

УДК 502.5+504.3/.6+574.4(470.21)

ББК 26.888.9

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2026-4-2-17-39>



Единая программа мониторинга экосистем на особо охраняемых природных территориях федерального значения в Мурманской области по градиенту промышленного загрязнения на 2025–2027 гг.

Боровичев Е.А.¹✉, Кожин М.Н.¹, Сухарева Т.А.²,
Терентьев П.М.², Поликарпова Н.В.³, Толмачева Е.Л.⁴,
Алфертьев Н.Л.⁵

¹ Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Апатиты, Россия

² Институт проблем промышленной экологии Севера ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Апатиты, Россия

³ ФГБУ «Государственный природный заповедник «Пасвик», Никель, Россия

⁴ Кандалакшский государственный природный заповедник, Кандалакша, Россия

⁵ ФГБУ «Лапландский государственный природный биосферный заповедник», Мончегорск, Россия

✉ e.borovichev@ksc.ru

Аннотация. В условиях интенсивного промышленного освоения Арктической зоны РФ, где сосредоточены крупнейшие предприятия горно-металлургического комплекса, возрастает необходимость в системном и сопоставимом экологическом мониторинге. В статье представлена единая программа мониторинга экосистем, разработанная и внедренная на базе заповедника «Пасвик», Лапландского заповедника и Мурманского тундрового заказника на 2025–2027 гг. Она основана на методологии международных научных подходов к оценке биоразнообразия и использует иерархическую структуру «биологические индикаторы — атрибуты — переменные». В нее входят ключевые компоненты наземных и водных экосистем: растительные сообщества, охраняемые аборигенные и чужеродные инвазионные виды, птицы, млекопитающие и гидробионты. Особое внимание уделено унификации методик, что позволило получать верифицируемые и сопоставимые данные по градиенту промышленного загрязнения. Реализация программы направлена на формирование научно обоснованной основы принятия управленческих решений по сохранению биоразнообразия, минимизации антропогенного воздействия и адаптивному управлению природными ресурсами в регионе Арктической зоны РФ.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, биоразнообразие, экологический мониторинг, промышленное загрязнение, биологические индикаторы, Мурманская область, Арктика

Для цитирования: Боровичев Е.А., Кожин М.Н., Сухарева Т.А., Терентьев П.М., Поликарпова Н.В., Толмачева Е.Л., Алфертьев Н.Л. Единая программа мониторинга экосистем на особо охраняемых природных территориях федерального значения в Мурманской области по градиенту промышленного загрязнения на 2025–2027 гг. *Арктика и инновации*. 2026;4(2):17–39. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2026-4-2-17-39>

Unified ecosystem monitoring program for Federal-level protected areas in the Murmansk Oblast, Russia, along an industrial pollution gradient (2025–2027)

Eugene A. Borovichev¹✉, Mikhail N. Kozhin¹,
Tatyana A. Sukhareva², Petr M. Terentjev²,
Natalia V. Polikarpova³, Ekaterina L. Tolmacheva⁴,
Nikolay L. Alfertev⁵

¹ Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A. Avrorin, Federal Research Centre Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

² Institute of North Industrial Ecology Problems, Federal Research Centre Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

³ Pasvik Nature Reserve, Nikel, Russia

⁴ Kandalaksha Nature Reserve, Kandalaksha, Russia

⁵ Lapland Nature Reserve, Monchegorsk, Russia

✉ e.borovichev@ksc.ru

Abstract. Rapid industrial development in the Arctic Zone of the Russian Federation, home to major mining and metallurgical operations, has intensified the need for systematic environmental monitoring. This article presents a unified ecosystem monitoring program developed for implementation in 2025–2027 across the Pasvik Nature Reserve, the Lapland Nature Reserve, and the Murmansk Tundra Reserve. The program follows internationally recognized biodiversity assessment frameworks and uses a hierarchical system of indicators, attributes, and variables. It covers key components of terrestrial and aquatic ecosystems, including vegetation, protected native species, invasive alien species, birds, mammals, and aquatic biota. A major focus is the harmonization of field and analytical protocols to ensure that data collected along gradients of industrial pollution are scientifically comparable and verifiable. The program provides a robust foundation for biodiversity conservation, reduction of anthropogenic impacts, and adaptive natural resource management in the Russian Arctic.

Keywords: protected areas, biodiversity, environmental monitoring, industrial pollution, biological indicators, Murmansk Oblast, Arctic

For citation: Borovichev E.A., Kozhin M.N., Sukhareva T.A., Terentjev P.M., Polikarpova N.V., Tolmacheva E.L., Alfertev N.L. Unified ecosystem monitoring program for Federal-level protected areas in the Murmansk Oblast, Russia, along an industrial pollution gradient (2025–2027) *Arctic and Innovation*. 2026;4(2):17–39. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2026-4-2-17-39>

Введение

Мурманская область — регион с крупнейшими предприятиями минерально-сырьевого комплекса Арктической зоны РФ и страны в целом. Она обеспечивает преобладающую часть потребности России в фосфатных рудах, циркониевом сырье (бадделеите), тантале, ниобии и редкоземельных металлах. Ведется добыча медно-никелевых и железных руд, нефелинового и керамического сырья, облицовочного камня и строительных материалов. Предприятия горнопромышленного комплекса являются градообразующими, поскольку их финансово-экономическое положение определяет состояние не только производственной, но и социальной инфраструктуры населенных пунктов, а также занятость и благосостояние значительной части населения региона. В городах и поселках при этих предприятиях проживает треть населения области, а их продукция представляет свыше 60 % промышленного производства региона [1, 2]. Более сотни месторождений полезных ископаемых составляют перспективную сырьевую базу области. Среди них платинометалльные месторождения Федорово-Панского массива, кианитовые месторождения в Кейвах, редкоземельные объекты Колмозеро-Воронья и многие другие. На шельфе Баренцева моря открыты богатые месторождения нефти и газа, в числе которых получившее мировую известность Штокмановское [1, 2].

Освоение ресурсного потенциала определяет не только современный профиль экономики региона, но и его будущее. С одной стороны, это способствует социально-экономическому развитию Мурманской области, но с другой — оказывает негативное влияние на природные экосистемы и ухудшает качество окружающей среды, поскольку освоение невозобновляемых минеральных ресурсов связано со значительным преобразованием и разрушением природы. В связи с этим в районах интенсивного природопользования необходимо проведение регулярного экологического мониторинга. Сотрудники Кольского научного центра РАН уже более 35 лет изучают состояние, динамику развития и степень антропогенной модификации наземных и водных экосистем европейского Севера [3–15]. В 1990 г. была заложена сеть биогеохимического мониторинга лесов, которая в настоящее время включает 17 пробных площадей, в том числе 2 — в Лапландском заповеднике,

расположенных по градиенту загрязнения атмосферного загрязнения от медно-никелевых предприятий и в условно фоновых районах [16, 17]. Стационары оборудованы осадкоприемниками, гравитационными лизиметрами, опадоуловителями, коллекторами для сбора стволочных вод, температурными датчиками воздуха и почвы [18, 19]. С 2023 г. на площадках проводятся измерения эмиссии углекислого газа. За годы функционирования сети мониторинговых станций создана обширная база данных по состоянию различных компонентов наземных экосистем в зоне воздействия промышленных объектов АО «Кольская ГМК» [20, 21]. В настоящее время выбросы сернистого ангидрида, меди и никеля снизились по сравнению с 1990 г. Выявлены некоторые позитивные сдвиги в сторону улучшения состояния наземных экосистем: снижение концентраций поллютантов в атмосферных выпадениях, почвенных водах, растениях [22–25]. Зафиксировано начало восстановления напочвенного покрова в зоне техногенной пустоши и увеличение разнообразия мохообразных и лишайников в этих местообитаниях [26].

С 1991 г. в зоне воздействия горнопромышленных предприятий действует также сеть постоянных мониторинговых станций водных экосистем и стационар комплексного экологического мониторинга «Имандра», позволяющие получать информацию о динамике состояния окружающей среды, давать современные и прогнозные оценки состояния пресноводных экосистем в условно-фоновых и антропогенно нарушенных территориях [7, 9–10, 12–15, 27–29].

В заповедниках Мурманской области ведутся ежегодные многолетние исследования биоразнообразия. В заповеднике «Пасвик» в 2010–2020 гг. проведен очередной крупный раунд инвентаризации флоры и фауны, опубликованы аннотированные списки видов объектов растительного и животного мира [30–34]. В последние пять лет наряду с продолжающимся мониторингом биоразнообразия значительное внимание уделяется вопросам восстановления наземных и водных экосистем в окрестностях заповедника, в первую очередь пострадавшим в прежние годы от антропогенной, в том числе промышленной деятельности [34, 35], исследованиям миграций птиц [36–38]. В Лапландском

заповеднике многолетние наблюдения за параметрами окружающей среды, охватываемыми как биотические, так и абиотические показатели, ведутся с момента его открытия в 1930 г. Совокупные показатели по выявленному биоразнообразию приближаются к 2500 видов живых организмов [39–47; и др.]. Первые комплексные исследования Мурманского тундрового заказника начались в 2024 г. в районе озера Кальмозера. Была изучена флора и растительность, охарактеризована орнитофауна [48]. В 2025 г. работы были расширены: исследованы водные (озеро Кальмозеро) и наземные экосистемы в районе горы Магазин-Мусюр [49]. Ранее (1976–1981 гг.) в районе Иоканги проводились только орнитологические работы [50–51].

В 2022 и 2023 гг. в районах размещения объектов компании «Норильский никель» Сибирским отделением РАН был проведен масштабный проект по изучению биоразнообразия «Большая научная экспедиция». В результате был предложен и апробирован интегральный метод оценки состояния экосистем, а также степени негативного воздействия на биоразнообразие с использованием мультиметрического индекса на основе нормированных относительно фона биоиндикационных параметров, названный «интегральным показателем состояния экосистемы» — ИПСЭ [52, 53]. ИПСЭ как индикатор промышленного влияния на окружающую среду был разработан для компании «Норильский никель» с целью оценить экологическую ситуацию в регионах присутствия. В основе данного метода оценки состояния экосистемы лежит сравнение биоразнообразия на нарушенном участке с его показателями на фоновой или эталонной природной территории, где негативное воздействие отсутствует или пренебрежимо мало [52]. В Мурманской области эти исследования было решено проводить на базе сети федеральных особо охраняемых природных территорий в районах современной и планируемой добычи компании «Норильский никель». В 2024 г. были проведены первые исследования и получены обширные результаты, однако их интерпретация вызвала ряд затруднений и показала дисбаланс в объеме исследований разных групп организмов и типов экосистем на трех территориях (заповедник «Пасвик», Лапландский заповедник, Мурманский тундровый заказник).

