбирали в главной струе в зоне полного перемешивания путем процеживания 100 л воды через малую планктонную сеть Апштейна (газ 76). Отбор проб макрозообентоса производили количественной рамкой площадью 0,04 м² с пороговых и дночерпателем ДАК 250 площадью 0,025 м² с плесовых участков. Пробы фиксировали 40 %-м формалином.

Для того чтобы оценить роль биотопической неоднородности, выбирали участки, отличающиеся по глубинам (0,1–0,7 м) и скоростям течения (0,1–1, м/с), расположенные на разном удалении от проточных озер и в разной мере подвергающиеся антропогенному воздействию. Крайние точки отбора проб на севере: 66°52', 32°23', устье реки Ковды; на юге — 64°01', 32°24', река Муезерка; на западе — 66°27', 30°04', река Селкайоки, на востоке — устье реки Кемь, 64°57'; 34°40'.

Одновременно с гидробиологическими пробами проводили отбор проб воды для химического анализа, который был выполнен в лаборатории гидрохимии ИВПС КарНЦ РАН.

Концентрацию тяжелых металлов в воде, грунте, нитчатых водорослях и моллюсках определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией (спектрофотометр АА-7000, Shimadzu, Япония) с использованием оборудования ЦКП «Аналитическая лаборатория» Института леса КарНЦ РАН.

Результаты и обсуждение

Высокая озерность, заболоченность, доминирование карбонатных пород, слабое антропогенное воздействие объясняют формирование маломинерализованных вод гидрокарбонатно-кальциевого типа. Для рек характерна слабокислая или нейтральная реакция (рН чаще около 7) и повышенная цветность воды (200–300°). В большинстве рек минерализация воды составляет менее 40 мг/дм³. Содержание всех форм азотистых веществ в водах исследованных рек невысоко. Нитритные ионы обычно отсутствуют. Содержание ионов NO₃ изменяется от 0,1 до 0,5 мг/дм³, NH₄⁺ не превышает 0,08 мг/дм³, а N_{орг} — 0,2–1,5 мг/дм³. Отмечено очень низкое содержание фосфатов: концентрация P_{общ} изменяется от 10 до 70 мкг/дм³, а P_{мин} — от 2 до 3 мкг/дм³.

В перифитоне зарегистрировано 307 видов водорослей рангом ниже рода, принадлежащих к шести отделам. Выявленная альгофлора характеризуется значительной асимметрией на уровне отделов. Отдел *Ochrophyta*, включающий 184 вида из четырех классов, доминирует по видовому богатству. Ведущее положение в нем занимает класс *Bacillariophyceae* (178 видов), что является характерным для структуры фитоперифитона пресноводных систем Республики Карелия [8; 20; 27].

Chlorophyta представлены в фитоперифитоне 67 видами. Основу видового богатства составляет класс *Conjugatophyceae* (40 видов) благодаря разнообразию водорослей семейства *Desmidiaceae* (37 видов). Наиболее постоянны в альгоценозах перифитона нитчатые зеленые водоросли *Ulothrix zonata* (F. Weber & Mohr) Kützing, *Microspora amoena* (Kützing) Rabenhorst, *Oedogonium* sp., *Bulbochaete* sp., *Zygnema* sp. и *Mougeotia* sp. Их доминирование в перифитоне свидетельствует о сходстве условий формирования альгофлоры. Именно эти виды, как правило, определяют биомассу фитоперифитона в реках Карелии [26].

Встречаемость большинства из 48 выявленных видов *Cyanophyta* (*Cyanoprokaryota*) невысока. К числу распространенных в исследованных реках можно отнести лишь *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Dichothrix gypsophila* (Kützing) Bornet et Flahault и *Stigonema mamillosum* (Lyngbye) Agardh ex Bornet et Flahault 1886 [17].

Rhodophyta представлены в альгофлоре семью видами, четыре из которых (*Audouinella chalybea* (A. Roth) Bory, *Batrachospermum gelatinosum* (Linnaeus) De Candolle, *Batrachospermum turfosum* Bory, *Sirodotia suecica* Kylin) входят в доминирующий комплекс, а *Batrachospermum gelatinosum* является одним из самых распространенных в перифитоне исследованных рек [20].

Структура группировок перифитона в исследованных водотоках достаточно разнообразна. 47 видов (15,0 %) доминировали по численности в пробах. Однако реально структуру фитоперифитона определяли 32 вида, доминирующих по численности, и 13 видов — по биомассе (не на отдельных участках или в пробах, а в перифитоне конкретных рек). Среди них только девять видов (*Fragilaria ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot, *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, *Eunotia pectinalis* (Kützing) Ehrenberg, *Achnanthes minutissima* Kützing, *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni, *Gomphonema truncatum* Ehrenberg, *Zygnema* sp. и *Mougeotia* sp.) имели встречаемость более 50 %.

Свойственные альгофлоре перифитона исследованных рек зонально-климатические черты проявляются на различных уровнях таксономической структуры. Кроме доминирующего положения диатомовых отмечена малая доля в альгофлоре представителей отделов *Euglenophyta* и *Dinophyta*.

В биогеографическом отношении перифитон характеризуется высоким разнообразием космополитов, на долю которых в среднем приходится 47 ± 13 % от видов, выявленных в альгофлоре отдельных водотоков, и бореальных видов (38 ± 11 %). Наблюдается также свойственное северным флорам преобладание числа родов с одним таксоном (54 вида, 18 %), что можно объяснить низкой минерализацией поверхностных вод.

На фоне стабильной таксономической структуры группировок фитоперифитона отмечены заметные изменения количественных характеристик. Колебания численности достигали нескольких порядков — от $0,1 \times 10^4$ до 1680×10^4 кл/см² (средняя $102,9 \times 10^4$ кл/см²), а биомасса изменялась от 0,01 до 36,7 мг/см² (средняя 1,8 мг/см²), достигая максимума при доминировании нитчатых зеленых водорослей.

Структуру обрастаний формируют типичные прикрепленные формы (61 ± 16 %). Высокая разбавленность поверхностных вод и заболоченность водосборов определяют индифферентный характер альгофлоры по отношению как к минерализации (63 ± 17 %), так и к pH (52 ± 11 %) при высоком разнообразии галлофобов (29 ± 17 %) и ацидофилов (30 ± 12 %). Большинство обнаруженных таксонов относится к пресноводным видам, однако в пробах, особенно отобранных в устьевых участках, встречены и морские представители диатомовых из родов *Brebissonia*, *Cyclotella* и *Grammatophora*, а также нитчатые зеленые водоросли (*Percursaria percursa* (C. Agardh) Rosenvinge).

Структура зоопланктона исследованных водотоков Карельского побережья также достаточно разнообразна в систематическом отношении. Она типична для Европейского Севера и представлена видами, широко распространенными в водотоках умеренных широт. Нами определен 91 вид, из которых

коловраток — 31 (34 %), кладоцер — 41 (45 %) и копепод — 19 (21 %). Число видов в водотоках колебалось от 3 (Муезерка, Шомба, Гридина, Карманьга) до 45 (Оланга).

Набор руководящих форм, на долю которых приходится более 10 % от суммарной численности и биомассы зоопланктона в исследованных водотоках, включает, соответственно, 17 видов. Однако 6 видов доминируют только на одном, а 7 — на двух из исследованных участков.

Отмечена экологическая неоднородность речного зоопланктона, который формируется за счет как лимнофильного, так и литорального и придонного комплексов. Большинство обнаруженных видов являются эврибионтными с высокой экологической пластичностью. В состав планктофауны входят виды из различных экологических групп: озерно-пелагические (*Kellicottia longispina* (Kellicott), *Asplanchna priodonta* (Gosse), *Eudiaptomus gracilis* (Sars G. O.), *Thermocyclops oithonoides* (Sars G. O.), *Daphnia cristata* (Sars G. O.), *Bosmina coregoni* (Baird) и др.), литорально-зарослевые (*Euchlanis deflexa* (Gosse), *Acroperus harpae* (Baird), *Polyphemus pediculus* (Linnaeus), *Macrocyclops albidus* (Jurine) и др.) и эврибионты (*Daphnia longispina* (O.F. Müller), *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller), *Bosmina longirostris* (O. F. Müller), *Mesocyclops leuckarti* (Claus) и др.), большинство из которых характеризуются высокой экологической пластичностью.

Количественные показатели зоопланктона рек не отличаются высокими величинами, что связано с высокими скоростями течения, отсутствием плесов, холодноводностью, слабым развитием водной растительности, наличием в воде значительного количества взвешенных частиц. Основу численности и биомассы зоопланктона составляют ветвистоусые ракообразные. Средние значения численности изменяются от 30 до 2917 тыс. экз/м³, а биомассы — от 1,8 до 121,6 мг/м³. Максимальные количественные показатели зоопланктона отмечены в наиболее крупных водотоках — Оланга, Кемь и Ковда. Здесь, как правило, на устьевых участках численность достигает 12820 тыс. экз/м³, а биомасса — 380 мг/м³.

В составе макрозообентоса рек Карельского побережья Белого моря нами выявлено 155 видов беспозвоночных, относящиеся к Nematoda, Oligochaeta, Hirudinea, Gastropoda, Hydracarina, Crustacea и Insecta. На фоне высокого видового богатства и таксономического разнообразия состав доминирующего комплекса достаточно стабилен и включает виды, типичные для литреофильных биотопов рек Карелии.

Структуру макрозообентоса на порогах и перекатах с каменистыми грунтами и значительными скоростями течения определяют амфибиотические насекомые. Из отряда ручейники (Trichoptera) здесь многочисленны *Hydropsyche pellucidula* (Curtis), *H. siltalai* Doehler, *Ceratopsyche newae* (Kolenati), *Cheumatopsyche lepida* (Pictet), *Neureclipsis bimaculata* (Linnaeus), *Brachycentrus subnubilus* Curtis, *Rhyacophila nubila* Zetterstedt, *Arctopsyche ladogensis* (Kolenati). Из поденок (Ephemeroptera) широко распространены *Heptagenia dalecarlica* Bengtsson, *Nigrobaetis digitatus* Bengtsson, *Baetis rhodani* (Pictet), *B. vernus* Curtis. Наиболее часто встречаемые виды из веснянок (Plecoptera) — *Taeniopteryx nebulosa* (Linnaeus) и *Leuctra fusca* (Linnaeus). Водные жуки (Coleoptera) представлены реофильными видами *E. aenea* (Müller), *Oulimnius tuberculatus* (Müller), *Limnius volckmari* (Panzer). Из представителей отряда двукрылых (Diptera) многочисленны виды, относящиеся к сем. Chironomidae (Tvetenia) (*Rheotanytarsus* sp., *Orthocladius* sp., *Eukiefferiella* sp., *Synorthocladius semivirens* Kieffer, *Procladius* sp.), Ceratopogonidae, Simuliidae (*Archesimulium polare* (Rubzov), *Simulium morsitans* Edwards, *Odagmia rotundata* Rubzov, *O. frigida* Rubzov), Limoniidae, Athericidae (*Atherix ibis* Fabricius). Из двустворчатых моллюсков (Bivalvia) распространены *Sphaerium westerlundi* Clessin in Westerlund, *Cingulipisidium nitidum* (Jenyns), *Henslowiana henslowana* (Leach in Sheppard).

На плесовых участках с невысокими скоростями течения и мягкими грунтами видовой состав менее разнообразен. Здесь нами выявлено только 46 видов, среди которых постоянны и разнообразны виды сем. Chironomidae — *Polypedilum scalaenum* (Schrank), *P. nubeculosum* (Meigen), *Microtendipes pedellus* (De Geer), *Procladius* (Holotanypus) sp., *Sergentia coracina* (Zetterstedt), *Harnischia curtilamellata* (Malloch), *Chironomus* sp., *Stictochironomus crassiforceps* (Kieffer). Из группы малощетинковых червей (Oligochaeta) наиболее распространены *Spirosperma ferox* Eisen, *Lumbriculus variegatus* (Müller) и *Tubifex tubifex* (Müller). Многочисленны двустворчатые моллюски (Bivalvia) — *Sphaerium westerlundi* Clessin in Westerlund, *Euglesa curta* (Clessin), *Hiberneuglesa normalis* (Stelfox). Также неоднократно встречены представители большекрылых (Megaloptera) *Sialis sordida* Klingstedt и *S. lutaria* (Linnaeus).

Количественные характеристики донных сообществ сходны с выявленными ранее в реках северной части Республики Карелия [1; 5]. Основу численности и биомассы (1,0–2,4 тыс. экз/м² и 1,6–9,2 г/м²) составляют ручейники, поденки и двусторчатые моллюски. На плесах средние значения численности (1,3 тыс. экз/м²) и биомассы (2,8 г/м²) несколько ниже, чем на порогах и перекатах. Максимальные значения обилия макрозообентоса наблюдаются на участках, где реки вытекают из озер и достигают 8,3 тыс. экз/м² (р. Кузема в истоке из оз. Нижнее Кумозеро) и 91,2 г/м² (р. Кенти ниже оз. Юриккаярви). Относительно высокая биомасса макрозообентоса на речных участках ниже озер является следствием выноса и увеличения плотности зоопланктона [33].

Незначительные изменения в структуре гидробиоценозов, которые можно объяснить увеличением антропогенной нагрузки, отмечены только на отдельных участках рек Кенти, Кемь и Ковда. Характерной чертой таксономического состава перифитона здесь является уменьшение обилия и встречаемости оксифильных, χ -сапробных диатомей родов *Achnanthes*, *Eunotia*, *Cymbella* и снижение роли рода *Tabellaria*. В сравнении с условно чистыми, здесь выше разнообразие широковалентных и толерантных к загрязнению видов из родов *Diatoma*, *Gomphonema*, *Nitzschia*. Отмечается также увеличение количества мезогалобных и галофильных видов. Большую роль в формировании структуры начинают играть донные формы. Отмечено также локальное зарастание водотоков нитчатými зелеными водорослями (*Zygnema* sp., *Mougeotia* sp.), что можно объяснить увеличением освещенности в результате уничтожения прибрежной растительности [30].

Оценка состояния водотоков по зоопланктону и макрозообентосу показала, что почти все водотоки находятся в β -мезосапробной зоне, соответствующей начальной стадии органического загрязнения, и только для реки Ковда отмечено увеличение разнообразия олигосапробов. Однако и здесь индексы сапробности, рассчитанные по организмам зоопланктона и зообентоса, не превышают 1,40, что позволяет отнести воды водотоков к категории чистых.

Локальные увеличения значений индекса сапробности отмечено и в других исследованных водотоках. Однако увеличение концентрации органического вещества, обуславливающее такие результаты, может быть как антропогенного, так и природного происхождения. Известно, что для территории Республики Карелия свойственна высокая заболоченность и интенсивный сток гумусовых кислот, что оказывает влияние на значение биотических индексов [4]. По всей видимости, именно природные особенности региона обуславливают высокие значения индекса сапробности на некоторых участках.

Показателем уровня антропогенной нагрузки является также концентрация тяжелых металлов в нитчатых водорослях, доминировавших в перифитоне (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения концентрации тяжелых металлов в перифитоне (*Zygnema* sp.)

Водоток	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Fe
	мг/кг						
Гридина	0,4	11,1	14,9	34,3	9,6	6,8	695
Кемь	0,5	6,0	15,0	99,4	7,7	6,01	20540
Кенти	0,7	7,3	13,9	47,8	41,9	35,95	1234
Кепа	0,6	8,0	1,8	26,5	3,4	24,1	860
Кереть	1,2	1,5	10,7	67,2	14,7	14,10	5360
Кивийоки	0,4	2,4	3,2	60,7	21,2	54,9	5240
Ковда	0,6	5,3	11,0	112,6	5,5	1,1	3612
Кузема	0,1	7,9	5,5	60,9	2,1	0,16	7730
Куржма	0,01	3,8	6,1	62,3	10,8	13,8	5360
Лахна	0,2	3,6	7,3	31,7	7,9	9,66	7601
Оланга	1,1	5,2	7,2	78,4	39,5	15,9	1200
Поньгома	2,2	16,7	7,1	62,7	6,3	11,8	41500
Пулоньга	0,4	2,9	8,2	77,3	18,2	7,35	6600
Така	0,4	4,6	6,8	52,1	11,2	51,4	4140
Ундукса	0,8	6,0	6,9	40,7	10,1	22,9	11383

Отмечены повышенные значения концентрации цинка в реках Кемь и Ковда. Следует, однако, отметить, что значение концентраций тяжелых металлов на исследованных участках рек значительно ниже отмеченных для антропогенно измененных водных экосистем Карелии и Мурманской области [31].

В реке Кенти мы определили содержание тяжелых металлов в различных объектах на двух участках (табл. 3).

Таблица 3

Средние значения концентрации тяжелых металлов в реке Кенти

Объект	Pb	Cu	Zn	K
	мг/кг			
Станция 1 (ст. 1)				
Грунт	3,3 ± 0,10	6,4 ± 0,32	74,2 ± 3,78	6090 ± 182,70
Ручейники	1,9 ± 0,09	7,3 ± 0,22	72,4 ± 2,53	5851 ± 263,30
Моллюски	0,4 ± 0,01	2,1 ± 0,09	18,9 ± 0,95	148669,84
Фитоперифитон	2,1 ± 0,11	3,2 ± 0,16	36 ± 1,69	15231 ± 456,93
Станция 2 (ст. 2)				
Грунт	0,7 ± 0,002	2,3 ± 0,004	5,3 ± 0,015	297 ± 0,089
Ручейники	0,3 ± 0,0001	4,9 ± 0,015	47,1 ± 0,108	4283 ± 12,849
Моллюски	0,3 ± 0,001	1,3 ± 0,004	9,3 ± 0,017	308 ± 0,924
Фитоперифитон	1,5 ± 0,0004	2,6 ± 0,001	45 ± 0,103	6666 ± 11,987

Примечание. Значения указаны в формате среднее ± стандартное отклонение (M ± SD).

Первый участок (ст. 1) расположен в 100 м от стока из хвостохранилища Костомукшского ГОК, второй (ст. 2) — в 10 км ниже по течению, в 100 м от впадения реки в озеро Койвас [32]. При переходе от ст. 1 к ст. 2 наблюдается снижение концентраций всех металлов во всех исследованных объектах. Это вызвано постепенным разбавлением техногенных вод АО «Карельский окатыш», поступающих из хвостохранилища комбината в систему р. Кенти. Одновременно происходит обогащение воды аллохтонным органическим веществом, поступающим с водосборной территории. Вследствие этого увеличивается цветность воды, что определяется высокой заболоченностью водосбора.

Заключение

Таксономический состав всех исследованных сообществ и набор доминирующих в них видов в исследованных водотоках Карельского побережья Белого моря типичен для речных экосистем Республики Карелии. Он определяется в первую очередь географическим положением исследованного региона. Все определенные в составе группировок виды в той или иной пропорции постоянно встречаются в реках Восточной Фенноскандии, что указывает на определяющую роль климата в формировании гидробиоценозов.

В то же время непродолжительность периода наших наблюдений не позволяет считать список видов достаточно полным. Дальнейшие более детальные исследования помогут дополнить видовой состав и выявить сезонную динамику видовой структуры, численности и биомассы сообществ водных организмов. Структура группировок связана с топографией водосборов и морфометрией водотоков, отражающими особенности рек «кольского» типа. Порожистый характер практически на всем протяжении обуславливает малое влияние размера водотока на структуру фитоперифитона и макрозообентоса, которая в целом соответствует зоне ритрали.

В большинстве исследованных нами рек «классический» речной континуум [34] нарушен из-за присутствия проточных озер. Каждый ограниченный озерами участок представляет собой самостоятельную реку, имеющую собственные исток и устье. На участках, расположенных ниже проточных озер, отмечены локальные изменения видового состава, увеличение разнообразия и плотности гидробиоценозов. Наблюдаются изменения роли экологических групп гидробионтов: например, увеличивается доля фильтраторов в зообентосе и планктонных видов в перифитоне.

Большое значение при этом имеет уровень трофности озер. Миграция озерных форм усиливает природную мозаичность, типичную для гидробиоценозов в озерно-речных системах. Это маскирует изменения, происходящие под влиянием увеличения антропогенной нагрузки, и затрудняет корректную оценку ее причин.

Наблюдаемые изменения в структуре фитоперифитона, зоопланктона и зообентоса на исследованных участках рек носят природный характер. Даже в импактных зонах мы не обнаружили «катастрофических» изменений. Однако, несомненно, требуется продолжение более детального анализа режима всех параметров экосистем. Это тем более важно, поскольку результаты «фонового» мониторинга рек, в минимальной мере подверженных антропогенному влиянию, могут быть использованы для оценки степени воздействия на другие водотоки региона. Следует при этом учитывать, что структура планктона в реке зависит от наличия проточных озер, а для бентоса и перифитона имеет значение характер подстилающих грунтов и субстрата.

Результаты проведенной работы показывают, что изучение структуры речных биоценозов наряду с детальным гидрохимическим анализом позволяют получить дополнительные данные для решения фундаментальных вопросов гидробиологии. Одновременно расширяются наши представления о биоразнообразии сообществ водных организмов и биоресурсном потенциале водотоков, накапливается материал для выявления основных подходов к оценке качества их вод.

Индикационные возможности сообществ водных организмов довольно высоки. Структура гидробиоценозов и рассчитанные индексы достаточно четко отражают трофический статус рек. Данные по отдельным экологическим группировкам гидробионтов дополняют друг друга, повышая объективность выводов. Мы считаем целесообразным включение в программу мониторинга водных экосистем анализа структуры гидробиоценозов. Это тем более актуально, поскольку определение ряда биотических показателей, наряду с традиционными абиотическими параметрами, уже предусмотрено нормативными природоохранными документами.

Список источников

1. Барышев И. А. Особенности формирования структуры макрозообентоса пороговых участков рек Карельского берега Белого моря // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 1. С. 29–36. doi:10.17076/eco36.
2. Барышев И. А. История изучения макрозообентоса рек Карелии и Мурманской области // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 3–20. doi:10.17076/eco98.
3. Барышев И. А. Зообентос реки Кемь, бассейн Белого моря (состав, обилие и трофическая структура) // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 10. С. 70–83. doi:10.17076/eco908.
4. Барышев И. А. Зообентос водотоков бассейна реки Ковда (состав, обилие, оценка разнообразия и сапробности) // Труды Института биологии внутренних вод РАН. 2019. № 85 (88). С. 59–68. doi:10.24411/0320-3557-2019-10005.
5. Барышев И. А., Хренников В. В. Количественная характеристика макрозообентоса порогов рек Кандалакшского побережья Белого моря как основы кормовой базы для молоди лососевых рыб // Поволжский экологический журнал. 2016. № 3. С. 255–262. doi:10.18500/1684-7318-2016-3-255-262.
6. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / под. ред. Н. Н. Филатова и А. Ю. Тержевика. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. 335 с.
7. Генкал С. И., Комулайнен С. Ф. Материалы к флоре Bacillariophyta водоемов Карелии IV. Реки Карельского побережья Белого моря // Ботанический журнал. 2008. Т. 93, № 3. С. 393–398. doi:10.7868/S0320965215020072.
8. Генкал С. И., Чекрыжева Т. А., Комулайнен С. Ф. Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии. М.: Научный мир, 2015. 202 с.
9. Герд С. В. Обзор гидробиологических исследований озер Карелии // Труды Карело-Финского отделения ВНИОРХ. Т. 2. Л.; Петрозаводск: Госфиниздат, 1946. С. 27–139.

10. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2021 г. / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия; под. ред.: А. Н. Громцева, О. Л. Кузнецова, А. Е. Курило, Е. Г. Полина. Петрозаводск, 2022. 263 с.
11. Данилевский Н. Я. Рыбные промыслы в Белом и Ледовитом морях // Исследование о состоянии рыболовства в России. СПб., 1862. Т. 6. 257 с.
12. Данилевский Н. Я. Описание рыболовства в северо-западных озерах // Исследование состояния рыболовства в России. СПб., 1875. Т. 9. С. 40–88.
13. Кесслер К. Ф. Описание рыб, которые встречаются в водах С.-Петербургской губернии. СПб.: Изд. Русск. энтомолог. общества, 1864. 240 с.
14. Комулайнен С. Ф. Структура и функционирование фитоперифитона в реках национального парка Паанаярви // Труды КарНЦ РАН. Серия Биология. 2003. № 3. С. 124–129.
15. Комулайнен С. Ф. Водная растительность // Скальные ландшафты Карельского побережья Белого моря: природные особенности, хозяйственное освоение, меры по сохранению. Петрозаводск: Изд. Кар НЦ РАН, 2008. С. 137–139.
16. Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон рек Зеленого пояса Фенноскандии // Труды Карельского научного центра РАН. 2011. № 2. С. 35–47.
17. Комулайнен С. Ф. Суанопхита/Суанопрокариота в перифитоне рек Восточной Фенноскандии: роль в экосистемах, опыт изучения и проблемы // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 14–23.
18. Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон рек междуречья Кеми и Ковды Карельского берега Белого моря // Вопросы современной альгологии. 2018. Т. 2, № 17. URL: <http://algology.ru/1296>.
19. Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон реки Ковды и ее притоков (Республика Карелия, Россия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 8. С. 30–43. doi:10.17076/bg963.
20. Комулайнен С. Ф., Чекрыжева Т. А., Вислянская И. Г. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. 78 с.
21. Круглова А. Н. Зоопланктон рек Паанаярвского национального парка // Труды Карельского НЦ РАН. 2003. № 3. С. 115–118.
22. Круглова А. Н. К истории изучения зоопланктона рек Карелии // Труды Карельского НЦ РАН. 2016. № 4. С. 21–36. doi:10.17076/eco243.
23. Круглова А. Н., Комулайнен С. Ф. Планктонная фауна рек Кемь, Ковда и их притоков (бассейн Белого моря, Республика Карелия, Россия) // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология Севера. 2019. Вып. 7. С. 179–186. doi:10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.74-82.
24. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Л.: Гидрометиздат, 1972. 525 с.
25. Komulainen S. Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the northern European part of Russia // International Journal on Algae. 2007. Vol. 9, № 2. pp. 139–149. doi:10.1615/InterJAlgae.v9.i2.40.
26. Komulainen S. The green algae as structural element of phytoplankton communities in streams of the North-western Russia // Biology. 2008. Vol. 63, № 6. pp. 859–865. <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0113-0>.
27. Komulainen S. Diatoms of periphyton assemblages of small rivers in North-Western Russia // Studi Trent. Sci. Nat. 2009. № 84. pp. 153–160.
28. Komulainen S. Phytoplankton of the Kem River and Its Tributaries (Republic of Karelia, Russia) // International Journal on Algae. 2019. Vol. 21, № 2. pp. 123–136. doi:10.1615.
29. Komulainen S. Phytoplankton of Watercourses of the White Sea Basin (Murmansk Region, Republic of Karelia, Russia) // International Journal on Algae. 2020. Vol. 22, № 4. pp. 383–398. doi:10.1615/InterJAlgae.v22.i4.70.
30. Komulainen S., Cherkryzheva T. Response of algal communities to anthropogenic changes in mineralization // Botanica lithuanica. 2013. Vol. 19, № 1. pp. 57–66. doi:10.2478/botlit-2013-0010.
31. Komulainen S., Morozov A. Spatial and temporal variation of heavy metal levels in phytoplankton in small streams of Northwest Russia // Archiv für Hydrobiologie. 2007. Vol. 161, № (3–4). pp. 435–442.

32. Komulaynen S. et al. Response of communities of aquatic organisms to the anthropogenically-driven changes in water mineralization of a small stream (the White Sea basin, Republic of Karelia, Russia) // *Ecosystem Transformation*. 2021. Vol. 4, № 1. pp. 20–34. <https://doi.org/10.23859/estr-201118>.
33. Kruglova A., Baryshev I. Elimination of limnic zooplankton in the rapid river (on the example of Lake Kedrozero and the Lizhma river of the Lake Onega basin) // *Hydrobiological journal*. 2011. Vol. 47, № 2. pp. 15–23. doi:10.1615/HydrobJ.v47.i2.20.
34. Vannote R. L., Minchall G. W., Cummins K. W. et al. The river continuum concept // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1980. Vol. 37, № 1. pp. 130–137.

References

1. Barihshev I. Osobennosti formirovaniya strukturih makrozoobentosa porogovihkh uchastkov rek Kareljskogo berega Belogo moray [Peculiarities of macrozoobenthos structure formation in riffles of the Karelian coast of the White Sea]. *Trudih Kareljskogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kar RC RAS], 2015, No. 1, pp. 29–36. (In Russ.).
2. Barihshev I. Istoriya izucheniya makrozoobentosa rek Karelii i Murmanskoyj oblasti [History of the study of macrozoobenthos in rivers of Karelia and Murmansk region]. *Trudih Kareljskogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kar RC RAS], 2016, No. 4, pp. 3–20. (In Russ.).
3. Barihshev I. Zoobentos reki Kemj, bassejyn Belogo morya (sostav, obilie i troficheskaya struktura) [Zoobenthos of the kem' river, White Sea drainage basin (composition, abundance and trophic structure)]. *Trudih Kareljskogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kar RC RAS], 2018, No. 10, pp. 70–83. (In Russ.).
4. Barihshev I. Zoobentos vodotokov bassejyna reki Kovda (sostav, obilie, ocenka raznoobraziya i saprobnosti) [Zoobenthos of watercourses of the Kovda river basin (composition, abundance, diversity and saprobity)]. *Trudih Instituta biologii vnutrennikh vod RAN* [Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS], 2019, No. 85 (88), pp. 59–68. (In Russ.).
5. Barihshev I. A., Khrennikov V. V. Kolichestvennaya kharakteristika makrozoobentosa porogov rek Kandalakshskogo poberezhjya Belogo morya kak osnovih kormovoyj bazih dlya molodi lososevihkh rihb [Quantitative characteristics of macrozoobenthos in the rivers of the Kandalaksha coast of the White Sea as a forage base for juvenile salmonids]. *Povolzhskiy ehkologicheskij zhurnal* [Povolzhskiy journal of ecology], 2016, No. 3, pp. 255–262. (In Russ.).
6. *Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennihkh faktorov* [The White Sea and their watershed under influences climate and anthropogenic impact]. Petrozavodsk, Publ. Kar RC RAN, 2007, 335 p. (In Russ.).
7. Danilevskiy N. Ya. Rihbnihe promihsliv v Belom i Ledovitom moryakh [Fisheries in the White and Arctic Seas]. *Issledovanie o sostoyanii rihbolovstva v Rossii* [Study on the state of fishing in Russia], 1862, V. 6, 257 p. (In Russ.).
8. Danilevskiy N. Ya. Opisanie rihbolovstva v severo-zapadnihkh ozerakh [Description of fishing in the north-western lakes]. *Issledovanie sostoyaniya rihbolovstva v Rossii* [Study on the state of fishing in Russia], 1875, V. 9, pp. 40–88. (In Russ.).
9. Genkal S. I., Chekrihzheva T. A., Komulaynen S. F. *Diatomovihe vodorosli vodoemov i vodotokov Karelii* [Diatom algae in waterbodies and watercourses of Karelia]. Moscow, Nauch. mir, 2015, 202 p. (In Russ.).
10. Genkal S. I., Komulaynen S. F. Materialih k flore Bacillariophyta vodoemov Karelii. IV. Reki Kareljskogo poberezhjya Belogo morya [Materials to the flora of Bacillariophyta of the Karelian waterbodies. IV. Rivers of the Karelian white sea coast]. *Botanicheskiy zhurn.* [Botanical Journal], 2008, V. 93, No. 3, pp. 393–398. (In Russ.).
11. Gerd S. V. Obzor gidrobiologicheskikh issledovaniy ozer Karelii [Review of hydrobiological studies of the lakes of Karelia]. *Trudih Karelo-Finskogo otdeleniya VNIORKh* [Proceedings of the Karelian-Finnish Branch of VNIORH], 1946, Vol. 2, pp. 27–139. (In Russ.).

12. *Gosudarstvenniy doklad o sostoyanii okruzhayutheyj sredih Respubliki Kareliya v 2021 g.* [State Report on the State of the Environment of the Republic of Karelia in 2021]. Petrozavodsk, 2022, 263 p. (In Russ.).
13. Kessler K. F. *Opisanie rihb, kotorihe vstrechayutsya v vodakh S.-Peterburgskoyj gubernii* [Description of fish that are found in the waters of the St. Petersburg province]. Saint Petersburg, House of the Russian Entomological Society, 1864, 240 p. (In Russ.).
14. Komulaynen S. *Struktura i funkcionirovanie fitoperifitona v rekakh nacionaljnogo parka Paanajarvi.* [Structure and function of phytoperiphyton in rivers of Paanajarvi national park]. *Trudih Kareljского nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kar RC RAS], 2003, No. 3, pp. 124–129. (In Russ.).
15. Komulaynen S. *Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the northern European part of Russia // International Journal on Algae*, 2007, Vol. 9, no. 2, pp. 139–149. DOI:10.1615/InterJAlgae.v9.i2.40.
16. Komulaynen S. *The green algae as structural element of phytoperiphyton communities in streams of the North-western Russia.* *Biologiya*, 2008, Vol. 63, no. 6, pp. 859–865. <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0113-0>.
17. Komulaynen S. *Vodnaya rastitel'nostj. Skaljnih landshaftih Kareljского poberezhjya Belogo morya: prirodnihe osobennosti, khozyajstvennoe osvoenie, merih po sokhranenyu* [Aquatic vegetation Rupestrian landscapes of the White Sea Karelian Coast: natural characteristics, economic utilization, conservation]. Petrozavodsk, Publ. Kar RC RAS, 2008, pp. 137–139. (In Russ.).
18. Komulaynen S. *Diatoms of periphyton assemblages of small rivers in North-Western Russia.* *Studi Trentini di scienze naturali*, 2009, no. 84, pp. 153–160.
19. Komulaynen S. *Fitoperifiton rek Zelenogo poyasa Fennoskandii* [Phytoperiphyton in rivers of the green belt of Fennoscandia]. *Trudih Kareljского nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kar RC RAS], 2011, No 2, pp. 35–47. (In Russ.).
20. Komulaynen S. *Cyanophyta/Cyanoprokaryota v perifitone rek Vostochnoj Fennoskandii: rolj v ehkosistemakh, opiht izucheniya i problemih* [Cyanophyta/Cyanoprokaryota in periphyton in rivers of eastern Fennoscandia: role in ecosystems, research experience and problems]. *Prikladnaya ehkologiya* [Applied Ecology of the North], 2016, No. 4, pp. 14–23. (In Russ.).
21. Komulaynen S. *Fitoperifiton rek mezhdurechjya Kemi i Kovdih Kareljского berega Belogo morya* [Phytoperiphyton in rivers in the interfluve the Kem and Kovda of Karelian coast of the White Sea]. *Voprosih sovremennoj algologii* [Issues of Modern Algae], 2018, V. 2, No 17. (In Russ.).
22. Komulaynen S. *Phytoperiphyton of the Kem River and Its Tributaries (Republic of Karelia, Russia).* *International Journal on Algae*, 2019, Vol. 21, no. 2, pp. 123–136. doi:10.1615.
23. Komulaynen S. *Fitoperifiton reki Kovdih i ee pritokov (Respublika Kareliya, Rossiya)* [Phytoperiphyton of the Kovda river and its tributaries]. *Trudih Kareljского nauchnogo centra RAN* [Transactions of KarRC RAS], 2019, No. 8, pp. 30–43. (In Russ.).
24. Komulaynen S. *Phytoperiphyton of Watercourses of the White Sea Basin (Murmansk Region, Republic of Karelia, Russia).* *International Journal on Algae*, 2020, Vol. 22, no. 4, pp. 383–398. doi:10.1615/InterJAlgae.v22.i4.70.
25. Komulaynen S., Chekrihzheva T., Vislyanskaya I. *Algoflora ozer i rek Karelii. Taksonomicheskiy sostav i ehkologiya* [Algoflora of lakes and rivers of Karelia. Taxonomic composition and ecology]. Petrozavodsk, Kar RC RAS Publishing House, 2006, 78 p. (In Russ.).
26. Komulaynen S., Morozov A. *Spatial and temporal variation of heavy metal levels in phytoperiphyton in small streams of Northwest Russia.* *Archiv für Hydrobiologie*, 2007, Vol. 161, no. (3–4), pp. 435–442.
27. Komulaynen S., Chekryzheva T. *Response of algal communities to anthropogenic changes in mineralization.* *Bot. Lith.*, 2013, Vol. 19, no. 1, pp. 57–66. doi:10.2478/botlit-2013-0010.
28. Komulaynen S., Baryshev I., Kruglova A., Slastina J., Ryzhakov A., Nikerova K. *Response of communities of aquatic organisms to the anthropogenically-driven changes in water mineralization of a small stream (the White Sea basin, Republic of Karelia, Russia).* *Ecosystem Transformation*, 2021, Vol, 4, no. 1, pp. 20–34. <https://doi.org/10.23859/estr-201118>.

29. Kruglova A. Zooplankton rek Paanayarvskogo nacionaljnogo parka [Zooplankton in rivers of Paanajarvi national park]. *Trudih Kareljiskogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kar RC RAS], 2003, No. 3, pp. 115–118. (In Russ.).
30. Kruglova A. K istorii izucheniya zooplanktona rek Karelii [On the history of zooplankton studies in rivers of Karelia]. *Trudih Kareljiskogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kar RC RAS], 2016, No. 4, pp. 21–36. (In Russ.).
31. Kruglova A., Baryshev I. Elimination of limnic zooplankton in the rapid river (on the example of Lake Kedrozero and the Lizhma river of the Lake Onega basin). *Hydrobiological journal*, 2011, Vol. 47, no. 2, pp. 15–23. doi:10.1615.HydrobJ.v47.i2.20.
32. Kruglova A., Komulaynen S. Planktonnaya fauna rek Kemj, Kovda i ikh pritokov (bassejyn Belogo morya, respublika Kareliya, Rossiya) [Planktonic fauna of the Kem', Kovda rivers and their tributaries (the White Sea basin, Republic of Karelia, Russia)]. *Prikladnaya ehkologiya Severa* [Applied Ecology of the North], 2019, issue 7, pp. 179–186. (In Russ.).
33. *Resursih poverkhnostnikh vod SSSR, Kareliya i Severo-Zapad* [Surface water resources of the USSR. Karelia and North-West]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972, 527 p. (In Russ.).
34. Vannote R. L., Minchall G. W., Cummins K. W. et al. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, Vol. 37, no. 1, pp. 130–137.

Информация об авторах

С. Ф. Комулайн — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник;

И. А. Барышев — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

S. F. Komulaynen — Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher;

I. A. Baryshev — Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 612.114. 616.12-07. 577.27
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.013

ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ РИСКА СОСУДИСТЫХ КАТАСТРОФ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ И РАБОТАЮЩИХ В АРКТИКЕ

Л. К. Добродеева¹, А. В. Самодова², С. Н. Балашова³, К. О. Пашинская⁴

¹⁻⁴Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анна Васильевна Самодова, annapoletaeva2008@yandex.ru

Аннотация

В работе представлены иммунологические критерии риска сосудистых катастроф у лиц, проживающих и работающих в Арктике. Обследовано 356 людей в возрасте от 21 до 55 лет, 227 женщин и 129 мужчин, из них 123 человека, проживающих на территории архипелага Шпицберген (пос. Баренцбург) и в Мурманской области (поселок Ревда и село Ловозеро). Группа сравнения включала 121 практически здорового на момент обследования человека указанного возрастного диапазона и с диагнозом ишемическая болезнь сердца — 112 человек, проживающих в Архангельской области. Установлено, что гиперфункция сердечно-сосудистой системы у жителей Арктики обеспечивается реакциями повышенного уровня со стороны эндотелина-1, мозгового натрийуретического пептида, трансферрина, рецептора к трансферрину, межклеточных молекул адгезии sCD54, sCD62L, провоспалительного цитокина TNF- α , а также аутоантител к кардиолипидам и фосфолипидам, циркулирующих иммунных комплексов в составе с IgM и C3D.

Ключевые слова:

мозговой натрийуретический пептид (Nt-pro-BNP), эндотелин-1, трансферрин, sCD71, sCD54, sCD62L, аутоантитела к кардиолипидам, ЦИК, Арктика, ишемическая болезнь сердца

Благодарности:

авторы выражают искреннюю благодарность доктору биологических наук, главному научному сотруднику Научно-исследовательского центра медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике Кольского научного центра Российской академии наук Наталье Константиновне Белишевой за организацию экспедиций в Мурманскую область и на архипелаг Шпицберген.

Финансирование:

исследования проведены в ходе выполнения гранта Российского научного фонда № 22-25-20135 «Выявление иммунологических критериев риска сосудистых катастроф у лиц, работающих в Арктике».

Для цитирования:

Иммунологические критерии риска сосудистых катастроф у лиц, проживающих и работающих в Арктике / Л. К. Добродеева, А. В. Самодова, С. Н. Балашова, К. О. Пашинская // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 116–123. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.013.

Original article

IMMUNOLOGICAL CRITERIA FOR THE RISK OF VASCULAR DISASTER IN PERSONS LIVING AND WORKING IN THE ARCTIC

L. K. Dobrodeeva¹, A. V. Samodova², S. N., Balashova³, K. O. Pashinskaya⁴

¹⁻⁴N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

Corresponding author: Anna V. Samodova, annapoletaeva2008@yandex.ru

Abstract

The work presents immunological criteria for the risk of vascular accidents in people living and working in the Arctic. 356 people aged 21 to 55 years were examined, 227 women and 129 men, of which 123 people living in the Svalbard archipelago (Barentsburg village) and in the Murmansk region (Revda and Lovozero villages). The comparison group included 121 practically healthy people of the specified age range at the time of the examination and 112 people diagnosed with coronary heart disease living in the Arkhangelsk region. It has been established that hyperfunction of the cardiovascular system in residents of the Arctic is ensured by increased level reactions from endothelin-1, brain natriuretic peptide, transferrin, transferrin receptor, intercellular adhesion molecules sCD54, sCD62L, pro-inflammatory cytokine TNF- α , autoantibodies to cardi lipids, autoantibodies to phospholipids, circulating immune complexes containing IgM and C3D.

Keywords:

brain natriuretic peptide (Nt-pro-BNP), endothelin-1, transferrin, sCD71, sCD54, sCD62L, autoantibodies to cardiolipids, CIC, Arctic, coronary heart disease

Acknowledgments

the authors express their sincere gratitude to Natalya Konstantinovna Belisheva, Doctor of Biological Sciences, chief researcher of the Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, for organizing expeditions to the Murmansk region and the Spitsbergen archipelago.

Funding:

the research was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant No. 22-25-20135 "Identification of immunological criteria for the risk of vascular accidents in people working in the Arctic".

For citation:

Dobrodeeva L. K., Samodova A. V., Balashova S. N., Pashinskaya K. O. Immunological criteria for the risk of vascular disaster in persons living and working in the Arctic. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 116–123. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.013.

Введение

Системные реакции с нарушениями микроциркуляции, рециркуляции и миграции клеток крови приводят к внезапным сердечно-сосудистым катастрофам. В определении направления миграции и преодолении барьеров между кровью и тканями основную роль играют хемотаксические сигналы и специфические межклеточные взаимодействия, которые нарушаются под воздействием влияния неблагоприятных климатических факторов, в первую очередь иономагнитных возмущений и смены атмосферного давления. Срочная системная адаптация человека к неблагоприятным факторам включает реакцию катехоламинов, обеспечивающих активизацию системы кровообращения с усилением силы и частоты сердечных сокращений, тонуса сосудов [1; 2]. При этом наиболее рано возникают срочные реакции вазоконстрикторов, вазодилататоров эндотелиоцитов и коротких нейропептидов, обеспечивающих изменение гемодинамики, микроциркуляции и влияющих на артериальное давление, объемы циркулирующей крови, ее текучесть и, вследствие этого, на частоту, силу сердечных сокращений и распределение объемов крови. Известна инициация регуляции гемодинамики с участием трех основных механизмов: эндотелинов, вегетативной нервной системы, а также сердечных и дыхательных ритмов. Однако, литературные сведения о направленности реакций у различных людей прямо противоположны. Натрийуретическому пептиду поначалу приписывали роль критерия сердечно-сосудистого неблагополучия [3–6]. Однако появились сведения о повышении содержания пептида у практически здоровых людей при различной патологии почек, изменениях водного и солевого обменов [7; 8]. По нашим предварительным данным, есть основание считать, что данный пептид, регулируя осмотическое давление, может быть использован как критерий оценки состояния клеточных и базальных мембран, а также как критерий риска опасных изменений осмотического давления клетки и межклеточного пространства.

Поведение ирисина, инициирующего термогенез в ткани бурого жира, практически не изучено. Исследование реакций с его стороны в ответ на необходимость получения дополнительной энергии позволит обосновать критерии и уровни адаптивных реакций, необходимых для восстановления гемодинамики и микроциркуляции. Литературные сведения о направленности реакций у различных людей прямо противоположны. Кроме того, нет четких данных о роли исходного фонового напряжения этих механизмов регуляции в развитии и пролонгировании метеогемодинамических реакций.

Предпосылкой более высокого уровня заболеваемости северян болезнями сердечно-сосудистой системы является частое (до 85 %) повышение систолического давления в малом круге кровообращения выше 30 мм рт. ст. (42–65 мм рт. ст.) у практически здоровых жителей Арктики.

Цель исследования — выявить иммунологические критерии риска сосудистых катастроф у лиц, работающих в Арктике.

Материалы и методы

Обследовано 356 человек в возрасте от 21 до 55 лет, 227 женщин и 129 мужчин, в том числе 123 человека, проживающих на территории архипелага Шпицберген (пос. Баренцбург) и в Мурманской области (поселок Ревда и село Ловозеро). Группа сравнения включала 121 человека, практически здорового на момент обследования, указанного возрастного диапазона и с диагнозом

ишемическая болезнь сердца (ИБС) — 112 человек, проживающих в Архангельской области. Обследование проводили в утренние часы (8:00–10:00) с согласия волонтеров и в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований (2000 г.), также обследование одобрено и утверждено комиссией по биомедицинской этике при ИФПА ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол № 8 от 30.03.2022).

Комплекс обследования включал изучение в сыворотке крови методом иммуноферментного анализа на автоматическом иммуноферментном анализаторе Evolis (Bio-RAD, Германия) с соответствующими реактивами концентрации свободного рецептора к трансферрину (sCD71), трансферрина, свободных межклеточных молекул адгезии (sCD54, sCD62L), цитокинов IL-1 β , TNF- α , IL-10 (Bender MedSystems, Германия), мозгового натрийуретического пептида (Nt-pro-BNP), ирисина (Biomedica, Австрия), эндотелина-1 (RnDSystems, США), антител к кардиолипину и фосфолипидам (Biomedica Gruppe, Германия), циркулирующих иммунных комплексов ЦИК С1Q (Buhlman, Германия) и ЦИК С3D (Diametra, Германия). Концентрацию ЦИК к IgM исследовали стандартным методом преципитации с использованием 4,0 % ПЭГ-6000 в сыворотке крови. Реакцию оценивали на автоматическом иммуноферментном анализаторе Evolis фирмы Bio-RAD (Германия). Статистический анализ результатов исследования проводился в программе STATISTICA 6.0 (StatSoft, США). Вычислялись средние значения определяемых показателей, стандартное отклонение (SD), проводился факторный анализ.

Результаты

Установлено, что у практически здоровых жителей Арктики в периферической венозной крови выше концентрации эндотелина-1, мозгового натрийуретического пептида, трансферрина, рецептора к трансферрину, межклеточных молекул адгезии sCD54, sCD62L, провоспалительного цитокина TNF- α , а также аутоантител к кардиолипидам и фосфолипидам, ЦИК С1Q и ЦИК С3D (табл. 1).

Выявленная закономерность подтверждается частотой регистрации повышенных концентраций в крови всех указанных выше параметров (табл. 2).

Таблица 1

Результаты сравнительного изучения параметров регуляции гемодинамических реакций у практически здоровых и больных ИБС жителей Европейского Севера и Арктики РФ ($M \pm m$)

Изучаемые параметры	Практически здоровые жители Архангельской области (n = 121)	Практически здоровые жители Арктики (n = 123)	Больные ИБС (n = 112)
Эндотелин-1, фмоль/мл	0,97 \pm 0,08	1,32 \pm 0,11**	2,39 \pm 0,13***
Nt-pro-BNP, фмоль/мл	97,46 \pm 16,25	111,02 \pm 15,89**	642,29 \pm 15,43***
Ирисин, мкг/мл	4,61 \pm 0,46	2,83 \pm 0,29***	3,78 \pm 0,43
sCD71, нг/мл	1206,26 \pm 353,2	2211,35 \pm 452,1**	5889,26 \pm 332,84***
Трансферрин, г/л	2,07 \pm 0,08	5,73 \pm 1,36***	6,45 \pm 1,21***
sCD54, нг/мл	216,88 \pm 9,75	363,88 \pm 12,35***	564,12 \pm 15,63***
sCD62L, нг/мл	8,44 \pm 0,76	12,28 \pm 0,58***	18,14 \pm 0,77***
IL-1 β , пг/мл	9,24 \pm 0,52	9,86 \pm 0,63	11,81 \pm 0,41*
TNF- α , пг/мл	3,41 \pm 0,66	6,85 \pm 0,85***	5,86 \pm 0,51***
IL-10, пг/мл	11,09 \pm 0,36	12,11 \pm 0,59	10,34 \pm 0,45
Антикардиолипиды, МЕ/мл	11,35 \pm 0,12	18,42 \pm 0,19**	32,79 \pm 1,44***
Антифосфолипиды, МЕ/мл	7,63 \pm 0,05	9,34 \pm 0,06*	17,46 \pm 0,25***
ЦИК IgM, г/л	2,86 \pm 0,05	3,69 \pm 0,13**	5,32 \pm 0,27***
ЦИК С1Q (IgM+IgG), мкгЭкв/мл	5,21 \pm 2,14	5,44 \pm 1,46*	9,27 \pm 1,84***
ЦИК С3D (IgG), мкгЭкв/мл	20,46 \pm 3,22	63,76 \pm 24,01***	81,53 \pm 20,62***

Примечание. *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001 — достоверность различий при сравнении показателей с практически здоровыми жителями Архангельской области и жителями Архангельской области с диагнозом ИБС.

Таблица 2

Частота регистрации повышенных уровней изучаемых параметров регуляции гемодинамических реакций у практически здоровых и больных ИБС жителей Европейского Севера и Арктики РФ ($M \pm m$)

Количество лиц с повышенными уровнями изучаемых параметров, %	Практически здоровые жители Архангельской области (n = 121)	Практически здоровые жители Арктики (n = 123)	Больные ИБС (n = 112)
Эндотелин-1 > 1 фмоль/мл	32 (26,65)	45 (36,59)	58 (51,79)
Nt-pro-BNP >200 фмоль/мл	22 (18,19)	31 (25,20)	98 (87,50)
Ирисин >2 мкг/мл	86 (71,07)	74 (60,16)	67 (59,82)
Трансферрин > 3,5 г/л	21 (17,36)	44 (35,77)	58 (51,78)
sCD71 >700 нг/мл	62 (51,24)	98 (79,67)	109 (97,32)
sCD54 >215 нг/мл	36 (29,75)	54 (43,90)	108 (96,42)
sCD62L >9 нг/мл	35 (28,93)	53 (43,09)	106 (94,64)
Антикардиолипиды > 10МЕ/мл	8 (6,61)	18 (14,63)	91 (81,25)
Антифосфолипиды > 10МЕ/мл	11 (9,09)	24 (19,51)	86 (76,78)
ЦИК IgM > 3,5 г/л	13 (10,74)	29 (23,58)	100 (89,28)
ЦИК C3D (IgG) >20 мкгЭкв/мл	15 (12,40)	119 (96,77)	110 (98,21)

Обсуждение

Повышенные концентрации эндотелина-1 в периферической венозной крови у жителей Арктики установлены в 36,59 %, среди проживающих в более благоприятных климатических условиях частота выраженной вазоконстрикции была ниже 26,65 %. У больных ИБС частота регистрации повышения вазоконстрикции нарастает до 51,79 %. Преобладание вазоконстрикции у жителей Арктики на фоне низкого уровня реактивных изменений в содержании составляющих цикла азота создает риск повышения активности агрегации не только эритроцитов, но и лейкоцитов, а также трофической недостаточности капилляров [9]. Развитие северной тканевой гипоксии отличается изменениями на всех этапах доставки O_2 , начиная с внешнего дыхания до потребления его тканями [10]. У жителей северных территорий снижены резервные возможности проницаемости капилляров для белка и жидкости, а с возрастом поступление белка и жидкости из крови в ткани существенно преобладает над активностью выведения.

Более выраженные реакции со стороны натрийуретического пептида у практически здоровых северян выявлены в период полярной ночи, у лиц занятых физическим трудом и профессиональных лыжников [11]. У практически здоровых жителей арктических территорий увеличение содержания в крови Nt-pro-BNP регистрировали в 25,20 %; частота выявления повышенных концентраций данного пептида у жителей Архангельской области была несколько ниже — 18,19 %. Известно, что повышение содержания в крови BNP ассоциирует с увеличением напряжения стенки и конечного диастолического давления левого желудочка [6].

Повышенные концентрации трансферрина регистрировали в 2 раза чаще среди практически здоровых жителей Арктики, чем среди жителей Архангельской области. При ИБС частота выявления повышенных уровней содержания в крови трансферрина повышается до 51,78 %. Повышенные концентрации свободного рецептора к трансферрину (sCD71) у практически здоровых лиц регистрировали в 51,24 %, в 1,5 раза чаще среди жителей арктических территорий (79,67 %). Появление рецептора к трансферрину на клетке связано не только с необходимостью дополнительного количества железа, но и с энергетическим дефицитом клетки [12; 13]. В условиях повышенной потребности или дефицита железа, клетки начинают даже автономный синтез трансферрина, регуляцию этого синтеза осуществляют провоспалительные цитокины IL-1, IL-2, IL-6 и TNF- α , а также NO. Трансферрин регулирует распределение железа в организме; при дефиците железосодержащего белка в клетке снижаются все процессы окислительно-восстановительного характера, возникает дополнительная потребность в железе, недостаточность его в тканях ассоциирована со снижением содержания цитохрома C и активности цитохромоксидазы, а в крови — активности каталазы и пероксидазы.

Повышенные уровни антител к кардиолипидам у проживающих в условиях Арктики выявлены в 14,63 %, среди лиц группы сравнения — 6,61 %. Подобное соотношение установлено и относительно антител к фосфолипидам (19,51 и 9,09 % соответственно). Известно, что антитела к фосфолипидам,

в первую очередь к кардиолипидам, обладают тромболитической активностью, способны повреждать кардиомиоциты с участием комплемента и в результате антителозависимой цитотоксичности нейтрофилов и моноцитов. Выявленная отрицательная корреляционная связь между содержанием антикардиолипидов и тромбоцитов ($r = -0,85$) объясняется возможностью косвенного взаимодействия антикардиолипидов и мембранных тромбоцитарных гликопротеидов.

