

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Научная статья

УДК 504.062+911.52

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-147-159

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕКИ КОЛЫМЫ

Надежда Анисимовна Николаева¹, Дмитрий Дмитриевич Пинигин², Константин Васильевич Никулин³

^{1, 2, 3} Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова, Якутский научный центр Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия

¹ nna0848@mail.ru, Scopus Author ID: 56909645200, ResearcherID: I-9615-2018

² pinigind@mail.ru, Scopus Author ID: 55752669800 ResearcherID: J-9361-2015

³ nikulin9090@mail.ru

Аннотация. Расположенная на территории Республики Саха (Якутия) часть бассейна р. Колымы характеризуется крайне суровыми природно-климатическими и сложными экономическими условиями. Наличие богатых природных ресурсов обусловливает развитие горнодобывающей промышленности и энергетики, воздействие которых на слабоустойчивые северные ландшафты приводит к экологическим проблемам и придает их изучению особую актуальность. Целью является изучение ландшафтно-экологических аспектов территории бассейна р. Колымы в районе добычи каменного угля Зырянского угольного разреза и оценка устойчивости ландшафтов к механическому воздействию. Использованы методики геоэкологических и ландшафтных исследований, включая как традиционные методы, так и современные геоинформационные. Получена оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы на основе ранжирования мерзлотных и биоклиматических характеристик ландшафтов и присвоения им баллов. Выделены четыре группы ландшафтов с различной степенью устойчивости – от относительно устойчивых до крайне неустойчивых. Разработана карта степени устойчивости изучаемой территории бассейна р. Колымы. Экологическое состояние природной среды верхнего течения р. Колымы изучено методом сравнительного анализа статистических материалов по загрязнению атмосферного воздуха и поверхностных вод. В результате отмечено уменьшение количества уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, что связано с неэффективностью зоуловителей. Кроме того, из-за отсутствия нужного количества очистных сооружений в речную сеть сбрасываются недостаточно очищенные сточные воды. Для предотвращения негативных последствий промышленной нагрузки на природную среду необходимо обеспечить выполнение и контроль системы природоохранных мероприятий, включая эффективность очистных сооружений для защиты воздушной и водной сред.

Ключевые слова: бассейн р. Колымы, угольный разрез, воздействие, ландшафты, мерзлотные и биоклиматические показатели, устойчивость

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWRS-2024-0031 «Комплексные исследования приоритетов развития энергетики Республики Саха (Якутия) с учетом влияния на окружающую среду и разработка способов, методов повышения энергетической эффективности и надежности локальных энергетических систем в труднодоступных изолированных территориях Севера и Арктики».

Для цитирования: Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В. Ландшафтно-экологические аспекты состояния природной среды реки Колымы // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 147–159. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-147-159

ECOLOGY AND NATURE USE

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-147-159

THE KOLYMA RIVER BASIN: LANDSCAPE-ECOLOGICAL ASPECTS OF THE STATE OF THE ENVIRONMENT

Nadezhda A. Nikolaeva¹, Dmitry D. Pinigin², Konstantin V. Nikulin³

^{1, 2, 3} V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, SB RAS, Yakutsk, Russia

¹ nna0848@mail.ru, Scopus Author ID: 56909645200, ResearcherID: I-9615-2018

² pinigind@mail.ru, Scopus Author ID: 55752669800 ResearcherID: J-9361-2015

³ nikulin9090@mail.ru



© 2025 Эта работа Николаевой Н.А., Пинигина Д.Д., Никулина К.В. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Abstract. The part of the Kolyma River basin located in the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) is characterized by extremely harsh natural and climatic factors and difficult economic conditions. The abundance of natural resources there has led to the development of mining and energy industries, whose impact on fragile northern landscapes causes environmental problems, which makes a study into these landscapes a relevant research topic. The paper aims to explore the landscape-ecological aspects of the Kolyma River basin in the Zyryansky coal mining area and to assess the stability of the landscapes under mechanical impact. We used geoecological and landscape research approaches, including both traditional methods and modern geoinformation methods. The landscapes' stability degree was estimated by ranking permafrost and bioclimatic characteristics of the landscapes through assigning points to them. Then four groups of landscapes with varying degrees of stability, from relatively stable to highly unstable, were identified. A stability degree map for the studied area of the Kolyma River basin has been developed. Ecological state of the natural environment in the upper reaches of the Kolyma River was studied by means of a comparative analysis of statistical materials on atmospheric air and surface waters pollution. As a result, there has been noted a decrease in the amount of captured and neutralized pollutants entering the atmosphere, which is due to the ineffectiveness of ash traps. In addition, insufficiently treated wastewater is discharged into the river network due to the lack of an adequate number of treatment facilities. In order to prevent adverse effects of industrial pressure on the natural environment, it is necessary to ensure the implementation of and control over a system of environment protection measures, including these ensuring the efficiency of treatment facilities for air and water protection.

Keywords: Kolyma River basin, coal strip mine, impact, landscapes, permafrost and bioclimatic characteristics, stability

Funding. The work was carried out as part of the state assignment (No. FWRS-2024-0031) 'Comprehensive research on energy priorities of the Republic of Sakha (Yakutia) taking into account the environmental impact and development of approaches and methods of increasing the energy efficiency and reliability of local energy systems in remote isolated areas of the North and the Arctic'.

For citation: Nikolaeva, N.A., Pinigin, D.D., Nikulin, K.V. (2025). The Kolyma River basin: landscape-ecological aspects of the state of the environment. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp.147–159. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-147-159

Введение

Известно, что недра Северной и Северо-Восточной Якутии являются вместилищем огромных запасов стратегически важных полезных ископаемых. В настоящее время реалии экономической ситуации в России диктуют необходимость их дальнейшего развития и освоения объектов топливно-энергетического комплекса.

Территории Северной и Северо-Восточной Якутии, включая бассейн р. Колымы, представляют собой зону экологически рискованного природопользования, что объясняется крайне суровыми природно-климатическими условиями, труднодоступностью, недостаточной изученностью. В этих условиях один из основных факторов рисков – слабая устойчивость ландшафтов, обусловленная сплошным распространением многолетнемерзлых пород и недостатком солнечной радиации, что требует проведения оценки степени устойчивости ландшафтов и является особенно актуальным.

Объекты топливно-энергетического комплекса региона обеспечивают теплом и электроэнергией огромную площадь в 2,4 млн км², являются децентрализованными и включают в себя дизельные, газовые, солнечные и ветроэлектростанции, теплоэлектроцентраль, котельные [23], а также разрабатываемое открытым способом Надеждинское месторождение каменного угля, входящее в состав крупного Зырянского угольного бассейна в верховьях р. Колымы [1]. Потенциал увеличения добычи коксующегося каменного угля, которую осуществляет предприятие Зырянский угольный разрез, оценивается в размере до 1 млн т в год, что позволит экспорттировать его в страны Азиатско-Тихоокеанского региона [11]. Полное развертывание производственной деятельности предприятия неизбежно приведет к изменению всех компонентов природной среды, что при недостаточной реализации превентивных мер может привести к возникновению негативных экологических последствий.

