

Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр Российской академии наук»

ТРУДЫ
КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№ 8, 2025

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Петрозаводск
2025

Главный редактор
А. Ф. ТИТОВ, член-корр. РАН, д. б. н., проф.

Редакционный совет

А. М. АСХАБОВ, академик РАН, д. г.-м. н., проф.; О. Н. БАХМЕТ (зам. главного редактора), член-корр. РАН, д. б. н.; А. В. ВОРОНИН, д. т. н., проф.; И. В. ДРОБЫШЕВ, доктор биологии (Швеция – Канада); [Э. В. ИВАНТЕР], член-корр. РАН, д. б. н., проф.; Х. ЙООСТЕН, доктор биологии, проф. (Германия); А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; Е. В. КУДРЯШОВА, д. флс. н., проф.; О. Л. КУЗНЕЦОВ, д. б. н.; Н. В. ЛУКИНА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; В. В. МАЗАЛОВ, д. ф.-м. н., проф.; Н. Н. НЕМОВА, академик РАН, д. б. н., проф.; О. ОВАСКАЙНЕН, доктор математики, проф. (Финляндия); О. Н. ПУГАЧЕВ, академик РАН, д. б. н.; С. А. СУББОТИН, доктор биологии (США); Д. А. СУБЕТТО, д. г. н.; Н. Н. ФИЛАТОВ, член-корр. РАН, д. г. н., проф.; Т. Э. ХАНГ, доктор географии (Эстония); П. ХЁЛЬТЯ, доктор геологии, проф. (Финляндия); К. ШАЕВСКИЙ, доктор математики, проф. (Польша); В. В. ЩИПЦОВ, д. г.-м. н., проф.

Редакционная коллегия серии «Экологические исследования»

К. С. БОБКОВА, д. б. н., проф.; В. В. ВАПИРОВ, д. х. н.; А. Н. ГРОМЦЕВ, д. с.-х. н.; П. И. ДАНИЛОВ, д. б. н., проф.; Н. В. ИЛЬМАСТ (зам. отв. редактора), д. б. н., доцент; Н. М. КАЛИНКИНА, д. б. н.; А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; О. Л. КУЗНЕЦОВ (отв. редактор), д. б. н.; В. А. МАСЛОБОЕВ, д. т. н., проф.; Ф. В. ФЕДОРОВ (отв. секретарь), к. б. н.; С. А. СВЕТОВ, д. г.-м. н.; К. Ф. ТИРРОНЕН, к. б. н.; В. Т. ЯРМИШКО, д. б. н., проф.

Издаётся с января 2009 г.

Адрес редакции: 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
Тел. (8142)762018; факс (8142)769600
E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Электронная полнотекстовая версия: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

TRANSACTIONS

of the KARELIAN RESEARCH CENTRE of the RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES

No. 8, 2025

ECOLOGICAL STUDIES

Petrozavodsk
2025

Editor-in-Chief
A. F. TITOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.

Editorial Council

A. M. ASKHABOV, RAS Academician, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; O. N. BAKHMET (Deputy Editor-in-Chief), RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.); I. V. DROBYSHEV, PhD (Biol.) (Sweden – Canada); N. N. FILATOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geog.), Prof.; T. E. HANG, PhD (Geog.) (Estonia); P. HÖLTTÄ, PhD (Geol.), Prof. (Finland); E. V. IVANTER, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; H. JOOSTEN, Dr. (Biol.), Prof. (Germany); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); E. V. KUDRYASHOVA, DSc (Phil.), Prof.; O. L. KUZNETSOV, DSc (Biol.); N. V. LUKINA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; V. V. MAZALOV, DSc (Phys.-Math.), Prof.; N. N. NEMOVA, RAS Academician, DSc (Biol.), Prof.; O. OVASKAINEN, PhD (Math.), Prof. (Finland); O. N. PUGACHYOV, RAS Academician, DSc (Biol.); V. V. SHCHIPTSOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; S. A. SUBBOTIN, PhD (Biol.) (USA); D. A. SUBETTO, DSc (Geog.); K. SZAJEWSKI, PhD (Math.), Prof. (Poland); A. V. VORONIN, DSc (Tech.), Prof.

Editorial Board of the Experimental «Ecological Studies» Series

K. S. BOBKHOVA, DSc (Biol.), Prof.; P. I. DANILOV, DSc (Biol.), Prof.; A. N. GROMTSEV, DSc (Agr.); N. V. ILMAST (Deputy Editor-in-Charge), DSc (Biol.), Assistant Prof.; N. M. KALINKINA, DSc (Biol.); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); O. L. KUZNETSOV (Editor-in-Charge), DSc (Biol.); V. A. MASLOBOEV, DSc (Tech.), Prof.; F. V. FYODOROV (Executive Secretary), PhD (Biol.); S. A. SVETOV, DSc (Geol.-Miner.); K. F. TIRRONEN, PhD (Biol.); V. V. VAPIROV, DSc (Chem.); V. T. YARMISHKO, DSc (Biol.), Prof.

Published since January 2009

8 issues a year

Editorial Office address: 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
Tel. (8142)762018; fax (8142)769600
E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Full-text electronic version: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

УДК 574.4 (571.56-13)

ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ЮГО-ВОСТОКА ЯКУТИИ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ УСТЬ-МАЙСКОГО РАЙОНА)

**П. П. Данилов, М. И. Ксенофонтова*, И. Г. Собакина,
А. Г. Попова, В. С. Макаров**

*Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера
им. проф. Д. Д. Саввина СВФУ им. М. К. Аммосова (пр. Ленина, 43, Якутск,
Республика Саха (Якутия), Россия, 677980), *ksemaria@mail.ru*

Приведены результаты комплексных исследований современного состояния наземных и водных экосистем юго-востока Якутии на примере территории Усть-Майского района республики. В почвенном покрове исследуемого района установлена вертикальная зональность с преобладанием мерзлотных подбров и слаборазвитых почв, выявлены высокие концентрации тяжелых металлов, превышающие гигиенические нормативы, в том числе элементов первого класса опасности: ртути, цинка и свинца. Поверхностные воды исследуемых водотоков данной территории характеризуются малой минерализацией с нейтральной и слабощелочной средой, с преобладанием в ионном составе гидрокарбонатов, кальция и магния. В исследованных водах отмечены превышения нормативов ПДК для рыбохозяйственных целей по железу, меди, алюминию и ртути, что связано не только с природными особенностями района, но и с влиянием добычи полезных ископаемых. Состав техногенных вод хвостохранилищ поселков Аллах-Юнь и Звездочка показывает повышенные уровни свинца, ртути и кадмия. Анализ донных отложений выявил локальное накопление марганца, цинка, свинца и кобальта в природных водотоках, а также ртути в техногенных водоемах. В таких условиях исследование зоопланктона указало на его угнетенное состояние. В целом для данного района возникает необходимость проведения долгосрочного мониторинга для оценки источников загрязнения и их воздействия на экосистемы. Особое внимание предлагается уделить заброшенным гидротехническим сооружениям поселков Аллах-Юнь и Звездочка, которые рекомендовано включить в ГРОНВОС для разработки мер по снижению экологического риска.

Ключевые слова: почвы; донные отложения; поверхностные воды; зоопланктон; р. Аллах-Юнь; р. Мая; р. Алдан; тяжелые металлы; Юго-Восточная Якутия

Для цитирования: Данилов П. П., Ксенофонтова М. И., Собакина И. Г., Попова А. Г., Макаров В. С. Характеристика современного состояния экосистем юго-востока Якутии (на примере территории Усть-Майского района) // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 5–19. doi: 10.17076/eco2061

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания НИИПЭС СВФУ (№ FSRG-2023-0011).

**P. P. Danilov, M. I. Ksenofontova*, I. G. Sobakina, A. G. Popova,
V. S. Makarov. CHARACTERISTICS OF THE CURRENT STATE OF
ECOSYSTEMS IN SOUTH-EAST YAKUTIA (UST-MAISKY DISTRICT CASE
STUDY)**

Savvinov Institute of Applied Ecology of the North after named prof. D. D. of the North-Eastern Federal University (43 Lenina Ave., 677980 Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia), *ksemaria@mail.ru

The article presents the results of comprehensive studies of the current state of terrestrial and aquatic ecosystems in southeastern Yakutia, with the Ust-Maisky District of the Republic of Sakha (Yakutia) as the case study. The soil cover of the study area is characterized by vertical zonality with a predominance of permafrost Leptosols and Podzols, and high heavy metal concentrations, exceeding health standards, including elements of the first hazard class: mercury, zinc, and lead. The surface waters of watercourses surveyed in this area feature a low total dissolved solids content, neutral to weakly alkaline pH, and a predominance of bicarbonates, calcium, and magnesium in their ionic composition. Iron, copper, aluminum, and mercury levels in the water exceeded maximum permissible concentrations for fishery waterbodies, not only due to the natural features of the area but also under the mining impact. Industry-generated water in the tailings dumps at the villages of Allah-Yun and Zvezdochka contained elevated levels of lead, mercury, and cadmium. Analysis of bottom sediments revealed local accumulation of manganese, zinc, lead, and cobalt in natural watercourses, as well as mercury in man-made water bodies. In this context, the zooplankton community was found to be inhibited. In general, this area requires long-term monitoring to assess the pollution sources and their impact on the ecosystems. Particular attention should be given to abandoned hydraulic engineering facilities in the villages of Allah-Yun and Zvezdochka, with a recommendation to include them in the State Register of Accumulated Environmental Damage in order to develop measures to reduce environmental risks.

Keywords: soils; bottom sediments; surface waters; zooplankton; Allah-Yun River; Maya River; Aldan River; heavy metals; southeastern Yakutia

For citation: Danilov P. P., Ksenofontova M. I., Sobakina I. G., Popova A. G., Makarov V. S. Characteristics of the current state of ecosystems in southeastern Yakutia (Ust-Maisky District case study). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 5–19. doi: 10.17076/eco2061

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to the Savvinov Institute of Applied Ecology of the North NEFU (FSRG-2023-0011).

Введение

Изучаемая территория юго-востока Якутии в пределах Усть-Майского муниципального района РС (Я) ($60^{\circ}29'$ с. ш. $137^{\circ}38'$ в. д.) расположена в правобережной части среднего течения р. Алдан. Район представляет собой уникальную территорию Юго-Восточной Якутии с богатым природным потенциалом, но при этом подвержен значительным антропогенным (техногенным) воздействиям.

В орографическом отношении район исследования представлен преимущественно горными ландшафтами – хребтами Скалистый, Сетте-Дабан, Кыллахский, Улахан-Бом, а также Учуро-Майским нагорьем с абсолютными высотами водоразделов от 1000 до 2000 м, при

относительных превышениях над днищами долин от 400 до 800 м. Слоны водоразделов крутые, от 18 до 35° . Здесь распространены среднетаежные лиственничные леса. Крупным водным объектом является р. Алдан с притоками р. Мая (с притоком р. Юдома) и р. Аллах-Юнь. Из-за сложной транспортной логистики в настоящее время эта территория слабо изучена в экологическом отношении.

Известно, что Усть-Майский район – один из центров добычи золота в Республике Саха (Якутия). Крупной золотоносной провинцией данной территории является бассейн р. Аллах-Юнь, где проявляются рудные и россыпные месторождения золота. Анализ золотоносности рудных объектов Аллах-Юнского горнорудного района показывает комплексный характер оруденения.

Наряду с профилирующим элементом Au в рудах попутно встречаются Ag, Bi, Te, Se, Mo, U и редкоземельные металлы (REE). Кроме традиционного кварцевожильного оруденения имеет широкое распространение прожилково-вкрашенное и вкрашенное оруденение минерализованных зон дробления [Кондратьева и др., 1999; Анисимова и др., 2001]. Россыпные месторождения приурочены в основном к четвертичным отложениям. Изучение золотоносности среднего течения р. Аллах-Юнь началось в 1932 г. Уже в первые годы были открыты промышленные россыпи в правобережных притоках р. Аллах-Юнь, в 1934–1940 гг. в районе открыты новые россыпи в долинах ручьев Минор, Ыныкчан, Коро, Задержная. В 1960–1980-е годы в Аллах-Юнском металлогенической зоне разведано рудное золото и построены три фабрики по его обогащению.

В настоящее время на территории Аллах-Юнского золотоносного пояса расположено более 40 лицензионных участков, в том числе артели «Поиск» п. Аллах-Юнь, «Дражник» п. Звездочка, «Золото Ыныкчана» п. Солнечный, «Бриндакит» п. Бриндакит, рудник «Дуэт» п. Югоренок, «Заря +М» п. Ыныкчан и др. (рис. 1), которые оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду района исследования.

Государственный мониторинг качества поверхностных вод на изучаемой территории выполняется Якутским УГМС в двух точках наблюдения: 0,5 км выше и ниже п. Усть-Мая. ГБУ РИАЦЭМ по РС (Я) также проводит постоянный экологический мониторинг качества сред по поверхностным водам. То есть такие компоненты экосистемы, как почва, донные отложения, гидробионты, не входят в ежегодный план экологического мониторинга.

Анализ литературных данных показывает, что исследования бассейна р. Аллах-Юнь носят в основном фрагментарный характер. В целом аналитическим обзором выявлено, что поверхностные воды района исследования характеризуются низкой минерализацией, нейтральной средой и мягкой водой с преобладанием гидрокарбонатов и кальция в ионном составе. Большинство нормируемых показателей не превышают нормативы по гигиене и для рыбохозяйственных целей, однако выявлено превышение ПДК для рыбохозяйственных целей (далее ПДКр/х) нефтепродуктов, фенолов, органических и взвешенных веществ, а также обнаружены следы ртути в устье р. Аллах-Юнь [Охлопков, Пестрякова, 2011].

Проведенные ранее гидробиологические исследования выявили значительные различия в количественных и качественных показателях

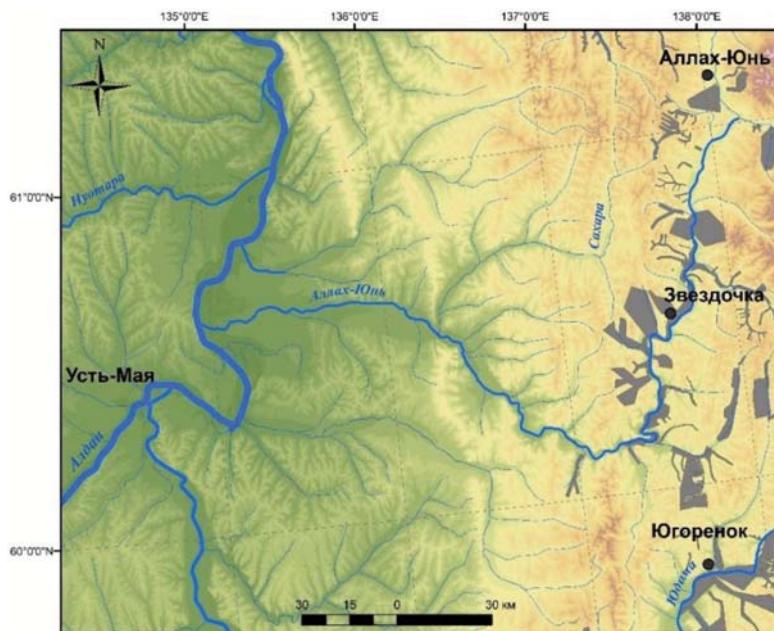


Рис. 1. Карта-схема местонахождений лицензионных (техногенно преобразованных) участков (выделены серым цветом) в бассейне среднего течения р. Аллах-Юнь

Fig. 1. Schematic map of locations of licensed (technogenically transformed) areas (highlighted in gray) in the middle reaches of the Allah-Yun River basin

зоопланктона между средним и верхним течениями р. Алдан, а также сокращение видового разнообразия, биомассы и численности зообентоса, особенно в реках Аллах-Юнь и Мая. Кроме того, населенные пункты вносят вклад в загрязнение воды органическими веществами, что подтверждается развитием нематод и олигохет. Основными загрязнителями в бассейне р. Аллах-Юнь выступают соединения цинка, меди, органических и взвешенных веществ, причем их концентрации увеличиваются вниз по течению. Комплексная оценка загрязненности воды, рассчитанная с помощью комбинаторного индекса, указывает на высокий уровень загрязнения по некоторым показателям, что свидетельствует о напряженной экологической обстановке в регионе, обусловленной влиянием золотодобывающей промышленности [Салова, Николаева, 2015].

По литературным данным, фаунистический состав зоопланктона среднего течения р. Алдан в пределах Усть-Майского района состоял из 21 вида: 14 видов ветвистоусых, 4 – веслоногих ракообразных и 3 – коловраток [Кириллов и др., 2009]. В зоопланктоне ниже устья р. Аллах-Юнь обнаружена лишь группа ветвистоусых раков (80 экз./м^3 при биомассе 34 мг/м^3). В зоопланктоне р. Мая встречены *Bosmina longirostris*, *Acroperus harpae*, *Chydorus sphaericus*, *Alona affinis*, *Mesocyclops leuckarti* и представители сем. Cyclopidae IV-V копеподитных стадий развития. Средняя численность составляла 220 экз./м^3 при биомассе $13,4 \text{ мг/м}^3$. Максимальные значения зоопланктона отмечены в р. Алдан выше п. Усть-Мая (360 экз./м^3 и 24 мг/м^3). На участках среднего течения у поселков Эльдикан и Кюпцы количественные показатели зоопланктона увеличивались (320 – 360 экз./м^3 и $13,2$ – $14,1 \text{ мг/м}^3$), доминировали придонные ветвистоусые раки *Pleuroxus aduncus*, *A. harpae*, *Ch. sphaericus*, *B. longirostris*, *A. affinis* [Кириллов и др., 2009].

Таким образом, представляется актуальным проведение комплексных экологических исследований, включающих изучение почвенно-го покрова, донных отложений, поверхностных вод и гидробионтов.

Целью данной работы является оценка современного состояния наземных и водных экосистем Усть-Майского района РС (Я).

Материалы и методы

Химико-аналитические работы проведены в лаборатории физико-химических методов анализа НИИПЭС СВФУ методами потенциометрии, титриметрии, фотометрии, капиллярного

электрофореза, атомно-абсорбционной спектрометрии, флуориметрии, гравиметрии. Отбор проб поверхностных вод производился согласно ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб», донных отложений – по ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность», почв – в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Общие требования к отбору проб». Сбор и обработка проб зоопланктона проводились по общепринятым в гидробиологии методикам [Балушкина, Винберг, 1979; Методические..., 1982; Абакумов, 1983; Андроникова, 1996].

Для определения качества воды исследованных водотоков использованы нормативы ПДКр/х согласно Приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 [Приказ..., 2016]. В связи с отсутствием нормативов предельно-допустимых концентраций в донных отложениях для определения качества использован локальный геохимический фон, который рассчитан для подвижных форм микроэлементов с экстракцией ацетатно-аммонийным буферным раствором при pH 4,0, а также для валовой формы ртути. Для определения качества исследованных почв использованы нормативы ПДК для подвижных форм микроэлементов согласно СанПин 1.2.3685-21 [Постановление..., 2021].

Всего отобрано 20 образцов поверхностных вод и зоопланктона, 17 проб донных отложений, 13 проб почв. Карта-схема местонахождений отбора комплексных проб приведена на рис. 2.

Результаты и обсуждение

Объектами исследования являлись почвы, поверхностные воды, донные отложения и зоопланктонные сообщества.

Почвы. Согласно почвенно-географическому районированию Якутии [Атлас..., 1989] участок исследований в пределах среднего и верхнего течения р. Аллах-Юнь относится к гольцово-тундровому поченному району Верхоянской горно-гольцово-тундрово-таежной почвенной провинции северной тайги. Здесь подбуры являются зональными типами почв.

В условиях Усть-Майского района эти почвы маломощны из-за особенностей геологического строения, климата и других факторов и имеют специфические природные особенности. Гранулометрический состав легкосуглинистый, реакция среды колеблется от нейтральной до слабощелочной, содержание органического углерода очень высокое с бимодальным профильным распределением.

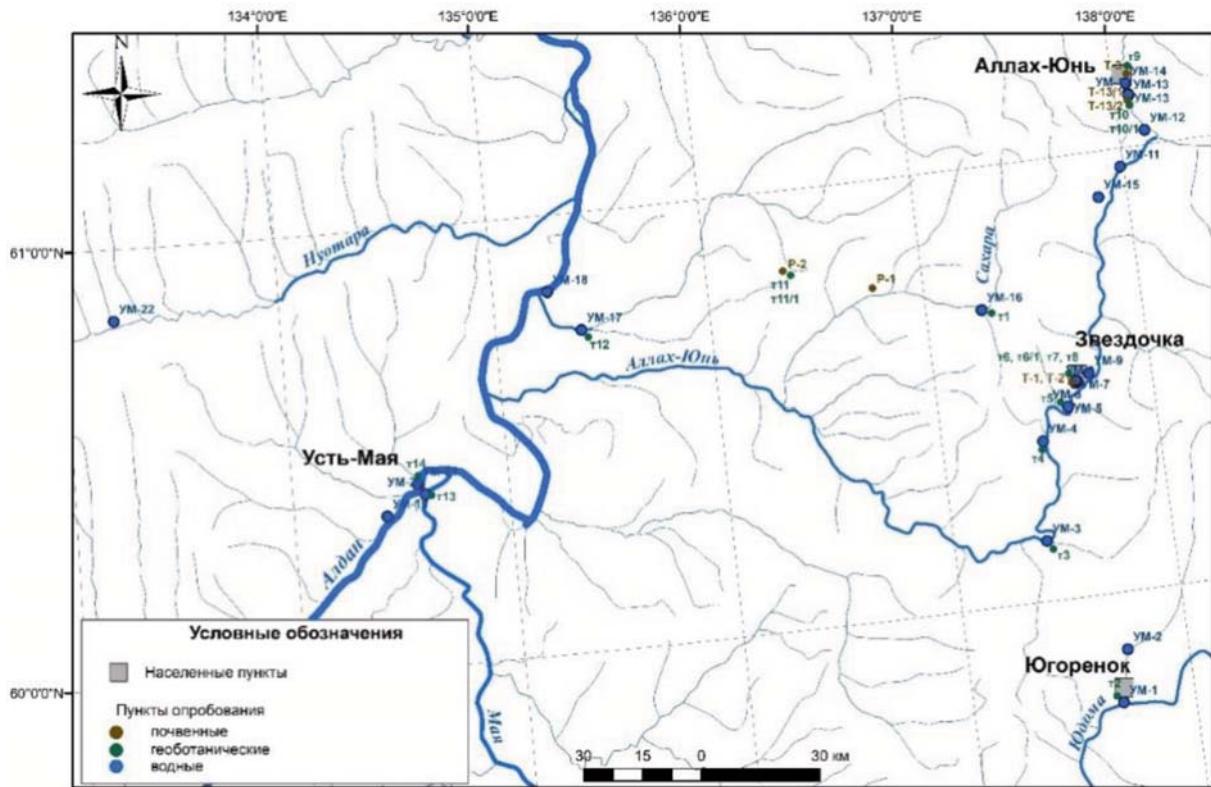


Рис. 2. Карта-схема местонахождений пунктов отбора комплексных проб с компонентов водных и наземных экосистем района исследований

Fig. 2. Schematic map of locations of sampling points for complex samples from the components of aquatic and terrestrial ecosystems of the study area

В верхних горизонтах (лесной подстилке) отмечено высокое содержание подвижной формы марганца, иногда превышающее установленные санитарно-гигиенические нормативы ПДК, а также зафиксировано высокое содержание подвижной формы цинка, что, скорее всего, связано с техногенным воздействием.

Выше по рельефу эти типичные подбуры сменяются подбурами оподзоленными, которые еще выше сменяются маломощными мерзлотными слаборазвитыми (примитивными) каменистыми почвами, при определенных условиях и высотах постепенно переходящими в гольцовую зону. В естественных долинно-речных ландшафтах распространены комплексы типов мерзлотных аллювиальных почв. Изученные аллювиальные почвы района исследования имеют рыхлопесчаный гранулометрический состав, реакция среды относится к слабощелочной градации по всему профилю. Такое равномерное профильное распределение наблюдается для органического углерода и азота. При этом зафиксирована аккумуляция подвижного фосфора в нижних горизонтах. В микроэлементном составе наблюдается аналогичная аккумуляция подвижной формы цинка,

которая превышает установленные санитарно-гигиенические нормативы. Таким образом, в исследуемом районе в естественных природных условиях ярко проявляется вертикальная зональность почв в соответствии с изменением климата, растительности, материнских горных пород и других условий почвообразования.

В рамках проводимых рекогносцировочных эколого-почвенных исследований в данном районе в 2024 г. изучались техногенно нарушенные и преобразованные земли, которые сформировались в результате открытой добычи золота. Поэтому основное внимание было уделено механическому нарушению и преобразованию почв и почвенного покрова.

Известно, что степень и характер антропогенного влияния определяются содержанием геологоразведочного процесса на стадии поисков месторождений, инженерно-технологическими условиями их эксплуатации, созданием инфраструктуры жизнеобеспечения и др. В результате этого неизбежно преобразованы и уничтожены значительные площади естественного почвенного покрова в основном долинно-речных ландшафтов р. Аллах-Юнь (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид техногенно преобразованных участков долинно-речных ландшафтов бассейна среднего течения р. Аллах-Юнь

Fig. 3. General view of technogenically transformed areas of valley-river landscapes of the middle reaches of the Allah-Yun River basin

Нарушение земель представляет собой не только механическое воздействие на почвенный покров, обусловленное открытыми и закрытыми разработками полезных ископаемых, строительными, геологоразведочными и другими работами, но и опосредованное загрязнение природных почв различными поллютантами. В результате независимо от происхождения (генезиса) почв, направления почвообразования происходит трансформация их свойств и составов.

Нарушенные земли района исследования можно разделить по степени воздействия на площадные, локальные и линейные. К площадным на этой территории относим ранее разработанные и разрабатываемые здесь дражные полигоны и другие объекты, которые занимают десятки квадратных километров. Локально нарушенные земли представлены заброшенными хвостохранилищами, установками обогащения и другими объектами ранее проведенных геологоразведочных и добывочных работ. На этих участках поверхность почвенного покрова иногда захламлена металлом и другими отходами производства. К линейным относятся автодороги, линии электропередачи и другие объекты.

В настоящее время на этих нарушенных участках почвенный покров отсутствует или относится к существенно преобразованному, так как генетические горизонты почв не выделяются. По результатам анализа в исследованных почвах и почвогрунтах наблюдается накопление химических элементов первого класса опасности – свинца, ртути и цинка, превышающее установленные санитарно-гигиенические нормативы до 16 раз (табл. 1). Кроме этого,

зарегистрированы высокие концентрации никеля, кобальта и меди (химические элементы 2 класса опасности – «высокоопасные»), превышающие установленные санитарно-гигиенические нормативы до 3,7 раза.

На основе полученных данных эти почвогрунты можно отнести к группе токсифабрикатов техногенных поверхностных образований [Шишов и др., 2004], на которых без специальных дезактивационных мероприятий длительное время невозможно выращивание сельскохозяйственных и лесных культур, а также возобновление естественной растительности.

Поверхностные воды. Изучение гидрохимического состава водных объектов района исследования имеет важное значение для оценки их экологического состояния и установления основных источников загрязнения. В 2024 г. гидрохимическое опробование на территории исследования проведено в реках Алдан, Мая, Юдома, Аллах-Юнь, Домбра, Сахара, Ундээн, а также в техногенных водоемах.

Химический состав воды р. Алдан на территории юго-востока Якутии исследован на участках ниже п. Эльдикан, выше с. Петропавловск и ниже устья р. Мая. В период исследований состав воды характеризовался малой минерализацией со слабощелочной и щелочной средой, ионный состав воды по классификации О. А. Алексина [1953] – преимущественно гидрокарбонатного класса группы кальция. Показатель цветности достигал 37 градусов, концентрация взвеси ниже 5 мг/л, величина ХПК 13 мг/л.

В результате проведенных исследований зарегистрированы превышения нормативов ПДКр/х

Таблица 1. Содержание подвижных форм микроэлементов, а также валовой формы ртути в техногенных поверхностных образованиях бассейна р. Аллах-Юнь

Table 1. The content of mobile forms of microelements, as well as the gross form of mercury in technogenic surface formations of the Allah-Yun River basin

Показатель Parameter	ПДК*, мг/кг MAC*, mg/kg	Техногенные поверхностные образования заброшенного хвостохранилища «Джугдурзолото» Man-made surface formations of the abandoned tailings dump 'Dzhugdzhurzoloto'		Техногенные поверхностные образования шлифо-обогатительной установки «Джугдурзолото» в п. Звездочка Man-made surface formations of the grinding and concentration plant (GCP) 'Dzhugdzhurzoloto' in the village of Zvezdochka			
№ пункта наблюдения Observation point no.		T-13/2-24		T-1-24		T-2-24	
Глубина опробования, см Sampling depth, cm		0–10	10–20	0–10	10–20	0–10	10–20
Zn (1**)	23	59,9	38,5	0,8	3,4	3,9	25,0
Hg (1)	2,1	34,800	7,800	0,014	0,028	н/о	н/о
Ni (2)	4	12,60	5,60	0,63	0,82	0,68	0,53
Cd (2)	-	0,17	0,11	0,05	0,05	0,12	0,03
Pb (1)	6	6,2	5,3	8,6	11,1	2,3	2,1
Co (2)	5	6,0	4,2	0,7	0,7	1,2	0,3
Cr (2)	-	0,8	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2
Cu (2)	3	11,1	7,4	1,6	1,8	1,4	0,8
Mn (3)	700	454	520	218	234	306	120
Fe	-	628	601	443	469	332	342

Примечание. *В соответствии с СанПин 1.2.3685-21; **в скобках указаны классы опасности химических элементов; полужирным выделены превышения нормативов ПДК.

Note. *In accordance with SanPiN 1.2.3685-21; **hazard classes of chemical elements are given in parentheses; values exceeding the maximum allowable concentration (MAC) standards are given in bold.

по ряду показателей на различных участках р. Алдан. В пункте наблюдения ниже п. Эльдикан выявлены превышения по железу в 2,9 и по меди в 1,9 раза; выше с. Петропавловск – по алюминию в 1,9, по железу в 2, по меди в 2,5 раза, а ниже устья р. Мая – по алюминию в 2,4 раза.

Химический состав воды р. Мая в период исследования характеризовался малой минерализацией со слабощелочной средой, преимущественно гидрокарбонатно-кальциево-магниевого состава. Содержание взвешенных веществ ниже 5 мг/л, цветность воды составляла 17,4 градуса, ХПК 7 мг/л. Выявлены превышения нормативов ПДКр/х по ртути в 6,3, по алюминию в 1,8, по железу в 1,5 и по меди в 1,9 раза.

В р. Юдома вода в период исследования имела малую минерализацию со слабощелочной средой, в ионном составе воды отмечалось доминирование гидрокарбонатов, сульфатов и кальция. Концентрация взвеси составляла 10,8 мг/л, показатель цветности достигал 49,5 градуса, ХПК ниже 5 мг/л. Превышения нормативов ПДКр/х выявлены по алюминию в 6,4, по железу в 2 и по меди в 1,3 раза.

Химический состав воды р. Домбра в период исследования также характеризовался малой минерализацией, но с нейтральной средой. Ионный состав – преимущественно гидрокарбонатного класса группы кальция и магния. Показатель цветности в исследованной воде достигал 14,8 градуса, содержание взвеси ниже 5 мг/л, ХПК 9 мг/л. Превышение нормативов ПДКр/х характерно только для меди – в 1,3 раза.

Вода р. Сахара в период исследования имела среднюю минерализацию с щелочной средой с доминированием в ионном составе гидрокарбонатов и кальция. Концентрация взвеси довольно высокая и составляла 1171 мг/л, показатель цветности также выше, чем в других водотоках, и равен 97 градусам, величина ХПК до 14 мг/л. Превышения нормативов ПДКр/х установлены для меди и железа в 1,8 и 2 раза соответственно.

Вода р. Ундээкэн в период исследования характеризовалась малой минерализацией с щелочной средой преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого состава. Содержание взвеси и величина ХПК ниже 5 мг/л, показатель

цветности достигал 9,9 градуса. Превышение нормативов ПДКр/х было характерно только для железа – в 1,7 раза.

Дополнительно опробован руч. Безымянный (правый приток р. Аллах-Юнь) по автодороге Аллах-Юнь – Звездочка, где наблюдался грязевой поток. Вода в этот период характеризовалась средней минерализацией с щелочной средой. Цветность воды достигала 177 градусов, ХПК 32 мг/л. Ионный состав воды преимущественно гидрокарбонатно-сульфатного класса группы кальция. Превышения нормативов ПДКр/х установлены по алюминию в 9,7, по железу в 17,6, по марганцу в 5,2 и по меди в 6,8 раза.

Более детально на данном участке исследована р. Аллах-Юнь (длина 586 км, площадь водосборного бассейна 24 200 км²), где сосредоточены золотоносные месторождения. Данный водоток вытекает из оз. Ампарындука в горах к юго-востоку от Верхоянского хребта на границе Хабаровского края и Якутии, далее течет по северо-западной окраине Юдомо-Майского нагорья. Имеет глубокую и узкую долину, в низовье выходит на равнину и приобретает спокойный характер. Высота истока составляет 1074 м над ур. м., высота устья – 146 м над ур. м.

В целом в период исследования вода р. Аллах-Юнь характеризовалась малой минерализацией с нейтральной и слабощелочной средой. В ионном составе отмечалось доминирование гидрокарбонатов, сульфатов и кальция. Содержание взвеси достигало 39,8 мг/л, показатель цветности варьировал в пределах от 15,8 до 20,6 градуса, ХПК изменялся от 5 до 9 мг/л.

Превышения нормативов ПДКр/х установлены по меди: в точках наблюдения УМ-4 (ниже устья р. Баягантай) в 1,4, УМ-9 (4 км выше п. Звездочка) в 1,5, УМ-11 (30 км ниже п. Аллах-Юнь) в 1,7 раза. По алюминию и меди в точке наблюдения УМ-3 (ниже дражных полигонов, выше устья р. Бриндакит) – в 2 и 1,3 раза соответственно. По алюминию и железу в точках наблюдения УМ-5 (6 км ниже п. Звездочка) – в 1,8 и 1,4 раза соответственно. Ниже п. Аллах-Юнь (УМ-12) установлены превышения по алюминию в 1,5, по железу и меди в 1,9 раза; выше п. Аллах-Юнь (УМ-14) – по алюминию в 1,3, железу в 1,5 и меди в 1,7 раза.

Особое внимание в водных объектах необходимо обратить на ртуть, которая является опасным загрязняющим веществом, элементом первого класса опасности. В точке наблюдения УМ-3 установлены максимальные

значения превышений нормативов ПДКр/х, достигающие 49 раз. В точке наблюдения УМ-4 (~9 км выше п. Солнечный, ниже мостового перехода) превышения ПДКр/х доходят до 6 раз, в точках УМ-9 – до 3,2, УМ-11 – до 3,7, УМ-12 (10 км ниже п. Аллах-Юнь) – до 13, УМ-14 (около устья ручья, вытекающего с х/х п. Аллах-Юнь) – до 10.

Таким образом, основными загрязняющими веществами в р. Аллах-Юнь являются ртуть, медь, железо и алюминий.

На территории Усть-Майского района расположены объекты, которые не вошли в государственный реестр объектов негативного воздействия на окружающую среду (ГРОНВОС), – это хвостохранилища ГОК «Джугджурзолото» в п. Аллах-Юнь и участок шлифо-обогатительной установки (ШОУ) в п. Звездочка. Данные техногенные водные объекты образованы в ходе разработки месторождений золота и негативно влияют на компоненты наземных и водных экосистем, их площадь и степень воздействия до настоящего времени малоизучены. Поэтому кроме природных водотоков гидрохимические исследования также проведены в техногенных водотоках и водоемах, образованных в хвостохранилищах около п. Звездочка и Аллах-Юнь.

Техногенный водоем около п. Звездочка в период исследования характеризовался малой минерализацией с нейтральной средой. Ионный состав воды – преимущественно гидрокарбонатно-сульфатного класса группы кальция. Содержание взвеси ниже 5 мг/л, показатель цветности достигал 22,6 градуса, величины ХПК – до 9 мг/л.

В зоне влияния техногенного водоема около п. Звездочка превышения нормативов ПДКр/х зафиксированы по ртути и меди в нескольких пунктах: в УМ-6 в 18 раз по меди, в УМ-7 в 2,4 раза по меди, в УМ-7/1 в 16 раз по ртути и 1,8 раза по меди, а также в 1,5 раза по меди и 1,7 раза по ртути на выходе из техногенного водоема в пункте УМ-8.

Вода из хвостохранилища п. Аллах-Юнь в период исследования характеризовалась высокой минерализацией (до 2 г/л) со слабощелочной средой. Ионный состав воды – гидрокарбонатно-сульфатного класса группы кальция и магния. Содержание взвеси ниже 5 мг/л, показатель цветности 19,5 градуса, величина ХПК достигала 39 мг/л.

Отмечались превышения нормативов ПДКр/х по минерализации в 2,1 раза, по магнию в 2,7, по сульфатам в 8,0, по стронцию в 4,3, по железу в 1,5, по молибдену в 3,7 и по меди в 3 раза.

В период исследования вода из техногенного ручья с участка бывшего промприбора хвостохранилища п. Аллах-Юнь имела преимущественно высокую минерализацию до 8 г/л и щелочную среду. Ионный состав воды – гидрокарбонатно-сульфатного класса группы кальция и магния. Показатель цветности достигал 6,7 градуса, концентрация взвешенных веществ составляла 26,5 мг/л, величина ХПК – ниже 5 мг/л.

Установлены превышения нормативов ПДКр/х по минерализации в 7,9, по кальцию в 2,7, по магнию в 8,6, по калию в 1,2, по сульфатам в 36,3, по стронцию в 14,3, по молибдену в 17 и по меди в 1,8 раза.

Остальные изученные показатели всех указанных водотоков и техногенных водоемов находились в пределах нормативов ПДКр/х или ниже чувствительности анализа.

Донные отложения. Для водотоков бассейна р. Алдан на территории юго-востока Якутии впервые проведен химический анализ подвижных форм микроэлементов в донных отложениях с экстракцией ацетатно-аммонийным буферным раствором при pH 4,0. Для ртути рассчитан геофон для валовой формы. Результаты исследований микроэлементного состава, а также pH среды представлены в табл. 2. В связи с отсутствием нормативов ПДК в донных отложениях на территории РФ нами рассчитаны локальный геохимический фон ($n = 17$) (табл. 2), а также коэффициенты концентрации для исследованных водотоков и техногенных водоемов (табл. 3).

В целом исследованные донные отложения рек Алдан, Мая и Сахара характеризуются преимущественно щелочной средой. Для рек Юдома, Домбра, Ундэкэн отмечаются донные

Таблица 2. Состав подвижных форм микроэлементов, валовой формы Hg и pH среды в исследованных донных отложениях бассейна р. Алдан на территории Юго-Восточной Якутии, в мг/кг

Table 2. The composition of mobile forms of microelements, gross form of Hg and pH of the environment in the studied bottom sediments of the Aldan River basin in the territory of South-Eastern Yakutia, in mg/kg

Точки отбора Sampling points	pH водный Water pH	Ni	Mn	Cd	Pb	Co	Cr	Cu	Zn	Fe	Hg
Геофон / Geophone (n=17)	7,8	1,00	149	0,040	2,2	0,6	0,1	0,8	3,3	419	0,10
р. Алдан / Aldan River											
УМ-19	8,0	0,57	94	0,016	0,6	0,4	0,2	0,5	2,8	374	н/о
УМ-21	8,0	0,27	80	0,022	1,5	0,1	0,1	0,3	2,2	199	н/о
р. Мая / Maya River											
УМ-20	8,1	0,40	94	0,031	1,7	0,2	0,1	0,4	4,1	273	н/о
р. Юдома / Yudoma River											
УМ-1	7,7	1,70	119	0,039	7,4	0,6	0,1	1,6	5,0	332	0,06
р. Домбра / Dombra River											
УМ-2	7,6	0,46	64	0,022	2,2	0,2	0,2	0,9	1,7	353	0,13
р. Ундэкэн / Undeken River											
УМ-17	7,5	2,00	436	0,053	3,1	2,0	0,4	1,8	7,4	575	н/о
р. Сахара / Sahara River											
УМ-18	7,9	1,60	508	0,060	5,2	1,4	0,4	1,9	11,6	628	н/о
р. Аллах-Юнь / Allah-Yun River											
УМ-3	7,6	0,81	150	0,043	2,4	0,4	0,1	0,8	2,5	416	н/о
УМ-4	8,0	1,00	167	0,039	1,8	0,4	0,1	0,7	4,2	363	0,11
УМ-9	8,0	0,67	122	0,033	2,1	0,4	0,1	0,7	2,7	374	0,06
УМ-11	8,2	1,20	250	0,028	1,3	0,8	0,1	0,5	4,4	416	0,09
УМ-12	8,2	1,10	162	0,054	1,9	1,0	0,1	0,8	3,1	390	0,07
УМ-14	7,9	0,91	238	0,053	2,9	0,5	0,2	1,1	2,1	469	0,13
Техногенные водоемы / Man-made reservoirs											
УМ-6	7,8	1,50	370	0,068	8,0	1,1	0,2	2,2	4,3	601	0,32
УМ-8	7,8	2,40	370	0,120	5,7	1,9	0,4	1,8	4,4	575	0,03
УМ-13	8,0	1,50	398	0,120	5,4	1,1	0,2	1,5	4,8	601	0,18

Таблица 3. Коэффициенты концентрации подвижных форм микроэлементов в исследованных донных отложениях

Table 3. The concentration coefficients of mobile forms of microelements in the studied bottom sediments

Точки отбора Sampling points	Ni	Mn	Cd	Pb	Co	Cr	Cu	Zn	Fe	Hg
Геофон / Geophone (n=17)	0,9	151,7	0,04	2,0	0,5	0,2	0,7	3,8	394,2	0,10
р. Алдан / Aldan River										
УМ-19	0,6	0,6	0,4	0,3	0,8	1,2	0,7	0,7	0,9	-
УМ-21	0,3	0,5	0,6	0,7	0,2	0,6	0,4	0,6	0,5	-
р. Мая / Maya River										
УМ-20	0,5	0,6	0,8	0,8	0,4	0,6	0,5	1,1	0,7	-
р. Юдома / Yudoma River										
УМ-1	1,9	0,8	1,0	3,7	1,2	0,6	2,2	1,3	0,8	-
р. Домбра / Dombra River										
УМ-2	0,5	0,4	0,6	1,1	0,4	1,2	1,2	0,5	0,9	1,3
р. Ундэкэн / Undeken River										
УМ-17	2,3	2,9	1,4	1,5	3,9	2,3	2,5	2,0	1,4	-
р. Сахара / Sahara River										
УМ-18	1,8	3,4	1,6	2,6	2,7	2,3	2,6	3,1	1,6	-
р. Аллах-Юнь / Allah-Yun River										
УМ-3	0,9	1,0	1,1	1,2	0,8	0,6	1,1	0,7	1,0	-
УМ-4	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,6	1,0	1,1	0,9	-
УМ-9	0,8	0,8	0,9	1,0	0,8	0,6	1,0	0,7	0,9	-
УМ-11	1,4	1,7	0,7	0,6	1,6	0,6	0,7	1,2	1,0	-
УМ-12	1,2	1,1	1,4	0,9	2,0	0,6	1,1	0,8	1,0	-
УМ-14	1,0	1,6	1,4	1,4	1,0	1,2	1,5	0,6	1,2	1,3
Техногенные водоемы / Man-made reservoirs										
УМ-6	1,7	2,5	1,8	3,9	2,2	1,2	3,0	1,1	1,5	3,2
УМ-8	2,7	2,5	3,2	2,8	3,7	2,3	2,5	1,2	1,4	-
УМ-13	1,7	2,6	3,2	2,7	2,2	1,2	2,1	1,3	1,5	1,8

Примечание. Полужирным отмечены коэффициенты концентрации > 1,0.

Note. Concentration coefficients above 1.0 are given in bold.

отложения со слабощелочной средой. В р. Аллах-Юнь на отдельных участках наблюдаются донные отложения со слабощелочной и щелочной средой. Для техногенных участков также характерны донные отложения со слабощелочной и щелочной средой. По коэффициентам концентрации построены ряды накопления подвижных форм микроэлементов, а также валовой формы ртути, которые представлены в табл. 4.

На основе анализа коэффициентов концентрации изученных форм микроэлементов в донных отложениях исследованных водотоков и техногенных водоемов можно сделать вывод об уровне накопления и распределения загрязняющих веществ. В донных отложениях р. Алдан превышений локального геофона по исследованным элементам не установлено. В донных отложениях р. Сахара наиболь-

шие коэффициенты концентрации характерны для марганца и цинка. В донных отложениях р. Юдома выделяется повышенное содержание свинца, в р. Ундэкэн кобальт и марганец проявляют наиболее высокие коэффициенты концентрации, что, вероятно, связано с естественными геохимическими процессами. В донных отложениях р. Домбра по свинцу, меди и железу превышения локального фона незначительные, однако на данном участке проявляется ртуть, содержание которой превышает значения локального фона до 1,3 раза. В донных отложениях р. Мая отмечаются незначительные превышения по цинку.

Во всех исследованных участках р. Аллах-Юнь в донных отложениях установлены превышения локального геофона, наибольший ряд накопления характерен для участков УМ-14 (выше п. Аллах-Юнь) и УМ-12 (ниже п. Аллах-Юнь).

Таблица 4. Ряды накопления изученных форм микроэлементов в донных отложениях водных объектов Юго-Восточной Якутии

Table 4. Accumulation series of the studied forms of microelements in the bottom sediments of the water bodies of South-Eastern Yakutia

Точки наблюдения Observation points		Ряды накопления Accumulation series
р. Алдан Aldan River	УМ-19	Нет превышений / No excess
	УМ-21	Нет превышений / No excess
р. Мая Maya River	УМ-20	Zn _{1,1}
р. Юдома Yudoma River	УМ-1	Pb _{3,7} > Cu _{2,2} > Ni _{1,9} > Zn _{1,3} > Co _{1,2}
р. Домбра Dombra River	УМ-2	Hg _{1,3} > (Cu-Fe) _{1,2} > Pb _{1,1}
р. Ундэкэн Undeken River	УМ-17	Co _{3,9} > Mn _{2,9} > Cu _{2,5} > (Ni-Cr) _{2,3} > Zn _{2,0} > Pb _{1,5}
р. Сахара Sahara River	УМ-18	Mn _{3,4} > Zn _{3,1} > Co _{2,7} > (Cu-Pb) _{2,6} > Cr _{2,3} > Ni _{1,8} > (Fe-Cd) _{1,6}
р. Аллах-Юнь Allah-Yun River	УМ-3	Pb _{1,2} > (Cd-Cu) _{1,1}
	УМ-4	(Ni-Mn-Zn) _{1,1}
	УМ-9	Ni _{1,4} > Zn _{1,2}
	УМ-11	Mn _{1,7} > Co _{1,6} > Zn _{1,2} > Ni _{1,1}
	УМ-12	Co _{2,0} > Cd _{1,4} > Ni _{1,2} > (Mn-Cu) _{1,1}
	УМ-14	Mn _{1,6} > Cu _{1,5} > (Cd-Pb) _{1,4} > Hg _{1,3} > Fe _{1,2}
Техногенные водоемы Man-made reservoirs	УМ-6	Pb _{3,9} > Hg _{3,2} > Cu _{3,0} > Mn _{2,5} > Co _{2,2} > Cd _{1,8} > Ni _{1,7} > Fe _{1,5} > Cr _{1,2} > Zn _{1,1}
	УМ-8	Cd _{3,2} > Pb _{2,8} > Ni _{2,7} > (Mn-Cu) _{2,5} > Cr _{2,3} > Fe _{1,4} > Zn _{1,2}
	УМ-13	Cd _{3,2} > Pb _{2,7} > Mn _{2,6} > Co _{2,2} > Cu _{2,1} > Hg _{1,8} > Ni _{1,7} > Fe _{1,5} > Zn _{1,3} > Cr _{1,2}

На участке ниже п. Аллах-Юнь в донных отложениях выявлена ртуть, концентрация которой выше значений геофона в 1,3 раза. В целом для донных отложений р. Аллах-Юнь характерны такие элементы, как цинк, никель, медь и марганец.

В техногенных водоемах п. Звездочка и хвостохранилищах п. Аллах-Юнь коэффициенты концентрации микроэлементов значительно выше, что подтверждает их техногенное происхождение. В техногенном водоеме п. Звездочка (УМ-6) наибольшие значения характерны для свинца, ртути и кадмия. Аналогичная ситуация наблюдается в пункте УМ-8, где кадмий также имеет высокий коэффициент концентрации. В хвостохранилище п. Аллах-Юнь (УМ-13) выделяются повышенные концентрации свинца, ртути и кадмия, что подтверждает общую тенденцию накопления токсичных элементов в техногенных водоемах.

Зоопланктон. В видовом составе летнего зоопланктона бассейна р. Алдан в пределах Усть-Майского района РС (Я) в конце июня –

начале июля 2024 г. обнаружено 57 видов, принадлежащих к 3 классам, 5 отрядам, 16 семействам, 33 родам. Основу видового разнообразия составляют коловратки (42 %), субдоминантами являются ветвистоусые низшие раки (30 %) и веслоногие низшие ракообразные (28 %). Наиболее широко по числу видов представлено семейство *Cyclopidae* (23 % видового богатства всего зоопланктона, 39 % ракового зоопланктона и 81 % разнообразия *Soropoda*). На втором месте семейство *Brachionidae* (11 % видового богатства всего зоопланктона и 25 % разнообразия *Rotatoria*). Относительно богато представлено семейство *Chydoridae* (9 % видового богатства всего зоопланктона, 15 % ракового зоопланктона и 29 % разнообразия *Cladocera*). Фаунистический состав зоопланктона исследованных водоемов и водотоков был представлен широко распространенными в Палеарктике организмами. Подавляющее большинство видов являются космополитами и обладают широкой экологической валентностью.

Относительно высокие показатели числа видов, численности и биомассы зоопланктона зафиксированы в пробах из техногенного водоема на участке ШОУ п. Звездочка (УМ-20), на выходе из водоема от промприбора (УМ-15), где в момент отбора проб был расположен накопитель жидких бытовых отходов п. Звездочка. На остальных пунктах отбора проб определено до 7 видов (табл. 5). Во многих пробах отсутствовали представители группы фильтраторов – ветвистоусых ракообразных, что характерно для холодноводных

горных рек с быстрым течением бассейна р. Алдан.

Очень высокие показатели численности альфасапробных коловраток рода *Brachionus* (индикаторов загрязнения биогенными элементами) зафиксированы в пробах из техногенного водоема на участке ШОУ п. Звездочка (69 000 экз./м³) и на выходе из него (8000 экз./м³), что свидетельствует о загрязнении исследуемых вод биогенными элементами, поступающими с жидкими бытовыми отходами п. Звездочка.

Таблица 5. Усредненные структурные показатели зоопланктона р. Аллах-Юнь

Table 5. Average structural indicators of zooplankton of the Allah-Yun River

Водные объекты по участкам Water bodies by area	Число видов Number of species	Численность и биомасса основных групп Number and biomass of the main groups			Массовые виды (сапробность) Dominant species (saprobity)
		Rotatoria	Cladocera	Сорепода	
УМ-3 р. Аллах-Юнь, л. б., выше устья р. Брендакит Allah-Yun River, l. b., upstream of the mouth of the Brendakit River	1	10 0,02	0	40 1,73	молодь / juvenile Cyclopoidae
УМ-4 р. Аллах-Юнь, л. б., 9 км выше п. Солнечный Allah-Yun River, l. b., 9 km upstream of the Solnechny Settlement	4	0	10 0,6	80 2,21	«
УМ-5 р. Аллах-Юнь, пр. б., 6 км ниже п. Звездочка Allah-Yun River, r. b., 6 km downstream from the Zvezdochka Settlement	3	0	0	40 1,24	«
УМ-6 котловина промприбора (ШОУ) п. Звездочка The tailings settling pond (GCP) near the Zvezdochka Settlement	20	69000 119,7	8000 480	5040 130,57	<i>Asplanchna priodonta</i> (o-b), <i>Brachionus</i> (a), <i>Bosmina</i>
УМ-7 выход из котловины Outflow from the pond	15	8000 10,4	1040 61,19	3040 49,4	<i>Filinia</i> , <i>Brachionus</i> (a)
УМ-8 сброс с котловины на р. Аллах-Юнь Discharge from the pond into the Allah-Yun River	7	120 0,167	40 1,98	60 0,82	<i>Brachionus</i> (a), <i>Bdelloida</i> , молодь / juvenile Cyclopoidae
УМ-9 р. Аллах-Юнь, пр. б., 4 км выше п. Звездочка Allah-Yun River, r. b., 4 km upstream of the Zvezdochka Settlement	1	0	0	40 1,73	молодь / juvenile Cyclopoidae
УМ-11 р. Аллах-Юнь, пр. б., 30 км ниже п. Аллах-Юнь Allah-Yun River, r. b., 30 km downstream from the Allakh-Yun Settlement	4	10 0,02	10 0,6	60 2,04	«
УМ-12 р. Аллах-Юнь, пр. б., 10 км ниже п. Аллах-Юнь Allah-Yun River, r. b., 10 km downstream from the Allakh-Yun Settlement	3	0	0	40 2,28	«
УМ-13/1 р. Аллах-Юнь, пр. б., около устья ручья с х/х п. Аллах-Юнь Allah-Yun River, r. b., near the mouth of the stream from the range, the Allakh-Yun Settlement	4	0	50 3	80 2,76	<i>Bosmina</i> , молодь / juvenile Cyclopoidae
УМ-14 р. Аллах-Юнь, пр. б., выше п. Аллах-Юнь Allah-Yun River, r. b., upstream of the Allakh-Yun Settlement	4	0	20 1,2	90 4,4	<i>Cyclops scutifer</i> , молодь / juvenile Cyclopoidae

Примечание. Над чертой – численность (экз./м³); под чертой – биомасса (мг/м³).

Note. Abundance (ind./m³) is shown above the line; biomass (mg/m³) – below the line.

В среднем течении р. Аллах-Юнь на участках с длительным техногенным воздействием в русле реки во многих пунктах отбора проб зафиксированы крайне низкие количественные показатели зоопланктона, отмечалось нарушение сообщества (отсутствовали коловратки и ветвистоусые ракообразные). Последний факт требует более детальных многолетних мониторинговых исследований летнего зоопланктона.

Заключение

В бассейне среднего течения р. Аллах-Юнь установлена четкая вертикальная зональность почв, отражающая климатические и геологические особенности района исследования. Основными типами почв являются мерзлотные подбуры и слаборазвитые почвы, а в долинных ландшафтах преобладают аллювиальные почвы, часто трансформированные под техногенным воздействием. В результате исследований выявлены участки значительной техногенной трансформации почв, сопровождающейся накоплением тяжелых металлов, таких как Hg, Pb, Cd.

Гидрохимический анализ водотоков на территории Усть-Майского района показал, что природные водотоки имеют низкую минерализацию со слабощелочной или нейтральной средой, с преобладанием гидрокарбонатного класса ионов кальция и магния. Выявлены локальные превышения ПДКр/х по железу, меди, алюминию и особенно ртути – элементу первого класса опасности, концентрации которого в отдельных реках, таких как Аллах-Юнь и Мая, значительно выше допустимых норм. Хвостохранилища в районе поселков Аллах-Юнь и Звездочка являются основными источниками загрязнения, демонстрируя высокие уровни минерализации (до 8 г/л) и содержания тяжелых металлов, включая ртуть, – до 16 ПДКр/х. В донных отложениях зафиксировано накопление загрязнителей как природного, так и техногенного происхождения, при этом наибольшие концентрации тяжелых металлов наблюдаются в зонах влияния золотодобычи.

В целом высокие содержания тяжелых металлов, таких как ртуть, свинец, цинк и никель, зафиксированные в почвах техногенных участков, коррелируют с загрязнением поверхностных вод. Ртуть, выявленная во всех компонентах экосистемы, является сквозным загрязняющим веществом. Подвижные формы цинка и свинца в почвах способствуют их переносу и накоплению в донных отложениях, где зафиксированы значительные превышения геохимического фона.

Экологическое состояние водных экосистем нарушено вследствие техногенного воздействия на водные объекты. Например, на участке р. Аллах-Юнь с преобразованным руслом отмечено выпадение коловраток и ветвистоусых ракообразных, что указывает на угнетающее действие высоких концентраций загрязняющих веществ на водные организмы.

Полученные результаты подчеркивают необходимость долгосрочных мониторинговых исследований и экологической реабилитации объектов, таких как хвостохранилища в районе п. Аллах-Юнь и Звездочка, которые должны быть внесены в ГРОНВОС. В бассейне р. Аллах-Юнь антропогенный вклад имеет решающее значение: превышения ПДКр/х по ртути, меди и свинцу в почвах и поверхностных водах четко приурочены к зонам золотодобычи.

Очевидно, что проведение комплексных экологических исследований на территории Усть-Майского района Республики Саха (Якутия) является необходимым и важным шагом для сохранения уникальных природных экосистем Юго-Восточной Якутии, минимизации антропогенного воздействия и обеспечения устойчивого развития Республики Саха (Якутия).

Литература

Абакумов В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод, донных отложений. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. С. 59–78.

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1953. 296 с.

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Анисимова Г. С., Кондратьева Л. С., Серкебаева Е. С. Нетрадиционные типы золотого оруденения в карбонатных комплексах Сетте-Дабан // Отечественная геология. 2001. № 5. С. 59–62.

Атлас сельского хозяйства Якутской АССР / Гос. агропром. ком. Якут. АССР, Гос. ком. РСФСР по нар. образованию, Якут. гос. ун-т; редкол.: И. А. Матвеев и др. М.: ГУГК, 1989. 115 с.

Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: Зоол. ин-т, 1979. С. 58–72.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов и гидрохимических исследований на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва, АН СССР, Зоол. ин-т. Л., 1982. 33 с.

Кириллов А. Ф., Ходулов В. В., Книжин И. Б., Венедиков С. Ю., Иванов Е. В., Салова Т. А., Свердлова Т. В., Собакина И. Г., Соколова В. А., Соломонов Н. М., Ушицкая Л. А., Федорова Е. А., Шахтарин Д. В. Экологический мониторинг гидробионтов

среднего течения реки Лены. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2009. 174 с.

Кондратьева Л. А., Анисимова Г. С., Серкебаева Е. С. Структурный контроль и зональность золотого оруденения центральной части Сетте-Дабанского горст-антиклиниория // Отечественная геология. 1999. № 4. С. 9–11.

Охлопков И. И., Пестрякова Л. А. Оценка качества воды реки Аллах-Юнь (бассейн Алдан) // Успехи современного естествознания. 2011. № 8. С. 55–56.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 года № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Салова Т. А., Николаева Н. А. Гидробиологические и гидрохимические исследования воды среднего течения реки Алдан // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. Ст. 625. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23456> (дата обращения: 31.01.2025).

Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

References

Abakumov V. A. A guide to methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1983. P. 59–78. (In Russ.)

Alekin O. A. Fundamentals of hydrochemistry. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1953. 296 p. (In Russ.)

Andronikova I. N. Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types. St. Petersburg: Nauka; 1996. 189 p. (In Russ.)

Anisimova G. S., Kondrat'eva L. S., Serkebaeva E. S. Unconventional types of gold mineralization in carbonate complexes of Sette-Daban. *Otechestvennaya geologiya = Russian Geology and Geophysics*. 2001;5: 59–62. (In Russ.)

Matveev I. A. et al. (eds.). *Atlas of agriculture of the Yakut ASSR*. Moscow: GUGK; 1989. 115 p. (In Russ.)

Balushkina E. V., Vinberg G. G. Relationship between length and body weight of planktonic crustaceans. *Eksperimental'nye i polevyye issledovaniya biologicheskikh osnov produktivnosti ozer = Experimental and field studies of the biological basis of lake productivity*. Leningrad: Zool. in-t, 1979. P. 58–72. (In Russ.)

Kirillov A. F., Khodulov V. V., Knizhin I. B., Venediktov S. Yu., Ivanov E. V., Salova T. A., Sverdlova T. V., Sobakina I. G., Sokolova V. A., Solomonov N. M., Ushnitskaya L. A., Fedorova E. A., Shakhtar D. V. Ecological monitoring of hydrobionts of the middle stream of the Lena River. Yakutsk: YaNTs SO RAN; 2009. 174 p. (In Russ.)

Kondrat'eva L. A., Anisimova G. S., Serkebaeva E. S. Structural control and zoning of gold mineralization in the central part of the Sette-Daban horst-anticlinorium. *Otechestvennaya geologiya = Russian Geology and Geophysics*. 1999;4:9–11. (In Russ.)

Methodological recommendations for the collection and processing of materials and hydrochemical studies in freshwater reservoirs. Zooplankton and its production. Leningrad; 1982. 33 p. (In Russ.)

Okhlopkov I. I., Pestyakova L. A. Water quality assessment of the Allakh-Yun River (Aldan basin). *Uspishi sovremennoego estestvoznanija = Advances in Current Natural Sciences*. 2011;8:55–56. (In Russ.)

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 No. 552 *On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water bodies of fishery importance*. (In Russ.)

Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of January 28, 2021 No. 2 *On approval of sanitary rules and norms SanPIN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans*. (In Russ.)

Salova T. A., Nikolaeva N. A. Hydrobiological and hydrochemical studies of water in the middle reaches of the Aldan River. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2015;6:625. (In Russ.). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23456> (accessed: 31.01.2025).

Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., Gerasimova M. I. Classification and diagnostics of soils in Russia. Smolensk: Oikumena; 2004. 342 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 12.02.2025; принята к публикации / accepted: 29.09.2025.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Данилов Петр Петрович

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией мерзлотов почв

e-mail: DanPP@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Danilov, Petr

Cand. Sci. (Biol.), Head of Laboratory, Leading Researcher

Ксенофонтова Марта Ивановна

канд. геогр. наук, старший научный сотрудник
лаборатории физико-химических методов анализа

e-mail: ksemaria@mail.ru

Собакина Ирина Григорьевна

научный сотрудник лаборатории прикладной зоологии
e-mail: alonella@yandex.ru

Попова Алена Гаврильевна

инженер-исследователь лаборатории физико-химических
методов анализа

e-mail: palena1992@mail.ru

Макаров Виктор Семенович

канд. биол. наук, старший научный сотрудник
лаборатории промышленной ботаники
и экологического картографирования

e-mail: mvs379@yandex.ru

Ksenofontova, Marta

Cand. Sci. (Geog.), Senior Researcher

Sobakina, Irina

Researcher

Popova, Alena

Research Engineer

Makarov, Victor

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

УДК 598.25

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УСПЕШНОСТЬ ГНЕЗДОВАНИЯ ГАГИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*SOMATERIA MOLLISSIMA*) В УСЛОВИЯХ СБОРА ПУХА В ОНЕЖСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ

Н. А. Горяшко¹, М. В. Самулеева^{2*}, Ю. А. Быков³

¹ Ассоциация специалистов по изучению и сохранению птиц «Рабочая группа по гусеобразным Северной Евразии» (ул. Нижегородская, 70, корп. 1г, Москва, Россия, 109052)

² НОЧУ ВО «Московский институт психоанализа» (Кутузовский пр., 34, стр. 14, Москва, Россия, 121170), *samuleeva@gmail.com

³ Национальный парк «Мещера» (ул. Интернациональная, 111, Гусь-Хрустальный, Владимирская обл., Россия, 601501)

Пух гаги обыкновенной (*Somateria mollissima*) считается лучшим естественным утеплителем. В настоящее время в России регулярный коммерческий сбор пуха ведется только на островах Онежского залива Белого моря. Пух собирают из гнезд во время периода насиживания, что потенциально может представлять угрозу для их выживания. В 2020–2024 гг. мы провели оценку численности и сроков гнездования гаг в основных районах сбора пуха в Онежском заливе, а также оценку степени влияния различных внешних факторов на успешность гнездования в условиях сбора пуха. Проведенный в 2021–2023 гг. полевой эксперимент по оценке индивидуальной выживаемости гнезд по методу Мейфилда показал, что на успешность гнездования влияют сроки посещения острова человеком и присутствие пернатых хищников. Показано, что на островах Онежского залива возможно использование метода сбора пуха с заменой его на сено. Однако критически важным фактором являются сроки проведения сбора пуха, поскольку беспокойство птиц на ранних стадиях насиживания повышает вероятность гибели гнезд. Авторы обращают особое внимание на то, что результаты данного исследования могут быть применимы для обоснования сбора пуха только в Онежском заливе Белого моря; планирование коммерческого сбора пуха в иных районах требует проведения специальных исследований. Предлагаются рекомендации по организации сбора гагачьего пуха, обосновывается необходимость принятия законов, регулирующих сбор пуха.

Ключевые слова: гага обыкновенная; сбор пуха; антропогенное влияние; успешность гнездования; полевой эксперимент; Онежский залив; Белое море

Для цитирования: Горяшко Н. А., Самулеева М. В., Быков Ю. А. Факторы, влияющие на успешность гнездования гаги обыкновенной (*Somateria mollissima*) в условиях сбора пуха в Онежском заливе Белого моря // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 20–34. doi: 10.17076/eco2002

Финансирование. Исследование проведено при поддержке НОЧУ ВО «Московский институт психоанализа», Ассоциации специалистов по изучению и сохранению птиц «Рабочая группа по гусеобразным Северной Евразии».

N. A. Goryashko¹, M. V. Samuleeva^{2*}, Yu. A. Bykov³. FACTORS AFFECTING THE NESTING SUCCESS OF THE COMMON EIDER (*SOMATERIA MOLLISSIMA*) IN THE COURSE OF EIDERDOWN COLLECTION IN ONEGA BAY OF THE WHITE SEA

¹Goose, Swan, and Duck Study Group of Northern Eurasia (70 Nizhegorodskaya St., building 1g, 109052 Moscow, Russia)

²Moscow Institute of Psychoanalysis (34 Kutuzovsky Ave., building 14, 121170 Moscow, Russia), *samuleeva@gmail.com

³Meshera National Park (111 Internatsionalnaya St., 601501 Gus-Khrustalny, Vladimir Region, Russia)

The down of the common eider (*Somateria mollissima*) rates as one of the best natural heat insulation materials. Onega Bay of the White Sea is the only place in Russia where regular commercial collection of eider down is currently carried out. Down is collected from nests during the incubation time, which can potentially pose a threat to the nest survival. In 2020–2024 we assessed the common eider abundance and nesting time in the main down collection areas. We also assessed the influence of various external factors on the nest survival in the course of down collection. In 2021–2023 we conducted a field experiment based on the Mayfield method to assess individual nest survival. The experiment showed that nesting success depended on the timing of human intervention and the presence of predatory birds. We found that an acceptable method of collecting down on islands in Onega Bay is to replace down with hay and then cover up the nest. However, the timing of down collection is critical, as disturbance of birds in the early stages of incubation can lead to nest failures. It is emphasized that the results of this study apply only to Onega Bay of the White Sea, while planning of commercial down collection in other areas requires specialized studies. Here, we propose recommendations for the management of eider down collection, and substantiate the need for laws to regulate it.

Keywords: common eider; down collection; human impact; nesting success; field experiment; Onega Bay; White Sea

For citation: Goryashko N. A., Samuleeva M. V., Bykov Yu. A. Factors affecting the nesting success of the common eider (*Somateria mollissima*) in the course of eiderdown collection in Onega Bay of the White Sea. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 20–34. doi: 10.17076/eco2002

Funding. The research was co-funded by the Moscow Institute of Psychoanalysis and the Goose, Swan, and Duck Study Group of Northern Eurasia.

Введение

Гнездовой пух гаги обыкновенной (*Somateria mollissima* L.) используется в качестве утеплителя в ряде Скандинавских стран, в Северной Америке и России на протяжении длительного времени, при этом практика сбора пуха существенно различается. В Скандинавских странах (Исландия, Норвегия) сбор гагачьего пуха имеет наиболее продолжительную историю: он ведется как минимум с XVII века. За это время сформировался институт гагачьих хозяйств (ферм), находящихся в частной собственности. Владельцы хозяйств заинтересованы в сохранении и увеличении численности гаг и на протяжении поколений эмпирическим путем выработали безвредные для птиц методы сбора пуха, адаптированные к конкретной территории [Горяшко, 2020]. В Северной Америке массовый сбор пуха начался только в конце XIX – начале XX века и к настоя-

щему времени осуществляется лишь на очень ограниченных территориях, которые находятся в частной собственности или долгосрочной аренде. Сбор пуха здесь контролируется профессиональными орнитологами, разработавшими максимально безопасные для птиц методы сбора [Bédard et al., 2008]. Кроме того, и в Скандинавских странах, и в Северной Америке существуют законы, на государственном уровне регулирующие сбор гагачьего пуха [Горяшко, 2020].

В России, напротив, сбор пуха на протяжении всей его истории происходил стихийно, на общественных территориях и не регулировался законодательно. Беспорядочный сбор пуха, который совмещался с охотой и сбором яиц, привел к существенному снижению численности популяций гаг Белого и Баренцева морей. Об этом писали многие исследователи, но точных количественных данных о влиянии сбора пуха на успешность гнездования они

не собирали [Озерецковский, 1773; Данилевский, 1860; Журавский, 1908; Демме-Рябцева, 1946 и др.]. В 1930-х годах для охраны гаги были созданы два заповедника: «Кандалакшский» на Белом море (1932 г.) и «Семь островов» на Баренцевом (1938 г.). До начала 1990-х годов массовый сбор пуха в России проводился только на территории этих заповедников силами научных сотрудников, после окончания гнездования, поэтому не наносил ущерба птицам [Горяшко, 2020]. С 1990-х годов, после долгого перерыва, коммерческий сбор гагачьего пуха в России начал возрождаться. Основным местом сбора стали острова Онежского залива, привлекательные для сборщиков обилием гаг (4,7–5,5 тыс. особей [по: Черенков и др., 2014]), легкой транспортной доступностью и отсутствием природоохранного статуса; в настоящее время сбор пуха здесь ведут несколько коммерческих компаний.

Таким образом, к настоящему моменту ключевые характеристики сбора гагачьего пуха в России являются такими же, какими они были в XVIII веке: сбор производится на общественных территориях, не регулируется законом, его последствия не отслеживаются. Сборщики заинтересованы в получении максимально чистого пуха, поэтому производят сбор не после окончания, а в течение гнездового периода, ближе к его началу, что может оказывать негативное влияние на состояние популяции. Для предупреждения негативных последствий коммерческого сбора пуха и последующей его регуляции необходимо исследовать влияние сбора пуха на успешность гнездования гаг – этот вопрос в России практически не изучен.

Успешность гнездования обыкновенной гаги зависит от целого ряда внутренних и внешних факторов. Такими факторами могут быть уровень пролактина у самки и влияющие на него возраст, физическое состояние, а также стрессирующие факторы [Angelier, Chastel, 2009; Angelier et al., 2016; Smiley, 2019; Mohring et al., 2024]; состояние растительного покрова и влияние хищников [Tomlik et al., 2023], колониальный или одиночный тип гнездования [Hennig, 2022], а также тип искусственных укрытий в условиях гагачьих ферм [Noel et al., 2023].

Одним из основных факторов, влияющих на успешность гнездования гаги, является антропогенное беспокойство. Оно многократно увеличивает вероятность нападения пернатых хищников на гнезда и выводки и успешность таких нападений [Корякин, 1986; Корякин, Краснов, 1989; Stien, Ims, 2016]. Неоднократно показано, что вероятность разорения гнезд повышается, если человек посетил гнездовые

на ранних стадиях насиживания, когда самки с большей вероятностью бросают гнезда [Модестов, 1967; Bolduc, Guillemette, 2003; Тертицкий и др., 2023]. При этом сроки посещения гнездовых колоний человеком оказывают гораздо большее влияние, чем частота этих посещений [Bolduc, Guillemette, 2003].

Процедура сбора пуха также является разновидностью антропогенного беспокойства, сочетающегося с прямым вмешательством в жизнь гнезда, из которого изымается пуховая подстилка (по разным методикам частично или полностью с заменой пуха на сено).

Цель нашей работы состоит в оценке различных факторов, которые могут влиять на успешность гнездования гаг в условиях сбора пуха в Онежском заливе Белого моря. В частности: влияния замены пуховой выстилки гнезда на сено в масштабах одного и нескольких сезонов; влияния сроков посещения гнездовий человеком; типа расположения гнезда и наличия естественных врагов гаги в местах гнездования. Понимание механизма воздействия этих факторов дает возможность разработать минимально травматичную для птиц методику сбора пуха. Данное исследование является частью многолетнего проекта «Изучение влияния сбора пуха обыкновенной гаги в Онежском заливе Белого моря на успешность гнездования», начатого в 2019 году под эгидой Рабочей группы по гусеобразным Северной Евразии [Горяшко, 2019, 2020; Горяшко и др., 2023].

Материалы и методы

Описание района исследований. Онежский залив – южный залив Белого моря, северной границей которого считается линия, проходящая с запада на восток от м. Маркнаволок до м. Горболукского [Лоция..., 1957]. Его протяженность с северо-запада на юго-восток – около 175 км, наибольшая ширина – 110 км, площадь составляет около 12 300 км², средняя глубина – около 19 м [Бабков, 1985]. В акватории залива расположено около 1900 островов разного размера: от десятков квадратных метров до десятков квадратных километров, однако лишь около трети из них пригодны для гнездования морских птиц [Семашко и др., 2012].

Работа проводилась в Онежском заливе: на архипелаге Кемские шхеры, а также на отдельных островах, расположенных в 35–60 км к северу и в 100 км к югу от Кемских шхер. Кемские шхеры были основным районом работ, на южных и северных островах собирали преимущественно данные о сроках гнездования.

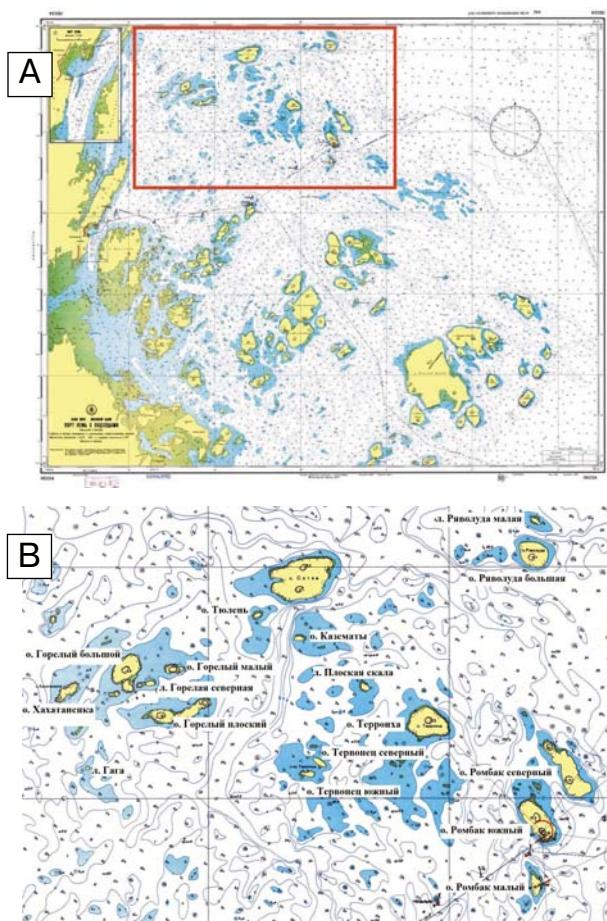


Рис. 1. Карта района работ:

А – расположение района работ в Онежском заливе; красным прямоугольником обозначен архипелаг Кемские шхеры. В – архипелаг Кемские шхеры

Fig. 1. Study area map:

А – location of the study area in Onega Bay. The red rectangle marks the Kem Skerries Archipelago. В – the Kem Skerries Archipelago

Архипелаг Кемские шхеры расположен в северной части Поморского берега Белого моря, вблизи г. Кемь, и включает более сотни островов. Мы обследовали 16–18 (в разные годы) островов, на которых расположены наиболее многочисленные и компактные гнездовые колонии гаг (рис. 1). Эти острова представляют собой большей частью пологие скалистые луды с тундровой растительностью площадью от 0,3 до 26,2 га.

Растительный покров образован в основном вороникой (*Empetrum hermafroditum* Hagerup), местами растет морошка (*Rubus chamaemorus* L.), и лишь в понижениях и по краям луд присутствуют злаковые луговины. Из древесной растительности в небольшом количестве произрастает можжевельник (*Juniperus sibirica* Burgsd.) и существенно реже филиколистная ива (*Salix phylicifolia* L.), из деревьев –

низкорослые береза (*Betula subarctica* Orlova) и осина (*Populus tremula* L.).

Характерной особенностью многих луд являются россыпи и нагромождения валунов, а также штормовые выбросы бревен.

Острова на северном и южном участках работ соответствуют этому описанию, но отличаются большими размерами: от 7 до 38,5 га. Кроме того, на островах южного участка сильнее развита травянистая растительность.

Методика. Работа проводилась в 2020–2024 гг. во второй-третьей декаде июня – в период массового гнездования гаг и сбора пуха. Острова посещали совместно со сборщиками пуха одной из коммерческих компаний. На островах проводили учет гнезд гаги по методике массовых учетов морских и околоводных птиц, принятой в Кандалакшском заповеднике [Корякин, Горяшко, 1995]. Данная методика предусматривает сплошной учет всех гнезд гаги, включая погибшие (брошенные, разоренные), учет трупов гаг, фиксацию встреч хищников и следов их деятельности, фиксацию признаков антропогенного воздействия. Для каждого гнезда гаги определяли степень насиженности яиц с помощью водного теста [Меднис, 1972]. На островах северного и южного участков оценку степени насиженности яиц проводили выборочно.

В работе на каждом острове принимали участие от 3 до 7 человек: 3–4 участника нашей экспедиции и 1–3 сборщика пуха. Все участники работ шли единой цепью, при этом участники экспедиции контролировали процесс сбора пуха. Процедура сбора пуха состоит в том, что сборщики аккуратно вынимают из гнезда все яйца, затем изымают из гнезда весь пух и выстилают лунку принесенным с собой специально заготовленным и высушеным сеном, затем укладывают яйца в гнездо и закрывают их сеном сверху. Из гнезд с птенцами пух не изымают. Через 7–11 дней мы посещали каждый остров повторно, вновь проводя сплошной учет всех гнезд гаги.

В 2021–2023 гг. мы провели на островах Кемских шхер полевой эксперимент. Обследуемые острова разделили на две группы: экспериментальную и контрольную. В экспериментальной в 2021–2022 гг. во время первичного обследования сборщики заменяли пух в гнездах на сено. В контрольной группе такую замену не производили. В 2023 году ни сбор пуха, ни замена пуха на сено при первичном обследовании не проводились (но поскольку деление островов на группы сохранилось, далее в тексте мы продолжаем их называть экспериментальной и контрольной). При формировании экспериментальной и контрольной групп

их выравнивали, насколько это возможно, учитывая географическое расположение, биотопы, размеры островов и количество гнезд на них. Из собранных в 2024 г. материалов в данной работе использованы только те, которые касаются оценки влияния пернатых хищников (Результаты и обсуждение, п. 4).

Кроме того, начиная с 2022 г. для каждого гнезда описывали биотоп (камни/скала, бревна, луг, можжевельник и т. п.) и степень открытости гнезда. К категории «закрытое» относились гнезда, где самка почти или полностью не видна; к категории «полузакрытое» – гнезда, где насижающая самка была частично закрыта, но хорошо видна под определенным углом зрения; к категории «открытое» – гнезда, где насижающая самка была хорошо видна со всех сторон (рис. 2).

Около каждого гнезда мы устанавливали метку с индивидуальным номером (рис. 3). Метка представляла собой деревянный кол длиной 0,3–0,5 м, установленный на расстоянии 0,2–1 м от гнезда (в зависимости от биотопа). Номер наносили с помощью водостойкого маркера.

При повторном обследовании помеченных гнезд фиксировали их состояние: неуспешное или успешное. Успешным считали гнездо, где либо продолжалось насиживание, либо вылупился хотя бы один птенец, что определяли по наличию птенцов или подскорлуповых оболочек, оставшихся в гнезде после вылупления. Неуспешными – разоренные или брошенные гнезда. Разделение между разоренными и брошенными гнездами не проводилось, т. к. мы не имели возможности определить, было ли гнездо разорено хищниками сразу после вслугивания самки или же самка сначала бросила гнездо, которое впоследствии было разорено. Если насиживание продолжалось, повторно проводили водный тест. На основании двукратной проверки оценивали вероятность выживания по методу Мейфилда [Mayfield, 1975].

Для первичной обработки данных использовали программу MS Excel. Статистическую обработку данных проводили в среде R, для проверки наличия связи между сбором пуха и успешностью гнездования использовали коэффициент хи-квадрат, для установления силы связи использовали бисериальный коэффициент корреляции.

При повторной проверке на некоторых островах мы обнаруживали небольшое количество (1–9) новых гнезд, появившихся после нашего первого посещения. Эти гнезда включены в данные по общему количеству гнезд на каждом острове, но не учитывались при расчетах оценки вероятности выживания и успешности гнездования, а также сроков начала насиживания.

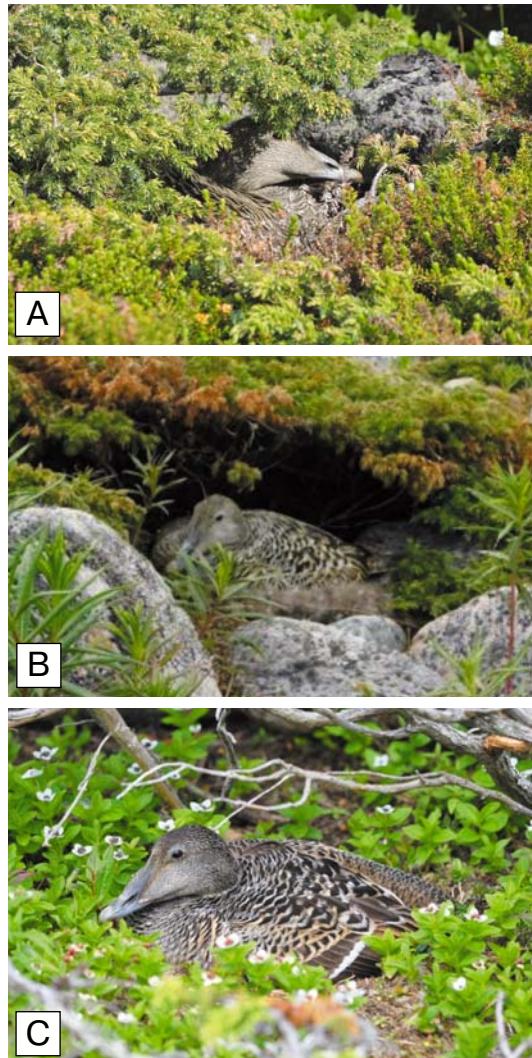


Рис. 2. Степень укрытия гнезда: А – закрытое, В – полузакрытое, С – открытое. Фото Н. А. Горяшко, Ю. А. Быкова

Fig. 2. Degree of nest covering: A – fully covered; B – semi-covered; C – non-covered. Photo by N. A. Goryashko, Yu. A. Bykov

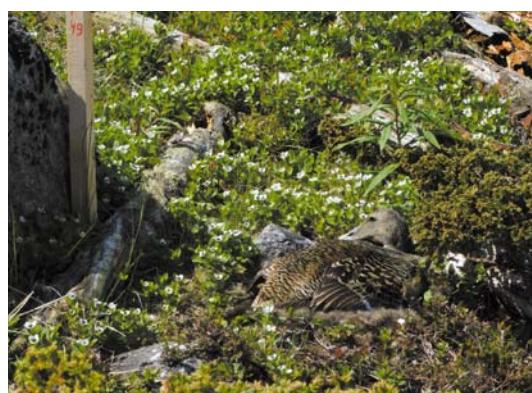


Рис. 3. Самка гаги на гнезде с индивидуальной меткой. Фото Н. А. Горяшко

Fig. 3. Female eider on a nest with an individual mark. Photo by N. A. Goryashko

Результаты и обсуждение

1. Зависимость успешности гнездования от сбора пуха

Данные по успешности гнездования получены на основе помеченных гнезд в течение трех полевых сезонов: в 2021 г. – 367 гнезд на 14 островах; в 2022 г. – 372 гнезда на 16 островах и в 2023 г. – 297 гнезд на 13 островах. Количество успешных и разоренных гнезд подсчитали для каждого из обследованных островов (табл. 1).

За первые два года эксперимента на момент повторного обследования разоренными оказывались от 6 до 25 % гнезд. Это не превышает среднего многолетнего показателя для Онеж-

ского залива, полученного для островов, где пух не собирают вообще [Черенков и др., 2014].

Доля успешных гнезд экспериментальной группы не была достоверно ниже, чем контрольной ($\chi^2 = 5,123$, $p = 0,024$; $\chi^2 = 0,689$, $p = 0,407$ в 2021 и 2022 гг. соответственно). Более того, в 2021 г. доля успешных гнезд в экспериментальной группе (где пух меняли на сено) была достоверно выше, чем в контрольной группе.

В 2023 г. по техническим причинам сбор пуха на островах при первой проверке не производился, но мы продолжали работу по мечению с повторной проверкой гнезд. Доли успешных и разоренных гнезд в экспериментальной и контрольной группе островов в этом году также значимо не отличаются ($\chi^2 = 0,583$, $p = 0,446$).

Таблица 1. Число успешных и неуспешных гнезд на островах экспериментальной и контрольной групп
Table 1. Number of successful and unsuccessful nests on the islands of the experimental and control groups

Острова Island	2021			2022			2023			
	Всего, n Total, n	Успешные, n (%) Successful, n (%)	Неуспешные, n (%) Unsuccessful, n (%)	Всего, n Total, n	Успешные, n (%) Successful, n (%)	Неуспешные, n (%) Unsuccessful, n (%)	Всего, n Total, n	Успешные, n (%) Successful, n (%)	Неуспешные, n (%) Unsuccessful, n (%)	
Контрольная группа Control group	Горелый Большой Gorely Bolshoy	23	12 (52,2)	11 (47,8)	14	12 (85,7)	2 (14,3)	26	23 (88,5)	3 (11,5)
	Горелый Плоский Gorely Plosky	28	24 (85,7)	4 (14,3)	35	31 (88,6)	4 (11,4)	28	22 (78,6)	6 (21,4)
	Казематы Kazematy	35	25 (71,4)	10 (28,6)	21	14 (66,7)	7 (33,3)	11	11 (100,0)	0 (0,0)
	Плоская Скала Ploskaya Skala	15	13 (86,7)	2 (13,3)	17	14 (82,4)	3 (17,6)	4	4 (100,0)	0 (0,0)
	Ромбак Северный Rombak Severny	13	8 (61,5)	5 (38,5)	16	11 (68,8)	5 (31,3)	26	22 (84,6)	4 (15,4)
	Ряволуда Большая* Ryavoluda Bolshaya*	12	9 (75,0)	3 (25,0)	9	8 (88,9)	1 (11,1)	-	-	-
	Тервонец Северный Tervonetz Severny	43	33 (76,7)	10 (23,3)	37	31 (83,8)	6 (16,2)	33	33 (100,0)	0 (0,0)
	Хахатаненка Hahatanenka	26	23 (88,5)	3 (11,5)	43	36 (83,7)	7 (16,3)	35	33 (94,3)	2 (5,7)
	Всего островов контрольной группы Control group, in total	195	147 (75,4)	48 (24,6)	192	157 (81,8)	35 (18,2)	163	148 (90,8)	15 (9,2)

Окончание табл. 1
Table 1 (continued)

Острова Island	2021			2022			2023			
	Всего, n Total, n	Успешные, n (%) Successful, n (%)	Неуспешные, n (%) Unsuccessful, n (%)	Всего, n Total, n	Успешные, n (%) Successful, n (%)	Неуспешные, n (%) Unsuccessful, n (%)	Всего, n Total, n	Успешные, n (%) Successful, n (%)	Неуспешные, n (%) Unsuccessful, n (%)	
Экспериментальная группа Experimental group	Гага Gaga	4	4 (100,0)	0 (0,0)	9	8 (88,9)	1 (11,1)	7	7 (100,0)	0 (0,0)
	Горелые Сев. и Малый** Gorely Severny and Gorely Maly**	23	20 (87,0)	3 (13,0)	32	28 (87,5)	4 (12,5)	38	37 (97,4)	1 (2,6)
	Половинные*** Polovinnye***	-	-	-	16	11 (68,8)	5 (31,3)	15	10 (66,7)	5 (33,3)
	Ромбак Малый**** Rombak Maly****	51	44 (86,3)	7 (13,7)	42	28 (66,7)	14 (33,3)	45	38 (84,4)	7 (15,6)
	Ряволуда Малая Ryavoluda Malaya	20	18 (90,0)	2 (10,0)	24	19 (79,2)	5 (20,8)	18	18 (100,0)	0 (0,0)
	Тервонец Южный Tervonrtz Yuzchnyy	46	38 (82,6)	8 (17,4)	42	38 (90,5)	4 (9,5)	39	36 (92,3)	3 (7,7)
	Тюлень Tulen	28	22 (78,6)	6 (21,4)	15	9 (60,0)	6 (40,0)	12	12 (100,0)	0 (0,0)
	Всего островов эксперимен- тальной группы Experimental group, in total	172	146 (84,9)	26 (15,1)	180	130 (72,2)	50 (21,7)	133	124 (93,2)	9 (6,8)

Примечание. *О. Большая Ряволуда исключен из эксперимента в 2023 г., т. к. большая площадь этого острова в сочетании с малым числом разрозненно гнездящихся гаг делает нерациональным его использование в эксперименте. **Данные по островам Горелый Малый и Горелый Северный объединены из-за малочисленности гнезд на Горелом Северном (3, 7 и 9 за 2021, 2022 и 2023 гг. соответственно), при этом оба острова расположены близко друг к другу. ***В 2021 г. о. Половинные не обследовался. ****В 2023 г. на о. Малый Ромбак между нашим первым и вторым посещением был произведен сбор пуха в экспериментальных гнездах неизвестными нам сборщиками. Данные, полученные на этом острове во время второго обследования, исключены из расчетов успешности гнездования как неточные.

Note. *Bolshaya Ryavoluda island is excluded from the experiment in 2023. The large area of this island with the small number of separately nesting eiders troubles its examination. **Data for Gorely Maly and Gorely Severny islands are combined due to the small number of nests on Gorely Severny (3, 7 and 9 in 2021, 2022 and 2023, respectively), while both islands are located close to each other. ***Polovinnye island was not examined in 2021. ****In 2023, the down in the experimental nests on the Maly Rombak island was collected by unknown collectors between the authors' first and second visits. Thus, the data collected on this island during the second survey were considered as inaccurate and excluded from the nesting success calculations.

Мы провели оценку вероятности выживания за гнездовой цикл (табл. 2), рассчитанной по методу Мейфилда. При сравнении вероятности выживания за гнездовой цикл для каждого из островов экспериментальной и контрольной групп статистически значимых различий не обнаружено: $rpb = 0,46449$, $p = 0,1098$; $rpb = -0,3081$, $p = 0,28387$ и $rpb = -0,00318$, $p = 0,99217$ для 2021, 2022 и 2023 гг. соответственно (бисериальный коэффициент корреляции).

Таким образом, полученные нами данные указывают на то, что замена пуха на сено в

условиях Онежского залива не оказывает влияние на успешность гнездования, при условии, что сбор пуха начинается не ранее второй-третьей декады июня. Можно отметить, что успех гнездования был выше в 2023 году. Мы полагаем, это связано не с тем, что в 2023 году сбор пуха (и замена пуха на сено) не производились, а с более ранними сроками гнездования в указанном году, в связи с чем посещение островов людьми (антропогенное беспокойство) привнесло на более позднюю фазу гнездования (см. п. 3).

Таблица 2. Вероятность выживания за гнездовой цикл на островах экспериментальной и контрольной групп
Table 2. Probability of survival per nesting cycle on the islands of the experimental and control groups

	Острова Island	2021	2022	2023
Контрольная группа Control group	Горелый Большой Gorely Bolshoy	0,082	0,693	0,560
	Горелый Плоский Gorely Plosky	0,640	0,627	0,311
	Казематы Kazematy	0,323	0,298	1,000
	Плоская Скала Ploskaya Skala	0,607	0,589	1,000
	Ромбак Северный Rombak Severny	0,226	0,383	0,557
	Ряволуда Большая Ryavoluda Bolshaya	0,384	0,585	Исключен
	Тервонец Северный Tervonetz Severny	0,438	0,551	1,000
	Хахатаненка Hahatanenka	0,668	0,668	0,828
Экспериментальная группа Experiment group	Горелые Северный и Малый Gorely Severny and Gorely Maly	0,638	0,662	0,885
	Половинные* Polovinnye*	-	0,445	0,154
	Ромбак Малый Rombak Maly	0,578	0,288	Исключен
	Ряволуда Малая Ryaviluda Malaya	0,743	0,340	1,000
	Тервонец Южный Tervonetz Yuzchny	0,557	0,697	0,705
	Тюлень Tulen	0,471	0,284	1,000
	Все острова контрольной группы Control group, in total	0,399	0,526	0,558
	Все острова экспериментальной группы Experimental group, in total	0,591	0,445	0,669

Примечание. *В 2021 г. о. Половинные не обследовался.

Note. *Polovinnye island was not examined in 2021.

2. Влияние сбора пуха на количество гнездящихся гаг: многолетняя динамика

Несмотря на то что в рамках одного гнездового сезона влияния сбора пуха на успешность гнездования нами не выявлено, мы предположили, что сбор пуха может оказывать отсроченный эффект, вследствие которого птицы постепенно перестанут гнездиться на островах, где ведется сбор пуха, и при наличии выбора уйдут на острова, где пух не заменяют сеном. В таком случае будет наблюдаться снижение числа гнезд на островах экспериментальной группы относительно контрольной.

Для проверки этого предположения сравнивалось общее число гнезд на островах экспериментальной и контрольной групп за 2020–2023 гг. (табл. 3). В 2020 году мы не проводили полевой эксперимент, но проводили

учет гнезд одновременно со сбором пуха. Статистически значимых различий между островами двух групп за 4 года наблюдений не обнаружено ($\chi^2 = 0,583$, $p = 0,446$). Межгодовые изменения численности вызваны периодическим перераспределением гнездящихся птиц между островами и естественными колебаниями численности гнездящихся птиц, характерными для обыкновенной гаги, что показано на материале многолетних наблюдений в Кандалакшском [Корякин, 2012] и Онежском [Семашко и др., 2022] заливах Белого моря.

3. Зависимость успешности гнездования от сроков посещения острова человеком

Мы также проверили, зависит ли гибель гнезда от того, на каком сроке насиживания

Таблица 3. Число гнезд (по результатам двукратного учета) на островах Кемского архипелага*

Table 3. Number of nests (based on double counts) on the islands of the Kem Archipelago*

	2020	2021	2022	2023
Контрольная группа Control group	110	218	195	236
Экспериментальная группа Experimental group	128	209	188	201
Всего Total	238	427	383	437

Примечание. *О. Большая Ряволуда из этого сравнения исключен, о. Малый Ромбак – включен.

Note. *Bolshaya Ryavoluda island was excluded, Maly Rombak island was included.

оно находилось в момент нашего первого посещения острова. Полученные результаты подтвердили известную закономерность [Модестов, 1967; Bolduc, Guillemette, 2003; Тертицкий и др., 2023]: птицы с большой долей вероятности бросают гнездо при беспокойстве на ранних сроках насиживания, но чем ближе время вылупления, тем менее вероятно, что птица бросит гнездо после беспокойства (рис. 4). Особый интерес представляет сравнение результатов 2021–2022 гг., когда обследование гнезд проводилось одновременно со сбором пуха, и результатов 2023 г., когда обследование гнезд производили, но пух не собирали. Ни в один из этих периодов разницу между результатами в экспериментальной и контрольной группах мы не обнаружили. Таким образом, вероятность гибели гнезда зависит лишь от соотношения срока насиживания с самим фактом беспокойства, безотносительно к факту сбора пуха.

С учетом этой закономерности знание сроков гнездования в условиях сбора пуха является особенно важным. Поэтому мы сравнили сроки гнездования, полученные по результатам водного теста, в трех районах: на Кемских шхерах, на южных и на северных островах. Оказалось, что в этих районах сроки гнездования существенно различаются. Как видно из графиков (рис. 5), чем севернее, тем позднее начинается насиживание и, соответственно, вылупление. Кроме того, начало насиживания в одном и том же районе может меняться в разные годы в зависимости от хода весны и погодных условий.

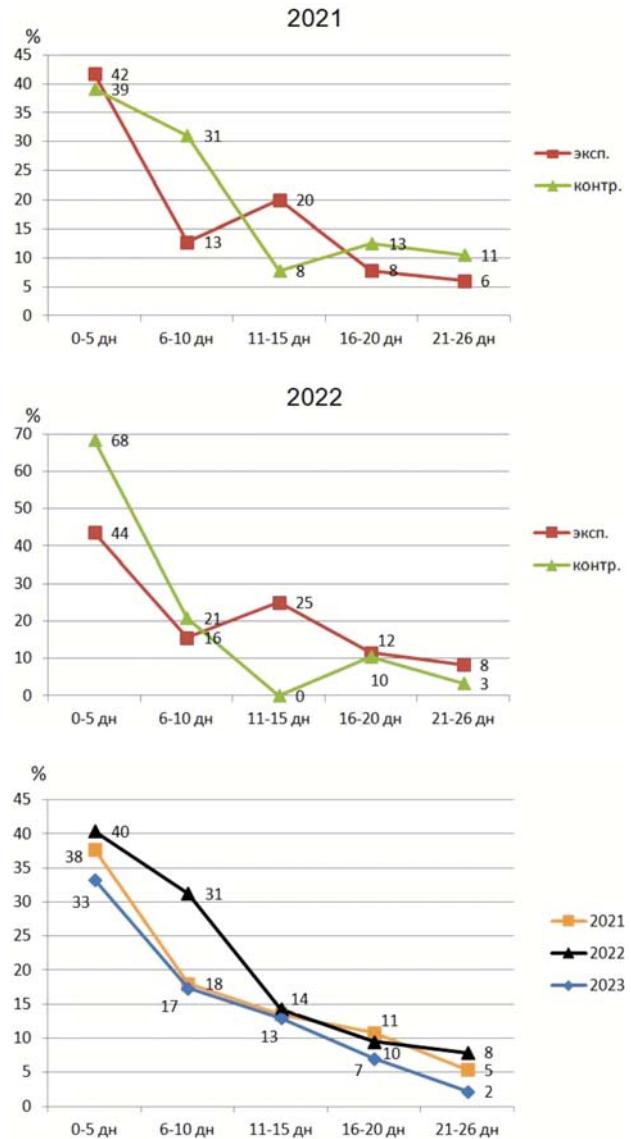


Рис. 4. Доля разоренных и брошенных гнезд гаги обыкновенной с разным сроком насиживания в 2021, 2022, 2023 гг.

Fig. 4. Percentage of unsuccessful nests of common eider with different incubation period in 2021, 2022, 2023

4. Зависимость успешности гнездования от присутствия пернатых хищников

Наземных хищников, которые могут существенно влиять на успех гнездования, в районе наших работ не отмечено. Из пернатых хищников влияние на успех гнездования гаг здесь оказывает орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*). Также большой урон кладкам могут нанести крупные чайки (*Larus marinus* и *L. argentatus*) и серая ворона (*Corvus cornix*).

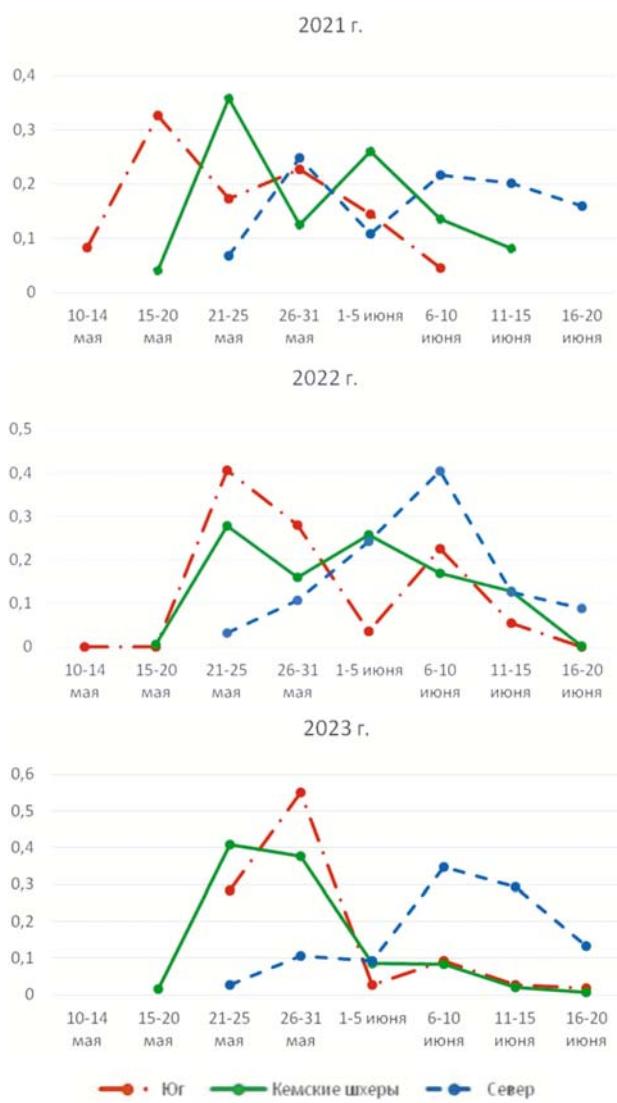


Рис. 5. Начало насиживания: доля от общего числа гнезд в каждую пятидневку для островов южного участка, Кемского архипелага и северного участка
Fig. 5. The start of the incubation: share of the total number of nests for each 5-day period for the islands of the southern region, the Kem Archipelago and the northern region

Наиболее значимо влияние орлана, поскольку он является единственным пернатым хищником, который охотится на взрослых самок гаги, сидящих на гнездах. В период гнездования насижающие самки гаги являются основным объектом охоты орланов. По многолетним данным по Кандалакшскому заливу Белого моря, самки гаги составляют в разные годы 52–93 % (в среднем – 77 %) от числа всех обнаруженных жертв орлана [Корякин, Бойко, 2010]. Жертвой орлана становится не только сама самка и ее кладка, но также и кладки гаг, которые гнездятся поблизости и слетают с гнезд во время охоты орлана, – их оставшиеся без защиты гнезда разоряют чайки и вороны. Особенно значимым влияние орлана

стало в последние 20–30 лет в связи с существенным увеличением количества этих хищников. Так, в Кандалакшском заливе в 1975–1990 гг. отход инкубирующих самок гаги не превышал 1 %, кладок – 15–20 %. Позднее гибель самок достигла 5–10 %, а отход гнезд с кладками – 30–50 % [Корякин, Бойко, 2010]. Многолетние данные по Онежскому заливу также подтверждают увеличение числа добытых орланом гаг с начала XXI века [Черенков и др., 2014].

В Кемских шхерах мы отмечали присутствие орлана (по встречам самих птиц, их перьев и/или убитых ими гаг): в 2021 г. – на 9 островах из 17 обследованных, в 2022 г. – на 12 островах из 17 обследованных, в 2023 и 2024 гг. – на 8 островах из 16 обследованных в каждом году (табл. 4). Таким образом, в этом районе орланы ежегодно посещают более половины всех островов, причем чаще они встречаются на островах с наибольшим количеством гнездящихся гаг.

Несмотря на частые посещения островов орлами, успешность размножения остается высокой (73,5–91,6 % успешных гнезд), а статистически значимых различий в успешности гнездования на островах с орлами и без в 2021, 2022 и 2024 гг. не выявлено: $\chi^2 = 2,647$, $p = 0,104$ в 2021 г., $\chi^2 = 0,096$, $p = 0,757$ в 2022 г. и $\chi^2 = 1,236$, $p = 0,267$ в 2024 г. Число разоренных и успешных гнезд значительно отличается только в 2023 г.: $\chi^2 = 10,340$, $p = 0,002$ (табл. 5). Отсутствие значимых различий в успешности гнездования между островами, где нами было отмечено присутствие орлана, и островами, где такого присутствия не отмечено, возможно, объясняется тем, что весь архипелаг Кемские шхеры является для орлана единым охотничим угодьем.

5. Зависимость успешности гнездования от степени укрытия гнезда

Наконец, в 2022–2023 гг. мы проверили предположение о том, что степень укрытия гнезда может влиять на вероятность его разорения хищниками. По результатам 2022 г. статистически значимой зависимости между тем, насколько гнездо укрыто, и успешностью гнездования не выявлено. Доля разоренных среди закрытых, полузакрытых и открытых гнезд в 2022 г. составила 16,18, 15,00 и 17,52 % соответственно ($\chi^2 = 0,298$, $p = 0,862$). Интересно, что в 2023 г. доля разоренных среди закрытых гнезд оказалась даже выше, чем для полузакрытых и открытых: 13,73, 8,28 и 5,59 % соответственно. Но, как и в предыдущем году, различия не являются статистически значимыми ($\chi^2 = 3,610$, $p = 0,165$).

Таблица 4. Посещение островов Кемского архипелага орланом-белохвостом (*Haliaeetus albicilla*) в 2021–2024 гг.

Table 4. White-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*) presence on islands of the Kem Archipelago in 2021–2024

Группы островов Groups of islands	Число сезонов с орланом (общее число сезонов) Number of seasons with white-tailed eagle presence (total number of seasons)	Среднее число гнезд гаги Average number of eider nests (min–max)
Р-н Горелых Gorelye territory		
Горелый Большой Gorely Bolshoy	4(4)	20,8 (12–27)
Горелый Малый Gorely Maly	2(4)	39,3 (25–64)
Горелая Северная Gorelaya Severnaya	1(4)	5,5 (2–9)
Горелый Плоский Gorely Plosky	3(4)	44,3 (38–55)
Хахатаненка Hahatanenka	3(4)	54,0 (28–73)
Р-н Половинные Polovinnye territory		
Половинные Polovinnye	1(4)	19,3 (5–28)
Горшки Gorshki	0(4)	3,8 (3–5)
Гага Gaga	0 (4)	7,5 (4–9)
Р-н Сатама Satama territory		
Тюлень Tyulen	3(4)	18,5 (9–37)
Казематы Kazematy	1(4)	27,3 (13–42)
Р-н Терроихи Terroiha territory		
Тервонец Северный Tervonetz Severny	3(4)	46,0 (35–56)
Тервонец Южный Tervonetz Yuzchny	2(4)	51,8 (45–59)
Плоская Скала Ploskaya Skala	3(4)	15,3 (6–21)
Р-н Ряволуды Ryavoluda territory		
Ряволуда Большая (исключена с 2023 г.) Ryavoluda Bolshaya (excluded since 2023)	2(2)	15,5 (15–16)
Ряволуда Малая Ryavoluda Malaya	0(4)	30,0 (24–39)
Р-н Ромбаки Rombak territory		
Ромбак Северный Rombak Severny	4(4)	31,8 (24–47)
Ромбак Малый Rombak Maly	2(4)	55,0 (42–65)

Таблица 5. Успешность гнездования гаги на островах Кемских шхер и присутствие орлана-белохвоста (*Haliaeetus albicilla*) в 2021–2024 гг.

Table 5. Common eider nesting success on the Kem Skerries islands and the presence of the white-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*) in 2021–2024

Группы островов с присутствием / отсутствием орлана-белохвоста Island groups by presence/absence of white-tailed eagle	Всего Total	Неуспешные гнезда Unsuccessful nests, N	Успешные гнезда Successful nests, n	Успешные гнезда Successful nests, %
2021 г.				
С орланом With the white-tailed eagle	272	72	200	73.50
Без орлана Without the white-tailed eagle	218	44	174	79.82
2022 г.				
С орланом With the white-tailed eagle	352	63	289	82.10
Без орлана Without the white-tailed eagle	104	20	84	80.77
2023 г.*				
С орланом With the white-tailed eagle	302	56	246	81.46
Без орлана Without the white-tailed eagle	213	18	195	91.55
2024 г.				
С орланом With the white-tailed eagle	270	53	217	80.37
Без орлана Without the white-tailed eagle	179	43	136	75.98

Примечание. *Данные по острову М. Ромбак исключены из расчетов, см. комментарий к табл. 1.

Note. *Data on the Maly Rombak island were excluded, see the note to Table 1.

Выводы и рекомендации

Из четырех исследованных нами факторов в условиях Онежского залива Белого моря на успех гнездования существенно влияют только два: сроки посещения островов человеком и присутствие орлана. Ни степень укрытия гнезда, ни сам факт сбора пуха (с заменой его на сено и последующим закрытием гнезда) на успехе гнездования не отражаются. При этом присутствие орлана никак не зависит ни от самого факта антропогенного беспокойства, ни от его сроков.

Таким образом, в рамках нашей задачи – исследования влияния коммерческого сбора пуха на успешность гнездования гаги – на первый план выходят сроки, в которые производится этот сбор. Как литературные, так и наши собственные данные однозначно свидетельствуют, что слишком ранние сроки сбора пуха могут существенно увеличить гибель гнезд и в долговременной перспективе поставить под угрозу существование популяции. В связи с этим нам представляется необходимым принятие на законодательном уровне правил, регулирующих сбор пуха и, в частности, его сроки.

Мы полагаем, что при определении оптимальных (то есть минимально вредных для птиц) сроков сбора пуха следует выбирать даты:

1) максимально отдаленные от пика начала насиживания (не ранее 10–15-го дня с начала насиживания);

2) но до начала массового вылупления, когда посещение островов может привести к повышенной гибели птенцов, оставшихся без попечения вспугнутой самки.

Такие даты следует определять отдельно для каждого района, поскольку, как показывают полученные нами данные, сроки гнездования даже в сравнительно близко расположенных районах могут существенно различаться.

Выбор оптимальных сроков дополнительно осложняется тем, что в большинстве случаев в каждом районе можно выделить не один, а два пика начала насиживания и, соответственно, два пика вылупления (см. рис. 5). Это может объясняться разными причинами. Возможно, вначале гнездятся местные (зимовавшие поблизости) гаги, а потом – переместившиеся из отдаленных районов. Не исключено, что раннее гнездование свойственно более опытным взрослым самкам, а более позднее – приступающим к размножению впервые. Мы придерживаемся мнения, что в определении сроков следует ориентироваться на первый пик, на который приходится большее количество гнездящихся самок.

Таким образом, чтобы коммерческий сбор пуха не нанес вреда существованию беломорской популяции гаги в неохраняемых районах, необходима законодательная регуляция. Такую регуляцию следует основывать на предварительном орнитологическом обследовании каждой территории, где планируется сбор, а также на последующем ежегодном мониторинге. Кроме того, поскольку сроки гнездования гаг в разные годы могут существенно, в пределах 10–14 дней, варьировать в зависимости от погодных условий, необходимо провести работу по выработке способов/критери-

ев предварительного определения оптимальных сроков в каждом сезоне.

Выводы, сделанные на основании нашего исследования, применимы только к району наших работ. При планировании коммерческого сбора пуха на других территориях необходимо предварительное проведение аналогичных исследований, поскольку разные районы гнездования гаг могут очень существенно отличаться по целому ряду параметров, таких как сроки гнездования, количество и видовой состав хищников, наличие в непосредственной близости мест гнездования редких видов и прочее.

Мы благодарим А. В. Кондратьева за консультации, В. Н. и В. В. Салтыковых за помощь в полевой работе, А. Я. Щелкунову за помощь в полевой работе и первичной обработке полевых данных, А. Е. Солдаткина за помощь в статистической обработке данных, Московский институт психоанализа и Рабочую группу по гусеобразным Северной Евразии за финансирование работ.

Литература

Бабков А. П. Гидрологическая характеристика Онежского залива Белого моря // Исследования фауны морей. Т. 33(41). Экосистемы Онежского залива Белого моря. Л.: ЗИН АН СССР, 1985. С. 3–10.

Горяшко А. Дикая птица и культурный человек. Гага обыкновенная и человек разумный: четырнадцать веков взаимоотношений. СПб.: ЛД-Принт, 2020. 496 с.

Горяшко А. Сбор гагачьего пуха в России: история, проблемы и решения // Казарка. 2019. № 21. С. 13–49.

Горяшко Н. А., Самулеева М. В., Быков Ю. А. Влияние коммерческого сбора пуха на успех гнездования обыкновенной гаги в Онежском заливе Белого моря // Гусеобразные Северной Евразии: Тезисы докл. Междунар. конф. (Санкт-Петербург, 3 февраля 2023 г.). СПб., 2023. С. 15–16.

Данилевский Н. Отчет высочайше учрежденной экспедиции для исследования рыбного и звериного промыслов в Белом и Ледовитом морях за 1859 г. // Журнал Министерства Государственных Имуществ. 1860. Ч. 74. С. 291–336.

Демме-Рябцева Н. П. Гнездовые колонии гаги обыкновенной *Somateria mollissima mollissima* (L.) на Новой Земле и организация гагачьего хозяйства: Дис. ... канд. биол. наук. Л., 1946. С. 1–240.

Журавский А. В. Самоедское право. Материалы для законодательных предположений. Архангельск: Губерн. тип., 1908.

Корякин А. С. К биологии обыкновенной гаги в Кандалакшском заливе Белого моря. Особенности воспроизводства и антропогенное влияние на

выживаемость потомства: Дис. ... канд. биол. наук. Л., 1986. 259 с.

Корякин А. С. Мониторинг морских птиц в Кандалакшском заливе Белого моря (1967–2010 гг.) // Зоологический журнал. 2012. Т. 91, № 7. С. 800–808.