Концентрации ЦИК, содержащих IgM, у практически здоровых взрослых северян выше общепринятых физиологических пределов (до 2 г/л) даже в средних результатах и значительно выше у жителей Арктики (соответственно в 10,74 и 23,58 %). Обращает внимание высокая частота регистрации ЦИК с компонентом системы комплемента C3D у жителей Арктики (96,77 против 12,40 %). У больных ИБС частота обнаружения токсичных концентраций ЦИК достигает 98,21 %, а концентрации их в 2–4 раза выше, чем у практически здоровых людей сравнительно того же возраста. Повышенные концентрации сывороточных Ig создают риск отложения, преципитации на различных плотных структурах клеточного и неклеточного строения, в том числе на синовиальных тканях, стенках сосудов, эпителиальной стороне базальной мембраны, в капиллярных петлях сосочков дермы [14].

У практически здоровых жителей Арктики в среднем выше установленных физиологических пределов содержание в крови свободных межклеточных молекул адгезии sCD54 и L-селектина sCD62L. Повышенные уровни их содержания регистрируются значительно чаще (в 2–3 раза) у жителей Арктики, чем у лиц, проживающих на Европейском Севере РФ. CD62L обеспечивает роллинг лейкоцитов крови по эндотелию, в процессе которого активируются $\beta 2$ -интегрины, обуславливающие устойчивую адгезию лейкоцитов к эндотелию [15]. CD54 (ICAM-1), являясь лигандом LEA-1, обеспечивает адгезию многих клеток, в том числе гранулоцитов, моноцитов, лимфоцитов, эндотелиоцитов, фибробластов, эпидермальных эпителиоцитов и кератоцитов [16]. Продукция молекул адгезии, уровень их активизации и инактивации зависят от адекватности соотношения вазоконстрикции-вазодилатации. Поскольку эндотелин-1 секретируется всегда, а продукты окиси азота периодически для вазодилатации и формирования фаз насыщения, можно считать, что секреция эндотелиоцитами молекул адгезии зависит в основном от дефицита вазодилатации. Ацидоз, риск появления которого часто сопровождается дефицитом вазодилатации, действительно усиливает экспрессию генов молекул адгезии, селектинов и хемокинов [17].

Увеличение концентраций в сыворотке крови TNF- α у жителей Арктики объясняется активизацией данным цитокином рецепторного аппарата клеток. Известно, что гиперпродукция цитокинов активирует не только местные, но и системные механизмы регуляции гемодинамики, свертывания крови и фибринолиза, каллекринин-кининовую и простагландинную системы комплемента и синтез острофазовых белков [18].

Заключение

Таким образом, гиперфункция сердечно-сосудистой системы у жителей Арктики обеспечивается реакциями повышенного уровня со стороны эндотелина-1, мозгового натрийуретического пептида, трансферрина, рецептора к трансферрину, межклеточных молекул адгезии sCD54, sCD62L, провоспалительного цитокина TNF- α , а также аутоантител к кардиолипидам и фосфолипидам, циркулирующих иммунных комплексов в составе с IgM и C3D. Требования к деятельности сердечно-сосудистой системы на Севере более высоки, что связано с усложнением системы приема, транспорта, утилизации кислорода и обусловлено повышением вязкости крови, а также затруднением «извлечения» кислорода из атмосферного воздуха в зимний период.

Список источников

1. Kozyreva T. V., Eliseeva L. S., Tsoi L. V., Khranova G. M. Effect of rapid slight cooling of the skin in various phases of immunogenesis on the immune response // Bulletin of experimental biology and medicine. 2006. Vol. 142 (4). P. 409–412.
2. Козырева Т. В., Ткаченко Е.Я., Елисеева Л.С., Храмова Г. М., Тузиков Ф. В., Козарук В. П., Воронова И. П. Влияние Ca²⁺ терморегуляторные реакции, состав липопротеидов крови и иммунный ответ при действии холода на организм и при артериальной гипертензии // Бюллетень СО РАМН. 2007. № 4 (126). С. 138–144.

3. Galvani M., Ferrini D., Ottani F. Natriuretic peptides for risk stratification of patients with acute coronary syndromes // *European Journal of Heart Failure*. 2004. Vol. 6 (3). P. 327–333.
4. Smith J., Bos G., Esseveld M. R., Van Eijk H. G., Gerbrandy J. Acute-phase proteins from the liver and enzymes from myocardial infarction, a quantitative relationship // *Clinica Chimica Acta*. 1977. Vol. 81 (1). P. 75–85. doi:10.1016/0009-8981(77)90415-6.
5. Прогностическое значение маркеров воспаления и NT-PROBNP при различных вариантах лечения больных с острым коронарным синдромом / Е. В. Шрейдер [и др.] // *Кардиологический Вестник*. 2008. Т. 3, № 2 (15). С. 44–53.
6. Макоева М. Х., Федорова М. М., Автандилов А. Г., Семитко С. П., Долгов В. В., Ройтман А. П. Динамика и прогностическое значение мозгового натрийуретического пептида и С-реактивного белка при остром инфаркте миокарда в зависимости от тактики лечения // *Клиническая лабораторная диагностика*. 2014. № 2. С. 23–26.
7. Vanderheyden M., Bartunek J., Goethals M. Brain and other natriuretic peptides: molecular aspects // *European Journal of Heart Failure*. 2004. Vol. 6 (3). P. 261–268.
8. Teodorovich N., Krakover R., Vered Z. B-type natriuretic peptide: a universal cardiac biomarker? // *The Israel Medical Association Journal (IMAJ)*. 2008. Vol. 10 (2). P. 152–153.
9. Dobrodeeva L. K., Samodova A. V., Balashova S. N., Pashinskaya K. O. Intercellular Interactions in Peripheral Venous Blood in Practically Healthy Residents of High Latitudes // *BioMed Research International*. 2021. Vol. 2021. doi: 10.1155/2021/7086108.
10. Ким Л. Б. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторной патологии. Новосибирск: Наука, 2015. 216 с.
11. Добродеева Л. К., Самодова А. В., Карякина О. Е. Взаимосвязь уровней содержания мозгового натрийуретического пептида в крови и активности иммунных реакций у людей // *Физиология человека*. 2016. Т. 42, № 6. С. 106–115.
12. Добродеева Л. К., Зубаткина И. С., Самодова А. В., Зубаткина О. В., Малахова М. Я., Попов А. А. Иммунометаболические взаимосвязи у практически здоровых жителей г. Архангельска // *Вестник уральской академической науки*. 2014. № 2. С. 129–132.
13. Зубаткина О. В., Совершаева С. Л., Козлов В. Д., Сумарокова А. В. Характер изменений метаболического профиля плазмы и уровня АТФ лимфоцитов периферической крови у жителей европейского севера России // *Вестник уральской академической науки*. 2014. № 2. С. 137–140.
14. Самодова А. В., Добродеева Л. К. Соотношение содержания пула свободных рецепторов молекул адгезии и уровня активности иммунной системы у жителей Мурманской области // *Физиология человека*. 2019. Т. 45, № 1. С. 104–112.
15. Rahman I., Sánchez A. C., Davies J., Rzeniewicz K., Abukscem S., Joachim J., Hoskins Green H.L., Killock D., Sanz M.J., Charras G., Parsons M., Ivetic A. L-selectin regulates human neutrophil transendothelial migration // *Journal of Cell Science*. 2021. Vol. 134 (3). doi:10.1242/jcs.250340.
16. Kong L., Yang X. Study of Intercellular Adhesion Molecule-1 (ICAM-1) in Bone Homeostasis // *Curr Drug Targets*. 2020. Vol. 21 (4). P. 328–337. doi:10.2174/1389450120666190927122553.
17. Tong L., Yue P., Yang Y., Huang J., Zeng Z., Qiu W. Motility and Mechanical Properties of Dendritic Cells Deteriorated by Extracellular Acidosis // *Inflammation*. 2021. Vol. 44 (2). P. 737–745. doi:10.1007/s10753-020-01373-z.
18. Mikolajczyk T. P., Szczepaniak P., Vidler F., Maffia P., Graham G. J., Guzik T. J. Role of inflammatory chemokines in hypertension // *Pharmacol Ther*. 2021. Vol. 223. doi:10.1016/j.pharmthera.2020.107799.

References

1. Kozyreva T. V., Eliseeva L. S., Tsoi L. V., Khramova G. M. Effect of rapid slight cooling of the skin in various phases of immunogenesis on the immune response. *Bulletin of experimental biology and medicine*, 2006, Vol. 142 (4), pp. 409–412.
2. Kozyreva T. V., Tkachenko E. Ya., Eliseeva L. S., Chramova G. M., Tuzikov F. V., Kozaruk V. P., Voronova I. P. Effect of Ca²⁺ on the thermoregulatory responses, plasma lipoproteins and immune response at the cold in normotensive and hypertensive and hypertensive rats. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2007, no. 4 (126), pp. 138–144.

3. Galvani M., Ferrini D., Ottani F. Natriuretic peptides for risk stratification of patients with acute coronary syndromes. *European Journal of Heart Failure*, 2004, Vol. 6 (3), pp. 327–333.
4. Smith J., Bos G., Esseveld M. R., Van Eijk H. G., Gerbrandy J. Acute-phase proteins from the liver and enzymes from myocardial infarction, a quantitative relationship. *Clinica Chimica Acta*, 1977, Vol. 81 (1), pp. 75–85. doi:10.1016/0009-8981(77)90415-6.
5. Shrejder E. V. et al. Prognostическое значение маркеров воспаления и NT-PROBNP при различных вариантах течения больных с острым коронарным синдромом. *Kardiologicheskij Vestnik*, 2008, vol. 3, no. 2 (15), pp. 44–53.
6. Makhoyeva M. Kh., Fedorova M. M., Avtandilov A. G., Semitko S. P., Dolgov V. V., Roiytman A. P. The dynamics and prognostic value of cerebral natriuretic peptide and C-reactive protein under acute cardiac infarction depending on tactic of treatment. *Clinical laboratory diagnostics*, 2014, no. 2, pp. 23–26.
7. Vanderheyden M., Bartunek J., Goethals M. Brain and other natriuretic peptides: molecular aspects. *European Journal of Heart Failure*, 2004, Vol. 6 (3), pp. 261–268.
8. Teodorovich N., Krakover R., Vered Z. B-type natriuretic peptide: a universal cardiac biomarker? *The Israel Medical Association Journal (IMAJ)*, 2008, Vol. 10 (2), pp. 152–153.
9. Dobrodeeva L. K., Samodova A. V., Balashova S. N., Pashinskaya K. O. Intercellular Interactions in Peripheral Venous Blood in Practically Healthy Residents of High Latitudes. *BioMed Research International*, 2021, Vol. 2021. doi: 10.1155/2021/7086108.
10. Kim L. B. *Oxygen transport during human adaptation to Arctic conditions and cardiorespiratory pathology*. Novosibirsk, Nauka, 2015, 216 p.
11. Dobrodeeva L. K., Samodova A. V., Karyakina O. E. Relationship between levels of brain natriuretic peptide in blood and immune response in subjects. *Human Physiology*, 2016, 42 (6): 678–686. (In Russ). doi: 10.7868/S0131164616050052.
12. Dobrodeeva L. K., Zubatkina I. S., Samodova A. V., Zubatkina O. V., Malachova M. Ya., Popov A. A. Immunometabolic Interrelations in Apparently Healthy Residents Arkhangelsk. *Bulletin of the Ural academic science*, 2014, No. 2, pp. 129–132.
13. Zubatkina O. V., Zubatkina I. S., Leikhter S. N., Popov A. A. Associations between plasma metabolites profile and ATP level of peripheral blood lymphocytes in residents of European North of Russia. *Bulletin of the Ural academic science*, 2014, No. 2, pp. 137–140.
14. Samodova A. V., Dobrodeeva L. K. Correlation of the Pool of Free Receptors of Adhesion Molecules and the Level of Activation of the Immune System among the Residents of Murmansk Oblast. *Human physiology*, 2019, vol. 45, no. 1, pp. 104–112.
15. Rahman I., Sánchez A. C., Davies J., Rzeniewicz K., Abukssem S., Joachim J., Hoskins Green H.L., Killock D., Sanz M.J., Charras G., Parsons M., Ivetic A. L-selectin regulates human neutrophil transendothelial migration. *Journal of Cell Science*, 2021, Vol. 134 (3). doi:10.1242/jcs.250340.
16. Kong L., Yang X. Study of Intercellular Adhesion Molecule-1 (ICAM-1) in Bone Homeostasis. *Curr Drug Targets*, 2020, Vol. 21 (4), pp. 328–337. doi:10.2174/1389450120666190927122553.
17. Tong L., Yue P., Yang Y., Huang J., Zeng Z., Qiu W. Motility and Mechanical Properties of Dendritic Cells Deteriorated by Extracellular Acidosis. *Inflammation*, 2021, Vol. 44 (2), pp. 737–745. doi:10.1007/s10753-020-01373-z.
18. Mikolajczyk T. P., Szczepaniak P., Vidler F., Maffia P., Graham G. J., Guzik T. J. Role of inflammatory chemokines in hypertension. *Pharmacol Ther.*, 2021, Vol. 223. doi:10.1016/j.pharmthera.2020.107799.

Информация об авторах

Лилия Константиновна Добродеева — dobrodeeva@ifpa.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6502>,

доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки, главный научный сотрудник;

Анна Васильевна Самодова — annapoletaeva2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9835-8083>,

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией;

Светлана Николаевна Балашова — <https://orcid.org/0000-0003-4828-6485>, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;

Ксения Олеговна Пашинская — <https://orcid.org/0000-0001-6774-4598>, младший научный сотрудник.

Information about the authors

Liliya K. Dobrodeeva — dobrodeeva@ifpa.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6502>, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Honored worker of science, Chief Researcher of Laboratory;

Anna V. Samodova — annapoletaeva2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9835-8083>, PhD (Biology), Leading Researcher, Head of Laboratory;

Svetlana N. Balashova — <https://orcid.org/0000-0003-4828-6485>, PhD (Biology), Senior Researcher of Laboratory;

Ksenia O. Pashinskaya — <https://orcid.org/0000-0001-6774-4598>, Junior Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 612.114:612.017.2:581.524.441
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.014

РИСК СРЫВА АДАПТАЦИОННЫХ ПЕРЕСТРОЕК И РАЗВИТИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ КАТАСТРОФ У ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И АРКТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Ксения Олеговна Пашинская^{1✉}, Анна Васильевна Самодова²,
Лилия Константиновна Добродеева³**

^{1–3}Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

¹nefksu@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-6774-4598>

²annapoletaeva2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9835-8083>

³dobrodeeva@ifpa.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6502>

Аннотация

В работе представлены критерии риска срыва адаптационных перестроек и развития сердечно-сосудистых катастроф у жителей Европейского Севера и Арктики РФ. Обследовано 980 человек в возрасте от 21 до 55 лет, из них 191 человек проживал на территории Арктики, за Северным полярным кругом (поселок Ревда и село Ловозеро Мурманской области). Группа сравнения включала 789 человек указанного возрастного диапазона, проживающих в Архангельской области. Установлено, что риск срыва адаптационных перестроек у жителей Арктики обусловлен отсутствием компенсаторной реакции нормализации липидного обмена при дефиците содержания ЛПВП-частиц и апоА-I-лиганда. Накопление продуктов метаболизма ОХС, ТГ, ЛПНП происходит с усилением цитотоксической активности лимфоцитов, продукции провоспалительных цитокинов и ассоциировано с риском развития сердечно-сосудистых катастроф у жителей Арктики РФ.

Ключевые слова:

ЛПВП, апоА-I, дислипидемия, цитотоксическая активность лимфоцитов, Арктика

Благодарности:

авторы выражают искреннюю благодарность доктору биологических наук, главному научному сотруднику Научно-исследовательского центра Медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике Кольского научного центра Российской академии наук Наталье Константиновне Белишевой за организацию экспедиций в Мурманскую область и на архипелаг Шпицберген.

Финансирование:

исследования проведены в ходе выполнения гранта Российского научного фонда № 22-25-20135 «Выявление иммунологических критериев риска сосудистых катастроф у лиц, работающих в Арктике».

Для цитирования:

Пашинская К. О., Самодова А. В., Добродеева Л. К. Риски срыва адаптационных перестроек и развития сердечно-сосудистых катастроф у жителей Европейского Севера и Арктики Российской Федерации // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 124–130. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.014.

Original article

THE RISK OF DISRUPTION OF ADAPTATION CHANGES AND THE DEVELOPMENT OF CARDIOVASCULAR DISASTERS IN RESIDENTS OF THE EUROPEAN NORTH AND THE ARCTIC OF THE RUSSIAN FEDERATION

Ksenia O. Pashinskaya^{1✉}, Anna V. Samodova², Liliya K. Dobrodeeva³

^{1–3}N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

¹nefksu@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-6774-4598>

²annapoletaeva2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9835-8083>

³dobrodeeva@ifpa.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6502>

Abstract

The paper presents the results on the risk criteria for disruption of adaptive restructuring and the development of cardiovascular disasters in residents of the European North and the Arctic of the Russian Federation. 980 people aged 21 to 55 years were examined, including 191 people living in the Arctic, beyond the Arctic Circle (the villages of Revda and Lovozero of the Murmansk region). The comparison group included 789 people of the specified age range living in the Arkhangelsk region. It has been established that the risk of disruption of adaptive rearrangements in Arctic residents is due to the absence of a compensatory reaction to normalize lipid metabolism with a deficiency in the content of HDL, ApoA-I ligand, the accumulation of metabolic products: cholesterol, triglycerides, LDL occurs with an increase in cytotoxic activity of lymphocytes, production of pro-inflammatory cytokines and is associated with the risk of cardiovascular disasters in Arctic residents of the Russian Federation.

Keywords:

HDL, ApoA-I, dyslipidemia, cytotoxic activity of lymphocytes, Arctic

Acknowledgments:

the authors express their sincere gratitude to Natalya Konstantinovna Belisheva, Doctor of Biological Sciences, chief researcher of the Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, for organizing expeditions to the Murmansk region and the Spitsbergen Archipelago.

Financing:

the research was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant No. 22-25-20135 "Identification of immunological criteria for the risk of vascular accidents in people working in the Arctic."

For citation:

Pashinskaya K. O., Samodova A. V., Dobrodeeva L. K. The risk of disruption of adaptation changes and the development of cardiovascular disasters in residents of the European North and the Arctic of the Russian Federation. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 124–130. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.014.

Введение

Перестройка липидного обмена у жителей Севера и Арктики может иметь адаптивную и дезадаптивную направленности. Дислипидемия с повышением содержания в крови общего холестерина (ОХС), триглицеридов (ТГ), липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) с отсутствием повышения липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) свидетельствует о формировании дезадаптации у пришлого населения Севера и Арктики и является основной причиной повышения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний [1]. Для коренного населения северных и арктических регионов, придерживающихся традиционного образа жизни и типа питания, характерна низкая распространенность дислипидемий с преобладанием антиатерогенных фракций, что, однако, установлено не повсеместно, и существуют этнические различия в соотношении липидтранспортных частиц [2–4]. Отмечено, что среди коренных жителей Арктики довольно часто регистрируется дислипидемия, свидетельствующая о хроническом напряжении организма и дестабилизации адаптационных перестроек в организме [5–9]. В условиях Севера и Арктики высокий риск развития сердечно-сосудистых катастроф сопровождается более выраженными изменениями липидного обмена по сравнению с умеренными и южными регионами РФ [10; 11].

Изменение состояния иммунного статуса в неблагоприятных условиях Севера и Арктики в том числе обуславливает риск срыва адаптационных перестроек. Нарушение регуляции иммунного гомеостаза создает угрозу срыва адаптационного процесса и определяет склонность к переходу острых воспалительных процессов в хронические. Развитие сердечно-сосудистых заболеваний происходит с участием иммунных механизмов [12; 13].

Целью работы является изучение взаимосвязи изменения параметров липидного обмена с состоянием иммунной системы и определение иммунологических критериев риска сосудистых катастроф у жителей Севера и Арктики европейской территории РФ.

Материал и методы

Обследовано 789 жителей Архангельской области и 191 житель Мурманской области трудоспособного возраста с 21 до 55 лет в зимний период (ноябрь-декабрь) 2017–2020 гг. На момент обследования все волонтеры не имели хронических и/или рецидивирующих заболеваний. Все исследования проводили с согласия волонтеров и с соблюдением норм биомедицинской этики в соответствии с документом «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов исследования» (Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации 1964 г., с изменениями и дополнениями на 2013 г.).

Анализ результатов проводили в зависимости от уровня содержания липидтранспортных частиц и их лигандов. Статистически значимые различия были установлены в зависимости от уровня содержания апоА-I-лиганда ЛПВП с формированием групп сравнения относительно Q1- и Q4-квартилей для жителей Европейского Севера и Арктики.

В периферической венозной крови определяли количество эритроцитов, уровень агрегации эритроцитов, общее содержание гемоглобина, тромбоцитов, лейкоцитов с 5-компонентной дифференциацией, фагоцитарную активность нейтрофилов, содержание фенотипов лимфоцитов (CD3+, CD4+, CD8+, CD10+, CD16+, CD25+, CD71+, HLA DR+, CD19+, CD95), цитокинов (TNF- α , IFN- γ , IL-6, IL-10), свободных форм рецепторов (sCD71, sCD62L, sApo-1/Fas, sFasL), иммуноглобулинов (IgM, IgG, IgA, IgE), циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК), а также параметры, характеризующие липидный обмен (ОХС, ТГ, ФС, ЛПНП, ЛПВП, апоВ, апоА-I, оЛПНП).

Эритроцитарные, тромбоцитарные, лейкоцитарные параметры крови определяли на гематологическом анализаторе XS-500i (Sysmex, Япония). В мазках крови, окрашенных по методу Романовского — Гимзе, методом микроскопии подсчитывали количество и соотношение клеток гемограммы и определяли уровень агрегации эритроцитов. Фагоцитарную активность нейтрофилов определяли после инкубации 100 мкл цитратной крови и равного количества реактива с латексом производства «Реакомплекс» при температуре 37 °С в течение 30 мин. У жителей Арктики содержание лимфоцитов изучали методом непрямой иммунопероксидазной реакции с использованием моноклональных антител в связи с проведением исследований в сложных экспедиционных климатогеографических условиях и методом проточной цитометрии — у жителей Европейского Севера. Полученные результаты фактически полностью соответствовали при сравнении двух методов фенотипирования лимфоцитов у жителей Европейского Севера. В сыворотке крови содержание цитокинов, свободных форм рецепторов внеклеточного пула, иммуноглобулинов и параметры липидного обмена определяли методом иммуноферментного анализа на автоматическом иммуноферментном анализаторе Evolis фирмы Bio-RAD с использованием диагностических наборов Bender MedSystems, AccBind Elisa Microwells, Biosource Europe S. A., AssayMax Human Haptoglobin, Seramun Diagnostica GmbH, Orgentec Diagnostica GmbH, Alere Cholestech LDX System, Biomedica Gruppe. Концентрацию ЦИК определяли в реакции преципитации с использованием различных концентраций ПЭГ-6000 (3,5; 4,0 и 7,5 %).

Статистический анализ результатов исследования проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel MX и SPSS Statistics 21.0. Распределение количественных величин анализируемых показателей и отличие от нормального распределения анализировали при помощи критериев Колмогорова — Смирнова и Шапиро — Уилка. Для показателей групп сравнения вычислялась одномерная описательная статистика. Числовые характеристики показателей представлены в виде среднего арифметического значения и стандартной ошибки среднего ($M \pm m$). Для сравнения между группами использовали независимый выборочный t-критерий Стьюдента и непараметрический U-критерий Манна — Уитни в условиях неподчинения нормальности распределения количественных данных. Критический уровень значимости (p) в работе принимался равным 0,05. По данным частоты регистрации повышенных и пониженных концентраций от нормативных пределов содержания рассчитывали уровень дисбалансов.

Результаты и обсуждение

У жителей Европейского Севера в 10,2 % установлено повышение уровня ЛПНП ($> 3,3$ ммоль/л) при содержании ЛПВП в пределах нормы (1,0–1,9 ммоль/л). У обследованных лиц выявлена высокая частота регистрации дефицита апоВ-лиганда ЛПНП и апоА-I-лиганда ЛПВП в 46,9 и 56,2 % соответственно. У жителей Европейского Севера наличие дислипидемии с повышением содержания в крови ЛПНП не сопровождается компенсаторным повышением концентраций ЛПВП, напротив, высокий уровень дефицита апоА-I-лиганда ЛПВП свидетельствует о нарушении функциональных свойств ЛПВП-частиц при модификации или замещении основного аполипопротеина, что подтверждается увеличением коэффициента атерогенности ($1,07 \pm 0,22$ и $0,39 \pm 0,02$, $p < 0,001$).

У лиц, проживающих на территории Европейского Севера, при дефиците апоА-I-лиганда ЛПВП ($< 97,4$ мг/дл) установлено снижение содержания натуральных киллеров ($0,25 \pm 0,02$ и $0,32 \pm 0,01 \times 10^9$ кл/л; $p < 0,05$), повышение содержания В-лимфоцитов ($0,58 \pm 0,04$ и $0,33 \pm 0,01 \times 10^9$ кл/л; $p < 0,01$) и противовоспалительного цитокина IL-10 ($8,58 \pm 0,97$ и $5,50 \pm 0,85$ пг/мл, $p < 0,05$), что

свидетельствует о развитии компенсаторной иммунной реакции. Активизация В-лимфоцитов направлена на связывание иммуноглобулинами, преимущественно IgM, эпитопов оЛПНП с предотвращением накопления продуктов метаболизма во внутрисосудистой среде [14; 15].

У жителей Арктики больше частота регистрации повышенного уровня ЛПНП в 24,9 %, снижение уровня ЛПВП установлено в 21,1 %. У обследованных лиц в условиях Арктики, также как у жителей Европейского Севера, установлен высокий уровень дефицита апоВ-лиганда ЛПНП, апоА-I-лиганда ЛПВП в 20,4 и 58,1 % соответственно.

У жителей Арктики отмечается более высокий уровень содержания триглицеридов в крови. В условиях гипертриглицеридемии возникает риск формирования безлигандных ЛПНП и обогащение триглицеридами ЛПВП-частиц [16]. Нарушении лиганд-рецепторного взаимодействия ЛПНП с клетками и функциональная дисфункция ЛПВП происходит при гипертриглицеридемии, а также при конкуренции со стороны малых по размерам протеинов с ЛПНП за места связывания и при конкурентном замещении апоА-I-лиганда ЛПВП малыми по размерам белками, белками острой фазы, компонентами системы комплемента [14; 17; 18].

У обследованных лиц, проживающих на территории Арктики, при дефиците содержания апоА-I-лиганда ЛПВП ($<90,0$ мг/дл) выше уровень содержания зрелых Т-лимфоцитов CD3+ ($0,68 \pm 0,06$ и $0,53 \pm 0,08 \times 10^9$ кл/л, $p < 0,05$), Т-хелперов CD4+ ($0,66 \pm 0,09$ и $0,51 \pm 0,04 \times 10^9$ кл/л, $p < 0,05$), цитотоксических лимфоцитов CD8+ ($0,65 \pm 0,09$ и $0,54 \pm 0,06 \times 10^9$ кл/л, $p < 0,05$), натуральных киллеров CD16+ ($0,77 \pm 0,08$ и $0,59 \pm 0,09 \times 10^9$ кл/л, $p < 0,01$), лимфоцитов с рецептором к трансферрину CD71+ ($0,81 \pm 0,05$ и $0,56 \pm 0,08 \times 10^9$ кл/л, $p < 0,05$).

Активизация иммунокомпетентных клеток преимущественно за счет цитотоксических лимфоцитов CD8+, натуральных киллеров CD16+ направлена на клиренс ЛПНП, оЛПНП за счет перфорин- и гранзим-зависимых механизмов цитотоксичности, однако обуславливает развитие воспалительной реакции за счет секреции провоспалительных цитокинов IFN- γ , IL-6, TNF- α [14; 19]. У жителей Арктики при дефиците апоА-I-лиганда ЛПВП снижение чрезмерного уровня содержания IFN- γ ($52,25 \pm 4,59$ и $71,74 \pm 4,92$ пг/мл, $p < 0,05$) происходит при увеличении концентраций противовоспалительного IL-10 ($21,78 \pm 0,88$ и $8,52 \pm 0,71$ пг/мл, $p < 0,05$).

Определение концентраций апоА-I и ЛПВП информативно для определения нарушения липидного обмена при срыве адаптационных перестроек организма. Повышение уровня ОХС, ЛПНП со снижением уровня ЛПВП свидетельствует о напряжении функционального состояния организма при действии неблагоприятных климатогеографических факторов. Нарушение липидного обмена также показано при работе в неблагоприятных условиях труда [20; 21].

В неблагоприятных климатогеографических условиях Арктики у мужчин с вахтовым режимом работы при определении содержания в крови цитотоксических лимфоцитов CD8+ более $0,40 \times 10^9$ кл/л, лимфоцитов с рецепторами к трансферрину CD71+ и антигенам гистосовместимости II класса HLA-DR менее $0,50 \times 10^9$ кл/л прогнозируют раннюю высокую вероятность развития сердечно-сосудистой патологии [12].

Повышенная активность цитотоксических лимфоцитов и натуральных киллеров характерна для жителей Арктики при проживании на территориях с неблагоприятными климатогеографическими условиями. Повышение цитотоксичности способствует усилению процессов повреждения тканей, разрушения клеток с увеличением компонентов во внутрисосудистой среде, требующих связывания и транспорта [14].

Усиление цитотоксической активности лимфоцитов происходит у людей с патологией системы кровообращения, болезнями органов дыхания и пищеварения [14]. Активация цитотоксических лимфоцитов и продукция ими провоспалительных цитокинов способствует развитию атеросклеротического поражения, образованию нестабильных бляшек [22].

Заключение

В экстремально неблагоприятных условиях Севера и Арктики снижение содержания апоА-I и ЛПВП обуславливает высокий риск срыва адаптационных перестроек в результате отсутствия компенсаторной реакции, направленной на нормализацию липидного обмена, с накоплением продуктов метаболизма ОХС, ТГ, ЛПНП.

У жителей Севера и Арктики риск развития сердечно-сосудистых катастроф ассоциируется с увеличением цитотоксической активности лимфоцитов и продукцией провоспалительных цитокинов, способствующих развитию воспаления и повреждения эндотелия.

Список источников

1. Роль дислипидемии в патогенезе сосудистых катастроф, среди населения Заполярья / Л. Н. Маслов [и др.] // Вестник РАМН. 2014. Т. 69, № 7–8. С. 133–136.
2. Севостьянова Е. В. Особенности липидного и углеводного метаболизма человека на Севере // Бюллетень сибирской медицины. 2013. Т. 12, № 1. С. 93–100.
3. Ефимова Л. П., Кудряшова В. Е. Показатели липидного обмена у аборигенов Севера Сибири // Гигиена окружающей и производственной среды. 2009. № 1 (30). С. 66–69.
4. Липидный профиль крови и особенности нарушений липидного обмена у коренных малочисленных народов Севера Якутии / Т. Е. Уварова [и др.] // Дальневосточный медицинский журнал. 2012. № 3. С. 85–88.
5. Гырколькау Л. А., Щербакова Л. В., Иванова М. В. Содержание липидов в крови и частота дислипидопротеинемий у коренных жителей Чукотки // Бюллетень СО РАМН. Профилактическая медицина. 2011. Т. 31, № 5. С. 79–83.
6. Сравнительная оценка частоты дислипидемии среди коренного населения Арктической зоны Якутии // Л. Д. Олесова [и др.] // Якутский медицинский журнал. 2018. № 2. С. 30–34.
7. Показатели липидного обмена у пришлых жителей Якутии в зависимости от сроков проживания / З. Н. Кривошапкина [и др.] // Якутский медицинский журнал. 2018. № 2. С. 28–30.
8. Сравнительный анализ биохимических показателей крови у жителей Ямало-Ненецкого автономного округа, проживающих на различных территориях / М. А. Буяк [и др.] // Здоровье населения и среда обитания. 2009. № 4. С. 17–19.
9. Особенности липидного спектра крови у разных групп жителей Европейского Севера / А. А. Коробицын [и др.] // Экология человека. 2000. № 1. С. 16–20.
10. Соломатина Л. В., Буганов А. А. Здоровье трудоспособного населения Ямало-Ненецкого автономного округа // Профилактика заболеваний и укрепление здоровья. 2007. № 5. С. 34–35.
11. Содержание в сыворотке крови аполипопротеинов А, В и параметров обмена липидов у жителей приполярных регионов Севера и южных регионов Кавказа / Ф. А. Бичкаева [и др.] // Клиническая лабораторная диагностика. 2013. № 1. С. 25–27.
12. Пат. 2 687 067 С1 Рос. Федерация. Способ раннего прогнозирования сердечно-сосудистой патологии у мужчин, работающих вахтовым методом в Арктическом регионе / Л. С. Щёголева [и др.]. 2019. 11 с.
13. Добродеева Л. К., Филиппова О. Е., Балашова С. Н. Соотношение содержания иммунокомпетентных клеток в регуляции иммунного статуса человека, проживающего на Севере // Вестник уральской медицинской академической науки. 2014. № 2 (48). С. 132–134.
14. Добродеева Л. К., Самодова А. В., Карякина О. Е. Взаимосвязи в системе иммунитета. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 198 с.
15. Sage A. P., Mallat Z. Readapting the adaptive immune response — therapeutic strategies for atherosclerosis // Br J Pharmacol. 2017. Vol. 174 (22). P. 3926–3939.
16. Гуцол Л. О., Егорова И. Э., Коршунова Е. Ю. Механизмы формирования дисфункции липопротеинов высокой плотности // Забайкальский медицинский вестник. 2019. № 4. С. 81.
17. Куликов В. А. Протеом липопротеинов высокой плотности // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2011. Т. 10, № 2. С. 6–11.
18. The application of proteomic techniques in the study of HDL particle characterization and biomarker discovery / E. Burillo [et al.] // The HDL Handbook (Third Edition): Biological Functions and Clinical Implications. 2017. P. 231–255.
19. Saito Y., Kondo H., Hojo Y. Gransim B as a novel factor involved in cardiovascular disease // J. Cardiol. 2011. Vol. 57, N. 2. P. 141–147.
20. Оценка влияния производственных факторов на состояние липидного обмена у промышленных рабочих / И. Д. Демина [и др.] // Лабораторная служба. 2012. № 2 С. 26–29.

21. Липидный и адипокиновый профиль у работников нефтеперерабатывающего предприятия / Е. Н. Лебедева [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 9 (184). С. 92–95.
22. Cytotoxic lymphocytes and atherosclerosis: significance, mechanisms and therapeutic challenges / Kyaw T. [et al.] // Br J Pharmacol. Vol. 174 (22). P. 3956–3972.

Reference

1. Maslov L. N., Vychuzhanova E. A., Gorbunov A. S., Tsubulnikov S. Yu. Rol' dislipidemii v patogeneze sosudistyh katastrof, sredi naseleniya Zapolyar'ya [Dyslipidemia in Pathogenesis of Vascular Events among Arctic Circle Population]. *Vestnik RAMN* [Annals of the Russian academy of medical sciences], 2014, Vol. 69 (7–8), pp. 133–136. (In Russ.).
2. Sevostyanova Ye. V. Osobennosti lipidnogo i uglevodnogo metabolizma cheloveka na Severe [Some features of human lipid and carbohydrate metabolism in the North]. *Byulleten' sibirskoy mediciny* [Bulletin of Siberian Medicine], 2013, Vol. 12 (1), pp. 93–100. (In Russ.).
3. Efimova L. P., Kudryashov V. E. Pokazateli lipidnogo obmena u aborigenov Severa Sibiri [Parameters of lipid metabolism in the native population of Siberia North]. *Gigiena okruzhayushchej i proizvodstvennoj sredy* [Hygiene of the surrounding and working environment], 2009, No. 1 (30), pp. 66–69. (In Russ.).
4. Uvarova T. E., Burtseva T. E., Safronova S. I., Efremova C. D., Golderova A.S. Lipidnyj profil' krovi i osobennosti narushenij lipidnogo obmena u korennyh malochislennyh narodov Severa Yakutii [The blood lipid profile and the lipid metabolism disorders to indigenous people of the Yakutia]. *Dal'nevostochnyj medicinskij zhurnal* [Far Eastern medical journal], 2012, No. 3, pp. 85–88. (In Russ.).
5. Gyrgolkau L. A., Shcherbakova L. V., Ivanova M. V. Soderzhanie lipidov v krovi i chastota dislipoproteinemij u korennyh zhitelej Chukotki [The content of lipids in the blood and the frequency of dyslipoproteinemia in the indigenous inhabitants of Chukotka]. *Byulleten' SO RAMN. Profilakticheskaya medicina* [The Siberian scientific medical journal], 2011, Vol. 31 (5), pp. 79–83. (In Russ.).
6. Olesova L. D., Mironova G. E., Krivoschapkina Z. N., Semenova E. I., Sofronova S. I., Yakovleva A. I., Efremova A. V., Konstantinova L. I., Okhlopko E. D. Sravnitel'naya ocenka chastoty dislipidemii sredi korennoho naseleniya Arkticheskoy zony Yakutii [The frequency of lipid metabolism disorders among the indigenous population of the Arctic of Yakutia]. *Yakutskij medicinskij zhurnal* [Yakut medical journal], 2018, No. 2, pp. 30–34. (In Russ.).
7. Krivoschapkina Z. N., Mironova G. E., Semenova E. I., Olesova L. D., Yakovleva A. I. Pokazateli lipidnogo obmena u prishlyh zhitelej Yakutii v zavisimosti ot strokov prozhivaniya [Lipid metabolism in the non-indigenous population of Yakutia depending on length of stay in the North]. *Yakutskij medicinskij zhurnal* [Yakut medical journal], 2018, No. 2, pp. 28–30. (In Russ.).
8. Buyak M. A., Buganov A. A., Lobanov A. A., Popov A. I., Mirdaleeva E. R. Sravnitel'nyj analiz biohimicheskikh pokazatelej krovi u zhitelej Yamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga, prozhivayushchih na razlichnyh territoriyah [Comparative analysis of biochemical blood parameters in residents of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug living in various territories]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Public health and life environment], 2009, No. 4, pp. 17–19. (In Russ.).
9. Korobitsyn A. A., Kononov E. I., Dvoryashina I. V., Arkhipovsky V. L., Karaseva N. G., Basova I. E., Tsentsiper M. B. Osobennosti lipidnogo spektra krovi u raznyh grupp zhitelej Evropejskogo Severa [Features of the blood lipid spectrum in different groups of residents of the European North]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology], 2000, No. 1, pp. 16–20. (In Russ.).
10. Solomatina L. V., Buganov A. A. Zdorov'e trudosposobnogo naseleniya Yamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga [Health of the able-bodied population of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]. *Profilaktika zabozevanij i ukreplenie zdorov'ya* [Disease prevention and health promotion], 2007, No. 5, pp. 34–35. (In Russ.).
11. Bitchkayeva F. A., Kokoyev T. I., Djyoyeva Tz. G., Djabiyeva Z. A., Volkova N. I., Tretyakova T. V., Vlasova O. S. Soderzhanie v syvorotke krovi apolipoproteinov A, V i parametrov obmena lipidov u zhitelej pripolyarnykh regionov Severa i yuzhnykh regionov Kavkaza [The content of apolipoproteins in blood and parameters of lipid metabolism in population of North Polar regions and Southern regions of Caucasus]. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika], 2013, No. 1, pp. 25–27. (In Russ.).

12. Shchegoleva L. S., Nekrasova M. V., Filippova O. E., Bobrov V. A. *Sposob rannego prognozirovaniya serdechno-sosudistoj patologii u muzhchin, rabotayushchih vahtovym metodom v Arkticheskom regione. Patent RU 2 687 067 C1* [Method of early prediction of cardiovascular pathology in men working on a shift basis in the Arctic region. Patent for invention RU 2 687 067 C1], 2019, 11 p. (In Russ.).
13. Dobrodeeva L. K., Filippova O. E., Balashova S. N. Sootnoshenie sodержaniya immunokompetentnyh kletok v regulyacii immunnogo statusa cheloveka, prozhivayushchego na Severe [The content ratio of immunocompetent cells in the regulation of the immune status of a person living in the North]. *Vestnik Ural'skoj medicinskoj akademicheskoy nauki* [Journal of Ural medical academic science], 2014, No. 2 (48), pp. 132–134. (In Russ.).
14. Dobrodeeva L. K., Samodova A. V., Karyakina O. E. *Vzaimosvyazi v sisteme immuniteta* [Interrelations in the immune system]. Ekaterinburg, RIO UrO RAN [Ekaterinburg, Publishing House Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2014, 198 p. (In Russ.).
15. Sage A. P., Mallat Z. Readapting the adaptive immune response — therapeutic strategies for atherosclerosis. *Br J Pharmacol*, 2017, Vol. 174 (22), pp. 3926–3939.
16. Gutsol L. O., Egorova I. E., Korshunova E. Yu. Mekhanizmy formirovaniya disfunkcii lipoproteinov vysokoj plotnosti [Mechanism of formation of high density lipoproteins dysfunction (message 1)]. *Zabajkal'skij medicinskij vestnik* [Transbaikalian medical bulletin], 2019, No. 3, pp. 72–81. (In Russ.).
17. Kulikov V. A. Proteom lipoproteinov vysokoj plotnosti [Proteome of high-density lipoproteins]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta* [Vitebsk medical journal], 2011, Vol. 10 (2), pp. 6–11. (In Russ.).
18. Burillo E. Jorge I., López D. M. Camafeita E. The application of proteomic techniques in the study of HDL particle characterization and biomarker discovery. *The HDL Handbook (Third Edition): Biological Functions and Clinical Implications*, 2017, pp. 231–255.
19. Saito Y., Kondo H., Hojo Y. Gransim B as a novel factor involved in cardiovascular disease. *J. Cardiol.*, 2011, Vol. 57, No. 2, pp. 141–147.
20. Demina I. D., Yukhananova L. M., Fedina I. N., Serebryakov P.V. Ocenka vliyaniya proizvodstvennyh faktorov na sostoyanie lipidnogo obmena u promyshlennyh rabochih [Evaluation of the influence of production factors on lipid metabolism in industrial workers]. *Laboratornaya sluzhba* [Laboratory Service], 2012, No. 2, pp. 26–29. (In Russ.).
21. Lebedeva E. N., Krasikov S. I., Sharapova N. V., Setko N. P., Zakharov A. A. Lipidnyj i adipokinovyj profil' u rabotnikov neftepererabatyvayushchego predpriyatiya [Lipid and adipokine profile in oil refinery workers]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State University], 2015, No. 9 (184), pp. 92–95. (In Russ.).
22. Kyaw T., Peter K., Li Y., Tipping P., Toh B. H., Bobik A. Cytotoxic lymphocytes and atherosclerosis: significance, mechanisms and therapeutic challenges. *Br J Pharmacol*, Vol. 174 (22), pp. 3956–3972.

Информация об авторах

К. О. Пашинская — младший научный сотрудник;

А. В. Самодова — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая;

Л. К. Добродеева — доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки, главный научный сотрудник, директор.

Information about the authors

K. O. Pashinskaya — Junior Researcher;

A. V. Samodova — PhD (Biology), Leading Researcher, Head of Laboratory;

L. K. Dobrodeeva — Dr. Sci. (Medicine), Professor, Honored worker of science, Chief Researcher, Director.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 612.017.1(470.21)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.015

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМНЫХ И МЕСТНЫХ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ У КОЛЬСКИХ СААМОВ И РУССКИХ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ

**Любовь Васильевна Губкина^{1✉}, Анна Васильевна Самодова²,
Лилия Константиновна Добродеева³**

^{1–3}Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика
Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

¹wasillisa@list.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-3026-9540>

²annapoletaeva2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9835-8083>

³dobrodeeva@ifpa.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3211-7716>

Аннотация

Изучены особенности системных и местных иммунных реакций у кольских саамов и русских, проживающих на Крайнем Севере. Установлено снижение общего числа клеток лейкоцитарного ряда у саамов, связанного с высокой частой регистрацией лейкопении, лимфопении, нейтропении. Выявлен дефицит фагоцитарной активности нейтрофилов в крови и секретах слизистых оболочек, увеличение содержания лимфоцитов с рецепторами CD4+ и CD8+. У русских жителей чаще регистрировали лейкоцитоз, лимфоцитоз, нейтрофилез, моноцитоз и эозинофилию с повышением содержания натуральных киллеров, IL-6 и IL-10. Для саамов и русских характерны высокие уровни содержания IgE, обладающих более выраженной цитотоксичностью и свидетельствующих о напряжении иммунных механизмов. У саамов более высокие уровни миграции лейкоцитов в мукозо-ассоциированную ткань слизистых оболочек, что связано со снижением сорбционной способности эпителиоцитов, фагоцитарной активности нейтрофилов и концентраций секреторных иммуноглобулинов.

Ключевые слова:

фагоцитоз, NK-клетки, цитокины, IgE, сорбционная способность эпителиоцитов, саамы, Крайний Север

Благодарности:

авторы выражают искреннюю благодарность Наталье Ивановне Белишевой, доктору биологических наук, главному научному сотруднику Научного центра медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике Кольского научного центра Российской академии наук, за организацию экспедиции в поселок Ревда и село Ловозеро Мурманской области. Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук «Механизмы взаимодействия системных и местных иммунных реакций у лиц, работающих в арктических условиях (Баренцбург, Шпицбергенская арка, поселки Ревда и Ловозеро Мурманской области)» (номер государственной регистрации: 122011800217-9).

Для цитирования:

Губкина Л. В., Самодова А. В., Добродеева Л. К. Особенности системных и местных иммунных реакций у кольских саамов и русских, проживающих на Крайнем Севере // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 131–136. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.015.

Original article

FEATURES OF SYSTEMIC AND LOCAL IMMUNE REACTIONS IN THE KOLA SAMIS AND RUSSIANS LIVING IN THE FAR NORTH

Lyubov V. Gubkina^{1✉}, Anna V. Samodova², Liliya K. Dobrodeeva³

^{1–3}N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, Arkhangelsk, Russia

¹wasillisa@list.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-3026-9540>

²annapoletaeva2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9835-8083>

³dobrodeeva@ifpa.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3211-7716>

Abstract

The features of systemic and local immune reactions in the Kola Sami and Russians living in the Far North were studied. A decrease in the total number of leukocyte cells in the Sami was established, associated with frequent registration of leukopenia, lymphopenia, and neutropenia. A deficiency in the phagocytic activity of neutrophils in the blood and secretions of the mucous membranes and an increase in the content of lymphocytes

with CD4+ and CD8+ receptors were revealed. In Russian residents, leukocytosis, lymphocytosis, neutrophilia, monocytosis and eosinophilia were more often recorded with an increase in the content of natural killer cells, IL-6 and IL-10. The Sami and Russians are characterized by high levels of IgE, which have more pronounced cytotoxicity and indicate strain on the immune mechanisms. The Sami have higher levels of leukocyte migration into mucosal-associated tissue of the mucous membranes, which is associated with a decrease in the sorption capacity of epithelial cells, the phagocytic activity of neutrophils and the concentrations of secretory immunoglobulins.

Keywords:

phagocytosis, NK-cells, cytokines, IgE, sorption capacity of epithelial cells, Sami, Far North

Acknowledgments:

the authors express their sincere gratitude to Natalya Belisheva, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher at the Research Center of Medico-Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, for organizing the expedition to Revda settlement and Lovozero village. Lovozero, Murmansk Region. The work was carried out within the framework of the program of fundamental scientific research of the FCIAR UrO RAS, "Mechanisms of interaction between systemic and local immune reactions in persons working in Arctic conditions (Barentsburg, Spitsbergen Arch, Revda and Lovozero settlements, Murmansk region)" (state registration number: 122011800217-9).

For citation:

Gubkina L. V., Samodova A. V., Dobrodeeva L. K. Features of systemic and local immune reactions in the Kola samis and Russians living in the Far North. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 131–136. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.015.

Введение

Саамы, являясь малочисленным народом Российской Федерации, преимущественно проживают на территории Мурманской области. Половина всех кольских саамов проживает в с. Ловозеро. В последние десятилетия [1–3] существенно снизилось употребление саамами натуральных северных продуктов и увеличился объем пищи, содержащей углеводы. Следствием такого характера питания является нарушение баланса макро- или микроэлементов, что ведет к развитию клинических признаков иммунной недостаточности [4; 5]. Частота встречаемости заболеваний ОРВИ среди кольских саамов гораздо выше, чем у других жителей Мурманской области [6–8], что способствует снижению общего состояния иммунитета и проблемам со здоровьем. В пос. Ревда Мурманской области проживает в основном русское население. Территории с. Ловозеро и пос. Ревда Мурманской области находятся за полярным кругом и относятся к экстремально-дискомфортной климатической зоне [9–11].

Целью работы было выявить особенности системных и местных иммунных реакций кольских саамов и русских, проживающих на Крайнем Севере (Мурманской области).

Материалы и методы

Проведено обследование 67 саамов (40 женщин и 27 мужчин), проживающих в с. Ловозеро, и 81 русского жителя (56 женщин и 25 мужчин) пос. Ревда Мурманской области в возрасте 21–55 лет. Все исследования проводились с согласия волонтеров и в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований (2000 г.). Сбор крови производился из локтевой вены натощак в утренние часы. Комплекс иммунологического исследования включал изучение гемограммы, фагоцитарной активности нейтрофилов, определение содержания лимфоцитов с фенотипами CD4, CD8, CD16 методами непрямой иммунопероксидазной реакции и проточной цитометрии с помощью аппарата Epics XL фирмы Beckman Coulter (США), концентрации IL-6, IL-10, IgA, M, G, E, sCD54 и sCD62L методом иммуноферментного анализа на автоматическом иммуноферментном анализаторе Evolis фирмы Bio-RAD (Германия), циркулирующих иммунных комплексов методом преципитации с использованием 3,5; 4,0; 7,5 % ПЭГ-6000. В утренней слюне определяли содержание sIgA. Сорбционную способность клеток эпителия изучали в мазках отделяемого слизистых оболочек зева по среднему числу адсорбированных микроорганизмов в расчете на 100 клеток, в последующем анализ материала проводили с учетом активности сорбированных микроорганизмов: <10, <50 и >100.

Статистическую обработку полученных данных проводили с применением пакета прикладных программ Statistica 21.0 (StatSoft Inc., США). Результаты представлены в качестве средней арифметической величины и ошибки средней ($M \pm m$). Был рассчитан независимый выборочный t-критерий и коэффициент корреляции Пирсона. Критический уровень значимости (p) равен 0,05.

Результаты и обсуждение

Установлено, что содержание лейкоцитов, лимфоцитов, нейтрофилов (палочкоядерных и сегментоядерных), моноцитов и эозинофилов в венозной крови у обследованных саамов с. Ловозеро находится в пределах физиологических значений, но значительно ниже, чем в группе русских жителей пос. Ревда (табл. 1).

Таблица 1

Показатели клеточного состава венозной крови у саамов
и русских жителей Мурманской области ($M \pm m$)

Параметр	Русские	Саамы
Лейкоциты, 10^9 кл/л	$8,17 \pm 0,47$	$5,71 \pm 0,22^{***}$
Лимфоциты, 10^9 кл/л	$2,8 \pm 0,47$	$2,15 \pm 0,10^{**}$
Нейтрофилы, 10^9 кл/л	$4,62 \pm 0,33$	$3,07 \pm 0,14^{***}$
Палочкоядерные нейтрофилы, 10^9 кл/л	$0,41 \pm 0,05$	$0,25 \pm 0,02^{**}$
Сегментоядерные нейтрофилы, 10^9 кл/л	$3,95 \pm 0,27$	$2,82 \pm 0,13^{***}$
Моноциты, 10^9 кл/л	$0,74 \pm 0,07$	$0,35 \pm 0,03^{**}$
Эозинофилы, 10^9 кл/л	$0,24 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,01^{***}$
Базофилы, 10^9 кл/л	$0,18 \pm 0,06$	—

Примечание. ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ — значимость различий при сравнении результатов.

У саамов чаще регистрировали лейкопению ($13,43 \pm 0,54$ % у саамов и $7,41 \pm 0,33$ % у жителей пос. Ревда), лимфопению ($23,88 \pm 0,73$ и $17,28 \pm 0,51$ %), нейтропению ($19,40 \pm 0,65$ и $3,70 \pm 0,24$ %). У русских жителей пос. Ревда в 4,14 раз чаще регистрировали лейкоцитоз ($30,86 \pm 0,68$ против $7,46 \pm 0,41$ %), в 4,41 раза — лимфоцитоз ($19,75 \pm 0,55$ против $4,48 \pm 0,31$ %), в 7,72 раза — нейтрофилез ($34,57 \pm 0,72$ против $4,48 \pm 0,31$ %), в 4,14 раз — моноцитоз ($49,38 \pm 0,86$ против $11,94 \pm 0,51$ %), в 3,64 раз — эозинофилию ($27,16 \pm 0,64$ против $7,46 \pm 0,41$ %). Снижение числа клеток лейкоцитарного ряда в кровяном русле может свидетельствовать о миграции их в пристеночный пул и переходе в ткани к месту воспаления. Дефицит активных фагоцитов крови также чаще встречался у коренного населения ($55,22 \pm 1,10$ против $39,51 \pm 0,77$ %; $p < 0,01$).

У саамов значительно выше концентрации свободных межклеточных молекул адгезии sCD54 ($435,03 \pm 44,42$ и $202,23 \pm 18,92$ нг/мл, $p < 0,001$) и sL-селектина ($21,41 \pm 1,21$ и $8,57 \pm 0,79$ нг/мл; $p < 0,001$ соответственно), что подтверждается частотой регистрации повышенных значений sCD54 (>215 нг/мл) и sCD62L (>9 нг/мл) у ($88,06 \pm 1,39$) и ($97,01 \pm 1,46$) % обследованных коренных жителей против ($30,86 \pm 0,68$) и ($37,04 \pm 0,75$) % русских. Молекулы межклеточной адгезии sCD54 и sCD62L способствуют процессу миграции лейкоцитов из кровотока в ткани к очагу воспаления, развитию иммунных реакций, обеспечивают ролинг лейкоцитов крови по эндотелию, в процессе которого активируются $\beta 2$ -интегрины, обуславливающие устойчивую адгезию лейкоцитов к эндотелию [12].

Содержание Т-хелперов CD4+ ($0,71 \pm 0,07$ и $0,56 \pm 0,05 \times 10^9$ кл/л соответственно, $p < 0,05$) и цитотоксических Т-лимфоцитов CD8+ ($0,70 \pm 0,06$ и $0,57 \pm 0,04 \times 10^9$ кл/л соответственно, $p < 0,05$) выше в группе саамов. Напротив, содержание натуральных киллеров CD16+ выше у русских жителей пос. Ревда ($0,70 \pm 0,09$ и $0,45 \pm 0,04 \times 10^9$ кл/л; $p < 0,01$), что свидетельствует об активизации антителозависимой клеточной цитотоксичности, что может быть следствием частых респираторных инфекций среди аборигенного населения Мурманской области [6].