Целью работы является оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы (в пределах Якутии) и анализ экологического состояния природной среды территории разработки Зырянского угольного разреза.

Природные условия и объекты исследования

Территория относится к арктическому и субарктическому климатическим поясам с резко континентальным климатом, характеризующимся большими годовыми колебаниями температуры и малым количеством осадков. Среднегодовая температура составляет около -11 °C, а годовое количество осадков колеблется в пределах 260–310 мм. Среднегодовая температура отрицательная (-11,7 °C), а колебания температуры превышают 90 °C. Зима длинная, до 6 месяцев, и очень холодная, с преобладанием антициклонического типа погоды. Лето сравнительно жаркое и сухое [6].

Р. Колыма образуется слиянием рек Кулу и Аян-Юрях, впадает в Восточно-Сибирское море. От места слияния до устья Колыма имеет длину 2600 км, площадь водосбора – 665 тыс. км². Средний годовой расход воды – 3900 м³/с. Уровенный режим Колымы характеризуется высоким весенним паводком и значительным летним августовским. За май–октябрь проходит 90–95 % годового стока. Вскрытие р. Колымы начинается с мая по июнь, средняя продолжительность периода открытой воды – до 127 суток. Температурный режим Колымы отражает суровость климата: у

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

г. Среднеколымск температура поверхности воды выше 10 °C держится в течение 1,5–2 месяцев, у поселка Черский – меньше месяца, в зимние месяцы температура воды в Колыме снижается до 0,25–0,1 °C [12].

Многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение, их толщина превышает 200 м. Многолетнемерзлые породы представлены суглинистыми, песчаными и гравийными грунтами, их криогенная текстура массивная, слоистая и корковая. На исследуемой территории почвы слабые и ледяные, с незасоленным и засоленным типом, минеральным составом и низким содержанием органического вещества [13].

Территория исследования входит в Яно-Колымскую провинцию горных редкостойких лиственничных и кедрово-стланиковых лесов Восточно-Сибирской подобласти светлохвойных лесов. Своеобразие флоры и растительности определяется расположением в области распространения северотаежных лиственничных лесов и лиственничной лесотундры. Характерна мозаика лесов и редколесий, где сообщества лиственницы и кедрового стланика чередуются с участками горных тундр, ерников, ольховников и болот, а также с долинными комплексами растительности. Основной лесообразующей породой является лиственница Каяндера и кедровый стланик. Здесь достаточно четко выделяются три высотных пояса: лесной, подгольцовый и гольцовый, где большую часть лесопокрытой площади занимают низкопродуктивные заросли кедрового стланика и лиственничные редколесья, и редины. Почвы бассейна р. Колымы преимущественно мерзлотно-аллювиальные [19].

Объектом исследования являются ландшафты, прилегающие к долине р. Колымы. Изучаемая территория входит в состав страны физико-географической страны Северо-Восточная Сибирь, ландшафтная структура состоит из 4 ландшафтных провинций арктической зоны РФ [14]: Алазеево-Колымской озерно-термокарстовой тундровой (В.П.4.); Колымской озерно-термокарстовой северотаежной (В.П.2.), Юкагирской низкогорной с преобладанием горноредколесных комплексов (В.П.7.) и Момской среднегорной (В.П.6.) (рис. 1).

Также объектом исследования является Зырянский угольный бассейн, уголь которого отличается высоким качеством – низким и средним содержанием золы и серы. Разработка угля затруднена из-за сложных климатических условий и плохой транспортной доступности. На сегодняшний день большая часть твердого топлива доставляется автотранспортом на склад в поселке Зырянка. В настоящее время уголь с разреза используется как топливо в котельных и ТЭЦ Абыйского, Верхоянского, Верхнеколымского, Момского, Среднеколымского и Нижнеколымского районов, а также поставляется на Чукотку и в Магаданскую область [11].

Методы исследования

Методологическую основу исследования составляет комплексный геоэкологический подход, являющийся совокупностью географического, геосистемного (ландшафтного) [16] и экологического подходов и предполагающий системное изучение связей как между природными, так и техногенными объектами. Также он позволяет адекватно обосновывать выбор направлений территориально дифференцированных природоохранных мероприятий [8]. Геоэкологический подход включает, помимо анализа ландшафтной структуры территории, оценку устойчивости к любым видам антропогенного воздействия, а также выбор приоритетных направлений использования и развития разных типов природных комплексов [5].

Для оценки степени устойчивости природных комплексов территории разработки Зырянского угольного разреза использованы методы оценки состояния природной среды – ранжирования, балльный, ГИС-технологии пространственного анализа, методики оценки потенциальной устойчивости северных ландшафтов [22, 2], а также картографические работы [14, 21, 3]. Разные авторы применяют различные методики оценки устойчивости природных комплексов и критерии оценки [15]. Так, если в работе [15] объектом оценки устойчивости принимается поверхность или геолого-геоморфологическая среда как ее интегральная характеристика, то для оценки устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы приняты их мерзлотные и биоклиматические характеристики. Существует много работ и в области распространения многолетнемерзлых пород [10, 17, 20, 4], в которых основой оценки устойчивости мерзлотных ландшафтов стали льдистость поверхностных отложений и среднегодовая температура пород. В связи с этим оценка устойчивости проведена в отношении механических нарушений поверхностного покрова.

Анализ динамики экологического состояния воздушной среды дан на основе материалов ГБУ «Республиканский информационно-аналитический центр экологического мониторинга» Минэкологии РС (Я) за 2010–2023 гг. [9], динамика гидрохимического состояния поверхностных вод верхнего течения бассейна р. Колымы – по данным статистической обработки материалов сети наблюдений ФГБУ «ЯУГМС» Минэкологии Республики Саха (Якутия) за 2015–2023 гг. [7].

Результаты и обсуждение

Оценка степени устойчивости ландшафтов

Низкая устойчивость арктических ландшафтов к антропогенной нагрузке даже при экстенсивном характере хозяйственной деятельности может привести к экологическим проблемам. Для снижения негативного влияния хозяйственной деятельности целесообразно применение подхода, обеспечивающего решение экологических проблем в соответствии с закономерностями изменения ландшафтов под воздействием техногенных факторов. В связи с этим на территории бассейна р. Колымы была проведена оценка степени устойчивости ландшафтов.