Корякин А. С., Бойко Н. С. Орлан-белохвост и обыкновенная гага в Кандалакшском заливе, Белое море // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тезисы докл. 11-й Всерос. конф. с междунар. участием. СПб., 2010. С. 87–88.

Корякин А. С., Горяшко А. А. Методика проведения массовых учетов. Кандалакшский государственный заповедник: 1–33 (рукопись). 1995. URL: http://www.kandalaksha-reserve.org/methods/method_mass_uchet.pdf (дата обращения: 22.12.2023).

Корякин А. С., Краснов Ю. В. Влияние антропогенного фактора беспокойства на размещение и выживаемость птенцов обыкновенной гаги в Кандалакшском заливе и на Восточном Мурмане // Экология птиц морских островов и побережий Кольского Севера / Ред. В. Н. Карпович. Мурманск: Мурм. кн. изд-во, 1989. С. 88–101.

Лоция Белого моря / Ред. И. Л. Бегун, А. Г. Крутов; Упр. начальника Гидрограф. службы ВМФ. Л., 1957.

Меднис А. Определение сроков вылупления утят по плавучести яиц в воде // Тезисы докладов VIII Прибалтийской орнитологической конференции. Таллин, 1972. С. 64–66.

Модестов В. М. Экология колониально-гнездящихся птиц (по наблюдениям на Восточном Мурмане и в дельте Волги) // Труды Кандалакшского заповедника. 1967. № 5. С. 49–154.

Озерецковский Н. О гагочьем пухе // Труды Вольного экономического общества. Ч. 23. 1773. С. 105–114.

Семашко В. Ю., Семашко Е. В., Тертицкий Г. М., Черенков А. Е., Шутова Е. В., Толмачева Е. Л. Многолетняя динамика численности гнездящихся морских птиц западной части Белого моря // Зоологический журнал. 2022. Т. 101, № 7. С. 805–818. doi: 10.31857/S004451342207011X

Семашко В. Ю., Черенков А. Е., Тертицкий Г. М. Современная гнездовая численность морских и околоводных птиц на островах Онежского залива Белого моря и тенденции ее изменения // Экология морских птиц Белого моря / Отв. ред. Г. Г. Матишов. Апатиты: КНЦ РАН, 2012. С. 140–168.

Тертицкий Г. М., Семашко Е. В., Черенков А. Е., Семашко В. Ю. Оценка влияния антропогенного беспокойства на успешность инкубации обыкновенной гаги по данным геолокаторов // Гусеобразные Северной Евразии: Тезисы докл. Междунар. конф. (Санкт-Петербург, 3 февраля 2023 г.). СПб., 2023. С. 49–50.

Черенков А. Е., Семашко В. Ю., Тертицкий Г. М. Птицы Соловецких островов и Онежского залива Белого моря: материалы и исследования (1983–2013 гг.). Архангельск: Северодвин. тип., 2014. 384 с.

Angelier F., Chastel O. Stress, prolactin and parental investment in birds: a review // Gen. Comp.

Endocrinol. 2009. Vol. 163, no. 1-2. P. 142–148. doi: 10.1016/j.ygcen.2009.03.028

Angelier F., Wingfield J. C., Tartu S., Chastel O. Does prolactin mediate parental and life-history decisions in response to environmental conditions in birds? A review // Horm. Behav. 2016. Vol. 77. P. 18–29. doi: 10.1016/j.yhbeh.2015.07.014

Bédard J., Nadeau A., Giroux J.-F., Savard J.-P. L. Eiderdown: characteristics and harvesting procedures // Société Duvetnor Ltée et Service canadien de la faune, Environment Canada, région du Québec. Québec, 2008. P. 1–52.

Bolduc F., Guillemette M. Human disturbance and nesting success of Common Eiders: interaction between visitors and gulls // Biol. Conserv. 2003. Vol. 110, no. 1. P. 77–83. doi: 10.1016/S0006-3207(02)00178-7

Hennig G. W. Neighbourhood watch among common eiders (*Somateria mollissima*) – Does group nesting reduce nest predation?: MS thesis. Tromsø: UiT Norges arktiske universitet, 2022. 28 p.

Mayfield H. F. Suggestions for calculating nest success // Wilson Bulletin. 1975. Vol. 87. P. 456–466.

Mohring B., Öst M., Jaatinen K., Parenteau C., Pallud M., Angelier F. Parenting in a changing environment: A long-term study of prolactin, parental effort and reproductive success in common eiders // Gen. Comp. Endocrinol. 2024. Vol. 357(6). Art. 114574. doi: 10.1016/j.ygcen.2024.114574

Noel K., Craik S., Parsons G. J., Pratte I., Tomlik M. D., Mallory M. L. K. Use of nest shelters by American common eiders (*Somateria mollissima dresseri*): occupancy rates and effects of shelter type on nest microclimate // Northeast. Nat. 2023. Vol. 30, no. 3. P. 368–381. doi: 10.1656/045.030.0308

Smiley K. O. Prolactin and avian parental care: new insights and unanswered questions // Horm. Behav. 2019. Vol. 111. P. 114–130. doi: 10.1016/j.yhbeh.2019.02.012

Stien J., Ims R. A. Absence from the nest due to human disturbance induces higher nest predation risk than natural recesses in Common Eiders *Somateria mollissima* // Ibis. 2016. Vol. 158, no. 2. P. 249–260. doi: 10.1111/ibi.12338

Tomlik M. D., Milton G. R., Parsons G. J., Mallory M. L. Dynamic vegetation cover and decline in common eider breeding numbers in Nova Scotia, Canada // Facets. 2023. Vol. 8. P. 1–12. doi: 10.1139/facets-2022-0232

References

Angelier F., Chastel O. Stress, prolactin and parental investment in birds: a review. *Gen. Comp. Endocrinol.* 2009;163(1-2):142–148. doi: 10.1016/j.ygcen.2009.03.028

Angelier F., Wingfield J. C., Tartu S., Chastel O. Does prolactin mediate parental and life-history decisions in response to environmental conditions in birds? A review. *Horm. Behav.* 2016;77:18–29. doi: 10.1016/j.yhbeh.2015.07.014

Babkov A. P. Hydrological characteristics of Onega Bay of the White Sea. *Issledovaniya fauny morei.*

- T. 33 (41). *Ekosistemy Onezhskogo zaliva Belogo morya = Research of sea fauna. Vol. 33(41). Ecosystems of Onega Bay of the White Sea.* Leningrad: ZIN AN SSSR; 1985. P. 3–10. (In Russ.)
- Bédard J., Nadeau A., Giroux J.-F., Savard J.-P. L. Eiderdown: characteristics and harvesting procedures. *Société Duvetnor Ltée and Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Quebec Region.* Quebec; 2008. P. 1–52.
- Begin I. L., Krutov A. G. (eds.). *Navigation chart of the White Sea.* Leningrad; 1957. (In Russ.)
- Bolduc F., Guillemette M. Human disturbance and nesting success of Common Eiders: interaction between visitors and gulls. *Biol. Conserv.* 2003;110(1):77–83. doi: 10.1016/S0006-3207(02)00178-7
- Cherenkov A. E., Semashko V. Yu., Tertitskii G. M. Birds of the Solovetsky Islands and Onega Bay of the White Sea: materials and research (1983–2013). Arkhangelsk: Severodvin. tip.; 2014. 384 p. (In Russ.)
- Danilevskii N. Report of the imperial expedition to study fisheries and hunting in the White and Arctic Seas for 1859. *Zhurnal ministerstva gosudarstvennykh imushchestv = Journal of the Ministry of State Property.* 1860;74:291–336. (In Russ.)
- Demme-Ryabtseva N. P. Nesting colonies of the common eider *Somateria mollissima mollissima* (L.) on Novaya Zemlya and the organization of eider farming: PhD (Cand. of Biol.) thesis. Leningrad; 1946. 240 p. (In Russ.)
- Goryashko A. A wild bird and a cultured man. The common eider and Homo Sapiens: fourteen centuries together. St. Petersburg: LD-Print; 2020. 496 p. (In Russ.)
- Goryashko A. The harvesting of eiderdown in Russia: history, problems, and solutions. *Kazarka.* 2019;21: 13–49. (In Russ.)
- Goryashko N. A., Samuleeva M. V., Bykov Yu. A. The influence of commercial down collection on the nesting success of the common eider in Onega Bay of the White Sea. *Guseobraznye Severnoi Evrazii: Tezisy dokl. Mezhdunar. konf. (Sankt-Peterburg, 3 fev. 2023 g.) = Anseriformes of Northern Eurasia: Abstracts of the int. conf. (St. Petersburg, Feb. 3, 2023).* St. Petersburg; 2023. P. 15–16. (In Russ.)
- Hennig G. W. Neighbourhood watch among common eiders (*Somateria mollissima*) – Does group nesting reduce nest predation?: MS thesis. Tromsø: UiT Norges arktiske universitet; 2022. 28 p.
- Koryakin A. S. Monitoring of seabirds in Kandalaksha Bay of the White Sea (1967–2010). *Zoologicheskii zhurnal = Zoological Journal.* 2012;91(7):800–808. (In Russ.)
- Koryakin A. S. On the biology of the common eider in Kandalaksha Bay of the White Sea. Features of reproduction and anthropogenic influence on the survival of offspring: PhD (Cand. of Biol.) thesis. Leningrad; 1986. 259 p. (In Russ.)
- Koryakin A. S., Boiko N. S. White-tailed eagle and common eider in Kandalaksha Bay, White Sea. *Problemy izucheniya, ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany prirodykh resursov Belogo morya: Tezisy dokl. 11-i Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem = Problems of studying, rational use and protection of natural resources of the White Sea: Abstracts of the 11th All-Russian conf. with int. part.* St. Petersburg; 2010. P. 87–88. (In Russ.)
- Koryakin A. S., Goryashko A. A. Methodology for mass censuses. Kandalaksha State Reserve (manuscript). 1995. P. 1–33. (In Russ.) URL: http://www.kandalaksha-reserve.org/methods/method_mass_uchet.pdf (accessed: 22.12.2023).
- Koryakin A. S., Krasnov Yu. V. The influence of anthropogenic disturbance on the placement and survival of common eider chicks in Kandalaksha Bay and Eastern Murman. *Ekologiya ptits morskikh ostrovov i poberezhiy Kol'skogo Severa = Ecology of birds on sea islands and coasts of the Kola North.* Murmansk: Murm. kn. izd-vo; 1989. P. 88–101. (In Russ.)
- Mayfield H. F. Suggestions for calculating nest success. *Wilson Bulletin.* 1975;87:456–466.
- Mednis A. Determination of the timing of ducklings hatching by the buoyancy of eggs in water. *Tezisy dokladov VIII Pribaltiiskoi ornitologicheskoi konferentsii = VIII Baltic Ornithological Conference: Abstracts.* Tallinn; 1972. P. 64–66. (In Russ.)
- Modestov V. M. Ecology of colonial-breeding birds (based on observations in Eastern Murman and the Volga delta). *Trudy Kandalakshskogo zapovednika = Proceedings of Kandalaksha State Nature Reserve.* 1967;5:49–154. (In Russ.)
- Mohring B., Öst M., Jaatinen K., Parenteau C., Pallud M., Angelier F. Parenting in a changing environment: A long-term study of prolactin, parental effort and reproductive success in common eiders. *Gen. Comp. Endocrinol.* 2024;357(6):114574. doi: 10.1016/j.ygenc.2024.114574
- Noel K., Craik S., Parsons G. J., Pratte I., Tomlik M. D., Mallory M. L. K. Use of nest shelters by American common eiders (*Somateria mollissima dresseri*): occupancy rates and effects of shelter type on nest microclimate. *Northeast. Nat.* 2023;30(3):368–381. doi: 10.1656/045.030.0308
- Ozeretskovsky N. On eiderdown. *Trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva = Proceedings of the Free Economic Society.* 1773;23:105–114. (In Russ.)
- Semashko V. Yu., Cherenkov A. E., Tertitskii G. M. Current breeding numbers of seabirds and shorebirds on the islands of Onega Bay of the White Sea and trends in its change. *Ekologiya morskikh ptits Belogo morya = Ecology of sea birds of the White Sea.* Apatity: KSC RAS; 2012. P. 140–168. (In Russ.)
- Semashko V. Yu., Semashko E. V., Tertitskii G. M., Cherenkov A. E., Shutova E. V., Tolmacheva E. L. Long-term population dynamics of seabirds breeding in the western part of the White Sea. *Zoologicheskii zhurnal = Zoological Journal.* 2022;101(7):805–818. (In Russ.). doi: 10.31857/S004451342207011X
- Smiley K. O. Prolactin and avian parental care: new insights and unanswered questions. *Horm. Behav.* 2019;111:114–130. doi: 10.1016/j.yhbeh.2019.02.012
- Stien J., Ims R. A. Absence from the nest due to human disturbance induces higher nest predation risk than natural recesses in Common Eiders *Somateria mollissima.* *Ibis.* 2016;158(2):249–260. doi: 10.1111/ibi.12338
- Tertitskii G. M., Semashko E. V., Cherenkov A. E., Semashko V. Yu. Assessment of the influence of

anthropogenic disturbance on the success of incubation of the common eider according to geolocators data. *Guseobraznye Severnoi Evrazii: Tezisy dokl. Mezhdunar. konf. (Sankt-Peterburg, 3 fev. 2023 g.) = Anseriformes of Northern Eurasia: Abstracts of the int. conf. (St. Petersburg, Feb. 3, 2023)*. St. Petersburg; 2023. P. 49–50. (In Russ.)

Tomlik M. D., Milton G. R., Parsons G. J., Malory M. L. Dynamic vegetation cover and decline in common eider breeding numbers in Nova Scotia, Canada. *Facets*. 2023;8:1–12. doi: 10.1139/facets-2022-0232

Zhuravskii A. V. Samoyed law. Materials for legislative proposals. Arkhangelsk: Gubern. typ.; 1908. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 28.11.2024; принята к публикации / accepted: 21.07.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Горяшко Наталия Александровна

член Рабочей группы по гусеобразным
Северной Евразии

e-mail: alexandragor4@yandex.ru

Самулеева Мария Владимировна

канд. биол. наук, научный сотрудник

e-mail: samuleeva@gmail.com

Быков Юрий Александрович

научный сотрудник

e-mail: bykov_goos@yahoo.com

CONTRIBUTORS:

Goryashko, Nataliya

Member of the Goose, Swan, and Duck Study Group of
Northern Eurasia

Samuleeva, Maria

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

Bykov, Yury

Researcher

УДК 599 (1-751.1)

ВИДОВОЙ СОСТАВ ТЕРИОФАУНЫ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЛАДОЖСКИЕ ШХЕРЫ»

Ф. В. Фёдоров*, Т. И. Янченко

*Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),
ffyodoroff@inbox.ru

Работа посвящена уточнению состава териофауны национального парка «Ладожские шхеры» на основе комплексных полевых исследований, проведенных в летний период 2024 и 2025 гг., а также анализа архивных и литературных источников. Первоначальные сведения о млекопитающих данного региона получены в 1999 г. в ходе инвентаризации, выполненной сотрудниками Института биологии КарНЦ РАН, когда в список наземных позвоночных Северного Приладожья было включено 49 видов. Эти данные позднее использовались при составлении официальных перечней фауны для проектируемого, а затем и созданного национального парка. Однако накопление новых полевых материалов и уточнение ареалов отдельных видов потребовали пересмотра существующего списка. Результаты последних исследований позволили обновить перечень млекопитающих Ладожских шхер: для островной части территории он включает 47 видов. Для всей территории парка список может быть расширен до 52 видов за счет возможного присутствия синантропных форм (серая крыса, домовая мышь), а также некоторых редких видов (лесной лемминг, полевая и желтогорлая мыши), встреча которых хотя и маловероятна, но не исключена при наличии подходящих биотопов. В сравнении с ранее опубликованным сводным списком произведены существенные уточнения: исключены два вида, присутствие которых в пределах парка не подтверждено, и добавлены пять видов рукокрылых, ранее не отмечавшихся в Приладожье. Уточненный перечень териофауны может служить надежной основой для дальнейших научных исследований, а также для корректировки природоохранных стратегий, направленных на сохранение уникальных островных сообществ региона.

Ключевые слова: млекопитающие; Ладожские шхеры; видовой состав; распространение; редкие виды

Для цитирования: Фёдоров Ф. В., Янченко Т. И. Видовой состав териофауны национального парка «Ладожские шхеры» // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 35–44. doi: 10.17076/eco2219

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0003).

F. V. Fyodorov*, T. I. Yanchenko. MAMMAL SPECIES COMPOSITION IN THE LADOGA SKERRIES NATIONAL PARK

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *ffyodoroff@inbox.ru

This study was undertaken to revise our knowledge of the composition of the mammalian fauna of Ladoga Skerries National Park through comprehensive field surveys conducted in the summer seasons of 2024 and 2025, as well as by analysing archival and published sources. The first data on the mammal population of this region were collected in 1999 during an inventory carried out by researchers of the Institute of Biology KarRC RAS. At that point, the list of terrestrial vertebrates of the Northern Ladoga area included 49 species. These results were later used in compiling the official checklists for the planned, and subsequently established, national park. However, new field data and refinement of species ranges called for a revision of the old list. The results of recent studies have led to an update of the list of mammals of the Ladoga Skerries: for islands within the protected area, it now includes 47 species. The list for the entire national park may be up to 52 species, considering the possible presence of synanthropic forms (brown rat, house mouse) and some rare species (wood lemming, striped field and yellow-necked field mouse), whose occurrence, although unlikely, cannot be ruled out under favorable habitat conditions. Compared to the previously published checklist, significant revisions were made: two species whose presence in the park was not confirmed were excluded, while five bat species not previously known for the Northern Ladoga area were added. The updated mammal fauna checklist can serve as a reliable basis for further research and for adjusting conservation strategies adopted to preserve the area's unique island communities.

Keywords: mammals; Ladoga Skerries; species composition; distribution; rare species

For citation: Fyodorov F. V., Yanchenko T. I. Mammal species composition in the Ladoga Skerries National Park. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 35–44. doi: 10.17076/eco2219

Funding. The study was carried out under state assignment to the Karelian Research Centre RAS (FMEN-2022-0003).

Введение

В 1999 г. сотрудники Института биологии КарНЦ РАН провели инвентаризацию фауны наземных позвоночных Северного Приладожья, по результатам которой в сводный список было включено 49 видов млекопитающих, обитающих на данной территории [Данилов и др., 2000]. Позже этот показатель использовался при составлении перечня видов, обитающих в пределах планируемого [Кравченко, 2001] и впоследствии созданного национального парка «Ладожские шхеры» [<https://parkladoga.ru/tosave/kadastry/mlekopitayushchie/>].

Летом 2024 и 2025 гг. на островах Ладожских шхер проведены комплексные полевые исследования, которые, наряду с анализом архивных и литературных материалов, позволили не только определить состав островной териофауны, но и пересмотреть перечень видов, характерных для парка в целом. В частности, в список включены новые виды, ранее не зарегистрированные в границах парка, а также исключены виды, присутствие которых

в исследуемых биотопах не подтверждено или близко к нулю.

Материалы и методы

В первой декаде августа 2024 и 2025 гг. в рамках комплексной научной экспедиции обследованы острова Ладожского озера: Тулолансаари (номер на карте – 1), Пелотсаари (2), Карпансаари (3), Лапонсаари (4), Мерикалсу (5), Райпатсаари (6), Сури-Сартосаари (7), Оръятсаари (8), Хонкасало (9), Маркатсимансаари (10), Тамханка (11), Хавус (12), Палосаари (13), Котантсаари (14), Сомерсаари (15), Майсаари (16), Суури-Хепосаари (17) (рис.). Учет млекопитающих осуществлялся методом маршрутных обследований, включавших визуальные наблюдения, фиксацию следов жизнедеятельности (следы на субстрате, помет, норы, места кормежки и др.) и регистрацию встреч животных. Общая протяженность маршрутов составила 74,5 км.

Отловы мелких млекопитающих проводили на островах Райпатсаари, Мерикалсу, Оръятсаари, Тулолансаари (2024 г.), Маркатсимансаари,

Тахманка (2025 г.) с использованием стандартной методики: ловушки-давилки ставили прямолинейно на расстоянии 3 метра друг от друга. Выбор места для установки ловушек исходил из пригодности потенциальных мест обитания для осуществления жизнедеятельности учитываемых животных. В первый год было установлено 9 линий по 25 ловушек, отработано 525 ловушко-суток. На следующий год – 3 линии по 25 ловушек, отработано 225 ловушко-суток.

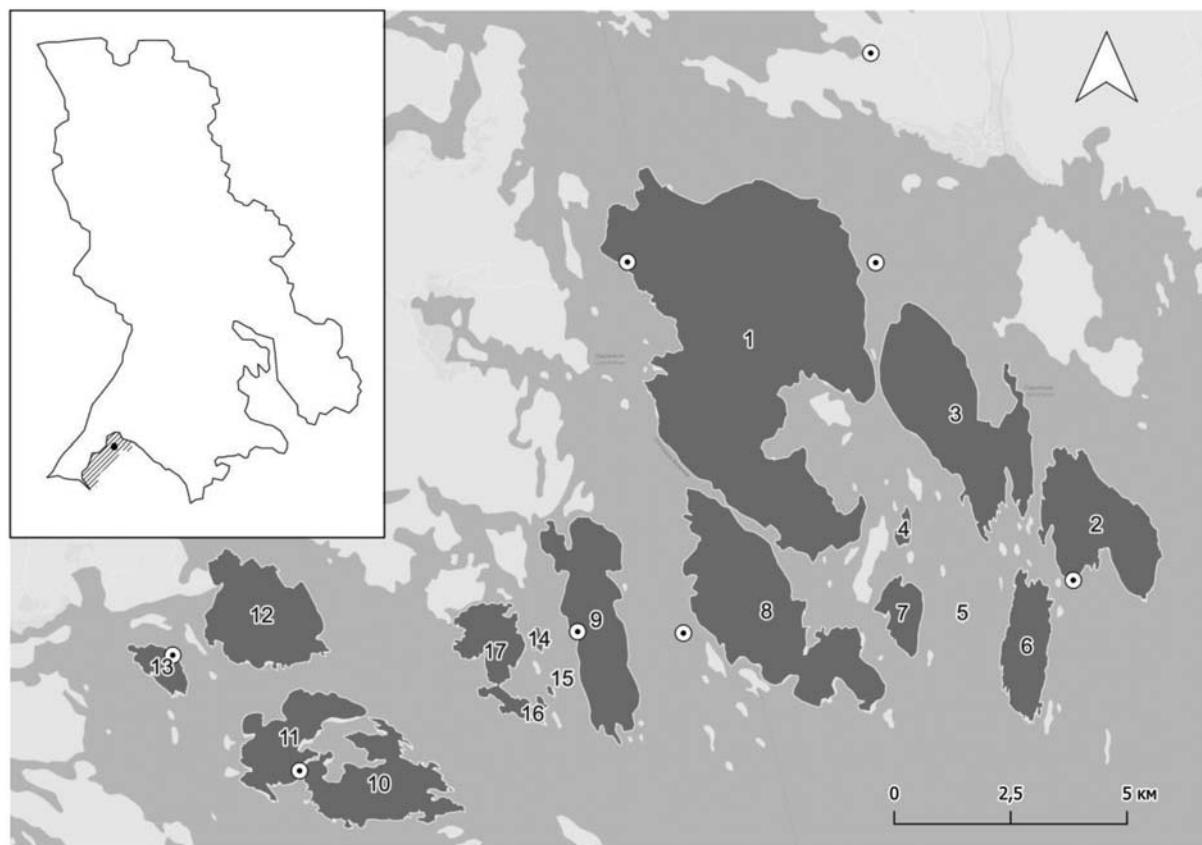
Учеты летучих мышей проводили на островах Пелотсаари, Тулолансаари, Оръятсаари, Тамханка, Палосаари, Хонкасало и в заливе Ораванселька (материковая часть Ладожских шхер) с использованием статического ультразвукового детектора Song Meter SM2 BAT+ (США) (рис.). Определение видов выполнялось в автоматическом режиме с использованием программного обеспечения Kaleidoscope Pro ver. 5.7.0. В перечень включались только те виды, которые программа идентифицировала однозначно. Результаты автоматического

определения дополнительно проверялись вручную путем анализа сонограмм.

По породному составу в Ладожских шхерах преобладают сосновые леса (70 % покрытых лесом земель). Доля лиственных лесов составляет около 25 % покрытой лесом площади [Петров и др., 2025].

Результаты и обсуждение

Полевые исследования и анализ архивных и литературных материалов позволили составить список млекопитающих островов национального парка «Ладожские шхеры», включающий 47 видов. В него не вошли 7 видов мелких млекопитающих из прежнего списка, но были добавлены 5 видов рукокрылых, ранее не встречавшихся в Северном Приладожье (табл. 1). Наиболее широко представлены отряды Грызуны (12 видов) и Хищные (14). Около трети всех видов (16) внесены в Красную книгу Республики Карелия [2020].



Территория исследования: цифрами обозначены обследованные острова (названия см. в тексте); кружочками – места установки ультразвукового детектора

Study area: the numbers indicate the studied islands (the names are given in the text); the circles – ultrasonic bat detector sites

Таблица 1. Список видов млекопитающих, населяющих острова национального парка «Ладожские шхеры»
Table 1. List of mammal species inhabiting the islands of the Ladoga Skerries National Park

	Вид / Species	Статус / Status
Отряд Насекомоядные – <i>Eulipotyphla</i> Order <i>Eulipotyphla</i> – Insectivores		
1	Ёж обыкновенный – <i>Erinaceus europaeus</i> L., 1758 European hedgehog	очень редок* very rare*
2	Бурозубка обыкновенная – <i>Sorex araneus</i> L., 1758 Common shrew	обычен common
3	Бурозубка средняя – <i>Sorex caecutiens</i> Laxm., 1788 Laxmann's shrew	обычен common
4	Бурозубка малая – <i>Sorex minutus</i> L., 1766 Eurasian pygmy shrew	обычен common
5	Бурозубка крошечная – <i>Sorex minutissimus</i> Zimm., 1780 Eurasian least shrew	крайне редок* extremely rare*
6	Бурозубка равнозубая – <i>Sorex isodon</i> Turov, 1933 Even-toothed shrew	крайне редок* extremely rare*
7	Водяная кутюра – <i>Neomys fodiens</i> Penn., 1771 Eurasian water shrew	редок rare
8	Крот – <i>Talpa europaea</i> L., 1758 European mole	обычен common
Отряд Рукокрылые – <i>Chiroptera</i> Order <i>Chiroptera</i> – Bats		
9	Северный кожанок – <i>Eptesicus nilssonii</i> Keyserling, Blasius, 1839 Northern bat	обычен common
10	Прудовая ночница – <i>Myotis dasycneme</i> Boie, 1825 Pond bat	редок* rare*
11	Водяная ночница – <i>Myotis daubentonii</i> Kuhl, 1817 Daubenton's bat	обычен common
12	Двукрасный кожанок – <i>Vespertilio murinus</i> Linnaeus, 1758 Parti-colored bat	редок rare
13	Рыжая вечерница – <i>Nyctalus noctule</i> Schreber, 1774 Common noctule	обычен common
14	Бурый ушан – <i>Plecotus auritus</i> Linnaeus, 1758 Brown Long-eared bat	редок* rare*
15	Ночница Брандта – <i>Myotis brandtii</i> Eversmann, 1845 Brandt's bat	редок rare
16	Ночница усатая – <i>Myotis mystacinus</i> Kuhl 1819 Whiskered bat	редок* rare*
Отряд Зайцеобразные – <i>Lagomorpha</i> Order <i>Lagomorpha</i> – Lagomorphs		
17	Заяц-беляк – <i>Lepus timidus</i> L., 1758 Mountain hare	обычен common
18	Заяц-русак – <i>Lepus europeus</i> Pall., 1778 European hare	редок* rare*
Отряд Грызуны – <i>Rodentia</i> Order <i>Rodentia</i> – Rodents		
19	Лесная мышовка – <i>Sicista betulina</i> Pall., 1779 Northern birch mouse	редок rare
20	Мышь-малютка – <i>Micromys minutus</i> Pall., 1771 Harvest mouse	крайне редок*, может встречаться на полях с высокой травой extremely rare*
21	Рыжая полевка – <i>Myodes glareolus</i> Schr., 1780 Bank vole	обычен common
22	Красная полевка – <i>Myodes rutilus</i> Pall., 1779 Northern red-backed vole	редок* rare*
23	Обыкновенная полевка – <i>Microtus arvalis</i> Pall., 1778 Common vole	крайне редок extremely rare
24	Темная полевка – <i>Agricola agrestis</i> L., 1761 Field vole	обычен common
25	Полевка-экономка – <i>Alexandromys oeconomus</i> Pall., 1776 Tundra vole	редок rare

Окончание табл. 1

Table 1 (continued)

	Вид / Species	Статус / Status
Отряд Грызуны – Rodentia Order Rodentia – Rodents		
26	Водяная полевка – <i>Arvicola amphibius</i> L., 1758 European water vole	обычен common
27	Белка обыкновенная – <i>Sciurus vulgaris</i> L., 1758 Red squirrel / Eurasian red squirrel	обычен common
28	Белка-лягая – <i>Pteromys volans</i> L., 1758 Siberian flying squirrel	редок* rare*
29	Бобр канадский – <i>Castor canadensis</i> Kuhl, 1820 North American beaver	обычен common
30	Ондатра – <i>Ondatra zibethicus</i> L., 1766 Muskrat	обычен common
Отряд Хищные – Carnivora Order Carnivora – Carnivores		
31	Волк – <i>Canis lupus</i> L., 1758 Gray wolf	обычен common
32	Лисица обыкновенная – <i>Vulpes vulpes</i> L., 1758 Red fox	обычен common
33	Енотовидная собака – <i>Nyctereutes procyonoides</i> Gray, 1834 Raccoon dog	обычен common
34	Медведь – <i>Ursus arctos</i> L., 1758 Brown bear	обычен common
35	Горностай – <i>Mustela erminea</i> L., 1758 Stoat / Ermine	обычен common
36	Ласка – <i>Mustela nivalis</i> L., 1766 Least weasel	обычен* common*
37	Лесной хорек – <i>Mustela putorius</i> L., 1758 European polecat	обычен common
38	Норка американская – <i>Neogale vison</i> Schreber, 1777 American mink	обычен common
39	Куница лесная – <i>Martes martes</i> L., 1758 European pine marten	обычен common
40	Росомаха – <i>Gulo gulo</i> L., 1758 Wolverine	редок* rare*
41	Барсук – <i>Meles meles</i> L., 1758 European badger	обычен common
42	Выдра – <i>Lutra lutra</i> L., 1758 Eurasian otter	редок* rare*
43	Рысь – <i>Lynx lynx</i> L., 1758 Eurasian lynx	редок* rare*
44	Ладожская нерпа – <i>Pusa hispida ladogensis</i> Nordquist, 1899 Ladoga ringed seal	обычен* common*
Отряд Парнокопытные – Artiodactyla Order Artiodactyla – Even-toed Ungulates		
45	Кабан – <i>Sus scrofa</i> L., 1758 Wild boar	обычен common
46	Лось – <i>Alces alces</i> L., 1758 Moose	обычен common
47	Косуля – <i>Capre lus capre lus</i> L., 1758 Roe deer	редок* rare*

Примечание. *Вид внесен в Красную книгу Республики Карелия [2020].

Note. *Species listed in the Red Data Book of the Republic of Karelia [2020].

Из списка исключены виды, вероятность встречи которых на островах Ладожских шхер (а некоторых видов и на территории всего парка) практически равняется нулю: садовая соня (*Eliomys quercinus* L., 1766), серая крыса (*Rattus norvegicus* Berk., 1769), домовая

мышь (*Mus musculus* L., 1758), полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pall., 1771), желтогорлая лесная мышь (*Sylvaemus flavigollis* Melch., 1834), лесной лемминг (*Myopus schisticolor* Lillj., 1844), красно-серая полевка (*Craseomys rufocanus* Sund., 1846).

Садовую соню и, до недавнего времени, желтогорлую мышь не регистрировали в Карелии уже несколько десятилетий. Локальный очаг обитания садовой сони отмечался в Приладожье в первой половине XX века, а последняя регистрация желтогорлой мыши также относилась к побережью Ладожского озера и датировалась 1958 годом [Якимова, 2020а, б]. Оба вида внесены в Красную книгу Республики Карелия [2020] с категорией статуса редкости 0 (вероятно исчезнувшие).

Однако недавно в окрестностях поселка Лумиваара (примерно 10 км южнее г. Лахденпохья) сотрудник ИБ КарНЦ РАН С. В. Бугмырин со своими коллегами отловил несколько особей желтогорлой мыши. Таким образом, вид вновь встречается как в Приладожье, так и на территории национального парка.

Лесной лемминг, хотя и является малочисленным видом, распространен в Карелии повсеместно, что делает вероятным его присутствие в пределах национального парка, в особенности в период вспышек численности, которые сменяются длительными и глубокими депрессиями. Однако основными местообитаниями лесного лемминга служат хвойные зеленомошные леса (преимущественно ельники) с мощным моховым и кустарниковым покровом [Ивантер, 2018]. При этом присутствие зеленых мхов и развитие моховой подушки играют в жизни зверьков важнейшую роль, создавая благоприятные гнездовые и защитные условия. На островах Ладожских шхер сосняки занимают 90,3 % площади хвойных насаждений (на долю которых приходится от 70 до 85 % территории) [Кравченко, 2001; Петров и др., 2025]. На долю сосняков скальных приходится 32,2 %, кисличных и черничных – 66,2 % [Петров и др., 2025]. Другими словами, лесные угодья Ладожских шхер не всегда представляют благоприятные местообитания для лесного лемминга.

Южная граница распространения красно-серой полевки проходит между средней и южной Карелией [Ивантер, 2018]. В Приладожье за 34 года отловов мелких млекопитающих поймано 11 670 зверьков, и среди них не было ни одной красно-серой полевки [Ивантер, Макаров, 2001].

Численность полевой мыши за последние полвека сократилась почти до нуля [Ивантер, 2018]. Основная причина связана с переориентацией сельского хозяйства Карелии с зерновых культур на овощные. Вид избегает сплошных лесных насаждений, предпочитает открытые биотопы, включая зерновые поля и луга. Однако в последние десятилетия на террито-

рии национального парка наблюдается активное зарастание сельскохозяйственных земель, в том числе лугов, площадь которых сократилась на 37,4 % [Петров и др., 2025].

По сообщениям коллег, вид отмечается в уловах на материковой части парка. На островах же вероятность его встречи крайне низка.

Обыкновенная полевка в южных районах Карелии встречается крайне редко. Более того, к началу 2000-х годов ее численность резко сократилась, местами почти до нуля. Позднее вид изредка отмечался в уловах на южных станциях Приладожья и Пряжинского р-на [Ивантер, 2018], однако после 2012 г. он вновь перестал регистрироваться [Якимова, 2018].

Всего за время полевых работ на исследованной территории добыто два вида мелких млекопитающих: восемь особей бурозубки обыкновенной (*Sorex araneus* L., 1758), три особи рыжей полевки (*Myodes glareolus* Schreber, 1780). Оба вида типичны для данной местности. Видовую принадлежность еще шести особей, отловленных давилками, установить не удалось, так как они были съедены лисицей.

Безусловно, видовое разнообразие мелких млекопитающих на изучаемой территории выше. На это указывают учеты прошлых лет, проведенные на близлежащих территориях. Так, например, в Восточном Приладожье за многие годы исследований добыто 15 видов мелких млекопитающих, из которых два – наиболее многочисленные, шесть – с более низкой численностью и семь относятся к группе крайне малочисленных видов [Ивантер, Макаров, 2001]. Учеты, проведенные в августе 1999 г. в относительной близости к нашим линиям (Ратуалахти), выявили три вида *Micromammalia*: бурозубку обыкновенную, рыжую полевку и темную полевку, с общей относительной численностью 18,67 экз. на 100 ловушко-суток [Медведев, Поздняков, 2003]. Сопоставление численности мелких млекопитающих Северного Приладожья с результатами учетов, выполненных в других таежных районах Европейского Севера России [Ивантер, 1975; Ивантер и др., 2003], показывает, что общая численность мелких млекопитающих на исследуемой территории соответствует среднему уровню для данного региона. В то же время по сравнению с более южными областями она выглядит невысокой [Ивантер, Якимова, 2010]. Для формирования полного и объективного представления о состоянии островной и материковой фауны мелких млекопитающих в пределах НП «Ладожские шхеры» необходимы многолетние ежегодные экологические исследования.

В целом список млекопитающих (табл. 1) дает достаточно типичную для изучаемого региона картину состава и встречаемости видов. Здесь обитают виды-убикисты, широко распространенные по всей Евразии (волк, лисица, горностай, ласка, выдра), виды, обычные для лесной зоны (белка, заяц-беляк, рысь, медведь, лось), виды западного и южного происхождения (лесной хорек, куница, барсук, косуля), виды сибирского происхождения (енотовидная собака) и североамериканского (ондатра, канадский бобр, американская норка).

Учеты рукокрылых показали, что на островах Ладожских шхер обитает 4 вида летучих мышей: северный кожанок (*Eptesicus nilssonii* Keyserling, Blasius, 1839), прудовая ночница (*Myotis dasycneme* Boie, 1825), водяная ночница (*Myotis daubentonii* Kuhl, 1817) и двуцветный кожан (*Vespertilio murinus* Linnaeus, 1758). Среди зарегистрированных рукокрылых преобладают северный кожанок и водяная ночница. Прудовая ночница и двуцветный кожан встречены лишь единожды на о. Тулолансаари (табл. 2).

Однако видовой состав летучих мышей может быть шире, учитывая наши предыдущие исследования на близлежащих территориях: в природном парке «Валаамский архипелаг», в г. Сортавала и в некоторых других населенных пунктах Северного Приладожья [Belkin et al.,

2021]. В этих исследованиях, наряду с регистрацией рукокрылых ультразвуковым детектором, проводили отловы зверьков паутинными сетями.

Так, например, результаты учетов в природном парке «Валаамский архипелаг» (Ладожское озеро) показали преобладание рыжей вечерницы (*Nyctalus noctule* Schreber, 1774) по относительному обилию, что вполне объяснимо, исходя из его географического положения, особенностей климата и природных условий [Belkin et al., 2021]. Судя по материалам П. П. Стрелкова [1997а, б], на северо-западе России у рыжей вечерницы границы выводковой области проходят по 60° Н, а у двуцветного кожана – даже несколько севернее. Границы распространения этих перелетных видов могут быть еще севернее за счет яловых и не-половозрелых животных, что подтверждается результатами наших учетов в подзоне средней и даже северной тайги, а также материалами в последнем атласе по рукокрытым Финляндии [Tidenberg et al., 2019].

Всего на о. Валаам зарегистрировано 6 видов рукокрылых: рыжая вечерница, северный кожанок, бурый ушан (*Plecotus auritus* Linnaeus, 1758), двуцветный кожан, прудовая ночница и водяная ночница (с абсолютным доминированием двух первых видов).

Таблица 2. Регистрации эхолокационных сигналов летучих мышей

Table 2. Records of bat echolocation signals

№	Дата / Date	Местонахождение детектора Detector location	Координаты Coordinates	Зарегистрированный вид Recorded species
1	31.07–1.08.24	о. Пелотсаари Pelotsaari Island	$61.628^{\circ}, 31.021^{\circ}$	Северный кожанок Northern bat
2	2.08–3.08.24	залив Ораванселька Oravanselkä Bay	$61.732^{\circ}, 30.956^{\circ}$	Северный кожанок Northern bat
3	3.08–4.08.24	корабль, о. Оръятсаари Ship, Oryatsaari Island	$61.619^{\circ}, 30.864^{\circ}$	Северный кожанок Northern bat
4	5.08–6.08.24	о. Тулолансаари Tulolansaari Island	$61.688^{\circ}, 30.840^{\circ}$	Северный кожанок Northern bat Водяная ночница Daubenton's bat Прудовая ночница Pond bat Двуцветный кожан Parti-colored bat
5	6.08–7.08.24	корабль, о. Тулолансаари Ship, Tulolansaari Island	$61.688^{\circ}, 30.937^{\circ}$	Северный кожанок Northern bat
6	1.08–2.08.25	о. Тамханка Tamhanka Island	$61.59082^{\circ}, 30.70877^{\circ}$	Северный кожанок Northern bat
7	3.08–4.08.25	о. Палосаари Palosaari Island	$61.61378^{\circ}, 30.65721^{\circ}$	Северный кожанок Northern bat Водяная ночница Daubenton's bat
8	4.08–5.08.25	о. Хонкасало Honkasalo Island	$61.61905^{\circ}, 30.81891^{\circ}$	Северный кожанок Northern bat

В пределах территории национального парка «Ладожские шхеры» могут встречаться также ночницы Брандта (*Myotis brandtii* Eversmann, 1845) и усатая (*M. mystacinus* Kuhl 1819), поскольку эти виды в разные годы ловили в штольнях Рускеалы и недалеко от пос. Тервяярви (северо-восточное побережье Ладожского озера, 61.732°N, 30.956°E).

Таким образом, на территории НП «Ладожские шхеры», в т. ч. на островах архипелага Тулолансаари, могут обитать восемь видов рукокрылых, в то время как в перечне млекопитающих Северного Приладожья их было три: северный кожанок, бурый ушан и усатая ночница [Данилов и др., 2000].

Следует сказать несколько слов о бобре. Хотя в табл. 1 и указано, что вид обычен, это скорее относится ко всему Приладожью. В НП «Ладожские шхеры» численность бобров будет невысокой, поскольку два основных фактора, определяющих их численность и распространение, – кормовая база и пригодные места для устройства жилищ – на изучаемой территории представлены слабо. Во-первых, в парке преобладают хвойные леса, которые занимают около 85 % территории [Кравченко, 2001], а бобр, как известно, использует в пищу преимущественно лиственные породы (доля хвойных в питании бобра в средней тайге составляет 0,2 % [Данилов и др., 2007]). Во-вторых, отсутствие в парке пригодных мест для устройства жилищ становится основным экологическим фактором, который значительно ограничивает возможность поселения здесь бобров. Основным первичным видом жилищ бобров являются норы [Федюшин, 1935; Дежкин и др., 1986; Данилов и др., 2007]. Наиболее подходящими для рытья нор бывают высокие берега с выраженной террасой, сложенные из супесчаного или суглинистого грунта. Такие берега редки в Карелии и весьма обычны в южных регионах страны. При низинных, заболоченных или сплавинных берегах бобры строят хатки. Однако даже если хатка стоит на берегу, выход из нее обязательно должен находиться под водой на достаточной глубине (чтобы он не замерзал зимой). Для этого бобр роет подземный ход (туннель) из жилища в воду, что невозможно при скалистых берегах и каменистом дне, которые характерны для НП «Ладожские шхеры». Поэтому бобры будут селиться на реках в глубине крупных островов или на материке, где некоторые водоемы и водотоки имеют грунтовые берега с участками лиственного леса. Еще одна особенность поведения бобров в пессимальных условиях заключается в том, что при дефиците пригодных мест обитания и ограниченной

кормовой базе бобры в процессе расселения нередко занимают оставленные другими семьями поселения, поскольку те обычно расположены в наиболее благоприятных местах. Это показано в наших предыдущих исследованиях [Федоров, Красовский, 2019; Федоров, 2021].

По результатам обследования 17 островов национального парка «Ладожские шхеры» постоянные поселения бобров обнаружены только на двух: Маркатсимансаари и Тамханка. На остальных островах зафиксированы лишь единичные погрызы, что свидетельствует об отсутствии там устойчивых колоний. Из семи найденных поселений пять были заселены повторно или в третий раз, а одно оказалось брошенным. По характеру размещения они распределились следующим образом: три поселения располагались на внутренних водоемах островов (ручьях и озерах), три – в протоке между островами и на выходе из нее, одно – в заливе. Именно в этих местах наиболее благоприятные условия для жизни бобров: грунтовые берега, лиственный лес с доминированием осины и развитым травянистым покровом, заросли тростника и других прибрежно-водных растений в водоемах и водотоках. Эти местообитания благоприятны и для летяги, поскольку здесь присутствуют как толстостволовые осины, так и хвойные деревья, необходимые ей для укрытий и передвижения.

С высокой вероятностью можно утверждать, что на территории парка обитает канадский (североамериканский) бобр. Вместе с тем наши предыдущие исследования показали, что в относительной близости от изучаемой территории – в Питкярантском р-не – обитают европейские (евразийские) бобры [Данилов и др., 2007]. Таким образом, нельзя исключать, что в будущем в Ладожских шхерах могут существовать оба вида – канадский и европейский.

Заключение

Составленный в ходе исследования список млекопитающих островов Ладожских шхер включает 47 видов. Для всей территории национального парка он может быть расширен до 52 за счет возможного присутствия синантропных видов (серая крыса, домовая мышь), а также редких видов (лесной лемминг, полевая и желтогорлая мыши), встречу которых, хотя и маловероятную, исключать нельзя, особенно в местах с благоприятными условиями. По сравнению с перечнем, опубликованным ранее [Данилов и др., 2000], список для всего парка уточнен: исключены два вида мелких млеко-

питающих и добавлены пять видов рукокрылых, ранее не отмечавшихся в Приладожье.

Таким образом, обновленные данные не только дополняют сведения о биологическом разнообразии «Ладожских шхер», но и имеют прикладное значение для разработки мероприятий по охране природы и мониторингу состояния экосистем. Уточненный перечень териофауны может служить надежной основой для дальнейших научных исследований, а также для корректировки природоохранных стратегий, направленных на сохранение уникальных островных сообществ региона.

Авторы считают своим долгом поблагодарить за помощь в проведении учетов сотрудников лаборатории зоологии ИБ КарНЦ РАН С. А. Симонова и М. В. Матанцеву.

Литература

Данилов П. И., Белкин В. В., Якимов А. В., Медведев Н. В., Блюдник Л. В., Каньшиев В. Я., Федоров Ф. В., Макаров А. М. Млекопитающие // Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на территории Заонежского полуострова и Северного Приладожья / Ред. А. Н. Громцев, В. И. Крутов. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2000. С. 126–132.

Данилов П. И., Каньшиев В. Я., Федоров Ф. В. Речные бобры Европейского Севера России. М.: Наука, 2007. 200 с.

Джекин В. В., Дьяков Ю. В., Сафонов В. Г. Бобр / Ред. А. И. Земскова. М.: Агропромиздат, 1986. 255 с.

Ивантер Э. В. Очерки популяционной экологии мелких млекопитающих на северной периферии ареала. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2018. 770 с.

Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.

Ивантер Э. В., Макаров А. М. ТERRITORIALNAYA EKOLOGIYA ZEMLEROEK-BUROZUBOK (Insectivora, Sorex). Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. 272 с.

Ивантер Э. В., Макаров А. М., Грищенко А. Е. Численность и экологическая структура населения мелких млекопитающих Приладожья // Труды Карельского научного центра РАН. 2003. Вып. 4. С. 227–238.

Ивантер Э. В., Якимова А. Е. Млекопитающие. Численность и экологическая структура населения мелких млекопитающих // Мониторинг и сохранение биоразнообразия таежных экосистем Европейского Севера России. Глава 4. Фауна наземных позвоночных. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 170–195.

Кравченко А. В. Национальный парк «Ладожские шхеры»: предложения к организации. Петрозаводск, 2001. 92 с.

Красная книга Республики Карелия / Гл. ред. О. Л. Кузнецов. Белгород: Константа, 2020. 448 с.

Медведев Н. В., Поздняков С. А. Сообщества мелких млекопитающих планируемых особо охраняемых

природных территорий // Труды Карельского научного центра РАН. 2003. Вып. 4. С. 181–186.

Петров Н. В., Раевский Б. В., Тарасенко В. В. Исследование динамики растительного покрова архипелага Тулолансаари (национальный парк «Ладожские шхеры») на основе спутниковых данных // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 73–85. doi: 10.17076/eco2125

Стрелков П. П. Область выведения потомства и ее положение в пределах ареала у перелетных видов рукокрылых (Chiroptera, Vespertilionidae) Восточной Европы и смежных территорий. Сообщение 1 // Зоологический журнал. 1997а. Т. 76, № 9. С. 1073–1082.

Стрелков П. П. Область выведения потомства и ее положение в пределах ареала у перелетных видов рукокрылых (Chiroptera, Vespertilionidae) Восточной Европы и смежных территорий. Сообщение 2 // Зоологический журнал. 1997б. Т. 76, № 12. С. 1381–1390.

Федоров Ф. В. Пространственное распределение и экология бобров Кижского архипелага // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 12. С. 46–56. doi: 10.17076/eco1508

Федоров Ф. В., Красовский Ю. А. Канадский бобр (*Castor canadensis* Kuhl) как инвазивный вид в карельской части Зеленого пояса Фенноскандии // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 5. С. 30–39. doi: 10.17076/eco1081

Федюшин А. В. Речной бобр, его история, жизнь и опыты по размножению. М.: Гудок, 1935. 356 с.

Якимова А. Е. Садовая соня *Eliomys quercinus* L. // Красная книга Республики Карелия / Ред. О. Л. Кузнецова. Белгород: Константа, 2020а. С. 295.

Якимова А. Е. Результаты мониторинга мелких млекопитающих в Средней Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 1. С. 67–80. doi: 10.17076/bg642

Якимова А. Е. Желтогорлая мышь *Sylvaemus flavicollis* Melch. // Красная книга Республики Карелия / Ред. О. Л. Кузнецова. Белгород: Константа, 2020б. С. 294.

Belkin V. V., Fyodorov F. V., Ilyukha V. A., Yakimova A. E. Characteristics of the bat (Chiroptera) population in protected areas in the northern and middle taiga subzones of European Russia // Nat. Conserv. Res. 2021. Vol. 6, no. 1. P. 17–31. doi: 10.24189/ncr.2021.002

Tidenerg E.-M., Liukko U.-M., Stjernber T. Atlases of Finnish bats // Ann. Zool. Fennici. 2019. Vol. 56. P. 207–250.

References

Belkin V. V., Fyodorov F. V., Ilyukha V. A., Yakimova A. E. Characteristics of the bat (Chiroptera) population in protected areas in the northern and middle taiga subzones of European Russia. Nat. Conserv. Res. 2021;6(1):17–31. doi: 10.24189/ncr.2021.002

Danilov P. I., Belkin V. V., Yakimov A. V., Medvedev N. V., Blyudnik L. V., Kan'shiev V. Ya., Fyodorov F. V., Makarov A. M. Mammals. Inventarizatsiya i izuchenie biologicheskogo raznoobraziya na territorii Zaonezhskogo poluostrova i Severnogo Priladozh'ya = Inventory and study of biological diversity in the Zao-

- nezhsky Peninsula and Northern Ladoga region.* Petrozavodsk: KarRC RAS; 2000. P. 126–132. (In Russ.)
- Danilov P. I., Kan'shiev V. Ya., Fyodorov F. V. Eurasian beaver of the European North of Russia. Moscow: Nauka; 2007. 200 p. (In Russ.)
- Dezhkin V. V., D'yakov Yu. V., Safonov V. G. The beaver. Moscow: Agropromizdat; 1986. 255 p. (In Russ.)
- Fyodorov F. V. Spatial distribution and ecology of beavers of the Kizhi Archipelago. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2021;12:46–56. (In Russ.). doi: 10.17076/eco1508
- Fyodorov F. V., Krasovsky Yu. A. Canadian beaver (*Castor canadensis* Kuhl) as an invasive species in the Karelian part of the Green Belt of Fennoscandia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2019;5:30–39. (In Russ.). doi: 10.17076/eco1081
- Fedyushin A. V. The Eurasian beaver, its history, life, and reproduction experiments. Moscow: Gudok; 1935. 356 p. (In Russ.)
- Ivanter E. V. Essays on population ecology of small mammals at the northern periphery of their range. Moscow: KMK; 2018. 770 p. (In Russ.)
- Ivanter E. V. Population ecology of small mammals in the taiga of the northwestern USSR. Leningrad: Nauka; 1975. 246 p. (In Russ.)
- Ivanter E. V., Makarov A. M. Territorial ecology of shrews (Insectivora, Sorex). Petrozavodsk: PetrGU; 2001. 272 p. (In Russ.)
- Ivanter E. V., Makarov A. M., Grishchenko A. E. Abundance and ecological structure of small mammal populations in the Ladoga region. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2003;4:227–238. (In Russ.)
- Ivanter E. V., Yakimova A. E. Mammals. Abundance and ecological structure of small mammal populations. *Monitoring i sokhranenie bioraznoobraziya taezhnykh ekosistem Evropeiskogo Severa Rossii. Glava 4. Fauna nazemnykh pozvonochnykh = Monitoring and conservation of biodiversity of taiga ecosystems of the Euro-*
- pean North of Russia. Chapter 4. Terrestrial vertebrate fauna. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2010. P. 170–195. (In Russ.)
- Kravchenko A. V. Ladoga Skerries National Park: proposals for organization. Petrozavodsk; 2001. 92 p. (In Russ.)
- Kuznetsov O. L. (ed.). The Red Data Book of the Republic of Karelia. Belgorod: Konstanta; 2020. 448 p. (In Russ.)
- Medvedev N. V., Pozdnyakov S. A. Small mammal communities in planned protected areas. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2003;4:181–186. (In Russ.)
- Petrov N. V., Raevskii B. V., Tarasenko V. V. Study of vegetation dynamics of the Tulolansaari Archipelago (Ladoga Skerries National Park) based on satellite data. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2025;8:73–85. (In Russ.). doi: 10.17076/eco2125
- Strelkov P. P. Breeding area and its position within the range of migratory bats (Chiroptera, Vespertilionidae) of Eastern Europe and adjacent territories. Report 1. *Zoological Journal.* 1997;76(9):1073–1082. (In Russ.)
- Strelkov P. P. Breeding area and its position within the range of migratory bats (Chiroptera, Vespertilionidae) of Eastern Europe and adjacent territories. Report 2. *Zoological Journal.* 1997;76(12):1381–1390. (In Russ.)
- Tidenberg E.-M., Liukko U.-M., Stjernber T. Atlas of Finnish bats. *Ann. Zool. Fennici.* 2019;56:207–250.
- Yakimova A. E. The results of monitoring of small mammals in Central Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2018;1:67–80. (In Russ.). doi: 10.17076/bg642
- Yakimova A. E. Garden dormouse (*Eliomys quercinus* L.). *Krasnaya kniga Respubliki Kareliya = The Red Data Book of the Republic of Karelia.* Belgorod: Konstanta; 2020. P. 295. (In Russ.)
- Yakimova A. E. Yellow-necked mouse (*Sylvaemus flavidollis* Melch.). *Krasnaya kniga Respubliki Kareliya = The Red Data Book of the Republic of Karelia.* Belgorod: Konstanta; 2020. P. 294. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 19.09.2025; принята к публикации / accepted: 14.11.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Фёдоров Фёдор Валерьевич
канд. биол. наук, старший научный сотрудник
e-mail: ffyodoroff@inbox.ru

Янченко Татьяна Игоревна
биолог
e-mail: tanyayanchenko2001@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Fyodorov, Fyodor
Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Yanchenko, Tatyana
Biologist

УДК 576.896.775:[599.32+599.363](470.22)

ПАРАЗИТО-ХОЗЯИННЫЕ СВЯЗИ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ БЛОХ (INSECTA, SIPHONAPTERA) МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЕ КАРЕЛИИ

Н. А. Лютикова*, Л. А. Беспятова, С. В. Бугмырин

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *tasha_dein@mail.ru

Проанализированы результаты многолетних (2013–2023 гг.) мониторинговых исследований, характеризующие видовой состав и сезонные изменения численности блох (Siphonaptera) мелких млекопитающих южной части Карелии. Видовой состав мелких млекопитающих типичен для среднетаежной подзоны и представлен 9 видами, из которых наиболее многочисленными были рыжая полевка (*Myodes glareolus* (Schreber, 1780)) и обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758). Фауна блох представлена 13 видами из трех семейств: Hystrichopsyllidae (6), Ceratophyllidae (5), Leptopsyllidae (2). Наиболее массовыми видами были *Doratopsylla dasycnema dasycnema* (Rothschild, 1897) – 44 %, *Palaeopsylla soricis starki* Wagner, 1930 – 18 %, *Ctenophthalmus (Euctenophthalmus) uncinatus uncinatus* (Wagner, 1898) – 16 % и *Peromyscopsylla silvatica* (Meinert, 1896) – 9 %. Встречаемость и индекс обилия блох у *M. glareolus* и *S. araneus* составили 32 %, 0,8 и 46 %, 1,4 соответственно. У мышевидных грызунов в течение сезона наблюдается смена доминирующих видов блох; высокие показатели встречаемости и индекса обилия приходятся на январь, май и октябрь. У насекомоядных высокая зараженность отмечалась в июне и октябре; в зимний период численность блох заметно снижалась. Паразитирующих на мелких млекопитающих блох можно отнести к трем основным экологическим группам: виды с круглогодичным размножением (*A. penicilliger*), приуроченные к теплому (*C. uncinatus*, *P. sylvatica*, *M. rectangulatus*, *H. talpae*, *D. dasycnema* и *P. soricis*) или холодному (*R. integrella*, *P. bidentata*) периоду года. В условиях среднетаежной подзоны Карелии преобладают паразиты, размножение и существование имаго которых приходится на весенне-осенний период. Высокую численность блох с подобной спецификацией годового цикла можно рассматривать как адаптацию к условиям севера.

Ключевые слова: блохи; сезонная динамика; паразито-хозяинные отношения; видовое разнообразие; *Myodes glareolus*; *Sorex araneus*

Для цитирования: Лютикова Н. А., Беспятова Л. А., Бугмырин С. В. Паразито-хозяинные связи и сезонная динамика численности блох (Insecta, Siphonaptera) мелких млекопитающих в среднетаежной подзоне Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 45–56. doi: 10.17076/eco2065

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (№ г. р. 122032100130-3).

N. A. Lyutikova*, L. A. Bespyatova, S. V. Bugmyrin. HOST-PARASITE RELATIONSHIPS AND SEASONAL ABUNDANCE VARIATIONS OF FLEAS (INSECTA, SIPHONAPTERA) ON SMALL MAMMALS IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE OF KARELIA

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *tasha_dein@mail.ru*

The article summarizes long-term (2013–2023) monitoring results regarding the species composition and seasonal variations of fleas (Siphonaptera) on small mammals of southern Karelia. The species composition of small mammals is typical of the mid-boreal subzone and is represented by nine species, the most abundant among them being the bank vole (*Myodes glareolus* (Schreber, 1780)) and the common shrew (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758). The flea fauna is made up of 13 species of three families: Hystrichopsyllidae (6 species), Ceratophyllidae (5), Leptopsyllidae (2). The most common species were *Doratopsylla dasycnema dasycnema* (Rothschild, 1897) – 44 %, *Palaeopsylla soricis starki* Wagner, 1930 – 18 %, *Ctenophthalmus (Euctenophthalmus) uncinatus uncinatus* (Wagner, 1898) – 16 %, and *Peromyscopsylla silvatica* (Meinert, 1896) – 9 %. The prevalence and the index of abundance of fleas on *M. glareolus* and *S. araneus* were 32 %, 0.8 and 46 %, 1.4, respectively. The dominant species of fleas on muroid rodents change in the course of the season; the prevalence and abundance index values are high in January, May, and October. Insectivores showed high infection rates in June and October, while flea numbers in the winter season declined notably. The fleas that parasitize small mammals fall into three major ecological groups: continuous breeders (*A. penicilliger*), warm-season species (*Ct. uncinatus*, *P. sylvatica*, *M. rectangulatus*, *H. talpae*, *D. dasycnema*, and *P. soricis*), or cold-season species (*R. integella*, *P. bidentata*). In mid-boreal Karelia, there prevail the parasites whose breeding and imago life occur during the spring-to-fall period. The high abundance of fleas with this type of the annual cycle can be regarded as an adaptation to living in the North.

Keywords: fleas; seasonal dynamics; host-parasite relations; species diversity; *Myodes glareolus*; *Sorex araneus*

For citation: Lyutikova N. A., Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V. Host-parasite relationships and seasonal abundance variations of fleas (Insecta, Siphonaptera) on small mammals in the middle taiga subzone of Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 45–56.
doi: 10.17076/eco2065

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (122032100130-3).

Введение

Блохи (Siphonaptera) представляют собой группу облигатных паразитов млекопитающих и птиц. Они имеют всесветное распространение и служат переносчиками различных возбудителей многих природно-очаговых заболеваний человека и животных [Балашов, 1982; Ващенок, 1988].

Цикл развития блохи длится около 3–4 недель при оптимальных условиях питания, температуры и влажности. Самки большинства видов блох откладывают около 3–6 яиц в различные субстраты (гнезда грызунов и птиц, мусор на входах в норы грызунов, а также шерсть хозяина). После нескольких дней вылупляются личинки, которые питаются органическими веществами. Спустя 2–3 недели личинка плетет

кокон и через 2–3 дня превращается в куколку. Имаго появляется через неделю и более в зависимости от температуры окружающей среды [Brinck-Lindroth, Smit, 2007; Krasnov, 2008]. Продолжительность жизни имаго разных видов блох в зависимости от температуры варьирует от нескольких недель до 2–3 месяцев. Блохам, для которых характерны перерыв или депресия размножения в холодный период, свойственна большая продолжительность жизни [Ващенок, 1988].

Существуют две классификации годичных циклов блох, предложенные Н. Ф. Дарской [1970] и В. С. Ващенком [1988]. При обобщении приспособления блох к сезонным условиям Дарская [1970] выделила пять типов (А, В, С, Д, Е), сформированных по сходству годовых циклов. К типу А относятся блохи, размножающиеся

круглый год и у которых в течение года происходят также развитие преимагинальных фаз и выплод имаго. К типу В отнесены блохи диких животных, у которых имаго встречается круглый год, но размножение и преимагинальное развитие приурочены к теплому времени года. К типу С относятся блохи зимоспящих грызунов. Блохи данного типа интенсивно размножаются в период активной жизни хозяина и откладывают яйца в период его спячки. К типу D относятся блохи, хозяева которых имеют убежища только в определенный период, а имаго вне коконов обнаруживаются, когда хозяин связан с жильем, где происходит откладка яиц и преимагинальное развитие блох. К типу Е относятся блохи, которые при круглогодичной связи хозяина с жилищем встречаются в имагинальном состоянии и размножаются в течение короткого периода. В. С. Ващенок [1988], опираясь на фенологию размножения и существования имаго, выделил также пять типов годовых циклов блох, характеризующихся: 1) круглогодичным размножением, 2) размножением в теплый период года при круглогодичном существовании имаго; 3) приуроченностью размножения и существования имаго к теплому периоду года; 4) круглогодичным размножением с тенденцией к переживанию в коконах наиболее жаркого (и сухого) периода года; 5) приуроченностью размножения и существования имаго к холодному периоду года.

На территории Северо-Запада России и со-пределенных территориях отмечено 56 видов блох, включая видовой состав блох рукокрылых, птиц, средних и крупных млекопитающих [Ващенок, 1996]. Мелкие млекопитающие, благодаря своему широкому распространению и высокой численности, играют значительную роль в биоценозах и в прокормлении кровососущих членистоногих, в том числе и блох.

Начало изучения блох мелких млекопитающих в Карелии датируется 90-ми годами XX века [Беспятова, 2001; Беспятова, Медведев, 2004]. На территории Гомельского стационара были проведены работы по изучению видового состава и паразито-хозяйственных отношений блох и различных видов хозяев [Беспятова и др., 2003а, б, 2005, 2008; Бугмырин, 2003]. В настоящее время на территории Карелии отмечено 28 видов блох, из которых 22 вида – это блохи мелких млекопитающих [Медведев и др., 2024].

Целью нашей работы был анализ видового состава блох мелких млекопитающих за период с 2013 по 2023 г. и описание сезонной динамики численности массовых видов паразитов в условиях среднетаежной подзоны южной Карелии.

Материалы и методы

Исследования проводились в районе Гомельского паразитологического стационара КарНЦ РАН (Кондопожский р-н, Республика Карелия, 62.068° с. ш. 33.961° в. д.), расположенного в среднетаежной подзоне южной Карелии. На данной территории распространены в основном вторичные средневозрастные и приспевающие сосновые и смешанные сосново-лиственные леса с примесью ели [Беспятова, Бугмырин, 2015]. Подробное описание биотопов, в которых проводились отловы мелких млекопитающих, представлено в работе [Беспятова и др., 2019].

Материал собирался преимущественно в бесснежный период с 2013 по 2023 г. (январь, май, июль, август 2013 г.; август 2014 г.; июнь, август 2015 г.; июнь–сентябрь 2016 г.; февраль, март, июнь–сентябрь 2017 г.; март, июнь–октябрь 2018 г.; март, июнь–август 2019 г.; август–октябрь 2020 г.; январь, февраль, июнь, июль 2021 г.; март, май–октябрь 2022 г.; май–сентябрь 2023 г.). Всего отработано 25 630 ловушко-суток, отловлено 1815 экз. животных, с которых собрано и определено 1885 экз. блох. При описании сезонной динамики блох данные за несколько лет объединяли по дате сбора.

Отлов животных проводился с помощью линий ловушек Геро, поставленных в разнотипных биотопах. Ловушки Геро были установлены на расстоянии 3–5 м друг от друга по 25–50 штук в линию на несколько суток. Также была установлена линия ловушек с регистрацией времени поимки животного [Яковлев и др., 2020; Бугмырин и др., 2021; Кочерова и др., 2022]. Линии проверялись один (обычно в 8 утра) или два (около 8 и 18 часов) раза в сутки. Погибших животных помещали в отдельные мешочки. Осмотр зверьков и сбор блох проводили по общепринятым методикам [Высоцкая, Кирьянова, 1970; Беспятова, Бугмырин, 2012].

Определение блох выполнено после изготовления препаратов с использованием жидкости Фора – Берлизе по морфологическим признакам [Скалон, 1970; Brinck-Lindroth, Smit, 2007] на микроскопе Olympus BX53 (оборудование Центра коллективного пользования КарНЦ РАН). Для анализа данных были рассчитаны паразитологические индексы: встречаемости (ИВ), обилия (ИО) и показатель прокормления (ПП; произведение индекса обилия блох на относительную численность хозяина, пересчитанную на 100 ловушко-суток) [Беспятова, Бугмырин, 2012].

Результаты

Паразито-хозяинные связи блох мелких млекопитающих

В районе исследования видовой состав мелких млекопитающих хозяев – прокормителей блох представлен 9 видами, относящимися к двум отрядам: Eulipotyphla – насекомоядные (обыкновенная бурозубка *Sorex araneus* Linnaeus, 1758, средняя бурозубка *S. caecutiens* Laxmann, 1788, равнозубая бурозубка *S. isodon* Turov, 1924, малая бурозубка *S. minutus* Linnaeus, 1766, водяная кутюра *Neomys fodiens* (Pennant, 1771)) и Rodentia – грызуны (лесная мышовка *Sicista betulina* (Pallas, 1779), рыжая полевка *Myodes glareolus* (Schreber, 1780), пашенная полевка *Microtus agrestis* (Linnaeus, 1761), полевка-экономка *Alexandromys oeconomus* (Pallas, 1776)). Массовыми видами были рыжая полевка (42 % в общих сборах) и обыкновенная бурозубка (41 %) (рис. 1).

За период проведения исследований на мелких млекопитающих обнаружено 13 видов блох, принадлежащих к трем семействам: сем. Hystrichopsyllidae: *Ctenophthalmus (Euctenophthalmus) uncinatus uncinatus* (Wagner, 1898), *Palaeopsylla soricis starki* Wagner, 1930, *Corrodopsylla birulai* (Ioff, 1928), *Doratopsylla dasycnema dasycnema* (Rothschild, 1897), *Rhadinopsylla (Actenophthalmus) integella* Jordan et Rothschild, 1921, *Hystrichopsylla talpae talpae* (Curtis, 1826); сем. Ceratophyllidae: *Amalaraeus penicilliger pedias* (Rothschild, 1911), *Ceratophyllus (Emmareus) garei* (Rothschild, 1902), *Ceratophyllus (Monopsyllus) sciurorum sciurorum* (Schrank, 1803), *Megabothris (Gebiella) rectangulatus* (Wahlgren, 1903), *Megabothris (Megabothris) walkeri* (Rothschild, 1902), сем. Leptopsyllidae: *Peromyscopsylla bidentata bidentata* (Kolenati, 1863), *Peromyscopsylla silvatica* (Meinert, 1896). Большинство видов (7) имеют транспалеарктический ареал. Также отмечены виды с западнопалеарктическим (*Amalaraeus*

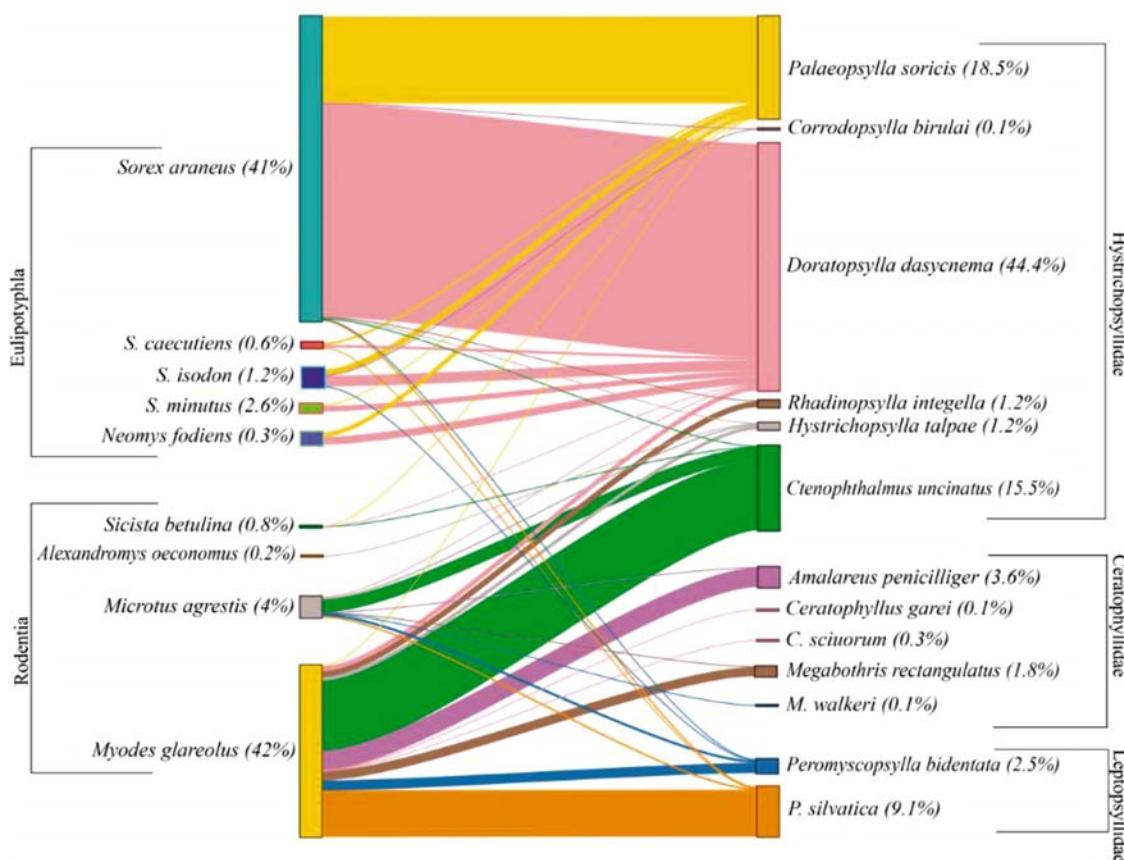


Рис. 1. Паразито-хозяинные связи блох мелких млекопитающих Карелии (Гомсельгский стационар РК, 2013–2023 гг.). В скобках приведены значения частоты встречаемости (в %) каждого вида хозяина и паразита в общих сборах. Диаграмма создана с использованием SankeyMATIC [2014]

Fig. 1. Host-parasite relationships of fleas of small mammals in Karelia (the research station of the Institute of Biology, 2013–2023). The frequency of prevalence (in %) of each host and parasite species in total collections are shown in parentheses. The diagram was created using SankeyMATIC [2014]

penicilliger, *C. uncinatus*, *D. dasycnema*, *P. soricis*, *H. talpae*) и голарктическим типом ареала (*C. garei*). Массовыми видами блох в сборах были *Doratopsylla dasycnema* – 44,4 %, *P. soricis* – 18,5 %, *C. uncinatus* – 15,5 %, *P. silvatica* – 9,1 %. К редким видам можно отнести как специфичных для грызунов и насекомоядных паразитов *Corrodopsylla birulai* (0,1 %), *M. walkeri* (0,1 %), так и неспецифичных – *Ceratophyllus sciurorum* (0,3 %), *C. garei* (0,1 %) (рис. 1).

Наибольшее число видов блох (11) отмечено на рыжей полевке. Встречаемость и средняя численность блох составили 32 % и 0,78 соответственно. Ядро фауны составляют: *C. uncinatus* (ИВ 16 %; ИО 0,31), *P. sylvatica* (11 %; 0,2) и *A. penicilliger* (5 %; 0,08) (табл.). На пашенной полевке и обыкновенной бурозубке отмечено

по 8 видов блох. Встречаемость и средняя численность блох обыкновенной бурозубки составили 46 % и 1,41 соответственно. Ядро фауны блох представлено олигоксенными видами: *D. dasycnema* (37 % и 0,9) и *P. soricis* (17 % и 0,4) (табл.). Среди видов блох, отмеченных на *M. agrestis*, наиболее многочисленным был *C. uncinatus* (26 % и 0,6). На других видах мелких млекопитающих паразитируют 2–3 вида блох. Высокая зараженность блохами (ИО 8,8) характерна для обыкновенной куторы (табл.).

Сезонные изменения относительной численности блох

Блохи на мелких млекопитающих в районе исследования отмечены во все месяцы сбора

Показатели встречаемости и индекса обилия блох на мелких млекопитающих Карелии (район Гомельского стационара РК, 2013–2023 гг.)

The prevalence and the index of abundance of fleas in small mammals in Karelia (the research station of the Institute of Biology, 2013–2023)

Виды блох Flea species	Eulipotyphla					Rodentia			
	Sar	Sis	Sca	Smi	Nfo	Mgl	Mag	Aoe	Sbe
<i>Hystrichopsylla talpae</i>	<u>0,3</u> 0,003					<u>1</u> 0,01	<u>3</u> 0,07	<u>(1)</u> (1)	
<i>Ctenophthalmus uncinatus</i>	<u>0,3</u> 0,003					<u>15</u> 0,3	<u>26</u> 0,6		<u>7</u> 0,07
<i>Palaeopsylla soricis</i>	<u>16</u> 0,4	<u>38</u> 0,9	<u>(2)</u> 1,1	<u>8</u> 0,1	<u>(5)</u> 3,2	<u>0,4</u> 0,004			<u>7</u> 0,07
<i>Doratopsylla dasycnema</i>	<u>36</u> 0,9	<u>71</u> 1,6	<u>(3)</u> 1,4	<u>25</u> 0,4	<u>(5)</u> 5,6	<u>1,9</u> 0,02	<u>5</u> 0,05		<u>7</u> 0,07
<i>Corrodopsylla birulai</i>	<u>0,1</u> 0,001	<u>4,1</u> 0,04							
<i>Rhadinopsylla integella</i>	<u>0,3</u> 0,002					<u>1,6</u> 0,02			
<i>Ceratophyllus sciurorum</i>						<u>0,1</u> 0,001			
<i>C. garei</i>						<u>0,2</u> 0,002			
<i>Megabothris walkeri</i>							<u>1</u> 0,01		
<i>M. rectangulatus</i>							<u>3,3</u> 0,03	<u>1</u> 0,01	
<i>Amalareus penicilliger</i>							<u>5</u> 0,08	<u>1</u> 0,01	
<i>Peromyscopsylla bidentata</i>	<u>0,3</u> 0,002	<u>4,1</u> 0,04				<u>3,1</u> 0,04	<u>6</u> 0,11		
<i>P. silvatica</i>	<u>0,6</u> 0,01		<u>(1)</u> 0,1			<u>10,6</u> 0,2	<u>6</u> 0,06	<u>(1)</u> (1)	
Исследовано хозяев Number of hosts	793	24	7	51	5	839	79	1	15
Отмечено видов блох Number of flea species	8	4	3	2	2	11	8	2	3
Собрано блох Number of fleas	1082	54	19	25	44	580	76	2	3

Примечание. Sar – *Sorex araneus* L., 1758, Smi – *S. minutus* L., 1766, Sca – *S. caecutiens* Laxmann, 1788, Sis – *S. isodon* Turov, 1924, Nfo – *Neomys fodiens* (Pennant, 1771), Mgl – *Myodes glareolus* (Schreber, 1780), Aoe – *Alexandromys oeconomus* (Паллас, 1776), Mag – *Microtus agrestis* (L., 1761), Sbe – *Sicista betulina* (Паллас, 1779). Данные в числителе – индекс встречаемости (%), в знаменателе – индекс обилия; в скобках указаны абсолютные значения.

Note. The table shows the following data: prevalence (%) is given in the numerator, index of abundance – in the denominator; absolute values are given in parentheses.

паразитологического материала. У мышевидных грызунов самые высокие показатели встречаемости и индекса обилия приходятся на январь, май и октябрь. У насекомоядных пик зараженности блохами наблюдается в июне и октябре (рис. 2).

Для характеристики сезонной динамики численности массовых видов блох (рис. 3–6) мы использовали показатели встречаемости (ИВ) и прокормления (ПП). В условиях среднетаежной подзоны Карелии *C. uncinatus* встречается на грызунах с марта по октябрь, подъем численности этого вида приходится на май (ПП 2,3) и октябрь (ПП 1,9) (рис. 3). *P. sylvatica* отмечали в сборах с июля по октябрь с высокими значениями относительной численности в августе и октябре (рис. 4). У *A. penicilliger* (рис. 5) более высокие показатели встречаемости и прокормления были зимой и в начале весны при сохраняющемся снежном покрове. Паразиты насекомоядных млекопитающих *D. dasycnemata* и *P. soricis* имеют сходный характер сезонной динамики и

присутствуют в сборах на протяжении всего года с пиком численности в октябре (рис. 6).

Из малочисленных видов блох (содержание в сборах < 5 %) *Rh. integella* (ИВ 6 %; ИО 0,13) и *P. bidentata* (19 %; 0,2) приурочены к осенне-зимнему, *H. talpae* (2 %; 0,02) – к осеннему, *M. rectangulatus* (6 %; 0,07) – к весенне-летнему периоду (рис. 7). Единично отмеченные: *C. birulai* (отмечена на обыкновенной и равнозубой бурозубках в июле и августе), *C. garei* (в июне и июле на рыжей полевке), *C. sciurorum* (в августе на рыжей полевке), *M. walkeri* (в августе на темной полевке).

Обсуждение

В таежной зоне северо-запада РФ рыжая полевка и обыкновенная бурозубка являются наиболее распространенными и массовыми видами мелких млекопитающих [Ивантер, 1975; Ивантер и др., 2016]. На исследуемой нами территории среднетаежной подзоны Карелии, где их доля в сборах составляла

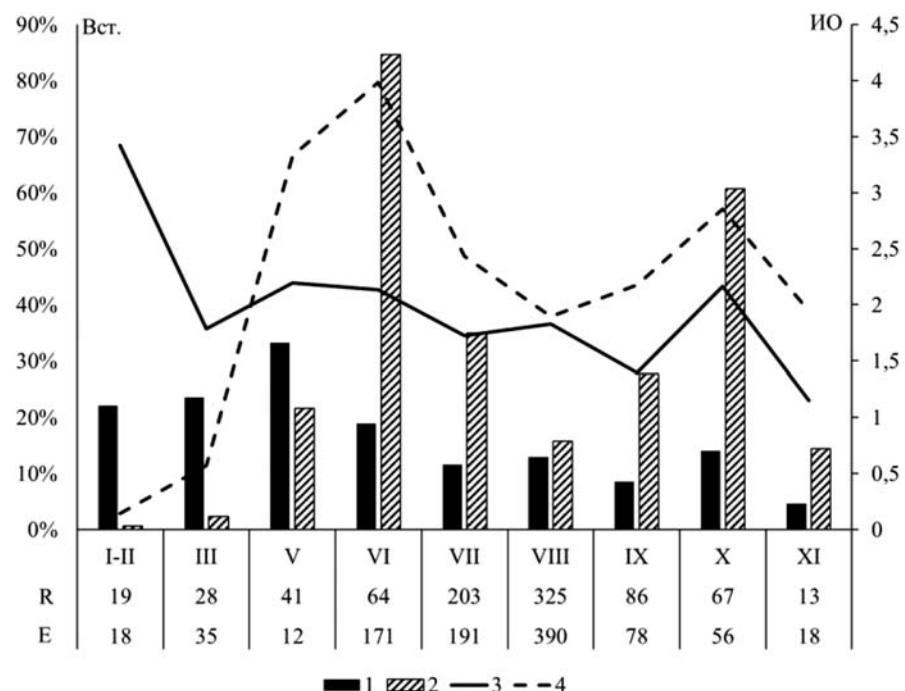


Рис. 2. Сезонная динамика численности блох грызунов и насекомоядных:

1 – индекс встречаемости (ИВ) блох грызунов, 2 – ИВ блох насекомоядных, 3 – индекс обилия (ИО) блох грызунов, 4 – ИО блох насекомоядных. Под диаграммой приведена таблица с количеством отловленных грызунов (R) и насекомоядных (E) в разные месяцы сборов

Fig. 2. Seasonal dynamics of the number of fleas, rodents and insectivores:

1 – prevalence of rodent fleas, 2 – prevalence of insectivorous fleas, 3 – abundance index of rodent fleas, 4 – abundance index of insectivorous fleas. The table below shows the number of rodents (R) and insectivores (E) caught in different months

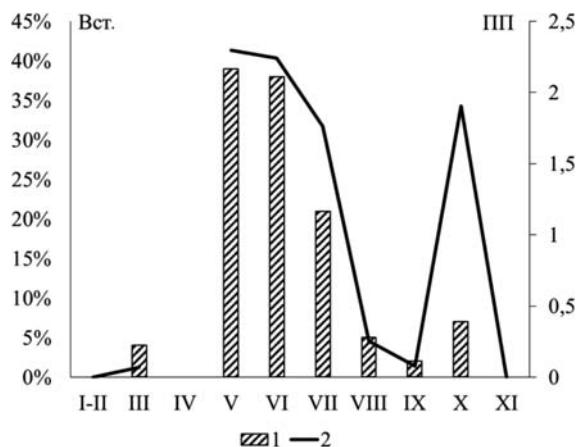


Рис. 3. Сезонная динамика численности *C. uncinatus* на грызунах.

Здесь и на рис. 4, 5: 1 – ИВ, 2 – ПП

Fig. 3. Seasonal dynamics of *C. uncinatus* abundance on the rodents.

Here and in Fig. 4, 5: 1 – prevalence, 2 – index of abundance per 100 trap-days

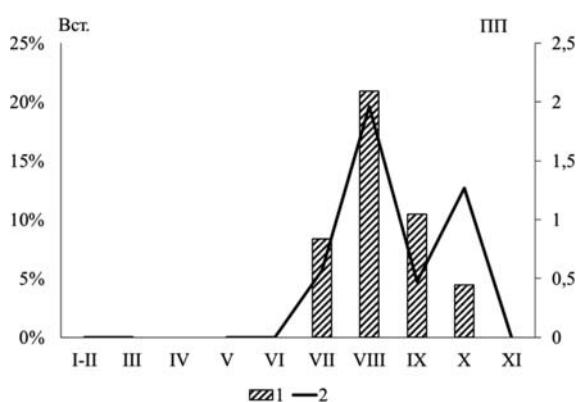


Рис. 4. Сезонная динамика численности *P. silvatica* на грызунах

Fig. 4. Seasonal dynamics of *P. silvatica* abundance on the rodents

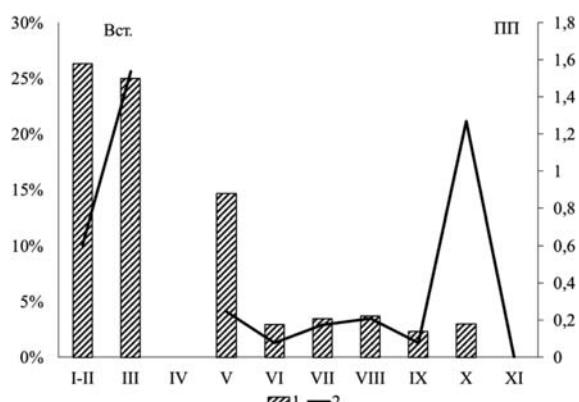


Рис. 5. Сезонная динамика численности *A. peniciliger* на грызунах

Fig. 5. Seasonal dynamics of *A. peniciliger* abundance on the rodents

более 80 %, именно эти два вида определяют структуру фауны блох (рис. 1). В целом видовой состав блох мелких млекопитающих типичен для этой экологической группы животных [Medvedev, Krasnov, 2006]. За десять лет работы отмечено 13 видов, что составило примерно 60 % всей фауны блох мелких млекопитающих, встречающихся на территории Карелии [Kocherova et al., 2023; Медведев и др., 2024].

Сравнивая данные первых лет паразитологического мониторинга мелких млекопитающих (1995–2001 гг.) в районе Гомсельского стационара [Беспятова и др., 2003а, б, 2005; Бугмырин, 2003] с данными последних лет, можно отметить некоторые изменения в структуре фауны блох как у грызунов, так и у бурозубок. Вид *M. rectangulatus* ранее являлся одним из доминирующих по численности паразитов у рыжей полевки (ИВ 23 %; ИО 0,33). В настоящее время его встречаемость и численность значительно снизились (4 %; 0,04). Виды *D. dasycnemata* и *P. soricis* остаются и сейчас фоновыми паразитами насекомоядных млекопитающих, но по сравнению с предыдущим периодом увеличилась доля в сборах вида *D. dasycnemata* (рис. 1). Выявленные изменения в численности блох могли быть связаны и с антропогенными факторами. Так, в конце 1990-х – начале 2000-х гг. на исследуемой территории проводились масштабные рубки спелых хвойных и смешанных лесов, в результате которых значительно увеличилась площадь разновозрастных вырубок [Гусева и др., 2014]. Подобная трансформация ландшафта не могла не сказаться как на мелких млекопитающих [Курхинен и др., 2006], так и на их паразитах [Аниканова и др., 2009; Беспятова, Бугмырин, 2015].

В Карелии блохи на зверьках встречались во все сезоны года; наибольшее количество видов регистрировалось летом (11) и осенью (9). В зимний период отмечены имаго только трех видов блох.

Доминирующие виды блох бурозубок имеют сходную фенологию (рис. 6), оба вида преобладают в течение теплого времени года и заметно снижают свою численность к февралю. В Новгородской области, где исследования проводились круглогодично, *D. dasycnemata* и *P. soricis* имеют три подъема численности (весной, летом и осенью) [Балашов и др., 2003; Ващенок, Третьяков, 2004; Ващенок, 2006]. В наших сборах наблюдается два подъема численности – летом (июль) и более значительный осенью (октябрь). По классификации Н. Ф. Дарской [1970] оба вида относятся к типу В, характерному для видов, размножение и существование

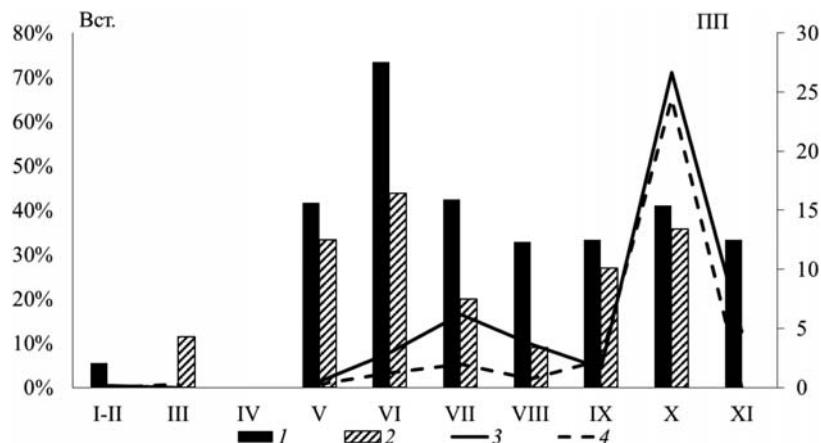


Рис. 6. Сезонная динамика численности *P. soricis* и *D. dasycnema* на насекомоядных:

1 – ИВ *D. dasycnema*, 2 – ИВ *P. soricis*, 3 – ПП *D. dasycnema*, 4 – ПП *P. soricis*

Fig. 6. Seasonal dynamics of *P. soricis* and *D. dasycnema* abundance on the insectivores:

1 – prevalence of *D. dasycnema*, 2 – prevalence of *P. soricis*, 3 – index of abundance per 100 trap-days of *D. dasycnema*, 4 – index of abundance per 100 trap-days of *P. soricis*

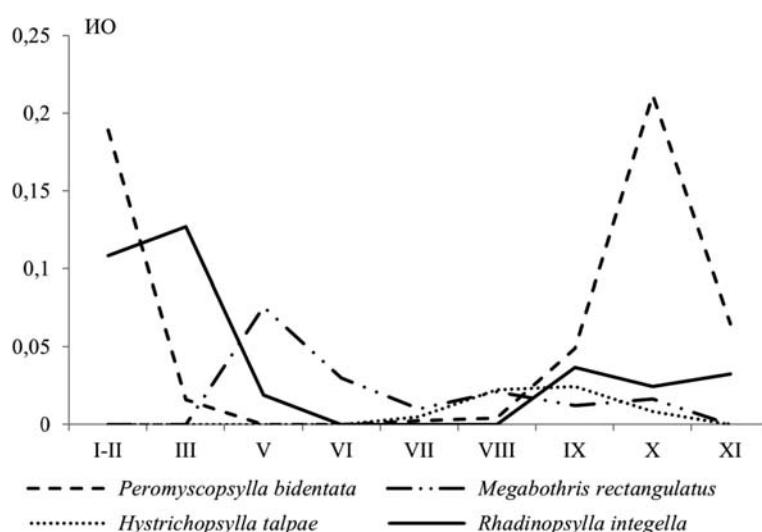


Рис. 7. Сезонная динамика ИО малочисленных видов блох мелких млекопитающих

Fig. 7. Seasonal dynamics of abundance index of few flea species of small mammals

преимагинальных фаз которых приурочено к теплому периоду года.

У мышевидных грызунов в течение сезона наблюдается постепенная смена доминирующих видов, что также отмечено в мониторинговых исследованиях, проводившихся в Новгородской и Вологодской областях [Балашов и др., 2002; Ващенок, Третьяков, 2003; Ващенок, 2013]. В Карелии в сборах паразитов мелких млекопитающих вид *A. penicilliger* не отмечен только в ноябре, возможно, из-за небольшого числа

обследованных животных. По классификации Дарской [1970] вид *A. penicilliger* относится к типу А, для которого характерно размножение в течение всего года с постоянно выплывающимися имаго. В Карелии после зимнего пика численности *A. penicilliger* идет заметный спад, сохраняющийся на протяжении теплого сезона (рис. 5). Такая же динамика отмечена и в Вологодской области и объяснена тем, что часть блох не выходит из коконов до наступления холодного периода [Ващенок, 2013].

Вид *C. uncinatus* паразитирует в теплое время года, в наших сборах достигает пика численности в мае, что связано с массовым его выплодом после зимовки. Второй пик численности отмечен в октябре и определяется особыми, закончившими метаморфоз в течение лета. Личинки блох, выплодившиеся в конце лета и осени, заканчивают метаморфоз и уходят на зимовку в коконах. По классификации Дарской [1970] вид относится к типу В.

Вид *P. sylvatica* переживает в коконах не только неблагоприятное холодное время года, но и длительный теплый период. В Карелии пик его численности отмечен в конце лета (август) и осенью (октябрь). В Вологодской области *P. sylvatica* в сборах встречается с июня по октябрь с максимальными пиками численности в июле и августе [Ващенок, 2013]. По классификации Дарской [1970] данный вид относится к типу Е, который характеризуется существованием имаго в течение более или менее короткого периода при круглогодичной связи хозяев с убежищами.

Вид *P. bidentata*, так же как и *P. sylvatica*, относится к типу Е [Дарская, 1970], в наших сборах более редок и отмечается короткий период времени. Вид появляется ближе к осени и в отличие от *P. sylvatica* встречается у мелких млекопитающих в зимние месяцы (рис. 7). Годичные циклы *R. integella* и *H. talpae* также можно отнести к типу Е, поскольку имаго этих видов паразитируют короткое время. Вид *M. rectangulatus* можно отнести к типу В.

Согласно типизации годичных циклов блох, предложенной В. С. Ващенком [1988], всех обнаруженных в Карелии у мелких млекопитающих паразитов можно отнести к трем основным группам: с круглогодичным размножением (*A. penicilliger*), приуроченные к теплому периоду (*C. uncinatus*, *P. sylvatica*, *M. rectangulatus*, *H. talpae*, *D. dasycnemata* и *P. soricis*) и приуроченные к холодному периоду года (*R. integella*, *P. bidentata*).

Заключение

Таким образом, фауна блох мелких млекопитающих в районе Гомельского стационара, расположенного в среднетаежной подзоне Карелии, представлена 13 видами из трех семейств. Наибольшее видовое разнообразие блох отмечено на двух доминирующих видах хозяев: рыжей полевке (11 видов) и обыкновенной бурозубке (8). Зараженность блохами выше у насекомоядных млекопитающих по сравнению с мышевидными грызунами. Большинство видов блох, паразитирующих на мелких млекопитающих, характеризуются приуроченностью

существования имаго и размножения к теплому периоду года. Высокую численность блох с подобной спецификацией годового цикла можно рассматривать как их адаптацию к условиям Севера.

Авторы выражают благодарность А. В. Коросову (ПетрГУ, Петрозаводск) за участие в проведении многолетних полевых исследований и С. Г. Медведеву (ЗИН РАН, Санкт-Петербург) за консультацию и помочь в определении видов блох.

Литература

Аниканова В. С., Иешко Е. П., Бугмырин С. В. Динамика гельминтофауны обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L.) разновозрастных вырубок Карелии // Паразитология. 2009. Т. 43, № 1. С. 79–89.

Балашов Ю. С. Паразито-хозяинные отношения членистоногих с наземными позвоночными. Л.: Наука, 1982. 320 с.

Балашов Ю. С., Бочков А. В., Ващенок В. С., Григорьева Л. А., Третьяков К. А. Структура и сезонная динамика сообщества эктопаразитов рыжей полевки в Ильмень-Волховской низине // Паразитология. 2002. Т. 36, № 6. С. 433–446.

Балашов Ю. С., Бочков А. В., Ващенок В. С., Третьяков К. А. Структура и сезонная динамика сообщества эктопаразитов обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*) в Ильмень-Волховской низине // Паразитология. 2003. Т. 37, № 6. С. 441–454.

Беспятова Л. А. Эктопаразиты и форезанты европейской рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus* Schs.) в южной части национального парка «Водлозерский» // Национальный парк «Водлозерский»: Природное разнообразие и культурное наследие. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2001. С. 233–236.

Беспятова Л. А., Бугмырин С. В. Иксодовые клещи Карелии (распространение, экология, клещевые инфекции). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 100 с.

Беспятова Л. А., Бугмырин С. В. Иксодовые клещи (*Parasitiformes: Ixodidae*) мелких млекопитающих при лесовозобновлении в таежных экосистемах Европейского Севера // Паразитология. 2015. Т. 49, № 5. С. 376–390.

Беспятова Л. А., Медведев С. Г. Клещи и блохи мелких млекопитающих южной части национального парка «Водлозерский» // Евразиатский энтомологический журнал. 2004. Т. 3, № 3. С. 203–208.

Беспятова Л. А., Бугмырин С. В., Иешко Е. П., Давыдова С. В. Фауна блох (*Siphonaptera*) бурозубок (р. *Sorex*) Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2005. № 7. С. 16–18.

Беспятова Л. А., Бугмырин С. В., Медведев С. Г. Блохи (*Siphonaptera*) обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L.) среднетаежной подзоны Карелии // Териологические исследования. СПб.: ЗИН РАН, 2003а. Т. 4. С. 73–77.

Беспятова Л. А., Бугмырин С. В., Медведев С. Г. Блохи (*Siphonaptera*) европейской рыжей полевки

(*Myodes glareolus* Schr.) Карелии // Териологические исследования. СПб.: ЗИН РАН, 2003б. Т. 4. С. 78–85.

Беспятова Л. А., Бугмырин С. В., Медведев С. Г. Блохи (Siphonaptera) мелких млекопитающих Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2008. Вып. 13. С. 26–31.

Беспятова Л. А., Бугмырин С. В., Кутенков С. А., Никонорова И. А. Численность иксодовых клещей (Acari: Ixodidae) на мелких млекопитающих в лесных биотопах среднетаежной подзоны Карелии // Паразитология. 2019. Т. 53, № 6. С. 463–473. doi: 10.1134/S0031184719060036

Бугмырин С. В. Эколо-фаунистический анализ паразитов мышевидных грызунов южной Карелии: Дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2003. 166 с.

Бугмырин С. В., Яковлев В. В., Беспятова Л. А. Линия ловушек для отлова мелких млекопитающих с регистрацией времени срабатывания // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 3. С. 103–108. doi: 10.17076/eb1368

Вашенок В. С. Видовой состав блох (Siphonaptera) Северо-Запада России // Паразитология. 1996. Т. 30, № 5. С. 410–423.

Вашенок В. С. Блохи (Siphonaptera) – переносчики возбудителей болезней человека и животных. Л.: Наука, 1988. 161 с.

Вашенок В. С. Видовой состав, хозяинная приверженность и дифференциация ниш у блох (Siphonaptera) мелких млекопитающих Ильмень-Волховской низины // Паразитология. 2006. Т. 40, № 5. С. 425–437.

Вашенок В. С. Видовой состав, численность и годичные циклы блох (Siphonaptera) рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) в западной части Вологодской области // Паразитология. 2013. Т. 47, № 5. С. 390–401.

Вашенок В. С., Третьяков К. А. Сезонная динамика численности блох (Siphonaptera) на рыжей полевке (*Clethrionomys glareolus*) в северной части Новгородской области // Паразитология. 2003. Т. 37, № 3. С. 177–190.

Вашенок В. С., Третьяков К. А. Сезонная динамика численности блох (Siphonaptera) обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*) в северной части Новгородской области // Паразитология. 2004. Т. 38, № 6. С. 503–514.

Высоцкая С. О., Кирьянова А. Н. Методы сбора и изучения блох и их личинок. Л.: Наука, 1970. 83 с.

Гусева Т. Л., Коросов А. В., Беспятова Л. А., Аниanova В. С. Многолетняя динамика биотопического размещения обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*, Linnaeus, 1758) в мозаичных ландшафтах Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. Т. 2, № 8. С. 13–20.

Дарская Н. Ф. Опыт экологического сравнения некоторых блох фауны СССР // Зоологический журнал. 1970. Т. 49, № 5. С. 729–745.

Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Севера-Запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.

Ивантер Э. В., Курхинен Ю. П., Моисеева Е. А. О воздействии антропогенной трансформации таежных экосистем на население лесных мышевидных

грызунов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 6(159). С. 7–26.

Кочерова Н. А., Беспятова Л. А., Бугмырин С. В. К вопросу о потере эктопаразитов мелких млекопитающих при отлове ловушками Геро // Паразитология. 2022. Т. 56, № 2. С. 126–138. doi: 10.31857/S003118472202003X

Курхинен Ю. П., Данилов П. И., Ивантер Э. В. Млекопитающие Восточной Фенноскандии в условиях антропогенной трансформации таежных экосистем. М.: Наука, 2006. 208 с.

Медведев С. Г., Лютикова Н. А., Беспятова Л. А., Бугмырин С. В. Фауна блох (Insecta, Siphonaptera) Республики Карелия // Паразитология. 2024. Т. 58, № 6. С. 470–486. doi: 10.31857/S0031184724060024

Скалон О. И. Отряд Siphonaptera (Aphaniptera, Suctoria) – Блохи // Определитель насекомых Европейской части СССР. Т. 5, ч. 2. Л.: Наука, 1970. С. 799–844.

Яковлев В. В., Бугмырин С. В., Беспятова Л. А. Устройство для отлова мелких млекопитающих. Патент на полезную модель № RU 195297 U1. 2020.

Brinck-Lindroth G., Smit F. G. A. M. The Fleas (Siphonaptera) of Fennoscandia and Denmark. Boston: Brill, 2007. 186 p.

Kocherova N. A., Bespyatova L. A., Medvedev S. G., Bugmyrin S. V. Fleas (Insecta, Siphonaptera) of small mammals of Karelia and Murmanskaya Oblast of Russia from the collection of the Institute of Biology KarRC RAS Museum, Petrozavodsk, Russia // Euroasian Entomological Journal. 2023. Vol. 22, no. 5. P. 277–283. doi: 10.15298/euroasentj.22.05.10

Krasnov B. R. Functional and evolutionary ecology of fleas. A model for ecological parasitology. N. Y., USA: Cambridge University Press, 2008. 610 p.

Medvedev S. G., Krasnov B. R. Fleas – permanent satellites of small mammals // Micromammals and macroparasites: From evolutionary ecology to management / Morand S., Krasnov B. R., Poulin R. (eds.). Japan: Springer, 2006. P. 161–177.

SankeyMATIC: Build a Sankey Diagram [Электронный ресурс]. 2014. URL: <https://sankeymatic.com/> (дата обращения: 20.01.2025).

References

Anikanova V. S., Ieshko E. P., Bugmyrin S. V. Dynamics of the helminth fauna in the common shrew (*Sorex araneus* L.) from cut-over lands of different age in Karelia. Parazitologiya = Parazitology. 2009;43(1):79–89. (In Russ.)

Balashov Yu. S. Host-parasite interactions between arthropods and terrestrial vertebrates. Leningrad: Nauka; 1982. 320 p. (In Russ.)

Balashov Yu. S., Bochkov A. V., Vashchenok V. S., Grigor'eva L. A., Tret'yakov K. A. Structure and seasonal dynamics of the ectoparasite community of the bank vole in the Ilmen-Volkhov Lowland. Parazitologiya = Parazitology. 2002;36(6):433–446. (In Russ.)

Balashov Yu. S., Bochkov A. V., Vashchenok V. S., Tret'yakov K. A. Structure and seasonal dynamics of the ectoparasite community of the common shrew *Sorex araneus* in the Ilmen-Volkhov Lowland. Parazitologiya = Parazitology. 2003;37(6):441–454. (In Russ.)

Bespyatova L. A. Ectoparasites and phoresents of European bank vole (*Clethrionomys glareolus* Schs.) in the southern part of the Vodlozersky National Park. *Natsional'nyi park 'Vodlozerskii': Prirodnoe raznoobrazie i kul'turnoe nasledie = Vodlozersky National Park: Natural diversity and cultural heritage*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2001. P. 233–236. (In Russ.)

Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V. Ixodid ticks of Karelia (expansion, ecology, the main tick-borne infections). Petrozavodsk: KarRC RAS; 2012. 100 p. (In Russ.)

Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V. Ixodid ticks (Parasitiformes: Ixodidae) from small mammals in reforesting boreal habitats of the northern European Russia. *Entomol. Rev.* 2015; 95:1308–1316. doi: 10.1134/S0013873815090183

Bespyatova L. A., Medvedev S. G. Mites, ticks and fleas of small mammals of the southern part of the Vodlozersky National Park. *Evraziatskii entomologicheskii zhurnal = Euroasian Entomological Journal*. 2004;3(3):203–208. (In Russ.)

Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V., Medvedev S. G. The fleas (Siphonaptera) of the common shrew (*Sorex araneus* L.) of the middle taiga subzone of Karelia. *Teriologicheskie issledovaniya = Theriological Studies*. St. Petersburg: ZIN RAN; 2003. Vol. 4. P. 73–77. (In Russ.)

Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V., Medvedev S. G. The fleas (Siphonaptera) of the bank vole (*Myodes glareolus* Schr.) in Karelia. *Teriologicheskie issledovaniya = Theriological Studies*. St. Petersburg: ZIN RAN; 2003. Vol. 4. P. 78–85. (In Russ.)

Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V., Ileshko E. P., Davydova S. V. The fauna of fleas (Siphonaptera) of the shrews (genus *Sorex*) in Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2005;7:16–18. (In Russ.)

Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V., Medvedev S. G. Fleas (Siphonaptera) of small mammals of Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2008;13:26–31. (In Russ.)

Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V., Kutenkov S. A., Nikonorova I. A. The abundance of ixodid ticks (Acari: Ixodidae) on small mammals in forest biotopes of the middle taiga subzone of Karelia. *Parazitologiya = Parazitology*. 2019;53(6):463–473. (In Russ.) doi: 10.1134/S0031184719060036

Brinck-Lindroth G., Smit F. G. A. M. The Fleas (Siphonaptera) of Fennoscandia and Denmark. Boston: Brill. 2007. 186 p.

Bugmyrin S. V. Ecological and faunal analysis of parasites of mouse-like rodents of South Karelia: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Petrozavodsk; 2003. 166 p. (In Russ.)

Bugmyrin S. V., Yakovlev V. V., Bespyatova L. A. Small mammal trap line with capture time logging. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2021;3:103–108. (In Russ.). doi: 10.17076/eb1368

Darskaya N. F. The experience of ecological comparison of some fleas of the fauna of the USSR. *Zoologicheskii zhurnal = Russian Journal of Zoology*. 1970;49(5):729–745. (In Russ.)

Guseva T. L., Korosov A. V., Bespyatova L. A., Anikanova V. S. Long-term dynamics of biotopical distribution of a common shrew (*Sorex araneus*, Linnaeus 1758) in mosaic landscapes of Karelia. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2014;2(8):13–20. (In Russ.)

Ivanter E. V. Population ecology of small mammals in the North-Western taiga of the USSR. Leningrad: Nauka; 1975. 246 p. (In Russ.)

Ivanter E. V., Kurkinen Yu. P., Moiseeva E. A. On the impact of anthropogenic transformation of taiga ecosystems on forest rodents. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2016; 6(159):7–26. (In Russ.)

Kocherova N. A., Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V. On the loss of ectoparasites of small mammals captured in snap traps. *Parazitologiya = Parazitology*. 2022;56(2):126–138. (In Russ.). doi: 10.31857/S003118472202003X

Kocherova N. A., Bespyatova L. A., Medvedev S. G., Bugmyrin S. V. Fleas (Insecta, Siphonaptera) of small mammals of Karelia and Murmansk Oblast of Russia from the collection of the Institute of Biology KarRC RAS Museum, Petrozavodsk, Russia. *Euroasian Entomological Journal*. 2023;22(5):277–283. doi: 10.15298/euroasentj.22.05.10

Krasnov B. R. Functional and evolutionary, ecology of fleas. A model for ecological parasitology. N. Y., USA: Cambridge University Press; 2008. 610 p.

Kurkinen Yu. P., Danilov P. I., Ivanter E. V. Mammals of Eastern Fennoscandia in the context of anthropogenic transformation of taiga ecosystems. Moscow: Nauka; 2006. 208 p. (In Russ.)

Medvedev S. G., Krasnov B. R. Fleas: Permanent satellites of small mammals. *Micromammals and Macroparasites. From Evolutionary Ecology to Management*. Japan, Tokyo: Springer; 2006. P. 161–177.

Medvedev S. G., Lyutikova N. A., Bespyatova L. A., Bugmyrin S. V. The fauna of fleas (Insecta, Siphonaptera) of the Republic of Karelia. *Parazitologiya = Parazitology*. 2024;58(6):470–486. (In Russ.). doi: 10.31857/S0031184724060024

Skalon O. I. Siphonaptera (Aphaniptera, Suctoria) – Fleas. *Opredelitel' nasekomykh Evropeiskoi chasti SSSR = Key to insects of the European part of the USSR*. Vol. V, part II. Leningrad: Nauka; 1970. P. 799–844. (In Russ.)

SankeyMATIC: Build a Sankey Diagram. 2014. URL: <https://sankeymatic.com/> (accessed: 20.01.2025).

Vashchenok V. S. Fleas (Siphonaptera) as vectors of human and animal disease agents. Leningrad: Nauka; 1988. 161 p. (In Russ.)

Vashchenok V. S. Check-list of fleas (Siphonaptera) of the North-West of Russia. *Parazitologiya = Parazitology*. 1996;30(5):410–423. (In Russ.)

Vashchenok V. S. Species composition, host association and niche differentiation in fleas (Siphonaptera) of small mammals in the Ilmen-Volkov Lowland. *Parazitologiya = Parazitology*. 2006;40(5):425–437. (In Russ.)

Vashchenok V. S. Species composition, abundance, and annual cycles of fleas (Siphonaptera) on bank voles (*Clethrionomys glareolus*) in the western part of Vologda

Province (Babaev District). *Parazitologiya = Parazitology*. 2013;47(5):390–401. (In Russ.)

Vashchenok V. S., Tret'yakov K. A. The seasonal dynamics of flea (Siphonaptera) numbers on bank voles (*Clethrionomys glareolus*) in the northern part of the Novgorod Region. *Parazitologiya = Parazitology*. 2003;37(3):177–190. (In Russ.)

Vashchenok V. S., Tret'yakov K. A. The seasonal dynamics of flea (Siphonaptera) numbers (Siphonaptera)

on the common shrew (*Sorex araneus*) in the northern part of the Novgorod Oblast. *Parazitologiya = Parazitology*. 2004;38(6):503–514. (In Russ.)

Vysotskaya S. O., Kir'yanova A. N. Methods of collecting and studying fleas and their larvae. Leningrad: Nauka; 1970. 83 p. (In Russ.)

Yakovlev V. V., Bugmyrin S. V., Bespyatova L. A. Device for catching small mammals. Utility model patent No. RU 195297 U1. 2020. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 17.12.2024; принята к публикации / accepted: 11.04.2025.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Лютикова Наталья Алексеевна

инженер-исследователь

e-mail: tasha_dein@mail.ru

Беспятова Любовь Алексеевна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: gamasina@mail.ru

Бугмырин Сергей Владимирович

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник,

e-mail: sbugmyr@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Lyutikova, Natalia

Research Engineer

Bespyatova, Lyubov

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Bugmyrin, Sergei

Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher

УДК 581.5:574.4

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ВОДООБМЕНА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В СТАРОВОЗРАСТНЫХ ЛЕСАХ КАРЕЛИИ

В. Б. Придача*, Д. Е. Семин

*Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *pridacha@krc.karelia.ru*

Прогнозируемое усиление гидрометеорологического стресса в бореальных экосистемах требует оценки показателей водообмена растений в широком диапазоне условий внешней среды для выявления адаптационного потенциала наземных экосистем к возможным сценариям изменения климата. Целью исследования было оценить влияние абиотических факторов на параметры водообмена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в старовозрастных лесах среднетаежной подзоны Карелии в течение двух контрастных по гидротермическим условиям вегетационных периодов 2023 и 2024 гг. Для этого проведен анализ изменчивости величин преддражесветных и полуденных водных потенциалов охвоенных побегов у 170-летних деревьев сосны на 14 постоянных пробных площадях, заложенных в 5 группах сосняков черничных и брусличных, сформированных в разных почвенно-гидрологических условиях. Показано влияние дефицита и избытка атмосферных осадков на водообмен сосны в градиенте гидротермических условий почвы. При дефиците атмосферных осадков наиболее низкие значения водного потенциала в преддражесветные ($-1,06\ldots-1,22$ МПа) и полуденные ($-1,46\ldots-1,54$ МПа) часы отмечены в группах сосняков на подзолах. Вместе с тем установлено сходство дневного градиента водного потенциала ($0,35\ldots0,44$ МПа) в группах сосняков на подзолах и торфяных почвах. В условиях обильных осадков наиболее высокий полуденный водный дефицит ($-1,21\ldots-1,38$ МПа) отмечен в группе сосняков, сформированных в контрастных условиях подзола песчаного и торфяных почв. В сезонной динамике (май–июль) установлено нарастание водного дефицита у сосны всех групп биогеоценозов на фоне роста дневного градиента водного потенциала в мае ($0,41\ldots0,64$ МПа), июне ($0,64\ldots0,79$ МПа) и июле ($0,75\ldots1,07$ МПа). Увеличение последнего в большей степени обусловлено температурой почвы ($R^2 = 0,59$, $p < 0,001$) относительно ее влагообеспеченности ($R^2 = 0,12$, $p < 0,001$). Обсуждаются механизмы адаптации, направленные на гомеостатирование водного статуса древесных растений.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*; преддражесветный и полуденный водный потенциал; биогеоценозы; факторы среды; бореальные леса

Для цитирования: Придача В. Б., Семин Д. Е. Влияние факторов среды на показатели водообмена сосны обыкновенной в старовозрастных лесах Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 57–72. doi: 10.17076/eco2005

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

V. B. Pridacha*, D. E. Semin. THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON WATER EXCHANGE PARAMETERS OF SCOTS PINE IN OLD-GROWTH FORESTS OF KARELIA

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *pridacha@krc.karelia.ru

The predicted increase in hydrometeorological stress in many of the world's ecosystems necessitates the assessment of plant water exchange indicators in a wide environmental range to reveal the adaptation potential of terrestrial ecosystems under possible climate change scenarios. The aim of this study was to assess the effect of abiotic factors on the water exchange parameters of Scots pine trees (*Pinus sylvestris* L.) in mid-boreal old-growth forests of Karelia during two growing seasons with contrasting hydrothermal conditions (2023–2024). For this purpose, we analyzed the variability of predawn and midday water potentials of foliated shoots of 170-year-old pine trees in 14 permanent sample plots established in 5 groups of bilberry- and lingonberry-type pine forests formed in different edaphic and hydrological conditions. The effects of deficient and excessive precipitation on water exchange in pine were shown for a gradient of soil hydrothermal conditions. Where precipitation was in deficit, the lowest values of the water potential in predawn (−1.06...−1.22 MPa) and midday hours (−1.46...−1.54 MPa) were observed in groups of pine forests on podzols. At the same time, the daily gradient of the water potential (0.35–0.44 MPa) was found to be similar in the groups of pine forests on podzols and on peat soils. Under abundant precipitation, midday water deficit (−1.21...−1.38 MPa) was the highest in the group of pine forests formed in contrasting environments of a sandy podzol and on peat soils. The seasonal dynamics (May–July) exhibited an increase in water deficit in pine trees of all groups of biogeocenoses with a simultaneous increase in the daily water potential gradient in May (0.41–0.64 MPa), June (0.64–0.79 MPa) and July (0.75–1.07 MPa). The increase in the latter was mostly associated with soil temperature ($R^2 = 0.59$, $p < 0.001$) relative to soil water availability ($R^2 = 0.12$, $p < 0.001$). The article discusses the adaptation mechanisms for maintaining hydraulic homeostasis in woody plant.