Перед проведением полевых исследований в 2025 г. была проведена унификация подходов и выделены модельные территории на основании единого принципа в районах заповедника «Пасвик», Лапландского заповедника и Мурманского тундрового заказника. В результате была сформирована единая программа мониторинговых исследований в интересах компании «Норильский никель», которая включала блоки исследования биоразнообразия разных групп организмов и экосистем, так и интеграцию данных экологической сети мониторинга. Разработанный комплексный подход позволяет получать верифицируемые и сравнимые данные, а также проводить разностороннюю интерпретацию полученных результатов.

Подход к разработке программы

Проведение мониторинга биоразнообразия остается одной из приоритетных задач современной экологии и природопользования, особенно в условиях усиливающегося антропогенной нагрузки на экосистемы и происходящие климатические изменения. При проведении мониторинга биологического разнообразия было предложено выделять переменные — ключевые индикаторы биоразнообразия [54], которые позволяют выработать сравнительно небольшой, но исчерпывающий набор индикаторов для мониторинга изменений биологического разнообразия. С их помощью можно составить представление о биоразнообразии и оценить соблюдение международных и национальных целевых показателей по биоразнообразию. Они были нами положены в основу единой программы для заповедников Мурманской области, проводящих исследования в районах деятельности промышленных предприятий.

Любая деятельность, связанная с оценкой, мониторингом, охраной или восстановлением биоразнообразия, должна в значительной степени основываться на принятии и оценке соответствующих наборов или систем количественных показателей, обладающих следующими свойствами:

- возможность представить показатели в виде количественных значений;
- ясное биологическое и экологическое значение — показатели должны непосред-

ственно отражать числовое или функциональное значение;

- соответствие географическому масштабу или охвату, а также уровню биоразнообразия, которое они представляют (популяции, виды, межвидовой уровень и экосистемы);
- репрезентативность для максимально возможной части компонентов биоразнообразия наземных или водных экосистем.

Рабочей группой Арктического совета по сохранению арктической флоры и фауны — CAFF [55] для систематического мониторинга в полярных районах рекомендованы четыре основные группы наземной биоты: 1) растительность (включая грибы); 2) беспозвоночные (в том числе некоторые членистоногие, которые проводят определенные стадии жизни в водной среде); 3) птицы (оседлые и перелетные); 4) млекопитающие (оседлые и мигрирующие).

Мы предлагаем использовать многоуровневый мониторинг с привлечением не только количественных показателей мер биоразнообразия, но и качественных, а также биогеохимических данных для верификации возможного антропогенного воздействия. В основу рекомендаций положен трехуровневый иерархический подход, применяемый CAFF [56] и группой по наблюдениям за Землей [57].

1. Биологические индикаторы — приоритетный компонент экосистемы (отдельный вид, группа видов или сообщество), на котором следует сосредоточить внимание (синоним «вида-индикатора», «вида-биоиндикатора» и пр.).

2. Атрибуты — это величины или группа параметров, при помощи которых определяется состояние конкретного компонента экосистемы.

3. Переменные являются результатом параметра или набора параметров, используемых для представления состояния экосистемы или ее компонента.

В качестве примера биологического индикатора можно привести растительные сообщества, где возможными атрибутами их оценки являются разнообразие, вертикальное и горизонтальное строение, а перемен-

ными — число видов, видовой состав, средние высоты ярусов, характеристика мозаики растительного покрова, покрытия ярусов и покрытия отдельных видов. В результате оценки выбранных биологических индикаторов будет сформирован массив сравнимых между собой значений переменных. Особую роль при анализе их значений будут играть показатели экологического и биогеохимического мониторинга, которые будут ключом к познанию и интерпретации полученных биологических данных. Они позволят проводить сравнения с материалами длительных натуральных наблюдений за состоянием наземных и водных экосистем на значительной территории индустриально развитого региона на высоком методическом уровне для формирования корректного представления о современных процессах в экосистемах. Наличие сети мониторинговых станции является необходимым инструментом для выявления долговременных трендов трансформации качества природных сред, откликов биологических систем на различные виды антропогенного воздействия, оценки критических нагрузок на экосистемы. Накопленный массив многолетних данных является основой для анализа пространственно-временной динамики наземных и водных естественных и нарушенных экосистем, для различных исследований по верификации новых методов мониторинга в регионе.

Выбор биологических индикаторов для наземных экосистем

При подготовке программы 2025–2027 гг. с перспективой на систематический многолетний мониторинг в качестве биологических индикаторов наземных экосистем были выбраны следующие компоненты: растительные сообщества, охраняемые виды растений и животных, инвазионные виды растений, насекомые, птицы и млекопитающие. В программе представлены необходимые работы для оценки атрибутов (показателей биоразнообразия) и типы экосистем, на которых должны быть сфокусированы исследования (таблица).

Растительные сообщества — самый доступный для наблюдения компонент экосистем, который характеризуется динамичностью и чувствительностью к любым изменениям в окружающей среде [58, 59]. В то же время растительность является

ключевым компонентом природно-территориальных комплексов, знания о ее состоянии могут помочь установить взаимосвязи и объяснить изменения, которые могут быть выявлены при мониторинге других групп биологических индикаторов, например птиц и млекопитающих. Для оценки состояния растительных сообществ как биологических индикаторов необходимо проводить наблюдения на сети стационарных мониторинговых геоботанических площадей. При формировании сети площадей необходимо придерживаться катенарного и горно-поясного принципов, а также охватить наиболее типичные и широко распространенные растительные сообщества.

Экологическое состояние основных типов сообществ. Среди исследуемых компонентов экосистем особое внимание необходимо обращать на состояние почвенно-растительного покрова, в том числе учитывать роль растительного компонента в биогеохимическом перераспределении потоков тяжелых металлов на нарушенных территориях. Изменение условий произрастания растений под влиянием аэротехногенного загрязнения и климатических изменений может приводить к нарушениям экосистемных функций сообществ: изменять круговорот биофильных элементов, структуру, продуктивность и разнообразие экосистем. В зоне воздействия выбросов промышленных предприятий наблюдается загрязнение почв и биоты поллютантами, ухудшается санитарное состояние деревьев, сокращается плодородие почвы, что неизбежно сказывается на видовом составе наземной растительности [60, 61]. Атмосферные выпадения также являются информативным индикатором выявления загрязнения атмосферы и одним из важнейших факторов питательного режима почв [16]. Результаты эколого-биогеохимического анализа наземных экосистем позволят зонировать прилегающие к источнику атмосферных выбросов территории, прогнозировать уровни накопления загрязняющих веществ в различных природных компонентах, планировать природоохранные мероприятия.

Инвазивные виды растений. Распространение инвазивных видов как результат хозяйственного освоения территорий является глобальной проблемой [62], влекущей деградацию и гомогенизацию экосистем [63]. В глобальном масштабе чужеродные виды

являются одной из наиболее серьезных угроз биоразнообразию [64]. Многочисленными исследованиями показано, что внедрение чужеродных видов в природные сообщества может нанести значительный экологический и экономический ущерб [65]. Инвазионные виды являются важными биологическими индикаторами трансформации экосистем под воздействием антропогенных и климатических факторов. В задачи мониторинга входит определение видового состава, экологии и динамики распространения чужеродных видов.

В настоящее время для Мурманской области нет утвержденного перечня инвазионных видов. Многолетние исследования Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН (ПАБСИ КНЦ РАН) позволили к числу опасных видов инвазивных (чужеродных) растений отнести: борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*), розу морщинистую (*Rosa rugosa*), люпин нутканский (*Lupinus nootkatensis*), люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus*), недотрогу железконосную (*Impatiens glandulifera*) и кенигию (таран) Вейриха (*Koenigia weyrichii*).

Редкие и охраняемые виды сосудистых растений традиционно используются в качестве видов-индикаторов для мониторинга или оценки состояния окружающей среды [66–68]. К ним отнесены виды, имеющие официальный охранный статус включенных в региональную [69] и федеральную [70] Красные книги. Для проведения мониторинга редких и охраняемых видов используются только сосудистые растения, поскольку они позволяют провести количественный учет, отметить фенологическую фазу и оценить жизненное состояние. Данные об их численности позволяют интерпретировать происходящие изменения, которые могут быть вызваны как естественными, так и антропогенными факторами. При обнаружении новых местонахождений ранее известных видов и новых видов, включенных в Красные книги, рекомендуется включать их в программу мониторинга.

Население птиц чувствительно к изменениям экосистем и чутко реагирует на трансформационные процессы — климатические, сукцессионные и антропогенные. В различных типах экосистем птицы являются значимым компонентом пищевых и экологических сетей. Орнитофауна в районе промышленных

предприятий подвергается прямому и косвенному воздействию в связи с изменением местообитаний, в том числе растительности, загрязнением водоемов и водотоков, изменениям в структуре и емкости трофических сетей. Влияние различных типов воздействий может приводить к изменениям видового состава, представленности экологических групп, плотности населения, смещению фенологических дат и ряду внутри популяционных параметров. Для оценки состояния населения птиц важно проводить наблюдения в течение всех фенологических сезонов на сети маршрутных, площадных и точечных участков.

Отдельно рекомендуется включать хозяйственно значимые, синантропные и инвазионные виды птиц. В качестве объектов мониторинга структуры населения птиц по параметрам видового и экологического разнообразия должна выступать ключевая (самая разнообразная и многочисленная) группа — воробьеобразные. В водных и околоводных типах сообществ в качестве индикаторных групп могут выступать водоплавающие и околоводные птицы. Отдельные наблюдения проводятся за охраняемыми видами птиц, включенными в региональную [69] и федеральную [71] Красные книги.

Млекопитающие. Для оценки изменения состояния экосистем наиболее чувствительной и показательной являются мелкие млекопитающие. В отличие от крупных млекопитающих они являются массовыми, что необходимо для проведения количественной оценки. Для ее проведения используются различные методы в соответствии с группами индикаторов биоразнообразия. Наиболее широко распространенный метод учета — ловушко-линии. Он позволяет провести видовое определение (как правило, ведется по зубной системе), оценить численность, структуру популяции. Морфологические пробы могут быть использованы для исследования гистологических особенностей и загрязнения поллютантами.

Наземные беспозвоночные. Основной проблемой при оценке биоразнообразия сообществ почвенных беспозвоночных в условиях Севера является их низкое видовое разнообразие и невысокая численность [72–74]. Исследование видов индикаторов может служить перспективным направлением для оценки состояния природных экосистем

Севера, так как в этом случае нет привязки к численности и количеству видов в биотопе, поэтому можно рекомендовать использование видов-индикаторов жужелиц как качественный показатель, который не требует длительных и массивных сборов. Дополнительно стоит анализировать сообщества жужелиц по биотопическому преферендуму и жизненным формам, что позволит отследить изменения структуры сообществ [75–77].

Пионерные инвентаризационные исследования. В Мурманском тундровом заказнике помимо указанных биологических индикаторов были также рекомендованы для проведения работы по описанию ключевых типов растительных сообществ (тундры, сообщества бугристых болот) и инвентаризация разнообразия сосудистых растений, печеночников, лишайников и позвоночных животных. Необходимость этих работ связана с отсутствием информации по большей части территории заказника и носит фундаментальный характер, являясь отправной точкой для дальнейших мониторинговых работ.