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

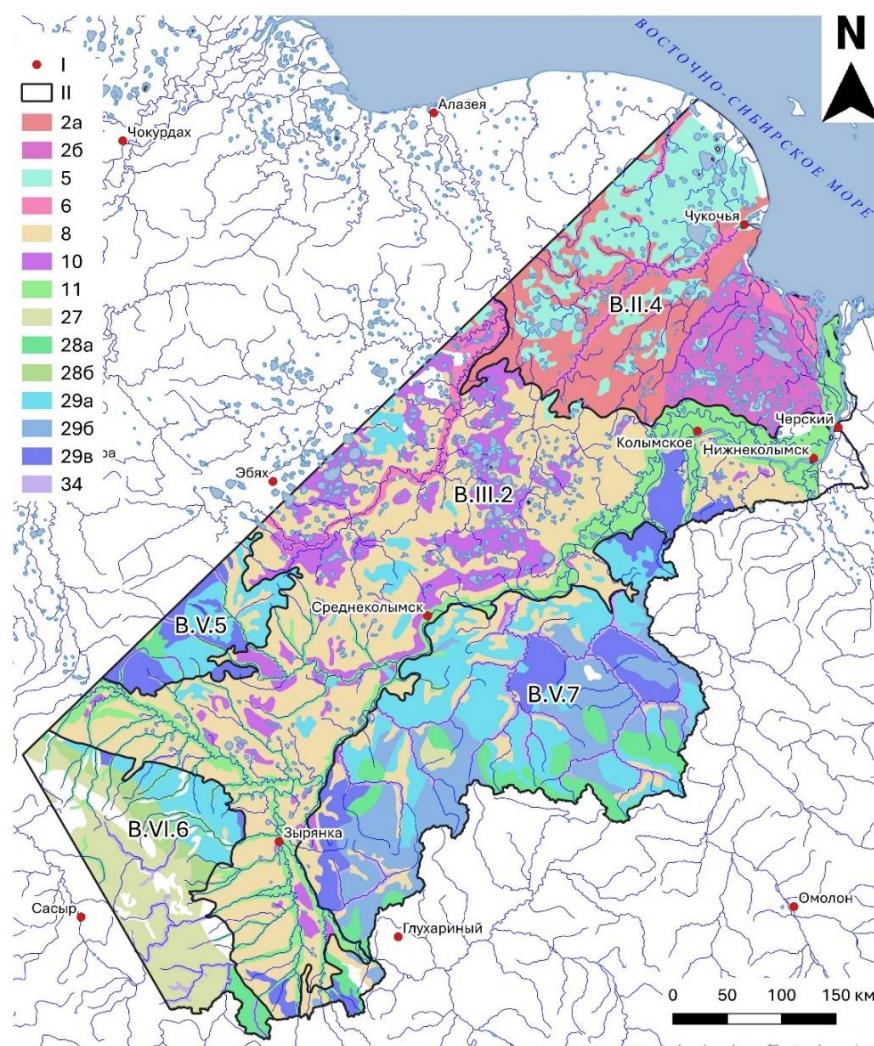


Рис. 1. Карта-схема ландшафтов бассейна р. Колымы. Условные обозначения: I – населенные пункты; II – границы ландшафтных провинций: B.II.4. – Алазеево-Колымской озерно-термокарстовая тундровая; B.III.2. – Колымской озерно-термокарстовая северотаежная, B.V.7. – Юкагирская низкогорная с преобладанием горноредколесных комплексов, B.VI.6. – Момская среднегорная; 2а – типичные кустарничково-лишайниковые и моховые тундры межаласные; 2б – типичные кустарничково-лишайниковые и моховые тундры долинно-морские; 5 – тундроболота полигонально-валиковые; 6 – тундровая долинная

растительность низкотеррасового типа местности; 8 – северотаежные редколесные лиственничные леса ерниковые; 10 – северотаежные мари и редины лиственнично-моховые; 11 – северотаежная долинная растительность средневысотно-террасового типа местности; 27 – лишайниковые и кустарничково-моховые; 28а – подгольцовые заросли кедрового стланика в сочетании с ольховником и ерником склоновые делювиально-коллювиальные; 28б – подгольцовые заросли кедрового стланика в сочетании с ольховником и ерником элювиальные; 29а – горноредколесные лиственничники и редины приводораздельные элювиальные; 29б – горные лиственничные редколесья и редины склоновые делювиально-коллювиальные; 29в – горные лиственничные редколесья и редины склоновые делювиально-солифлюкционные; 34 – горноредколесная среднетаежная долинная растительность

Fig. 1. Map of the landscapes of the Kolyma River basin.

Legend: I - settlements; II – boundaries of landscape provinces: B.II.4. – Alazeya-Kolyma lacustrine-thermokarst tundra; B.III.2. – Kolyma lacustrine-thermokarst northern taiga; B.V.7. – Yukagir low-mountain province with a predominance of mountain sparse forest complexes; B.VI.6. – Momskaya mid-mountain province; 2а – typical shrub-lichen and moss inter-alas tundras; 2б – typical shrub-lichen and moss valley-sea tundras; 5 – tundra-bog polygonal microrelief; 6 – tundra valley vegetation of the low-terrasse type of terrain; 8 – northern-taiga larch and dwarf birch sparse forests; 10 – northern-taiga mari and larch-moss sparse forests; 11 – northern-taiga valley vegetation of the medium-altitude-terrasse type of terrain; 27 – lichen and shrub-moss; 28а – subalpine thickets of dwarf pine in combination with alder and dwarf birch, deluvial-colluvial; 28б – subalpine thickets of dwarf pine in combination with alder and dwarf birch, eluvial; 29а – mountain open larch forests and open watershed eluvial forests; 29б – mountain larch woodlands and open slope forests, deluvial-colluvial; 29в – mountain larch woodlands and open slope forests, diluvial-solifluctional; 34 – mountain open-wooded middle-taiga valley vegetation

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Известно, что устойчивость мерзлотных ландшафтов зависит, кроме льдистости поверхностных отложений грунтов, от изменчивости температуры многолетнемерзлых пород, глубины сезонно-талого слоя, мощности защитного слоя. Также она во многом зависит от изменчивости климатических и биологических характеристик [20].

Оценка устойчивости ландшафтов изучаемой территории, занятых тундровой, горно-тундровой и северо-таежной растительностью, основана на характеристиках их мерзлотных и биоклиматических условий.

Так, в качестве показателей мерзлотных условий приняты мощность сезонно-мерзлого и сезонно-талого слоев, м; характер распространения многолетнемерзлых пород, среднегодовая температура горных пород, °С и объемная льдистость горных пород, в долях единиц. Биоклиматические условия – биологическая продуктивность, запасы фитомассы (ц/га), теплообеспеченность (сумма температур за период со среднесуточными температурами выше 10 °С) и радиационный индекс сухости, ккал см² (степень увлажнения). Для характеристики мерзлотных показателей природных комплексов бассейна р. Колымы использованы данные [14, 21], биоклиматических показателей – анализ материалов [21, 3], которые сведены в табл. 1. Обозначения ландшафтов даны согласно [14].