У обследованных групп установлены существенные различия в содержании IgA и IgM в периферической венозной крови. Так, средние концентрации IgA и IgM у саамов значительно ниже ($1,61 \pm 0,07$ против $6,76 \pm 0,32$ г/л, $p < 0,001$) и ($1,24 \pm 0,06$ и $2,74 \pm 0,11$ г/л, $p < 0,001$) соответственно, что подтверждается частотой регистрации пониженных уровней у $77,61 \pm 1,31$ и $65,67 \pm 1,20$ % обследованных. Напротив, у жителей пос. Ревда довольно часто регистрировали высокие концентрации IgA и M в $76,54 \pm 1,07$ и $83,95 \pm 1,13$ % случаев соответственно. Концентрация IgG у саамов и русских находится за пределами нижней границы нормы ($5,54 \pm 0,39$ и $6,19 \pm 0,35$ г/л); дефицит их содержания (< 7 г/л) установлен в обеих группах в $74,62 \pm 1,28$ и $55,60 \pm 0,92$ % соответственно.

У обследованных русских жителей Крайнего Севера установлены повышенные уровни содержания IgA и IgM, пониженные концентрации IgG, что может свидетельствовать о недостаточности переключения синтеза IgM на IgG. У кольских саамов низкие уровни содержания IgA, sIgA, IgM, IgG подтверждают недостаточный уровень иммуноглобулинового транспорта.

Повышенные концентрации IgE установлены у 25,37 % коренных жителей и 37,16 % русских; среднее содержание IgE практически не отличается в двух сравниваемых группах ($110,06 \pm 29,20$ и $113,54 \pm 17,68$ Ме/мл соответственно). Реагины выполняют защитную роль, а процесс IgE-реагирования осуществляется гораздо быстрее, в отличие от других классов Ig, они имеют более интенсивный, преимущественно цитотоксический механизм защиты [12].

В периферической венозной крови саамов регистрировали более высокое содержание мелких ЦИК (IgG), что подтверждается регистрацией повышенных концентраций циркулирующих иммунных комплексов с IgG ($>3,6$ г/л) в 98,51 % случаев. Концентрации крупных ЦИК IgA и средних ЦИК IgM в обследованной группе ниже, чем в группе сравнения. Функциональная значимость ЦИК заключается в стимулировании развития иммунного ответа организма. Повышенные концентрации мелких ЦИК в венозной крови могут быть связаны с увеличенным периодом полураспада иммуноглобулина G и сохранением его в кровотоке, что приводит к накоплению IgG в различных органах и тканях и развитию воспалительного процесса в местах их отложения [13].

У русских жителей Крайнего Севера выявлено преобладание антителозависимой клеточной цитотоксичности, что связано с повышенным уровнем натуральных киллеров в венозной крови. Такая реакция организма установлена на фоне более высоких концентраций IL-6 и IL-10. В группе русских жителей выше содержание провоспалительного цитокина IL-6 ($4,00 \pm 0,44$ у русских и $2,87 \pm 0,57$ пг/мл у саамов; $p < 0,05$) и противовоспалительного IL-10 ($16,48 \pm 5,51$ и $12,58 \pm 7,54$ пг/мл, $p < 0,05$ соответственно).

При анализе цитограммы отделяемого слизистых оболочек зева у саамов отмечается более высокое относительное содержание нейтрофилов, моноцитов, лимфоцитов и лимфоретикулярных клеток, что свидетельствует о более активной миграционной способности лейкоцитов в ткани (табл. 2).

Таблица 2

Цитограмма и показатели функциональной активности клеток в отделяемом слизистой оболочки зева у саамов и русских, $M \pm m$

Параметр	Саамы	Русские
Сорбционная способность эпителиоцитов, количество на клетку	$35,0 \pm 6,87$	$45,88 \pm 8,47^{**}$
Частота регистрации дефицита сорбционной способности эпителия (<100 бактерий на клетку)	$86,67 \pm 1,87$	$86,0 \pm 1,85$
Активные нейтрофильные фагоциты, %	$54,77 \pm 1,34$	$50,12 \pm 1,62^*$
Частота регистрации дефицита активных нейтрофильных фагоцитов (<50 %)	$18,37 \pm 0,87$	$12,0 \pm 0,69$
sIgA, г/л	$0,68 \pm 0,04$	$0,63 \pm 0,03$
Нейтрофилы, %	$10,18 \pm 2,29$	$3,71 \pm 0,58^{***}$
Лимфоциты, %	$13,64 \pm 1,03$	$3,35 \pm 0,51^{***}$
Лимфоретикулярные клетки, %	$17,18 \pm 1,19$	$3,94 \pm 0,91^{***}$
Макрофаги, %	$3,73 \pm 0,45$	$1,24 \pm 0,14^{**}$

Примечание. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ — статистическая значимость различий значений при сравнении с показателями слизистых оболочек у русских.

У саамов чаще регистрируется дефицит активных нейтрофильных фагоцитов в отделяемых слизистых оболочках. И у саамов, и у русских зафиксированы дефицит содержания sIgA и одинаковая высокая степень выраженности дефицита сорбционной способности эпителия. У саамов выше уровни миграции лейкоцитов в мукозо-ассоциированную ткань слизистых оболочек, что взаимосвязано со снижением сорбционной способности эпителиоцитов, фагоцитарной активности нейтрофилов и секреторных иммуноглобулинов.

Заключение

Таким образом, для кольских саамов характерны дефицит активных фагоцитов и концентрации сывороточного IgA и sIgA на фоне увеличения содержания цитотоксических лимфоцитов, молекул межклеточной адгезии. Миграции лейкоцитов в мукозо-ассоциированную ткань слизистых оболочек выше у саамов, что связано со снижением сорбционной способности эпителиоцитов, фагоцитарной активности фагоцитов и концентраций секреторных иммуноглобулинов. У русских жителей Крайнего Севера отмечается усиление антителозависимой цитотоксичности с участием IL-6 и IL-10.

Список источников

1. Козлов А. И. Пища людей. Фрязино: Век-2, 2005. 269 с.
2. Kozlov A., Vershubsky G., Kozlova M. Indigenous peoples of Northern Russia: Anthropology and health // Intern. Journal of Circumpol. Health. 2007. Vol 1. P. 184. <http://doi.org/10.1080/22423982.2007.11864604>.
3. Робинсон М. П., Кассам К.-А. С. Саамская картошка: Жизнь среди оленей во время перестройки. М., 2000. 129 с.
4. Манчук В. Т. Состояние и тенденции формирования здоровья коренного населения Севера и Сибири // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук, 2010. № 30 (3), С. 24–32.
5. Палюшкевич А. С. Метаболические нарушения у представителей коренных малочисленных народов Севера в условиях урбанизации и их профилактика: автореф. ... канд. мед. наук. Тюмень, 2019, 22 с.
6. Захарова Т. Г., Петрова М. М., Кашина М. А. Здоровье женщин малочисленных коренных народов Крайнего Севера в зависимости от уклада жизни // Профилактическая медицина. 2012. № 15 (3). С. 40–42.
7. Самодова А. В., Добродеева Л. К., Балашова С. Н., Пашинская К. О. Особенности иммунологической реактивности у женщин-саамов // Экология человека. 2022. № 29 (9). С. 673–683. <https://doi.org/10.17816/humeco105563>.
8. Самодова А. В., Цыпышева О. Б. Соотношение внеклеточного пула рецепторов и уровня иммунных реакций у людей, проживающих в условиях Заполярья // Экология человека. 2015. № 12. С. 21–28. <https://doi.org/10.17816/humeco16961>.
9. Balashova S. N., Samodova A. V., Dobrodeeva L.K., Belisheva N.K. (2020). Hematological reactions in the inhabitants of the Arctic on a polar night and a polar day. Immunity, Inflammation and Disease, Vol. 8 (3), pp. 415-422. doi:10.1002/iid3.323. <http://doi.org/10.1002/iid3.323>.
10. Dobrodeeva L. K., Samodova A. V., Balashova S. N., Pashinskaya K. O. Intercellular Interactions in Peripheral Venous Blood in Practically Healthy Residents of High Latitudes // BioMed Research International. 2021. Номер статьи 7086108. 11. <http://doi.org/10.1155/2021/7086108>.
11. Rahman I., Collado Sánchez A., Davies J., Rzeniewicz K., Abukssem S., Joachim J., Hoskins Green H. L., Killock D., Sanz M. J., Charras G., Parsons M., Ivetic A. L-selectin regulates human neutrophil transendothelial migration // J. Cell Sci. 2021. Vol. 134 (3): jcs250340. <https://doi.org/10.1242/jcs.250340>.
12. Умрюхин А. Е. Антитела в механизмах вегетативных и поведенческих функций организма // Фунд. исслед. 2013. № 3 (2). С. 425–430.
13. Каштальян О. А., Ушакова Л. Ю. Цитокины как универсальная система регуляции // Медицинские новости. 2017. № 9. С. 3–7.

References

1. Kozlov A. I. *The Food of Men*. Fryazino, Vek-2, 2005, 269 p. (In Russ.).
2. Kozlov A., Vershubsky G., Kozlova M. Indigenous peoples of Northern Russia. *Anthropology and health. Intern. Assoc. Circumpol. Health Publ., Circumpolar Health Supplement*, 2007, No 1, pp. 184. <http://doi.org/10.1080/22423982.2007.11864604>.
3. Robinson M. P., Kassam K.-A. S. *The Saami Potato: Life Among Reindeer During Perestroika*. Moscow, 2000, 129 p. (In Russ.).

4. Munchuk V. T., Nadtochiy L. A. State and trends of health formation of the indigenous population of the North and Siberia. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2010, Vol. 30, No 3, pp. 24–32. (In Russ.).
5. Paliushkevich A. S. Metabolic disorders in representatives of small indigenous peoples of the North in conditions of urbanization and their prevention. PhD (Medicine) thesis abstract. Tyumen, 2019, 22 p. (In Russ.).
6. Zakharova T. G., Petrova M. M., Kashina M. A. Health of women of small indigenous peoples of the Far North depending on the way of life. *Preventive Medicine*, 2012, Vol. 15, No 3, pp. 40–42. (In Russ.).
7. Samodova A. V., Dobrodeeva L. K., Balashova S. N., Pashinskaya K. O. Peculiarities of immunological reactivity in Saami women. *Human Ecology*, 2022, Vol. 29, No 9, pp. 673–683. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/humeco105563>.
8. Samodova A. V., Tsypysheva O. B. The ratio of extracellular receptor pool and the level of immune responses in people living in the Polar region. *Human Ecology*, 2015, No 12, pp. 21–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/humeco16961>.
9. Balashova S. N., Samodova A. V., Dobrodeeva L. K., Belisheva N. K. Hematological reactions in the inhabitants of the Arctic on a polar night and a polar day. *Immunity, Inflammation and Disease*, 2020, Vol. 8, No 3, pp. 415–422. <http://doi.org/10.1002/iid3.323>.
10. Dobrodeeva L. K., Samodova A. V., Balashova S. N., Pashinskaya K. O. Intercellular Interactions in Peripheral Venous Blood in Practically Healthy Residents of High Latitudes. *BioMed Research International*, 2021. Vol. 2021. ID article 7086108. <http://doi.org/10.1155/2021/7086108>.
11. Rahman I., Collado Sánchez A., Davies J., Rzeniewicz K., Abukssem S., Joachim J., Hoskins Green H. L., Killock D., Sanz M. J., Charras G., Parsons M., Ivetic A. L-selectin regulates human neutrophil transendothelial migration. *J. Cell Sci.*, 2021, Vol. 134, No 3: jcs250340. <https://doi.org/10.1242/jcs.250340>.
12. Umryukhin A. E. Antibodies in the mechanisms of autonomic and behavioral functions of the organism. *Fundamental of Investigations*, 2013, Vol. 3, No. 2, pp. 425–430. (In Russ.).
13. Kashtalyan O. A., Ushakova L. Y. Cytokines as a universal regulatory system. *Medical News*, 2017, No. 9, pp. 3–7. (In Russ.).

Информация об авторах

Л. В. Губкина — кандидат биологических наук, научный сотрудник;

А. В. Самодова — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией;

Л. К. Добродеева — доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, директор института.

Information about the authors

L. V. Gubkina — PhD (Biology), Researcher;

A. V. Samodova — PhD (Biology), Leading Researcher, Head of the laboratory;

L. K. Dobrodeeva — Dr. Sci. (Medicine), Professor, Chief Researcher, Director.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.

The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 612.017.2
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.016

АДАПТИВНЫЕ И ДИЗАДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА У ПРЕДСТАВИТЕЛЬНИЦ КОРЕННОГО ЭТНОСА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

А. С. Лесная^{1✉}, М. А. Даренская,² Н. В. Семёнова³, Л. И. Колесникова⁴

^{1–4}Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека, Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анастасия Сергеевна Лесная, tasi121212@mail.ru[✉]

Аннотация

В статье представлены результаты исследования процессов перекисного окисления липидов — антиоксидантной защиты у девушек и женщин, представителей европеоидов и монголоидов, страдающих сахарным диабетом 1-го типа. Показано, что при наличии сахарного диабета 1-го типа девушки и женщины — монголоиды имеют более низкую интенсивность процессов липопероксидации и более высокую активность антиоксидантной системы по сравнению с девушками и женщинами — европеоидами. Выявленные этнические различия метаболизма при сахарном диабете 1-го типа предполагают проявление адаптационных возможностей у коренного населения Сибири (монголоидов) и развитие дизадаптации у пришлого населения (европеоидов).

Ключевые слова:

сахарный диабет, адаптация, дизадаптация, этнос, окислительный стресс

Финансирование:

исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ (№ НШ-3382.2022.1.4).

Для цитирования:

Лесная А. С., Даренская М. А., Семёнова Н. В., Колесникова Л. И. Адаптивные и дизадаптивные реакции организма у представительниц коренного этноса Восточной Сибири // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 137–145. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.016.

Original article

ADAPTIVE AND DISADAPTIVE REACTIONS OF THE BODY IN REPRESENTATIVES OF THE INDIGENOUS ETHNIC GROUP OF EASTERN SIBERIA

Anastasia S. Lesnaya^{1✉}, Marina A. Darinskaya², Natalya V. Semenova³, Lyubov I. Kolesnikova⁴

^{1–4}Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Anastasia S. Lesnaya, tasi121212@mail.ru[✉]

Abstract

The article presents the results of a study of the processes of lipid peroxidation – antioxidant protection in girls and women, representatives of Caucasians and Mongoloids suffering from type 1 diabetes. It has been shown that in the presence of type 1 diabetes mellitus, Mongoloid girls and women have a lower intensity of lipoperoxidation processes and a higher activity of the antioxidant system compared to Caucasian girls and women. The revealed ethnic differences in metabolism in type 1 diabetes suggest the manifestation of adaptive capabilities in the indigenous population of Siberia (Mongoloids) and the development of disadaptation in the alien population (Caucasians).

Keywords:

diabetes mellitus, adaptation, disadaptation, ethnicity, oxidative stress

Funding:

the study was carried out with the financial support of the Presidential Grants Council of the Russian Federation (№ NSH-3382.2022.1.4).

For citation:

Lesnaya A. S., Darinskaya M. A., Semenova N. V., Kolesnikova L. I. Adaptive and disadaptive reactions of the body in representatives of the indigenous ethnic group of Eastern Siberia. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 137–145. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.016.

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, в последние годы увеличилось количество летальных исходов от сахарного диабета, который является одной из ведущих причин смерти в мире. Причины развития сахарного диабета 1-го типа (СД1) до сих пор остаются неизвестными, а меры профилактики не разработаны. При этом общепризнанным патогенетическим механизмом СД1 является окислительный стресс (ОС), вызванный гипергликемией [1; 2].

Окислительный стресс может формироваться в организме при усилении интенсификации свободнорадикальных процессов, где наибольший вклад в формирование свободнорадикальной патологии вносят процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) [3]. В роли механизмов компенсации, с нарушением которых снижаются функциональные возможности организма, выступают процессы антиоксидантной защиты, ингибирующие цепи окисления липидных субстратов [4].

В свою очередь, реакции перекисного окисления липидов — антиоксидантной защиты (ПОЛ-АОЗ) являются неотъемлемой частью жизненно важных процессов и играют существенную роль в механизмах адаптации. Изучение адаптационно-компенсаторных реакций при СД1 является одним из приоритетных медико-биологических направлений, которые в последние годы исследуют с учетом возрастных особенностей, половой принадлежности и этнических факторов, так как данный тип процессов специфичен для разных этнических групп, возрастных категорий и пола [5]. Одним из самых многочисленных коренных народов на территории Восточной Сибири являются представители монголоидов (бурятский этнос), адаптивные возможности которых определяют по отношению к пришлому населению — европеоидам (русский этнос) [6–8].

В связи с этим целью исследования стала оценка адаптивных/дизадаптивных изменений в системе перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита у девушек и женщин, представителей европеоидов и монголоидов, страдающих СД1.

Материалы и методы

Объектом исследования явились 62 девушки подросткового (13–17 лет, средний возраст — $14,8 \pm 1,6$ лет) и 72 женщины репродуктивного (19–40 лет, средний возраст — $31,7 \pm 9,7$ лет) возрастов, представительницы европеоидов (на примере русского этноса) и монголоидов (на примере бурятского этноса). Этнические группы формировались с учетом длительности проживания на определенной территории (минимум одно поколение) и генеалогического анамнеза (два поколения родителей одной этнической группы), а также самоидентификации с учетом элементов фенотипа. Все испытуемые (европеоиды и монголоиды, девушки подросткового и женщины репродуктивного периодов) проживали в г. Улан-Удэ, Республика Бурятия.

Диагноз СД1 устанавливался на основании классификации СД (ВОЗ, 1999 г.), диагностических критериев СД (ВОЗ, 1999–2006 гг.) и алгоритмов специализированной медицинской помощи при сахарном диабете (2023 г.). В группы с СД1 вошли 17 девушек-европеоидов (средний возраст — $14,5 \pm 0,3$ лет, длительность диабета составляла $5,4 \pm 1,0$ лет), 11 девушек-монголоидов (средний возраст — $14,1 \pm 0,9$ лет, длительность диабета — $6,8 \pm 1,7$ лет), 15 женщин-европеоидов (средний возраст — $35,0 \pm 3,4$ лет, длительность диабета — $12,8 \pm 2,0$ лет) и 15 женщин-монголоидов (средний возраст — $33,1 \pm 3,4$ лет, длительность заболевания — $12,1 \pm 1,5$ лет). Все девушки и женщины с СД1 на момент исследования находились в стадии декомпенсации, что было обусловлено погрешностями в диете, плохим самоконтролем, нарушением режимных мероприятий. Все пациентки получали заместительную инсулинотерапию по интенсифицированной схеме. Критериями исключения из основных групп послужили выраженная сопутствующая соматическая патология и тяжелые проявления диабетических осложнений (хроническая почечная недостаточность, макроангиопатии).

Контрольные группы были сформированы из 19 девушек-европеоидов (средний возраст — $14,5 \pm 0,2$ лет), 15 девушек-монголоидов (средний возраст — $14,8 \pm 0,5$ лет), 20 женщин-европеоидов (средний возраст — $28,2 \pm 1,5$ года) и 22 женщин-монголоидов (средний возраст — $29,8 \pm 1,6$ лет). Контрольные группы состояли из практически здоровых лиц сопоставимого возраста, не имеющих родственников, больных СД.

При работе с испытуемыми соблюдалось соответствие этическим принципам (Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации (Форталеа, Бразилия, 2013 г.)).

В качестве материала для исследований использовали сыворотку, плазму крови и лизат эритроцитов. Забор крови проводили из локтевой вены, натощак, с учетом фаз менструального цикла (3–9-й день цикла) в соответствии с общепринятыми требованиями.

Среди показателей ПОЛ, характеризующих интенсивность окислительных процессов, измеряли уровень субстратов с изолированными двойными связями (Дв. св.), диеновых конъюгатов (ДК), кетодиенов и сопряженных триенов (КД и СТ) [9] и ТБК-активных продуктов (ТБК-АП) [10]. Содержание Дв. св., КД и СТ выражали в усл. ед., ДК — в мкмоль/л, ТБК-АП — в мкмоль/л.

Оценка компонентов антиоксидантной защиты, характеризующих адаптивный ответ, включала определение активности супероксиддисмутазы (СОД) [11], общей антиокислительной активности крови (АОА) [12], концентрации α -токоферола и ретинола [13], уровня восстановленного (GSH) и окисленного глутатиона (GSSG) с расчетом их соотношения (GSH/GSSG) [14]. Активность СОД выражали в усл. ед., общую АОА — в усл. ед. оптической плотности, концентрацию α -токоферола и ретинола — в мкмоль/л, GSH и GSSG — в ммоль/л.

Статистический анализ проводили с помощью пакета статистических и прикладных программ STATISTICA 10 Stat-Soft Inc., США. Для определения близости к нормальному закону распределения количественных признаков использовали визуально-графический метод и критерии согласия Колмогорова — Смирнова с поправкой Лиллиефорса и Шапиро — Уилка. Оценку различий количественных показателей между изучаемыми группами проводили непараметрическими методами статистического анализа для независимых выборок с использованием критериев Манна — Уитни (Mann — Whitney (U-test), Вальда — Вольфовица (Wald — Wolfowitz Runs Test (W-W test) и Колмогорова — Смирнова (Kolmogorov — Smirnov Two-Sample Test (K-S test)). Описательные статистики представлены в виде медианы и 25-го, 75-го процентилей. Различия сравниваемых показателей считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования параметров системы «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита» у девушек основных и контрольных групп представлены в табл. 1.

Таблица 1

Состояние системы «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита»
у девушек европеоидов и монголоидов в норме и при СД1

Показатель	Девушки				Р-значение
	Европеоиды		Монголоиды		
	Контроль (n = 19)	СД ₁ (n = 17)	Контроль (n = 15)	СД ₁ (n = 11)	
	1	2	3	4	
Параметры перекисного окисления липидов					
Дв. св., усл.ед.	1,02 [0,62; 1,58]	1,40 [1,20; 1,78]	1,76 [1,48; 1,86]	2,05 [1,20; 3,06]	—
ДК, мкмоль/л	0,78 [0,56; 1,08]	1,62 [1,28; 2,10]	0,82 [0,42; 1,00]	0,86 [0,50; 1,18]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,01$
КД и СТ, усл. ед.	0,10 [0,04; 0,24]	0,20 [0,10; 0,36]	0,24 [0,12; 0,26]	0,21 [0,14; 0,36]	
ТБК-АП, мкмоль/л	2,02 [1,45; 2,27]	2,40 [2,26; 2,75]	1,61 [1,33; 1,84]	1,51 [0,94; 1,71]	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,001$
Параметры системы антиоксидантной защиты					
Общая АОА, усл. ед.	18,32 [14,34; 21,53]	18,98 [17,05; 21,68]	18,68 [15,11; 20,98]	17,52 [13,24; 21,89]	—
СОД, усл. ед.	1,60 [1,49; 1,92]	1,50 [1,22; 1,59]	1,45 [1,32; 1,64]	1,17 [1,10; 1,20]	$p_{1-2} < 0,01$ $p_{3-4} < 0,001$ $p_{2-4} < 0,01$
α -токоферол, мкмоль/л	8,10 [5,85; 8,72]	6,76 [4,51; 7,82]	6,93 [5,23; 8,76]	5,41 [4,64; 5,68]	$p_{3-4} < 0,01$
Ретинол, мкмоль/л	1,25 [1,06; 1,50]	1,50 [1,11; 1,60]	1,35 [1,20; 1,65]	1,33 [1,15; 1,70]	—
GSH, ммоль/л	2,65 [2,36; 2,89]	2,75 [1,95; 3,03]	2,72 [2,30; 2,82]	2,77 [2,48; 2,88]	—
GSSG, ммоль/л	1,33 [1,15; 1,88]	2,39 [2,07; 2,58]	2,01 [1,70; 2,28]	2,07 [1,78; 2,43]	$p_{1-2} < 0,001$
GSH/GSSG	1,83 [1,51; 2,29]	1,04 [0,88; 1,40]	1,35 [1,17; 1,56]	1,33 [1,15; 1,62]	$p_{1-2} < 0,001$

Изучение показателей ПОЛ у девушек-европеоидов, страдающих СД1, выявило увеличение уровня ДК и ТБК-АП по сравнению с группой контроля. При этом была отмечена тенденция к росту концентрации Дв. св. и КД-СТ, что, наряду с выраженным увеличением первичных (ДК) и конечных продуктов ПОЛ (ТБК-АП), указывает на высокую интенсивность окислительных процессов. В параметрах антиоксидантного звена было выявлено снижение активности СОД и отношения глутатионовых форм на фоне увеличения уровня GSSG. Снижение активности ферментов антиоксидантного звена может быть обусловлено действием свободных радикалов, образуемых в условиях патологии. Во-первых, избыток свободных радикалов запускает каскад окислительных реакций в организме, в результате чего возрастает потребность в антиоксидантных компонентах и увеличивается их расход. Во-вторых, свободные радикалы способны оказывать прямое модифицирующее действие на ферментативные белки, тем самым снижая активность ферментов [15]. В итоге чрезмерное увеличение интенсивности ПОЛ и снижение активности защитных механизмов характеризуют низкие адаптационные возможности у пациенток-европеоидов подросткового возраста, что в конечном счете можно рассматривать как преобладание дизадаптационных процессов.

В группе девушек-монголоидов при наличии декомпенсированного СД1 можно наблюдать тенденцию к увеличению первичных продуктов (Дв. св., ДК) и снижению промежуточных (КД и СТ) и конечных (ТБК-АП) продуктов липопероксидации, но значительных различий в этих показателях не выявлено. Изменения в показателях антиоксидантного звена заключались в снижении активности СОД и концентрации α -токоферола. Недостаточность данных антиоксидантов может свидетельствовать об их усиленном использовании в качестве наиболее важных при данной патологии. Так, СОД катализирует дисмутацию супероксидного радикала, являющегося предшественником других свободных радикалов, поэтому биологический смысл в высокой потребности фермента заключается в снижении окислительной нагрузки на организм в условиях патологии [16]. α -токоферол является основным жирорастворимым антиоксидантом, антиоксидантное действие которого направлено как на прямое взаимодействие со свободными радикалами в мембранах, так и на стабилизацию липидного состава последних [17]. Учитывая эти особенности, можно предположить, что цепь окислительных реакций липипероксидации ингибируется на первых этапах развития. Поэтому у девушек-монголоидов с СД1 не наблюдается значительных изменений в системе «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита», что можно рассматривать как проявление адаптационных возможностей.

Анализ этнических различий между девушками основных групп показал более низкие уровни ДК, ТБК-АП и активности СОД у девушек-монголоидов по сравнению с девушками-европеоидами. Рассматривая тенденции показателей между этническими группами у девушек-монголоидов, также можно наблюдать стремление к снижению остальных исследуемых значений, за исключением уровня Дв. св. Данные результаты могут свидетельствовать о различном течении метаболических процессов у девушек с СД1 в зависимости от этнической принадлежности: у девушек-монголоидов процессы липопероксидации — антиоксидантной защиты более стабилизированы, чем у девушек-европеоидов, у которых наблюдается активное окисление липидных структур и напряжение в состоянии системы ПОЛ-АОЗ.

Следующим этапом нашего исследования стала оценка состояния системы ПОЛ-АОЗ в группах женщин (табл. 2).

У женщин-европеоидов с СД1 в параметрах перекисного окисления липидов выявлено увеличение Дв. св., ДК, ТБК-АП и снижение КД-СТ. В параметрах антиоксидантной защиты обнаружено снижение активности СОД и увеличение окисленных форм глутатиона — GSSG. Полученная картина результатов (аналогично результатам, полученным в группе девушек) демонстрирует высокую интенсивность процессов ПОЛ без закономерного увеличения компонентов системы АОЗ, что является признаком развития ОС и требует незамедлительной коррекции, так как может привести к необратимому окислительному повреждению ДНК [18]. Однако снижение промежуточных продуктов ПОЛ, вероятно, связано с активацией определенных компонентов антиоксидантной защиты, которые в настоящей работе не рассматриваются. Данное предположение также подтверждает тенденция увеличения уровня общей АОА.

Таблица 2

Состояние системы «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита»
у женщин европеоидов и монголоидов в норме и при СД1

Показатель	Женщины				Р-значение
	Европеоиды		Монголоиды		
	Контроль (n = 20)	СД ₁ (n = 15)	Контроль (n = 22)	СД ₁ (n = 15)	
	1	2	3	4	
Параметры перекисного окисления липидов					
Дв. св., усл.ед.	1,75 [1,37; 3,24]	2,94 [2,36; 4,20]	1,86 [1,24; 2,14]	2,34 [1,64; 3,06]	p ₁₋₂ <0,05 p ₃₋₄ <0,01 p ₂₋₄ <0,05
ДК, мкмоль/л	1,32 [0,82; 2,30]	2,40 [1,68; 3,44]	1,19 [0,74; 1,62]	1,94 [1,34; 2,14]	p ₁₋₂ <0,01 p ₃₋₄ <0,001
КД и СТ, усл. ед.	1,33 [0,15; 0,48]	0,56 [0,38; 0,78]	0,19 [0,12; 0,40]	0,40 [0,20; 0,56]	p ₁₋₂ <0,01
ТБК-АП, мкмоль/л	1,33 [0,73; 1,89]	1,86 [1,61; 2,54]	1,71 [1,13; 2,06]	1,71 [1,08; 2,68]	p ₁₋₂ <0,01
Параметры системы антиоксидантной защиты					
Общая АОА, усл. ед.	14,55 [9,95; 18,82]	16,55 [11,69; 9,40]	15,12 [12,36; 7,42]	23,23 [18,19; 7,57]	p ₃₋₄ <0,001 p ₂₋₄ <0,01
СОД, усл. ед.	1,61 [1,40; 1,66]	1,37 [1,15; 1,46]	1,37 [1,27; 1,64]	1,21 [1,09; 1,45]	p ₁₋₂ <0,01 p ₃₋₄ <0,05
α-токоферол, мкмоль/л	7,45 [6,81; 9,40]	7,08 [4,62; 11,09]	6,56 [5,91; 7,49]	6,13 [5,38; 7,09]	—
Ретинол, мкмоль/л	1,23 [0,78; 1,61]	1,26 [0,87; 1,48]	1,40 [1,12; 1,62]	1,12 [0,74; 1,20]	—
GSH, ммоль/л	2,53 [2,11; 2,89]	2,39 [2,27; 3,03]	2,62 [2,19; 3,86]	2,63 [2,36; 3,18]	—
GSSG, ммоль/л	1,90 [1,74; 2,05]	2,21 [2,05; 2,27]	1,95 [1,76; 2,53]	2,16 [1,81; 2,37]	p ₁₋₂ <0,01
GSH/GSSG	1,33 [1,00; 1,64]	1,18 [1,00; 1,43]	1,42 [1,03; 2,03]	1,30 [0,91; 1,52]	—

Сравнение показателей системы ПОЛ-АОЗ у пациенток-европеоидов в возрастном аспекте (между девушками и женщинами) показало увеличение концентрации Дв. св. (p <0,0001), ДК (p = 0,0121), КД и СТ (p = 0,0014) и снижение значений общей АОА (p = 0,0427) у женщин, что предполагает более выраженные нарушения в системе ПОЛ-АОЗ, возникающие с возрастом. Помимо патологических процессов, к повышению количества свободных радикалов в организме могут приводить и некоторые физиологические факторы, например биологическое старение [19; 20]. Соответственно, «двойная» окислительная нагрузка в разы увеличивает риск развития свободнорадикальной патологии, быстрее приводит к истощению системы АОЗ и накоплению окисленных биомолекул, в числе которых встречаются ферментативные антиоксиданты. Окисленные ферменты антиоксидантной защиты теряют свою активность, в связи с этим и общая АОА становится меньше, на что указывают полученные результаты.

У женщин-монголоидов при наличии СД1 обнаружено увеличение значений Дв. св., ДК, общей АОА и снижение активности СОД. В условиях дефицита инсулина происходит активация процесса липолиза, который приводит к увеличению концентрации субстратов ПОЛ, вследствие чего отмечается увеличение первичных продуктов липопероксидации — Дв. св. и ДК [21]. Стоит обратить внимание на увеличение уровня общей АОА крови у пациенток, что, возможно, способствует устойчивости к повреждающему воздействию ОС и может рассматриваться как защитная реакция, благоприятно влияющая на течение заболевания. Также полученные ранее клинические данные установили, что при

наличии СД1 поздние сосудистые осложнения (такие как диабетическая ретинопатия, диабетическая нефропатия) у монголоидов встречаются реже, чем у пациентов европеоидов [22]. В связи с этим можно предположить, что увеличение мощности антиоксидантной системы создает определенную гарантию против интенсификации липопероксидных процессов.

При сравнении параметров липопероксидации у девушек и женщин монголоидов с СД1 было выявлено увеличение ДК ($p < 0,0001$) и содержания α -токоферола ($p = 0,0291$) в группе женщин по сравнению с группой девушек. Несмотря на то что с возрастом у женщин отмечаются начальные изменения в балансе системы ПОЛ-АОЗ (накопления первичных продуктов ПОЛ), в уровне общей АОА значимых изменений не обнаружено и даже наблюдается тенденция к его увеличению, где одним из доказано повышающихся значений является α -токоферол. Из этого можно сделать вывод, что с возрастом у пациенток-монголоидов сохраняется низкая интенсивность процессов липопероксидации, что говорит о высоких адаптивных возможностях коренного населения.

Этнические различия параметров ПОЛ-АОЗ между женщинами с СД1 показали более интенсивное течение процессов ПОЛ в группе женщин-европеоидов, которое заключалось в увеличенной концентрации Дв. св. ($p = 0,0267$), также была отмечена тенденция к накоплению КД и СТ и ТБК-АП. При этом в системе АОЗ у пациенток-европеоидов наблюдалось снижение значений общей АОА крови ($p = 0,0015$) по отношению к пациенткам-монголоидам. Накопление токсичных липопероксидных продуктов при сниженной активности компонентов АОЗ может оказывать негативное влияние на течение диабета у женщин-европеоидов, и, наоборот, отсутствие значимых изменений в состоянии системы ПОЛ-АОЗ предполагает благоприятное течение СД1 у женщин-монголоидов.

Заключение

Результаты проведенного исследования демонстрируют более низкую интенсивность процессов липопероксидации и более высокую активность антиоксидантной системы у пациенток-монголоидов по сравнению с пациентками-европеоидами в обеих возрастных группах, что способствует устойчивости к формированию дисрегуляторных процессов у коренного населения Сибири.

Список источников

1. Чистякова О. В., Сухов И. Б., Шпаков А. О. Роль окислительного стресса и антиоксидантных ферментов в развитии сахарного диабета // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2017 Т. 103, № 9. С. 987–1003.
2. Lipid peroxidation products and endogenous intoxication levels in patients with type 1 diabetes mellitus and different stages of albuminuria / M. A. Darenskaya, S. I. Kolesnikov, E. V. Chugunova [et al.] // *Diabetes Technology and Therapeutics*. 2023. Vol. 25, № S2. P. 200. doi:10.1089/dia.2023.2525.abstracts.
3. Connecting the "Dots": From free radical lipid autoxidation to cell pathology and disease / M. K. Foret, R. Lincoln, S. Do Carmo [et al.] // *Chem Rev*. 2020. Vol. 120, № 23. P. 12757–12787. doi:10.1021/acs.chemrev.0c00761.
4. Role of antioxidants in the protection from aging-related diseases / D. M. Monti, M. M. Rigano, S. M. Monti, H. S. Peixoto // *Oxid Med Cell Longev*. 2019. Vol. 2019. P. 7450693. doi:10.1155/2019/7450693.
5. Eiland L. Thangavelu T., Drincic A. Has technology improved diabetes management in relation to age, gender, and ethnicity? // *Curr Diab Rep*. 2019. Vol. 19, № 11. P. 111. doi:10.1007/s11892-019-1231-5.
6. Даренская М. А. Особенности метаболических реакций у коренного и пришлого населения Севера и Сибири // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2014. № 2 (96). С. 97–103.
7. Этногенетические и молекулярно-метаболические аспекты нарушений сна в климактерическом периоде / Л. И. Колесникова [и др.]. М.: Российская академия наук, 2019. 138 с.
8. Сравнительный эмпирический анализ жизнеспособности русской и бурятской молодежи / А. В. Махнач, Н. М. Сараева, С. Б. Дагбаева [и др.] // *Социальная психология и общество*. 2023. Т. 14, № 2. С. 66–84. doi:10.17759/sps.2023140205.

9. Сопоставление различных подходов к определению продуктов перекисного окисления липидов в гептан-изопропанольных экстрактах крови / И. А. Волчегорский, А. Г. Налимов, Б. Г. Яровинский [и др.] // Вопросы медицинской химии. 1989. № 1. С. 127–131.
10. Гаврилов В. Б., Гаврилова А. Р., Мажуль Л. М. Анализ методов определения продуктов перекисного окисления липидов в сыворотке крови по тесту с тиобарбитуровой кислотой // Вопросы медицинской химии. 1987. № 1. С. 118–122.
11. Misra H. P., Fridovich I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase // Journal of Biological chemistry. 1972. Vol. 247. P. 3170–3175.
12. Оценка антиокислительной активности плазмы крови с применением желточных липопротеидов / Г. И. Клебанов, И. В. Бабенкова, Ю. О. Теселкин [и др.] // Лабораторное дело. 1988. № 5. С. 59–62.
13. Черняускене Р. Ч., Варшкявичене З. З., Грибаускас П. С. Одновременное определение концентраций витаминов Е и А в сыворотке крови // Лабораторное дело. 1984. № 6. С. 362–365.
14. Hissin P. J., Hilf R. Fluorometric method for determination of oxidized and reduced glutathione in tissues // Anal Biochem. 1976. Vol. 74. P. 214–226.
15. Кяримов И. А., Шевченко В. Д., Арушанова В. В. Свободно-радикальное окисление как фактор изменения функционального состояния белковых молекул // Повышение эффективности реализации фундаментальных научных исследований как условие долгосрочного устойчивого развития России. 2020. С. 5–10.
16. Superoxide dismutase as multipotent therapeutic antioxidant enzyme: Role in human diseases / P. Saxena, K. Selvaraj, S. K. Khare, N. Chaudhary // Biotechnol Lett. 2022. Vol. 44, № 1. P. 1–22. doi:10.1007/s10529-021-03200-3.
17. Thompson M. D., Cooney R. V. The potential physiological role of γ -tocopherol in human health: A qualitative review // Nutrition and cancer. 2020. Vol. 72, № 5. P. 808–825. doi:10.1080/01635581.2019.1653472.
18. 8-hydroxy-2-deoxyguanosine concentration in men with type 1 diabetes mellitus and albuminuria / M. A. Darenskaya, S. I. Kolesnikov, E. V. Chugunova [et al.] // Diabetes technology and therapeutics. 2023. Vol. 25, № S2. P. 236. doi:10.1089/dia.2023.2525.abstracts.
19. Activity of erythrocyte antioxidant enzymes in healthy women depends on age, BMI, physical activity, and diet / E. Cecerska-Heryć, K. Krauze, A. Szczęśniak [et al.] // J Health Popul Nutr. 2022. Vol. 41, № 1. P. 35. doi:10.1186/s41043-022-00311-z.
20. Мезенцев Ю. А., Осипова О. А. Обзор современной информации о влиянии оксидативного стресса на преждевременное старение // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2022. № 5. С. 249–269.
21. FGF1 and insulin control lipolysis by convergent pathways / G. Sancar, S. Liu, E. Gasser [et al.] // Cell Metab. 2022. Vol. 34, № 1. P. 171–183. doi:10.1016/j.cmet.2021.12.004.
22. Даренская М. А., Колесникова Л. И., Колесников С. И. Этнические аспекты метаболических реакций женщин при дисрегуляционной патологии. М.: Российская академия наук, 2020. 168 с.

References

1. Chistyakova O. V., Sukhov I. B., Shpakov A. O. Rol' okislitel'nogo stressa i antioksidantnyh fermentov v razvitii saharnogo diabeta [The role of oxidative stress and antioxidant enzymes in the development of diabetes mellitus]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal* [Russian journal of physiology], 2017, Vol. 103, No. 9, pp. 987–1003. (In Russ.).
2. Darenskaya M. A., Kolesnikov S. I., Chugunova E. V., Semenova N. V., Kolesnikova L. I. Lipid peroxidation products and endogenous intoxication levels in patients with type 1 diabetes mellitus and different stages of albuminuria. *Diabetes Technology and Therapeutics*, 2023, Vol. 25, No. S2, p. 200. doi:10.1089/dia.2023.2525.abstracts.
3. Foret M. K., Lincoln R., Do Carmo S., Cuello A. C., Cosa G. Connecting the "Dots": From free radical lipid autoxidation to cell pathology and disease. *Chem Rev*, 2020, Vol. 120, No. 23, pp. 12757–12787. doi:10.1021/acs.chemrev.0c00761.

4. Monti D. M., Rigano M. M., Monti S. M., Peixoto H. S. Role of antioxidants in the protection from aging-related diseases. *Oxid Med Cell Longev*, 2019, Vol. 2019, p. 7 450693. doi:10.1155/2019/7450693.
5. Eiland L., Thangavelu T., Drincic A. Has technology improved diabetes management in relation to age, gender, and ethnicity? *Curr Diab Rep*, 2019, Vol. 19, No. 11, p. 111. doi:10.1007/s11892-019-1231-5.
6. Darenskaya M. A. Osobennosti metabolicheskikh reakcij u korennoho i prishlogo naselenija Severa i Sibiri [Peculiarities of metabolic reactions in indigenous and migrant populations of the north and Siberia]. *Bjulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii medicinskih nauk* [Bulletin of the East Siberian scientific center of the Siberian branch of the Russian academy of medical sciences], 2014, No. 2 (96), pp. 97–103. (In Russ.).
7. Kolesnikova L. I., Kolesnikov S. I., Madaeva I. M., Semenova N. V. *Jetnogeneticheskie i molekularno-metabolicheskie aspekty narushenij sna v klimaktericheskom periode* [Ethnogenetic and molecular-metabolic aspects of sleep disorders in the menopausal period]. Moscow, Russian Academy of Sciences, 2019, 138 p. (In Russ.).
8. Makhnach A. V., Saraeva N. M., Dagbayeva S. B., Laktionova A. I., Postyljakova Ju. V., Suhanov A. A. Srvnitel'nyj jempiricheskij analiz zhiznesposobnosti russkoj i burjatskoj molodezhi [Comparative empirical analysis of the Russian and Buryat youth resilience]. *Sotsial'naya psikhologiya i obshchestvo* [Social Psychology and Society], 2023, Vol. 14, No. 2, pp. 66–84. doi:10.17759/sps.2023140205. (In Russ.).
9. Volchegorsky I. A., Nalimov A. G., Yarovinsky B. G., Lifshic R. I. Sopostavlenie razlichnyh podhodov k opredeleniju produktov perekisnogo okislenija lipidov v geptan-izopropanol'nyh jekstraktah krovi [Comparison of different approaches to the determination of lipid peroxidation products in heptane-isopropanol extracts of blood]. *Voprosy medicinskoj himii* [Questions of medical chemistry], 1989, No. 1, pp. 127–131. (In Russ.).
10. Gavrilov V. B., Gavrilova A. R., Mazhul L. M. Analiz metodov opredelenija produktov perekisnogo okislenija lipidov v syvorotke krovi po testu s tiobarbiturovoj kislotoj [Analysis of methods for determining the products of lipid peroxidation in blood serum by a test with thiobarbituric acid]. *Voprosy medicinskoj himii* [Questions of medical chemistry], 1987, No. 1, pp. 118–122. (In Russ.).
11. Misra H. P., Fridovich I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase. *Journal of Biological chemistry*, 1972, Vol. 247, No. 10, pp. 3170–3175.
12. Klebanov G. I., Babenkova I. V., Teselkin Yu. O., Komarov O. S., Vladimirov Ju. A. Ocenka antiokislitel'noj aktivnosti plazmy krovi s primeneniem zheltocnyh lipoproteidov [Evaluation of the antioxidant activity of blood plasma with the use of yolk lipoproteins]. *Laboratornoe delo* [Laboratory business], 1988, No. 5, pp. 59–62. (In Russ.).
13. Chernyauskene R. Ch., Varshkevichene Z. Z., Grybauskas P. S. Odnovremennoe opredelenie koncentracij vitaminov E i A v syvorotke krovi [Simultaneous determination of vitamin E and A concentrations in blood serum]. *Laboratornoe delo* [Laboratory business], 1984, No. 6, pp. 362–365. (In Russ.).
14. Hissin P. J., Hilf R. Fluorometric method for determination of oxidized and reduced glutathione in tissues. *Analytical Biochemistry*, 1976, Vol. 74, pp. 214–226.
15. Karimov I. A., Shevchenko V. D., Arushanova V. V. Svobodno-radikal'noe okislenie kak faktor izmenenija funkcional'nogo sostojanija belkovykh molekul [Free radical oxidation as a factor of changing the functional state of protein molecules]. *Povyshenie jeffektivnosti realizacii fundamental'nyh nauchnyh issledovanij kak uslovie dolgosrochnogo ustojchivogo razvitija Rossii* [Improving the efficiency of fundamental scientific research as a condition for long-term sustainable development of Russia], 2020, pp. 5–10. (In Russ.).
16. Saxena P., Selvaraj K., Khare S. K., Chaudhary N. Superoxide dismutase as multipotent therapeutic antioxidant enzyme: Role in human diseases. *Biotechnol Lett*, 2022, Vol. 44, No. 1, pp. 1–22. doi:10.1007/s10529-021-03200-3.
17. Thompson M. D., Cooney R. V. The potential physiological role of γ -tocopherol in human health: A qualitative review. *Nutrition and cancer*, 2020, Vol. 72, No. 5, pp. 808–825. doi:10.1080/01635581.2019.1653472.
18. Darenskaya M. A., Kolesnikov S. I., Chugunova E. V., Nikitina O. A., Kolesnikova L. I. 8-hydroxy-2-deoxyguanosine concentration in men with type 1 diabetes mellitus and albuminuria. *Diabetes technology and therapeutics*, 2023, Vol. 25, No. S2, p. 236. doi:10.1089/dia.2023.2525.abstracts. (In Russ.).

19. Cecerska-Heryć E., Krauze K., Szczęśniak A., Goryniak-Mikołajczyk A., Serwin N., Śleboda-Taront D., Jacek R., Heryć R., Michalczyk A., Dołęgowska B. Activity of erythrocyte antioxidant enzymes in healthy women depends on age, BMI, physical activity, and diet. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 2022, Vol. 41, No. 1, p. 35. doi:10.1186/s41043-022-00311-z.
20. Mezentsev Yu. A., Mezentsev Yu. A., Osipova O. A. Obzor sovremennoj informacii o vlijanii oksidativnogo stressa na prezhddevremennoe starenie [Review of current information on the effect of oxidative stress on premature aging]. *Sovremennye problemy zdavoohranenija i medicinskoj statistiki* [Modern problems of healthcare and medical statistics], 2022, No. 5, pp. 249–269. (In Russ.).
21. Sancar G., Liu S., Gasser E., Alvarez J. G., Moutos C., Kim K., Zutphen T. V., Wang Y., Huddy T. F., Ross B., Dai Y., Zepeda D., Collins B., Tilley E., Kolar M. J., Yu R. T., Atkins A. R., van Dijk T. H., Saghatelian A., Jonker J. W., Downes M., Evans R. M. FGF1 and insulin control lipolysis by convergent pathways. *Cell metabolism*, 2022, Vol. 34, No. 1, pp. 171–183. doi:10.1016/j.cmet.2021.12.004.
22. Darenskaya M. A., Kolesnikova L. I., Kolesnikov S. I. *Jetnicheskie aspekty metabolicheskikh reakcij zhenshin pri dizreguljacionnoj patologii* [Ethnic aspects of metabolic reactions of women in dysregulatory pathology]. Moscow, Russian Academy of Sciences, 2020, 168 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Анастасия Сергеевна Лесная — tasi121212@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1055-4608>, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник;

Марина Александровна Даренская — <https://orcid.org/0000-0003-3255-2013>, доктор биологических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник;

Наталья Викторовна Семёнова — <https://orcid.org/0000-0002-6512-1335>, доктор биологических наук, главный научный сотрудник;

Любовь Ильинична Колесникова — <https://orcid.org/000-0003-3354-2992>, доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, научный руководитель.

Information about the authors

Anastasiya S. Lesnaya — tasi121212@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1055-4608>, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher;

Marina A. Darenskaya — <https://orcid.org/0000-0003-3255-2013>, Dr. Sc. (Biol.), Professor of the RAS, Chief Research Associate;

Natalya V. Semenova — <https://orcid.org/0000-0002-6512-1335>, Dr. Sci. (Biol.), Chief Research Associate;

Lyubov I. Kolesnikova — <https://orcid.org/000-0003-3354-2992>, Dr. Sc. (Med.), Professor, Academician of RAS, Academic Director.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 613.614.2 (985)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.017

ОХЛАЖДАЮЩИЙ МИКРОКЛИМАТ КАК ФАКТОР РИСКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПАТОЛОГИИ В АРКТИКЕ

Сергей Алексеевич Сюрин¹, Алексей Николаевич Кизеев²

^{1, 2}Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья, Санкт-Петербург, Россия

¹kola.reslab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>

²aleksei.kizeev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>

Аннотация

В 2007–2021 гг. доля охлаждающего микроклимата в структуре вредных производственных факторов на предприятиях в Арктике составила 5,1 %, а среди факторов, вызывавших развитие профессиональной патологии, — 0,18 %. Для этих нарушений здоровья характерным была высокая доля болезней нервной системы (68,4 %) и системы кровообращения (15,8 %). В целом в течение 15 лет отмечалась тенденция к снижению числа профессиональных заболеваний, вызванных охлаждающим микроклиматом, а риск их развития в 2007–2012 гг. был выше, чем в 2016–2021 гг.: ОР = 12,3; ДИ 1,62–93,5; $p = 0,002$. Таким образом, в 2007–2021 гг. охлаждающий микроклимат рабочих мест не оказывал существенного влияния на формирование профессиональных заболеваний на предприятиях в Арктике. Однако, учитывая суровые климатические условия региона, можно предполагать недооценку этого фактора, что обуславливает целесообразность продолжения исследований.

Ключевые слова:

охлаждающий микроклимат, риски здоровью, профессиональная патология, Арктика

Для цитирования:

Сюрин С. А., Кизеев А. Н. Охлаждающий микроклимат как фактор риска профессиональной патологии в Арктике // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 146–152. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.017.

Original article

COOLING MICROCLIMATE AS A RISK FACTOR FOR OCCUPATIONAL PATHOLOGY IN THE ARCTIC

Sergei A. Syurin¹, Aleksei N. Kizeev²

^{1, 2}Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia

¹kola.reslab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>

²aleksei.kizeev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>

Abstract

In 2007–2021, the share of the cooling microclimate in the structure of harmful production factors at enterprises in the Arctic was 5.1 %, and among the factors that caused the development of occupational pathology — 0.18 %. These health disorders were characterized by a high proportion of diseases of the nervous system (68.4 %) and the circulatory system (15.8 %). In general, over the course of 15 years, there was a downward trend in the number of occupational diseases caused by a cooling microclimate, and the risk of their development in 2007–2012 was higher than in 2016–2021: RR = 12.3; CI 1.62–93.5; $p = 0.002$. Conclusion. In 2007–2021, the cooling microclimate of workplaces did not have a significant impact on the formation of occupational diseases at enterprises in the Arctic. However, given the severe climatic conditions of the region, it can be assumed that this factor is underestimated, which makes it expedient to continue research.

Keywords:

cooling microclimate, health risks, professional pathology, Arctic

For citation:

Syurin S. A., Kizeev A. N. Cooling microclimate as a risk factor for occupational pathology in the Arctic. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 146–152. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.017.

Введение

Охлаждающим считается микроклимат, приводящий к снижению температуры «ядра» и/или «оболочки» тела и созданию дефицита тепла в организме более $0,87 \text{ кДж/кг}^1$. Общее и локальное охлаждение входят в число часто выявляемых вредных производственных воздействий, особенно при проведении работ в помещениях с нерегулируемым микроклиматом или на открытых площадках [1–3]. Холод как фактор политропного действия на организм работающих лиц способствует развитию и неблагоприятному течению заболеваний органов дыхания, системы кровообращения, пищеварения, кожи, костно-мышечной и мочеполовой систем, снижению физической и умственной трудоспособности, повышению риска производственного травматизма [4–7]. Также есть мнение о том, что свыше 30 % профессиональных заболеваний на Крайнем Севере полностью или частично обусловлены воздействием холода [8].

Поддержание теплообмена организма имеет особое значение в арктических регионах России, где располагаются крупные предприятия с большим объемом работ, выполняемых на открытых территориях: добыча и переработка полезных ископаемых, строительство, лесозаготовка и др. [3; 5; 9]. Важно, что в производственных условиях охлаждение организма существенно изменяет его реакцию на воздействие других потенциально вредных факторов, прежде всего химической и физической природы. Так, на фоне охлаждения патологические изменения возникают при воздействии воздушных поллютантов в концентрациях ниже ПДК, производственной вибрации ниже ПДУ, допустимых физических нагрузок, которые по существующим представлениям не должны оказывать какого-либо вредного влияния [3; 10]. При загазованности и запыленности воздуха существенное значение может иметь увеличение объема легочной вентиляции при отрицательных температурах воздуха, приводящее к повышенному депонированию вредных веществ на слизистой дыхательных путей и в легочной ткани [8].

Все более активное освоение природных ресурсов Арктики требует углубления знаний о влиянии вредных производственных факторов, включая охлаждающий микроклимат, на организм работников для сохранения здоровья и профилактики профессиональной патологии.

Цель исследования состояла в оценке влияния охлаждающего микроклимата на развитие профессиональной патологии у работников предприятий в Арктике.

Материал и методы

Изучены данные социально-гигиенического мониторинга «Условия труда и профессиональная заболеваемость» и Регистра выписок из карт учета профессиональных заболеваний (отравлений) (Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 28.05.2001 г. № 176 «О совершенствовании системы расследования и учета профессиональных заболеваний в Российской Федерации») за период 2007–2021 гг. в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ)².

Полученные результаты обработаны статистически с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2016 и программы Epi Info, v. 6.04d. Рассчитывались t-критерий, относительный риск (ОР) и 95 %-й доверительный интервал (95 % ДИ), критерии согласия (χ^2) и аппроксимации (R^2). Числовые данные в тексте и таблицах представлены как абсолютные и процентные значения, среднее арифметическое и его стандартная ошибка ($M \pm m$). Нулевая гипотеза считалась критической при $p < 0,05$.

Результаты исследования

По данным мониторинга условий труда на предприятиях в Арктике в 2007–2021 гг. неблагоприятные параметры микроклимата занимали восьмое место по распространенности среди всех вредных производственных факторов, уступая шуму, химическим веществам, неионизирующим электромагнитным полям и излучениям, тяжести и напряженности труда, общей вибрации, а также сочетанному действию нескольких факторов (рис. 1).

¹ Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Р 2.2.2006-05. М., 2005. 105 с.

² Указ Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации».