Keywords: *Pinus sylvestris*; predawn and midday water potentials; biogeocenoses; environmental factors; boreal forests

For citation: Pridacha V. B., Semin D. E. The effect of environmental factors on water exchange parameters of Scots pine in old-growth forests of Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 57–72. doi: 10.17076/eco2005

Funding. The work was funded from the federal budget within state assignment to the Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (Forest Research Institute KarRC RAS).

Введение

В настоящее время проблема изучения водного режима растений в условиях меняющегося климата, характеризующегося ростом температуры, изменением режима осадков и увеличением повторяемости аномальных явлений погоды [IPCC..., 2023], получила особую актуальность. Недостаток или избыток воды в почве является одним из ведущих лимитирующих факторов продуктивности наземных экосистем [Kramer, Boyer, 1995; Lambers, Oliveira, 2019]. В последние десятилетия массовая гибель деревьев и лесов, вызванная засухой и жарой, стала глобальной проблемой [Allen et al., 2010; Senf et al., 2020]. В связи с прогнозируемым увеличением гидрометеорологического стресса во

многих экосистемах мира [Kangur et al., 2017; Choat et al., 2018; IPCC..., 2023] необходимо исследование реакций показателей водообмена растений в широком диапазоне условий внешней среды для выявления адаптационного потенциала наземных экосистем к возможным сценариям изменения климата.

Водный дефицит или, напротив, обеспеченность растений влагой оказывают непосредственное влияние на их рост и продуктивность в целом [Кайбиянен, 2003; Breda et al., 2006; Eckes-Shephard et al., 2020], регулируя посредством тургора камбиальную активность и рост клеток растяжением [Hölttä et al., 2010; Cabon et al., 2020; Peters et al., 2021], а также интенсивность фотосинтеза и дыхания [Коренные..., 2006; Суворова, 2009; Muller et al., 2011;

Судачкова и др., 2012; Сазонова и др., 2017; Bucci et al., 2019; Antonova et al., 2023; Молчанов, Беляева, 2024], поглощение и транспорт веществ [Lambers, Oliveira, 2019]. Наиболее универсальным показателем обеспеченности растения водой является водный потенциал (Ψ), величина которого отражает состояние баланса между поступлением влаги из почвы и потерями влаги в процессе транспирации и зависит от запасов воды в самом растении [Hinckley et al., 1978; Turner, 1981]. Временная изменчивость величины Ψ реализуется в виде устойчивых суточных ритмов, когда в предрасветное и дневное послеполуденное время показатель достигает наибольших (Ψ_{\max}) и наименьших (Ψ_{\min}) значений соответственно. Высокие значения Ψ_{\max} для древесных растений связывают в основном с влажностью почвы и запасами воды в заболони дерева [Hinckley et al., 1978; Kramer, Boyer, 1995]. Вместе с тем в условиях Европейского Севера при достаточном почвенном увлажнении в период вегетации отмечают несоответствие между влагообеспеченностью почвы и величиной Ψ_{\max} [Richter, 1997; Sellin, 1999; Сазонова и др., 2017], что может быть обусловлено недостаточно продолжительным темновым периодом северного лета для восстановления водного потенциала растений и установления равновесия показателя в системе «почва – растение». Предрасветное неравновесие между Ψ_{\max} у древесных растений и увлажнением почвы в теплый период года связывают также с ночной транспирацией [Donovan et al., 2001; Dawson et al., 2007; Kangur et al., 2017]. Величина полуденного Ψ_{\min} при достаточной влагообеспеченности растений коррелирует с основными факторами среды, в частности с освещенностью, температурой и дефицитом влажности воздуха, и зависит от транспирационных расходов влаги [Hartzell et al., 2017; Bucci et al., 2019; Knipfer et al., 2020].

Кроме абиотических факторов на показатели водообмена могут влиять возраст и размеры дерева [Domec et al., 2008; Grote et al., 2016; Fernández-de-Uña et al., 2023]. Отмечают, что увеличение высоты дерева с возрастом под воздействием силы тяжести сопровождается ростом гидростатического градиента ($-0,01 \text{ МПа м}^{-1}$) и гидравлического сопротивления вследствие более длинного пути ксилемы и большего числа междуузлий, которые должна пересечь вода [Turner, 1981; Richter, 1997]. Это может привести к нарастанию водного стресса и последующему закрытию устьиц у старых высоких деревьев относительно более молодых низкорослых, что в свою очередь может уменьшить интенсивность фотосинтеза

[Niinemets, 2002; Ryan et al., 2006] и, как следствие, снизить доступность ассимилятов для поддержания метаболической и гидравлической функции, в частности, посредством осморегуляции [McDowell, 2011].

Леса России составляют более половины boreальных лесов планеты [FAO..., 2020]. По возрастной структуре около половины площади лесов Российской Федерации, занятой хвойными породами, представлено спелыми и перестойными насаждениями [Филипчук и др., 2022]. В Республике Карелия насаждения с преобладанием хвойных пород составляют 87,5 % от лесопокрытых площадей [Государственный..., 2023], из них треть общей площади занимают молодняки (30,3 %), остальную площадь – средневозрастные (21,6 %), приспевающие (6,3 %), спелые и перестойные (29,3 %) леса. В связи с наиболее выраженным в высоких широтах увеличением частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений [IPCC..., 2023], включая волны жары, засухи и ливни, анализ составляющих водного баланса спелых и перестойных хвойных насаждений представляет особую актуальность вследствие их большей уязвимости к гидравлическому стрессу и высокой представленности в регионе и стране в целом. Целью работы была оценка влияния абиотических факторов на параметры водообмена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в старовозрастных лесах среднетаежной подзоны Карелии.

Материалы и методы

Работа выполнена на тестовом полигоне интенсивного уровня [Мошников и др., 2024] в среднетаежной подзоне на территории заповедника «Кивач» (Республика Карелия) в последнюю декаду мая – июле 2023 и 2024 гг. (рис. 1). Климат района исследования переходный от континентального к субарктическому типу [Peel et al., 2007], среднегодовая температура воздуха за 30-летний период (1991–2020 гг.) составляет $+3,6^{\circ}\text{C}$ [Назарова, 2021], с минимальными значениями в январе ($-8,4^{\circ}\text{C}$) и максимальными в июле ($+17,1^{\circ}\text{C}$). Количество осадков в течение года значительное – 550–750 мм, из них с мая по октябрь – 350–400 мм [Назарова, 2021]. Суммарный радиационный баланс за вегетационный период составляет 1130 МДж/м². Вегетационный период (май–сентябрь) 2023 г. в районе исследования, согласно данным метеостанции Кондопога (<https://rp5.ru>), характеризовался в мае, июне и августе теплыми засушливыми условиями ($\Delta T_{\text{мес}} \leq 1,7^{\circ}\text{C}$ и 43, 63 и 88 % нормы осадков

соответственно) относительно холодного дождливого июля ($\Delta T_{\text{мес}} \leq -1,5^{\circ}\text{C}$ и 189 % нормы осадков) (рис. 2). Аналогичный период 2024 г. был теплым ($0,7^{\circ}\text{C} < \Delta T_{\text{мес}} < 2,3^{\circ}\text{C}$) и отличался дефицитом осадков (59 % нормы) относительно предыдущего года (108 % нормы).

Наблюдения проводили на постоянных пробных площадях (ПП) размером 50×50 м (0,25 га), заложенных в сосняках черничных (ПП 8, 33, 38, 44, 219, 64, 75, 113, 115, 190, 198, 204) и брусничных (ПП 260, 282), относящихся преимущественно к II–III классу бонитета [Мошников и др., 2024; Пеккоев и др., 2024]. Относительная полнота насаждений варьирует в пределах 0,7–1,0. Почвы разных ПП представлены подзолом песчаным (ПП 38, 44, 219, 113, 115, 260, 282), подзолом супесчаным (ПП 190, 198, 204), суглинистыми (ПП 8, 33) и торфяными (ПП 64, 75) почвами [Akmetova et al., 2024]. Глубина залегания подземных вод на территории полигона составляет 3–6 м [Лукина и др., 2024]. Разные ПП тестового полигона были объединены в группы биогеоценозов (БГЦ) в соответствии с типом леса, возрастом древостоя, напочвенным покровом и типом почвы [Пеккоев и др., 2024; Akmetova et al., 2024]. В настоящей работе обсуждаются данные, полученные в 1-й (ПП 38, 44, 219 и 113, 115), 2-й (ПП 190, 198, 204), 4-й (ПП 260, 282), 6-й (ПП 8, 33) и 7-й (ПП 64, 75) группах БГЦ (далее – БГЦ 1, 2, 4, 6 и 7).



Рис. 1. Расположение тестового полигона в районе исследования

Fig. 1. Location of the test polygon in the study area

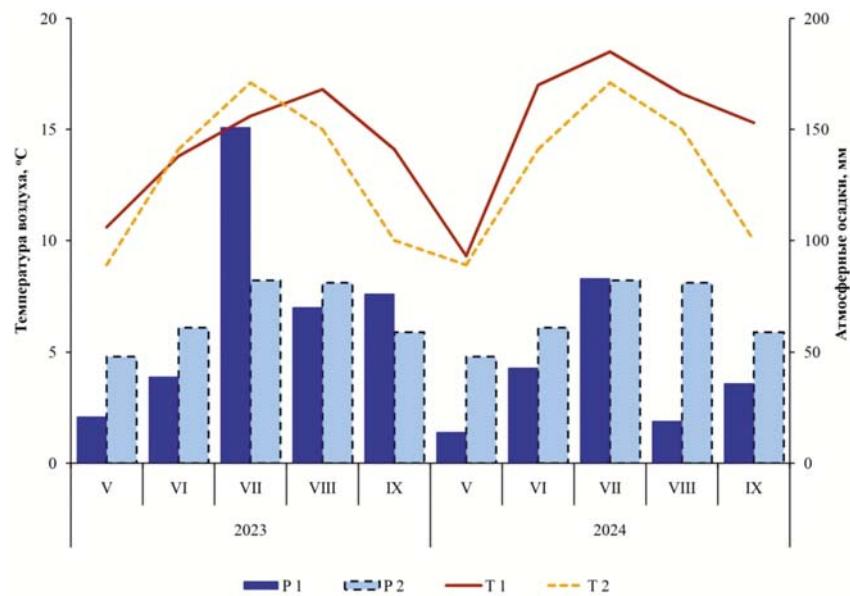


Рис. 2. Изменчивость температуры воздуха (Т) и количества атмосферных осадков (Р) в период с мая (V) по сентябрь (IX) 2023 и 2024 гг. по фактическим среднемесячным (1) и среднемноголетним среднемесячным данным за период 1991–2020 гг. для Карелии (2)

Fig. 2. Variability of air temperature (T) and precipitation (P) during the period from May (V) to September (IX) 2023 and 2024 based on actual monthly averages (1) and annual mean monthly data for the period 1991–2020 for Karelia (2)

Объектом исследования послужили модельные деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), средний возраст которых для всех групп БГЦ составил 170 лет, высота – 23,5–30,9 м, диаметр – 27,3–47,6 см [Мошников и др., 2024; Пеккоев и др., 2024]. В качестве показателей влагообеспеченности растений использовали величины предрассветных (Ψ_{\max} , МПа) и полуденных (Ψ_{\min} , МПа) водных потенциалов охвощенных побегов. Величину дневного градиента водного потенциала ($\Delta\Psi$, МПа) находили по разности величин ($\Psi_{\min} - \Psi_{\max}$). Отбор побегов проводили в предрассветные (03.00–05.00) и полуденные (13.00–15.00) часы в средней части кроны модельных деревьев сосны на высоте 18–24 м с помощью секатора. С каждого дерева отбирали по три-четыре охвощенные побеги. Объем выборки за весь период наблюдений в 2023 и 2024 гг. для каждой группы БГЦ составил по 64 измерения величин Ψ_{\max} и Ψ_{\min} и в целом для тестового полигона – 640 наблюдений. Измерения Ψ охвощенных побегов сосны проводили сразу же после срезания их с дерева. Для определения величин Ψ_{\max} и Ψ_{\min} охвощенных побегов сосны использовали камеру давления Plant Moisture Vessel SKPM 1400 (Skye Instruments Ltd., Великобритания).

Температуру почвы в корнеобитаемом слое (0–20 см) и объемную влажность почвы (в слое 0–5 см) регистрировали в первую и последнюю декаду месяца в период с мая по июль 2024 г. с помощью датчиков температуры почвы (Omega, США) и объемной влажности почвы ECN₂O EC-5 (Decagon Devices, Inc., США) в 8-кратной повторности в каждую дату наблюдений на экспериментальных участках 1, 2, 6 и 7-й групп БГЦ. Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Для оценки существенных различий между средними величинами использовали критерий Тьюки. Оценку влияния контрастных условий разных групп биогеоценозов тестового полигона и месяца исследований на показатели водного обмена сосны проводили с помощью двухфакторного дисперсионного анализа. На диаграммах приведены средние арифметические значения и их стандартные ошибки.

Результаты и обсуждение

Анализ мезоклиматических условий района исследования за двухлетний период наблюдений

(рис. 2) показал, что величина гидротермического коэффициента увлажнения территории (ГТК), который характеризует засуху по соотношению тепла и влаги, за период вегетации в целом (май–сентябрь) и летний период в частности (июнь–август) для 2023 года находилась в диапазоне, характерном для таежной зоны (1,8 и 1,6 соответственно). Значения ГТК для аналогичных периодов 2024 г. указывают на засушливые условия и составили 0,9 (май–сентябрь) и 0,8 (июнь–август). Вместе с тем предшествующий холодный период с января по апрель 2023 года, напротив, отличался дефицитом атмосферных осадков (90 % нормы) относительно 2024 года (185 % нормы), что, очевидно, также сказалось на влагообеспеченности почв и растений всех групп БГЦ в период вегетации.

Сопоставление данных по влагообеспеченности растений показало, что в 2023 г. значения Ψ_{\max} побегов сосны в сосновых черничных, сформированных на автоморфных почвах (БГЦ 1 и 2), в большинстве случаев были ниже –1 МПа (–1,06...–1,22 МПа) в июне относительно июльских значений (рис. 3). Этот факт хорошо согласуется с дефицитом атмосферных осадков в мае–июне (рис. 2) и предшествующем холодном периоде года, и вследствие этого – невысокой влагообеспеченностью почвы, и свидетельствует о высокой дегидратации ксилемы у деревьев в сосновых на подзолах песчаных (БГЦ 1) и супесчаных (БГЦ 2). Ранее в условиях среднетаежного соснового лишайникового у молодых 30-летних деревьев сосны разного жизненного состояния на фоне атмосферной и почвенной засухи в период вегетации отмечен широкий диапазон величин Ψ_{\max} –0,55...–1,6 МПа [Сazonova, Придача, 2015]. О формировании высокого водного дефицита растений говорят и низкие значения Ψ_{\min} (–1,46...–1,54 МПа) в июне на всех экспериментальных участках БГЦ 1 и 2. Это можно объяснить тем, что в теплых засушливых условиях при невысокой влагообеспеченности автоморфных почв поступление воды в корни из почвы не успевает восполнять расход воды на транспирацию, интенсивность которой возрастает в дневное послеполуденное время [Hartzell et al., 2017; Knipfer et al., 2020]. Исключение составил сосновый черничный на торфяных почвах (7 группа БГЦ), где значения как Ψ_{\max} (–0,55 МПа), так и Ψ_{\min} (–0,90 МПа) у сосны в июне находились в диапазоне нормально-го водного дефицита, который не оказывает угнетающего влияния на интенсивность фотосинтеза [Сazonova и др., 2011, 2017], что, очевидно, обусловлено достаточным увлажнением торфяных почв относительно подзолов

вследствие их разной влагоемкости [Еруков, Власкова, 1986] и разной глубины залегания грунтовых вод [Лукина и др., 2024]. Вместе с тем значения дневного градиента водного потенциала ($\Delta\Psi$) во всех группах были достаточно близки ($p > 0,05$) и составили для 1, 2 и 7-й групп БГЦ 0,44, 0,43 и 0,35 МПа соответственно.

Сравнительный анализ данных, полученных в период с 21 по 25 июля 2023 г. после интенсивных осадков, составивших 147 % месячной нормы, выявил наибольшие значения Ψ_{\max} ($-0,35 \dots -0,49$ МПа) у побегов сосны в сосновках черничных, сформированных на подзоле супесчаном (БГЦ 2), суглинистых (БГЦ 6) и торфяных (БГЦ 7) почвах, относительно сосновок на более легких подзолах песчаных (рис. 3), где значения Ψ_{\max} у побегов сосны были меньше и составили $-0,58$ (БГЦ 4) и $-0,63$ МПа (БГЦ 1).

При этом наиболее низкие значения Ψ_{\max} в ряду экспериментальных участков БГЦ 1 отмечены на ПП 44 ($-0,86$ МПа), что свидетельствует о высоком водном дефиците растений относительно других участков и очевидно связано с невысокой доступностью почвенной влаги. Этот факт можно объяснить особенностями гидрологического режима почв данной ПП, в частности, наиболее низким уровнем залегания грунтовых вод (6 м) среди всех экспериментальных участков [Лукина и др., 2024]. Вместе с тем величины Ψ_{\min} в БГЦ 1 и 7 были в 1,2 раза более низкими ($-1,21 \dots -1,38$ МПа) относительно сосновок 2, 4 и 6-й групп БГЦ ($-1,06 \dots -1,12$ МПа). Такое одностороннее снижение величины Ψ_{\min} в группе сосновок, сформированных в контрастных условиях на подзоле песчаном и торфяных почвах, обусловлено неблагоприятным

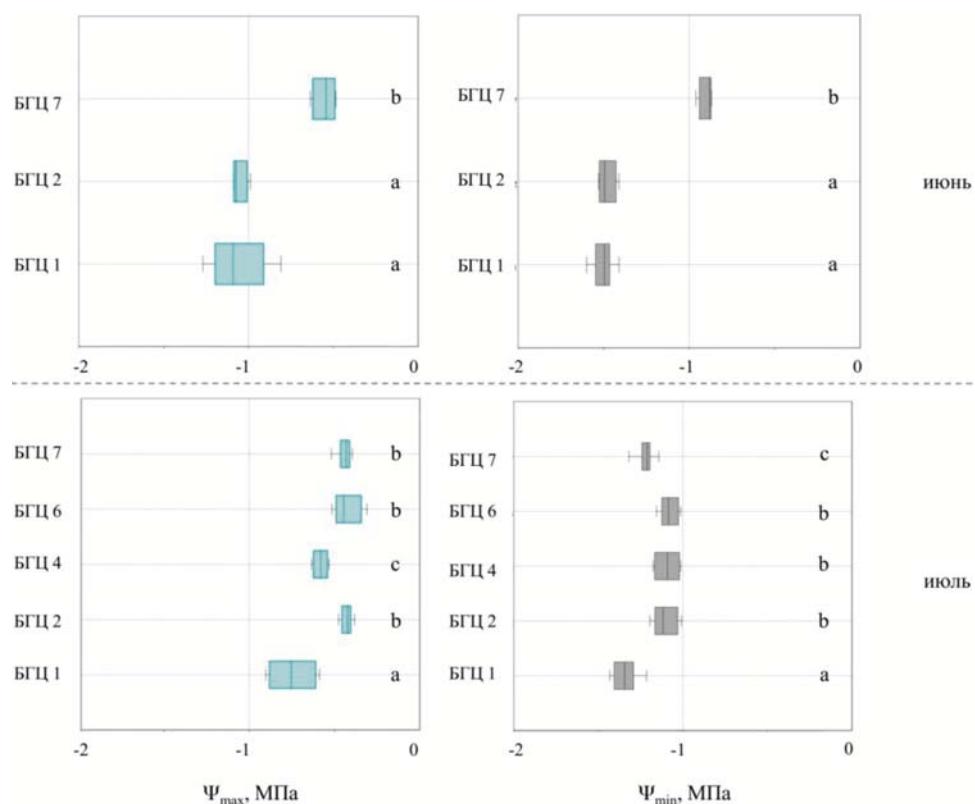


Рис. 3. Значения преддневных (Ψ_{\max}) и полуденных (Ψ_{\min}) водных потенциалов охвоенных побегов *Pinus sylvestris* в сосновках тестового полигона, сформированных на подзолах песчаных (БГЦ 1 и 4), подзолах супесчаных (БГЦ 2), суглинистых (БГЦ 6) и торфяных (БГЦ 7) почвах в июне–июле 2023 г. Здесь и на рис. 4: данные приведены с учетом вклада гравитационного градиента ($-0,01$ МПа m^{-1}); различные строчные буквы (a, b, c) указывают на значимые различия средних ($p < 0,05$)

*Fig. 3. Predawn (Ψ_{\max}) and midday (Ψ_{\min}) water potentials of foliated shoots of *Pinus sylvestris* in pine forests of the test polygon formed on sandy podzols (БГЦ 1 and 4), sandy loam podzols (БГЦ 2), loams (БГЦ 6), and peat (БГЦ 7) soils in June–July 2023. Here and in Fig. 4: the data are given taking into account the contribution of gravitational gradient (-0.01 MPa m^{-1}); different lowercase letters (a, b, c) indicate significant differences of the mean values ($p < 0.05$)*

влиянием на водообмен растений как дефицита, так и избытка почвенной влаги [Kramer, Boyer, 1995; Lambers, Oliveira, 2019]. Последнее можно было визуально наблюдать в виде временного переувлажнения и подтопления почв экспериментальных участков БГЦ 7 вследствие подъема уровня грунтовых вод после интенсивных дождей в июле 2023 г. Нарушение аэрации торфяной почвы, затопленной водой, очевидно, привело к снижению интенсивности поглощения воды корнями деревьев сосны БГЦ 7 относительно их транспирационных расходов влаги, что отразилось на величине Ψ_{\min} .

Снижение скорости ксилемного потока у сосны обыкновенной отмечают при падении влажности в поверхностном слое почвы ниже 10–15 об. % [Irvine et al., 1998]. Исследуемые

группы сосновок в мае–июле 2024 г. образовали следующий ряд по убыванию величины объемной влажности почвы (об. %): БГЦ 6 и 7 (28–38) > БГЦ 2 (15–27) > БГЦ 1 (8–16). Минимальный уровень увлажнения почвы в слое 0–5 см для 1-й группы БГЦ относительно других экспериментальных участков полигона, очевидно, может оказаться на интенсивности водообмена деревьев сосны. При этом наиболее высокая изменчивость влажности почвы за исследуемый период отмечена для БГЦ 1 и 2 (1,8–2 раза) и наименьшая – для БГЦ 6 и 7 (1,3 раза), что обусловлено разной влагоемкостью почв различного гранулометрического состава [Еруков, Власкова, 1986]. Отмеченные межбиогеоценотические различия увлажнения почв в 2024 г. оказались на водном статусе растений (рис. 4).

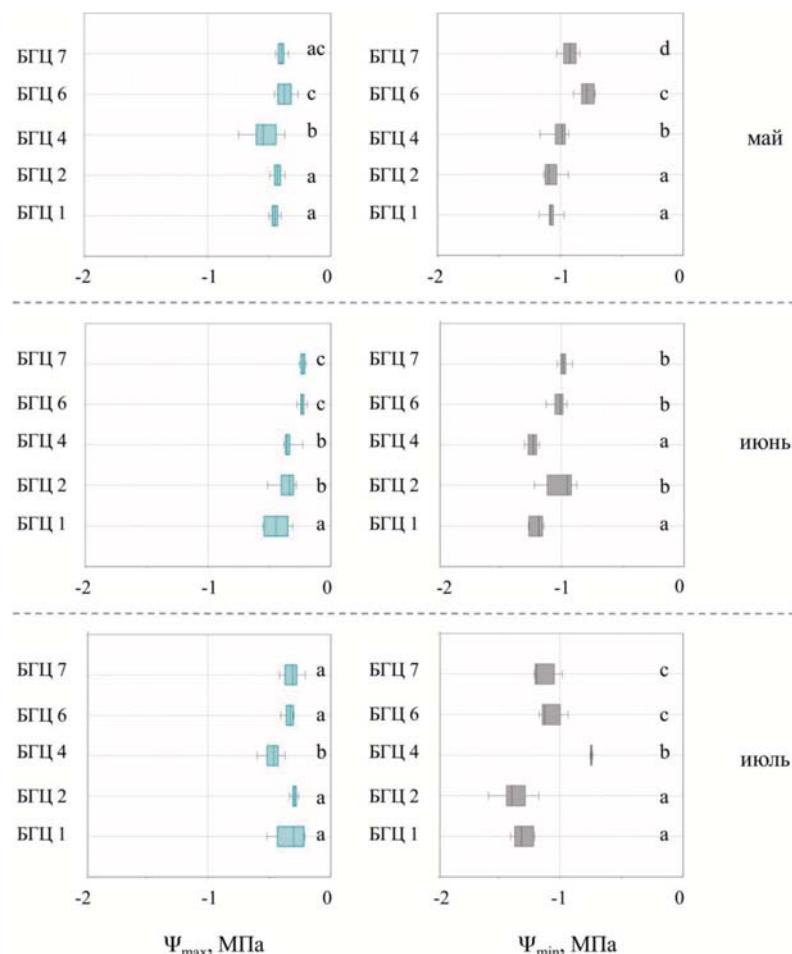


Рис. 4. Значения преддневних (Ψ_{\max}) и полуденных (Ψ_{\min}) водных потенциалов охвоенных побегов *Pinus sylvestris* в сосновках тестового полигона, сформированных на подзолах песчаных (БГЦ 1 и 4), подзолах супесчаных (БГЦ 2), суглинистых (БГЦ 6) и торфяных (БГЦ 7) почвах в мае–июле 2024 г.

*Fig. 4. Predawn (Ψ_{\max}) and midday (Ψ_{\min}) water potentials of foliated shoots of *Pinus sylvestris* in pine forests of the test polygon formed on sandy podzols (БГЦ 1 and 4), sandy loam podzols (БГЦ 2), loams (БГЦ 6), and peat (БГЦ 7) soils in May–July 2024*

В предрассветные часы наиболее отрицательные величины Ψ_{\max} отмечены в 1-й (июнь) и 4-й (май, июль) группах БГЦ ($-0,44$ и $-0,54$ МПа соответственно), сформированных на песчаных почвах, относительно 2, 6 и 7-й групп БГЦ на супесчаных, суглинистых и торфяных почвах. Схожая закономерность уже была отмечена нами в июле 2023 г. для тех же групп сосняков. В целом величины Ψ_{\max} у сосны разных групп БГЦ за весь период наблюдений в 2024 г. варьировали в диапазоне $-0,23\ldots-0,54$ МПа, изменчивость между крайними значениями составила $1,5\ldots1,9$ раза. Полученные в период наблюдений значения Ψ_{\min} свидетельствуют о нарастании водного дефицита охвоенных побегов сосны вследствие увеличения интенсивности ФАР, температуры и дефицита водяного пара в воздухе в полуденные часы относительно таковых перед восходом солнца, что хорошо согласуется с известными экспериментальными данными [Hartzell et al., 2017; Придака и др., 2018; Bucci et al., 2019; Knipfer et al., 2020]. При этом наименее отрицательные значения Ψ_{\min} отмечены в БГЦ 6 и 7 ($-0,78\ldots-1,14$ МПа) относительно остальных групп сосняков ($-1,01\ldots-1,37$ МПа). Исключение составляет величина Ψ_{\min} в июле в БГЦ 4 ($-0,74$ МПа), полученная после непродолжительного дождя.

Установленное в сезонной динамике нарастание водного дефицита в хвое сосны всех групп БГЦ проявилось в смещении диапазона величин Ψ_{\min} в область более низких значений: от $-0,78\ldots-1,08$ МПа (май) и $-0,98\ldots-1,24$ МПа

(июнь) до $-1,09\ldots-1,37$ МПа (июль). Этот факт обусловлен сопряженным влиянием внешних и внутренних факторов, в частности наиболее высоких полуденных значений температуры и дефицита водяного пара в воздухе в июле относительно таковых в мае–июне, что приводит к усилению степени дегидратации ксилемы вследствие, вероятно, превышения расхода влаги на транспирацию над ее поступлением из почвы по мере снижения запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы в течение засушливого лета 2024 г. Увеличение водного дефицита в летний период также можно объяснить сезонным ростом дневного градиента $\Delta\Psi$ во всех группах БГЦ, диапазон значений которого составил в мае, июне и июле $0,41\ldots0,64$, $0,64\ldots0,79$ и $0,75\ldots1,07$ МПа соответственно. Вместе с тем сравнительный анализ влияния влажности и температуры почвы на величину $\Delta\Psi$ охвоенных побегов деревьев всех исследуемых сосняков полигона в мае–июле 2024 г. выявил более существенную зависимость показателя от температуры почвы относительно ее влагообеспеченности (рис. 5), что связано, вероятно, с большей контрастностью температурного режима почвы, а именно более высокой изменчивостью температуры почвы (в 2,5–4 раза) по сравнению с ее влажностью (в 1,3–2 раза) для разных групп сосняков в отмеченный период.

Наиболее низкие значения температуры почвы за вегетационный период у всех групп БГЦ отмечены в мае ($3,1\ldots6,6$ °C) относительно таковых в июне ($9,0\ldots11,7$ °C) и июле ($12,1\ldots16,5$ °C).

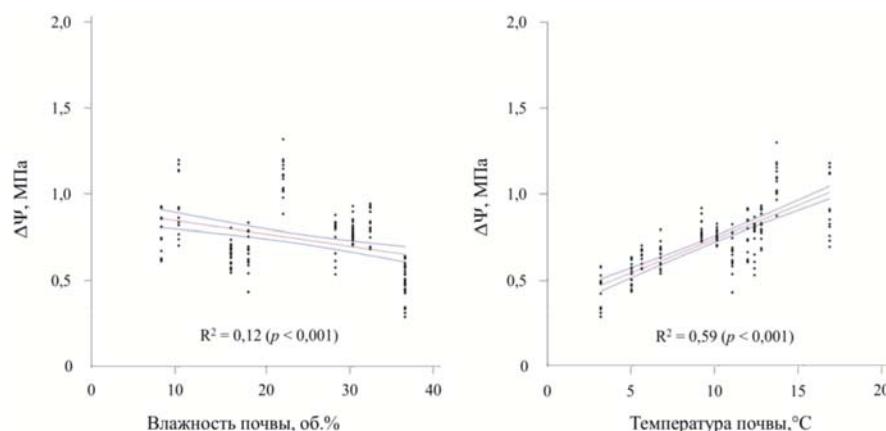


Рис. 5. Зависимость дневного градиента водного потенциала ($\Delta\Psi$) охвоенных побегов *Pinus sylvestris* всех групп сосновых биогеоценозов тестового полигона от влажности и температуры почвы в период с мая по июль 2024 г. Приведены линия регрессии и 95% доверительный интервал

*Fig. 5. Dependence of daily water potential gradient ($\Delta\Psi$) of foliated shoots of *Pinus sylvestris* of all groups of pine biogeocenoses of the test polygon on soil moisture and temperature in the period from May to July 2024. The regression line and 95% confidence interval are given*

Холодные почвы в мае на фоне более высоких величин дневной температуры воздуха ($> 10^{\circ}\text{C}$) лимитируют водопоглощение, поступление воды в крону и потери влаги на транспирацию, что убедительно показано в ряде исследований об ингибирующем действии низкой температуры почвы в начале вегетационного периода на интенсивность транспирации у хвойных видов древесных растений [Wieser et al., 2015; Liu et al., 2016]. И напротив, прогретые почвы в летние месяцы способствуют метаболической активности корней и влагообеспеченности растений в целом при более высоких транспирационных расходах влаги, что приводит к сезонному росту дневного градиента $\Delta\Psi$ во всех группах БГЦ.

Сравнительный анализ влияния контрастных условий разных групп сосновых биогеоценозов тестового полигона и месяца исследований на показатели водного обмена охвоенных побегов сосны выявил в целом значимое влияние обоих факторов и их взаимодействия на исследуемые параметры за двухлетний период (табл.). При этом в 2023 г., отличившемся экстремальными июльскими осадками, более заметное влияние на величину Ψ_{\max} и Ψ_{\min} оказали биогеоценотические условия разных групп сосняков. В условиях вегетационного периода 2024 г. с дефицитом осадков оба фактора оказали практически равное влияние на величину Ψ_{\max} , тогда как на величину Ψ_{\min} большее влияние оказалось совместное действие двух факторов.

Важно отметить, что формирование водного дефицита у растений является нормальным явлением, поскольку клетки наземных растений, как правило, не бывают насыщены водой.

Вместе с тем его значительное увеличение лимитируется устьичной регуляцией транспирационных расходов влаги [Martinez-Vilalta, Garcia-Forner, 2017; Bucci et al., 2019; Buckley, 2019; Knipfer et al., 2020] и возрастанием водоудерживающей способности тканей растения [Cabon et al., 2020; Peters et al., 2021], что и обеспечивает поддержание величины Ψ в физиологически допустимых пределах. Значения Ψ ниже -1 МПа оказывают ингибирующее действие на активность камбия и радиальный рост деревьев [Muller et al., 2011; Cabon et al., 2020]. В периоды «атмосферных засух» при нарастании в полуденные часы водного дефицита в хвое сосны ($\Psi_{\min} -1,3...-1,5 \text{ МПа}$) отмечают снижение интенсивности фотосинтеза в 1,5 раза по сравнению с таковой при хорошей влагообеспеченности растений [Сазонова и др., 2017]. В ряде исследований параметров водообмена показан вклад радиальных потоков воды между ксилемой, флюэмой и живыми клетками паренхимы, которые обеспечивают растение некоторой буферной емкостью для смягчения колебаний между транспирацией листа и поступлением воды в корень [Sevanto et al., 2011; Pfautsch et al., 2015]. Также отмечают видоспецифичность критического порога потери влаги, который связывают с величиной Ψ , индуцирующего потерю гидравлической проводимости ксилемы ствола у хвойных на 50 % [Brodrribb, Cochard, 2009], у лиственных видов древесных растений на 80 % [Urli et al., 2013].

Сосна обыкновенная среди хвойных видов boreальной зоны Евразии отличается наиболее широкой экологической амплитудой, способна заселять как экстремально сухие,

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния условий разных групп сосновых биогеоценозов (БГЦ) и месяца исследований на показатели водного обмена охвоенных побегов *Pinus sylvestris* в вегетационный период 2023 г. (над чертой) и 2024 г. (под чертой)

Results of two-way ANOVA for the effect of conditions of different groups of pine biogeocenoses (BGC) and month of study on water metabolism parameters of shoots in *Pinus sylvestris* during the growing season of 2023 (above the line) and 2024 (below the line)

Показатель Parameter	Факторы Factors		Взаимодействие факторов Interaction of factors
	группа БГЦ biogeocenosis	месяц исследования month of study	
Ψ_{\max}	$\frac{41^{***}}{27^{***}}$	$\frac{26^{***}}{24^{***}}$	$\frac{29^{***}}{16^{***}}$
	$\frac{52^{***}}{25^{***}}$	$\frac{2^{**}}{13^{***}}$	$\frac{42^{***}}{48^{***}}$

Примечание. ¹Доля объясненной дисперсии ($SS_x/SS_{\text{общ}} \times 100, \%$) и уровень значимости (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$). Ψ_{\max} – преддроссветный водный потенциал охвоенного побега; Ψ_{\min} – полуденный водный потенциал охвоенного побега.

Note. ¹Proportion of explained variance ($SS_x/SS_{\text{total}} \times 100, \%$) and significance level (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$). Ψ_{\max} – predawn water potential of shoot; Ψ_{\min} – midday water potential of shoot.

так и переувлажненные экотопы [Martínez-Vilalta et al., 2009; Рысин, 2015]. Наши многолетние исследования показателей $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -газообмена с сосны обыкновенной в разных экологических условиях среднетаежной подзоны Карелии [Сазонова, Придача, 2015, 2020; Сазонова и др., 2017, 2019] показали, что у сосны ограничение транспирационных расходов влаги посредством закрытия устьиц начинается при значениях Ψ_{\min} $-1,0...-1,1$ МПа. Реализация максимального за сутки фотосинтеза у сосны отмечена в достаточно широком диапазоне величин Ψ_{\min} ($-0,7...-1,1$ МПа), среднее значение которого составило $-0,9 \pm 0,1$ МПа [Сазонова и др., 2017]. Анализ суточной динамики водного потенциала охвоенных побегов сосны молодого (25–35 лет), среднего (45–55 лет) и более старшего (60–80 лет) возраста в благоприятных условиях почвенного увлажнения в сосняке черничном позволил выявить постоянство диапазонов значений Ψ_{\max} ($-0,3...-0,7$ МПа) и Ψ_{\min} ($-0,65...-1,5$ МПа) [Сазонова и др., 2011, 2017]. Полученные в нашем исследовании в период вегетации с разными гидротермическими условиями в 2023 и 2024 гг. значения Ψ_{\max} и Ψ_{\min} у деревьев сосны в старовозрастных среднетаежных сосняках черничных и брусничных, сформированных в разных почвенно-гидрологических условиях, в целом соответствуют отмеченному ранее диапазону водного дефицита сосны [Сазонова и др., 2011, 2017, 2019], что свидетельствует о схожей степени напряженности водообмена деревьев сосны разного возраста и высоты. Этот факт, вероятно, можно объяснить адаптивной стратегией растений, направленной на гомеостатирование их водного статуса, которое реализуется посредством координации устьичной и гидравлической проводимости [Martínez-Vilalta, García-Forner, 2017; Chen et al., 2022] для поддержания водного потенциала у деревьев сосны разного возраста и высоты в физиологически приемлемых пределах. Подобное гидравлическое гомеостатирование у деревьев разной высоты и возраста ранее показано для *Pinus pinaster* [Delzon et al., 2004], *P. sylvestris* [Martínez-Vilalta et al., 2007] и *P. densiflora* [Azuma et al., 2019]. Также поддержание гидравлического гомеостаза между потерей и поглощением воды у высоких деревьев обеспечивают структурные изменения проводящих тканей растений, в частности увеличение диаметра проводящих элементов [Pfautsch, 2016; Olson et al., 2018; Fernández-de-Uña et al., 2023]. Вместе с тем следует отметить изменчивость показателя Ψ у разных видов сосен. Так, например, у взрослых деревьев *P. canariensis* в зависимости

от высоты над уровнем моря и количества осадков величина Ψ составила $-0,3...-2,5$ МПа [Gieger, Leuschner, 2004]. У взрослых деревьев *P. palustris* в течение года диапазон значений Ψ составил $-0,8...-1,8$ МПа [Addington et al., 2004]. В работе H. Cochard с соавторами [2004] отмечали развитие водного стресса у разных видов *Pinus* spp. при значениях Ψ , которые изменялись от $-1,8$ МПа (*P. nigra*) и $-2,6$ МПа (*P. sylvestris*) до $-3,4...-3,5$ МПа (*P. mugo*, *P. cembra*). Полученные нами в вегетационные периоды 2023 и 2024 гг. (отличающиеся в отдельные сроки разными гидротермическими условиями) величины Ψ_{\max} и Ψ_{\min} у взрослых деревьев *P. sylvestris* в разных группах БГЦ тестового полигона соответствуют отмеченному широкому диапазону показателей водообмена для *Pinus* spp.

Заключение

Проведенное в течение двух контрастных по гидротермическим условиям вегетационных периодов 2023 и 2024 гг. исследование изменчивости величин предрассветных и полуденных водных потенциалов охвоенных побегов у 170-летних деревьев сосны, произрастающих в разных лесорастительных условиях, позволило оценить влияние экологических факторов на показатели водообмена хвойного дерева. Показано в целом значимое влияние биогеоценотических особенностей произрастания и погодных условий, а также их взаимодействия на исследуемые параметры взрослых деревьев за двухлетний период. Сопоставление данных исследования и наших ранее полученных результатов для деревьев сосны разного возраста в разных экологических условиях среднетаежной подзоны Карелии [Сазонова и др., 2011, 2017, 2019; Сазонова, Придача, 2015, 2020] установило схожую степень напряженности водообмена деревьев сосны разного возраста и высоты. Выявление особенностей взаимосвязи анатомических признаков и гидравлических характеристик вторичной ксилемы и их координации с показателями $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -газообмена, способствующих, очевидно, гомеостатированию водного статуса взрослых деревьев в перестойных сосновых насаждениях, представляет перспективу для дальнейшего исследования. Полученные показатели могут быть использованы в качестве входных параметров в математических моделях продукционного процесса и водного цикла наземных экосистем для определения возможного отклика $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ бюджета таежных лесных экосистем на будущие климатические изменения.

Авторы выражают глубокую благодарность Н. А. Галибиной и Т. В. Тарелкиной (ИЛ КарНЦ РАН) за помощь в организации полевых исследований, а также Е. В. Новичонок за помощь в сборе экспериментального материала.

Литература

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2022 году: информационное электронное издание / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. 265 с. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)

Еруков Г. В., Власкова Г. В. Гидротермический режим почв сосновых лесов Карелии. Л.: Наука, 1986. 111 с.

Кайбияйнен Л. К. Эколого-физиологические исследования сосны и сосновых древостоев // Труды Карельского научного центра РАН. 2003. № 5. С. 65–73.

Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Ред. К. С. Бобкова, Э. П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.

Лукина Ю. Н., Белкина Н. А., Калинкина Н. М., Богданов С. Р., Зобков М. Б., Здоровеннов Р. Э., Потахин М. С., Здоровеннова Г. Э., Толстиков А. В., Пальшин Н. И., Бородулина Г. С., Богданова М. С., Мясникова Н. А., Смирнов С. И., Новикова Ю. С., Гатальская Е. В., Морозова И. В., Зобкова М. В., Сластина Ю. Л., Макарова Е. М., Сярки М. Т., Коновалов Д. С., Теканова Е. В. Разработка системы мониторинга пуль углерода и потоков парниковых газов в водных экосистемах Европейского Севера России // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 5. С. 97–114. doi: 10.17076/lm1954

Молчанов А. Г., Беляева Е. А. Влияние недостатка водообеспечения на фотосинтез саженцев ели, сосны и дуба // Лесоведение. 2024. № 2. С. 163–172. doi: 10.31857/S0024114824020056

Мошников С. А., Ромашкин И. В., Пеккоев А. Н. Особенности структуры лесного покрова на примере полигона интенсивного уровня «Кивач» (Республика Карелия) // Вопросы лесной науки. 2024. Т. 7, № 2. Ст. № 144. doi: 10.31509/2658-607x-202372-144

Назарова Л. Е. Климатические условия на территории Карелии // Современные исследования водоемов Севера. Петрозаводск, 2021. С. 7–16.

Придача В. Б., Тихова Г. П., Сазонова Т. А. Влияние абиотических факторов на водообмен хвойного и лиственного растений // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 12. С. 76–86. doi: 10.17076/eb878

Пеккоев А. Н., Мошников С. А., Ромашкин И. В., Тесля Д. В., Тюнен А. В., Карпин В. А., Возьмитель Ф. К., Чирков А. В. Материалы лесотаксационных исследований на постоянных пробных площадях полигона «Кивач» // Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». 2024. № 6 (от 20.06.2024 г.).

Рысин Л. П. Биогеоценология лесов сосны обыкновенной. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2015. 303 с.

Сазонова Т. А., Болондинский В. К., Придача В. Б. Влияние водного дефицита хвои сосны обыкновенной на фотосинтез в условиях достаточного почвенного увлажнения // Лесоведение. 2017. № 4. С. 311–318. doi: 10.7868/S0024114817040076

Сазонова Т. А., Болондинский В. К., Придача В. Б. Сопротивление движению влаги в проводящей системе сосны обыкновенной // Лесоведение. 2019. № 6. С. 556–566. doi: 10.1134/S0024114819060081

Сазонова Т. А., Болондинский В. К., Придача В. Б. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Петрозаводск: Verso, 2011. 207 с.

Сазонова Т. А., Придача В. Б. Влияние влагообеспеченности песчаных почв на параметры водообмена сосны обыкновенной в Южной Карелии // Лесоведение. 2015. № 6. С. 470–477.

Сазонова Т. А., Придача В. Б. Влияние почвенных условий среднетаежного сосняка лишайникового на рост и показатели минерального и водного режима сосны обыкновенной // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 11. С. 113–123. doi: 10.17076/eb1316

Суворова Г. Г. Фотосинтез хвойных деревьев в условиях Сибири. Новосибирск: Гео, 2009. 195 с.

Судачкова Н. Е., Милютина И. Л., Романова Л. Т. Биохимическая адаптация хвойных к стрессовым условиям Сибири. Новосибирск: Гео, 2012. 178 с.

Филипчук А. Н., Малышева Н. В., Золина Т. А., Федоров С. В., Бердов А. М., Косицын В. Н., Югов А. Н., Кинигопуло П. С. Аналитический обзор количественных и качественных характеристик лесов Российской Федерации: итоги первого цикла государственной инвентаризации лесов // Лесохозяйственная информация. 2022. № 1. С. 5–34. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.1.01

*Addington R. N., Mitchell R. J., Oren R., Donovan L. A. Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris* // Tree Physiol. 2004. Vol. 24, no. 5. P. 561–569. doi: 10.1093/treephys/24.5.561*

Akmetova G. V., Novikov S. G., Moshkina E. V., Medvedeva M. V., Solodovnikov A. N., Saraeva A. K., Nikerova K. M. Estimation of carbon stocks in forest litter of middle-taiga forests of Eastern Fennoscandia // Eurasian Soil Sci. 2024. Vol. 57, no. 11. P. 1819–1833. doi: 10.1134/S1064229324601951

Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D. D., Hogg E. H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim G.-H., Allard G., Running S. W., Semerci A., Cobb N. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests // Forest Ecol. Manag. 2010. Vol. 259, no. 4. P. 660–684. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.001

Antonova G. F., Stasova V. V., Suvorova G. G., Oskolkov V. A. Xylogenesis, photosynthesis and respiration in Scots pine trees growing in Eastern Siberia (Russia) // Russ. J. Dev. Biol. 2023. Vol. 54. P. 292–308. doi: 10.1134/S106236042305003X

Azuma W., Ishii H. R., Masaki T. Height-related variations of leaf traits reflect strategies for maintaining photosynthetic and hydraulic homeostasis in mature and

- old *Pinus densiflora* trees // *Oecologia*. 2019. Vol. 189. P. 317–328. doi: 10.1007/s00442-018-4325-x
- Bréda N., Huc R., Granier A., Dreyer E.* Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences // *Ann. For. Sci.* 2006. Vol. 63, no. 6. P. 625–644. doi: 10.1051/forest:2006042
- Brodribb T. J., Cochard H.* Hydraulic failure defines the recovery and point of death in water-stressed conifers // *Plant Physiol.* 2009. Vol. 149. P. 575–584. doi: 10.1104/pp.108.129783
- Bucci S. J., Carbonell Silletta L. M., Garré A., Cavaliero A., Efron S. T., Arias N. S., Goldstein G., Scholz F. G.* Functional relationships between hydraulic traits and the timing of diurnal depression of photosynthesis // *Plant Cell Environ.* 2019. Vol. 42. P. 1603–1614. doi: 10.1111/pce.13512
- Buckley T. N.* How do stomata respond to water status? // *New Phytol.* 2019. Vol. 224. P. 21–36. doi: 10.1111/nph.15899
- Cabon A., Fernández-de-Uña L., Gea-Izquierdo G., Meinzer F. C., Woodruff D. R., Martínez-Vilalta J., De Cáceres M.* Water potential control of turgor-driven tracheid enlargement in Scots pine at its xeric distribution edge // *New Phytol.* 2020. Vol. 225. P. 209–221. doi: 10.1111/nph.16146
- Chen Z., Li S., Wan X., Liu S.* Strategies of tree species to adapt to drought from leaf stomatal regulation and stem embolism resistance to root properties // *Front. Plant Sci.* 2022. Vol. 13. P. 926535. doi: 10.3389/fpls.2022.926535
- Choat B., Brodribb T. J., Brodersen C. R., Duursma R. A., López R., Medlyn B. E.* Triggers of tree mortality under drought // *Nature*. 2018. Vol. 558. P. 531–539. doi: 10.1038/s41586-018-0240-x
- Cochard H., Froux F., Mayr S., Coutand C.* Xylem wall collapse in water-stressed pine needles // *Plant Physiol.* 2004. Vol. 134, no. 1. P. 401–408. doi: 10.1104/pp.103.028357
- Dawson T. E., Burgess S. S., Tu K. P., Oliveira R. S., Santiago L. S., Fisher J. B., Simonin K. A., Ambrose A. R.* Nighttime transpiration in woody plants from contrasting ecosystems // *Tree Physiol.* 2007. Vol. 27, no. 4. P. 561–575. doi: 10.1093/treephys/27.4.561
- Delzon S., Sartore M., Burlett R., Dewar R., Loustau D.* Hydraulic responses to height growth in maritime pine trees // *Plant Cell Environ.* 2004. Vol. 27. P. 1077–1087. doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01213.x
- Domec J. C., Lachenbruch B., Meinzer F. C., Woodruff D. R., Warren J. M., McCulloch K. A.* Maximum height in a conifer is associated with conflicting requirements for xylem design // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2008. Vol. 105, no. 33. P. 12069–12074. doi: 10.1073/pnas.0710418105
- Donovan L. A., Linton M. J., Richards J. H.* Predawn plant water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered conditions // *Oecologia*. 2001. Vol. 129. P. 328–335. doi: 10.1007/s004420100738
- Eckes-Shephard A. H., Tiavlovsky E., Chen Y., Fonti P., Friend A. D.* Direct response of tree growth to soil water and its implications for terrestrial carbon cycle modeling // *Glob. Change Biol.* 2020. Vol. 27. P. 121–135. doi: 10.1111/gcb.15397
- FAO. Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Rome, 2020. 16 p. doi: 10.4060/ca8753en
- Fernández-de-Uña L., Martínez-Vilalta J., Poyatos R., Mencuccini M., McDowell N. G.* The role of height-driven constraints and compensations on tree vulnerability to drought // *New Phytol.* 2023. Vol. 239. P. 2083–2098. doi: 10.1111/nph.19130
- Gieger T., Leuschner C.* Altitudinal change in needle water relations of *Pinus canariensis* and possible evidence of a drought-induced alpine timberline on Mt. Teide, Tenerife // *Flora*. 2004. Vol. 199. P. 100–109. doi: 10.1078/0367-2530-00139
- Grote R., Gessler A., Hommel R., Poschenrieder W., Priesack E.* Importance of tree height and social position for drought-related stress on tree growth and mortality // *Trees*. 2016. Vol. 30. P. 1467–1482. doi: 10.1007/s00468-016-1446-x
- Hartzell S., Bartlett M., Porporato A.* The role of plant water storage and hydraulic strategies in relation to soil moisture availability // *Plant Soil*. 2017. Vol. 419. P. 503–521. doi: 10.1007/s11104-017-3341-7
- Hinckley T. M., Lassoie J. P., Running S. W.* Temporal and spatial variations in the water status of forest trees // *Forest Science*. 1978. Vol. 24, suppl. 1. P. a0001-z0001. doi: 10.1093/forestscience/24.s1.a0001
- Hölttä T., Mäkinen H., Nöjd P., Mäkelä A., Nikinmaa E.* A physiological model of softwood cambial growth // *Tree Physiol.* 2010. Vol. 30, no. 10. P. 1235–1252. doi: 10.1093/treephys/tpq068
- IPCC: Climate Change 2023: Synthesis report, summary for policymakers. Contribution of working groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / H. Lee, J. Romero (eds.). Geneva, Switzerland; 2023. 34 p. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Irvine J., Perks M. P., Magnani F., Grace J.* The response of *Pinus sylvestris* to drought: stomatal control of transpiration and hydraulic conductance // *Tree Physiol.* 1998. Vol. 18, no. 6. P. 393–402. doi: 10.1093/treephys/18.6.393
- Kangur O., Kupper P., Sellin A.* Predawn disequilibrium between soil and plant water potentials in light of climate trends predicted for northern Europe // *Reg. Environ. Change*. 2017. Vol. 17. P. 2159–2168. doi: 10.1007/s10113-017-1183-8
- Knipfer T., Bambach N., Hernandez M. I., Bartlett M. K., Sinclair G., Duong F., Kluepfel D. A., McElrone A. J.* Predicting stomatal closure and turgor loss in woody plants using predawn and midday water potential // *Plant Physiol.* 2020. Vol. 184, no. 2. P. 881–894. doi: 10.1104/pp.20.00500
- Kramer P. J., Boyer J. S.* Water relations of plants and soils. San Diego, USA: Academic Press, 1995. 495 p.
- Lambers H., Oliveira R. S.* Plant physiological ecology. Springer Nature Switzerland AG, 2019. 736 p. doi: 10.1007/978-3-030-29639-1
- Liu X., Nie Y., Luo T., Yu J., Shen W., Zhang L.* Seasonal shift in climatic limiting factors on tree transpiration: evidence from sap flow observations at alpine treelines in southeast Tibet // *Front. Plant Sci.* 2016. Vol. 7. P. 1018. doi: 10.3389/fpls.2016.01018

Martínez-Vilalta J., Cochard H., Mencuccini M., Sterck F., Herrero A., Korhonen J. F. J., Llorens P., Nikinmaa E., Nolè A., Poyatos R., Ripullone F., Sass-Klaassen U., Zweifel R. Hydraulic adjustment of Scots pine across Europe // *New Phytol.* 2009. Vol. 184. P. 353–64. doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.02954.x

Martínez-Vilalta J., Garcia-Forner N. Water potential regulation, stomatal behavior and hydraulic transport under drought: deconstructing the iso/anisohydric concept // *Plant Cell Environ.* 2017. Vol. 40. P. 962–976. doi: 10.1111/pce.12846

Martínez-Vilalta J., Vanderklein D., Mencuccini M. Tree height and age-related decline in growth in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Oecologia*. 2007. Vol. 150. P. 529–544. doi: 10.1007/s00442-006-0552-7

McDowell N. G. Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality // *Plant Physiol.* 2011. Vol. 155, no. 3. P. 1051–1059. doi: 10.1104/pp.110.170704

Muller B., Pantin F., Génard M., Turc O., Freixes S., Piques M., Gibon Y. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs // *J. Exp. Bot.* 2011. Vol. 62, no. 6. P. 1715–1729. doi: 10.1093/jxb/erq438

Nienemets Ü. Stomatal conductance alone does not explain the decline in foliar photosynthetic rates with increasing tree age and size in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* // *Tree Physiol.* 2002. Vol. 22, no. 8. P. 515–535. doi: 10.1093/treephys/22.8.515

Olson M. E., Soriano D., Rosell J. A., Anfodillo T., Donoghue M. J., Edwards E. J., León-Gómez C., Dawson T., Camarero Martínez J. J., Castorena M., Echeverría A. Plant height and hydraulic vulnerability to drought and cold // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2018. Vol. 115, no. 29. P. 7551–7556. doi: 10.1073/pnas.1721728115

Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. Updated world map of Köppen-Geiger climate classification // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2007. Vol. 11. P. 1633–1644. doi: 10.5194/hess-11-1633-2007

Peters R. L., Steppe K., Cuny H. E., De Pauw D. J. W., Frank D. C., Schaub M., Rathgeber C. B. K., Cabon A., Fonti P. Turgor – a limiting factor for radial growth in mature conifers along an elevational gradient // *New Phytol.* 2021. Vol. 229. P. 213–229. doi: 10.1111/nph.16872

Pfautsch S. Hydraulic anatomy and function of trees – basics and critical developments // *Curr. Forestry Rep.* 2016. Vol. 2. P. 236–248. doi: 10.1007/s40725-016-0046-8

Pfautsch S., Hölttä T., Mencuccini M. Hydraulic functioning of tree stems – fusing ray anatomy, radial transfer and capacitance // *Tree Physiol.* 2015. Vol. 35, no. 7. P. 706–722. doi: 10.1093/treephys/tpv058

Richter H. Water relations of plants in the field: some comments on the measurement of selected parameters // *J. Exp. Bot.* 1997. Vol. 48. P. 1–7. doi: 10.1093/jxb/48.1.1

Ryan M. G., Phillips N., Bond B. J. The hydraulic limitation hypothesis revisited // *Plant Cell Environ.* 2006. Vol. 29. P. 367–381. doi: 10.1111/j.1365-3040.2005.01478.x

Sellin A. Does pre-dawn water potential reflect conditions of equilibrium in plant and soil water status? // *Acta Oecologica*. 1999. Vol. 20, no. 1. P. 51–59. doi: 10.1016/S1146-609X(99)80015-0

Senf C., Buras A., Zang C. S., Ramming A., Seidl R. Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe // *Nat. Commun.* 2020. Vol. 11. P. 6200. doi: 10.1038/s41467-020-19924-1

Sevanto S., Hölttä T., Holbrook N. M. Effects of the hydraulic coupling between xylem and phloem on diurnal phloem diameter variation // *Plant Cell Environ.* 2011. Vol. 34. P. 690–703. doi: 10.1111/j.1365-3040.2011.02275.x

Turner N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status // *Plant Soil.* 1981. Vol. 58. P. 339–366. doi: 10.1007/BF02180062

Urli M., Porté A. J., Cochard H., Guengant Y., Burlett R., Delzon S. Xylem embolism threshold for catastrophic hydraulic failure in angiosperm trees // *Tree Physiol.* 2013. Vol. 33. P. 672–683. doi: 10.1093/treephys/tpt030

Wieser G., Grams T. E., Matyssek R., Oberhuber W., Gruber A. Soil warming increased whole-tree water use of *Pinus cembra* at the treeline in the Central Tyrolean Alps // *Tree Physiol.* 2015. Vol. 35, no. 3. P. 279–288. doi: 10.1093/treephys/tpv009

References

Addington R. N., Mitchell R. J., Oren R., Donovan L. A. Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris*. *Tree Physiol.* 2004;24(5):561–569. doi: 10.1093/treephys/24.5.561

Akhmetova G. V., Novikov S. G., Moshkina E. V., Medvedeva M. V., Solodovnikov A. N., Saraeva A. K., Nikerova K. M. Estimation of carbon stocks in forest litter of middle-taiga forests of Eastern Fennoscandia. *Eurasian Soil Sci.* 2024;57(11):1819–1833. doi: 10.1134/S1064229324601951

Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D. D., Hogg E. H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim G.-H., Allard G., Running S. W., Semerci A., Cobb N. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecol. Manag.* 2010;259(4):660–684. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.001

Antonova G. F., Stasova V. V., Suvorova G. G., Oskolkov V. A. Xylogenesis, photosynthesis and respiration in Scots pine trees growing in Eastern Siberia (Russia). *Russ. J. Dev. Biol.* 2023;54:292–308. doi: 10.1134/S106236042305003X

Azuma W., Ishii H. R., Masaki T. Height-related variations of leaf traits reflect strategies for maintaining photosynthetic and hydraulic homeostasis in mature and old *Pinus densiflora* trees. *Oecologia*. 2019;189:317–328. doi: 10.1007/s00442-018-4325-x

Bobkova K. S., Galenko E. P. (eds.). Primary spruce forests of the North: biodiversity, structure, functions. St. Petersburg: Nauka; 2006. 337 p. (In Russ.)

- Bréda N., Huc R., Granier A., Dreyer E.* Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Ann. For. Sci.* 2006;63(6):625–644. doi: 10.1051/forest:2006042
- Brodrribb T. J., Cochard H.* Hydraulic failure defines the recovery and point of death in water-stressed conifers. *Plant Physiol.* 2009;149:575–584. doi: 10.1104/pp.108.129783
- Bucci S. J., Carbonell Silletta L. M., Garré A., Cavallaro A., Efron S. T., Arias N. S., Goldstein G., Scholz F. G.* Functional relationships between hydraulic traits and the timing of diurnal depression of photosynthesis. *Plant Cell Environ.* 2019;42:1603–1614. doi: 10.1111/pce.13512
- Buckley T. N.* How do stomata respond to water status? *New Phytol.* 2019;224:21–36. doi: 10.1111/nph.15899
- Cabon A., Fernández-de-Uña L., Gea-Izquierdo G., Meinzer F. C., Woodruff D. R., Martínez-Vilalta J., De Cáceres M.* Water potential control of turgor-driven tracheid enlargement in Scots pine at its xeric distribution edge. *New Phytol.* 2020;225:209–221. doi: 10.1111/nph.16146
- Chen Z., Li S., Wan X., Liu S.* Strategies of tree species to adapt to drought from leaf stomatal regulation and stem embolism resistance to root properties. *Front. Plant Sci.* 2022;13:926535. doi: 10.3389/fpls.2022.926535
- Choat B., Brodrribb T. J., Brodersen C. R., Duursma R. A., López R., Medlyn B. E.* Triggers of tree mortality under drought. *Nature.* 2018;558:531–539. doi: 10.1038/s41586-018-0240-x
- Cochard H., Froux F., Mayr S., Coutand C.* Xylem wall collapse in water-stressed pine needles. *Plant Physiol.* 2004;134(1):401–408. doi: 10.1104/pp.103.028357
- Dawson T. E., Burgess S. S., Tu K. P., Oliveira R. S., Santiago L. S., Fisher J. B., Simonin K. A., Ambrose A. R.* Nighttime transpiration in woody plants from contrasting ecosystems. *Tree Physiol.* 2007;27(4):561–575. doi: 10.1093/treephys/27.4.561
- Delzon S., Sartore M., Burlett R., Dewar R., Loustau D.* Hydraulic responses to height growth in maritime pine trees. *Plant Cell Environ.* 2004;27:1077–1087. doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01213.x
- Domec J. C., Lachenbruch B., Meinzer F. C., Woodruff D. R., Warren J. M., McCulloh K. A.* Maximum height in a conifer is associated with conflicting requirements for xylem design. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2008;105(33):12069–12074. doi: 10.1073/pnas.0710418105
- Donovan L. A., Linton M. J., Richards J. H.* Predawn plant water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered conditions. *Oecologia.* 2001;129:328–335. doi: 10.1007/s004420100738
- Eckes-Shephard A. H., Tiavlovsky E., Chen Y., Fonti P., Friend A. D.* Direct response of tree growth to soil water and its implications for terrestrial carbon cycle modeling. *Glob. Change Biol.* 2020;27:121–135. doi: 10.1111/gcb.15397
- Erukov G. V., Vlaskova G. V.* The hydrothermic regime of pine forests in Karelia. Leningrad: Nauka; 1986. 111 p. (In Russ.)
- FAO.* Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Rome; 2020. 16 p. doi: 10.4060/ca8753en
- Fernández-de-Uña L., Martínez-Vilalta J., Poyatos R., Mencuccini M., McDowell N. G.* The role of height-driven constraints and compensations on tree vulnerability to drought. *New Phytol.* 2023;239:2083–2098. doi: 10.1111/nph.19130
- Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Zolina T. A., Fedorov S. V., Berdov A. M., Kositsyn V. N., Yugov A. N., Kinigopulo P. S.* Analytical review of the quantitative and qualitative characteristics of forests in the Russian Federation: results of the first cycle of the state forest inventory. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya = Forestry Information.* 2022;1:5–34. (In Russ.). doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.1.01
- Gieger T., Leuschner C.* Altitudinal change in needle water relations of *Pinus canariensis* and possible evidence of a drought-induced alpine timberline on Mt. Teide, Tenerife. *Flora.* 2004;199:100–109. doi: 10.1078/0367-2530-00139
- Grote R., Gessler A., Hommel R., Poschenrieder W., Priesack E.* Importance of tree height and social position for drought-related stress on tree growth and mortality. *Trees.* 2016;30:1467–1482. doi: 10.1007/s00468-016-1446-x
- Hartzell S., Bartlett M., Porporato A.* The role of plant water storage and hydraulic strategies in relation to soil moisture availability. *Plant Soil.* 2017;419:503–521. doi: 10.1007/s11104-017-3341-7
- Hinckley T. M., Lassoie J. P., Running S. W.* Temporal and spatial variations in the water status of forest trees. *Forest Science.* 1978;24(s.1):a0001-z0001. doi: 10.1093/forestscience/24.s1.a0001
- Hölttä T., Mäkinen H., Nöjd P., Mäkelä A., Nikinmaa E.* A physiological model of softwood cambial growth. *Tree Physiol.* 2010;30(10):1235–1252. doi: 10.1093/treephys/tpq068
- Irvine J., Perks M. P., Magnani F., Grace J.* The response of *Pinus sylvestris* to drought: stomatal control of transpiration and hydraulic conductance. *Tree Physiol.* 1998;18(6):393–402. doi: 10.1093/treephys/18.6.393
- Kaibiainen L. K.* Ecophysiological studies of pine and pine stands. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS.* 2003;5:65–73. (In Russ.)
- Kangur O., Kupper P., Sellin A.* Predawn disequilibrium between soil and plant water potentials in light of climate trends predicted for northern Europe. *Reg. Environ. Change.* 2017;17:2159–2168. doi: 10.1007/s10113-017-1183-8
- Knipfer T., Bambach N., Hernandez M. I., Bartlett M. K., Sinclair G., Duong F., Kluepfel D. A., McElrone A. J.* Predicting stomatal closure and turgor loss in woody plants using predawn and midday water potential. *Plant Physiol.* 2020;184(2):881–894. doi: 10.1104/pp.20.00500
- Kramer P. J., Boyer J. S.* Water relations of plants and soils. San Diego, USA: Academic Press; 1995. 495 p.
- Lambers H., Oliveira R. S.* Plant physiological ecology. Springer Nature Switzerland AG; 2019. 736 p. doi: 10.1007/978-3-030-29639-1
- Lee H., Romero J. (eds.).* IPCC: Climate Change 2023: Synthesis report, summary for policymakers.

- Contribution of working groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland; 2023. 34 p. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Liu X., Nie Y., Luo T., Yu J., Shen W., Zhang L.* Seasonal shift in climatic limiting factors on tree transpiration: evidence from sap flow observations at alpine treelines in southeast Tibet. *Front. Plant Sci.* 2016;7:1018. doi: 10.3389/fpls.2016.01018
- Lukina Yu. N., Belkina N. A., Kalinkina N. M., Bogdanov S. R., Zobkov M. B., Zdrovennov R. E., Potakhin M. S., Zdrovennova G. E., Tolstikov A. V., Pal'shin N. I., Borodulina G. S., Bogdanova M. S., Myasnikova N. A., Smirnov S. I., Novikova Yu. S., Gatal'skaya E. V., Morozova I. V., Zobkova M. V., Slastina Yu. L., Makarova E. M., Syarki M. T., Konakov D. S., Tekanova E. V.* Development of a system for monitoring carbon pools and greenhouse gas flows in aquatic ecosystems of the European North of Russia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS.* 2024;5: 97–114. (In Russ.). doi: 10.17076/lm1954
- Martínez-Vilalta J., Cochard H., Mencuccini M., Sterck F., Herrero A., Korhonen J. F. J., Llorens P., Nikinmaa E., Nolé A., Poyatos R., Ripullone F., Sasse-Klaassen U., Zweifel R.* Hydraulic adjustment of Scots pine across Europe. *New Phytol.* 2009;184:353–364. doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.02954.x
- Martínez-Vilalta J., Garcia-Forner N.* Water potential regulation, stomatal behavior and hydraulic transport under drought: deconstructing the iso/anisohydric concept. *Plant Cell Environ.* 2017;40:962–976. doi: 10.1111/pce.12846
- Martínez-Vilalta J., Vanderklein D., Mencuccini M.* Tree height and age-related decline in growth in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Oecologia.* 2007;150:529–544. doi: 10.1007/s00442-006-0552-7
- McDowell N. G.* Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. *Plant Physiol.* 2011;155(3):1051–1059. doi: 10.1104/pp.110.170704
- Molchanov A. G., Belyaeva E. A.* Water affecting photosynthesis of seedlings growing in the open. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science.* 2024;2: 163–172. (In Russ.). doi: 10.31857/S0024114824020056
- Moshnikov S. A., Romashkin I. V., Pekkoev A. N.* Features of the structure of forest cover on the example of the intensive level polygon 'Kivach' (Republic of Karelia). *Voprosy lesnoi nauki = Forest Science Issues.* 2024;7(2):1–24. (In Russ.). doi: 10.31509/2658-607x-202372-144
- Muller B., Pantin F., Génard M., Turc O., Freixes S., Piques M., Gibon Y.* Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *J. Exp. Bot.* 2011;62(6):1715–1729. doi: 10.1093/jxb/erq438
- Nazarova L. E.* Climatic conditions in the Republic of Karelia. *Sovremennye issledovaniya vodoemov Severa = Modern research of northern water bodies.* Petrozavodsk; 2021. P. 7–16. (In Russ.)
- Niinemets Ü.* Stomatal conductance alone does not explain the decline in foliar photosynthetic rates with increasing tree age and size in *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Tree Physiol.* 2002;22(8):515–535. doi: 10.1093/treephys/22.8.515
- Olson M. E., Soriano D., Rosell J. A., Anfodillo T., Donoghue M. J., Edwards E. J., León-Gómez C., Dawson T., Camarero Martínez J. J., Castorena M., Echeverría A.* Plant height and hydraulic vulnerability to drought and cold. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2018;115(29):7551–7556. doi: 10.1073/pnas.1721728115
- Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A.* Updated world map of Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2007;11:1633–1644. doi: 10.5194/hess-11-1633-2007
- Pekkoev A. N., Moshnikov S. A., Romashkin I. V., Teslya D. V., Tuyunen A. V., Karpin V. A., Voz'mitel' F. K., Chirkov A. V.* Materials of forest-taxation studies on permanent sample plots of the polygon 'Kivach'. *Ofitsial'nyi byulleten' «Programmy dlya EVM. Bazy dannykh. Topologii integral'nykh mikroskhem» = Official Bulletin 'Computer Programs. Databases. Topologies of integrated circuits'.* 2024;6 (dated 20.06.2024). (In Russ.)
- Peters R. L., Steppe K., Cuny H. E., De Pauw D. J. W., Frank D. C., Schaub M., Rathgeber C. B. K., Cabon A., Fonti P.* Turgor – a limiting factor for radial growth in mature conifers along an elevational gradient. *New Phytol.* 2021;229:213–229. doi: 10.1111/nph.16872
- Pfautsch S.* Hydraulic anatomy and function of trees – basics and critical developments. *Curr. Forestry Rep.* 2016;2:236–248. doi: 10.1007/s40725-016-0046-8
- Pfautsch S., Hölttä T., Mencuccini M.* Hydraulic functioning of tree stems – fusing ray anatomy, radial transfer and capacitance. *Tree Physiol.* 2015;35(7):706–722. doi: 10.1093/treephys/tpv058
- Pridacha V. B., Tikhova G. P., Sazonova T. A.* The effect of abiotic factors on water exchange in coniferous and deciduous plants. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS.* 2018;12:76–86. (In Russ.). doi: 10.17076/eb878
- Richter H.* Water relations of plants in the field: some comments on the measurement of selected parameters. *J. Exp. Bot.* 1997;48:1–7. doi: 10.1093/jxb/48.1.1
- Ryan M. G., Phillips N., Bond B. J.* The hydraulic limitation hypothesis revisited. *Plant Cell Environ.* 2006;29:367–381. doi: 10.1111/j.1365-3040.2005.01478.x
- Rysin L. P.* Scots pine forest biogeocenology. Moscow: KMK; 2015. 303 p. (In Russ.)
- Sazonova T. A., Bolondinskii V. K., Pridacha V. B.* Eco-physiological characteristics of Scots pine. Petrozavodsk: Verso; 2011. 207 p. (In Russ.)
- Sazonova T. A., Bolondinskii V. K., Pridacha V. B.* Resistance to moisture transport in the conductive system of Scots pine. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science.* 2019;6:556–566. (In Russ.). doi: 10.1134/S0024114819060081
- Sazonova T. A., Bolondinskii V. K., Pridacha V. B.* The effect of water deficit in needles on photosynthesis of the Scots pine under normal soil moistening. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science.* 2017;4: 311–318. (In Russ.). doi: 10.7868/S0024114817040076
- Sazonova T. A., Pridacha V. B.* The effect of soil conditions on growth and parameters of the mineral and water

- metabolism in Scots pine in a middle-taiga lichen-type pine forest. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2020;11:113–123. (In Russ.). doi: 10.17076/eb1316
- Sazonova T. A., Pridacha V. B. The effects of moisture availability of sandy soils on water exchange of Scots pine in Southern Karelia. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*. 2015;6: 470–477. (In Russ.)
- Sellin A. Does pre-dawn water potential reflect conditions of equilibrium in plant and soil water status? *Acta Oecologica*. 1999;20(1):51–59. doi: 10.1016/S1146-609X(99)80015-0
- Senf C., Buras A., Zang C. S., Ramming A., Seidl R. Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nat. Commun.* 2020;11:6200. doi: 10.1038/s41467-020-19924-1
- Sevanto S., Hölttä T., Holbrook N.M. Effects of the hydraulic coupling between xylem and phloem on diurnal phloem diameter variation. *Plant Cell Environ.* 2011;34: 690–703. doi: 10.1111/j.1365-3040.2011.02275.x
- State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2022: information electronic publication. Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2023. 265 p. (In Russ.) (CD-ROM)
- Sudachkova N. E., Milyutina I. L., Romanova L. I. Biochemical adaptation of conifers to stressful conditions of Siberia. Novosibirsk: Geo; 2012. 178 p. (In Russ.)
- Suvorova G. G. Photosynthesis of coniferous trees in Siberia. Novosibirsk: Geo; 2009. 195 p. (In Russ.)
- Turner N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant Soil*. 1981;58:339–366. doi: 10.1007/BF02180062
- Urli M., Porté A. J., Cochard H., Guengant Y., Burlett R., Delzon S. Xylem embolism threshold for catastrophic hydraulic failure in angiosperm trees. *Tree Physiol.* 2013;33:672–683. doi: 10.1093/treephys/tp030
- Wieser G., Grams T. E., Matyssek R., Oberhuber W., Gruber A. Soil warming increased whole-tree water use of *Pinus cembra* at the treeline in the Central Tyrolean Alps. *Tree Physiol.* 2015;35(3):279–288. doi: 10.1093/treephys/tpv009

Поступила в редакцию / received: 29.11.2025; принята к публикации / accepted: 11.04.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Придача Владислава Борисовна

канд. биол. наук, заведующая лабораторией
физиологии и цитологии древесных растений

e-mail: pridacha@krc.karelia.ru

Семин Денис Евгеньевич

аспирант, ведущий физик

e-mail: semind@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Pridacha, Vladislava

Cand. Sci. (Biol.), Head of Laboratory

Semin, Denis

Doctoral Student, Leading Physicist

УДК 630*587.2 (470.22)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА АРХИПЕЛАГА ТУЛОЛАНСААРИ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «ЛАДОЖСКИЕ ШХЕРЫ») НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Н. В. Петров*, Б. В. Раевский, В. В. Тарасенко

Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),
*nvpetrov@krc.karelia.ru

Ладожские шхеры – это природный район прибрежной полосы акватории Ладожского озера, представляющий собой совокупность архипелагов скалистых островов, отделенных друг от друга и от берега узкими проливами. Комплексный мониторинг состояния крупных островов района Ладожских шхер является актуальным направлением исследования уникальных наземных экосистем (растительного покрова) с использованием современных методов и данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Создание цифровых картографических материалов растительного покрова на основе дешифрирования ДДЗ имеет большое значение с точки зрения исследования природной и антропогенной динамики растительных сообществ. В результате исследований выявлено, что за последние 30 лет не менее 33,3 % от общей площади сосняков вересково-лишайниковой группы на островах архипелага Тулолансаари были пройдены низовыми пожарами различной интенсивности. Вероятнее всего, причина выявленных эпизодов катастрофической динамики связана с влиянием человека, а именно с активной рекреационной деятельностью. Происходит быстрое зарастание бывших сельскохозяйственных земель древесной и кустарниковой растительностью. За последние десятилетия общая площадь лугов на исследованной территории сократилась на 37,4 %.

Ключевые слова: мультиспектральные космические снимки; картографическая платформа облачных вычислений; пространственная динамика; растительные сообщества; классификация; дешифрирование; вегетационные индексы

Для цитирования: Петров Н. В., Раевский Б. В., Тарасенко В. В. Исследование динамики растительного покрова архипелага Тулолансаари (национальный парк «Ладожские шхеры») на основе спутниковых данных // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 73–85. doi: 10.17076/eco2125

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0014).

N. V. Petrov*, B. V. Raevsky, V. V. Tarasenko. INVESTIGATION OF VEGETATION COVER DYNAMICS ON TULOLANSAARI ARCHIPELAGO (LADOGA SKERRIES NATIONAL PARK) BASED ON REMOTE SENSING DATA

*Department for Multidisciplinary Research, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *nvpetrov@krc.karelia.ru*

The Ladoga skerries region encompasses the lake's north-western littoral strip composed of a number of rocky island archipelagoes and half-islands separated by narrow straits. Comprehensive monitoring and digital mapping of this region using geoinformation technologies and remotely sensed data are of great importance for investigating the natural and anthropogenic dynamics of its ecosystems. It was revealed, for instance, that at least 33.3 % of lichen and ericetal pine forests on Tulolansaari Archipelago islands had endured surface fires of various intensity during the last 30 years. They were most probably caused by human activities, particularly recreation. Also, abandoned farmlands are getting actively overgrown with trees and shrubs. Over the said time span, the total area of grasslands within the investigated area shrank by 37.4 %.

Keywords: multispectral satellite imagery; cloud-based geospatial analysis platform; spatial dynamics; plant communities; classification; interpretation; vegetation indices

For citation: Petrov N. V., Raevsky B. V., Tarasenko V. V. Investigation of vegetation cover dynamics on Tulolansaari Archipelago (Ladoga Skerries National Park) based on remote sensing data. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 73–85. doi: 10.17076/eco2125

Funding. The study was carried out under state assignment to the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (FMEN-2022-0014).

Введение

Комплексный мониторинг окружающей среды с использованием данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и геоинформационных технологий является одним из актуальных направлений развития комплекса наук о Земле и современного природопользования [Курбанов и др., 2011]. В частности, разработка цифровых векторных карт растительного покрова на основе дешифрирования ДДЗ имеет исключительное значение с точки зрения организации мониторинга природной и антропогенной динамики растительных сообществ. Современный этап в развитии технологий спутникового картографирования (с начала 2000-х гг.) характеризуется нарастающим уровнем открытости доступа к спутниковым данным, а также использованием web-сервисов online-предоставления информационных продуктов и инструментов их анализа (USGS, ECA-Sentinel). Одним из таких сервисов является платформа облачных вычислений Google Earth Engine (GEE) (<https://earthengine.google.com/>). Данная платформа предоставляет некоммерческим пользователям свободный доступ к огромному объему космических снимков, сделанных в процессе реализации множества спутниковых программ (Landsat, Sentinel). Платформа позволяет легко сортировать и

фильтровать ДДЗ для конкретного космического аппарата в различных пространственных и временных масштабах. GEE также предоставляет различные вычислительные алгоритмы контролируемой и неконтролируемой классификации, а также алгоритмы вычисления множества вегетационных и прочих индексов.

Платформа GEE официально впервые была представлена на Международной конференции ООН по изменению климата в 2010 году. Интерес широкой аудитории к ее возможному применению стал неуклонно расти после появления ряда изданий как для научной, так и для массовой аудитории. В частности, отправной точкой серии публикаций, связанных с прикладным применением GEE, является публикация 2017 года от разработчиков платформы [Gorelick et al., 2017].

Краткий обзор имеющейся литературы в отношении возможного применения платформы для научно-исследовательских целей указывает на успешность в решении целого ряда задач, связанных с анализом Big Data со спутниковых снимков. Наибольшую применимость GEE находит в сфере мониторинга изменений наземных и водных экосистем [Сидоренков и др., 2022; Иванов и др., 2024]. В частности, целый ряд исследований на базе платформы [Богданов и др., 2018; Тутубалина и др., 2020;

Aldiansyah, 2021; Гумеров, 2022; Рахимов и др., 2025; Codjoe et al., 2022; Safitri et al., 2023] демонстрируют, что пространственно-временные изменения растительного покрова являются ключевым показателем трансформации наземных экосистем. Кроме того, в ряде работ [Venkatappa et al., 2020; Chaudhary et al., 2023] авторы неоднократно отмечали точность классификации космических снимков по коэффициенту Каппа не менее 0,9 и общую кумулятивную точность выше 90 %, что вполне оправдывает использование данного подхода в представленной работе. Платформа нашла широкое применение для оценки последствий лесных пожаров [Daldegan et al., 2019; Long et al., 2019; Янец и др., 2022], лесовосстановительных процессов на бывших гарях [Güzel et al., 2021], а также оценки пожарной опасности природных ландшафтов [Quintero et al., 2019].

Цель настоящего исследования заключалась в оценке современного состояния и выявлении динамики растительного покрова исследуемой территории (ИТ) путем обработки разновременных многозональных космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения в среде GEE. Проведение подобного

рода исследований имеет как прикладное, так и фундаментальное значение. Прикладные вопросы связаны с оптимизацией природопользования национального парка (НП) «Ладожские шхеры», а именно, с актуализацией сведений о современном состоянии растительного покрова. Фундаментальные задачи связаны с мониторингом устойчивости растительного покрова островных экосистем, считающихся наиболее уязвимыми к антропогенному воздействию и изменению климата.

Объекты и методы исследований

Исследования проводились в рамках комплексной научной экспедиции в полевой сезон 2024 года в пределах группы островов Ладожского озера: Тулолансаари, Мякисало, Пелотсаари, Карпансаари, Лапонсаари, Кирккосаари, Райпатсаари, Сури-Сартосаари, Орятсаари, Пиени-Сартосаари на общей площади 13 600 га (рис. 1). Далее по тексту ИТ именуется также по названию самого крупного острова как архипелаг Тулолансаари. Обследованный полигон лежит в границах НП «Ладожские шхеры». Общая площадь парка, согласно

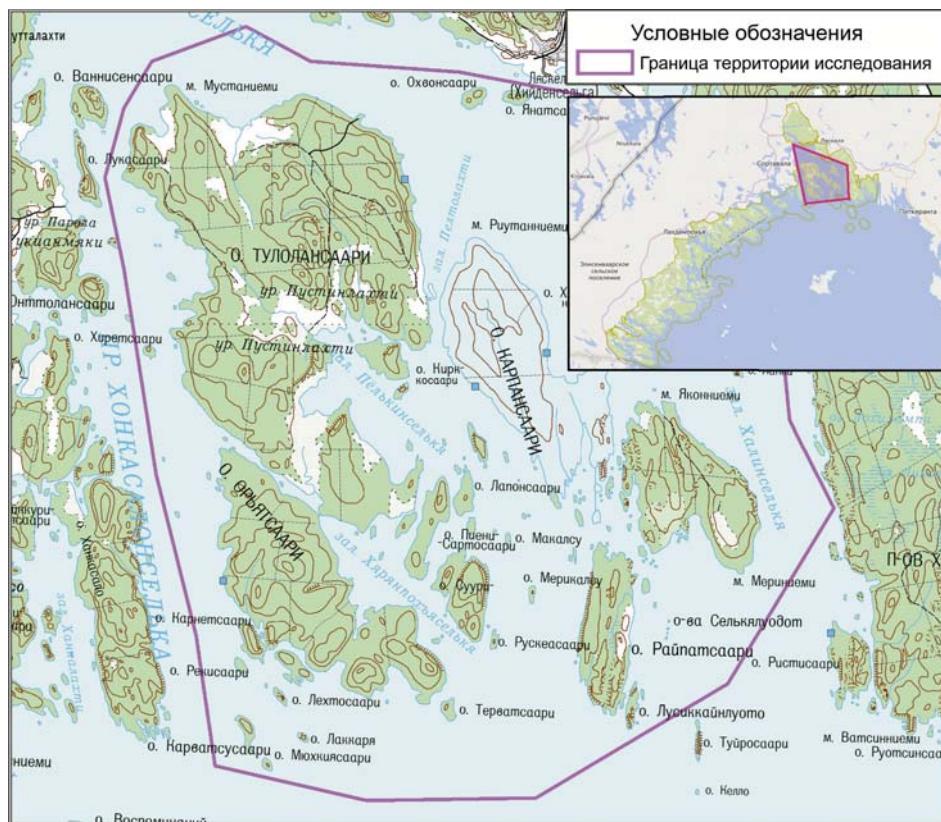


Рис. 1. Границы территории исследования (архипелаг Тулолансаари)

Fig. 1. Boundaries of the study area (Tulolansaari Archipelago)

Постановлению от 28 декабря 2017 г. № 1684, составляет 122 008 га. Для НП характерен деградационно-тектонический скальный слабозаболоченный с преобладанием сосновых местообитаний тип ландшафта [Волков и др., 1990]. Данный тип представлен в Карелии только на северо-западном побережье Ладожского озера и на о. Валаам и занимает всего лишь 1,7 % территории республики. Почвенный покров включает 9 типов, существенно различающихся между собой: от примитивных почв на скалах до сравнительно плодородных подбуров на террасированных склонах. Рельеф представлен сложным комплексом форм, обусловленных проявлением как эндогенных, так и экзогенных процессов, и относится к Приладожской морфоструктуре. В структуре ландшафта выделено 16 типов леса – 10 коренных и 6 производных. В современном лесном покрове ландшафта в значительной степени преобладают сосновые леса (70 % покрытых лесом земель). На втором месте по представленности лиственные леса – занимают около 25 % покрытой лесом площади. Незначительно представлены ельники. Существенное участие сосняков в сухих местообитаниях указывает на высокий риск возникновения низовых пожаров, что стало особенно актуально при использовании территории в рекреационных целях.

Выбор данного полигона (рис. 1) был определен в контексте перспективных планов по исследованию территории НП. Комплексные исследования, сосредоточенные на сравнительно небольших по площади полигонах, дают возможность получить более детальную информацию, позволяющую оценить динамику наземного покрова в целом. В дальнейшем предполагается, что исследования будут расширяться в направлении Ленинградской области и постепенно охватят весь национальный парк.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Формирование современной и ретроспективной пространственных моделей состояния наземного покрова объекта исследования и оценка их достоверности.

2. Выявление природной и антропогенной динамики изменений растительного покрова с использованием нормализованного индекса гарей (Normalized Burnt Ratio – NBR).

3. Оценка структурных изменений растительного покрова как итога протекания природных сукцессионных процессов в лесных и луговых экосистемах.

Для разработки пространственных моделей исследуемой территории использованы

космические снимки (КС) спутниковых программ Sentinel-2 и Landsat-5 и -8. Визуализация цветных RGB-композитов растров осуществлялась в комбинации каналов:

- Sentinel-2: B11 – SWIR1 (20 м/пиксель), B6 – Vegetation Red Edge 1 (20 м/пиксель), B3 – Green (10 м/пиксель);
- Landsat-5: SR_B5 – SWIR1 (30 м/пиксель), SR_B4 – NIR (30 м/пиксель), SR_B3 – Red (30 м/пиксель).

Большинство современных спутниковых сенсоров одновременно фиксируют мультиспектральные и панхроматические диапазоны данных. Для повышения детализации спутниковых данных обычно используют метод «паншарпенинг» (англ. *panchromatic sharpening*), который позволяет повысить качество изображения с низким пространственным разрешением за счет снимков с более высоким. Многочисленные методы слияния (объединения КС) различаются видом преобразования спектрональных изображений, способом замены одной из компонент изображением высокого разрешения, а также алгоритмом интерполяции [Коберниченко и др., 2013].

Так как пространственное разрешение используемых для классификации каналов съемки MSI различно и варьируется от 10 до 20 м/пиксель (Red/Green/Blue/Nir – 10 м/пиксель, Red Edge1-4, SWIR1, SWIR2 – 20 м/пиксель), классификация КС проводилась с применением процедуры паншарпенинга [Palsson et al., 2012; Курбанов, Воробьев, 2020] для «подтягивания» изображения Sentinel-2 до единого уровня высокого разрешения (10 м/пиксель). Фрагмент программного кода GEE, который раскрывает сущность процедуры паншарпенинга в данной работе:

```
// Convert the RGB bands to the HSV color space.  
var hsv = image.select(['B11', 'B6', 'B3']).  
rgbToHsv();  
// Swap in the panchromatic band and convert  
back to RGB.  
var sharpened = ee.Image.cat([  
hsv.select('hue'), hsv.select('saturation'), image.  
select('B3')]).hsvToRgb();  
var image = sharpened;
```

В нашем случае для выполнения операций по формированию RGB-композитов, паншарпенинга комбинации каналов Sentinel-2 по каналу B3, классификации полученных изображений и экспорту результатов (shape-формат) использовался компилятор облачной платформы вычислений и машинного обучения GEE (<https://code.earthengine.google.com/>).

Разработка классификатора осуществлялась на основе плана лесонасаждений Ладожского участкового лесничества Сортавальского лесничества, раскрашенного по преобладающим породам, часть территории которого ныне относится к НП, таксационных описаний выделов (лесоустройство 2003 г.), данных государственного лесного реестра (ГЛР) по состоянию на 01.01.2018 г. и мозаики космических снимков высокого разрешения, доступных на картографическом сервисе Bing Maps (<https://www.bing.com/maps?cp=61.674741%7E30.926067&lvl=12.3>). Сводные данные по набору эталонов для выделенных тематических классов представлены в табл. 1.

Управляемая классификация космических снимков (Median-синтез) проекта Landsat-5 (вегетационный период 01.06–30.09.1987) и космоснимков проекта Sentinel-2 (вегетационный период 01.06–30.09.2024) осуществлялась с использованием алгоритма классификации с обучением Random Forest (RF) – «метод случайного леса», реализованного на платформе облачных вычислений GEE.

В качестве основы для обнаружения пожаров использованы результаты классификации Median-синтеза космических снимков проекта

Landsat-5 в вегетационный период 01.06–30.09.1987. Оценка изменений растительного покрова осуществлялась путем вычисления разностных величин нормализованного индекса гарей (NBR – Normalized Burnt Ratio) [Key, Benson, 2006] за последние 37 лет с использованием временной серии снимков спутниковых миссий Landsat-5 и -8 и Sentinel-2. Индекс гарей [Alcaras et al., 2022] рассчитывался как разность спектральных отражений в ближнем (NIR) и 2-м (SWIR2) коротковолновом инфракрасных каналах, нормализованная на их сумму: $NBR = (NIR - SWIR2) / (NIR + SWIR2)$.

Достоверность полученной пространственной модели определялась путем использования метода матрицы неточностей (англ. *confusion matrix*) и расчета комплекса связанных с ней параметров: общей точности, коэффициента Каппа, точности пользователя и точности производителя [Малышева, 2012; Курбанов, Воробьев, 2020]. Верификация результатов дешифрирования космоснимков осуществлялась с использованием картографических и атрибутивных лесостроительных данных, а также на основе данных натурных описаний растительного покрова. В период полевых работ на восьми маршрутах была заложена 21 круговая

Таблица 1. Сводные данные по набору эталонов для управляемой классификации

Table 1. Summary data on the set of training areas for supervised classification

Номер класса Class number	Имя класса Class name	Число эталонов, шт. Number of training areas, pcs.	Суммарная площадь, га Total area, ha
1	Ельники Spruce forests	13	9,61
2	Березняки Birch forests	35	15,85
3	Сосняки брусничные Cowberry pine forests	5	3,59
4	Площади, пройденные пожаром Areas affected by fire	22	16,29
5	Прибрежная зона Coastal zone	42	20,77
6	Луга Meadows	19	10,46
7	Скалы Rocks	12	3,41
8	Сосняки скальные Rocky pine forests	15	8,14
9	Сосняки кисличные Sour pine forests	38	21,14
10	Сосняки черничные Blueberry pine forests	5	3,08
11	Осинники Aspen forests	17	8,21
12	Озеро Lake	9	236,29
Итого Total		226	120,55

пробная площадь (КПП) радиусом 10 м. Пробные площади закладывались в наиболее типичных участках лесных выделов и имели точную географическую привязку. В процессе работ на КПП производился сплошной перечет деревьев с инструментальным измерением диаметров, высот и возраста по элементам леса. На каждой пробной площади сделано геоботаническое описание напочвенного покрова и заложен почвенный разрез. Поскольку количества заложенных КПП пока недостаточно для получения достоверных средних таксационных показателей в разрезе тематических классов, при верификации результатов дешифрирования вышеупомянутые пробные площади выполняли роль контрольных точек только по признаку преобладающей породы.

Результаты и обсуждение

Обсуждая особенности площадной структуры архипелага, выявленной по результатам классификации КС, необходимо отметить ряд принципиальных моментов. Во-первых, доступные пространственные и атрибутивные данные по лесному фонду рассматриваемой территории в значительной степени устарели и не в полной мере соответствуют современ-

ной ситуации. Однако никакой другой подобной информации в ее отношении не существует. Во-вторых, сравнение результатов классификации снимков различных спутниковых платформ, существенно различающихся по параметрам радиометрического, пространственного разрешения и другим аппаратным характеристикам, достаточно затруднительно. Вследствие того, что программа Landsat характеризуется наибольшей продолжительностью миссии, для построения ретроспективных моделей наземного покрова использование ее изображений во многих случаях является единственной доступной альтернативой. Сравнение тематических карт разного пространственного разрешения (на основе КС Landsat и Sentinel) проводилось путем оценки суммарных площадей классификации по группам тематических классов.

Результаты дешифрирования по тематическим классам разновременных снимков архипелага Тулолансаари представлены в виде карты на рис. 2 и в табл. 2 относительно (%) данных лесоустройства ИТ (2003 г.).

Приступая к анализу площадной структуры ИТ, необходимо отметить ряд ее ландшафтно-экологических особенностей и своеобразие истории природопользования данной зоны.

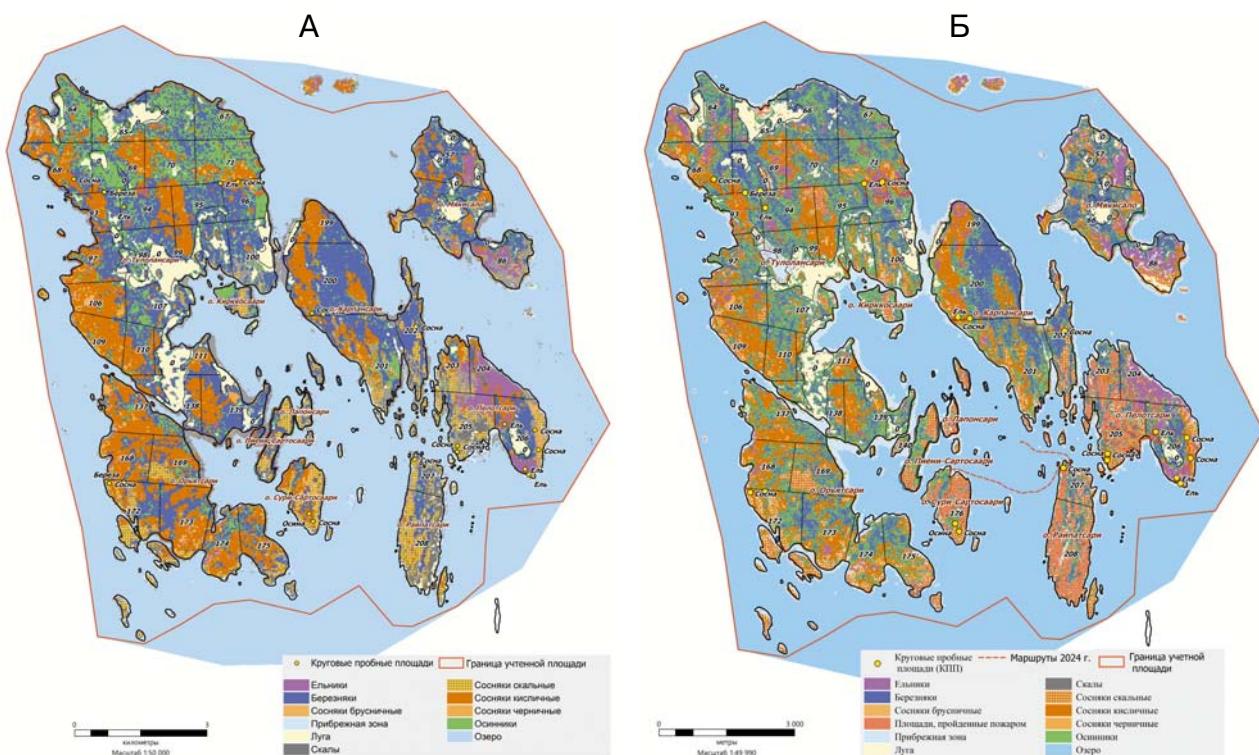


Рис. 2. Тематические карты наземного покрова: А – Landsat-5 1987 г.; Б – Sentinel-2 2024 г.

Fig. 2. Land cover (thematic maps) interpretation results: А – Landsat-5 1987; Б – Sentinel-2 2024

Таблица 2. Распределение классов наземного покрова территории архипелага Тулолансаари по результатам дешифрирования КС Landsat-5 1987 г. и Sentinel-2 2024 г.

Table 2. The areal structure of the Tulolansaari Archipelago based on the results of Landsat-5 1987 and Sentinel-2 2024 satellite interpretation

Группы классов Class groups	Площадь классификации Classified area, ha				Данные л/у (2003 г.), га Forest assessment data (2003), ha
	Landsat 1987, га Landsat 1987, ha	Landsat 1987, %	Sentinel 2024, га Sentinel 2024, ha	Sentinel 2024, %	
Сосняки Pine forests	2031,0	-17,9	2404,5	-2,8	2473,6
Ельники Spruce forests	196,9	-28,8	257,8	-6,8	276,5
Березняки Birch forests	1938,5	54,9	1614,4	29,0	1251,1
Осинники Aspen forests	788,3	28,6	706,0	15,1	613,2
Луга Meadows	438,0	-8,0	298,1	-37,4	476,0
Скалы Rocks	149,8	96,3	131,3	72,1	76,3
Площади, пройденные пожаром Areas affected by fire	-	-	258,6	-	-
Итого Total	5542,5	7,3	5670,6	9,8	5166,7
Всего хвойных Total coniferous forests	2227,9	-19,0	2662,3	-3,2	2750,1
Всего лиственных Total deciduous forests	2726,8	46,3	2320,4	24,5	1864,3
Итого покрытой лесом площади Total forested area	4954,7	7,4	4982,7	8,0	4614,4
Прибрежная зона Coastal zone	1193,7	-	1162,0	-	-
оз. Ладожское Lake Ladoga	8037,8	-	7286,8	-	-
Площадь классификации, га Classified area, ha	14774	-	14494,9	-	-

В отличие от внутриматериковых участков суши островные архипелаги крупных водоемов характеризуются существенным изменением своей площади вследствие многолетних и вековых колебаний уровня воды. Поэтому при классификации был выделен тематический класс «прибрежная зона», который представлял собой достаточно узкую экотонную область мелководья, занятую водной и полуводной растительностью. Растительный покров Северного Приладожья в течение многих столетий подвергался тотальной антропогенной трансформации. Исторически здесь, вероятно, можно выделить множество периодов, но по существу рассматриваемых нами проблем наибольшее значение имеют процессы и тенденции, характерные для XIX и XX столетий. На рубеже указанных веков Северное Приладожье представляло собой край высоко-развитого хуторского земледелия и горнорудной промышленности. Вплоть до 40-х годов XX века леса активно вырубались при сплошнолесосечной форме хозяйствования, а все доступные

к обработке земли распахивались. Во второй половине XX столетия хуторская форма земледелия практически исчезла. Леса всего Северного Приладожья были отнесены к различным категориям защитности, подразумевающим запрет сплошных рубок. В шхерной зоне побережья любая лесозаготовительная деятельность прекратилась. В период экономического кризиса в России в 90-х годах XX века характерное для этой зоны мелкоконтурное сельское хозяйство также практически перестало функционировать.

В соответствии с отмеченными тенденциями следовало предположить, что на ИТ в ретроспективе последних десятилетий площади хвойных насаждений не должны были сокращаться кардинально. При этом на землях запаса (бывших сельхозугодьях) активно идут процессы застарения древесной и кустарниковой растительностью. Результаты классификации изображения Sentinel-2 (табл. 2) в полной мере подтверждают высказанную гипотезу в отношении сукцессионных процессов, протекающих в растительном покрове ИТ.

Достоверность дешифрирования в значительной мере подтверждается данными лесоустройства, хотя последние и следует считать устаревшими. Основная часть суши ИТ занята лесами (93 %). Преобладающая часть покрытой лесом площади находится под хвойными насаждениями (46,9 %), в т. ч. на долю сосновок приходится 42,4 % площади суши и 90,3 % площади хвойных насаждений. Доля сосновок скальных составляет 32,2 %. Это, как правило, разновозрастные древостоя, где старшее поколение сформировано деревьями VII–VIII классов возраста (121–160 лет). Высокопродуктивные сосновки кисличные и черничные занимают 66,2 % от всей площади сосновок и представлены в основном условно одновозрастными древостоями V–VI классов возраста (81–120 лет). В силу их сравнительно молодого возраста процессы формирования елового яруса и тенденция смены сосны елью в них еще не выражены. Общая площадь сосновок вересково-лишайниковой группы (скальных, лишайниковых и вересковых) составила 773,7 га, что на 11,2 % больше, чем по данным лесоустройства (695,5 га). При этом площадь сосновок зеленошно-кисличной группы (брусничных, черничных и кисличных) составила 1630,8 га, что на 8,2 % меньше, чем по лесоустройственным данным (1776,8 га). Указанные сравнительно небольшие отклонения свидетельствуют об успешной классификации сосновых насаждений по группам типов леса. Площадь луговых систем сократилась, то есть происхо-

дит их активное зарастание, что закономерно ведет к увеличению площади березняков и осинников.

Показатели точности, автоматически рассчитанные в приложении GEE и приведенные в табл. 3, свидетельствуют о высокой достоверности результатов классификации. Высокая степень сходства тематических карт, приведенных на рис. 3, также говорит в пользу хорошего уровня позиционной точности, достигнутой по результатам дешифрирования.

Верификация результатов дешифрирования с использованием контрольных точек показала, что в варианте Landsat-5 85,7 %, а в варианте Sentinel-2 90,5 % контрольных точек были дешифрированы правильно по указанному признаку.

Таблица 3. Показатели достоверности классификации методом RF

Table 3. Accuracy indicators of classification by the RF method

Космические снимки Satellite images	Показатели достоверности Accuracy indicators	
	общая точность, % overall accuracy, %	коэффициент Каппа Kappa coefficient
Landsat-5 1987	99,0	0,99
Sentinel-2 2024	93,2	0,92

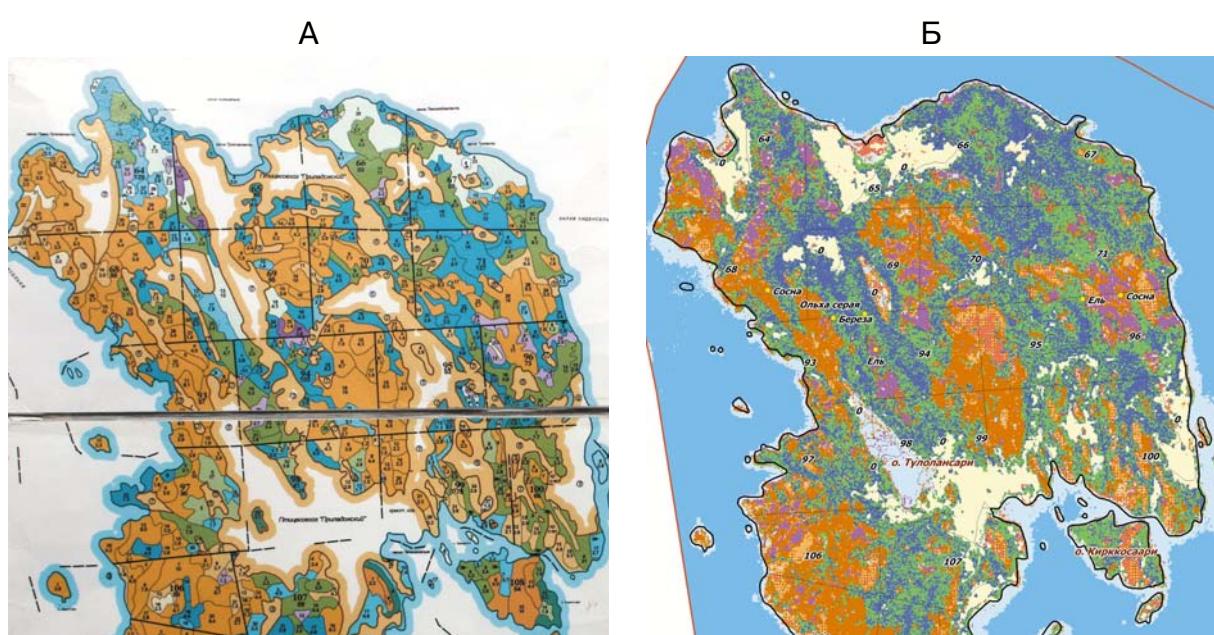


Рис. 3. Фрагменты тематических карт: А – план лесонасаждений 2003 г.; Б – Sentinel-2 2024 г.

Fig. 3. Fragments of the thematic maps: A – forest plan in 2003; Б – Sentinel-2 2024

Как показали полевые маршрутные обследования, за последние несколько десятилетий значительные участки преимущественно сосняков скальных были пройдены низовыми пожарами. После пожара в подобного рода местообитаниях в течение первых двух-трех лет происходил постепенный вывал крупных деревьев и начинались процессы естественного возобновления сосны. В природе такие площади выглядят достаточно своеобразно. На ровных и слабопологих участках скального основания, покрытых слаборазвитым почвенным покровом (петроземами), образуются сосновые редины. В депрессиях и скальных разломах, где скапливается растительный опад, развивается лиственная растительность. В материалах лесоустройства 2003 г. такие участки показаны как сосновые молодняки.

Облачная платформа GEE была использована для вычисления разности NBR-индекса с периодичностью один год начиная с 1987 по 2011 г. (Landsat-5), далее в 2013–2015 гг. (Landsat-8) и завершающий период – с 2015 по 2024 г. (Sentinel-2). Несмотря на то что классы пожарной опасности местообитаний с еловыми и сосновыми насаждениями существенно различаются, был сформирован единый цифровой векторный слой (рис. 4, А) «хвойные насаждения», который объединил следующие слои (классы):

сосняки скальные; сосняки брусличные; сосняки черничные, сосняки кисличные; ельники (все типы леса). Далее с использованием геоинформационного программного обеспечения MapInfo v17.03 были созданы цифровые векторные слои вероятных пожаров на островах архипелага по выбранным периодам путем «извлечения» объектов, площадь которых превышает 1 га, из слоя «хвойные насаждения». После обработки результатов вычислений и формирования векторных данных обнаруженных площадей, пройденных пожарами, выявлены наибольшие по суммарной площади временные периоды потерь растительного покрова, а именно: 1994–1995; 1996–1997; 1999–2001; 2002–2003; 2005–2006; 2006–2007; 2022–2023 гг. Результаты представлены в табл. 4 и на рис. 4.

Анализ динамики покрытых лесом площадей, пройденных пожарами, показывает, что за исследованный период более половины их (56,4 %) образовалось в течение восьми лет – с 1996 по 2003 г. Самы горельники локализуются преимущественно на средних по размерам скалистых островах, образующих, как правило, внешнюю границу шхерной зоны, то есть в местах, наиболее привлекательных для рекреации. Начинаясь обычно от берега, пожар распространяется вверх по скалистому склону, поросшему сосновой, но в дальнейшем может заходить и в еловые выделы.

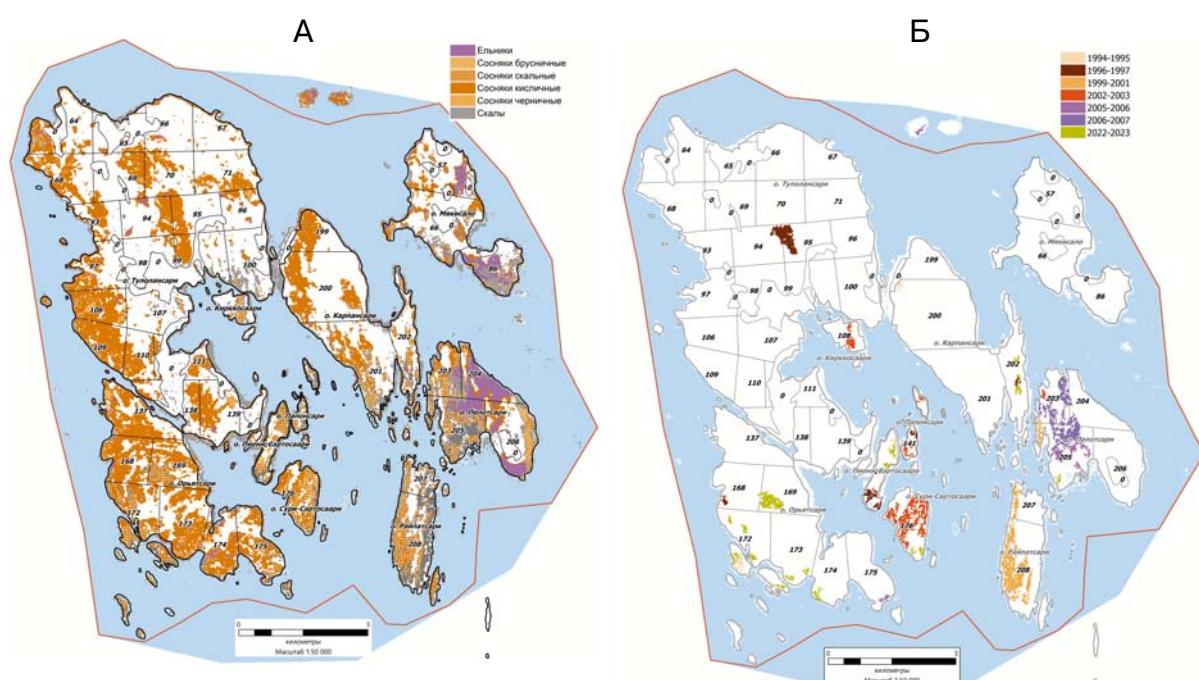


Рис. 4. Тематические карты: А – «хвойные насаждения» по результатам классификации КС Landsat-5 1987 г.; Б – вероятные пожары 1987–2024 гг. по периодам обнаружения

Fig. 4. Thematic maps: А – “coniferous stands” based on the results of the Landsat-5 classification of 1987; Б – probable fire areas of 1987–2024 by the investigated time spans

Таблица 4. Площади наиболее вероятных пожаров на ИТ по временным периодам

Table 4. Areas of the most probable fires in IT by time spans

Период исследования, годы Time spans, years	Площадь пожаров, га Fire area, ha
1994–1995	13,8
1996–1997	31,1
1999–2001	61,8
2002–2003	52,9
2005–2006	12,6
2006–2007	49,4
2022–2023	37,1
Общая площадь, га Total area, ha	258,6

Внутри острова его распространение завершается зачастую по неотектоническим смещениям с характерными вертикальными стенками.

Заключение

Исследование на базе платформы облачных вычислений GEE структуры наземного и растительного покрова архипелага Тулолансаари, который можно считать вполне типичным участком скалистого шхерного побережья Ладожского озера, и НП «Ладожские шхеры» позволило выявить основные закономерности строения и особенности его антропогенной и естественной природной динамики. В соответствии с основными тенденциями динамики глубоко антропогенно трансформированного ландшафта национального парка площадь луговых систем сокращается, то есть происходит их зарастание, что закономерно ведет к увеличению площади бересняков и осинников. Выявлено, что за последние 30 лет на островах исследованного архипелага не менее 33,3 % от общей площади сосняков вересково-лишайниковой группы пройдены низовыми пожарами различной интенсивности. По всей видимости, причина всех эпизодов катастрофической динамики связана с влиянием человека, а именно с активной рекреационной деятельностью. Использование платформы облачных вычислений Google Earth Engine позволило кратко сократить машинное время на обработку «больших данных» и выполнить классификацию космоснимков с высокими показателями общей точности и достоверности. Разработанные в процессе исследования алгоритмы и программные коды могут служить основой для создания современного и оперативного комплекса средств мониторинга растительного покрова территории как Республики Карелия, так и других регионов России.

Литература

Богданов А. П., Карпов А. А., Демина Н. А., Алешко Р. А. Совершенствование мониторинга лесов путем использования облачных технологий как элемента устойчивого лесоуправления // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 1. С. 89–100. doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-89-100

Волков А. Д., Громцев А. Н., Еруков Г. В., Караваев В. Н., Коломыцев В. А., Курхинен Ю. П., Лак Г. Ц., Пыжин А. Ф., Сазонов С. В., Шелехов А. М. Экосистемы ландшафтов запада средней тайги (структура и динамика) // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Петрозаводск: Карелия, 1990. С. 284.