Таблица 1

Мерзлотные и биоклиматические показатели ландшафтных провинций территории бассейна р. Колымы
Permafrost and bioclimatic indicators of landscape provinces in the Kolyma River basin

Ландшафты	Мощность (стм и см), м	Температура мерзлых пород °С	Объемная льдистость пород, доли ед..	Характер распространения мерзлых пород	Продуктивность, ц/га	Запасы фитомассы, ц/га	Сумма активных температур (больше 10 °С)	Радиационный индекс сухости, ккал. см ² /год
B.II.4 2a	0,3–0,5	-8...-10	0,8	сплошной	минимально продуктивные менее 20	20–130	очень холодные отсутств. период активных температ.	недостат. влажные 1,5–2,0
2б	0,4–0,7	-8...-10	0,2–0,4	сплошной	минимально продуктивные менее 20	75–330	очень холодные, менее 600 отсутств. период активных темп.	недостат. влажные 1,5–2,0
5	0,4–0,8	-6...-8	0,6	сплошной	минимально продуктивные, менее 20	20–130	очень холодные, менее 600	влажные 0,5–1,0
6	0,4–0,8	-6...-9	0,2–0,4	прерывист.	минимально продуктивные, менее 20	75–330	холодные, менее 600	умеренно влажные 1,0–1,5
B.III.2 8	0,6–0,8	-4...-6	0,8	сплошной	низкопродуктивные 20–40	400–1000	умеренно холодные, 600–800	умеренно влажные 1,0–2,0
10	0,6–0,8	-3...-6	0,6	сплошной	низкопродуктивные 20–40	400–1000	умеренно холодные, 600–800	умеренно влажные 1,0–2,0
11	0,5–1,0	-2...-6	0,2–0,4	сплошной.	низкопродуктивные 20–40	400–1000	умеренно холодные, 800–1000	умеренно влажные 1,0–2,0
B.V.7. 28a	2,0–3,0	-4...-7	0,2–0,4	сплошной	среднепродуктивные 40–60	300–800	холодные 600–800	влажные 1,0–1,5
29a	1,5–2,5	-2...-6	до 0,2... 0,2 – 0,4	сплошной	низкопродуктивные 20–40	ок. 1000	умеренно холодные 800–1000	недостат. влажные 1,5–2,0
29б	1,5–2,0	-2...-6	0,2 – 0,4	сплошной	низкопродуктивные 20–40	ок. 1000	умеренно холодные 800–1000	недостат. влажные 1,5–2,0
29в	1,0–2,0	-2...-4	0,6	сплошной	низкопродуктивные 20–40	ок. 1000	умеренно холодные 800–1000	недостат. влажные 1,5–2,0
34	0,6–1,4	-2...-5	0,2–0,4	сплошной	среднепродуктивные 40–60	ок. 1000	умеренно холодные 1000–1200	недостат. влажные 1,5–2,5

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Окончание табл. 1

Ландшафты	Мощность (стс и смс), м	Температура мерзлых пород, °C	Объемная льдистость пород, доли ед.	Характер распространения мерзлых пород	Продуктивность, ц/га	Запасы фитомассы, ц/га	Сумма активных температур (больше 10 °C)	Радиационный индекс сухости, ккал·м ² /год
B.VI.6 27	0,7–2,0	-8...-11	до 0,2... 0,2–0,4	сплошной	низкопродуктивные 20–40	300–00	холодные 600–800	влажные 1,0–1,5
286	1,5–2,5	-6...-8	до 0,2... 0,2–0,4	сплошной	среднепродуктивные 40–60	300–00	холодные 600–800	влажные 1,0–1,5
29а	1,5–2,5	-2...-6	до 0,2... 0,2–0,4	сплошной	низкопродуктивные 20–40	ок. 1000	умеренно холодные 800–1000	недостат. влажные 1,5–2,0

Оценка степени устойчивости произведена путем группирования принятых показателей в зависимости от их влияния на снижение устойчивости ландшафта: не влияет – 1 балл; слабо влияет – 2 балла; заметно влияет – 3 балла; нарушает – 4 балла. Суммарное количество баллов каждой группы показывает степень их устойчивости: меньшее количество баллов характеризует более устойчивый ландшафт, а большее – менее устойчивый (табл. 2).

Таблица 2

Критерии оценки влияния природных компонентов на снижение устойчивости ландшафтов
Criteria for assessing the influence of natural components on the reduction in the landscapes' stability

Геокриологические и биоклиматические показатели	Оценка влияния в баллах			
	1 балл относительно устойчивые	2 балла относительно неустойчивые	3 балла неустойчивые	4 балла крайне неустойчивые
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	2,0–3,0	1,5–2,5	1,0–2,0	менее 1,0
Температура грунтов, °C	От -5 ° и ниже	от -5 до -2 °	от -2 до -1 °	от -1 до +1 °
Льдистость отложений (объемная), отн. ед.	0,1–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6 и более
Характер распространения многолетнемерзлых пород	сплошной	сплошной с подрусловыми таликами	прерывистый	Островной
Продуктивность, ц/га	повышенно продуктивные, 60–80	средне продуктивные, 40–60	низкопродуктивные, 20–40	минимально продуктивные менее 20
Запасы фитомассы, ц/га	1200–2000	400–1000	330–720	20–130
Сумма активных температур (больше 10 °C)	умеренно-теплые, 1200–1400 и выше	умеренно холодные, 800–1000, 1000–1200	холодные, 600–800	очень холодные, менее 600
Радиационный индекс сухости, ккал·м ² /год	влажные, 0,5–1,5	умеренно влажные, 1,0–1,5;	недостаточно влажные, 1,5–2,0–2,5	избыточно влажные менее 0,5

В результате была получена шкала степеней устойчивости групп природных комплексов территории бассейна р. Колымы: относительно устойчивые – 16 баллов и ниже; относительно неустойчивые – 17–19 баллов; неустойчивые – 20–23 балла; 24 баллов и выше – крайне неустойчивые.

Суммарная оценка степени устойчивости ландшафтов территории бассейна р. Колымы представлена в табл. 3.

Расположение всех ландшафтных провинций в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород обусловило их устойчивость к любым проявлениям техногенного давления (1 балл). Большинство исследуемых природных комплексов имеет низкую и очень низкую температуру горных пород (от -2–3 °C...-6 °C до -8 °C...-10 °), что определяет слабую интенсивность возможного проявления мерзлотно-геологических процессов, т.е. устойчивость (1 балл). В связи с тем, что предел возможного разрушения морфолитогенной основы ландшафтов определяется полным вытаиванием подземного льда, наиболее опасными для освоения являются территории с мощными подземными льдами. У всех провинций исследуемой территории высокая льдистость пород – 0,3–0,6 отн. ед. в среднем, что обуславливает их неустойчивость к техногенному вмешательству (3–4 балла).