Рис. 1. Структура вредных производственных факторов на предприятиях в Арктике

В течение 15 лет доля неблагоприятного микроклимата в структуре вредных производственных факторов существенно не изменялась, варьируя от 4,6 % (2010–2012 гг.) до 5,8 % (2013–2015 гг.). За этот период абсолютное число работников, имевших неблагоприятные параметры микроклимата, уменьшилось на 5,89 тыс. человек за счет снижения общей численности лиц, занятых на предприятиях в АЗРФ. При этом их удельный вес по сравнению с 2007–2009 гг. существенно не изменился (табл. 1).

Таблица 1

Число и доля работников, имеющих контакт с вредными производственными факторами на предприятиях в Арктике, абс. (%)

Вредный фактор	Годы				
	2007–2009	2010–2012	2013–2015	2016–2018	2019–2021
Шум	108208 (21,7)	83474 (21,2)	79724 (21,1)	78846 (20,2)	75217 (18,9)
Неионизирующие ЭМП и ИИ	34187 (6,8)	28404 (7,2)	29216 (7,7)	32754 (8,4)	28280 (7,1)
Тяжесть труда	37166 (7,4)	31593 (8,0)	29306 (7,7)	31457 (8,1)	38739 (9,7)
Химические вещества	45409 (9,1)	31665 (8,0)	30378 (8,0)	32619 (8,4)	41874 (10,5)
Напряженность труда	34707 (7,0)	33407 (8,5)	34091 (9,0)	29819 (7,6)	29617 (7,4)
Вибрация общая	26878 (5,4)	24272 (6,2)	21532 (5,7)	24753 (6,3)	23932 (6,0)
АПДФ	24857 (5,0)	18978 (4,8)	17879 (4,7)	25005 (6,4)	25924 (6,5)
Микроклимат	25198 (5,0)	18260 (4,6)	22105 (5,8)	19814 (5,1)	19329 (4,9)
Освещенность	12544 (2,5)	8982 (2,3)	13204 (3,5)	13253 (3,4)	13776 (3,5)
Прочие	22563 (4,5)	19248 (4,9)	16190 (4,3)	15113 (3,9)	19467 (4,9)
Сочетанное действие	127871 (25,6)	95279 (24,2)	85025 (22,5)	87193 (22,3)	81859 (20,6)
Всего	499378	393562	378650	390626	398014

Примечание. ЭМП и ИИ — электромагнитные поля и излучения; АПДФ — аэрозоли с преимущественно фиброгенным действием.

В 2007–2021 гг. экспозиция к неблагоприятным параметрам микроклимата чаще всего возникала у лиц, занятых добычей полезных ископаемых (почти треть всех случаев). В 2–3 раза реже она определялась у строительных рабочих, работников сельского, лесного хозяйства и рыболовства, обрабатывающих производств (табл. 2). В 2021 г., по сравнению с 2007 г., доля работников предприятий по добыче полезных ископаемых и строительства, подвергавшихся воздействию неблагоприятных параметров микроклимата, уменьшилась ($p < 0,001$). Противоположная динамика ($p < 0,001$) отмечалась у работников металлургических предприятий и обрабатывающих производств. Доля лиц с неудовлетворительными параметрами микроклимата существенно не изменилась в рыболовстве, сельском и лесном хозяйстве ($p = 0,118$), а также на транспорте и в связи ($p = 0,227$).

Таблица 2

Частота воздействия неблагоприятных параметров микроклимата
на работников различных видов экономической деятельности, абс. (%)

Вид экономической деятельности	Годы					Средний годовой показатель
	2007–2009	2010–2012	2013–2015	2016–2018	2019–2021	
Добыча полезных ископаемых	9257 (36,7)	5856 (30,4)	6543 (29,6)	5800 (29,3)	5918 (30,7)	2225 (31,9)
Строительство	4264(16,9)	3293(17,1)	3261(14,8)	2761(13,9)	2811 (14,6)	1092(15,6)
Сельское и лесное хозяйство, рыболовство	3099 (12,3)	2466 (12,8)	2677 (12,1)	2135 (10,8)	2272 (11,8)	843 (12,1)
Обрабатывающие производства	2599 (10,3)	1389 (7,2)	2669 (12,1)	3160 (15,9)	3100 (16,1)	861 (12,3)
Металлургическое производство	1403 (5,6)	1644 (8,5)	2176 (9,8)	2852 (14,4)	2707 (14,0)	719 (10,3)
Транспорт и связь	1769 (7,0)	1445 (7,5)	1575(7,1)	1339 (6,8)	1298 (6,7)	495 (7,1)
Прочие	2807 (11,1)	2167(16,4)	3204(14,5)	1767 (8,9)	1708 (8,9)	777 (11,1)
Всего	25198	18260	22105	19814	19293	6978

В 2007–2021 гг. были впервые диагностированы 19 профессиональных заболеваний, обусловленных воздействием охлаждающего микроклимата, что составило 0,18 % их общего числа в АЗРФ. Случаев профессиональной патологии, вызванных нагревающим микроклиматом, на предприятиях Арктики не отмечалось. Среди заболевших были 18 мужчин и одна женщина, средний возраст которых составил $53,0 \pm 1,2$ года, а продолжительность стажа — $26,8 \pm 2,3$ года. В Мурманской области работали 9 человек, в Республике Коми — 5 человек, в Чукотском и Ямало-Ненецком автономных округах — по 2 человека и один человек — в Архангельской области. Большинство работников (15 человек) были заняты в добыче полезных ископаемых, двое — на транспорте и по одному человеку — в строительстве и деревообрабатывающей промышленности. Среди работников предприятий, расположенных на арктических территориях республик Карелия и Якутия, Красноярского края, а также в Ненецком автономном округе, случаев профессиональной патологии, связанных с экспозицией к охлаждающему микроклимату, установлено не было.

Профессиональные заболевания чаще развивались при классе вредности условий труда 3,1 (8 человек) и 3,2 (6 человек). Значительно реже условия труда соответствовали классам вредности 3,3 (3 человека) и 3,4 (2 человека). В 11 случаях охлаждающие параметры микроклимата возникали вследствие несовершенства технологических процессов. В 4 случаях они были обусловлены конструктивными недостатками машин, механизмов, оборудования и инструментов, в 3 случаях — несовершенством рабочих мест и в одном случае — нарушением установленного режима труда и отдыха.

Наиболее распространенной нозологической единицей профессиональной патологии была моно-полинейропатия ($n = 12$). У 3 (15,8 %) работников был диагностирован облитерирующий эндартериит, у двух — радикулопатия. Также отмечалось по одному случаю вегетативно-сенсорной полинейропатии и деформирующего остеоартроза. Все заболевания носили хронический характер. Следует отметить, что по результатам периодического медицинского осмотра было выявлено только 6 (31,6 %) заболеваний, тогда как в результате самостоятельного обращения работников за медицинской помощью в связи с ухудшением самочувствия — 13 (68,4 %) случаев.

Ежегодное число впервые установленных профессиональных заболеваний колебалось от их отсутствия (2013, 2016–2018, 2020, 2021 гг.) до 5 случаев (2010 г.). В целом в течение 15 лет отмечалась тенденция к их снижению. Об этом свидетельствуют направленность линии тренда и коэффициент аппроксимации ($R^2 = 0,604$). Также риск развития профессиональной патологии, обусловленной охлаждающим микроклиматом, в 2007–2012 гг. был выше, чем в 2016–2021 гг.: ОР = 12,3; ДИ 1,62–93,5; $p = 0,002$ (рис. 2).

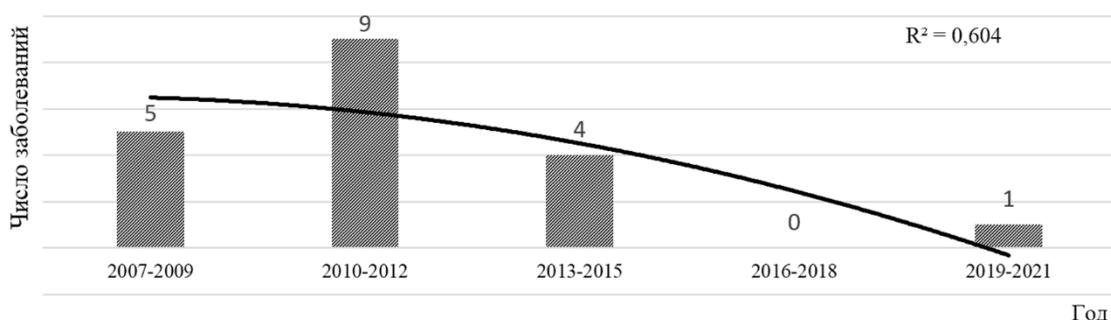


Рис. 2. Число впервые выявленных профессиональных заболеваний, обусловленных охлаждающим микроклиматом, в 2007–2021 годах

Обсуждение

Представленное исследование позволило выявить ряд новых фактов, заслуживающих внимания и обсуждения как с практической, так и с научной точки зрения. Прежде всего, в АЗРФ в 2007–2021 гг. в структуре вредных производственных факторов доля неблагоприятных параметров микроклимата рабочих мест составила 5,1 %. Однако только 0,18 % профессиональных заболеваний были обусловлены воздействием охлаждающего микроклимата, и значимость этого фактора в течение 15 лет имеет тенденцию к снижению.

Между тем, именно холод считается основным стрессовым климатическим фактором для людей, проживающих и работающих в Арктике. Известно, что охлаждение, как общее, так и локальное, приводит к снижению физической и умственной работоспособности, нарушает координацию движений и способность к выполнению точных и сложных операций [6]. С другой стороны, охлаждение способствует формированию и прогрессированию многих заболеваний внутренних органов, которые, в свою очередь, могут влиять на развитие профессиональной патологии [4]. По всей видимости, неполная оценка степени влияния холода на работников связана с методическими недостатками (в рамках бывшей аттестации рабочих мест и действующей специальной оценки условий труда), например, нормирования микроклимата открытых рабочих зон. В любом случае. В настоящее время нет оснований утверждать, что свыше 30 % профессиональных заболеваний на Крайнем Севере полностью или частично обусловлены воздействием холода [8].

Обращает на себя внимание нозологическая специфика профессиональной патологии, связанной с экспозицией к охлаждающему микроклимату. Так, в этой группе работников доля болезней нервной системы составила 68,4 %, а системы кровообращения — 15,8 %, в то время как в целом в АЗРФ эти показатели находятся на уровне 12,9 и 0,06 % соответственно [11].

Следствием недостаточного внимания врачей при проведении медицинских осмотров к обусловленной микроклиматом патологии может быть факт выявления двух третей заболеваний при самостоятельном обращении работников за помощью в связи с ухудшением состояния здоровья. В 2007–2017 гг. в АЗРФ этот показатель составлял 40,7 % [11]. В целом следует отметить, что крайне незначительное число официально зарегистрированных профессиональных заболеваний, обусловленных действием неблагоприятного микроклимата, делает необходимым продолжение исследования этого феномена на предприятиях в Арктике.

Заключение

В 2007–2021 гг. доля охлаждающего микроклимата в структуре вредных производственных факторов на предприятиях в Арктике составила 5,1 %, а среди факторов, вызывавших развитие профессиональной патологии, — 0,18 %. Следовательно, охлаждающий микроклимат рабочих мест не оказывал существенного влияния на формирование профессиональных заболеваний на предприятиях в Арктике. Однако, учитывая суровые климатические условия региона, можно предполагать недооценку этого фактора, что обуславливает целесообразность продолжения исследований.

Список источников

1. Косарев В. В., Бабанов С. А. Профессиональные заболевания, связанные с воздействием неблагоприятного микроклимата // Санитарный врач. 2012. № 2. С. 23–29.
2. К вопросу о риске здоровью при влиянии погодно-климатических условий в холодный период года у работающих / Р. С. Рахманов, С. А. Колесов, М. Х. Аликберов и [др.] // Анализ риска здоровью. 2018. № 2. С. 70–77. doi:10.21668/health.risk/2018.2.08.
3. Воздействие промышленных загрязнений атмосферного воздуха на организм работников, выполняющих трудовые операции на открытом воздухе в условиях холода / В. П. Чащин, С. А. Сюрин, А. Б. Гудков и [др.] // Мед. труда и пром. экол. 2014. № 9. С. 20–26.
4. Опыт оценки профессионального риска, связанного с воздействием охлаждающего микроклимата, в условиях модернизации металлургического предприятия / Е. Л. Базарова, А. А. Федорук, Н. А. Рослая и [др.] // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 9. С. 56–61. doi:http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-56-61.
5. Гигиеническая оценка условий труда в отдельных профессиях строительных организаций / О. И. Копытенкова, З. Ш. Турсунов, А. В. Леванчук и [др.] // Гигиена и санитария. 2018. № 97 (12). С. 1203–1209. doi:http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1203-1209.
6. Mäkinen T., Rytkönen M. Cold exposure, adaptation and performance. In: Health transitions in Arctic Populations / Ed. T. Kue Young and P. Bjerregaard. University of Toronto Press Incorporated. Toronto, 2008: 245–262.
7. Working in a cold environment, feeling cold at work and chronic pain: a cross-sectional analysis of the Tromsø Study / E. H. Farbu, M. Skandfer, C. Nielsen [et al.] // BMJ Open. 2019. Vol. 9 (11): e031248. doi: 10.1136/bmjopen-2019-031248.
8. Чащин В. П., Деденко И. И. Труд и здоровье человека на Севере. Мурманск: Кн. изд-во, 1990. 104 с.
9. Полякова Е. М., Чащин В. П., Мельцер А. В. Факторы риска нарушений здоровья у работников нефтедобывающего предприятия, занятых выполнением трудовых операций на открытой территории в холодный период года // Анализ риска здоровью. 2019. № 4. С. 84–92. doi:10.21668/health.risk/2019.4.09.
10. Видякина А. В., Дурягина О. Н. Особенности сочетанного действия вибрации и холода // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. 2016. № 1 (36). С. 7–8.
11. Сюрин С. А., Горбанев С. А. Особенности профессиональной патологии в Арктической зоне России: факторы риска, структура, распространенность // Вестник уральской медицинской академической науки. 2019. № 16 (2). С. 237–244. doi:10.22138/2500-0918-2019-16-2-237-244.

References

1. Kosarev V. V., Babanov S. A. Professional'nye zabolevaniya, svyazannye s vozdejstviem neblagopriyatnogo mikroklimate [Occupational diseases associated with exposure to an unfavorable microclimate]. *Sanitarnyy vrach* [Sanitary Doctor], 2012, Vol. 2, pp. 23–29. (In Russ.).
2. Rakhmanov R. S., Kolesov S. A., Alikberov M. Kh., Potekhina N. N., Belousko N. I., Tarasov A. V. On the issue of health risk under the influence of weather and climatic conditions in the cold period of the year for workers. *Analiz riska zdorov'yu*, 2018, Vol. 2, pp. 70–77. (In Russ.). doi:10.21668/health.risk/2018.2.08.
3. Chashchin V. P., Syurin S. A., Gudkov A. B., Popova O. N., Voronin A. Yu. K voprosu o riske zdorov'yu pri vliyaniy pogodno-klimaticheskikh uslovij v holodnyj period goda u rabotayushchih [The impact of industrial air pollution on workers performing labor operations in the open air in cold conditions]. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya* [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology], 2014, Vol. 9, pp. 20–26. (In Russ.).
4. Bazarova E. L., Fedoruk A. A., Roslaya N. A., Oshero I. S., Babenko A. G. Opyt ocenki professional'nogo riska, svyazannogo s vozdejstviem ohlazhdayushchego mikroklimate, v usloviyah modernizacii metallurgicheskogo predpriyatiya [Experience of workplace hazard assessment connected with effect of the cooling microclimate in the conditions of modernization of the enterprise]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* [Public Health and Life Environment], 2019, Vol. 9, pp. 56–61. (In Russ.). doi:http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-318-9-56-61.

5. Kopytenkova O. I., Tursunov Z. Sh., Levanchuk A. V., Mironenko O. V., Frolova N. M., Sazonova A. M. Gigienicheskaya ocenka uslovij truda v otdel'nyh professiyah stroitel'nyh organizacij [Hygienic assessment of working conditions in individual professions of construction organizations]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2018, Vol. 97 (12), pp. 1203–1209. (In Russ.). doi:<http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1203-1209>.
6. Mäkinen T., Rytönen M. Cold exposure, adaptation and performance. In: *Health transitions in Arctic Populations* / Ed. T. Kue Young and P. Bjerregaard. University of Toronto Press Incorporated. Toronto, 2008, pp. 245–262.
7. Farbu E. H., Skandfer M., Nielsen C., Brenn T., Stubhaug A., Hoper A.C. Working in a cold environment, feeling cold at work and chronic pain: a cross-sectional analysis of the Tromsø Study. *BMJ Open*, 2019, Vol. 9 (11): e031248. doi: 10.1136/bmjopen-2019-031248.
8. Chashchin V. P., Dedenko I. I. *Trud i zdorov'e cheloveka na Severe* [Labor and human health in the North]. Murmansk, Kn. izd-vo [Murmansk, Book publishing house], 1990, 104 p. (In Russ.).
9. Polyakova E. M., Chashchin V. P., Meltser A. V. Faktory riska narushenij zdorov'ya u rabotnikov nefte dobyvayushchego predpriyatiya, zanyatyh vypolneniem trudovyh operacij na otkrytoj territorii v holodnyj period goda [Risk factors for health disorders among workers of an oil producing enterprise engaged in labor operations in an open area during the cold period of the year]. *Analiz riska zdorov'yu* [Health risk analysis], 2019, Vol. 4, pp. 84–92. (In Russ.). doi:10.21668/health.risk/2019.4.09.
10. Vidyakina A. V., Duryagina, O. N. Osobennosti sochetannogo dejstviya vibracii i holoda [Features of the combined action of vibration and cold]. *Byulleten' Severnogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta* [Bulletin of the Northern State Medical University], 2016, Vol. 1 (36), pp. 7–8. (In Russ.).
11. Syurin S. A., Gorbanev S. A. Osobennosti professional'noj patologii v Arkticheskoj zone Rossii: faktory riska, struktura, rasprostranennost' [Features of occupational pathology in the Arctic zone of Russia: risk factors, structure, prevalence]. *Vestnik ural'skoj medicinskoj akademicheskoi nauki* [Journal of Ural Medical Academic Science], 2019, Vol. 16 (2), pp. 237–244. (In Russ.). doi:10.22138/2500-0918-2019-16-2-237-244.

Информация об авторах

С. А. Сюрин — доктор медицинских наук, главный научный сотрудник;

А. Н. Кизеев — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник.

Information about the authors

S. A. Syurin — DSci (Med), Chief Researcher;

A. N. Kizeev — CandSci (Biol), Senior Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 612.1/8
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.018

ДИСБАЛАНС ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЖИТЕЛЕЙ ЦИРКУМПОЛЯРНОГО РЕГИОНА КАК ОТРАЖЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ

Елена Александровна Луговая¹, Евгения Михайловна Степанова²

^{1, 2}Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Россия

¹elena_plant@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6583-4175>

²at-evgenia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2223-1358>

Аннотация

Перспективным направлением современной медицины является «написание элементного портрета» населения отдельных биогеохимических регионов с целью научной разработки и внедрения мероприятий по устранению выявленных микроэлементозов, что чрезвычайно актуально на сегодняшний день и для населения циркумполярных регионов, подвергающихся воздействию хронического экологически обусловленного стресса. В настоящей работе обсуждается элементный профиль организма жителей г. Магадана в возрастном и гендерном аспектах, описанный на основе определения концентраций в волосах 25 макро- и микроэлементов, и степени их отклонения от референсных среднероссийских величин.

Ключевые слова:

север, адаптация, макро- и микроэлементы, дисбаланс

Финансирование:

исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Магаданской области (номер проекта 23-15-20001).

Для цитирования:

Луговая Е. А., Степанова Е. М. Дисбаланс химических элементов в организме жителей циркумполярного региона как отражение геохимических факторов среды // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 153–159. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.018.

Original article

IMBALANCE OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE CIRCUMPOLAR REGION RESIDENTS AS A RESULT OF ENVIRONMENTAL GEOCHEMICAL INFLUENCE

Elena A. Lugovaya¹, Evgenia M. Stepanova²

^{1, 2}Scientific Research Center "Arktika", Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

¹elena_plant@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6583-4175>

²at-evgenia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2223-1358>

Abstract

A promising area for the modern medicine is creating a subjective element portrait of the population of certain biogeochemical regions for scientific development and implementation of measures to address the identified trace elements disorders, which appears to be extremely relevant today for the circumpolar people who have been experiencing the chronic exposure of environmentally caused stress. In this paper, the element picture of residents of Magadan city is under discussion, in age- and gender-related aspects, which was described according to the concentrations of twenty-five macro- and microelements in the hair samples, and the degree of their deviation from all-Russian average reference values.

Keywords:

north, adaptation, macro- and microelements, imbalance

Financing:

the study is supported by Russian Science Foundation and Magadan Oblast Administration (project number 23-15-20001).

For citation:

Lugovaya E. A., Stepanova E. M. Imbalance of chemical elements in the circumpolar region residents as a result of environmental geochemical influence. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 153–159. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.018.

Введение

Крайний Север часто определяют как природную экстремальную зону, предъявляющую повышенные требования к приспособительным возможностям организма. В условиях Крайнего Севера человек подвергается воздействию совокупности экстремальных факторов внешней среды, определяющих специфику его адаптации [1; 2].

Известно, что с увеличением возраста и срока проживания на Севере в организме человека начинают преобладать процессы перенапряжения или истощения функциональных резервов, ведущие к стойкому снижению показателей здоровья [3]. На основе удельных значений коэффициентов факторов окружающей среды, прямо или опосредованно влияющих на здоровье человека, по значению интегрального показателя дискомфорта среды проживания, территория административного центра Магаданской области (г. Магадан) отнесена к зоне умеренной дискомфорта. Большинство районов Магаданской области, особенно находящихся в континентальной части, удаленной от моря, — к зонам с экстремальной (сильной) дискомфортом [4]. Правомочны выводы ряда ученых, указывающие на то, что совокупность социальных, экологических и эпидемиологических причин позволяет выявлять на территориях с экстремальными условиями проживания новые нозологические формы экологических и эндоэкологических заболеваний [5–7].

Доказано, что все основополагающие физиологические и биохимические процессы в организме человека зависят от химических элементов, которые входят в состав многих ферментов, витаминов, гормонов, биологически активных веществ. Дисбаланс биоэлементов может привести к нарушению метаболизма и развитию заболеваний. Жизнедеятельность человека тесным образом связана с химическим составом среды обитания и содержанием в ней различных макро- и микроэлементов, которые участвуют в формировании целого ряда важнейших адаптивных механизмов организма человека, включая функционирование таких жизненно важных систем, как сердечно-сосудистая, дыхательная, пищеварительная, иммунная, эндокринная [8–11]. Так, например, известно, что природные воды Магаданской области по своему составу гидрокарбонатно-кальциевые, хлоридно-гидрокарбонатные, реже натриевые [12; 13]. По степени минерализации природные воды классифицируются как ультрапресные (не более 0,2 г/дм³), по жесткости — как очень мягкие (до 1,5 мг-экв/дм³) или мягкие (1,5–3 мг-экв/дм³). Ранее проведенное нами исследование физиологической полноценности воды, как характеристики питьевых вод, отражающей минимально необходимые и оптимальные концентрации биоэлементов, для удовлетворения потребности в них организма человека, показало, что питьевая вода г. Магадана имеет физиологически несбалансированный минеральный состав с низким уровнем содержания кальция, калия и магния, значения концентраций которых не достигают даже нижней границы интервала [14]. Ввиду того что северные территории характеризуются недостаточной обеспеченностью жизненно необходимых макро- и микроэлементов, высок риск развития скрытых и выраженных элементозов [8; 15].

Перспективным направлением современной медицины является «написание элементного портрета» населения отдельных биогеохимических регионов с целью научной разработки и внедрения мероприятий по устранению выявленных микроэлементозов [16], что чрезвычайно актуально на сегодняшний день и для населения циркумполярных регионов, подвергающихся воздействию хронического экологически обусловленного стресса [17].

Материалы и методы

В волосах детского и взрослого трудоспособного населения г. Магадана в ООО «Молекулярная медицина» (г. Москва) спектрометрическими методами определяли содержание 25 макро- и микроэлементов: алюминий (Al), мышьяк (As), бор (B), бериллий (Be), кальций (Ca), кадмий (Cd), кобальт (Co), хром (Cr), медь (Cu), железо (Fe), ртуть (Hg), йод (I), калий (K), литий (Li), магний (Mg), марганец (Mn), натрий (Na), никель (Ni), фосфор (P), свинец (Pb), селен (Se), кремний (Si), олово (Sn), ванадий (V), цинк (Zn).

Исследование проводили в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (2013), Федеральным законом от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан

в Российской Федерации», Федеральным законом от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных». У всех обследуемых брали письменное информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Возрастную периодизацию осуществляли согласно классификации, принятой на VII Всесоюзной конференции по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии АПН СССР (Москва, 1965). Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием IBMSPSS Statistics v/21.0 (США). Характер распределения массива значений концентраций химических элементов определяли методом Колмогорова — Смирнова. Для установления различий между двумя независимыми выборками по количественным показателям, распределение которых отличалось от нормального, применяли критерий Манна — Уитни (U). Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принималось при $p < 0,05$. При оценке полученных величин содержания макро- и микроэлементов в биосубстратах обследуемых лиц использовали диапазоны, предлагаемые А. В. Скальным с коллегами как соответствующие средним значениям концентраций химических элементов в популяции (референсным значениям), в качестве верхней и нижней границ физиологической нормы [18–20].

Результаты и обсуждение

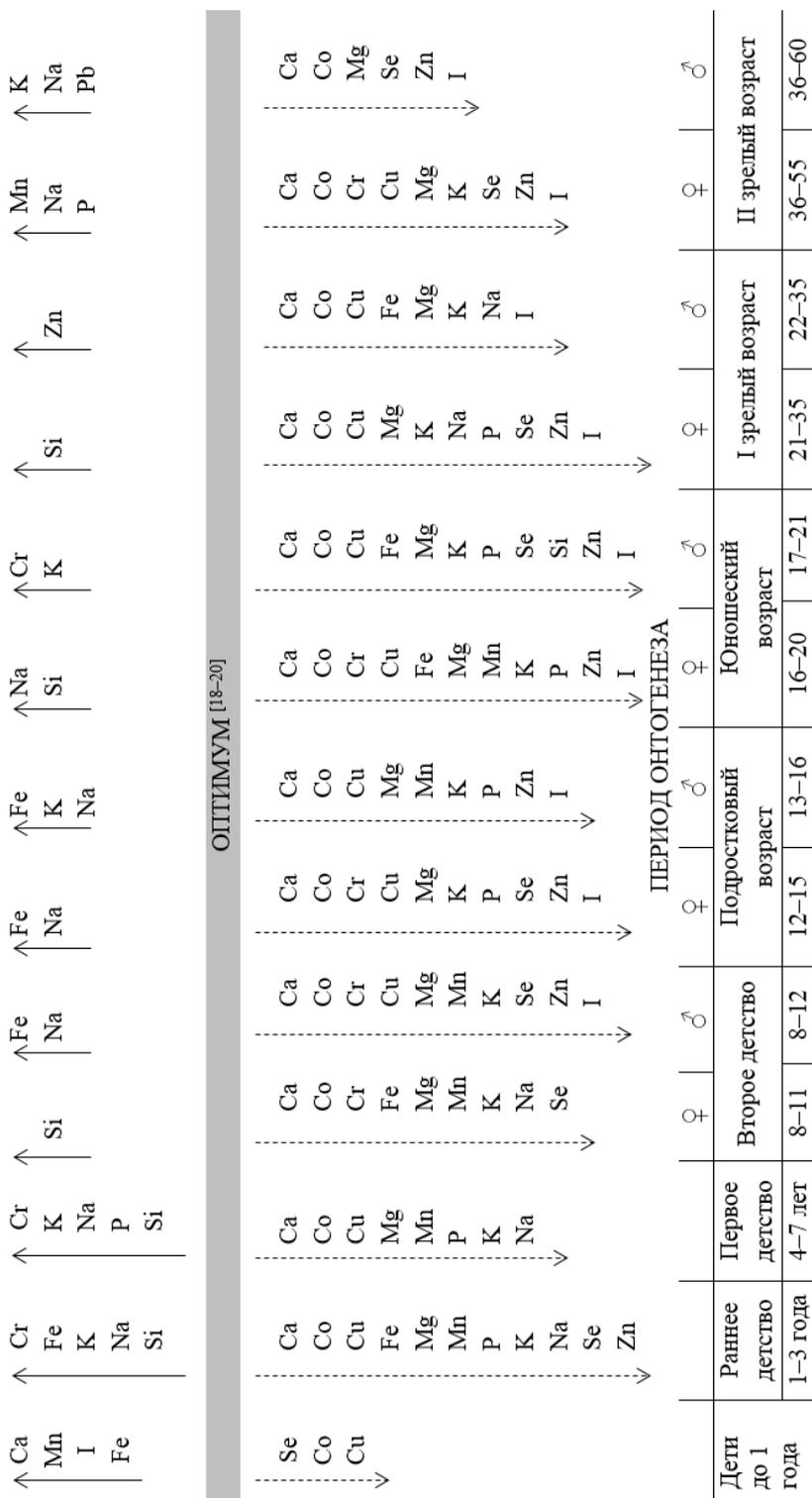
Проведенный статистический анализ первичных данных позволил обнаружить ряд особенностей содержания макро- и микроэлементов в волосах детей и подростков г. Магадана. Их элементный профиль характеризуется чертами так называемого «северного типа» с выраженным дисбалансом основных эссенциальных элементов, главным образом дефицитом Ca, Co, Mg, I, Se.

Говоря о возрастных различиях содержания макро- и микроэлементов в организме, важно отметить, что практически все медианные значения концентраций достоверно ($p < 0,05$) значительно различались во всех возрастных периодах онтогенеза. У детей до года выявлена максимальная медиана концентраций большинства элементов (Al, B, Ca, Co, Fe, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Pb, Se, Sn) по сравнению с содержанием этих же элементов в организме их матерей, что, по литературным данным, может быть обусловлено явлением «сверхзапасания», связанным, по-видимому, с повышенной потребностью в биоэлементах организма ребенка в период внутриутробного и постнатального развития. Наибольшая медиана концентраций As и Cr выявлена в группе детей раннего детства, Cd, P, Ni и Hg — второго детства, Cu, Si и Zn — в группе детей подросткового возраста.

На рисунке представлена онтогенетическая схема биоэлементного дисбаланса у жителей циркумполярного региона относительно оптимальных референсных значений концентраций макро- и микроэлементов в организме человека. Относительно среднероссийских границ допустимого содержания макро- и микроэлементов у магаданских детей установлено более низкое содержание условно-эссенциальных Ca, Co, Cu, Mg, Mn, Se и токсичных Al, Cd и Sn, что свидетельствует о достаточно благополучной экологической ситуации в регионе по элементам-токсикантам. Вместе с тем, снижение концентрации эссенциальных Ca, Co, Mg и Se может стать причиной задержки возрастного развития гормональной, иммунной, нервной систем на фоне прогрессирующих микроэлементозов, что может стать первопричиной развития глубоких патологических состояний основных функциональных систем организма в более старших возрастных периодах онтогенеза.

При сравнении диапазонов концентраций макро- и микроэлементов в волосах жителей г. Магадана юношеского возраста с референсными значениями установлено, что у юношей концентрация Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Se ниже среднероссийских референтных показателей, а K, Na, Si — выше. У девушек ниже среднероссийских концентрации в волосах основных эссенциальных элементов: Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Na, P, Se и Zn, выше — Si.

Почти все интервальные показатели и медианы концентраций химических элементов в волосах у магаданцев 21–60 лет отличаются в меньшую сторону относительно среднероссийских референтных значений. При этом содержание Ca, Co и Se оказалось ниже нижней границы референтного интервала в волосах всех обследованных лиц, Mg — в волосах всех обследованных, за исключением группы женщин 36–55 лет.



Онтогенетическая схема биоэлементного дисбаланса у жителей циркулярного региона (г. Магадан). Сплошной стрелкой обозначен избыток концентрации макро- и микроэлементов относительно референсного оптимума, пунктирной — дефицит

В волосах женщин 36–55 лет выше верхней границы нормативного диапазона оказалось значение концентрации Mn. У мужчин 36–60 лет зафиксировано превышение концентрации Na, Fe, K, что может свидетельствовать о повышенном выведении и перераспределении элемента в организме, и, как следствие, повышенная концентрация в волосах токсичного Pb, зафиксированного в волосах у 28 % обследованных мужчин. Такая картина в дальнейшем может привести к формированию дефицита жизненно важных химических элементов. Среди мужчин более высокие концентрации макроэлементов встречались у мужчин 36–60 лет (Ca, K, Na), так же как и ультрамикроэлементы (Se, Co), токсичные и тяжелые металлы (As, Hg, Sn, Ni). Медиана концентрации Zn была выше у мужчин 22–35 лет, а железа — 36–60 лет. У женщин относительно макроэлементов выявлена аналогичная картина. Значения медиан концентраций микроэлементов в организме женщин 36–55 лет оказались выше аналогичных показателей в группе женщин 21–35, за исключением эссенциальных Fe и Si. Среди ультрамикроэлементов у женщин 21–35 лет оказались выше медианы токсичных Sn и Ni.

Заключение

Таким образом, концентрация большинства химических элементов в волосах жителей г. Магадана зависит от возраста и пола и отличается от среднероссийских показателей в сторону пониженных значений. В экстремальных условиях Севера, когда метаболические процессы испытывают высокое напряжение, нарушение элементного баланса может оказать существенное влияние на характер адаптационных реакций и возрастное развитие основных систем организма. При этом хронический дефицит основных жизненно важных элементов в экстремальных северных условиях создает основу для возникновения дисфункций физиологических систем.

Список источников

1. Гридин Л. А., Шишов А. А., Дворников М. В. Особенности адаптационных реакций человека в условиях Крайнего Севера // *Здоровье населения и среда обитания*. 2014. № 4 (253). С. 4–6.
2. Корчин В. И., Корчина Т. Я., Терникова Е. М., Бикбулатова Л. Н., Лапенко В. В. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения (обзор) // *Журн. мед.-биол. исследований*. 2021. Т. 9, № 1. С. 77–88.
3. Максимов А. Л., Белкин В. Ш. Биомедицинские и климатоэкологические аспекты районирования территорий с экстремальными условиями среды проживания // *Вестн. ДВО РАН*. 2005. № 3. С. 28–39.
4. Lugovaya E. A., Averyanova I. V. Assessing tension coefficient of body adaptation reserves under chronic exposure to factors existing in Polar regions // *Health Risk Analysis*. 2020. no 2. Pp. 101–109.
5. Левин Ю. М. Проблемы клинической методологии и эндэкологии. М.; Сочи: Сити-Сервис, 1997. 137 с.
6. Агаджанян Н. А., Турзин П. С., Ушаков И. Б. Общественное и профессиональное здоровье и промышленная экология // *Медицина труда и промышленная экология*. 1999. № 1. С. 1–9.
7. Агаджанян Н. А. Адаптационная и этническая физиология: продолжительность жизни и здоровье человека. М.: РУДН, 2009. 34 с.
8. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина, 1991. 496 с.
9. Ding Z., Hu X. Ecological and Human Health Risks from Metal (Loid)s in Peri-Urban Soil in Nanjing, China // *Environ. Geochem. Health*. 2014. Vol. 36, no. 3. Pp. 399–408.
10. Notova S. V., Kiyayeva E. V., Radysh I. V., Laryushina L. E., Blagonravov M. L. Elemental Status of Students with Different Levels of Adaptation // *Bull. Exp. Biol. Med*. 2017. vol. 163, no. 5. Pp. 590–593.
11. Uspenskaya E. V., Syroeshkin A. V., Pletneva T. V. Water as a “Complex Mineral”: Trace Elements, Isotopes and the Problem of Incoming Mineral Elements with Drinking Water // *Trace Elements Med*. 2010. Vol. 11, № 2. P. 50.
12. Бобун И. И., Иванов С. И., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б., Лазарева Н. К. К вопросу о региональном нормировании химических веществ в воде Архангельской области // *Гигиена и санитария*. 2011. № 3. С. 91–95.

13. Бульбан А. П., Митрофанов И. Д. Гидрохимия природных вод Примагаданья // Научная молодежь — Северо-Востоку России: материалы III Межрегиональной конференции молодых ученых. Магадан, 2010. С. 14–18.
14. Степанова Е. М., Луговая Е. А. Содержание химических элементов в водопроводной воде и воде из родниковых питьевых источников разных районов Магаданской области // Химия в интересах устойчивого развития. 2023. № 31. С. 118–125.
15. Оберлиз Д., Харланд В., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. 544 с.
16. Сусликов В. Л. Геохимическая экология болезней. Т. 2: Атомовиты. М.: Гелиос АРВ, 2000. 672 с.
17. Корчина Т. Я. Донозологическая диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы у населения северного региона // Экология человека. 2013. № 5. С. 8–13.
18. Скальный А. В. Установление границ допустимого содержания химических элементов в волосах детей с применением центильных шкал // Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И. И. Мечникова. 2002. № 1–2 (3). С. 62–65.
19. Скальный А. В. Референтные значения концентраций химических элементов в волосах, полученные методом ИСП–АЭС (АНО Центр биотической медицины) // Микроэлементы в медицине. 2003. № 4 (1). С. 55–56.
20. Skalny A. V., Skalnaya M. G., Tinkov A. A., Serebryansky E. P., Demidov V. A., Lobanova Y. N., Grabeklis A. R., Berezkina E. S., Gryazeva I. V., Skalny A. A., Nikonov A. A. Reference values of hair toxic trace elements content in occupationally non-exposed Russian population // Environ Toxicol Pharmacol. 2015. Vol. 40, No 1. Pp. 18–21.

References

1. Gridin L. A., Shishov A. A., Dvornikov M. V. Osobennosti adaptacionnyh reakcij cheloveka v usloviyah Krajnego Severa [Features of human adaptive reactions in the conditions of the Far North]. *Zdorov'e naseleniâ i sreda obitaniâ* [Population health and habitat], 2014, no. 4 (253), pp. 4–6. (In Russ.).
2. Korchin V. I., Korchina T. Ya., Ternikova E. M., Bikbulatova L. N., Lapenko V. V. Vliyanie klimatogeograficheskikh faktorov YAmalo-Neneckogo avtonomnogo okruga na zdorov'e naseleniya (obzor) [Influence of Climatic and Geographical Factors of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on the Health of Its Population (Review)]. *Zhurn. med.-biol. issledovaniy* [Journal of Medical and Biological Research], 2021, vol. 9, no. 1, pp. 77–88. (In Russ.).
3. Maksimov A. L., Belkin V. Sh. Biomedicinskie i klimatoekologicheskie aspekty rajonirovaniya territorij s ekstremal'nymi usloviyami sredy prozhivaniya [Biomedical, climatic and ecological aspects of the zoning the territories with extreme living conditions]. *Vestn. DVO RAN* [Bulletin of the FEB RAS], 2005, no. 3, pp. 28–39. (In Russ.).
4. Lugovaya E. A., Averyanova I. V. Assessing tension coefficient of body adaptation reserves under chronic exposure to factors existing in Polar Regions. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 2, pp. 101–109.
5. Levin Yu. M. *Problemy klinicheskoy metodologii i endoekologii* [Problems of clinical methodology and endoecology]. Moscow, Sochi, Siti-Servis, 1997, 137 p. (In Russ.).
6. Agadzhanyan N. A., Turzin P. S., Ushakov I. B. Obshchestvennoe i professional'noe zdorov'e i promyshlennaya ekologiya [Public and occupational health and industrial ecology]. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya* [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology], 1999, no. 1, pp. 1–9. (In Russ.).
7. Agadzhanyan N. A. *Adaptacionnaya i etnicheskaya fiziologiya: prodolzhitel'nost' zhizni i zdorov'e cheloveka* [Adaptive and ethnic physiology: life expectancy and human health]. Moscow, RUDN, 2009, 34 p. (In Russ.).
8. Avcyn A. P., Zhavoronkov A. A., Rish M. A., Strochkova L. S. *Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikaciya, organopatologiya* [Human Microelementosis: Etiology, Classification, Organopathology]. Moscow, Medicina, 1991, 496 p. (In Russ.).
9. Ding Z., Hu X. Ecological and Human Health Risks from Metal (Loid)s in Peri-Urban Soil in Nanjing, China. *Environ. Geochem. Health*, 2014, vol. 36, no. 3, pp. 399–408.
10. Notova S. V., Kiyayeva E. V., Radysh I. V., Laryushina L. E., Blagonravov M. L. Elemental Status of Students with Different Levels of Adaptation. *Bull. Exp. Biol. Med.*, 2017, vol. 163, no. 5, pp. 590–593.

11. Uspenskaya E. V., Syroeshkin A. V., Pletneva T. V. Water as a “Complex Mineral”: Trace Elements, Isotopes and the Problem of Incoming Mineral Elements with Drinking Water. *Trace Elements Med.*, 2010, vol. 11, no 2, p. 50.
12. Bobun I. I., Ivanov S. I., Unguryanu T. N., Gudkov A. B., Lazareva N. K. K voprosu o regional'nom normirovanii himicheskikh veshchestv v vode Arhangel'skoj oblasti [The issue of regional regulation of chemicals in water in a case study of the Arkhangelsk Region]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2011, no 3, pp. 91–95. (In Russ.).
13. Bul'ban A. P., Mitrofanov I. D. Gidrohimiya prirodnyh vod Primagadan'ya [Hydrochemistry of natural waters in the Magadan Region]. *Nauchnaya molodezh' — Severo-Vostoku Rossii: materialy III Mezhhregional'noj konferencii molodyh uchenyh* [Proceedings of the III Inter-Regional Conference of Young Scientists]. Magadan, 2010, pp. 14–18. (In Russ.).
14. Stepanova E. M., Lugovaya E. A. Soderzhanie himicheskikh elementov v vodoprovodnoj vode i vode iz rodnikovyh pit'evyh istochnikov raznyh rajonov Magadanskoj oblasti [Chemical elements in drinkable water from central supply and spring sources in different areas of the Magadan region]. *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2023, no. 31, pp. 118–125. (In Russ.).
15. Oberliz D., Harland V., Skal'nyj A. *Biologicheskaya rol' makro- i mikroelementov u cheloveka i zhivotnyh* [Biological role of macro- and microelements in humans and animals]. Saint Petersburg, Nauka, 2008, 544 p. (In Russ.).
16. Suslikov V. L. *Geohimicheskaya ekologiya boleznej*. T. 2: Atomovity [Geochemical ecology of diseases. Vol. 2: Atomovits]. Moscow, Gelios ARV, 2000, 672 p. (In Russ.).
17. Korchina T. Ya. Donozologicheskaya diagnostika zabolevanij serdechno-sosudistoj sistemy u naseleniya severnogo regiona [The heart disease donozological diagnostic in population of the North region]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology], 2013, no. 5, pp. 8–13. (In Russ.).
18. Skal'nyj A. V. Ustanovlenie granic dopustimogo soderzhaniya himicheskikh elementov v volosah detej s primeneniem centil'nyh shkal [Setting the limits of the permissible content for chemical elements in children's hair using centile scales]. *Vestnik Sankt-Peterburgskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii im. I. I. Mechnikova* [Herald of North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov], 2002, no. 1–2 (3), pp. 62–65. (In Russ.).
19. Skal'nyj A. V. Referentnye znacheniya koncentracij himicheskikh elementov v volosah, poluchennye metodom ISP–AES (ANO Centr bioticheskoy mediciny) [Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP–AES method in ANO Centre for biotic medicine]. *Mikroelementy v medicine* [Trace elements in medicine], 2003, no. 4 (1), pp. 55–56. (In Russ.).
20. Skalny A. V., Skalnaya M. G., Tinkov A. A., Serebryansky E. P., Demidov V. A., Lobanova Y. N., Grabeklis A. R., Berezkina E. S., Gryazeva I. V., Skalny A. A., Nikonorov A. A. Reference values of hair toxic trace elements content in occupationally non-exposed Russian population. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2015, vol. 40, no 1, pp. 18–21.

Информация об авторах

Е. А. Луговая — кандидат биологических наук, директор научно-исследовательского центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук;

Е. М. Степанова — научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний, Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Information about the authors

E. A. Lugovaya — PhD (Biology), Director of Research Center “Arktika” of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences;

E. M. Stepanova — Researcher of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Обзор литературы
УДК 614
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.019

РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ И ТОКСИЧНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПАТОГЕНЕЗЕ ВНЕБОЛЬНИЧНОЙ ПНЕВМОНИИ

**Надежда Александровна Никифорова¹, Татьяна Алексеевна Карапетян²,
Наталья Владимировна Доршакова³**

^{1–3}*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия*

¹*nadusha_nikifor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7244-8678>*

²*kara@karelia.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8129-8133>*

³*ndorshakova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1072-9164>*

Аннотация

Пневмония остается одной из наиболее актуальных проблем пульмонологии. Несмотря на значительные достижения в антибактериальной и противовирусной терапии, смертность от этого заболевания не снижается. В развитии внебольничной пневмонии у взрослых существенную роль играют экологические факторы. В северных регионах, к которым относится Республика Карелия, неблагоприятные для здоровья условия окружающей среды выступают как факторы риска, способствующие возникновению или ухудшению течения заболевания. Республика Карелия, как и другие территории Севера, имеет определенные характеристики содержания и распределения химических элементов (или их соединений) в природных средах, являясь специфической биогеохимической провинцией. В настоящем обзоре обсуждается роль отдельных эссенциальных и токсичных микроэлементов в патогенезе внебольничной пневмонии, что может помочь выяснить и конкретизировать причины длительного и осложненного течения заболевания, а также открывает новые перспективы в разработке эффективных подходов к его лечению и профилактике.

Ключевые слова:

Север, внебольничная пневмония, микроэлементы

Финансирование:

исследование проведено за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-25-00204, <https://rscf.ru/project/22-25-00204/>.

Для цитирования:

Никифорова Н. А., Карапетян, Т. А., Доршакова Н. В. Роль отдельных эссенциальных и токсичных микроэлементов в патогенезе внебольничной пневмонии // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 160–169. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.019.

Literature review

THE ROLE OF CERTAIN ESSENTIAL AND TOXIC TRACE ELEMENTS IN THE PATHOGENESIS OF COMMUNITY-ACQUIRED PNEUMONIA

Nadezhda A. Nikiforova¹, Tatyana A. Karapetyan², Natalia V. Dorshakova³

^{1–3}*Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia*

¹*nadusha_nikifor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7244-8678>*

²*kara@karelia.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8129-8133>*

³*ndorshakova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1072-9164>*

Abstract

Pneumonia remains one of the most pressing problems of pulmonology. Despite significant advances in antibacterial and antiviral therapy, mortality from this disease is not going down. Environmental factors play a significant role in the development of community-acquired pneumonia in adults. In the northern regions, such as the Republic of Karelia, environmental conditions unfavorable for human health act as risk factors that contribute to the occurrence or worsening of the disease. The Republic of Karelia, like other northern territories, has certain characteristics in terms of the content and distribution of chemical elements (or their compounds) in natural environments, making it a specific biogeochemical province. This survey discusses the role of individual essential and toxic trace elements in the pathogenesis of community-acquired pneumonia, which can help clarify and specify the causes of the long and complicated disease course. This opens up new prospects in the development of effective approaches to its treatment and prevention.

Keywords:

North, community-acquired pneumonia, trace elements

Funding:

the study was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-25-00204, <https://rscf.ru/project/22-25-00204/>.

For citation:

Nikiforova N. A., Karapetyan T. A., Dorshakova Natalia V. The role of certain essential and toxic trace elements in the pathogenesis of community-acquired pneumonia. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 160–169. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.019.

Пневмония остается одной из самых актуальных проблем пульмонологии. Несмотря на достигнутые успехи в антибактериальной и противовирусной терапии, летальность по ее причине не снижается [1; 2]. Пневмония накладывает большую финансовую нагрузку на ресурсы здравоохранения, занимая восьмое место по стоимости лечения среди всех патологий в стационаре и создавая значительные дополнительные расходы [3], связанные с временной нетрудоспособностью. Высокая заболеваемость и смертность от внебольничной пневмонии (ВП) во многом объясняется демографическими изменениями — старением населения в современном мире, которое резко ускорилось с 2010 г. [4]. Большое значение приобретает и неуклонный рост резистентности патогенных микроорганизмов к антимикробным препаратам, связанный с их бесконтрольным назначением и самолечением пациентов [5]. Вместе с тем известно, что ВП у взрослых относится к группе болезней, в этиопатогенезе которых большую роль играют экологические факторы. Неблагоприятные условия окружающей среды выступают как факторы риска, способствуя возникновению или утяжелению течения заболевания, что особенно актуально для северных регионов [6], к которым относится и Республика Карелия (РК).

Согласно официальным статистическим данным, в период с 2014 по 2019 г. заболеваемость ВП в РК находилась в интервале 418,9–721,8 на 100 тыс. человек, превышая среднероссийский уровень, который в эти годы составлял 337,09–518,9 на 100 тыс. человек. Во время пандемии COVID-19 в республике произошел резкий рост заболеваемости ВП: в 2020 г. — до 1517,9 и в 2021 г. — до 1306,4 на 100 тыс. человек при средних показателях по Российской Федерации 1856,18 и 1148,43 на 100 тыс. человек соответственно [7].

Республика Карелия, как и другие территории Севера, имеет определенные характеристики содержания и распределения химических элементов (или их соединений) в природных средах, являясь специфической биогеохимической провинцией [8]. С этим связано развитие биологических реакций местной флоры и фауны, так как известно, что изолированный синтез химических элементов в живом организме невозможен. Существующий недостаток или избыток микроэлементов (МЭ) может выступать и в качестве предиктора развития специфичной для данной местности патологии у человека, являющегося конечным звеном большинства всех пищевых цепей. У жителей Севера выявляется глубокий дефицит кальция, магния, цинка, селена, йода, что приводит к возникновению микроэлементозов, однако роль химических элементов в развитии такого заболевания, как ВП, до сих пор изучена недостаточно.

Взаимодействие микро- и макроорганизма представляет собой совокупность сложных биохимических процессов, в которых участвуют различные химические вещества, в том числе и МЭ. Они выполняют важнейшие функции, будучи не только ключевыми составными частями многих ферментов, но и необходимыми кофакторами для течения разнообразных химических реакций [9]. Эссенциальные элементы, выполняя сигнальную, структурную, каталитическую роли, необходимы для функционирования всех систем организма, тогда как токсичные индуцируют окислительный стресс, провоцируют воспаление, нарушая работу иммунной, эндокринной, нервной и других систем организма. Определение эссенциальных и токсичных элементов в крови необходимо для изучения основных физиологических процессов, происходящих в организме человека под влиянием различных факторов окружающей среды [10]. Данное направление является важным в доказательной медицине при оценке рисков здоровья населения. Одним из примеров роли микроэлементов в организме человека является их участие в патогенезе пневмонии [11].

Представляется необходимым последовательно рассмотреть роль отдельных эссенциальных и токсичных микроэлементов в жизнедеятельности микроорганизмов и человека.

При инфекционном процессе, который играет ключевую роль в патогенезе развития воспаления легких, патогенные микроорганизмы находятся в постоянной борьбе за выживание и размножение в организме человека. В биохимических реакциях, необходимых для жизнедеятельности бактерий, важную роль играют ионы таких металлов, как железо (Fe), марганец (Mn) и цинк (Zn). Они могут участвовать в регуляции генной экспрессии, защищать бактерии от окислительного стресса, выступать в качестве факторов роста и кофакторов для различных ферментов. Протеомические исследования показали, что ионы этих металлов выступают в качестве кофакторов у около 30 % всех белков в бактериальной клетке [12]. Это подтверждает их важность для нормального функционирования бактерий, особенно в контексте взаимодействия со своим хозяином. Кроме того, некоторые патогенные бактерии активно конкурируют с организмом за МЭ, что позволяет им эффективно выживать и размножаться. Показано, что ограничение захвата ионов Fe, Mn и Zn у микроорганизмов приводит к подавлению роста колоний, повышает их чувствительность к механизмам элиминации и антибактериальным препаратам [13]. Некоторые бактерии используют ионы Mn для защиты от окислительного стресса, который возникает при активации иммунной системы хозяина. Взаимодействуя с радикальными соединениями, ионы Mn предотвращают их воздействие на бактериальные клетки и служат протекторами, способствующими повышению выживаемости микроорганизмов и, соответственно, прогрессированию инфекционного процесса [14]. Ряд исследований показал, что повышение содержания Mn в диете может потенцировать развитие тяжелого течения инфекции, вызванной *S. Aureus* [15]. Дальнейшее изучение механизмов взаимодействия ионов Mn с бактериальными патогенами может помочь разработать новые подходы к лечению и профилактике инфекций, предотвращать их летальные последствия [16]. В свою очередь, дефицит Zn является одной из причин нарушения биохимических процессов в бактериях, а избыточный уровень этого МЭ может оказывать токсическое воздействие на патогенные микроорганизмы [17].

Первым барьером, который препятствует проникновению патогенов в организм человека, являются эпителиальные клетки слизистых оболочек дыхательных путей. Дистрофические и атрофические изменения в эпителии могут привести к нарушению целостности этого барьера и снижению его защитных, секреторных и абсорбционных функций [18]. В таком состоянии слизистая оболочка становится особо уязвимой для инфекций. В защите слизистых оболочек дыхательного тракта особую роль играет Zn [19; 20]. Исследования показывают, что дополнительное поступление цинка в организм может помочь восстановить нормальное состояние слизистой оболочки и функцию эпителиальных клеток, активировать иммунные клетки и синтез антител и цитокинов [19; 20].

Микроэлементы играют важную роль в функционировании иммунной системы организма, так как регулируют образование, функции и активность иммунокомпетентных клеток, синтез антител, цитокинов и пр. Недостаток и дефицит МЭ может привести к нарушению работы различных компонентов иммунной защиты организма и к повышению чувствительности к инфекционным агентам.