Выбор биологических индикаторов для водных экосистем

Подход в оценке биологического разнообразия и качества вод по показателям гидробиологических сообществ водоема должен быть основан на принципе анализа всех его компонентов: химия вод и донных отложений, состояние сообществ планктона (фито- и зоопланктона), бентоса и рыб. В качестве индикаторных организмов может быть использован широкий круг представителей каждой группы. Выбор видов индикаторов определяется исходя из способности организмов быть маркерами процессов эвтрофирования/биогенной нагрузки, токсичной нагрузки (тяжелые металлы) и климатических флуктуаций. В сообществах фитопланктона такими индикаторами могут быть представители водорослей и цианопрокариот; в зоопланктонных сообществах — представители коловраток и ракообразных; в бентосных сообществах — олигохеты, моллюски, двукрылые, ручейники и амфиподы.

Отдельную индикаторную группу представляют потенциально токсичные цианопрокариоты в составе фитопланктона, которые способны к массовому развитию (цветению вод) и выделению токсичных

соединений — цианотоксинов, которые могут негативно сказаться на качестве вод, состоянии других гидробионтов и биоразнообразии в целом.

Для рыбной части сообщества целесообразно использовать наиболее распространенные виды рыб (сиг, окунь и щука). Арктический голец и кумжа рекомендуются для оценки состояния водоемов зон незначительного воздействия. При этом сиг европейский ввиду широкой распространенности, чувствительности к качеству вод, но при этом обладающий известной устойчивостью к процессам антропогенных преобразований водоемов, является наиболее предпочтительным тест-объектом исследований.

Территория действия программы мониторинга

Территория ведения мониторинга влияния на окружающую среду для компании «Норильский никель» охватывает районы заповедника «Пасвик», Лапландского заповедника и заказника федерального значения «Мурманский тундровый». На каждой охраняемой территории и в ее окрестностях выделено три исследовательских полигона по мере удаления от существующего завода или места планирующегося строительства завода.

Государственный природный заповедник «Пасвик» находится в Печенгском округе на северо-западе Мурманской области. Территория заповедника площадью

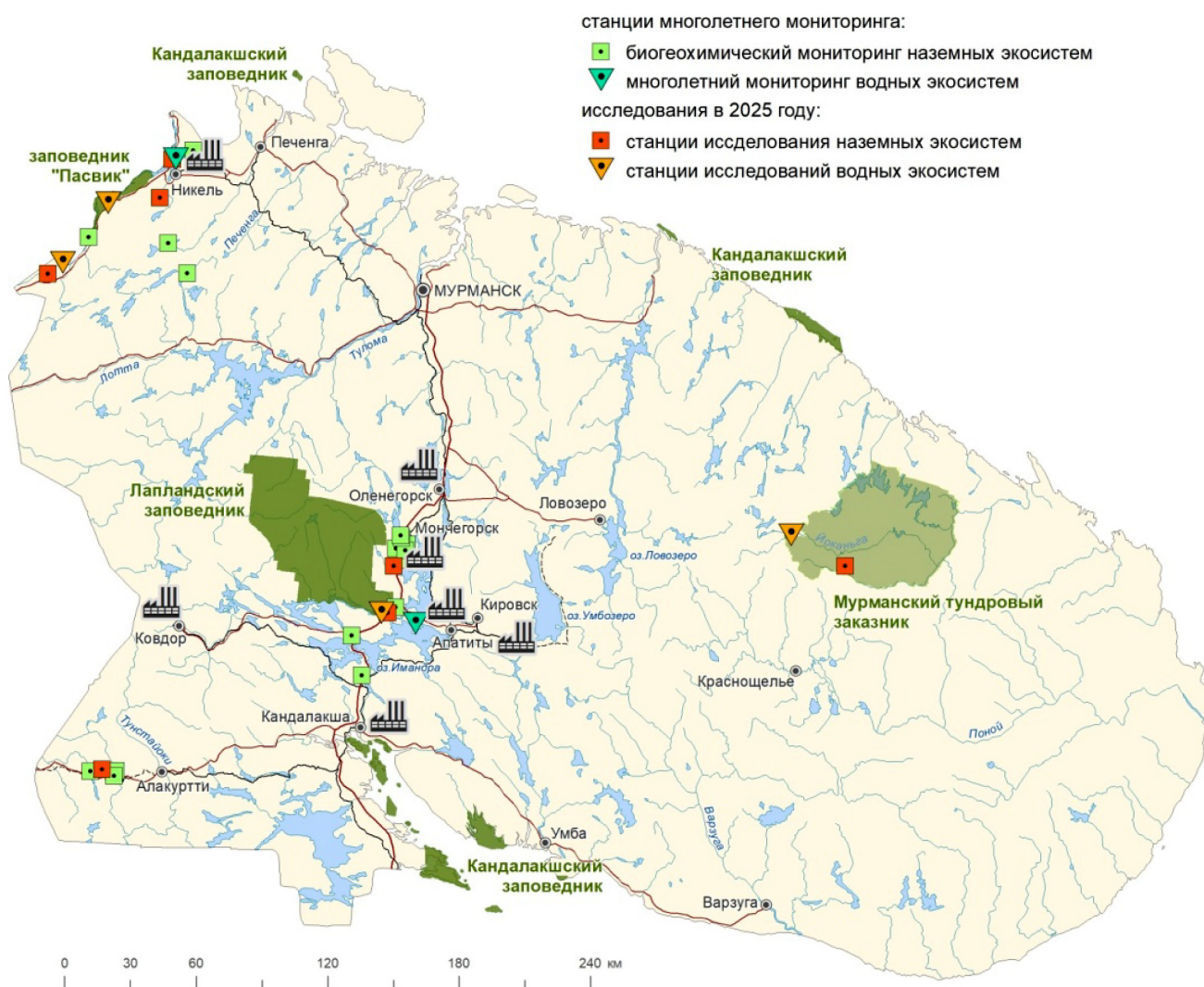


Рис. 1. Расположение станций многолетнего мониторинга и полигоны, обследованные в 2025 г. в рамках реализации Программы. Рисунок составлен по данным авторов О.В. Петровой (ИППЭС КНЦ РАН, ПАБСИ КНЦ РАН).

Fig. 1. Locations of long-term monitoring stations and test sites examined in 2025 as part of the program. Figure prepared using data provided by O.V. Petrova (INEP KSC RAS, PABGI KSC RAS).

146,8 км² (площадь суши — 117 км²) располагается между российско-норвежской государственной границей и линией инженерно-технических сооружений и простирается узкой полосой (от 350 м до 10 км) на 44 км по правому берегу р. Паз от Хевоскоски ГЭС на юге до оз. Сальмиярви на севере. По ландшафтному районированию Мурманской области [78] территория заповедника относится к Лотто-Тулломскому округу, включающему Тальвикульский ландшафт низких варак, единичных тунтури и озер. По флористическому районированию [79] территория заповедника относится к таежной части Северо-Западного флористического района, отличающегося расчленением рельефа на отдельные возвышенности и спецификой флористического состава (сюда проникают западные и арктические виды).

Для исследования биотического компонента в заповеднике заложены три полигона: 1) северная часть заповедника «Пасвик» и окр. пос. Никель, гора Шпиль (Сяраслаки); 2) центральная часть заповедника «Пасвик», включающая гору Калкупя и окр. оз. Каскамаярви; 3) южнее заповедника «Пасвик», окр. бывшего н. п. Янискоски. Мониторинговые площадки экологического состояния лесов расположены на территории заповедника по градиенту загрязнения с северо-востока на юго-запад (рисунок). Для оценки состояния водных экосистем было выбрано оз. Каскамаярви (полигон 2) и водохранилище вблизи пос. Раякоски, расположенное между полигонами 2 и 3.

Лапландский государственный природный биосферный заповедник на подведомственной территории города Мончегорск в центральной части Мурманской области. Территория заповедника в ландшафтном отношении входит в состав Кольского северного района — Карельской провинции Северо-Запада России [78]. Это типичный участок, характеризующийся чередованием озерных котловин, речных долин, всхолмленных равнин с обилием низких (до 120 м относительной высоты) скальных гряд и небольших по площади горных поднятий с высотами 600–1115 м надур. м. и выраженной вертикальной поясностью. В состав заповедника входят крупные горные массивы — Нявка-тундра, Чуна-тундра, Монче-тундра и Сальные тундры. Наибольшим по площади является горный массив

Чуна-тундра, вытянутый в меридиональном направлении на 40 км. Южные подножия гор замыкаются дугообразной тектонической впадиной, заполненной водами озера Чунозеро (глубина до 40 м). Территория относится к таежному Имандровскому флористическому району, отличающемуся разнообразием флоры и наличием «островных» местонахождений более южных видов [79].

Для исследования биотического компонента были заложены три полигона: 1) район Матрешкиных озер, ущелья Чингльскорр и оз. Красная Ламбина; 2) район оз. Чунозеро и горы Чуна-тундра; 3) район оз. Нижняя Пиренга и горы Нявчик. В 2026 г., учитывая полученные данные в 2024 и 2025 гг., первый полигон было предложено перенести в район р. Вите, озер Островского и Девичья Ламбина и горы Майявр. Мониторинговые площадки экологического состояния лесов расположены на территории заповедника по градиенту загрязнения (рисунок). Исследования химии вод, донных отложений и гидробиологической составляющей водных экосистем в 2025 г. проводилось на оз. Чунозеро. В 2026 г. работы планируется проводить на оз. Девичья Ламбина, а в 2027 г. — в акватории южной части оз. Нижняя Пиренга (полигон 3).

Мурманский тундровый заказник расположен в Ловозерском округе Мурманской области. В ландшафтном отношении заказник расположен на всхолмленных поверхностях пенепленезированного низкогорья в северо-восточной, континентальной части Кольского полуострова к северо-западу от гряд возвышенности Кейвы, в пределах Кольской лесотундровой ландшафтной провинции [78]. Согласно флористическому районированию он относится к подзоне лесотундры Териберского флористического района, где господствуют ерниково-лишайниковые тундры и лишайниковые березовые криволесья [79]. Для исследований наземных экосистем в целом предложено заложить три полигона. В связи с высокой стоимостью вертолетной заброски экспедиции в район работ ежегодно проводится обследование только одного полигона для исследования всех компонентов программы. Первый полигон охватывает район горы Марья, оз. Кальмозера, устье р. Тичка на р. Иоканга; он был обследован в 2024 г. Второй полигон включает район горы Магазин-Мусюр близ р. Иоканга и оз. Сухое; обследован

в 2025 г. Третий полигон в 2026 г. предполагается размесить по северному борту долины р. Иоканга между оз. Иокявр и горы Покруайв. Изучение качества вод, состояния гидробиологических сообществ и рыбной фауны водных экосистем проводилось в 2025 г. на оз. Кальмозеро. Следующий этап работ — оценка состояния экосистемы оз. Иокявр (2026 г.). Выбор водного объекта финального этапа работ Программы будет определен после работ 2026 г.