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Таблица 3

Оценка устойчивости ландшафтов территории бассейна р. Колымы
Assessment of the landscapes' stability in the Kolyma River basin

<i>Ландшафт</i>	<i>Мощность стока и снега, м</i>	<i>Температура почод, град</i>	<i>Объемная льдистость почод, %</i>	<i>Характер распространения мерзлоты</i>	<i>Продолжительность, ч/га</i>	<i>Запасы фитомассы, ч/га</i>	<i>Теплоповеденность, град</i>	<i>Индекс сухости, ккал. см²/200</i>	<i>Сумма баллов</i>
2а	4	1	4	1	4	4	4	3	25
2б	4	1	2	1	4	3	4	3	22
5	4	1	4	1	4	4	4	1	23
6	4	1	2	3	4	3	4	2	23
8	4	1	4	1	3	2	3	2	20
10	4	1	4	1	3	2	3	2	20
11	4	2	2	1	3	2	3	2	19
28а	1	1	2	1	3	3	4	1	16
29а	2	1	2	1	3	2	2	3	16
29б	2	2	2	1	2	2	2	3	16
29в	3	2	4	1	2	2	2	3	19
34	4	2	2	1	2	2	2	3	18
27	3	1	2	1	3	3	3	2	18
28б	2	1	2	1	2	3	3	2	16
29а	2	1	2	1	3	2	2	3	16

Биоклиматические условия исследуемых ландшафтных провинций в основном определяют их неустойчивость и слабую степень устойчивости.

Анализ полученных результатов позволил дать оценку устойчивости природных комплексов бассейна р. Колымы. Относительно устойчивыми по сумме баллов являются подгольцовые заросли кедрового стланика, а также горноредколесные приводораздельные и коллювиальные ландшафты Юкагирской низкогорной и Момской среднегорной провинций; относительно неустойчивыми – горноредколесные солифлюкционные Юкагирской провинции ландшафты, северотаежные редколесные межаласные, маревые аласные и долинные средневысотные ландшафты Колымской озерно-термокарстовой провинции, а также ландшафты Момской провинции – горноредколесные лиственничники и редины кустарничково-лишайниковые и моховые элювиальные; неустойчивыми – ландшафты Алазеи-Колымской озерно-термокарстовой провинции: тундроболота аласные и долинные ландшафты типичной тундры межаласные. Типичные кустарничково-лишайниковые и моховые тундры, расположенные в северной части Алазеи-Колымской провинции, обозначены как крайне неустойчивые к любым видам антропогенной нагрузки. Горноредколесные и подгольцовые ландшафты, находящиеся в северной части Алазеи-Колымской провинции, обозначены как крайне неустойчивые к любым видам антропогенной нагрузки. Территориальное распределение ландшафтов с различными степенями устойчивости в основном соотносится с закономерностями широтно-зонального распределения их мерзлотных и биоклиматических характеристик, местами прерываемых интразональными ландшафтами – мирами, тундрами, а также подгольцовыми ландшафтами в горных провинциях.

По результатам оценки устойчивости, методом ГИС-технологий разработана карта-схема оценки степеней устойчивости ландшафтов изучаемой территории бассейна р. Колымы, которая представлена на рис. 2.

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

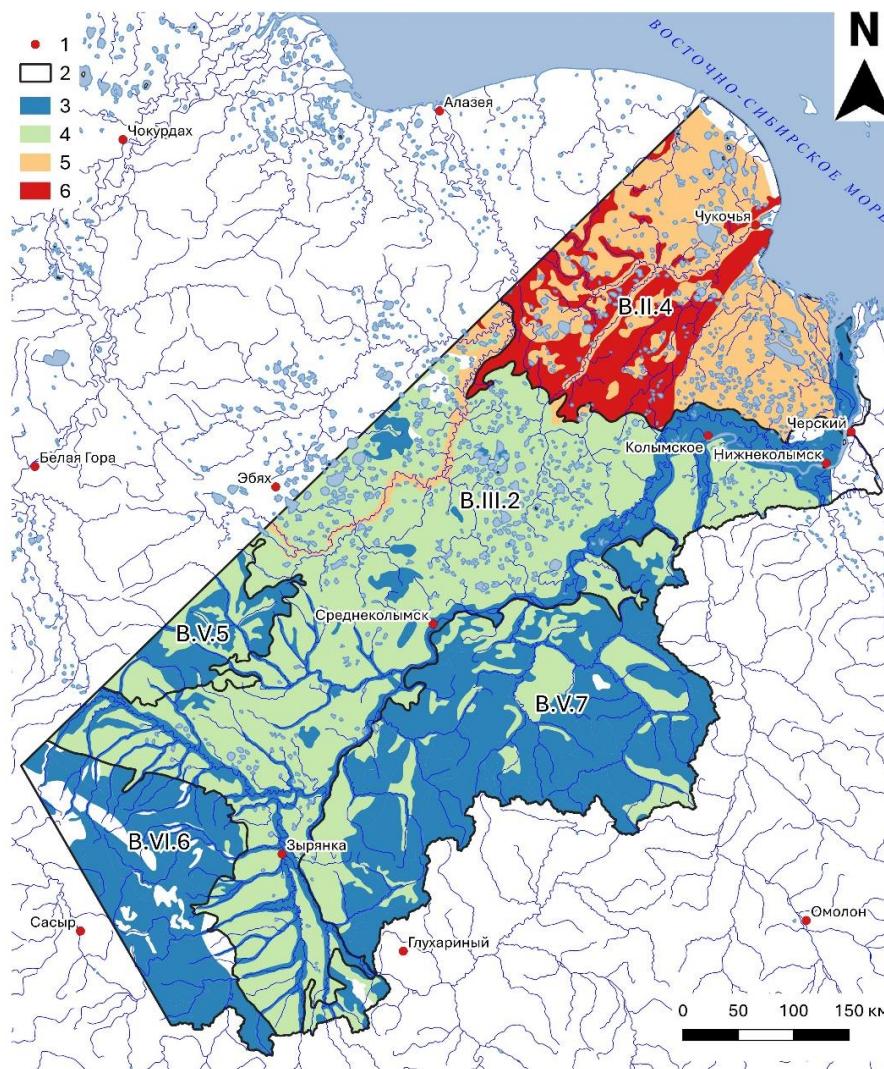


Рис. 2. Карта-схема устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы

Условные обозначения: 1 – населенные пункты; 2 – границы ландшафтных провинций; степень устойчивости ландшафтов: 3 – относительно устойчивые; 4 – относительно неустойчивые; 5 – неустойчивые; 6 – крайне неустойчивые

Fig. 2. Landscape stability in the Kolyma River basin

Legend: 1 - settlements; 2 – boundaries of landscape provinces; landscape stability degree: 3 – relatively stable; 4 – relatively unstable; 5 – unstable; 6 – highly unstable

Оценка экологического воздействия Зырянского угольного разреза

Исследование взаимодействия промышленного производства и природной среды территории освоения при помощи геоэкологического подхода основывается на изучении техногенного воздействия на природную среду и изменений, происходящих в ней. Это предполагает, кроме оценки степени устойчивости природных комплексов, определение факторов и оценку экологического воздействия технического сооружения на наиболее мобильные компоненты природной среды – воздух и воду.

В связи с этим произведена оценка экологического воздействия Зырянского угольного разреза на природную среду бассейна р. Колымы. Основное воздействие при разработке угольных разрезов приходится непосредственно на воздушную и водную среды. При этом негативному воздействию подвергаются все компоненты экосистемы, включая рельеф, воздух, поверхностные и подземные воды, почву, растительный покров и животный мир.