Цинк является важным минералом, играющим роль кофактора для множества ферментов [21]. Одной из важнейших его функций в организме является участие в регуляции функций иммунной системы. Установлено, что профилактическое применение препаратов цинка статистически достоверно уменьшает заболеваемость пневмонией и диареей у детей, а также снижает смертность при этих заболеваниях [22]. Отмечено безусловное иммуномодулирующее и противовирусное действие ионов цинка [19–27]. Он активизирует нейтрофилы, естественные киллеры и Т-лимфоциты, играет важную роль в синтезе нуклеиновых кислот в клетках тимуса, а также в активации тимолина, который стимулирует иммунные клетки. Селективный дефицит цинка может привести к гипоплазии тимуса и снижению активности тимолина с развитием иммунодефицита, прежде всего Т-клеточного [28]. Zn также необходим для нормального синтеза и функционирования белков иммунной системы, таких как антитела и цитокины. Уменьшение количества Т-лимфоцитов и антител, а также подавление функций фагоцитов — это характерные проявления иммунодефицита. Все эти изменения, скорее всего, связаны с нарушением метаболических и биохимических процессов, в которых Zn играет ключевую роль [28–31]. Нарушение баланса Zn может привести к снижению иммунной реактивности организма и увеличению риска развития инфекции, а его дефицит вызывает снижение числа и функциональной активности иммунных клеток, изменение в составе и активности цитокинов, что нарушает иммунный

ответ на инфекцию [19–32]. При остром воспалении происходит перераспределение Zn: большая часть его ионов переходит из сыворотки крови в ткань печени, где он участвует в синтезе белков острофазового ответа. Уменьшение уровня Zn в сыворотке крови помогает предотвратить развитие системного инфекционного процесса. Понимание механизмов, связанных с ролью цинка в иммунном ответе, имеет важное значение для разработки методов профилактики и лечения различных иммунодефицитов. Возможно, в будущем будет разработана терапия, направленная на коррекцию цинкового дефицита и восстановление нормального функционирования иммунной системы. Однако для этого нужно дальнейшее изучение всех аспектов взаимодействия цинка и иммунной системы. Большое количество исследований посвящено эффективности цинка в отношении инфекционного повреждения дыхательной системы [19–32]. Дефицит Zn является одним из факторов риска развития пневмонии у пожилых людей. Его уровень в крови напрямую влияет на частоту заболевания пневмонией, продолжительность болезни и необходимость применения антибиотиков [32]. Показано, что повышение уровня цинка в крови у лиц с лабораторными признаками его дефицита сопровождается снижением частоты пневмонии, сокращением времени заболевания и потребности в антибиотиках. Учитывая, что дефицит цинка наблюдается у 30 % населения в мире [33], эти результаты подчеркивают важность поддержания оптимального уровня цинка в организме для предотвращения развития заболевания.

Марганец, как и цинк, является важнейшим элементом, который участвует в процессах образования и активации различных ферментов [34–36]. Он необходим для регуляции внутриклеточных энергетических процессов, нормального функционирования иммунной системы, а также для свертывания крови, роста костной и соединительной тканей и пр. [37]. Марганец выполняет три важнейшие функции: 1) выступает в качестве активатора пируваткарбоксилазы и изоцитрат-дегидрогеназы, играющих ключевую роль в регуляции гликолизогенеза; 2) участвует в процессе защиты и сохранения целостности митохондриальной мембраны совместно с супероксиддисмутазой; 3) активирует гликозилтрансферазу, вовлеченную в синтез мукополисахаридов [38]. Несмотря на важность марганца для организма, его избыточное поступление в организм человека может вызвать отрицательные последствия, такие как расстройства нервной системы и нарушения функций печени, более тяжелое течение пневмонии. Однако исследования, посвященные описанию конкретной роли марганца в патогенезе ВП, крайне малочисленны [39].

Известно, что медь (Cu) необходима для оптимальной функции врожденного иммунитета, а ее дефицит в питании приводит к повышенной восприимчивости к бактериальным инфекциям. В литературных источниках сообщается, что умеренный дефицит меди у людей и животных характеризуется нейтропенией [40; 41] и нарушением функции нейтрофилов (что проявляется пониженной фагоцитарной и бактерицидной активностью), а прием пищевых медьсодержащих добавок устраняет эти нарушения [42]. Аналогичное воздействие оказывает дефицит Cu и на функцию макрофагов [42–44]. Кроме того, медь увеличивает лизоцимную и бактерицидную активность сыворотки крови, а также обладает способностью связывать токсины и усиливать эффективность антибактериальных препаратов [45].

В различных исследованиях прослеживается связь между уровнем железа в организме и инфекционно-воспалительными заболеваниями, включая пневмонию [46]. Демонстрируется, что дефицит Fe сопряжен с повышенным риском развития инфекционного процесса, так как оно способно стимулировать повышение уровня комплимента и гемолизина, индуцировать процесс антителообразования, увеличивать фагоцитарную активность лейкоцитов [31, 47–48]. Однако известно, что Fe используется самим микроорганизмом-возбудителем для своей жизнедеятельности [49; 50]. Именно поэтому важно поддерживать оптимальный баланс и уровень железа в организме. Полученные результаты подчеркивают необходимость дальнейших исследований роли Fe в воспалительных процессах и разработки стратегии их профилактики и лечения на основе поддержания оптимального уровня микроэлемента в организме.

Проведенные исследования показывают, что кадмий (Cd) оказывает негативное воздействие на альвеолярные макрофаги, вызывая снижение их количества и фагоцитарной активности. Предполагается, что это происходит вследствие снижения содержания внутриклеточной АТФ [51].

Кроме того, кадмий подавляет пролиферацию Т-лимфоцитов и синтез интерлейкина-2, а также образование Т-супрессоров через активацию ПОЛ, что патогенетически важно в развитии ВП [52; 53]. В отличие от кадмия, карбонат лития усиливает лейкопоэз, что связано с повышенной продукцией колониестимулирующего фактора моноцитами-макрофагами, повышает подвижность, хемотаксис и фагоцитарную активность моноцитов и макрофагов [53; 54]. Это позволяет сделать вывод, что кадмий и карбонат лития оказывают противоположное воздействие на иммунную систему, что важно для понимания и может найти применение в различных областях медицины и токсикологии.

Кобальт (Co) является важным микроэлементом, необходимым для нормального функционирования живых организмов, так как присутствует в молекуле витамина В₁₂, где его массовая доля составляет около 4 %. Хотя кобальт необходим для нормального функционирования организма, его избыток может стать токсичным. Чрезмерное поступление Co негативно влияет на гены, а также клеточные мембраны и ферменты. Это связано с его способностью вызывать гипоксию, а также активировать процесс перекисления липидов и истощение антиоксидантных систем. В результате возникает окислительный стресс, который лежит в основе развития таких патологических состояний и заболеваний, как старение, рак и сердечно-сосудистые заболевания [55]. В этой связи важно поддерживать уровень Co в организме в оптимальных пределах. Следует соблюдать сбалансированную диету, содержащую необходимое количество этого МЭ, и следить за его концентрацией в организме, особенно при дополнительном приеме препаратов Co.

Таким образом, МЭ принадлежит обширная и значительная роль в развитии пневмонии. Дальнейшее изучение этого вопроса может помочь выяснить и конкретизировать причины длительного и осложненного течения ВП, что, в свою очередь, открывает новые перспективы в разработке эффективных подходов к лечению и профилактике заболевания.

Список источников

1. Мировые демографические перспективы: пересмотренное издание 2019 года. Ссылка активна на 09.2023. <https://population.un.org/wpp/>.
2. Минаков А. А., Вахлевский В. В., Волошин Н. И., Харитонов М. А., Салухов В. В., Тыренко В. В., Рудаков Ю. В., Вахлевская Е. Н., Алехина Е. В. Новый взгляд на этиологию и иммунологические аспекты пневмонии // Медицинский совет. 2023. № 17 (4), С. 141–153. <https://doi.org/10.21518/ms2023-056>.
3. Гомон Ю. М., Колбин А. С., Балыкина Ю. Е., Сидоренко С. В., Иванов И. Г., Кужель А. М., Репина А. В., Лобзин Ю. В. Анализ «затраты-эффективность» существующей практики антибактериальной терапии внегоспитальных пневмоний в многопрофильных стационарах // Клин. фармакол. тер. 2017. № 26 (4). С. 92–96.
4. Гаврикова А. В. Ключевые тенденции демографических процессов в контексте социального развития // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2018. № 12. 0,2 п. л. URL: <http://e-koncept.ru/2018/183081.htm>.
5. Воробьева Л. Л. Пути решения антибиотикорезистентности в современном мире // Цифровая наука. 2021. № 2. С. 6–15.
6. Попова Л. А. Продолжительность жизни населения северных регионов России: тенденции и резервы роста // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2021. № 4. С. 157–171. doi: 10.37614/2220-802X.4.2021.74.012.
7. Карапетян Т. А., Доршакова Н. В., Никифорова Н. А. Анализ фактической заболеваемости внебольничной пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, в Республике Карелия в 2011–2021 гг. // Материалы X Всероссийской научно-практической конференции «Здоровье населения и качество жизни». СПб., 2023. Т. 1. С. 211–217.
8. Горбачев А. Л., Добродеева Л. К., Теддер Ю. Р., Шацова Е. Н. Биогеохимическая характеристика северных регионов. Микроэлементный статус населения Архангельской области и прогноз развития эндемических заболеваний // Экология человека. 2007. № 1. С. 4–11.
9. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация. М.: Медицина, 1991. 496 с.

10. Ноздрюхина Л. Р. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Наука, 1977. 184 с.
11. Смоляр В. И. Гипо- и гипермикрэлементозы. Киев: Здоровья, 1989. 152 с.
12. Capdevila D. A., Edmonds K. A., Giedroc D. P. Metallochaperones and metalloregulation in bacteria // *Essays Biochem.* 2017. May 9; 61 (2): 177–200. doi:10.1042/EBC20160076.
13. Brown L. R., Caulkins R. C., Schartel T. E., et al. Increased Zinc Availability Enhances Initial Aggregation and Biofilm Formation of *Streptococcus pneumoniae* // *Front Cell Infect Microbiol.* 2017. 7 (7): 233. doi:10.3389/fcimb.2017.00233.
14. Barnese K, Gralla E. B., Valentine J. S., Cabelli D. E. Biologically relevant mechanism for catalytic superoxide removal by simple manganese compounds. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2012. May 1; 109 (18): 6892–7. doi:10.1073/pnas.1203051109.
15. Juttukonda L. J., Berends ETM, Zackular J. P., et al. Dietary Manganese Promotes Staphylococcal Infection of the Heart. *Cell Host Microbe.* 2017. Oct 11; 22 (4): 531–542. e8. doi:10.1016/j.chom.2017.08.009.
16. Абатуров А. Е. Медикаментозное ограничение доступности ионов железа для патогенных бактерий // *Здоровье ребенка.* 2018. Т. 13, № 4. С. 416–424.
17. Martinez-Estevez N. S., Alvarez-Guevara A. N., Rodriguez-Martinez C. E. Effects of zinc supplementation in the prevention of respiratory tract infections and diarrheal disease in Colombian children: A 12-month randomised controlled trial // *Allergol Immunopathol (Madr).* 2016 Jul–Aug; 44 (4): 368–75. doi:10.1016/j.aller.2015.12.006.
18. Раков А. Л., Панфилов Д. Н., Гельцер Б. И. Цилиарная активность мерцательного эпителия у больных с инфекцией нижних дыхательных путей (пневмонией и острым бронхитом) // *Пульмонология.* 2000. № 1. С. 57–62.
19. Brooks W. A., Santosham M., Naheed A., et al. Effect of weekly zinc supplements on incidence of pneumonia and diarrhoea in children younger than 2 years in an urban, low-income population in Bangladesh: randomised controlled trial. *Lancet.* 2005 Sep 17–23; 366 (9490): 999–1004. doi:10.1016/S0140-6736(05)67109-7.
20. Laffaye G., Epishev V. V., Naumova K. A., Delafontaine A. How to prevent COVID-19 by means of a daily micronutrition protocol? An overview // *Human. Sport. Medicine.* 2020. Vol. 20, N 4. P. 127–138.
21. Damo S. M., Kehl-Fie T. E., Sugitani N, et al. Molecular basis for manganese sequestration by calprotectin and roles in the innate immune response to invading bacterial pathogens. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2013 Mar 5; 110 (10): 3841–6. doi:10.1073/pnas.1220341110.
22. Gammoh N. Z. and Rink L. (2017). Zinc in Infection and Inflammation. *Nutrients*, 9, Article No. 624. <https://doi.org/10.20944/preprints201705.0176.v1>.
23. Романов А. О., Шарипова М. М., Попова И. А., Архангельская А. Н., Гуревич К. Г., Шимановский Н. Л. Микроэлементы: роль в развитии тяжелых форм COVID-19 и возможности коррекции // *Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение.* 2022. Т. 11, № 4. С. 91–98. <https://doi.org/10.33029/2305-3496-2022-11-4-91-98>.
24. Skalny A. V., Timashev P. S., Aschner M. et al. Serum zinc, copper, and other biometals are associated with COVID-19 severity markers // *Metabolites.* 2021. Vol. 11, N 4. P. 244.
25. Skalny A. V., Rink L., Ajsuvakova O. P., Aschner M. et al. Zinc and respiratory tract infections: Perspectives for COVID-19 (review) // *Int. J. Mol. Med.* 2020. Vol. 46. P. 17–26.
26. Vogel-Gonzales M., Talló-Parra M., Herrera-Fernández V., Pérez-Vilaró G. et al. Low zinc levels at admission associates with poor clinical outcomes in SARS-CoV-2 infection // *Nutrients.* 2021. Vol. 13, N 2. P. 562.
27. Damo S. M., Kehl-Fie T. E., Sugitani N., et al. Molecular basis for manganese sequestration by calprotectin and roles in the innate immune response to invading bacterial pathogens. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2013 Mar 5; 110 (10): 3841–6. doi:10.1073/pnas.1220341110.
28. Федосеев Г. Б. Механизмы обструкции бронхов. СПб., 1995. 333 с.
29. Кактурский Л. В. Ванадий и другие микроэлементы // *Арх. пат.* 1990. № 52 (6). С. 76–78.
30. Преер С. М. Микроэлементы и иммунологическая реактивность организма. Томск, 1979. 167 с.
31. Тимакин Н. П. Биологическая роль микроэлементов, электролитов и значение их в медицине // *Материалы Научной конф. Томск. мед. ин-та и ЦНИЛ. Томск, 1977. С. 5–20.*

32. Barnett J. B., Hamer D. H., Meydani S. N. Low zinc status: a new risk factor for pneumonia in the elderly? *Nutr Rev.* 2010; 68 (1): 30–7. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00253>.
33. Аширметов А. Х., Мавлянов И. Р., Мавлянов З. И., Жарылкасынова Г. Ж. COVID-19: Известные препараты, новые возможности // Анализ риска здоровью. 2020. № 4. С. 170–180.
34. Chandrangsu P., Rensing C., Helmann J. D. Metal homeostasis and resistance in bacteria. *Nat Rev Microbiol.* 2017. Jun; 15 (6): 338–350. doi:10.1038/nrmicro.2017.15.
35. Chen Z., Wang X., Yang F., et al. Molecular Insights into Hydrogen Peroxide-sensing Mechanism of the Metalloregulator MntR in Controlling Bacterial Resistance to Oxidative Stresses. *J Biol Chem.* 2017 Mar 31; 292 (13): 5519–5531. doi: 10.1074/jbc.M116.764126.
36. Zogzas C. E., Mukhopadhyay S. Inherited Disorders of Manganese Metabolism. *Adv Neurobiol.* 2017; 18: 35–49. doi:10.1007/978-3-319-60189-23.
37. Erikson K. M., Syversen T., Aschner J. L., Aschner M. // *Environm. Toxicol. and Pharmacol.* 2005. Vol. 19. P. 415–421.
38. Au K., Benedetto A., Aschner M. // *Neurotoxicology.* 2008. Vol. 29 (4). P. 569–576.
39. Габуня Г. Ш. К вопросу о роли марганца в этиологии пневмонии. Ссылка активна 09.2023. https://cyberleninka.ru/viewer_images/19325288/f/1.png.
40. Dunlap W. M., James G. W., 3rd, Hume D. M. (1974). Anemia and neutropenia caused by copper deficiency. *Ann. Int. Med.* 80, 470–476.
41. Zidar B. L., Shaddock R. K., Zeigler Z., Winkelstein A. (1977). Observations on the anemia and neutropenia of human copper deficiency. *Am. J. Hematol.* 3, 177–185.
42. Percival S. S. (1995). Neutropenia caused by copper deficiency: possible mechanisms of action. *Nutr. Rev.* 53, 59–66.
43. Heresi G., Castillo-Durán C., Muñoz C., Arévalo M., Schlesinger L. (1985). Phagocytosis and immunoglobulin levels in hypocupremic infants. *Nutr. Res.* 5, 1327–1334.
44. Xin Z., Waterman D. F., Hemken R. W., Harmon R. J. (1991). Effects of copper status on neutrophil function, superoxide dismutase, and copper distribution in steers. *J. Dairy Sci.* 74, 3078–3085.
45. Babu U., Failla M. L. (1990). Respiratory burst and candidacidal activity of peritoneal macrophages are impaired in copper-deficient rats. *J. Nutr.* 120, 1692–1699.
46. Никитин Ю. Е., Никитин Е. Н., Шкляев А. Е. Клиническое значение гепсидина при внебольничной пневмонии, осложненной анемией // *Практическая медицина.* 2014. № 3 (79). С. 162–167.
47. Копьева Т. Н., Амосова О. М. Полиморфно-ядерный лейкоцит: роль в развитии острого и хронического неспецифического воспаления легких // *Тер. арх.* 1987. № 3. С. 142–145.
48. Смоляр В. И. Гипо- и гипермикрозелементозы. Киев : Здоровья, 1989. 147 с.
49. Лямин А. В., Халиулин А. В., Исмагуллин Д. Д., Козлов А. В., Балдина О. А. Железо как эссенциальный фактор роста микобактерий // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2016; 18 (5): 320–7.
50. Carpevila D. A., Edmonds K. A., Giedroc D. .P. Metallochaperones and metalloregulation in bacteria // *Essays Biochem.* 2017 May 9; 61 (2):177–200. doi: 10.1042/EBC20160076.
51. Vouhafs R. K., Jarstrand C. Interaction between lung surfactant and nitric oxide production by alveolar macrophages stimulated by group B streptococci // *Pediatr. Pulmonol.* 2000; 30 (2): 106–113.
52. Гембицкий Е. В., Новоженев В. Г. Принципы и методы современной патогенетической терапии острой пневмонии // *Клин. мед.* 1994. № 5. С. 7–12.
53. Нурмуханбетов Е. П., Кашеева А. И., Иксымбаев Ж. С. Индукция кадмием ПОЛ в тканях белых крыс и ее профилактика аскорбиновой кислотой // *Гиг. труда.* 1989. № 3. С. 77–78.
54. Кончаловский М. В., Шишкова Т. В., Чотий В. Г., Баранов А. Е. Применение карбоната лития в качестве лейкостимулятора при острой лучевой болезни человека // *Гематол. и трансфузиол.* 1989. № 3. С. 16–22.
55. Долوماتов С. И., Сатаева Т. П., Жуков В. Современные аспекты регуляторных, патофизиологических и токсических эффектов, вызываемых ионами кобальта при оральном поступлении в организм человека // *Анализ риска здоровью.* 2019. № 3. С. 161–174. doi:10.21668/health.risk/2019.3.19.

References

1. Global demographic prospects: revised 2019 edition. (In Russ.). The link is active on 09.2023. <https://population.un.org/wpp/>.
2. Minakov A. A., Vakhlevsky V. V., Voloshin N. I., Kharitonov M. A., Salukhov V. V., Tyrenko V. V., Rudakov Yu. V., Vakhlevskaya E. N., Alyokhina E. V. A new look at the etiology and immunological aspects of pneumonia. *Medical advice*, 2023, No. 17 (4), pp. 141–153. (In Russ.). <https://doi.org/10.21518/ms2023-056>.
3. Gomon Yu. M., Kolbin A. S., Balykina Yu. E., Sidorenko S. V., Ivanov I. G., Kuzhel A. M., Repina A. V., Lobzin Yu. V. Analysis of the "cost-effectiveness" of the existing practice of antibacterial therapy of out-of-hospital pneumonia in multidisciplinary hospitals. *Klin. pharmacol. ter.*, 2017, no. 26 (4), pp. 92–96. (In Russ.).
4. Gavrikova A. V. Key trends of demographic processes in the context of social development. *Scientific and methodological electronic journal "Concept"*, 2018, No. 12, 0,2 p. 1. (In Russ.). Available at: <http://e-koncept.ru/2018/183081.htm>.
5. Vorobyeva L. L. Ways to solve antibiotic resistance in the modern world. *Digital science*, 2021, No. 2, pp. 6–15. (In Russ.).
6. Popova L. A. Life expectancy of the population of the northern regions of Russia: trends and growth reserves. *The North and the market: the formation of an economic order*, 2021, No. 4, pp. 157–171. (In Russ.). doi: 10.37614/2220-802X.4.2021.74.012.
7. Karapetyan T. A., Dorshakova N. V., Nikiforova N. A. Analysis of the actual incidence of community-acquired pneumonia not associated with COVID-19 in the Republic of Karelia in 2011–2021. *Materials of the X All-Russian Scientific and Practical Conference "Public health and quality of life"*. St. Petersburg, 2023, Vol. 1, pp. 211–217. (In Russ.).
8. Gorbachev A. L., Dobrodeeva L. K., Tedder Y. R., Shatsova E. N. Biogeochemical characteristics of the northern regions. The microelement status of the population of the Arkhangelsk region and the prognosis of the development of endemic diseases. *Human ecology*, 2007, No. 1, pp. 4–11. (In Russ.).
9. Avtsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Rish M. A., Strochkova L. S. *Human trace elements: etiology, classification*. Moscow, Medicine, 1991, 496 p. (In Russ.).
10. Nozdryukhina L. R. *Biological role of trace elements in animals and humans*. Moscow, Nauka, 1977, 184 p. (In Russ.).
11. Smolyar V. I. *Hypo- and hypermicroelementoses*. Kiev, Health, 1989, 152 p.
12. Capdevila D. A., Edmonds K. A., Giedroc D. P. Metallochaperones and metalloregulation in bacteria. *Essays Biochem.*, 2017, May 9; 61 (2): 177–200. doi:10.1042/EBC20160076.
13. Brown L. R., Caulkins R. C., Schartel T. E., et al. Increased Zinc Availability Enhances Initial Aggregation and Biofilm Formation of *Streptococcus pneumoniae*. *Front Cell Infect Microbiol.*, 2017, 7 (7): 233. doi:10.3389/fcimb.2017.00233.
14. Barnese K., Gralla E. B., Valentine J. S., Cabelli D. E. Biologically relevant mechanism for catalytic superoxide removal by simple manganese compounds. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2012, May 1; 109 (18): 6892–7. doi:10.1073/pnas.1203051109.
15. Juttukonda L. J., Berends ETM, Zackular J. P., et al. Dietary Manganese Promotes Staphylococcal Infection of the Heart. *Cell Host Microbe*, 2017, Oct 11; 22 (4): 531–542. e8. doi:10.1016/j.chom.2017.08.009.
16. Abaturov A. E. Medicamental restriction of the availability of iron ions for pathogenic bacteria. *Child's health*, 2018, Vol. 13, No. 4, pp. 416–424. (In Russ.).
17. Martinez-Estevez N. S., Alvarez-Guevara A. N., Rodriguez- Martinez C. E. Effects of zinc supplementation in the prevention of respiratory tract infections and diarrheal disease in Colombian children: A 12-month randomised controlled trial. *Allergol Immunopathol (Madr)*, 2016, Jul-Aug; 44 (4): 368–75. doi:10.1016/j.aller.2015.12.006.
18. Rakov A. L., Panfilov D. N., Geltser B. I. Ciliary activity of the atrial fibrillation in patients with lower respiratory tract infection (pneumonia and acute bronchitis). *Pulmonology*, 2000, No. 1, pp. 57–62. (In Russ.).

19. Brooks W. A., Santosham M., Naheed A., et al. Effect of weekly zinc supplements on incidence of pneumonia and diarrhoea in children younger than 2 years in an urban, low-income population in Bangladesh: randomised controlled trial. *Lancet*, 2005, Sep 17–23; 366 (9490): 999–1004. doi:10.1016/S0140-6736(05)67109-7.
20. Laffaye G., Epishev V. V., Naumova K. A., Delafontaine A. How to prevent COVID-19 by means of a daily micronutrition protocol? An overview. *Human. Sport. Medicine*, 2020, Vol. 20, N 4, pp. 127–138.
21. Damo S. M., Kehl-Fie T. E., Sugitani N., et al. Molecular basis for manganese sequestration by calprotectin and roles in the innate immune response to invading bacterial pathogens. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2013, Mar 5; 110 (10): 3841–6. doi:10.1073/pnas.1220341110.
22. Gammoh N. Z. and Rink L. (2017). Zinc in Infection and Inflammation. *Nutrients*, 9, Article No. 624. <https://doi.org/10.20944/preprints201705.0176.v1>.
23. Romanov A. O., Sharipova M. M., Popova I. A., Arkhangel'skaya A. N., Gurevich K. G., Shimanovsky N. L. Trace elements: the role in the development of severe forms of COVID-19 and the possibility of correction. *Infectious diseases: news, opinions, training*, 2022, Vol. 11, No. 4, pp. 91–98. (In Russ.). doi:<https://doi.org/10.33029/2305-3496-2022-11-4-91-98>.
24. Skalny A. V., Timashev P. S., Aschner M. et al. Serum zinc, copper, and other biometals are associated with COVID-19 severity markers. *Metabolites*, 2021, Vol. 11, N 4, p. 244. (In Russ.).
25. Skalny A. V., Rink L., Ajsuvakova O. P., Aschner M. et al. Zinc and respiratory tract infections: Perspectives for COVID-19 (review). *Int. J. Mol. Med.*, 2020, Vol. 46, pp. 17–26.
26. Vogel-Gongzales M., Talló-Parra M., Herrera-Fernández V., Pérez-Vilaró G. et al. Low zinc levels at admission associates with poor clinical outcomes in SARS-CoV-2 infection. *Nutrients*, 2021, Vol. 13, N 2. p. 562.
27. Damo S. M., Kehl-Fie T. E., Sugitani N., et al. Molecular basis for manganese sequestration by calprotectin and roles in the innate immune response to invading bacterial pathogens. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2013, Mar 5; 110 (10): 3841–6. doi: 10.1073/pnas.1220341110.
28. Fedoseev G. B. *Mechanisms of bronchial obstruction*. Saint Petersburg, 1995, 333 p. (In Russ.).
29. Kaktursky L. V. Vanadium and other trace elements. *Arch. pat.* 1990. No. 52 (6). pp. 76–78. (In Russ.).
30. Preer S. M. *Trace elements and immunological reactivity of the organism*. Tomsk, 1979, 167 p. (In Russ.).
31. Timakin N. P. Biological role of trace elements, electrolytes and their importance in medicine. *Materials of the Scientific Conference. Tomsk med. in-ta and TSNIL*. Tomsk, 1977, pp. 5–20. (In Russ.).
32. Barnett J. B., Hamer D. H., Meydani S. N. Low zinc status: a new risk factor for pneumonia in the elderly? *Nutr Rev.*, 2010; 68 (1): 30–7. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00253>.
33. Ashirmetov A. H., Mavlyanov I. R., Mavlyanov Z. I., Zharylkasynova G. J. COVID-19: Known drugs, new opportunities. *Health risk analysis*, 2020, No. 4, pp. 170–180. (In Russ.).
34. Chandrangu P/, Rensing C/, Helmann J. D. Metal homeostasis and resistance in bacteria. *Nat Rev Microbiol.*, 2017, Jun; 15 (6):338–350. doi: 10.1038/nrmicro.2017.15.
35. Chen Z., Wang X., Yang F., et al. Molecular Insights into Hydrogen Peroxide-sensing Mechanism of the Metalloregulator MntR in Controlling Bacterial Resistance to Oxidative Stresses. *J Biol Chem.*, 2017, Mar 31; 292 (13): 5519–5531. doi:10.1074/jbc.M116.764126.
36. Zogzas C. E., Mukhopadhyay S. Inherited Disorders of Manganese Metabolism. *Adv Neurobiol.*, 2017; 18: 35–49. doi:10.1007/978-3-319-60189-2_3.
37. Erikson K. M., Syversen T., Aschner J. L., Aschner M. *Environment. Toxicol. and Pharmacol.*, 2005, Vol. 19, pp. 415–421.
38. Au K., Benedetto A., Aschner M. *Neurotoxicology*, 2008, Vol. 29 (4), pp. 569–576.
39. Gabunia G. S. On the role of manganese in the etiology of pneumonia. (In Russ.). The link is active 09.2023 https://cyberleninka.ru/viewer_images/19325288/f/1.png.
40. Dunlap W. M., James G. W., 3rd, Hume D. M. (1974). Anemia and neutropenia caused by copper deficiency. *Ann. Int. Med.*, 80, 470–476.
41. Zidar B. L., Shaddock R. K., Zeigler Z., Winkelstein A. (1977). Observations on the anemia and neutropenia of human copper deficiency. *Am. J. Hematol.*, 3, 177–185.

42. Percival S. S. (1995). Neutropenia caused by copper deficiency: possible mechanisms of action. *Nutr. Rev.*, 53, 59–66.
43. Heresi G., Castillo-Durán C., Muñoz C., Arévalo M., Schlesinger L. (1985). Phagocytosis and immunoglobulin levels in hypocupremic infants. *Nutr. Res.*, 5, 1327–1334.
44. Xin Z., Waterman D. F., Hemken R. W., Harmon R. J. (1991). Effects of copper status on neutrophil function, superoxide dismutase, and copper distribution in steers. *J. Dairy Sci.*, 74, 3078–3085.
45. Babu U., Failla M. L. (1990). Respiratory burst and candidacidal activity of peritoneal macrophages are imposed in copper-deficient rats. *J. Nutr.*, 120, 1692–1699.
46. Nikitin Yu. E., Nikitin E. N., Shklyayev A. E. Clinical significance of hepcidin in community-acquired pneumonia complicated by anemia. *Practical Medicine*, 2014, No. 3 (79), pp. 162–167. (In Russ.).
47. Копыева Т. Н., Амосова О. М. Polymorphonuclear leukocyte: the role in the development of acute and chronic nonspecific lung inflammation. *Ter. arch.*, 1987, No. 3, pp. 142–145. (In Russ.).
48. Smolyar V. I. *Hypo- and hypermicroelementoses*. Kiev, Zdorovya, 1989, 147 p.
49. Lyamin A. V., Khaliulin A. V., Ismatullin D. D., Kozlov A. V., Baldina O. A. Iron as an essential growth factor of mycobacteria. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2016; 18 (5): 320–7. (In Russ.).
50. Capdevila D. A., Edmonds K. A., Giedroc D. P. Metallochaperones and metalloregulation in bacteria. *Essays Biochem.*, 2017, May 9; 61 (2): 177–200. doi:10.1042/EBC20160076.
51. Bouhafis R. K., Jarstrand C. Interaction between lung surfactant and nitric oxide production by alveolar macrophages stimulated by group In streptococci. *Pediatr. Pulmonol.*, 2000; 30 (2): 106–113.
52. Gembitsky E. V., Novozhenov V. G. Principles and methods of modern pathogenetic therapy of acute pneumonia. *Klin. med.*, 1994, No. 5, pp. 7–12. (In Russ.).
53. Nurmukhanbetov E. P., Kashcheeva A. I., Iksymbayev Zh. S. Induction of cadmium POL in the tissues of white rats and its prevention with ascorbic acid. *Gig. Labor.*, 1989, No. 3, pp. 77–78. (In Russ.).
54. Konchalovsky M. V., Shishkova T. V., Chotiy V. G., Baranov A. E. The use of lithium carbonate as a leukostimulator in acute human radiation sickness. *Hematol. and transfusiol.*, 1989, No. 3, pp. 16–22. (In Russ.).
55. Dolmatov S. I., Sataeva T. P., Zhukov V. Modern aspects of regulatory, pathophysiological and toxic effects caused by cobalt ions during oral intake into the human body. *Health risk analysis*, 2019, No. 3, pp. 161–174. (In Russ.). doi:10.21668/health.risk/2019.3.19.

Информация об авторах

Н. А. Никифорова — кандидат медицинских наук, старший преподаватель;

Т. А. Карапетян — доктор медицинских наук, доцент, профессор;

Н. В. Доршакова — доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой.

Information about the authors

N. A. Nikiforova — Can. Sci. (Med.), Senior Lecturer;

T. A. Karapetyan — Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof;

N. V. Dorshakova — Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Family Medicine.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 57.02
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.020

НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ОРВИ ДЕТЕЙ (10–18 ЛЕТ), ПРОЖИВАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Виктория Викторовна Пожарская

*Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»,
Апатиты, Россия, vika_pozharskaja@mail.ru*

Аннотация

Для выявления факторов, оказывающих влияние на заболеваемость детей ОРВИ, было проведено исследование здоровья школьников в возрасте 10–18 лет, проживающих в Мурманской области. Установлена тенденция, что дети, которые принимают какие-либо витаминно-минеральные добавки к пище, реже болеют ОРВИ и быстрее выздоравливают. Это позволяет предположить, что питание школьников является несбалансированным по основным компонентам и включение в рацион ребенка местных продуктов недостаточно для полноценного восполнения всех необходимых нутриентов в растущем организме подростков, а употребление различных витаминно-минеральных добавок к пище, в том числе витамина Д3 и рыбьего жира, позволяет хотя бы частично компенсировать недостаток необходимых элементов.

Ключевые слова:

школьники, дети, здоровье, Арктика, питание

Благодарности:

автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам ФГБУН «Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике» Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (г. Апатиты) за организацию и совместное проведение исследований.

Для цитирования:

Пожарская В. В. Некоторые факторы, оказывающие влияние на заболеваемость ОРВИ детей (10–18 лет), проживающих на территории Мурманской области // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 170–178. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.020.

Original article

SOME FACTORS OF AFFECTING THE INCIDENCE OF COLD DISEASES IN CHILDREN (10–18 YEARS OLD) LIVING IN THE MURMANSK REGION

Victoria V. Pozharskaya

Federal Research Center Kola Science Center RAS, Apatity, Russia, vika_pozharskaja@mail.ru

Abstract

To identify factors influencing the incidence children of respiratory diseases, a study was conducted on the health of schoolchildren aged 10–18 years living in the Murmansk region. A trend has been established that children who take any vitamin and mineral supplements in their food are recover faster. This suggests that the available food for schoolchildren is unbalanced in its main components and the inclusion of local products in a child's diet is not enough to fully replenish all the necessary nutrients in the growing body of adolescents. The use of various vitamin and mineral supplements in food, including vitamin D3 and fish oil, allows you to at least partially compensate for the lack of essential elements.

Keywords:

schoolchildren, children, health, Arctic, nutrition

Acknowledgments:

the author expresses sincere gratitude to the staff of the “Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic” of the Federal Research Center KSC RAS (Apatity) for organizing and jointly conducting research.

For citation:

Pozharskaya V. V. Some factors of affecting the incidence of cold diseases in children (10–18 years old) living in the Murmansk region. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 170–178. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.020.

Введение

Мурманская область является уникальным регионом из-за сочетания множества факторов, оказывающих влияние на его жителей. Небольшое число солнечных дней, полярная ночь, большое количество дней с низкой температурой воздуха, низкая минерализация питьевой воды [1–3] и многие другие факторы сказываются на функционировании всех систем организма.

Организм жителей северных регионов, в ответ на действие низких температур, отличается повышенной теплопродукцией, которую также называют «химической теплорегуляцией» [4]. Поэтому рацион северян традиционно включает много белков и жиров при меньшей относительной энергетической значимости углеводов, в связи с чем у них выработался специфический белково-липидный тип обмена веществ [5; 6]. Однако в последние десятилетия в питании жителей северных территорий произошла замена традиционного для народностей Севера белково-липидного рациона на углеводный, характерный для жителей европейских стран. Изменение исторически сложившейся структуры питания обуславливает распространенность алиментарно-зависимой патологии, особенно органов кроветворения (анемия), эндокринной системы (ожирение), системы кровообращения, костно-мышечной системы (остеопорозы). В рационе питания изменилось соотношение белков животного и растительного происхождения, полунасыщенных жирных кислот, отмечается низкое содержание водорастворимых витаминов [5; 7]. Дефицит белков и жиров в организме, считается фактором, повышающим риск развития иммунодефицитных состояний, приводящих к хроническим неинфекционным заболеваниям. Кроме того, с дефицитом белков, жиров и витамина С связана склонность развития у жителей Севера гипохромных анемий, с дефицитом кальция и фосфора — риск развития остеопороза. Сочетание недостатка этих минералов с выраженным дефицитом калия и магния в организме предрасполагает к нарушению нервно-мышечной проводимости, а также является фактором риска нарушений ритма сердца. На этом фоне избыток натрия в питании может привести к развитию артериальной гипертензии. Питание, несбалансированное по основным компонентам, в том числе по эссенциальным для здоровья минеральным веществам и витаминам, оказывает влияние на геном человека [8–10].

У народов, проживающих на территории Севера РФ, выработаны многовековые этноэкологические традиции по рациональному использованию природных ресурсов. Однако с развитием промышленности, особенно горнодобывающей, негативное воздействие оказывается не только на окружающую природную среду, но и на состояние здоровья населения, поэтому проблема сбалансированности рациона северян, проживающих в экстремальных условиях, и восполнение в организме всех необходимых питательных веществ требуют комплексного изучения. В решении этой задачи важную роль могут сыграть традиционные продукты питания из местного сырья [11], а сохранение этнического питания может стать основой здоровья населения в экстремальных условиях [12].

Проведенные на территории Севера России исследования показали, что как в городе, так и в селах зимний рацион жителей представлен пищей с низким содержанием не только основных макронутриентов (белков, жиров, углеводов), но и жизненно важных микронутриентов, таких как Са, К, Mg, а также витаминов: А, групп В и С [13], поэтому рацион жителей северных регионов должен включать продукты, богатые не только белками, жирами, витаминами, но и жизненно важными минералами, такими как кальций, калий, магний и фосфор [12]. Местные продукты позволяют восполнить дефицит питательных веществ в организме [6; 14–20]. Их отличительной особенностью является то, что в большинстве случаев в них отсутствуют пищевые добавки (ароматизаторы, красители, консерванты и т. п.), которые содержатся во многих продуктах питания, покупаемых в магазине. Дополнительным источником питательных веществ для организма служат различные витаминно-минеральные добавки к пище, употребляемые человеком.

Особенно важным является сбалансированное питание, адекватное потребностям организма, в детском и подростковом возрасте, когда идет активное физическое развитие и гормональная перестройка.

Методы

Было проведено исследование, направленное на выявление вклада питания и употребления витаминно-минеральных добавок к пище, а также витамина Д или рыбьего жира в заболеваемость ОРВИ школьников в возрасте 10–18 лет (85 человек), проживающих на территории Мурманской области (в Кандалакшском районе). Исследование проводилось в сентябре 2018 г.

Дети и их родители, либо законные представители, заполняли специально разработанные опросные листы, содержащие несколько блоков вопросов. Так, родители отвечали на вопросы о месте рождения детей, продолжительности проживания в данном населенном пункте, о наличии/отсутствии хронических заболеваний у ребенка, его режиме дня, активности, состоянии здоровья, указывали периодичность, с которой ребенок болеет ОРВИ (диагноз педиатра после обращения к нему), продолжительность ОРВИ, принимает ли витаминно-минеральные добавки к пище, периодичность их употребления и др. В связи с особенностью региона — наличием полярной ночи и маленьким числом солнечных дней — отдельными пунктами в опросных листах были вопросы об употреблении витамина Д3 или рыбьего жира.

Питанию ребенка отводился отдельный блок вопросов, который был идентичен в опросных листах школьников и их родителей. Так, предлагалось ответить на вопросы о представленности в рационе ребенка местных продуктов, перечислить, какие из них он чаще всего употребляет в пищу.

В зависимости от возраста школьника, ребенок заполнял опросные листы самостоятельно либо в форме интервьюирования. Во время заполнения опросных листов ребенком родителем/законного представителя в помещении не было для исключения влияния на ответы. Для минимизации недостоверности полученных данных анализировались только те опросные листы, в которых ответы родителя и ребенка совпадали.

К исследованию были привлечены здоровые дети на момент включения их в группы сравнения. Согласно принципам медицинской этики, одобренной Генеральной Ассамблеей ООН (1992 г.), и конвенции Совета Европы по биоэтике (1997 г.), все родители были ознакомлены с целью и условиями исследования и дали свое письменное согласие на участие в нем ребенка.

Результаты

Среди проанализированных опросных листов в большинстве случаев родители отмечали, что их дети принимают какие-либо витаминно-минеральные добавки к пище (1–2 курса в год, 20–30 дней в одном курсе). Было выделено пять групп сравнения в зависимости от частоты болезни ОРВИ: 1. — болеют реже 2 раз в год; 2. — болеют 2–3 раза в год; 3. — болеют 3–4 раза в год; 4. — болеют 4–7 раз в год; 5. — болеют чаще 8 раз в год. Было установлено, что школьники, которые принимают какие-либо витаминно-минеральные добавки к пище, реже болеют ОРВИ, чем дети, которые подобных добавок не принимают (рис. 1). Вероятно, такое положительное влияние на организм школьников связано с частичной компенсацией недостаточного поступления питательных веществ с питьевой водой, которая в Мурманской области является слабоминерализованной (45 мг/л).

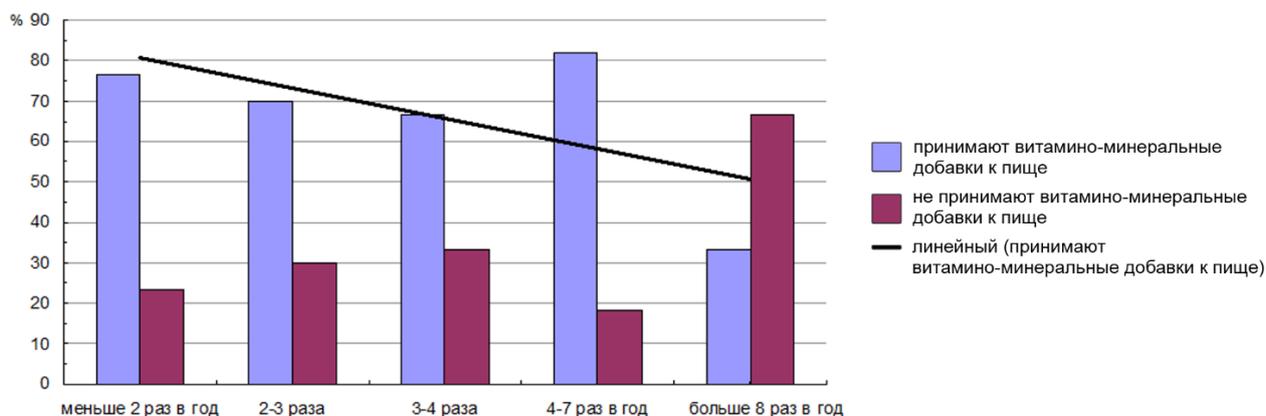


Рис. 1. Частота ОРВИ у детей (10–18 лет) и употребление витаминно-минеральных добавок к пище

При этом в группах сравнения значимой связи между употреблением витаминно-минеральных добавок к пище и продолжительностью ОРВИ выявлено не было (рис. 2).

При анализе полученных данных об употреблении рыбьего жира или витамина Д3 детьми из групп сравнения установлено, что школьники, которые их принимают, реже болеют ОРВИ (рис. 3), что, вероятно, объясняется восполнением недостатка витамина Д в организме, вызванного маленьким числом солнечных дней в регионе, а содержание данного витамина в продуктах питания для организма недостаточно. Это согласуется с литературными данными о том, что в Северо-Западном регионе РФ только у 17,9 % жителей уровень Д3 находится в пределах нормы, в то время как у остальных жителей отмечается его недостаточность (34,2 %) или выраженный дефицит (47,9 %) [21; 22].

Выявлена тенденция, что дети, которые принимают витамин Д3 или рыбий жир, быстрее выздоравливают (рис. 4).

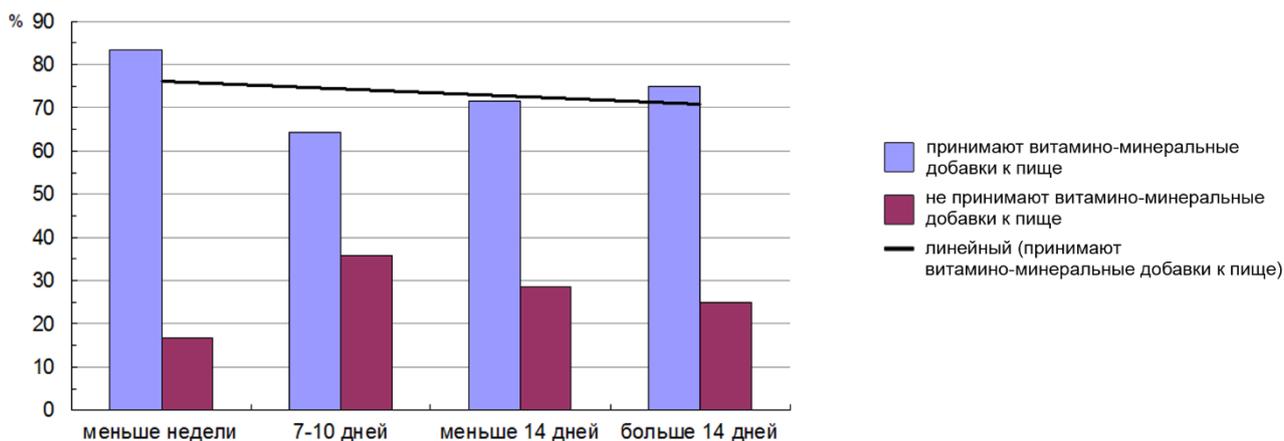


Рис. 2. Продолжительность ОРВИ у детей (10–18 лет) и употребление витаминно-минеральных добавок к пище

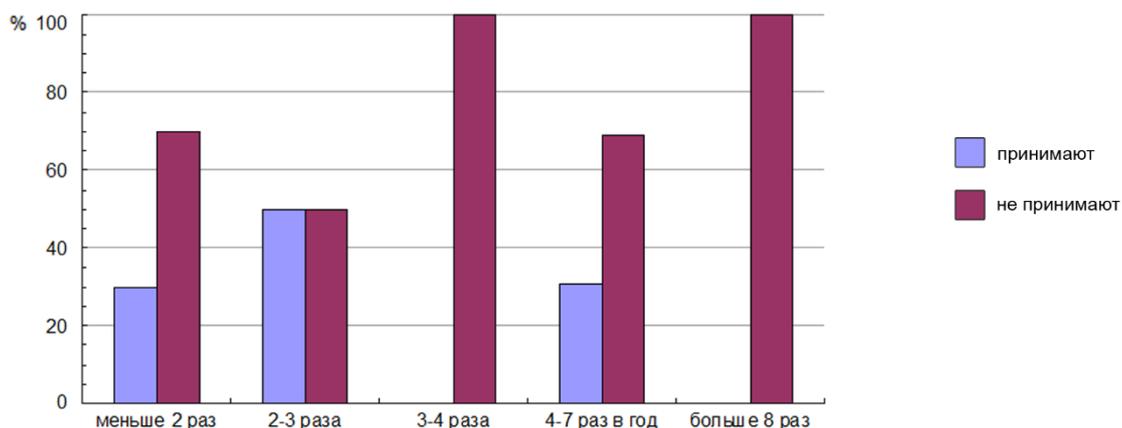


Рис. 3. Частота ОРВИ у детей (10–18 лет) и употребление витамина Д3 или рыбьего жира

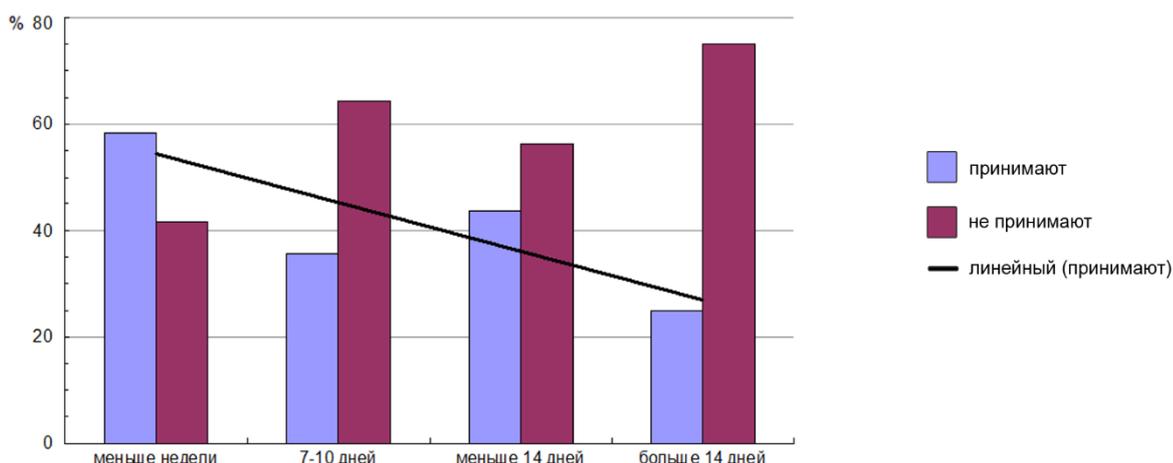


Рис. 4. Продолжительность ОРВИ у детей (10–18 лет) и употребление витамина Д3 или рыбьего жира

Витамин Д3 влияет на тысячи генов и играет важную роль в состоянии иммунной системы, предотвращая и снижая аутоиммунные реакции и стимулируя антиинфекционный иммунитет [21; 23]. Ядерные рецепторы к Д3 имеются в каждой клетке, в том числе в клетках нервной и иммунной систем, что дает основание предполагать более универсальные его функции. Витамин Д3 ограничивает развитие иммунного ответа по путям Т-хелперов 1-го и 17-го подтипов и стимулирует дифференцировку и активность Т-хелперов 2-го типа и Т-регуляторов, а также обуславливает усиление антиинфекционного и антипаразитарного иммунитета и ослабление аутоиммунитета. Доказана тесная связь дефицита Д3 с более чем 100 болезнями. В течение нескольких десятков лет внешнее сходство структурных формул витаминов Д3 и Д2 служило поводом относить витамин Д3 только к витаминам. Работы последних лет [22; 24] показали, что Д3, по сути, представляет собой стероидный прогормон, и даже шире того — биорегулятор с аутокринным и паракринным, а не только эндокринным действием.

Чаще всего из продуктов, выращенных/выросших на территории региона и употребляемых школьниками в пищу, указывались картофель, рыба, оленина, грибы и ягоды. При этом дети из групп сравнения, в рационе которых значительную долю (больше 50 %) составляли местные продукты, чаще болели ОРВИ (рис. 5) и большее число дней (рис. 6).

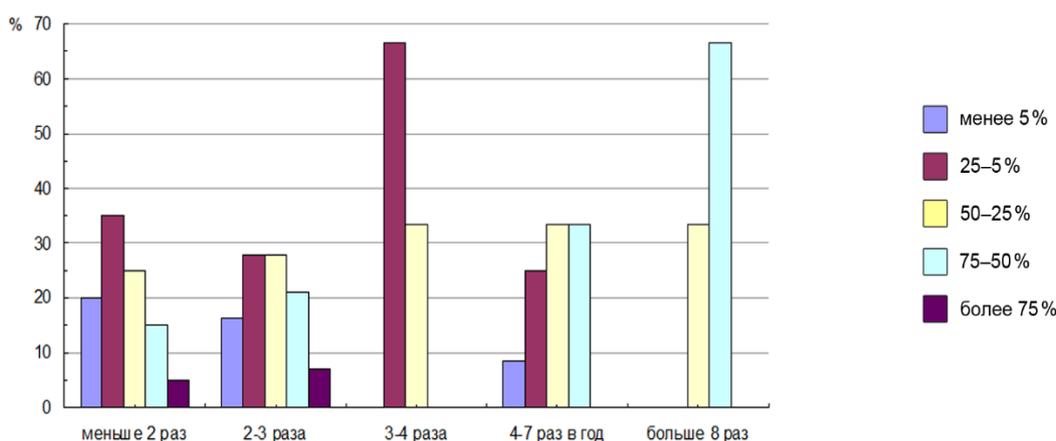


Рис. 5. Частота ОРВИ в течение года и доля продуктов местного происхождения в рационе детей (10–18 лет)

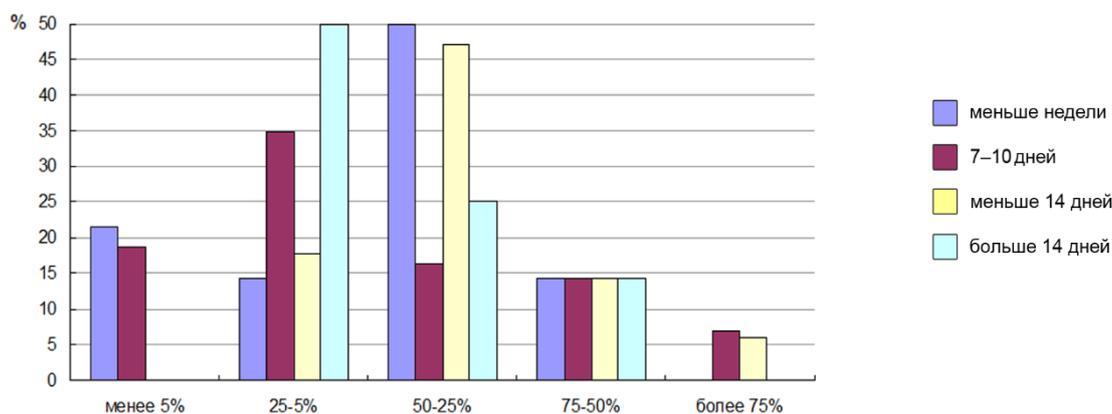


Рис. 6. Продолжительность ОРВИ и доля местных продуктов в рационе детей (10–18 лет)

Возможно, это связано с аллергическими реакциями у детей на какой-то из употребляемых в пищу продуктов питания, так как у большинства участвовавших в исследованиях (у 53 детей) был высокий уровень иммуноглобулина (IgE), который, среди прочего, свидетельствует об аллергических реакциях и болезнях иммунной системы. У большинства обследованных детей IgE составлял 52–280 МЕ/мл при норме до 50 МЕ/мл в возрасте до 15 лет и до 100 МЕ/мл для лиц старше 15 лет. Несомненно, требует дальнейшего детального изучения вопрос о том, с чем связана такая реакция организма.

Выводы

Специфические климатические условия (длительная суровая зима, резкие перепады температуры воздуха и атмосферного давления) обуславливают повышенные потребности детского организма в некоторых пищевых веществах (белок, жир, витамины групп В, С) и энергии. Для детей, проживающих в северных районах, рекомендуется увеличение калорийности рациона на 10 % по сравнению с нормой для средней полосы страны и содержания в рационах белка на 8–10 %, жира на 5–10 % [7; 9].

Несмотря на имеющиеся данные о пользе включения в рацион жителей Севера богатых нутриентами и микроэлементами местных северных продуктов питания — рыбы, оленины, ягод [9], в результате проведенных нами исследований было показано, что школьники, проживающие на территории Мурманской области, в рационе которых значительную долю составляли эти продукты, чаще и большее число дней болели ОРВИ по сравнению с детьми, питающимися в основном продуктами, купленными в сетевых магазинах. Причины выявленной тенденции требуют подробного изучения в дальнейших исследованиях. Возможно, это связано с аллергическими реакциями на какой-то употребляемый в пищу продукт, так как у большинства участвовавших в исследованиях детей выявлен высокий уровень иммуноглобулина (IgE), который, среди прочего, свидетельствует об аллергических реакциях и болезнях иммунной системы.