Единая программа исследований на 2025–2027 гг.

Ниже представлена единая программа исследований особо охраняемых природных территорий Мурманской области на 2025–2027 гг., реализуемая в районах современной и планируемой добычи

компании «Норильский никель» (таблица). В ней приведены биологические индикаторы, их атрибуты и необходимые работы для их оценки. Для Лапландского заповедника и заповедника «Пасвик» определен тип работ на определенных типах экосистем предлагается исследовать в один год, чередуя разные типы экосистем между годами. Это позволяет получать данные, пригодные для дальнейшего сравнения. В Мурманском тундровом заказнике, напротив, исследуются не определенные типы экосистем, а все биологические индикаторы на одном полигоне исследования, что обусловлено значительной удаленностью и территории и высокими логистическими затратами для организации полевых работ. В результате реализации трехлетней программы она может стать программой постоянного мониторинга.

Таблица 1. Единая программа исследований на особо охраняемых природных территориях Мурманской области на 2025–2027 гг., реализуемая в районах современной и планируемой добычи компании «Норильский никель»

Table 1. Unified research program for protected areas of the Murmansk Oblast for 2025–2027, implemented in areas of current and planned Nor Nickel operations

Типы работ	Атрибуты биоразнообразия	Единицы измерения	Типы экосистем	Лапландский заповедник			Заповедник «Пасвик»			Мурманский тундровый заказник		
				П1	П2	П3	П1	П2	П3	П1	П2	П3
Биологические индикаторы: растительные сообщества												
Закладка постоянных пробных площадей в основных типах сообществ с выполнением полных геоботанических описаний	Видовое разнообразие всех групп фототрофной биоты, проективное покрытие по ярусам и частное, средние вегетативные высоты, вертикальное и горизонтальное строение сообществ (с применением БПЛА)	описание	Горные тундры	`26	`26	`26	`26	`26	-	-	-	-
			Березовые криволесья и редколесья	`26	`26	`26	`26	`26	-	`27	`25	`26
			Сосновые леса	`25	`25	`25	`25	`25	`25	-	-	-
			Еловые леса	`25	`25	`25	-	`25	-	-	-	-
			Кустарничковые болота	`27	`27	`27	`27	`27	`27	`27	`25	`26
Травяные болота	`27	`27	`27	`27	`27	`27	`27	`27	`25	`26		
Описание ключевых типов растительных сообществ	Видовое разнообразие всех групп фототрофной биоты, проективное покрытие по ярусам и частное, средние вегетативные высоты	описание	Можжевельники	-	-	-	-	-	-	-	`25	-
			Равнинные тундры	-	-	-	-	-	-	-	-	`26
			Бугристые болота	-	-	-	-	-	-	`27	`25	-
Экологическое состояние основных типов сообществ	Состав атмосферных выпадений, химия почв, листьев древесных растений, лишайников напочвенного покрова, листовая диагностика, оценка жизненного состояния деревьев, учет вредителей и болезней	комплекс работ	Сосновые леса	-	`25 `26 `27	-	-	`25 `26 `27	-	-	-	-
			Еловые леса	-	`25 `26 `27	-	-	-	-	-	-	-
			Березовые редколесья	-	-	-	-	-	-	`27	`25	`26

Продолжение таблицы 1

Типы работ	Атрибуты биоразнообразия	Единицы измерения	Типы экосистем	Лапландский заповедник			Заповедник «Пасвик»			Мурманский тундровый заказник		
				П1	П2	П3	П1	П2	П3	П1	П2	П3
Биологические индикаторы: фототрофная биота												
Обследование популяций редких видов всех групп фототрофной биоты	Оценка размера популяций и их состояния, функциональные черты растений, фиксация фенологии	полевое обследование	Редкие типы экосистем с обилием охраняемых видов	`25` `27	`25` `27	`25` `27	`25` `26	`25` `26	`25`	`27`	`25`	`26`
Выявление чужеродных и потенциально инвазионных видов	Размер популяций, их функциональные черты, состояние популяций, экология	полевое обследование	Участки антропогенных нарушений, в т.ч. территории кордонов	`26`	`26`	`26` `27	`25`	`26`	`27`	`27`	`25`	`26`
Инвентаризация разнообразия сосудистых растений	Выявление информации о видовом разнообразии	полевое обследование	Территория полигона или специальное обследование (*)	-	-	-	-	-	-	`27`	`25`	`26`
Инвентаризация разнообразия лишайников	Выявление информации о видовом разнообразии	полевое обследование	Территория полигона или специальное обследование (*)	-	-	-	-	-	-	`27`	`25`	`26`
Биологические индикаторы: наземные позвоночные												
Стандартные учеты птиц по маршрутам	Видовое разнообразие, распределение, численность и/или плотность, ключевые места обитания и пути миграции	учет	Фоновые экосистемы (для заповедников леса, для МТЗ редколесья и тундры)	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`27`	`25`	`26`
			Водные и околородные экосистемы	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`27`	`25`	`26`	
Стандартные учеты мелких млекопитающих	Видовое соотношение, численность, структура популяции, гистологические особенности, загрязнение поллютантами	ловушко-линии, канавки	Фоновые экосистемы (для заповедников леса, для МТЗ редколесья и тундры)	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`27`	`25`	`26`
			Горные тундры	`25` `26`	`25` `26`	-	-	-	-	-	-	-
			Долинные леса	-	-	-	-	-	-	`27`	`25`	`26`
Инвентаризация разнообразия позвоночных животных	Выявление информации о видовом разнообразии	полевое обследование	Все экосистемы ООПТ	-	-	-	-	-	-	`27`	`25`	`26`
Биологические индикаторы: наземные беспозвоночные												
Стандартные учет жулици	Определение видового состава и уловистости (в экз. на 100 л/с), экологическая структура населения, структура доминирования, установление видов-индикаторов	линия учета	Фоновые экосистемы	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`25` `26` `27	`27`	`25`	`26`
Биологические индикаторы: водные экосистемы												
Оценка качества вод	Химический состав	полевое обследование	Озерные экосистемы	-	`25` `26` `27	-	`25` `26` `27	-	-	`25`	`26`	`27`
Оценка качества донных отложений	Химический состав	полевое обследование	Озерные экосистемы	-	-	-	-	-	-	`25`	`26`	`27`

Окончание таблицы 1

Типы работ	Атрибуты биоразнообразия	Единицы измерения	Типы экосистем	Лапландский заповедник			Заповедник «Пасвик»			Мурманский тундровый заказник		
				П1	П2	П3	П1	П2	П3	П1	П2	П3
Оценка состояния фитопланктонных сообществ	Оценка видового разнообразия, численность, биомасса	полевое обследование	Озерные экосистемы	-	`25 `26 `27	-	`25 `26 `27	-	-	`25	`26	`27
Оценка состояния зоопланктонных сообществ	Оценка видового разнообразия, численность, биомасса	полевое обследование	Озерные экосистемы	-	`25 `26 `27	-	`25 `26 `27	-	-	`25	`26	`27
Оценка состояния бентосных сообществ	Оценка видового разнообразия, численность, биомасса	полевое обследование	Озерные экосистемы	-	`25 `26 `27	-	`25 `26 `27	-	-	`25	`26	`27
Оценка состояния рыбной части сообществ	Оценка видового разнообразия, размерно-весовая, половая и возрастная структура, оценка состояния здоровья рыб	полевое обследование	Озерные экосистемы	-	`25 `26 `27	-	`25 `26 `27	-	-	`25	`26	`27

Примечание: годы проведения мониторинговых работ: `25 — 2025, `26 — 2026, `27 — 2027. Обозначение мониторинговых полигонов — П1, П2, П3. * — участки могут располагаться не обязательно в границах полигонов, а рядом с ними.

Note: Monitoring years: `25 – 2025, `26 – 2026, `27 – 2027. Monitoring polygons: П1, П2, П3. *Sampling sites may be located adjacent to, but not necessarily within, test site boundaries.

Заключение

Разработка и внедрение единой программы мониторинга экосистем на особо охраняемых природных территориях федерального значения в Мурманской области на 2025–2027 гг. является стратегическим ответом на вызовы, связанные с интенсивным промышленным освоением региона. Предложенная программа обеспечивает методологическое единство и сопоставимость данных, собираемых на территориях заповедника «Пасвик», Лапландского заповедника и Мурманского тундрового заказника (под управлением Кандалакшского заповедника).

Программа охватывает ключевые группы биоты — от растительных сообществ и флоры до населения птиц, млекопитающих и гидробионтов, а также базовые биогеохимические исследования. Это позволяет не только фиксировать текущее состояние экосистем, но и выявлять долгосрочные тренды их трансформации под влиянием как промышленного загрязнения, так и климатических изменений и строить прогнозные модели.

Первые результаты реализации программы в 2025 г. подтверждают ее эффективность: собраны значительные объемы стандартизированных данных, пригодных для пространственно-временного анализа и межрегионального сравнения. Полученная информация служит научной основой для реализации концепции адаптивного управления по схеме «состояние среды — воздействие — управленческий отклик» и формирования обоснованных рекомендаций по минимизации негативного антропогенного влияния. Предложенные нами биологические индикаторы и проведенный анализ их переменных являются обоснованием для принятия конкретных управленческих решений и планирования работ по минимизации или ликвидации негативного воздействия и сохранение биоразнообразия региона присутствия.

Она является одним из важнейших инструментов для выполнения цели Национальной стратегии сохранения биоразнообразия России: «сохранение биоразнообразия природных биосистем на уровне, обеспечивающем их устойчивое существование».

и не истощительное использование, а также сохранение разнообразия одомашненных и культивируемых форм живых организмов и созданных человеком экологически сбалансированных природно-культурных комплексов на уровне, обеспечивающем

развитие эффективного хозяйства и формировании оптимальной среды для жизни человека». Данная цель определяет направление движения на долговременную перспективу и не ограничивается каким-либо временным периодом.