Бассейн включает Верхнеколымский, Среднеколымский и Нижнеколымский административные районы, которые в разной степени испытывают экологические проблемы, связанные с загрязнением атмосферного воздуха и поверхностных вод в результате проведения горных работ.

Воздействие на состояние воздушной среды

Экологическая ситуация на территории верхнего течения р. Колымы (Верхнеколымского района) в основном определяется состоянием воздушного бассейна. На его территории ведется разведка, а также добыча золота

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пингин Д.Д., Никулин К.В.

и каменного угля предприятием «Зырянский угольный разрез». Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются объекты топливно-энергетического комплекса, в состав которых входят угольный разрез, дизельные электростанции, котельные, а также автотранспорт и лесные пожары. Анализ статистики загрязнения атмосферного воздуха за последние пять лет (2018–2022 гг.) показывает увеличение выбросов твердых веществ с 1286 до 1561 т [9]. При этом количество уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу от этих источников, с каждым годом уменьшается. Фактическое количество уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ зависит от объема поступающих на очистные сооружения загрязняющих веществ. Согласно данным Министерства экологии РС(Я), начиная с 2018 г., показатели загрязняющих веществ, поступающих на очистные сооружения, близки к нулю [9] (рис. 2).

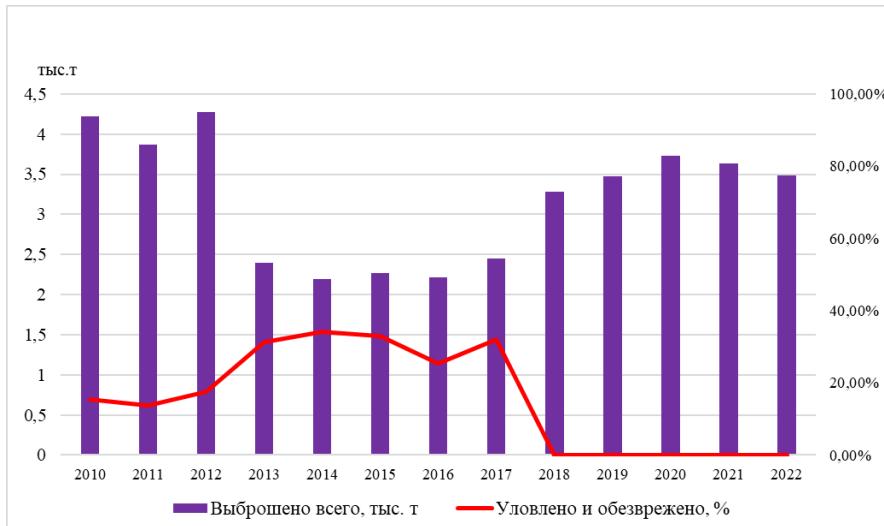


Рис. 3. Выбросы загрязняющих веществ в период с 2010 по 2022 г.
Fig. 3. Pollutant emissions from 2010 to 2022

В 2022 г. в Верхнеколымском районе от этих источников в атмосферу было выброшено 3,49 тыс. т загрязняющих веществ. По данным [9] приведены фоновые концентрации загрязняющих веществ атмосферного воздуха в п. Зырянка (рис. 4).

Работа тепловых котельных, особенно работающих на угле или мазуте, оказывает негативное воздействие на окружающую среду, включая загрязнение воздуха и воды. При сжигании угля выделяются вредные элементы и соединения, такие как триоксид и диоксид серы,monoоксид и диоксид углерода, которые способствуют возникновению парникового эффекта и представляют опасность для здоровья. При неполном сгорании образуется зола, содержащая твердые частицы и токсичные вещества, такие как уран, мышьяк, ванадий, свинец, радиоактивные изотопы и бенз(а)пирен, являющийся канцерогенным соединением. При сжигании мазута выделяется большое количество диоксида серы, способствующего образованию кислотных дождей.

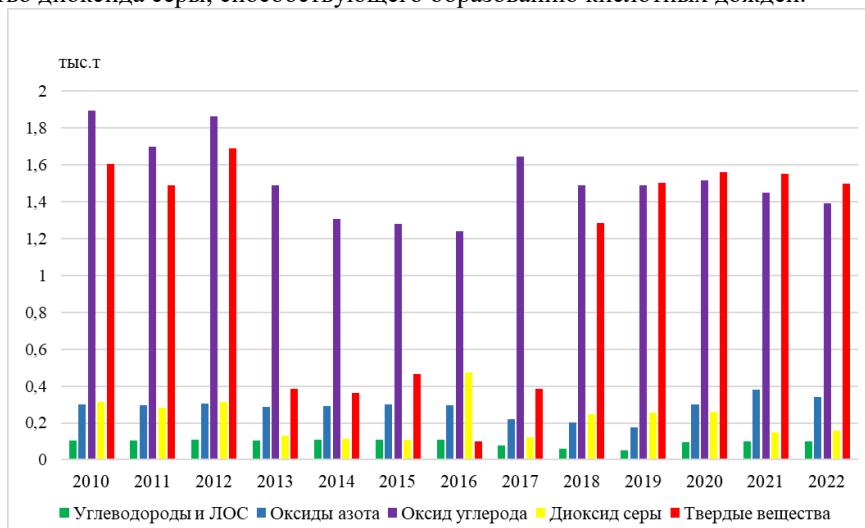


Рис. 4. Структура выбросов от стационарных источников
Fig. 4. Structure of emissions from stationary sources

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Воздействие на состояние водной среды

Территория исследования расположена в бассейне р. Колымы, которая включает в себя большое количество рек и ручьев общей протяженностью более 592 тыс. км. Большинство этих водных путей относительно короткие, 98 % из них имеют длину менее 10 км. Распределение речного стока по годам крайне неравномерно: большая часть стока приходится на весенне-летний период – 79,5 %, на зимний период приходится всего 4,3 %, а на осенний – 16,2 % стока [18].

Загрязнение поверхностных вод в бассейне р. Колымы происходит в основном за счет сточных вод угледобывающей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Кроме того, в периоды высокой водности поверхностный сток с территорий населенных пунктов способствует загрязнению, и в водоемы бассейна попадают такие загрязняющие вещества, как взвешенные частицы и соединения тяжелых металлов. Помимо всего прочего, наличие маломерных судов и водного транспорта приводит к загрязнению нефтепродуктами.

Загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу, осаждаются на водной поверхности, что приводит к изменению гидрохимического режима водных объектов. Кроме того, за последние пять лет, с 2018 по 2022 г., объем сбрасываемых сточных вод, требующих очистки, увеличился с 0,48 до 0,73 млн м³. Загрязненные и недостаточно очищенные сточные воды в связи с отсутствием очистных сооружений сбрасываются в водные объекты без очистки во всех населенных пунктах, кроме с. Угольное, где имеется единственная станция биологической очистки. Для достижения желаемого эффекта необходимо кратно увеличить количество очистных сооружений в районе.

Основными загрязняющими веществами воды бассейна р. Колыма являются соединения марганца, алюминия, железа общего, меди и нефтепродуктов. Качественный состав воды бассейна р. Колымы оценивается 3 классом – «очень загрязненная» [7].