Гумеров А. Ф. Выявление региональных особенностей глобальных изменений природной среды на основе данных дистанционного зондирования Земли // Геосфера. Современные проблемы естественных наук: Сб. статей, посвященных профессиональному празднику факультета наук о Земле и туризма. Уфа: БашГУ, 2022. Т. 1, вып. 15. Ч. 1. С. 198–208.

Иванов С. В., Сидоренков В. М., Ачиколова Ю. С., Астапов Д. О., Тищенко П. А., Буряк Л. В., Рыбкин А. С. Возможности использования данных группировки спутников ДЗЗ стран БРИКС для решения тематических задач получения информации о лесных экосистемах // Геоинформационные технологии. Лесохозяйственная информация. 2024. № 4. С. 42–55. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2024.4.05

Курбанов Э. А., Нуриева Т. В., Воробьев О. Н., Губаев А. В., Лежнин С. А., Ми��тахов Т. Ф., Незамаев С. А., Полевщикова Ю. А. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Мариинском Заволжье // Вестник МарГТУ. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 17–24.

Курбанов Э. А., Воробьев О. Н. Дистанционные методы в лесном хозяйстве: учеб. пособие. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2020. 268 с.

Коберниченко В. Г., Иванов О. Ю., Зраенко С. М., Сосновский А. В., Тренихин В. А. Обработка данных дистанционного зондирования Земли: практические аспекты: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 168 с.

Малышева Н. В. Автоматизированное дешифрование аэрокосмических изображений лесных насаждений: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2012. 154 с.

Рахимов Г. Б., Жанибек А. Ж., Игемберлина М. Б., Батыршаева Ж. М. Мониторинг изменения площади озера Балхаш с помощью геопространственной платформы Google Earth Engine // Горный журнал Казахстана. 2025. № 4. С. 25–30. doi: 10.48498/minmag.2025.240.4.008

Сидоренков В. М., Астапов Л. О., Перфильева О. В., Рябцев О. В., Рыбкин А. С. Определение таксационных показателей чистых насаждений сосны по данным спутника «Канопус-В» // Ракетно-космическое приборостроение и информационные

системы. 2022. Т. 9, № 2. С. 36–43. doi: 10.30894/issn2409-0239.2022.9.2.36.43

Тутубалина О. В., Голубева Е. И., Зимин М. В., Кравцова В. И., Михайлов Н. В., Железный О. М. Картографирование состояния растительного покрова в окрестностях г. Норильска с помощью Google Earth Engine // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Материалы 18-й Всерос. открытой конф. (Москва, 16–20 нояб. 2020 г.). М., 2020. С. 373.

Янец П. К., Иванова С. А., Данилов Ю. Г. Использование Google Earth Engine (GEE) и спутниковых снимков Landsat для определения характеристик лесных пожаров // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Сер. Науки о Земле. 2022. № 2(26). С. 22–31. doi: 10.25587/SVFU.2022.26.2.003

Alcaras E., Costantino D., Guastaferro F., Parente C., Pepe M. Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): a new index for Sentinel-2 Imagery // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. Art. 1727.

Aldiansyah S., Mandini Mannesa M. D. M., Supriatna S. Monitoring of vegetation cover changes with geomorphological forms using Google Earth Engine in Kendari City // Jurnal Geografi Gea. 2021. Vol. 21, no. 2. P. 159–170. doi: 10.17509/gea.v21i2.37070

Chaudhary R. K., Puri L., Acharya A. K., Aryal R. Wetland mapping and monitoring with Sentinel-1 and Sentinel-2 data on the Google Earth Engine // Journal of Forest and Natural Resource Management. 2023. Vol. 3, no. 1. P. 21. doi: 10.3126/jfnrm.v3i1.60107

Codjoe K. A., Acheampon A. A. Spatio-temporal analysis in forest cover using Google Earth Engine in Ashanti Region, Ghana // American Journal of Geographic Information System. 2022. Vol. 11, no. 2. P. 41–50. doi: 10.5923/j.ajgis.20221102.02

Daldegan G. A., Roberts D. A., Ribeiro F. Spectral mixture analysis in Google Earth Engine to model and delineate fire scars over a large extent and a long time-series in a rainforest-savanna transition zone // Remote Sens. Environ. 2019. Vol. 232. Art. 111340. doi: 10.1016/j.rse.2019.111340

Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sens. Environ. 2017. Vol. 202. P. 18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031

Güzel A., Biçaklı K., Biçaklı F., Kaplan G. Monitoring the regeneration process of areas destroyed by forest fires aided by Google Earth Engine // Kastamonu University Journal of Forestry Faculty. 2021. Vol. 21, no. 2. P. 122–130. doi: 10.17475/kastorman.1000369

Key C., Benson N. Landscape assessment: ground measure of severity, the Composite Burn Index; and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio // FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System / Eds. D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti, C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, L. J. Gangi. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Gen. Tech. Rep., 2006. RMRS-GTR-164-CD: LA 1-51.

Long T., Zhang Z., He G., Jiao W., Tang C., Wu B., Zhang X., Wang G., Yin R. 30 m resolution global annual burned area mapping based on Landsat images and Google Earth Engine // Remote Sensing. 2019. Vol. 11(5). Art. 489. doi: 10.3390/rs11050489

Palsson F., Sveinsson J. R., Benediktsson J. A., Aanaes H. Classification of pansharpened urban satellite images // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2012. Vol. 5. P. 281–297. doi: 10.1109/JSTARS.2011.2176467

Quintero N., Viedma O., Urbeta I. R., Moreno J. M. Assessing landscape fire hazard by multi-temporal automatic classification of Landsat time series using the Google Earth Engine in West-Central Spain // Forests. 2019. Vol. 10(6). Art. 518. doi: 10.3390/f10060518

Safitri D. A., Bioresita R. T., Nugroho R. T., Bespalova L. A., Ramadaningtyas N., Sobarmen F. A. Mapping and monitoring of mangrove area in Surabaya (Indonesia) in the period of 1994–2018 using Landsat satellite data and Google Earth Engine // Science in the South of Russia. 2023. Vol. 19, no. 1. P. 51–58. doi: 10.7868/25000640230106

Venkatappa M., Sasaki N., Anantsuksomsri S., Smith B. Applications of the Google Earth Engine and phenology-based threshold classification method for mapping forest cover and carbon stock changes in Siem Reap Province, Cambodia // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. Art. 3110. doi: 10.3390/rs12183110

References

Alcaras E., Costantino D., Guastaferro F., Parente C., Pepe M. Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): a new index for Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*. 2022;14:1727.

Aldiansyah S., Mandini Mannesa M. D. M., Supriatna S. Monitoring of vegetation cover changes with geomorphological forms using Google Earth Engine in Kendari City. *Jurnal Geografi Gea*. 2021;21(2):159–170. doi: 10.17509/gea.v21i2.37070

Bogdanov A. P., Karpov A. A., Demina N. A., Aleshko R. A. Improving forest monitoring by using cloud technologies as an element of sustainable forest management. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Current problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018;15(1):89–100. (In Russ.). doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-89-100

Chaudhary R. K., Puri L., Acharya A. K., Aryal R. Wetland mapping and monitoring with Sentinel-1 and Sentinel-2 data on the Google Earth Engine. *Journal of Forest and Natural Resource Management*. 2023;3(1):21. doi: 10.3126/jfnrm.v3i1.60107

Codjoe K. A., Acheampon A. A. Spatio-temporal analysis in forest cover using Google Earth Engine in Ashanti Region, Ghana. *American Journal of Geographic Information System*. 2022;11(2):41–50. doi: 10.5923/j.ajgis.20221102.02

Daldegan G. A., Roberts D. A., Ribeiro F. Spectral mixture analysis in Google Earth Engine to model

and delineate fire scars over a large extent and a long time-series in a rainforest-savanna transition zone. *Remote Sens. Environ.* 2019;232:111340. doi: 10.1016/j.rse.2019.111340

Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 2017;202:18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031

Gumerov A. F. Identifying regional peculiarities of global environmental changes using Earth remote sensing data. *Geosfera. Sovremennye problemy estestvennykh nauk: Sb. statei, posvyashchennykh professional'nym prazdnikam fakul'teta nauk o Zemle i turizma = Geosphere. Current problems of natural sciences: Proceedings dedicated to professional holidays of the Faculty of Earth Sciences and Tourism.* Vol. 1, iss. 15. Part 1. Ufa: BashGU; 2022. P. 198–208. (In Russ.)

Güzel A., Biçaklı K., Biçaklı F., Kaplan G. Monitoring the regeneration process of areas destroyed by forest fires aided by Google Earth Engine. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty.* 2021;21(2):122–130. doi: 10.17475/kastorman.1000369

Ivanov S. V., Sidorenkov V. M., Achikolova Yu. S., Astapov D. O., Tishchenko P. A., Buryak L. V., Rybkin A. S. Possibilities of using remote sensing satellite data from the BRICS countries for obtaining forest ecosystems information. *Geoinformatsionnye tekhnologii. Lesokhozyaistvennaya informatsiya = Geo-information Technologies. Forestry Information.* 2024;4:42–55. (In Russ.). doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2024.4.05

Key C., Benson N. Landscape assessment: ground measure of severity, the Composite Burn Index; and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System.* Ogden: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Gen. Tech. Rep.; 2006. RMRS-GTR-164-CD: LA 1–51.

Kobernichenko V. G., Ivanov O. Yu., Zraenko S. M., Sosnovskii A. V., Trenikhin V. A. Processing of Earth remote sensing data: practical aspects: a study guide. Ekaterinburg: UrFU; 2013. 168 p.

Kurbanov E. A., Nureeva T. V., Vorob'ev O. N., Gubaev A. V., Lezhnin S. A., Miftakhov T. F., Nezamayev S. A., Polevshchikova Yu. A. Remote monitoring of forest cover disturbances, reforestation and forest restoration processes in Mari Trans-Volga region. *Vestnik MarGTU. Ser. Les. ekologiya. Prirodopol'zovanie = Bulletin of MarSTU. Series: Forest Ecology. Nature Management.* 2011;3:17–24. (In Russ.)

Kurbanov E. A., Vorob'ev O. N. Remote sensing techniques in forestry: a study guide. Joshkar-Ola: PGTU; 2020. 268 p.

Long T., Zhang Z., He G., Jiao W., Tang C., Wu B., Zhang X., Wang G., Yin R. 30 m resolution global annual burned area mapping based on Landsat images and Google Earth Engine. *Remote Sensing.* 2019;11(5):489. doi: 10.3390/rs11050489

Malysheva N. V. Automated interpretation of forest cover space images: a study guide. Moscow: MGUL; 2012. 154 p. (In Russ.)

Palsson F., Sveinsson J. R., Benediktsson J. A., Aanaes H. Classification of pansharpened urban satellite images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.* 2012;5:281–297. doi: 10.1109/JSTARS.2011.2176467

Quintero N., Viedma O., Urbeta I. R., Moreno J. M. Assessing landscape fire hazard by multitemporal automatic classification of Landsat time series using the Google Earth Engine in West-Central Spain. *Forests.* 2019;10(6):518. doi: 10.3390/f10060518

Rakhimov G. B., Janibek A. J., Igemberlina M. B., Batyrshaeva J. M. Monitoring of Lake Balkhash area using Google Earth Engine. *Gornyi zhurnal Kazakhstana = Mining Journal of Kazakhstan.* 2025;4: 25–30. (In Russ.). doi: 10.48498/minmag.2025.240.4.008

Safitri D. A., Bioresita R. T., Nugroho R. T., Bespalova L. A., Ramadaningtyas N., Sobarman F. A. Mapping and monitoring of mangrove area in Surabaya (Indonesia) in the period of 1994–2018 using Landsat satellite data and Google Earth Engine. *Science in the South of Russia.* 2023;19(1):51–58. doi: 10.7868/25000640230106

Sidorenkov V. M., Astapov L. O., Perfil'eva O. V., Ryabtsev O. V., Rybkin A. S. Determination of taxation indicators of pure pine plantations according to the data of the Kanopus-V satellite. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy = Rocket and space instrumentation and information systems.* 2022;9(2):36–43. (In Russ.). doi: 10.30894/issn2409-0239.2022.9.2.36.43

Tutubalina O. V., Golubeva E. I., Zimin M. V., Kravtsova V. I., Mikhailov N. V., Zheleznyi O. M. Digital mapping of vegetation cover in the vicinities of Norilsk with Google Earth Engine. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa: Materialy 18-i Vseros. otkr. konf. (Moskva, 16–20 noyab. 2020 g.) = Current problems of remote sensing of the Earth from space: Proceedings of the 18th All-Russ. open conf. (Moscow, Nov. 16–20, 2020).* Moscow; 2020. 373 p. (In Russ.)

Venkatappa M., Sasaki N., Anantsuksomsri S., Smith B. Applications of the Google Earth Engine and phenology-based threshold classification method for mapping forest cover and carbon stock changes in Siem Reap Province, Cambodia. *Remote Sensing.* 2020;12:3110. doi: 10.3390/rs12183110

Volkov A. D., Gromtsev A. N., Erukov G. V., Karavaev V. N., Kolomytsev V. A., Kurkinen Yu. P., Lak G. Ts., Pyzhin A. F., Sazonov S. V., Shelekhov A. M. Ecosystems of western taiga landscapes (structure and dynamics). *Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU = Proceedings of the Forest Engineering Faculty of PetrSU.* Petrozavodsk: Karelia; 1990. 284 p. (In Russ.)

Yanets P. K., Ivanova S. A., Danilov Yu. G. Using Google Earth Engine (GEE) and Landsat satellite images to detect forest fires. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. Ser. Nauki o Zemle = Vestnik of North-Eastern Federal University. Series of Earth Science.* 2022;2(26):22–31. (In Russ.). doi: 10.25587/SVFU.2022.26.2.003

*Поступила в редакцию / received: 20.06.2025; принята к публикации / accepted: 01.09.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Петров Николай Владимирович

канд. с.-х. наук, научный сотрудник

e-mail: nvpetrov@krc.karelia.ru

Раевский Борис Владимирович

д-р с.-х. наук, заведующий лабораторией лесных
биотехнологий

e-mail: borisraevsky@gmail.com

Тарасенко Виктор Владимирович

научный сотрудник

e-mail: victor.tarasenko.2208@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Petrov, Nikolai

Cand. Sci. (Agr.), Researcher

Raevsky, Boris

Dr. Sci. (Agr.), Head of Laboratory

Tarasenko, Victor

Researcher

УДК 630*232.1:582.475 (470.22)

СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ

Б. В. Раевский

*Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)*

В испытательных культурах 12-летнего возраста исследованы показатели сохранности, роста и развития 72 семенных потомств от свободного опыления клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих на лесосеменной плантации I порядка. Показано, что изученный период роста характеризовался незначительным снижением показателя сохранности – на 5,6 %. После 12 вегетационных сезонов испытательные культуры в целом имели высокий уровень сохранности (84,5 %), что свидетельствует об их успешном росте. Вся совокупность вариантов полусибсов имела равную сохранность с контролем. Проведенные исследования показали, что в первое десятилетие роста испытательных культур наблюдается не только некоторое снижение их сохранности, но и сокращение числа потомств, статистически достоверно превосходящих контроль. Уменьшается относительная разница по высоте этих вариантов с контролем. На фоне указанных трендов отмечена статистически значимая корреляция между высотами материнских клонов и их семенного потомства от свободного опыления, а также положительная динамика данного параметра за весь период исследований (от $r = 0,28$ в 2014 г. до $r = 0,34$ в 2024 г.). В период с 2018 по 2024 г. в культурах произошла существенная переранжировка вариантов по успешности роста. К настоящему моменту только пять (6,9 %) полусибсовых потомств сохранили статистическое преимущество перед контролем по диаметру ствола на высоте груди (13,3 %) и по высоте ствола (7,0 %). Сделано заключение, что неразвитость сети испытательных культур в системе единого генетико-селекционного комплекса РФ в ближайшей перспективе будет выступать серьезным ограничителем дальнейшего развития системы плюсовой селекции. В частности, это касается перспектив создания лесосеменных плантаций повышенной генетической ценности.

Ключевые слова: сосна обыкновенная; испытательные культуры; клоны; плюсовые деревья; селекционно-генетическая оценка; полусибсовые потомства

Для цитирования: Раевский Б. В. Селекционно-генетическая оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной в испытательных культурах // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 86–98. doi: 10.17076/eco2075

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН, рег. № 1210615000820-2).

B. V. Raevsky. GENETIC-SELECTION ASSESSMENT OF SCOTS PINE PLUS TREES IN A PROGENY TRIAL

Forest Research Institute, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

The growth and survival of 72 half-sib families of Scots pine plus trees (*Pinus sylvestris* L.) were studied in a progeny trial at the Man'ga site. It was found that within the first decade after planting, the survival rate of the progeny declined slightly, totally by 5.6 %. After 12 growing seasons, the total survival rate of all trial variants was equal to 84.5 %, indicating good wellbeing of the progeny. The overall survival rate of the half-sib variants was equal to the survival rate of the control. It was revealed that in the course of the past 12-year period not only the survival rate but also the share of progenies which were statistically superior to the control decreased gradually, along with their height difference from the control. At the same time, there was statistically valid moderate correlation between the heights of parental clones and their half-sib progenies, which showed a positive trend (from $r = 0.28$ in 2014 to $r = 0.34$ in 2024) during the study period. In the period from 2018 to 2024, the variants underwent a substantial rearrangement in terms of growth success. To date, only 5 half-sib families (6.9 %) are still superior to the control in diameter at breast height (by 13.3 %) and in stem height (by 7.0 %). It is stated that the lack of progeny test sites in the Russian forest tree breeding system will seriously hinder plus tree breeding in the country in the near future. This is especially true for the prospects of seed orchards of supreme breeding value.

Keywords: Scots pine; progeny trial; clones; plus trees; genetic-selection assessment; half-sib families

For citation: Raevsky B. V. Genetic-selection assessment of Scots pine plus trees in a progeny trial. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 86–98. doi: 10.17076/eco2075

Funding. The study was funded from the federal budget under state assignment to KarRC RAS (Forest Research Institute KarRC RAS, ID 1210615000820-2).

Введение

Важнейшим этапом I (базового) селекционного цикла в системе рекуррентной плюсовой селекции является комплексная селекционно-генетическая оценка отобранных (*in situ*) по фенотипу плюсовых деревьев (ПД) путем испытания их вегетативного (клонового) и семенного потомства в специальных тестовых посадках (*ex situ*). Роль таких посадок для вегетативных потомств обычно выполняют лесосеменные плантации (ЛСП) I порядка и архивы клонов, а семенные потомства испытываются в испытательных культурах (ИК). Селекционно-генетическая оценка (СГО) семенных потомств (семей) ПД сосны в испытательных культурах требует времени. В первую очередь это связано с тем, что согласно существующим на сегодняшний день нормативным требованиям [Указания..., 2000] для создания ЛСП повышенной генетической ценности (I.5 порядка) необходимы результаты предварительной генетической оценки, полученные в испытательных культурах по достижении потомствами II класса возраста. Таким образом, для хвойных пород требуемый период не может быть короче 21 года. Однако в настоящее время накопилось уже немало эксперимен-

тальных данных, указывающих на то, что надежные предварительные оценки успешности роста и развития семей сосны обыкновенной могут быть даны гораздо раньше, примерно в возрасте 7–10 лет [Squillace, Gansel, 1974; Lindgren, 1984; Маслаков, 1984; Рогозин, 1990; Danell, 1993; Нааранен, 2002; Федорков, Туркин, 2005].

Испытательные культуры представляют собой самый неразвитый компонент единого селекционно-генетического комплекса (ЕГСК) РФ. Данные, полученные при их изучении, носят достаточно противоречивый характер [Ефимов, 1981, 2010; Багаев, 1983; Федорков, 1999; Туркин, 2007; Демиденко, Тараканов, 2008; Царев, Лаур, 2009]. В большинстве публикаций речь идет о сравнительной оценке роста семенных потомств от свободного опыления клонов ПД, представленных на ЛСП I порядка. Обобщая их выводы, можно заключить, что доля потомств, достоверно превышающих контроль, в возрастном промежутке от 6 до 30 лет может составить по высоте 20–22 %, а по диаметру – до 10 %. При этом необходимо учитывать, что в первые 10–15 лет роста культур основным непосредственно измеряемым и оцениваемым показателем является высота растений. В дальнейшем эта роль переходит

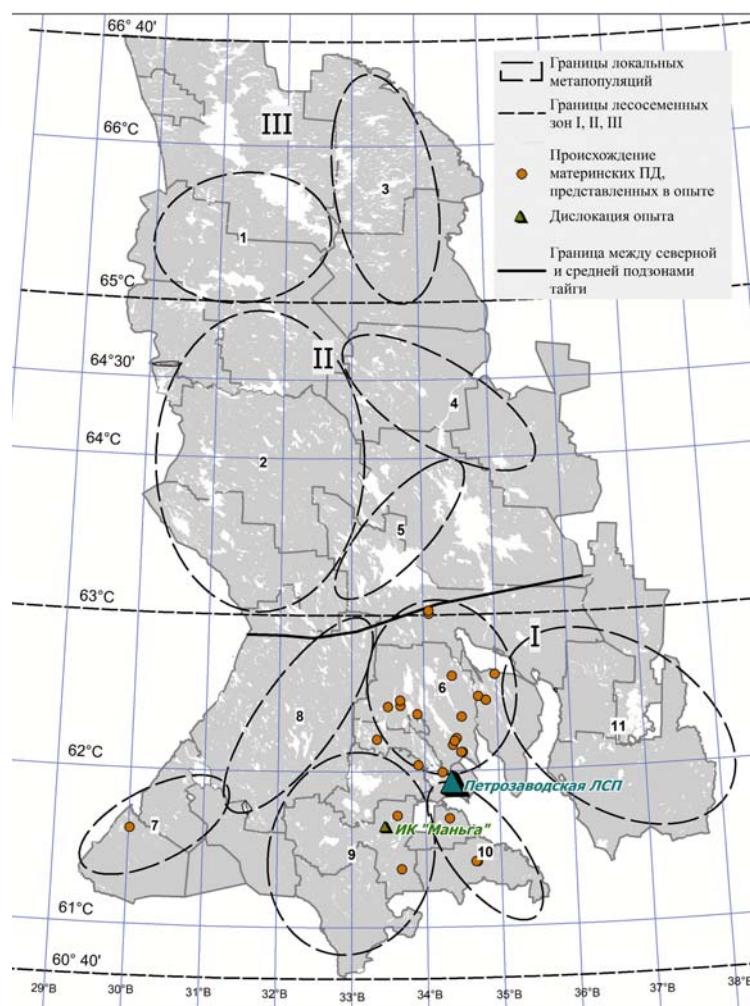
к диаметру на высоте груди. Для такого рода объектов показатель общей комбинационной способности (ОКС) лучших вариантов обычно оценивается на уровне 5–15 %, максимально до 19–22 %. Как правило, определяются невысокие (0,1...0,3) величины коэффициента наследуемости в узком смысле (η^2), отражающего долю аддитивных эффектов [Молотков, Паттай, 1990]. Имеющаяся информация дает повод некоторым исследователям делать выводы о нулевом и даже отрицательном эффекте плюсовой селекции [Авров, 2001; Рогозин, 2015].

В Карелии на сегодняшний день создано всего 16,1 га испытательных культур сосны обыкновенной, где представлено 228 семей от свободного опыления [Лесной..., 2018]. В настоящей статье рассматриваются результаты многолетних исследований сохранности хода роста семей от свободного опыления на участке

испытательных культур сосны обыкновенной, созданном весной 2012 г. в окрестностях деревни Маньга, расположенной в Пряжинском районе Республики Карелия.

Методика и объекты исследования

В 2007–2011 гг. на Петрозаводской ЛСП была проведена комплексная селекционно-генетическая оценка 72 клоновых потомств сосны обыкновенной. Отобранные для наблюдений клоны сосны обыкновенной (по пять нормально развитых рамет на каждый клон) произрастили в пределах одного поля плантации, заложенного в 1982–1984 гг. Их материнские деревья (*in situ*) дислоцированы в подзоне средней тайги, Южнокарельская лесосеменная зона I, локальные метапопуляции №№ 6, 7, 9, 10 [Раевский, 2015], где расположена и сама плантация (рис.).



Дислокация материнских плюсовых деревьев, семенные потомства которых представлены в ИК «Маньга»

Location of parental plus trees which half-sib progenies are tested in the Manga progeny trial

Весной 2011 г. образцы семян с исследуемыми клонами были высажены в теплице питомника «Вилга». Тепличные сеянцы с закрытой корневой системой (ЗКС) выращивались по стандартной технологии в течение одного вегетационного сезона в 5-кратной повторности. Во второй половине мая 2012 г. потомства всех клонов высажены на лесокультурную площадь (4 га). Испытательные культуры были созданы на территории бывшего лесопитомника в окрестности д. Маньга Пряжинского района Республики Карелия. Далее по тексту объект именуется как испытательные культуры (ИК) «Маньга». Обработка почвы осуществлялась способом сплошной вспашки с оборотом пласта. Посадка однолетних тепличных сеянцев с ЗКС производилась вручную, с использованием финской посадочной трубы «Pottiputki». Варианты были размещены на трех полях целыми рядами и как фрагменты рядов, с соблюдением принципа полной рандомизации. В одной повторности высаживалось не менее 25 растений. В 9-кратной повторности был представлен контроль – сеянцы, выращенные из общего образца семян Петрозаводской ЛСП.

В 2013, 2014, 2016, 2018 гг. в культурах проводились сплошные учеты, с тем чтобы оценить следующие параметры:

- приживаемость и сохранность, как долю (%) живых растений по отношению к общему числу высаженных;
- повреждаемость, как долю (%) поврежденных тем или иным фактором растений по отношению к общему числу живых особей;
- общую высоту растений и прирост в высоту (см) за последний вегетационный сезон.

Результаты исследований обобщены в публикации [Раевский и др., 2020]. Осенью 2024 г. выполнено очередное сплошное обследование ИК. Сохранность и повреждаемость культур определялись так же, как и в предшествующих исследованиях. В отличие от предыдущих учетов в 2024 г. в качестве основного измеряемого параметра выступал диаметр ствола на высоте груди (ДВГ), измерявшийся мерной вилкой «Haglof» с точностью до 1 мм. Высота ствола определялась расчетным путем на основании регрессионного уравнения, интерполирующего данные общего графика высот, построенного на основании замеров высоты у 100 деревьев с известным диаметром ствола. Измерение высоты модельных деревьев осуществлялось с использованием мерного шеста «Nestle» с точностью до 1 см. Результаты замеров обрабатывались с использованием общепринятых статистических методик [Ивантер, Коросов, 2003].

Результаты и обсуждение

По результатам комплексной СГО 72 плюсовых деревьев на Петрозаводской ЛСП (2007–2011 гг.) и в ИК «Маньга» (2014–2018 гг.) было отобрано 10 лучших генотипов по совокупности показателей роста в высоту, обилию семеношения и скорости роста семенного потомства от свободного опыления [Раевский и др., 2020]. Таким образом, доля ПД (клонов) сосны – кандидатов в элиту составила 13,9 % от числа всех исследованных ПД.

Расчет и сравнение показателей сохранности, как, впрочем, и показателей роста, осуществлялись в целом по всему объекту, далее – по совокупности всех семей от свободного опыления (полусибсовых потомств) в сравнении с контролем, а затем – на индивидуальном уровне, то есть в разрезе сравнения отдельных семей (вариантов) с контролем. Контролем являлся вариант, сеянцы которого выращены из общего образца семян, собранного в тот же год на Петрозаводской ЛСП. Таким образом, при анализе данных следует учитывать, что и контроль, и все остальные варианты (полусибсовые семьи) выращены из семян с ЛСП I порядка, поэтому относятся к селекционной категории «улучшенные». По результатам учета 2024 г. средняя сохранность по всему объекту составила 84,3 %, в т. ч. полусибы – 84,2 %, контроль – 85,2 %. Следует заключить, что в целом ИК «Маньга» характеризуются высоким уровнем сохранности, что, безусловно, свидетельствует об успешности их роста и развития за весь период жизни с момента посадки культур.

В таблице 1 дано распределение испытываемых семей и их численности (доли) по уровням сохранности. Сохранность отдельного варианта считалась средней, если она была близка к средней сохранности культур, определенной на год учета. Как следует из данных табл. 1, за весь период исследований в культурах наблюдался умеренный отпад, выраженный в общем снижении показателя сохранности, сопровождавшийся соответствующим уменьшением доли вариантов с его высоким значением. За весь 10-летний период учетов (2014–2024 гг.) общая средняя сохранность культур снизилась всего на 5,6 %. На момент последнего обследования 80 % семей клонов – кандидатов в элиту характеризовались средней величиной сохранности.

Как отмечено выше, с 2024 г. главным непосредственно измеряемым показателем в испытательных культурах стал диаметр на высоте

Таблица 1. Показатели сохранности вариантов в испытательных культурах сосны

Table 1. Survival rate of half-sib progenies in the Manga progeny trial

Год Year	Сохранность, % Survival rate, %		
	пониженная lowered (60,1–75,0)	средняя middle (75,1–90,0)	высокая high (90,1–100)
2014 г. Средняя общая сохранность / Average survival – 89,8 %	577	Контроль, 6, 32, 62, 109, 156, 361, 396, 448, 459, 504, 508, 512, 515, 516 , 573, 651, 688, 809, 835 , 841, 849, 850, 856 , 861, 864 , 871, 900, 1026	12, 36, 37, 40, 50, 59, 60 , 63, 104, 107 , 110, 114 , 157, 158, 432, 437, 451, 505, 510, 513, 522, 528, 578, 644, 645, 654, 656, 657, 687, 752, 780, 795, 804, 815, 829 , 853, 855, 865, 875, 876 , 956, 962 , 1038
Среднее Average, %	73,3	85,8	94,0
Доля вариантов Proportion, %	1,4	39,7	58,9
2016 г. Средняя общая сохранность / Average survival – 88,0 %	448, 577, 850	Контроль, 6, 32, 59, 62, 109, 156, 157, 158, 361, 396, 432, 437, 459, 504, 508, 512, 515, 516 , 528, 573, 644, 645, 651, 688, 780, 809, 841, 849, 853, 856 , 835 , 861, 864 , 871, 875, 900, 962 , 1026	12, 36, 37, 40, 50, 60 , 63, 104, 107 , 110, 114 , 451, 505, 510, 513, 522, 578, 654, 656, 657, 687, 752, 795, 804, 815, 829 , 855, 865, 876 , 956, 1038
Среднее Average, %	72,7	84,7	93,5
Доля вариантов Proportion, %	4,1	53,4	42,5
2018 г. Средняя общая сохранность / Average survival – 85,8 %	32, 448, 577, 850	Контроль, 6, 50, 59, 62, 109, 114 , 156, 157, 158, 361, 396, 432, 437, 459, 504, 508, 510, 512, 513, 515, 516 , 528, 573, 644, 645, 651, 654, 657, 687, 688, 780, 809, 815, 835 , 841, 849, 853, 856 , 861, 864 , 871, 875, 900, 962 , 1026, 1038	12, 36, 37, 40, 60 , 63, 104, 107 , 110, 451, 505, 522, 578, 656, 752, 795, 804, 829 , 855, 865, 876 , 956
Среднее Average, %	72,5	84,6	92,8
Доля вариантов Proportion, %	5,5	64,4	30,1
2024 г. Средняя общая сохранность / Average survival – 84,2 %	32, 62, 361, 448, 515, 577, 850, 864	Контроль, 6, 12, 36, 50, 59, 60 , 104, 107 , 109, 110, 114 , 156, 157, 158, 396, 432, 437, 459, 504, 508, 510, 512, 513, 516 , 528, 573, 644, 645, 651, 654, 657, 687, 688, 752, 780, 804, 809, 815, 829 , 835 , 841, 849, 853, 856 , 861, 871, 900, 962 , 1026, 1038	37, 40, 63, 451, 505, 522, 578, 656, 795, 855, 865, 875, 876 , 956
Среднее Average, %	72,5	84,5	92,5
Доля вариантов Proportion, %	10,8	68,9	20,3

Примечание. Здесь и в табл. 6 полужирным выделены номера семей клонов – кандидатов в элиту.

Note. Here and in Table 6 ID numbers of clones that are candidates to elite are given in bold.

груди (ДВГ). В таблицах 2 и 3 представлены результаты статистической обработки замеров ДВГ растений и их рассчитанных высот, как в целом по культурам, так и отдельно по категориям – полусибы и контроль. Рассчитывался весь комплекс показателей описательной статистики, в т. ч. оценки асимметрии и эксцесса. Соответствие эмпирического распределения нормальному закону оценивалось по критериям χ^2 и λ . С целью сократить вариабельность

диаметра и высоты из расчета были исключены ослабленные и поврежденные экземпляры и вообще все деревья с ДВГ менее 3,1 см. Таким образом, в состав выборок попали только деревья, отнесенные к категории «здоровые» и начиная со ступени толщины 4 (3,1–4,0 см). Следует подчеркнуть, что в данном случае при вычислениях первичные даты объединялись в единую совокупность и в целом по объекту, и в разрезе таких категорий, как полусибы и контроль.

Анализ данных табл. 2 показывает, что средние диаметры в целом по культурам, а также в разрезе категорий «полусибы» и «контроль» оказались практически равными. У последних распределение дат по ступеням толщины (градация 1 см) существенно отклонялось от теоретических частот нормального распределения. Для них также был характерен положительный эксцесс. Как известно, статистически достоверными асимметрия и эксцесс принимаются при условии, если величина их оценок превышает пороговое значение равное 3 [Ивантер, Коросов, 2003]. Распределение дат категории «контроль» по исследуемому параметру полностью соответствовало закономерностям нормального распределения.

Как следует из данных табл. 3, аналогично параметру ДВГ средние высоты в целом по культурам, а также в разрезе категорий «полусибы» и «контроль» оказались практически равными. Так же, как и в случае с ДВГ, у последних распределение дат по ступеням высоты (градация 0,4 м) существенно отклонялось от теоретических частот нормального распределения. Однако в отличие от диаметра для них были характерны отрицательная правосторонняя асимметрия и отрицательный эксцесс. Распределение дат категории «контроль» по параметру «высота ствола» полностью соответствовало закономерностям нормального распределения.

В терминах биометрии все деревья на исследуемом участке испытательных культур

Таблица 2. Показатели описательной статистики параметра «диаметр на высоте груди» (см) в ИК «Маньга»
Table 2. Descriptive statistics of the diameter at breast height parameter (cm) in the Manga progeny trial

Показатели Parameters	Все варианты All variants	Полусибы Half-sib families	Контроль Control
Число наблюдений (N) Data number	7506	7142	364
Минимальное значение (Min) Minimal data	3,1	3,1	3,1
Максимальное значение (Max) Maximal data	13,3	13,1	13,3
Среднее (\bar{X}) Mean value	7,1	7,1	7,0
Ошибка среднего (m_x) Mean error	0,02	0,02	0,09
Стандартное отклонение (σ) Standard deviation	1,85	1,857	1,656
Коэффициент вариации (CV, %) Variation	25,9	26,0	23,5
Асимметрия (A) Skewness	0,0528	0,049	0,117
Ошибка асимметрии (m_A) Skewness error	0,028	0,029	0,128
Оценка асимметрии ($T_A = A/m_A$) Skewness estimation	1,9	1,7	0,9
Эксцесс (E) Kurtosis	0,436	0,463	0,279
Ошибка эксцесса (m_E) Kurtosis error	0,057	0,058	0,255
Оценка эксцесса ($t_E = E/m_E$) Kurtosis estimation	7,6	8,0	1,1
Критерий χ^2 Chi-square criteria	28,3	28,6	3,2
Число степеней свободы Degrees of freedom	3	3	3
Стандартные значения χ^2 Standard Chi-square values	7,8–11,3–16,3	7,8–11,3–16,3	7,8–11,3–16,3
Критерий λ (Колмогорова – Смирнова) Kolmogorov – Smirnov criteria	1,88	1,86	0,33
Стандартные значения λ Standard λ values		1,36–1,63–1,95	
Точность опыта (P, %) Accuracy assessment	0,28	0,28	1,29

Таблица 3. Показатели описательной статистики параметра «высота ствола» (м) в ИК «Маньга»

Table 3. Descriptive statistics of the stem height parameter (m) in the Manga progeny trial

Показатели Parameters	Все варианты All variants	Полусибы Half-sib families	Контроль Control
Число наблюдений (N) Data number	7506	7142	364
Минимальное значение (Min) Minimal data	2,82	2,82	2,82
Максимальное значение (Max) Maximal data	6,06	6,02	6,06
Среднее (X) Mean value	4,37	4,37	4,34
Ошибка среднего (m_x) Mean error	0,007	0,007	0,03
Стандартное отклонение (σ) Standard deviation	0,63	0,64	0,57
Коэффициент вариации (CV, %) Variation	14,5	14,6	13,2
Асимметрия (A) Skewness	-0,25	-0,252	-0,264
Ошибка асимметрии (m_A) Skewness error	0,028	0,029	0,128
Оценка асимметрии ($T_A = A/m_A$) Skewness estimation	-8,9	-8,7	-2,1
Эксцесс (E) Kurtosis	-0,506	-0,526	-0,038
Ошибка эксцесса (m_E) Kurtosis error	0,057	0,058	0,255
Оценка эксцесса ($t_E = E/m_E$) Kurtosis estimation	-8,9	-9,1	-0,1
Критерий χ^2 Chi-square criteria	191,5	188,6	8,4
Число степеней свободы Degrees of freedom	5	5	5
Стандартные значения χ^2 Standard Chi-square values	11,1–15,1–20,5	11,1–15,1–20,5	11,1–15,1–20,5
Критерий λ (Колмогорова – Смирнова) Kolmogorov – Smirnov criteria	4,2	4,1	0,8
Стандартные значения λ Standard λ values	1,36–1,63–1,95		
Точность опыта (P, %) Accuracy assessment	0,16	0,16	0,69

рассматриваются в качестве генеральной совокупности конечного размера. В процессе исследования все варианты замерялись полностью, то есть культуры обследовались всплошную. Однако в нашем опыте представлена лишь небольшая часть ПД сосны, отобранных в лесосеменной зоне I, и только некоторая часть семенного потомства их клонов. Поэтому теория биометрии позволяет оценивать исследуемую совокупность в качестве выборки большого объема из некоей гипотетической генеральной совокупности и рассчитывать для ее выборочных средних весь набор оценочных статистических показателей. Анализируя данные табл. 2 и 3, следует отметить ряд важных закономерностей. Во-первых, эмпирические

распределения первичных дат общей выборки и полусибсов показали существенное отклонение от нормального закона. Это может свидетельствовать о биологической разнородности материала. При этом выборка «контроль» практически идеально соответствовала теоретическим частотам нормального распределения. Как уже упоминалось, растения для контроля выращивались из смеси семян испытываемых клонов. То есть их происхождение и селекционная категория такие же, как и в случае с полусибсовыми семьями. Поэтому причины наблюдавшихся аномалий в распределении дат категорий «все варианты» и «полусибы» пока обосновать затруднительно. Во-вторых, категории «полусибы» и «контроль»

по ДВГ и высоте ствола статистически существенных различий не имели. Данный факт, исходя из всего вышеизложенного, выглядит вполне объяснимым.

Средние диаметры и высоты, рассчитанные для каждого из испытываемых вариантов, представляют собой ряд частных средних, характеризующих набор выборок меньшего объема, извлеченных из исследуемой нами большой совокупности. В их распределении выявлены следующие особенности. Общий средний диаметр, вычисленный через ряд частных средних, оказался на 0,1 см (1,4 %) больше, чем вычисленный путем прямого деления суммы всех

значений на число наблюдений. В отношении общей средней высоты это превышение составило 2,0 см (0,5 %). Коэффициент варьирования частных средних был в 3,8 раза меньше, чем аналогичный показатель для дат большой выборки. Распределение частных средних соответствовало нормальному закону, хотя для исходной общей совокупности первичных дат это условие не выполнялось (табл. 4 и 5).

С целью оценки статистической достоверности различий испытываемых семей сосны обыкновенной по отношению к контролю (табл. 6) был использован простой критерий достоверности разности выборочных средних Стьюдента (T_{st}).

Таблица 4. Показатели описательной статистики параметра «диаметр на высоте груди» (см) по совокупности частных средних (вариантов) в ИК «Маньга»

Table 4. Descriptive statistics of the diameter at breast height parameter (cm) in the Manga progeny trial calculated for the set of partial means (variants)

Показатели Parameters	Все варианты All variants	Полусибы Half-sib families
Число наблюдений (N) Data number	73	72
Минимальное значение (Min) Minimal data	6,4	6,4
Максимальное значение (Max) Maximal data	8,6	8,6
Среднее (X) Mean value	7,2	7,2
Ошибка среднего (m_x) Mean error	0,06	0,06
Стандартное отклонение (σ) Standard deviation	0,5	0,5
Коэффициент вариации (CV, %) Variation	6,9	6,9
Асимметрия (A) Skewness	0,752	0,735
Ошибка асимметрии (m_A) Skewness error	0,283	0,285
Оценка асимметрии ($T_A = A/m_A$) Skewness estimation	2,7	2,6
Эксцесс (E) Kurtosis	0,17	0,121
Ошибка эксцесса (m_E) Kurtosis error	0,559	0,563
Оценка эксцесса ($t_E = E/m_E$) Kurtosis estimation	0,3	0,2
Критерий χ^2 Chi-square criteria	8,9	9,2
Число степеней свободы Degrees of freedom	3	3
Стандартные значения χ^2 Standard Chi-square values	7,8–11,3–16,3	7,8–11,3–16,3
Критерий λ (Колмогорова – Смирнова) Kolmogorov – Smirnov criteria	0,50	0,55
Стандартные значения λ Standard λ values		1,36–1,63–1,95
Точность опыта (P, %) Accuracy assessment	0,83	0,83

Таблица 5. Показатели описательной статистики параметра «высота ствола» (м) по совокупности частных средних (вариантов) в ИК «Маньга»

Table 5. Descriptive statistics of the stem height parameter (m) in the Manga progeny trial calculated for the set of partial means (variants)

Показатели Parameters	Все варианты All variants	Полусибы Half-sib families
Число наблюдений (N) Data number	73	72
Минимальное значение (Min) Minimal data	4,12	4,11
Максимальное значение (Max) Maximal data	4,85	4,85
Среднее (X) Mean value	4,39	4,39
Ошибка среднего (m_x) Mean error	0,02	0,02
Стандартное отклонение (σ) Standard deviation	0,168	0,169
Коэффициент вариации (CV, %) Variation	3,8	3,8
Асимметрия (A) Skewness	0,669	0,654
Ошибка асимметрии (m_A) Skewness error	0,283	0,285
Оценка асимметрии ($T_A = A/m_A$) Skewness estimation	2,4	2,3
Эксцесс (E) Kurtosis	0,026	-0,021
Ошибка эксцесса (m_E) Kurtosis error	0,559	0,563
Оценка эксцесса ($t_E = E/m_E$) Kurtosis estimation	0,047	-0,037
Критерий χ^2 Chi-square criteria	3,8	3,4
Число степеней свободы Degrees of freedom	2	2
Стандартные значения χ^2 Standard Chi-square values	6,0–9,2–13,7	6,0–9,2–13,8
Критерий λ (Колмогорова – Смирнова) Kolmogorov – Smirnov criteria	0,44	0,4
Стандартные значения λ Standard λ values	1,36–1,63–1,95	
Точность опыта (P, %) Accuracy assessment	0,46	0,46

Для полусибсовых потомств ПД вычислялась общая комбинационная способность как относительное (%) превышение показателя исследуемого признака (диаметра) того или иного потомства над его величиной у контроля. Как следует из данных табл. 6, величина ОКС постепенно уменьшалась в течение всего периода учетов. На текущий момент, несмотря на то что не все полусибы – кандидаты в элиту имеют достоверное преимущество перед контролем, средние ДВГ и высота по всей данной группе статистически достоверно превышают ($T_{st} = 2,7$) соответствующие показатели контроля на 7,7 и 4,1 %. Для пяти семей, сохранивших на момент

последнего исследования статистически достоверное преимущество перед контролем, величины ОКС составили 13,3 и 7,0 % соответственно.

Однофакторный дисперсионный анализ выявил статистически достоверное влияние генетических особенностей материнских ПД (клонов) на различия в росте полусибсовых потомств. Показатель силы влияния исследуемого фактора составил $h^2 = 0,05$ или 5,0 % (критерий Фишера $F_{\text{факт}} = 6,9$ при табличном $F_{st} = 1,3–1,4–1,6$). По результатам последнего предыдущего учета 2018 г. (измеряемый признак – высота ствола) величина данного показателя составила $h^2 = 0,12$ ($F_{\text{факт}} = 13,8$).

Таблица 6. Распределение семей сосны обыкновенной по уровню достоверности различия с контролем в испытательных культурах

Table 6. Distribution of Scots pine families by the levels of statistical confidence in the Manga progeny trial

Год Измеряемый признак Year Measured feature	Достоверность различия (Tst)* Statistical confidence			
	< 2,0	2,0–4,0	4,1–6,0	6,1 и более / 6.1 and more
2014 г. Высота ствола, см Stem height, cm	6, 12, 109, 157, 158, 361, 396, 448, 515, 573, 577, 654, 688, 780, 850, 853, 855, 861, 871, 1026, 1038.	459, 504, 516 , 528, 578, 62, 63, 644, 651, 687, 795, 835 , 841, 849, 875	104, 32, 432, 513, 522, 645, 657, 809, 864	107 , 110, 114 , 156, 36, 37, 40, 437, 451, 50, 505, 508, 510, 512, 59, 60 , 656, 752, 804, 815, 829 , 856 , 865, 876 , 900, 956, 962
Среднее Tst Average	0,5	3,3	5,3	9,0
Доля Proportion, %	29,2	20,8	12,5	37,5
Среднее значение ОКС Average GCA, %	1,7	14,3	23,2	34,4
2016 г. Высота ствола, см Stem height, cm	6, 12, 36, 37, 104, 109, 157, 158, 361, 396, 432, 448, 515, 522, 528, 573, 577, 644, 654, 687, 688, 780, 795, 809, 850, 853, 855, 861, 871, 1026, 1038.	110, 40, 459, 504, 835 , 508, 510, 516 , 578, 62, 63, 651, 657, 841, 849, 856 , 875, 156	32, 512, 513, 59, 645, 864	107 , 114 , 437, 451, 50, 505, 60 , 656, 752, 804, 815, 829 , 865, 876 , 900, 956, 962
Среднее Tst Average	-0,1	3,1	4,7	8,1
Доля Proportion, %	43,1	25,0	8,3	23,6
Среднее значение ОКС Average GCA, %	-0,5	13,5	21,3	32,4
2018 г. Высота ствола, см Stem height, cm	6, 12, 36, 37, 40, 104, 109, 157, 158, 361, 396, 432, 448, 510, 515, 522, 528, 573, 577, 644, 651, 654, 657, 687, 688, 780, 795, 809, 841, 850, 853, 855, 861, 871, 1026, 1038	110, 156, 459, 504, 508, 513, 516 , 578, 59, 62, 63, 645, 849, 835 , 856 , 875	32, 437, 451, 512, 60 , 829 , 864	107 , 114 , 50, 505, 656, 752, 804, 815, 865, 876 , 900, 956, 962
Среднее Average	-0,4	2,7	4,6	7,6
Доля Proportion, %	50	22,2	9,7	18,1
Среднее значение ОКС Average GCA, %	-0,8	9,1	17,6	24,5
2024 г. Диаметр ствола на высоте груди, см Diameter at breast height, cm	6, 12, 36, 37, 40, 59, 60 , 62, 63, 104, 107 , 109, 110, 157, 158, 361, 396, 432, 448, 451, 459, 30 5043 508, 510, 513, 515 , 516 , 522, 528, 573, 577, 578, 644, 651, 654, 657, 687, 688, 752, 780, 795, 809, 841, 850, 853, 856, 861, 864, 871, 875, 1026, 1038	50, 156, 437, 512, 645, 804, 815, 829 , 835 , 849, 900, 962	32, 114 , 505, 656, 865, 876 , 956	
Среднее Tst Average	-0,4	3,1	4,9	
Доля Proportion, %	73,6	16,7	9,7	
Среднее значение ОКС Average GCA, %	-0,9	9,8	15,8	

Примечание. *Стандартные значения критерия Стьюдента $Tst = \{2,0–2,6–3,3\}$. ОКС – общая комбинационная способность.

Note. *Standard values of Student's criteria $Tst = \{2.0–2.6–3.3\}$. GCA – general combining ability.

В предыдущих исследованиях выявлена статистически значимая умеренная корреляция между высотой материнских клонов и их семенного потомства. Так, в 2014 г. коэффициент корреляции r составил 0,28, в 2016 г. – 0,31, а в 2018 г. – 0,33. Результаты расчета коэффициента корреляции по данным 2024 г. представлены в табл. 7.

Таблица 7. Коэффициент корреляции параметров материнских клонов и их полусибсовых потомств в 2024 г.

Table 7. Correlation between parent clones and their half-sib families' parameters in 2024

Материнские клоны Parent clones	Полусибсовые потомства Half-sib families	
	ДВГ, см DBH, см	Высота ствола, м Stem height, m
Высота ствола, м Stem Height, m	0,34**	0,34**
ДВГ, см DBH, см	0,30**	0,29*

Примечание. Пороговые достоверные значения коэффициента корреляции при уровнях значимости * $p = 0,05$; ** $p = 0,01$; *** $p = 0,001$ и $n = 72$: $r = \{0,23\text{--}0,30\text{--}0,38\}$.

Note. Threshold limit values of correlation coefficient at confidence levels * $p = 0.05$; ** $p = 0.01$; *** $p = 0.001$ when $n = 72$: $r = \{0.23\text{--}0.30\text{--}0.38\}$.

Таким образом, на основании 10-летних наблюдений можно заключить, что в первые 12 лет роста культур теснота корреляционной связи между высотой материнского клона и его потомства от свободного опыления была статистически значимой и проявила слабую тенденцию к увеличению. Имеющийся материал позволяет подойти к вопросу оценки наследуемости такого важнейшего показателя, как быстрота роста у сосны обыкновенной. Известно, что коэффициент наследуемости в узком смысле представляет собой отношение аддитивной компоненты генотипической вариансы к общей фенотипической ($\eta^2 = \sigma_A^2 / \sigma_{ph}^2$). Данный показатель может быть рассчитан несколькими способами, в т. ч. как равный удвоенному коэффициенту корреляции по выбранному признаку в системе «родители – потомки» [Котов, Лебедева, 1977]. В соответствии с данным методическим подходом исходная величина (η^2) составила: в 2014 г. – 0,56; 2016 г. – 0,62; 2018 г. – 0,66, а в 2024 г. – 0,68. Небольшой по величине, но устойчивый положительный тренд по данному показателю вполне очевиден.

Заключение

Неразвитость сети испытательных культур в системе единого генетико-селекционного комплекса РФ в ближайшей перспективе будет выступать серьезным ограничителем его дальнейшего развития, в частности, в аспекте создания ЛСП повышенной генетической ценности. Поэтому многолетние наблюдения на каждом из существующих участков ИК имеют исключительную ценность. Особенно важно, когда данные по успешности роста полусибсовых потомств анализируются в комплексе с информацией в отношении клонов, полученной на ЛСП. Обобщая полученную в период с 2014 по 2024 г. информацию по участку ИК «Маньга», следует отметить следующее.

Испытательные культуры в целом характеризуются высоким уровнем сохранности (84,5 %), и это свидетельствует, что они благополучно пережили первое, самое трудное для молодых растений, десятилетие роста. Доля вариантов с минимальной сохранностью 60,1–75,0 % составила всего 10,8 % от общего числа испытываемых. Вся совокупность вариантов полусибсов имела равную сохранность с контролем.

Проведенные исследования показали, что в первое десятилетие роста испытательных культур наблюдается некоторое снижение их сохранности при сокращении числа потомств, статистически достоверно превосходящих контроль. Уменьшается относительная разница по высоте этих вариантов с контролем. На фоне указанных трендов отмечены увеличение с возрастом тесноты статистически значимой корреляции между высотами материнских клонов и их семенного потомства от свободного опыления и, соответственно, рост величины коэффициента наследуемости в узком смысле. Указанные тенденции свидетельствуют, что для реализации генетических особенностей вариантов требуется время.

В период с 2018 по 2024 г. в культурах произошла существенная переранжировка вариантов по успешности роста. К лесокультурному возрасту, равному 12 годам, только пять (6,9 %) полусибсовых потомств имели статистическое преимущество перед контролем по диаметру ствола на высоте груди – 13,3 % и по высоте ствола – 7,0 %. Можно прогнозировать, что, имея диаметр ствола на высоте груди в качестве главного измеряемого признака, данные, которые будут получены при замерах в 16-летнем возрасте (2028 г.), можно будет считать окончательными для этого этапа селекционно-генетической оценки.

Литература

- Авров Ф. Д. Генетическая устойчивость лесов // Лесное хозяйство. 2001. № 3. С. 46–47.
- Багаев С. Н. Способ предварительной оценки плюсовых деревьев по потомству // Лесное хозяйство. 1983. № 2. С. 34–35.
- Демиденко В. П., Тараканов В. В. Сравнительная оценка интенсивности роста 20-летних потомств плюсовых деревьев сосны в Новосибирской области // Лесное хозяйство. 2008. № 5. С. 36–37.
- Ефимов Ю. П. Рост полусибового потомства сосны обыкновенной из семян разных репродукций // Разработка основ систем селекции древесных пород. Ч. I. Рига, 1981. С. 73–77.
- Ефимов Ю. П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной. Воронеж: Истоки, 2010. 252 с.
- Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию. Учебное пособие. Петрозаводск, 2003. 304 с.
- Котов М. М., Лебедева Э. П. Применение биометрических методов в лесной селекции. Горький: ГГУ, 1977. 120 с.
- Лесной план по Республике Карелия / Утв. распоряжением Главы Республики Карелия от 24 декабря 2018 года № 731-р. М., 2018. 161 с.
- Маслаков Е. Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 168 с.
- Молотков П. И., Паттай И. Н. Стратегия селекции и семеноводства сосны обыкновенной // Лесная генетика, селекция и физиология древесных растений: Мат-лы междунар. симпоз. (25–30 сент. 1989 г.) / Ред. С. А. Петров и др. М., 1990. С. 9–16.
- Раевский Б. В. Селекция и семеноводство сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) на северо-западе таежной зоны России: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Петрозаводск, 2015. 43 с.
- Раевский Б. В., Кулинина К. К., Щурова М. Л. Селекционно-генетическая оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 3. С. 45–49. doi: 10.17076/eb1163
- Рогозин М. В. Ступенчатое испытание потомства и модель ускоренного сортовыведения у лесных пород. Пермь: Университет, 1990. 11 с.
- Рогозин М. В. Программа селекции хвойных пород в лесосеменном районе // Сохранение лесных генетических ресурсов Сибири: Матер. 4-го междунар. совещ. Барнаул, 2015. С. 150–151.
- Туркин А. А. Испытание потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной на примере Республики Коми: Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. Сыктывкар, 2007. 20 с.
- Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации / Утв. 11 января 2000 г. Федеральной службой лесного хозяйства России. М., 2000. 197 с.
- Федорков А. Л. Результаты испытания плюсовых деревьев по потомству // Лесное хозяйство. 1999. № 6. С. 28–29.
- Федорков А. Л., Туркин А. А. Возраст оценки потомства в испытательных культурах плюсовых деревьев сосны // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. 2005. № 4. С. 19–20.
- Царев А. П., Лаур Н. В. Селекционно-генетическая оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесной вестник. 2009. № 1(64). С. 103–107.
- Danell O. Tree breeding strategy: are we too concerned conservationists but inefficient breeders? // Progeny Testing and Breeding Strategies. Proceeding of the Nordic Group of Tree Breeding / S. J. Lee (ed.). October 1993, Edinburgh, Forestry Commision. P. 80–94.
- Haapanen M. Evaluation of options for use in efficient genetic field testing of *Pinus sylvestris* (L.) // Finnish Forest Research Institute, Research Papers 826. 2002. 144 p.
- Lindgren D. Prediction and optimization of genetic gain with regard to genotype x environment interactions // Studia Forestalia Suecica. 1984. Vol. 166. P. 15–24.
- Squillace A. E., Gansel Ch. R. Juvenile: Mature correlations in Slash pine // Forest Sci. 1974. Vol. 20, no. 3. P. 225–229.

References

- Avrov F. D. Genetic stability of forests. *Lesnoe khozyaistvo = Forestry Journal*. 2001;3:46–47. (In Russ.)
- Bagaev S. N. A method for preliminary assessment of plus trees by offspring. *Lesnoe khozyaistvo = Forestry Journal*. 1983;2:34–35. (In Russ.)
- Danell O. Tree breeding strategy: are we too concerned conservationists but inefficient breeders? *Progeny Testing and Breeding Strategies. Proceeding of the Nordic Group of Tree Breeding*. October 1993. Edinburgh, Forestry Commision. P. 80–94.
- Demidenko V. P., Tarakanov V. V. Comparative assessment of the growth rate of 20-year-old offspring of plus pine trees in the Novosibirsk Region. *Lesnoe khozyaistvo = Forestry Journal*. 2008;5:36–37. (In Russ.)
- Efimov Yu. P. The growth of half-sibs of Scots pine from seeds of different reproductions. *Razrabotka osnov sistem selektsii drevesnykh porod = Development of the foundations of tree breeding systems*. Part I. Riga; 1981. P. 73–77. (In Russ.)
- Efimov Yu. P. Seed orchards in Scots pine breeding and seed production. Voronezh: Istoki; 2010. 252 p. (In Russ.)
- Fedorkov A. L. Results of plus trees progeny testing. *Lesnoe khozyaistvo = Forestry Journal*. 1999;6:28–29. (In Russ.)
- Fedorkov A. L., Turkin A. A. Time of assessment of Scots pine plus trees progeny in test plantations. *Vestnik Instituta Biologii Komi nauchnogo sentra Uralskogo otsteleniya RAN = Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2005;4:19–20. (In Russ.)
- Forest plan of the Republic of Karelia. Approved by the Order of the Head of the Republic of Karelia dated December 24, 2018 No. 731-p. Moscow; 2018. 161 p. (In Russ.)
- Guidelines for forest tree breeding in the Russian Federation. Approved by the Federal Service for Forestry

of the Russian Federation on January 11, 2000. Moscow; 2000. 197 p. (In Russ.)

Haapanen M. Evaluation of options for use in efficient genetic field testing of *Pinus sylvestris* (L.). Finnish Forest Research Institute, Research Papers 826. 2002. 144 p.

Ivanter E. V., Korosov A. V. Introduction to quantitative biology: a study guide. Petrozavodsk: PetrGU; 2003. 304 p. (In Russ.)

Kotov M. M., Lebedeva E. P. Application of statistical methods in forest tree breeding. Gor'kii: GGU; 1977. 119 p. (In Russ.)

Lindgren D. Prediction and optimization of genetic gain with regard to genotype x environment interactions. *Studia Forestalia Suecica*. 1984;166:15–24.

Maslakov E. L. The growth and development of young pine stands. Moscow: Lesn. prom-t'; 1984. 168 p. (In Russ.)

Molotkov P. I., Patlay I. N. The strategy of selection and seed production of Scots pine. *Lesnaya genetika, selektsiya i fiziologiya drevesnykh rastenii = Forest genetics, selection and physiology of woody plants*. Moscow; 1990. P. 9–16. (In Russ.)

Raevsky B. V. Breeding of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) in the North-West

of Russia: DSc (Dr. of Agr.) thesis. Petrozavodsk; 2015. 43 p. (In Russ.)

Raevsky B. V., Kuklina K. K., Schurova M. L. Genetic and breeding assessment of Scots pine plus trees in Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2020;3:45–49. (In Russ.). doi: 10.17076/eb1163

Rogozin M. V. Step test of offspring and a model of accelerated cultivation in forest species. Perm': University; 1990. 11 p. (In Russ.)

Rogozin M. V. Softwood breeding program in the forest seed area. *Sokhranenie lesnykh geneticheskikh resursov Sibiri: Mater. 4-go mezhdunar. soveshch. = Conservation of Siberian forest genetic resources. Proceedings of the 4th int. conference*. Barnaul; 2015. P. 150–151. (In Russ.)

Squillace A. E., Gansel Ch. R. Juvenile: Mature correlations in Slash pine. *Forest Sci.* 1974;20(3):225–229.

Tsarev A. P., Laur N. V. Genetic and breeding assessment of Scots pine plus trees. *Lesnoi vestnik = Forest Bulletin*. 2009;1(64):103–108. (In Russ.)

Turkin A. A. Testing progeny of plus trees of Scots pine on the example of the Republic of Komi: Summary of PhD (Cand. of Agr.) thesis. Syktyvkar; 2007. 20 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 24.03.2025; принята к публикации / accepted: 18.06.2025.
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Раевский Борис Владимирович

д-р с.-х. наук, заведующий лабораторией лесных биотехнологий

e-mail: borisraevsky@gmail.com

CONTRIBUTOR:

Raevsky, Boris

Dr. Sci. (Agr.), Head of Laboratory

УДК 504.064.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МХОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДСКОГО ОКРУГА ЛОБНЯ

**И. З. Каманина^{1,2*}, С. П. Каплина^{1,2}, А. А. Иванова³,
О. В. Анисимова¹**

¹ Государственный университет «Дубна» (ул. Университетская, 19, Дубна, Московская область, Россия, 141980), *kamanina@uni-dubna.ru

² Объединенный институт ядерных исследований (ул. Жолио-Кюри, 6, Дубна, Московская область, Россия, 141980)

³ Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В. Р. Вильямса (Научный городок, 1, Лобня, Московская область, Россия, 141055)

Проведена оценка качества атмосферного воздуха г. о. Лобня по уровню загрязнения тяжелыми металлами 1 (Cd, Pb, Zn) и 2 (Cu, Ni) классов опасности по данным активного биомониторинга. На территории г. о. Лобня на 36 площадках с учетом функционального зонирования в течение трех месяцев экспонировались специальные проницаемые для воздуха мешочки с образцами мха *Sphagnum girgensohni* Russow, собранного в чистом регионе. Содержание тяжелых металлов определяли методом атомной абсорбции. Для оценки загрязнения атмосферного воздуха рассчитывали относительный коэффициент накопления (OKH) и коэффициент концентрации (Kc). Получены данные по накоплению тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) в экспонированных мхах. Выявлены участки с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха, дана оценка экологического состояния г. о. Лобня по уровню техногенной нагрузки на атмосферный воздух тяжелыми металлами 1 и 2 классов опасности. Наибольшие показатели Kc и OKH металлов характерны для транспортной (Стародмитровское шоссе, перекресток Рогачевского и Краснополянского шоссе, перекресток Рогачевского и Букинского шоссе, Краснополянское шоссе, перекресток Краснополянского и Лобненского шоссе) и промышленной (лифтостроительный завод и предприятие по производству металлоконструкций) зон. Выявлены превышения фоновых содержаний ТМ в селитебной и рекреационной зонах вблизи автомобильных дорог и железнодорожных путей. Показана эффективность использования активного биомониторинга при помощи техники «мох в мешках». Результаты представляют интерес для городской администрации при принятии управлеченческих решений.

Ключевые слова: загрязнение; тяжелые металлы; атмосферный воздух; биомониторинг; мхи; городская среда; Московская область

Для цитирования: Каманина И. З., Каплина С. П., Иванова А. А., Анисимова О. В. Использование мхов для оценки состояния атмосферного воздуха городского округа Лобня // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 99–112. doi: 10.17076/eco2057

I. Z. Kamanina^{1,2*}, S. P. Kaplina^{1,2}, A. A. Ivanova³, O. V. Anisimova¹. USING MOSESSES TO ASSESS THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN THE LOBNYA URBAN DISTRICT

¹Dubna State University (19 Universitetskaya St., 141980 Dubna, Moscow Region, Russia), *kamanina@uni-dubna.ru

²Joint Institute for Nuclear Research (6 Joliot-Curie St., 141980 Dubna, Moscow Region, Russia)

³Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology (1 Scientific campus, 141055 Lobnya, Moscow Region, Russia)

The quality of atmospheric air in the Lobnya Urban District was assessed using active biomonitoring methods based on pollution with heavy metals of the 1st (Cd, Pb, Zn) and 2nd (Cu, Ni) hazard classes. Special air-permeable bags containing *Sphagnum girgensohnii* Russow samples collected from a pristine (background) area were exposed for three months at 36 sites situated in different functional zones of the Lobnya Urban District. The content of heavy metals was determined by atomic absorption spectrometry. To assess atmospheric air pollution, the Relative Accumulation Coefficient (RAC) and Concentration Factor (CF) were calculated. Data on the accumulation of heavy metals (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) in the exposed moss samples were obtained. Areas with different levels of atmospheric air pollution were identified, and the ecological situation in the Lobnya Urban District was assessed based on air-borne load of heavy metals of the 1st and 2nd hazard classes. The highest CF and RAC values for the metals were observed in traffic zones (Starodmitrovskoye Highway, intersection of Rogachevskoye and Krasnopolyanskoе Highways, intersection of Rogachevskoye and Bukinskoye Highways, Krasnopolyanskoе Highway, and intersection of Krasnopolyanskoе and Lobnenskoе Highways) and industrial zones (an elevator manufacturing plant and a metal fabrication facility). Background levels of heavy metals were exceeded in residential and recreational zones near roads and railway lines. The study demonstrated the high performance of the “moss bag” technique of active biomonitoring. The results can help the city administration make informed urban management decisions.

Keywords: pollution; heavy metals; atmospheric air; biomonitoring; mosses; urban environment; Moscow Region

For citation: Kamanina I. Z., Kaplina S. P., Ivanova A. A., Anisimova O. V. Using mosses to assess the state of atmospheric air in the Lobnya Urban District. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 99–112. doi: 10.17076/eco2057

Введение

Качество городской среды во многом определяется состоянием атмосферного воздуха [Битюкова, Шанин, 2018] и зависит от выбросов промышленных предприятий и автотранспорта.

Городской округ Лобня расположен в 15 км к северу от Московской кольцевой автомобильной дороги, является городом-спутником Москвы с населением на 1 января 2023 г. более 89 тысяч человек. Городской округ характеризуется интенсивным строительством транспортной инфраструктуры и жилых комплексов. Дешифрирование снимков 2014, 2016, 2019 и 2022 гг. со спутников Landsat 8-9, проводившееся авторами при помощи программы QGIS с использованием прямых и косвенных дешифровочных признаков, выявило сокращение

площади лесной растительности на 202,1 га (с 449,4 га в 2014 г. до 247,3 га в 2022 г.). Площадь лесной растительности уменьшается в основном в результате жилищного строительства и развития транспортной сети (магистраль «Северный обход Лобни» и др.).

Промышленность г. о. Лобня представлена такими экономически значимыми отраслями, как электротехническая, машиностроительная, производство строительных материалов, текстильная, пищевая. На территории городского округа расположены многочисленные складские организации [Генеральный...]. Наиболее крупными источниками выбросов являются ЗАО «Лобненский завод строительного фарфора» (75,677 т/год, 35 выбрасываемых веществ) и ЗАО «Краснополянский керамический завод» (70,123 т/год, 25 выбрасываемых веществ).

Промышленные предприятия характеризуются низкой степенью обеспечения газопылеочистным оборудованием. Лобня также является узлом пригородных и грузовых перевозок, в том числе грузоперевозок аэропорта Шереметьево. Объем перевозки пассажиров, зафиксированный на станции Лобня, составил более 50 тысяч чел./сутки [Комплексная...]. Лобня окружена автомобильными дорогами с высокой интенсивностью движения: М-11 «Нева», А-104 «Дмитровское шоссе», А-107 «Московское малое кольцо», А-113 «Центральная кольцевая автомобильная дорога». Автодороги общего пользования имеют протяженность 108 км, из них 1/5 часть – это дороги регионального и федерального значения. Через центральную часть города проходит значительный транзитный поток легкового и грузового автотранспорта. Численность автомобильного парка в г. о. Лобня в 2022 г. составила около 45 тыс. единиц. По данным «Первого центра образовательных услуг» [Комплексная...], интенсивность транспортных потоков в ключевых узлах – более 2000 транспортных средств в час. Ширина зон загазованности вдоль наиболее нагруженных улиц составляет от 40 до 80 м. В 13 км от Лобни расположен Международный аэропорт Шереметьево (МАШ). По экологическим отчетам МАШ, за 2018–2020 гг. уровень загрязнения не превышал нормативных выбросов, кроме того, наблюдается положительная динамика сокращения объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Экологический..., 2020]. В восточной части городского округа расположен памятник природы федерального значения площадью 25,4 га для сохранения природных комплексов оз. Киово и его котловины, а также уникальной колонии озерных чаек, гнездящихся на сплавинах водоема. Вокруг памятника природы образована трехсотметровая охранная зона.

В настоящее время количество контролируемых показателей в атмосферном воздухе населенных пунктов ограничено. Станции мониторинга качества атмосферного воздуха определяют в основном концентрации оксида углерода, диоксида серы, оксида и диоксида азота, взвешенных веществ, формальдегида, фенола и т. д. [Винокуров, 2014; Битюкова, Шанин, 2018]. Мониторинг содержания тяжелых металлов (ТМ) на подавляющем большинстве станций не проводится, а вместе с тем их поступление в окружающую среду в результате техногенной нагрузки постоянно увеличивается. Согласно данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году»,

динамика выбросов ТМ в целом по стране имеет положительную тенденцию по сравнению с 2012 г. Сократились объемы выбросов ванадия, кадмия, меди, никеля, ртути, свинца и мышьяка [Государственный..., 2022].

На территории г. о. Лобня контроль состояния атмосферного воздуха стационарными постами не ведется. Ближайшие стационарные посты Росгидромета, осуществляющие такой контроль, расположены в г. Мытищи на расстоянии 19,71 км. На территории Московской области контроль выбросов ТМ в атмосферный воздух не проводится [Информационный..., 2023].

Цель настоящего исследования – оценка состояния атмосферного воздуха г. о. Лобня по содержанию металлов 1–3 классов опасности [СанПиН 1.2.3685-21] по данным биомониторинга с использованием мхов.

Материалы и методы

Преимуществом использования мхов для анализа атмосферных выпадений является выраженное атмосферное питание. Накопление химических элементов во мхах количественно отражает интенсивность аэробиогенного потока [Швецова и др., 2020; Алексеенок и др., 2021; Каманина и др., 2021, 2023]. В рамках программы ООН «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе – оценки на основе анализа мхов-биомониторов» в течение 40 лет ведется изучение атмосферных выпадений ТМ, среди которых свинец и кадмий рассматриваются как приоритетные загрязнители атмосферного воздуха [Фронтасьева, 2023]. В системе геоботанического районирования Московской области окрестности г. о. Лобня относятся к району хвойных субнemоральных лесов, на территории которых моховой покров имеет пятнистый характер. В условиях города трудно найти мх, растущий в естественных условиях. В связи с этим на территории г. о. Лобня использовали метод активного биомониторинга при помощи техники «мох в мешках», которую широко используют для изучения загрязнения атмосферного воздуха на урбанизированных территориях во многих странах [Fernández, Carballera, 2000; Ozaki et al., 2004; Culicov, Dimitrova Yurukova, 2006; Calabrese et al., 2015; Hu et al., 2018; Anićić Urošević et al., 2023]. Данный метод использовался для мониторинга атмосферного воздуха рекреационных зон Москвы и показал хорошие результаты [Швецова и др., 2019, 2020]. Принцип метода заключается в сборе мха в относительно чистом регионе и

экспонировании его на исследуемой территории в специальных проницаемых для воздуха мешочках.

На территории г. о. Лобня по равномерно случайно-упорядоченной сетке с охватом всех функциональных зон города были выделены 36 квадратов со сторонами 1 км (рис. 1). В выделенных квадратах закладывались площадки опробования (экспонирования мха) с учетом функционального зонирования города: в транспортной зоне $n = 7$ (№№ 6, 10, 13, 20, 28, 31, 37), промышленной $n = 10$ (№№ 8, 15–17, 21, 25–27, 36, 40), селитебной $n = 12$ (№№ 3, 4, 11, 14, 19, 23, 24, 30, 34, 38, 39, 41) и рекреационной $n = 7$ (№№ 9, 18, 22, 29, 32, 33, 35). В качестве фоновой площадки на территории Лобни выбран район, расположенныйный на севере городского

округа, испытывающий незначительное антропогенное влияние (микрорайон Луговая, поля лаборатории луговедения и луговодства ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»).

Для экспонирования был выбран мох *Sphagnum girgensohnii* Russow, так как проводившиеся ранее исследования показали целесообразность использования для техники «мох в мешках» мхов рода *Sphagnum* [Calabrese et al., 2015; Швецова и др., 2019; Фронтасьева, 2023]. Эти виды хорошо удерживают воду и обладают высокой катионообменной способностью, быстро накапливают катионы из дождевой воды и сухих выпадений, выделяя взамен ионы водорода. Клеточная стенка мха действует как ионообменник. Мох для экспонирования собран 21 июня 2022 г. в водно-

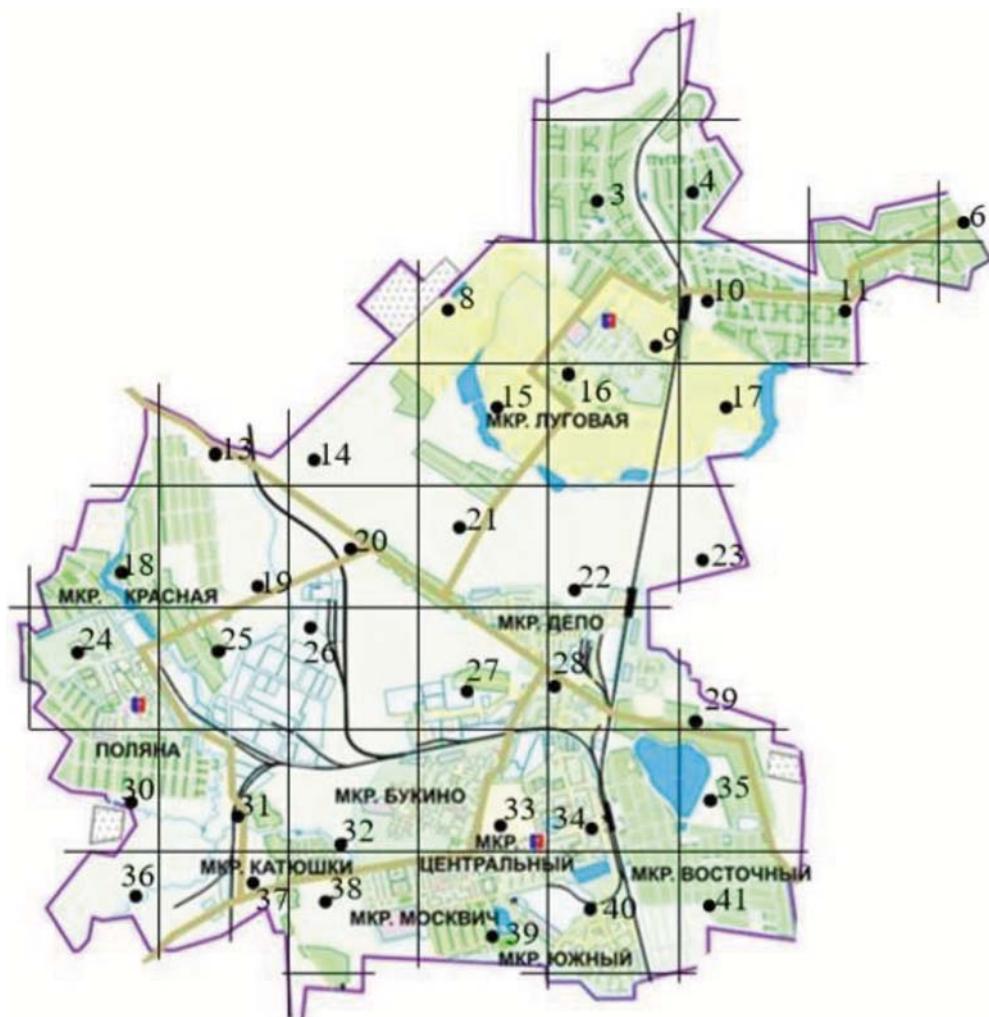


Рис. 1. Карта-схема размещения площадок опробования на территории г. о. Лобня

Fig. 1. Schematic map of the sampling sites location on the territory of the Lobnya Urban District

болотном угодье Тверской области, Конаковский район, Дмитровогорское сельское поселение (56.703269° , 37.072651°), в соответствии с общепринятой методикой [Тяжелые..., 2020]. Собранный мох перебирали и высушивали при температуре $35\text{--}40^\circ\text{C}$. Для анализа использовали только зеленые сегменты последних трех или двух лет. Затем мох (3–4 г) равномерно распределяли в проницаемых пакетах размером $10\times10\text{ см}$ из сетки из полимерного волокна с ячейкой 1,5 мм. Экспонирование мха проводилось в течение трех месяцев в период с 25 июня по 25 сентября 2022 года. На каждой пробной площадке развесили по три мешочка с мхом, всего 108 мешочеков. Для расчетов геохимических показателей была оставлена контрольная проба мха, без экспонирования.

Морфологию поверхности мха изучали при помощи растрового электронного микроскопа Hitachi S-3400N, оснащенного рентгеновским энергодисперсионным спектрометром (EDS Oxford Instruments Aztec).

Перед проведением химического анализа мох изымали из мешочеков и гомогенизировали с помощью мельницы с агатовыми камнями. Затем из трех индивидуальных проб для каждой пробной площадки составляли одну объединенную, из которой отбиралась аналитическая проба. Минерализацию образцов проводили в микроволновой системе MC-6, навеска составляла 0,2 г, реагенты: 1 мл H_2O_2 ; 5 мл HNO_3 (конц.). Содержание ТМ (Pb, Cd, Zn, Cu и Ni) в образцах мха определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре «Квант-2А» в эколого-аналитической лаборатории кафедры экологии и наук о Земле Государственного университета «Дубна». Математическая обработка измеренных концентраций ТМ во мхах выполнена в программе Microsoft Excel. Визуализация данных произведена в программе Surfer 16.0.

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха рассчитаны следующие эколого-геохимические показатели:

1) ОКН – относительный коэффициент накопления: $\text{OKH} = (\text{C}_{\text{мох}} - \text{C}_{\text{контроль}}) / \text{C}_{\text{контроль}}$, где $\text{C}_{\text{мох}}$ – концентрация элемента во мхах после экспонирования; $\text{C}_{\text{контроль}}$ – концентрация элемента в контроле (контрольная проба мха, не подверженная экспонированию). Коэффициент $\text{OKH} > 1$ свидетельствует о значительном накоплении элемента, коэффициент $< 0,5$ указывает на незначительное накопление [Швецова и др., 2019].

2) Кс – коэффициент концентрации: $\text{Kc} = \text{C}_{\text{мох}} / \text{C}_{\text{контроль}}$, где $\text{C}_{\text{мох}}$ – концентрация элемента

во мхах после экспонирования; $\text{C}_{\text{контроль}}$ – концентрация элемента в контроле (контрольная проба мха, не подверженная экспонированию) (табл. 1). По величине Кс принято выделять шесть категорий загрязнения [Fernández, Carballera, 2020; Алексеенок и др., 2021]: $\text{Kc} < 1$ – отсутствие загрязнения; $1 \leq \text{Kc} < 2$ – возможное загрязнение; $2 \leq \text{Kc} < 3,5$ – слабое загрязнение; $3,5 \leq \text{Kc} < 8$ – среднее загрязнение; $8 \leq \text{Kc} < 27$ – высокое загрязнение; $\text{Kc} \geq 27$ – очень высокое загрязнение.

Таблица 1. Содержание элементов во мхах без экспонирования (контрольная проба), мг/кг

Table 1. The content of elements in mosses without exposure (the control sample), mg/kg

Pb	Cd	Zn	Cu	Ni
$1,30 \pm 0,10$	$0,19 \pm 0,01$	$30,1 \pm 0,1$	$1,73 \pm 0,02$	$2,29 \pm 0,08$

Результаты и обсуждение

Микрофотографии поверхности мхов, экспонированных на территории г. о. Лобня, представлены на рис. 2. Поверхность мха имеет ячеистую структуру с большим количеством пор от 3 до 8 мкм (рис. 2, а, б). Диагностируются пылеватые частицы и пыльцевые зерна (рис. 2, в, г). Частицы представляют собой как отдельные зерна, так и конгломераты кварца и глинистых минералов.

Содержание элементов во мхах после трех месяцев экспонирования на территории г. о. Лобня представлено в табл. 2.

Содержание свинца во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня, варьирует от 1,30 до 5,79 мг/кг, среднее – 2,78 мг/кг (табл. 2). Содержание свинца во мхах, экспонированных на фоновой площадке (поля лаборатории луговедения и луговодства ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»), составило 3,18 мг/кг. Высокое содержание свинца (выше фоновых значений) выявлено в центральной и юго-западной частях городского округа. Максимальное значение (5,79 мг/кг) отмечено на перекрестке Краснополянского и Лобненского шоссе (рис. 3) в юго-западной части городского округа. Данная территория испытывает нагрузку как от стационарных (завод металлических конструкций «Спецпрокат», лифтостроительный завод), так и от передвижных источников (железнодорожный и автомобильный транспорт).

Содержание кадмия в экспонированных мхах колеблется в диапазоне от 0,34 до 1,97 мг/кг.

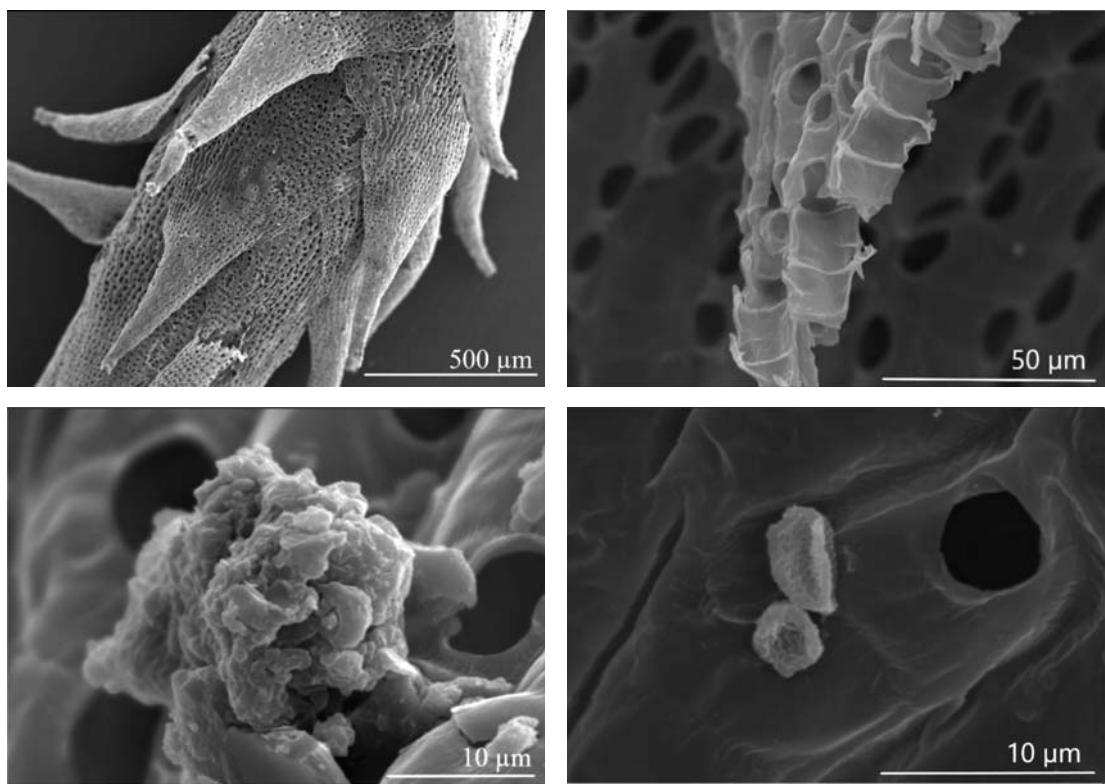


Рис. 2. Поверхность мхов, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 2. The surface of mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

Таблица 2. Статистические показатели содержания тяжелых металлов во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня, мг/кг

Table 2. Statistical indicators of heavy metals content in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District, mg/kg

Во всех функциональных зонах, $n = 36$, $P = 0,95$
In all functional areas, $n = 36$, $P = 0.95$

Элемент Element	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	2,78	2,90	1,30	5,79	2,50	1,14	0,19	-0,28	-0,47
Cu	5,41	5,14	1,73	8,51	1,81	1,35	0,22	0,01	0,79
Zn	82,7	68,3	34,1	543,2	6665,7	81,6	13,6	5,41	31,09
Ni	4,55	4,00	2,29	10,92	3,72	1,93	0,32	1,34	2,10
Cd	0,72	0,58	0,34	1,97	0,13	0,36	0,06	1,88	3,45

Транспортная, $n = 7$, $P = 0,95$
Transport, $n = 7$, $P = 0.95$

	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	2,60	2,90	1,3	5,80	3,65	1,91	0,13	0,21	0,51
Cu	5,95	4,99	4,70	7,79	1,89	1,37	0,10	0,44	-2,44
Zn	70,0	75,6	47,6	93,1	341,6	18,5	1,3	-0,15	-2,17
Ni	4,92	5,03	2,81	8,05	2,94	1,71	0,12	0,88	1,12
Cd	0,73	0,61	0,44	1,21	0,10	0,32	0,02	0,94	-0,94

Промышленная, $n = 10$, $P = 0,95$
Industrial, $n = 10$, $P = 0.95$

	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	3,07	3,00	1,30	5,42	2,14	1,46	0,12	-0,54	1,55
Cu	5,61	5,72	1,73	8,51	3,55	1,89	0,16	-0,62	1,08
Zn	71,9	70,1	48,5	105,9	258,0	16,1	1,4	0,81	1,4
Ni	5,00	5,36	2,29	7,97	4,56	2,14	0,18	-0,08	-1,7
Cd	0,74	0,60	0,48	1,44	0,14	0,37	0,03	1,63	1,10

Окончание табл. 2
Table 2 (continued)

Во всех функциональных зонах, $n = 36, P = 0,95$
In all functional areas, $n = 36, P = 0.95$

Элемент Element	Селитебная, $n = 12, P = 0,95$ Residential, $n = 12, P = 0.95$								
	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	3,66	2,95	1,30	3,88	2,47	1,57	0,15	-0,51	-1,62
Cu	5,18	5,33	3,22	7,12	1,17	1,08	0,10	-0,10	-0,14
Zn	61,8	58,9	34,1	114,7	442,1	21,0	1,97	1,42	2,99
Ni	4,35	3,85	2,41	10,92	5,69	2,39	0,22	2,19	5,40
Cd	0,77	0,58	0,34	1,97	0,21	0,46	0,04	1,97	3,80
	Рекреационная, $n = 7, P = 0,95$ Recreational, $n = 7, P = 0.95$								
	\bar{X}	Med	Min	Max	D	σ	$S_{\bar{X}}$	Ka	E
Pb	2,23	1,71	1,30	4,31	2,36	1,54	0,11	-0,57	-0,59
Cu	4,97	4,77	4,24	6,07	0,48	0,69	0,05	0,74	-0,88
Zn	146,2	75,9	57,8	543,2	31344,5	177,0	12,22	2,52	6,46
Ni	3,92	3,65	3,25	4,93	0,45	0,67	0,05	0,54	-1,68
Cd	0,59	0,56	0,35	0,85	0,03	0,18	0,01	0,42	-0,74

Примечание. \bar{X} – среднее, Med – медиана, Min – минимум, Max – максимум, D – дисперсия, σ – стандартное отклонение, $S_{\bar{X}}$ – ошибка среднего, Ka – асимметрия, E – эксцесс.

Note. \bar{X} – average, Med – median, Min – minimum, Max – maximum, D – dispersion, σ – standard deviation, $S_{\bar{X}}$ – error of the mean, Ka – asymmetry, E – excess.

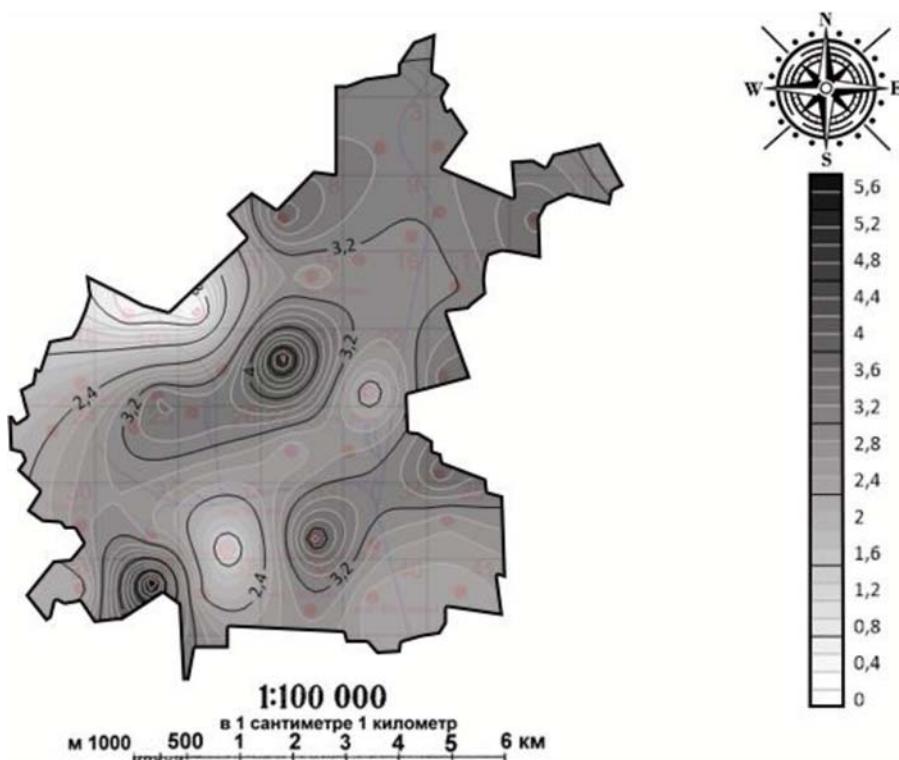


Рис. 3. Карта-схема содержания Pb (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 3. Schematic map of Pb content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

Среднее его содержание составляет 0,72 мг/кг, что чуть выше или сопоставимо с фоновым (0,65 мг/кг). Максимальные концентрации выявлены в северной части г. о. Лобня на территории частной застройки (рис. 4). Источниками кадмия могут быть предприятия теплоэнергетики,

транспорта и др. [Теплая, 2013; Фазлыева и др., 2022], использование дров для отопления в частных домовладениях. Максимальное содержание Cd превышает фоновое значение в 2,7 раза, что вызывает тревогу, поскольку этот элемент относится к 1 классу опасности.

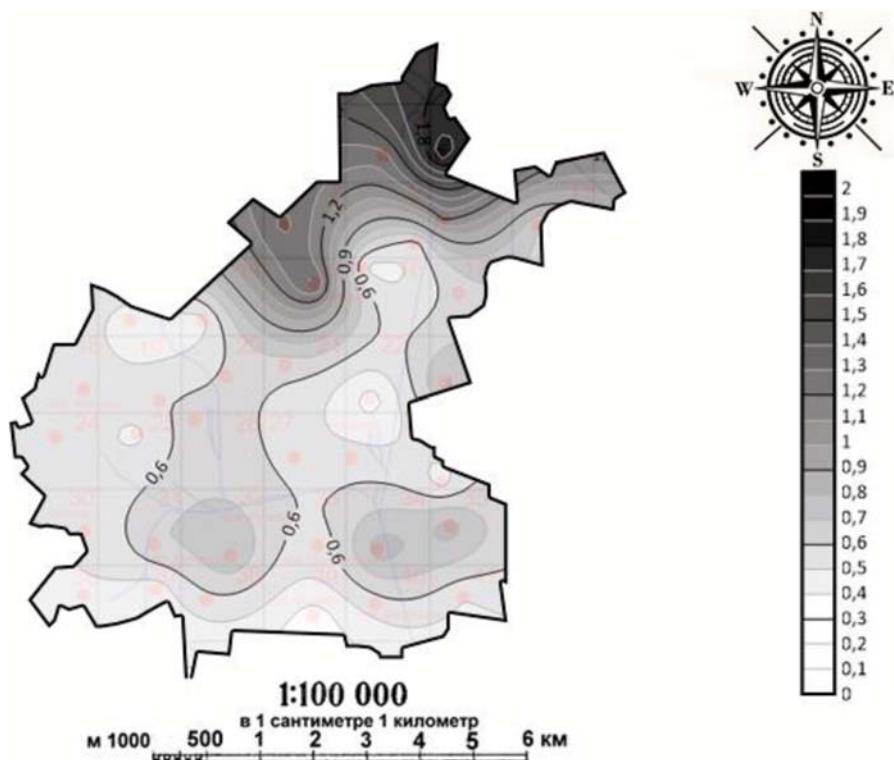


Рис. 4. Карта-схема содержания Cd (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 4. Schematic map of Cd content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

Содержание цинка во мхах колеблется в широких пределах от 34,1 до 543,2 мг/кг. Среднее содержание составляет 82,7 мг/кг. Высокое, по сравнению с фоновым (62,7 мг/кг), содержание цинка отмечается на большей части территории городского округа (табл. 2). Аномально высокое накопление цинка (543,2 мг/кг) выявлено в образцах мха, экспонированных на стадионе «Труд», рассматриваемом нами как рекреационная территория (рис. 5). Стадион находится в западной части промышленной зоны микрорайона Красная Поляна. В данном микрорайоне расположено наибольшее количество промышленных предприятий г. о. Лобня. Цинк используется в производстве масляных красок, покрышек, в покрытии металлических конструкций для защиты от коррозии. Источником цинка может быть дорожное покрытие, в котором он также содержится. Цинк может поступать в окружающую среду при истирании автомобильных шин [Теплая, 2013; Иванищев, 2021]. В связи с этим следует обратить особое внимание на качество искусственного покрытия футбольного поля стадиона, изготовленного из каучуковой крошки.

Содержание меди во мхах составляет от 1,73 до 8,51 мг/кг. Среднее содержание

5,41 мг/кг. Во мхах, экспонированных на фоновой территории, содержание меди выше среднего и составляет 5,59 мг/кг. Максимальное накопление отмечается южнее пересечения двух основных магистралей: улицы Чайковского и трассы «Северный обход Лобни». Высокое содержание отмечено в транспортных и промышленных зонах, а также в селитебных и рекреационных зонах, расположенных вблизи транспортных магистралей (табл. 2, рис. 6). Медь присутствует в отработанных газах автомобильных двигателей и может поступать в воздух при истирании тормозных колодок.

Содержание никеля в экспонированных мхах варьирует от 2,29 до 10,92 мг/кг (табл. 2), среднее значение 4,5 мг/кг. Максимальное накопление отмечается в западной части городского округа, южнее находится завод металлоконструкций «Эверест», западнее расположены пути ж/д транспорта, с севера – трасса «Северный обход Лобни» (рис. 7). Во мхах, экспонированных в транспортной и промышленной зонах, а также в части селитебной зоны, тесно граничащей с транспортной и промышленной зонами (частный сектор микрорайона Красная Поляна, частный сектор вблизи железнодорожного депо и станции Лобня),

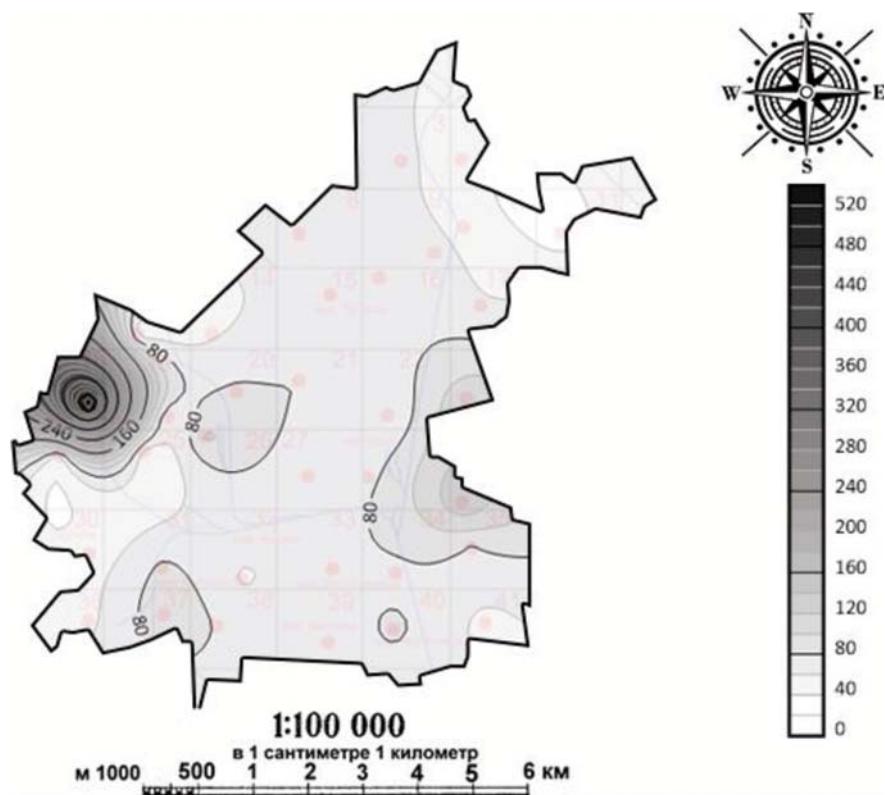


Рис. 5. Карта-схема содержания Zn (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 5. Schematic map of Zn content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

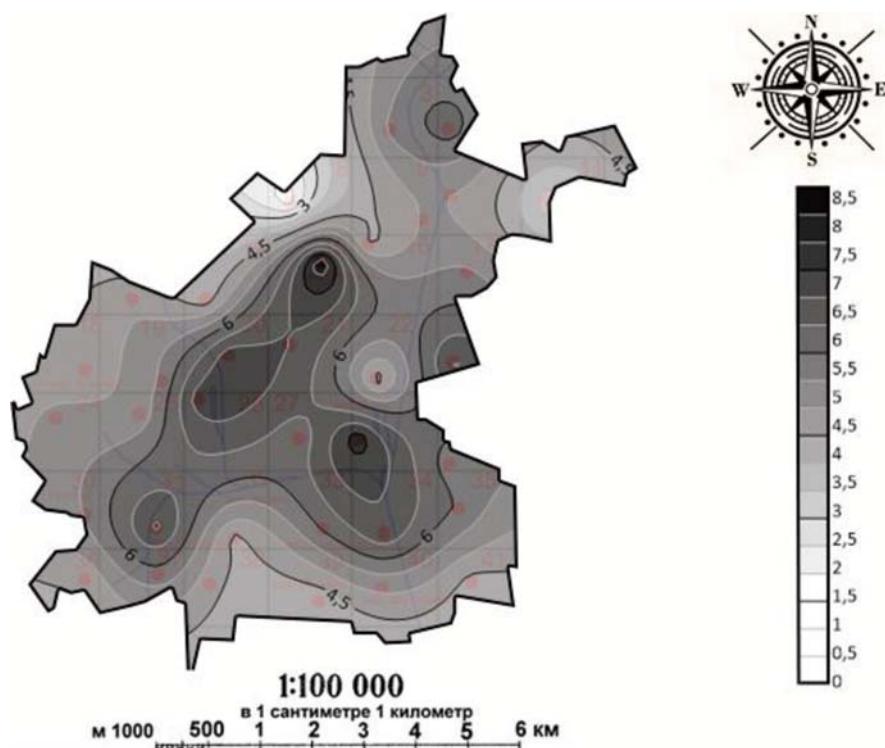


Рис. 6. Карта-схема содержания Cu (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 6. Schematic map of Cu content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

содержание никеля выше по сравнению с фоном (2,36 мг/кг) в 4,6 раза. Источниками загрязнения атмосферного воздуха никелем могут быть транспорт (использование дизельного топлива и мазута), тепловые электростанции и др. [Иванищев, 2022]. Никель является продуктом износа покрытий кузовов, используется в качестве материала для изготовления металлоконструкций. В железнодорожном транспорте используют щелочные никель-железные аккумуляторы.

Как показали расчеты относительного коэффициента накопления тяжелых металлов во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня, значительное накопление Pb (OKH > 1) отмечается на 78 % обследованной территории (среднее значение OKH Pb 1,1), Cu – на 94 % (средн. OKH Cu 2,1), Zn – на 50 % (средн. OKH Zn 1,4), Ni – на 36 % (средн. OKH Ni 1,0) и Cd – на 33 % (средн. OKH Cd 1,1).

По величине коэффициента концентрации, рассчитанного относительно контрольной пробы мха, не подверженной экспонированию (рис. 8), среднее загрязнение свинцом выявлено в промышленной функциональной зоне (площадка № 21) – Kс 3,5. Более половины обследованной территории (53 %) соответствует

слабому загрязнению, остальная ее часть – возможному загрязнению атмосферного воздуха свинцом. Коэффициент концентрации кадмия на 67 % исследуемой территории указывает на возможное загрязнение, на 19 % – на слабое загрязнение и на 14 % – на среднее загрязнение. Наибольшее загрязнение кадмием отмечено в северной части г. о. Лобня. Коэффициент концентрации цинка указывает на возможное загрязнение этим элементом 50 % территории городского округа. Высокое загрязнение цинком (Kс 15,9) отмечается на стадионе «Труд» (площадка № 18). Среднее загрязнение (Kс 4,1) выявлено также в рекреационной зоне (площадка № 29). На остальной территории Kс цинка соответствует слабому (50 %) и возможному (42 %) загрязнению. Коэффициент концентрации меди в экспонированных мхах указывает на слабое загрязнение на большей части (67 %) обследуемой территории, остальная территория (28 %) испытывает среднее загрязнение. Коэффициент концентрации никеля на большей части городского округа указывает на возможное (64 % территории) и слабое (31 %) загрязнение. И только на 6 % территории выявлено среднее загрязнение. По данным активного биомониторинга, средние значения

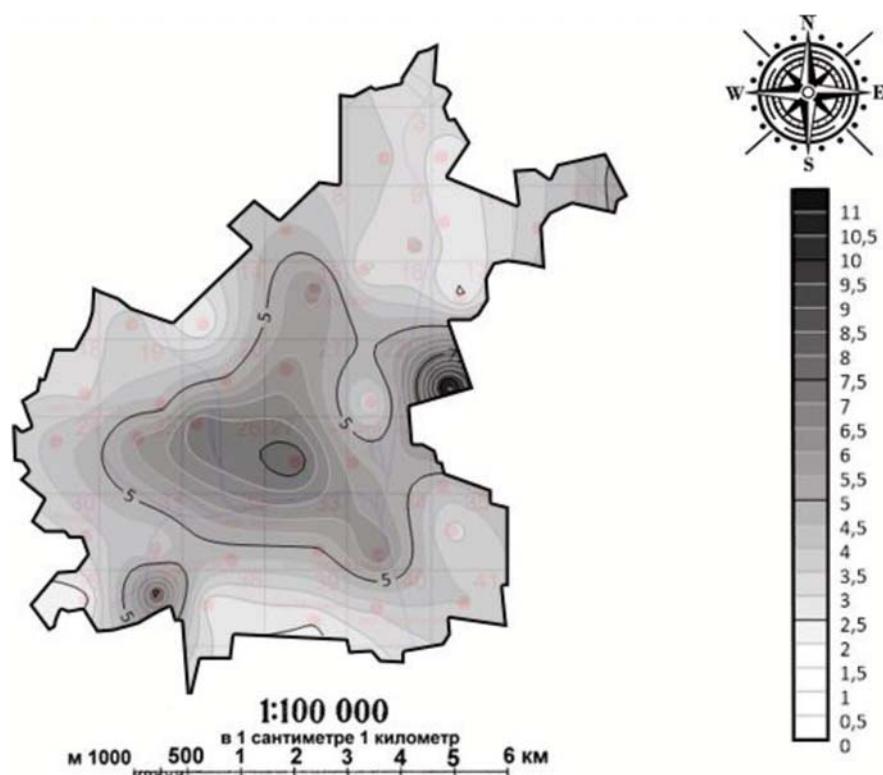


Рис. 7. Карта-схема содержания Ni (мг/кг) во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 7. Schematic map of Ni content (mg/kg) in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

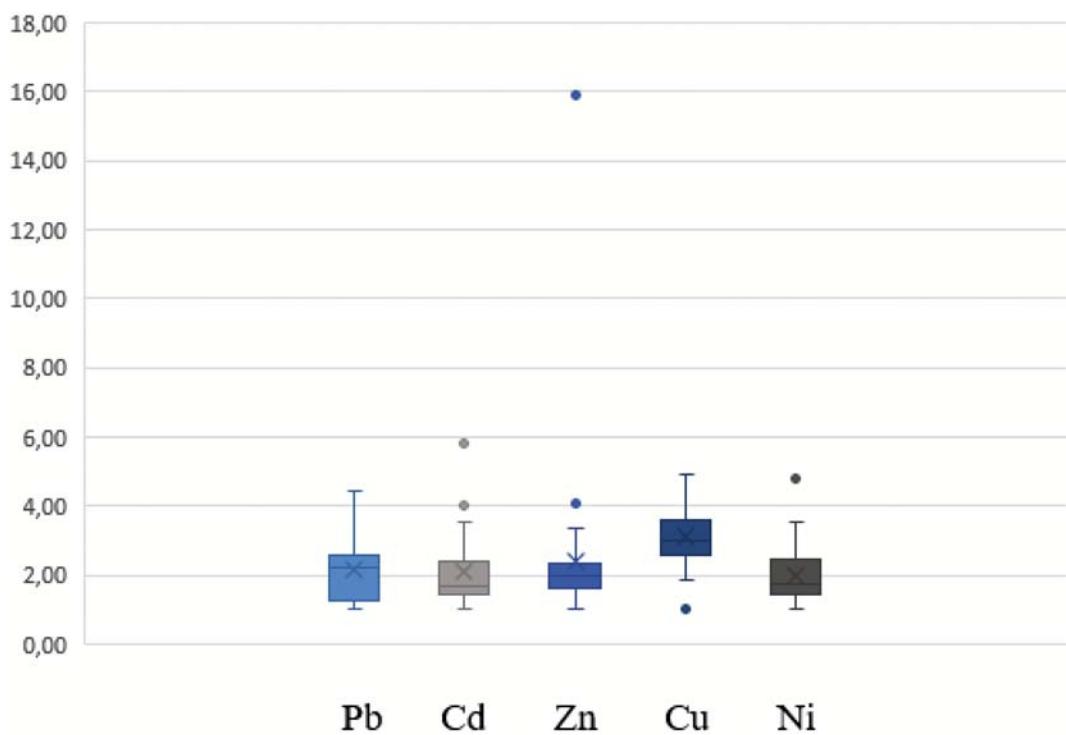


Рис. 8. Коэффициент концентрации тяжелых металлов во мхах, экспонированных на территории г. о. Лобня

Fig. 8. Contamination factor of heavy metals in mosses exposed on the territory of the Lobnya Urban District

Кс меди, никеля и цинка соответствуют средним значениям, полученным для урбанизированных территорий Европы [Culicov, Dimitrova Yurukova, 2006; Aničić Urošević et al., 2023].

Анализ накопления ТМ во мхах с учетом функционального зонирования выявил, что наибольшие показатели ОКН и Кс металлов характерны для транспортной (Стародмитровское шоссе, перекресток Рогачевского и Краснополянского шоссе, перекресток Рогачевского и Букинского шоссе, Краснополянское шоссе, перекресток Краснополянского и Лобненского шоссе) и промышленной зон. Выявлены превышения фоновых содержаний ТМ в селитебной и рекреационной зонах вблизи автомобильных дорог и железнодорожных путей. Влияние автотранспорта нельзя определить в четких границах функциональных зон, в связи с этим автотранспорт оказывает существенное влияние на экологическое состояние г. о. Лобня во всех функциональных зонах. В состав отработанных газов автомобиля входит около 200 загрязняющих веществ, среди которых целый ряд ТМ. Тяжелые металлы поступают в окружающую среду с продуктами разрушения тормозных колодок, автомобильных шин и дорожного полотна. В отработанных газах автомобилей, работающих на бензине, содержится свинец,

ванадий и кобальт, на дизельном топливе – ванадий, медь, никель, хром [Ozaki et al., 2004; Теплая, 2013].

Заключение

Анализ состояния атмосферного воздуха по содержанию тяжелых металлов 1 и 2 классов опасности (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni), проведенный с использованием техники «мох в мешках», позволил выявить на территории г. о. Лобня участки с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами и дать оценку экологического состояния по уровню техногенной нагрузки ТМ на атмосферный воздух.

Основные ореолы загрязнения тяжелыми металлами отмечаются в зоне влияния лифтостроительного завода и предприятий по производству металлоконструкций. Кроме того, определенный вклад вносят передвижные источники (автомобильный и ж/д транспорт). Лобня является городом-спутником Москвы и важным транспортным узлом на севере столицы. Сокращение лесных насаждений почти в два раза за последние десять лет снижает защитный потенциал лесопаркового защитного пояса Москвы. Уровень антропогенной нагрузки на компоненты окружающей среды

будет возрастать, и это необходимо учитывать при проектировании и создании городской инфраструктуры.

Полученные результаты представляют интерес для принятия своевременных управленческих решений, направленных на создание безопасной, комфортной среды для проживания и хозяйственной деятельности на территории г. о. Лобня.

Литература

Алексеенок Ю. В., Вергель К. Н., Юшин Н. С. Оценка уровней загрязнения Республики Беларусь атмосферными выпадениями тяжелых металлов с использованием биоиндикации // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 43–50. doi: 10.17513/use.37697

Битюкова В. Р., Шанин С. И. Атмосферное загрязнение в средних городах России // Региональные исследования. 2018. № 1(59). С. 144–155.

Винокуров М. В. Современное состояние контроля загрязнения атмосферного воздуха населенных мест // Гигиена и санитария. 2014. № 5. С. 29–33.

Генеральный план городского округа Лобня Московской области от 2024 года. Т. II. Охрана окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--90athc1g.xn--p1ai/stlife/building/genplan.php> (дата обращения: 10.12.2025).

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году» [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021. (дата обращения: 17.09.23).

Иванищев В. В. Никель в окружающей среде и его влияние на растения // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2021. Вып. 2. С. 38–53.

Иванищев В. В. Цинк в природе и его значение для растений // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2022. Вып. 2. С. 35–49. doi: 10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49

Информационный выпуск о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2022 году. Красногорск. 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://mer.mosreg.ru/download/document/12181217> (дата обращения: 20.05.2024).

Каманина И. З., Каплина С. П., Виноградов И. И., Чигоева Д. Н. Изучение поверхности мхов-биомониторов в условии разной техногенной нагрузки // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 4. С. 5–12.

Каманина И. З., Каплина С. П., Густова М. В., Чигоева Д. Н., Виноградов И. И. Анализ атмосферных выпадений на территории Республики Северная Осетия-Алания по данным биомониторинга // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. № 1(66). С. 157–168. doi: 10.18470/1992-1098-2023-1-157-168

Комплексная схема организации дорожного движения городского округа Лобня // Первый центр образовательных услуг [Электронный ресурс].

URL: https://dmp62.ru/useruploads/files/prezentatsii/ss_%20KSODD-Lobnya.pdf (дата обращения: 10.12.2025).

СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изменениями на 30 декабря 2022 года) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 02.10.2022).

Теплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 1(23). С. 182–192.

Тяжелые металлы, азот и стойкие органические загрязнители (СОЗ) в европейских мхах: одновременный сбор мхов в 2020 г. Пособие по мониторингу [Электронный ресурс]. URL: <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/MOSS-MANUAL-RUS%20-2020-final.pdf> (дата обращения: 20.05.2022).

Фазлыева А. С., Даукаев Р. А., Каримов Д. О. Влияние кадмия на здоровье населения и способы профилактики его токсических эффектов // Медicina труда и экология человека. 2022. № 1. С. 220–235. doi: 10.24411/2411-3794-2022-10115

Фронтасьева М. В. О Программе Организации Объединенных Наций «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе – оценки на основе анализа мхов-биомониторов» // Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева. Сер. Химия. География. Экология. 2023. № 143(2). С. 23–35. doi: 10.32523/2616-6771-2023-143-2-23-35

Швецова М. С., Каманина И. З., Мададзада А. И., Нехорошков П. С., Юшин Н. С., Зиньковская И. И., Павлов С. С., Фронтасьева М. В. Определение следовых элементов (Cu, Sb, Pb, V, Zn) на территории рекреационных зон Москвы с помощью техники «мох в мешках» // Успехи современного естествознания. 2020. № 8. С. 74–82. doi: 10.17513/use.37461

Швецова М. С., Каманина И. З., Фронтасьева М. В., Мададзада А. И., Зиньковская И. И., Павлов С. С., Вергель К. Н., Юшин Н. С. Применение активного биомониторинга с помощью техники «мох в мешках» на территории музея-заповедника «Царицыно» // Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна». Сер. Естественные и инженерные науки. 2019. № 1(42). С. 68–75.

Экологический отчет акционерного общества «Международный аэропорт Шереметьево» за 2020 год [Электронный ресурс]. URL: <https://www.svo.aero/bitrix/upload/sprint.editor/5a9/5a938a543baa0ca52b4122167b23449b.pdf> (дата обращения: 20.05.2022).