Установленная тенденция, что дети, проживающие на территории Мурманской области, которые принимают какие-либо витаминно-минеральные добавки к пище, реже болеют ОРВИ и быстрее выздоравливают по сравнению с детьми, которые подобных добавок не принимают, позволяет предположить, что питание школьников является несбалансированным по основным компонентам, в том числе по эссенциальным для здоровья минеральным веществам и витаминам. В связи с этим можно сделать вывод, что включение в рацион ребенка местных продуктов недостаточно для полноценного восполнения всех необходимых нутриентов в растущем организме, а употребление различных витаминно-минеральных добавок к пище, в том числе витамина Д3 и рыбьего жира, позволяет хотя бы частично компенсировать недостаток необходимых элементов. Известно, что способность к усвоению витаминов бывает генетически разной: у одних людей потребность в витаминах А, Д, Е, группы В выше, чем у других [8], что позволяет предположить, что дети, употребляющие витамины и минеральные добавки к пище, но часто и продолжительно болеющие, требуют особого внимания при

выборе витаминно-минеральных добавок к пище. В любом случае, несомненно, всем школьникам необходимы дополнительные обследования, консультации у специалиста и обязательный анализ содержания витаминов в организме для правильного выбора поливитаминных комплексов.

Список источников

1. Формирование качества поверхностных вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водосборы арктического бассейна (на примере Кольского Севера) / Т. И. Моисеенко, И. В. Родюшкин, В. А. Даувальтер, Л. П. Кудрявцева. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1996. 345 с.
2. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области. Восточная часть. Бассейн Баренцева моря: в 2 ч. / Н. А. Кашулин, С. С. Сандимиров, В. А. Даувальтер и др.; Российская акад. наук, Кольский науч. центр; Ин-т проблем пром. экологии Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 27 с.
3. Особенности химического состава воды городских озер Мурманска / В. А. Даувальтер, З. И. Слуковский, Д. Б. Денисов, А. А. Черепанов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. Т. 66 (2). С. 252–266. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.204>.
4. Волович В. Г. Человек в экстремальных условиях природной среды. М.: Мысль, 1983. 196 с.
5. Кривошапкин В. Г. Питание — основа формирования здоровья человека на Севере // Наука и образование. 2002. С. 57–60.
6. Лебедева У. М., Абрамов А. Ф. Основы рационального питания населения Якутии. Якутск, 2015. 248 с.
7. Научно-методические сопровождение мероприятий в области здорового питания населения Республики Саха (Якутия) / У. М. Лебедева, С. И. Прокопьева, К. М. Степанов, Н. Н. Прызнухина, Н. А. Слепцова, А. М. Дохунаева, Л. С. Захарова, Я. Н. Иванова // Якутский медицинский журнал. 2013. № 2, ч. 42. С. 70–72.
8. Еделев Д. А., Сидоренко М. Ю., Перминова М. А. Нутригеномика как важный фактор при проектировании рациона питания человека // Пищевая промышленность. 2011. № 4. С. 14–17.
9. Основы нутригеномики на севере / У. М. Лебедева, К. М. Степанов, А. М. Дохунаева, Л. С. Захарова // Якутский медицинский журнал. 2014. № 2, ч. 46. С. 35–37.
10. Новиков П. В. Нутригеномика и нутригеномика — новые направления в нутрициологии в постгеномный период // Биотехнология. 2012. № 1. С. 44–52.
11. Технология производства якутских национальных молочных продуктов / А. Ф. Абрамов, Т. В. Аммосова, К. М. Степанов, А. А. Ефимова, В. Т. Васильева, А. И. Павлова, С. С. Зверев, Л. И. Елисеева. Якутск: Сахаполиграфиздат, 2006. 108 с.
12. Степанов К. М., Лебедева У. М. Основы рационального питания в условиях воздействия низких температур // Якутский медицинский журнал. 2018. № 2, ч. 62. С. 70–73.
13. Эпидемиологическая оценка фактического питания и пищевых привычек среди различных групп населения Республики Саха (Якутия) / У. М. Лебедева, К. М. Степанов, А. М. Лебедева, Р. И. Платонова, М. Н. Петрова, И. З. Борисова // Питание и здоровье: сб. статей Международного конгресса. 2013. С. 60.
14. Безопасность, этнотрадиционные подходы и современная научная обоснованность коррекции питания северян / И. Л. Егоров, А. П. Протоdjяконов, В. Ф. Чернявский, К. И. Иванов, В. М. Тяптиргянова // Актуальные проблемы репродуктивного здоровья в условиях антропогенного загрязнения. Казань, 2001. С. 148–149.
15. Абрамов А. Ф., Андросов С. Н. Химический состав и калорийность мяса жеребят якутской лошади для производства национальных видов мясных полуфабрикатов // Роль сельскохозяйственной науки в стабилизации развитии АПК Крайнего Севера. Новосибирск, 2003. С. 191–192.
16. Ручьева О. И. Целебные ягоды. М.: Вече, 2007. 240 с.
17. Степанов К. М. Технология производства якутских национальных кисломолочных продуктов нового поколения // Молочная промышленность. 2009. № 11. С. 32–34.
18. Габышева М. Н., Зверева А. Н. Культура питания якутов. 2012. 232 с.

19. Новак Г. В., Бодрова Л. Ф. Химический состав мяса северных оленей при применении различных типов кормления // Зоотехния. 2013. С. 121–122.
20. Крылова В. Б., Густова Т. В. Оленина в питании людей Заполярья // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2017. Ч. 19. С. 186–189.
21. Михайлов И. Б. Витамин D: по материалам «Национальной программы 2018» // Новые Санкт-Петербургские врачебные ведомости. 2019. № 89, ч. 3. С. 19–24.
22. Национальная программа «Недостаточность витамина D у детей и подростков Российской Федерации: современные подходы к коррекции». М.: ПедиатрЪ, 2018. 96 с.
23. Prietl B., Treiber G., Pieber T. R., Amrein K. Vitamin D and immune function // *Nutrients*. 2013. V. 5 (7). P. 2502–2521.
24. Аутоиммунный тиреоидит и витамин D3 / А. Сапаргалиева, Ф. Мамбетова, Х. Розыева, Ю. И. Строев, Л. П. Чурилов // *Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. 2019. № 2. Ч. 14. С. 649–661.

References

1. Moiseenko T. I., Rodyushkin I. V., Dauvalter V. A. and Kudryavtseva L. P. *Formirovaniye kachestva poverkhnostnykh vod i donnykh otlozheniy v usloviyakh antropogennykh nagruzok na vodosbory arkticheskogo basseyna (na primere Kol'skogo Severa)* [Quality formation of surface waters and bottom sediments under conditions of anthropogenic loads on water catchments within the Arctic area (on the example of the Kola North)]. Apatity, Kola Science Centre Publ., 1996, p. 345. (In Russ.).
2. Kashulin N. A., Sandimirov S. S., Dauwalter V. A. etc. *Annotirovannyj ekologicheskij katalog ozer Murmanskoy oblasti. Eastern part. Basin of the Barents Sea: v 2 ch.* [Annotated ecological catalog of lakes in the Murmansk region: 2 parts]. Apatity, KSC RAS, 2010, 27 p. (In Russ.).
3. Dauwalter V. A., Slukovsky Z. I., Denisov D. B., Cherepanov A. A. Osobennosti khimicheskogo sostava vody gorodskikh ozer Murmanska [Features of the chemical composition of water in urban lakes in Murmansk]. *Bulletin of St. Petersburg University. Geosciences*, 2021, V. 66 (2), pp. 252–266. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.204>. (In Russ.).
4. Volovich V. G. *Chelovek v ekstremal'nykh usloviyakh prirodnoy sredy* [Man in extreme environmental conditions]. Moscow, Mysl, 1983, 196 p. (In Russ.).
5. Krivoshapkin V. G. Pitaniye — osnova formirovaniya zdorov'ya cheloveka na Severe [Nutrition is the basis for shaping human health in the North]. *Science and Education*, 2002, pp. 57–60. (In Russ.).
6. Lebedeva U. M., Abramov A. F. *Osnovy ratsional'nogo pitaniya naseleniya Yakutii* [Fundamentals of rational nutrition of the population of Yakutia]. Yakutsk, 2015, 248 p. (In Russ.).
7. Lebedeva U. M., Prokopyeva S. I., Stepanov K. M., Pryaznukhina N. N., Sleptsova N. A., Dokhunaeva A. M., Zakharova L. S., Ivanova Ya. N. Nauchno-metodicheskiye soprovozhdeniye meropriyatiy v oblasti zdorovogo pitaniya naseleniya Respubliki Sakha (Yakutiya) [Scientific and methodological support of events in the field of healthy nutrition of the population of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Yakut Medical Journal*, 2013, V. 2, Part 42, pp. 70–72. (In Russ.).
8. Edelev D. A., Sidorenko M. Yu., Perminova M. A. Nutrigenomika kak vazhnyj faktor pri proektirovanii racionalnogo pitaniya cheloveka [Nutrigenomics as an important factor in designing the human diet]. *Food Industry*, 2011, V. 4, pp. 14–17. (In Russ.).
9. Lebedeva U. M., Stepanov K. M., Dokhunaeva A. M., Zakharova L. S. *Osnovy nutrigenetiki na severe*. [Fundamentals of nutrigenetics in the north]. *Yakut Medical Journal*, 2014, V. 2 (46), pp. 35–37. (In Russ.).
10. Novikov P. V. Nutrigenetika i nutrigenomika — novyye napravleniya v nutritsiologii v postgenomnyy period [Nutrigenetics and nutrigenomics — new directions in nutritionology in the post-genomic period]. *Biotechnology*, 2012, V. 1, pp. 44–52. (In Russ.).
11. Abramov A. F., Ammosova T. V., Stepanov K. M., Efimova A. A., Vasilyeva V. T., Pavlova A. I., Zverev S. S., Eliseeva L. I. *Tekhnologiya proizvodstva yakutskikh natsional'nykh molochnykh produktov* [Production technology of Yakut national dairy products]. Yakutsk, *Sakhapoligrafizdat*, 2006, 108 p. (In Russ.).

12. Stepanov K. M., Lebedeva U. M. Osnovy ratsional'nogo pitaniya v usloviyakh vozdeystviya nizkikh temperatur [Fundamentals of rational nutrition in conditions of exposure to low temperatures]. *Yakut Medical Journal*, 2018, V. 2 (62), pp. 70–73. (In Russ.).
13. Lebedeva U. M., Stepanov K. M., Lebedeva A. M., Platonova, R. I., Petrova M. N., Borisova I. Z. Epidemiologicheskaya otsenka fakticheskogo pitaniya i pishchevykh privyчек среди razlichnykh grupp naseleniya Respubliki Sakha (Yakutiya) [Epidemiological assessment of actual nutrition and eating habits among various population groups of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Nutrition and health: collection of articles of the International Congress*, 2013, p. 60. (In Russ.).
14. Egorov I. L., Protodyakonov A. P., Chernyavsky V. F., Ivanov K. I., Tyaptirgyanova V. M. Bezopasnost', etnotradicionnye podhody i sovremennaya nauchnaya obosnovannost' korrektsii pitaniya severyan [Safety, ethnotraditional approaches and modern scientific validity of correction of nutrition of northerners]. *Current problems of reproductive health in anthropogenic conditions pollution*. Kazan, 2001, pp. 148–149. (In Russ.).
15. Abramov A. F., Androsov S. N. Himicheskij sostav i kalorijnost' myasa zherebyat yakutskoj loshadi dlya proizvodstva nacional'nyh vidov myasnyh polufabrikatov [Chemical composition and calorie content of meat from Yakut horse foals for the production of national types of semi-finished meat products]. *The role of agricultural science in stabilizing the development of the agro-industrial complex of the Far North*. Novosibirsk, 2003, pp. 191–192. (In Russ.).
16. Rucheveva O. I. *Tselebnyye yagody* [Healing berries]. Moscow, Veche, 2007, 240 p. (In Russ.).
17. Stepanov K. M. Tekhnologiya proizvodstva yakutskikh natsional'nykh kislomolochnykh produktov novogo pokoleniya [Production technology of new generation Yakut national fermented milk products]. *Dairy industry*, 2009, V. 11, pp. 32–34. (In Russ.).
18. Gabysheva M. N., Zvereva A. N. *Kul'tura pitaniya yakutov* [Yakut food culture], 2012, 232 p.
19. Novak G. V., Bodrova L. F. Khimicheskij sostav myasa severnykh oleney pri primenenii razlichnykh tipov kormleniya [Chemical composition of reindeer meat when using various types of feeding]. *Zootechnics*, 2013, pp. 121–122. (In Russ.).
20. Krylova V. B., Gustova T. V. Olenina v pitanii lyudej Zapolyar'ya [Venison in the diet of people in the Arctic]. *Current issues of improving the technology of production and processing of agricultural products*, 2017, V. 19, pp. 186–189. (In Russ.).
21. Mikhailov I. B. Vitamin D: po materialam “Natsional'noy programmy 2018” [Vitamin D: based on materials from the “National Program 2018”]. *New St. Petersburg Medical Gazette*, 2019, V. 89, Part 3, pp. 19–24. (In Russ.).
22. Natsional'naya programma “Nedostatochnost' vitamina D u detey i podrostkov Rossiyskoy Federatsii: sovremennyye podkhody k korrektsii” [National program “Vitamin D deficiency in children and adolescents of the Russian Federation: modern approaches to correction”]. Moscow, *Pediatr*, 2018, 96 p. (In Russ.).
23. Prietl B., Treiber G., Pieber T. R., Amrein K. Vitamin D and immune function. *Nutrients*, 2013, V. 5 (7), pp. 2502–2521.
24. Sapargalieva A., Mambetova F., Rozyeva Kh., Stroev Yu. I., Churilov L. P. Autoimmunnyj tiroidit i vitamin D3 [Autoimmune thyroiditis and vitamin D3]. *Health is the basis of human potential: problems and ways to solve them*, 2019, No. 2, Part 14, pp. 649–661. (In Russ.).

Информация об авторе

В. В. Пожарская — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории медицинских и биологических технологий Центра наноматериаловедения.

Information about the author

V. V. Pozharskaya — PhD (Biology), Senior Researcher at Laboratory of Medical and Biological Technologies of the Centre of Nanomaterials Science.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 577.125.8:616.89-008.441.3(98)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.021

РАЗВИТИЕ СИНДРОМА АЛКОГОЛЬНОЙ ДИСЛИПИДЕМИИ — ФАКТОР НАРУШЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

В. А. Соловьева^{1✉}, Н. В. Соловьева², Л. П. Удовенкова³, А. Г. Соловьев⁴

^{1, 2, 4}Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

³Первая городская клиническая больница имени Е. Е. Волосевич, Архангельск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Вероника Андреевна Соловьева, taurus221@yandex.ru[✉]

Аннотация

Алкоголизация усугубляет нутриционную составляющую риска развития коморбидной соматической патологии в Арктическом регионе. На фоне развития синдрома зависимости от алкоголя (СЗА) имеют место своеобразные изменения липидного обмена: более низкий уровень содержания триглицеридов (ТГ) и более высокое содержание липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) по сравнению с аналогичными показателями у практически здоровых (ПЗ) лиц. Выявленные изменения стимулируют поиск новых диагностических подходов, с помощью которых можно обнаружить скрытые алкоголь-ассоциированные изменения липидного обмена и особенности развития патологии сердечно-сосудистой системы (ССС) у лиц с СЗА. Обследованы 208 мужчин: 96 человек — с СЗА второй стадии; 112 — практически здоровых лиц. Содержание общего холестерина, ТГ, ЛПВП определялось ферментативным колориметрическим методом, ЛПНП — турбидиметрическим методом, концентрации аполипопротеинов (апо-А и апо-В) — иммуно-турбидиметрическим методом, жирных кислот — методом газожидкостной хроматографии. Выявлено низкое содержание НЖК (пентадекановой, маргариновой, арахидоновой, генайкозеновой), разнонаправленные изменения МНЖК с низким содержанием миристоолеиновой и эйкозеновой ЖК, но высоким пальмитоолеиновой и гептадекановой; ПНЖК ω -6 линолевой, арахидоновой. При этом отмечено повышение содержания транс-формы линолевой ЖК. Содержание ω -3 ПНЖК также оказалось ниже, чем у ПЗ за счет α -линоленовой (С18:3 ω 3), докозгексаеновой (ДГК), но выше было содержание эйкозопентаеновой (ЭПК). У наркологических пациентов обнаружены слабые корреляционные взаимосвязи между ЛПНП, ТГ и НЖК, что свидетельствует о нарушении встраивания ЖК в ЛПНП и ТГ. Отсутствие взаимосвязей ω -3 линолевой кислоты с образующими из нее ЭПК и ДГК у больных СЗА может свидетельствовать о нарушении ферментативных процессов.

Ключевые слова:

липидный обмен, синдром зависимости от алкоголя, синдром алкогольной дислипидемии, Арктический регион

Для цитирования:

Соловьева В. А., Соловьева Н. В., Удовенкова Л. П., Соловьев А. Г. Развитие синдрома алкогольной дислипидемии — фактор нарушения социальной безопасности в Арктическом регионе // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 179–186. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.021.

Original article

DEVELOPMENT OF ALCOHOLIC DYSLIPIDEMIA SYNDROME — SOCIAL SECURITY VIOLATION FACTOR IN THE ARCTIC REGION

V. A. Solovieva^{1✉}, N. V. Solovyova², L. P. Udovenkova³, A. G. Soloviev⁴

^{1, 2, 4}Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

³First City Clinical Hospital named after E. E. Volosevich, Arkhangelsk, Russia

Corresponding author: Veronika A. Solovyeva, taurus221@yandex.ru

Abstract

Alcoholism aggravates the nutritional component of developing comorbid somatic pathology risk in the Arctic region. Against the background of alcohol dependence syndrome (ADS) development peculiar changes in lipid metabolism are revealed: a low low-density lipoproteins (LDL) and triglycerides (TG) content, but a high high-density lipoproteins (HDL) content. The revealed changes stimulate the search for new diagnostic approaches, with the help of which it is possible to identify hidden alcohol-associated changes in lipid metabolism and influence the mechanisms of cardiovascular system (CVS) pathology development at different stages.

The aim was to identify lipid metabolism disorders in practically healthy individuals and in individuals with alcohol dependence to substantiate the specific clinical and biological syndrome isolation — alcoholic dyslipidemia and to develop an algorithm for detecting hidden alcohol-associated disorders. 208 men were examined: 96 people — with II stage SCA; 112 — practically healthy individuals. The content of total cholesterol, TG, HDL was determined by enzymatic colorimetric method, LDL — by turbidimetric method, concentrations of apolipoproteins (apo-A and apo-B) — by immuno-turbidimetric method, fatty acids — by gas-liquid chromatography. A low content of SFA (pentadecanoic, margaric, arachidonic, stearic), multidirectional changes in MSFA with a low content of myristoleic and eicosenoic lipid acids, but high palmitoleic and heptadecanoic; PUFA ω -6 linoleic, arachidonic. At the same time, an increase in the content of linoleic lipid acids trans-form was noted, the content of ω -3 PUFA was also lower than that of PP due to α -linolenic (C18:3 ω 3), docosahexaenoic (DHA), but the content of eicosapentaenoic (EPA) was higher. In narcological patients, weak correlations between LDL, TG and NLC were found, which indicates a lipid acids into LDL and TG integration violation. The absence of interrelations of ω -3 linoleic acid with EPA and DHA forming from it in patients with ADS may indicate an enzymatic processes violation.

Keywords:

lipid metabolism, alcohol dependence syndrome, alcoholic dyslipidemia syndrome, Arctic region

For citation:

Solovieva V. A., Solovyova N. V., Udovenkova L. P., Soloviev A. G. Development of alcoholic dyslipidemia syndrome — social security violation factor in the arctic region. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 179–186. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.021.

Введение

Адаптация человека к экстремальным природным условиям Арктического региона сопровождается перестройкой всех видов обмена. При этом организм переходит на качественно новый уровень гомеостаза с большим использованием на энергетические нужды липидов. У коренного населения Крайнего Севера, придерживающегося традиционного уклада жизни и типа питания, на фоне «северного» типа метаболизма выявлен наиболее благоприятный профиль липидного обмена в отношении риска развития заболеваний ССС [1–3].

Однако в последние десятилетия в процессе изменения образа жизни и питания все чаще стали возникать неблагоприятные в плане развития патологии ССС нарушения липидного обмена [4]. В частности, отмечено снижение потребление мяса оленя, северной рыбы, но повышение доли углеводов и трансжиров; с увеличением углеводной составляющей рациона снижается концентрация ЛПВП и нарастает содержание липопротеинов очень низкой плотности (ЛПОНП) [5]. Немаловажную роль играет состав и соотношение употребляемых жирных кислот (ЖК), а именно увеличение доли насыщенных жирных кислот (НЖК) и уменьшение эссенциальных (незаменимых) полиненасыщенных (ПНЖК). Как известно, НЖК больше, чем другие пищевые компоненты, способствуют повышению содержания липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) [6].

Алкогольные напитки относятся к пищевым продуктам. Однако результаты исследований свидетельствуют о прямой зависимости между уровнем потребления алкоголя и степенью дисбаланса в характере питания, выражающемся в высоком потреблении животных жиров, соли, НЖК и низком — клетчатки и мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) [7], а злоупотребление алкоголем можно рассматривать как усугубление нутриционной составляющей риска развития коморбидной соматической патологии [8] и в целом нарушения индивидуальной социальной безопасности трудоспособного населения в Арктическом регионе.

Целью исследования явилась систематизация нарушений липидного обмена у лиц с алкогольной зависимостью в арктических условиях для обоснования выделения специфического клинко-биологического синдрома (алкогольной дислипидемии) и разработки алгоритма выявления скрытых алкоголь-ассоциированных нарушений.

Материал и методы

Обследовано 208 мужчины, в возрасте $42,3 \pm 1,1$ лет, постоянно проживающих в г. Архангельске, в том числе I группа — 112 чел. — практически здоровые лица (ПЗ), средний возраст $43,57 \pm 1,43$ года, в период профосмотров, у которых отсутствовали обострения хронических заболеваний и анамнестически и клинически было исключено злоупотребление алкоголем; II группа — 96 чел. — лица с синдромом

зависимости от алкоголя (СЗА) второй стадии, без тяжелой соматической патологии, средний возраст $41,52 \pm 1,68$ г., находившиеся на стационарном лечении в наркологическом отделении. В сыворотке крови определяли содержание общего холестерина (ОХ), ТГ, ЛПОНП, ЛПНП, ЛПВП, аполипопротеинов апо-А и апо-В, НЖК, МНЖК, ПНЖК, рассчитывали соотношение апо-В/апо-А.

Полученные результаты статистически обрабатывались с помощью пакетов прикладных программ Statistica 6.0 и SPSS 20.0. Корреляционный анализ проводили с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Число факторов в факторном анализе определяли с помощью критерия Кайзера (scree-test), для выделения факторов использовали метод главных компонент.

Результаты

Содержание ОХ, ТГ, ЛПОНП, ЛПНП, ЛПВП у ПЗ не выходило за пределы референсных значений. В целом имела место благоприятная картина липидного профиля крови. Однако отмечено, что содержание ЛПОНП у 19,8 % обследуемых оказалось выше референсных значений. Кроме того, у 52,1 % ПЗ коэффициент атерогенности (КА) также был выше референсных значений (табл. 1)

Таблица 1

Содержание «традиционных» параметров липидного обмена у пациентов с СЗА и ПЗ (Ме (Q25; Q75))

Содержание	Референсные значения	СЗА n = 96	ПЗ n = 112	P
ОХ, ммоль/л	2,99–6,09	5,30 (4,67; 6,30)	4,74 (4,22; 5,62)	0,343
ЛПОНП, ммоль/л	0,16–0,46	0,19 (0,16; 0,27)	0,28 (0,16; 0,46)	0,002
ЛПНП, г/л	3–7	3,21 (2,52; 3,79)	4,24 (3,13; 5,95)	0,004
ЛПВП, ммоль/л	0,85–1,94	1,86 (1,44; 2,28)	1,19 (0,98; 1,36)	<0,0001
КА, у. е.	до 3,0	1,80 (1,38; 2,94)	3,10 (2,07; 4,40)	<0,0001
ТГ, ммоль/л	0,8–2,3	0,91 (0,75; 1,32)	1,40 (0,82; 1,98)	<0,0001

Содержание ОХ у больных СЗА статистически значимо не отличалось от ПЗ, но отмечалось более низкое содержание ТГ на 40,85 % ($p < 0,001$). Концентрации атерогенных фракций ЛПОНП, ЛПНП при СЗА были ниже, чем у ПЗ: ЛПОНП на 32,15 % ($p = 0,002$) и ЛПНП — 24,31 % ($p = 0,004$), также ниже был и КА — на 41,9 % ($p < 0,001$); при этом средние значения ЛПВП при СЗА были, наоборот, выше на 36,03 % ($p < 0,001$). В связи с тем что повышенная алкогольная нагрузка может изменять структуру липидного комплекса [9] с увеличением содержания ЛПВП, но низким содержанием ТГ и ЛПНП, что не характерно для пациентов с атеросклерозом и ССЗ, нами было проведено прицельное исследование дополнительных параметров, таких как содержание аполипопротеинов и НЖК, МНЖК и ПНЖК.

Содержание Апо-А и Апо-В у ПЗ и лиц с СЗА не выходило за пределы референсных значений. Значимых отличий между группами ПЗ и СЗА нами не выявлено, кроме тенденции повышения Апо-А, что сочетается с более высоким уровнем ЛПВП, и несколько более низкого апо-В, что сочетается с низким ЛПНП у СЗА.

Нами обнаружено низкое содержание НЖК — пентадекановой (С15:0) — на 28,0 % ($p = 0,032$), маргариновой (С17:0) — на 39,03 % ($p = 0,001$), арахидиновой (С20:0) — на 40,94 % ($p < 0,0001$), генэйкозеновой (С21:0) — на 48,2 % ($p < 0,001$) у лиц с СЗА. Следует отметить, что содержание основных НЖК, входящих в состав ТГ (пальмитиновой (С 16:0) и стеариновой (С 18:0)), не отличалось от ПЗ.

У наркологических пациентов отмечены значимые изменения состава ПНЖК. Имело место низкое содержание ω -6 линолевой (С18 : 2 ω 6с) — на 25,57 % ($p = 0,01$) и образующейся из нее арахидиновой (С20:4 ω 6) — на 54,29 % ($p = 0,001$). Следует отметить, что содержание арахидиновой

кислоты у больных СЗА было ниже референсных значений. При этом отмечено повышение содержания транс-формы линолевой ЖК (C18:2 ω 6t) — на 75,18 % ($p = 0,0001$). Содержание ω -3 ПНЖК у лиц с СЗА оказалось ниже, чем у ПЗ, за счет α -линоленовой (C18:3 ω 3) на 37,17 % ($p = 0,25$), докозгексаеновой (ДГК) (C22:6 ω 3) на 63,67 % ($p = 0,001$), но выше было содержание эйкозопентаеновой (ЭПК) на 13,14 % (C20:5 ω 3) ($p = 0,002$) (табл. 2).

Таблица 2

Содержание ПНЖК у пациентов с СЗА и ПЗ (Ме (Q25; Q75))

Показатель	Референсные значения	СЗА	ПЗ	P
C18:2 ω 6t	0,20–15,5	6,00 (3,5; 7, 85)	1,49 (0,76; 2,42)	0,0001
C18:2 ω 6c	201,5–1500,25	432, 86 (287,10; 51,36)	581, 53 (369,82; 716,41)	0,010
C 20:4 ω 6	85,24–160,97	33,69 (22,27; 58,82)	73,70 (42,22; 107,12)	0,001
C18:3 ω 3	0,25–11,02	2,57 (1,71; 3,57)	4,09 (2,11; 5,70)	0,025
C 20:5 ω 3	2,25–80,5	10,28 (6,57; 15, 85)	8,93 (3,81; 19, 72)	0,002
C 22:6 ω 3	5,5–110,2	11,99 (4,00; 24,13)	33,00 (11,94; 60,550)	0,001

При проведении корреляционного анализа мы обратили внимание на различие корреляционных взаимосвязей параметров у ПЗ и у пациентов с СЗА. С помощью факторного анализа показано, что наибольшую значимость в развитии нарушений липидного обмена у лиц с СЗА имеют аполипопротеины и ПНЖК, в отличие от ПЗ, у которых наибольшие факторные нагрузки приходятся на «традиционные» параметры липидного обмена.

Корреляционный анализ показал, что у лиц с СЗА имелись малочисленные взаимосвязи слабой корреляции традиционных параметров липидного обмена с НЖК, ПНЖК. Так, отмечена лишь взаимосвязь ЛПНП с НЖК пальмитиновой (C18:0) и с ПНЖК линолевой, что свидетельствует о нарушении включения ЖК в структуру ЛПНП и ТГ. В то время как у ПЗ имели место множественные взаимосвязи ЛПНП и ТГ с НЖК миристиновой (C14:0), пентадекановой (C15:0), пальмитиновой (C16:0), маргариновой (C17:0), стеариновой (C18:0), олеиновой (C18:1 ω 9c).

У ПЗ были установлены взаимосвязи между ω -6 ПНЖК линолевой (C18:2 ω 6)) и арахидоновой (C20:4 ω 6); ω -3 ПНЖК линоленовой (C18:3 ω 3) с ЭПК (C20:5 ω 3) и с ДГК (C22:6 ω 3).

У пациентов с СЗА обнаружены взаимосвязи между ω -6 ПНЖК (линолевой (C18:2 ω 6) с арахидоновой (C20:4 ω 6)), но отсутствовали корреляции омега-3 линоленовой кислоты с ЭПК и ДГК. Отсутствие корреляций ω -3 линоленовой кислоты с образующими из нее ЭПК и ДГК у больных СЗА может свидетельствовать о нарушении процессов десатурации и элонгации ЖК. По-видимому, происходит конкурентная «борьба» за ферменты десатуразы и элонгазы.

Обсуждение

Полученные результаты показывают, что у пациентов с СЗА имеют место выраженные изменения «традиционных» параметров липидного обмена (ТГ, ЛПНП, ЛПВП), а также жирно-кислотного состава плазмы крови, заключающиеся в дисбалансе НЖК, МНЖК и ПНЖК.

Выявленное нами низкое содержание ТГ у наркологических больных может быть связано с недостаточным поступлением ЖК с пищей, так как пальмитиновую, стеариновую, миристиновую и лауриновую ЖК человек потребляет с растительными и животными жирами [10], а также с комплексной патологией у них желудочно-кишечного тракта, обусловленной, с одной стороны, токсическим повреждением тонкого кишечника с развитием синдрома мальабсорбции [11], с другой — токсическим поражением митохондриального аппарата гепатоцита [12] с недостаточным воспроизводством АТФ,

что приводит к дефициту энергетических запасов в организме. При этом процессы транспорта липидов и синтеза новых молекул являются энергетически затратными. Низкое содержание ТГ у больных СЗА можно объяснить и нарушением встраивания ЖК в ТГ при относительно достаточном уровне содержания их в крови, что, в свою очередь, сопряжено с нарушением метаболической функции печени и ее энергетическим обеспечением при СЗА [13]. Это подтверждается, в частности, и отсутствием взаимосвязей ЖК с параметрами липидтранспортной системы у наркологического контингента.

У наркологического контингента выявлено высокое содержание антиатерогенных фракций ЛПВП. Однако хроническое воспаление как характерный признак атеросклероза может приводить к утрате защитных свойств ЛПВП и, более того, к появлению ЛПВП с измененными свойствами [14]. Кроме того, при СЗА повышение их содержания после алкогольного абзуса является важным признаком, указывающим на алкогольную природу этих изменений. Повышенное содержание ЛПВП при СЗА является ответом гепатоцитов на воздействие алкоголя, в результате чего усиливается этерификация жирных кислот [15].

Уменьшение содержания ПНЖК у больных СЗА можно объяснить несбалансированным питанием, в частности, недостаточным потреблением незаменимых линолевой, линоленовой ЖК и значимым потреблением транс-форм ЖК. Низкое содержание ПНЖК указывает на расходование их на процессы ПОЛ, поскольку основным субстратом ПОЛ являются ПНЖК [16].

У наркологических больных выявлено низкое содержание незаменимых ω -6 линолевой и ω -3 α -линоленовой ЖК. Источником поступления линолевой кислоты являются растительные масла, α -линоленовой — также растительные масла, но, в основном, эта кислота содержится в составе жира морских рыб [17]. Из линолевой кислоты образуется ω -6 арахидоновая кислота, представляющая собой субстрат для образования серий простагландинов, тромбоксанов, лейкотриенов с провоспалительным и тромбогенным действием [18]. Из ω -3 ПНЖК α -линоленовой кислоты образуются ЭПК и ДГК, из которых могут образовываться простагландины, способствующие вазодилатации, снижению синтеза индукторов воспаления, хемотаксиса и адгезии лейкоцитов. Кроме того, роль ДГК заключается в улучшении проницаемости клеточной мембраны, что способствует проникновению воды в бислои фосфолипидов и улучшению его текучести [19]. Известно, что ПНЖК играют важную роль в поддержании когнитивных функций человека: снижение памяти, внимания, способности к обучению [20] связывают со значительным уменьшением уровня ДГК в головном мозге.

Заключение

Выявленные отклонения содержания биологических параметров у лиц с СЗА (ТГ, ЛПНП, ЛПВП, НЖК, МНЖК, ПНЖК) обосновывают необходимость выделения синдрома алкогольной дислипидемии и внедрения алгоритма прицельного его изучения у северян. Это может иметь не только клиническое (вторичная профилактика соматической патологии, имеющей тенденцию к постоянному усугублению в силу своеобразного «алкоголь-ассоциированного» образа жизни), но и большое организационное и социально-экономическое значение в рамках профилактики социальной безопасности в Арктическом регионе.

Список источников

1. Агаджанян Н. А., Жвавый Н. Ф., Ананьев В. Н. Адаптация человека к условиям Крайнего Севера. Эколого-физиологические механизмы. М.: КРУК, 1998. 238 с.
2. Севастьянова Е. В. Особенности липидного и углеводного метаболизма человека на севере (литературный обзор). Бюллетень сибирской медицины, 2013; (12). 1:93–100.
3. Олесова Л. Д., Архипова Н. С., Яковлева А. И., Кривошапикна З. Н., Семенова Е. И., Ефремова А. В., Константинова Л. И., Охлопкова Е. Д., Григорьева А. А. Возрастная динамика липидного профиля в популяции коренных жителей Якутии. Якутский медицинский журнал. 2020; № 3(71): 83–89.

4. Аверьянова И. В., Максимов А. Л. Состояние липидного и углеводного обмена у студентов — аборигенов и европеоидов с различными сроками проживания на территории Магаданской области // *Экология человека*. 2015. 09. С. 44–49
5. Влощинский П. Е. Состояние липидного обмена у коренных жителей Севера как один из показателей пищевого статуса. *Технология и техника пищевых продуктов*. 2011; 3 (22):13–16
6. Рожкова Т. А., Ариповский А. В., Яровая Е. Б. и др. Индивидуальные жирные кислоты плазмы крови: биологическая роль субстратов, параметры количества и качества, диагностика атеросклероза и атероматоза // *Клиническая лабораторная диагностика*. 2017. № 11. С. 655–665.
7. Карамнова Н. С., Рытова А. И., Швабская О. Б., Шальнова С. А., Максимов С. А., Баланова Ю. А., Евстифеева С. Е., Имаева А. Э., Капустина А. В., Муромцева Г. А., Драпкина О. М. Ассоциированы ли потребление алкогольных напитков и характер питания во взрослой популяции? Результаты Российского эпидемиологического исследования ЭССЕ-РФ. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021; 20 (4):2883. doi:10.15829/1728-8800-2021-2883.
8. Мордовский Э. А., Соловьев А. Г., Санников А. Л. Алкогольный анамнез и фактор места наступления смерти: роль в смертности от ведущих заболеваний сердечно-сосудистой системы. *Терапевтический архив*. 2015 (9). С. 26–33.
9. Соловьева В. А., Лейхтер С. Н., Соловьева Н. В., Бичкаев Ф. А., Ишеков Н. С., Карякина О. Е., Соловьев А. Г., Удовенкова Л. П., Вилова Т. В. Роль жирных кислот в механизмах нарушений липидного обмена у лиц с синдромом зависимости от алкоголя. *Вестник современной клинической медицины*. 2022; (15). 6: С. 100–108.
10. Перова Н. В., Метельская В. А., Соколова Е. И., Щукина Г. Н., Фомина В. М. Пищевые жирные кислоты. Влияние на риск болезней системы кровообращения. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2011; (№ 7): 620–627.
11. Яковлева Л. М., Леженина С. В., Маслова Ж. В., Куприянов С. В. Изучение всасывательной функции кишечника на экспериментальной модели хронической алкогольной интоксикации. *Казанский медицинский журнал*. 2012. (№ 3):499–502.
12. Судаков Н. П., Новиков М. А., Липко С. В., Клименко И. В., Гольдберг О. А. и др. Ультра- и наноструктурные нарушения митохондрий клеток печени при экспериментальной дислипидемии. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2010; (№ 5):197–201.
13. Вовк Е. И. Алкогольная болезнь печени (АБП) как системное заболевание: клинические ресурсы и тактика лечения. *Российский медицинский журнал*. 2013; (20): 993–10025.
14. Гребенников И. Н., Куликов В. А. Липопротеиды высокой плотности: не только обратный транспорт холестерина. *Вестник Витебского государственного университета*. 2011; 10 (2): 12–7.
15. Тарасова О. И., Огурцов П. П., Мазурчик Н. В., Моисеев В. С. Современные лабораторные маркеры употребления алкоголя // *Клиническая фармакология и терапия*. 2007. Т. 16, № 1. С. 10–15.
16. Микаелян Н. П., Гурина А. Е., Нгуен Х. З., Терентьев А. А., Микелян К. А. Взаимосвязь между процессом перекисидации липидов, активностью антиоксидантной системы и жирнокислотным составом крови у больных сахарным диабетом 1-го типа и при его осложнениях. *Российский медицинский журнал*. 2014; (4): 33–38.
17. Макарова С. Г., Вишнева Е. А. Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты классов ω -3 и ω -6 как эссенциальный нутриент в разные периоды детства. *Педиатрическая фармакология*. 2013; (10): 80–88.
18. Малыгин А. О., Дощицин В. Л. Применение омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в лечении больных с аритмиями сердца. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2013; (9): 56–61.
19. Таратухин Е. О. Атеросклероз и жирные кислоты: важная взаимосвязь и новое направление терапии // *Российский кардиологический журнал*. 2011; 5: 77–80.
20. Романенко В. И., Романенко Ю. И., Романенко И. В. Полиненасыщенные жирные кислоты при умеренных когнитивных расстройствах. *Международный неврологический журнал*. 2015; 2: 135–138.

References

1. Agadzhanian N. A., Zhvavy N. F., Ananiev V. N. *Human adaptation to the conditions of the Far North. Ecological and physiological mechanisms*. Moscow, KRUK, 1998, 238 p. (In Russ.).
2. Sevastyanova E. V. Peculiarities of lipid and carbohydrate metabolism in humans in the north (literature review). *Byulleten' sibirskoj mediciny* [Bulletin of Siberian Medicine], 2013, 1 (12), pp. 93–100. (In Russ.).
3. Olesova L. D., Arkhipova N. S., Yakovleva A. I., Krivoschapikna Z. N., Semenova E. I., Efremova A. V., Konstantinova L. I., Okhlopko E. D., Grigoriev A. A. Age dynamics of the lipid profile in the population of the indigenous in habitants of Yakutia. *Jakutskij medicinskij zhurnal* [Yakut medical journal], 2020, 3 (71), pp. 83–89. (In Russ.).
4. Averyanova I. V., Maksimov A. L. The state of lipid and carbohydrate metabolism in students — aborigines and Caucasians with different periods of residence in the territory of the Magadan region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology], 2015, 9, pp. 44–49. (In Russ.).
5. Vloshchinsky P. E. The state of lipid metabolism in the indigenous people of the North as one of the indicators of nutritional status. *Tekhnologiya i tekhnika pishchevyh produktov* [Technology and technic of food products], 2011, 3 (22), pp. 13–16. (In Russ.).
6. Rozhkova T. A., Aripovsky A. V., Yarovaya E. B. et al. Individual plasma fatty acids: biological role of substrates, parameters of quantity and quality, diagnosis of atherosclerosis and atheromatosis. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Clinical Laboratory Diagnostics], 2017, 11, pp. 655–665. (In Russ.). doi:10.18821/0869-2084-2017-62-11-655-665.
7. Karamnova N. S., Rytova A. I., Shvabskaya O. B., Shalnova S. A., Maksimov S. A., Balanova Yu. A., Evstifeeva S. E., Imaeva A. E., Kapustina A. V., Muromtseva G. A., Drapkina O. M. Association of alcohol consumption and dietary patterns in the adult population: data from the ESSE-RF study. *Serdechno-sosudistaya terapiya i profilaktika* [Cardiovascular Therapy and Prevention], 2021, 20 (4), 2883. (In Russ.). doi:10.15829/1728-8800-2021-2883.
8. Mordovsky E. A., Soloviev A. G., Sannikov A. L. Alcoholic history and the factor of the place of death: the role in mortality from leading diseases of the cardiovascular system. *Terapevticheskij arhiv* [Therapeutic Archive], 2015, vol. 87 (9), pp. 26–33. (In Russ.).
9. Solovyova V. A., Leuchter S. N., Soloviova N. V., Bichkaevav F. A., Ishekov N. S., Karyakina O. E., Soloviev A. G., Udovenkova L. P., Vilova T. V. The role of fatty acids in the mechanisms of lipid metabolism disorders in people with alcohol dependence syndrome. *Byulleten' sovremennoj klinicheskoy mediciny* [Bulletin of Modern Clinical Medicine], 2022, no. 15, issue 6, pp. 100–108. (In Russ.).
10. Perova N. V., Metelskaya V. A., Sokolova E. I., Schukina G. N., Fomina V. M. Dietary fatty acids. Impact on the risk of circulatory system diseases. *Racional'naya farmakoterapiya v kardiologii* [Rational Pharmacotherapy and Cardiology], 2011, 7, pp. 620–627. (In Russ.).
11. Yakovleva L. M., Lezhenina S. V., Maslova Zh. V., Kupriyanov S. V. Study of intestinal absorption function in an experimental model of chronic alcohol intoxication. *Kazanskij medicinskij zhurnal* [Kazan Medical Journal], 2012, No 3, pp. 499–502. (In Russ.).
12. Sudakov N. P., Novikov M. A., Lipko S. V., Klimenko I. V., Goldberg O. A. et al. Ultra- and nanostructured disorders of the mitochondria of liver cells in experimental dyslipidemia. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii medicinskih nauk* [Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences], 2010, No. 5, pp. 197–201. (In Russ.).
13. Vovk E. I. Alcoholic liver disease (ALD) as a systemic disease: clinical resources and treatment tactics. *Rossijskij medicinskij zhurnal* [Russian Medical Journal], 2013, 20, pp. 993–1002. (In Russ.).
14. Grebennikov I. N., Kulikov V. A. High-density lipoproteins: not only reverse cholesterol transport. *Byulleten' vitebskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Vitebsk State University], 2011, 10 (2), pp. 12–17. (In Russ.).
15. Tarasova O. I., Ogurcov P. P., Mazurchik N. V., Moiseev V. S. Modern laboratory markers of alcohol consumption. *Klinicheskaya farmakologiya i terapiya* [Clinical pharmacology and therapy], 2007, 1 (16), pp. 10–15. (In Russ.).

16. Mikaelyan N. P., Gurina A. E., Nguen H. Z., Terent'ev A. A. Mikaelyan K. A. The relationship between the process of lipid peroxidation, the activity of the antioxidant system and the fatty acid composition of the blood in patients with type 1 diabetes mellitus and its complications. *Rossiiskij medicinskij zhurnal* [Russian Medical Journal], 2014, (4), pp. 33–38. (In Russ.).
17. Makarova S. G., Vishneva E. A. Long chain polyunsaturated fatty acids of classes ω -3 and ω -6 as an essential nutrient in different periods of childhood. *Pediatricheskaya farmakologiya* [Pediatric Pharmacology], 2013, 10, pp. 80–88. (In Russ.).
18. Malygin A. O., Doshchicin V. L. The use of omega-3 polyunsaturated fatty acids in the treatment of patients with cardiac arrhythmias. *Racional'naya farmakoterapiya v kardiologii* [Rational Pharmacotherapy and Cardiology], 2013, 9, pp. 56–61. (In Russ.).
19. Taratukhin E. O. Atherosclerosis and fatty acids: an important relationship and a new avenue for therapy. *Rossiiskij kardiologicheskij zhurnal* [Russian Journal of Cardiology], 2011, 5, pp. 77–80. (In Russ.).
20. Romanenko V. I., Romanenko Yu. I., Romanenko I. V. Polyunsaturated fatty acids in moderate cognitive disorders. *Mezhdunarodnyj nevrologicheskij zhurnal* [Medical Neurological Journal], 2015, 2, pp. 135–138. (In Russ.).

Информация об авторах

Вероника Андреевна Соловьева — taurus221@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2954-8040>, ассистент кафедры патологической физиологии;

Наталья Владиславовна Соловьева — patophiz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0664-4224>, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой;

Лариса Петровна Удовенкова — udovenkoalp@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9835-025X>, заместитель главного врача;

Андрей Горгоньевич Соловьев — ASoloviev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0350-1359>, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой.

Information about the authors

Veronika A. Solovyeva — taurus221@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2954-8040>, Assistant at the Department of Pathological Physiology;

Natalia V. Solovieva — patophiz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0664-4224>, Dr. Sc. (Medicine), Associate Professor, Head of the Department;

Larisa P. Udovenkova — udovenkoalp@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9835-025X>, Deputy Senior Physician;

Andrey G. Soloviev — ASoloviev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0350-1359>, Dr. Sc. (Medicine), Professor, Head of the Department.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья

УДК 614.8

doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.022

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА НА ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕСТРЕЛЬНОГО ОРУЖИЯ ОГРАНИЧЕННОГО ПОРАЖЕНИЯ

Софья Юрьевна Яшева¹, Юрий Евлампиевич Барачевский², Владимир Владимирович Масляков³

^{1, 2}Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

³Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, Саратов, Россия

¹yashevasofi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7918-3580>

²barje1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5299-4786>

³maslyakov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6652-9140>

Аннотация

Вследствие развития в России оружейной промышленности и наполнения различными видами огнестрельного оружия ограниченного поражения (ОООП), которое именуется также как травматическое или кинетическое оружие, начало XXI в. характеризуется интенсивным накоплением на руках у населения в Российской Федерации (РФ) значительного числа разнообразных его образцов. Так, если в 2008 г. с применением травматического оружия было совершено около 4,4 тыс. преступлений, то к 2012 г. на руках у населения РФ находилось от 1,5 до 3,5 млн образцов ОООП. Только в 2015 г. более 1 млн разрешений на хранение ОООП выдано МВД РФ. Ненецкий автономный округ, который входит в состав Архангельской области, являясь наряду с другими территориями области частью Арктической зоны РФ, по темпу прироста числа зарегистрированных преступлений, связанных с незаконным оборотом этого оружия (+90,9 %), относится к лидерам в РФ. Совокупность таких факторов, как наличие значительного числа ОООП на руках у населения, высокая доля его нелегального оборота и, как следствие, необоснованное применение ОООП в общественных местах побудили изучить данную проблему со стороны влияния антропогенного (человеческого) фактора на здоровье человека. Из 248 пострадавших выявлено 235 (94,8 %) мужчин и 13 (5,2 %) женщин. Средний возраст составил (31,8 года) и варьировал от 16 до 64 лет. Наибольшая возрастная категория 30–39 лет — 100 (40,3 %) человек, а наибольшее количество пострадавших на арктической территории Архангельской области пришлось на 2011–2015 гг. Последующее снижение числа ранений, вероятно, связано с принятием ряда ужесточающих оборот ОООП нормативно-правовых актов (ФЗ-№ 398 от 28.12.2010 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты», Приказ МВД России от 07.06.2022 № 403). Значительная часть пострадавших — 80 (32,3 %) — поступили в приемные отделения больниц в состоянии алкогольного или наркотического опьянения. Вследствие применения ОООП у 3 пострадавших (1,2 %) наступила инвалидизация и стойкая утрата трудоспособности. На территории арктической зоны Архангельской области ОООП преимущественно применялось не для самообороны, а исходя из хулиганских побуждений — 134 (98,5 %) случая из достоверно установленных 136.

Ключевые слова:

травматическое оружие, огнестрельное оружие ограниченного поражения, пострадавшие

Для цитирования:

Яшева С. Ю., Барачевский Ю. Е., Масляков В. В. Влияние антропогенного фактора на последствия применения огнестрельного оружия ограниченного поражения // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 187–191. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.022.

Original article

THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE CONSEQUENCES OF THE USE OF NON-LETHAL KINETIC WEAPONS

Sofya Yu. Yasheva¹, Yury E. Barachevskiy², Vladimir V. Maslyakov³

^{1, 2}Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

³Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, Saratov, Russia

¹yashevasofi@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7918-3580>

²barje1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5299-4786>

³maslyakov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6652-9140>

Abstract

Due to the development of the arms industry in Russia and the filling of various types of non-lethal kinetic weapons (NLW), also referred to as traumatic or kinetic weapons, the beginning of the XXI century is characterized by an intensive accumulation on the hands of the population in the Russian Federation (RF) of a significant number of its weapons. Thus, if in 2008 about 4.4 thousand crimes were committed with the use of traumatic weapons, then by 2012 the population of the Russian Federation had from 1.5 to 3.5 million samples of NLW in their hands. In 2015 alone, more than 1 million permits for possession of NLW were issued by the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. The Nenets Autonomous District, which is part of the Arkhangelsk region, being along with other territories of the region, part of the Arctic zone of the Russian Federation, is among the leaders in the Russian Federation by the rate of increase in the number of registered crimes related to the illegal circulation of these weapons (+90.9 %). The combination of such factors as the presence of a significant number of firearms in the hands of the population, a high proportion of their illegal circulation and, as a consequence, the unjustified use of firearms in public places prompted us to study this problem from the side of the influence of anthropogenic (human) factor on human health. Purpose of the study. To study the influence of anthropogenic factor on the effects of NLW. Out of 248 victims, 235 (94.8 %) males and 13 (5.2 %) females were identified. The mean age was (31.8 years) and ranged from 16 to 64 years. The largest age category of 30–39 years was 100 (40.3 %) people, and the highest number of victims in the Arctic territory of the Arkhangelsk region was in 2011–2015. The subsequent decrease in the number of injuries is probably due to the adoption of a number of regulations tightening the turnover (FZ- № 398 of 28.12.2010 "On Amendments to Certain Legislative Acts", the order of the Ministry of Internal Affairs of Russia from 07.06.2022 № 403). A significant part of the victims — 80 (32.3 %) were admitted to hospital emergency rooms in a state of alcoholic or drug intoxication. As a result of the use of firearms, 3 victims (1.2 %) suffered disability and permanent disability. On the territory of the Arctic zone of the Arkhangelsk Region NLW were mostly used not for self-defense, but for hooligan motives 134 (98.5 %) cases out of 136 accurately determined.

Keywords:

non-lethal kinetic weapons, traumatic weapons, victims

For citation:

Yasheva S. Yu., Barachevskiy Yu. E., Maslyakov V. V. The impact of anthropogenic factors on the consequences of the use of non-lethal kinetic weapons. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 187–191. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.022.

Актуальность

Федеральным законом «Об оружии» от 13 декабря 1996 г. № 150-ФЗ дано определение понятию «огнестрельное оружие ограниченного поражения (ОООП)», этим же законом данный вид оружия отнесен к гражданскому оружию самообороны. Однако существуют синонимичные понятия, определяющие ОООП как травматическое оружие и нелетальное кинетическое оружие. Данный вид оружия создавался для сотрудников силовых ведомств в качестве средства для борьбы с массовыми беспорядками и не предполагал причинение смерти человеку [1; 2].

На территории РФ первые образцы травматического оружия появились в конце 1980-х гг. и были представлены газовыми револьверами и пистолетами, как правило, германского производства. В те годы уже была распространена широкая практика переделки боевого оружия в бытовых условиях. Первым отечественным травматическим оружием стал пистолет ИЖ-76 калибром 8 мм, произведенный на Ижевском механическом заводе в 1993 г., 1990-е гг. характеризуются интенсивным производством и накоплением на руках у населения различных видов травматического оружия.

Параллельно с развитием разнообразных видов оружия самообороны создавалась и совершенствовалась нормативно-правовая база, регулирующая потоки и оборот оружия в стране. Первым нормативно-правовым актом, регулирующим оборот травматического оружия, стал Закон РФ от 20 мая 1993 г. № 4992-1 «Об оружии». 13 декабря 1996 г. был принят новый Федеральный закон № 150 «Об оружии». 28 декабря 2010 г. в него были внесены изменения и впервые включена такая категория, как огнестрельное оружие ограниченного поражения, под которым понимается короткоствольное и бесствольное оружие, предназначенное для механического поражения живой цели на расстоянии метаемым снаряжением патрона травматического действия, получающим направленное движение за счет энергии порохового или иного заряда, и не предназначенное для причинения смерти человеку. В настоящее время действующим российским законодательством установлен единый порядок оборота, единые меры контроля, а также уголовная ответственность за незаконный сбыт оружия, в том числе травматического.

Вследствие развития оружейной промышленности и наполнения различными видами ООП, у населения на руках скопилось значительное число его образцов. Так, например, в 2008 г. с применением травматического оружия было совершено около 4,4 тыс. преступлений. В 2012 г. на руках у населения РФ находилось от 1,5 до 3,5 млн образцов ООП. Более 1 млн разрешений на хранение ООП выдано МВД РФ в 2016 г. [3; 4]. Ненецкий автономный округ, входящий в состав Архангельской области и всецело относящийся к арктической зоне области, является лидером в РФ по темпу прироста числа зарегистрированных преступлений, связанных с незаконным оборотом оружия (+90,9 %).

Таким образом, совокупность таких факторов, как наличие значительного числа ООП на руках у населения, высокая доля его оборота и, как следствие, необоснованное применение ООП в общественных местах, побудили нас изучить данную проблему со стороны влияния антропогенного (человеческого) фактора на здоровье человека.

Материалы и методы

Нами изучены медицинские карты (форма 003/у, n = 125) и протоколы судебно-медицинских экспертиз, исполненных в ГБУЗ Архангельской области «Бюро судебно-медицинской экспертизы» (n = 123) на пострадавших от травматического оружия за период с 2006 по 2022 г. Исследование ретроспективное, тип — документальное наблюдение. Включена генеральная совокупность пострадавших от ООП. Использовались качественные переменные, представленные в виде процентных долей.

Исследование одобрено решением междисциплинарного комитета по этике ФГБОУ ВО «СГМУ» Минздрава России (протокол № 010/10-21 от 22.12.2021 г.).