Максимальная кратность превышений предельно-допустимых концентраций (ПДК_{px}) нормируемых веществ в воде рек рыбохозяйственного значения бассейна Колымы за последние годы представлена в табл. 4.

Таблица 4
Максимальные превышения предельно-допустимых концентраций в воде рек бассейна р. Колымы (2015–2023 гг.)
Maximum exceedances of MPC values in the water of the Kolyma basin rivers (2015–2023)

Пункт отбора	Максимальная кратность превышения ПДК_{px}									
	Фенолы	Нитрит-ион	Аммоний-ион	Стронций	Алюминий	Железо	Марганец	Медь	Цинк	Ванадий
р. Колыма – п. Зырянка	5	2,4	1,7	2,2	6,7	7,3	12,4	13,7	5,6	-
р. Ясачная – п. Зырянка	5	2,6	-	1,4	3,4	2,7	9,5	9,6	1,2	-
р. Ясачная – с. Верхнеколымск	2,6	3,2	1,6	-	5,5	5,8	3,6	5,9	-	-
р. Ясачная – с. Нелемное	1,4	3	1,9	-	3	1,9	5,5	4,8	-	-
р. Зырянка – с. Угольное	-	1,6	1,3	-	37,3	13,7	7,5	98	-	1,4

Река Колыма. В районе п. Зырянка содержание взвешенных веществ, согласно лабораторным исследованиям, находилось на уровне до 3,6 мг/дм³, сухого остатка – 162 мг/дм³. Хозяйственно-питьевые нормативы превысили по показателю содержания органических веществ (ХПК) в 3,1 раза.

Река Ясачная. Качество воды оценено в створах 3 населенных пунктов: п. Зырянки, с. Верхнеколымска, с. Нелемного. В районе п. Зырянка содержание взвешенных веществ находилось на уровне до 3,0 мг/дм³, сухого остатка – 229 мг/дм³. Хозяйственно-питьевые нормативы превысили по показателю ХПК в 1,8 раза. В районе с. Верхнеколымск содержание взвешенных веществ находилось на уровне до 3,0 мг/дм³, сухого остатка – 225 мг/дм³. Хозяйственно-питьевые нормативы превысили по показателю ХПК в 3 раза. В районе с. Нелемное содержание взвешенных веществ находилось на уровне до 4,8 мг/дм³, сухого остатка – 195 мг/дм³. Хозяйственно-питьевые нормативы превысили по показателю ХПК в 1,1 раза.

Река Зырянка. В 2021 г. в районе с. Угольное по результатам химико-аналитических исследований установлено превышение предельно-допустимых концентраций по рыболовным нормативам (ПДК_{px}) в плане содержания нитрит-иона, аммоний-иона, алюминия, железа общего, марганца, меди, ванадия. Хозяйственно-питьевые нормативы превысили по показателю ХПК в 5,2 раза.

Таким образом, в основных рыболовных водотоках бассейна ежегодно наблюдалось превышение ПДК_{px} нормируемых веществ.

Увеличение антропогенного загрязнения и ухудшение качества воды обусловлены, прежде всего, поступлением значительного количества загрязняющих веществ с речным стоком, смытом с водосборной площади, а также загрязняющими веществами техногенного происхождения.

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Заключение

Крайний Север Республики Саха (Якутия) относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород с крайне суровыми природно-климатическими условиями, неблагоприятными для развития промышленности, строительства, транспорта, сельского хозяйства. В то же время регион характеризуется исключительными минеральными и топливно-энергетическими ресурсами, что в современных условиях диктует необходимость интенсификации освоения топливно-энергетических ресурсов. При этом происходит негативное экологическое воздействие на уязвимые арктические природные комплексы со слабой степенью устойчивости и низкой восстановительной способностью.

На основе геоэкологического подхода проведены исследования природного состояния территории бассейна р. Колымы, включающие оценку степени устойчивости ландшафтов и оценку экологического воздействия Зырянского угольного комплекса на наиболее мобильные компоненты природной среды. Оценка степени устойчивости ландшафтов бассейна р. Колымы осуществлена в зависимости от влияния мерзлотных и биоклиматических показателей ландшафтов на снижение их устойчивости к антропогенному воздействию. Это позволило отнести их к природным комплексам с различными степенями устойчивости, от относительно устойчивых к крайне неустойчивым, в зависимости от локального сочетания их мерзлотных и биоклиматических характеристик. На этой основе составлена карт-схема степени устойчивости изучаемой территории бассейна р. Колымы в масштабе 1: 5000000.

Анализ динамики экологического состояния воздушной среды и гидрохимического состояния поверхностных вод верхнего течения бассейна р. Колымы показал, что увеличение выбросов и сбросов загрязняющих веществ в воздух и воду является результатом антропогенного воздействия. Воздух загрязнен твердыми веществами, оксидами азота и углерода, диоксидом серы, углеводородами и летучими органическими соединениями. В основных водотоках бассейна ежегодно наблюдаются превышения предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ по рыбохозяйственным нормативам, вода оценивается как очень загрязненная.

Результаты исследования могут послужить основой для оптимизации природопользования территории бассейна р. Колымы и обоснования мероприятий по снижению негативных последствий на природную среду.

Библиографический список

1. Батутина Н.С., Гаврилов В.Л., Хоютанов Е.А., Федоров В.И. Угольные месторождения арктической зоны Якутии и Чукотки: состояние сырьевой базы и возможности ее освоения // Наука и образование. 2014. № 4. С. 5–11.
2. Букс И.И. Некоторые методические вопросы определения потенциальной устойчивости природных комплексов в целях прогнозирования их состояния // Методология и методы географического прогнозирования. М., 1983. С. 104–113.
3. Букс И.И., Байбордин В.Н., Тимирбаева Л.С. Корреляционная эколого-фитоценотическая карта. Масштаб 1:7 500 000 // Сер. Карты природы, населения и хозяйства Азиатской России. М., 1977. 1 л.
4. Васильев И.С., Федоров А.Н., Варламов С.П. и др. Устойчивость криогенных ландшафтов на северном участке трассы железной дороги Якутии // Наука и образование. 2009. № 2. С. 4–8.
5. Воробьев И.Б. Системный подход геоэкологической оценки территории // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19, № 5. С. 1485–1487.
6. Гаврилова М.К. Климат центральной Якутии. Якутск: Кн. Изд-во, 2003. 150 с.
7. ГБУ РС(Я) «Республиканский информационно-аналитический центр экологического мониторинга». URL: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/gbu-rsja-respublikanskij-informatsionno-analiticheskij-tsentr-ekologicheskogo-monitoringa> (дата обращения: 07.02.2024)
8. Геоэкологические основы территориального проектирования и планирования / отв. ред. В.С. Преображенский, Т.Д. Александрова. М.: Наука, 1989. 114 с.
9. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) до 2023 года. Министерство экологии, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия). Якутск, 2023.
10. Граве Н.А., Турбина М.И. Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты / отв. ред. Н.А. Граве, М.И. Турбина Якутск, 1980. С. 6–12.
11. «Зырянский угольный разрез» ориентируется на рост добычи угля до 1 млн тонн в год. URL: <https://www.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3284347> (дата обращения: 07.02.2024)
12. Кириллов А.Ф., Сивцева Л.Н., Жирков Ф.Н. и др. Рыбообразные и рыбы бассейна реки Колыма // Молодой ученый. 2014. № 2 (61). С. 269–277.
13. Материалы оценки воздействия на окружающую среду намечаемой хозяйственной и иной деятельности. Объект: «Строительство котельной № 11» в п. Зырянка Верхнеколымского улуса». Якутск.: Проектная мастерская ФДСО ГУП «ЖКХ РС(Я)», 2021. 150 с.
14. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др. / под ред. М.Н. Железняк. 2018. 2 л.
15. Скрипко М.С., Платонова С.Г., Скрипко В.В. Оценка устойчивости поверхности (на примере Обь-Чумышского междуречья, Алтайский край) // Географический вестник. 2022. № 3 (62). С. 109–125. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-3-109-125
16. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
17. Сташенко А.И. Оценка устойчивости природной среды районов криолитозоны к техногенным воздействиям // Известия ВГО. 1987. Т. 119, Вып. 4. С. 301–306.
18. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Колыма. Общая характеристика речного бассейна. 2014. Кн. 1. С. 44–53.