Aničić Urošević M., Lazo P., Staflov T., Nečemer M., Baćeva Andonovska K., Balabanova B., Hristozova G., Papagiannis S., Stihic C., Suljkanović M., Špirić Z., Vasilatou V., Vogel-Mikuš K. Active biomonitoring of potentially toxic elements in urban air by two distinct moss species and two analytical techniques: a pan-Southeastern European study // Air Qual. Atmos. Health. 2023. Vol. 16. P. 595–612. doi: 10.1007/s11869-022-01291-z

Calabrese S., D'Alessandro W., Bellomo S., Brusca L., Martin R. S., Saiano F., Parella F. Characterization of the Etna volcanic emissions through an

active biomonitoring technique (moss-bags): Part 1 – Major and trace element composition // Chemosphere. 2015. Vol. 119. P. 1447–1455. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.08.086

Culicov O. A., Dimitrova Yurukova L. Comparison of element accumulation of different moss- and lichen-bags, exposed in the city of Sofia (Bulgaria) // J. Atmos. Chem. 2006. Vol. 55(1). P. 1–12. doi: 10.1007/s10874-005-9002

Fernández J. A., Carballeira A. Evaluation of contamination, by different elements, in terrestrial mosses // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2000. Vol. 40. P. 461–466. doi: 10.1007/s002440010198

Ozaki H., Watanabe I., Kuno K. Investigation of the heavy metal sources in relation to automobiles // Water, Air, and Soil Pollution. 2004. Vol. 157. P. 209–223. doi: 10.1023/B:WATE.0000038897.63818.f7

Hu R., Yan Y., Zhou X., Wang Y., Fang Y. Monitoring heavy metal contents with *Sphagnum junghuhnianum* moss bags in relation to traffic volume in Wuxi, China // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2018. Vol. 15. P. 374. doi: 10.3390/ijerph15020374

References

Alekseenok Yu. V., Vergel' K. N., Yushin N. S. Assessment of pollution levels in the Republic of Belarus by atmospheric fallout of heavy metals using bio-indication. *Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*. 2021;10:43–50. (In Russ.). doi: 10.17513/use.37697

Aničić Urošević M., Lazo P., Staflov T., Nečemer M., Baćeva Andonovska K., Balabanova B., Hristozova G., Papagiannis S., Stihl C., Suljkanović M., Špirić Z., Vassilatou V., Vogel-Mikuš K. Active biomonitoring of potentially toxic elements in urban air by two distinct moss species and two analytical techniques: a pan-Southeastern European study. *Air Qual. Atmos. Health*. 2023. Vol. 16. P. 595–612. doi: 10.1007/s11869-022-01291-z

Bityukova V. R., Shanin S. I. Air pollution in mid-size cities of Russia. *Regional'nye issledovaniya = Regional Studies*. 2018;1(59):144–155. (In Russ.)

Calabrese S., D'Alessandro W., Bellomo S., Brusca L., Martin R. S., Saiano F., Parella F. Characterization of the Etna volcanic emissions through an active biomonitoring technique (moss-bags): Part 1 – Major and trace element composition. *Chemosphere*. 2015. Vol. 119. P. 1447–1455. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.08.086

Comprehensive scheme for organizing traffic in the Lobnya Urban District. *Pervyi tsentr obrazovatel'nykh uslug = First center for educational services*. (In Russ.). URL: https://dmp62.ru/useruploads/files/prezentatsii/ss_%20KSODD-Lobnya.pdf (accessed: 10.12.2025).

Culicov O. A., Dimitrova Yurukova L. Comparison of element accumulation of different moss- and lichen-bags, exposed in the city of Sofia (Bulgaria). *J. Atmos. Chem.* 2006. Vol. 55(1). P. 1–12. doi: 10.1007/s10874-005-9002

Environmental report of JSC Sheremetyevo International Airport for 2020. URL: <https://www.svo.aero/>

bitrix/upload/sprint.editor/5a9/5a938a543baa0ca52b4122167b23449b.pdf (accessed: 20.05.2022).

Fazlyeva A. S., Daukaev R. A., Karimov D. O. The influence of cadmium on the health of the population and methods of preventing its toxic effects. *Meditina truda i ekologiya cheloveka = Occupational Medicine and Human Ecology*. 2022;1:220–235. (In Russ.). doi: 10.24411/2411-3794-2022-10115

Fernández J. A., Carballeira A. Evaluation of contamination, by different elements, in terrestrial mosses. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2000. Vol. 40. P. 461–466. doi: 10.1007/s002440010198

Frontas'eva M. V. On the United Nations program *Atmospheric deposition of heavy metals in Europe – assessment based on the analysis of moss biomonitor*s. *Vestnik Evraziiskogo natsional'nogo universiteta imeni L. N. Gumileva. Ser. Khimiya. Geografiya. Ekologiya = Bulletin of the L. N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series*. 2023;143 (2):23–35. (In Russ.). doi: 10.32523/2616-6771-2023-143-2-23-35

Heavy metals, nitrogen and persistent organic pollutants (POPs) in European mosses: simultaneous collection of mosses in 2020. A monitoring manual. (In Russ.). URL: <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/MOSS-MANUAL-RUS%20-2020-final.pdf> (accessed: 05.20.2022).

Hu R., Yan Y., Zhou X., Wang Y., Fang Y. Monitoring heavy metal contents with *Sphagnum junghuhnianum* moss bags in relation to traffic volume in Wuxi, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. Vol. 15. P. 374. doi: 10.3390/ijerph15020374

Information release on the state of natural resources and the environment of the Moscow Region in 2022. Krasnogorsk; 2023. (In Russ.). URL: <https://mep.mosreg.ru/download/document/12181217> (accessed: 05.20.2024).

Ivanishchev V. V. Nickel in the environment and its impact on plants. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle = Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2021;2: 38–53. (In Russ.)

Ivanishchev V. V. Zinc in nature and its significance for plants. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle = Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2022;2:35–49. (In Russ.). doi: 10.46689/2218-5194-2022-2-1-35-49

Kamanina I. Z., Kaplina S. P., Vinogradov I. I., Chigoeva D. N. Study of the surface of moss-biomonitor under different technogenic loads. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki = Scientific Review. Biological Sciences*. 2021;4:5–12. (In Russ.)

Kamanina I. Z., Kaplina S. P., Gustova M. V., Chigoeva D. N., Vinogradov I. I. Analysis of atmospheric fallout on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania according to biomonitoring data. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye = South of Russia: Ecology, Development*. 2023;18(1-66):157–168. (In Russ.). doi: 10.18470/1992-1098-2023-1-157-168

Master plan for the urban district of Lobnya, Moscow Region. Vol. II. Environmental protection. (In Russ.). URL: <https://xn--90athc1g.xn--p1ai/sflife/building/genplan.php> (accessed: 10.12.2025).

Ozaki H., Watanabe I., Kuno K. Investigation of the heavy metal sources in relation to automobiles. *Water*,

Air, and Soil Pollution. 2004. Vol. 157. P. 209–223. doi: 10.1023/B:WATE.0000038897.63818.f7

SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans (as amended on December 30, 2022). (In Russ.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (accessed: 02.10.2025).

Shvetsova M. S., Kamanina I. Z., Frontas'eva M. V., Madadzada A. I., Zin'kovskaya I. I., Pavlov S. S., Vergel' K. N., Yushin N. S. Active biomonitoring using the moss bag technique on the territory of the Tsarskoye Selo Museum-Reserve. *Vestnik Mezhdunarodnogo universiteta prirody, obshchestva i cheloveka «Dubna».* Ser. *Estestvennye i inzhenernye nauki* = Bulletin of the Dubna International University of Nature, Society and Man. Natural and Engineering Sciences Series. 2019;1(42):68–75. (In Russ.)

Shvetsova M. S., Kamanina I. Z., Madadzada A. I., Nekhoroshkov P. S., Yushin N. S., Zin'kovskaya I. I., Pavlov S. S., Frontas'eva M. V. Defining trace ele-

ments (Cu, Sb, Pb, V, Zn) on the territory of recreational areas of Moscow using the moss bag technique. *Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences.* 2020;8:74–82. (In Russ.). doi: 10.17513/use.37461

State report *On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2021.* (In Russ.) URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_obyektov_okhrane_okrughayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021 (accessed: 17.09.23).

Teplaya G. A. Heavy metals as a factor in environmental pollution (a literature review). *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya = Astrakhan Bulletin of Environmental Education.* 2013;1(23):182–192. (In Russ.)

Vinokurov M. V. Current state of control of atmospheric air pollution in populated areas. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation.* 2014;5:29–33. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 23.01.2025; принята к публикации / accepted: 21.10.2025.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Каманина Инна Здиславовна

канд. биол. наук, доцент

e-mail: kamanina@uni-dubna.ru

Каплина Светлана Петровна

канд. биол. наук, доцент

e-mail: sv_kap@mail.ru

Иванова Алина Александровна

канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник

e-mail: alinkaiv85@mail.ru

Анисимова Ольга Витальевна

канд. геол.-мин. наук, и. о. заведующего кафедрой экологии и наук о Земле

e-mail: anisimova@uni-dubna.ru

CONTRIBUTORS:

Kamanina, Inna

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor

Kaplina, Svetlana

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor

Ivanova, Alina

Cand. Sci. (Agr.), Senior Researcher

Anisimova, Olga

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Head of the Department of Ecology and Earth Sciences

УДК 551.312.012

ОЦЕНКА БИОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БУХТЫ БЛАГОПОЛУЧИЯ (О. БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ)

Н. А. Белкина, А. В. Пронина*, Е. В. Гатальская, И. В. Морозова

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН
(пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030),*

*anastasiya.2802@mail.ru

Исследование посвящено оценке состояния донных отложений бухты Благополучия (о. Большой Соловецкий, Архангельская область). В бухте на 25 станциях выполнен отбор проб поверхностных донных отложений. Изучены физические (плотность, удельная масса, пористость, естественная и абсолютная влажность), физико-химические (рН, Eh), химические (потери при прокаливании, общий органический и неорганический углерод, зольность, растительные пигменты, азот аммонийный, азот органический, фосфор общий и минеральный) характеристики и гранулометрический состав осадков. Выявлено изменение седиментационного режима и загрязнение дна бухты в результате хозяйственной деятельности человека. Отмечено преобладание среднего и крупного ила за исключением южной части бухты, где наблюдается постепенное увеличение доли мелкопесчаной фракции в юго-восточном направлении. Выполнена оценка уровня загрязнения донных отложений органическим веществом и биогенными элементами. Содержание органического вещества в пробах осадка в среднем составляет 14 %. Концентрации азота, фосфора и растительных пигментов невелики. Распределение показателей органического вещества в донных отложениях по площади дна бухты Благополучия выявило, что $C_{опт}$, N_{NH4^+} , $N_{опт}$, $P_{общ}$ и Chla имеют более высокие концентрации в осадках прибрежных районов юго-восточной части водоема, $P_{мин}$ – в северной части в районе выпуска сточных вод. Наиболее интенсивное загрязнение зафиксировано в осадках, залегающих в районе стоянки маломерного флота. Полученные результаты могут быть использованы при планировании дноуглубительных работ и реконструкции пристаней, а также при организации мониторинга состояния бухты Благополучия.

Ключевые слова: Соловецкие острова; бухта Благополучия; донные отложения; гранулометрический и химический состав; биогенное загрязнение

Для цитирования: Белкина Н. А., Пронина А. В., Гатальская Е. В., Морозова И. В. Оценка биогенного загрязнения донных отложений бухты Благополучия (о. Большой Соловецкий) // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 113–126. doi: 10.17076/eco2196

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы НИР ИВПС КарНЦ РАН «Состояние прибрежной экосистемы Белого моря в пределах Соловецкого архипелага» (FMEN 2024-0016).

**N. A. Belkina, A. V. Pronina*, I. V. Morozova, E. V. Gatalskaya.
ASSESSMENT OF THE NUTRIENT POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS
IN BLAGOPOLUCHIYA BAY (BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND)**

*Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
(50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *anastasiya.2802@mail.ru*

This study assessed bottom sediments of Blagopoluchiya Bay (Bolshoy Solovetsky Island, Arkhangelsk Region). Top-core sediment samples were collected at 25 stations in the bay. Physical characteristics (density, specific gravity, porosity, natural and absolute moisture content), physico-chemical parameters (pH, Eh), chemical properties (loss on ignition, total organic and inorganic carbon, ash content, plant pigments, ammonium nitrogen, organic nitrogen, total and mineral phosphorus), and the grain-size distribution of the sediments were studied. Changes in the sedimentation regime and pollution of the bay bed under human impact were identified. Medium and coarse silt prevailed except for the southern part of the bay, where the proportion of fine sand increased gradually towards the southeast. The levels of organic matter and nutrient pollution of the sediments were assessed. The average content of organic matter in sediment samples was about 14 %. The concentrations of nitrogen, phosphorus, and plant pigments were relatively low. The distribution patterns of organic matter components over the bottom of Blagopoluchiya Bay exhibited higher concentrations of organic carbon, ammonium nitrogen, organic nitrogen, total phosphorus and chlorophyll-a in south-eastern coastal areas of the bay, while inorganic phosphorus occurred mainly in northern regions, near sewage outfall. The heaviest pollution was found in sediments at small craft moorings. These results can be used when planning dredging actions and reconstruction of piers, as well as organizing monitoring of the state of Blagopoluchiya Bay.

Keywords: Solovetsky Archipelago; Blagopoluchiya Bay; bottom sediments; grain-size and chemical composition; nutrient pollution

For citation: Belkina N. A., Pronina A. V., Morozova I. V., Gatalskaya E. V. Assessment of the nutrient pollution of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay (Bolshoy Solovetsky Island). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 113–126. doi: 10.17076/eco2196

Funding. The work was carried out within the framework of the state-funded research theme of the NWPI KarRC RAS “The state of the White Sea coastal ecosystem within the Solovetsky Archipelago” (FMEN 2024-0016).

Введение

Белое море – уникальный внутренний водоем, освоение ресурсов которого тесно связано с историей России. В настоящее время неуклонно растет стратегическое значение моря для нашей страны, связанное с развитием транспортной инфраструктуры Северного морского пути и добывающей промышленности в Арктике.

Соловецкие острова – самый крупный архипелаг Белого моря, расположенный в мелководной западной части Онежского залива. Его историко-культурный комплекс, включающий объекты Всемирного наследия ЮНЕСКО, привлекает паломников и туристов. Уязвимость экосистем Севера к внешнему воздействию и высокий уровень антропогенной нагрузки на острова являются основанием для проведения исследований современного состояния акватории моря в районе Соловецкого архипелага.

Большой Соловецкий – самый крупный остров на Белом море (площадь 225,28 км²). Юго-западный берег острова омывается водами Соловецкого залива, в вершине которого находится бухта Благополучия, защищенная островами Бабий, Вороний, Игуменский и другими [Лоция.... 1983]. На ее берегах расположено сельское поселение Соловецкое, основу экономики которого составляет туризм, деятельность строительных и реставрационных организаций, рыболовство, водорослеводство и слаборазвитое сельское хозяйство. В бухте Благополучия действует морской причал. По побережью проложена сеть грунтовых дорог. Восточный берег бухты занимает Спасо-Преображенский Соловецкий монастырь, основанный в начале XV века.

Мониторинг и оценка состояния прибрежных акваторий обычно предполагает проведение комплексных исследований по разным направлениям научной деятельности [Израэль,

1984; Петухов и др., 2011; Лискин, Римский-Корсаков, 2018; Аббасов, 2019]. В 2024 г. ИВПС КарНЦ РАН начал междисциплинарные исследования в бухте Благополучия [Лукина и др., 2025]. Показано, что в настоящее время воды бухты испытывают сильное антропогенное воздействие, связанное с поступлением неочищенных сточных вод поселения, продуктов неполного сгорания топлива от водного и наземного транспорта и домовых печей, золовых взвесей и площадного стока с селитебной территории, а также с рекреационной нагрузкой от паломническо-туристического потока. Кроме этого, в п. Соловецкий отсутствует система переработки твердых отходов; все отходы вывозятся на полигон, санитарно-защитная зона которого находится на территории поселения, что не соответствует законодательным нормам [Стратегия..., 2013; Одинцова и др., 2025].

Биогенное загрязнение бухты Благополучия отмечается в работах гидрохимиков разных лет [Комплексные..., 1994; Мохова и др., 2018; Лукина и др., 2025]. Наибольшее антропогенное воздействие испытывает кутовая часть бухты в фазу отлива, когда сточные воды разбавляются приливной волной и загрязняющие вещества разносятся по акватории течениями [Лукина и др., 2025]. При этом твердая часть стоков может осаждаться в локальных понижениях дна. Накопление загрязненных взвесей на дне водоемов имеет негативные последствия. В процессе захоронения происходит трансформация поступившего на дно взвешенного вещества и часть опасных для экосистемы загрязнителей возвращается в водную толщу [Белкина, 2015].

Целью нашего исследования является оценка уровня загрязнения донных отложений бухты Благополучия (о. Большой Соловецкий) органическим веществом и биогенными элементами.

Объект и методы исследования

Бухта Благополучия (65.025045° , 35.706284°) расположена на западном берегу о. Большой Соловецкий. В бухту впадает несколько водотоков. Берега ее сложены крупными валунами и песком, береговая линия сильно изрезана небольшими губами и мысами. На акватории бухты, площадь зеркала которой менее 1 км^2 , встречаются луды (небольшие каменистые островки) и корги (нагромождения камней, выступающие из воды). Рельеф дна сложный. В бухте Благополучия действует шесть пристаней – две большие (для пассажирских судов), куда подходит фарватерный ход с глубинами 5–6 м, и четыре

малые (для катеров и лодок). На входе в бухту глубины достигают 8–9 м с довольно существенным свалом глубин у южного берега. Резкий перепад глубины (3–4 м) наблюдается и у восточного берега. В северной и южной части акватории глубины не превышают 2 м [Лукина и др., 2025].

В период с 4 по 8 апреля 2025 г. в бухте Благополучия был осуществлен отбор поверхностных проб донных отложений лотом Воронкова. Сеть наблюдения представлена на рис. 1. 5 апреля 2025 года на станциях B02, B09 и B10 в фазу прилива отобраны пробы воды (поверхностный и придонный горизонты) для определения содержания CO_2 , O_2 и фосфора стандартными методами.

Изучение физических, физико-химических и химических характеристик донных отложений (плотность (d), удельная масса (плотность твердой фазы) (ρ), пористость (ϕ), естественная влажность (W_{20}), абсолютная влажность (W_{105}), pH , Eh , потери при прокаливании (ППП), общий органический углерод ($C_{\text{опр}}$), общий неорганический углерод ($C_{\text{неопр}}$), зольность (A^d), растительные пигменты (Chla , Chlb , Chlc , Phe), азот аммонийный (N_{NH_4}), азот органический ($N_{\text{опр}}$), фосфор минеральный ($P_{\text{мин}}$), фосфор общий ($P_{\text{общ}}$)) проводилось по общепринятым в мировой практике методикам [Аринушкина, 1982; Аналитические..., 2017; Палеолимнология..., 2022].

Анализ гранулометрического состава осадка проведен на лазерном анализаторе частиц LS 13 320 (BeckmanCoulter, США) в ЦКП КарНЦ РАН. Характеристика гранулометрического состава осадков приведена по Wentworth [1922].

Статистическая обработка результатов выполнена в программе GRADISTAT v. 9.1. Иллюстрации подготовлены с помощью программ Quantum GIS 3.24.0 и Microsoft Excel. Дополнительно были введены основные изобаты 0 (береговая линия), 2,3 и 4,6 м, которые дают представление о распределении глубин и характере рельефа дна.

Результаты и обсуждение

Пробы донных отложений, отобранные в бухте Благополучия, представляли собой темно-коричневый ил. Отложения были достаточно однородны по консистенции. Результаты обработки данных гранулометрического анализа даны в табл. 1 и на рис. 2. В целом донные отложения изученной акватории характеризуются преобладанием плохо сортированного среднего и крупного ила. Очень мелкий плохо сортированный песок залегает в южной части бухты.

Рис. 1. Положение станций отбора проб донных отложений в бухте Благополучия (о. Большой Соловецкий) с указанием глубины водоема

Fig. 1. The position of the sediment sampling stations in Blagopoluchiya Bay (Bolshoy Solovetsky Island) with the indication of the water body depth

Таблица 1. Характеристика гранулометрического состава донных отложений бухты Благополучия
Table 1. Grain size of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay

Станция Station	Средний размер частиц, мкм Average particle size, μm	Коэффициент сортировки Sorting coefficient	Коэффициент асимметрии Asymmetry coefficient	Медиана, мкм Median, μm
B01	22,7	3,34	-0,001	21,28
B02	22,85	3,37	-0,008	21,55
B03	34,5	3,89	-0,01	33,77
B04	22,51	3,49	0,002	20,69
B05	13,53	2,7	-0,096	13,51
B08	20,23	3,5	0,019	18,51
B09	34,5	3,92	-0,03	34,21
B10	31,19	3,9	-0,03	30,35
B11	21,77	3,28	-0,04	21,38
B12	36,75	3,96	-0,09	38,95
B13	25,9	3,72	0,06	23,03
B14	40,4	3,52	0,13	43,62
B15	76,8	4,06	-0,06	78,13
B16	32,45	3,77	0,001	31,09
B17	34,29	4,17	0,002	32,16

Окончание табл. 1

Table 1 (continued)

Станция Station	Средний размер частиц, мкм Average particle size, μm	Коэффициент сортировки Sorting coefficient	Коэффициент асимметрии Asymmetry coefficient	Медиана, мкм Median, μm
B18	21,82	3,34	-0,015	20,78
B19	28,78	3,94	-0,038	28,19
B21	18,87	3,12	-0,039	18,17
B22	22,52	3,52	0,003	20,71
B23	39,02	3,94	-0,14	43,29
B24	14,55	2,69	-0,13	14,87
B25	22,55	3,52	0,016	20,47
B26	22,2	3,72	0,01	19,97
B27	18,35	3	-0,041	17,84
B28	18,02	3	-0,02	17,24

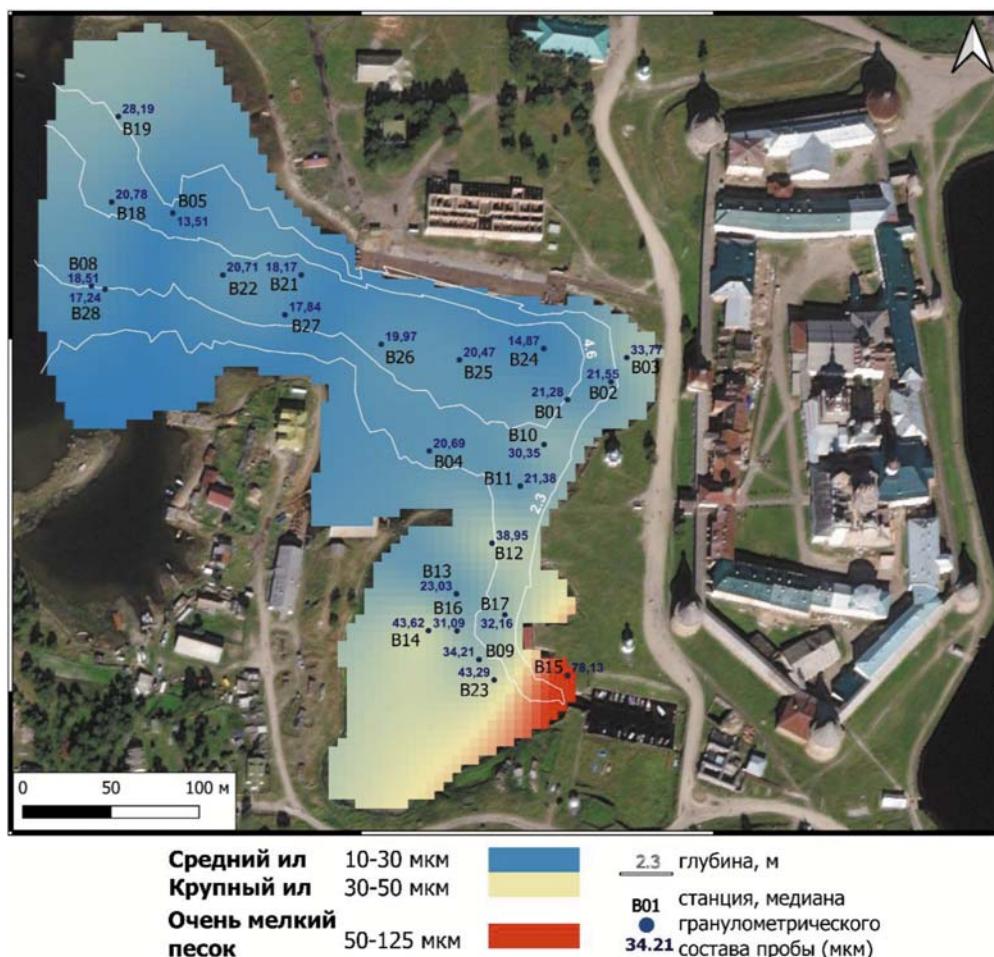


Рис. 2. Медианные значения размера частиц донных отложений бухты Благополучия

Fig. 2. Median values of the particle size of the bottom sediments in Blagopoluchiya Bay

По данным о донных отложениях в [Лоция..., 1983], бухта Благополучия отличалась благоприятным для судоходства песчано-галечным дном, которое обычно формируется за счет абразионных процессов в результате приливно-отливных течений. По результатам съемки

2025 г. во всех локальных понижениях дна мы зафиксировали наличие алевритовых осадков. Их накопление свидетельствует об изменении процесса формирования донных отложений бухты в результате хозяйственной деятельности человека.

Физические характеристики донных отложений бухты Благополучия представлены в табл. 2 и на рис. 3 и 4. Осадки характеризовались невысокой плотностью (от 1,07 до 1,51 г/мл со средним значением 1,25 г/мл), значительным разбросом естественной влажности (от 40,4 до 72,4 % со средним 59,6 %), пористости (от 0,62 до 0,86) и удельной массы (плотность твердой фазы) (от 1,26 до 2,64 г/см³ со средним 2,04 г/см³). Значения pH донных отложений были близкими для всех исследованных проб (от 6,8 до 7,0). В то же время значения Eh для донных отложений, залегающих в районе выпуска сточных вод и в южной мелководной части (среднее значение 170 мВ соответствует слабовосстановленным осадкам), были существенно ниже, чем значения Eh для донных отложений станций северо-восточной части бухты (среднее значение 340 мВ соответствует слабоокисленным осадкам).

Изучение химического состава (табл. 3) показало, что донные отложения являются минеральными осадками (зольность изменяется от 65 до 89 %, среднее значение 82,3 %). Исключением является только пробы со ст. B15 (южная часть бухты, рядом с лодочной стоянкой), где органическое вещество составляет треть осадка ($\text{ПП} = 31,2\%$, $C_{\text{орг}} = 15,4\%$). Для остальных станций содержание $C_{\text{орг}}$ изменяется от 3 до 9 % со средним значением 5,8 %. Содержание $C_{\text{неорг}}$ составляет доли процента от общей массы осадка. Качественный состав органического вещества отличается относительно высокими значениями показателей $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ (от 13 на ст. B13 до 29 на ст. B11) и низкими концентрациями растительных пигментов (где все дериваты представлены в равных долях), что говорит об аллохтонном генезисе органического вещества. Фосфор в осадке находится преимущественно в минеральной форме (от 54 до 95 %, со средним значением 75 %), что указывает и на активные процессы минерализации органического вещества в донных отложениях, и на его генезис (взвеси сточных вод). Площадное распределение минерального фосфора в донных отложениях (рис. 5) однозначно указывает на источник его поступления (выпуск сточных вод в северо-восточной части бухты).

Распределение показателей органического вещества в донных отложениях по площади дна, представленное на рис. 6–10, имеет иной характер, что указывает на активное развитие биологических процессов в мелководной кутовой части бухты вследствие особенностей динамики вод (разнос загрязнений по акватории, малые скорости течений) и малых глубин (прогрев мелководной зоны).

Все компоненты органического вещества ($C_{\text{орг}}$, N_{NH4} , $N_{\text{орг}}$, $P_{\text{мин}}$, $P_{\text{общ}}$, Chla) демонстрируют более высокие концентрации в осадках прибрежных районов юго-восточной части бухты. Наиболее интенсивное загрязнение донных отложений органическим веществом и биогенными элементами зафиксировано в районе стоянки маломерного флота.

Таблица 2. Физические характеристики поверхностного слоя донных отложений бухты Благополучия

Table 2. Physical characteristics of the surface layer of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay

Станция Station	d	ρ	ϕ	W_{20}	W_{105}
	г/мл g/ml	г/см ³ g/cm ³		%	%
B01	1,15	1,55	0,71	60,69	2,5
B02	1,28	2,47	0,80	61,65	2,5
B03	1,07	1,26	0,68	62,04	2,8
B04	1,25	2,12	0,77	60,74	2,6
B05	1,51	2,39	0,62	40,38	1,3
B08	1,39	2,52	0,74	52,22	1,9
B09	1,29	2,44	0,79	59,95	2,7
B10	1,18	1,76	0,75	63,13	2,7
B11	1,27	2,48	0,81	63,30	2,8
B12	1,25	1,84	0,69	54,09	2,3
B13	1,23	1,95	0,75	59,58	2,3
B14	1,15	1,69	0,77	66,14	3,4
B15	1,12	1,76	0,82	72,38	3,9
B16	1,17	1,80	0,77	65,23	2,9
B17	1,22	1,96	0,76	61,63	2,9
B18	1,34	2,35	0,74	54,57	1,9
B19	1,45	2,28	0,64	43,84	1,4
B21	1,24	1,94	0,73	58,26	2,3
B22	1,24	1,85	0,70	55,17	2,4
B23	1,25	2,34	0,80	63,35	3,0
B24	1,17	1,66	0,73	61,49	3,0
B25	1,15	1,79	0,80	68,10	2,8
B26	1,22	2,64	0,86	70,00	3,3
B27	1,29	2,14	0,73	55,96	2,2
B28	1,28	2,09	0,73	56,04	1,9
Минимум Min	1,07	1,26	0,62	40,38	1,3
Максимум Max	1,51	2,64	0,86	72,38	3,9
Среднее Average	1,25	2,04	0,75	59,60	2,5
Медиана Median	1,24	1,96	0,75	60,74	2,6

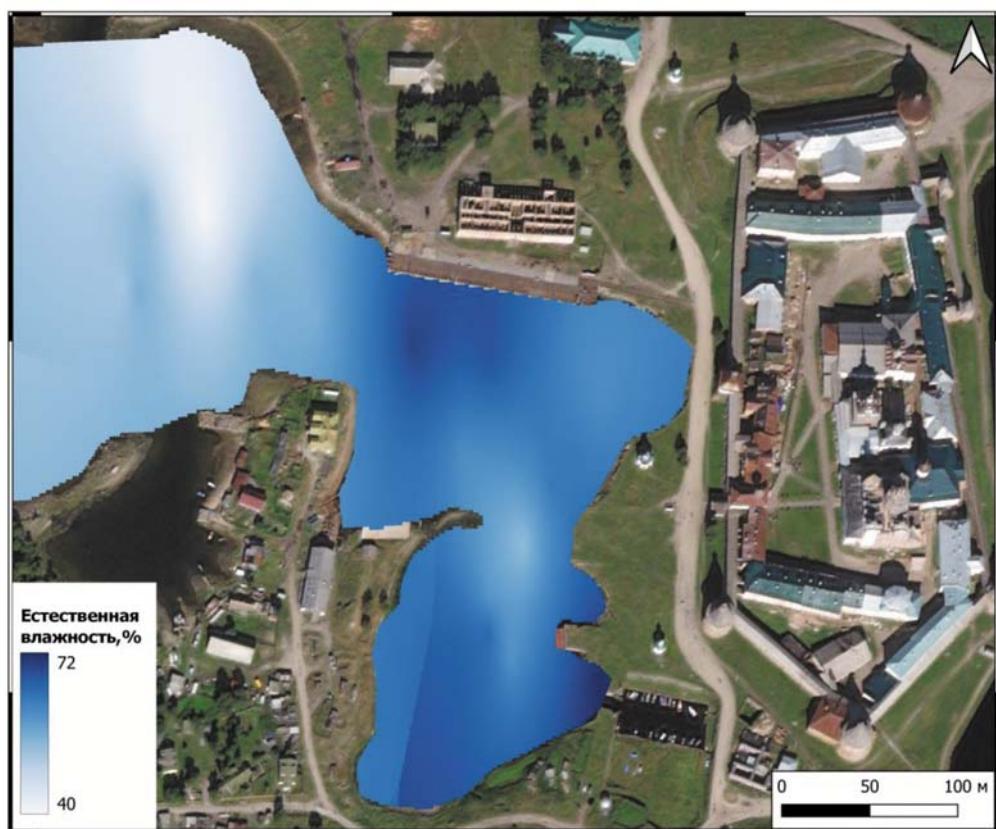


Рис. 3. Естественная влажность донных отложений бухты Благополучия

Fig. 3. Natural moisture content of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay

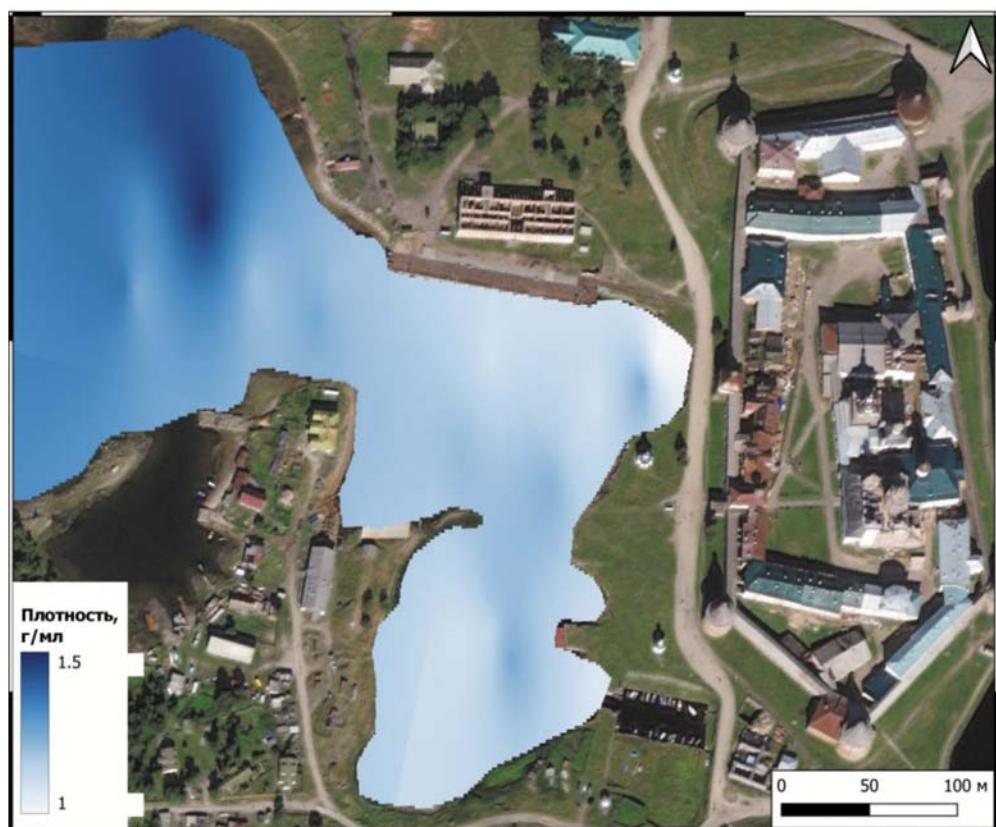


Рис. 4. Плотность донных отложений бухты Благополучия

Fig. 4. Density of sediments in Blagopoluchiya Bay

Таблица 3. Химический состав поверхностного слоя донных отложений бухты Благополучия, расчеты выполнены на воздушно-сухой вес осадка

Table 3. Chemical composition of the surface layer of bottom sediments in Blagopoluchiya Bay, the calculations were performed for the air-dry weight of the sediment

Станция Station	ППП	$C_{\text{opr}} / C_{\text{org}}$	$C_{\text{неорг}} / C_{\text{inorg}}$	N_{NH_4}	$N_{\text{opr}} / N_{\text{org}}$	A ^d	$P_{\text{мин}} / P_{\text{min}}$	$P_{\text{общ}} / P_{\text{tot}}$	Chla	Chlb	Chlc	Phe
	% %								мкг/г μg/g			
B01	14,81	7,1	0,000	0,027	0,36	81,12	0,070	0,095	35	29	46	41
B02	15,71	7,6	0,111	0,031	0,36	80,35	0,073	0,119	36	24	30	49
B03	17,69	8,4	0,000	-	0,48	77,85	0,086	0,106	-	-	-	-
B04	13,56	5,6	0,000	-	0,25	82,42	0,084	0,115	-	-	-	-
B05	7,62	3,3	0,006	-	0,20	88,90	0,049	0,076	-	-	-	-
B08	8,78	3,2	0,000	0,020	0,17	87,49	0,077	0,087	25	9	16	38
B09	15,88	7,2	0,000	0,030	0,36	79,81	0,066	0,114	46	32	57	54
B10	14,70	6,6	0,000	0,036	0,31	81,37	0,098	0,117	43	36	44	59
B11	14,67	6,3	0,000	0,031	0,25	81,29	0,103	0,123	44	31	53	52
B12	12,70	5,7	0,013	0,026	0,34	83,13	0,061	0,095	83	49	87	115
B13	13,43	5,7	0,000	0,046	0,53	82,52	0,085	0,102	54	21	36	74
B14	19,83	9,0	0,009	0,065	0,61	75,95	0,066	0,100	77	49	109	81
B15	31,21	15,4	0,000	0,104	0,95	65,00	0,090	0,154	121	61	127	125
B16	16,52	7,4	0,006	0,025	0,36	79,54	0,074	0,099	63	37	72	79
B17	15,40	6,7	0,000	0,034	0,39	79,94	0,085	0,114	41	20	20	65
B18	8,68	3,2	0,004	0,012	0,20	87,78	0,069	0,080	-	-	-	-
B19	7,93	3,4	0,004	0,020	0,20	88,72	0,071	0,100	22	7	10	34
B21	12,39	4,9	0,006	0,028	0,20	83,53	0,069	0,100	27	11	16	43
B22	10,74	4,1	0,002	0,028	0,20	85,11	0,080	0,107	29	10	17	44
B23	16,95	7,4	0,000	0,036	0,34	78,98	0,100	0,174	53	23	38	70
B24	12,96	5,1	0,000	-	0,22	82,65	0,112	0,121	-	-	-	-
B25	13,93	6,0	0,024	0,030	0,25	81,96	0,103	0,109	-	-	-	-
B26	13,36	5,6	0,017	0,034	0,22	82,30	0,096	0,101	28	38	26	43
B27	12,13	5,3	0,000	-	0,28	83,90	0,069	0,083	-	-	-	-
B28	8,99	3,4	0,003	0,019	0,22	87,71	0,070	0,094	25	10	17	37
Минимум Min	7,62	3,2	0,000	0,012	0,17	65,00	0,049	0,076	22	7	10	34
Максимум Max	31,21	15,4	0,111	0,104	0,95	88,90	0,112	0,174	121	61	127	125
Среднее Average	14,02	6,1	0,008	0,034	0,33	81,97	0,080	0,107	47	28	46	61
Медиана Median	13,56	5,7	0,000	0,030	0,28	82,30	0,077	0,102	42	27	37	53

Примечание. (-) – нет данных.

Note. (-) – no data.

Результаты анализов придонной и поверхностной воды, представленные в табл. 4, показали, что на всех станциях концентрация CO_2 в поверхностном слое была ниже, а концентрации O_2 и $P_{\text{общ}}$ – выше, чем в придонном слое воды. Высокие концентрации фосфора указывают на хозяйствственно-бытовое загрязнение вод бухты Благополучия. Поток сточных вод в период наблюдения распространялся по аква-

тории в поверхностном слое непосредственно подо льдом, морские воды – в придонном слое. Содержание и распределение фосфора в воде было сравнимо с наблюдениями, выполненными в августе 2024 года. На глубинах 1,3–2,3 м идентифицирован слой смешения сточных и морских вод с резкими градиентами температуры и солености. Стратификация вод сохранялась на всех фазах прилива [Лукина и др., 2025].

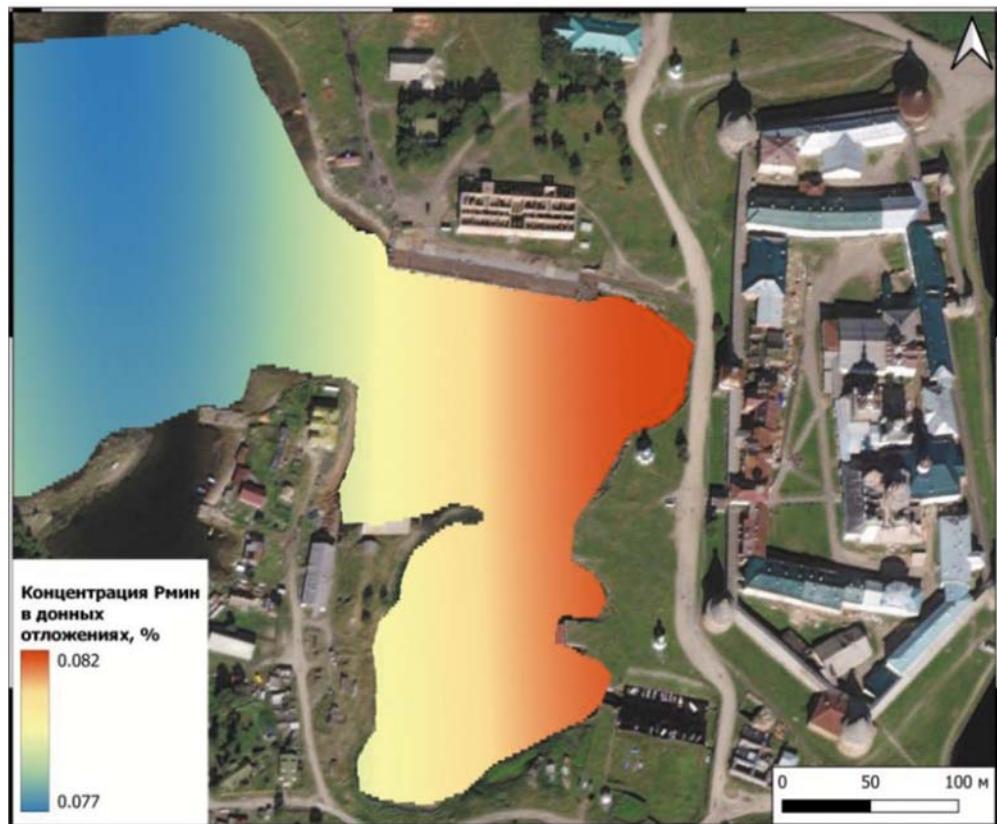


Рис. 5. Фосфор минеральный в донных отложениях бухты Благополучия

Fig. 5. Inorganic phosphorus in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

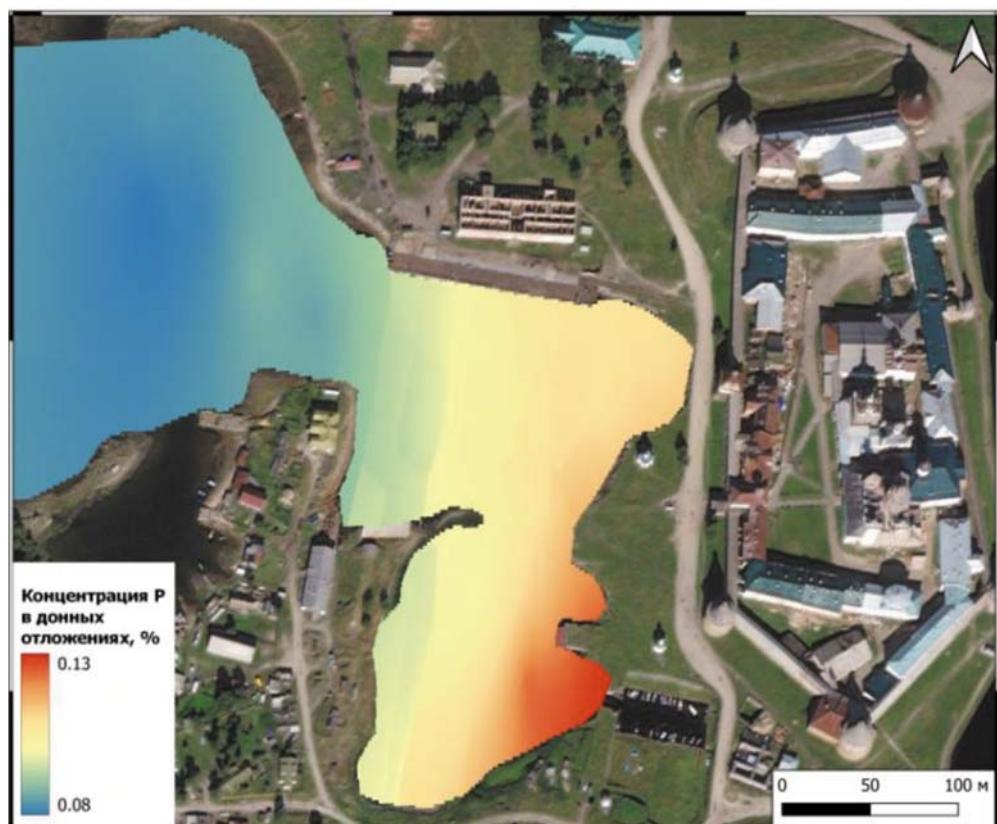


Рис. 6. Фосфор общий в донных отложениях бухты Благополучия

Fig. 6. Total phosphorus in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

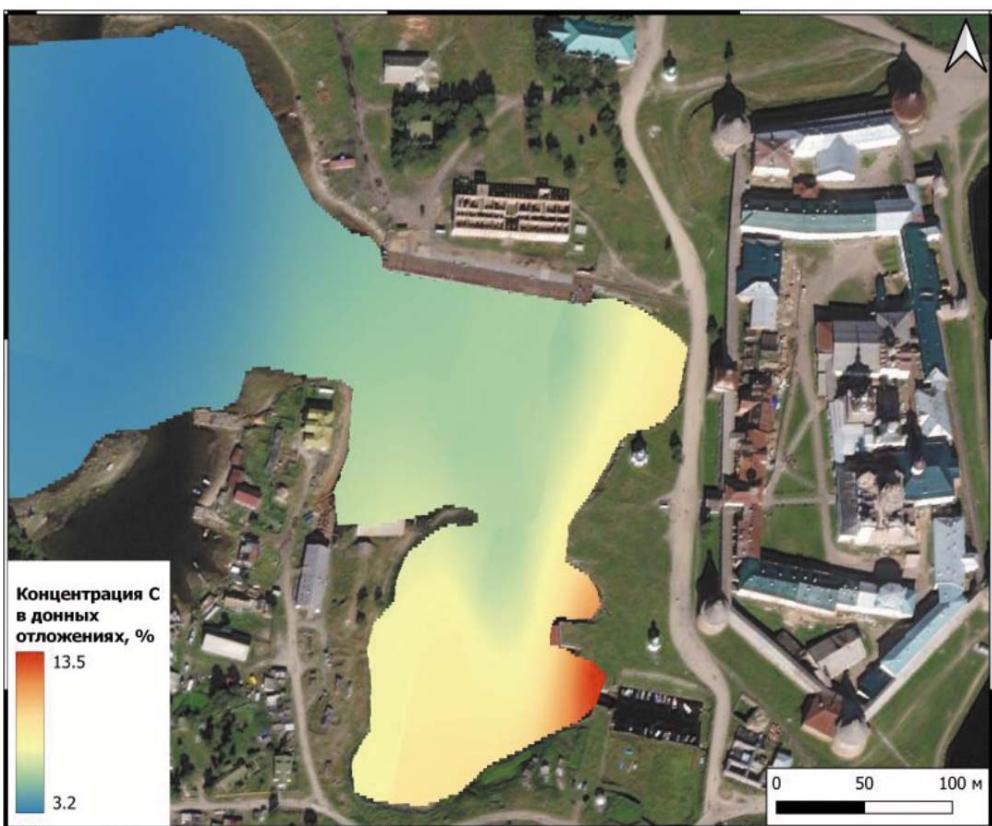


Рис. 7. Органический углерод в донных отложениях бухты Благополучия
Fig. 7. Organic carbon in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

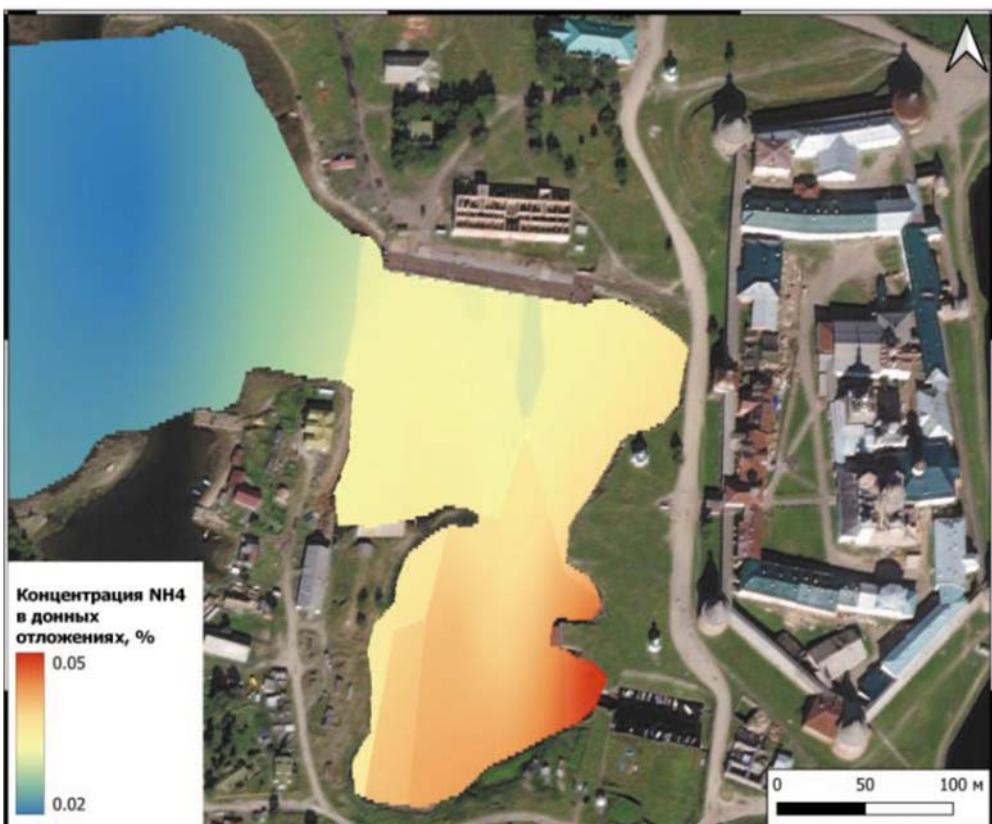


Рис. 8. Азот аммонийный в донных отложениях бухты Благополучия
Fig. 8. Ammonium nitrogen in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

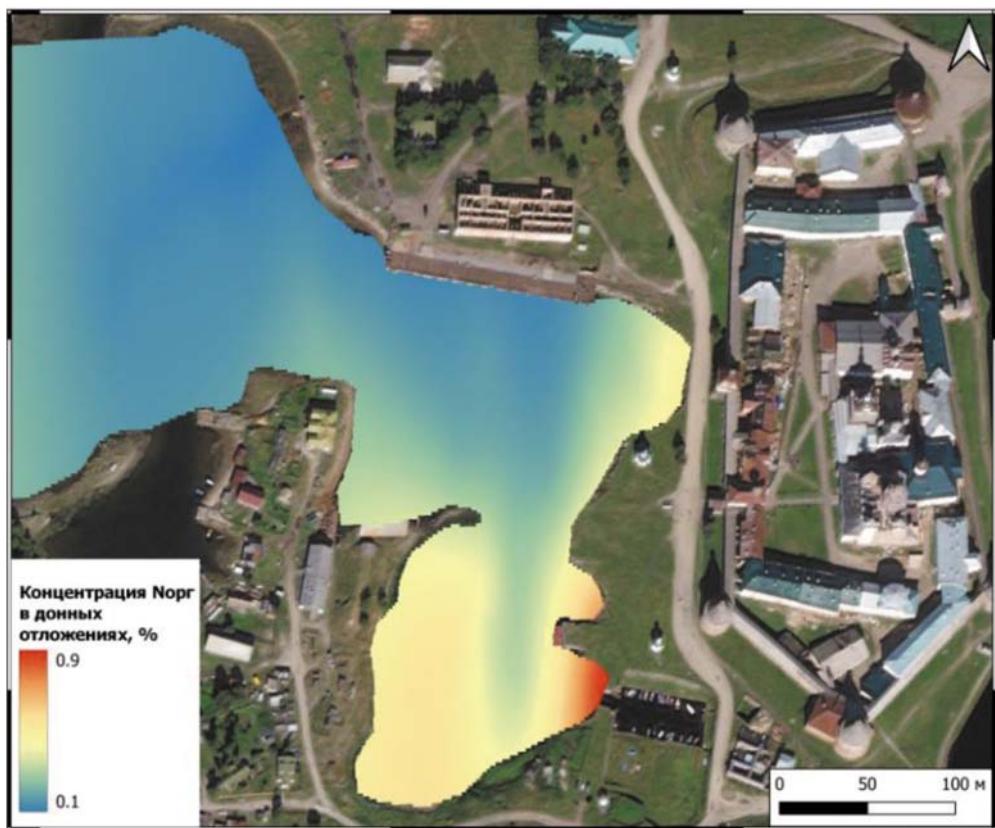


Рис. 9. Органический азот в донных отложениях бухты Благополучия

Fig. 9. Organic nitrogen in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

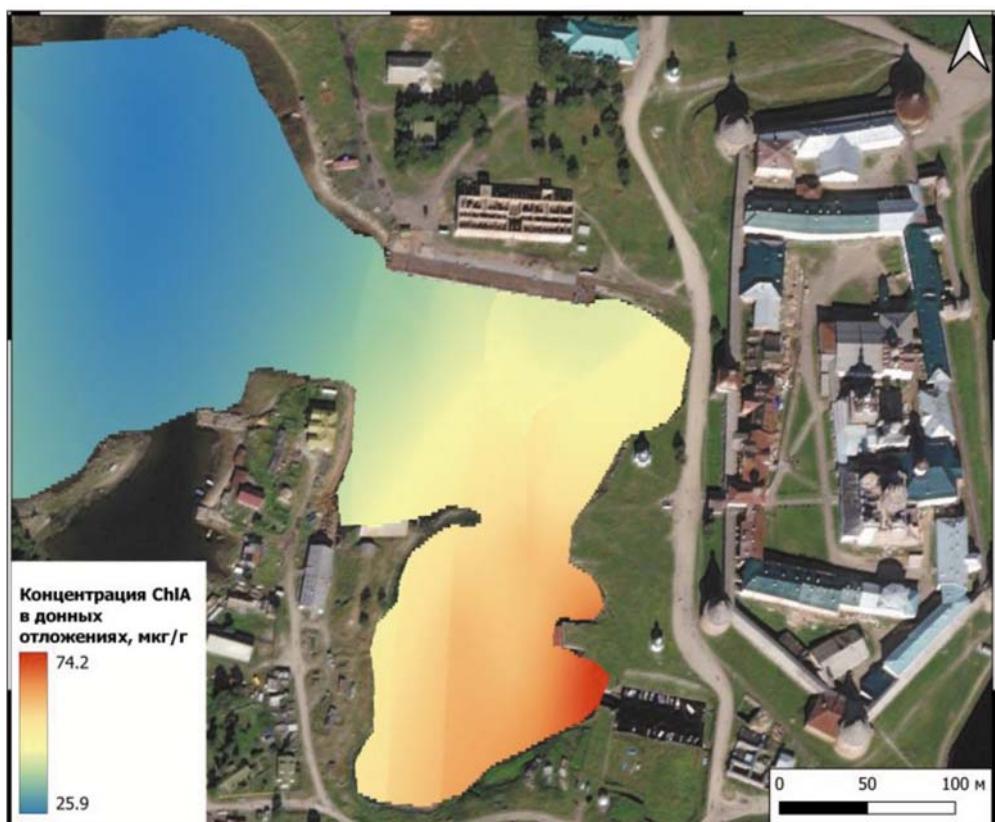


Рис. 10. Хлорофилл а в донных отложениях бухты Благополучия

Fig. 10. Chlorophyll a in bottom sediments of Blagopoluchiya Bay

Таблица 4. Концентрации CO₂, O₂ и P_{общ} в воде бухты БлагополучияTable 4. Concentrations of CO₂, O₂ and total phosphorus in the water of Blagopoluchiya Bay

Станция Station	Глубина, м Depth, m	Слой Layer	CO ₂ , мг/л CO ₂ , mg/l	O ₂ , мг/л O ₂ , mg/l	P _{общ} , мкг/л P _{tot} , µg/l
B02	4.5	поверхностный / surface	7,5	15,04	133,8
		придонный / bottom	9,5	13,63	25,3
B10	6	поверхностный / surface	5,7	15,47	93,6
		придонный / bottom	10	12,58	34,3
B09	3	поверхностный / surface	6,3	15,65	58,6
		придонный / bottom	7,8	13,99	37,6

Отмеченные здесь особенности динамики вод бухты Благополучия указывают на механизм распространения загрязненных вод по акватории с дальнейшим их выносом из бухты отливной волной. Качественный и количественный состав донных отложений показывает, что скорости течений невелики и позволяют загрязненным взвесям осаждаться на дно.

Выводы

1. Накопление в понижениях дна бухты Благополучия достаточно однородных по составу фракций алевритовых илов, в отличие от песчано-галечных отложений, зафиксированных в 1983 г., свидетельствует об изменении седиментационного режима водоема и загрязнении дна в результате антропогенного воздействия. Анализ гранулометрического состава донных отложений показал, что в поверхностных осадках преобладают илы средней и крупной размерности за исключением южной части бухты, где наблюдается постепенное увеличение доли мелкопесчаной фракции. С увеличением глубины закономерно уменьшается медианное значение размера частиц, осадок становится тоньше.

2. Выполнена оценка уровня загрязнения донных отложений акватории бухты Благополучия органическим веществом, биогенными элементами. Показано, что донные отложения бухты являются минеральными осадками. Содержание органического вещества в среднем составляет 14 %. Концентрации азота, фосфора и растительных пигментов невелики (0,3 %, 0,1 %, ΣChl = 120 мкг/г соответственно). Распределение показателей органического вещества в донных отложениях по площади дна бухты Благополучия выявило, что C_{opr}, N_{NH4}, N_{opr}, P_{общ} и Chla имеют более высокие

концентрации в осадках прибрежных районов юго-восточной части водоема, что определяется активным развитием производственных процессов в этой мелководной части залива. Наиболее интенсивное загрязнение донных отложений органическим веществом и биогенными элементами зафиксировано в районе стоянки маломерного флота. Распределение минерального фосфора в донных отложениях с максимумом концентрации в прибрежной зоне северо-восточной части бухты указывает на его поступление в бухту Благополучия в составе взвешенного вещества сточных вод.

3. Результаты исследования могут быть востребованы при планировании дноуглубительных работ и реконструкции пристаней, при организации мониторинга состояния бухты Благополучия.

Литература

Аббасов И. Б. Современные тенденции мониторинга водной среды прибрежных акваторий // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 1. С. 29–39. doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-29-39

Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Ред. П. А. Лозовик, Н. А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.

Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ; 1982. 487 с.

Белкина Н. А. Фосфор в донных отложениях Онежского озера // Известия Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена. 2015. № 173. С. 97–109.

Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеоиздат, 1984. 560 с.

Комплексные исследования экосистемы Белого моря: Сб. науч. трудов / Под ред. В. В. Сапожникова. М.: ВНИРО, 1994. 123 с.

Лискин В. А., Римский-Корсаков Н. А. Методы и средства ведения мониторинга акваторий в сегменте придонных исследований // Научное обозрение.

Технические науки. 2018. № 3. С. 26–31. doi: 10.17513/srts.1188

Лоция Белого моря. № 4766. Л.: Мин. обороны СССР, ГУНиО. 1983. 344 с.

Лукина Ю. Н., Здоровеннов Р. Э., Толстиков А. В., Галахина Н. Е., Богданов С. Р., Здоровеннова Г. Э. Особенности гидродинамического и гидрохимического режимов бухты Благополучия (Соловецкие острова Белого моря) в августе 2024 г. // Арктика: экология и экономика. 2025. Т. 15, № 2. С. 287–299. doi: 10.25283/2223-4594-2025-2-287-299

Мохова О. Н., Македонская И. Ю., Новикова Ю. В., Мельник Р. А. Оценка экологического состояния вод бухты Благополучия о. Соловецкий по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Экологическая химия. 2018. Вып. 27, № 5. С. 270–279.

Одинцова Е. А., Сабыров ы., Плотникова А. А., Вишневская В. А., Ловдина Т. А., Рудакова В. А. Мониторинг антропогенной нагрузки на водоемы поселения Соловецкое // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Материалы III Междунар. конф. (г. Казань, 20–23 мая 2025 г.). Казань: АН РТ, 2025. С. 468–472.

Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям / Министерство науки и высшего образования РФ, Министерство просвещения РФ, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Российский научный фонд; отв. ред. Д. А. Субетто. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. 332 с. doi: 10.17076/m-onegopaleo23

Петухов В. И., Минаев Д. Д., Лисицкая И. Г. Комплексные исследования экологического состояния морских акваторий // Подводные исследования и робототехника. 2011. Т. 12, № 2. С. 69–74.

Стратегия развития Соловецкого архипелага как уникального объекта духовного, историко-культурного и природного наследия (одобрена Распоряжением Правительства Архангельской области от 16.07.2013 г. № 310-рп).

Wentworth C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments // J. Geol. 1922. Vol. 30. P. 377–392. doi: 10.1086/622910

References

Abbasov I. B. Modern trends of monitoring the water environment of coastal areas. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon morya = Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of the Sea*. 2019;1:29–39. (In Russ.). doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-29-39

Arinushkina E. V. Manual for chemical analysis of soils. Moscow: MGU; 1982. 487 p. (In Russ.)

Belkina N. A. Phosphorus in bottom sediments of Lake Onega. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A. I. Gertsena = Izvestia: Herzen University Journal*. 2015;(173):97–109. (In Russ.)

Development Strategy of the Solovetsky Archipelago – a unique object of spiritual, historical, cultural and natural heritage, as an independent component of the Strategy for the Socio-Economic Development of the Arkhangelsk Region until 2030 (adopted by the Order of the Government of the Arkhangelsk Region dated 16.07.2013 No. 310-RP). (In Russ.)

Izrael' Yu. A. Ecology and control of the natural environment. Moscow: Hydrometeoizdat; 1984. 560 p. (In Russ.)

Liskin V. A., Rimskii-Korsakov N. A. Methods and tools for underwater area monitoring in near-bottom segment. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki = Scientific Review. Technical Sciences*. 2018;3:26–31. (In Russ.). doi: 10.17513/srts.1188

Lozovik P. A., Efremenko N. A. (eds.). Analytical, kinetic and computational methods in hydrochemical practice. St. Petersburg: Nestor-Istoriya; 2017. 272 p. (In Russ.)

Lukina Yu. N., Zdorovennov R. E., Tolstikov A. V., Galakhina N. E., Bogdanov S. R., Zdorovennova G. E. Features of hydrodynamic and hydrochemical regimes of Blagopoluchiya Bay (Solovetsky Islands, White Sea) in August 2024. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economy*. 2025;15(2):287–299. (In Russ.). doi: 10.25283/2223-4594-2025-2-287-299

Mokhova O. N., Makedonskaya I. Yu., Novikova Yu. V., Mel'nik R. A. Estimation of hydrochemical and hydrobiological aspects of the environment in Blagopoluchiya Bay of the Solovetsky Island. *Ekologicheskaya khimiya = Environmental Chemistry*. 2018;27(5):270–279. (In Russ.)

Navigation chart of the White Sea. No. 4766. Leningrad: Min. oborony SSSR, GUNiO.; 1983. 344 p. (In Russ.)

Odintsova E. A., Sabyrov Y., Plotnikova A. A., Vishnevskaya V. A., Lovdina T. A., Rudakova V. A. Monitoring anthropogenic load on water bodies of the Solovetskoe settlement. *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya: Materialy III Mezdunar. konf. (g. Kazan', 20–23 maya 2025 g.) = Lakes of Eurasia: problems and solutions: Proceedings III int. conf. (Kazan, May 20-23, 2025)*. Kazan: AN RT; 2025. P. 468–472. (In Russ.)

Petukhov V. I., Minaev D. D., Lisitskaya I. G. Integrated research of the environmental state of marine aquatic areas. *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika = Underwater Research and Robotics*. 2011;12(2):69–74. (In Russ.)

Sapozhnikov V. V. (ed.). Complex studies of the White Sea ecosystem: Proceedings. Moscow: VNIRO; 1994. 123 p. (In Russ.)

Subetto D. A. (ed.). Paleolimnology of Lake Onego: from the Onego ice lake to the present state: a collective monograph. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2022. 332 p. (In Russ.). doi: 10.17076/m-onegopaleo23

Wentworth C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* 1922;30:377–392. doi: 10.1086/622910

Поступила в редакцию / received: 26.08.2025; принята к публикации / accepted: 03.09.2025.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Белкина Наталья Александровна

д-р геогр. наук, ведущий научный сотрудник,
руководитель группы исследований донных отложений

e-mail: bel110863@mail.ru

Пронина Анастасия Викторовна

аспирант, стажер-исследователь

e-mail: anastasiya.2802@mail.ru

Гатальская Екатерина Владимировна

младший научный сотрудник

e-mail: katusha9210@yandex.ru

Морозова Ирина Валерьевна

младший научный сотрудник

e-mail: ivm1502@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Belkina, Natalya

Dr. Sci. (Geog.), Leading Researcher, Head of Sediment Research Group

Pronina, Anastasiya

Doctoral Student, Research Probationer

Gatalskaya, Ekaterina

Junior Researcher

Morozova, Irina

Junior Researcher

УДК 633.268 (470.11)

СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *ALOPECURUS ARUNDINACEUS* POIR. НА ТЕРРИТОРИИ ОСТРОВА БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ) ПРИ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Н. М. Казнина*, К. Б. Таскина, А. А. Игнатенко

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),
*kaznina@krc.karelia.ru

Антропогенная нагрузка на Большой Соловецкий остров постоянно увеличивается, что связано с активной хозяйственной деятельностью, ведущейся на острове, и заметным повышением за последние десять лет количества туристов. Это отрицательно сказывается на растительном покрове территории, приводя к изменению или нарушению ценопопуляций отдельных видов и целых растительных сообществ. Негативное антропогенное воздействие на растительность усугубляют неблагоприятные природные условия, в том числе низкие температуры и короткий вегетационный сезон. Тщательное изучение состояния отдельных видов растений, произрастающих на острове, и их ценопопуляций, позволит не только определить степень антропогенного воздействия на растительность, но и оценить опасность ее дальнейшего повышения. В рамках настоящего исследования изучено состояние одного из доминирующих на приморских лугах видов растений – лисохвоста тростникового (*Alopecurus arundinaceus* Poir.) на участках с разной степенью антропогенной нагрузки. Оценку состояния растений выполняли на основании ряда показателей роста генеративного побега. Для оценки жизненности ценопопуляций использовали индекс виталитета (IVC). Уровень внутривидовой изменчивости признаков оценивали по величине коэффициента вариации. Обнаружено, что на участке с сильным антропогенным загрязнением растения имеют признаки угнетенного состояния, в частности, у них отмечены меньшие, чем на условно чистом участке, высота побега и его биомасса, размеры подфлагового и флагового листьев, а также длина соцветия, что отрицательно сказывается на продуктивности и возобновляемости данной ценопопуляции, а малое значение индекса IVC свидетельствует о ее низкой жизненности. На участке со средним уровнем загрязнения состояние растений можно оценить как удовлетворительное. Изучаемые морфологические признаки у них практически не отличались от имеющихся у растений на условно чистом участке, но, судя по величине индекса IVC и низким значениям вариабельности морфологических признаков, можно предположить, что в случае усиления антропогенной нагрузки состояние данной ценопопуляции будет ухудшаться.

Ключевые слова: *Alopecurus arundinaceus*; Соловецкий архипелаг; антропогенное загрязнение; морфологические показатели побега; жизненность ценопопуляции

Для цитирования: Казнина Н. М., Таскина К. Б., Игнатенко А. А. Состояние ценопопуляций *Alopecurus arundinaceus* Poir. на территории острова Большой Соловецкий (Архангельская область) при разной степени антропогенной нагрузки // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 127–136. doi: 10.17076/eco2202

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2024-0016).

N. M. Kaznina*, K. B. Taskina, A. A. Ignatenko. VITALITY OF ALOPECURUS ARUNDINACEUS POIR. CENOPOPULATIONS ON BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND (ARKHANGELSK REGION) UNDER VARIOUS LEVELS OF ANTHROPOGENIC PRESSURE

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *kaznina@krc.karelia.ru*

Human impact on Bolshoy Solovetsky Island of the Solovetsky Archipelago is constantly growing due to long-term economic activity on the island and a rising tourist traffic. This impact results in noticeable damage to the vegetation in some areas, which is aggravated by unfavorable natural conditions, including low temperatures and a short growing season. Hence, thorough study of the state of individual plant species and their populations in specific habitats on the island will help determine the severity of anthropogenic impact on vegetation and assess the risk of its further intensification. In this study, we explored the well-being of one of the dominant plant species in coastal meadows – the creeping foxtail (*Alopecurus arundinaceus* Poir.), in areas under varying degrees of anthropogenic pressure. The assessment was based on a number of parameters of generative shoot growth. The vitality index (IVC) was applied for the cenopopulations. The intrapopulation variability of traits was estimated by the coefficient of variation. Plants in the heavily polluted area exhibited signs of stunted growth. In particular, they had lower shoot height and biomass, smaller subflag and flag leaves, as well as shorter inflorescences than plants in relatively clean site. Thus, the productivity and sustainability of this cenopopulation was affected, and the low value of the IVC index indicated its low vitality. The well-being of plants in the site with medium-level pollution can be evaluated as satisfactory: the morphological attributes were nearly the same as in plants of the relatively clean site. Yet, the value of the IVC index and the low coefficient of variation of morphological traits suggest that if the impact grows heavier, the well-being of this cenopopulation will be degraded.

Keywords: *Alopecurus arundinaceus*; Solovetsky Archipelago; anthropogenic pollution; morphological parameters of the shoot; vitality of the cenopopulation

For citation: Kaznina N. M., Taskina K. B., Ignatenko A. A. Vitality of *Alopecurus arundinaceus* Poir. cenopopulations on Bolshoy Solovetsky Island (Arkhangelsk Region) under various levels of anthropogenic pressure. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 127–136. doi: 10.17076/eco2202

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (FMEN-2024-0016).

Введение

Одной из важнейших экологических проблем современности является загрязнение окружающей среды различными поллютантами, связанное с активной хозяйственной деятельностью человека. Большое количество

разных источников антропогенных выбросов и многообразие видов отходов отрицательно сказываются на состоянии естественных биоценозов [Лянгузова, 2016]. Растения в силу прикрепленного образа жизни в значительной степени подвержены антропогенному воздействию. Даже относительно небольшое

увеличение содержания некоторых поллютантов в почве, воде и воздухе вызывает у растений целый ряд изменений в физиологических процессах, приводя к снижению их продуктивности и, как следствие, нарушению или даже полной деградации растительных сообществ [Papazian, Blande, 2020]. Экосистемы Севера очень чувствительны к возрастанию антропогенного прессинга. Почвенно-климатические особенности (низкие температуры, небогатые по минеральному составу почвы и др.), а также медленное восстановление биоты делают северные регионы уязвимыми к любого рода загрязнениям [Богданович и др., 2014; Федорец, Бахмет, 2016; Lyanguzova et al., 2018]. Постоянный мониторинг флоры и оценка жизненного состояния отдельных видов растений и их ценопопуляций на территориях с высоким уровнем антропогенной нагрузки позволяют своевременно выявлять опасность деградации растительного покрова.

Соловецкий архипелаг – крупнейшая островная территория в акватории Белого моря. Острова Соловецкого архипелага не подвергались промышленному воздействию, однако на протяжении многих лет здесь ведется хозяйственная деятельность человека [Струсовская, 2012]. Кроме того, Соловецкие острова, и прежде всего остров Большой Соловецкий, являются популярной туристической зоной. Туристическая нагрузка на территорию архипелага постоянно возрастает, и если в 2000 году количество посетителей составило 10 тыс. человек, то в 2024 году, по данным информационного агентства «Регион 29», – 64 170 человек [На Соловках..., 2025]. Наибольшему антропогенному воздействию подвержены морская акватория и природные ландшафты вблизи поселка Соловецкий и вдоль популярных туристических маршрутов [Полинкина, 2007]. Среди основных источников антропогенного загрязнения острова – сточные воды, свалки бытовых отходов, дизельная электростанция, автомобильный и морской транспорт. В результате его территории загрязнена органическими отходами, нефтепродуктами, тяжелыми металлами. Так, на некоторых участках острова обнаружено значительное увеличение в почве и растениях содержания таких тяжелых металлов, как Pb, Zn и Cu, превышение ПДК и фоновых значений по которым достигает критических величин [Попова и др., 2016]. Помимо этого, погодные условия острова отрицательно сказываются на восстановлении растительных сообществ. Климат Соловецкого архипелага характеризуется продолжительным холодным периодом

и коротким летом. Вегетационный сезон (с температурой выше 5 °C), в течение которого создаются условия для роста и развития растений, составляет всего 128 дней [Болотов и др., 2007]. При этом в течение вегетации преобладают холодные ветра северо-восточного направления. Отметим также охлаждающее воздействие Белого моря в результате поднятия придонных холодных вод [Океанографические..., 1991].

Среди растительных сообществ острова Большой Соловецкий определенный интерес представляют разнотравно-злаковые так называемые приморские луга. Они находятся вдоль приливно-отливной зоны и на некоторых участках острова подвергаются антропогенному воздействию. Это, в частности, выбросы сточных вод, бытовые отходы, выбросы от работы водного и автомобильного транспорта и др. Высоким обилием здесь характеризуются *Festuca ovina* L., *F. arenaria* Osbeck, *Elytrigia repens* (L.) Nevski и *A. arundinaceus* Poir. [Болотова и др., 2007]. На сегодняшний день состояние ценопопуляций этих видов на территории острова не изучено, вместе с тем такого рода исследования позволяют определить степень антропогенной нагрузки на наиболее посещаемые туристами участки острова и опасность дальнейшего ее повышения.

Целью исследований явилось изучение жизненного состояния растений и ценопопуляций *Alopecurus arundinaceus* острова Большой Соловецкий на участках с разной степенью антропогенной нагрузки.

Материалы и методы

Исследования проведены на территории острова Большой Соловецкий в июне 2025 года. На острове были заложены три пробные площади (ПП) по 300 м² с разной степенью антропогенной нагрузки (рис. 1): ПП 1 (N65°00'726", E35°42'559") – условно чистый участок, находящийся вдали от хозяйственной деятельности и туристических потоков; ПП 2 (N65°01'449", E35°41'885") – участок со средней степенью антропогенного загрязнения, расположенный в активной туристической зоне; ПП 3 (N65°01'401", E35°42'263") – участок с сильной степенью антропогенного загрязнения вследствие выбросов сточных вод и повышенного содержания в почве Pb, Zn и Cu [Попова и др., 2016].

На каждой пробной площади выделяли три учетные площадки размером 1×1 м в зоне приморских лугов, где доминирующим видом был лисохвост тростниковый (*Alopecurus*

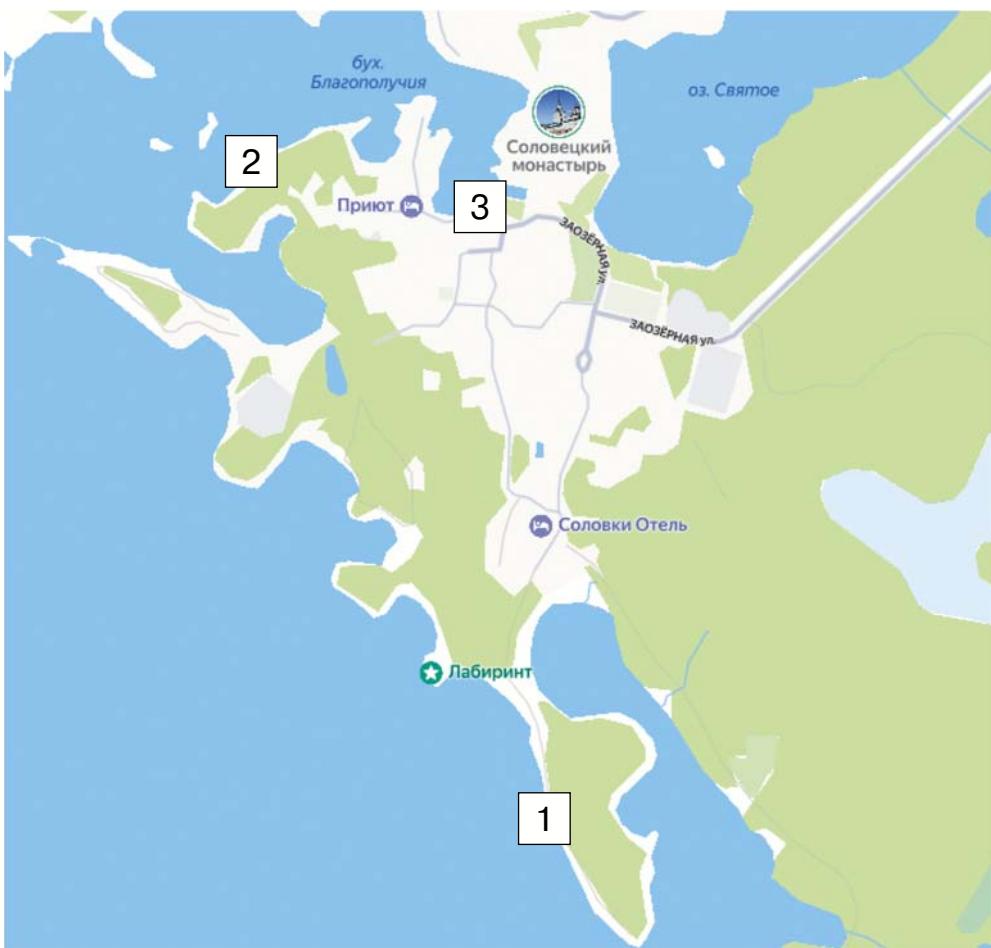


Рис. 1. Схематическая карта района исследований и места отбора проб:

1, 2 и 3 – месторасположение пробных площадей (ПП). Здесь и далее: ПП 1 – условно чистый участок, ПП 2 – участок со средним уровнем антропогенной нагрузки, ПП 3 – участок с высоким уровнем антропогенной нагрузки

Fig. 1. Schematic map of the research area and sampling sites:

1, 2 and 3 – location of the sampling sites (PP). PP 1 is a relatively clean site, PP 2 is a site with an average level of anthropogenic load, PP 3 is a site with a high level of anthropogenic load

arundinaceus) – евразийский бореальный вид, который является гемикриптофитом, гигромезофитом, галофитом. Это многолетнее травянистое рыхлодерновинное растение с ползучими побегами и серовато- или сизовато-зелеными листьями. Для него характерно семенное и вегетативное размножение. Произрастает на пойменных, приозерных, засоленных, солонцеватых лугах, по берегам рек и водоемов [Федорова, 2019].

Оценку состояния растений выполняли на основании следующих показателей роста генеративного побега: высота и биомасса, размеры листовой пластинки подфлагового и флагового листьев, длина и ширина соцветия. Площадь листовой пластинки вычисляли по формуле $S = 2/3ld$, где l – длина (см), d – ширина листовой пластинки (см) [Аникиев, Кутузов, 1961].

Для оценки жизненности ценопопуляций *A. arundinaceus* использовали популяционный индекс – индекс виталитета ценопопуляций (IVC), рассчитываемый по размерным спектрам составляющих ценопопуляции особей генеративного состояния. Индекс рассчитывали по формуле:

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{X_i}{\bar{X}_i}}{N},$$

где X_i – среднее значение i -го признака в ценопопуляции, \bar{X}_i – среднее значение i -го признака для всех ценопопуляций, N – число признаков.

Наибольшее значение индекса соответствует лучшим условиям реализации ростовых потенций, наименьшее – худшим условиям [Ишибирдин, Ишмуратова, 2004; Федорова, 2019].

Уровень внутрипопуляционной изменчивости признаков оценивали по величине коэффициента вариации (V , %). Объем выборки в пределах одной учетной площадки составлял 8 растений.

На рисунках и в таблице 1 данные представлены как средние значения \pm стандартные отклонения. Для оценки типа распределения данных использовали W-тест Шапиро – Уилка (Shapiro-Wilk's W-test), однородность групповых дисперсий оценивали с помощью теста Левена (Levene's test). При нормальном распределении данных и однородности дисперсий статистическую значимость различий между средними величинами оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (One-Way ANOVA test) с последующим попарным сравнением средних с использованием критерия Тьюки (Tukey's HSD test, $p < 0,05$). При нормальном распределении данных и неоднородности дисперсий статистическую значимость различий между средними величинами оценивали с помощью t-критерия Уэлча с поправкой Холма (Welch's t-test with Holm's adjustment, $p < 0,05$). Разными латинскими буквами отмечены статистически значимые отличия средних значений.

Результаты и обсуждение

Известно, что об уровне антропогенной нагрузки на урбанизированные территории можно

судить по состоянию произрастающей там растительности и/или отдельных видов растений, которое оценивается по изменению их морфологических признаков, появлению различных деформаций органов, хлорозов и некрозов листьев, снижению продуктивности. На основе этих изменений создан биоиндикационный метод изучения степени антропогенного влияния на природную среду [Биоиндикация..., 1988]. Как правило, у травянистых растений при увеличении степени загрязнения территорий поллютантами отмечается торможение роста и снижение продуктивности. Так, указанные эффекты наблюдали у *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. [Pietrini et al., 2003], *Matricaria chamomilla* L. [Прокопьев и др., 2014] и *Taraxacum officinale* Wigg. s.l [Жуйкова, 2009]. В наших исследованиях у *A. arundinaceus* на участке со средним (ПП 2) и сильным (ПП 3) уровнем антропогенной нагрузки также уменьшалась высота побега (в 1,1 и 1,5 раза соответственно по сравнению с условно чистой территорией) (рис. 2, а) и его биомасса (соответственно в 1,9 и 2 раза) (рис. 2, б).

Большой вклад в формирование продуктивности растений вносят листья, что связано с их основной фотосинтезирующей функцией. У многолетних злаков важными являются подфлаговый и флаговый лист как основные «поставщики» ассимилятов для формирования колоса и семян [Куперман, 1984; Табаленкова, 2007].

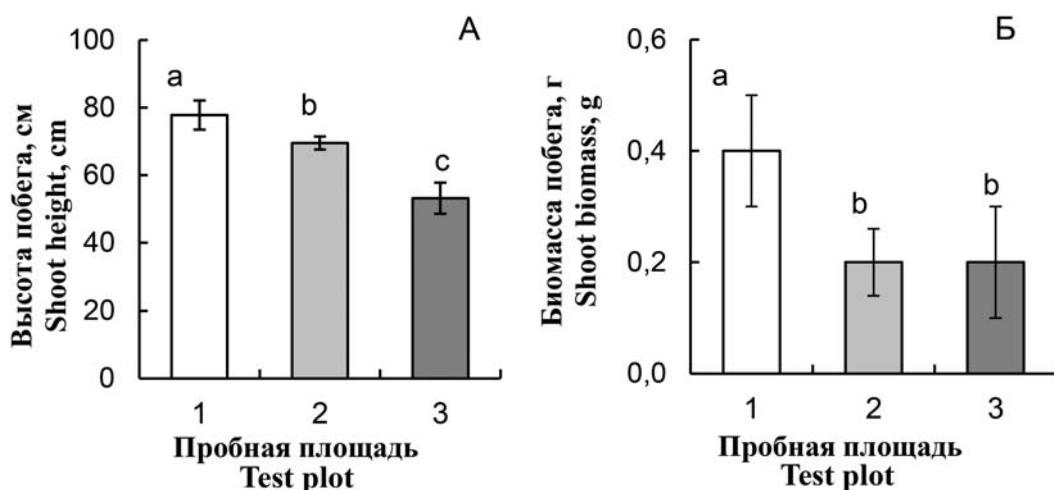


Рис. 2. Высота побега (А) и его биомасса (Б) у *Alopecurus arundinaceus* при разном уровне антропогенной нагрузки.

Здесь, в табл. 1 и на рис. 3 разными латинскими буквами отмечены статистически значимые отличия между средними значениями при $p < 0,05$

*Fig. 2. The height of the shoot (A) and its biomass (B) in *Alopecurus arundinaceus* at different levels of anthropogenic load.*

Here, in Table 1 and Fig. 3 statistically significant differences between the mean values are marked with different Latin letters at $p < 0.05$

Изучение морфологических показателей подфлагового и флагового листьев у растений *A. arundinaceus*, произрастающих на разных по степени антропогенной нагрузки территориях, показало, что их длина, ширина и площадь уменьшались по мере увеличения степени загрязнения участка, однако значимые различия отмечались только между условно чистой (ПП1) и наиболее антропогенно загрязненной (ПП3) площадками (табл. 1). В частности, длина подфлагового листа у растений на ПП3 была в 1,5 раза меньше, чем на ПП1, ширина – в 1,6 раза; у флагового листа – в 1,4 и 1,8 раза соответственно. Площадь обоих листьев оказалась в 2,5 раза меньше на ПП3 по сравнению с ПП1.

Уменьшение размеров листовой пластинки в условиях антропогенного загрязнения отмечалось в целом ряде исследований [Wuytack et al., 2011; Казнина и др., 2015; Mehmood et al., 2024]. Подобный эффект может быть связан с отрицательным воздействием некоторых поллютантов, в частности тяжелых металлов, на деление и растяжение клеток, с недостаточным поступлением элементов минерального питания и воды вследствие уменьшения размеров корневой системы и/или нарушения поглощения и транспорта ионов [Burzynski, Klobus, 2004].

О влиянии антропогенного загрязнения на репродуктивные органы многолетних злаков

сведений в литературе крайне мало. Вместе с тем известно, что у этих видов размеры соцветия являются наиболее стабильными в неблагоприятных условиях внешней среды признаками [Калинина, Лайдинен, 1997]. Ранее нами обнаружено, что, например, у *Dactylis glomerata* L. на загрязненных тяжелыми металлами территориях длина соцветия оставалась практически такой же, как и на чистых участках [Казнина и др., 2015], тогда как у *Phleum pratense* L. она заметно уменьшалась с увеличением уровня загрязнения [Казнина и др., 2009]. В ходе проведения настоящего исследования установлено, что на участке со средним уровнем антропогенного воздействия (ПП 2) длина соцветия практически не отличалась от таковой у растений условно чистой территории (ПП 1), тогда как на наиболее загрязненном участке (ПП 3) она оказалась почти в 2 раза меньше (рис. 3, а). Ширина соцветия была несколько выше у растений с ПП 2 (рис. 3, б). Уменьшение размеров соцветия, наблюдаемое в большей степени на сильно загрязненном участке, в дальнейшем негативно отразится на семенной продуктивности растений.

Помимо оценки состояния отдельных особей, растущих на антропогенно нарушенных территориях, важно определить жизненность и устойчивость к этим условиям всей ценопопуляции вида. Жизненность ценопопуляции (жизненное состояние) – это приспособленность данного вида растений к окружающей обстановке. Она показывает, является ли обстановка для вида благоприятной или нет [Фардеева, Гиниятуллина, 2012]. Определение жизненного состояния позволяет сравнивать ценопопуляции вида в разных условиях произрастания [Изучение..., 2016]. Для этого применяют методы градиентного анализа, к которым относится расчет индекса виталитета ценопопуляций (IVC). Например, сравнение значений IVC двух ценопопуляций степного злака *Psathyrostachys caespitosa* (Sukacz.) Peschkova показало существенные различия их виталитетных состояний, что определялось разными условиями произрастания (разным мезорельефом склонов), а также различной степенью антропогенного воздействия [Кардашевская, Егорова, 2024].

В проведенном исследовании жизненность оценивали по индексу виталитета ценопопуляций *A. arundinaceus*, который рассчитывали на основе всех изученных морфометрических показателей генеративного побега. Наибольшее значение IVC (1,38) выявлено у ценопопуляции, произрастающей на условно чистом участке (ПП 1), что свидетельствует о благоприятных условиях для роста и развития растений

Таблица 1. Размеры подфлагового и флагового листьев у *Alopecurus arundinaceus* при разном уровне антропогенной нагрузки

Table 1. The sizes of the subflag and flag leaves in *Alopecurus arundinaceus* at different levels of anthropogenic load

Показатель Parameter	Пробная площадь Test plot		
	1	2	3
Подфлаговый лист Subflag leaf			
Длина листа, см Leaf length, cm	18,9 ± 5,2 ^a	15,0 ± 4,3 ^{ab}	12,2 ± 1,8 ^b
Ширина листа, см Leaf width, cm	1,6 ± 0,3 ^a	1,4 ± 0,1 ^a	1,0 ± 0,1 ^b
Площадь листа, см ² Leaf area, sm ²	20,9 ± 8,7 ^a	13,9 ± 4,2 ^a	8,4 ± 2,0 ^b
Флаговый лист Flag leaf			
Длина листа, см Leaf length, cm	12,5 ± 4,1 ^a	9,6 ± 2,4 ^a	9,0 ± 2,6 ^a
Ширина листа, см Leaf width, cm	1,4 ± 0,3 ^a	1,0 ± 0,1 ^{ab}	0,8 ± 0,1 ^b
Площадь листа, см ² Leaf area, sm ²	11,9 ± 7,6 ^a	6,7 ± 2,6 ^b	4,8 ± 2,1 ^b

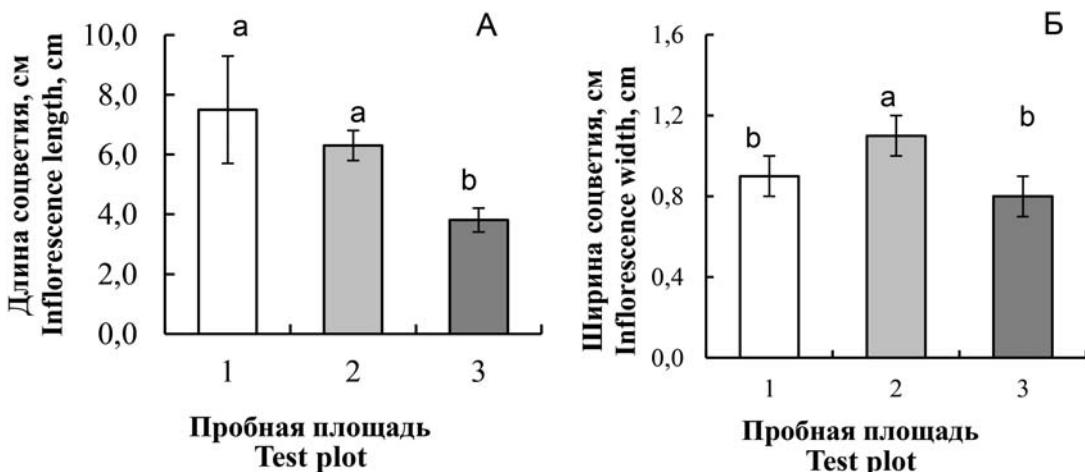


Рис. 3. Длина (А) и ширина (Б) соцветия у *Alopecurus arundinaceus* при разном уровне антропогенной нагрузки

Fig. 3. The length (A) and width (B) of inflorescences in *Alopecurus arundinaceus* at different levels of anthropogenic load

(табл. 2). Ценопопуляция на участке со средним уровнем антропогенной нагрузки (ПП 2) характеризовалась средним уровнем жизненности ($IVC = 0,98$). Тогда как пробная площадь с сильной антропогенной нагрузкой (ПП 3) имела выраженные неблагоприятные условия для роста ценопопуляции *A. arundinaceus*, на что указывает низкое значение IVC (0,68).

Об устойчивости популяций к действию тех или иных неблагоприятных факторов среды можно также судить по характеру и величине изменений коэффициента вариации отдельных показателей [Давыдова, Моченята, 1991]. Предполагается, что увеличение гетерогенности признаков у растений создает основу для формирования устойчивых к неблагоприятным факторам среды популяций за счет естественного отбора наиболее устойчивых генотипов. Повышение уровня внутрипопуляционной изменчивости морфологических признаков при антропогенном загрязнении почвы обнаружено, в частности, у *Agrostis tenuis* L. [Karataglis, 1980], *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. [Cox, Hutchinson, 1981] и *P. pratense* [Лайдинен и др., 2021]. Проведенный нами анализ изменчивости морфологических признаков генеративного побега *A. arundinaceus* показал, что с увеличением степени антропогенной нагрузки возрастает вариабельность высоты генеративного побега, его биомассы, а также ширины соцветия, указывая на усиление изменчивости растений по данным признакам, что способствует выживанию вида в неблагоприятных условиях среды. Вариабельность таких признаков, как площадь листьев и длина соцветия, оказалась выше на относительно чистой территории (ПП 1).

Таблица 2. Вариабельность морфологических признаков (V, %) генеративного побега *Alopecurus arundinaceus* при разном уровне антропогенной нагрузки

Table 2. Variability of morphological parameters (V, %) of the generative shoot of *Alopecurus arundinaceus* at different levels of anthropogenic load

Показатель Parameter	Пробная площадь Test plot		
	1	2	3
Высота побега Shoot height	5,53	2,69	8,65
Биомасса побега Shoot biomass	25,29	23,83	35,50
Площадь подфлагового листа Subflag leaf area	41,61	30,53	24,14
Площадь флагового листа Flag leaf area	63,34	38,17	44,07
Длина соцветия Inflorescence length	24,43	8,09	9,62
Ширина соцветия Inflorescence width	7,64	9,63	13,86

Заключение

В ходе исследования получены новые сведения о состоянии отдельных особей и ценопопуляций *A. arundinaceus*, произрастающих на разных по степени антропогенной нагрузки участках Большого Соловецкого острова. Обнаружено, что на территории со средним уровнем загрязнения состояние растений, оцениваемое по ряду морфологических признаков главного генеративного побега, можно оценить как удовлетворительное. Изучаемые морфологические показатели у них практически не отличались от показателей растений условно чистого участка.

Вместе с тем, судя по величине индекса IVC, а также низким значениям вариабельности морфологических признаков, можно предположить, что в случае усиления антропогенной нагрузки состояние данной ценопопуляции будет ухудшаться. На участке с сильным антропогенным загрязнением растения имеют признаки угнетенного состояния: у них гораздо меньшая, чем на условно чистой территории, высота побега и его биомасса, размеры подфлагового и флагового листьев, а также длина соцветия, что негативно влияет на продуктивность и возобновляемость данной ценопопуляции. Кроме того, малое значение индекса IVC свидетельствует о низкой ее жизненности. Увеличение же вариабельности ряда морфологических признаков генеративного побега, очевидно, направлено на выживание ценопопуляции *A. arundinaceus* в этих условиях.

Литература

- Аникиев В. В., Кутузов Ф. Ф. Новый способ определения площади листовой поверхности у злаков // Физиология растений. 1961. Т. 8, № 3. С. 375–377.
- Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Ред. Р. Шуберт. М.: Мир, 1988. 348 с.
- Богданович Н. И. Экология северных территорий. Архангельск: САФУ, 2014. 312 с.
- Болотов И. Н., Водовозова Т. Е., Грищенко И. В. Климат и микроклимат // Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Ред. Ю. Г. Шварцман, И. Н. Болотов. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. С. 31–43.
- Болотова Г. Н., Болотов И. Н., Чуракова Е. Ю. Почвенно-растительный покров // Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Ред. Ю. Г. Шварцман, И. Н. Болотов. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. С. 44–53.
- Давыдова В. Н., Моченят К. И. Внутрипопуляционные особенности минерального состава *Phlomis tuberosa* при градиенте свинца в среде // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов / Ред. Н. В. Алексеева-Попова. Л.: БИН, 1991. С. 118–128.
- Жукова Т. В. Реакция ценопопуляций и травянистых сообществ на химическое загрязнение среды: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2009. 27 с.
- Изучение популяций растений на промышленных отвалах: учеб. пособие / Ред. Т. А. Радченко. Екатеринбург: УрФУ, 2016. 228 с.
- Ишибирдин А. Р., Ишмуратова М. М. Адаптивный морфогенез и эколого-ценотические стратегии выживания травянистых растений // Методы популяционной биологии: Материалы VII Всерос. популяционного семинара. Ч. 2 (Сыктывкар, 16–21 февр. 2004 г.). Сыктывкар, 2004. С. 113–120.
- Казнина Н. М., Титов А. Ф., Батова Ю. В., Доршакова Н. В., Карапетян Т. А. Оценка степени техногенного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами по состоянию растительности // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 2. С. 89–94. doi: 10.17076/eco26
- Казнина Н. М., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В. Влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки растений *Phleum pratense* L. // Труды Карельского научного центра РАН. 2009. № 3. С. 50–55.
- Калинина С. И., Лайдинен Г. Ф. Морфологические изменения природных популяций *Alopecurus pratensis* (Poaceae) при интродукции // Ботанический журнал. 1997. Т. 82, № 10. С. 38–48.
- Кардашевская В. Е., Егорова Н. Н. Мониторинг виталитетного состояния ценопопуляций *Agrostis diluta* Kurcz. и *Psathyrostachys caespitosa* (Sukaczev) Peschkova в Центральной Якутии // Вестник СВФУ. 2024. Т. 21, № 3. С. 18–28. doi: 10.25587/2222-5404-2024-21-3-18-28
- Куперман Ф. М. Морфофизиология растений. М.: Высшая школа, 1984. 240 с.
- Лайдинен Г. Ф., Казнина Н. М., Батова Ю. В., Титов А. Ф. Влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на растения *Phleum pratense* (Poaceae) в условиях Северной Карелии // Растительные ресурсы. 2021. Т. 57, вып. 4. С. 359–369. doi: 10.31857/S0033994621040063
- Лянгузова И. В. Тяжелые металлы в северотаежных экосистемах России. Saarbrucken: Lap Lambert Academic Publ., 2016. 269 с.
- На Соловках подвели итоги туристического сезона // Информационное агентство «Регион 29» [Электронный ресурс]. URL: <https://region29.ru/2024/11/30/674adfd4b628d44fb309ed82.html> (дата обращения: 14.07.2025).
- Океанографические условия и биологическая продуктивность Белого моря: Анnotatedный атлас. Мурманск: ПИНРО, 1991. 115 с.
- Полинкина Л. Н. Рекреационный потенциал территории // Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Ред. Ю. Г. Шварцман, И. Н. Болотов. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. С. 158–161.
- Попова Л. Ф., Андреева Ю. И., Никитина М. В. Оценка уровня загрязнения почвенно-растительного покрова острова Большой Соловецкий тяжелыми металлами // Принципы экологии. 2016. № 2. С. 62–69. doi: 10.15393/j1.art.2016.5002
- Прокопьев И. А., Филиппова Г. В., Шеин А. А., Габышев Д. В. Влияние городского техногенного загрязнения на морфологические, биохимические характеристики и семенную продуктивность ромашки аптечной // Экология. 2014. № 1. С. 22–29. doi: 10.7868/S0367059713060097
- Струсовская О. Г. Оценка ресурсов листьев *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae) на островах Соловецкого архипелага // Растительные ресурсы. 2012. Вып. 2. С. 207–211.
- Табаленкова Г. Н. Продуктивность сельскохозяйственных культур в подзоне средней тайги Европейского Северо-Востока России: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007. 38 с.
- Фардеева М. Б., Гиниятуллина Л. Я. Жизненность и состояние ценопопуляций *Corydalis solida* (L.)

- Claiv. в зоне хвойно-широколиственных лесов // Ученые записки Казанского университета. 2012. Т. 154, кн. 1. С. 165–176.
- Федорец Н. Г., Бахмет О. Н. Особенности формирования почв и почвенного покрова Карело-Кольского региона // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 12. С. 39–51. doi: 10.17076/eco358
- Федорова А. И. Влияние минерального питания на жизненное состояние некоторых доминирующих видов многолетних злаков // Известия Самарского научного центра РАН. 2019. Т. 21, № 2(2). С 159–164.
- Burzyński M., Kłobus G. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd and Pb stress // Photosynthetica. 2004. Vol. 42, no. 4. P. 505–510. doi: 10.1007/S11099-005-0005-2
- Cox R. M., Hutchinson T. C. Multiple and co-tolerance to metals in the grass *Deschampsia caespitosa*: adaptation, preadaptation and “cost” // J. Plant Nutr. 1981. Vol. 3, no. 1. P. 731–741. doi: 10.1080/01904168109362875
- Karataglis S. S. Differential tolerance of *Agrostis tenuis* populations growing at two mine soils to Cu, Zn, Pb // Phyton. 1980. Vol. 20, no. 1–2. P. 15–22.
- Lyanguzova I., Yarmishko V., Gorshkov V., Stavrova N., Bakkal I. Impact of heavy metals on forest ecosystems of the European north of Russia // Heavy Metals / Eds. Saleh H. M., Aqlan R. F. 2018. P. 91–114. doi: 10.5772/intechopen.73323
- Mehmood Z., Yang H.-H., Awan M. U. F., Ahmed U., Hasnain A., Luqman M., Muhammad S., Sardar A. A., Chan T.-Y., Sharjeel A. Effects of air pollution on morphological, biochemical, DNA, and tolerance ability of roadside plant species // Sustainability. 2024. Vol. 16. Art. 3427. doi: 10.3390/su16083427
- Papazian S., Blande J. D. Dynamics of plant responses to combinations of air pollutants // Plant Biol. (Stuttg.). 2020. Suppl 1. P. 68–83. doi: 10.1111/plb.12953
- Pietrini F., Iannelli M. A., Pasqualini S., Massacci A. Interaction of cadmium with glutathione and photosynthesis in developing leaves and chloroplasts of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel // Plant Physiol. 2003. Vol. 133, no. 2. P. 829–937. doi: 10.1104/pp.103.026518
- Wuytack T., Wuyts K., Van Dongen S., Baeten L., Kardel F., Verheyen K., Samson R. The effect of air pollution and other environmental stressors on leaf fluctuating asymmetry and specific leaf area of *Salix alba* L. // Environ. Pollut. 2011. Vol. 159(10). P. 2405–2411. doi: 10.1016/j.envpol.2011.06.037
- References**
- Anikiev V. V., Kutuzov F. F. A new method for determining the leaf surface area of cereals. *Fiziologiya rastenii = Russ. J. Plant Physiol.* 1961;8(3):375–377. (In Russ.)
- Bogdanovich N. I. Ecology of the Northern territories. Arkhangelsk: SAFU; 2014. 312 p. (In Russ.)
- Bolotov I. N., Vodovozova T. E., Grishchenko I. V. Climate and microclimate. *Prirodnyaya sreda Solovetskogo arkipelaga v usloviyakh menyayushchegosya klimata = The natural environment of the Solovetsky Archipelago in a changing climate*. Ekaterinburg: UrO RAN; 2007. P. 31–43. (In Russ.)
- Bolotova G. N., Bolotov I. N., Churakova E. Y. Soil and vegetation cover. *Prirodnyaya sreda Solovetskogo arkipelaga v usloviyakh menyayushchegosya klimata = The natural environment of the Solovetsky Archipelago in a changing climate*. Ekaterinburg: UrO RAN; 2007. P. 44–53. (In Russ.)
- Burzyński M., Kłobus G. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd and Pb stress. *Photosynthetica*. 2004;42(4):505–510. doi: 10.1007/S11099-005-0005-2
- Cox R. M., Hutchinson T. C. Multiple and co-tolerance to metals in the grass *Deschampsia caespitosa*: adaptation, preadaptation and “cost”. *J. Plant Nutr.* 1981;3(1):731–741. doi: 10.1080/01904168109362875
- Davydova V. N., Mochenyat K. I. Intrapopulation features of the mineral composition of *Phlomistuberosa* at a lead gradient in the medium. *Ustoichivost' k tyazhelym metallam dikorastushchikh vidov = Resistance to heavy metals of wild species*. Leningrad: BIN; 1991. P. 118–128. (In Russ.)
- Fardeeva M. B., Ginyatullina L. Ya. Vitality and condition of cenopopulations of *Corydalis solida* (L.) Clairv. in the zone of coniferous and broad-leaved forests. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta = Proceedings of Kazan University*. 2012;154(1):165–176. (In Russ.)
- Fedorets N. G., Bakhmet O. N. Peculiarities of soil and soil cover formation in the Karelia-Kola region. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2016;12:39–51. (In Russ.). doi: 10.17076/eco358
- Fedorova A. I. The influence of mineral nutrition on the vital condition of some dominant species of perennial cereals. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Proceedings of the Samara Scientific Center RAS*. 2019;21(2):159–164. (In Russ.)
- Ishbirdin A. R., Ishmuratova M. M. Adaptive morphogenesis and ecological-cenotic survival strategies of herbaceous plants. *Metody populyatsionnoi biologii: Materialy VII Vseros. populyats. ceminar. Ch. 2 (Syktyvkar, 16–21 fevr. 2004 g.) = Methods of population biology: Proceedings of the VII All-Russ. population seminar. Part 2 (Syktyvkar, Feb. 16–21, 2004)*. Syktyvkar; 2004. P. 113–120. (In Russ.)
- Kalinina S. I., Laidinen G. F. Morphological changes in natural populations of *Alopecurus pratensis* (Poaceae) during introduction. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1997;82(10):38–48. (In Russ.)
- Karataglis S. S. Differential tolerance of *Agrostis tenuis* populations growing at two mine soils to Cu, Zn, Pb. *Phyton*. 1980;20(1–2):15–22.
- Kardashevskaya V. E., Egorova N. N. Monitoring of the vital state of *Agrostis diluta* Kurcz. and *Psathyrostachys caespitosa* (Sukaczev) Peschkova in Central Yakutia. *Vestnik SVFU = Vestnik of North-Eastern Federal University*. 2024;21(3):18–28. (In Russ.). doi: 10.25587/2222-5404-2024-21-3-18-28
- Kaznina N. M., Titov A. F., Batova Yu. V., Dorshakova N. V., Karapetyan T. A. The assessment of anthropogenic pollution of the environment with heavy metals based on the condition of vegetation. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2015;2:89–94. (In Russ.). doi: 10.17076/eco26

- Kaznina N. M., Titov A. F., Laidinen G. F., Batova Yu. V. Effect of industrial heavy metal pollution of soil on the morphological characteristics of *Phleum pratense* L. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS.* 2009;3:50–55. (In Russ.)
- Kuperman F. M. Morphophysiology of plants. Moscow: Vysshaya shkola; 1984. 240 p. (In Russ.)
- Laidinen G. F., Kaznina N. M., Batova Yu. V., Titov A. F. Effect of industrial heavy metal soil contamination on *Phleum pratense* (Poaceae) in northern Karelia. *Rastitel'nye resursy = Plant Resources.* 2021;57(4): 359–369. (In Russ.). doi: 10.31857/S0033994621040063
- Lyanguzova I. V. Heavy metals in the Northern taiga ecosystems of Russia. Spatial and temporal dynamics in aerotechnogenic pollution. Saarbrucken: Lap Lambert Academic Publ.; 2016. 269 p. (In Russ.)
- Lyanguzova I., Yarmishko V., Gorshkov V., Stavrova N., Bakkal I. Impact of heavy metals on forest ecosystems of the European north of Russia. *Heavy Metals.* 2018. P. 91–114. doi: 10.5772/intechopen.73323
- Mehmood Z., Yang H.-H., Awan M. U. F., Ahmed U., Hasnain A., Luqman M., Muhammad S., Sardar A. A., Chan T.-Y., Sharjeel A. Effects of air pollution on morphological, biochemical, DNA, and tolerance ability of roadside plant species. *Sustainability.* 2024;16:3427. doi: 10.3390/su16083427
- Oceanographic conditions and biological productivity of the White Sea: an annotated atlas. Murmansk: PINRO; 1991. 115 p. (In Russ.)
- Papazian S., Blande J. D. Dynamics of plant responses to combinations of air pollutants. *Plant Biol. (Stuttg).* 2020;1:68–83. doi: 10.1111/plb.12953
- Pietrini F., Iannelli M. A., Pasqualini S., Massacci A. Interaction of cadmium with glutathione and photosynthesis in developing leaves and chloroplasts of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Plant Physiol.* 2003;133(2):829–937. doi: 10.1104/pp.103.026518
- Polinkina L. N. Recreational potential of the territory. *Prirodnaya sreda Solovetskogo arkipelaga v usloviyah menyayushchegosya klimata = The natural environment of the Solovetsky Archipelago in a changing climate.* Ekaterinburg: UrO RAN; 2007. P. 158–161. (In Russ.)
- Popova L. F., Andreeva Yu. I., Nikitina M. V. Assessment of soil and plant cover contamination by heavy metals of the Bolshoi Solovetsky Island. *Printsy ekologii = Principles of Ecology.* 2016;2:62–69. (In Russ.). doi: 10.15393/j1.art.2016.5002
- Prokop'ev I. A., Filippova G. V., Shein A. A., Gabyshhev D. V. Impact of urban anthropogenic pollution on seed production, morphological and biochemical characteristics of chamomile, *Matricaria chamomilla* L. *Russ. J. Ecol.* 2014;45(1):18–23. doi: 10.1134/S106741361306009X
- Radchenko T. A. (ed.). Study of plant populations in industrial waste dumps: a study guide. Ekaterinburg: UrFU; 2016. 228 p. (In Russ.)
- Schubert R. (ed.). Bioindication of terrestrial ecosystems pollution. Moscow: Mir; 1988. 348 p. (In Russ.)
- Strusovskaya O. G. Estimation of *Vaccinium vitis-idaea* (Ericaceae) leaf resources in the Solovetsky Archipelago islands. *Rastitel'nye resursy = Plant Resources.* 2012; 2:207–211. (In Russ.)
- Tabalenkova G. N. Productivity of agricultural crops in the middle taiga subzone of the European Northeast of Russia: Summary of DSc (Dr. of Biol.) thesis. Moscow; 2007. 38 p. (In Russ.)
- The results of the tourist season were summed up in Solovki. *Informatsionnoe agentstvo "Region 29" = Region 29 News Agency.* (In Russ.). URL: <https://region29.ru/2024/11/30/674adfd4b628d44fb309ed82.html> (accessed: 14.07.2025).
- Wuytack T., Wuyts K., Van Dongen S., Baeten L., Kardel F., Verheyen K., Samson R. The effect of air pollution and other environmental stressors on leaf fluctuating asymmetry and specific leaf area of *Salix alba* L. *Environ. Pollut.* 2011;159(10):2405–2411. doi: 10.1016/j.envpol.2011.06.037
- Zhuikova T. V. Reaction of cenopopulations and herbaceous communities to chemical pollution: Summary of DSc (Dr. of Biol.) thesis. Ekaterinburg; 2009. 27 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 28.08.2025; принята к публикации / accepted: 21.10.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Казнина Наталья Мстиславовна

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории экологической физиологии растений

e-mail: kaznina@krc.karelia.ru

Таскина Ксения Борисовна

главный биолог лаборатории экологической
физиологии растений

e-mail: tasamayaksenia@gmail.com

Игнатенко Анна Анатольевна

канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории
экологической физиологии растений

e-mail: angelina911@ya.ru

CONTRIBUTORS:

Kaznina, Natalya

Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher

Taskina, Ksenia

Chief Biologist

Ignatenko, Anna

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

УДК 595.799:591.9 (470.13)

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ ШМЕЛЕЙ (HYMENOPTERA, APIDAE, *BOMBUS LATR.*) БАССЕЙНА РЕКИ КОБРА, РЕСПУБЛИКА КОМИ

Н. И. Филиппов

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения РАН»
(ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 167000)

Впервые исследованы видовое разнообразие и экология шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus Latr.*) бассейна р. Кобры, крупного правого притока р. Вятка. Исследования проводились в июне-июле 2011, 2016 и 2022 гг. Отмечен 21 вид из 8 подродов. В том числе два вида – *Bombus schrencki* и *B. sporadicus*, внесенные в список биологического надзора Красной книги Республики Коми. Структура населения типична для подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока России. Графики рангового распределения сходны с логарифмической и логнормальной моделями, что также подтверждает малую степень антропогенной нарушенности биоценозов в бассейне р. Кобры. По результатам РСА-анализа выделяется три группы сообществ: в первую входят сосняки-беломошники и песчаные травянистые отмели, во вторую – разнотравные пойменные луга, а в третью – мелколиственные леса, болота, липняки и темнохвойные леса. Наибольший уровень видового разнообразия отмечен для пойменных разнотравных лугов, мелколиственных лесов и песчаных травянистых отмелей. Структура населения характерна для подзоны южной тайги с ее преобладанием массивов темнохвойных лесов. В число доминантов входят: *B. flavidus*, *B. sporadicus*, *B. veteranus*, *B. jonellus*, *B. pratorum*, *B. lucorum* s. l., *B. pascuorum*. Выявлены консорционные связи шмелей с растениями 38 видов из 15 семейств. Наиболее посещаемы растения из семейств Plantaginaceae, Asteraceae, Geraniceae, Fabaceae и Ericaceae. Преобладание подорожниковых в спектре питания шмелей объясняется структурой луговых сообществ в бассейне р. Кобры.

Ключевые слова: шмели; видовое разнообразие; консорционные связи; южная тайга; бассейн р. Кобры; Республика Коми

Для цитирования: Филиппов Н. И. Видовое разнообразие и особенности экологии шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus Latr.*) бассейна реки Кобра, Республика Коми // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 137–147.
doi: 10.17076/eco1986

Финансирование. Исследования профинансираны из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания отдела экологии животных ИБ Коми НЦ УрО РАН (122040600025-2).