Литература

1. Makarov D.V., Borovichev E.A., Klyuchnikova E.M., Masloboev V.A. Environmental protection and sustainable development of the mining industry in Murmansk Region, Russia. Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2020;23(1):63–71. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2020-23-1-63-71>
2. Аксенова О.В., Бочарников В.Н., Боровичёв Е.А., Данилов А.Ф., Денисов Д.Б., Зацаринный И.В., и др. Природа и коренное население Арктики под влиянием изменения климата и индустриального освоения: Мурманская область. Москва: Графит; 2020.
3. Лукина Н.В., Никонов В.В. Состояние еловых биогеоценозов в условиях техногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН; 1993.
4. Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаёжных лесах. Москва: Наука; 2005.
5. Сухарева Т.А. Элементный состав листьев древесных растений в условиях техногенного загрязнения. Химия в интересах устойчивого развития. 2012;(3):369–376.
6. Ershov V., Ryabov N., Sukhareva T. The link between stemflow chemistry and forest canopy condition under industrial air pollution. Forests. 2026;17(1):147. <https://doi.org/10.3390/f17010147>
7. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Лукин А.А., Кудрявцева Л.П., Ильящук Б.П., Ильящук Л.И. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. Москва: Наука; 2002.
8. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во Мурманского гос. техн. ун-та; 2012.
9. Даувальтер В.А., Сандимиров С.С., Денисов Д.Б., Демин В.И., Кашулин Н.А., Терентьев П.М. и др. Экологическое состояние озера Имандра. Т. 1: Гидролого-геохимические условия. Апатиты: изд-во КНЦ РАН; 2023. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.484.6>
10. Денисов Д.Б., Валькова С.А., Даувальтер В.А., Королева И.М., Разумовская А.В., Терентьев П.М. и др. Лимнологические исследования Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. Труды Кольского научного центра РАН. 2020;(6-19):68–86
11. Денисов Д.Б., Кашулин Н.А., Терентьев П.М., Валькова С.А. Современные тенденции изменения биоты пресноводных экосистем Мурманской области. Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2009;12(3):525–538.
12. Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М., Кашулин А.Н. Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области. Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2013;16(1):98–107.
13. Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М., Зубова Е.М., Королева И.М., Косова А.Л., Черепанов А.А. Комплексные исследования пресноводных экосистем Фенноскандии. Труды Кольского научного центра РАН. 2018;9(9-6):34–86. <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.9.34-86>
14. Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М. Современные тенденции изменений пресноводных экосистем Евро-Арктического региона. Труды Кольского научного центра РАН. 2012;(3):7–54.
15. Масlobоев В.А., Боровичев Е.А., Валькова С.А., Вокуева С.И., Гилязов А.С., Даувальтер В.А. и др. Экосистемы в районе Кольской АЭС (Мурманская область): современное состояние: Монография. Апатиты: ФИЦКНЦРАН; 2024. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.525.6>

16. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Ч. 1. Апатиты: Изд. КНЦ РАН; 1996.
17. Ершов В.В., Исаева Л.Г., Сухарева Т.А., Урбанавичюс Г.П., Иванова Е.А., Белова Е.А. Организация мониторинговых исследований состояния северотаежных лесов на территории Лапландского заповедника. Вестник Кольского научного центра РАН. 2021;13(2):34–42. <https://doi.org/10.37614/2307-5228.2021.13.2.004>
18. Исаева Л.Г., Сухарева Т.А., Боровичев Е.А., Урбанавичюс Г.П., Химич Ю.Р., Зенкова И.В. и др. Изучение и охрана наземных экосистем Мурманской области. Труды Кольского научного центра РАН. 2018;9(9-6):6–33. <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.9.6-33>
19. Сухарева Т.А., Ершов В.В., Иванова Е.А., Штабровская И.М., Алфертьев Н.Л., Живов Д.А., Рябов Н.С. Биогеохимический мониторинг основных лесов на территории Лапландского заповедника (Мурманская область). Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2025;4(3):127–144. <https://doi.org/10.37614/2949-1185.2025.4.3.008>
20. Сухарева Т.А., Ершов В.В., Исаева Л.Г., Иванова Е.А., Зенкова И.В., Рябов Н.С., Штабровская И.М. Многолетние данные комплексного эколого-биогеохимического мониторинга лесных экосистем Лапландского заповедника. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624519 от 17.10.2024 г.
21. Ершов В.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г., Иванова Е.А., Живов Д.А., Рябов Н.С. Химический состав различных компонентов лесных экосистем на северо-западе Кольского полуострова. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025623970 от 23.09.2025 г.
22. Ершов В.В., Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г., Смирнов В.Э., Горбачева Т.Т. Оценка динамики состава почвенных вод северотаежных лесов при снижении аэротехногенного загрязнения выбросами медно-никелевого комбината. Сибирский экологический журнал. 2019;(1):119–132. <https://doi.org/10.15372/SEJ20190110>
23. Сухарева Т.А., Ершов В.В., Исаева Л.Г., Шкондин М.А. Оценка состояния северотаежных лесов в условиях снижения промышленных выбросов комбинатом «Североникель». Цветные металлы. 2020;(8):33–41. <https://doi.org/10.17580/tsm.2020.08.05>
24. Сухарева Т.А., Ершов В.В., Иванова Е.А. Содержание тяжелых металлов и серы в лесных экосистемах в зоне воздействия комбината «Печенганикель» в связи с прекращением атмосферных выбросов. Лесоведение. 2025;(1):106–123. <https://doi.org/10.31857/S0024114825010094>
25. Ershov V., Sukhareva T., Isaeva L., Ivanova E., Urbanavichus G. Pollution-induced changes in the composition of atmospheric deposition and soil waters in coniferous forests at the northern tree line. Sustainability. 2022;14:15580. <https://doi.org/10.3390/su142315580>
26. Урбанавичюс Г.П., Боровичев Е.А., Ершов В.В. Криптогамные организмы – пионеры восстановления северотаежных лесов при снижении воздушного промышленного загрязнения. Лесоведение. 2021;(2):195–207. <https://doi.org/10.31857/S0024114821020108>
27. Dauvalter V.A., Kashulin N.A. Assessment of the Ecological State of the Arctic Freshwater System Based on Concentrations of Heavy Metals in the Bottom Sediments. Geochemistry International. 2018;56(8):842–856. <https://doi.org/10.1134/S0016702918080037>
28. Denisov D.B., Barinova S.S. Algal diversity and ecological variables in the arctic lakes of the Kola peninsula, Russian North. Issues of Modern Algology. 2015;(2):4.
29. Kashulin N.A., Dauvalter V.A., Denisov D.B., Valkova S.A., Vandysh O.I., Terentjev P.M., Kashulin A.N. Selected aspects of the current state of freshwater resources in the Murmansk Region, Russia. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2017;52(9):921–929. <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1318633>
30. Боровичев Е.А., Бойчук М.А. Мохообразные заповедника «Пасвик». Петрозаводск: КарНЦ РАН; 2018.
31. Урбанавичюс Г.П., Фадеева М.А. Лихенофлора заповедника «Пасвик»: разнообразие, распространение, экология, охрана. Петрозаводск: КарНЦ РАН; 2018.
32. Зацаринный И.В., Большаков А.А., Бузун В.А., Макарова О.А., Поликарпова Н.В., Катаев Г.Д. и др. Позвоночные животные заповедника «Пасвик». Петрозаводск: Карельский научный центр РАН; 2018.
33. Кравченко А.В. Сосудистые растения заповедника «Пасвик» и смежной территории Мурманской области. Петрозаводск: КарНЦ РАН; 2020.

34. Golubkina N., Sheshnitsan S., Koshevarov A., Plotnikova U., Sosna E., Lapchenko V., et al. Bioavailable Forms of Heavy Metals and Se in Soil in the Vicinity of the Pechenganikel Smelting Plant and the Relationship with Mineral Composition and Antioxidant Status of Biocrusts. *Standards*. 2025;5(4):28. <https://doi.org/10.3390/standards5040028>
35. Хлебосолова О.А., Сосна Е.М., Быстров А.А. Сбор фенологических и других данных по восстановительным сукцессиям на техногенных пустошах (Никель, Мурманская область). В: Охрана природы и гражданская наука: Материалы III Всерос. науч.-практ. фенологической конф. (9–12 сент. 2025 г., Никель, Мурманская область, ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик»). Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2025, с. 103–108.
36. Мельников Е.Ю., Слесарева Е.А., Смолякова Д.С., Валова Е.В., Большаков А.В., Поликарпова Н.В. Редкие виды птиц заповедника «Пасвик» в отловах стационара «Остров Варлама». *Амурский зоологический журнал*. 2025;XVII(1):56–65.
37. Мельников Е.Ю., Слесарева Е.А., Смолякова Д.С., Поликарпова Н.В. Миграционные перемещения воробьиных птиц в долине р. Паз в летне-осенний период (по данным стационара «Остров Варлама»). *Российский журнал прикладной экологии*. 2025;(3):18–22. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2025.3.18.22>
38. Смолякова Д.С., Мельников Е.Ю., Слесарева Е.А., Поликарпова Н.В. Итоги исследований осеннего пролёта птиц семейства дроздовые (Turdidae) в долине реки Паз заповедника «Пасвик». *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. 2025;25(4):469–476. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-469-476>
39. Берлина Н.Г., Костина В.А. Флора сосудистых растений Лапландского заповедника: аннотированный список. В: Труды Лапландского государственного природного биосферного заповедника. Москва: Перо; 2012, вып. 6, с. 112–198.
40. Урбанавичюс Г.П., Урбанавичене И.Н., Мелехин А.В. Лихенофлора Лапландского государственного природного биосферного заповедника (аннотированный список). Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН; 2013.
41. Боровичев Е.А. Аннотированный список печеночников (Marchantiophyta) Лапландского заповедника. В: Труды Лапландского государственного природного биосферного заповедника. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН; 2019, с. 30–65. <https://doi.org/10.25702/KSC.978-5-91137-392-4.30-65>
42. Белкина О.А., Андреева Е.Н., Лихачев А.Ю. Материалы к флоре мхов Лапландского заповедника. В: Труды Лапландского государственного природного биосферного заповедника. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН; 2019, с. 66–118. <https://doi.org/10.25702/KSC.978-5-91137-392-4.66-118>
43. Осипов Д.В. Пауки (Aranei) Лапландского заповедника. В: Труды Лапландского государственного природного биосферного заповедника. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН; 2019, с. 119–194. <https://doi.org/10.25702/KSC.978-5-91137-392-4.119-194>
44. Янковский А.В. Мошки (Diptera, Simuliidae) Лапландского государственного биосферного заповедника и описание нового вида рода *Argentisimulium* Rubzovet Yankovsky, 1982. *Энтомологическое обозрение*. 2006;85(1):226–233.
45. Dmitriev D.A. Cicadina (Hemiptera: Auchenorrhyncha) of the Kola Peninsula basing mainly on the material collected in the Lapland Biosphere Nature Reserve. *Denisia*. (N.F.). 2002;4(176):339–348.
46. Катаев Г.Д. Фауна и экология млекопитающих (Rodentia, Insectivora) Лапландии. СПб.: Изд-во ВВМ; 2021.
47. Владимировна Н.В., Новгородова Т.А., Чуева Н.В. Сообщества панцирных клещей (ACARI:ORIBATIDA) Лапландского заповедника (Мурманская область). *Сибирский экологический журнал*. 2025;32(3):422–436. <https://doi.org/10.15372/SEJ20250308>
48. Отчет о выполнении работ по теме «Мониторинг состояния биоразнообразия государственного заказника «Мурманский тундровый». Кандалакша; 2024.
49. Отчет о выполнении научно-исследовательских работ по теме «Комплексная оценка состояния экосистем Мурманского тундрового заказника в период 2025–2027 гг., отчет за 2025 г.». Кандалакша; 2025.
50. Михайлов К.Е. Авифауна зональных тундр северной части Кольского полуострова. *Русский орнитологический журнал*. 1993;2(1):7–28.