Результаты

Из 248 пострадавших выявлено 235 (94,8 %) мужчин и 13 (5,2 %) женщин. Средний возраст составил (31,8 года) и варьировал от 16 до 64 лет. Ведущая возрастная категория пострадавших 30–39 лет — 100 (40,3 %), второе рейтинговое место у пострадавших 20–29 лет — 91 (36,7 %), третье — у группы 40–49 лет — 26 (10,5 %), четвертое — у пострадавших 50 лет и старше — 17 (6,9 %), пятое — у пострадавших 16–19 лет — 14 (5,6 %).

Наибольшее число пострадавших на территории арктической зоны Архангельской области пришлось на 2011–2015 гг. (табл.). Дальнейшее снижение числа обращений за медицинской помощью, вероятно, связано с принятием ряда ужесточающих оборот ООП нормативно-правовых актов (ФЗ № 398 от 28.12.2010 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты», Приказ МВД России от 07.06.2022 № 403 и др.).

Распределение пострадавших по годам получения ранения

Период, годы	Мужчины абс.	Женщины абс.	Всего, абс. (%)
2006–2010	30	2	32 (12,9)
2011–2015	111	4	115 (46,4)
2016–2020	85	7	92 (37,1)
2021–2022	9	0	9 (3,6)

По материалам медицинской и судебно-медицинской документации установлены обстоятельства получения ранений у 136 (54,8 %) пострадавших. Из них 79 (58,1 %) получили ранения на улице по случайному стечению обстоятельств от неустановленных вооруженных лиц, в пьяных ссорах в ночных клубах ранен 31 (22,8 %) пострадавший, в домашней обстановке пострадали 18 (13,2 %), в автодорожных конфликтах — 6 (4,4 %).

Два сотрудника Росгвардии (1,5 %) пострадали от этого вида оружия при исполнении служебных обязанностей. 80 (32,3 %) пострадавших поступили в приемные отделения больниц в состоянии алкогольного или наркотического опьянения. У 9 (3,6 %) пострадавших выявлены повреждения

глазного яблока как результат его контузии или полного размозжения с последующим проведением энуклеации. У одного пострадавшего (0,4 %) с полным обезображиванием лица проводилось длительное и сложное хирургическое лечение.

Вследствие применения ООП у 3 пострадавших (1,2 %) наступила инвалидизация и стойкая утрата трудоспособности, в частности представленная правосторонним спастическим монопарезом вследствие проникающего ранения головы, двусторонней посттравматической сенсоневральной тугоухостью, левосторонней плексопатией с парезом левой верхней конечности.

Заключение

На территории арктической зоны Архангельской области ООП в исследуемый период применялось преимущественно не для самообороны, а исходя из хулиганских побуждений —134 (98,5 %) случая из достоверно установленных 136.

В группе риска получения травмы находятся молодые мужчины трудоспособного возраста, находящиеся в алкогольном опьянении на улице в ночное время или вблизи увеселительных заведений. Применение ООП необученным человеком, который не соотносит потенциал оружия как вероятный риск и пользу применения ООП (достаточная защита), влечет за собой нанесение выстрелов по таким анатомическим областям, как голова, шея, грудь, живот, которые причиняют тяжкий вред, а порой и непоправимые последствия для здоровья человека. Как нож в руках хирурга, выполняющего операцию, приносит благо, а в руках разбойника является орудием преступления, так и человеческий фактор (кто, в каком состоянии, когда и для чего стреляет) предопределяет последствия применения ООП.

Эти обстоятельства, в свою очередь, определяют необходимость усиления мероприятий по контролю за оборотом этого вида оружия, а с медицинских позиций требуют создания рабочей группы при Минздраве России и последующей разработки клинических рекомендаций по оказанию медицинской помощи пострадавшим от ООП.

Список источников

1. Kahle M. E., Hamann K. M., Sakher A. A., Kaske E. A., Pagliara T., and Pariser J. J. Testicular rupture following rubber bullet trauma case report // *Transl Androl Urol*. 2021 Aug; 10 (8). P. 3529–3531. doi: 10.21037/tau-21-213.
2. Wahl P., Schreyer N., Yersin B. Injury pattern of the Flash-Ball®, a less-lethal weapon used for law enforcement: Report of two cases and review of the literature // *J Emerg Med*. 2006. 31 (3). P. 325–330. doi:10.1016/j.jemermed.2005.09.022.
3. Светлолов Д. Ю. Установление расстояния выстрела методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой при исследовании повреждений тела и одежды человека, причиненных из огнестрельного оружия ограниченного поражения / Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации. 2019. 111 с.
4. Муленков Д. В., Шепель В. А. Краткая характеристика состояния преступности в Российской Федерации за январь-октябрь 2022 года. URL: <https://мвд.рф/reports/item/33913311>. Проблемы проведения экспертиз при расследовании преступлений, совершаемых с применением травматического оружия // *Эксперт-криминалист*. 2010. № 3. С. 23.

References

1. Kahle M. E., Hamann K. M., Sakher A. A., Kaske E. A., Pagliara T., and Pariser J. J. Testicular rupture following rubber bullet trauma case report. *Transl Androl Urol.*, 2021 Aug; 10 (8), pp. 3529–3531. doi: 10.21037/tau-21-213.

2. Wahl P., Schreyer N., Yersin B. Injury pattern of the Flash-Ball®, a less-lethal weapon used for law enforcement: Report of two cases and review of the literature. *J Emerg Med.*, 2006, 31 (3), pp. 325–330. doi:10.1016/j.jemermed.2005.09.022.
3. Cvetolobov D. Yu. *Ustanovlenie rasstoyaniya vystrela metodom optiko-emissionnoj spektrometrii s induktivno svyazannoj plazmoj pri issledovanii povrezhdenij tela i odezhdy cheloveka, prichinennyh iz ognestrel'nogo oruzhiya ogranichennogo porazheniya*. Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe voennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya “Voenno-medicinskaya akademiya imeni S. M. Kirova” Ministerstva oborony Rossijskoj Federacii [Determination of the shot distance by the method of optical emission spectrometry with inductively coupled plasma during the study of damage to the human body and clothing caused by firearms of limited destruction/Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education "Military Medical Academy named after S. M. Kirov" of the Ministry of Defense of the Russian Federation], 2019, 111 p. (In Russ.).
4. Mulenkov D. V., Shepel' V. A. *Kratkaya harakteristika sostoyaniya prestupnosti v Rossijskoj Federacii za yanvar'-oktyabr' 2022 goda* [Brief description of crimes in the Russian Federation for January-October 2022]. Available at: <https://mvd.rf/reports/item/33913311>. *Problemy provedeniya ekspertiz pri rassledovanii prestuplenij, sovershaemyh s primeneniem travmaticheskogo oruzhiya* [Problems of conducting examinations in the investigation of crimes committed with the use of non-lethal gun]. *Ekspert-kriminalist* [Expert-Criminalist], 2010, no. 3, pp. 23. (In Russ.).

Информация об авторах

С. Ю. Яшева — аспирант, преподаватель кафедры мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф;

Ю. Е. Барачевский — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф;

В. В. Масляков — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры мобилизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф.

Information about the authors

S. Yu. Yasheva — PhD student, instructor of the Department of mobilization training of health care and disaster medicine;

Yu. E. Barachevskiy — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of mobilization training of health care and disaster medicine;

V. V. Maslyakov — Doctor of Medical Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 330.567.222
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.023

ОСОБЕННОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

Туйара Николаевна Гаврильева^{1✉}, Варвара Даниловна Парилова²

¹Инженерно-технический институт Северо-Восточного федерального университета, Якутск, Россия, tuyara@list.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0003-3261-8588>

²Финансово-экономический институт Северо-Восточного федерального университета, Якутск, Россия, varyaparilova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3687-2831>

Аннотация

За последние десятилетия индустриализация, урбанизация, глобализация, а также экономическое развитие и социально-экономические кризисы вызвали быстрые изменения в рационе питания и образе жизни населения Якутии. Согласно существующим международным статистическим данным, качество рациона оказывает значительное влияние на здоровье и продолжительность жизни населения. В статье рассматриваются региональные особенности Якутии в потреблении продуктов питания, а также соответствие энергетической и пищевой ценности потребляемых продуктов рекомендуемым нормам. Исследование построено на обобщении данных государственной статистики с середины 1990-х гг., что позволило сопоставить динамику и структуру потребления продуктов питания с основными социально-экономическими показателями уровня жизни. Для анализа использовались стандартные статистические методы.

Ключевые слова:

Саха (Якутия), рацион, потребительские расходы, бедность, энергетическая, пищевая, ценность

Финансирование:

работа выполнена при поддержке: Российского фонда фундаментальных исследований, научный проект № 21-55-70104, конкурс е-Азия Климат.

Для цитирования:

Гаврильева Т. Н., Парилова В. Д. Особенности потребления продуктов питания в Республике Саха (Якутия) // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 192–202. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.023.

Original article

FOOD CONSUMPTION PATTERNS IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Tuyara N. Gavriilyeva^{1✉}, Varvara D. Parilova²

¹Institute of Engineering & Technology, North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia, tuyara@list.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0003-3261-8588>

²Финансово-экономический институт Северо-Восточного федерального университета, Якутск, Россия, varyaparilova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3687-2831>

Abstract

Over the past decades, industrial development, urbanization, globalization, as well as economic development and socio-economic crises have caused rapid changes in diet and lifestyle of the population of Yakutia. According to existing international statistics, quality of diet has a significant impact on health and life expectancy of population. The article is concerned with specific features of food consumption patterns in Yakutia as a region, as well as with compliance of energy and nutritional value of the food consumed with the recommended standards. The study is based on a summary of state statistics data starting from the mid-1990s, which allowed to compare behavior and structure of food consumption with the key socio-economic indicators of living standards. Standard statistical methods were used for the analysis.

Keywords:

Sakha (Yakutia), diet, consumers spending, poverty, energy, nutrition, value

Funding:

the reported study was performed under the e-Asia Climate Call and funded by RFBR, project number 21-55-70104.

For citation:

Gavriilyeva T. N., Parilova V. D. Food consumption patterns in the Republic Of Sakha (Yakutia). *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 192–202. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.023.

Введение

Данные государственной статистики, описывающие структуру и динамику доходов и расходов населения, в том числе выборочные обследования бюджетов домашних хозяйств, ведущиеся с середины 1990-х гг., позволяют оценить ход социальных процессов, проследить изменения в качестве и стиле жизни на протяжении достаточно длительного периода. В соответствии с действующей методикой Росстата, потребительские расходы населения включают четыре основные группы: приобретение продуктов питания (для них доступна детализация в разрезе товарных групп), алкогольных напитков, непродовольственных товаров и оплата услуг.

Потребление продуктов питания, как базовая потребность, тесно связана с продовольственной безопасностью. Это — положение, при котором все люди в любое время имеют физический и экономический доступ к безопасной и питательной пище, которая отвечает их диетическим потребностям и предпочтениям, в количестве, необходимом для поддержания активного и здорового образа жизни [1]. Существующие международные статистические данные демонстрируют высокую зависимость доступности и рациона питания, а также продолжительности жизни. В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности РФ, утвержденной Указом Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20, физическая доступность продовольствия — это наличие на каждом локальном рынке набора основных пищевых продуктов в объемах и ассортименте, которые соответствуют рекомендуемым рациональным нормам потребления. Отдельные исследования показывают, что Россия, в силу природно-климатического и этнокультурного разнообразия, а также диспаритетов в уровне и качестве жизни, отличается значительными региональными вариациями в потреблении продовольственных товаров [2–4]. По мнению ряда авторов, «физическая доступность продовольствия в России прежде всего отражает его наличие в требуемом объеме и ассортименте в местах проживания людей и только затем возможность приобретения продовольственных товаров через торговую сеть. Это обусловлено наличием северных и других труднодоступных территорий страны, неравномерностью размещения производства и неразвитостью логистических механизмов по доставке продовольствия, а также вкладом ЛПХ в продовольственное обеспечение страны» [5, с. 13].

Целью исследования является определение региональных особенностей жителей Республики Саха (Якутия) (РС (Я)) в потреблении продуктов питания на основе анализа данных государственной статистики, доступных с середины 1990-х гг.

Задачи исследования: сравнительный анализ доли продовольствия в структуре потребительских расходов и динамики покупательной способности населения; анализ потребления основных продуктов питания и их сопоставление с рациональными нормами, отвечающими современным требованиям здорового питания; анализ динамики энергетической и пищевой ценности потребляемых продуктов.

Методы

Исследование построено на обобщении данных государственной статистики с середины 1990-х гг., для анализа использовались стандартные статистические методы.

Продовольствие в структуре потребительских расходов

Доля расходов на продовольствие в структуре потребительских расходов является одним из основных индикаторов уровня жизни населения. Сокращение удельного веса продовольствия свидетельствует о переходе к более качественной потребительской модели и росте уровня жизни [6]. Это подтверждается данными на рис. 1, где показано, что рост реальных денежных доходов населения сопровождался относительным сокращением продуктов питания и безалкогольных напитков в структуре потребительских расходов населения РС (Я) и России в целом. На начало перестройки, в 1990 г., доля расходов на продовольствие в РС (Я) составляла 28,6 %, в РФ — 35,5 %. Начавшиеся вскоре рыночные реформы, сопровождавшиеся галопирующей инфляцией, дефицитом продовольствия, падением уровня жизни, обусловили рост расходов на продовольствие до 43,5 и 52,0 % в 1995 г. соответственно. Рост уровня жизни в нулевые годы позволил постепенно вернуться к дореформенным значениям, самая благоприятная ситуация отмечалась в 2008 г., когда доля расходов на продовольствие в Якутии составила 28 %, в РФ в целом — 32 %.

После финансового кризиса 2008–2009 гг. значения этого показателя повысились, что отражает долгосрочный тренд на фиксацию уровня бедности в России на фоне небольшого, но стабильного экономического роста. «Первое десятилетие 21 в. было “золотым периодом”, в течение которого уровень жизни в России устойчиво и стабильно рос. Экономический рост позволил нивелировать резкое падение уровня жизни, которое отмечалось в переходных к рынку 90-х годах. Но национальный уровень бедности продолжает оставаться одним из самых высоких в мире, что не соответствует роли и весу страны в международной политике и мировой экономике» [7, с. 39]. В 2020 г. в России доля расходов на продукты питания достигла 29,7 %. В рейтинге стран Европы по доле расходов семей на продукты питания она занимает 31-е место среди 40 стран. «Первое место в рейтинге занял Люксембург. Жители этой страны тратят на покупку продуктов питания только 8,4 % своих расходов. Далее располагаются Нидерланды и Великобритания с 10,6 % расходов... В целом, верхнюю часть рейтинга составляют экономически развитые западноевропейские страны. Самая существенная доля расходов на продукты питания в потребительских расходах у граждан стран бывшего СССР и государств Восточной Европы. Последнее место занимает Казахстан, жители здесь тратят на еду самую большую долю расходов из всех стран, участвующих в рейтинге — 49,4 %» [8]. Таким образом, динамика доли расходов на продукты питания качественно отражает динамику уровня жизни населения, что позволяет использовать его для сравнительного межстранового и межрегионального анализа.

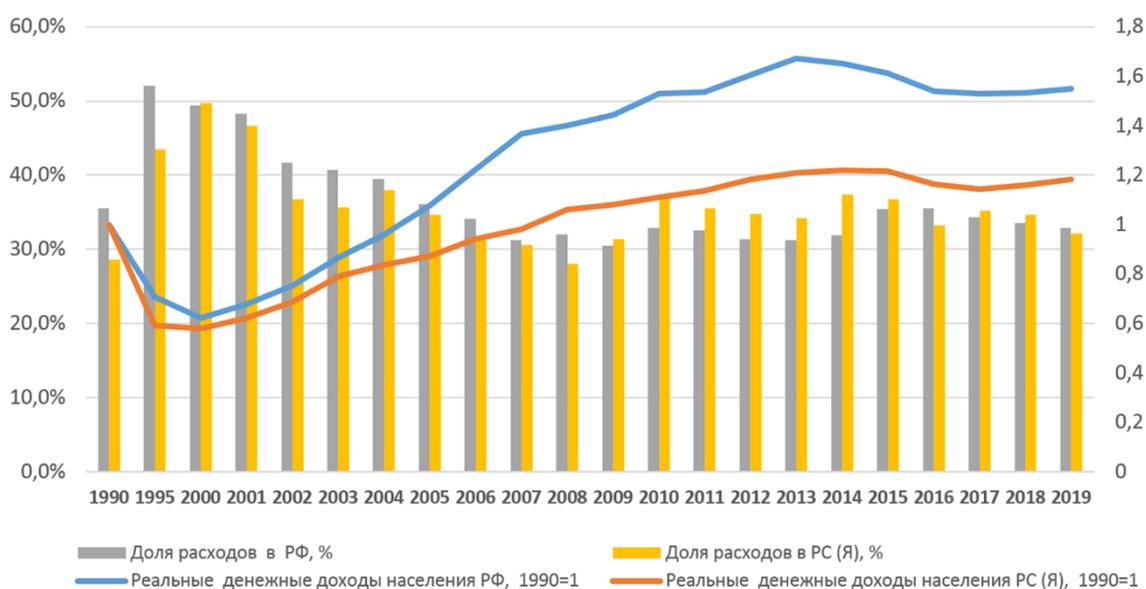


Рис. 1. Доля расходов на продукты питания и безалкогольные напитки в структуре потребительских расходов домохозяйств РФ и РС (Я), % [9; 10]

В Республике Саха (Якутия) доля расходов на питание, включая алкогольные напитки и табачные изделия, в структуре потребительских расходов сократилась с 47,4 % в 1998 г. до 32,7 % в 2019 г. (рис. 2.). В разрезе товарных групп можно отметить относительное сокращение расходов на покупку хлеба, мяса, сладостей, растительного масла, молочных изделий и рыбы, овощей и картофеля на фоне роста расходов на фрукты и ягоды, чай, кофе и безалкогольные напитки, а также алкоголь и табачные изделия. Товары, по которым отмечается рост расходов, как правило, завозятся из других регионов России и зарубежных стран, также часть из них — подакцизные товары. Соответственно, эта динамика достаточно надежно отражает опережающий рост цен на отдельные товарные группы вследствие повышения акциза, транспортных расходов и т. д. Поэтому анализ потребительских расходов населения должен сопрягаться с динамикой цен на продовольствие, которые в рассматриваемый период в разрезе отдельных товарных групп росли неравномерно.

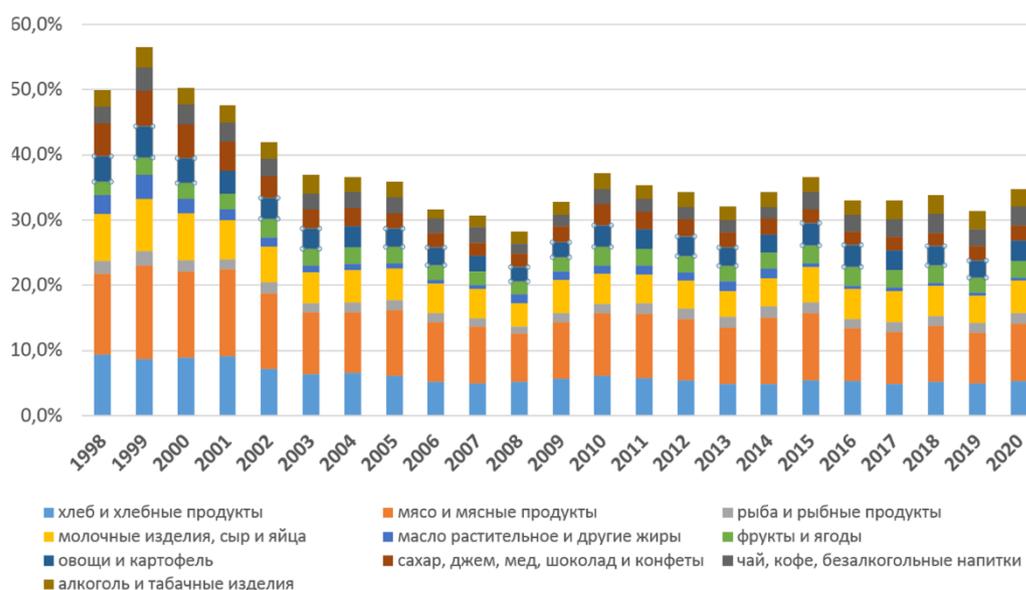


Рис. 2. Структура потребления продуктов питания, безалкогольных и алкогольных напитков, табачных изделий в расходах населения Республики Саха (Якутия), % [9; 11]

Покупательная способность населения

Покупательная способность среднедушевых доходов населения РФ и РС (Я) также чувствительна к уровню жизни и ценам на основные потребительские товары. В 1990-е гг. отмечалось резкое падение, связанное с кризисом, на протяжении последних 10 лет, с 2008–2009 гг. отмечается стабилизация по основным продуктам питания (рис. 3). Вместе с тем, как и показатель «доля расходов на продовольствие», стабильность данного индикатора отражает устойчивость бедности в России. Особенностью является сильное падение северян относительно России в целом. В 1994 г. покупательная способность их доходов была значительно выше, чем в стране в среднем, на некоторые группы продуктов питания (хлеб, молоко) — практически в два раза. Начиная с 1996 г. это преимущество практически нивелировано. Рост цен на продовольствие, в том числе из-за транспортных расходов, «съел» северные гарантии. «Дальневосточные регионы Российской Федерации отличаются значительной транспортной удаленностью, высокой стоимостью энергоресурсов и электроэнергии, вследствие чего возрастает и стоимость жизни населения. Зарботная плата и другие доходы населения, напротив, сопоставимы с доходами жителей центральных областей России. Роль северных надбавок и районных коэффициентов в стимулировании притока трудоспособного населения снизилась, уменьшились и их значения в связи с отменой региональных доплат советского периода на 30 %» [12, с. 170].

В 2019 г. по таким товарным группам, как яйцо, покупательная способность жителей Якутии, ниже на 14 %, чем России в целом (4981 штук против 5797), по сахару-песку — на 22 % (667,3 и 860,7 кг соответственно), по картофелю — на 42 % (767,7 и 1317,2 кг соответственно), по пшеничной муке — на 8 % (901,2 и 976,4 кг соответственно), по говядине (кроме бескостного мяса) — на 3 % (100,5 и 104 кг соответственно). Выше покупательная способность якутян по рыбе — на 28 % (232,2 и 181,9 кг соответственно), по сливочному маслу — на 30 % (78,5 и 60,4 кг соответственно), подсолнечному маслу — на 5 % (370,4 и 352,9 кг соответственно), по хлебу и булочным изделиям из пшеничной муки — на 5 % (635,2 и 573,4 кг соответственно).

Если рассматривать покупательную способность населения через призму доступности основных групп продуктов питания, то можно увидеть следующие особенности. Доступность говядины остается стабильной, но в период с 1996 по 2011 г. покупательная способность среднедушевых доходов населения РФ была немного ниже, чем в РС (Я). Доступность хлеба по сравнению с другими группами

питания колебалась сильнее всего. С середины 1990-х гг. по 1998 г. наблюдается резкий спад покупательной способности населения РС (Я). Если в середине 1990-х гг. она была почти в 2 с половиной раза выше, чем в среднем по РФ, в 1998 г. доступность хлеба для населения РС (Я) стала ниже, чем в среднем по РФ. Затем наблюдается постепенный рост до 2007 г., небольшой спад с 2007 по 2009 г., и затем рост медленно продолжается без особых изменений. С середины 1990-х гг. до 1998 г. доступность молока в РС (Я) резко снизилась, но в период с 1998 до 2006 г. наблюдался значительный рост покупательной способности, который, впрочем, так и не достиг уровня середины 1990-х гг.

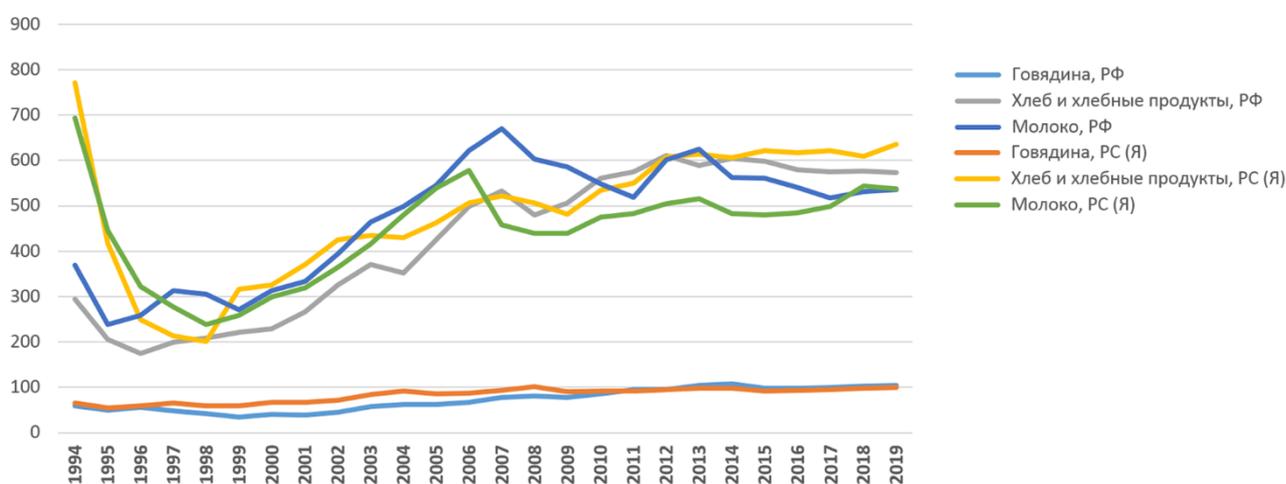


Рис. 3. Покупательная способность среднедушевых доходов населения в РФ и РС (Я), кг/месяц [9; 11]

В 2006–2007 гг. покупательная способность населения в РС (Я) резко упала, но после этого наблюдается медленный рост до настоящих дней с небольшим спадом в 2013–2014 гг. Таким образом, покупательная способность среднедушевых доходов населения Якутии в настоящее время находится на примерно одном уровне с Россией в целом.

Потребление основных продуктов питания

Данные государственной статистики позволяют оценить динамику потребления основных продуктов питания в России в целом, а также в разрезе ее федеральных округов и субъектов Федерации. Как показывают данные таблицы, фактическое потребление в регионе *не соответствует рациональным нормам потребления пищевых продуктов*, отвечающих современным требованиям здорового питания, утвержденным приказом Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614. Данные нормы представляют собой среднедушевые величины основных групп пищевых продуктов, а также их ассортимент в килограммах на душу населения в год, они учитывают химический состав и энергетическую ценность пищевых продуктов, обеспечивают расчетную среднедушевую потребность в пищевых веществах и энергии, а также разнообразие потребляемой пищи. Следует отметить, что рациональные нормы потребления периодически корректируются. «Так, в 2010 г. приказом Минсоцразвития РФ от 2 августа 2010 г. № 593н рациональные нормы питания были снижены и приближены к фактически сложившемуся уровню потребления продуктов питания. Норма потребления молока и молокопродуктов уменьшилась на 13,3 %, яиц — на 11,0 %, мяса — на 7,4 %, сахара — на 31,7 %, картофеля — на 9,9 %... В настоящее время действуют рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, утвержденные приказом Министерства здравоохранения России от 19 августа 2016 г. № 614, которые предусматривают дальнейшее снижение норм потребления продуктов питания... Анализируя рекомендуемые нормы потребления по видам мяса, можно сделать вывод, что они привязаны к фактическим объемам производства» [5, с. 13].

Потребление основных продуктов питания на душу населения в год, кг [9; 11]

	Продукты питания	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	Рациональные нормы потребления*
Россия	Молоко и молочные продукты	386	253	216	234	245	233	234	325
Дальний Восток		364	180	143	184	204	200	199	
Республика Саха (Якутия)		437	250	250	284	287	275	278	
Россия	Мясо и мясопродукты*	75	55	45	55	69	73	76	73
Дальний Восток		73	52	44	58	71	75	76	
Республика Саха (Якутия)		80	79	71	82	88	87	88	
Россия	Яйца, штук	297	214	229	250	270	273	285	260
Дальний Восток		285	148	156	197	225	236	254	
Республика Саха (Якутия)		269	129	151	192	222	228	228	
Россия	Сахар	47	32	35	38	39	39	39	24
Дальний Восток		54	31	34	34	35	36	35	
Республика Саха (Якутия)		57	34	32	34	35	36	36	
Россия	Растительное масло	10,2	7,5	9,9	12,1	13,4	13,6	14	12
Дальний Восток		12,2	7,4	10	11,1	12,3	12	12,1	
Республика Саха (Якутия)		12,4	6,4	8,3	9	9,2	9,1	9	
Россия	Картофель	106	124	118	109	95	91	89	90
Дальний Восток		98	124	137	115	105	93	94	
Республика Саха (Якутия)		74	80	83	92	81	80	85	
Россия	Овощи и бахчевые	89	76	86	87	98	102	108	140
Дальний Восток		102	70	89	88	93	93	95	
Республика Саха (Якутия)		82	58	65	76	70	67	69	
Россия	Хлебные продукты	120	122	117	121	120	118	116	96
Дальний Восток		114	105	107	118	116	116	114	
Республика Саха (Якутия)		109	119	122	135	135	135	134	

* Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания».

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) не дает конкретных рекомендаций по рациональным нормам потребления групп продуктов питания, упомянутых в приказе МЗ РФ, кроме количества овощей и фруктов в день. Согласно ВОЗ, здоровое питание для взрослых людей включает по меньшей мере 400 г фруктов и овощей в день (то есть 145,6 кг в год), кроме картофеля, сладкого картофеля, маниоки и других крахмалсодержащих корнеплодов. ВОЗ также рекомендует взрослому человеку с нормальным весом употреблять менее 18,2 кг свободных сахаров в год, при этом свободные сахара — это все сахара, добавляемые в пищевые продукты или напитки производителем, поваром или потребителем, а также сахара, естественным образом присутствующие в меде, сиропах, фруктовых соках и их концентратах. Остальные рекомендации ВОЗ касаются не потребления отдельных групп продуктов питания, а фокусируются на балансе белков, жиров, углеводов и микронутриентов в рационе человека в разные этапы его жизни. Например, в Докладе исследовательской группы ВОЗ «Рацион, питание и предупреждение хронических заболеваний», опубликованном в 2003 г. (Женева), называется следующий диапазон целей в области потребления питательных веществ населением: общее количество жиров 15–30 % от общей энергетической ценности, общее количество углеводов 55–75 % от общей энергетической ценности, белков 10–15 % от общей энергетической ценности, если не обговорено иное.

Рекомендуемый диапазон следует рассматривать в свете Совместного консультативного совещания ВОЗ, Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций и Организации Объединенных Наций, состоявшегося в Женеве 9–16 апреля 2002 г. [13].

«В Якутии отмечаются некоторые особенности потребления продуктов питания. Так, среднелюдовое потребление мяса и мясoпродуктов превышает общероссийские нормы (для трудоспособного населения на 59–73,7 кг), а по другим продуктам наблюдается недостаточный уровень фактического потребления на душу населения в год» [14]. В 2019 г. в Якутии потребление мяса и мясoпродуктов на душу населения *было выше* рациональных норм на 20 %, сахара — на 50 %, хлеба — на 40 %. При этом потребление молока и молочных продуктов *ниже* — на 14 %, яйца — на 12 %, растительного масла — на 25 %, картофеля — на 6 %, овощей и продовольственных бахчевых культур — на 51 %, что вызвано падением потребления данных продуктов с 1990 г. Потребление основных продуктов питания в Дальневосточном федеральном округе в целом представляет собой «нечто среднее» между Республикой Саха (Якутия) и Россией в целом. Таким образом региональная дифференциация в продовольственном потреблении довольно значительна.

Если рассматривать данные по фактическому потреблению с 1990 по 2019 гг., то можно отметить следующие изменения в пищевом поведении жителей Якутии. Потребление хлеба на человека в год с 1990-х годов выросло на 23 % и сейчас намного превышает уровень потребления хлеба в Дальневосточном федеральном округе и в целом по России. В то же время «хлеб и хлебoпродукты (включая крупы, что весьма существенно с точки зрения пищевой ценности) стали потребляться меньше, чем в 1990 г. в 36-ти субъектах РФ, причем в 9-ти наблюдалось значительное сокращение — на 23–25 %» [15, с. 52]. Объяснить это можно тем, что у хлеба выше покупательная способность, он доступнее для бедного населения, чем другие продукты. Исследователи отмечают, что избыточное потребление хлеба и хлебных продуктов (макаронь, крупа, мука) восполняет калорийность рациона [16, с. 59].

С другой стороны, анализ исторической динамики, выполненный в коллективной монографии «Проблема валоризации и популяризации культуры питания народов Севера в современных условиях (на примере Якутии)», показывает, что в конце XIX — начале XX в. в питании преобладал традиционный набор продуктов, связанный с охотничье-оленьеводческим хозяйственно-культурным типом (мясорыбная модель питания). Местный набор пищевого сырья затем дополнялся привозными продуктами, ассортимент которых расширился с середины XX в. С этого времени наблюдается совершенствование системы питания на базе традиционной. Формированием современной системы питания на базе традиционной системы можно также объяснить высокий уровень потребления мяса населением РС (Я) [16, с. 37].

Кроме того, ряд работ в сфере гигиены питания, пищевого статуса и оценки фактического питания населения Якутии показывают, что в регионе отмечается недостаточное формирование навыков здорового образа жизни и культуры питания, а также ухудшение качества потребляемых продуктов. Выявлено недостаточное потребление молочных, рыбных, мясных продуктов, в том числе продуктов, изготовленных из местного продовольственного сырья, и национальных блюд. Обосновано, что в зимний период пища жителей Крайнего Севера имеет низкую энергетическую ценность, отмечается недостаток витаминов и минералов [17–19].

Отдельные исследования демонстрируют, что пищевое поведение жителей арктических районов существенно отличается за счет культуры «сезонного» питания, связанного с физической доступностью пищевых продуктов и большего значения продуктов собирательства, рыболовства и охоты в рационе. Но научно-обоснованные оценки доли местной продукции в продовольственном обеспечении жителей Арктики пока отсутствуют. Нельзя игнорировать и тот факт, что фрукты и овощи, в том числе бахчевые, зачастую недоступны в изолированных поселениях из-за высоких издержек и сложной логистики, что затрудняет переход жителей на современную культуру питания.

Энергетическая и пищевая ценность потребляемых продуктов

Согласно рисунку 4, количество потребляемых калорий в сутки в РС (Я) в 1994 г. было ниже, чем в целом по России на 12 %, в 1997 г. — на 21 % (по белкам — на 18 %, жирам — на 16 %, углеводам — на 21 %), но постепенно сравнялось к 2019 г. Следует отметить, что данные по энергетической и пищевой ценности определяются на основе продовольственных балансов для региона в целом.

Поэтому требуются исследования по рациону различных социальных и этнических групп населения, эта задача связана не только с системой рационального питания, но и с северным завозом — ежегодными поставками продовольствия в арктические районы Якутии.

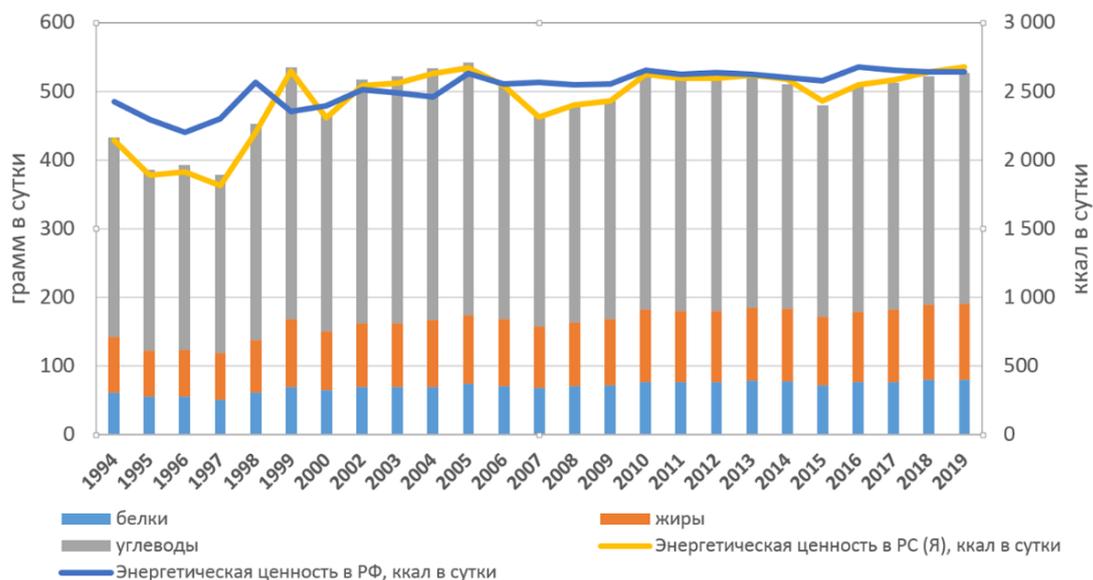


Рис. 4. Энергетическая и пищевая ценность потребляемых продуктов питания, ккал и граммов в сутки на человека [9; 11]

Несмотря на то что за последние годы питание населения РС (Я) в целом улучшилось и повысилась его пищевая и энергетическая ценность, сохраняется отставание от мировых стандартов, в частности рекомендаций Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенный Наций и ВОЗ. Так, на 2013 г. среднее количество калорий на человека в день (ккал) в странах Европейского региона ВОЗ находилось на уровне 3353 ккал, в странах СНГ — 3175 ккал [20]. Энергетическая ценность рациона в Якутии (2675 ккал в 2019 г.), так же как и РФ в целом (2644 ккал в 2019 г.), в силу объективных социально-экономических факторов (высокий уровень бедности, ценовая и физическая недоступность отдельных продуктов питания) ниже на 20–21 %.

Основные выводы

Исследование показало, что доля расходов на продовольствие в структуре потребительских расходов, так же как и покупательная способность населения, по различным видам продуктов питания являются качественными индикаторами уровня жизни. По мере увеличения реальных денежных доходов населения и снижения бедности растет покупательная способность и сокращается доля расходов на питание. Стабильно высокая по сравнению с другими странами мира доля продовольствия в потребительских расходах населения России отмечается на протяжении более 10 лет, что свидетельствует об устойчивости бедности. Рост цен на завозные и подакцизные товары в годы реформ нивелировали северные гарантии, введенные в советский период.

Региональной особенностью Якутии в потреблении продуктов питания является их несоответствие рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания, утвержденным федеральным правительством. В регионе отмечается более высокое потребление хлеба, мяса и сахара, более низкое потребление овощей, молока, яиц, растительного масла по сравнению с регионами Дальнего Востока и Россией в целом. Это является следствием как устойчивости традиционной системы питания, так и недостаточного формирования навыков здорового образа жизни, кроме того, отмечается физическая и ценовая недоступность завозного продовольствия

жителям изолированных поселений. Несмотря на то что за последние годы питание населения РС (Я) в целом улучшилось, приблизившись к среднероссийским показателям, сохраняется отставание в энергетической ценности на 20–21 % относительно мировых стандартов.

Список источников

1. Всемирная конференция по проблемам продовольствия, Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), 1996 г.
2. Фаткуллина Г. Р., Каримов А. Г. Потребительские расходы домашних хозяйств как ключевой индикатор качества жизни населения Республики Башкортостан // Социодинамика. 2019. № 6. С. 70–81. URL: https://nbpublish.com/libraryread_article.php?id=29640. doi:10.25136/2409-7144.2019.6.29640.
3. Васькин В. Ф., Коростелева О. Н. Потребление продуктов питания и состав расходов на продовольствие жителей Брянской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 47–53.
4. Агбалин Е. В., Колесников Р. А. Динамика потребления основных продуктов питания населением Ямало-Ненецкого автономного округа // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Т. 4, № 3. С. 6–21. doi:10.21684/2411-7927-2018-4-3-6-21.
5. Боткин О. И., Сутыгина А. И., Сутыгин П. Ф. Социально-экономические факторы продовольственной безопасности регионов // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». 2017. Т. 27, вып. 3. С. 12–20.
6. Овчарова Л. Н., Бирюкова С. С., Тер-Акопов С. А., Варданян Е. Г. Что изменилось в доходах, расходах и потреблении российского населения? Вып. 2. М.: НИУ ВШЭ, 2014, 42 с. <https://publications.hse.ru/books/141167013>.
7. Gavriilyeva T., Naberezhnaya A., Ivanova M., Nikiforov F. Poverty Factors in the Republic of Sakha (Yakutia) // Living Standards and Quality of Life, 1 (211), 38–47 (2019). (in Russian). doi:10.24411/1999-9836-2019-10052.
8. РИА рейтинг. Рейтинг стран Европы по доле расходов семей на продукты питания — 2020. URL: <https://riarating.ru/infografika/20201215/630192506.html>.
9. Росстат. База данных «Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах» 2021. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b20_101/Main.htm.
10. Росстат. База данных «Регионы России. Социально-экономические показатели» 2021. URL: https://gks.ru/bgd/regl/B07_14p/Main.htm.
11. Саха (Якутия) стат. Официальная статистика «Уровень жизни» 2021. URL: <https://sakha.gks.ru/folder/32339>.
12. Набережная А. Т., Оценка влияния социально-демографических факторов на уровень жизни населения региона // Уровень жизни населения регионов России. 2017. № 2 (204). С. 169–174.
13. World Health Organization. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation, Geneva, 28 January — 1 February 2002. World Health Organization, p. 56. URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42665/WHO_TRS_916.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
14. Распоряжение Правительства РС (Я) от 3 октября 2019 года № 1266-р «Об утверждении методических рекомендаций «О методике формирования баланса продовольственных ресурсов Республики Саха (Якутия) на 2019–2032 годы с учетом региональных особенностей».
15. Айзинова И. М. Потребление продуктов питания в регионах России // Проблемы прогнозирования. 2014. № 6 (147). С. 44–59.
16. Борисова И. З., Борисова А. А., Бианки И., Винокурова А. А., Винокурова Д. М., Дохунаева А. М., Лебедева У. М., Петрова М. Н., Пестейль Ф. Проблема валоризации и популяризации культуры питания народов Севера в современных условиях (на примере Якутии): коллективная монография. Ростов н/Д: ООО «ПРИОРИТЕТ», 2020. С. 149.
17. Лебедева У. М., Степанов К. М. и др. Актуальные вопросы культуры питания населения Якутии: современное состояние, проблемы и перспективы развития // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия: Медицинские науки. 2017. № 4 (09). С. 55–58.

18. Неустроева Т. С., Лебедева У. М. и др. О дефиците зимнего рациона жителей Крайнего Севера и оптимизации мер его устранения// Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2012. Т. 14, № 3. С. 222–223.
19. Шестакова Ж. Р., Барабанова М. М. и др. Гигиеническая оценка пищевого статуса населения Республики Саха (Якутия) // Международный научно-исследовательский журнал. Медицинские науки. 2020. № 4 (94). С. 101–104. doi:<https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.94.4.015>.
20. Европейское региональное бюро (ЕРБ ВОЗ). URL: https://gateway.euro.who.int/ru/indicators/hfa_440-3200-average-number-of-calories-available-per-person-per-day-kcal/.

References

1. The Rome Declaration on World Food Security and the World Food Summit Plan of Action, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1996.
2. Fatkullina G. R., Karimov A. G. Consumer spending of households as the key indicator of quality of life in the Republic of Bashkortostan. *Sociodynamics*, 2019, no. 6, pp. 70–81. (In Russ.). Available at: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=29640. doi:10.25136/2409-7144.2019.6.29640.
3. Vaskin V. F., Korosteleva O. N. Food consumption and composition of expenditures for food of residents of the Bryansk region. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 2020, no. 2, pp. 47–53. (In Russ.).
4. Agbalyan E. V., Kolesnikov R. A. Dynamics of Consumption of Basic Food Products by the Population of the Yamalo-Nenets Autonomous Area. *Bulletin of Tyumen State University. Ecology*, 2018, Vol. 4, no. 3, pp. 6–21. (In Russ.). doi:10.21684/2411-7927-2018-4-3-6-21.
5. Botkin O. I., Sutygina A. I., Sutygin P. F. Socio-economic factors of food security in regions. *Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law*, 2017, vol. 27, issue 3, pp. 12–20. (In Russ.).
6. Ovcharova L. N., Biryukova S. S., Ter-Akopov S. A., Vardanyan E. G. *What has changed in the income, spending and consumption of the Russian population?* Vol. 2. Moscow, HSE, 2014, p. 42. (In Russ.). Available at: <https://publications.hse.ru/books/141167013>.
7. Gavriilyeva T., Naberezhnaya A., Ivanova M., Nikiforov F. Poverty Factors in the Republic of Sakha (Yakutia). *Living Standards and Quality of Life*, 2019, 1 (211), pp. 38–47. (In Russ.). doi:10.24411/1999-9836-2019-10052.
8. RIA rating. Ranking of European countries by the share of household spending on food, 2020. Available at: <https://riarating.ru/infografika/20201215/630192506.html>.
9. Rosstat. Household Food Consumption Database, 2021. Available at: https://gks.ru/bgd/regl/b20_101/Main.htm.
10. Rosstat. Database “Regions of Russia. Socio-economic indicators”, 2021. Available at: https://gks.ru/bgd/regl/B07_14p/Main.htm.
11. Sakha (Yakutia) Stat. Official Statistics "The Living Standards", 2021. Available at: <https://sakha.gks.ru/folder/32339>.
12. Naberezhnaya A. N. Research of the Impact of Sociodemographic Factors on Living Standard of the Population in a Region. *Living Standards and Quality of Life*, 2017, no. 2 (204), pp. 169–174. (In Russ.).
13. World Health Organization. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation, Geneva, 28 January — 1 February 2002. World Health Organization, p. 56. Available at: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42665/WHO_TRS_916.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
14. Order of the Government of the Sakha Republic (Yakutia) of October 3, 2019, No. 1266-r "On the approval of methodological recommendations" On the methodology for forming the balance of food resources of the Republic of Sakha (Yakutia) for 2019–2032, taking into account regional characteristics".
15. Aizinova I. M. Food consumption in regions of Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 2014, no. 6 (147), pp. 44–59. (In Russ.).
16. Borisova I. Z., Borisova A. A., Bianquis I., Vinokurova A. A., Vinokurova D. M., Dokhunaeva A. M., Lebedeva U. M., Petrova M. N., Pesteil Ph. *The problem of valorization and popularization of the food culture of the peoples of the North in modern conditions (on the example of Yakutia)*. Rostov-on-Don, Prioritet, 2020, p. 149. (In Russ.).

17. Lebedeva U. M., Stepanov K. M. et al. Food culture in Yakutia: current state, problems, and prospects of development. *Vestnik of North-Eastern Federal University, Series: Medical Sciences*, 2017, no. 4 (09), pp. 55–58. (In Russ.).
18. Neustroeva T. S., Lebedeva U. M. et al. About the deficient of the nutriciency of the people in the winter in Yakutia and the method its optimization correction. *Medical & pharmaceutical journal "Pulse"*, 2012, Vol. 14, no. 3, pp. 222–223. (In Russ.).
19. Shestakova J. R., Barabanova M. M. et al. Hygienic assessment of the nutritional status of the population of the Republic of Sakha (Yakutia). *International Research Journal of Medical Sciences*, 2020, no. 4 (94), pp. 101–104. (In Russ.). doi:<https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.94.4.015>.
20. The World Health Organization, Regional Office for Europe (WHO/Europe). Available at: https://gateway.euro.who.int/ru/indicators/hfa_440-3200-average-number-of-calories-available-per-person-per-day-kcal/.

Информация об авторах

Т. Н. Гаврильева — доктор экономических наук, доцент, профессор;

В. Д. Парилова — аспирант.

Information about the authors

T. N. Gavrilyeva — Doctor of Economics, Professor;

V. D. Parilova — post-graduate student.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 159.91; 159.9.072.59
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.024

АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНЫХ КУРСОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЛАНДШАФТНОЙ ТЕРАПИИ ДЛЯ КУПИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТРЕССА

Оксана Борисовна Гонтар^{1✉}, **Владимир Константинович Жиров**², **Андрей Горгоньевич Соловьев**³

^{1, 2}Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

³Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

¹o.gontar@ksc.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-2968-7470>

²v_zhirov_1952@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8519-1082>

³asoloviev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0350-1359>

Аннотация

В связи с необходимостью развития немедикаментозных биотехнологий купирования стресса различной этиологии в экстремальных условиях Крайнего Севера разработан алгоритм и проведена предварительная апробация метода арктической ландшафтной терапии. Метод персонализирован, не инвазивен и, благодаря использованию виртуальных образов природных объектов, может применяться в любое время года. Благодаря устойчивому снижению ситуативной и личностной тревожности пациентов, он способствует решению широкого круга различных социальных проблем.

Ключевые слова:

биотехнологии, ландшафтная терапия, стресс, Арктика

Финансирование:

данная работа была выполнена в рамках темы государственного задания «Изучение особенностей территориальной заболеваемости населения репродуктивного возраста в Арктической зоне Российской Федерации с выявлением факторов, воздействующих на основные функциональные системы организма, и разработки комплексных методов для снижения негативного воздействия экстремальных условий среды» (рег. № 122022200516-5).

Для цитирования:

Гонтар О. Б., Жиров В. К., Соловьев А. Г. Алгоритм проведения профилактических и лечебных курсов арктической ландшафтной терапии для купирования различных типов стресса // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 203–209. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.024.

Original article

ALGORITHM FOR CONDUCTING PREVENTIVE AND THERAPEUTIC COURSES OF ARCTIC LANDSCAPE THERAPY TO RELIEVE VARIOUS TYPES OF STRESS

Oksana B. Gontar^{1✉}, **Vladimir K. Zhirov**², **Andrey G. Soloviev**³

^{1, 2}Research Center for Biomedical Problems of Human Adaptation in the Arctic, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

³Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

¹o.gontar@ksc.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-2968-7470>

²v_zhirov_1952@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8519-1082>

³asoloviev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0350-1359>

Abstract

In connection with the need of non-drug biotechnologies for stress relief in the extreme conditions of the Far North, an algorithm was created and a preliminary testing of the method of Arctic landscape therapy was carried out. The method is personalized, non-invasive and, thanks to the use of virtual and painted images of natural objects, can be used at any time of the year. Due to the steady decrease in situational and personal anxiety of patients, it contributes to the solution of a wide range of various social problems.

Keywords:

biotechnologies, landscape therapy, stress, Arctic

Funding:

This work was carried out within the framework of the State Budget theme “Study of the characteristics of territorial morbidity of the population of reproductive age in the Arctic zone of the Russian Federation with the identification of factors affecting the main functional systems of the body, and the development of comprehensive methods to reduce the negative impact of extreme environmental conditions” (reg. No. 122022200516-5).

For citation:

Gontar O. B., Zhiron V. K., Soloviev A. G. Algorithm for conducting preventive and therapeutic courses of Arctic landscape therapy to relieve various types of stress. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 203–209. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.024.

Введение

Во многих странах частота психических расстройств рассматривается в качестве важнейшей характеристики состояния здоровья населения [1]. Согласно данным, ежегодно публикуемым ВОЗ, эти нарушения во многом обусловлены стрессом «на рабочем месте» [2]. Отрицательное влияние длительного стресса проявляется не только в изменении психической деятельности и поведения, но и в изменении организма на физиологическом уровне [3]. Чрезмерная информационная нагрузка, отсутствие социальной стабильности и постоянный рост требований к уровню профессиональной компетентности во многих сферах трудовой деятельности приводят к широкому распространению стрессовых состояний в различных слоях общества. У детей под влиянием таких средовых (социальных) факторов может возникать замедление темпов психологического развития [4]. В условиях проживания на Крайнем Севере возможность отставания психологического развития представителей подрастающих поколений, характерная в последние десятилетия для всех регионов, усиливается с развитием «синдрома полярного напряжения» (СПН) [5], ускоряющего развитие различных психосоматических патологий.

Синдром полярного напряжения, впервые описанный известным российским биофизиком и врачом, академиком РАН В. П. Казначеевым [6], является специфической формой хронического психоэмоционального напряжения, связанной с глубокими нарушениями психосоматических процессов на клеточном уровне. СПН обусловлен сложным взаимодействием гелиогеофизических географических и экологических факторов высоких широт. Затрагивая кардиореспираторную, эндокринную, вегетативную и нервную системы, он способен существенно ухудшить общую картину заболеваемости и смертности населения [7].

Чаще всего появление СПН связано со сменой привычных условий более южных регионов на экстремальные условия Севера. Коренное население Арктики, в том числе Мурманской области, немногочисленно. Его большую часть составляют переселенцы разных поколений, а также вахтовики и работающие по срочным контрактам. При переезде на Север именно они в первую очередь сталкиваются с непривычными климатическими и гелиогеофизическими факторами: полярная ночь и полярный день, короткое и прохладное лето, частые флуктуации магнитного поля Земли и колебаний активности космической радиации. В течение продолжительной зимы, особенно в весеннее время, эти различия действуют на человека наиболее сильно.

Действие арктических факторов особенно усиливается специфическими условиями труда и быта, связанными с длительным пребыванием в замкнутых пространствах, работников нефтяных и буровых платформ, служащих гражданского и военно-морского (особенно — подводного) флотов, пограничных войск шахтеров и метеорологов. В настоящее время даже у представителей коренных народов Севера был выявлен повышенный уровень тревожности по сравнению с проживающими рядом русскими респондентами вследствие наступления цивилизации на их традиционный уклад жизни и природопользования [8].

Таким образом, значительная часть современных жителей Крайнего Севера, не исключая представителей коренного населения, находится в состоянии хронического психоэмоционального напряжения, повышающего риск соматических нарушений. В частности, была установлена прямая связь повышения уровня тревожности и концентрации сахара в крови [9].

Связанные с эндокринными нарушениями психосоматические патологии могут стать причиной серьезных расстройств репродуктивной сферы и последующих демографических проблем [10], особенно значимых в стратегически важных арктических регионах, что вынуждает искать более совершенные методы профилактики и лечения этих заболеваний.

Поскольку в расстройствах репродуктивной функции, наряду с органическими, важную роль играют психосоматические нарушения, купирование симптомов СПН должно быть связано с более широким использованием психотерапевтических подходов. В последнее время приобретают все большую популярность не имеющие побочного действия немедикаментозные методы, обеспечивающие снижение психологической нагрузки в технических помещениях, локальных зонах отдыха и санаторных комплексах.

Одним из таких методов является ландшафтная терапия. Несмотря на то что психотропные возможности ландшафтов подтверждаются многовековым опытом мировой садово-парковой культуры, в большинстве современных реабилитационных программ пассивная садовая терапия обычно только дополняет их активную составляющую. Во многом это вызвано отсутствием теоретического обоснования ее психоневрологических эффектов, вследствие чего, подобно архитектуре, ландшафтная терапия является сейчас, скорее, направлением искусства, чем науки. Создание теории лечебных ландшафтов значительно расширит возможности их применения во врачебной практике, все более регламентируемой в последние годы. Важным условием ее развития является синтез современных представлений психофизиологии зрительного восприятия и традиций конкретной культурообразующей среды.

Объекты и методы

В результате исследований, проведенных в Научно-исследовательском центре медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике ФИЦ КНЦ РАН, было установлено, что психологические эффекты замкнутого пространства связаны с нарушениями его зрительного восприятия, разработаны классификации разнообразия форм зрительного восприятия пространства, а также ландшафтов традиционных китайских садов, обладающих психотропными свойствами [11; 12].