N. I. Filippov. SPECIES DIVERSITY AND ECOLOGY OF BUMBLEBEES (HYMENOPTERA, APIDAE, BOMBUS LATR.) IN THE KOBRA RIVER CATCHMENT, KOMI REPUBLIC

Institute of Biology, Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (28 Kommunisticheskaya St., 167000 Syktyvkar, Komi Republic, Russia)

The species diversity and ecology of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) in the catchment of the Kobra River, a large right-hand tributary to the Vyatka River, were studied for the first time. The studies were conducted in June–July 2011, 2016, and 2022. Records include 21 species of 8 subgenera. Two of these species (*Bombus schrencki* and *B. sporadicus*) are on the biological surveillance list of the Red Data Book of the Komi Republic. The population structure is typical for the southern taiga subzone of North-eastern European Russia. The rank distribution graphs are similar to the logarithmic and lognormal models, confirming the low human impact on biological communities in the Kobra River basin. Principal component analysis revealed three groups of communities: the first group includes reindeer-moss pine forests and herb-covered sandy shoals, the second one includes floodplain forb meadows, and the third one comprises small-leaved forests, mires, linden forests and dark coniferous forests. The highest level of species diversity was noted for floodplain forb meadows, small-leaved forests, and herb-covered sandy shoals. The population structure is typical for the southern taiga subzone, with its predominance of dark coniferous forests. The dominants include *B. flavidus*, *B. sporadicus*, *B. veteranus*, *B. jonellus*, *B. pratorum*, *B. lucorum* s. l., *B. pascuorum*. Consortial associations of bumblebees with 38 plant species of 15 families were revealed. The most visited plants represented the families Plantaginaceae, Asteraceae, Geraniceae, Fabaceae, and Ericaceae. The predominance of plantains in the bumblebee food spectrum is due to the structure of meadow communities in the Kobra River basin.

Keywords: bumblebees; species diversity; consortial associations; southern taiga; Kobra River basin; Komi Republic

For citation: Filippov N. I. Species diversity and ecology of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) in Kobra River catchment, Komi Republic. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 137–147. doi: 10.17076/eco1986

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to the Department of Animal Ecology (122040600025-2).

Введение

Сохранение биологического разнообразия – основа устойчивости природных экосистем. Заполнение пробелов в массиве данных по всем группам живых организмов различных территорий является одной из первостепенных задач исследователей. К числу важнейших групп в большинстве наземных сообществ относятся опылители, обеспечивающие реализацию генеративного потенциала энтомофильных растений [Cardinale et al., 2012; Potts et al., 2016; Dornelas et al., 2018; Soroye et al., 2020; van Klink et al., 2020; Ghisbain et al., 2024] и таким образом поддерживающие устойчивость экосистем, в основе разнообразия которых лежат цветковые растения. В аркто- boreальной зоне Евразии и Северной Америки основными опылителями являются шмели, сообщества которых изучены крайне неравномерно из-за сложности природно-климатических условий,

площади и по историческим причинам. Европейский Северо-Восток России не является исключением, и, несмотря на имеющиеся работы [Болотов, Колесова, 2007; Филиппов, Долгин, 2014, 2015; Филиппов, 2020], остаются малоизученными обширные территории, в том числе и подзона южной тайги [Софронов, Пестов, 2010], которая в последние десятилетия подвергается активному хозяйственному освоению. В связи с необходимостью сохранения ненарушенных сообществ в 2019 году был основан национальный парк «Койгородский», часть которого располагается и в бассейне р. Кобра, где исследования фауны, структуры населения, видового разнообразия и консорциональных связей шмелей проводились впервые.

Материалы и методы

Исследования проводились в июне–июле 2011, 2016 и 2022 гг. в бассейне р. Кобра –

крупном правом притоке р. Вятка. Исток реки Кобра находится на Северных Увалах, водоизделе Северной Двины и Волги, и впадает в р. Вятка на севере Кировской области. Бассейн Кобры занимает значительную площадь на юге Европейского Северо-Востока России (чуть менее 8 тысяч км²), при этом оставаясь слабоизученным. Территория бассейна практически полностью расположена в подзоне южной тайги и мало затронута хозяйственной деятельностью человека, преимущественно рубкой леса. Исследована территория вдоль русла реки Кобры на протяжении 180 км, где было выбрано семь точек (рис. 1). Работы проводились во всех типах местообитаний, где отмечены шмели; всего их семь: болота, пойменные разнотравные луга, мелколиственные леса, липняки, темнохвойные леса, светлохвойные леса и травянистые песчаные отмели.

Шмелей собирали по стандартной методике сбора насекомых-опылителей [Песенко, 1972, 1982] с обязательной фиксацией факта питания и вида растения. Представителей рода *Bombus* Latr. помещали в различные морилки, в зависимости от вида растения, с цветов которого они были собраны. Все сборы проводились при

сходных погодных условиях на участках 10×100 м в каждом типе местообитаний в десятикратной повторности. Для оценки относительного обилия видов в выборке использовали долю особей (I_a , %) и 5-балльную логарифмическую шкалу (B, баллы) [Песенко, 1982]. При построении графиков рангового распределения руководствовались подходом, описанным в работе Татаринова и Долгина [2010]. Для оценки видового разнообразия и меры доминирования использованы индексы Шеннона (H) и Бергера – Паркера. В случае недостаточной степени достоверности рассчитанные значения индексов не приводились ($p > 0,05$). Для выявления детерминирующих видов использован метод главных компонент (PCA) в программном пакете Past v. 4.0. Анализ данных по консорциальным связям проведен с использованием R версии 4.1.3 (пакет «bipartite»).

Определение видовой принадлежности шмелей проводилось в лабораторных условиях, использовались работы А. Løken [1973, 1984], Д. В. Панфилова [1978], P. Rasmon и M. Terzo [2017]. Таксоны рода *Bombus* Latr. приняты по Р. Н. Williams [2019]. Криптические виды, относящиеся к lucorum-complex, представлены

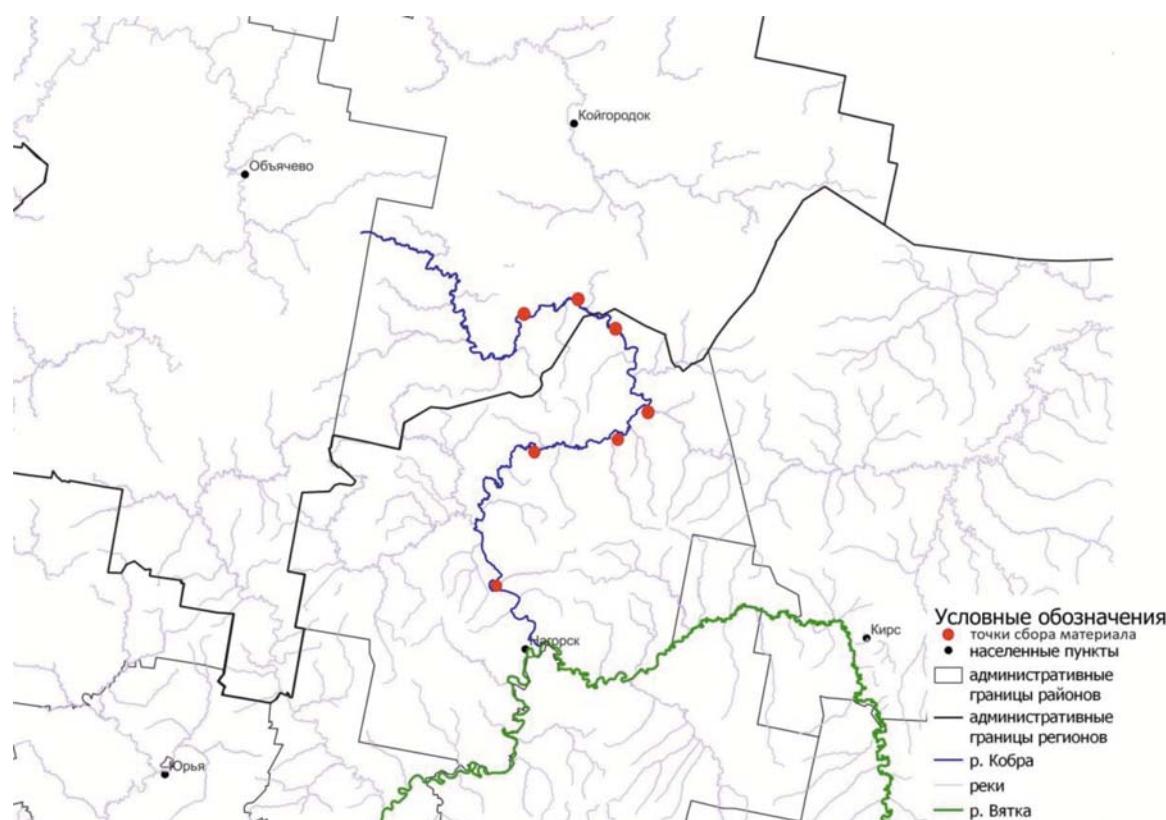


Рис. 1. Карта-схема места проведения исследований

Fig. 1. Schematic map of the research site

как *Bombus lucorum* s. l., что связано с необходимостью применения методов молекулярной биологии для идентификации каждого экземпляра шмеля [Bossert, 2015]. Видовую идентификацию растений проводили в полевых условиях с использованием определителей «Флора северо-востока европейской части СССР» [1974, 1976а, б, 1977] и А. Н. Скворцова [2000]. Всего учтено и определено 976 экземпляров шмелей.

Результаты и обсуждение

В ходе исследований отмечен 21 вид шмелей (табл. 1), что составляет примерно 58 % от числа отмеченных в регионе. В том числе два вида, *Bombus schrencki* и *B. sporadicus*, внесенные в список биологического надзора Красной книги Республики Коми [2019]. В учетах отсутствовали характерные для подзоны южной тайги *B. barbutellus* и *B. bohemicus*, что, возможно,

Таблица 1. Состав, баллы обилия и показатели видового разнообразия шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) в бассейне р. Кобра

Table 1. Composition, abundance scores and indicators of species diversity of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) in the Kobra River basin

№ п/п No.	Виды шмелей Species of bumblebees	Пойменные разнотравные луга Floodplain grasslands		Болота Wetlands		Мелко- лиственные леса Small-leaved forests		Липняки Linden Groves		Темнохвойные леса Dark coniferous forests		Сосняки беломошные White-moss pine trees		Травянистые песчаные отмели Grassy sandbanks	
		Id, % Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	Id, % B, балл score B, балл score	
1	<i>Bombus soroeensis</i>	3,26	2	—	—	2,33	1	—	—	—	—	—	—	—	—
2	<i>B. distinguendus</i>	2,54	1	—	—	3,1	2	—	—	—	—	—	—	—	2,8
3	<i>B. consobrinus</i>	—	—	—	—	8,53	3	—	—	—	—	—	—	—	—
4	<i>B. hortorum</i>	7,61	2	—	—	10,08	3	—	—	12,5	3	—	—	—	5,15
5	<i>B. deuteronymus</i>	0,72	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,93
6	<i>B. pascuorum</i>	14,13	4	8,7	3	17,83	4	7,69	2	7,14	2	6,49	2	13,55	3
7	<i>B. ruderarius</i>	2,9	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	<i>B. schrencki</i>	3,99	2	—	—	5,81	2	—	—	—	—	—	—	—	6,07
9	<i>B. veteranus</i>	4,71	2	—	—	6,2	2	—	—	—	—	—	—	—	5,15
10	<i>B. flavidus</i>	—	—	13,04	3	3,49	2	—	—	—	—	—	—	—	7,01
11	<i>B. norvegicus</i>	3,62	2	—	—	4,26	2	—	—	—	—	—	—	—	4,67
12	<i>B. rupestris</i>	1,45	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	<i>B. sylvestris</i>	3,26	2	—	—	2,71	1	—	—	—	—	5,19	2	—	—
14	<i>B. cingulatus</i>	4,35	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,54
15	<i>B. hypnorum</i>	9,06	3	14,49	4	3,88	2	11,54	3	8,93	3	—	—	—	10,75
16	<i>B. jonellus</i>	6,88	2	27,54	4	5,43	2	30,77	5	21,43	4	13	3	7,48	2
17	<i>B. pratorum</i>	7,25	2	17,39	4	8,91	3	42,31	5	50	5	—	—	—	4,67
18	<i>B. lucorum</i> s. l.	16,3	4	18,84	4	12,79	3	7,69	2	—	—	25,97	4	16,82	4
19	<i>B. patagiatus</i>	1,81	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	<i>B. sporadicus</i>	3,26	2	—	—	4,65	2	—	—	—	—	19,48	4	8,41	3
21	<i>B. sichelii</i>	2,9	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Число видов, S Number of species, S		19		6		15		5		5		7		14	
Индекс Шеннона, H' Shanon Index, H'		2,99		—		2,84		—		—		2,18		2,78	
Индекс Бергера – Паркера, D _{B-P} Berger – Parker Index, D _{B-P}		0,16		—		0,18		—		—		0,26		0,17	

связано с их образом жизни и низкой численностью практически по всему ареалу, а также *B. terrestris*, у которого здесь проходит северная граница распространения. На Европейском Северо-Востоке России, в том числе в бассейне р. Кобра, основу фауны составляют виды, обладающие обширным ареалом и широкой экологической пластичностью [Филиппов, Тетрюк, 2023], что является следствием миграционного характера фауны всего Европейского Севера [Подбелоцкая, 1988].

Схожесть графиков рангового распределения видов шмелей почти всех типов местообитаний с логарифмической и логнормальной моделями также подтверждает малую степень трансформированности исследованных местообитаний (рис. 2). Исключение составляют болотные сообщества, что является следствием специфики данных биотопов.

По результатам РСА-анализа выделено три группы сообществ (рис. 3). В первую группу входят сосняки-беломошники и песчаные травянистые отмели, для которых характерен более жаркий микроклимат, невысокое число цветущих растений и более рыхлый субстрат. Интерес вызывают достаточно высокие показатели обилия шмелей на отмелях, которые также отмечены на крупных притоках в южной части таежной зоны Европейского Северо-Востока России. В северной части бореальной зоны такие местообитания также встречаются,

но численность шмелей там невысока, а фауна достаточно бедна. Детерминирующими видами для этой группы являются *Bombus sporadicus* и *B. veteranus*, у которых в таежной зоне северо-востока европейской части России проходит северная граница распространения и поэтому особи данного вида предпочитают хорошо прогреваемые местообитания. Из цветущих растений в этих типах местообитаний преобладают представители семейств Asteraceae и Fabaceae.

Вторая группа представлена только пойменными разнотравными лугами, где отмечены наиболее благоприятные условия для обитания шмелей (температура, влажность, наличие цветущих растений, места для основания колоний), в отличие от остальных типов местообитаний. Детерминирующими для разнотравных лугов стали *B. hypnorum* и *B. pascuorum*, что типично для большей части таежной зоны.

В третью группу отнесены сообщества с высокой степенью влажности и относительно небольшим числом цветущих растений, что влияет на видовой состав и численность шмелей. К числу детерминирующих видов для этой группы относятся *B. hortorum*, *B. jonellus* и *B. pratorum*, что также характерно для большей части бореальной зоны Европейского Северо-Востока России [Филиппов, Долгин, 2015; Филиппов, 2020]. Интересной особенностью сообществ шмелей является большое число видов, не детерминирующих ни одну из групп сообществ.

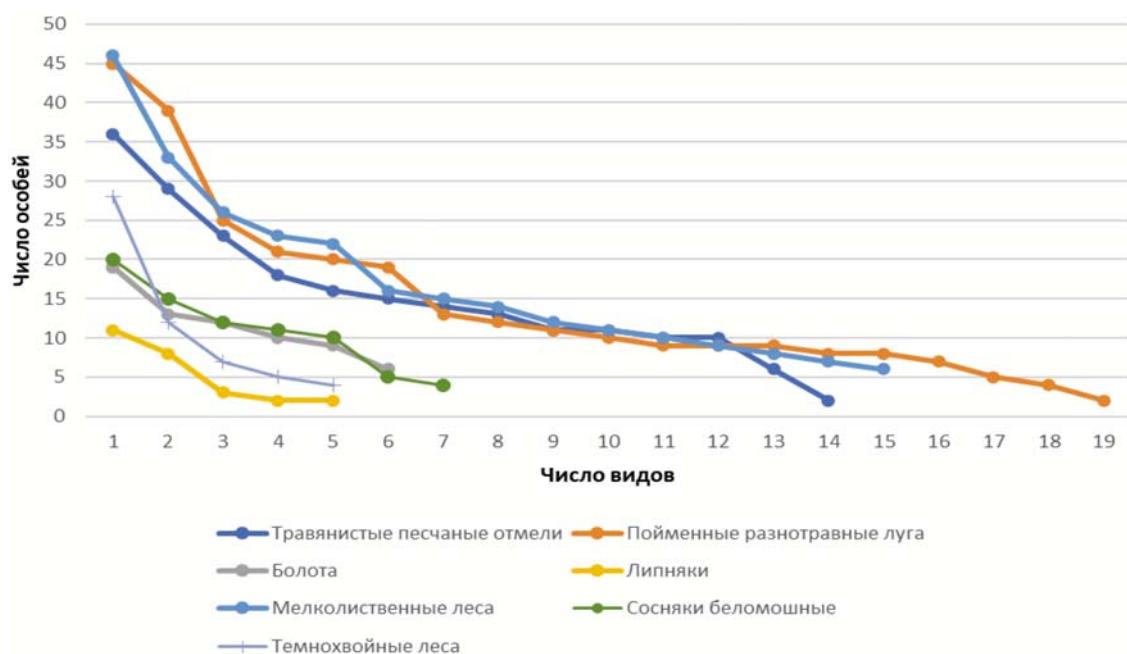


Рис. 2. Ранговое распределение видов шмелей в различных местообитаниях бассейна р. Кобра
Fig. 2. Rank distribution of bumblebee species in various habitats of the Kobra River basin

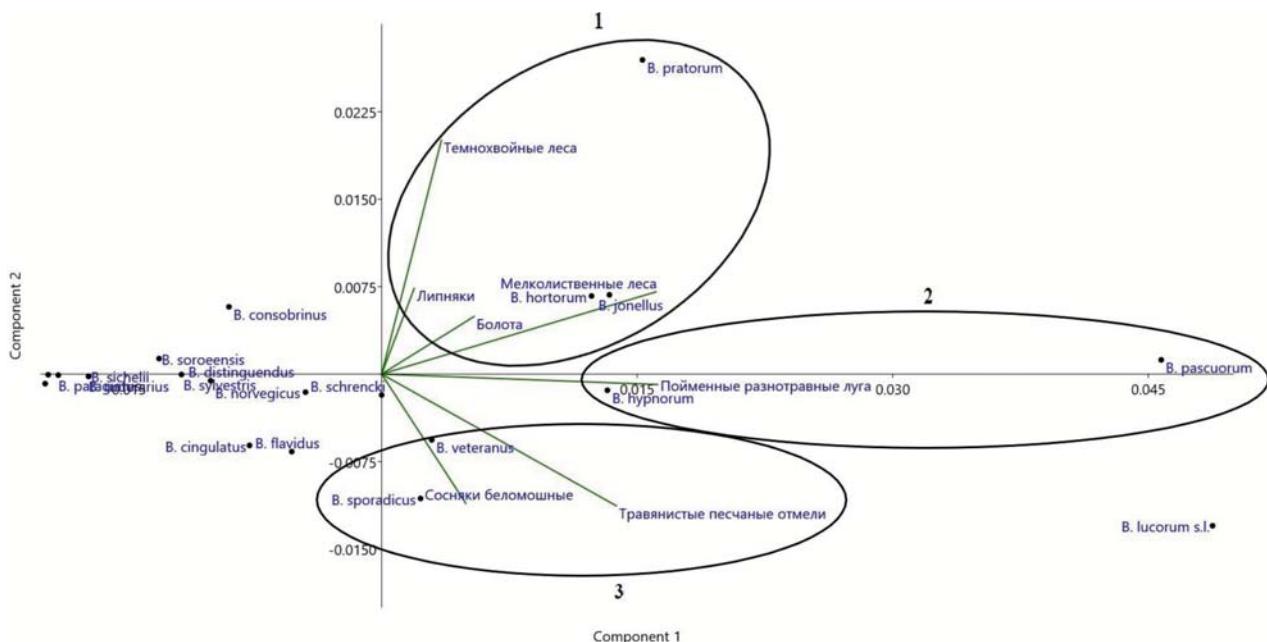


Рис. 3. Дифференциация типов местообитаний, полученная методом главных компонент (РСА). Цифрами 1, 2 и 3 обозначены группы местообитаний

Fig. 3. Differentiation of habitat types obtained by principal component analysis (PCA). Numbers 1, 2 and 3 indicate the habitat groups

По результатам анализа наибольший уровень видового разнообразия отмечен для пойменных разнотравных лугов, мелколиственных лесов и песчаных травянистых отмелей, что подтверждается значениями индексов Шеннона и Бергера – Паркера. Если для разнотравных лугов и мелколиственных лесов такие показатели типичны для всей бореальной зоны Европы [Pekkarinen et al., 1981; Хумала, Полевой, 2009; Потапов и др., 2013; Филиппов, Долгин, 2014, 2015; Paukkunen, Kozlov, 2015; Potapov, Kolosova, 2016; Филиппов, 2020], то для песчаных травянистых отмелей это характерно лишь для подзон южной и части средней тайги северо-востока европейской части России. Основная причина этого заключается в слаборазвитой пойме притоков равнинных рек, бассейны которых мало затронуты антропогенной трансформацией, где преобладают зональные лесные сообщества с низким обилием цветущих энтомофильных растений. В таких условиях шмели ограничены кормовым ресурсом, что подтверждается в том числе и наблюдениями за маршрутами их передвижений.

Структура населения шмелей характерна для подзоны южной тайги, где преобладают массивы темнохвойных лесов. В число доминантов входят: *B. flavidus*, *B. sporadicus*, *B. veteranus* (в сосняках беломошных),

B. jonellus и *B. pratorum* (на болотах, в липняках и темнохвойных лесах), *B. lucorum* s. l. (на болотах, пойменных разнотравных лугах, травянистых песчаных отмелях, в сосняках беломошных), *B. pascuorum* (в мелколиственных лесах, на пойменных разнотравных лугах). В различных типах местообитаний численно преобладают сразу 7 видов шмелей, что на Европейском Северо-Востоке встречается нечасто и характерно в основном для Урала и Тимана с их большим разнообразием местообитаний [Филиппов, Долгин, 2014; Филиппов, 2020].

Исследованы консорционные связи шмелей и 38 видов растений из 15 семейств (табл. 2). Наиболее посещаемыми стали растения из семейств Plantaginaceae, Asteraceae, Geraniceae, Fabaceae и Ericaceae, основу которых составляют растения с коротким венчиком и, как следствие, неглубоко расположенным нектарниками (рис. 4). Такой спектр растений, преобладающих в консорционных связях шмелей, не совсем типичен для таежной зоны северо-востока европейской части России. Как правило, шмели при фуражировании несколько реже посещают растения с коротким венчиком [Филиппов, Тетерюк, 2023]. В верхней части рис. 4 сконцентрированы короткохоботковые виды шмелей и преимущественно виды растений с коротким венчиком.

Таблица 2. Видовой состав и распределение по типам местообитаний растений, связанных консорциональными связями со шмелями (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) в бассейне р. Кобра

Table 2. Species composition and distribution of plants by habitat types connected by consensual links with bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) in the Kobra River basin

Семейства и виды растений Plants families and species	Пойменные разнотравные луга Floodplain grasslands	Болота Wetlands	Мелко-лиственные леса Small-leaved forests	Липняки Linden Groves	Темнохвойные леса Dark coniferous forests	Сосняки беломошные White-moss pine trees	Травянистые песчаные отмели Grassy sandbanks
Apiaceae							
<i>Angelica sylvestris</i>	+	-	+	+	-	-	-
<i>Anthriscus sylvestris</i>	+	-	-	-	-	-	+
Asteraceae							
<i>Cirsium heterophyllum</i>	+	-	-	-	-	-	-
<i>Hieracium sp.</i>	-	-	-	-	-	+	+
<i>Solidago virgaurea</i>	+	-	+	+	-	+	+
<i>Sonchus arvensis</i>	+	+	+	+	-	+	+
<i>Taraxacum officinale</i>	+	-	-	-	-	+	+
<i>Tussilago farfara</i>	+	+	+	-	-	+	+
Ericaceae							
<i>Vaccinium myrtillus</i>	-	+	-	+	+	-	-
<i>V. vitis-idaea</i>	-	-	-	-	+	+	-
Fabaceae							
<i>Lathyrus pisiformis</i>	+	-	-	-	-	-	-
<i>L. pratensis</i>	+	-	+	+	-	+	+
<i>Vicia cracca</i>	+	-	-	-	-	+	+
<i>V. sepium</i>	+	-	+	+	-	-	+
Geraniaceae							
<i>Geranium sylvaticum</i>	+	+	+	+	-	+	+
<i>G. pratense</i>	+	-	-	-	-	-	-
Grossulariaceae							
<i>Ribes nigrum</i>	+	-	+	+	-	-	+
<i>R. rubrum</i>	-	-	+	-	-	-	+
Lamiaceae							
<i>Lamium album</i>	+	-	-	-	-	-	-
Malvaceae							
<i>Tilia cordata</i>	-	-	+	+	-	-	-
Onagraceae							
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	+	-	+	-	-	-	-
Orobanchaceae							
<i>Melampyrum pratense</i>	-	+	+	+	+	-	+
<i>M. sylvaticum</i>	+	-	-	-	-	+	-
<i>Rhinanthus major</i>	-	-	+	-	-	+	+
Polygonaceae							
<i>Bistorta major</i>	+	+	-	-	-	-	-
<i>B. vivipara</i>	+	+	+	-	-	+	-
Plantaginaceae							
<i>Veronica chamaedrys</i>	+	-	+	+	-	-	+
<i>V. longifolia</i>	+	-	+	-	-	-	+
<i>V. officinalis</i>	+	-	+	-	-	+	+
Ranunculaceae							
<i>Aconitum septentrionale</i>	+	-	+	+	+	-	-
<i>Thalictrum simplex</i>	+	-	-	-	-	-	+
Rosaceae							
<i>Fragaria vesca</i>	+	-	+	-	-	+	-
<i>Geum rivale</i>	+	+	+	+	-	-	+
<i>Padus avium</i>	-	-	+	-	-	-	-
<i>Rosa majalis</i>	+	-	+	-	-	-	+
<i>Sorbus aucuparia</i>	-	-	+	-	-	-	-
Salicaceae							
<i>Salix caprea</i>	-	+	+	-	-	-	+
<i>S. viminalis</i>	-	-	+	+	-	-	+

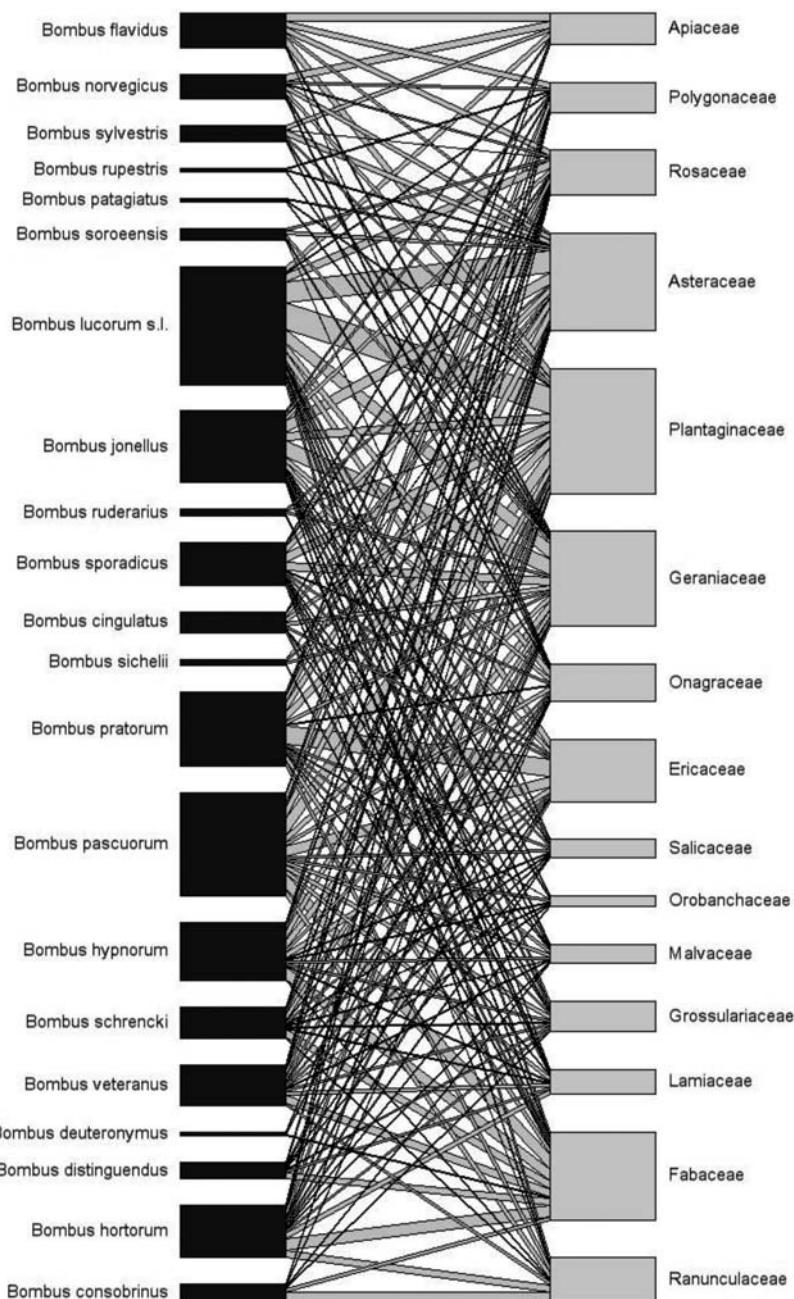


Рис. 4. Консорционные связи шмелей с растениями различных семейств в бассейне р. Кобра (пояснения см. в тексте)

Fig. 4. Consortium relations between bumblebees and plants of various families in the Kobra River basin (explanations are in the text)

В нижней части – длиннохоботковые виды шмелей и преимущественно растения, цветы которых имеют венчики большей длины. В центре сосредоточены растения, цветущие в основном весной и ранним летом, на которых фуражируют практически все виды шмелей, когда их численность еще низкая и пищевых ресурсов не хватает. По мере роста колоний происходит разделение экологических ниш, что приводит к снижению конкуренции.

Заключение

В бассейне р. Кобра отмечен 21 вид шмелей из 8 подродов, в том числе два вида, *Bombus schrencki* и *B. sporadicus*, внесенные в список биологического надзора Красной книги Республики Коми. Как и на всей территории Европейского Северо-Востока России, основу фауны составляют виды, обладающие обширным ареалом и широкой экологической пластичностью.

Сходство кривых для большинства типов местообитаний с логарифмической и логнормальной моделями на графике рангового распределения подтверждает малую степень трансформированности природных сообществ. На основании проведенного анализа по методу главных компонент выделено три группы сообществ: сухие и хорошо прогреваемые (сосняки беломошные и песчаные травянистые отмели), влажные и менее теплые (мелколиственные леса, болота, липняки и темнохвойные леса) и тип местообитаний с оптимальными условиями обитания (пойменные разнотравные луга). Структура населения в целом характерна для подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока России, отличие – в большом числе видов в составе доминантного комплекса. Выявлены консорциональные связи шмелей и 38 видов растений из 15 семейств. Наиболее посещаемыми стали семейства Plantaginaceae, Asteraceae, Geraniceae, Fabaceae и Ericaceae. Такой спектр растений, преобладающих в консорциональных связях шмелей, не совсем типичен для таежной зоны северо-востока европейской части России. Как правило, доля растений с коротким цветоносом несколько ниже.

Литература

- Болотов И. Н., Колосова Ю. С.** Локальные фауны шмелей (Hymenoptera: Apidae, Bombini) Европейского Севера России: Южный Тиман // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки. 2007. № 1(11). С. 28–39.
- Красная книга Республики Коми / Ред. С. В. Дегтева.** Сыктывкар: Коми книж. изд-во, 2019. 768 с.
- Панфилов Д. В.** Сем. Apidae – Апиды // Определитель насекомых европейской части СССР / Ред. Г. С. Медведев. Л.: Наука, 1978. Т. 3, ч. 1. С. 508–519.
- Песенко Ю. А.** К методике количественного учета насекомых-опылителей // Экология. 1972. Вып. 1. С. 89–95.
- Песенко Ю. А.** Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
- Подбелоцкая М. В.** Анализ распространения палеарктических шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) // Связи энтомофаун Северной Европы и Сибири. Л., 1988. С. 142–147.
- Потапов Г. С., Колосова Ю. С., Подбелоцкая М. В.** Структура населения шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) Карелии // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2013. № 4. С. 70–76.
- Скворцов В. Е.** Атлас-определитель сосудистых растений таежной зоны Европейской России: региональные списки редких и охраняемых видов. М.: Гринпис Россия, 2000. 587 с.
- Софронов Д. Г., Лестов С. В.** Трофическое распределение медоносных пчел и шмелей (Hymenoptera, Apidae) по растениям суходольных лугов подзоны южной тайги Кировской области // Высокие технологии и апикультура: Мат-лы докл. Всерос. конф. (Ижевск, 10–14 декабря 2008 г.). Ижевск: Ассоциация Научная книга, 2010. С. 58–63.
- Татаринов А. Г., Долгин М. М.** Видовое разнообразие и методы его оценки. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2010. 44 с.
- Филиппов Н. И.** Видовое разнообразие и особенности экологии шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) южной части национального парка «Югыд ва» // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2020. № 2. С. 20–24. doi: 10.31140/j.vestnikib.2020.2(213).3
- Филиппов Н. И., Долгин М. М.** Видовое разнообразие шмелей (Hymenoptera: Apidae, *Bombini*) особо охраняемых природных территорий Среднего Тимана // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные науки. 2014. № 2. С. 86–93.
- Филиппов Н. И., Долгин М. М.** Видовое разнообразие шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) болотного заказника «Океан» // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. № 17(4). С. 142–145.
- Филиппов Н. И., Тетерюк Л. В.** Структура комплекса опылителей *Veronica spicata* L. на северной границе распространения // Экология. 2023. № 1. С. 3–12. doi: 10.31857/S0367059723010055
- Флора Северо-Востока Европейской части СССР / Под ред. А. И. Толмачева.** Л.: Наука, 1974. Т. 1. 273 с.; 1976. Т. 2. 315 с., т. 3. 293 с.; 1977. Т. 4. 311 с.
- Хумала А. Э., Полевой А. В.** К фауне насекомых юго-востока Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2009. № 4, вып. 9. С. 53–75.
- Bossert S.** Recognition and identification of bumblebee species in the *Bombus lucorum* s.l.-complex (Hymenoptera, Apidae) – a review and outlook // Deutsche Entomologische Zeitschrift. 2015. Vol. 62, iss. 1. P. 19–28. doi: 10.3897/dez.62.9000
- Cardinale B. J., Duffy J. E., Gonzalez A., Hooper D. U., Perrings C., Venail P., Narwani A., Mace G. M., Tilman D., Wardle D. A., Kinzig A. P., Daily G. C., Loreau M., Grace J. B., Larigauderie A., Srivastava D. S., Naeem S.** Biodiversity loss and its impact on humanity // Nature. 2012. Vol. 486. P. 59–67. doi: 10.1038/nature11148
- Dornelas M., Antão L. H., Moyes F.** BioTIME: A database of biodiversity time series for the Anthropocene // Glob. Ecol. Biogeogr. 2018. Vol. 27, iss. 7. P. 760–786.
- Ghisbain G., Thiery W., Massonnet F., Erazo D., Rasmont P., Michez D., Dellicour S.** Projected decline in European bumblebee // Nature. 2024. Vol. 628. P. 337–341. doi: 10.1038/s41586-023-06471-0
- Løken A.** Studies on Scandinavian bumblee bees (Hymenoptera, Apidae) // Norsk entomologisk Tidsskrift. Vol. 20, no. 1. Oslo, 1973. 218 p.
- Løken A.** Scandinavian species of the genus *Psithyrus* Lepeletier (Hymenoptera, Apidae) // Entomol. Scand. 1984. Suppl. 23. P. 1–45.
- Paukkunen J., Kozlov M. V.** Stinging wasps, ants and bees (Hymenoptera: Aculeata) of the Murmansk region, Northwest Russia // Entomol. Fennica. 2015. Vol. 26. P. 53–73. doi: 10.33338/ef.51282

Pekkarinen A., Teräs I., Viramo J., Paatela J. Distribution of bumblebees (Hymenoptera, Apidae: *Bombus* and *Psithyrus*) in eastern Fennoscandia // *Notulae Entomologicae*. 1981. Vol. 61. P. 71–89.

Potts S. G., Imperatriz-Fonseca V., Ngo H. T., Aizen M. A., Biesmeijer J. C., Breeze T. D., Dicks L. V., Garibaldi L. A., Hill R., Settele J., Vanbergen A. J. Safeguarding pollinators and their values to human well-being // *Nature*. 2016. Vol. 540. P. 220–229. doi: 10.1038/nature20588

Potapov G. S., Kolosova Y. S. Fauna of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus* Latr.) in the mainland part of Arkhangelsk Region, NW Russia // *Annales de la Société Entomologique de France* (N.S.). 2016. Vol. 52(3). P. 150–160. doi: 10.1080/00379271.2016.1217167

Rasmont P., Terzo M. Catalogue et clé des sous-genres et espèces du genre *Bombus* de Belgique et du nord de la France (Hymenoptera, Apoidea). Mons: University of Mons, 2017. 28 p.

Soroye P., Newbold T., Kerr J. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents // *Science*. 2020. Vol. 367, iss. 6478. P. 685–688. doi: 10.1126/science.aax8591

van Klink R., Bowler D. E., Gongalsky K. B., Swengel A. B., Gentile A., Chase J. M. Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances // *Science*. 2020. Vol. 368, iss. 6489. P. 417–420.

Williams P. H. Bumblebees of the world. Natural History Museum. 2019. URL: <https://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/bombus/subgeneralist.html> (дата обращения: 04.10.2024).

References

- Bolotov I. N., Kolosova Yu. S. Local bumblebee fauna (Hymenoptera: Apidae, Bombini) of the European North of Russia: South Timan. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tochnye nauki = Vestnik of Pomor University. Series: Natural and Exact Sciences*. 2007;1(11):28–39. (In Russ.)
- Bossert S. Recognition and identification of bumblebee species in the *Bombus lucorum* s.l.-complex (Hymenoptera, Apidae) – a review and outlook. *Deutsche Entomologische Zeitschrift*. 2015;62(1): 19–28. doi: 10.3897/dez.62.9000
- Cardinale B. J., Duffy J. E., Gonzalez A., Hooper D. U., Perrings C., Venail P., Narwani A., Mace G. M., Tilman D., Wardle D. A., Kinzig A. P., Daily G. C., Loreau M., Grace J. B., Larigauderie A., Srivastava D. S., Naeem S. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*. 2012;486:59–67. doi: 10.1038/nature11148
- Degteva S. V. (ed.). The Red Data Book of the Komi Republic. Syktyvkar: Komi knizhnoe izd-vo; 2019. 768 p (In Russ.)
- Humala A. E., Polevoi A. V. On the insects fauna of South-East Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2009;4(9):53–75. (In Russ.)
- Dornelas M., Antão L. H., Moyes F. BioTIME: A database of biodiversity time series for the Anthropocene. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 2018;27(7):760–786.
- Filippov N. I. Species diversity and the ecology of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) aspects in the southern part of the Yugudva National Park. *Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN = Vestnik Institute of Biology Komi SC UrB of RAS*. 2020;2:20–24. (In Russ.). doi: 10.31140/j.vestnikib.2020.2(213).3
- Filippov N. I., Dolgin M. M. Bumblebee species diversity in protected areas of the middle part of the Timan ridge. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki = Vestnik of Pomor University. Series: Natural Sciences*. 2014;2:86–93. (In Russ.)
- Filippov N. I., Dolgin M. M. Specific diversity of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) in the wetlands preserve 'Ocean' (the Komi Republic). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN = Izvestiya of Samara Scientific Center RAS*. 2015;17(4): 142–145. (In Russ.)
- Filippov N. I., Teteryuk L. V. Structure of the complex of *Veronica spicata* L. pollinators on the Northern distribution border. *Russian Journal of Ecology*. 2023;54(1):1–10
- Ghisbain G., Thiery W., Massonnet F., Erazo D., Rasmont P., Michez D., Dellicour S. Projected decline in European bumblebee. *Nature*. 2024;628:337–341. doi: 10.1038/s41586-023-06471-0
- Løken A. Studies on Scandinavian bumble bees (Hymenoptera, Apidae). *Norsk entomologisk Tidsskrift*. Vol. 20, no. 1. Oslo; 1973. 218 p.
- Løken A. Scandinavian species of the genus *Psithyrus* Lepeletier (Hymenoptera, Apidae). *Entomol. Scand.* 1984;23:1–45.
- Panfilov D. V. Family Apidae. *Opredelitel' nasekomykh evropeiskoi chasti SSSR = A key to insects of the European part of the USSR*. Vol. 3(1). Leningrad: Nauka; 1978. P. 508–519. (In Russ.)
- Paukkunen J., Kozlov M. V. Stinging wasps, ants and bees (Hymenoptera: Aculeata) of the Murmansk region, Northwest Russia. *Entomol. Fennica*. 2015;26: 53–73. doi: 10.33338/ef.51282
- Pekkarinen A., Teräs I., Viramo J., Paatela J. Distribution of bumblebees (Hymenoptera, Apidae: *Bombus* and *Psithyrus*) in eastern Fennoscandia. *Notulae Entomologicae*. 1981;61:71–89.
- Pesenko Yu. A. To the method of quantitative accounting of pollinating insects. *Ekologiya = Ecology*. 1972;1:89–95. (In Russ.)
- Pesenko Yu. A. Principles and methods for the quantitative analysis of faunal studies. Moscow: Nauka; 1982. 287 p. (In Russ.)
- Podbolotskaya M. V. Analysis of the distribution of Palaearctic bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.). *Svyazi entomofaun Severnoi Evropy i Sibiri = Connections of entomofaunas of Northern Europe and Siberia*. Leningrad; 1988. P. 142–147. (In Russ.)
- Potts S. G., Imperatriz-Fonseca V., Ngo H. T., Aizen M. A., Biesmeijer J. C., Breeze T. D., Dicks L. V., Garibaldi L. A., Hill R., Settele J., Vanbergen A. J. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*. 2016;540:220–229. doi: 10.1038/nature20588
- Potapov G. S., Kolosova Y. S. Fauna of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus* Latr.) in the mainland part of Arkhangelsk Region, NW Russia. *Annales de la*

Société entomologique de France (N.S.). 2016;52(3): 150–160. doi: 10.1080/00379271.2016.1217167

Potapov G. S., Kolosova Yu. S., Podbolotskaya M. V. Structure of bumblebee communities (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) in Karelia. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki = Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural Sciences.* 2013;4:70–76. (In Russ.)

Rasmont P., Terzo M. Catalogue et clé des sous-genres et espèces du genre *Bombus* de Belgique et du nord de la France (Hymenoptera, Apoidea). Mons: University of Mons; 2017. 28 p.

Skvortsov V. E. Atlas-keys for vascular plants of the taiga zone of European Russia: Regional lists of rare and protected species. Moscow: Grinpis Rossii; 2000. 587 p. (In Russ.)

Sofronov D. G., Pestov S. V. Trophic distribution of honey bees and bumblebees (Hymenoptera, Apidae) by plants of dry meadows of the subzone of the southern taiga of the Kirov Region. *Vysokie tekhnologii i apikul'tura: Mat-ly dokl. Vseros. konf.* (Izhevsk,

10–14 dekabrya 2008 g.) = High technologies and apiculture: Proceed. All-Russian conf. (Izhevsk, December 10-14, 2008). Izhevsk: Assotsiatsiya Nauchnaya kniga; 2010. P. 58–63. (In Russ.)

Soroye P., Newbold T., Kerr J. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. *Science.* 2020;367(6478):685–688. doi: 10.1126/science.aax8591

Tatarinov A. G., Dolgin M. M. Species diversity and methods for assessing it. Syktyvkar; 2010. 44 p. (In Russ.)

Tolmachev A. I. (red.). Flora of the north-east of the European part of the USSR. Leningrad: Nauka; 1974. Vol. 1. 273 p.; 1976. Vol. 2. 315 p., vol. 3. 293 p.; 1977. Vol. 4. 311 p. (In Russ.)

van Klink R., Bowler D. E., Gongalsky K. B., Swengel A. B., Gentile A., Chase J. M. Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science.* 2020;368(6489):417–420.

Williams P. H. Bumblebees of the world. Natural History Museum. 2019. URL: <https://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/bombus/subgenericlist.html> (accessed: 04.10.2024).

Поступила в редакцию / received: 02.11.2024; принята к публикации / accepted: 23.04.2025.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Филиппов Николай Ильич

канд. биол. наук, научный сотрудник отдела
экологии животных

e-mail: filippov@ib.komisc.ru

CONTRIBUTOR:

Filippov, Nikolai

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

УДК 597.552.3:591

ВЛИЯНИЕ ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА НА РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ОЗЕРА ПЯОЗЕРО (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)

Д. С. Савосин*, Н. В. Ильмаст

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),
**sadenser@inbox.ru*

Приведен сравнительный анализ рыбного населения одного из наиболее крупных водных объектов Северной Карелии – озера Пяозеро (бассейн Белого моря). В 1959–1965 гг. на р. Ковде на базе озер Пяозеро и Топозеро было создано одно из крупнейших в Северной Европе Кумское водохранилище с режимом многолетнего регулирования уровня. В работе приведены имеющиеся данные до подъема уровня озера и после зарегулирования р. Ковды. Показано, что за время формирования водохранилища численность лососевых и сиговых рыб значительно снизилась, при этом натурализовались вселенные виды (судак, корюшка). В последние десятилетия наблюдается уменьшение промысловый эксплуатации Пяозера и развито только любительское рыболовство. В рыбном населении преобладают виды пресноводно-арктического комплекса, требовательные к содержанию кислорода в воде. В настоящее время в озере обитают 17 видов рыб, принадлежащих к 10 семействам. Наблюдается значительное снижение численности в уловах не только ценных промысловых видов (ряпушка, сиг, судак), но и массовых (окунь, плотва). Полученные результаты дополняют данные о динамике численности видов с разным жизненным циклом в озерный и водохранилищный периоды водоема. Для изменения сложившейся ситуации на водохранилище и повышения его продуктивности необходимы мероприятия по восстановлению численности популяций лососевых и сиговых видов рыб.

Ключевые слова: Пяозеро; северная водная экосистема; гидрологические показатели; планктон; бентос; ихтиофауна; биологические показатели рыб; промысел

Для цитирования: Савосин Д. С., Ильмаст Н. В. Влияние зарегулирования стока на рыбное население озера Пяозеро (Северная Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 148–163. doi: 10.17076/eco2034

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ (Институт биологии КарНЦ РАН).

D. S. Savosin*, N. V. Ilmast. IMPACT OF FLOW REGULATION ON THE FISH POPULATION OF LAKE PYAOZERO, NORTHERN KARELIA

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *sadenser@inbox.ru*

The article provides a comparative analysis of the fish population of Lake Pyaozero (White Sea basin), one of the largest water bodies in northern Karelia. In 1959–1965, Kumskoye Reservoir, one of North Europe's biggest storage reservoirs, was formed on the River Kovda involving lakes Pyaozero and Topozero. It maintains a long-term water level regulation regime. Data obtained before the rise in the lake water level and after the regulation of the River Kovda are reported. During the formation of the reservoir, fish of the salmonid and coregonid families became much less abundant, while non-native species, such as pike-perch and smelt, became naturalized. In the past few decades, commercial fisheries on Lake Pyaozero have declined, whereas amateur fishing is on the rise. The fish population is dominated by freshwater arctic species, which require a certain percentage of oxygen in the water. The lake is now inhabited by 17 fish species of 10 families. Not only valuable commercial (vendace, whitefish, pike-perch) but also the most common (perch, roach) species have become less abundant in catches. The results provide new insights into the pre- and post-impoundment abundance dynamics of species differing in life cycles. To change the situation in the reservoir and to augment its productivity, measures should be taken to restore the abundance of salmonid and coregonid fishes.

Keywords: Lake Pyaozero; northern aquatic ecosystem; hydrological indicators; plankton; benthos; fish fauna; biological parameters of fish; fishery

For citation: Savosin D. S., Ilmast N. V. Impact of flow regulation on the fish population of Lake Pyaozero, northern Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 148–163. doi: 10.17076/eco2034

Funding. The research was funded from the Russian federal budget through state assignment to the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Institute of Biology KarRC RAS).

Введение

В результате зарегулирования р. Ковды в 1959–1965 гг. на базе озер Пяозеро и Топозеро было создано одно из крупнейших водохранилищ Северной Европы – Кумское водохранилище с режимом многолетнего регулирования уровня [Озера..., 2013]. Пяозеро – крупное пресноводное озеро на севере Республики Карелия. В период активной промысловой эксплуатации озера (до середины 1990-х гг.) оно занимало одно из ведущих мест в Карелии по объему вылова рыбы в год – 350–400 т [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959; Озера..., 2013; Широков и др., 2019]. Прекращение централизованного промысла и закрытие Софпорогского рыбзавода привело к уменьшению данных среднегодового учтенного вылова до нескольких десятков тонн. В настоящее время на этом крупном водоеме Карелии, как и на многих других, развит нерегистрируемый (чаще браконьерский) вылов рыбы. Известно, что значительные изменения в условиях обитания совместно с различным уровнем промыслового пресса на рыбное население

способны коренным образом изменить его структуру [Решетников и др., 1982; Первозванский, 1986; Дятлов, 2002; Стерлигова и др., 2002, 2016; Алимов и др., 2005; Ильмист, Стерлигова, 2012].

Цель работы – оценить состояние популяций отдельных видов рыб озера Пяозеро до и после зарегулирования водоема и при снижении промысловой нагрузки.

Материалы и методы

В основу работы легли результаты ихтиологических исследований, выполненных на оз. Пяозеро в 2017–2018 гг. Материал по ихтиофауне водоема собран из сетных уловов (ячеей 10–60 мм), выставляемых в разных участках озера и на различных глубинах. Обработку проб проводили по общепринятым методикам [Чугунова, 1959; Правдин, 1966; Решетников, 1980; Мина, 1981]. Рыбу измеряли, взвешивали, устанавливали пол, стадию зрелости гонад. Возраст рыб определяли по чешуе, жаберным крышкам и отолитам. Всего было собрано и обработано 324 экз. рыб (табл. 1).

Таблица 1. Количество собранного и обработанного материала

Table 1. Number of the collected and processed fish

Вид / Species	Количество, экз. Number, specimen
Сиг / Whitefish	64
Хариус / Grayling	11
Ряпушка / Vendace	39
Щука / Pike	26
Лещ / Bream	27
Плотва / Roach	45
Язь / Ide	4
Окунь / Perch	88
Ерш / Ruff	9
Корюшка / Smelt	6
Налим / Burbot	5

Для анализа рыбного населения Пяозера также использовались архивные и литературные данные [Мельянцев, 1954; Озера..., 1959, 2013]. Латинские названия рыб приведены по книге «Рыбы в заповедниках России» [2010].

Озеро Пяозеро расположено в северной части Карелии, относится к бассейну Белого моря. Площадь водной поверхности до зарегулирования р. Ковды составляла 658,7 км², общая площадь (с островами) – 754,8 км². Наибольшая длина равна 48,5 км, наибольшая ширина 31,4 км (рис. 1). Озеро имеет неправильную

удлиненную форму, большая ось направлена с северо-северо-запада на юго-юго-восток. Пяозеро – глубоководный и холодноводный водоем с извилистой береговой линией и значительными перепадами рельефа дна. Максимальная глубина составляет 49 м, средняя 17,7 м. В озеро впадают реки Ковда, Коло, Кити, Оланга и др. и вытекает р. Ковда. В водоеме наблюдается четкое разграничение на две части – северную (более глубоководную) и южную. Грунты преимущественно песчаные, реже глинистые и суглинистые, в отдельных районах озера дно покрыто камнями. После организации в 1962 г. Кумского (Топо-Пяозерского) водохранилища основные изменения затронули морфологию Пяозера. Анализ данных показал, что после образования водохранилища произошло увеличение площади водосбора с 3570 до 12 000 км², площади водного зеркала с 755 до 943 км², объема водной массы с 10,0 до 16,7 км³ и подъема уровня воды на 9 м. На обширной затопленной акватории водохранилища имеются подводные каменистые отмели, подводные «луга», образованные зарослями погруженных растений. Подобное разнообразие гидрологических условий свидетельствует о значительном рыбохозяйственном потенциале оз. Пяозеро [Озера..., 1959, 2013]. Лимнологическая характеристика оз. Пяозеро в 1959 и 2013 гг. представлена в табл. 2.

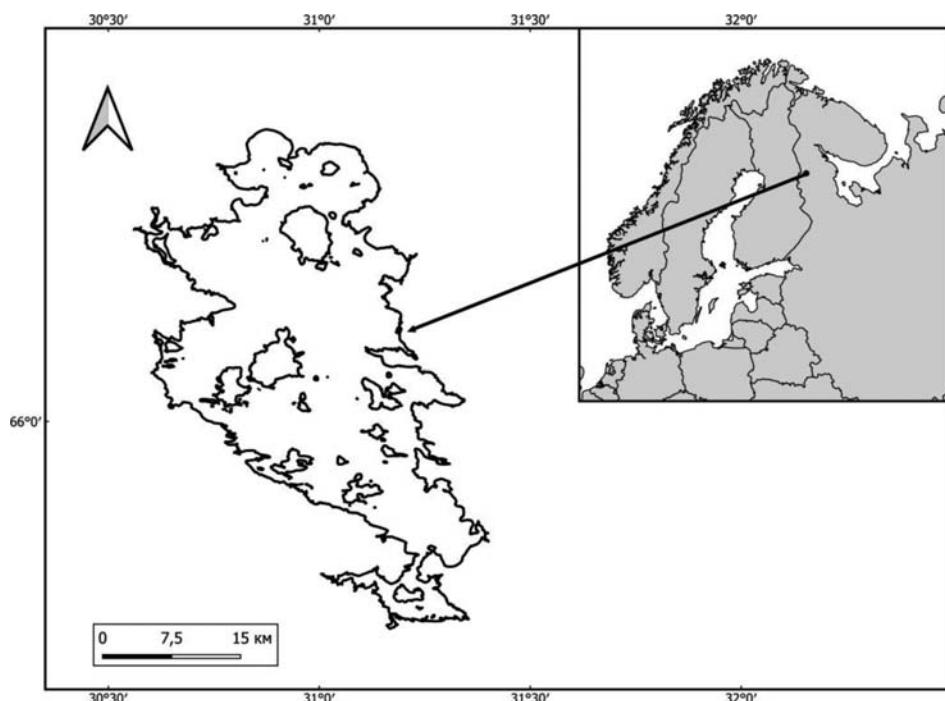


Рис. 1. Карта-схема озера Пяозеро

Fig. 1. Schematic map of Lake Pyaozero

Таблица 2. Лимнологическая характеристика озера Пяозеро в 1959 и 2013 гг.

Table 2. Limnological description of Lake Pyaozero in 1959 and 2013

Показатели / Indices	Годы / Years	
	1959*	2013**
Координаты Coordinates	N66°05', E30°55'	N66°02', E31°02'
Высота над уровнем моря, м БС Altitude, m	100	109
Площадь водосбора, км ² Catchment area, km ²	3 570	12 000
Площадь зеркала озера, км ² Lake surface area, km ²	755	943
Количество островов Number of islands	40	66
Длина береговой линии, км Length of coastline, km	256	256
Объем водной массы, км ³ Volume of water mass, km ³	10,1	16,7
Коэффициент условного водообмена, период / год Conditional water exchange coefficient, period / year	-	0,30 / 3,33
Длина озера, км Length of the lake, km	48,5	48,5
Ширина озера, км / Lake width, km	Средняя Average	-
	Наибольшая Largest	-
Глубина озера, м / Lake depth, m	Средняя Average	15,4
	Наибольшая Largest	49,0
		13,6
		31,4
		17,7
		49,0

Примечание. Здесь и табл. 3 данные по: *[Озера..., 1959], **[Озера..., 2013].

Note. Here and in Table 3: after *[Lakes ..., 1959], **[Lakes ..., 2013].

Результаты и обсуждение

Гидрохимическая и гидробиологическая характеристика оз. Пяозеро

Гидрохимический режим Пяозера связан с поступлением поверхностного, подземного и антропогенного речного стока, а также атмосферных осадков. Химические показатели воды представлены в табл. 3. Воды Пяозера относятся к гидрокарбонатному классу группы кальция. Анализ показателей свидетельствует об отсутствии резких изменений гидрохимического режима в связи с зарегулированием водоема. Воды слабоминерализованные, общая минерализация составляет 23–26 мг/л, pH близок к нейтральному. Кислородные условия хорошие. Отмечено снижение перманганатной окисляемости.

Макрофиты озера представлены 15 видами, с преобладанием тростника, камыша озёрного, рдеста, хвоща, имеются заросли полуушки озерного. Степень зарастания составляет 0,75 %, протяженность полосы прибрежных зарослей 14 % от длины береговой линии

[Александров, Гордеева, 1959]. В период сбора ихтиологического материала (2017–2018 гг.) видимых изменений зарастания водоема не отмечено.

В составе фитопланктона Пяозера отмечено 46 таксонов с массовыми видами: *Aulacoseira islandica*, *A. alpigena*, *A. italicica*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria crotonensis* и др. Годовая продукция составляет 18 г С м⁻² [Озера..., 2013].

В зоопланктоне общее число видов невелико – 39, из них *Cladocera* – 22, *Copepoda* – 11, *Rotatoria* – 6 [Куликова, 2010]. К массовым видам в составе зоопланктона относятся: *Cladocera* (*Daphnia cristata*, *Holopedium gibberum*), *Copepoda* (*Eucyclops gracilis*, *Euritemora lacustris*, *Heterocope appendiculata*, *Mesocyclops leuckarti*, *Cyclops strenuus*), *Rotatoria* (*Asplanchna priodonta*, *Kellicotia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Conochilus unicornis*). Средние значения биомассы зоопланктона Пяозера достигают 0,13–0,15 г/м³.

Макрообентос. Затопление прибрежных участков базовых озер при создании водохранилища привело к изменению условий формирования сообществ зообентоса.

Таблица 3. Гидрохимические и гидробиологические показатели оз. Пяозеро в 1959 и 2013 гг.
 Table 3. Hydrochemical and hydrobiological indices of Lake Pyaozero in 1959 and 2013

Показатели / Indices	Годы / Years	
	1959*	2013**
Цветность, град. Colour, deg.	-	16,0
Прозрачность, м Transparency, m	4,5 в заливах – 3–4 4.5 in the bays – 3–4	4,0
Величина pH pH	6,7–7,2	6,6–7,4
Содержание O ₂ , в % O ₂ content, in %	85–107	73–104 (92)
Содержание CO ₂ , поверхность / дно, мг/л CO ₂ content, surface/bottom, mg/l	2,0 / 4,0	1,2 / 4,8 (2,2)
Минерализация воды, мг/л Mineralization, mg/l	23	26
Перманганатная окисляемость, мг O ₂ /л Permanganate oxidation, mg O ₂ /l	7–13	4,3
Биомасса фитопланктона, г/м ³ Phytoplankton biomass, g/m ³	-	0,10
Биомасса зоопланктона, г/м ³ Zooplankton biomass, g/m ³	-	0,13
Биомасса бентоса, г/ м ² Benthos biomass, g/m ²	0,21–1,06	1,25 (1,10–1,90)

Донная фауна насчитывает до 19 систематических групп и представлена главным образом личинками водных насекомых (*Chironomidae*, *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera* и др.), червями (*Oligochaeta*, *Nematoda*, *Hirudinea*), моллюсками (*Gastropoda*, *Bivalvia*), нектобентическими ракообразными (*Palassiola quadrispinosa*, *Mysis relicta*, массовый вид *Monoporeia affinis*) и водяными клещами [Мельянцев, 1954]. Наиболее разнообразен видовой состав донной фауны в зарослях водной растительности, с постепенным уменьшением числа видов с ростом глубин. Средние значения биомассы макрозообентоса озера варьировали с учетом литоральной зоны от 1,1 (глубины 10–25 м) до 1,9 г/м² (глубины до 3 м) и в среднем составляли 1,25 г/м².

Таким образом, количественные показатели развития планктона и бентоса (табл. 3) позволяют отнести Пяозеро к олиготрофному типу водоемов [Китаев, 2007]. Поднятие уровня водохранилища привело к обеднению нагульных участков рыб-бентофагов, но одновременно создало благоприятные условия для развития зоопланктонного комплекса и, соответственно, для откорма молоди рыб и рыб-планктофагов. Для хищных рыб (палии, кумжи, налима, крупного окуня) наличие в водоеме значительных запасов ряпушки и корюшки создает благоприятные условия для нагула. В целом условия Пяозера соответствуют для обитания хо-

лодолюбивых лососевых и сиговых видов рыб, занимающих в составе рыбного населения доминирующее положение.

Рыбное население оз. Пяозеро

До создания водохранилища рыбное население озера насчитывало 16 видов рыб, относящихся к 10 семействам [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959]. В настоящее время оно представлено 17 видами рыб (табл. 4) [Лукин и др., 2006; Озера..., 2013]. По сравнению с ранее полученными данными в Пяозере не был отмечен гольян, постоянно обитающий в соседнем озере Топозеро.

В промысловых уловах озера (до 2000-х гг.) наиболее многочисленную группу составляли ряпушка, сиги (разные формы), налим, окунь, корюшка, щука, плотва, лещ. В уловах редко встречались палия, кумжа, гольян, ерш и лещ. Единично встречались хариус, елец, язь, бычок-подкаменщик, девятииглая колюшка и гольян.

Пик промысловых уловов (в среднем до 500 т) приходился на период с 1966 по 1975 г., после чего наблюдается стабильное снижение вылова рыбы. К середине 1990-х гг., по официальным данным, учтенный вылов рыбы колебался в пределах 13–46 т в год [Черепанова, Георгиев, 2014; Государственный..., 2015, 2024].

По срокам нереста в водоеме представлены виды всех групп: осеннерестующие, весенне-летнерестующие и зимнерестующие. Для большинства видов характерна приуроченность к прибрежным, мелководным участкам, глубина расположения нерестилищ варьирует от 0,5 до 10 метров. Однако такая картина наблюдается при относительно низких температурах воды. В летний период основные промысловые рыбы озера (сиг, ряпушка) покидают зону литорали, занимая отдаленные от берега глубокие участки водоема. Постоянными обитателями литорали Пяозера являются карповые и окуневые рыбы (плотва, лещ, язь, гольян, окунь, ерш).

Кумжа (*Salmo trutta*) – это одна из наиболее ценных промысловых рыб в Пяозере с крайне низкой численностью. Причина – интенсивная промысловая нагрузка (любительский и браконьерский лов) по всему озеру, даже в период нереста на реках и ручьях, впадающих в водохранилище. По данным исследований 50-х годов, этот крупный хищник, питающийся ряпушкой и корюшкой, достигал в промысловых уловах массы 2 кг при длине около 50 см [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959]. Для сравнения, производители наиболее многочисленного шуйского стада кумжи Онежского озера к первому нересту имели размер 54–81 см при массе от 2 до 4,6 кг. При этом масса шуйской кумжи в Онежском озере может достигать 6–8 кг [Биоресурсы..., 2008]. Нерест кумжи начинается в конце первой декады сентября и продолжается до середины октября в реках на участках с галечно-песчаным дном, при температуре воды 2–6 °C. Молодь проводит в реках и ручьях от 2 до 5 лет, после чего возвращается в озеро. Максимальный возраст, отмеченный для кумжи Пяозера другими авторами, составил 9+ [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959]. В настоящее время регулярные колебания уровня воды в водохранилище привели к ухудшению условий ее воспроизводства. На фоне непрекращающегося браконьерского лова численность имеющихся популяций кумжи значительно сократилась [Лукин и др., 2006].

В наших уловах этот вид не отмечен, что дополнительно подтверждает его низкую численность в водоеме. Сохранение и восстановление запасов кумжи на Пяозере должно быть связано с введением ограничительных мер по вылову этого ценного вида в реках. Рациональный промысел кумжи только в озере и организация ее искусственного разведения способны увеличить подорванные запасы.

Голец (палия) (Salvelinus lepechini). Этот представитель арктического-пресноводного комплекса встречается в основном в открытой части озера, избегая прибрежных участков, прогреваемых до температуры 10 °C и выше. В водоеме обитает озерная форма арктического гольца, поздно созревающая (у некоторых особей половозрелость наступает в возрасте 8 лет) и нерестящаяся с конца сентября и до половины октября, когда температура воды понижается до 6–8 °C [Мельянцев, 1954].

Нерестилища палии расположены на скалистых участках и каменистых отмелях озера на глубинах от 0,5 до 4–5 м. В период развитого промышленного лова уловы палии на Пяозере составляли несколько тонн в год, отдельные экземпляры достигали массы 2,5 кг при среднем значении этого показателя 1,3–1,6 кг. В уловах последних лет (2000-е гг.) возрастной ряд палии несколько уменьшился по сравнению с 1950-ми годами, включая в себя до восьми возрастных групп, с доминированием семи- и восьмилетних особей [Лукин и др., 2006]. В настоящее время официальный промышленный лов палии не ведется, но запасы этого вида достаточны для продолжения любительского сетного лова по разрешениям. Несмотря на зарегулирование Пяозера, по-видимому, площади нерестовых участков палии сохранились в достаточном объеме. В наших уловах палия отмечалась.

Ряпушка (Coregonus albula) – это массовый вид, распространенный по всему озеру, представлен мелкой, медленно растущей формой (рис. 2). Ряпушка является главной промысловой рыбой Пяозера, в водоеме имеются все условия для нагула и размножения планктофага.

Как и в большинстве популяций мелкой ряпушки в водоемах Карелии [Покровский, 1953], в Пяозере ряпушка созревает в массе на втором году жизни (1+). Нерест начинается примерно в середине октября в течение 10–15 дней при температуре воды около 6–6,5 °C на песчано-галечных, песчано-илистых и песчаных грунтах. К нерестилищам на глубинах от 2 до 10 м подходят главным образом двухлетки и трехлетки, возраст 3+ является для пяозерской ряпушки близким к предельному [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959]. В соседнем Топозере, также входящем в состав Кумского водохранилища, отмечена крупная форма ряпушки [Беляева, 1951], которая не встречается в Пяозерском плесе. Однако по реке Софьянге возможно свободное перемещение популяций между двумя озерами [Лукин и др., 2006; Черепанова, Георгиев, 2014].

Таблица 4. Видовой состав рыбного населения Пяозера в разные годы

Table 4. Species composition of the fish population in Lake Pyaozero in different years

Виды / Species	Годы / Years	
	1954	2017–2018
Сем. Лососевые – <i>Salmonidae</i>		
<i>Salmo trutta</i> L. – кумжа	+	+
<i>Salvelinus lepechini</i> (G.) – палия	+	+
Сем. Сиговые – <i>Coregonidae</i>		
<i>Coregonus lavaretus</i> (L.) – сиг	+	+
<i>C. albula</i> (L.) – ряпушка	+	+
Сем. Хариусовые – <i>Thymallidae</i>		
<i>Thymallus thymallus</i> (L.) – хариус	+	+
Сем. Корюшковые – <i>Osmeridae</i>		
<i>Osmerus eperlanus</i> (L.) – корюшка	+	+
Сем. Щуковые – <i>Esocidae</i>		
<i>Esox lucius</i> L. – обыкновенная щука	+	+
Сем. Карповые – <i>Cyprinidae</i>		
<i>Rutilus rutilus</i> (L.) – плотва	+	+
<i>Abramis brama</i> (L.) – лещ	+	+
<i>Leuciscus idus</i> (L.) – язь	+	+
<i>L. leuciscus</i> (L.) – елец	+	+
<i>Phoxinus phoxinus</i> (L.) – гольян	-	+
Сем. Налимовые – <i>Lotidae</i>		
<i>Lota lota</i> (L.) – налим	+	+
Сем. Колюшковые – <i>Gasterosteidae</i>		
<i>Pungitius pungitius</i> (L.) – колюшка девятиглазая	+	+
Сем. Окуневые – <i>Percidae</i>		
<i>Perca fluviatilis</i> L. – речной окунь	+	+
<i>Gymnocephalus cernuus</i> (L.) – ерш	+	+
Сем. Рогатковые – <i>Cottidae</i>		
<i>Cottus gobio</i> L. – обыкновенный подкаменщик	+	+
Итого Total	16	17

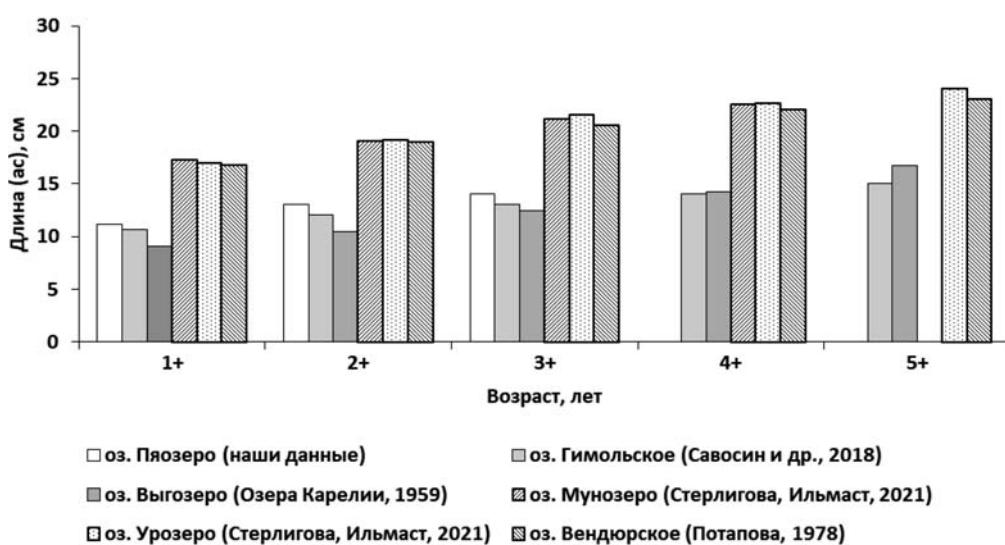


Рис. 2. Линейный рост разных форм ряпушки водоемов Карелии

Fig. 2. Linear growth of different forms of vendace in water bodies of Karelia

С образованием водохранилища вылов ряпушки на обоих плесах значительно вырос и в 1969 г. достигал суммарного значения в 70 т. В 1976–1980 гг. среднегодовые уловы ряпушки в водохранилище снизились до 41 т, а позднее – до 13–17 т за год (1981–1990 гг.). После 1996 года и по настоящее время вылов этого массового вида невелик, за исключением периода 2006–2010 гг., когда вылов превышал 10 т. Основными орудиями лова служат мелко-частиковые заколы и сети рыбаков-любителей, пик промысловой активности приходится на нерестовый и преднерестовый периоды. В это время ряпушка образует в озерах массовые концентрации. В промысловых уловах этого вида на Пяозерском плесе преобладают особи массой от 9,6 до 17,3 г и длиной от 8 до 13 см [Широков и др., 2016].

Важно отметить, что весьма слабо используются по всему водоему запасы летней («паровой») ряпушки. При этом основной объем вылова ряпушки во все периоды промысловой эксплуатации приходился на Топозерский плес Кумского водохранилища, что означает потенциальные значительные резервы возможного вылова в Пяозерском плесе.

Сиг (*Coregonus lavaretus*) в Пяозере является одной из основных и наиболее ценных по товарной значимости рыб, на долю которой в отдельные годы приходилось до четверти уловов. Наибольшие уловы сига совпадают с периодом заполнения Кумского водохранилища (1961–1970 гг.), когда они достигали нескольких десятков тонн в каждом из плесов водохранилища. После установления нового гидрологического режима в озере происходит неуклонное снижение объемов вылова сигов. Минимальные значения ежегодного учтенного лова были в последние 5 лет, они не превышали нескольких тонн [Широков и др., 2016], что может быть связано с ухудшением условий воспроизводства сигов.

В Пяозере сиги представлены разными экологическими формами [Мельянцев, 1939, 1954; Сенек и др., 2018]; по данным Широкова с коллегами [2016], в водоеме обитает пять симпатрических форм (две озерные и три озерно-речные).

При анализе структуры вида и систематического статуса подвидов и экологических форм сига в своей работе мы придерживались точки зрения Ю. С. Решетникова [1995; Решетников, Лукин, 2006]. В результате исследований 2017–2018 гг. установлено, что наиболее многочисленная выборка (48 экземпляров) относится к среднетычинковым сигам (ч.ж.т. 26–36, в среднем 29), так называемому береговому сигу (местное название «рантасига»).

Сиги из этой более многочисленной выборки были отловлены в прибрежных участках Пяозера, в диапазоне глубин 2–15 м. Озерный береговой сиг составляет основную массу вылавливаемых рыб в обоих плесах Кумского водохранилища, относится к сравнительно медленно растущим формам сигов. Доля рантасига в общем вылове сигов достигает 60–70 %, пик промысла приходится на период осенних кормовых и нерестовых миграций. По сравнению с исследованиями 1950-х годов [Мельянцев, 1954] средний вес этой формы сигов в уловах снижается [Широков и др., 2016]. Места нагула этой формы приурочены к прибрежной мелководной части Пяозера, нерест растянут по времени и проходит на отмелях с твердыми грунтами, с глубинами 3–4 м, при температуре воды 4–6 °С. В наших уловах доминировали особи в возрасте 6+ – 7+ (табл. 5).

Вторая выборка (26 экземпляров) в составе исследовательских уловов относилась к малотычинковым пыжьянovidным сигам (ч.ж.т. 20–24, в среднем 23). Сиги, принадлежащие к этой выборке, отловлены с глубин около 40 м; очевидно, необходимо рассматривать их как глубоководную форму озерного сига, известную под местным названием «латтанени». Доля в общем вылове сигов достигает в последние годы 5–10 %, по размерно-возрастным показателям он уступает береговому сигу. Глубоководный сиг нерестится на глубинах в 20–30 м, все остальное время придерживается наиболее глубоководных районов Пяозера [Широков и др., 2016].

В наших уловах были представлены особи в возрасте 3+ – 8+ (табл. 5), в опытных уловах доминировали шести-семилетки. Половозрелым сиг становятся на четвертом-пятом году жизни (3+ – 4+). Проведенные исследования показали, что абсолютная плодовитость в возрасте 5+ составляет 4500 икринок, в возрасте 6+ – 6760 икринок. Сопоставление полученных нами результатов с данными В. Г. Мельянцева [1954] свидетельствует о некотором увеличении линейно-весовых показателей сига обеих экологических групп по сравнению с 1950-ми годами (рис. 3). Снижение объемов промышенного лова в последние десятилетия и значительные площади для нагула способствовали активному росту и размножению сига.

Проходные формы в Пяозере представлены сигами, местное название которых – «кутчери», «лехтисига» (листопадка), «суури сига» и «кукконени» [Правдин, 1954]. На долю каждой из них в общем вылове сигов на Пяозере приходится в среднем до 10–15 % [Лукин и др., 2006; Широков и др., 2016]. В наших уловах эти формы сига представлены не были. В статистике

Таблица 5. Возрастной состав сига оз. Пяозеро в 2017 г. (%)

Table 5. Age composition of whitefish in Lake Pyaozero in 2017 (%)

Возраст Age						N
3+	4+	5+	6+	7+	8+	
Малотычинковые сиги (ж. т. 20–24,ср. 23) Rarely-rakered whitefish (g. r. 20–24, aver. 23)						
8,0	27,0	46,0	11,0	8,0	–	26
Среднетычинковые сиги (ж. т. 26–36,ср. 29) Sparsely-rakered whitefish (g. r. 26–36, aver. 29)						
4,0	4,0	25,0	31,0	34,0	2,0	48

Примечание. N – общее количество рыб.

Note. N – total number of fish.

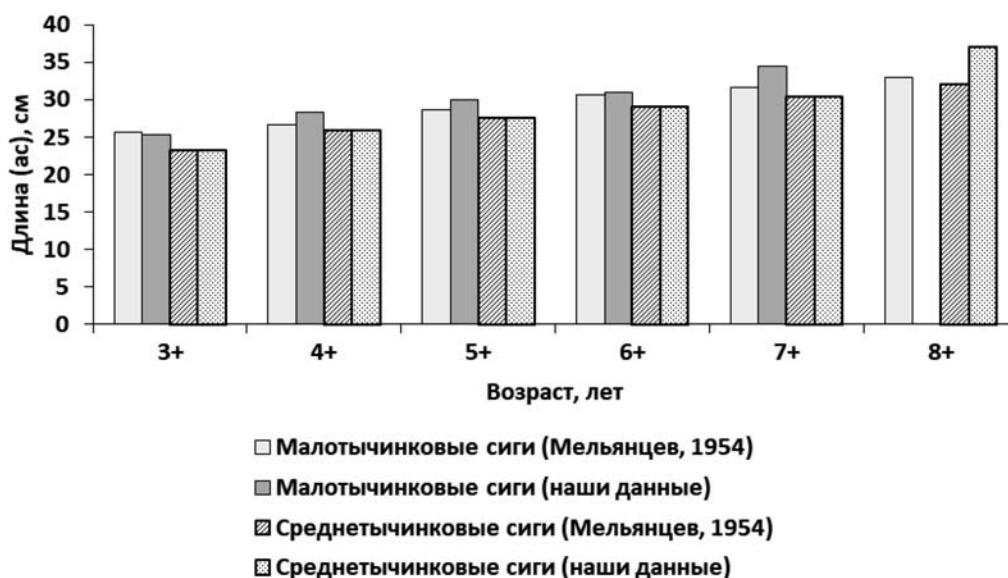


Рис. 3. Линейный рост разных форм сига оз. Пяозеро

Fig. 3. Linear growth of different forms of whitefish in Lake Pyaozero

уловов сигов разделение их по экологическим формам не находило отражения даже в годы развитого промысла (в 1960–1970-е гг.).

Хариус (*Thymallus thymallus*) представлен в Пяозере двумя экологическими формами (озерная и речная), по сравнению с Топозерским плесом в Пяозере он более многочисленный [Мельянцев, 1954]. В Пяозере обитает медленнорастущий хариус. В наших уловах были представлены особи в возрасте 3+ – 6+, средней длиной до 30–33 см при массе от 200 до 450 г. Половозрелости озерный хариус достигает в возрасте трех-четырех лет. Его нерест проходит на мелководном каменистом прибрежье островов, на глубинах 1–2 м. Промысловое значение имеет лишь озерный хариус, численность речной формы крайне низкая. По литературным данным, в последние годы в уловах хариус

представлен единичными экземплярами [Лукин и др., 2006].

Корюшка (*Osmerus eperlanus*) по биологическим параметрам является мелкой, медленнорастущей формой, имеет большое сходство с корюшкой из других крупных водоемов Карелии. По данным последних лет, возрастной ряд корюшки представлен от 2 до 11 лет, с доминированием трех-четырехлетних особей с массой 6–11 г [Черепанова, Георгиев, 2014]. Половой зрелости корюшка достигает в возрасте двух-трех полных лет, на нерест подходит при температуре воды около 6 °C, в конце мая – начале июня. Корюшка Пяозера относится к промысловым видам с довольно высокой численностью, претерпевающим значительные колебания по уловам. В настоящее время специальный промысел корюшки

на водоеме не ведется, она попадает в орудия лова в качестве прилова. По-видимому, регулярные сработки уровня Кумского водохранилища в разные периоды года не оказывают влияния на этот ценный в промысловом отношении вид. Возможный вылов корюшки рекомендуется в объеме 10–15 т [Черепанова, Георгиев, 2014]. В наших уловах корюшка была представлена единичными экземплярами, преимущественно в желудках других рыб.

Щука (*Esox lucius*). Этот хищник распространен практически по всему Пяозеру, исключая центральную, глубоководную часть водоема. Мелководные и хорошо прогреваемые заливы характеризуются довольно значительными концентрациями щуки, в период интенсивного промысла годовой вылов ее достигал 20–30 т [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959; Лукин и др., 2006]. Щука в Пяозере характеризуется хорошим ростом, не отличаясь в этом отношении от щуки других озер Карелии (рис. 4). По результатам наших исследований, массовое созревание щуки в условиях Пяозера происходит в возрасте четырех (самцы) и пяти (самки) лет. Нерест хищника проходит в конце мая в мелководных участках озера с остатками растительности, залитыми водой. Такие особенности биологии щуки делают ее одним из наиболее уязвимых видов по отношению к уровню воды в водоеме. Резкое падение уровня воды способно вызвать массовую гибель икры щуки на нерестилищах.

Сравнительно слабое развитие зарослей в береговой зоне озера, ограниченность удобных

участков для размножения щуки и нагула ее молоди, конкуренция за кормовые объекты со стороны других хищников – дополнительные факторы, лимитирующие численность этой рыбы в Пяозере.

Плотва (*Rutilus rutilus*) – это теплолюбивый и неприхотливый вид, распространен по всей акватории Пяозера, предпочитает мелководные, богатые высшей водной растительностью заливы и устья некоторых рек. В годы развитого промышленного лова вылов плотвы составлял до нескольких десятков тонн, превышая в отдельные годы и показатель в 100 т [Лукин и др., 2006]. Выполненные исследования показали, что для плотвы Пяозера характерен длинный возрастной ряд, замедленный темп роста, что характерно для северных водных экосистем (рис. 5). Нерест происходит около третьей декады июня, на мелководных участках с остатками прошлогодней растительности, с глубинами от 0,5 до 1,5 м. Оптимальные температуры для начала нереста находятся в пределах 10–12 °C [Стерлигова и др., 2016]. Резкие изменения уровня воды в озере, как и для щуки, могут оказать губительное воздействие на воспроизводительную способность популяции. В настоящее время этот вид можно отнести к второстепенным промысловым объектам.

Лещ (*Abramis brama*) – малочисленный представитель семейства карповых рыб в Пяозере. Условия жизни теплолюбивых рыб в водоеме неблагоприятны, чем объясняется его относительно низкая численность даже в периоды развитого промысла – на уровне нескольких

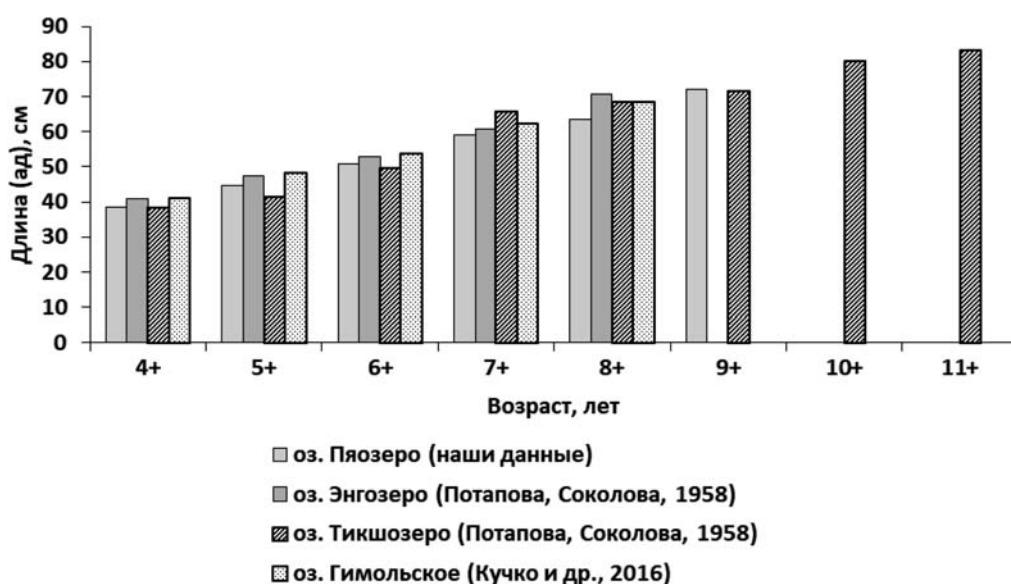


Рис. 4. Линейный рост щуки водоемов Карелии

Fig. 4. Linear growth of pike in water bodies of Karelia

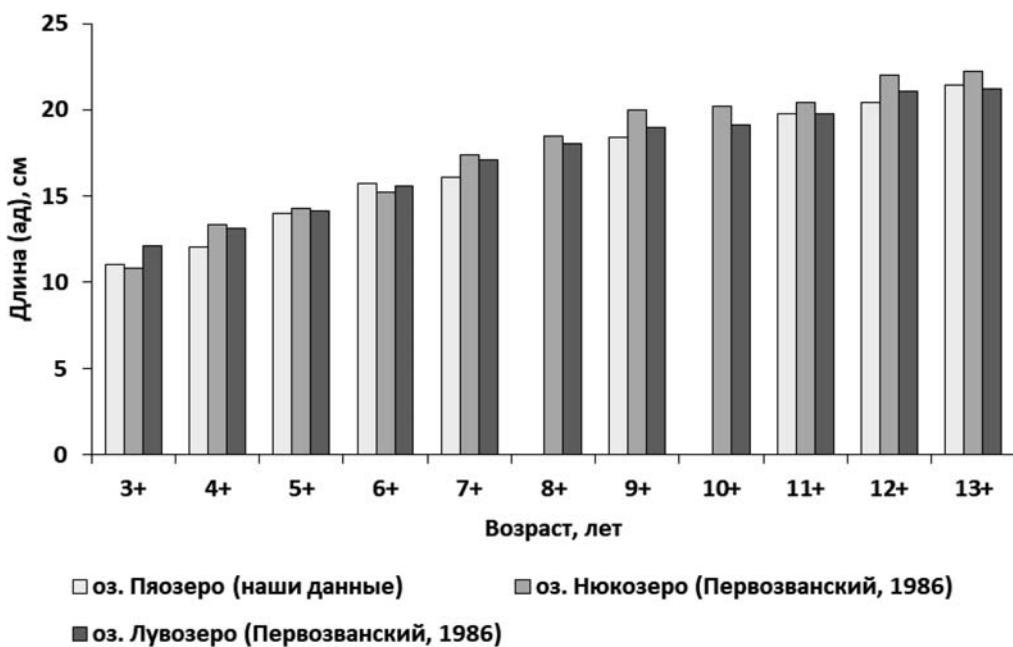


Рис. 5. Линейный рост плотвы водоемов Карелии
Fig. 5. Linear growth of roach in water bodies of Karelia

тонн в 1970–80-е годы. В последние годы промышленный вылов составляет до 200 килограммов в год, размеры особей в уловах уменьшаются [Лукин и др., 2006]. В наших уловах были представлены особи в возрасте от 5 до 17 лет при массе от 77 до 2065 г (рис. 6). Половой зрелости в условиях Плязера лещ, по данным 2017–2018 гг., достигает в возрасте 7–8 лет. Нерестится во второй половине июня,

при температуре воды 13–14 °С, почти одновременно с плотвой. Основной район его обитания в водоеме приурочен к предустыевому пространству реки и к самой реке Пундоме – одному из притоков Плязера, в остальных участках озера лещ довольно редкая рыба. При этом, несмотря на глубоководность водоема и низкую прогреваемость воды, он постоянно присутствует в уловах рыбаков.

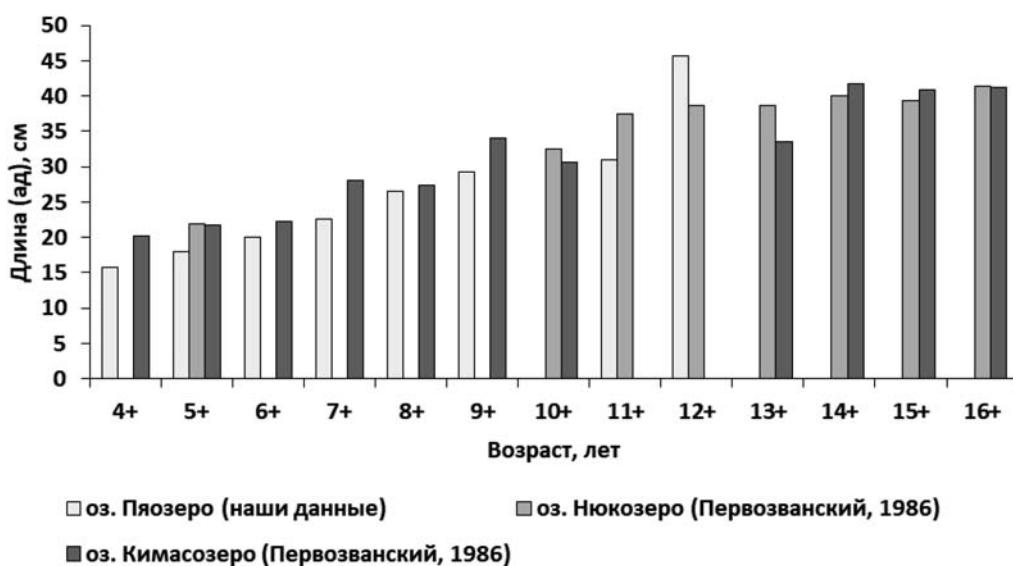


Рис. 6. Линейный рост леща водоемов Карелии
Fig. 6. Linear growth of bream in water bodies of Karelia

Язь (*Leuciscus idus*) – довольно редкая для Пяозера рыба. После зарегулирования водоема отмечается единичными экземплярами, в наших уловах был представлен только четырьмя особями. Нерестится язь в первых числах июня, в течение 2–3 дней, тогда его возможно обнаружить в несколько больших количествах. Средняя масса рыб в уловах в Пяозере в настоящее время не превышает 400–500 г, реже 800–1000 г. По данным 1950-х годов, ежегодный вылов язя составлял всего несколько десятков килограммов [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959].

Гольян (*Phoxinus phoxinus*). Ранее этот вид не отмечался в составе рыбного населения Пяозера [Мельянцев, 1939, 1954; Александров, Гордеева, 1959], в настоящее время [Лукин и др., 2006] является одним из многочисленных видов-фитопланктофагов, встречаясь повсеместно в водоеме. Обитает гольян в литорали озера на песчаных грунтах и в местах с развитой растительностью. Нерестится в мае–июне при температуре воды 7–10 °С на каменистых перекатах, нерест порционный [Стерлигова и др., 2016]. В наших уловах гольян не отмечен.

Окуневые рыбы Пяозера представлены двумя видами: окунем (*Perca fluviatilis*) и ершом (*Gymnocephalus cernuus*). Как и плотва, оба вида могут быть отнесены к промысловым рыбам второго порядка. Известно, что обитание их приурочено главным образом к мелководной, литоральной и сублиторальной зонам водоема [Мельянцев, 1954].

Окунь встречается по всему Пяозеру в его мелководных участках, часто в зарослях рдеста, летом формирует скопления на каменистых лудах и у отмелей островов. Нерестится в конце мая и почти до конца второй декады июня, на глубинах не более 2 м [Мельянцев, 1939, 1954]. Нерестилища, как правило, имеют остатки прошлогодней растительности, после повышения уровня воды в Пяозере площадь их заметно увеличилась [Лукин и др., 2006; Широков и др., 2019]. В наших уловах преобладали некрупные особи массой 60–110 г при длине 15–17 см. В условиях озера у окуня сохраняется медленный темп роста, особи массой более 300 г отмечены в возрасте 12–13 лет (рис. 7).

Ерш относится к многочисленным малопромысловым рыбам Пяозера, чаще всего присутствует в прилове. Нерест ерша порционный, проходит в первой половине июня, на глубинах 1–2 м, при прогреве воды до 7–8 °С. Популяция ерша наносит значительный вред таким ценным объектам промысла, как сиг и ряпушка, активно питаясь икрой этих рыб [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959; Лукин и др., 2006; Стерлигова и др., 2016]. Специализированный лов ерша в настоящее время не ведется, поэтому с большой точностью оценить его запасы не представляется возможным. В наших уловах ерш был представлен единичными экземплярами.

Налим (*Lota lota*) в Пяозере распространен повсеместно, активно питается другими видами (ряпушкой, корюшкой) во время их нереста

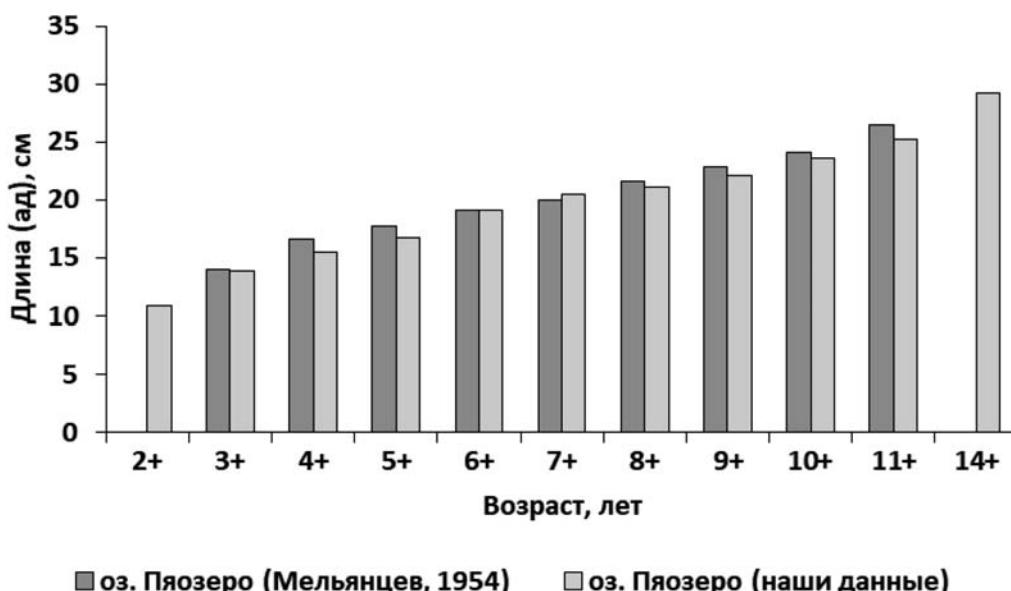


Рис. 7. Линейный рост окуня оз. Пяозеро разных лет

Fig. 7. Linear growth of perch in Lake Pyaozero in different years

[Стерлигова и др., 2016]. Относится к числу рыб второстепенного промыслового значения. В годы развитого промысла вылов достигал нескольких десятков тонн [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959], в настоящее время ученный вылов этого вида в водоеме не превышает нескольких тонн ежегодно. Половозрелым налим становится в массе в возрасте 3+, нерест проходит в первой половине февраля, в отдельных мелководных губах и в устьях рек (Пундома, Кундозерка, Оланга и др.). В уловах последних лет не встречаются особи массой более 2,5 кг [Лукин и др., 2006], хотя ранее вылавливались и рыбы массой более 8 кг [Мельянцев, 1954; Александров, Гордеева, 1959]. В наших уловах налим был представлен несколькими экземплярами.

Колюшка девятииглая (*Pungitius pungitius*) распространена по всему озеру, служит объектом питания многих хищных рыб (кумжа, голец, налим, щука, окунь). Половозрелость наступает в возрасте 0+ – 1+, нерест порционный, с начала до середины лета [Лукин и др., 2006]. Промыслового значения не имеет, длина тела не превышает 9 см, масса достигает 10 г.

Заключение

Выполненные исследования показали, что многолетние перерывы в комплексном мониторинге Пяозера после зарегулирования его уровня и недостаточность сведений о современном состоянии запасов ценных промысловых видов обусловливают необходимость актуальность дальнейших исследований. В настоящее время в Пяозере обитают 17 видов рыб, принадлежащих к 10 семействам. По сравнению с исследованиями 1950-х годов в рыбном населении водоема отмечен ныне многочисленный планктофаг – гольян.

Анализ данных промысловой статистики показывает, что величина общих уловов рыбы в Пяозере в разные годы промысловой эксплуатации претерпевала изменения. Это было связано как с естественной динамикой численности разноцикловых видов в озерный и водохранилищный периоды водоема, так и с уровнем организации и развития самого промысла, его целенаправленностью [Лукин и др., 2006; Черепанова, Георгиев, 2014; Широков и др., 2016]. Несмотря на то что интенсивность промысла на Пяозере в настоящее время находится на низком уровне, в уловах планомерно снижается доля ценных видов (палия, сиг, кумжа), которые становятся объектами нелимитированного любительского и браконьерского лова. Изменение гидрологического режима негативно сказалось на части

рыбного населения водоема, обеспечив для видов второстепенного промыслового значения более благоприятные условия среды (окунь, ерш и др.). После изменения уровня озера на несколько метров произошло образование новых нерестовых участков для одних видов рыб и одновременно стало невозможным размножение на старых нерестилища. Отрицательное значение имело зарегулирование водоема для воспроизводства осенненерестующих рыб с длительным периодом инкубации (сиг, ряпушка, палия), поскольку снижение горизонта воды в зимний период приводит к промерзанию значительных площадей нерестилищ в прибрежной зоне. Преимущество в таких условиях получили менее ценные в промысловом отношении весенне- и летнерестующие рыбы (окунь, ерш, плотва и др.).

Для увеличения рыбохозяйственного потенциала Пяозера необходимо проведение работ, направленных на восстановление численности лососевых и сиговых рыб и интенсификацию вылова хищных и нежелательных видов. Это будет способствовать уменьшению конкуренции за кормовой ресурс в местах совместного обитания молоди ценных видов рыб. Анализ имеющихся материалов свидетельствует, что в настоящее время происходит повсеместная смена промышленного лова на любительское и спортивное рыболовство. При этом целесообразно развитие специализированного промысла в отношении видов, пользующихся популярностью у рыболовов. В целом полученные результаты дополняют информацию о современном состоянии рыбной части сообщества оз. Пяозера при меняющихся условиях обитания гидробионтов и неодинаковом уровне их промысловой эксплуатации.

Литература

Александров Б. М., Гордеева Л. Н. Озеро Пяозеро // Озера Карелии: Справочник. Петрозаводск: Госиздат КАССР, 1959. С. 550–573.

Алисов А. Ф., Бульон В. В., Голубков С. М. Динамика структурно-функциональной организации экосистем континентальных водоемов // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. Сб. науч. статей. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2005. С. 241–253.

Беляева К. И. Ряпушка *Coregonus albula* L. Топозера // Труды Карело-Финского отделения ВНИОРХ. Т. 3. 1951. С. 69–88.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2015 году. Петрозаводск: Verso, 2015. 272 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2023 году: информационное электронное издание / Министерство

- природных ресурсов и экологии Республики Карелия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2024. 278 с. 1 DVD-R
- Дятлов М. А. Рыбы Ладожского озера. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2002. 281 с.
- Ильмас Н. В., Стерлигова О. П. Рыбное население Сямозера в условиях антропогенной трансформации // Инновации в науке и образовании: Труды X Междунар. науч. конф. Ч. 1. Калининград: КГТУ, 2012. С. 45–48.
- Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2007. 395 с.
- Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна Белого моря. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 325 с.
- Кучко Т. Ю., Ильмас Н. В., Кучко Я. А. Биологические особенности обыкновенной щуки (*Esox lucius*) озера Гимольского (Западная Карелия) // Известия Самарского НЦ РАН. 2016. Т. 18, № 2. С. 123–126.
- Лукин А. А., Есипова М. А., Рябинкин А. В., Дубинина В. Г., Мурашов А. В. Ихиофауна Кумского водохранилища в условиях зарегулирования стока // Вопросы рыболовства. 2006. Т. 7. С. 105–125.
- Лукин А. А., Ивантер Д. Э., Лукина Ю. Н., Щуров И. Л., Широков В. А., Полякова Т. Н., Рябинкин А. В., Бабий А. А., Горбачев С. А., Решетников Ю. С., Сярки М. Т., Теканова Е. В., Тимакова Т. М., Глибко О. Я., Гайда Р. В. Биоресурсы Онежского озера / Отв. ред. В. И. Кухарев, А. А. Лукин. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2008. 272 с.
- Мельянцев В. Г. Рыболовство на Пяозере // Рыбное хозяйство Карелии. 1939. Т. V. С. 150–151.
- Мельянцев В. Г. Рыбы Пяозера // Труды Карело-Финского госуниверситета. Т. 6. Петрозаводск, 1954. С. 3–77.
- Мина М. В. Задачи и методы изучения роста рыб в природных условиях // Современные проблемы ихтиологии. М.: Наука, 1981. С. 177–195.
- Озера Карелии: природа, рыбы и рыбное хозяйство (справочник) / Ред. колл. Б. М. Александров и др.; Совет нар. хозяйства Карел. экон. адм. района. Карел. отд-ние ГосНИОРХ. Петрозаводск: Госиздат КАССР, 1959. 618 с.
- Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
- Первозванский В. Я. Рыбы водоемов района Коствомукшского железорудного месторождения (экология, воспроизводство, использование). Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.
- Покровский В. В. Ряпушка озер Карело-Финской ССР. Петрозаводск: Гос. изд-во КФССР, 1953. 107 с.
- Потапова О. И. Крупная ряпушка *Coregonus albula* L. Л.: Наука, 1978. 133 с.
- Потапова О. И., Соколова В. А. Тикшозеро и Энгозеро как промысловые угодья // Труды Карело-Финского филиала АН СССР. 1958. Т. 13. С. 3–32.
- Правдин И. Ф. Сиги водоемов Карело-Финской ССР. М.-Л.: АН СССР, 1954. 285 с.
- Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
- Решетников Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука, 1980. 301 с.
- Решетников Ю. С., Попова О. А., Стерлигова О. П. и др. Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.
- Решетников Ю. С. Современные проблемы изучения сиговых рыб // Вопросы ихтиологии. 1995. Т. 35, № 2. С. 156–174.
- Решетников Ю. С., Лукин А. А. Современное состояние разнообразия сиговых рыб Онежского озера и проблемы определения их видовой принадлежности // Вопросы ихтиологии. 2006. Т. 46, № 6. С. 732–746.
- Рыбы в заповедниках России. В 2 т. / Под ред. Ю. С. Решетникова. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. Т. 1. 627 с.
- Савосин Д. С., Ильмас Н. В., Стерлигова О. П., Савосин Е. С., Милянчук Н. П. Современное состояние популяции ряпушки *Coregonus albula* Гимольского озера (Западная Карелия) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Биологические науки. 2018. № 3. С. 52–57. doi: 10.15393/uchz.art.2018.126
- Сенден Д. С., Бочкарев Н. А., Савосин Д. С., Барабанова М. В., Михельсон С. В., Ильмас Н. В. Морфологическая и генетическая изменчивость сигов оз. Пяозера (Карелия) // Материалы II Всерос. науч. конференции с междунар. участием. СПб.: ГосНИОРХ, 2018. С. 335–342.
- Стерлигова О. П., Ильмас Н. В. Результаты интродукции европейской ряпушки *Coregonus albula* в водоемы Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 12. С. 72–81. doi: 10.17076/eco1498
- Стерлигова О. П., Ильмас Н. В., Савосин Д. С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.
- Стерлигова О. П., Павлов В. Н., Ильмас Н. В., Павловский С. А., Комулайнен С. Ф., Кучко Я. А. Экосистема озера Сямозера (биологический режим и использование). Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2002. 119 с.
- Черепанова Н. С., Георгиев А. П. Рыбохозяйственная характеристика массовых промысловых рыб (ряпушка, корюшка) Топо-Пяозерского (Кумского) водохранилища // Научно-исследовательские публикации. 2014. № 11(15). С. 24–31.
- Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: АН СССР, 1959. 162 с.
- Широков В. А., Черепанова Н. С., Георгиев А. П. Сиговые рыбы Топо-Пяозерского водохранилища (Республика Карелия) // Современные научные исследования и инновации [Электронный ресурс]. 2016. URL: <http://web.s nauka.ru/issues/2016/07/69200> (дата обращения: 08.06.2018).
- Широков В. А., Черепанова Н. С., Георгиев А. П. Рыбохозяйственная характеристика окуня (*Perca fluviatilis* L.) в некоторых водоемах Республики Карелия // Известия Самарского научного центра РАН. 2019. Т. 21, № 2. С. 73–80.

References

Aleksandrov B. M. et al. (eds.). Lakes of Karelia: nature, fish, and fisheries (a reference book). Petrozavodsk: Gosizdat KASSR; 1959. 618 p. (In Russ.)

- Aleksandrov B. M., Gordeeva L. N. Lake Pyaozero. Ozera Karelii: Spravochnik = Lakes of Karelia: a reference book. Petrozavodsk: Gosizdat KASSR; 1959. P. 550–573. (In Russ.)
- Alimov A. F., Bouillon V. V., Golubkov S. M. Dynamics of structural and functional organization of ecosystems of continental water bodies. Fundamental'nye osnovy upravleniya biologicheskimi resursami. Sb. nauch. statei = Fundamentals of biological resources management: Proceedings. Moscow: KMK; 2005. P. 241–253. (In Russ.)
- Belyaeva K. I. Vendace *Coregonus albula* L. in Lake Topozero. Trudy Karelo-Finskogo otdeleniya VNIOKh = Proceedings of the Karelian-Finnish Branch of the All-Union Research Institute of Lake and River Fisheries. 1951;3:69–88. (In Russ.)
- Cherepanova N. S., Georgiev A. P. Fishery characteristics of mass commercial fish (vendace, smelt) of the Topo-Pyaozersk (Kuma) Reservoir. Nauchno-issledovatel'skie publikatsii = Research Publications. 2014;11(15):24–31. (In Russ.)
- Chugunova N. I. A guide to studying the age and growth of fish. Moscow: AN SSSR; 1959. 162 p. (In Russ.)
- Dyatlov M. A. Fishes of Lake Ladoga. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2002. 281 p. (In Russ.)
- Il'mast N. V., Sterligova O. P. Fish population of Lake Syamozero under anthropogenic transformation. Innovatsii v nauke i obrazovanii – 2012: Trudy X Mezhdunar. nauch. konf. = Innovations in science and education – 2012: Proceedings of the X Int. scientific conf. Part 1. Kaliningrad: KGTU; 2012. P. 45–48. (In Russ.)
- Filatov N. N., Kukharev V. I. (eds.). Lakes of Karelia: a reference book. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2013. 464 p. (In Russ.)
- Kitaev S. P. Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2007. 395 p. (In Russ.)
- Kuchko T. Yu., Il'mast N. V., Kuchko Ya. A. Biological features of the common pike (*Esox lucius*) of Lake Gimolskoye (Western Karelia). Izvestiya Samarskogo NTs RAN = Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016;18(2):123–126. (In Russ.)
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies of the White Sea basin. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2010. 325 p. (In Russ.)
- Lukin A. A., Esipova M. A., Ryabinkin A. V., Dubinina V. G., Murashov A. V. Ichthyofauna of the Kumskoye Reservoir under conditions of flow regulation. Voprosy rybolovstva = Problems of Fisheries. 2006;7:105–125. (In Russ.)
- Lukin A. A., Ivanter D. E., Lukina Yu. N., Shchursov I. L., Shirokov V. A., Polyakova T. N., Ryabinin A. V., Babii A. A., Gorbachev S. A., Reshetnikov Yu. S., Syarki M. T., Tekanova E. V., Timakova T. M., Glibko O. Ya., Gaida R. V. Bioresources of Lake Onega. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2008. 272 p. (In Russ.)
- Mel'yansev V. G. Fishes of Pyaozero. Trudy Karelo-Finskogo gosuniversiteta = Proceedings of the Karelian-Finnish State University. 1954;6:3–77. (In Russ.)
- Mel'yansev V. G. Fishing on Lake Pyaozero. Rybnoe khozyaistvo Karelii = Fisheries of Karelia. 1939;5:150–151. (In Russ.)
- Mina M. V. Tasks and methods for studying fish growth in natural conditions. Sovremennye problemy ikhtiologii = Current problems of ichthyology. Moscow: Nauka; 1981. P. 177–195. (In Russ.)
- Pervozvanskii V. Ya. Fishes of water bodies of the Kostomuksha iron ore deposit area (ecology, reproduction, use). Petrozavodsk: Kareliya; 1986. 216 p. (In Russ.)
- Pokrovskii V. V. Vendace in the lakes of the Karelo-Finnish SSR. Petrozavodsk: Gos. izd-vo KFSSR; 1953. 107 p. (In Russ.)
- Potapova O. I. Large vendace *Coregonus albula* L. Leningrad: Nauka; 1978. 133 p. (In Russ.)
- Potapova O. I., Sokolova V. A. Tikshozero and Engozero as fishing grounds. Trudy Karelo-Finskogo filiala AN SSSR = Proceedings of the Karelo-Finnish Branch of the USSR Academy of Sciences. 1958;13:3–32. (In Russ.)
- Pravdin I. F. Whitefish of water bodies of the Karelo-Finnish SSR. Moscow-Leningrad: AN SSSR; 1954. 285 p. (In Russ.)
- Pravdin I. F. A guide to studying fish. Moscow: Pishch. prom-st'; 1966. 376 p. (In Russ.)
- Reshetnikov Yu. S. Ecology and taxonomy of whitefish. Moscow: Nauka; 1980. 301 p. (In Russ.)
- Reshetnikov Yu. S. (ed.). Fish in the nature reserves of Russia. In two volumes. Moscow: KMK; 2010. Vol. 1. 627 p. (In Russ.)
- Reshetnikov Yu. S. Current problems of studying whitefish. Voprosy ikhtiologii = Journal of Ichthyology. 1995;35(2):156–174. (In Russ.)
- Reshetnikov Yu. S., Lukin A. A. Current state of diversity of whitefish of Lake Onega and problems of determining their species identity. Voprosy ikhtiologii = Journal of Ichthyology. 2006;46(6):732–746. (In Russ.)
- Reshetnikov Yu. S., Popova O. A., Sterligova O. P. et al. Changes in the structure of the fish population of an eutrophicated reservoir. Moscow: Nauka; 1982. 248 p. (In Russ.)
- Savosin D. S., Il'mast N. V., Sterligova O. P., Savosin E. S., Miliyanchuk N. P. The present state of vendace *Coregonus albula* population in Lake Gimolskoye (Western Karelia). Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologicheskie nauki = Proceedings of Petrozavodsk State University. Biological Sciences. 2018;3:52–57. (In Russ.). doi: 10.15393/uchz.art.2018.126
- Sendek D. S., Bochkarev N. A., Savosin D. S., Barabanova M. V., Mikheil'son S. V., Il'mast N. V. Morphological and genetic variability of whitefish in Lake Pyaozero (Karelia). Materialy II Vseros. nauch. konferentsii s mezhd. uchastiem = Proceedings of the II All-Russian scientific conf. with int. part. St. Petersburg: GosNIORKh; 2018. P. 335–342. (In Russ.)
- State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2015. Petrozavodsk: Verso; 2015. 272 p. (In Russ.)
- State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2023. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2024. 278 p. (In Russ.). 1 DVD-R

Sterligova O. P., Il'mast N. V. Results of the introduction of the European vendace *Coregonus albula* in Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS.* 2021;12:72–81. (In Russ.). doi: 10.17076/eco1498

Sterligova O. P., Il'mast N. V., Savosin D. S. Cyclostomes and freshwater fishes of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2016. 224 p. (In Russ.)

Sterligova O. P., Pavlov V. N., Il'mast N. V., Pavlovskii S. A., Komulainen S. F., Kuchko Ya. A. Ecosystem of Lake Syamozero (biological regime and use). Petrozavodsk: KarRC RAS; 2002. 119 p. (In Russ.)

Shirokov V. A., Cherepanova N. S., Georgiev A. P. Whitefishes of the Topo-Pyaozersk Reservoir (Republic of Karelia). *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii = Current scientific research and innovations.* 2016. (In Russ.). URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/07/69200> (accessed: 08.06.2018).

Shirokov V. A., Cherepanova N. S., Georgiev A. P. Fishery characteristics of perch (*Perca fluviatilis* L.) in some lakes of the Republic of Karelia. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN = Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2019;21(2):73–80. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 16.12.2024; принята к публикации / accepted: 23.07.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Савосин Денис Сергеевич

канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории
экологии рыб и водных беспозвоночных

e-mail: sadenser@inbox.ru

Ильмаст Николай Викторович

д-р биол. наук, доцент, директор ИБ КарНЦ РАН,
главный научный сотрудник, руководитель
лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных

e-mail: ilmast@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Savosin, Denis

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

Il'mast, Nikolay

Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, Institute Director,
Chief Researcher, Head of Laboratory

УДК 330.15+574 (470.21)

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ БЛАГОПОЛУЧИЕ»

А. Д. Волков¹, А. В. Васильева^{2*}, А. М. Гродницкий²,
Н. А. Рослякова², А. О. Аверьянов², С. В. Тишков²

¹ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (ул. Профсоюзная, 65, Москва, Россия, 117997)

² Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *vasnask@gmail.com

Целью работы являлась идентификация ключевых экологических проблем и угроз, а также особенностей эколого-экономического развития территорий Мурманской области как базовых условий реализации национального проекта «Экологическое благополучие». Методологическую основу исследования составляет концепция устойчивого развития. Применялись методы анализа, обобщения, синтеза, диалектического подхода. Среди частных научных методов можно отметить социологические методики сбора информации (анкетный опрос населения), статистический анализ. Установлено, что значимыми экологическими угрозами являются незаконные свалки бытового мусора и накопление отходов, обусловленных деятельностью предприятий, а также выбросы в воздух загрязняющих веществ от стационарных источников. Наблюдается снижение остроты проблемы сброса неочищенных сточных вод; на всех изученных территориях, кроме Оленегорского муниципального округа, качество питьевой воды является хорошим. Общая тенденция к снижению выбросов в воздух и сокращению сброса загрязненных сточных вод в регионе сопровождается сокращением экономической активности на ряде территорий, что в целом не позволяет говорить об их устойчивом развитии. Наиболее экологически благополучными, в соответствии с оценками удовлетворенности населения компонентами окружающей среды и обобщением данных статистики, являются территории МО г. Полярные Зори и Кольского МР, наименее благополучными – МО г. Мончегорск, ГО Мурманск, МО г. Апатиты и МО г. Кировск. Результаты исследования формируют аналитические основы регулирования эколого-экономических процессов на территориях Мурманской области, обоснования территориальных мероприятий по реализации национального проекта «Экологическое благополучие».