51. Михайлов К.Е., Фильчагов А.В. Особенности распространения и расселения некоторых видов птиц в тундре Кольского полуострова. *Русский орнитологический журнал*. 2012;21(767):1395–1405.
52. Novgorodova T.A., Abramov S.A., Glupov V.V. An integrated method for assessing the state of biodiversity of disturbed ecosystems. *Euroasian entomological Journal*. 2024;23(6):297–307. <https://doi.org/10.15298/euroasentj.23.06.01>
53. Отчет о научно-исследовательской работе «Углубленный анализ результатов, полученных в ходе Большой научной экспедиции 2022–2023 гг., проработка методической основы интегральной оценки состояния экосистем». Новосибирск: ИСиЭЖ СО РАН; 2024.
54. Vihervaara P., Auvinen A. P., Mononen L., Törmä M., Ahlroth P., Anttila S., Virkkala R. How essential biodiversity variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Global Ecology and Conservation*. 2017;10:43–59. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.01.007>
55. Christensen T., Barry T., Taylor J.J., Doyle M., Aronsson M., Braa J., et al. Developing a circumpolar programme for the monitoring of Arctic terrestrial biodiversity. *Ambio*. 2020;49(3):655–665. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01311-w>
56. Christensen T., Payne J., Doyle M., Ibaruchi G., Taylor J., Schmidt N.M., et al. The Arctic terrestrial biodiversity monitoring plan. Akureyri: CAFF; 2013.
57. Pereira H.M., Ferrier S., Walters M., Geller G.N., Jongman R.H.G., Scholes R.J., et al. Essential Biodiversity Variables. *Science*. 2013;339(6117):277–278. <https://doi.org/10.1126/science.1229931>
58. Воронов А.Г. Геоботаника. Изд. 2-е. Москва: Высшая школа; 1973.
59. Кораблёв А.П., Мирин Д.М. Динамика растительных сообществ: теория и методические аспекты. *Растительность России*. 2025;(52):3–20. <https://doi.org/10.31111/veg-rus/2025.52.3>
60. Черненкова Т.В., Басова Е.В., Бочкарев Ю.Н., Пузаченко М.Ю. Оценка биоразнообразия лесов в зоне влияния горно-металлургического комбината «Североникель». *Лесоведение*. 2009;(6):32–45.
61. Лянгузова И.В., Гольдвирт Д.К., Фадеева И.К. Пространственно-временная динамика загрязнения Al-Fe-гумусового подзола в зоне влияния комбината цветной металлургии. *Почвоведение*. 2016;(10):1261–1276. <https://doi.org/10.7868/So032180X16100105>
62. Kumschick S., Gaertner M., Vilà M., Essl F., Jeschke J. M., Pyšek P., et al. Ecological impacts of alien species: quantification, scope, caveats, and recommendations. *BioScience*. 2015;65(1):55–63. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu193>
63. Dar P.A., Reshi Z.A. Components, processes and consequences of biotic homogenization: a review. *Contemporary Problems of Ecology*. 2014;7(2):123–136. <https://doi.org/10.1134/S1995425514020103>
64. Lockwood J.L., Hoopes M.F., Marchetti M.P. *Invasion ecology*. John Wiley & Sons; 2013.
65. Hejda M., Pyšek P., Jarošík V. Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of ecology*. 2009;97(3):393–403. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01480.x>
66. Ott W.R. *Environmental indices: theory and practice*. OSTI; 1978.
67. Thomas L., Buckland S.T., Rexstad E.A., Laake J.L., Strindberg S., Hedley S.L., et al. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*. 2010;47(1):5–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x>
68. Cairns J., Patil G.P., Waters W.E. (ed.). *Environmental biomonitoring, assessment, prediction, and management: certain case studies and related quantitative issues*. International Cooperative Publishing House; 1979. Available at: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1971712334765968651>
69. Боровичёв Е.А., Поликарпова Н.В., Константинова Н.А., Макарова О.А. (ред.). *Красная книга Мурманской области. Официальное издание. Изд. 3-е*. Ижевск: Принт; 2025.
70. Гельтман Д.В. (ред.). *Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы*. Москва: ВНИИ Экология; 2024.
71. Павлов Д.С. (ред.). *Красная книга Российской Федерации. Животные*. Москва: ВНИИ Экология; 2021.
72. Чернов Ю.И. *Природная зональность и животный мир суши*. Москва: Мысль; 1975.
73. Чернов Ю.И., Макаров К.В., Еремин П.К. Семейство жужелицы (Coleoptera, Carabidae) в арктической фауне. Сообщение 2. *Зоологический журнал*. 2001;80(3):285–293. <https://doi.org/10.7868/So044513413080114>

74. Филиппов Б.Ю., Шувалов Е.В. Жужелицы южных тундр полуострова Канин. Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки. 2006;(1):99–109.
75. Шарова И.Х. Жизненные формы жужелиц (Coleoptera, Carabidae). Москва: Наука; 1981.
76. Булохова Н.А. Эколого-фаунистическая характеристика жужелиц (Coleoptera, Carabidae) луговых экосистем. В: Фауна и экология жужелиц лугов юго-запада России. Брянск: Изд-во Брянского педуниверситета; 1995, с. 4–18.
77. Ананьева С.И., Белова Е.А., Булычев А.Г., Булычева И.А., Заколдаева А.А., Зацаринный И.В. и др. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы. Рязань: НП «Голос губернии», 2012, с. 52–59.
78. Казакова О.Н. Ландшафтное районирование Северо-Запада СССР. В: Доклады научной сессии ЛГУ. Ленинград: ЛГУ; 1959, с. 3–24.
79. Раменская М.Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Ленинград: Наука; 1983.

References

1. Makarov D.V., Borovichev E.A., Klyuchnikova E.M., Masloboev V.A. Environmental protection and sustainable development of the mining industry in Murmansk Region, Russia. Vestnik of MSTU. 2020;23(1):63–71. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2020-23-1-63-71>
2. Aksenova O.V., Bocharnikov V.N., Borovichev E.A., Danilov A.F., Denisov D.B., Zatsarinny I.V., et al. Nature and the indigenous population of the Arctic under the influence of climate change and industrial development: Murmansk region. Moscow: Grafit Publ.; 2020. (In Russ.).
3. Lukina N.V., Nikonov V.V. The state of spruce biogeocenoses under conditions of technogenic pollution. Apatity: Kola Science Centre Publisher; 1993. (In Russ.).
4. Lukina N.V., Sukhareva T.A., Isaeva L.G. Technogenic Digressions and Restorative Successions in Northern Taiga Forests. Moscow: Nauka Publ.; 2005. (In Russ.).
5. Sukhareva T.A. Elemental composition of woody plant leaves under conditions of technogenic pollution. Chemistry for Sustainable Development. 2012;(3):369–376. (In Russ.).
6. Ershov V., Ryabov N., Sukhareva T. The link between stemflow chemistry and forest canopy condition under industrial air pollution. Forests. 2026;17(1):147. <https://doi.org/10.3390/f17010147>
7. Moiseenko T.I., Dauval'ter V.A., Lukin A.A., Kudryavtseva L.P., Il'yashchuk B.P., Il'yashchuk L.I. Anthropogenic modifications of the Lake Imandra ecosystem. Moscow: Nauka Publ.; 2002. (In Russ.).
8. Dauval'ter V.A. Geology of Lake Bottom Sediments. Murmansk: Publishing House of the Murmansk State Technical University; 2012. (In Russ.).
9. Dauval'ter V.A., Sandimirov S.S., Denisov D.B., Demin V.I., Kashulin N.A., Terentyev P.M., et al. Ecological State of Lake Imandra. Vol. 1: Hydrological and geochemical conditions. Apatity: Kola Science Centre Publisher; 2023. (In Russ.). <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.484.6>
10. Denisov D.B., Valkova S.A., Dauval'ter V.A., Koroleva I.M., Razumovskaya A.V., Terentyev P.M., et al. Limnological Research at the Institute of Industrial Ecology of the North of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. 2020;(6-19):68–86 (In Russ.).
11. Denisov D.B., Kashulin N.A., Terentyev P.M., Valkova S.A. Modern trends in the change of biota of freshwater ecosystems of the Murmansk region. Vestnik MGTU. Proceedings of the Murmansk State Technical University. 2009;12(3):525–538. (In Russ.).
12. Kashulin N.A., Dauval'ter V.A., Denisov D.B., Valkova S.A., Vandysh O.I., Terentyev P.M., Kashulin A.N. Some Aspects of the Current State of Freshwater Resources in the Murmansk Region. Vestnik MGTU. Proceedings of the Murmansk State Technical University. 2013;16(1):98–107. (In Russ.).
13. Kashulin N.A., Dauval'ter V.A., Denisov D.B., Valkova S.A., Vandysh O.I., Terentyev P.M., Zubova E.M., Koroleva I.M., Kosova A.L., Cherepanov A.A. Comprehensive Studies of Freshwater Ecosystems in Fennoscandia. Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;9(9-6):34–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.9.34-86>