Поскольку типовые помещения психологической разгрузки невозможно персонифицировать применительно к различным психотипам и нарушениям восприятия, технически эта проблема может решаться путем моделирования на основе разработанной ранее классификации виртуального ландшафта с заданными психотропными свойствами.

Целью данной работы является составление алгоритма проведения профилактических и лечебных курсов арктической ландшафтной терапии (АЛТ) для купирования синдрома стресса «на рабочем месте». Алгоритм был выбран в качестве представления ЛТА как новый, значительно более удобный и эффективный способ подачи медицинских знаний, включающий в себя определенный порядок необходимых действий и тестовых методик.

Целевая группа — работники опасных производств Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) из числа постоянных жителей Мурманской области и вахтовиков.

Результаты и обсуждение

Алгоритм проведения профилактических и лечебных курсов арктической ландшафтной терапии состоит из двух частей: первая необходима для составления индивидуального методического «ключа» для формирования комплекса ландшафтных образов, определения оптимальной последовательности и продолжительности их демонстрации во время сеанса АЛТ. Вторая — это непосредственно сам сеанс АЛТ.

1. Составление индивидуального методического ключа АЛТ.

1.1. Сбор предварительных сведений о пациенте по результатам:

- 1.1.1. опроса о текущем состоянии здоровья, перенесенных заболеваниях, условиях труда и быта, хронических заболеваниях близких родственников;
- 1.1.2. анкетирования по предпочитаемым формам пространственной организации и цветовой гаммы ландшафтов (оригинальная методика, табл.).

Анкета для выявления предпочитаемых
форм пространственной организации и цветовой гаммы пациента

Пол: Ж <input type="checkbox"/> М <input type="checkbox"/>	Возраст (год рождения) _____
Семейное положение: замужем/женат <input type="checkbox"/>	разведен(-а) <input type="checkbox"/>
холост (никогда не был(-а)) <input type="checkbox"/>	вдовец/вдова <input type="checkbox"/>
Наличие несовершеннолетних / на иждивении детей да <input type="checkbox"/>	нет <input type="checkbox"/>
число _____, возраст _____	
Жилищные условия: все устраивает <input type="checkbox"/>	
удовлетворительные <input type="checkbox"/>	
отвратительные <input type="checkbox"/>	
Совместное проживание с другими родственниками: да <input type="checkbox"/>	нет <input type="checkbox"/>
Место рождения: _____	
Длительность проживания вне Мурманской области, временной период _____ лет	
Срок постоянного проживания в Мурманской области _____ лет	
при вахтовой работе _____ месяцев,	
периодичность вахты; временной период _____	
Место и характер работы в настоящее время, должность _____	

Продолжительность работы общая _____ лет	
отдельно в различных регионах _____	

Оцените привлекательность географических особенностей Мурманской области по десятибалльной шкале для каждой из указанных категорий (10 — наиболее привлекательная):	
<u>Элементы ландшафта:</u>	<u>Время года</u>
- горы _____	- начало зимы (конец октября — ноябрь) _____
- тайга _____	- зима (декабрь-февраль) _____
- тундра _____	- ранняя весна (март-апрель) _____
- порожистая река _____	- начало лета (конец мая — середина июня) _____
- открытое водное	- середина лета (июль) _____
- пространство (море, озеро) _____	- начало осени (середина августа — начало сентября) _____
	- золотая осень (середина сентября) _____
	- поздняя осень (конец сентября — октябрь) _____
<u>Погода и время суток:</u>	<u>Световые эффекты в городской и природной среде</u>
- солнечный день _____	- полярный день в городе _____
- пасмурный день _____	- полярный день на природе _____
- сумерки _____	- полярная ночь в городе _____
- туман _____	- полярная ночь на природе _____
- дождь _____	- северное сияние в городе _____
- снегопад _____	- северное сияние на природе _____
- раннее утро (вторая половина августа) _____	
- закат солнца (вторая половина августа) _____	
<u>Нравится пейзаж другой географической зоны</u>	
- тропики _____	- степь _____
- средняя полоса России _____	- пустыня _____

- 1.2. Антропометрическое обследование пациента [13–15] для определения соматотипа.
- 1.3. Психофизиологическое обследование с оценкой:
 - 1.3.1 темперамента личности (по Айзенку EPQ, «Шкала эмоциональной возбудимости»);
 - 1.3.2 текущего функционального состояния организма (по вариабельности ритма сердца);
 - 1.3.3 сложных сенсомоторных реакций и свойств нервных процессов (по простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) и «Реакции различения»);
 - 1.3.4 моторных способностей (сила нервных процессов, лабильность и выносливость) для оценки общей работоспособности (по теппинг-тесту);
 - 1.3.5 психического состояния (по методу «САН»);
 - 1.3.6 уровня ситуативной и личностной тревожности (по Спилбергеру — Ханину);
 - 1.3.7 ситуативного и долговременного состояния психики (по тесту Люшера) [16].
- 1.4. Определение геометрических особенностей зрительного образа пространства, воспринимаемого пациентом, до и после сеанса АЛТ, затем — 1 раз в неделю на протяжении 30 дней, в первой половине дня (по О. А. Гончарову) [17].
- 1.5. Электроэнцефалографическое обследование пациента во время сеанса АЛТ с выявлением наиболее привлекательных или отвергаемых форм пространственной организации и цветовой гаммы ландшафта.
- 1.6. Классификация пациентов по совокупности выявленных признаков по пп. 1.1.–1.5.
- 1.7. Составление индивидуального методического «ключа» для формирования комплекса ландшафтных образов, определения оптимальной последовательности и продолжительности их демонстрации во время сеанса АЛТ согласно п. 1.6.
2. Алгоритм сеанса АЛТ.
 - 2.1. Определение систематической принадлежности пациента согласно п. 1.6. на основании данных его:
 - 2.1.1. опроса и анкетирования;
 - 2.1.2. антропометрического обследования;
 - 2.1.3. психофизиологического обследования;
 - 2.1.4. индивидуальных параметров пространственного восприятия согласно п. 1.4.
 - 2.2. Последовательная/поочередная демонстрация изображений, подобранных согласно содержанию его индивидуального методического ключа (п. 1.6.).

Заключение

Предлагаемый нами алгоритм проведения профилактических и лечебных курсов арктической ландшафтной терапии на основе разработки индивидуального методического ключа для ее сеансов будет способствовать снятию стресса на рабочем месте. В нем учитываются особенности конституции и психофизиологического статуса пациента, которые, вместе с данными об уровне испытываемого им стресса, позволяют персонализировать продолжительность и динамику процедур предлагаемого алгоритма и целенаправленно воздействовать на выявленные психосоматические отклонения.

В результате использования данного алгоритма следует ожидать снижения уровня ситуативной и личностной тревожности, повышения фона настроения и общего самочувствия, улучшения рисунка общения с близкими и коллегами в сторону большей уравновешенности и доброжелательности, что, несомненно, повлияет на повышение работоспособности сотрудников и экономических показателей любого предприятия в целом.

Список источников

1. WHO. World Mental Health Surveys, 2008. Global Perspectives on the Epidemiology of Mental Disorders. Eds: R. C. Kessler, T. B. Ustun. Geneva: WHO 2008; 698.
2. Цынгот А. В., Палагутина Н. В., Панина А. В. Стресс на рабочем месте — международная проблема // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2016. № 4 (14). С. 161–166.

3. MedUniver: сайт. URL: https://meduniver.com/Medical/Psichology/egednevni_stress.html (дата обращения: 24.10.2023).
4. Артамонова Н. В. Задержка психического развития (ЗПР). 2019. URL: <https://www.krasotaimedicina.ru/diseases/children/mental-retardation> (дата обращения: 17.10.2023).
5. Хаснулин В. И. Введение в полярную медицину. Новосибирск: СО РАМН, 1998. 337 с.
6. Казначеев В. П., Егунова М. М., Куликов В. Ю., Ким Е. Б., Молчанова Л. В., Стохляев В. А., Колосова Н. Г., Колесникова Л. И. Кислородный обмен и реакции перекисного окисления липидов у человека при адаптации к условиям Крайнего Севера // Актуальные вопросы адаптации человека в условиях Крайнего Севера и Антарктиды. Новосибирск: АМН СССР Сибирский филиал, 1976. С. 3–14.
7. Митихина И. А., Митихин В. Г., Ястребов В. С., Лиманкин О. В. Психическое здоровье населения мира: эпидемиологический аспект (зарубежные исследования 2000–2010 гг.) // Журнал неврологии и психиатрии. 2011. 6. С. 4–14.
8. Колесникова Л. И., Даренская М. А., Гребенкина Л. А., Лабыгина А. В., Долгих М. И., Натяганова Л. В., Первушина О. А. Проблема этноса в медицинских исследованиях (обзор литературы) // Бюллетень ВСНЦ СО РАН. 2013. № 4 (92). С. 153–159.
9. Диденко В. А. Как стресс влияет на уровень сахара в крови // Медицина обо мне [Электронный ресурс]. URL: [https:// medaboutme.ru/articles/kak_stress_vliyaet_na_uroven_sakhara_v_krovi/](https://medaboutme.ru/articles/kak_stress_vliyaet_na_uroven_sakhara_v_krovi/) (дата обращения: 02.12.2022).
10. Антонова К. В. Психические расстройства в клинике эндокринных заболеваний // Русский медицинский журнал. 2006. № 26. С. 1889.
11. Жиров В. К., Закревский Ю. Н., Гонтарь О. Б., Мегорский В. В., Койгерова А. А., Маурчева П. А. Ландшафтная терапия нарушений зрительных восприятий на Крайнем Севере // Морская медицина. 2021. Т. 7, № 1. С. 7–19. <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-1-7-19>.
12. Жиров и др. Изучение интегративных эффектов и механизмов отдельного и комбинированного воздействия природных факторов арктической среды и сопутствующих агентов на организм коренного и пришлого населения, проживающего в Арктическом регионе. Разработка новых «здоровье сберегающих технологий», ориентированных на особенности проживания в экстремальных условиях Арктики: Отчет по теме НИР заключительный // Фонды ФИЦ КНЦ РАН. 2021. С. 141–160.
13. Клиорин А. И., Чтецов В. П. Биологические проблемы учения о конституциях человека. Л.: Наука, 1979. 164 с.
14. Никитюк Б. А., Чтецов В. П. Морфология человека. М.: МГУ, 1983. 320 с.
15. Mosteller R. D. Simplified Calculation of Body Surface Area // N Engl J Med. 1987. Oct 22; 317 (17):1098.
16. НС-Психотест.NET (руководство пользователя). ООО «Нейрософт», 2019. 366 с.
17. Гончаров О. А. Закономерности восприятия и изображения перспективных отношений // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека «Дубна». 2009. № 4. С. 1–15.

References

1. WHO. World Mental Health Surveys, 2008. Global Perspectives on the Epidemiology of Mental Disorders. Eds: R. C. Kessler, T. B. Ustun. Geneva: WHO 2008; 698.
2. Tsyngot A. V., Palagutina N. V., Panina A. V. Stress in the workplace — an international problem. *Innovative economics: prospects for development and improvement*, 2016, No. 4 (14), pp. 161–166. (In Russ.).
3. https://meduniver.com/Medical/Psichology/egednevni_stress.html (accessed 24.10.2023).
4. Artamonova N. V. Delay of mental development (ZPR). 2019. (In Russ.). Available at: <https://www.krasotaimedicina.ru/diseases/children/mental-retardation> (accessed 17.10.2023).
5. Khasnulin V. I. *Introduction to polar medicine*. Novosibirsk, SO RAMS, 1998, 337 p. (In Russ.).

6. Kaznacheev V. P., Egunova M. M., Kulikov V. Yu., Kim E. B., Molchanova L. V., Styukhlyaev V. A., Kolosova N. G., Kolesnikova L. I. Oxygen metabolism and lipid peroxidation reactions in humans during adaptation to the conditions of the Far North. *Current issues of human adaptation in the Far North and Antarctica*. Novosibirsk, USSR Academy of Medical Sciences Siberian Branch, 1976, pp. 3–14. (In Russ.).
7. Mitikhina I. A., Mitikhin V. G., Yastrebov V. S., Limankin O. V. Mental health of the world population: epidemiological aspect (foreign studies 2000–2010). *Journal of Neurology and Psychiatry*, 2011, 6, pp. 4–14. (In Russ.).
8. Kolesnikova L. I., Darenskaya M. A., Grebenkina L. A., Labygina A. V., Dolgikh M. I., Natyaganova L. V., Pervushina O. A. The problem of ethnicity in medical research (literature review). *Bulletin of the All-Russian Scientific Center SB RAS*, 2013, No. 4 (92), pp. 153–159. (In Russ.).
9. Didenko V. A. How stress affects blood sugar. *Medicine about me*. Available at: https://medaboutme.ru/articles/kak_stress_vliyaet_na_uroven_sakhara_v_krovi/ (access date 12.02.2022).
10. Antonova K. V. Mental disorders in the clinic of endocrine diseases. *Russian Medical Journal*, 2006, No. 26, p. 1889. (In Russ.).
11. Zhirov V. K., Zakrevsky Yu. N., Gontar O. B., Megorsky V. V., Koygerova A. A., Maurcheva P. A. Landscape therapy for visual disturbances in the Far North. *Marine Medicine*, 2021, vol. 7, No. 1, pp. 7–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-1-7-19>.
12. Zhirov et al. Study of the integrative effects and mechanisms of separate and combined effects of natural factors of the Arctic environment and accompanying agents on the body of the indigenous and alien population living in the Arctic region. Development of new “health-saving technologies” focused on the characteristics of living in extreme conditions of the Arctic: Final research report (Funds of the Federal Research Center KSC RAS), 2021, pp. 141–160. (In Russ.).
13. Klierin A. I., Chtetsov V. P. *Biological problems of the doctrine of human constitutions*. Leningrad, Nauka, 1979, 164 p. (In Russ.).
14. Nikityuk B. A., Chtetsov V. P. *Human morphology*. Moscow, Moscow State University Publishing House, 1983, 320 p. (In Russ.).
15. Mosteller RD. Simplified Calculation of Body Surface Area. *N Engl J Med.*, 1987 Oct 22; 317(17):1098.
16. NS-Psychotest.NET (user manual). Neurosoft LLC, 2019, 366 p.
17. Goncharov O. A. Patterns of perception and depiction of promising relationships. *Psychological Journal of the International University of Nature, Society and Man “Dubna”*, 2009, No. 4, pp. 1–15. (In Russ.).

Информация об авторах

О. Б. Гонтарь — кандидат биологических наук, доцент, заместитель директора по научно-исследовательской работе;
В. К. Жиров — доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор, и. о. директора;
А. Г. Соловьев — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой.

Information about the authors

O. B. Gontar — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Research Activities;
V. K. Zhirov — Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Acting Director;
A. G. Soloviev — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Psychiatry and Clinical Psychology.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

Научная статья
УДК 338.01
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.025

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГОТОВНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) И ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВНЕШНИЙ УСЛОВИЙ НА КОРПОРАТИВНУЮ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ПОЛИТИКУ

**Надежда Алексеевна Красильникова¹, Аиза Борисовна Неустроева²,
Владимир Владимирович Сосин³**

^{1–3}Арктический научно-исследовательский центр Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹stepanovanadezda21@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5410-4305>

²<https://orcid.org/0000-0001-8419-7135>

³<https://orcid.org/0000-0002-6775-4371>

Аннотация

Целью работы является выявление оценок готовности промышленных предприятий Республики Саха (Якутия) к условиям внешних шоков постковида и санкционного давления, а также влияния данных условий на корпоративную экологическую политику. В результате исследования получена экспертная оценка о достаточно высоком уровне экологической зрелости промышленных предприятий Республики Саха (Якутия), выражающейся в наличии систем экологического менеджмента, невысоком уровне адаптации к кризисным условиям, связанным с неопределенностью внешней среды и отложенной реакцией экологического менеджмента на нее. Реакция корпоративной экологической политики на неопределенность внешней среды выражается в переносе сроков реализации мероприятий в сфере экологии и сокращении объемов их финансирования, в качестве адаптационных мер рассматривается смягчение экологической промышленной политики Российской Федерации.

Ключевые слова:

устойчивое развитие, охрана окружающей среды, экологическая модернизация, экологическая политика, экологическая ответственность

Финансирование:

работа выполнена при поддержке Российского научного фонда. Грант на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований № 23-28-01858 от 16 января 2023 г.

Для цитирования:

Красильникова Н. А., Неустроева А. Б., Сосин В. В. Экологическая готовность промышленных компаний в Республике Саха (Якутия) и влияние изменяющихся внешних условий на корпоративную экологическую политику // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 210–222. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.025.

Original article

ENVIRONMENTAL READINESS OF INDUSTRIAL COMPANIES IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA) AND THE IMPACT OF CHANGING EXTERNAL CONDITIONS ON CORPORATE ENVIRONMENTAL POLICY

Nadezhda A. Krasilnikova¹, Aiza B. Neustroeva², Vladimir V. Sosin³

^{1–3}Arctic Research Center of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

¹stepanovanadezda21@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5410-4305>

²<https://orcid.org/0000-0001-8419-7135>

³<https://orcid.org/0000-0002-6775-4371>

Abstract

The purpose of the work is to identify assessments of the readiness of industrial enterprises of the Republic of Sakha (Yakutia) to the conditions of post-Covid external shocks and sanctions pressure, as well as the impact of these conditions on corporate environmental policy. As a result of the study, an expert assessment was obtained on a fairly high level of environmental maturity of industrial enterprises of the Republic of Sakha (Yakutia), expressed in the presence of environmental management systems, not a high level of adaptation to crisis conditions associated with the uncertainty of the external environment and the delayed reaction of environmental management, not the uncertainty of the external environment. The reaction to uncertainty regarding changes in corporate environmental policy is associated with the postponement and reduction of the volume of implementation of environmental activities, and as adaptation measures, a softening of the environmental industrial policy of the Russian Federation is expected.

Keywords:

sustainable development, environmental protection, environmental modernization, environmental policy, environmental responsibility

Funding:

the work was carried out with the support of the Russian Science Foundation. Grant for basic scientific research and exploratory scientific research No. 23-28-01858 dated January 16, 2023.

For citation:

Krasilnikova N. A., Neustroeva A. B., Sosin V. V. Environmental readiness of industrial companies in the Republic of Sakha (Yakutia) and the impact of changing external conditions on corporate environmental policy. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1, pp. 210–222. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.025.

Введение

В условиях постепенного установления в мире модели устойчивого развития, страны встречаются с необходимостью гармонизации экономических приоритетов бизнеса и социально-экологических интересов общества [1]. Общественный запрос формирует требования к ведению производственной деятельности бизнеса, такие как малоотходное производство, снижение «природоемкости» экономики, сокращение выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ, адаптация к изменениям климата, борьба с деградацией земель, сохранение экосистем и биоразнообразия. Эти требования, с точки зрения бизнеса, связаны с ростом «экологических издержек» компаний, выгода которых не всегда очевидна и носит долгосрочный характер.

В начале 1980-х гг. в рамках концепции устойчивого развития возник дискурс экологической модернизации, который предполагает, что экологические проблемы могут быть интернализированы политическими, экономическими и социальными институтами и что устойчивость институтов может быть сохранена [2]. Для трансформирующихся экономик, в частности России, такая гармонизация предполагает активную роль [3–5] и даже «монопольную возможность» запуска экологической модернизации [6] государства, так как подобная трансформация имеет национальный масштаб и выходит за рамки компетенций отдельного бизнеса.

В настоящей статье авторами ставится задача изучить изменения экологических программ и корпоративных стратегий промышленных предприятий в условиях внешних шоков постковида и санкционного давления и дать оценку проводимой экологической политике в отраслях экономики регионов Арктической зоны России.

В последние годы государством предприняты значительные усилия по проведению экологической модернизации. В текущих условиях, когда беспрецедентное внешнее санкционное давление совпало с исчерпанием возможностей экспортно-сырьевой, рентной модели экономического роста страны [7], России необходимо решать социальные проблемы новых регионов России, полностью восстановить экономику и социальную сферу присоединившихся территорий, обеспечить рост инвестиций в оборонно-промышленный комплекс и соответствующую инфраструктуру [8].

В то же время снижение доходов и выручки, рост производственных расходов предприятий в связи с санкционным давлением также ограничивают возможности предприятий по активизации экологической модернизации. В исследовании авторы изучают, как компании принимают решения о реализации экологической политики, реагируют на изменения внешней среды при принятии управленческих решений по реализации экологических программ и стратегий предприятий.

Концептуальная основа

Методы и материалы

Цель работы — анализ оценок экологической готовности промышленных предприятий Республики Саха (Якутия) и влияния кризисов, обусловленных пандемией COVID-19 и последовавшими в 2022 г. негативными явлениями в экономике в следствии антироссийских санкций, на корпоративную экологическую политику.

Основным методом сбора информации стал экспертный опрос, в котором приняли участие 12 предприятий, действующих в Республике Саха (Якутия) в сфере добычи и транспортировки

природного газа, газового конденсата и нефти, производства и распределения электроэнергии, газа и воды, добычи твердых полезных ископаемых (драгоценных металлов и камней), угля и антрацита, а также занятых геолого-разведочными, геофизическими и геохимическими работами в области изучения недр. Информация о предприятиях находится в открытом доступе.

Экологическая модернизация промышленных предприятий напрямую связана с готовностью предприятий к осуществлению экологической политики в районах присутствия, которая определяется характером стратегических целей и планов по их достижению, а также соответствующей системой управления, включающей в себя разработку и внедрение внутренних нормативных документов и процедур, мероприятий, направленных на сокращение негативного воздействия; бюджет природоохранных мероприятий; инвестирование в природоохранные технологии, направленные на сокращение выбросов загрязняющих веществ; повышение энергоэффективности при освоении месторождений полезных ископаемых и производстве продукции, утилизации отходов; контроль за состоянием окружающей среды, который определен Федеральным законом от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» как «система мер, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, обеспечение соблюдения субъектами хозяйственной и иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов в области охраны окружающей среды».

Такие программы могут учитывать специфические требования, связанные с работой в Арктике, добровольные обязательства предприятий в регионе присутствия, направленные на адаптацию к изменениям климата, возмещение ущерба местам обитания коренных малочисленных народов и т. д.

Были выявлены мнения экспертов относительно влияния пандемии COVID-19 и санкционного давления, принимаемых мер по адаптации к внешним условиям, изменений стратегических и тактических мероприятий предприятий по реализации экологических программ, а также ожиданий менеджмента компаний по изменению экологической политики.

Регион исследования

В этой статье мы исследуем предприятия Республики Саха (Якутия) — крупного субъекта восточной части Арктической зоны России. Экономика Якутии связана с добычей алмазов, золота, сурьмы, нефти, природного газа, угля, которые составляют основу промышленности и обеспечения социально-экономического развития. Якутия занимает первое место в России по площади территории, лидирует по объемам добычи полезных ископаемых, объему произведенного ВРП, поступлению налогов и объемам инвестиций в основной капитал из расчета на душу населения, а также по уровню заработной платы. Добывающая промышленность формирует 59 % валовой добавленной стоимости, производство электроэнергии, пара и воды — 3,4 % [9]. Основные макроэкономические показатели республики за 2015–2023 гг. приведены в таблице.

Макроэкономические показатели Республики Саха (Якутия) в 2015–2023 гг.

Показатель	2015	2018	2019	2020	2021	2022	7 мес. 2023*
Численность населения (на начало года), тыс. человек	956,9	964,3	967,0	972,0	982,0	997,8	997,6
ВРП на душу населения, тыс. руб.	780,1	1166,8	1 266,3	1160,4	1636,7	1290,7	—
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных собственными силами работ и услуг, млрд руб., фактические цены	585,5	908,7	887,3	847,2	1301,0	2067,8	1331,9
Расходы на охрану окружающей среды, млрд руб.	12,1	13,3	20,2	17,6	19,5	21,0	—

Примечание. Источник: Саха(Якутия)стат.

* По состоянию на 1 августа 2023 г.

Более половины территории Якутии относится к Арктической зоне России, где располагаются основные запасы полезных ископаемых, главным образом в виде углеводородов (нефти и газа), редкоземельных металлов. Так как промышленное освоение Арктики долгое время велось без учета экологических последствий, одной из основных задач, помимо сохранения природных экосистем и адаптации к изменениям климата, стала ликвидация накопленного вреда [10]. Исключительно важной проблемой Арктики является управление промышленными отходами, которые в огромном количестве накапливаются в местах концентрации объектов промышленности по добыче и переработке полезных ископаемых и при попадании в почву в превышающих предельно допустимую норму количествах приводят к накоплению их в живых организмах и потере плодородия почв.

Основной объем негативного воздействия на окружающую среду приходится на предприятия по добыче полезных ископаемых, обеспечению электрической энергией, газом и паром. Объемы выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух определяются деятельностью предприятий водо- и теплоснабжения, по добыче нефти — 93 % промышленных выбросов, отслеживаемых статистикой [11; 12], загрязнения водных объектов, более 70 % — предприятиями добычи твердых полезных ископаемых и предприятий водо- и теплоснабжения, образование отходов. В республике в целом наблюдается значительный рост образования отходов от деятельности промышленных предприятий (алмазодобыча, золотодобыча, угледобыча и др.). За 2016–2022 гг. объемы ежегодного образования отходов увеличились в 3 раза, объемы утилизации — в 2 раза (рис. 1).



Рис. 1. Показатели воздействия на окружающую среду промышленности в Республике Саха (Якутия) в 2016–2022 гг. Источник: Саха(Якутия)стат, 2023 г.

Современная экологическая политика России

Среди основных инструментов государственной экологической политики выделяются: нормирование в области охраны окружающей среды; установление общих и специальных требований при осуществлении хозяйственной и иной деятельности; организация оценки воздействия на окружающую среду и экологической экспертизы; государственный экологический мониторинг и контроль (надзор).

В России в последние годы на государственном уровне предпринимались значительные усилия по проведению экологической модернизации. Экология в 2018 г. была определена стратегическим приоритетом развития страны [13], начали формироваться институциональные условия, в первую

очередь использование наилучших доступных технологий и инструменты стимулирования их внедрения, трансформируются системы экологического регулирования, например в лесной сфере, сфере обращения с ТКО, ведется дискуссия о переходе на прогрессивную фискальную политику в увязке с природоохранными платежами [14]. В 2022 г. введена норма «озеленения» экологических штрафов.

Повышение внимания со стороны государства к вопросам экологии выразилось также в ужесточении экологического контроля. Например, в 2020 г. впервые в истории России размер ущерба, причиненного холдингом «НОВАТЭК» в результате экологической катастрофы в связи с крупномасштабным разливом нефтепродуктов в Норильске, по оценке Росприроднадзора, составил 2,1 млрд долларов США. Закономерно, что данные усилия привели к росту расходов на охрану окружающей среды. За 2017–2021 гг. текущие и эксплуатационные расходы на экологию выросли в 2 раза за счет роста корпоративных затрат, а доля государственного финансирования в структуре затрат на экологию сократилась до 35 %. Выросли затраты на текущие расходы, а капитальные затраты не превышали в 2022 г. четверти общих затрат на экологию [9]. Это вызвано тем, что финансовые источники экологической модернизации ограничены и находятся на стадии становления; «зеленый» банкинг практически отсутствует. При наличии всех инструментов для организации экологического инвестирования, по сути, сектора экономики требуют комплексных преобразований, связанных с технологической модернизацией, в том числе экологической, для конкурентного развития в условиях «зеленой» повестки. В 2021 г. Правительством РФ утверждены национальные критерии проектов устойчивого, в том числе «зеленого», развития и требования к системе верификации инструментов его финансирования, подготовлен стандарт «зеленого» инвестирования в привязке к реестру наилучших доступных технологий.

Законодательство предусматривает специальные требования в области охраны окружающей среды при осуществлении тех или иных видов хозяйственной и иной деятельности, которые оказывают или могут оказывать прямое или косвенное негативное воздействие на окружающую среду (далее — НВОС). В зависимости от вида хозяйственной деятельности, требования установлены специальными (отраслевыми) нормативными правовыми актами. В отношении планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая может оказать прямое или косвенное воздействие на окружающую среду, проводится оценка такого воздействия, которая тесно сопряжена с экологической экспертизой, осуществляемой в соответствии с Федеральным законом от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» [15].

С точки зрения развития социальной и экологической ответственности промышленных предприятий, кроме государственного экологического мониторинга и контроля (надзора), призванных контролировать соблюдение законодательства об охране окружающей среды, наиболее важным экологическим механизмом выступает производственный экологический контроль. Он позволяет хозяйствующим субъектам организовывать и обеспечивать самостоятельное выполнение мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов, а также проверке соблюдения требований в этой области.

В соответствии со статьей 67 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (далее — Закон об охране окружающей среды), программа производственного экологического контроля разрабатывается и утверждается хозяйствующими субъектами, осуществляющими деятельность на объектах I, II и III категорий [16]. Требования к содержанию программы производственного экологического контроля установлены приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18 февраля 2022 г. № 109 [17]. В соответствии с установленной программой, хозяйствующие субъекты ежегодно предоставляют в уполномоченный орган отчет об организации и результатах осуществления производственного экологического контроля.

Кроме того, в соответствии со статьей 67.1 Закона об охране окружающей среды, в случае невозможности соблюдения нормативов допустимых выбросов, нормативов допустимых сбросов хозяйствующими субъектами, осуществляющими деятельность на объектах II и III категорий, на период поэтапного достижения нормативов допустимых выбросов, нормативов допустимых

сбросов разрабатывается и утверждается план мероприятий по охране окружающей среды, который включает перечень мероприятий по снижению НВОС, сроки их выполнения, объем и источники финансирования, список ответственных за их выполнение должностных лиц.

Аналогичным образом хозяйствующими субъектами, осуществляющими деятельность на объектах I категории, в обязательном порядке разрабатывается и утверждается программа повышения экологической эффективности.

Помимо предусмотренных законодательством обязательных требований, хозяйствующие субъекты на добровольной основе внедряют в свою деятельность систему экологического менеджмента и проходят сертификацию в соответствии с национальными стандартами в зависимости от сферы деятельности. Общеотраслевым является национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 14001–2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению», утвержденный Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 апреля 2016 г. № 285-ст [18].

Влияние внешних условий на преобразования эколого-экономической сферы

ВВП России в первом квартале 2023 г. сократился на 1,9 % по сравнению с первым кварталом 2022 г. Среди отраслей наибольший спад в 2022 г. — 1 кв. 2023 г. показали: торговля (-10,8 %) и водоснабжение (-10,2 %), отрасль добычи полезных ископаемых (на -3,3 %) и грузооборот (на -2,1 %). Одновременно наблюдался рост в сфере пассажирооборота (+15,7 %), строительстве (+8,8 %), сельском хозяйстве (+2,9 %), а также в обрабатывающем производстве (+1,1 %). Реализация государственной экологической политики в кризисных условиях значительно усложняет достижение баланса между стремлением к экономической стабильности и необходимостью обеспечения экологической устойчивости и безопасности.

В то же время развитие законодательства в области охраны окружающей среды за 2022–2023 гг. показывает, что государственная экологическая политика Российская Федерация реагирует на внешние изменения достаточно сдержанно, принимая взвешенные и точечные меры как послабляющего, так и ужесточающего характера, а также не отказывается от ранее введенных механизмов регулирования, продлевая сроки полноценного перехода экологических реформ на 1–2 года.

По предварительной оценке, валовой региональный продукт Республики Саха (Якутия) за 2022 г. составил 1 936,5 млрд рублей, или 108,1 % к 2021 г. По итогам января — июля 2023 г. индекс промышленного производства составил 98,6 %, оборот организаций сформировался в размере 1 527,2 млрд рублей с ростом на 3,3 % — 2-е место в ДФО.

Инфляция по состоянию на 10 апреля 2023 г. в годовом выражении замедлилась до 3,15 % г/г после 11,94 % г/г в декабре 2022 г. 2022 г. стал годом изменений в тарифной политике как на федеральном, так и на республиканском уровнях; значительным изменением, которое коснулось всех субъектов РФ, стало повышение тарифов на коммунальные услуги дважды — с 1 июля и с 1 декабря, экономически обоснованные тарифы в сфере теплоснабжения повысились на 11,3 %, в сфере водоснабжения — на 12,8 %, в сфере водоотведения — на 8,5 %. Наблюдался рост цен на топливо, промышленные товары и услуги выросли на 15–30 % (рис. 2), что повлияло на рост затрат добывающей промышленности.

В результате в 2022 г. и за первое полугодие 2023 г. фиксируется ухудшение финансовых результатов в секторах добычи и энергоснабжении: выросла доля убыточных предприятий, общая сумма убытков. Если в первом полугодии 2021 и 2022 гг. сальдо прибыли и убытков предприятий в сфере добычи составило 360,2 и 322,8 млрд соответственно, то за 6 мес. 2023 г. — 150,8 млрд, доля убыточных компаний с 30,8 % в 2022 г. увеличилась до 45,3 %, а в сфере обеспечения электрической энергией, газом и паром отмечается увеличение убытков и числа убыточных компаний.

Снижение доходов и выручки, рост производственных расходов предприятий в связи с санкционным давлением ограничивают возможности предприятий по активизации экологической модернизации.



Рис. 2. Целевые направления экологической политики предприятий

Результаты и обсуждение

Экологическая зрелость предприятий добывающего и энергетического сектора экономики

Система управления. Система экологического менеджмента направлена на улучшение экологических результатов деятельности компании, стремящейся к управлению ее ответственностью в области экологии на системной основе, внося таким образом вклад в экологическую составляющую устойчивости. Она позволяет хозяйствующим субъектам демонстрировать свою преданность экологическим стандартам и может быть важным фактором для привлечения инвестиций и обеспечения долгосрочной устойчивости.

О наличии системы экологического менеджмента заявили все эксперты с предприятий, занимающихся добычей алмазов, сырой нефти, транспортированием по трубопроводам нефти и газа, добывающих природный газ и газовый конденсат. Требования о проведении дополнительных мероприятий на экологически чувствительных территориях Арктики выполняли все предприятия, добывающие сырую нефть и транспортирующие ее по трубопроводам, 50 % предприятий, добывающих природный газ и газоконденсат, а также транспортирующих газ.

Более 2/3 промышленных предприятий в качестве приоритетных целей создания системы экологического менеджмента в своей компании отметили рациональное использование природных ресурсов на всех этапах производственной деятельности. Более половины предприятий отметили открытость и прозрачность информации о деятельности по охране окружающей среды (54,5 %). Столько же предприятий указали на наличие системы экологического менеджмента, сертифицированного по стандарту ИСО 14001. Программа по переработке отходов производства, учет энергопотребления и меры по его снижению реализуются 36,4 % опрошенных предприятий. Политику по взаимодействию с коренными малочисленными народами Севера проводят 27,3 % опрошенных предприятий как в Якутии, так и в Коми.

Уровень принятия решений. Чаще всего ответственность за реализацию и контроль задач и мероприятий экологической политики была разделена между разными уровнями управления. В 41,7 % компаний ответственность за реализацию экологической политики предприятия лежала на генеральном директоре, в 16,7 % — на заместителе директора. Также в компаниях, которые еще не приняли публичный документ об экологической политике или в которых отсутствовали такие подразделения и специалисты, ответственность закреплена полностью за генеральным директором.

В большинстве опрошенных предприятий ответственным за экологическую сферу являлось специальное штатное подразделение, которое разрабатывало и контролировало реализацию плана экологических мероприятий (58,3 %). В 33,3 % предприятий работали специалисты в составе других структурных подразделений.

В компаниях, имеющих стратегию или программу экологической политики, ответственность за ее реализацию брали на себя специальные структурные подразделения, которые разрабатывали и контролировали реализацию мероприятий экологической программы (83,3 %).

Уровень и полнота планирования (обязательные и КСО). У половины промышленных предприятий, участвовавших в опросе, была принята среднесрочная стратегия экологической политики, 25 % предприятий имели программу реализации экологической политики с утвержденным бюджетом, у остальных 25 % предприятий не был принят публичный документ по экологической политике.

Все общества с ограниченной ответственностью реализовывали рациональное использование природных ресурсов на всех этапах производственной деятельности, в 66,7 % случаев реализовывали программы по переработке отходов производства. Все предприятия, на которых не было никаких документов, касающихся экологической повестки, являлись акционерными обществами. Государственные предприятия в основном реализовывали программы по переработке отходов производства и рациональному использованию природных ресурсов на всех этапах производственной деятельности.

Экологическая программа или стратегия промышленных компаний в первую очередь была направлена на оптимальную утилизацию отходов (75 %), снижение валовых выбросов в атмосферу вредных веществ (50 %) (см. рис. 2). На втором месте были такие направления, как снижение сверхнормативных платежей в общем объеме платы за НВОС, оптимизация водопотребления и сокращение водоотведения в поверхностные водоемы загрязненных вод (33,3 %) (см. рис. 2).

Таким образом, можно констатировать, что экологические стратегии промышленных компаний как официальные документы ориентированы на полноту целеполагания корпоративной экологической политики, включают многообразие обязательных задач и мер, предусмотренных законодательством страны и отраслевой спецификой. Кроме установленных федеральным законодательством обязательств, часть предприятий формулировала в своих стратегиях и программах экологической политики другие задачи и мероприятия. Так, в 27,3 % предприятий проводилась работа по сохранению биоразнообразия в регионе, взаимодействие с коренными малочисленными народами Севера (далее КМНС); 9,1 % реализовывали программы поддержки местных сообществ, меры по адаптации к изменениям климата, проводили дополнительные мероприятия на экологически чувствительных территориях Арктики.

При этом наиболее полно все целевые направления и мероприятия реализовывались на предприятиях, где была принята программа экологической политики с утвержденным бюджетом. Компании, в которых была принята стратегия экологической политики на среднесрочный период, не реализовывали меры по адаптации к изменениям климата, не страховали экологические риски, не работали с местными сообществами и не проводили мероприятий на экологически чувствительных территориях Арктики. Предприятия, в которых отсутствовал публичный документ, отражающий экологическую политику, фиксировали в интервью лишь наличие вышеуказанных целей и направлений, они не закреплены конкретным мероприятием, соответствующим бюджетом и индикатором.

Влияние внешних условий на корпоративные экологические стратегии

Структурные преобразования, кадры. Большинство экспертов (63,6 %) считают, что пандемия COVID-19 внесла те или иные изменения в экологическую повестку компании, в частности 27,3 % предприятий пересмотрели цели экологической политики, 27,3 % увеличили текущие расходы на экологию в краткосрочном периоде, 9,1 % компаний сократили инвестиционные расходы на экологию. Остальные 36,4 % экспертов отметили, что пандемия никак не повлияла на реализацию экологической политики.

Опрос показал, что в ближайшие 2–3 года 41,7 % опрошенных промышленных компаний собирались сохранить существующую систему управления в сфере реализации экологической программы или стратегии. Столько же компаний собирались усилить организационную обеспеченность по реализации намеченных планов экологической программы или стратегии. Остальные 16,7 % компаний затруднились оценить организационные изменения в сфере реализации экологической политики.

2/3 опрошенных компаний в ближайшем будущем планируют усилить штатную обеспеченность и кадровую политику компании, 25 % компаний, в которых за реализацию и контроль экологической

политики отвечали отдельные специалисты, хотели бы открыть штатное подразделение, которое занималось бы экологическими вопросами. Среди компаний, у которых уже было такое подразделение или отдел, 60 % собирались расширить и усилить его.

Финансовые планы. В 2020–2022 гг. 83,3 % промышленных предприятий выполнили финансовые планы по реализации экологической программы практически полностью (на 80–100 %), 8,3 % предприятий — с превышением бюджета. Это компании в сфере геологоразведки и золотодобычи. Не в полной мере реализованы экологические программы на всех госпредприятиях, участвовавших в опросе.

В период пандемии существенно сократились инвестиционные расходы на экологию на предприятиях, занимающихся добычей алмазов. Наоборот, увеличение текущих расходов на экологию в краткосрочном периоде на 10 % и более произошло на предприятиях, занимающихся добычей руд и песков драгоценных металлов, занимающихся геолого-разведочными работами в области изучения недр.

Более 72,7 % компаний, принявших участие в опросе, считают, что экономические санкции 2022–2023 гг. оказывают влияние на деятельность предприятия в сфере экологии, в том числе 36,4 % экспертов отметили оптимизацию расходов на экологическую деятельность компании, 18,2 % предприятий свернули некоторые проекты и мероприятия, кроме этого, 9,1 % предприятий пересмотрели и изменили цели экологической политики и стратегии, сократили сроки и расходы на проекты в рамках экологии. Сроки реализации намеченных экологических мероприятий у некоторых предприятий были сдвинуты из-за нехватки времени на вынужденное импортозамещение. Остальные 27,3 % компаний отметили, что санкции никак не повлияли на экологическую программу их компании. Во всех обследованных обществах с ограниченной ответственностью были оптимизированы расходы на экологию в связи с санкциями. Часть акционерных обществ пересматривали и изменяли цели экологической политики, сокращали расходы на проекты и сворачивали некоторые из них. Оптимизация расходов отмечается на всех предприятиях всех сфер и видов деятельности.

2/3 компаний фиксировали незначительное сокращение бюджета в 2023 г., остальные — увеличение. Сокращение бюджета экологической стратегии отмечалось у предприятий, занимающихся добычей угля, производством и распределением электроэнергии, газа и воды, при этом госпредприятия не отмечали существенных изменений бюджетов 2023 г.

Большинство промышленных компаний отметили необходимость оптимизации расходов на экологическую деятельность (45,5 %), часть столкнулась с трудностями при получении импортного сырья и комплектующих для реализации экологической политики (27,3 %), сворачиванием инвестиций и финансирования экологических программ (18,2 %). В компаниях, где документ, регламентирующий экологическую политику предприятия, отсутствовал либо была только стратегия экологической политики без утвержденного бюджета и мероприятий, более 67 % указали на оптимизацию расходов на экологическую деятельность и сворачивание экологических проектов из-за санкционного давления.

При этом в ближайшие два года (2024–2025 гг.) половина экспертов ожидала увеличение бюджета экологической программы в своей компании, 42 % — сохранение на прежнем уровне. Сокращение бюджета экологической стратегии в ближайшие годы ожидало только одно из предприятий, в связи с сокращением объемов работ по основному виду деятельности — геологоразведке. Компании, где действует программа экологической политики с утвержденным бюджетом, не собираются сокращать мероприятия и объемы их финансирования (2/3), а у трети ожидается рост расходов на реализацию экологических программ. Среди компаний, в которых документ, отражающий экологическую политику, отсутствовал либо была принята только стратегия, даны негативные оценки о сокращении мероприятий и объемов финансирования.

Технологии. На вопрос, какие именно проекты и мероприятия пришлось приостановить, были получены следующие ответы: «модернизация автомоечного комплекса», «снижение объемов утилизации нефтешламов и буровых шламов». Часть экспертов отмечали, что сокращение бюджета экологической программы произошло, но не было связано с санкциями, в частности отмечая, что взаимосвязи между санкциями и экологической ситуацией в регионах нету, так как сложности существовали еще до их введения.

Трудности с получением импортного сырья и комплектующих для реализации экологической политики указали энергетические компании, предприятия, добывающие и транспортирующие по трубопроводам нефть и газ, добывающие руду и песок драгоценных металлов, уголь и антрацит,

занимающиеся геологоразведкой в области изучения недр. Оптимизировали расходы на экологию компании по добыче алмазов, руд и песка драгметаллов, занимающиеся геолого-разведочными, геохимическими и геофизическими работами в области изучения недр.

Регуляторная среда. Относительно экологической политики в Республике Саха (Якутия) 91 % компаний, участвовавших в опросе, ожидали изменения планов контрольно-надзорных мероприятий для поддержания устойчивости экономики России. Более 36,4 % предприятий хотели бы получить возможность продлить сроки исполнения обязательств и получения субсидий. Меры поддержки со стороны государства пострадавшим от санкций компаниям ожидали 18,2 % опрошенных предприятий. Столько же экспертов указали на необходимость пересмотра и корректировки планов реализации Стратегии экологической политики Республики Саха (Якутия).

Больше всего на поддержку со стороны государства надеялись государственные предприятия. Большинство акционерных компаний и обществ с ограниченной ответственностью единодушно ожидали изменения плана контрольно-надзорных мероприятий.

На региональном уровне для эффективной реализации экологических программ, по мнению экспертов, в первую очередь необходимо: отложить ужесточение нормативов, стандартов и правил в области охраны окружающей среды и рационального природопользования (75 %); оказать государственную поддержку предприятиям для реализации экологических программ (42 %); снизить размеры платежей за НВОС при прозрачности регулирования.

По государственной поддержке и регулированию в сфере экологии в регионе были получены следующие предложения от опрошенных компаний:

1) для жизнеобеспечивающих предприятий необходим единый республиканский аккредитованный лабораторный центр по производственному контролю за выбросами от источников, на границе СЗЗ, за сбросом сточных вод;

2) на федеральном уровне необходим пересмотр в сторону снижения нормативов ПДК для таких объектов окружающей среды, как вода и воздух;

3) пересмотр в сторону снижения суммы размеров административных штрафов для юридических лиц или льготы для жизнеобеспечивающих предприятий;

4) важно обеспечить баланс между экономическим развитием и сбережением природы Якутии с сохранением ее уникальных, хрупких экосистем. В противном случае долгосрочный ущерб может превзойти все полученные выгоды;

5) выделить денежные средства на вывоз металлолома из Арктики;

6) компенсационные выплаты по лесовосстановлению.

Выводы

Экспертный опрос промышленных компаний Республики Саха (Якутия) показал, что большинство предприятий высоко оценивают собственный уровень экологической готовности, 75 % разработали стратегии или программы экологической политики с утвержденным бюджетом, 58,3 % компаний имеют специальные штатные подразделения по экологии, что гарантировало реализацию и контроль за мероприятиями экологического менеджмента. В первую очередь экологическая политика промышленных компаний сфокусирована на обязательных задачах и мерах, предусмотренных законодательством страны и отраслевой спецификой.

В настоящее время в условиях санкций на уровне регионов и отраслей необходимо создание стратегических планов и программ обеспечения экологической безопасности, также следует проводить непрерывный мониторинг по основным показателям. Важность принятия таких документов подтверждается экспертным опросом.

Сложившаяся ситуация в экологической сфере требует принятия серьезных мер со стороны государства, направленных на срочные структурные преобразования, выработку эффективных решений с привлечением экспертов, специалистов-практиков, представителей финансово-промышленных групп. Важно сохранить тренд на экологизацию промышленности даже в условиях санкций, что напрямую связано с экологической безопасностью, сохранением экосистемы и качеством жизни и здоровья граждан.

Список источников

1. Буданов И. А., Тереньев Н. Е. Проблемы и направления технологической модернизации металлургического комплекса России в контексте «зеленого» роста экономики // Научные Труды ИНИП РАН. 2017. Вып. 15. С. 76–91.
2. Muis, Ichwan, et al. Analyzing ecological modernization process and its effects on the community near the company: case study Vale Indonesia TBK // European Chemical Bulletin. 2023. No 12 (Spesial 3): 2257–2270. doi:10.31838/ecb/2023.12.s3.285.
3. Замятина М., Фесенко Р. Экологическая модернизация как составляющая стратегического развития регионов и предприятий // Вестник факультета управления СПбГЭУ. 2017. № 1. С. 141–146.
4. Волосатова А. А., Гусева Т. В., Скобелев Д. О. Повышение ресурсной эффективности экономики как приоритет и стратегическая область научно-технологического сотрудничества стран БРИКС // Материалы международной научно-практической конференции «Научно-технологическое и инновационное сотрудничество стран БРИКС». М.: ИНИОН РАН, 2023. С. 53–58.
5. Бобылев С. Н. Экономика устойчивого развития : учебник. М.: КНОРУС, 2021. 672 с.
6. Lanshina T. A., Slivyak V. I., Strelkova S. V. Russian electric power industry until 2035: On the way to full transition to renewable energy sources // Journal of the New Economic Association. 2022. 4 (56). P. 223–229. doi:10.31737/2221-2264-2022-56-4-14.
7. Кормишкина Л. А., Кормишкин Е. Д., Иванова И. А., Колосков Д. А. Экологическое инвестирование как ключевой фактор формирования и становления инвестиционной модели роста российской экономики // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. Т. 15, № 4. С. 118–135. doi:10.15838/esc.2022.4.82.8.
8. Потенциальные возможности роста российской экономики: анализ и прогноз. Научный доклад / под ред. члена-корреспондента РАН А. А. Широва. М.: Арктик Принт, 2022. 296 с. (Научный доклад ИНИП РАН).
9. Охрана окружающей среды в России. 2022: Стат. сб. / Росстат.: М., 2022. 115 с.
10. Цукерман В. А., Горячевская Е. С. Инновационный потенциал арктических регионов России // Арктика и Север. 2022. № 49. С. 70–85. doi:10.37482/issn2221-2698.2022.49.70.
11. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2022 году // Министерство экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия). URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/uploads/> (дата обращения: 10.09.2023).
12. Gavrilyeva T., Stepanova (Krasilnikova) N., Nogovitsyn A. Sectoral Greenhouse Gas Emissions in Sakha Republic (Yakutia) // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2020, pp. 1–7, doi: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271366.
13. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» // Собрание законодательства РФ. 2018. № 20. Ст. 2817.
14. Поворот к природе: новая экологическая политика России в условиях «зеленой» трансформации мировой экономики и политики: доклад по итогам серии ситуационных анализов / Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»; Факультет мировой экономики и мировой политики. М.: Международные отношения, 2021. 97 с.: ил.
15. Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» // Собрание законодательства РФ. 1995. № 48. Ст. 4556.
16. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» // Собрание законодательства РФ. 2002. № 2. Ст. 133.
17. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18 февраля 2022 г. № 109 «Об утверждении требований к содержанию программы производственного экологического контроля, порядка и сроков представления отчета об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля» // Справочно-правовая система «Гарант». URL: <https://internet.garant.ru/#/document/403576070> (дата обращения: 30.09.2023).

18. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 14001–2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению»: утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 апреля 2016 г. № 285-ст // Справочно-правовая система «Гарант». URL: <https://internet.garant.ru/#/document/71544070> (дата обращения: 30.09.2023).

References

1. Budanov I. A., Terentiev N. E. Modernizing high-tech industrial sectors in the context of green economic growth. *Scientific Articles — Institute of Economic Forecasting Russian Academy of Sciences*, 2017, Vol. 15, pp. 76–91. (In Russ.).
2. Muis, Ichwan, et. al. Analyzing ecological modernization process and its effects on the community near the company: case study Vale Indonesia TBK. *European Chemical Bulletin*, 2023, No 12 (Spesial 3): 2257–2270. doi:10.31838/ecb/2023.12.s3.285.
3. Zamyatina M., Fesenko R. Ecological modernization as a component of the strategic development of regions and enterprise. *Bulletin of the Faculty of Management of St. Petersburg State Economic University*, 2017, Vol. 102, pp. 141–146. (In Russ.).
4. Volosatova A. A., Guseva T. V., Skobelev D. O. Increasing the resource efficiency of the economy as a priority and strategic area of scientific and technological cooperation of the BRICS countries. *Materials of the international scientific and practical conference “Scientific, technological and innovative cooperation of the BRICS countries”*. Moscow, INION RAS, 2023, pp. 53–58. (In Russ.).
5. Bobylev S. N. *Economics of sustainable development*. Moscow, KNORUS, 2021, 672 p. (In Russ.).
6. Lanshina T. A., Slivyak V. I., Strelkova S. V. Russian electric power industry until 2035: On the way to full transition to renewable energy sources. *Journal of the New Economic Association*, 2022, 4 (56), pp. 223–229. doi:10.31737/2221-2264-2022-56-4-14.
7. Kormishkina L. A., Kormishkin E. D., Ivanova I. A., Koloskov D. A. Environmental investment as a key factor in the formation and evolution of an investment model for the growth of the Russian economy. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2022, 15 (4), pp. 118–135. (In Russ.). doi:10.15838/esc.2022.4.82.8.
8. *Potential for growth of the Russian economy: analysis and forecast*. Scientific report. Ed. corresponding member of the Russian Academy of Sciences A. A. Shirov. Moscow, Artique Print, 2022, 296 p. (Scientific Report — Institute of Economic Forecasting RAS). (In Russ.).
9. Environmental protection in Russia (2022): Stat. Sat. Rosstat. Moscow, 2022, 115 p.
10. Tsukerman V., Goryachevskaya E. Innovative potential of the Russian Arctic regions. *Arctic and North*, 2022, no. 49, pp. 70–85. (In Russ.). doi:10.37482/issn2221-2698.2022.49.70.
11. State report on the protection of the environment in the Republic of Sakha (Yakutia) in 2022. Ministry of Ecology, Nature Management and Forestry of the Republic of Sakha (Yakutia), 2023. (In Russ.). Available at: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/uploads> (accessed 10.09.2023).
12. Gavriilyeva T., Stepanova (Krasilnikova) N., Nogovitsyn A. Sectoral Greenhouse Gas Emissions in Sakha Republic (Yakutia). *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*, Vladivostok, Russia, 2020, pp. 1–7, doi: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271366.
13. Decree of the President of the Russian Federation dated May 7, 2018 No. 204 “On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024”. *Collection of Legislation of the Russian Federation*, 2018, No. 20, Article 2817. (In Russ.).
14. *Turn to nature: Russia’s new environmental policy in the context of the “green” transformation of the world economy and politics: report on the results of a series of situational analyzes (2021)*. National Research University Higher School of Economics (HSE), Faculty of World Economy and International Affairs. Moscow, Mezhdunarodnuye otnosheniya, 2021, 97 p. (In Russ.).
15. Federal Law No. 174-FZ of November 23, 1995 “On environmental expertise”. *Collection of Legislation of the Russian Federation*, 1995, No. 48, Article 4556. (In Russ.).

16. Federal Law No. 7-FZ of January 10, 2002 “On Environmental Protection”. *Collection of Legislation of the Russian Federation*, 2002, No. 2, Article 133. (In Russ.).
17. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 109 dated February 18, 2022 “On approval of the requirements for the content of the industrial environmental control program, the procedure and deadlines for submitting a report on the organization and on the results of industrial environmental control”. Reference and legal system “Garant”. (In Russ.). Available at: <https://internet.garant.ru/#/document/403576070> (accessed 30.09.2023).
18. National standard of the Russian Federation GOST R ISO 14001–2016 “Environmental management systems. Requirements and guidelines for use”: approved by the order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated April 29, 2016 No. 285-st. Reference and legal system “Garant”. Available at: <https://internet.garant.ru/#/document/71544070> (accessed 30.09.2023).

Информация об авторах

Н. А. Красильникова — кандидат экономических наук, ведущий научный;

А. Б. Неустроева — кандидат социологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник;

В. В. Сосин — младший научный сотрудник.

Information about the authors

N. A. Krasilnikova — Ph.D. in Economics, Leading Researcher;

A. B. Neustroeva — Candidate of Social Sciences, Associate Professor, Leading Researcher;

V. V. Sosin — Junior Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.