Ключевые слова: экологическое благополучие; национальный проект; экологические проблемы; арктические территории; Мурманская область; загрязнение среды; бытовой мусор; оценки населения; антропогенная нагрузка

Для цитирования: Волков А. Д., Васильева А. В., Гродницкий А. М., Рослякова Н. А., Аверьянов А. О., Тишков С. В. Особенности эколого-экономического развития территорий Мурманской области: региональные условия реализации национального проекта «Экологическое благополучие» // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 164–180. doi: 10.17076/eco2116

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания ОКНИ КарНЦ РАН «Вопросы обеспечения экологической безопасности в Арктике» (FMEN-2024-0013).

**A. D. Volkov¹, A. V. Vasilieva^{2*}, A. M. Grodnitzkiy², N. A. Roslyakova²,
A. O. Averyanov², S. V. Tishkov². FEATURES OF THE ECOLOGICAL AND
ECONOMIC DEVELOPMENT OF MURMANSK REGION TERRITORIES:
REGIONAL CONDITIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE NATIONAL
ENVIRONMENTAL WELL-BEING PROJECT**

¹*V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences
(65 Profsoyuznaya St., 117997 Moscow, Russia)*

²*Department for Multidisciplinary Research, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia),
vasnask@gmail.com

The aim of the study was to identify key environmental problems and threats, as well as features of environmental and economic development of Murmansk Region territories as basic conditions for the implementation of the national project (NP) Environmental Well-being. Methodologically, the study was based on the sustainable development concept. The methods of analysis, generalization, synthesis, and the dialectical approach were used. The more specific scientific methods included sociological methods of collecting information (public questionnaire survey) and statistical analysis. The study revealed that the most significant environmental threats typical for most territories were illegal dumping of household wastes and accumulation of industrial wastes, as well as point-source emissions of pollutants. The severity of the problem of untreated wastewater discharges has decreased; drinking water is of good quality in all territories except for the Olenegorsk Municipal Okrug. The general downward trend in pollutant emissions and polluted wastewater discharges in the region is aligned with a decline in economic activity in a number of territories, making sustainable development claims irrelevant in the general case. Based on how the population assessed their satisfaction with environmental components and on a summary of statistical data, the environmental well-being was the highest in the Polyarnye Zori and Kolsky municipalities, and the lowest in the Monchegorsk, Apatity, and Kirovsk Municipal Okrugs and the City of Murmansk. The results of this study provide an analytical background for regulating environmental and economic processes in the Murmansk Region territories, and for substantiating the measures to be taken in specific territories for the implementation of the Environmental Well-being NP.

Keywords: environmental well-being; national project; environmental problems; Arctic territories; Murmansk Region; environmental pollution; household wastes; population estimates; anthropogenic load

For citation: Volkov A. D., Vasilieva A. V., Grodnitzkiy A. M., Roslyakova N. A., Averyanov A. O., Tishkov S. V. Features of the ecological and economic development of Murmansk Region territories: regional conditions for the implementation of the national Environmental Well-being project. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 164–180. doi: 10.17076/eco2116

Funding. The study was carried out under state assignment to DMR KarRC RAS “Issues of ensuring environmental safety in the Arctic” (FMEN-2024-0013).

Введение

Национальный проект «Экологическое благополучие» представляет собой продолжение национального проекта «Экология» в обновленном формате¹. Несмотря на определенные результаты реализации последнего на арктических

территориях России², аспекты экологического благополучия территорий и проживающего на них населения продолжают оставаться актуальными вопросами, требующими научного обоснования дальнейших управленческих мероприятий. Важнейшей задачей является идентификация существующих экологических проблем

¹ <http://government.ru/info/54308/>

² <http://government.ru/news/54423/>

и угроз на арктических территориях, определение их локальной специфики.

Экологическое благополучие арктических территорий России является одной из основ устойчивого развития не только самой Российской Арктики, но и всей страны. Необходимость добычи природных ресурсов и обеспечения сырьем производств на неарктических территориях, формирование экспортной выручки и стратегическое значение арктического макро-региона для обеспечения обороноспособности страны определяют необходимость размещения на его пространстве объектов с высоким уровнем антропогенной нагрузки на природные экосистемы. С учетом особой восприимчивости и сниженной способности этих экосистем к восстановлению их необратимую деградацию и разрушение можно считать вопросом времени в случае отсутствия направленных экологоориентированных мероприятий, снижающих или нивелирующих данную нагрузку. Отдельную угрозу экологические проблемы представляют для поддержания социальной устойчивости местных сообществ. Доказано негативное воздействие загрязнения среды на здоровье населения [Клюкина, 2018], а также значимость экологических проблем в формировании миграционных установок индивидов [Волков и др., 2022]. С учетом существующих противоречий между экологическим, экономическим и социальным аспектами развития арктических территорий последовательное изучение природных и общественных процессов, находящихся в области их схождения, составляет предметное поле актуальных научных изысканий.

Объектом рассмотрения в представленной работе является Мурманская область – регион, полностью входящий в состав Арктической зоны Российской Федерации и характеризующийся достаточно сильной, но неравномерной в пространственном отношении антропогенной нагрузкой на природные экосистемы [Исаева и др., 2018; Slukovskii et al., 2020]. Целью исследования является идентификация ключевых экологических проблем и угроз, а также особенностей эколого-экономического развития территорий Мурманской области, определяющих их экологическое благополучие. Аспект оценки экологического благополучия территорий является одним из приоритетных в данной работе. Он определяет применение в рамках исследования комплексного экономико-социологического инструментария, структурно связанного со следующими задачами работы:

- анализ статистической и ведомственной информации о загрязнении компонентов среды территорий Мурманской области;

- проведение социологического опроса населения и выявление аспектов оценки удовлетворенности состоянием природной среды и ее компонент, а также воспринимаемых угроз для экологического благополучия;

- сопоставление результатов анализа социологической и статистической информации, формирование выводов об экологическом благополучии территорий Мурманской области.

Научная актуальность определяется необходимостью обновления знаний о состоянии и тенденциях эколого-экономического развития арктических территорий России в период обострения социально-экономических и экологических вызовов.

Новизна работы определяется характером полученных выводов, опирающихся на применение комплексного экономико-социологического инструментария исследования.

Обзор литературы

Изучение аспектов эколого-экономического развития и экологического благополучия арктических территорий является предметом как междисциплинарных [Ershova et al., 2021], так и узкоспециальных исследований [Горячев и др., 2023]. В их ряду работы, посвященные анализу ситуации на территориях Мурманской области, занимают значимое место. Это объясняется несколькими основными причинами. Во-первых, Мурманская область представляет собой регион так называемого «старого освоения» – его масштабное научное изучение, в первую очередь с целью геологоразведки и последующей добычи полезных ископаемых, началось еще в 20–30-е годы XX века [Дюжилов, 2017]. Вслед за научным изучением природно-ресурсного потенциала последовали промышленное освоение и индустриализация области, потребовавшие дальнейшего формирования научно-аналитических основ развития отраслей народного хозяйства. Это обусловило вторую причину в рассматриваемом ряду – формирование значимого научно-исследовательского потенциала в Кольском научном центре РАН, позволившего осуществлять мониторинг (в том числе экологический и эколого-экономический) развития территорий Мурманской области [Макарова, 2015]. В-третьих, характер расселения и экономического освоения обусловил деградацию природной среды ряда территорий Мурманской области, что, в свою очередь, потребовало их предметного изучения [Daualter et al., 2022].

Так, например, в работах, посвященных исследованию загрязнения водных объектов на территориях Мурманской области, отмечается

высокий уровень антропогенной нагрузки на водные экосистемы, принимающие стоки предприятий добывающей промышленности. В частности, повышенное содержание ртути в водных объектах обусловлено деятельностью предприятий медно-никелевого и апатитонефелинового производств [Даувальтер, 2019], стоки которых также являются причиной повышенных концентраций соединений азотной группы и ряда микроэлементов (Sr, Mo, Cu, F) [Dauwalter et al., 2022]. Деятельность железорудных предприятий (в частности, АО «Алкон», локализованного в городском округе Оленегорск) обуславливает многократное превышение фонового содержания Ni, Cu, Co, Al и Sr в водах озер, принимающих стоки [Даувальтер, 2020]. В водных объектах, локализованных в черте и в непосредственной близости от крупнейшей агломерации – ГО Мурманск, зафиксировано значительное превышение фоновых концентраций Cd, Pb, Sb, Zn, Cu, V и Ni [Guzeva et al., 2021]. Фиксируется существенное загрязнение морских акваторий мусором и микропластиком, наиболее выраженное в Баренцевом море [Tošić et al., 2020].

Загрязнение атмосферного воздуха также представляет проблему для арктических территорий. Ее значение возрастает ввиду взаимоусиления негативного воздействия отрицательных температур и загрязнения воздуха на здоровье человека [Салтыкова и др., 2020]. Основными загрязнителями атмосферного воздуха на территориях Мурманской области выступают предприятия горнодобывающей и металлургической промышленности, мазутные и угольные котельные, транспорт (в особенности карьерный), а также природные источники (например, лесные пожары) [Дядик и др., 2022; Маслобоев, Ключникова, 2022]. Отдельную проблему представляет пыление отвалов и хвостов, сформированных из пустых горных пород, грунта и отходов процесса обогащения полезных ископаемых добывающими предприятиями региона [Амосов и др., 2023].

К другим значимым экологическим угрозам для окружающей среды и населения Мурманской области исследователи относят последствия санкционированного и несанкционированного размещения отходов потребления [Потравный, 2023], опасность радиоактивного загрязнения¹.

¹ Особенности загрязнения. ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». URL: <https://www.kolgimet.ru/monitoring-zagrjaznenija-okruzhajushchei-sredy/centr-monitoringa-zagrjaznenija-okruzhajushchei-sredy/osobennosti-zagrjaznenija/> (дата обращения: 24.03.25).

Помимо непосредственных последствий загрязнения природной среды, заключающихся в ее деградации, следует отметить опасность обусловленных ею социально-психологических эффектов [Сараев, Суханов, 2022]. Субъективное ощущение незащищенности от экологических угроз является одним из ключевых параметров социального самочувствия жителей арктических регионов [Ромашкина, Вылегжанина, 2016].

В настоящее время в научной литературе, посвященной проблемам экологического благополучия и тенденциям эколого-экономического развития Мурманской области, практически отсутствуют работы, дающие системную оценку состояния окружающей природной среды на основе комплекса статистических и социологических данных. Представленное исследование заполняет этот пробел и продолжает серию статей, посвященных экологическому благополучию арктических территорий Российской Федерации [Volkov et al., 2023].

Методика и данные

Методологическую основу исследования составляет концепция устойчивого развития. Применились методы анализа, обобщения, синтеза, диалектического подхода. Среди частных научных методов можно отметить социологические методики сбора информации (анкетный опрос населения), статистический анализ. Информационную основу работы составляют официальные статистические и ведомственные данные о загрязнении территорий Мурманской области, объемах выбросов, а также данные опроса населения указанных территорий, проведенного в октябре–декабре 2023 г. ($n = 1258$). Ошибка выборки не превышает 2,76 %, среднее отклонение структуры выборки от генеральной совокупности в муниципальном разрезе составляет 4,8 %. Соотношение структуры выборки и половозрастной структуры исследуемого населения представлено в табл. 1.

Средний возраст респондентов – 41,2 года. Опрос населения проводился во всех муниципальных районах, муниципальных округах и городских округах области, кроме ЗАТО². Опрашивалось главным образом население административных центров районов и округов. В связи с этим ГО Мурманск и Кольский

² Территориальное распределение выборки: ГО Мурманск и Кольский МР – 326 чел.; Кандалакшский МР – 79 чел., Ковдорский МО – 87 чел., Ловозерский МР – 78 чел., Печенгский МО – 135 чел., Терский МР – 70 чел.; МО г. Апатиты – 144 чел., МО г. Кировск – 94 чел., МО г. Мончегорск – 91 чел., МО г. Оленегорск – 66 чел., МО г. Полярные Зори – 88 чел.

Таблица 1. Соотношение значений параметров выборки и структуры населения Мурманской области
Table 1. The ratio of the sample parameter values and the population structure of the Murmansk Region

Возраст, лет Age, years old	Пол Gender	Численность населения, чел. Population size, people	Структура населения по возрасту, % Population structure by age, %	Численность выборки, чел. Sample size, people	Структура выборки, % Sample structure, %	Отклонение структуры выборки от генеральной совокупности, % Deviation of the sample structure from the general population, %
15–19	Жен/Fem	13 831	3,25	58	4,61	1,36
	Муж/Male	16 404	3,85	47	3,74	0,12
20–24	Жен/Fem	11 082	2,60	48	3,82	1,21
	Муж/Male	14 618	3,43	40	3,18	0,26
25–34	Жен/Fem	31 358	7,37	115	9,14	1,77
	Муж/Male	35 002	8,22	93	7,39	0,83
35–44	Жен/Fem	48 941	11,50	224	17,81	6,31
	Муж/Male	49 195	11,56	114	9,06	2,50
45–54	Жен/Fem	43 950	10,33	185	14,71	4,38
	Муж/Male	40 585	9,54	101	8,03	1,51
55–64	Жен/Fem	42 863	10,07	101	8,03	2,04
	Муж/Male	33 181	7,80	50	3,97	3,82
65–72	Жен/Fem	29 950	7,04	51	4,05	2,98
	Муж/Male	14 605	3,43	31	2,46	0,97
Всего Total		425 565	100	1258	100	Среднее 2,15 Average 2.15

муниципальный район были нами объединены при анализе большинства рассматриваемых аспектов проблемы (г. Кола и ГО Мурманск входят в единую агломерацию).

Проведение социологического опроса реализовывалось в основном силами самого исследовательского коллектива, на ряде территорий – совместно со специалистами Института экономических проблем имени Лузина КНЦ РАН и Мурманского арктического университета.

Результаты исследования

Состояние окружающей природной среды территорий Мурманской области: данные статистики

Основные аспекты экологического благополучия территорий Мурманской области определяются уровнем выбросов и загрязнения воздуха, водных объектов, почвы и окружающей среды на ее поверхности.

Загрязнение атмосферного воздуха.

Отмечаемые объемы выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и уровень загрязнения воздуха значительно дифференцированы в разрезе муниципальных районов и округов Мурманской области (табл. 2).

Так, ситуация в Печенгском муниципальном округе характеризуется значительным снижением объемов выбросов в атмосферу от стационарных источников. В 2019 году выбросы без очистки составляли 62,51 тыс. т, а в 2023 году снизились до 6,10 тыс. т. Общий объем выбросов сократился с 68,55 до 6,17 тыс. т за тот же период, что обусловлено постепенным закрытием градообразующего предприятия ГМК «Печенганикель». Значительное снижение выбросов в атмосферу зафиксировано также в 2019 году в муниципальном округе г. Мончегорск – региональном лидере по объемам загрязнения воздуха. В данном случае снижение выбросов определяется как закрытием металлургического цеха ОАО «Кольская ГМК», так и мероприятиями, направленными на снижение выбросов градообразующим предприятием.

Увеличение объемов выбросов в атмосферу от стационарных источников наблюдается в Ковдорском МО. В 2019 году объем выбросов без очистки составлял 6,94 тыс. т, а в 2023 году вырос до 11,37 тыс. т. Общий объем выбросов также увеличился с 7,53 до 11,37 тыс. т. Кандалакшский МР в указанном периоде также продемонстрировал увеличение объемов выбросов. В 2019 году выбросы без очистки составляли 16,48 тыс. т,

Таблица 2. Объемы выбросов в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников на территориях Мурманской области, тыс. тонн

Table 2. Volumes of emissions of pollutants into the atmosphere from stationary sources in the Murmansk Region, thousand tons

Territory	2019		2020		2021		2022		2023	
	Без очистки W/o purification	Всего Total								
МО г. Апатиты MD, Apatity	12,82	15,45	12,06	14,70	12,06	14,70	7,34	10,13	8,84	13,01
МО г. Кировск MD, Kirovsk	13,17	13,56	14,16	14,69	14,16	14,69	14,10	14,54	14,25	14,66
ГО Мурманск UD, Murmansk	32,44	32,64	25,16	25,47	25,16	25,47	24,48	24,77	28,12	28,29
Кольский МР MD, Kola	6,24	6,28	4,56	4,58	4,57	4,58	8,18	8,19	10,87	10,89
МО г. Мончегорск MD, Monchegorsk	40,28	47,63	38,89	46,17	38,89	46,17	10,08	16,69	7,25	16,34
МО г. Оленегорск MD, Olenegorsk	5,56	6,05	5,07	5,31	5,07	5,31	2,01	2,01	6,10	6,42
МО г. Полярные Зори MD, Polyarnye Zori	0,17	0,17	0,66	0,66	0,66	0,66	0,83	0,84	0,36	0,36
Печенгский МО MD, Pechenga	62,51	68,55	31,73	44,45	31,73	44,45	6,12	6,18	6,10	6,17
Ковдорский МО MD, Kovdor	6,94	7,53	9,96	10,48	9,96	10,48	10,67	11,10	11,37	11,37
Кандалакшский МР MD, Kandalaksha	16,48	16,56	15,72	15,80	15,73	15,80	16,37	16,48	22,73	22,80
Ловозерский МР MD, Lovozero	1,27	1,28	1,28	1,29	1,28	1,29	1,48	1,50	1,34	1,35
Терский МР MD, Tersk	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	0,82	0,82	0,82	0,82

Примечание. Составлено на основе данных Росприроднадзора (<https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-protect/>).

Note. Compiled based on the data of the Rosprirodnadzor (Federal Service for Supervision of Natural Resources) (<https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-protect/>).

в 2023 году они достигли 22,73 тыс. т. Общий объем выбросов вырос с 16,56 до 22,80 тыс. т. При общих крайне низких значениях объемов выбросов в атмосферу в Терском районе здесь также наблюдается многократное увеличение значений данного показателя. При этом в районе в указанный период не было открыто новых значимых предприятий, однако произошло закрытие нескольких мазутных котельных и появление, в свою очередь, трех котельных на биотопливе. Наблюдается также некоторое увеличение объемов добываемого щебня. Причины увеличения объема выбросов мы связываем с улучшением качества учета показателя.

На ряде территорий наблюдаются значительные колебания выбросов загрязняющих веществ. В частности, в Кольском муниципальном районе в 2019 году объем выбросов без очистки составлял 6,24 тыс. т, в 2020 году снизился до 4,56 тыс. т, а в 2023 году увеличился до 10,87 тыс. т. Общий объем выбросов также варьировался: от 6,28 тыс. т в 2019 году

до 10,89 тыс. т в 2023 году. Схожей неустойчивой динамикой характеризуется ситуация в МО г. Апатиты, ГО Мурманск, МО г. Оленегорск и Ловозерском МР.

Сравнительный анализ показал, что разные муниципальные районы Мурманской области демонстрируют различные тенденции в объемах выбросов загрязняющих веществ. Печенгский округ показал наиболее позитивную динамику с существенным снижением выбросов, тогда как Ковдорский округ и Кандалакшский район нуждаются в усилении экологического контроля и реализации дополнительных мер по снижению загрязнения. Стабильные показатели в Ловозерском и Терском районах указывают на устойчивую ситуацию, однако сопряжены с отсутствием значимых промышленных предприятий и с низким уровнем экономического развития территорий в целом. Колебания в Кольском районе требуют особого внимания для предотвращения дальнейшего роста загрязнения.

Загрязнение поверхностных вод. Общая динамика значений показателей сброса очищенных и неочищенных загрязненных сточных вод за обследуемый период на региональном уровне демонстрирует положительные изменения. По обоим показателям произошли значительные сокращения объемов (табл. 3).

Крупнейшими загрязнителями являются АО «Ковдорский ГОК» (18,92 млн м³), ГОУП «Мурманскводоканал» (21,57 млн м³) и АО «Кольская ГМК» (г. Мончегорск) (16,46 млн м³). Согласно Докладу о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2022 г., основные водные объекты, подвергающиеся загрязнению со стороны АО «Ковдорский ГОК», – река Можель, озеро Ковдор и река Ковдора. ГОУП «Мурманскводоканал» сбрасывает сточные воды в Кольский залив Баренцева моря, Нижне-Туломское водохранилище, реку Кола, ручей Варяжский, ручей Малый Кротовый, реку Ках, реку Вирма, а АО «Кольская ГМК» – в реки Хаукилампийоки, Быстрая, Колосйоки и озера Арвалдемломполо и Нюдай. Кроме вышеперечисленного значительному загрязнению от хозяйственной деятельности человека подвергаются такие реки Баренцево-Беломорского бассейнового округа, как Жемчужная, Белая, Вуоннемийок, Грязная и Сергеевань. Эти водные объекты загрязняются ООО «Ловозерский ГОК» (Ловозерский МР), ММБУ «Управление дорожного хозяйства» (г. Мурманск)¹.

При этом значительные сбросы воды без очистки или недостаточно очищенной влияют и на качество воды из источников централизованного питьевого водоснабжения. Если в целом по области доля проб воды, не отвечающих санитарно-химическим и гигиеническим показателям, фиксируется на уровне семи процентов, то в отдельных муниципальных образова-

ниях ситуация достаточно сложная. Например, в МО г. Кировск и Печенгском МО доля проб, выявивших низкое качество воды, составляет более 10 %, а в МО г. Оленегорск она достигает четверти от общего количества произведенных замеров (табл. 4).

Загрязненность бытовыми и промышленными отходами. Анализ загрязненности территорий твердыми бытовыми и промышленными отходами объективно затруднен ввиду крайней ограниченности доступных статистических и ведомственных данных. В список немногих показателей входят количество объектов размещения отходов, несанкционированных свалок и навалов.

В целом по Мурманской области наблюдается сокращение количества несанкционированных свалок и навалов, с одновременным ростом значения показателя их устранения (табл. 5).

Решение проблемы отходов различных типов предполагает определенный уровень обеспеченности объектами их размещения. При этом значение имеет диверсификация этих объектов по типу и их пространственная локализация. В работе представлена информация из Государственного реестра объектов размещения отходов, которая дает представление об обеспеченности такими объектами муниципальных образований Мурманской области, их типах, назначении и, что немаловажно, наличии вредного воздействия на окружающую среду. Самая высокая концентрация объектов размещения отходов фиксируется в МО г. Кировск и МО г. Оленегорск – более 50 % от всех объектов размещения отходов. Данную особенность можно объяснить локализацией на указанных территориях крупных предприятий – Кировского филиала АО «Апатит» и Оленегорского горно-обогатительного комбината «Олкон». При этом в таких муниципалитетах, как МО г. Полярные Зори и Терский МР, объекты размещения отходов отсутствуют вовсе, что влечет повышенные

¹ Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2022 году. URL: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/> (дата обращения: 16.07.2024).

Таблица 3. Динамика показателей по сбросу загрязненных сточных вод в Мурманской области, млн м³

Table 3. Dynamics of indicators for polluted wastewater discharge in the Murmansk Region, million m³

Показатель Indicator	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
без очистки w/o purification	60,1	61,8	41,8	31,6	34,6	37,9	27,4	21,7	20,3	17,3
недостаточно очищенной not sufficiently purified	273,5	269,2	286,4	288,2	283,3	260,0	239,1	105,6	110,8	93,6

Примечание. Составлено на основе данных Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (<https://2022.ecology-gosdoklad.ru>).

Note. Compiled based on the data of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation (<https://2022.ecology-gosdoklad.ru>).

Таблица 4. Доля проб воды в местах водозабора из источников централизованного питьевого водоснабжения, не отвечающих санитарно-химическим и гигиеническим показателям, %

Table 4. The share of water samples at water intake sites from centralized drinking water supply sources that do not meet sanitary-chemical and hygienic standards, %

Территория Territory	2020	2021	2022
Мурманская область Murmansk Region	19,8	14,3	7,0
МО г. Апатиты MD, Apatity	0	0	0
МО г. Кировск MD, Kirovsk	46,9	32,5	10,1
ГО Мурманск UD, Murmansk	29,2	14,0	4,8
Кольский МР MD, Kola	32,9	8,6	2,5
МО г. Мончегорск MD, Monchegorsk	0	0	0
МО г. Оленегорск MD, Olenegorsk	2,4	21,1	25,0
МО г. Полярные Зори MD, Polyarnye Zori	н.д.	н.д.	н.д.
Печенгский МО MD, Pechenga	25,5	19,1	12,8
Ковдорский МД Kovdor MO	10,9	3,6	9,1
Кандалакшский и Терский МР MD, Kandalaksha and Tersk	2,1	21,1	6,5
Ловозерский МР MD, Lovozero	0	0	0

Примечание. Составлено по данным Доклада о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2022 году (<https://gov-murman.ru/region/environmentstate/>).

Note. Compiled based on the data from the *Report on the state and protection of the environment of the Murmansk Region in 2022* (<https://gov-murman.ru/region/environmentstate/>).

Таблица 5. Количество несанкционированных свалок отходов в Мурманской области на конец отчетного периода, шт.

Table 5. Number of unauthorized waste dumps in the Murmansk Region at the end of the reporting period, pcs.

	2020	2021	2022	2023
на конец года end of year	18	20	14	8
ликвидированных liquidated	12	28	36	46

Примечание. Составлено по данным Росприроднадзора (<https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/unauthorized-landfill/>).

Note. Compiled based on the data of the Rosprirodnadzor (Federal Service for Supervision of Natural Resources) (<https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/unauthorized-landfill/>).

риски загрязнения территорий, в первую очередь бытовым мусором.

Распределение объектов размещения отходов демонстрирует, что достаточно высокий процент (58,9 %) составляют объекты, осуществляющие изоляцию отходов посредством захоронения в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду. Такие объекты

могут формировать потенциальные риски для экологического благополучия территории, несмотря на то, что, согласно представленным данным, 79,4 % из них не оказывают вредного воздействия на окружающую среду (табл. 6).

Значительно дополнить картину территориальной специфики экологических проблем и экологического благополучия позволят данные социологического исследования.

Таблица 6. Объекты размещения отходов на территории муниципальных образований Мурманской области
Table 6. Waste disposal facilities on the territory of municipalities of the Murmansk Region

Территория Territory	Кол-во объектов Number of objects	Распределение объектов по типу Distribution of objects by type	Распределение объектов по назначению Distribution of objects by purpose	Распределение объектов по наличию вредного воздействия на ОС Distribution of objects by the presence/absence of harmful impact on the environment
МО г. Апатиты MD, Apatity	5	навозохранилище (1) пометохранилище (1) хвостохранилище (1) городская санкционированная свалка ТБО (1) manure storage facility (1) dung storage facility (1) tailings storage facility (1) municipal authorized solid waste landfill (1)	захоронение (2) хранение (3) burial (2) storage (3)	имеется (2) отсутствует (3) present (2) absent (3)
МО г. Кировск MD, Kirovsk	19	отвал (15) навозохранилище (1) открытая промплощадка (1) хвостохранилище (2) waste dump (15) manure storage facility (1) open industrial site (1) tailings storage facility (2)	захоронение (16) хранение (3) burial (16) storage (3)	имеется (10) отсутствует (9) present (10) absent (9)
ГО Мурманск UD, Murmansk	2	свалка твердых отходов (1) навозохранилище (1) solid waste landfill (1) manure storage facility (1)	захоронение (1) хранение (1) burial (1) storage (1)	имеется (2) отсутствует (0) present (2) absent (0)
Кольский МР MD, Kola	2	навозохранилище (2) manure storage facility (2)	захоронение (0) хранение (2) burial (0) storage (2)	имеется (0) отсутствует (2) present (0) absent (2)
МО г. Мончегорск MD, Monchegorsk	3	полигон промышленных отходов (1) санкционированная свалка (1) отвал (1) industrial waste landfill (1) authorized landfill (1) waste dump (1)	захоронение (2) хранение (1) burial (2) storage (1)	имеется (1) отсутствует (2) present (1) absent (2)
МО г. Оленегорск MD, Olenegorsk	21	отвал (11) хвостохранилище (1) санкционированная свалка твердых бытовых отходов (1) помещение для хранения отходов (3) закрытый контейнер хранения отходов (2) открытая площадка хранения отходов (3) waste dump (11) tailings storage facility (1) authorized solid waste landfill (1) waste storage facility (3) closed waste storage container (2) open waste storage area (3)	захоронение (13) хранение (8) burial (13) storage (8)	имеется (0) отсутствует (21) present (0) absent (21)
МО г. Полярные Зори MD, Polyarnye Zori	0	отсутствуют absent	-	-
Печенгский МР MD, Pechenga	6	шлакоотвал (1) склад (1) хвостохранилище (1) полигон (1) отвал (2) slag dump (1) warehouse (1) tailings storage facility (1) landfill (1) waste dump (2)	захоронение (1) хранение (5) burial (1) storage (5)	имеется (0) отсутствует (6) present (0) absent (6)

Окончание табл. 6
Table 6 (continued)

Территория Territory	Кол-во объектов Number of objects	Распределение объектов по типу Distribution of objects by type	Распределение объектов по назначению Distribution of objects by purpose	Распределение объектов по наличию вредного воздействия на ОС Distribution of objects by the presence/absence of harmful impact on the environment
Ковдорский MP MD, Kovdor	5	хвостохранилище (1) отвал пустых пород (3) полигон ТБО (1) tailings storage facility (1) waste rock dump (3) solid waste landfill (1)	захоронение (1) хранение (4) burial (1) storage (4)	имеется (0) отсутствует (5) present (0) absent (5)
Кандалакш- ский MP MD, Kandalaksha	5	полигон неутилизируемых промышленных отходов (1) открытая площадка (1) закрытое отдельное помещение (1) часть производственного помещения (1) санкционированная свалка ТБО (1) landfill for non-recyclable industrial waste (1) open area (1) closed separate facility (1) part of production facility (1) authorized solid waste landfill (1)	захоронение (2) хранение (3) burial (2) storage (3)	имеется (0) отсутствует (5) present (0) absent (5)
Ловозерский MP MD, Lovozero	5	специально оборудованный объект захоронения отходов (2) хвостохранилище (2) отвал проходческих пород (1) specially equipped waste disposal facility (2) tailings storage facility (2) dump of mining waste (1)	захоронение (5) хранение (0) burial (5) storage (0)	имеется (0) отсутствует (5) present (0) absent (5)
Терский MP MD, Tersk	0	отсутствуют absent	-	-

Примечание. Составлено по данным официального реестра ГРОРО (<https://www.fcao.ru/groro?page=281>).

Note. Compiled based on the data from the State Register of Waste Disposal Sites (<https://www.fcao.ru/groro?page=281>).

Экологическое благополучие территорий Мурманской области в оценках населения

Удовлетворенность населения состоянием окружающей среды и оценка ее динамики. Удовлетворенность населения территории Мурманской области общим состоянием окружающей среды дифференцирована в разрезе как объектов оценки, так и территорий проживания населения. Большинство периферийных территорий с неразвитой промышленностью (Ловозерский и Терский районы), деиндустриализированных (Печенгский МО) либо с предприятиями, незначительно влияющими на экологию (МО г. Полярные Зори), характеризуются наиболее высокими оценками состояния окружающей среды именно в месте проживания. Исключение составляют МО г. Кировск и МО г. Оленегорск – здесь оценки состояния природной среды в месте проживания также достаточно высоки, несмотря на расположение крупных промышленных предприятий. Жители МО г. Апатиты, МО г. Мончегорск и

Ковдорского МО, напротив, в наименьшей степени удовлетворены состоянием природной среды в месте проживания. Таким образом, мы видим поляризацию оценок состояния среды в месте проживания – для ряда территорий она имеет наилучшие относительные оценки, а для ряда – наихудшие (рис. 1).

Следует отметить, что относительно негативными оценками характеризуется состояние природной среды в масштабах мира.

В связи с указанным интересными выглядят оценки населением динамики состояния окружающей природной среды в месте проживания за последние 10 лет (рис. 2). Так, в МО г. Апатиты, характеризующемся низкими оценками удовлетворенности средой, динамика ее состояния также оценивается населением в целом отрицательно. В то время как территории, являвшиеся некогда наиболее загрязненными в регионе (Печенгский МО и МО г. Мончегорск), характеризуются выраженными положительными оценками этой динамики. И если в Печенгском МО такие оценки обусловлены постепенным сворачиванием деятельности

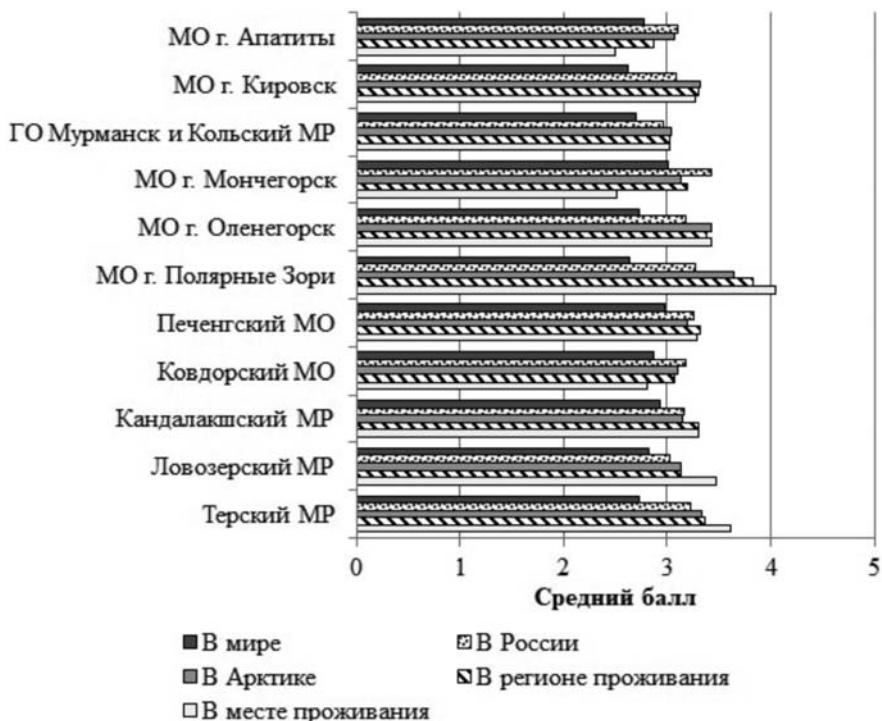


Рис. 1. Оценка жителями Мурманской области удовлетворенности состоянием окружающей природной среды

Fig. 1. Assessment of satisfaction with the state of the natural environment by residents of the Murmansk Region

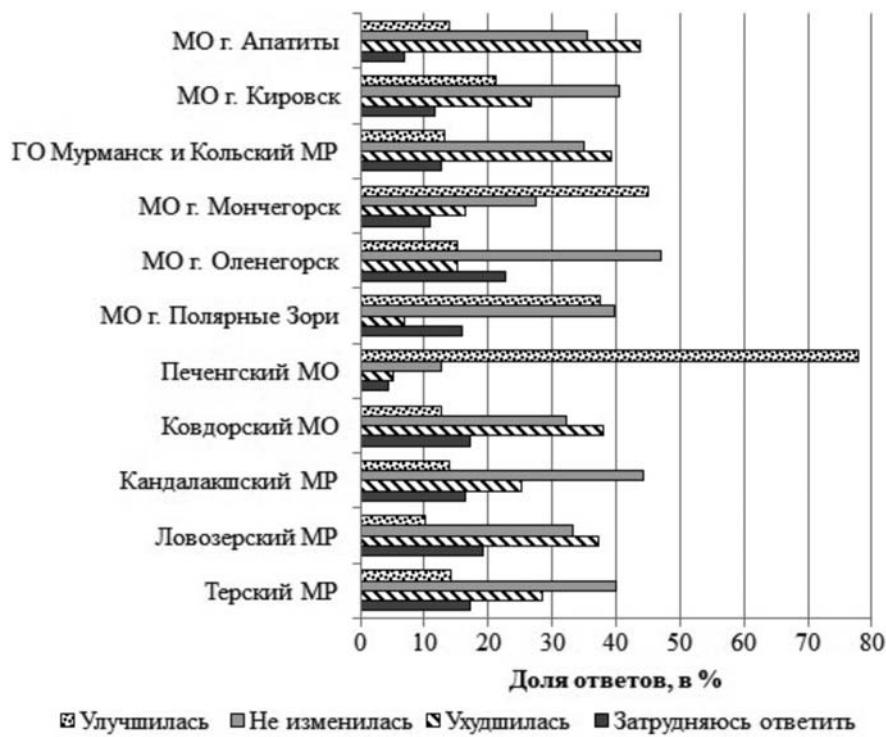


Рис. 2. Оценка жителями Мурманской области изменений в состоянии окружающей природной среды за последние 10 лет в месте их непосредственного проживания, % от числа ответивших

Fig. 2. Assessment of changes in the natural environment state in the current place of residence over the past 10 years by residents of the Murmansk Region, % of the total number of respondents

градообразующего предприятия в пгт Никель, то в МО г. Мончегорск их определяют закрытие наиболее экологически «грязных» структур градообразующего предприятия, последовательное внедрение природосберегающих технологий на Кольской ГМК и информирование общественности об этих технологических нововведениях.

Удовлетворенность населения отдельными компонентами окружающей среды. Рассматривая оценки этого показателя, мы видим, что наиболее негативно населением Мурманской области характеризуется компонент «общая чистота среды, отсутствие мусора»; также достаточно высокий процент населения не удовлетворен качеством воздуха (39 %) и

воды (33 %). Наиболее положительными оценками характеризуется уровень шума (рис. 3).

Для детализации и наглядного отображения результатов ответов на вопрос «Насколько вас удовлетворяет состояние окружающей среды там, где вы живете?» в разрезе территорий была введена система карт (рис. 4), отражающая пространственную дифференциацию удовлетворенности населения Мурманской области составляющими окружающей среды. Использовался метод расчета средневзвешенных значений оценок удовлетворенности и перевода их в шкалу, адаптированную для картографирования, реализованный в работе [Volkov et al., 2023]. Результаты представлены на рис. 4.



Рис. 3. Удовлетворенность населения Мурманской области составляющими окружающей среды, % от числа ответивших

Fig. 3. Satisfaction of the population of the Murmansk Region with the components of the environment, % of the total number of respondents

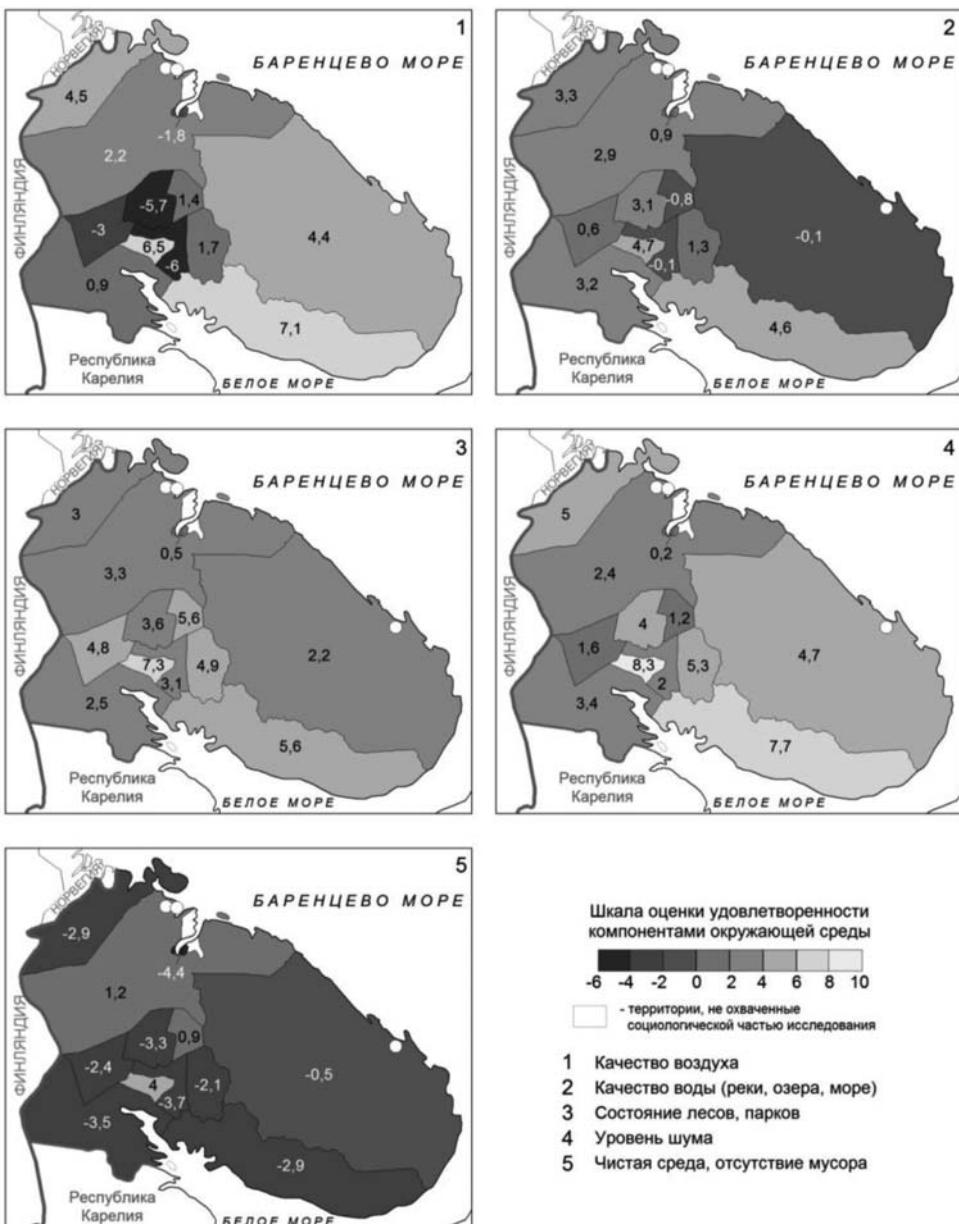


Рис. 4. Удовлетворенность населения Мурманской области основными компонентами окружающей природной среды

Fig. 4. Satisfaction of the population of the Murmansk Region with the main components of the natural environment

Источники загрязнения и угрозы для окружающей природной среды. Ответы респондентов на вопрос «Как Вы оцениваете угрозу для окружающей среды в месте Вашего проживания от перечисленных источников загрязнения и объектов?» выявили существующие различия в оценках населением важнейших воспринимаемых угроз для экологического благополучия места проживания. Наибольшую долю оценок «очень сильно угрожает» и «сильно угрожает» в разрезе территорий получили следующие источники антропогенного воздействия:

МО г. Апатиты – несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (47,2 %), бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (46,5 %), а также несанкционированная вырубка леса населением (36,8 %);

МО г. Кировск – бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (38,3 %), несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (33,0 %) и незаконная деятельность по вылову рыбы и рубке леса, осуществляемая бизнесом (22,3 %);

МО г. Мончегорск – бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (52,7 %), несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (44,0 %) и деятельность металлургических и горнодобывающих предприятий (41,8 %);

ГО Мурманск и Кольский МР – несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (53,1 %), бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (52,5 %), а также незаконная деятельность по вылову рыбы и рубке леса, осуществляемая бизнесом (36,2 %);

МО г. Оленегорск – бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (40,9 %), несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (37,9 %) и несанкционированная вырубка леса населением (28,8 %);

МО г. Полярные Зори – бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (36,4 %), несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (30,7 %) и несанкционированная вырубка леса населением (27,3 %);

Кандалакшский МР – бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (43,0 %), несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (39,2 %), по 34,2 % приходятся на угрозы от незаконной деятельности по вылову рыбы и рубке леса, осуществляющейся бизнесом, и несанкционированной вырубки леса населением;

МО Ковдорский – по 47,1 % указанных оценок приходится на деятельность металлургических и горнодобывающих предприятий, а также бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением; значимым источником угроз является и несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (39,1 %);

Ловозерский МР – бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (44,9 %), несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (38,5 %) и деятельность металлургических и горнодобывающих предприятий (32,1 %);

Печенгский МО – бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (48,9 %), несанкционированное размещение отходов деятельности предприятий (45,9 %) и несанкционированная вырубка леса населением (34,8 %);

Терский МР – бытовой мусор и несанкционированные свалки, создаваемые населением (41,4 %), несанкционированная вырубка леса населением (31,4 %), несанкционированное

размещение отходов деятельности предприятий (27,1 %) и незаконная деятельность по вылову рыбы и рубке леса, осуществляющаяся бизнесом (25,7 %).

Полученные сведения позволяют составить комплексное представление о предмете исследования, обобщив объективную картину статистических данных о загрязнении окружающей среды территорий Мурманской области и данных, свидетельствующих о субъективном восприятии населением экологического благополучия.

Заключение

Представленное исследование позволило идентифицировать ключевые экологические проблемы и угрозы, характерные для территории Мурманской области, а также тенденции, определяющие их экологическое благополучие. Для большинства территорий среди наиболее значимых экологических угроз можно отметить незаконные свалки бытового мусора, накопление отходов, обусловленных деятельностью предприятий, а также выбросы в воздух загрязняющих веществ от крупных металлургических и добывающих предприятий. Общая тенденция к снижению выбросов в воздух и сокращению сброса загрязненных сточных вод в регионе сопровождается сокращением экономической активности на ряде территорий, что в целом не позволяет говорить об их устойчивом развитии. Наиболее экологически благополучными, в соответствии с оценками населением удовлетворенности компонентами окружающей среды и обобщением данных статистики, являются территории МО г. Полярные Зори и Кольского МР, наименее благополучными – МО г. Мончегорск, ГО Мурманск, МО г. Апатиты и МО г. Кировск. Выявленные аспекты эколого-экономического развития Мурманской области составляют аналитическую основу дальнейшей разработки и уточнения мероприятий национального проекта «Экологическое благополучие» для рассматриваемого региона.

Литература

Амосов П. В., Бакланов А. А., Горячев А. А., Коннина О. Т., Красавцева Е. А., Макаров Д. В., Маслобоев В. А., Ригина О. Ю., Светлов А. В. Пыление хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд: экологическая проблема и пути ее решения. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2023. 168 с. doi: 10.37614/978.5.91137.505.8

Волков А. Д., Симакова А. В., Тишков С. В. Пространственная дифференциация факторов миграции населения арктического региона (на примере Карельской Арктики) // Регион: экономика

и социология. 2022. № 3(115). С. 155–186. doi: 10.15372/REG20220307

Горячев А. А., Амосов П. В., Компанченко А. А. Исследование загрязнения микрочастицами атмосферного воздуха города Апатиты Мурманской области // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27, № 7. С. 30–35. doi: 10.18412/1816-0395-2023-7-30-35

Даувальтер В. А. Влияние стоков горно-перерабатывающих предприятий на содержание ртути в арктических озерных донных отложениях // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 3. С. 34–51. doi: 10.17076/lim929

Даувальтер В. А. Геохимия озер в зоне влияния арктического железорудного предприятия // Геохимия. 2020. Т. 65, № 8. С. 797–810. doi: 10.31857/S001675252008004X

Дюжилов С. А. Преображеный Север (о роли ПОСВИР в модернизации Кольского Заполярья, 1920–1930-е годы) // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. № 8(9), вып. 12. С. 30–46.

Дядик В. В., Дядик Н. В., Ключникова Е. М., Маслобоев В. А., Никанов А. Н., Чашин В. П., Моргунов Б. А. Оценка влияния промышленного загрязнения атмосферного воздуха микрочастицами на здоровье населения Арктического региона на примере Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН, 2022. 119 с. doi: 10.37614/978.5.91137.472.3

Исаева Л. Г., Сухарева Т. А., Боровичев Е. А., Урбанавичюс Г. П., Химич Ю. Р., Зенкова И. В., Артемкина Н. А., Горбачева Т. Т., Ершов В. В., Мамонтов Ю. С., Иванова Е. А. Изучение и охрана наземных экосистем Мурманской области // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. № 9(9), вып. 6. С. 6–33. doi: 10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.9.6-33

Клюкина Э. С. Экологические угрозы здоровью населения промышленных территорий Арктического региона // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. № 2(9), вып. 13. С. 91–103. doi: 10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.2.91-103

Макарова Е. И. Источники по истории институционализации науки вЕвроарктическом регионе: отХИГС до КФАН СССР (1930–1950-е гг.) // Труды Кольского научного центра РАН. 2015. № 1(27), вып. 7. С. 110–118.

Маслобоев В. А., Ключникова Е. М. Влияние микрочастиц черного углерода на здоровье населения и климат арктических регионов // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2022. № 2(10). С. 32–45. doi: 10.51823/74670_2022_2_32

Потравный И. М. Анализ экологического состояния арктических моногородов и поселков // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: Материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. / Под ред. В. И. Ресина. М.: РЭУ им. Г. В. Плеханова, 2023. С. 193–198.

Ромашкина Г. Ф., Вылегжанина А. О. Антропогенное воздействие в циркумполлярной зоне: проблема восприятия // Регион: экономика и социология. 2016. № 2(90). С. 121–132. doi: 10.15372/REG20160207

Салтыкова М. М., Бобровницкий И. П., Балакаева А. В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения арктического региона:

обзор литературы // Экология человека. 2020. № 4. С. 48–55. doi: 10.33396/1728-0869-2020-4-48-55

Сараева Н. М., Суханов А. А. Социальные факторы жизнеспособности молодежи в условиях экологического неблагополучия // Проблема соотношения естественного и социального в обществе и человеке. 2022. № 13. С. 83–92.

Dauvalter V. A., Denisov D. B., Slukovskii Z. I. Impact of wastewaters from apatite–nepheline production on the biogeochemical processes in an Arctic mountain lake // Geochem. Int. 2022. Vol. 60, no. 10. P. 1014–1028. doi: 10.1134/s0016702922090026

Ershova A., Makeeva I., Malgina E., Sobolev N., Smolokurov A. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic) // Mar. Pollut. Bull. 2021. No. 173. Art. 112955. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112955

Guzeva A., Slukovskii Z., Dauvalter V., Denisov D. Trace element fractions in sediments of urbanised lakes of the arctic zone of Russia // Environ. Monit. Assess. 2021. Vol. 193. Art. 378. doi: 10.1007/s10661-021-09166-z

Slukovskii Z., Dauvalter V., Guzeva A. The hydrochemistry and recent sediment geochemistry of small lakes of Murmansk, Arctic zone of Russia // Water. 2020. No. 12(4). Art. 1130. doi: 10.3390/W12041130

Tošić T. N., Vruggink M., Vesman A. Microplastics quantification in surface waters of the Barents, Kara and White Seas // Mar. Pollut. Bull. 2020. No. 161. Art. 111745. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111745

Volkov A. D., Tishkov S. V., Karginova-Gubinova V. V., Kolesnikov N. G. Environmental well-being of the Russian Arctic regions: official data and population estimates // Reg. Res. Russ. 2023. Vol. 13 (Suppl 1). P. 141–155. doi: 10.1134/s2079970523600154

References

Amosov P. V., Baklanov A. A., Goryachev A. A., Konina O. T., Krasavtseva E. A., Makarov D. V., Maslобоев В. А., Rigina O. Yu., Svetlov A. V. Dusting of apatite–nepheline ores enrichment tailings: an environmental problem and pathways to solve it. Apatity: KSC RAS; 2023. 168 p. (In Russ.). doi: 10.37614/978.5.91137.505.8

Dauvalter V. A., Denisov D. B., Slukovskii Z. I. Impact of wastewaters from apatite–nepheline production on the biogeochemical processes in an Arctic mountain lake. Geochem. Int. 2022;60(10):1014–1028. doi: 10.1134/s0016702922090026

Dauvalter V. A. Geochemistry of lakes in the zone of influence of the Arctic iron ore enterprise. Geokhimiya = Geochemistry. 2020;65(8):797–810. (In Russ.). doi: 10.31857/S001675252008004X

Dauvalter V. A. The effect of mining and ore processing effluents on mercury content in Arctic lake sediments. Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS. 2019;3:34–51. (In Russ.). doi: 10.17076/lim929

Dyadik V. V., Dyadik N. V., Klyuchnikova E. M., Maslобоев В. А., Никанов А. Н., Чашчин В. П., Моргунов Б. А. Assessment of the impact of industrial air pollution by microparticles on the health of the population of the Arctic region on the example of the

- Murmansk Region. Apatity: KSC RAS; 2022. 119 p. (In Russ.). doi: 10.37614/978.5.91137.472.3
- Dyuzhilov S. A. The changed North (the role of POSVIR in the Kola Polar Region modernization, 1920s–1930s). Part 1 – the 1920s. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Kola Scientific Center RAS*. 2017;8(9):30–46. (In Russ.)
- Ershova A., Makeeva I., Malgina E. et al. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic). *Mar. Pollut. Bull.* 2021;173:112955. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112955
- Goryachev A. A., Amosov P. V., Kompanchenko A. A. Investigation of pollution by microparticles of atmospheric air in the city of Apatity, Murmansk Region. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2023;27(7):30–35. (In Russ.). doi: 10.18412/1816-0395-2023-7-30-35
- Guzeva A., Slukovskii Z., Dauvalter V., Denisov D. Trace element fractions in sediments of urbanised lakes of the Arctic zone of Russia. *Environ. Monit. Assess.* 2021;193:378. doi: 10.1007/s10661-021-09166-z
- Isaeva L. G., Sukhareva T. A., Borovichev E. A., Urbanavichus G. P., Khimich Yu. R., Zenkova I. V., Artemkina N. A., Gorbacheva T. T., Ershov V. V., Mamontov Yu. S., Ivanova E. A. The study and conservation of terrestrial ecosystems in the Murmansk Region. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Kola Scientific Center RAS*. 2018;9(9):6–33. (In Russ.). doi: 10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.9.6-33
- Klyukina E. S. Environmental threats to the health of the population of industrial territories of the Arctic region. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Kola Scientific Center RAS*. 2018;9:91–103. (In Russ.). doi: 10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.2.91-103
- Makarova E. I. Sources on the history of the institutionalization of science in the Euro-Arctic region: from the Khibiny Research Mountain Station to the Kola Branch of the Academy of Sciences of the USSR (1930s–1950s). *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Kola Scientific Center RAS*. 2015;1(27):110–118. (In Russ.)
- Masloboev V. A., Klyuchnikova E. M. The effect of black carbon microparticles on the health of the population and the climate of the Arctic regions. *Arktika 2035: aktual'nye voprosy, problemy, resheniya = Arctic 2035: problems, solutions*. 2022;2(10):32–45. (In Russ.). doi: 10.51823/74670_2022_2_32
- Potravnyi I. M. Analysis of the ecological state of Arctic monotowns and settlements. *Sovremennye problemy upravleniya proektami v investitsionno-stroitel'stvo sfere i prirodopol'zovani: Materialy XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Modern problems of project management in the investment and construction sector and environmental management. Proceed. of the XIII Int. scientific and practical conf.* Moscow; 2023. P. 193–198. (In Russ.)
- Romashkina G. F., Vylegzhannina A. O. Anthropogenic impact in the circumpolar zone: the problem of perception. *Region: ekonomika i sotsiologiya = Region: Economics and Sociology*. 2016;2(90):121–132. (In Russ.). doi: 10.15372/REG20160207
- Saltykova M. M., Bobrovnikstii I. P., Balakaeva A. V. The impact of atmospheric air pollution on the health of the population of the Arctic region: a literature review. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*. 2020;4:48–55. (In Russ.). doi: 10.33396/1728-0869-2020-4-48-55
- Saraeva N. M., Sukhanov A. A. Social factors of youth viability in conditions of environmental disadvantage. *Problema sootnosheniya estestvennogo i sotsial'nogo v obshchestve i cheloveke = The problem of the correlation of natural and social in society and man*. 2022;13:83–92. (In Russ.)
- Slukovskii Z., Dauvalter V., Guzeva A. The hydrochemistry and recent sediment geochemistry of small lakes of Murmansk, Arctic zone of Russia. *Water*. 2020;12(4):1130. doi: 10.3390/W12041130
- Tošić T. N., Vrugink M., Vesman A. Microplastics quantification in surface waters of the Barents, Kara and White Seas. *Mar. Pollut. Bull.* 2020;161:111745. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111745
- Volkov A. D., Simakova A. V., Tishkov S. V. Spatial differentiation of migration factors in the Arctic region (using the example of the Karelian Arctic). *Region: ekonomika i sotsiologiya = Region: Economics and Sociology*. 2022;3(115):155–186. (In Russ.). doi: 10.15372/REG20220307
- Volkov A. D., Tishkov S. V., Karginova-Gubinova V. V., Kolesnikov N. G. Environmental well-being of the Russian Arctic regions: official data and population estimates. *Reg. Res. Russ.* 2023;13 (1):141–155. doi: 10.1134/s2079970523600154

Поступила в редакцию / received: 05.06.2025; принята к публикации / accepted: 25.07.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Волков Александр Дмитриевич

канд. экон. наук, старший научный сотрудник лаборатории № 33 «Крупномасштабных систем»

e-mail: kov8vol@gmail.com

Васильева Анастасия Владимировна

канд. экон. наук, старший научный сотрудник лаборатории комплексного изучения Арктики

e-mail: vasnask@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Volkov, Alexander

Cand. Sci. (Econ.), Senior Researcher

Vasilieva, Anastasiya

Cand. Sci. (Econ.), Senior Researcher

Гродницкий Артем Максимович
младший научный сотрудник лаборатории комплексного изучения Арктики
e-mail: agrodn@krc.karelia.ru

Рослякова Наталья Андреевна
канд. экон. наук, старший научный сотрудник лаборатории комплексного изучения Арктики
e-mail: na@roslyakova24.ru

Аверьянов Александр Олегович
младший научный сотрудник лаборатории комплексного изучения Арктики
e-mail: aver@petrsu.ru

Тишков Сергей Вячеславович
д-р экон. наук, старший научный сотрудник лаборатории комплексного изучения Арктики
e-mail: insteco_85@mail.ru

Grodnitskiy, Artyom
Junior Researcher

Roslyakova, Natalia
Cand. Sci. (Econ.), Senior Researcher

Averyanov, Alexander
Junior Researcher

Tishkov, Sergey
Dr. Sci. (Econ.), Senior Researcher

УДК 631.9:528.8

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТИЗИРОВАННЫХ ИНДЕКСОВ ОСАДКОВ И ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАСУХИ В ШИРОТАХ С ОТЛИЧАЮЩИМИСЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

**И. Ш. Норматов^{1*}, А. О. Рахимзода², З. И. Сафарова³,
Г. Н. Сабурова¹**

¹ Таджикский национальный университет (пр. Рудаки, 17, Душанбе, Республика Таджикистан, 734025), *inomtnor@mail.ru

² Институт математики Национальной Академии наук Таджикистана (ул. Айни, 299, Душанбе, Республика Таджикистан, 735610)

³ Агентство по гидрометеорологии Республики Таджикистан (ул. Б. Гафурова, 373, Душанбе, Республика Таджикистан, 734025)

Представлены результаты мониторинга возникновения засухи в верховье и низовье реки Варзоб (Таджикистан), характеризующихся разными климатическими условиями, с использованием стандартизированного индекса осадков (SPI) и стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации (SPEI). Установлено, что тренд уменьшения значений SPI и SPEI в низовье реки с коэффициентами корреляции соответственно 0,23 и 0,63 существенное, чем в верховье с коэффициентами корреляции 0,08 и 0,26 соответственно. Обнаружено, что благоприятные условия возникновения засухи создаются определенным сочетанием метеорологических параметров, а именно дефицитом осадков и температурой со значениями, превышающими климатическую норму.

Ключевые слова: река Варзоб; засуха; верховье реки; низовье реки; SPI; SPEI; температура; осадки; климатическая норма; метеорологическая станция; Анзоб; Айвадж

Для цитирования: Норматов И. Ш., Рахимзода А. О., Сафарова З. И., Сабурова Г. Н. Применение стандартизированных индексов осадков и эвапотранспирации для оценки засухи в широтах с отличающимися метеорологическими условиями // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 181–188. doi: 10.17076/eco1985

Финансирование. Работа выполнена в рамках плана научно-исследовательских работ кафедры метеорологии и климатологии Таджикского национального университета в сотрудничестве с Агентством по гидрометеорологии и Институтом математики Национальной Академии наук Таджикистана

I. Sh. Normatov^{1*}, A. O. Rahimzoda², Z. I. Safarova³, G. N. Saburova¹.
APPLICATION OF STANDARDIZED PRECIPITATION AND EVAPOTRANSPIRATION INDICES TO ASSESS DROUGHT AT LATITUDES WITH DIFFERENT METEOROLOGICAL CONDITIONS

¹Tajik National University (17 Rudaki Ave., 734025 Dushanbe, Republic of Tajikistan),
*inomnor@mail.ru

²Institute of Mathematics, National Academy of Sciences of Tajikistan (299 Ayni St., 735610 Dushanbe, Republic of Tajikistan)

³Agency for Hydrometeorology of the Republic of Tajikistan (373 B. Gafurov St., 734025 Dushanbe, Republic of Tajikistan)

The article presents the results of monitoring drought occurrence in the upper and lower reaches of the Varzob River (Tajikistan), characterized by different climatic conditions, using the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI). We found that the downward trend of SPI and SPEI in the lower reaches, with correlation coefficients of 0.23 and 0.63, respectively, was more significant than in the upper reaches, characterized by correlation coefficients of 0.08 and 0.26. The study shows that drought-conducive conditions are created by a certain combination of meteorological parameters, namely precipitation deficit and temperatures above the climatic normal.

Keywords: Varzob River; drought; upstream; downstream; SPI; SPEI; temperature; precipitation; climatic normal; weather station; Anzob; Ayvaj

For citation: Normatov I. Sh., Rahimzoda A. O., Safarova Z. I., Saburova G. N. Application of standardized precipitation and evapotranspiration indices to assess drought at latitudes with different meteorological conditions. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 181–188. doi: 10.17076/eco1985

Funding. The work was carried out in the framework of the research work plan of the Department of Meteorology and Climatology of the Tajik National University in cooperation with the Agency for Hydrometeorology and the Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Tajikistan.

Введение

Современный этап развития человечества протекает в условиях постоянных вызовов, обусловленных глобальными факторами изменения климата, что вносит существенные корректизы в функционирование компонентов экосистемы. Ныне все усилия человеческой мысли направлены на разработку механизмов ослабления негативных воздействий и последствий изменения климата, а также адаптации всей сферы деятельности к его катаклизмам [Normatov et al., 2019].

Традиционно установленные нормы обеспечения различных отраслей экономики водой в условиях потепления климата сталкиваются с расстройством сложившегося механизма. Проблема водообеспеченности населения и отраслей экономики ощущается с 60–70-х годов XX в., а проявления дефицита воды привели к возникновению концепции водной безопасности. С тех пор внимание ученых и международного сообщества к водной проблеме стремительно возросло [Normatov et al., 2020; Норматов и др., 2023].

Согласно сведениям Всемирной метеорологической организации, средняя глобальная

температура приземного воздуха за прошедшее столетие повысилась на 1,2 °C и составила +14,9 °C [Pörtner et al., 2022]. С потеплением климата увеличилось количество и продолжительность метеорологических засух. Засуха как одно из опасных погодных явлений оказывает существенное негативное влияние на доступность воды в почве, устойчивость экосистем, развитие сельскохозяйственных культур и их продуктивность [Страшная и др., 2018], следствием чего являются социально-экономические и экологические потери от регионального масштаба до глобального. В отличие от прочих гидрометеорологических явлений засуха затрагивает вопросы продовольственной безопасности людей и влияет не только на величину урожайности культур, но и на качество урожая.

Существующие методы оценки засухи основаны на учете показателей увлажненности территории в течение разных интервалов и изучении частоты засухи. Полученная информация служит для мониторинга засухи и оценки ее продолжительности. Научные исследования, посвященные анализу агроклиматических ресурсов, оценке и мониторингу метеорологиче-

ской засухи на основе данных разного временного разрешения, наиболее актуальны в настоящее время [Павлова, 2024].

В 1993 году разработан стандартизированный индекс осадков SPI [McKee et al., 1993], который использует строгий аппарат математической статистики для оценки засухи по ретроспективным и текущим данным о количестве атмосферных осадков. Ныне разработан ряд соответствующих компьютерных программ для расчета этого индекса [Зубов, Зубова, 2017]. В основе метода лежит предположение, что количество атмосферных осадков подчиняется гамма-распределению. Алгоритм расчета SPI согласно [Edwards, McKee, 1997] следующий: а) по данным сумм осадков строится функция гамма-распределения, имеющая вид:

$$f_{\alpha,\beta} = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta},$$

где α и β – положительные параметры формы и масштаба, $x > 0$ – количество осадков, $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция Эйлера. Параметры данной функции определяют для каждой метеостанции с выбранным времененным разрешением и на основании плотности распределения строят функцию кумулятивной вероятности, после чего преобразуют ее к вероятности стандартной нормально распределенной случайной величины. С помощью полученного нормального распределения приводят суммы осадков к форме индекса SPI.

Несмотря на широкое распространение стандартизированного индекса осадков (SPI), он не учитывает другие метеорологические параметры, характеризующие атмосферные условия, такие как температура, скорость ветра и влажность, способные влиять на интенсивность засухи.

В оценке и мониторинге засухи с помощью SPI учитываются только осадки. Индекс SPI может быть рассчитан для разных интервалов, от одного месяца до календарного года и более. Данный индекс рекомендован к использованию Всемирной метеорологической организацией. К достоинствам SPI можно отнести удобство использования, которое состоит в учете только величины осадков.

Методика вычисления индекса SPI не предполагает использование сведений о географическом местоположении измеряемых исходных данных. Стандартизованный индекс осадков учитывает только многолетнее распределение осадков. Количественная оценка дефицита осадков осуществляется относительно среднего многолетнего значения. Индекс принимает положительные и отрицательные значения. Положительные значения используют для ха-

рактеристики влажных условий. Отрицательные значения направлены на описание засушливых погодных условий. В частности, если значение индекса менее -2 ($SPI \leq -2$), то его используют для характеристики экстремальной засухи. К числу недостатков можно отнести следующие: стандартизированный индекс осадков не позволяет учитывать другие составляющие уравнения водного баланса; при расчете индекса SPI не учитываются изменения температуры приземного воздуха.

Как показывают последние исследования в области мониторинга засухи, в чрезвычайно засушливые и экстремально засушливые годы важно учитывать изменения температуры воздуха и величины испаряемости [Ben Mhenni et al., 2021]. В условиях глобального потепления при постепенном увеличении средней месячной температуры приземного воздуха при оценке и прогнозировании засухи важно учитывать изменение температуры воздуха.

Для восполнения возможности SPI и широкого охвата ключевых климатических характеристик разработан стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (SPEI). Стандартизованный индекс осадков и эвапотранспирации нормализует аномалии в накопленном климатическом водном балансе, определяемом как разница между осадками и потенциальным испарением, и тем самым обеспечивает комплексный показатель водной доступности, включающий более широкий спектр климатических условий.

В отличие от SPI стандартизированный индекс осадков и испаряемости SPEI отражает основное влияние повышения температуры на потребность растений в воде.

Методика вычисления климатического индекса SPEI основана на использовании функции плотности распределения значений разности осадков и испаряемости.

Включение потенциального испарения (ПЭТ) в SPEI необходимо тщательно тестировать, чтобы определить, приводит ли это включение к существенному отличию значений индекса от уже принятого SPI, и выявить чувствительность SPEI к различным формулам ПЭТ [McMahon et al., 2013]. Установлено, что простые или сложные методы определения ПЭТ не имеют большого значения при расчете индексов засухи [Vicente-Serrano et al., 2010].

Целью настоящей работы является определение различий возникновения засухи между географическими широтами с отличающимися климатическими условиями с применением стандартизированных индексов осадков и эвапотранспирации.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являются зона формирования (3373 м н. у. м.) и низовье (318 м н. у. м.) реки Варзоб, притока трансграничной реки Амударья в Центральной Азии. Для оценки климатических условий в верховье и низовье реки Варзоб использовались данные метеорологических станций Анзоб ($39^{\circ}05'$ с. ш. $68^{\circ}52'$ в. д.) и Айвадж ($36^{\circ}58'$ с. ш. $68^{\circ}02'$ в. д.) соответственно. Верховье реки Варзоб характеризуется климатическими нормами температуры $1,8^{\circ}\text{C}$ и атмосферных осадков 480 мм, а низовье – $17,5^{\circ}\text{C}$ и 175 мм соответственно.

Для обработки климатических данных метеорологических станций Анзоб и Айвадж использованы статистические, корреляционные методы и при определении засухи – стандартизованный индекс осадков и стандартизованный индекс осадков и эвапотранспирации, рекомендованные Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) и Всемирной метеорологической организацией (ВМО).

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведена динамика изменения стандартизированного индекса осадков и стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации верховья реки Варзоб, рассчитанная с использованием данных метеостанции Анзоб. Диаграмма на рисунке показывает, что верховье реки характеризуется убывающими трендами индексов засухи за период 1992–2023 гг., но в количественном выражении свидетельствует об отсутствии сильных и экстремальных засух.

Представляется важным изучение динамики стандартизованных индексов осадков и

евапотранспирации как показателей степени глубины и продолжительности засухи. На рис. 2 представлено отклонение среднемесячных значений атмосферных осадков и температуры от климатических норм по данным метеостанции Анзоб за период 1992–2023 гг., которые использовались для оценки среднемноголетних значений стандартизированного индекса осадков и стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации.

Из рис. 2 видно, что атмосферные осадки с января по март превышают климатическую норму, а значения среднемесячных температур ниже климатической нормы. Соответственно, SPEI характеризуется в эти месяцы положительными значениями. При этом SPI имеет отрицательное значение. Согласно нашему предположению, это связано с агрегатным состоянием осадков и их фазовыми превращениями.

Отрицательные значения SPI и SPEI с июня по декабрь обусловлены повышенными значениями температуры относительно климатической нормы в верховье реки Варзоб. Небольшие положительные значения SPI и SPEI в апреле и мае также можно связать с фазовыми превращениями агрегатных состояний атмосферных осадков (рис. 3).

Среднегодовые значения SPI и SPEI низовья реки Варзоб за период 1993–2023 гг., основанные на соответствующих расчетах по данным метеорологической станции Айвадж, показаны на рис. 4.

Сравнение SPI и SPEI верховья и низовья реки Варзоб говорит о существенном их различии. Тренд изменения SPI и SPEI в низовье реки с коэффициентами корреляции 0,23 и 0,63 значительно, чем в верховье с коэффициентами корреляции 0,08 и 0,26 соответственно. Это обусловлено обильными осадками весной и осенью, характерными для верховья реки Варзоб.

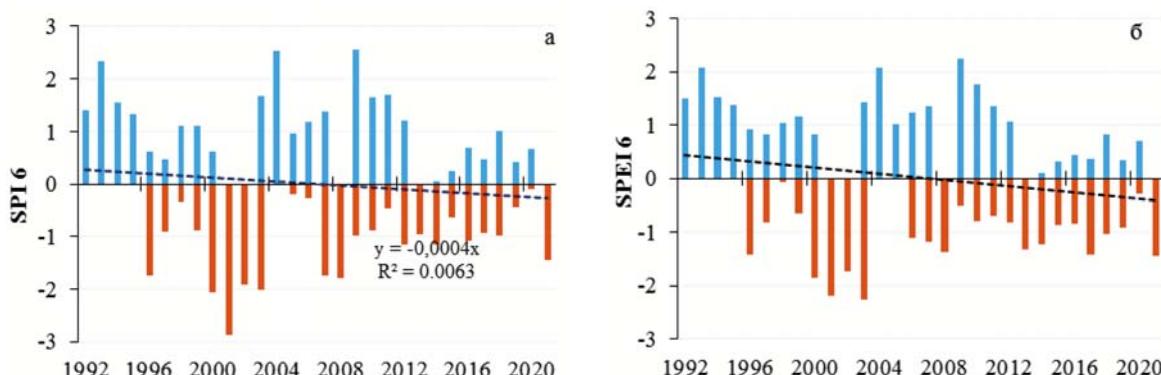


Рис. 1. Динамика SPI (а) и SPEI (б) в верховье реки Варзоб для 6-месячного временного масштаба

Fig. 1. SPI (a) and SPEI (b) dynamics in the upstream of the Varzob River for 6-month time scale

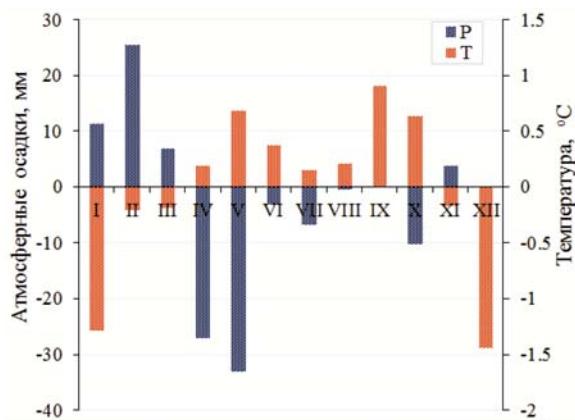


Рис. 2. Отклонение многолетних среднемесячных значений атмосферных осадков и температуры от климатических норм по данным метеостанции Анзоб
Fig. 2. Deviation of long-term average monthly precipitation and temperature from climatic norms according to data of the Anzob Meteorological Station

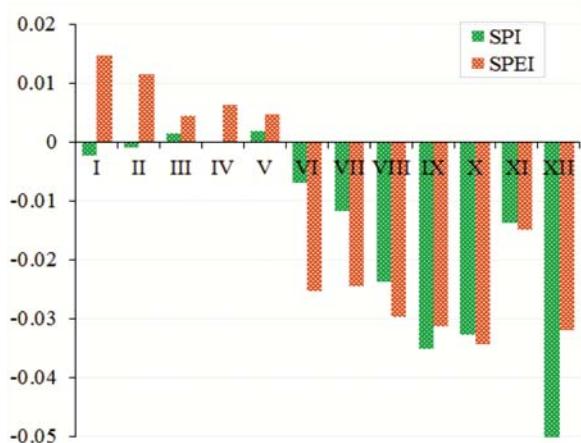


Рис. 3. Многолетние среднемесячные значения SPI и SPEI в верховье реки Варзоб
Fig. 3. Long-term monthly values of SPI and SPEI in the upstream of the Varzob River

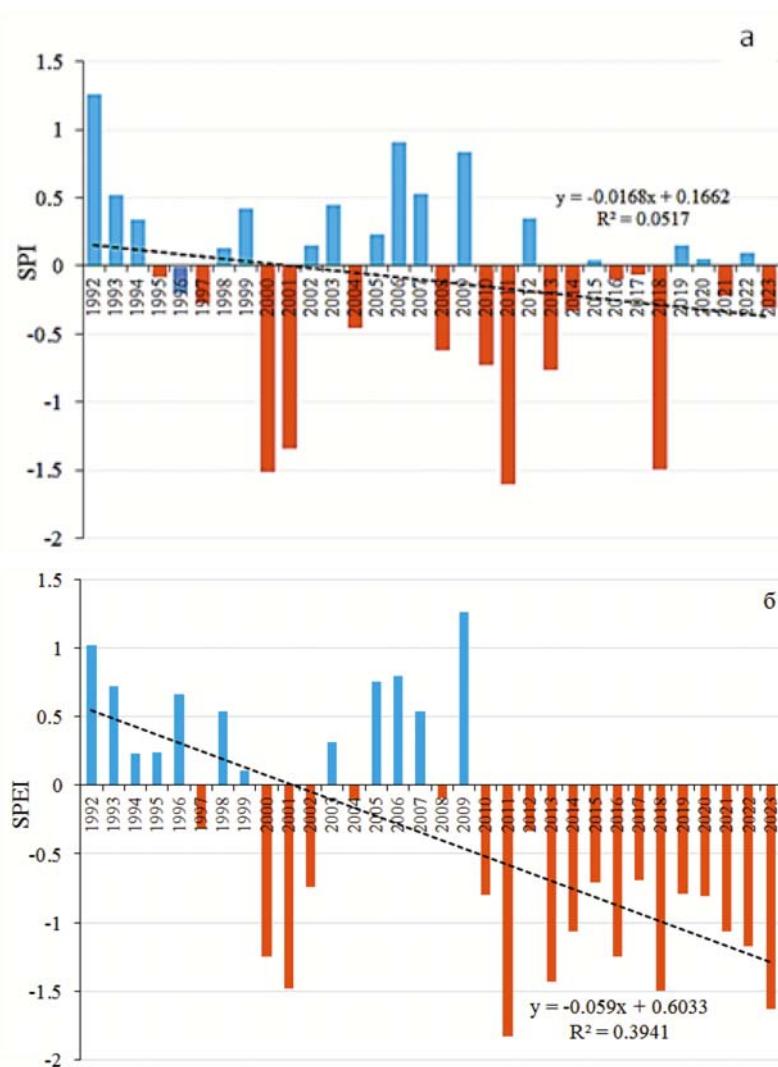


Рис. 4. Динамика SPI (а) и SPEI (б) в низовье реки Варзоб для 6-месячного временного масштаба
Fig. 4. SPI (a) and SPEI (b) dynamics in the downstream of the Varzob River for 6-month time scale

Из рис. 5, на котором приведены многолетние среднемесячные значения SPI и SPEI, видно, что стандартизованный индекс осадков имеет положительное значение только в январе, феврале, ноябре и декабре, а в остальные месяцы рассмотренный район испытывает дефицит осадков и среднемесячная температура почти целый год превышает климатическую норму (рис. 6).

Как следует из рис. 6, в низовье реки Варзоб за период 2010–2023 гг. значение SPEI только отрицательное, что, как отмечено выше, может

быть обусловлено двумя факторами: дефицитом осадков или высокими среднемесячными значениями температуры.

За рассмотренный период в низовье реки Варзоб создавались благоприятные метеорологические условия для возникновения засухи. Об этом свидетельствует представленная на рис. 7 динамика атмосферных осадков и температуры. Как видно из рис. 7, средняя многолетняя температура характеризуется возрастающим трендом при убывающем тренде атмосферных осадков.

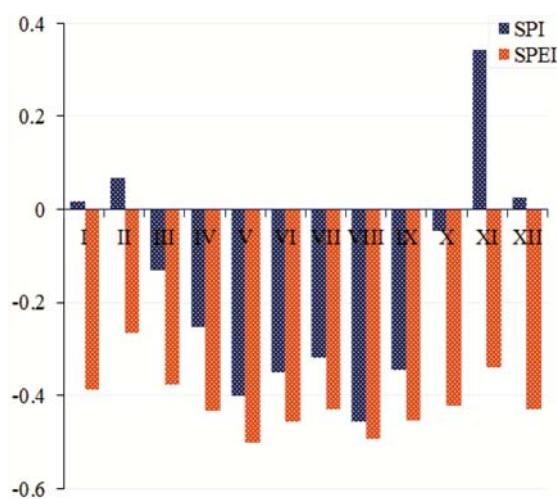


Рис. 5. Среднемесячные значения SPI и SPEI в низовье реки Варзоб за период 1992–2023 гг.

Fig. 5. Mean monthly values of SPI and SPEI in the downstream of the Varzob River for the period 1992–2023

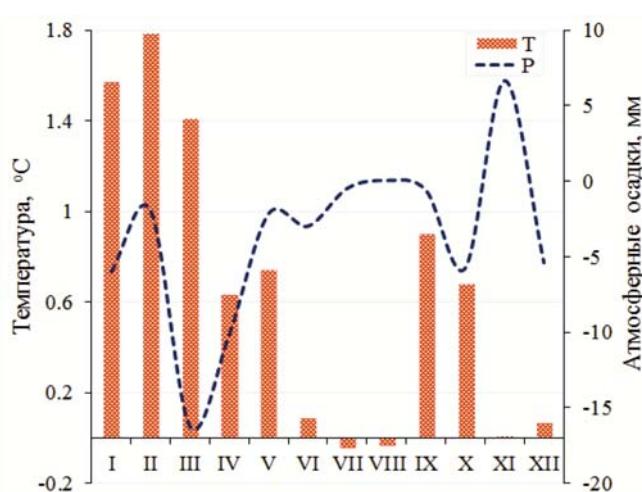


Рис. 6. Отклонение среднемесячных температур и осадков от климатических норм в низовье реки Варзоб по данным метеостанции Айвадж

Fig. 6. Deviation of average monthly temperatures and precipitation from climatic norms in the downstream of the Varzob River according to the Ayvaj Meteorological Station data

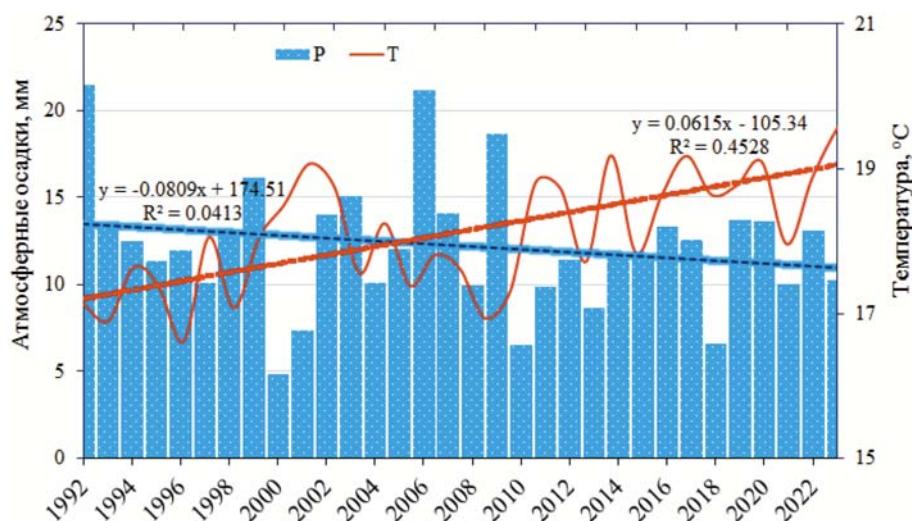


Рис. 7. Динамика атмосферных осадков и температуры в низовье реки Варзоб за период 1992–2023 гг.

Fig. 7. Dynamics of precipitation and temperature in the downstream of the Varzob River for the period 1992–2023

Заключение

Представлены результаты оценки частоты засухи в верховье и низовье реки Варзоб, характеризующихся разными климатическими условиями, с использованием стандартизированного индекса осадков (SPI) и стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации (SPEI). Обобщение итогов тридцатилетних исследований (1993–2023 гг.) показывает, что выпадение достаточного количества атмосферных осадков и низкая среднемесячная температура предохраняют верховье реки от возникновения сильных и экстремальных засух. В низовье, напротив, дефицит осадков и среднемесячные температуры выше климатической нормы благоприятствуют увеличению частоты возникновения засухи. Установлено нарастание в низовье реки Варзоб увеличения среднегодовых температур и уменьшения количества атмосферных осадков.

Литература

Зубов А. Р., Зубова Л. Г. Гидрологические особенности рек бассейнов Азовского и Черного морей. Луганск: ФЛП Пальчак А. В., 2017. 230 с.

Норматов И. Ш., Шерматов Н., Норматов П. И., Маркаев Б. А., Норматов А. И. Формирование и изменение химического состава воды вдоль русла трансграничной реки Пяндж (Таджикистан) // Геосферные исследования. 2023. № 4. С. 65–76. doi: 10.17223/25421379/29/4

Павлова А. И. Оценка метеорологической засухи на основе климатического стандартизированного индекса осадков и испаряемости // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 5. С. 605–616. doi: 10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616

Страшная А. И., Бирман Б. А., Береза О. В. Особенности засухи 2012 г. на Урале и в Западной Сибири и ее влияние на урожайность яровых зерновых культур // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2(368). С. 154–169.

Ben Mhenni N., Shinoda M., Nandintsetseg B. Assessment of drought frequency, severity, and duration and its impacts on vegetation greenness and agriculture production in Mediterranean dryland: A case study in Tunisia // Natural Hazards. 2021;105: 2755–2776.

Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Pörtner H. O., Roberts D., Tignor M. M. B. et al. (eds.). Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 2022. 3056 p. doi: 10.1017/9781009325844

Edwards D. C., McKee T. B. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales // Climatology Report. No. 97(2). Fort Collins: Colorado State University, 1997. 155 p.

McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales // Applied Climatology: Proc. 8th Conf. (Anaheim, USA, 17–22 January 1993). P. 179–184.

McMahon T. A., Peel M. C., Lowe L., Srikanthan R., McVicar T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2013. Vol. 17. P. 1331–1363. doi: 10.5194/hess-17-1331-2013

Normatov I. Sh., Armstrong R., Normatov P. I. Comparative estimation of river runoff formation in the climatic zones of Gorn Pamir // Sustain. Develop. Mount. Terr. 2020. Vol. 12, no. 3. P. 366–372. doi: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-366-372

Normatov P. I., Armstrong R., Normatov I. Sh. Assessment of the influence of climate change on snow ice resources and hydrology of Mountain Pamir Rivers // Sustain. Develop. Mount. Terr. 2019. Vol. 11, no. 3. P. 295–304. doi: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-295-304

Vicente-Serrano S. M., Beguería S., López-Moreno J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index // J. Clim. 2010. Vol. 23. P. 1696–1718. doi: 10.1175/2009JCLI2909.1

References

Ben Mhenni N., Shinoda M., Nandintsetseg B. Assessment of drought frequency, severity, and duration and its impacts on vegetation greenness and agriculture production in Mediterranean dryland: A case study in Tunisia. *Natural Hazards*. 2021;105: 2755–2776.

Edwards D. C., McKee T. B. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report*. No. 97(2). Fort Collins: Colorado State University; 1997. 155 p.

McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Applied Climatology: Proc. 8th Conf. (Anaheim, USA, 17–22 January 1993)*. P. 179–184.

McMahon T. A., Peel M. C., Lowe L., Srikanthan R., McVicar T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2013;17:1331–1363. doi: 10.5194/hess-17-1331-2013

Normatov P. I., Armstrong R., Normatov I. Sh. Assessment of the influence of climate change on snow ice resources and hydrology of Mountain Pamir Rivers. *Sustain. Develop. Mount. Terr.* 2019;11(3):295–304. doi: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-295-304

Normatov I. Sh., Armstrong R., Normatov P. I. Comparative estimation of river runoff formation in the climatic zones of Gorn Pamir. *Sustain. Develop. Mount. Terr.* 2020;12(3):366–372. doi: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-366-372

Normatov I. Sh., Shermatov N., Normatov P. I., Markaev B. A., Normatov A. I. Formation and changes in the chemical composition of water along the bed of the transboundary Panj River (Tajikistan). *Geosfernye*

issledovaniya = *Geosphere Studies*. 2023;4:65–76.
(In Russ.). doi: 10.17223/25421379/29/4

Pavlova A. I. Estimation of meteorological drought on the basis of climatic standardized index of precipitation and evaporability. *Agrarnyi vestnik Urala* = *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024;24(5):605–616. (In Russ.). doi: 10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616

Pörtner H. O., Roberts D., Tignor M. M. B. et al. (eds.). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press; 2022. 3056 p. doi: 10.1017/9781009325844

Strashnaya A. I., Birman B. A., Bereza O. V. Features of the 2012 drought in the Urals and Western Siberia and its impact on the yield of spring grain crops. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy* = *Hydrometeorological Research and Forecasts*. 2018;2(368): 154–169. (In Russ.)

Vicente-Serrano S. M., Beguería S., López-Moreno J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Clim.* 2010;23:1696–1718. doi: 10.1175/2009JCLI2909.1

Zubov A. R., Zubova L. G. Hydrological features of the rivers of the basins of the Azov and Black Seas. Lugansk: FLP Palchak A. V.; 2017. 230 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 02.11.2024; принята к публикации / accepted: 23.04.2025.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Норматов Ином Шерович

чл.-корр. НАН Таджикистана, д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и климатологии физического факультета

e-mail: inomnor@mail.ru

Рахимзода Алишер Орзу

канд. физ.-мат. наук, доцент, директор

e-mail: rao8787@mail.ru

Сафарова Зарнигор Исломовна

сотрудник Агентства по гидрометеорологии Таджикистана

e-mail: z.safarova1995@mail.ru

Сабурова Гурдофарида Накимовна

ассистент кафедры

e-mail: umarova52@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Normatov, Inom

Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of Department

Rahimzoda, Alisher Orzu

Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Director

Safarova, Zarnigor

Employee, Agency for Hydrometeorology of Tajikistan

Saburova, Gurdofarid

Assistant

УДК 575.826:577.21:582.683.2

РОЛЬ *LFY* В ИНИЦИАЦИИ ЦВЕТЕНИЯ У РАСТЕНИЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕННОГО СВЕТОВОГО РЕЖИМА

М. В. Зарецкая*, О. М. Федоренко

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),
**genmtg@mail.ru*

Среди факторов окружающей среды фотопериод является решающим для растений в определении времени начала цветения – одного из основных адаптивно значимых признаков. В лабораторных условиях изучали влияние измененного светового режима на динамику транскрипционной активности гена *LEAFY (LFY)*, играющего ведущую роль в инициации цветения растений. Экспрессия *LFY* оценивалась у *Arabidopsis thaliana* северной природной популяции (Карелия). Тестировали растения различного возраста (от 5 до 35 дней) в двух группах: одна группа выращивалась в условиях естественного светового фотопериода длинного дня (16L : 8D), а другая – при искусственном световом режиме, когда свет предоставлялся в необычное (ночное) время суток (8D : 16L). Динамика экспрессии *LFY* оказалась сходной в двух группах: уровень транскрипционной активности гена увеличивался с возрастом растений. Однако при искусственных световых условиях транскрипционная активность *LFY* была выше почти во всех возрастных группах. Тестирование растений по времени начала цветения в условиях измененного светового режима в сравнении с естественными условиями показало, что подобное изменение светового режима приводит к увеличению доли раннецветущих растений. Таким образом, сделан вывод об усилении экспрессии гена *LFY* в условиях предоставления света в необычное, ночное время суток. Установлено, что такие световые условия при сохранении фотопериода длинного дня влияют на ускорение начала цветения растений. Предполагается, что усиление экспрессии *LFY* и ускорение зацветания может быть свидетельством адаптивного ответа на изменение световых условий.

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana*; северная популяция; естественные и искусственные световые условия; транскрипционная активность *LFY*; время начала цветения

Для цитирования: Зарецкая М. В., Федоренко О. М. Роль *LFY* в инициации цветения у растений *Arabidopsis thaliana* в условиях измененного светового режима // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 189–195. doi: 10.17076/eco2121

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0009).

M. V. Zaretskaya*, O. M. Fedorenko. THE ROLE OF *LFY* IN INITIATION OF FLOWERING IN *ARABIDOPSIS THALIANA* PLANTS UNDER ALTERED LIGHT CONDITIONS

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya, St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *genmg@mail.ru*

Among environmental factors, photoperiod or light plays a decisive role in the timing of flowering in plants – one of the main adaptively significant traits. The effect of altered light conditions on the dynamics of transcriptional activity of the *LFY* gene, which plays a leading role in the initiation of plant flowering, was studied in laboratory settings. *LFY* expression was assessed in *Arabidopsis thaliana* from a northern natural population (Karelia). Plants of different ages (from 5 to 35 days) were tested in two groups: one group was grown under a natural long-day photoperiod (16L : 8D), and the other one was exposed to an artificial light regime, when light was provided at an unusual (night) time (8D : 16L). The dynamics of *LFY* expression were similar in the two groups: the level of transcriptional activity of the gene increased with plant age. However, under artificial light conditions, the transcriptional activity of *LFY* was higher in almost all age groups. Testing of flowering onset in plants under the altered light regime versus the natural conditions showed that such a change in the light regime leads to an increase in the proportion of early-flowering plants. It was thus concluded that light provision at unusual (nighttime) hours promoted the expression of the *LFY* gene. It was found that such a light schedule, while maintaining a long-day photoperiod, shifts the onset of flowering in plants to earlier timing. The *LFY* overexpression and earlier flowering are supposed to be evidence of an adaptive response to the altered light conditions.

Keywords: *Arabidopsis thaliana*; northern population; natural and artificial light conditions; *LFY* transcriptional activity; flowering onset timing

For citation: Zaretskaya M. V., Fedorenko O. M. The role of *LFY* in initiation of flowering in *Arabidopsis thaliana* plants under altered light conditions. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 189–195. doi: 10.17076/eco2121

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (FMEN-2022-0009).

Введение

Время начала цветения является одним из основных адаптивно значимых признаков для растений наряду со сроками прорастания семян и потребностью в яровизации. Переход к цветению должен происходить строго в определенное время, чтобы обеспечить максимальный репродуктивный успех и выживание растений. Одним из ключевых генов перехода от вегетативной фазы развития растения к генеративной является ген *LEAFY* (*LFY*). На *Arabidopsis thaliana* Heynh. (L.), классическом модельном объекте, показано, что *LFY* является гомеотическим геном, кодирующим регулятор транскрипции для дифференцировки цветочной меристемы и перехода к цветению [Schultz, Haughn, 1991]. Этот ген заставляет недифференцированные клетки меристемы образовывать цветок вместо обычных листьев и побегов. При этом время перехода к цветению зависит от уровня экспрессии *LFY* [Weigel et al., 1992; Blazquez et al., 1997]. Незначительная экспрессия *LFY* отмечается

в затачках листовых примордиях в ходе вегетативной фазы развития растения; при переходе к репродуктивной фазе наблюдается усиление экспрессии [Weigel et al., 1992; Крылова, 2020]. Кроме того, *LFY* рассматривается как интегратор информации различных сигналов инициации цветения. Во время вегетативной фазы регуляторная область гена *LFY* координирует эндогенные сигналы развития (такие как возраст, фитогормоны, углеводный статус) и сигналы окружающей среды, чтобы определить время начала усиления экспрессии [Blázquez et al., 1997; Blázquez, Weigel, 2000; Waheed, Zeng, 2020].

Среди факторов окружающей среды фотопериод или свет является решающим для растений в определении времени цветения [Michaels, Amasino, 1999; Waheed, Zeng, 2020]. Главную роль в фотопериодической активации цветения играют гены *FKF1* (*FLAVIN BINDING, KELCH REPEAT, F-BOX PROTEIN 1*), *GIGANTEA* (*GI*), *CONSTANS* (*CO*) и *FLOWERING LOCUS T* (*FT*). Специфический для растений белок *GI* и убиквитин-лигаза *FKF1*, являющаяся рецептором

голубого света, входят в число компонентов циркадных часов, то есть обладают суточной периодичностью экспрессии [de Montaigu et al., 2010; Klepikova et al., 2015]. У *A. thaliana* ключевые гены циркадной сети – *CIRCADIAN CLOCK ASSOCIATED 1 (CCA1)* и *LATE ELONGATED HYPOCOTYL (LHY)* взаимосвязаны через гены нисходящего пути с генами цветения *CO* и *GI* в условиях длинного дня [Suárez-López et al., 2001; Rees et al., 2021]. Это может свидетельствовать о том, что циркадные ритмы являются важным механизмом в адаптации растений, способным влиять на время начала цветения в зависимости от геофизических световых условий, связанных с вращением Земли. Известны исследования, в которых растения помещались в условия измененного фотопериода для изучения их адаптационных возможностей [Sugiyama et al., 2014; Nitschke et al., 2016; Попов, Дерябин, 2023]. В частности, показано, что значительные изменения в режиме светотемноты вызывают стрессовые реакции, снижая эффективность фотосинтеза. Этот ответ, называемый циркадным стрессом, приводил к снижению экспрессии *CCA1* и *LHY* [Sugiyama et al., 2014; Nitschke et al., 2016].

Ранее нами проанализирована в сравнительном аспекте транскрипционная активность одного из ключевых генов циркадных часов – *CCA1* у *A. thaliana* северных популяций при световом режиме, приближенном к естественным условиям длинного дня (16L : 8D) и при искусственном изменении его, когда свет представлялся в вечернее и ночное время суток (8D : 16L), но продолжительность фотопериода сохранялась [Зарецкая, Федоренко, 2024]. Обнаружен значительный подъем (почти в два раза) экспрессии этого гена в условиях измененного светового режима со сдвигом фазы в циркадном ритме на два часа. Эндогенный ритм гена сохранялся, но с меньшей амплитудой. Полученные результаты позволили заключить, что, вероятно, циркадные ритмы *A. thaliana* северных природных популяций выполняют важную роль в адаптации к изменению световых условий и что один из ключевых генов часов – *CCA1* имеет в этом процессе существенное значение.

В связи с этим с целью изучения генетических механизмов адаптации растений *A. thaliana* карельских популяций предпринято данное исследование. Здесь мы сообщаем: 1) о динамике транскрипционной активности гена *LFY* при выращивании растений в условиях измененного светового режима в сравнении с естественным фотопериодом длинного дня; 2) об изменении времени начала цветения растений в этих условиях. Таким образом, цель

настоящей работы – изучение влияния измененного суточного светового режима на транскрипционную активность гена *LFY* и время начала цветения растений.

Материалы и методы

В работе использовали растения *A. thaliana*, выращенные из собранных в природе семян северной природной популяции (Шуйская), находящейся в Карелии. Популяция названа в соответствии с близлежащим населенным пунктом – станция Шуйская (61°94' с. ш. 34°25' в. д.).

Выращивание растений в лабораторных условиях проводили по общепринятым методикам культивирования *A. thaliana* [Иванов и др., 1966]. Семена растений из популяции Шуйская высевали в чашки Петри на простую среду по Гихнеру – Велеминскому, которая готовилась на основе 0,8%-го агар-агара с добавлением растворов макро- и микроэлементов. *A. thaliana* популяций Карелии представлен поздноцветущими формами, и для их перехода к цветению необходимо воздействие положительных низких температур. Яровизацию на стадии семян проводили при 2–4 °С в течение 63 дней (9 недель).

Растения выращивали в условиях естественного светового фотопериода длинного дня (16L : 8D) и при инвертированном смещении его. В первом случае свет включался в 6 ч, а выключался в 22 ч; во втором – свет предоставлялся в вечернее и ночное время (с 17 до 9 ч), а темный период был в дневное время (с 9 до 17 ч). При этом длина дня оставалась прежней (8D : 16L). Условия роста на свету: освещение – 10 000 лк, температура 22 °С; в темноте – 22 °С. Для определения времени начала цветения 60 14-дневных растений каждой группы пересаживали в почву (смесь земли и песка 1:1) и выращивали в тех же условиях.

Выделение суммарной РНК из верхних частей 5–7 побегов (в зависимости от возраста растений) осуществлялось с использованием набора ExtractRNA («Евроген», Россия) по протоколу производителя. Качество и количество РНК определяли на спектрофотометре Smart Spec (Bio-Rad, США). Первую цепь кДНК синтезировали с помощью набора для обратной транскрипции MMLV RT kit («Евроген»). Содержание мРНК оценивали методом ПЦР в режиме реального времени с интеркалирующим красителем SYBR Green на приборе Light Cycler 96 (Roche, Германия) с набором для ПЦР-РВ («Евроген»). Для определения уровня экспрессии РНК каждую ПЦР проводили три раза на четырех независимых образцах кДНК. Последовательности праймеров для анализа экспрессии

LFY – f: 5'-ATGGATAACGGCAACGGAGGTAG-3', r: 5'-CTGAAGAAGGAACTCACGGCATTG-3'.

Анализ относительного содержания транскриптов проводился с помощью метода $2^{-\Delta\Delta Ct}$ [Livak, Schmittgen, 2001], основанного на нормализации данных по экспрессии относительно двух референсных генов. Рассчитывалась разница значений C_t (ΔC_t) между целевым и референсными генами, затем сравнивались значения ΔC_t контрольного и опытного образцов. В качестве референсных использованы гены *18sRNA* и *ACTIN8*, которые характеризуются конститутивной экспрессией. Последовательности праймеров референсных генов: *ACTIN8* f: 5'- GCAGACCGTATGAGCAAAGAG-3', r: 5'-TGAGGGAAGCAAGGATAGAAC-3'. О специфичности фрагментов судили по кривым плавления; *UBQ10* f: 5'-TCTTCTTTATCATCGCTTCG-3', r: 5'-GCTAACACTTCGCTACAT-3'.

Экспериментальные данные обрабатывали с использованием статистических программ Microsoft Excel и Statgraphics 2.1 (ANOVA). Достоверность различий содержания мРНК гена *LFY* между отдельными группами растений

оценивали с помощью непараметрического критерия Манна – Уитни.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Результаты и обсуждение

Изучение динамики транскрипционной активности гена *LFY* проводилось на растениях различного возраста, от 5 до 35 дней, в двух группах: одна группа выращивалась в условиях естественного светового фотопериода длинного дня (16L : 8D), а другая – при измененном световом режиме (8D : 16L). Результаты представлены на диаграмме (рис. 1). Динамика экспрессии *LFY* оказалась сходной в двух группах: уровень транскрипционной активности гена увеличивается с возрастом растений. Однако при экспериментальных световых условиях транскрипционная активность *LFY* в основном выше. Некоторое снижение экспрессии у 14- и 15-дневных растений обеих групп, вероятно, связано с влиянием других генов цветения на *LFY*.

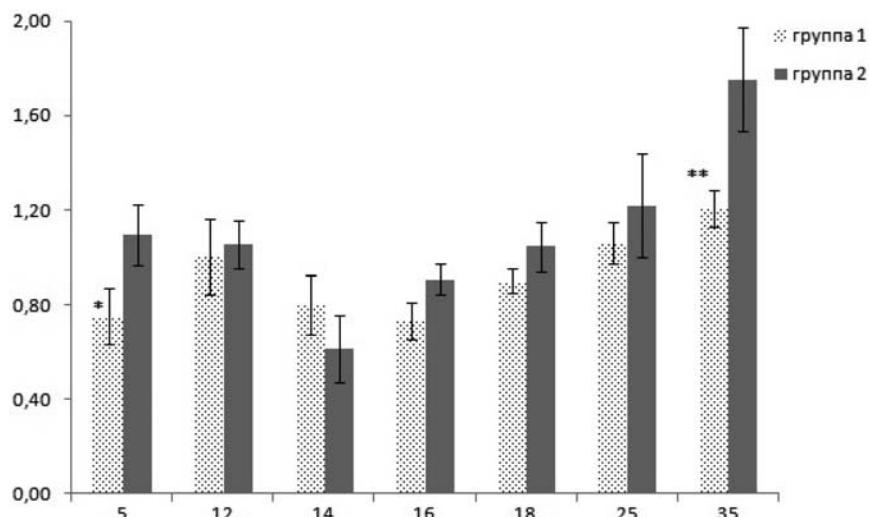


Рис. 1. Динамика транскрипционной активности *LFY* у растений *A. thaliana* популяции Шуйская:

группа 1 – растения выращивались при освещении, приближенном к естественным условиям длинного дня (16L : 8D); группа 2 – растения выращивались в измененных световых условиях (8D : 16L). По оси X – возраст растений (дн.); по оси Y – относительный уровень транскриптов *LFY*.

Звездочками отмечена значимость различий в экспрессии гена двух групп растений: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Fig. 1. Dynamics of LFY transcriptional activity in Arabidopsis thaliana plants from the Shuyskaya population:

Group 1 – plants were grown in light conditions close to natural long-day conditions (16L : 8D); Group 2 – plants were grown under altered light conditions (8D : 16L). The X-axis represents plant age (days), and the Y-axis shows the relative *LFY* transcript levels.

The asterisks indicate the significance of differences in gene expression between the two groups of plants: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

В частности, известно, что инициация формирования флоральной меристемы находится под контролем трех основных генов – *LFY*, *AP1* (*APETALA1*) и *TFL1* (*TERMINAL FLOWER1*), и *TFL1* является негативным регулятором экспрессии *LFY* [Benlloch et al., 2007; Perilleux et al., 2019; Крылова, 2020]. Подобное снижение экспрессии *LFY* отмечено также в других работах на лабораторной линии *Col-0* [Klepikova et al., 2015]. Считается, что экспрессия *LFY* должна подавляться до определенного времени, поскольку показано, что мутация сверхэкспрессии гена приводит к преждевременному цветению и резкому снижению плодовитости растения [Weigel et al., 1992; Klepikova et al., 2015].

Тестирование растений по времени начала цветения в условиях измененного светового режима в сравнении с условиями, приближенными к естественным, проводили у 60 растений в каждой группе. *A. thaliana* карельских популяций в основном представлены поздноцветущими формами растений, и им необходима длительная яровизация. Результаты показали, что подобное изменение светового режима приводит к увеличению доли раннецветущих растений (рис. 2). Так, в естественных световых условиях только 11 % растений зацветает рано, на 20–25-й день, а в экспериментальных условиях – 21 %. На позднее цветение (46–60 дней) в естественных условиях приходится 32 % растений, тогда как в экспериментальных условиях поздноцветущими остаются всего 21 % растений. Таким образом, можно заключить, что растения *A. thaliana* северной

популяции способны адаптироваться к таким необычным световым условиям.

Исследования, подобные нашему, когда светлый и темный период меняются местами в суточном ритме, в литературе не встречаются. В отличие от работ других авторов, в которых использовано существенное изменение длительности светлого и темного периодов [Sugiyama et al., 2014; Nitschke et al., 2016], у нас естественный фотопериод длинного дня, свойственный для *A. thaliana*, сохранен. Так, H. Sugiyama с коллегами [2014] изучали влияние ультракоротких фотопериодов (3L : 3D; 2L : 2D; 1L : 1D) на растения *A. thaliana*, а S. Nitschke с соавт. [2016] подвергали этот вид продолжительному световому воздействию (32 ч) с последующим длительным периодом темноты (16 ч). Оказалось, что такое изменение фотопериода в обоих случаях приводило к циркадному стрессу и влияло на физиологические показатели растений и экспрессию генов. В работе [Sugiyama et al., 2014] показано, что значительное сокращение фотопериода приводит к снижению экспрессии флуоригена *FT* и задержке цветения растений. В исследовании [Nitschke et al., 2016] циркадный стресс вызвал подавление интенсивности фотосинтеза, гибель клеток листьев и снижение транскрипционной активности *CCA1* и *LHY*. Также выращивание длиннодневного растения *A. thaliana* на коротком дне приводит к задержке цветения [Fujiwara et al., 2008], а на постоянном свету – применяется как стрессовый фактор [Millar et al., 2015].

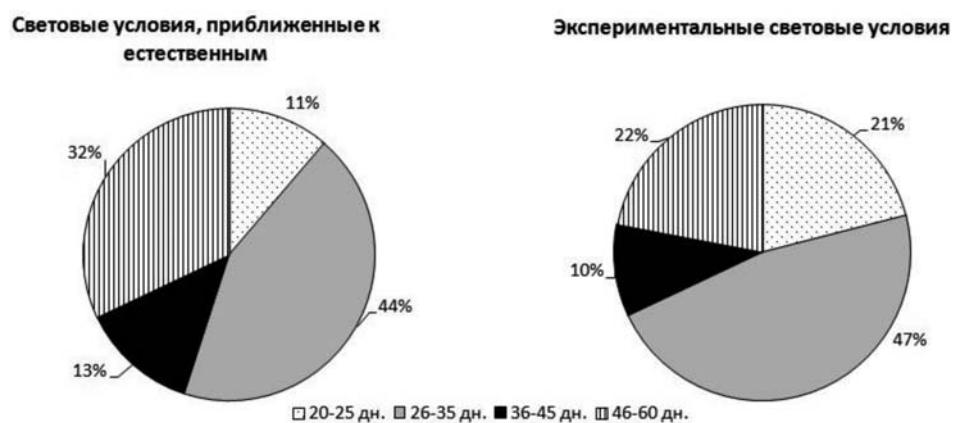


Рис. 2. Влияние световых условий на время начала цветения растений *A. thaliana* карельской популяции. В легенде указана продолжительность периода от посева до начала цветения (без учета времени яровизации); напротив секторов – доля растений (%) с этим сроком зацветания

*Fig. 2. Effect of light conditions on flowering time of *Arabidopsis thaliana* plants from the Karelian population. The legend indicates the duration of the period from sowing to the beginning of flowering (excluding the time of vernalization); the proportion of plants (%) with this flowering period is given opposite the sectors*

Заключение

В данном исследовании изучено влияние измененного суточного светового режима на транскрипционную активность гена *LFY* и время начала цветения растений *A. thaliana* из карельской популяции. В нашей работе природный фотопериод длинного дня, свойственный растениям *A. thaliana*, сохранялся. Однако предоставление света в необычное ночное время суток привело к усилению транскрипционной активности *LFY* и такой физиологической реакции, как ускорение зацветания. Полученные данные, с одной стороны, могут служить доказательством адаптивного ответа, укладывающегося в норму реакции, поскольку в северных популяциях встречаются раноцветущие растения *A. thaliana* и увеличивается только процент таких растений в экспериментальных световых условиях. С другой стороны, это может быть некоторая стрессовая реакция, способствующая скорейшему оставлению потомства и выживанию вида. Результаты исследования позволяют заключить, что, вероятно, усиление экспрессии *LFY* и ускорение зацветания может служить доказательством адаптивного ответа на изменение световых условий.

Литература

- Зарецкая М. В., Федоренко О. М. Транскрипционная активность *CCA1* у растений *Arabidopsis thaliana* северной популяции в условиях измененного светового режима // Генетика. 2024. Т. 60, № 12. С. 36–42. doi: 10.31857/S0016675824120046
- Иванов В. И., Касьяненко А. Г., Санина А. В., Тимофеева-Ресовская Е. А. Краткая характеристика *A. thaliana* и некоторые сведения о его культивировании, технике скрещиваний и учете изменчивости // Генетика. 1966. Т. 8. С. 115–120.
- Крылова Е. А. Роль ортологов гена *TFL1* в определении архитектоники растений // Генетика. Т. 56, № 11. С. 1262–1278. doi: 10.31857/S0016675820110053
- Попов В. Н., Дерябин А. Н. Влияние продолжительности фотопериода на эффективность низкотемпературного закаливания *Arabidopsis thaliana* Heynh. (L.) // Физиология растений. 2023. Т. 70, № 3. С. 311–318. doi: 10.31857/S0015330322600619
- Benlloch R., Berbel A., Serrano-Mislata A., Mardueño F. Floral initiation and inflorescence architecture: a comparative view // Ann. Bot. 2007. Vol. 100, no. 3. P. 659–676. doi: 10.1093/aob/mcm146
- Blázquez M. A., Soowal L. N., Lee I., Weigel D. *LEAFY* expression and flower initiation in *Arabidopsis* // Development. 1997. Vol. 124, no. 19. P. 3835–3844. doi: 10.1242/dev.124.19.3835
- Blazquez M. A., Weigel D. Integration of floral inductive signals in *Arabidopsis* // Nature. 2000. Vol. 404, no. 6780. P. 889–892. doi: 10.1038/35009125
- Fujiwara S., Oda A., Yoshida R., Yoshida R., Niinuma K., Miyata K., Tomozoe Y., Tajima T., Nakagawa M., Hayashi K., Coupland G., Mizoguchi T. Circadian clock proteins LHY and CCA1 regulate SVP protein accumulation to control flowering in *Arabidopsis* // Plant Cell. 2008. Vol. 20, no. 11. P. 2960–2971. doi: 10.1105/tpc.108.061531
- Klepikova A. V., Logacheva M. D., Dmitriev S. E., Penin A. A. RNA-seq analysis of an apical meristem time series reveals a critical point in *Arabidopsis thaliana* flower initiation // BMC Genomics. 2015. Vol. 16. P. 466. doi: 10.1186/s12864-015-1688-9
- Livak K. J., Schmittgen T. D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta Ct}$ method // Methods. 2001. Vol. 25. P. 402–408. doi: 10.1006/meth.2001.1262
- Michaels S. D., Amasino R. M. *FLOWERING LOCUS C* encodes a novel MADS domain protein that acts as a repressor of flowering // The Plant Cell. 1999. Vol. 11. P. 949–956. doi: 10.1105/tpc.11.5.949
- Millar J., Carrington J. T., Tee W., Hodge S. K. Changing planetary rotation rescues the biological clock mutant *lhy cca1* of *Arabidopsis thaliana* // bioRxiv. 2015. doi: 10.1101/034629
- de Montaigu A., Toth R., Coupland G. Plant development goes like clockwork // Trends Genet. 2010. Vol. 26, no. 7. P. 296–306. doi: 10.1016/j.tig.2010.04.003
- Nitschke S., Cortleven A., Iven T., Feussner I., Nitschke S., Havaux M., Riefler M., Schmülling T. Circadian stress regimes affect the circadian clock and cause jasmonic acid-dependent cell death in cytokinin-deficient *Arabidopsis* plants // Plant Cell. 2016. Vol. 28, no. 7. P. 1616–1639. doi: 10.1105/tpc.16.00016
- Périlleux C., Bouché F., Randoux M., Orman-Ligaz B. Turning meristems into fortresses // Trends Plant Sci. 2019. Vol. 24, no. 5. P. 431–442. doi: 10.1016/j.tplants.2019.02.004
- Rees H., Joynson R., Brown J. K. M., Hall A. Naturally occurring circadian rhythm variation associated with clock gene loci in Swedish *Arabidopsis* accessions // Plant Cell Environ. 2021. Vol. 44. P. 807–820. doi: 10.1111/pce.13941
- Schultz E. A., Haughn G. W. *LEAFY*, a homeotic gene that regulates inflorescence development in *Arabidopsis* // Plant Cell. 1991. Vol. 3, no. 8. P. 771–781. doi: 10.1105/tpc.3.8.771
- Suárez-López P., Wheatley K., Robson F., Onouchi H., Valverde F., Coupland G. *CONSTANS* mediates between the circadian clock and the control of flowering in *Arabidopsis* // Nature. 2001. Vol. 410, no. 6832. P. 1116–1120. doi: 10.1038/35074138
- Sugiyama H., Natsui Y., Hara M., Miyato K., Nefissi R., Mizoguchi T. Late flowering phenotype under ultra-short photoperiod (USP) in *Arabidopsis thaliana* // Plant Biotechnol. 2014. Vol. 31, no. 1. P. 29–34. doi: 10.5511/plantbiotechnology.13.1104a
- Waheed S., Zeng L. The critical role of miRNAs in regulation of flowering time and flower development // Genes. 2020. Vol. 11, no. 3. P. 319. doi: 10.3390/genes11030319
- Weigel D., Alvarez J., David R., Smyth D. R., Yanofsky M. F., Meyerowitz E. M. *LEAFY* controls floral meristem identity in *Arabidopsis* // Cell. 1992. Vol. 69. P. 643–659.