14. Kashulin N.A., Denisov D.B., Valkova S.A., Vandysh O.I., and Terentyev P.M. Modern Trends in the Changes of Freshwater Ecosystems in the Euro-Arctic Region. Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. 2012;(3):7–54. (In Russ.).
15. Masloboev V.A., Borovichev E.A., Valkova S.A., Vokueva S.I., Gilyazov A.S., Dauvalter V.A., et al. Ecosystems in the Kola NPP area (Murmansk region): Current State. Apatity: Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”; 2024. (In Russ.). <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.525.6>
16. Lukina N.V., Nikonov V.V. Biogeochemical cycles in Northern forests under conditions of aerotechnogenic pollution. Part 1. Apatity: Kola Science Centre Publisher; 1996. (In Russ.).
17. Ershov V.V., Isaeva L.G., Sukhareva T.A., Urbanavichyus G.P., Ivanova E.A., Belova E.A. Organisation of monitoring studies of the state of northern taiga forests on the territory of the Lapland Reserve. Herald of the Kola Science Centre of the RAS. 2021;13(2):34–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.37614/2307-5228.2021.13.2.004>
18. Isaeva L.G., Sukhareva T.A., Borovichev E.A., Urbanavichyus G.P., Khimich Yu.R., Zenkova I.V., et al. Study and protection of terrestrial ecosystems in the Murmansk region). Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. 2018;9(9-6):6–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.9.6-33>
19. Sukhareva T.A., Ershov V.V., Ivanova E.A., Shtabrovskaya I.M., Alfertyev N.L., Zhivov D.A., Ryabov N.S. Biogeochemical monitoring of pine forests in the Lapland Nature Reserve (Murmansk Region). Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities. 2025;4(3):127–144. (In Russ.). <https://doi.org/10.37614/2949-1185.2025.4.3.008>
20. Sukhareva T.A., Ershov V.V., Isaeva L.G., Ivanova E.A., Zenkova I.V., Ryabov N.S., Shtabrovskaya I.M. Long-term data of integrated ecological and biogeochemical monitoring of forest ecosystems in the Lapland Nature Reserve. Certificate of Database Registration RU № 2024624519 от 17.10.2024. (In Russ.).
21. Ershov V.V., Sukhareva T.A., Isaeva L.G., Ivanova E.A., Zhivov D.A., Ryabov N.S. Chemical composition of various components of forest ecosystems in the northwestern part of the Kola Peninsula. Certificate of Database Registration RU № 2025623970 от 23.09.2025. (In Russ.).
22. Ershov V.V., Lukina N.V., Orlova M.A., Isaeva L.G., Smirnov V.E., Gorbacheva T.T. Assessment of the dynamics of the composition of soil water in the north-taiga forests in the context of reducing aero-technogenic pollution caused by emissions from a copper-nickel plant. Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal = Contemporary Problems of Ecology. 2019;(1):119–132. (In Russ.). <https://doi.org/10.45372/SEJ20190110>
23. Sukhareva T.A., Ershov V.V., Isaeva L.G., Shkondin M.A. Assessment of the state of the northern taiga forests in the context of reducing industrial emissions by the Severonikel smelter. Tsvetnye Metally. 2020;(8):33–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/tsm.2020.08.05>
24. Sukhareva T.A., Ershov V.V., Ivanova E.A. The Content of Heavy Metals and Sulfur in Forest Ecosystems in the Pechenganikel Smelter’s Zone of Impact Due to the Reduction of Atmospheric Emissions. Forest Science. 2025;(1):106–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S3034535925010094>
25. Ershov V., Sukhareva T., Isaeva L., Ivanova E., Urbanavichyus G. Pollution-induced changes in the composition of atmospheric deposition and soil waters in coniferous forests at the northern tree line. Sustainability. 2022;14:15580. <https://doi.org/10.3390/su142315580>
26. Urbanavichyus G.P., Borovichev E.A., Ershov V.V. Cryptogamic organisms as pioneers of the northern taiga recovery affected under the conditions of lowered industrial air pollution. Forest Science. 2021;(2):195–207. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0024114821020108>
27. Dauvalter V.A., Kashulin N.A. Assessment of the Ecological State of the Arctic Freshwater System Based on Concentrations of Heavy Metals in the Bottom Sediments. Geochemistry International. 2018;56(8):842–856. <https://doi.org/10.1134/S0016702918080037>
28. Denisov D.B., Barinova S.S. Algal diversity and ecological variables in the arctic lakes of the Kola peninsula, Russian North. Issues of Modern Algology. 2015;(2):4.
29. Kashulin N.A., Dauvalter V.A., Denisov D.B., Valkova S.A., Vandysh O.I., Terentjev P.M., Kashulin A.N. Selected aspects of the current state of freshwater resources in the Murmansk Region, Russia. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2017;52(9):921–929. <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1318633>
30. Borovichev E.A., Boychuk M.A. Mohoobraznye zapovednika «Pasvik». Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences; 2018. (In Russ.).

31. Urbanavichus G.P., Fadeeva M.A. Lichen flora of the Pasvik Nature Reserve: diversity, distribution, ecology, and protection. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences; 2018. (In Russ.).
32. Zatsarinny I.V., Bolshakov A.A., Buzun V.A., Makarova O.A., Polikarpova N.V., Kataev G.D., et al. Vertebrate Animals of the Pasvik Nature Reserve. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences; 2018. (In Russ.).
33. Kravchenko A.V. Vascular Plants of the Pasvik Nature Reserve and the Adjacent Territory of Murmansk Region. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences; 2020. (In Russ.).
34. Golubkina N., Sheshnitsan S., Koshevarov A., Plotnikova U., Sosna E., Lapchenko V., et al. Bioavailable Forms of Heavy Metals and Se in Soil in the Vicinity of the Pechenganikel Smelting Plant and the Relationship with Mineral Composition and Antioxidant Status of Biocrusts. *Standards*. 2025;5(4):28. <https://doi.org/10.3390/standards5040028>
35. Khlebosolova O.A., Sosna E.M., Bystrov A.A. Collection of phenological and other data on regenerative successions on technogenic wastelands (Nikel, Murmansk Region). In: *Nature Conservation and Citizen Science: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Phenological Conf.* (September 9-12, 2025, Nickel, Murmansk Region, Pasvik State Nature Reserve). Moscow: KMK Scientific Publications Partnership; 2025, pp. 103–108. Moscow: KMK Scientific Publishing House; 2025, pp. 103–108. (In Russ.).
36. Melnikov E.Yu., Slesareva E.A., Smolyakova D.S., Valova E.V., Bolshakov A.V., Polikarpova N.V. Rare Bird Species of the Pasvik Nature Reserve in the Trapping of the Varlam Island Station. *Amurskii Zoologicheskii Zhurnal = Amur Zoological Journal*. 2025;XVII(1):56–65. (In Russ.).
37. Melnikov E.Yu., Slesareva E.A., Smolyakova D.S., Polikarpova N.V. Migration movements of passerine birds in the river valley. The groove in the summer-autumn period (according to the Varlama Island hospital). *Russian Journal of Applied Ecology*. 2025;(3):18–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2025.3.18.22>
38. Smolyakova D.S., Melnikov E.Yu., Slesareva E.A., Polikarpova N.V. Results of studies of the autumn flight of birds of the thrush family (Turdidae) in the valley of the Paz River of the Pasvik Nature Reserve. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*. 2025;25(4):469–476. (In Russ.). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-4-469-476>
39. Berlina N.G., Kostina V.A. Vascular plant flora of the Lapland Nature Reserve: annotated list. In: *Proceedings of the Lapland State Nature Biosphere Reserve*. Moscow: Pero Publ.; 2012, iss. 6, pp. 112–198. (In Russ.).
40. Urbanavichus G.P., Urbanavichene I.N., Melekhin A.V. Lichen Flora of the Lapland State Nature Biosphere Reserve (Annotated List). Apatity: Kola Science Centre Publisher; 2013. (In Russ.).
41. Borovichev E.A. Annotated list of liverworts (Marchantiophyta) of the Lapland Nature Reserve. In: *Proceedings of the Lapland State Nature Biosphere Reserve*. Apatity: Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»; 2019, pp. 30–65. (In Russ.). <https://doi.org/10.25702/KSC.978-5-91137-392-4.30-65>
42. Belkina O.A., Andreeva E.N., Likhachev A.Yu. Materials on the Flora of Mosses in the Lapland Nature Reserve. In: *Proceedings of the Lapland State Nature Biosphere Reserve*. Apatity: Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»; 2019, pp. 66–118. (In Russ.). <https://doi.org/10.25702/KSC.978-5-91137-392-4.66-118>
43. Osipov D.V. Spiders (Aranei) of the Lapland Nature Reserve. In: *Proceedings of the Lapland State Nature Biosphere Reserve*. Apatity: Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»; 2019, pp. 119–194. (In Russ.). <https://doi.org/10.25702/KSC.978-5-91137-392-4.119-194>
44. Yankovsky A.V. Blackflies (Diptera, Simuliidae) of the Lapland State Biosphere Nature Reserve, with description of a new species of the genus *Argentisimulium* Rubzov et Yankovsky, 1982. *Entomological Review*. 2006;86(2):240–246. <https://doi.org/10.1134/S0013873806020114>
45. Dmitriev D.A. Cicadina (Hemiptera: Auchenorrhyncha) of the Kola Peninsula basing mainly on the material collected in the Lapland Biosphere Nature Reserve. *Denisia*. (N.F.). 2002;4(176):339–348.
46. Kataev G.D. Fauna and Ecology of Mammals (Rodentia, Insectivora) of Lapland. St. Petersburg: VVM Publishing House; 2021. (In Russ.).

47. Vladimirova N.V., Novgorodova T.A., Chueva N.V. Communities of Armored Mites (ACARI:ORIBATIDA) in the Lapland Nature Reserve (Murmansk Region). *Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal = Contemporary Problems of Ecology*. 2025;32(3):422–436. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SE|20250308>
48. Report on the implementation of the topic «Monitoring the state of biodiversity of the Murmansk Tundra State Nature Reserve». Kandalaksha; 2024. (In Russ.).
49. Report on the implementation of research work on the topic «Comprehensive Assessment of the State of Ecosystems in the Murmansk Tundra Nature Reserve in the Period 2025–2027, Report for 2025». Kandalaksha; 2025. (In Russ.).
50. Mikhailov K.E. Avifauna of the Zonal Tundra of the Northern Part of the Kola Peninsula. *Russian Ornithological Journal*. 1993;2(1):7–28. (In Russ.).
51. Mikhailov K.E., Filchagov A.V. Features of the distribution and settlement of some bird species in the tundra of the Kola Peninsul. *Russian Ornithological Journal*. 2012;21(767):1395–1405. (In Russ.).
52. Novgorodova T.A., Abramov S.A., Glupov V.V. An integrated method for assessing the state of biodiversity of disturbed ecosystems. *Euroasian entomological Journal.*, 2024;23(6):297–307. <https://doi.org/10.15298/euroasentj.23.06.01>
53. Research Report «In-depth analysis of the results obtained during the Great Scientific Expedition of 2022–2023, development of the methodological basis for the integral assessment of the state of ecosystems». Novosibirsk: ISEDJ SB RAS; 2024. (In Russ.).
54. Vihervaara P., Auvinen A. P., Mononen L., Törmä M., Ahlroth P., Anttila S., Virkkala R. How essential biodiversity variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Global Ecology and Conservation*. 2017;10:43–59. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.01.007>
55. Christensen T., Barry T., Taylor J.J., Doyle M., Aronsson M., Braa J., et al. Developing a circumpolar programme for the monitoring of Arctic terrestrial biodiversity. *Ambio*. 2020;49(3):655–665. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01311-w>
56. Christensen T., Payne J., Doyle M., Iburguchi G., Taylor J., Schmidt N.M., et al. The Arctic terrestrial biodiversity monitoring plan. Akureyri: CAFF; 2013.
57. Pereira H.M., Ferrier S., Walters M., Geller G.N., Jongman R.H.G., Scholes R.J., et al. Essential Biodiversity Variables. *Science*. 2013;339(6117):277–278. <https://doi.org/10.1126/science.1229931>
58. Voronov A.G. Geobotany. 2nd Edition. Moscow: Vysshaya Shkola Publ.; 1973. (In Russ.).
59. Korablyov A.P., Mirin D.M. Dynamics of Plant Communities: Theory and Methodological Aspects. *Vegetation of Russia*. 2025;(52):3–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.3111/vegus/2025.52.3>
60. Chernenkova T.V., Basova E.V., Bochkarev Yu.N., Puzachenko M.Yu. Assessment of Forest Biodiversity in the Zone of Influence of the Severonikel Mining and Metallurgical Smelter. *Forest Science*. 2009;(6):32–45. (In Russ.).
61. Lyanguzova I. V., Goldvirt D. K., Fadeeva I. K. Spatial and temporal dynamics of Al-Fe-humus podzol contamination in the area affected by a non-ferrous metallurgy smelter. *Eurasian Soil Science*. 2016;(10):1261–1276. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032180X16100105>
62. Kumschick S., Gaertner M., Vilà M., Essl F., Jeschke J. M., Pyšek P., Winter M. Ecological impacts of alien species: quantification, scope, caveats, and recommendations. *BioScience*. 2015;65(1):55–63. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu193>
63. Dar P.A., Reshi Z.A. Components, processes and consequences of biotic homogenization: a review. *Contemporary Problems of Ecology*. 2014;7(2):123–136. <https://doi.org/10.1134/s1995425514020103>
64. Lockwood J.L., Hoopes M.F., Marchetti M.P. *Invasion ecology*. John Wiley & Sons; 2013.
65. Hejda M., Pyšek P., Jarošík V. Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of ecology*. 2009;97(3):393–403. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01480.x>
66. Ott W.R. *Environmental indices: theory and practice*. OSTI; 1978.
67. Thomas L., Buckland S.T., Rexstad E.A., Laake J.L., Strindberg S., Hedley S.L., et al. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*. 2010;47(1):5–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x>
68. Cairns J., Patil G.P., Waters W.E. (ed.). *Environmental biomonitoring, assessment, prediction, and management: certain case studies and related quantitative issues*. International Cooperative Publishing House; 1979. Available at: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1971712334765968651>
69. Bоровичев Е.А., Поликарпова Н.В., Константинова Н.А., Макарова О.А. *The Red Book of the Murmansk region*. Official edition. 3rd Ed. Izhevsk: Print Publ.; 2025. (In Russ.).

70. Gel'tman D.V. (ed.). The Red Book of the Russian «Federation. Plants and Fungi. Moscow: VNIIEkologiya; 2024. (In Russ.).
71. Pavlov D.S. (ed.). The Red Book of the Russian Federation. Animals. Moscow: VNIIEkologiya; 2021. (In Russ.).
72. Chernov Yu. I. Natural Zonality and Terrestrial Animal World. Moscow: Mysl Publ.; 1975. (In Russ.).
73. Chernov Yu. I., Makarov K. V., Eremin P. K. The family of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the Arctic fauna. Report 2. Zoological Journal. 2001;80(3):285–293. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0044513413080114>
74. Filippov B.Yu., Shuvalov E.V. Ground Beetles of the Southern Tundra of the Kanin Peninsula. Vestnik Pomorskogo Universiteta. Series: Natural and Exact Sciences. 2006;(1):99–109. (In Russ.).
75. Sharova I.Kh. Life Forms of Ground Beetles (Coleoptera, Carabidae). Moscow: Nauka Publ.; 1981. (In Russ.).
76. Bulokhova N.A. Ecological and Faunistic Characteristics of Ground Beetles (Coleoptera, Carabidae) in Meadow Ecosystems. In: Fauna and Ecology of Ground Beetles in Meadows of Southwestern Russia. Bryansk: Bryansk State Pedagogical University; 1995, pp. 4–18. (In Russ.).
77. Anan'eva S.I., Belova E.A., Bulychev A.G., Bulycheva I.A., Zakoldaeva A.A., Zatsarinnyi I.V., et al. Kola Mining and Metallurgical Company (Nikel and Zapolyarny industrial sites): impact on terrestrial ecosystems. Ryazan: Golos Gubernii Publ.; 2012, pp. 52–59. (In Russ.).
78. Kazakova O.N. Landscape Zoning of the North-West of the USSR. In: Reports of the Scientific Session of Leningrad State University. Leningrad: Leningrad State University; 1959, pp. 3–24. (In Russ.).
79. Ramenskaya M.L. Analysis of the Flora of the Murmansk Region and Karelia. Leningrad: Nauka Publ.; 1983. (In Russ.).

Сведения об авторах

Боровичев Евгений Александрович — кандидат биологических наук, заместитель генерального директора Федерального исследовательского центра Кольский научный центр по научной работе, директор Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН. Россия, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкр. Академгородок, д. 18а.
Scopus ID: 55834961100
Researcher ID: U-9117-2017
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7310-6872>
SPIN-код: 1042-1273
Тел.: +7 (815) 556-33-50
E-mail: e.borovichev@ksc.ru

Кожин Михаил Николаевич — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН. Россия, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкр. Академгородок, д. 18а.
Scopus ID: 54401367100
Researcher ID: AAG-9409-2019
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0153-0287>
SPIN-код: 2446-7294
E-mail: m.kozhin@ksc.ru

Information about the authors

Eugene A. Borovichev — Cand. Sci. (Biology), Deputy Director General of Research, Federal Research Center Kola Science Center, Director, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A. Avrorin, Federal Research Centre Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences. Russia, 184209, Murmansk Region, Apatity, Akademgorodok, 18A.
Scopus ID: 55834961100
Researcher ID: U-9117-2017
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7310-6872>
SPIN-code: 1042-1273
Тел.: +7 (815) 556-33-50
E-mail: e.borovichev@ksc.ru

Mikhail N. Kozhin – Cand. Sci. (Biology), Leading Research Scientist, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A. Avrorin, Federal Research Centre Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences. Russia, 184209, Murmansk Region, Apatity, Akademgorodok, 18A.
Scopus ID: 54401367100
Researcher ID: AAG-9409-2019
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0153-0287>
SPIN-code: 2446-7294
E-mail: m.kozhin@ksc.ru

Сухарева Татьяна Алексеевна — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией наземных экосистем, Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН. Россия, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкр. Академгородок, д. 14а.
Scopus ID: 55918629900
Researcher ID: J-1100-2018
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6451-3495>
SPIN-код: 3302-1130
Тел.: +7 (815) 557-97 79
E-mail: t.sukhareva@ksc.ru

Терентьев Пётр Михайлович — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией водных экосистем, Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН. Россия, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкр. Академгородок, д. 14а.
Scopus ID: 59157933200
Researcher ID: K-3164-2018
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6810-1823>
SPIN-код: 3395-2611
Тел.: +7 (815) 557-97 79
E-mail: p.terentjev@ksc.ru

Поликарпова Наталья Владимировна — кандидат географических наук, директор Государственного природного заповедника «Пасвик». Россия, 184421, Мурманская область, пгт Никель, Гвардейский просп., д. 43б.
Scopus ID: 54892721300
Researcher ID: F-1493-2014
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3332-035X>
SPIN-код: 4627-5814
Тел.: +7 (815) 545-07-00
E-mail: polikarpova-pasvik@yandex.ru

Толмачева Екатерина Леонидовна — кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе, федеральное государственное бюджетное учреждение «Кандалакшский государственный природный заповедник». Россия, 184042, Мурманская область, г. Кандалакша, ул. Линейная, д. 35.
Scopus ID: 57324299200
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3274-5771>
Тел.: +7 (815) 339-22-50
E-mail: kand.nauka@yandex.ru

Алфертьев Николай Леонидович — заместитель директора по научной работе Лапландского заповедника. Россия, 184506, Мурманская область, г. Мончегорск, Зеленый пер., 8.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3108-1728>
Тел.: +7 (921) 034-70-89
E-mail: alfertev@laplandzap.ru

Tatyana A. Sukhareva — Cand. Sci. (Biology), Head of the laboratory of terrestrial ecosystems, Institute of North Industrial Ecology Problems, Federal Research Centre Kola Science Centre. Russia, 184209, Murmansk region, Apatity, Akademgorodok, 14A.
Scopus ID: 55918629900
Researcher ID: J-1100-2018
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6451-3495>
SPIN-code: 3302-1130
Tel.: +7 (815) 557-97 79
E-mail: t.sukhareva@ksc.ru

Petr M. Terentjev — Cand. Sci. (Biology), Head of the laboratory of water ecosystems, Institute of North Industrial Ecology Problems, Federal Research Centre Kola Science Centre. Russia, 184209, Murmansk Region, Apatity, Akademgorodok, 14A.
Scopus ID: 59157933200
Researcher ID: K-3164-2018
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6810-1823>
SPIN-code: 3395-2611
Tel.: +7 (815) 557-97 79
E-mail: p.terentjev@ksc.ru

Natalia V. Polikarpova — Cand. Sci. (Geography), Director, Pasvik Nature Reserve. Russia, 184421 Nikel Murmansk Region, Gvardeysky Avenue, 43B.
Scopus ID: 54892721300
Researcher ID: F-1493-2014
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3332-035X>
SPIN-code: 4627-5814
Tel.: +7 (815) 545-07-00
E-mail: polikarpova-pasvik@yandex.ru

Ekaterina L. Tolmacheva — Cand. Sci. (Biology), Deputy Director of Research, Kandalaksha Nature Reserve. Russia, 184042, Murmansk Region, Kandalaksha, Lineynaya str., 35.
Scopus ID: 57324299200
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3274-5771>
Tel.: +7 (815) 339-22-50
E-mail: kand.nauka@yandex.ru

Nikolay L. Alfertev — Deputy Director of Research, Lapland Nature Reserve. Russia, 184506, Murmansk Region, Monchegorsk, Zeleny lane, 8.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3108-1728>
Tel.: +7 (921) 034-70-89
E-mail: alfertev@laplandzap.ru

Вклад авторов

Боровичев Евгений Александрович — концептуализация, дизайн и наполнение программы, сбор и анализ данных, подготовка текста статьи.

Кожин Михаил Николаевич — концептуализация, дизайн и наполнение программы, сбор и анализ данных, подготовка текста статьи.

Сухарева Татьяна Алексеевна — дизайн и наполнение программы, сбор и анализ данных, подготовка текста статьи.

Терентьев Петр Михайлович — дизайн и наполнение программы, сбор и анализ данных, подготовка текста статьи.

Поликарпова Наталья Владимировна — сбор и анализ данных, подготовка текста статьи.

Толмачева Екатерина Леонидовна — сбор и анализ данных, подготовка текста статьи.

Алфертьев Николай Леонидович — сбор и анализ данных, подготовка текста статьи.

Author contribution statement

Eugene A. Borovichev — conceptualization; program design and development; data collection and analysis; manuscript preparation.

Mikhail N. Kozhin — conceptualization; program design and development; data collection and analysis; manuscript preparation.

Tatyana A. Sukhareva — program design and development; data collection and analysis; manuscript preparation.

Petr M. Terentyev — program design and development; data collection and analysis; manuscript preparation.

Natalya V. Polikarpova — data collection and analysis; manuscript preparation.

Ekaterina L. Tolmacheva — data collection and analysis; manuscript preparation.

Nikolai L. Alfertyev — data collection and analysis; manuscript preparation.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке «Кольская ГМК».

Funding

The study was supported by the Kola Mining and Metallurgical Company (Kola Site, Nornickel Group).

Благодарность

Авторы выражают благодарность сотрудникам ПАБСИ КНЦ РАН и ИППЭС КНЦ РАН за помощь в проведении полевых, камеральных и химико-аналитических исследований.

Благодарим О.В. Петрову за подготовку карты.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the staff of the PABGI KSC RAS and the INEP KSC RAS for their assistance with fieldwork, laboratory processing, and chemical-analytical studies. We also thank O.V. Petrova for preparing the map.