References

- Benlloch R., Berbel A., Serrano-Mislata A., Madueño F. Floral initiation and inflorescence architecture: a comparative view. *Ann. Bot.* 2007;100(3):659–676. doi: 10.1093/aob/mcm146
- Blázquez M. A., Soowal L. N., Lee I., Weigel D. LEAFY expression and flower initiation in *Arabidopsis*. *Development*. 1997;124(19):3835–3844. doi: 10.1242/dev.124.19.3835
- Blázquez M. A., Weigel D. Integration of floral inductive signals in *Arabidopsis*. *Nature*. 2000; 404(6780):889–892. doi: 10.1038/35009125
- Fujiwara S., Oda A., Yoshida R., Yoshida R., Niinuma K., Miyata K., Tomozoe Y., Tajima T., Nakagawa M., Hayashi K., Coupland G., Mizoguchi T. Circadian clock proteins LHY and CCA1 regulate SVP protein accumulation to control flowering in *Arabidopsis*. *Plant Cell*. 2008;20(11):2960–2971. doi: 10.1105/tpc.108.061531
- Ivanov V. I., Kas'yanenko A. G., Sanina A. V., Timofeeva-Resovskaya E. A. Brief description of *A. thaliana* and some information on its cultivation, crossing techniques, and variability accounting. *Genetika = Rus. J. Genetics*. 1966;8:115–120. (In Russ.)
- Klepikova A. V., Logacheva M. D., Dmitriev S. E., Penin A. A. RNA-seq analysis of an apical meristem time series reveals a critical point in *Arabidopsis thaliana* flower initiation. *BMC Genomics*. 2015;16:466. doi: 10.1186/s12864-015-1688-9
- Krylova E. A. The role of *TFL1* gene orthologs in determining plant architecture. *Genetika = Rus. J. Genetics*. 2020;56(11):1262–1278. (In Russ.). doi: 10.31857/S0016675820110053
- Livak K. J., Schmittgen T. D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta Ct}$ method. *Methods*. 2001;25:402–408. doi: 10.1006/meth.2001.1262
- Michaels S. D., Amasino R. M. *FLOWERING LOCUS C* encodes a novel MADS domain protein that acts as a repressor of flowering. *The Plant Cell*. 1999;11:949–956. doi: 10.1105/tpc.11.5.949
- Millar J., Carrington J. T., Tee W., Hodge S. K. Changing planetary rotation rescues the biological clock mutant *lhy cca1* of *Arabidopsis thaliana*. *bioRxiv*. 2015. doi: 10.1101/034629
- de Montaigu A., Toth R., Coupland G. Plant development goes like clockwork. *Trends Genet.* 2010;26(7):296–306. doi: 10.1016/j.tig.2010.04.003
- Nitschke S., Cortleven A., Iven T., Feussner I., Nitschke S., Havaux M., Riefler M., Schmülling T. Circadian stress regimes affect the circadian clock and cause jasmonic acid-dependent cell death in cytokinin-deficient *Arabidopsis* plants. *Plant Cell*. 2016;28(7):1616–1639. doi: 10.1105/tpc.16.00016
- Périlleux C., Bouché F., Randoux M., Orman-Ligeza B. Turning meristems into fortresses. *Trends Plant Sci.* 2019;24(5):431–442. doi: 10.1016/j.tplants.2019.02.004
- Popov V. N., Deryabin A. N. Influence of photoperiod duration on the efficiency of cold acclimation of *Arabidopsis thaliana* Heynh. (L.). *Fiziologiya rastenii = Plant Physiology*. 2023;70(3):311–318. (In Russ.). doi: 10.31857/S0015330322600619
- Rees H., Joynson R., Brown J. K. M., Hall A. Naturally occurring circadian rhythm variation associated with clock gene loci in Swedish *Arabidopsis* accessions. *Plant Cell Environ.* 2021;44:807–820. doi: 10.1111/pce.13941
- Schultz E. A., Haughn G. W. LEAFY, a homeotic gene that regulates inflorescence development in *Arabidopsis*. *Plant Cell*. 1991;3(8):771–781. doi: 10.1105/tpc.3.8.771
- Suárez-López P., Wheatley K., Robson F., Onouchi H., Valverde F., Coupland G. CONSTANS mediates between the circadian clock and the control of flowering in *Arabidopsis*. *Nature*. 2001;410(6832):1116–1120. doi: 10.1038/35074138
- Sugiyama H., Natsui Y., Hara M., Miyato K., Nefissi R., Mizoguchi T. Late flowering phenotype under ultra-short photoperiod (USP) in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Biotechnol.* 2014;31(1):29–34. doi: 10.5511/plantbiotechnology.13.1104a
- Waheed S., Zeng L. The critical role of miRNAs in regulation of flowering time and flower development. *Genes*. 2020;11(3):319. doi: 10.3390/genes11030319
- Weigel D., Alvarez J., David R., Smyth D. R., Yanofsky M. F., Meyerowitz E. M. LEAFY controls floral meristem identity in *Arabidopsis*. *Cell*. 1992;69:643–659.
- Zaretskaya M. V., Fedorenko O. M. Transcriptional activity of CCA1 in *Arabidopsis thaliana* northern population under altered light conditions. *Genetika = Rus. J. Genetics*. 2024;60(12):36–42. (In Russ.). doi: 10.31857/S0016675824120046

Поступила в редакцию / received: 10.06.2025; принята к публикации / accepted: 23.07.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Зарецкая Марина Витальевна
канд. биол. наук, научный сотрудник

e-mail: genmg@mail.ru

Федоренко Ольга Михайловна
канд. биол. наук, старший научный сотрудник
e-mail: fedorenko_om@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Zaretskaya, Marina
Cand. Sci. (Biol.), Researcher

Fedorenko, Olga
Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

УДК 581.1

О ВОЗМОЖНОМ ПРИМЕНЕНИИ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ *LAMINARIA DIGITATA* ИЗ БЕЛОГО МОРЯ В КАЧЕСТВЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ РАСТЕНИЙ

Т. Г. Шибаева*, Е. Г. Шерудило, А. А. Рубаева, И. А. Лёвкин,
А. Ф. Титов

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *shibaeva@krc.karelia.ru

В отечественной промышленности основными компонентами, извлекаемыми из бурых водорослей, являются манит, альгиновая кислота и ее соли. Остальные компоненты водорослей в настоящее время классифицируют как отходы. Однако вторичные продукты переработки бурых водорослей, как показывает мировая практика, вполне пригодны для дальнейшей биотехнологической переработки и использования. Учитывая это, нами в условиях контролируемой внешней среды исследовано влияние экстракта ламинарии (отхода производства) (ТУ 10.39.30-025-41669896-2019) на прорастание семян и рост проростков огурца и пшеницы, используемых в качестве тест-объектов, в оптимальных условиях и в условиях солевого стресса (NaCl 150 mM). Сбор ламинарии пальчаторассеченной *Laminaria digitata* (Huds.) Lamouroux производился в акватории Соловецкого архипелага в Белом море. Результаты экспериментов выявили потенциально возможный биостимулирующий эффект экстракта применительно к растениям. Эффект проявлялся при малых концентрациях раствора экстракта (0,25–10 мл/л) и зависел от способа воздействия на растения (предпосевная обработка семян, внесение в среду при проращивании семян или в раствор для гидропонного выращивания). При использовании более высоких концентраций раствора экстракта (50 мл/л и выше) у растений наблюдалось выраженное ингибирование ростовых процессов. Обсуждаются возможные причины стимулирующего и ингибирующего действия экстракта ламинарии на прорастание семян и рост проростков растений и сделан вывод о необходимости дальнейшей проработки ряда методических вопросов, касающихся их применения на практике.

Ключевые слова: Белое море; биостимуляторы растений; *Laminaria digitata*; отходы производства; экстракти водорослей

Для цитирования: Шибаева Т. Г., Шерудило Е. Г., Рубаева А. А., Лёвкин И. А., Титов А. Ф. О возможном применении отходов переработки *Laminaria digitata* из Белого моря в качестве биостимуляторов растений // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 196–204. doi: 10.17076/eco2253

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0004) и научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

**T. G. Shibaeva*, E. G. Sherudilo, A. A. Rubaeva, I. A. Levkin, A. F. Titov.
ON THE POSSIBLE USE OF WHITE SEA *LAMINARIA DIGITATA* PROCESSING
WASTES AS PLANT BIOSTIMULANTS**

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *shibaeva@krc.karelia.ru*

In the Russian industry, the main components extracted from brown seaweeds are manitol, alginic acid, and its salts. Other seaweed components are currently classified as waste. However, by-products of brown seaweed processing, as demonstrated by global practice, are quite suitable for further biotechnological processing and use. The effect of kelp extract (industrial waste, specifications TU 10.39.30-025-41669896-2019) on seed germination and growth of seedlings in cucumber and wheat, used as test objects, was studied in a controlled environment, both under optimal conditions and under salt stress (NaCl 150 mmol). *Laminaria digitata* (Huds.) Lamouroux were collected in waters of the Solovetsky Archipelago in the White Sea. The experimental results indicate a potential biostimulating effect of the extract on plants. The effect was evident at low concentrations (0.25–10 ml/L) and depended on the method of application (seed priming, addition to the seed germination medium, or hydroponic growing solution). Higher concentrations (50 ml/L and above) caused significant inhibition of plant growth. Possible causes of the stimulating and inhibiting effects of kelp extract on seed germination and plant seedling growth are discussed.

Keywords: industrial waste; kelp; plant biostimulant; seaweed extract; White Sea

For citation: Shibaeva T. G., Sherudilo E. G., Rubaeva A. A., Levkin I. A., Titov A. F. On the possible use of White Sea *Laminaria digitata* processing wastes as plant biostimulants. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 196–204. doi: 10.17076/eco2253

Funding. This study was supported by the federal budget (Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, FMEN-2022-0004) and the Center of Excellence in Research and Education “Russian Arctic: New Materials, Technologies and Research Methods”.

Введение

Одним из способов минимизации негативного влияния растениеводства на окружающую среду является повышение эффективности химических удобрений и, соответственно, снижение объемов их применения. Для достижения этой цели возможно использование вспомогательных веществ биологического происхождения – биостимуляторов, применение которых в растениеводстве позволяет увеличивать продуктивность растений и улучшать качество урожая. В последние годы в группе веществ, являющихся природными биостимуляторами, заметно усиливается внимание к экстрактам морских водорослей [Rouphael, Colla, 2020; Arioli et al., 2015], которые уже сейчас занимают около 15 % объема мирового рынка биостимулирующих препаратов. В частности, они хорошо известны как вещества, способные не только повышать продуктивность растений, но и смягчать действие абиотических стрессов. В настоящее время экстракты морских водорослей получают из нескольких видов макроводорослей, которые в зависимости от применяемых методов и способов экстракции позво-

ляют получать сложные смеси биологически активных веществ. Наиболее часто в сельском хозяйстве используются бурые водоросли родов *Ascophyllum*, *Fucus* и *Laminaria* [Du Jardin, 2015]. В России имеются большие запасы различных видов морских водорослей, добыча которых традиционно осуществляется на Дальнем Востоке (Японское море), Курильских островах, Сахалине, в Приморье, Охотском и Белом морях. Исследования ламинариевых и фукусовых водорослей Белого и Японского морей подтвердили общее сходство их химического состава с характерным для этих таксономических групп содержанием полисахаридов, витаминов, жирных полиеновых кислот, ауксинов и гиббереллинов, практически одинаковых и тех же первичных и вторичных метаболитов, богатого состава микро- и макроэлементов [Боголицын и др., 2012; Клочкова и др., 2019]. Это дает основание считать, что беломорские водоросли являются хорошим ресурсом для производства экстрактов со свойствами биостимуляторов растений. Однако при общем сходстве химического состава бурых водорослей из разных морей есть определенные различия, имеющие принципиальное значение

при оценке перспектив применения их экстрактов в сельском хозяйстве. Так, установлено, что содержание в них полифенольных соединений значительно варьирует в зависимости не только от вида бурых водорослей, но и от места их произрастания [Боголицын и др., 2019]. Например, виды, произрастающие в водах арктических морей, отличаются высоким содержанием флотанниновой фракции. При этом содержание полифенолов в арктических водорослях может в десятки раз превышать таковое в водорослях тех же видов из южных морей [Клиндух, Облучинская, 2013; Боголицын и др., 2018]. Это обстоятельство делает арктические водоросли потенциально ценным сырьем и говорит о перспективности использования содержащихся в них полифенольных соединений в пищевой и косметической промышленности, а также в фармакологии. В то же время высокое содержание полифенолов и их выраженная биологическая активность, характер которой весьма разнообразен, требуют особого внимания и тщательной разработки способов и методов применения экстрактов бурых водорослей в сельском хозяйстве (с учетом возможного ингибирования роста растений под влиянием содержащихся в экстрактах фенолов).

В российской промышленности основными компонентами, извлекаемыми из бурых водорослей, являются манит, альгиновая кислота и ее соли. Остальные компоненты водорослей в настоящее время классифицируют как отходы [Наумов и др., 2015]. Однако вторичные продукты переработки бурых водорослей, как показывает мировая практика, вполне пригодны для дальнейшей биотехнологической переработки и использования.

Учитывая вышесказанное, нами в условиях контролируемой внешней среды исследовано влияние экстракта ламинарии (отхода альгинатного производства) (ТУ 10.39.30-025-41669896-2019) на прорастание семян и рост проростков огурца и пшеницы, используемых в качестве тест-объектов, в оптимальных условиях и в условиях солевого стресса.

Материалы и методы

Экстракт ламинарии (ТУ 10.39.30-025-41669896-2019) является отходом производства и представляет собой темно-коричневую жидкость плотностью 1,3–1,4 г/см³ с pH 4 и массовой долей золы к сухому веществу 34 %. Сбор ламинарии пальчаторассеченной *Laminaria digitata* (Huds.) Lamouroux производился в акватории Соловецкого архипелага в Белом море. *Laminaria digitata* – вид бурых водорослей из

рода ламинария, образующий обширные заросли у открытых берегов на глубине 4–10 м. Высокая биологическая активность ламинарии обусловлена органическими и минеральными соединениями: полисахаридами, аминокислотами, витаминами A, D, B₂, E, минеральными веществами (I, Br, Fe, Ca, Mg, P, S), а также хлорофиллом и жирными кислотами [Боголицын и др., 2012].

В качестве тест-объектов использовали огурец *Cucumis sativus* L. с. Кураж и пшеницу *Triticum aestivum* L. с. Алтайская 70.

Эксперименты с семенами проводили двумя способами: 1) путем замачивания сухих семян в растворах экстракта (концентрации 0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50; 100 мл/л), 2) путем проращивания семян, предварительно обработанных растворами экстракта (концентрации 1, 5, 10, 50, 100 мл/л) на дистиллированной воде. В первом случае сухие семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге на растворах экстрактов разной концентрации. Во втором случае предпосевную обработку семян осуществляли путем их механического перемешивания в растворах экстрактов в объеме 200 и 400 мкл на 2,5 г семян пшеницы и 100 мкл на 0,25 г семян огурца соответственно до равномерного распределения раствора на поверхности. Затем семена выдерживали при температуре 23 °C в течение 24 ч, после чего их помещали в чашки Петри с 5 мл дистиллированной воды.

Для создания солевого стресса применяли 150 mM раствор NaCl. Семена проращивали в чашках Петри с 5 мл дистиллированной воды (контроль) или раствора NaCl без или с добавлением экстрактов.

Растения пшеницы выращивали в течение двух недель в гидропонных сосудах, заполненных растворами экстракта в разных концентрациях (0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2,5; 5 мл/л). В каждом сосуде было по 16 растений. В качестве контроля использовали дистиллированную воду.

Все эксперименты проводили в климатических камерах Vötsch (Германия) при температуре 23 °C, влажности воздуха 70 %; интенсивность света в разных опытах составляла 0 (при проращивании семян) или 150 мкмоль/(м² с) ФАР (при выращивании растений на гидропонике).

Электропроводность растворов измеряли с помощью кондуктометра Эксперт-002 («Эконикс-Эксперт», Россия), а pH – с помощью pH-метра Hanna HI-98199 (Hanna Instruments Ltd., Великобритания).

Биометрические измерения растений включали определение длины корня и гипокотиля, высоты растения, сырого и сухого веса побегов и корней. Биометрические параметры оценивали

на 3, 5 (нормальные условия) и 8-е сутки (стрессовые условия). Энергию прорастания семян определяли на третьи сутки в двух пробах по 50 семян.

В работе представлены средние значения и их стандартные ошибки. Достоверность различий между средними значениями определяли на основе дисперсионного анализа (LSD-тест) при $p < 0,05$ с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Для установления концентрационной зависимости влияния экстракта ламинарии на рост и развитие растений изучали его влияние в диапазоне концентраций 0–100 мл/л (табл. 1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что растворы экстракта ламинарии

в концентрации 1–5 мл/л оказывают ростостимулирующий эффект, что проявилось в увеличении длины гипокотиля и сырого веса проростков огурца. Растворы экстракта в концентрации от 5, 10 и 25 мл/л замедляли рост корней проростков по сравнению с контролем, раствор экстракта в концентрации 50 мл/л ингибировал рост корней и побега, а при использовании концентрации 100 мл/л наблюдалось полное подавление прорастания семян (рис. 1).

Изучение влияния экстракта ламинарии на всхожесть семян и ростовые показатели проростков в условиях солевого стресса (150 mM NaCl) показало, что присутствие в солевом растворе экстракта ламинарии в диапазоне концентрации от 0,25 до 1 мл/л ослабляет негативное действие хлорида натрия на рост проростков (рис. 2, 3).

Таблица 1. Значения pH, электропроводности растворов и биометрические показатели проростков *Cucumis sativus* в зависимости от концентрации раствора экстракта ламинарии

Table 1. The values of pH, electrical conductivity of solutions and biometric parameters of *Cucumis sativus* seedlings depending on the concentration of the *Laminaria* extract solution

Концентрация раствора экстракта, мл/л Concentration of extract solution, ml/l	pH	Электропроводность раствора, мСм/см Electrical conductivity of the solution, mS/cm	Длина корня, мм Root length, mm	Длина гипокотиля, мм Hypocotyl length, mm	Сырой вес проростка, г Fresh weight of seedling, g
0 – контроль 0 – control	6,3	0,07	70,5 ± 2,3 ^a	24,6 ± 1,9 ^b	0,75 ± 0,03 ^b
0,5	6,1	0,23	70,2 ± 2,0 ^a	24,5 ± 1,7 ^b	0,73 ± 0,02 ^b
1	6,1	0,42	67,0 ± 6,0 ^a	29,4 ± 2,6 ^a	1,08 ± 0,15 ^a
2,5	6,0	1,08	61,8 ± 4,6 ^a	30,3 ± 3,7 ^a	0,97 ± 0,16 ^a
5	5,9	2,13	40,8 ± 2,3 ^b	27,4 ± 2,1 ^a	0,81 ± 0,03 ^a
10	5,8	4,10	36,2 ± 2,2 ^b	25,3 ± 2,3 ^b	0,67 ± 0,05 ^b
25	5,5	9,48	21,6 ± 1,0 ^c	8,2 ± 1,2 ^c	0,36 ± 0,03 ^c
50	5,4	14,9	2,0 ± 1,0 ^d	-	-
100	5,1	29,2	-	-	-

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3 разные буквы указывают на достоверность различий между средними значениями при $p < 0,05$.

Note. Here and in Tables 2, 3 different letters for each plant species indicate significant differences between the mean values at $p < 0.05$.



Рис. 1. Проростки *Cucumis sativus* в оптимальных условиях (23 °C) при проращивании в чашках Петри с растворами экстракта ламинарии разной концентрации (5 сут)

Fig. 1. *Cucumis sativus* seedlings under optimal conditions (23 °C) during germination in Petri dishes with *Laminaria* extract solutions of various concentrations (5 days)

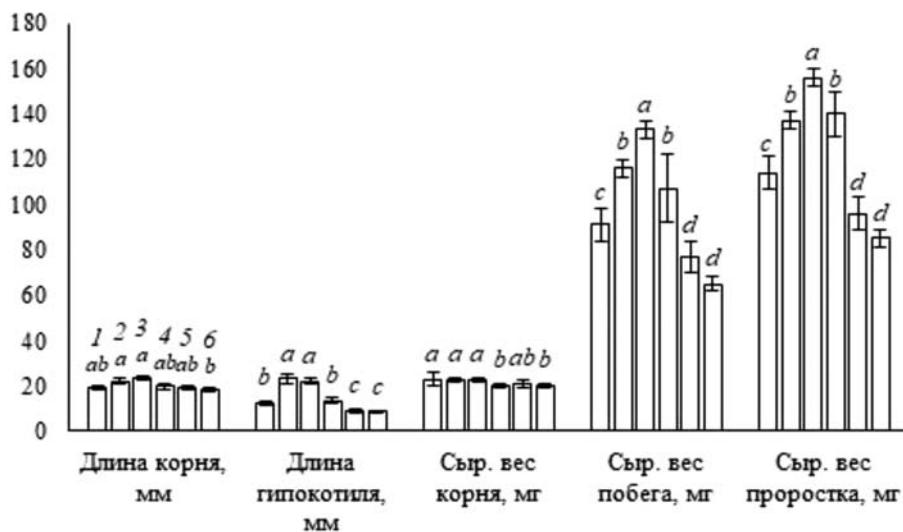


Рис. 2. Биометрические показатели проростков *Cucumis sativus* в условиях солевого стресса при проращивании в чашках Петри с раствором NaCl (150 мМ) (1) и с добавлением раствора экстракта ламинарии разной концентрации (мл/л): 2 – 0,25; 3 – 0,5; 4 – 1; 5 – 2; 6 – 3

Fig. 2. Biometric parameters of *Cucumis sativus* seedlings under salt stress during germination in Petri dishes with NaCl (150 mmol) (1) and with the addition of *Laminaria* extract solutions of various concentrations (ml/l): 2 – 0.25; 3 – 0.5; 4 – 1; 5 – 2; 6 – 3



Рис. 3. Проростки *Cucumis sativus* в условиях солевого стресса при проращивании в чашках Петри с раствором NaCl (150 мМ) и раствором экстракта ламинарии разной концентрации (8 сут)

Fig. 3. *Cucumis sativus* seedlings under salt stress during germination in Petri dishes with NaCl (150 mmol) and *Laminaria* extract solutions of various concentrations (8 days)

Результаты опытов с предпосевной обработкой семян (семена обрабатывали растворами экстракта в течение 24 ч и затем прорашивали на дистиллированной воде) показали значительный ростостимулирующий эффект такой обработки семян огурца и пшеницы при использовании концентрации раствора 1, 5 и 10 мл/л, тогда как растворы в концентрации 50 и 100 мл/л хотя и не снижали энергию прорастания по сравнению с контролем, но оказывали ингибирующее действие на рост корня и побегов огурца и пшеницы (табл. 2, рис. 4).

Серия экспериментов, проведенная на растениях пшеницы, выращенных гидропонным способом в контейнерах, при добавлении экстрактов в водную среду показала, что растворы экстрактов в концентрации 0,25–0,5 мл/л оказывают небольшое ростостимулирующее действие, которое проявилось в увеличении сырого и сухого веса побега (табл. 3, рис. 5). Растворы экстрактов в концентрации 0,75–5 мл/л оказывали ингибирующее действие на рост корней.

Таким образом, результаты экспериментов указывают на наличие биостимулирующего

Таблица 2. Энергия прорастания семян, длина корня и длина побега проростков *Cucumis sativus* и *Triticum aestivum*, выросших из семян, прошедших предпосевную обработку растворами экстракта ламинарии разной концентрации

Table 2. Seed germination energy, root length and shoot length of *Cucumis sativus* and *Triticum aestivum* seedlings grown from seeds pre-treated with *Laminaria* extract solutions of various concentrations

Концентрация раствора экстракта, мл/л Concentration of extract solution, ml/l	Энергия прорастания семян, % Seed germination energy, %	Длина корня, мм Root length, mm	Длина побега, мм Shoot length, mm
<i>Cucumis sativus</i>			
0 – контроль 0 – control	70 ± 2 ^b	56,5 ± 2,1 ^b	14,5 ± 1,3 ^b
1	91 ± 3 ^a	69,1 ± 2,0 ^a	19,2 ± 1,2 ^a
5	92 ± 3 ^a	66,9 ± 2,8 ^a	21,8 ± 1,6 ^a
10	87 ± 2 ^a	69,2 ± 2,6 ^a	21,7 ± 1,7 ^a
50	81 ± 3 ^a	58,2 ± 2,3 ^b	13,0 ± 2,1 ^b
100	73 ± 4 ^b	50,4 ± 2,2 ^c	9,9 ± 2,2 ^c
<i>Triticum aestivum</i>			
0 – контроль 0 – control	82 ± 4 ^a	35,9 ± 2,2 ^a	23,7 ± 1,3 ^b
1	87 ± 4 ^a	39,6 ± 2,7 ^a	26,9 ± 0,9 ^a
5	80 ± 5 ^a	43,3 ± 2,0 ^b	27,4 ± 0,8 ^a
10	88 ± 7 ^a	42,9 ± 1,9 ^b	21,2 ± 1,0 ^b
50	87 ± 2 ^a	31,6 ± 1,3 ^b	21,7 ± 1,5 ^b
100	83 ± 8 ^a	27,9 ± 1,9 ^c	18,3 ± 0,7 ^c



Рис. 4. Проростки *Cucumis sativus* (слева) и *Triticum aestivum* (справа), выросшие из семян, прошедших предпосевную обработку растворами экстракта ламинарии разной концентрации (5 сут)

Fig. 4. *Cucumis sativus* (left) and *Triticum aestivum* (right) seedlings grown from seeds pre-treated with *Laminaria* extract solutions of various concentrations (5 days)

Таблица 3. Биометрические показатели растений *Triticum aestivum*, выращенных на гидропонике с использованием растворов экстракта ламинарии разной концентрации

Table 3. Biometric parameters of *Triticum aestivum* plants grown hydroponically using *Laminaria* extract solutions of various concentrations

Концентрация раствора экстракта, мл/л Concentration of extract solution, ml/l	Высота растения, см Plant height, cm	Длина корня, см Root length, cm	Сырой вес побега, мг Fresh weight of shoot, mg	Сухой вес побега, мг Dry weight of shoot, mg	Сырой вес корня, мг Fresh weight of root, mg	Сухой вес корня, мг Dry weight of root, mg
0 (K)	20,9 ± 0,5 ^a	16,3 ± 0,8 ^a	134 ± 8 ^b	22 ± 2 ^b	91 ± 6 ^a	10 ± 1 ^a
0,1	19,6 ± 0,5 ^a	15,1 ± 0,5 ^a	139 ± 6 ^b	26 ± 3 ^{ab}	80 ± 5 ^a	11 ± 2 ^a
0,25	19,7 ± 0,7 ^a	13,9 ± 0,7 ^a	150 ± 12 ^a	33 ± 3 ^a	84 ± 7 ^a	11 ± 1 ^a
0,5	20,3 ± 0,3 ^a	13,2 ± 0,9 ^a	160 ± 8 ^a	30 ± 3 ^a	76 ± 5 ^a	10 ± 1 ^a
0,75	21,7 ± 0,5 ^a	6,9 ± 0,4 ^c	150 ± 11 ^a	34 ± 3 ^a	66 ± 5 ^b	8 ± 1 ^a
1	19,0 ± 0,4 ^{ab}	5,6 ± 0,3 ^c	150 ± 7 ^b	35 ± 6 ^a	60 ± 6 ^b	8 ± 1 ^a
2,5	18,6 ± 0,6 ^{ab}	6,3 ± 0,3 ^c	145 ± 7 ^b	31 ± 2 ^a	60 ± 4 ^b	9 ± 1 ^a
5	17,4 ± 0,7 ^b	6,2 ± 0,4 ^c	124 ± 6 ^c	24 ± 1 ^b	55 ± 5 ^b	7 ± 1 ^a

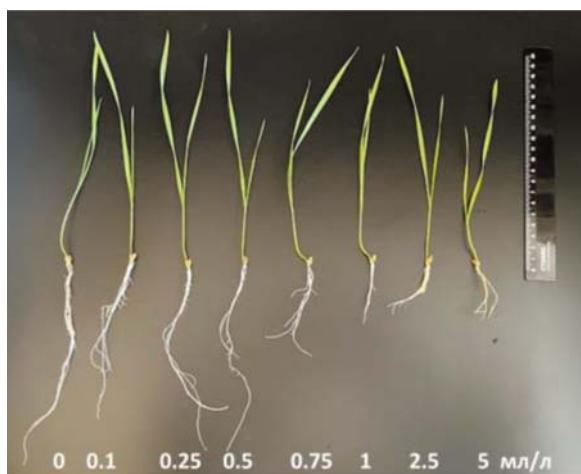


Рис. 5. Растения *Triticum aestivum*, выращенные на гидропонике с использованием растворов экстракта ламинарии разной концентрации

Fig. 5. *Triticum aestivum* plants grown hydroponically using *Laminaria* extract solutions of various concentrations

эффекта экстракта, являющегося продуктом переработки ламинарии, применительно к растениям. Эффект проявляется при использовании малых концентраций раствора экстракта (0,25–10 мл/л) и зависит от способа воздействия на растения (предпосевная обработка семян, внесение в среду при проращивании семян или в раствор для гидропонного выращивания). Важно, что при более высоких концентрациях раствора экстракта (50 мл/л и выше) у растений наблюдается выраженное ингибирование ростовых процессов. Сложность состава биостимуляторов на основе морских водорослей затрудняет прямую его связь с наблюдаемыми полезными свойствами [Di Stasio et al., 2020]. Они обычно содержат, в зависимости от способа экстракции, различные количества незаменимых или полезных минеральных питательных веществ, пигментов, витаминов, аминокислот, бетаинов и других растворенных веществ, таких как маннит, фенольные соединения, включая флоротаннины с антиоксидантной и металлохелатирующей активностью, фитогормоны и фитогормоноподобные соединения, а также растворимые биоактивные полисахариды, наиболее важными из которых являются фукоиданы, ламинарины и альгиновая кислота [Battacharyya et al., 2015; El Boukhari et al., 2020; Ali et al., 2021; Nanda et al., 2022]. В нашем случае экстракт ламинарии содержал в своем составе набор минеральных веществ (K, Mg, Ca, Fe, Na, Mn, Cd) и 16 аминокислот. Необходимо обратить внимание, что электропро-

водность растворов экстракта при концентрации 2,5–5 мл/л (1,1–2,1 мСм/см) соответствует диапазону этого показателя для питательного раствора, подходящего для выращивания растений (0,5–2,5 мСм/см), но более высокие концентрации раствора экстракта значительно выходят за пределы нормального диапазона. Так, раствор экстракта в концентрации 10 мл/л имел электропроводность 4,1 мСм/см, а 100 мл/л – 29,2 мСм/см. Это означает, что одна из причин положительного влияния экстракта ламинарии на рост растений может быть связана с обеспечением их необходимым комплексом макро- и микроэлементов, отсутствующим в дистиллированной воде (контроле). В то же время это не исключает влияния биологически активных веществ, содержащихся в экстракте. Что касается ингибирующего действия экстракта в более высоких концентрациях, то это может быть связано с чрезмерно высокой электропроводностью раствора, обусловленной высоким содержанием веществ в экстракте, а возможно, является результатом экзогенного действия на растения полифенолов, содержащихся в экстракте. Как уже отмечалось, содержание полифенолов в арктических водорослях может в десятки раз превышать таковое в водорослях тех же видов в более южных водах произрастания [Клиндух, Облучинская, 2013; Боголицын и др., 2018]. Например, содержание полифенолов в фукусе пузырчатом в прибрежных водах Дании составляет 1 мас. %, Норвегии – 11–13 мас. %, а в Баренцевом и Белом морях – 15,4–18,6 мас. %. Стоит также отметить, что в большинстве описанных в литературе и в настоящем исследовании случаев положительного или отрицательного влияния экстрактов или отходов альгинатного или маннитного производства на растения надежно не установлено, какое именно вещество, содержащееся в водорослевом экстракте, вызвало ту или иную реакцию растений. Не исключено, что их воздействие было комплексным. Это обуславливает необходимость дальнейшего накопления научных данных относительно тех или иных свойств биостимуляторов из отечественного водорослевого сырья и проведения лабораторных и полевых испытаний на местных сельскохозяйственных культурах с целью дальнейшего их использования в практическом растениеводстве.

Заключение

Быстрый рост населения, наблюдавшийся во второй половине XX и начале XXI веков, сопровождается, с одной стороны, увеличением

потребностей в продуктах питания, а с другой, значительным сокращением пахотных земель и деградацией почв. Так, согласно отчету ООН, только в Европе ежегодно теряется 970 миллионов тонн плодородных почв, а во всем мире – примерно 24 миллиарда тонн из-за эрозии и методов, не отвечающих современным требованиям ведения сельского хозяйства. Для того чтобы минимизировать негативные последствия действия указанных факторов, требуется разработка новых агрорешений, направленных на создание функциональных и устойчивых систем ведения сельского хозяйства. В последние годы они постоянно предлагаются, расширяя набор способов и методов, повышающих эффективность сельскохозяйственного производства. К их числу можно отнести и применение экстрактов морских водорослей, представляющих собой новый класс агроресурсов, который вызывает особый интерес как у производителей сельскохозяйственной продукции, так и ученых. Источниками экстрактов являются, как отмечено во введении, макрофиты, населяющие прибрежные районы Мирового океана, где существуют подходящие для них субстраты и условия внешней среды. Однако, как показывают исследования, в том числе и наше, использование экстрактов, являющихся отходами переработки водорослей, требует серьезной методической проработки. Она, в частности, включает в себя выявление эффективных концентраций растворов экстрактов, способа обработки ими растений, установление особенностей в реакции разных культур на обработку, включая возможные отдаленные во времени последствия. Наконец, очень важно установление того вещества (или группы веществ), которое обуславливает эффект биостимуляции. Только получение такого рода данных, позволяющих обоснованно судить о всех аспектах влияния экстрактов бурых водорослей Белого моря на растения, позволит в дальнейшем успешно применять их на практике.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Литература

Боголицын К. Г., Дружинина А. С., Овчинников Д. В., Каплицин П. А., Шульгина Е. В., Паршина А. В. Полифенолы бурых водорослей // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 5–21. doi: 10.14258/jcprm.2018031898

Боголицын К. Г., Дружинина А. С., Овчинников Д. В., Паршина А. В., Шульгина Е. В., Турова П. Н., Ставрианиди А. Н. Полифенолы арктических бурых водорослей: выделение, полимолекулярный состав // Химия растительного сырья. 2019. № 4. С. 65–75. doi: 10.14258/jcprm.2019045135

Боголицын К. Г., Каплицин П. А., Ульяновский Н. В., Пронина О. В. Комплексное исследование химического состава бурых водорослей Белого моря // Химия растительного сырья. 2012. № 4. С. 153–160.

Клиндух М. П., Облучинская Е. Д. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 3. С. 466–471.

Клочкива Т. А., Климова А. В., Клочкива Н. Г. Перспективы использования камчатских ламинариевых водорослей в региональном растениеводстве // Вестник КамчатГТУ. 2019. № 48. С. 90–103. doi: 10.17217/2079-0333-2019-48-90-103

Наумов И. А., Буркова Е. А., Канарская З. А., Канарский А. В. Водоросли – источник биополимеров, биологически активных веществ и субстрат в биотехнологии. Часть 2. Биотехнологическая переработка водорослей // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 2. С. 198–203.

Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production // Plants. 2021. Vol. 10. Art. 531. doi: 10.3390/plants10030531

Arioli T., Mattner S. W., Winberg P. C. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future // J. Appl. Phycol. 2015. Vol. 27. P. 2007–2015. doi: 10.1007/s10811-015-0574-9

Battacharyya D., Babgohari M. Z., Rathor P., Prithiviraj B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture // Sci. Hortic. 2015. Vol. 196. P. 39–48. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.012

El Boukhari M. E. M., Barakate M., Bouhia Y., Lyamlouli K. Trends in seaweed extract based biostimulants: manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems // Plants (Basel). 2020. Vol. 9(3). Art. 359. doi: 10.3390/plants9030359

Di Stasio E., Cirillo V., Raimondi G., Giordano M., Esposito M., Maggio A. Osmo-priming with seaweed extracts enhances yield of salt-stressed tomato plants // Agronomy. 2020. Vol. 10(10). Art. 1559. doi: 10.3390/agronomy10101559

Du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation // Sci. Hortic. 2015. Vol. 196. P. 3–14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021

Nanda S., Kumar G., Hussain S. Utilization of seaweed-based biostimulants in improving plant and soil health: current updates and future prospective // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2022. Vol. 19. P. 12839–12852. doi: 10.1007/s13762-021-03568-9

Rouphael Y., Colla G. Editorial: biostimulants in agriculture // Front. Plant Sci. 2020. Vol. 11. doi: 10.3389/fpls.2020.00040

References

Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications

towards sustainable crop production. *Plants*. 2021;10:531. doi: 10.3390/plants10030531

Arioli T., Mattner S. W., Winberg P. C. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. *J. Appl. Phycol.* 2015;27:2007–2015. doi: 10.1007/s10811-015-0574-9

Battacharyya D., Babgohari M. Z., Rathor P., Prithiviraj B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic.* 2015;196:39–48. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.012

Bogolitsyn K. G., Druzhinina A. S., Ovchinnikov D. V., Kaplitsin P. A., Shul'gina E. V., Parshina A. V. Polyphenols of brown seaweeds. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chem. Plant Raw Materials*. 2018;3:5–21. (In Russ.). doi: 10.14258/jcprm.2018031898

Bogolitsyn K. G., Druzhinina A. S., Ovchinnikov D. V., Parshina A. V., Shul'gina E. V., Turova P. N., Stavridi A. N. Polyphenols of Arctic brown seaweeds: extraction and polyphenol composition. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chem. Plant Raw Materials*. 2019;4:65–75. (In Russ.). doi: 10.14258/jcprm.2019045135

Bogolitsyn K. G., Kaplitsyn P. A., Ul'yanovskii N. V., Pronina O. V. Comprehensive study of the chemical composition of brown seaweed in the White Sea. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chem. Plant Raw Materials*. 2012;4:153–160. (In Russ.)

El Boukhari M. E. M., Barakate M., Bouhia Y., Lyamlioui K. Trends in seaweed extract based biostimulants: manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. *Plants (Basel)*. 2020;9(3):359. doi: 10.3390/plants9030359

Di Stasio E., Cirillo V., Raimondi G., Giordano M., Esposito M., Maggio A. Osmo-priming with seaweed extracts enhances yield of salt-stressed tomato plants. *Agronomy*. 2020;10(10):1559. doi: 10.3390/agronomy10101559

Du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hortic.* 2015;196:3–14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021

Klindukh M. P., Obluchinskaya E. D. Comparative study of the chemical composition of brown seaweeds *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*. *Vestnik MGTU = Herald of MSTU*. 2013;16(3):466–471. (In Russ.)

Klochkova T. A., Klimova A. V., Klochkova N. G. Prospects of using laminarian algae from Kamchatka in the regional horticulture. *Vestnik KamchatGTU = Bulletin of Kamchatka State Technical University*. 2019;48: 90–103. (In Russ.)

Nanda S., Kumar G., Hussain S. Utilization of seaweed-based biostimulants in improving plant and soil health: current updates and future prospective. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2022;19:12839–12852. doi: 10.1007/s13762-021-03568-9

Naumov I. A., Burkova E. A., Kanarskaya Z. A., Kanarsky A. V. Algae – a source of biopolymers, biologically active substances and a substrate in biotechnology. Part 2. Biotechnological processing of algae. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin Kazan Technol. Univ.* 2015;18(2):198–203.

Rouphael Y., Colla G. Editorial: Biostimulants in agriculture. *Front. Plant Sci.* 2020;11. doi: 10.3389/fpls.2020.00040

Поступила в редакцию / received: 07.11.2025; принята к публикации / accepted: 26.11.2025.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Шибаева Татьяна Геннадиевна

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: shibaeva@krc.karelia.ru

Шерудило Елена Георгиевна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: sherudil@krc.karelia.ru

Рубаева Александра Александровна

аспирант

e-mail: arubaeva@krc.karelia.ru

Лёвкин Илья Александрович

аспирант

e-mail: levkin-556@mail.ru

Титов Александр Федорович

чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, профессор, руководитель лаборатории экологической физиологии растений

e-mail: titov@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Shibaeva, Tatyana

Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher

Sherudilo, Elena

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Rubaeva, Alexandra

Doctoral Student

Levkin, Ilya

Doctoral Student

Titov, Alexander

RAS Corr. Fellow, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Head of Laboratory

НАТАЛЬЯ МСТИСЛАВОВНА КАЗНИНА (к 60-летию со дня рождения)



28 сентября 2025 года исполнилось 60 лет заместителю директора по научной работе и ведущему научному сотруднику лаборатории экологической физиологии растений Института биологии Карельского научного центра РАН, доктору биологических наук Наталье Мстиславовне Казниной.

Наталья Мстиславовна родилась в г. Петрозаводске, где в 1982 году закончила учебу в школе № 27 и поступила на биологический факультет Петрозаводского государственного университета (ПетрГУ). В период обучения проходила специализацию на кафедре ботаники и физиологии растений, где под руководством профессора А. В. Штанько занималась изучением сортов рапса с целью выявления наиболее перспективных для выращивания в условиях Республики Карелия. После окончания

университета в 1987 году Наталья Мстиславовна была направлена по распределению в Суоярвскую среднюю школу учителем химии, где успешно проработала в течение двух лет и заслужила уважение как со стороны преподавателей, так и учеников школы.

В 1990 г. Н. М. Казнина поступает на работу в Институт биологии Карельского филиала Академии наук СССР в лабораторию геоботаники и растительных ресурсов в группу к. б. н. С. И. Калининой, которая занималась изучением биологии многолетних злаковых трав при их возделывании в условиях Европейского Севера России. После расформирования лаборатории в 1996 г. Н. М. Казнина в составе группы, которой руководила к. б. н. Г. Ф. Лайдинен, переходит в лабораторию стресс-физиологии растений, возглавляемую д. б. н. А. Ф. Титовым. В это время в лаборатории начинает быстро развиваться новое направление, связанное с изучением влияния на растения тяжелых металлов, и Наталья Мстиславовна активно включается в эту работу. С 1997 по 2001 г. она проходит аспирантскую подготовку по специальности «физиология и биохимия растений», а в 2003 г. успешно защищает кандидатскую диссертацию на тему «Влияние свинца и кадмия на рост, развитие и некоторые другие физиологические процессы однолетних злаков (ранние этапы онтогенеза)». В диссертации, а также в публикациях этого периода ею был использован онтогенетический подход к изучению влияния на растения стресс-факторов, что позволило получить новую информацию о механизмах адаптации растений к тяжелым металлам, действующих на разных этапах их жизненного цикла.

Одновременно с этим Наталья Мстиславовна участвовала в осуществлении целого ряда проектов, в том числе международного INTAS-проекта, в рамках которого сотрудниками

лаборатории стресс-физиологии растений совместно с коллегами из Казахстана проводилось изучение фиторемедиационного потенциала дикорастущих злаков, а также работала в программах фундаментальных исследований Президиума РАН, связанных с изучением вопросов загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и оценкой металлоустойчивости видов растений, произрастающих на территории Карелии.

Накопленный в ходе исследований ценный научный материал был затем обобщен в монографии, написанной совместно с А. Ф. Титовым, В. В. Талановой и Г. Ф. Лайдинен «Устойчивость растений к тяжелым металлам» (2007), которая является одной из наиболее часто цитируемых публикаций сотрудников КарНЦ РАН.

В последующие годы научный интерес Н. М. Казниной связан с использованием новых молекулярно-генетических подходов к изучению механизмов металлоустойчивости растений, которые становятся важной частью ее исследований. В частности, в это время выходит целый ряд публикаций, посвященных выявлению роли транспортных белков, а также некоторых антиоксидантов и кодирующих их генов в адаптации растений к избытку тяжелых металлов в окружающей среде. Результаты, полученные Натальей Мстиславовной, позволили углубить и детализировать понимание физиолого-биохимических и молекулярно-генетических механизмов устойчивости растений к таким токсикантам. Эти результаты, наряду с данными, полученными коллегами по лаборатории, нашли свое отражение в написанной в соавторстве с А. Ф. Титовым и В. В. Талановой монографии «Тяжелые металлы и растения» (2014), в которой на основе анализа имеющихся в литературе данных и результатов собственных исследований рассмотрены основные механизмы металлоустойчивости растений, в том числе связанные с регуляцией поглощения ионов тяжелых металлов и их транспорта по растению, детоксикацией ионов в клетке, участием антиоксидантной системы в обеспечении устойчивости растений к тяжелым металлам, восприятием и передачей сигнала о воздействии тяжелых металлов в растительных клетках.

Одновременно с лабораторными исследованиями важной частью научных интересов Н. М. Казниной оставалось изучение фиторемедиационного потенциала растений. Ею изучен целый ряд видов многолетних злаков местной флоры, оценена их способность произрастать на почвах с высоким содержанием

тяжелых металлов и накапливать их в различных органах. На основании полученных результатов выявлены наиболее металлоустойчивые виды злаков южной и северной Карелии, которые рекомендованы для использования при восстановлении почв, загрязненных тяжелыми металлами.

Все эти результаты обобщены в докторской диссертации на тему «Механизмы устойчивости растений семейства Poaceae к тяжелым металлам», успешно защищенной Н. М. Казниной в 2016 г. в Ботаническом институте РАН им. В. Л. Комарова в г. Санкт-Петербурге.

Сфера интересов Н. М. Казниной в последние годы постоянно расширяется и включает все новые вопросы. Так, в исследованиях, направленных на изучение роли отдельных микроэлементов в жизнедеятельности растений, ею выявлены черты сходства и различия в реакции растений на избыток и дефицит необходимых для растений элементов, таких как цинк и медь. Установлено также, что предпосевная обработка семян салициловой кислотой может повышать устойчивость растений к недостатку микроэлементов в почве, что актуально для северных территорий, почвы которых, как правило, характеризуются низким содержанием целого ряда микроэлементов. С 2023 года под руководством Н. М. Казниной началось изучение устойчивости растений местной флоры к засолению. Такого рода исследования, в частности, важны для определения состояния растительности на прибрежных территориях Белого моря и оценки продуктивности существующих там фитоценозов.

Являясь высококвалифицированным специалистом в области экологической физиологии растений, Н. М. Казнина ведет активную педагогическую деятельность. Ею разработаны и ведутся со студентами ПетрГУ практические и лабораторные занятия по дисциплинам «Физиология растений» и «Экологическая физиология растений». Она является руководителем курсовых и дипломных работ студентов. На протяжении последних пяти лет Наталья Мстиславовна является неизменным председателем Государственной экзаменационной комиссии по защите выпускных квалификационных работ.

Исследования, проводимые Н. М. Казниной, постоянно поддерживаются российскими и международными научными фондами. В разные годы она участвовала в осуществлении проектов INTAS, РФФИ_север, программ фундаментальных исследований Президиума РАН, являлась руководителем грантов РФФИ(2020–2022)иРНФ(2022–2023).

С 2016 по 2023 год она была членом диссертационного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций Д002.211.02 при Ботаническом институте им. В. Л. Комарова РАН (г. Санкт-Петербург). Кроме того, Н. М. Казнина осуществляет большую экспертную работу, регулярно выступает в качестве официального оппонента на защитах кандидатских и докторских диссертаций, является членом программных комитетов научных конференций и съездов Общества физиологов растений России.

Нельзя не отметить, что Наталью Мстиславовну отличает не только высокий профессионализм, но и такие важные человеческие качества, как необычайная работоспособность, ответственность, доброжелательность, готовность всегда помочь и поддержать в сложной ситуации и умение искренне радоваться успехам коллег.

За годы работы Натальей Мстиславовной опубликовано более 200 научных трудов, в том числе две монографии, три учебных пособия для студентов вузов и аспирантов, более 100 статей в различных российских и международных научных журналах, включая такие авторитетные, как «Успехи современной биологии», «Журнал общей биологии», «Физиология растений», «Доклады Российской академии наук», «Онтогенез», «Physiologia Plantarum», «Plants», «Agronomy». Она с большим желанием и интересом выступает с научными докладами и сообщениями на конференциях различного уровня.

Многолетняя успешная работа Н. М. Казниной отмечена Почетной грамотой РАН и профсоюза работников РАН (2013 г.), Почетной грамотой Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (2023 г.), грамотами Карельского научного центра РАН (2015, 2016 гг.). В 2025 г. она удостоена почетного звания «Заслуженный деятель науки Республики Карелия».

В настоящее время Н. М. Казнина успешно совмещает научную деятельность с научно-организационной работой в качестве заместителя директора по научной работе Института биологии КарНЦ РАН.

От всей души поздравляем Наталью Мстиславовну с юбилеем! Желаем и дальше сохранять неиссякаемый оптимизм и увлеченность своим делом! Крепкого здоровья и успехов на пути к новым достижениям и открытиям!

Коллектив лаборатории экологической физиологии растений

СПИСОК ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ ТРУДОВ Н. М. КАЗНИНОЙ

2001. Влияние ионов свинца на рост и морфофизиологические показатели растений ячменя и овса // Физиология и биохимия культурных растений. Т. 33, № 5. С. 387–393. (Совместно с А. Ф. Титовым, Г. Ф. Лайдинен.)

2004. Влияние свинца на рост и развитие *Setaria viridis* L. (Beauv.) // Растительные ресурсы. Т. 40, вып. 3. С. 53–59. (Совместно с Г. Ф. Лайдинен, В. В. Талановой, А. Ф. Титовым.)

2005. Влияние свинца на фотосинтетический аппарат однолетних злаков // Известия РАН. Серия биологическая. № 2. С. 184–188. (Совместно с Г. Ф. Лайдинен, А. Ф. Титовым, А. В. Талановым.)

2006. Влияние кадмия на апикальные меристемы стебля растений ячменя // Онтогенез. Т. 37, № 6. С. 444–448. (Совместно с Г. Ф. Лайдинен, А. Ф. Титовым.)

2007. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 172 с. (Совместно с А. Ф. Титовым, В. В. Талановой, Г. Ф. Лайдинен.)

2008. Effect of cadmium on Poaceae plants // Physiologia Plantarum. Vol. 133, no. 3. P. 09–083. (Совместно с А. Ф. Титов, Г. Ф. Лайдинен, А. В. Таланов, В. В. Таланова.)

Влияние тяжелых металлов на прорастание семян дикорастущих злаков Казахстана // Труды Карельского научного центра РАН. Вып. 14. С. 3–7. (Совместно с Ю. В. Батовой, Г. Ф. Лайдинен, А. Ф. Титовым.)

2009. Влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки растений *Phleum pratense* L. // Труды Карельского научного центра РАН. № 3. С. 50–55. (Совместно с А. Ф. Титовым, Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батовой.)

Устойчивость щетинника зеленого к повышенным концентрациям цинка // Известия РАН. Серия биологическая. № 6. С. 677–684. (Совместно с А. Ф. Титовым, Г. Ф. Лайдинен, А. В. Талановым.)

2010. Влияние цинка на продуктивность ярового ячменя в вегетационном опыте // Агрономия. № 8. С. 72–76. (Совместно с А. Ф. Титовым, Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батовой.)

2011. Способность к накоплению кадмия у *Bromopsis inermis* и *Setaria viridis* (Poaceae) // Растительные ресурсы. Т. 47, вып. 3. С. 64–72. (Совместно с Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батовой, А. Ф. Титовым.)

Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам: учебное пособие.

Петрозаводск: КарНЦ РАН. 77 с. (Совместно с А. Ф. Титовым, В. В. Талановой.)

2012. Влияние возрастных различий на устойчивость растений ячменя к кадмию // Физиология растений. Т. 59, № 1. С. 74–79. (Совместно с А. Ф. Титовым, Л. В. Топчиевой, Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батовой.)

Устойчивость растений к кадмию (на примере семейства Злаков): учебное пособие. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 55 с. (Совместно с А. Ф. Титовым, В. В. Талановой.)

2013. Влияние возраста листа на устойчивость фотосинтетического аппарата растений к кадмию // Труды Карельского научного центра РАН. № 3. С. 112–118. (Совместно с А. Ф. Титовым, Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батовой.)

Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства Poaceae // Успехи современной биологии. Т. 133, № 6. С. 588–603. (Совместно с А. Ф. Титовым.)

Практикум по курсу «Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам»: учебно-методическое пособие. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 63 с. (Совместно с А. Ф. Титовым, В. В. Талановой.)

Экспрессия генов вакуолярной Н⁺-АТФазы в корнях проростков ячменя разного возраста при действии кадмия // Физиология растений. Т. 60, № 1. С. 61–65. (Совместно с А. Ф. Титовым, Л. В. Топчиевой, Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батовой.)

2014. Содержание транскриптов генов HvHMA2 и HvHMA3 у растений ячменя при действии кадмия // Физиология растений. Т. 61, № 3. С. 384–388. (Совместно с А. Ф. Титовым, Л. В. Топчиевой, Ю. В. Батовой, Г. Ф. Лайдинен.)

Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 194 с. (Совместно с А. Ф. Титовым, В. В. Талановой.)

Устойчивость растений *Setaria viridis* (L.) Beauv. к воздействию кадмия // Известия РАН. Серия биологическая. № 5. С. 474–480. (Совместно с А. Ф. Титовым, Ю. В. Батовой, Г. Ф. Лайдинен.)

2017. Effect of zinc deficiency and excess on the growth and photosynthesis of winter wheat // Journal of Stress Physiology, Biochemistry. Vol. 13, no. 4. P. 88–94. (Совместно с А. Ф. Титов.)

2018. Cadmium treatment effects on the growth and antioxidant system in barley plants under optimal and low temperatures // Acta Agriculturae Slovenica. Vol. 111(1). P. 169–176. (Совместно с Ю. Батова, Н. Репкина, Г. Лайдинен, А. Титов.)

The Resistance of *Phleum pratense* and *Elytrigia repens* to High Concentrations of Zinc // Biology Bulletin. Vol. 45, no. 5. P. 454–460. (Совместно с Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батова, А. Ф. Титов.)

Влияние избытка цинка на апекс побега и темпы органогенеза у растений ячменя // Труды Карельского научного центра РАН. № 12. С. 33–139. (Совместно с Ю. В. Батовой, Г. Ф. Лайдинен, А. Ф. Титов.)

2019. Влияние дефицита цинка на физиологические процессы и продуктивность злаков // Успехи современной биологии. Т. 139, № 3. С. 280–291. (Совместно с А. Ф. Титовым.)

Влияние избытка цинка и низкой температуры на экспрессию гена *IRT1* в корнях и листьях ячменя // Доклады Академии наук. Т. 487, № 3. С. 99–103. (Совместно с А. Ф. Титовым, Н. С. Репкиной, Ю. В. Батовой.)

Способность проростков озимой пшеницы к низкотемпературной адаптации в условиях избыточного содержания цинка в корнеобитаемой среде // Физиология растений. Т. 66, № 5. С. 375–383. (Совместно с Ю. В. Батовой, Г. Ф. Лайдинен, Е. Г. Шерудило, А. Ф. Титовым.)

2020. Влияние свинца на живые организмы // Журнал общей биологии. Т. 81, № 2. С. 147–160. (Совместно с А. Ф. Титовым, Т. А. Карапетян, Н. В. Доршаковой.)

2021. Effect of zinc deficiency and excess on the antioxidant enzymes activity in barley seedling leaves // Journal of Siberian Federal University Biology. Vol. 14(3). P. 287–295. (Совместно с Ю. В. Батова, Н. С. Репкина.)

Роль селена в жизнедеятельности растений, животных и человека // Успехи современной биологии. Т. 141, № 5. С. 443–456. (Совместно с А. Ф. Титовым, Т. А. Карапетян, Н. В. Доршаковой, В. Н. Тараковой.)

Effect of low temperature on the intensity of oxidative processes and the activity of antioxidant enzymes in Wheat plants at optimal and excessive zinc concentrations in the root medium // Biology Bulletin. Vol. 48(2). P. 156–164. (Совместно с Ю. В. Батова, А. Ф. Титов.)

Expression of *IRT1* gene in barley seedlings under zinc deficiency at optimal and low temperatures // Acta Agriculturae Slovenica. Vol. 117(4). P. 1–5. (Совместно с Н. Репкина, Ю. Батова, А. Титов.)

The Response of Wheat with Different Allele Statuses of the *Gpc-B1* Gene under Zinc Deficiency // Agronomy. Vol. 11(6). Art. 1057. (Совместно с Н. Дубоветс, Ю. Батова, А. Игнатенко, О. Орловской, Н. Репкина.)

2022. Effect of Zinc Deficiency in Substrate on Growth, Photosynthetic Apparatus and Seed Productivity of Barley // Russian Journal of Plant Physiology. Vol. 69. Art. 100. (Совместно с Ю. В. Батова, Е. С. Кholoptseva, А. Ф. Титов.)

Effect of zinc deficiency and excess on catalase activity and *HvCAT2* gene expression in barley // *Vegetos*. Vol. 35. P. 833–838. (Совместно с Ю. Батовой, Н. Репкиной, А. Титовым.)

Physiological responses of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to soil contamination with Pb // *Horticulturae*. Vol. 8(10). Art. 951. (Совместно с Е. Икконен.)

The *HMA2* Gene Expression in Leaves of Introgressive Wheat Lines under Zn Optimum and Deficiency Content in Root Environment // *Doklady Biochemistry and Biophysics*. Vol. 505. P. 141–144. (Совместно с Н. И. Дубоветом, Н. С. Репкиной, Ю. В. Батовой, А. А. Игнатенко, О. А. Орловской, А. Ф. Титовым.)

Устойчивость семенного потомства растений из природных популяций *Deschampsia cespitosa* арктической зоны к повышенным концентрациям цинка // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. Т. 27, № 1. С. 70–79. (Совместно с Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батовой, А. Ф. Титовым.)

2023. Does methyl jasmonate effectively protect plants under heavy metal contamination? Fatty acid content in wheat leaves exposed to cadmium with or without exogenous methyl jasmonate application // *Biomolecules*. Vol. 13(4). Art. 582. (Совместно с Н. С. Репкиной, С. А. Мурзиной, В. П. Воронин.)

Effect of salicylic acid on physiological parameters of wheat under zinc or copper deficiency // *Vegetos*. Vol. 37. P. 1405–1414. (Совместно с Н. Репкиной, А. Игнатенко, Ю. Батовой, Е. Кholoptseva.)

Effect of zinc excess in substrate on physiological responses of *Sinapis alba* L. // *Plants*. Vol. 12(1). Art. 211. (Совместно с Н. Репкиной, И. Ниловой.)

Influence of excess zinc on the activity of components of the antioxidant system in *Brassica juncea* L. (Czern.) and *Sinapis alba* L.

plants // *Russian Journal of Plant Physiology*. Vol. 70. Art. 96. (Совместно с И. А. Ниловой, Н. С. Репкиной.)

Influence of presowing treatment of seeds with salicylic acid on growth and photosynthetic apparatus of barley with different zinc contents in substrate // *Russian Journal of Plant Physiology*. Vol. 70. Art. 35. (Совместно с А. А. Игнатенко, Ю. В. Батовой, Е. С. Кholoptseva.)

Seed treatment with salicylic acid increases gene expression and activity of antioxidant enzymes in wheat plants in zinc or copper deficiency // *Doklady Biological Sciences*. Vol. 513, Suppl. 1. P. S55–S60. (Совместно с Н. С. Репкиной, Ю. В. Батовой, А. А. Игнатенко, А. Ф. Титовым.)

2024. Activity of antioxidant enzymes and expression of the genes encoding them in leaves of wheat plants with different allelic status of the *GPC-B1* gene with optimal zinc content in the environment and its deficiency // *Biology Bulletin*. Vol. 51, no. 6. P. 1702–1711. (Совместно с Ю. В. Батовой, Н. С. Репкиной, А. А. Игнатенко.)

Influence of seed treatment with salicylic acid on growth, antioxidant enzyme activity, and proline content in wheat leaves at excessive zinc level in the external environment // *Russian Journal of Plant Physiology*. Vol. 71. Art. 133. (Совместно с А. А. Игнатенко, И. А. Ниловой, А. Ф. Титовым.)

Жасмонаты и их роль в устойчивости растений к биотическим и абиотическим факторам среды: учебно-методическое пособие. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 28 с. (Совместно с Н. С. Репкиной, Е. М. Матвеевой, С. А. Мурзиной.)

Оценка устойчивости дикорастущих злаков северо-западного сектора Российской Арктики к хлоридному засолению // Природные ресурсы Арктики и Субарктики / Arctic and Subarctic Natural Resources. Vol. 29(2). P. 287–294. (Совместно с К. Б. Таскиной.)

ПАМЯТИ ЭРНЕСТА ВИКТОРОВИЧА ИВАНТЕРА (1935–2025)



25 сентября 2025 года на 90-м году ушел из жизни Эрнест Викторович Ивантер, выдающийся отечественный ученый и педагог, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации и Республики Карелия. Его научные заслуги в области зоологии и экологии признаны как в России, так и за ее пределами, он был вице-президентом, а в последние годы почетным членом Российского териологического общества имени академика Е. А. Соколова при Российской академии наук, американского Зоологического общества, общества зоологов Польши и общества териологов Финляндии, действительным

членом Российской академии естественных наук и членом Нью-Йоркской академии наук. В печати и на просторах интернета можно найти много информации об Эрнесте Викторовиче, но наиболее полную и точную характеристику его как человека и ученого дал в свое время его друг, известный писатель и философ, доктор философских наук Юрий Владимирович Линник¹.

Эрнест Викторович родился в семье журналиста, библиографа и редактора Виктора Семеновича Ивантера и детского библиотекаря Ирины Филипповны Рысс 15 ноября 1935 года.

¹ Линник Ю. В. Эрнест Ивантер – аспекты и грани: к 80-летию ученого. Петрозаводск, 2015. 91 с.

Из воспоминаний Эрнеста Викторовича¹: «У меня был брат-близнец – Виктор Ивантер. Он, кстати, был академиком по экономике. К сожалению, уже ушел из жизни. В детстве он занимался танцами. А меня на этих занятиях привлекало другое: после репетиций танцоры получали бублик и две конфетки-подушечки. И после танцев обязательно играли в футбол. А я очень любил играть футбол и всю жизнь в него играл, и даже был кандидатом в мастера спорта. И вот однажды я ради футбола сходил с ним на эти танцы. Я помню это занятие до сих пор, потому что бублик и две подушечки я получил, а вот в футбол в этот день не играли».

Увлечение зоологией началось в детстве с кружка юных биологов Московского зоопарка (КЮБЗ), куда его привела мама в 1948 году. Руководителем кружка в то время был Петр Петрович Смолин, он и стал первым наставником начинающего исследователя-натуралиста. Юный Эрик Ивантер в течение ряда лет был членом бюро КЮБЗ и его председателем, а став студентом, продолжал активно участвовать в его жизни и в последние годы пребывания в нем был неформальным лидером «шеффской студенческой группы». В составе зоологических экспедиций кружка он выезжал на работу в заповедники: Приокско-Террасный (1949–1957), Воронежский (1950 и 1955), Астраханский (1951) и Аскания-Нова (1952). В 1954 году работал в составе зоологической экспедиции Коми филиала АН СССР в окрестностях Сыктывкара. В те годы в КЮБЗе занимались многие будущие крупные ученые-биологи и популяризаторы науки: Николай Николаевич Воронцов, Алексей Владимирович Яблоков, Эдуард Исаевич Коренберг, Александр Павлович и Сергей Павлович Расницыны, Михаил Валентинович Мина, Вадим Максимович Гудков, Геннадий Михайлович Длусский, Леонид Миронович Баскин, Галина Александровна Клевезаль, Евгений Викторович Сыроечковский, Евгений Николаевич Курочкин и другие. Со многими из них у Э. В. Ивантера сложились длительные дружеские отношения. Впоследствии Эрнест Викторович всегда с теплотой отзывался о кружке и, будучи профессором, на своих лекциях нередко рассказывал студентам о тех временах, начиная воспоминания со слов «вот когда я был юннатом...». Много интересных воспоминаний о КЮБЗе тех времен собрал С. П. Расницын², там можно найти и сведения

об Эрике Ивантере, получившем в кружке дружеское прозвище Ип.

В 1953 году Эрнест Викторович поступил на охотоведческое отделение Московского пушно-мехового института, но не успел его закончить, поскольку институт был расформирован. Поэтому в 1955 году с третьего курса он перевелся в Московскую сельскохозяйственную академию им. К. А. Тимирязева (МСХА) и с отличием закончил ее в 1958 году. Свою первую научную статью, посвященную размножению песца, он написал в студенческие годы, она была опубликована в журнале «Кролиководство и звероводство».

В 1957 году для прохождения производственной практики студент Э. Ивантер присоединился к КЮБЗовской экспедиции, направлявшейся в заповедник «Кивач». В те годы заповедник был в составе Института леса Карельского филиала АН СССР. Как оказалось, эта поездка навсегда связала его судьбу с Карелией. Директор заповедника Федор Степанович Яковлев заметил подающего надежды молодого биолога и организовал запрос на его распределение. «Он приехал в Москву. Мы с ним встретились, на зимних каникулах я с приятелями вновь съездил на практику и получил специальный вызов на работу по специальности. И я поехал в Карелию», – вспоминает Эрнест Викторович³. Так Э. В. Ивантер оказался в заповеднике «Кивач», где со 2 июля 1958 года начал свою трудовую карьеру в должности старшего лаборанта и уже в 1960 году стал младшим научным сотрудником. Он проводил зоологические исследования, устраивал музей – в то время разрешали отстреливать животных для создания чучел и тушек. «Но самое главное мое дело в «Киваче», – вспоминает Эрнест Викторович, – это знакомство с супругой Танечкой. Она приезжала на практику в заповедник. Мы познакомились. Я помогал ей с дипломной работой. После знакомства в заповеднике мы еще встречались в Москве, там и полюбили друг друга и в 60-м году поженились»⁴. Родились дети – Дмитрий и Ольга, вместе прожили 62 года.

В первые годы пребывания в Карелии Эрнест Викторович познакомился с Ю. В. Линником, с биологами Владимиром Борисовичем Зиминым и Петром Ивановичем Даниловым – будущими ведущими специалистами в области орнитологии и териологии, и дружбу с ними

¹ Бедорфас М. Эрнест Ивантер: «Я считаю себя очень счастливым». Интервью от 13.07.2024 // Петрозаводск говорит. URL: <https://dzen.ru/a/ZplzJnVpIG0xn9jw>

² КЮБЗ. URL: <https://cloud.mail.ru/public/FQpq/3q9hA6UAA>

³ Бедорфас М. Эрнест Ивантер: «Я считаю себя очень счастливым». Интервью от 13.07.2024 // Петрозаводск говорит. URL: <https://dzen.ru/a/ZplzJnVpIG0xn9jw>

⁴ Там же.

сохранил на долгие годы. О работе в «Киваче» он всегда отзывался с теплотой, называл его «фонтаном неугасающих воспоминаний» и поддерживал дружеские отношения со многими его сотрудниками. Во время своих редких визитов в заповедник он молодел душой, а в последние годы любил рассказывать собеседникам забавные случаи из жизни тех лет.

1 февраля 1961 года Э. В. Ивантер был переведен в лабораторию зоологии Института биологии Карельского филиала АН СССР. Там он получил первое в своей карьере ученое звание – «младший научный сотрудник», присвоенное ему Ученым советом института 14 апреля 1962 года. На следующий год, 1 августа 1963 года, Э. В. Ивантер был освобожден от обязанностей в институте в связи с зачислением в очную аспирантуру при кафедре зоологии и дарвинизма Тимирязевской академии, где следующие два года под руководством профессора Бориса Александровича Кузнецова готовил кандидатскую диссертацию на тему «Фауна охотничьих животных Карелии, пути ее обогащения и рационального использования». По окончании аспирантуры в 1965 году успешно ее защитил и получил степень кандидата биологических наук. Вспоминая начало своей научной карьеры, Эрнест Викторович с благодарностью отзывался о своем первом руководителе, но помимо Б. А. Кузнецова в числе своих учителей называл профессоров Георгия Александровича Новикова и Петра Александровича Мантифеля, академика Станислава Семеновича Шварца.

По окончании аспирантуры возникла проблема с местом дальнейшей работы. Он хотел вернуться в Петрозаводск, но вакансий в Институте биологии не было. Вопрос трудоустройства решился после беседы П. И. Данилова с профессором Елпидифором Алексеевичем Веселовым, бывшим в те годы проректором по научной работе и заведующим кафедрой зоологии и дарвинизма Петрозаводского государственного университета им. О. В. Куусинена¹. В 1965 году Э. В. Ивантер был принят на должность ассистента этой кафедры, уже в следующем году избран на должность доцента, а в 1975 году, после защиты в Институте экологии растений и животных Уральского отделения АН СССР докторской диссертации «Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР», он становится профессором. В этот период Э. В. Ивантер преподает,

заведует курсами на биологическом и медицинском факультетах, активно занимается научными исследованиями, участвует в научных конференциях и совещаниях различного уровня, регулярно публикует статьи, в том числе в научном журнале «Ученые записки Петрозаводского университета». В 1974 и 1975 годах в серии «Животный мир Карелии» из печати выходят его научно-популярные книги «Млекопитающие», «Птицы» (в соавторстве с В. Б. Зиминым), «Земноводные и пресмыкающиеся», выдержавшие неоднократные переиздания и ставшие настольными книгами для многих любителей природы.

Работая в университете, он не прерывает связи и с Институтом биологии, где работают его друзья и единомышленники, а с 1964 года и жена Татьяна Всеволодовна. В это время под редакцией Э. В. Ивантера и при его активном участии как автора в издательстве Карельского филиала АН СССР выходят сборники научных трудов, в том числе «Вопросы экологии животных» (1969), «Экология птиц и млекопитающих Северо-Запада СССР» (1976, 1978, 1983), «Экология наземных позвоночных Северо-Запада СССР» (1981, 1986). По инициативе Эрнеста Викторовича в 1966 году в д. Каркку Питкярантского района организован Ладожский териологический стационар Института биологии, где почти полвека, вплоть до 2014 года исследовали экологию мелких млекопитающих, в том числе пространственное размещение и динамику численности видов, влияние антропогенной трансформации ландшафтов на экологическую структуру популяций. Э. В. Ивантер был идейным вдохновителем и неформальным научным руководителем проводившихся там работ. На базе стационара собраны богатые материалы по мелким млекопитающим Приладожья, послужившие основой для нескольких кандидатских и докторских диссертаций и отраженные в многочисленных публикациях Э. В. Ивантера, Т. В. Ивантер и их учеников. В вышедших в издательстве «Наука» монографиях «Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР» (1975) и «Адаптивные особенности мелких млекопитающих» (1985) были обобщены результаты исследований на стационаре в течение первых двух десятилетий его работы. Эти труды внесли весомый вклад в развитие зоологии и популяционной экологии животных и признаны крупным достижением своего времени.

В 1986 году Э. В. Ивантер был избран на должность заведующего кафедрой зоологии и дарвинизма (с 1989 года – кафедра зоологии и экологии), которой бессменно руководил более трех десятилетий, вплоть до 2018 года.

¹ 80 лет истории и жизни эколого-биологического факультета Петрозаводского государственного университета. Петрозаводск: Изд-во ПетргУ, 2020. 394 с.

Возглавив в 1987 году биологический факультет университета, он уверенно провел его через бурную эпоху 1990-х, не только не растеряв накопленный потенциал, но многократно его приумножив. Эрнест Викторович любил студентов и уделял им большое внимание, интересуясь не только их профессиональной, но и общественной жизнью. Горячо поддерживал традицию «биологических» зимних походов, защищал студентов в неожиданных казусах «ка-пустников» на вечерах, поддерживал различные инициативы и давал дорогу энтузиастам. Став деканом факультета, Э. В. Ивантер инициировал открытие аспирантуры по биологическим наукам и нового направления подготовки специалистов – экологии и природопользования, в связи с чем в 1999 году факультет был переименован в эколого-биологический и в таком виде просуществовал до его реорганизации в 2017 году в Институт биологии, экологии и агротехнологий. Начиная с 1991 г. преподавание и руководство факультетом и кафедрой в университете Эрнест Викторович успешно совмещает с работой в Институте биологии Карельского научного центра РАН, занимая должность главного научного сотрудника лаборатории зоологии. В конце того же года Э. В. Ивантер был избран членом-корреспондентом Российской академии наук по отделению общей биологии, первым из биологов Карелии.

В эти годы на факультете сформировался высококвалифицированный профессорско-преподавательский коллектив, чему не в последнюю очередь способствовало открытие в 1994 году диссертационного совета под руководством Э. В. Ивантера. Его творческий подход к защите диссертаций сделал работу совета авторской и неповторимой. Уникальная способность председателя совета мгновенно находить «узкие» места в тексте диссертации вызывала удивление как впервые присутствующих оппонентов, так и самого диссертанта. Это были настоящие защиты научных достижений, активно обсуждаемые участниками заседаний. За два десятилетия плодотворной работы совета в Петрозаводском университете, в научных и природоохранных организациях Республики Карелия был сформирован прочный кадровый задел исследователей по ботанике, зоологии, ихтиологии и экологии для изучения природных систем Северо-Запада России на долгие годы вперед. В совете успешно защитили свои кандидатские и докторские диссертации коллеги и из других регионов страны, в том числе по результатам блестящих защит докторами биологических наук стали Николай Николаевич Дроздов и Евгений Викторович Сыроечковский.

В это же время окончательно оформилась основанная Э. В. Ивантером в 1972 году научно-педагогическая школа «Популяционная биология животных», в состав которой вошли многие его коллеги и ученики, работающие в университете, Карельском научном центре РАН и природоохранных организациях Карелии. Значимость и результативность научных исследований, проводимых коллективом школы, подтверждена победами в конкурсах грантов Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ и Российского фонда фундаментальных исследований.

Одновременно с исследовательской деятельностью Эрнест Викторович регулярно читал лекции, в том числе по приглашениям в университетах Оулу и Йоэнсуу (Финляндия), руководил выпускными работами студентов, кандидатскими диссертациями аспирантов, консультировал соискателей докторской степени – всего под его непосредственным руководством подготовлены и успешно защищены 7 докторских и 44 кандидатских диссертаций. В это же время из печати вышел ряд его знаковых монографий, учебников, учебных пособий и научно-популярных книг, написанных совместно с коллегами и учениками. Совместно с Олегом Леонидовичем Кузнецовым он составлял и редактировал первую официальную Красную книгу Карелии (1995), а затем и второе, обновленное издание (2007). В разные годы Э. В. Ивантер входил в состав редакционных коллегий и советов ряда авторитетных журналов, таких как «Зоологический журнал», «Экология», «Nature Conservation Research. Заповедная наука», «Труды Карельского научного центра РАН». В 2000-х годах он принял активное участие в возрождении научного журнала «Ученые записки Петрозаводского государственного университета», став заместителем главного редактора. В 2012 году инициировал создание электронного журнала «Принципы экологии», главным редактором которого стал его ученик профессор Андрей Викторович Коросов. И при создании, и во время работы журнала он высказывал много ценных предложений по идеологии и оформлению издания и до последних своих дней регулярно присыпал рукописи.

В последние годы, не имея физической возможности читать лекции, Э. В. Ивантер продолжал свои научные исследования в Карельском научном центре РАН, занимая должность главного научного сотрудника лаборатории экологического мониторинга и моделирования Отдела комплексных научных исследований. Не прерывая связь с родным университетом, он руководил студенческими выпускными

работами, публиковал научные статьи, монографии и учебники.

Авторский вклад Эрнеста Викторовича в развитие российской биологической науки трудно переоценить. Он автор более 400 научных работ, в т. ч. более 50 монографий, учебников, учебных пособий и научно-популярных книг о животном мире и природе Русского Севера. Им сформулирована концепция комплексной популяционной авторегуляции, ставшая теоретической основой для долгосрочного прогнозирования и контроля численности хозяйствственно важных видов животных, разработана концепция структурно-популяционных адаптаций, имеющих приоритетное значение при закреплении популяций в экстремальных условиях тайги. Большую известность получило разработанное Э. В. Ивантером теоретическое обоснование эволюционной специфики периферических популяций с двумя принципиально различающимися путями экологической стратегии видов – с высокой и низкой индивидуальной резистентностью. Его научная деятельность в области зоологии и популяционной экологии получила заслуженное признание среди коллег. Научная, научно-организационная, педагогическая и общественная деятельность Эрнеста Викторовича Ивантера отмечена почетными грамотами профильных министерств и ведомств Российской Федерации и Республики Карелия, нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования России». В 2006 году он награжден орденом Почета, в 2015 году – Почетной грамотой Президента Российской Федерации.

Эрнест Викторович до последних дней умел радоваться жизни и с большим энтузиазмом готовился отметить свой 90-летний юбилей. И это, наверно, единственное, что у него не получилось, – уступил высшим силам... Мы глубоко скорбим и выражаем искренние соболезнования его родным, близким и коллегам. Светлая память о нем навсегда останется у всех, кому посчастливилось с ним общаться и работать.

А. В. Артемьев, В. В. Горбач,
Е. Ф. Марковская, Т. Ю. Кучко

СПИСОК ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ Э. В. ИВАНТЕРА

1958. К вопросу о многократных покрытиях самок песцов // Кролиководство и звероводство. № 2. С. 43–44.

1962. Птицы заповедника «Кивач» // Орнитология. № 5. С. 68–85.

1967. Охотничьи богатства северных лесов. Петрозаводск: Карельское книжное изд-во. 283 с. (Совместно с Г. А. Троицким.)

1969. Фаунистический обзор наземных позвоночных заповедника «Кивач» // Труды государственного заповедника «Кивач». Вып. 1. С. 22–64. (Совместно с В. Б. Зиминым.)

1970. Об итогах исследований фауны наземных позвоночных Карелии // Ученые записки Петрозаводского университета. Т. 16(4). С. 196–211. (Совместно с М. Я. Марвиным.)

1973. К методике определения возраста мышовки *Sicista betulina* Pall. // Зоологический журнал. Т. 52(2). С. 255–257.

1974. Млекопитающие. Петрозаводск: Карелия. 215 с. (Животный мир Карелии).

Птицы. Петрозаводск: Карелия. 255 с. (Животный мир Карелии). (Совместно с В. Б. Зиминым.)

1975. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. Л.: Наука. 246 с.

Земноводные и пресмыкающиеся. Петрозаводск: Карелия. 95 с. (Животный мир Карелии).

1977. Интерьерные особенности мышовок (Mammalia, Zapodidae) фауны СССР // Экология. № 3. С. 47–54. (Совместно с В. Н. Больщаковым, А. А. Цветковой и Н. Г. Сучковой.)

1979. Основы практической биометрии: Введение в статистический анализ биологических явлений. Петрозаводск: Карелия. 94 с.

1981. Европейская рыжая полевка. М.: Наука. 351 с. (Совместно с Н. В. Башениной, В. Н. Больщаковым и др.)

1984. Адаптивные особенности структуры волосяного покрова и линьки у полуводных млекопитающих (на примере обыкновенной куторы *Neomys fodiens*) // Зоологический журнал. Т. 63(2). С. 245–255. (Совместно с Р. В. Левиной и Т. В. Ивантер.)

Популяционная экология обыкновенной бурозубки (по наблюдениям в Северо-Восточном Приладожье) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Т. 89(2). С. 12–23. (Совместно с Т. В. Ивантер.)

1985. Адаптивные особенности мелких млекопитающих. Эколо-морфологические и физиологические аспекты. Л.: Наука. 318 с. (Совместно с Т. В. Ивантер и И. Л. Тумановым.)

1993. Дентин резцов мышовки (*Sicista betulina* Pall.) как регистрирующая структура // Зоологический журнал. Т. 72(9). С. 149–159. (Совместно с Г. А. Клевезаль, З. Пуцеком и Л. И. Суховской.)

1994. Пространственная организация популяций землероек-бурозубок (*Sorex*, *Insectivora*)

и ее связь с кормностью // Зоологический журнал. Т. 73(9). С. 124–137. (Совместно с А. М. Макаровым.)

1997. Кто есть кто: биоразнообразие // Зоологический журнал. Т. 76(10). С. 1230–1232.

1998. Содержание тяжелых металлов в организме ладожской нерпы // Экология. № 2. С. 116–120. (Совместно с Н. В. Медведевым и Н. А. Паничевым.)

2000. Опыт популяционного анализа механизмов динамики численности ряжей полевки на северном пределе ареала // Зоологический журнал. Т. 79(8). С. 976–990. (Совместно с О. А. Жигальским.)

Large-scale forest corridors to connect the taiga fauna to Fennoscandia // Wildlife Biology. Vol. 6(3). P. 179–188 (Совместно с Н. Linden, P. Danilov, A. Gromtsev, P. Helle, J. Kurhinen.)

Population dynamics of the Bank Vole in the Eastern part of its distribution range // Polish Journal of Ecology. Vol. 48 (suppl). P. 179–195. (Совместно с О. В. Osipova.)

2001. ТERRITORIAL'NAYA EKOLOGIYA ZEMLE-ROEK-BUROZUBOK (Sorex, Insectivora). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 272 с. (Совместно с А. М. Макаровым.)

2002. Суточная активность и поведение обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L.) // Экология. № 4. С. 298–303. (Совместно с А. М. Макаровым.)

2003. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 302 с. (Совместно с А. В. Коросовым.)

2006. Млекопитающие Восточной Фенноскандии в условиях антропогенной трансформации таежных экосистем. М.: Наука. 208 с. (Совместно с Ю. П. Кухиненом и П. И. Даниловым.)

Насекомые. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 286 с. (Совместно с Е. Б. Яковлевым и М. П. Лобковой.)

2008. Экологическая токсикология природных популяций птиц и млекопитающих Севера. М.: Наука. 228 с. (Совместно с Н. В. Медведевым.)

К экологии лесной мышовки (*Sicista betulinus*) на северном пределе ареала // Зоологический журнал. Т. 87(4). С. 476–493. (Совместно с А. В. Кухаревой.)

2009. Новый метод учета численности летяги (*Pteromys volans*, Rdentia, Pteromyidae), его апробация и первые результаты // Зоологический журнал. Т. 88(11). С. 1396–1401. (Совместно с Ю. П. Кухиненом, Е. В. Кулебякиной, И. К. Хански и Е. С. Задиракой.)

2012. Основы зоогеографии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 500 с.

2013. Экология темной полевки (*Microtus agrestis* L.) в коренных и антропогенных ландшафтах Восточной Фенноскандии // Экология. № 3. С. 189–196. (Совместно с Ю. П. Кухиненом и А. В. Соколовым.)

2014. Териология. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 704 с.

К изучению размножения и экологической структуры популяции темной полевки в Восточной Фенноскандии // Зоологический журнал. Т. 93(9). С. 1140–1150.

2015. Эколого-статистический анализ многолетних изменений численности мелких млекопитающих на северном пределе ареала (Северо-Восточное Приладожье) // Экология. № 1. С. 57–63. (Совместно с А. В. Коросовым и А. Е. Якимовой.)

Влияние антропогенной трансформации лесных ландшафтов на популяции мелких насекомоядных млекопитающих Восточной Фенноскандии // Экология. № 2. С. 189–197. (Совместно с Ю. П. Кухиненом.)

К изучению трофических связей мелких насекомоядных млекопитающих // Зоологический журнал. Т. 94(6). С. 711–722. (Совместно с А. В. Коросовым и А. М. Макаровым.)

Ладожская кольчатая нерпа (*Phoca hispida ladogensis* Nordq.) как один из наиболее уязвимых компонентов озерной экосистемы. Результат мониторинга концентрации тяжелых металлов в волосяном покрове животных // Зоологический журнал. Т. 94(6). С. 739–744. (Совместно с Н. В. Медведевым.)

Влияние техногенных загрязнений на популяции мелких лесных грызунов // Доклады Академии наук. Т. 464(6). С. 758–761. (Совместно с Н. В. Медведевым.)

2016. Очерки по истории биологии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 288 с. (Совместно с Г. М. Длусским.)

Размерные особенности жертв и их роль в питании землероек-буровзубок (*Sorex* L.) // Экология. № 3. С. 236–240. (Совместно с А. М. Макаровым.)

Влияние промышленных рубок леса на фаунистические комплексы таежных экосистем (на примере мелких млекопитающих Восточной Фенноскандии) // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. № 4. С. 412–421. (Совместно с Ю. П. Кухиненом.)

Популяции чайковых птиц Карелии в условиях глобального загрязнения биосферы хлорорганическими соединениями // Биология внутренних вод. № 4. С. 88–93. (Совместно с Н. В. Медведевым.)

Dynamics of regional distribution and ecology investigation of rare mammals of taiga Eurasia

(case study of flying squirrel *Pteromys volans*, Rodentia, Pteromyidae) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. Vol. 1(3). P. 78–84. (Совместно с Ju. Kurhinen, V. Bolshakov et al.)

2017. К разработке экологической концепции периферических популяций // Экология. № 1. С. 60–65.

Изменения в населении мышевидных грызунов Восточной Фенноскандии под влиянием антропогенной трансформации таежных экосистем // Зоологический журнал. Т. 96(2). С. 458–476. (Совместно с Ю. П. Курхиненом.)

Опыт статистического анализа многолетних изменений численности обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L.) на северной периферии ареала // Зоологический журнал. Т. 96(9). С. 1098–1105. (Совместно с А. М. Макаровым и С. А. Крюковой.)

2018. Очерки популяционной экологии мелких млекопитающих на северной периферии ареала. М.: Т-во науч. изд. КМК. 770 с.

О пространственной организации населения рыжих полевок (*Clethrionomys glareolus*) на северной периферии ареала // Зоологический журнал. Т. 97(12). С. 1531–1543. (Совместно с А. М. Макаровым и А. Е. Якимовой.)

2019. К изучению динамики численности обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*) (опыт аналитического обзора состояния проблемы) // Зоологический журнал. Т. 98(8). С. 949–959.

2020. Очерки теории эволюции. М.: Т-во науч. изд. КМК. 200 с.

К изучению размножения обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*) на северной периферии ареала // Зоологический журнал. Т. 99(2). С. 189–202.

К экологии размножения малой бурозубки (*Sorex minutus* L.) на северной периферии ареала // Экология. № 2. С. 141–148.

К экологии размножения рыжей полевки *Myodes (Clethrionomys) glareolus* Schreb. на северной периферии ареала. Сообщение 1. Половые циклы, ход, сроки и интенсивность репродукции // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. № 5. С. 548–560.

2021. Основы экологии животных. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 282 с.

К изучению линьки волосяного покрова мелких лесных млекопитающих (опыт аналитического обзора состояния проблемы) // Успехи современной биологии. Т. 143(4). С. 399–416.

Строение, теплозащитные свойства и линька волосяного покрова обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L.) // Зоологический журнал. Т. 100(4). С. 419–433.

К экологии размножения рыжей полевки *Myodes (Clethrionomys) glareolus* Schreb. на северной периферии ареала. Сообщение 2. Половое созревание, плодовитость взрослых и молодых полевок // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. № 2. С. 211–224.

2022. Очерки современной прикладной экологии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН. 310 с.

2023. К изучению водяной полевки (*Arvicola amphibius*) на северо-западном пределе ареала // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. № 2. С. 172–185.

К экологии видов-двойников обыкновенной полевки – *Microtus arvalis* Pall. и *Microtus rossiaemeridionalis* Ognev на северной периферии ареала // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. № 6. С. 650–658.

Численность и состояние популяций мелких млекопитающих – носителей природноочаговых болезней человека в карельском Северо-Восточном Приладожье // Успехи современной биологии. Т. 143(3). С. 250–260.

2024. Млекопитающие мира. СПб.: Лань. 612 с.

2025. Статистический анализ многолетней динамики численности рыжей полевки на северо-западной периферии ареала // Зоологический журнал. Т. 104(2). С. 96–102.

К экологии малой бурозубки (*Sorex minutus* L.) в европейской части ареала. Сообщение 1. Биотопическое размещение и особенности питания // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. № 2. С. 113–124.

К экологии малой бурозубки (*Sorex minutus* L.) в европейской части ареала. Сообщение 2. Суточная активность, размножение, его ход и интенсивность // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. № 3. С. 342–350.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(требования к работам, представляемым к публикации
в «Трудах Карельского научного центра Российской академии наук»)

«Труды Карельского научного центра Российской академии наук» (далее – Труды КарНЦ РАН) публикуют результаты завершенных оригинальных исследований в различных областях современной науки: теоретические и обзорные статьи, сообщения, материалы о научных мероприятиях (симпозиумах, конференциях и др.), персоналии (юбилеи и даты, утраты науки), статьи по истории науки. Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные.

Статьи проходят обязательное рецензирование. Решение о публикации принимается редакционной коллегией серии или тематического выпуска Трудов КарНЦ РАН после рецензирования, с учетом научной значимости и актуальности представленных материалов. Редколлегии серий и отдельных выпусков Трудов КарНЦ РАН оставляют за собой право возвращать без регистрации рукописи, не отвечающие настоящим правилам.

При получении редакцией рукопись регистрируется (в случае выполнения авторами основных правил ее оформления) и направляется на отзыв рецензентам. Отзыв состоит из ответов на типовые вопросы анкеты и может содержать дополнительные расширенные комментарии. Кроме того, рецензент может вносить замечания и правки в текст рукописи. Авторам высыпается электронная версия анкеты и комментарии рецензентов. Доработанный экземпляр автор должен вернуть в редакцию вместе с первоначальным экземпляром и ответом на все вопросы рецензента не позднее чем через месяц после получения рецензии. Перед опубликованием авторам высыпается электронная версия статьи, которую авторы вычитывают и заверяют.

Журнал имеет систему электронной редакции на базе Open Journal System (OJS), позволяющую вести представление и редактирование рукописи, общение автора с редколлегиями серий и рецензентами в электронном формате и обеспечивающую прозрачность процесса рецензирования при сохранении анонимности рецензентов (<http://journals.krc.karelia.ru/>).

Содержание выпусков Трудов КарНЦ РАН, аннотации и полнотекстовые электронные версии статей, а также другая полезная информация, включая настоящие Правила, доступны на сайтах – <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Почтовый адрес редакции: 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, КарНЦ РАН, редакция Трудов КарНЦ РАН. Телефон: (8142) 762018.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ

Статьи публикуются на русском или английском языке. Рукописи должны быть тщательно выверены и отредактированы авторами.

Объем рукописи (включая таблицы, список литературы, подписи к рисункам, рисунки) не должен превышать: для обзорных статей – 30 страниц, для оригинальных – 25, для сообщений – 15, для хроники и рецензий – 5–6. Объем рисунков не должен превышать 1/4 объема статьи. Рукописи большего объема (в исключительных случаях) принимаются при достаточном обосновании по согласованию с ответственным редактором.

При оформлении рукописи применяется полуторный межстрочный интервал, шрифт Times New Roman, кегль 12, выравнивание по обоим краям. Размер полей страницы – 2,5 см со всех сторон. Все страницы, включая список литературы и подписи к рисункам, должны иметь сплошную нумерацию в нижнем правом углу. Страницы с рисунками не нумеруются.

Рукописи подаются в электронном виде в формате MS Word в систему электронной редакции на сайте <http://journals.krc.karelia.ru> либо высыпаются на e-mail: trudy@krc.karelia.ru, или же представляются в редакцию лично (г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, каб. 502).

Для публикации в выпусках серии «Математическое моделирование и информационные технологии» рукописи принимаются в формате .tex (LaTeX 2ε) с использованием стилевого файла, который находится по адресу <http://transactions.krc.karelia.ru/section.php?id=755>.

Обязательные элементы рукописи располагаются в следующем порядке:

УДК курсивом в левом верхнем углу первой страницы; заглавие статьи на русском языке полужирным шрифтом; инициалы и фамилии авторов на русском языке полужирным шрифтом; полное название и полный почтовый адрес организации – места работы каждого автора в имитированном падеже на русском языке курсивом (если авторов несколько и работают они в разных учреждениях, следует отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов аффилированным организациям; следует отметить звездочкой автора, ответственного за переписку, и указать в аффилиации его электронный адрес); аннотация на русском языке; ключевые слова на русском языке; указание источников финансирования выполненных исследований на русском языке.

Далее располагаются все вышеуказанные элементы на английском языке.

Текст статьи (статьи экспериментального характера, как правило, должны иметь разделы: **Введение. Материалы и методы. Результаты и обсуждение. Выводы либо Заключение**); благодарности; списки литературы на языке оригинала (**Литература**) и на английском языке (**References**); таблицы на русском и английском языках (на отдельных листах); рисунки (на отдельных листах); подписи к рисункам на русском и английском языках (на отдельном листе).

На отдельном листе дополнительные сведения об авторах: фамилии, имена, отчества всех авторов полностью на русском и английском языке; должности, ученые звания, ученые степени авторов; адрес электронной почты каждого автора; можно указать телефон для контакта редакции с авторами статьи.

ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ должно точно отражать ее содержание и состоять из 8–10 значащих слов.

АННОТАЦИЯ должна быть лишена вводных фраз, создавать возможно полное представление о содержании статьи и иметь объем не менее 200 слов. Рукопись с недостаточно раскрывающей содержание аннотацией может быть отклонена.

Отдельной строкой приводится перечень **КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ** (как правило, не менее пяти). Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой, в конце точка не ставится.

Раздел «Материалы и методы» должен содержать сведения об объекте исследования с обязательным указанием латинских названий и сводок, по которым они приводятся, авторов классификаций и пр. Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания. Единицы физических величин приводятся по Международной системе СИ. Желательна статистическая обработка всех количественных данных. Необходимо возможно точнее обозначать местонахождения (в идеале – с точным указанием географических координат).

Изложение результатов должно заключаться не в пересказе содержания таблиц и графиков, а в выявлении следующих из них закономерностей. Автор должен сравнить полученную им информацию с имеющейся в литературе и показать, в чем заключается ее новизна. На табличный и иллюстративный материал следует ссылаться так: на рисунки, фотографии и таблицы в тексте (рис. 1, рис. 2, табл. 1, табл. 2 и т.д.), фотографии, помещаемые на вклейках (рис. I, рис. II). Обсуждение завершается формулировкой в разделе «Заключение» основного вывода, которая должна содержать конкретный ответ на вопрос, поставленный во «Введении». Ссылки на литературу в тексте даются фамилиями, например: Карху, 1990 (один автор); Раменская, Андреева, 1982 (два автора); Крутов и др., 2008 (три автора или более) либо первым словом описания источника, приведенного в списке литературы, и заключаются в квадратные скобки. При перечислении нескольких источников работы располагаются в хронологическом порядке, например: [Иванов, Топоров, 1965; Успенский, 1982; Erwin et al., 1989; Атлас..., 1994; Longman, 2001].

ТАБЛИЦЫ нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица имеет свой заголовок. Заголовки таблиц, заголовки и содержание столбцов, строк, а также примечания приводятся на русском и английском языках. Диаграммы и графики не должны дублировать таблицы. Материал таблиц должен быть понятен без дополнительного обращения к тексту. Все сокращения, использованные в таблице, поясняются в Примечании, расположенному под ней. При повторении цифр в столбцах нужно их повторять, при повторении слов – в столбцах ставить кавычки. Таблицы могут быть книжной или альбомной ориентации.

РИСУНКИ представляются отдельными файлами с расширением TIFF (*.TIF) или JPG. При первичной подаче материала в редакцию рисунки вставляются в общий текстовый файл. При сдаче материала, принятого в печать, все рисунки должны быть представлены в виде отдельных файлов в вышеуказанном формате. Графические материалы могут быть снабжены указанием желательного размера рисунка, пожеланиями и требованиями к конкретным иллюстрациям. На каждый рисунок должна быть как минимум одна ссылка в тексте. Иллюстрации объектов, исследованных с помощью фотосъемки, микроскопа (оптического, электронного трансмиссионного и сканирующего), должны сопровождаться масштабными линейками, причем в подрисуночных подписях надо указать длину линейки. Приводить данные о кратности увеличения не обязательно, поскольку при публикации рисунков размеры изменятся. Карты желательно приводить с координатной сеткой, обозначениями населенных пунктов и/или названиями физико-географических объектов и разной фактурой для воды и суши. В углу карты желательна врезка с картой более мелкого масштаба, где обозначен представленный на основной карте участок.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ приводятся на русском и английском языках, должны содержать достаточную информацию для того, чтобы приводимые данные могли быть понятны без обращения к тексту (если эта информация уже не дана в другой иллюстрации). Аббревиации расшифровываются в подрисуночных подписях, детали на рисунках следует обозначать цифрами или буквами, значение которых также приводится в подписях.

ЛАТИНСКИЕ НАЗВАНИЯ. Названия таксонов рода и вида даются курсивом. Для флористических, фаунистических и таксономических работ при первом упоминании в тексте и таблицах приводится русское название вида (если такое название имеется) и полностью – латинское, с автором и желательно с годом, например: водяной ослик (*Asellus aquaticus* (L., 1758)). В дальнейшем можно употреблять только русское название или сокращенное латинское без фамилии автора и года опубликования, например, для брюхоногого моллюска *Margarites groenlandicus* (Gmelin, 1790) – *M. groenlandicus* или для подвида *M. g. umbilicalis*.

СОКРАЩЕНИЯ. Разрешаются лишь общепринятые сокращения – названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т. п. Все прочие сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

БЛАГОДАРНОСТИ. Располагаются после основного текста статьи отдельным абзацем, в котором авторы выражают признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и организациям, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи.

ИНФОРМАЦИЯ О КОНФЛИКТЕ ИНТЕРЕСОВ. При подаче статьи авторы должны раскрыть потенциальные конфликты интересов, которые могут быть восприняты как оказавшие влияние на результаты или выводы, представленные в работе. Если конфликт интересов отсутствует, следует об этом сообщить в отдельной формулировке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Источники располагаются в алфавитном порядке. Все ссылки даются на языке оригинала (названия на японском, китайском и других языках, использующих нелатинский шрифт, пишутся в русской транскрипции). Сначала приводится список работ на русском языке и на языках с близким алфавитом (украинский, болгарский и др.), а затем – работы на языках с латинским алфавитом. В списке литературы между инициалами авторов ставится пробел.

REFERENCES. Приводится отдельным списком, повторяя все позиции основного списка литературы. Библиографические записи источников оформляются согласно стилю Vancouver (см. примеры в ГОСТ Р 7.0.7-2021 и образцы ниже) и располагаются в алфавитном порядке. Заголовки русскоязычных работ приводятся на английском языке; для журналов и сборников, в которых размещены цитируемые работы, указывается параллельное английское наименование (при его наличии) либо русскоязычное наименование приводится в латинской транслитерации (вариант BSI) с переводом на английский язык. Прочие элементы библиографической записи приводятся на английском языке (русскоязычное название издательства транслитерируется). При наличии переводной версии источника в References желательно указать ее. Библиографические описания прочих работ приводятся на языке оригинала.

Для каждого источника обязательно указание DOI при его наличии; если приводится адрес интернет-страницы источника (URL), нужно указать дату обращения к ней.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ 1-Й СТРАНИЦЫ

УДК 577.125.8

СОДЕРЖАНИЕ МЕТАБОЛИТОВ ОКСИДА АЗОТА В КРОВИ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ И ПАЦИЕНТОВ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ, ИМЕЮЩИХ РАЗНЫЕ АЛЛЕЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ГЕНОВ ACE (RS4340) И CYP11B2 (RS1799998)

Л. В. Топчиева^{1*}, О. В. Балан¹, В. А. Корнева², И. Е. Малышева¹

¹ Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *topchieva@ya.ru

² Петрозаводский государственный университет (просп. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)

Аннотация на русском языке

Ключевые слова: артериальная гипертензия; оксид азота; индуцибелная синтаза оксида азота; ангиотензинпревращающий фермент; инсерционно-делеционный полиморфизм гена ACE; альдостеронсинтаза; ген CYP11B2

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (0218-2019-0077).

L. V. Topchieva^{1*}, O. V. Balan¹, V. A. Korneva², I. E. Malysheva¹. THE NITRIC OXIDE LEVEL IN THE BLOOD OF HEALTHY PEOPLE AND PATIENTS WITH ARTERIAL HYPERTENSION CARRYING DIFFERENT ALLELE VARIANTS OF THE ACE (RS4340) AND CYP11B2 (RS1799998) GENES

¹ Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *topchieva@ya.ru

² Petrozavodsk State University (33 Lenin Ave., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

Аннотация на английском языке

Keywords: arterial hypertension; nitric oxide; inducible nitric oxide synthase; angiotensin-converting enzyme; insertion-deletion polymorphism of ACE genes; aldosterone synthase; CYP11B2 gene

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (0218-2019-0077).

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТАБЛИЦЫ

Таблица 2. Ультраструктура клеток мезофилла листа в последействии 10-минутного охлаждения (2°C) проростков или корней пшеницы

Table 2. Ultrastructure of leaf mesophyll cells after the exposure of wheat seedlings or roots to 10 min of chilling at 2°C

Показатель Index	Контроль Control	Охлаждение проростков Seedling chilling	Охлаждение корней Root chilling
Площадь среза хлоропласта, $\mu\text{м}^2$ Chloroplast cross-sectional area, μm^2	$10,0 \pm 0,7$	$13,5 \pm 1,1$	$12,7 \pm 0,5$
Площадь среза митохондрии, $\mu\text{м}^2$ Mitochondria cross-sectional area, μm^2	$0,4 \pm 0,03$	$0,5 \pm 0,03$	$0,6 \pm 0,04$
Площадь среза пероксисомы, $\mu\text{м}^2$ Peroxisome cross-sectional area, μm^2	$0,5 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$
Число хлоропластов на срезе клетки, шт. Number of chloroplasts in cell cross-section	9 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число митохондрий на срезе клетки, шт. Number of mitochondria in cell cross-section	8 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число пероксисом на срезе клетки, шт. Number of peroxisomes in cell cross-section	$2 \pm 0,3$	$2 \pm 0,3$	$3 \pm 0,4$

Примечание. Здесь и в табл. 3: все параметры ультраструктуры измеряли через 24 ч после охлаждения.

Note. Here and in Tab. 3 all ultrastructure parameters were measured 24 h after chilling.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСИ К РИСУНКУ

Рис. 1. Северный точильщик (*Hadrobregmus confuses* Kraaz.)

Fig. 1. Woodboring beetle *Hadrobregmus confuses* Kraaz.

Рис. 5. Результаты изучения кристаллитов и демпферных зон в образце кварца из Дульдурги:

а – электронная микрофотография кварца; б – картина микродифракции, полученная для участка 1 в области кристаллитов; в – картина микродифракции, отвечающая участку 2 в области демпферных зон

Fig. 5. Results of the study of crystallites and damping zones in a quartz sample from Duldurga:

а – electron microphotograph of the quartz sample; б – microdiffraction image of site 1 in the crystallite area; в – microdiffraction image corresponding to site 2 in the damping area

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ССЫЛОК В СПИСКАХ ЛИТЕРАТУРЫ

Ссылки на книги

Литература:

Вольф Г. Н. Дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм в органической химии / Ред. Г. Снатцке. М.: Мир, 1970. С. 348–350.

Патрушев Л. И. Экспрессия генов. М.: Наука, 2000. 830 с.

Красная книга Республики Карелия / Ред. О. Л. Кузнецова. Белгород: Константа, 2020. 448 с.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques / Eds. P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

References:

Vol'f G. N. Optical rotatory dispersion and circular dichroism in Organic Chemistry. Moscow: Mir Publ.; 1970. P. 348–350. (In Russ.)

Patrushev L. I. Gene expression. Moscow: Nauka Publ.; 2000. 830 p. (In Russ.)

Kuznetsov O. L. (ed.). Red Data Book of the Republic of Karelia. Belgorod: Konstanta Publ.; 2020. 448 p. (In Russ.)

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques. N. Y., San Francisco: Acad. Press; 1978. P. 169–188.

Ссылки на статьи

Литература:

Викторов Г. А. Межвидовая конкуренция и сосуществование экологических гомологов у паразитических перепончатокрылых // Журнал общей биологии. 1970. Т. 31, № 2. С. 247–255.

Колосова Ю. С., Подбелоцкая М. В. Популяционная динамика шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) на Соловецком архипелаге: итоги 10-летнего мониторинга // Труды Русского энтомологического общества. 2010. Т. 81, № 2. С. 135–141.

Grove D. J., Loisides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri* // J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Nartshuk E. P., Przhiboro A. A. A new species of *Incertella Sabrosky* (Diptera: Chloropidae) from the White Sea coast, Russian Karelia // Entomologica Fennica. 2009. Vol. 20, no. 1. P. 4–8. doi: 10.33338/ef.84453

References:

Viktorov G. A. Interspecific competition and coexistence ecological homologues in parasitic Hymenoptera. *Biology Bulletin Reviews*. 1970;31(2):247–255. (In Russ.)

Kolosova Yu. S., Podbolotskaya M. V. Population dynamics of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) in the Solovetsky archipelago: results of 10-year monitoring. *Trudy Russ. entomol. obshchestva = Proceed. Russ. Entomol. Soc.* 2010;81(2):135–141. (In Russ.)

Grove D. J., Loisides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri*. J. Fish. Biol. 1978;12(4):507–516.

Nartshuk E. P., Przhiboro A. A. A new species of *Incertella Sabrosky* (Diptera: Chloropidae) from the White Sea coast, Russian Karelia. *Entomologica Fennica*. 2009;20(1):4–8. doi: 10.33338/ef.84453

Ссылки на материалы конференций

Литература:

Марьинских Д. М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: Тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11–12 сент. 2000 г.). Новосибирск, 2000. С. 125–128.

References:

Mar'inskikh D. M. Landscape planning as a necessary condition for sustainable development of a city (example of Tyumen). *Ekologiya landshafta i planirovaniye zemlepol'zovaniya: Tezisy dokl. Vseros. konf.* (Irkutsk, 11–12 sent. 2000 g.) = Landscape ecology and land-use planning: abstracts of all-Russian conference (Irkutsk, Sept. 11–12, 2000). Novosibirsk; 2000. P. 125–128. (In Russ.)

Ссылки на диссертации или авторефераты диссертаций

Литература:

Шефтель Б. И. Экологические аспекты пространственно-временных межвидовых взаимоотношений землероек Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 23 с.

Лозовик П. А. Гидрохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... д-ра хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.

References:

Sheftel' B. I. Ecological aspects of spatio-temporal interspecies relations of shrews of Middle Siberia: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow; 1985. 23 p. (In Russ.)

Lozovik P. A. Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk; 2006. 481 p. (In Russ.)

Ссылки на патенты

Литература:

Еськов Д. Н., Серегин А. Г. Оптико-электронный аппарат / Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

References:

Es'kov D. N., Seregin A. G. Optoelectronic apparatus. Russian patent No. 2122745. 1998. Bull. No. 33. (In Russ.)

Ссылки на архивные материалы

Литература:

Гребенщикова Я. П. К небольшому курсу по библиографии: материалы и заметки, 26 февр. – 10 марта 1924 г. // ОР РНБ. Ф. 41. Ед. хр. 45. Л. 1–10.

References:

Grebenshchikov Ya. P. Brief course on bibliography: the materials and notes, Febr. 26 – March 10, 1924. OR RNB. F. 41. St. un. 45. L. 1–10. (In Russ.)

Ссылки на интернет-ресурсы

Литература:

Паринов С. И., Ляпунов В. М., Пузырев Р. Л. Система Соционет как платформа для разработки научных информационных ресурсов и онлайновых сервисов // Электрон. б-ки. 2003. Т. 6, вып. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (дата обращения: 25.11.2006).

References:

Parinov S. I., Lyapunov V. M., Puzyrev R. L. Socionet as a platform for development of scientific information resources and online services. *Elektron. b-ki = Digital library.* 2003;6(1). (In Russ.) URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (accessed: 25.11.2006).

Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences
No. 8, 2025
ECOLOGICAL STUDIES Series

TABLE OF CONTENTS

ORIGINAL ARTICLES

P. P. Danilov, M. I. Ksenofontova, I. G. Sobakina, A. G. Popova, V. S. Makarov. CHARACTERISTICS OF THE CURRENT STATE OF ECOSYSTEMS IN SOUTH-EAST YAKUTIA (UST-MAISKY DISTRICT CASE STUDY)	5
N. A. Goryashko, M. V. Samuleeva, Yu. A. Bykov. FACTORS AFFECTING THE NESTING SUCCESS OF THE COMMON EIDER (<i>SOMATERIA MOLLISSIMA</i>) IN THE COURSE OF EIDERDOWN COLLECTION IN ONEGA BAY OF THE WHITE SEA	20
F. V. Fyodorov, T. I. Yanchenko. MAMMAL SPECIES COMPOSITION IN THE LADOGA SKERRIES NATIONAL PARK	35
N. A. Lyutikova, L. A. Bespyatova, S. V. Bugmyrin. HOST-PARASITE RELATIONSHIPS AND SEASONAL ABUNDANCE VARIATIONS OF FLEAS (INSECTA, SIPHONAPTERA) ON SMALL MAMMALS IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE OF KARELIA	45
V. B. Pridacha, D. E. Semin. THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON WATER EXCHANGE PARAMETERS OF SCOTS PINE IN OLD-GROWTH FORESTS OF KARELIA	57
N. V. Petrov, B. V. Raevsky, V. V. Tarasenko. INVESTIGATION OF VEGETATION COVER DYNAMICS ON TULOLANSAARI ARCHIPELAGO (LADOGA SKERRIES NATIONAL PARK) BASED ON REMOTE SENSING DATA	73
B. V. Raevsky. GENETIC-SELECTION ASSESSMENT OF SCOTS PINE PLUS TREES IN A PROGENY TRIAL	86
I. Z. Kamanina, S. P. Kaplina, A. A. Ivanova, O. V. Anisimova. USING MOSESSES TO ASSESS THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN THE LOBNYA URBAN DISTRICT	99
N. A. Belkina, A. V. Pronina, I. V. Morozova, E. V. Gatalskaya. ASSESSMENT OF THE NUTRIENT POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS IN BLAGOPOLUCHIYA BAY (BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND)	113
N. M. Kaznina, K. B. Taskina, A. A. Ignatenko. VITALITY OF <i>ALOPECURUS ARUNDINACEUS</i> POIR. CENOPOPULATIONS ON BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND (ARKHANGELSK REGION) UNDER VARIOUS LEVELS OF ANTHROPOGENIC PRESSURE	127
N. I. Filippov. SPECIES DIVERSITY AND ECOLOGY OF BUMBLEBEES (HYMENOPTERA, APIDAE, <i>BOMBUS LATR.</i>) IN THE KOBRA RIVER CATCHMENT, KOMI REPUBLIC	137
D. S. Savosin, N. V. Ilmast. IMPACT OF FLOW REGULATION ON THE FISH POPULATION OF LAKE PYAOZERO, NORTHERN KARELIA	148

A. D. Volkov, A. V. Vasilieva, A. M. Grodnitzkiy, N. A. Roslyakova, A. O. Averyanov, S. V. Tishkov. FEATURES OF THE ECOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF MURMANSK REGION TERRITORIES: REGIONAL CONDITIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE NATIONAL ENVIRONMENTAL WELL-BEING PROJECT	164
RESEARCH METHODS	
I. Sh. Normatov, A. O. Rahimzoda, Z. I. Safarova, G. N. Saburova. APPLICATION OF STANDARDIZED PRECIPITATION AND EVAPOTRANSPIRATION INDICES TO ASSESS DROUGHT AT LATITUDES WITH DIFFERENT METEOROLOGICAL CONDITIONS	181
SHORT COMMUNICATIONS	
M. V. Zaretskaya, O. M. Fedorenko. THE ROLE OF LFY IN INITIATION OF FLOWERING IN ARABI- <i>DOPSIS THALIANA</i> PLANTS UNDER ALTERED LIGHT CONDITIONS	189
T. G. Shibaeva, E. G. Sherudilo, A. A. Rubaeva, I. A. Levkin, A. F. Titov. ON THE POSSIBLE USE OF WHITE SEA <i>LAMINARIA DIGITATA</i> PROCESSING WASTES AS PLANT BIOSTIMULANTS	196
DATES AND ANNIVERSARIES	
Natal'ya M. Kaznina (on the 60th anniversary)	205
BEREAVEMENTS	
A. V. Artem'ev, V. V. Gorbach, E. F. Markovskaya, T. Yu. Kuchko. In memory of Ernest V. Ivanter (1935–2025)	210
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	217

Научный журнал

**Труды Карельского научного центра
Российской академии наук
№ 8, 2025**

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Печатается по решению Ученого совета
Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской академии наук»*

Выходит 8 раз в год

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Регистрационная запись ПИ № ФС 77-72429 от 28.02.2018 г.

Редактор А. И. Мокеева
Компьютерная верстка Л. Э. Бюркланд

Подписано в печать 22.12.2025. Дата выхода 30.12.2025. Формат 60x84^{1/8}.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 26,4. Усл. печ. л. 26,1.
Тираж 100 экз. Заказ 878. Цена свободная

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

Оригинал-макет: Редакция научного издания «Труды КарНЦ РАН»

Типография: Редакционно-издательский отдел КарНЦ РАН
185030, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50