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

19. Тихменев П.Е., Пугачёв А.А., Тихменев Е.А. Экологические аспекты восстановления земель, нарушенных при разработке месторождений серебра на Севере Дальнего востока России // Вестник Северо-Восточного государственного университета. 2017. № 28. С. 72–79.
20. Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты, их устойчивость и восстановление // Лес и вечная мерзлота. 2000. С. 17–21.
21. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. и др. Мерзлотные ландшафты Якутии: пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР». М.: ГУГК, 1989. 70 с.
22. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. Серия 5. География. 1994. № 1. С. 56–65.
23. Энергетики Сахаэнерго успешно... URL: <https://in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/51862-energetiki-sahaenergo-uspeshno-proshli-osenne-zimnii-period.html> (дата обращения: 07.02.2024)

References

1. Batugina N.S., Gavrilov V.L., Khoyutanov E.A., Fedorov V.I. (2014), Coal deposits of the Arctic zone of Yakutia and Chukotka: state of the raw material base and its development opportunities, *Science and education*, no. 4, pp. 5–11.
2. Bux I.I. (1983), Some methodological issues of determination of potential sustainability of natural complexes in order to predict their condition, *Methodology and methods of geographical forecasting*, Moscow, pp. 104–113.
3. Bux I.I., Bayborodin V.N., Timirbayeva L.S. (1977), Correlation ecological-phytocytic map. Scale 1:7 500,000 in *Maps of nature, population and economy of Asian Russia series*, Moscow. 1 sheet.
4. Vasiliev I.S., Fedorov A.N., Varlamov S.P. et al (2009), Stability of cryogenic landscapes on the northern section of the railway route Yakutia, *Science and Education*, no. 2, pp. 4–8.
5. Vorobyeva I.B. (2014), System Approach to Geoecological Assessment of the Territory, *Vestnik TSU*, vol.19, no.5, pp. 1485–1487.
6. Gavrilova M.K. (2003), *Klimat central'noj Jakutii* [Climate of central Yakutia], Knizhnoye Izdatelstvo, Yakutsk, Russia.
7. GBU RS(Ja) «Respublikanskij informacionno-analiticheskij centr jekologicheskogo monitoringa» [GBU RS(I) «Republikan Information and Analytical Center for Environmental Monitoring». Official website], available at: <https://minpriroda.sakha.gov.ru/gbu-rsja-respublikanskij-informativno-anacheskij-entrekologicheskogo-monitoringa> (accessed 07 February 2024).
8. Preobrazhensky V.S., Alexandrova T.D. (eds.) *Geojekologicheskie osnovy territorial'nogo proektirovaniya i planirovaniya* [Geoecological bases of territorial design and planning] (1989), Science, Moscow, USSR.
9. Gosudarstvennyj doklad o sostojanii i ohrane okruzhajushhej sredy Respubliki Saha (Jakutija) do 2023 goda [State report on the state and protection of the environment of the Republic of Sakha (Yakutia) until 2023] (2023), Ministry of Ecology, Nature Management and Forestry of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia.
10. Gráve N.A., Turbina M.I. (eds.) (1980) *Ustoichivost' poverhnosti k tehnogennym vozdejstvijam v oblasti vechnoj merzloty* [Surface resistance to man-made impacts in the field of eternal permafrost], Yakutsk, USSR.
11. «Zyrjanskij ugol'nyj razrez» orientiruetja na rost dobychi uglja do 1 mln tonn v god [«Zyryansk Coal Mine» focuses on the growth of coal production to 1 million tons per year], available at: <https://www.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3284347> (accessed 07 February 2024).
12. Kirillov A.F., Sivtseva L.N., Zhirkov F.N. et al. (2014) Fish and fish of the basin of the Kolyma River, *Young Scientist*, no. 2(61), pp. 269–277.
13. Materialy ocenki vozdejstvija na okruzhajushhuju sredu namechaemoj hozjajstvennoj i inoj dejatel'nosti. Objekt: «Stroitel'stvo kotel'noj №11» v p. Zyrjanka Verhnekolymskogo ulusa» Environmental impact assessment of proposed economic and other activities. Object: «Construction of boiler house no.11 in Zyryanka, Verkhokolymsky Ulus»] (2021), Yakutsk, Russia.
14. Fedorov A.N., Torgokin Y.I., Shestakova A.A., Vasiliev N.F., Makarov V.S. et al. (2018) *Merzlotno-landshaftnaja karta Respubliki Saha (Jakutija)*. Masshtab 1: 1 500 000 [Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1: 1,500,000], Yakutsk, Russia.
15. Skripko M.S., Platonova S.G., Skripko V.V. (2022) Surface stability assessment (a case study of the Ob-Chumysh inter-fluwe, Altai region), *Geographical Bulletin*, no. 3(62), pp. 109–125, doi: 10.17072/2079-7877-2022-3-109-125.
16. Sochava V.B. (1978), *Vvedenie v uchenie o geosistemah*. [Introduction to the Study of Geosystems], Nauka, Novosibirsk, USSR.
17. Stashenko A.I. (1987), Assessment of the stability of the natural environment of the cryolithozonic regions to man-made influences, *Izvestia VGO*, vol. 119, is. 4, pp. 301–306.
18. Shema kompleksnogo ispol'zovaniya i ohrany vodnyh objektov bassejna reki Kolyma. Obshhaja harakteristika rechnogo bassejna. Kniga 1 [Scheme of integrated use and protection of water bodies of the Kolyma River basin. General characteristics of the river basin. Book 1] (2014), Yakutsk, Russia.
19. Tikhmenev P.E., Pugachev A.A., Tikhmenev E.A. (2017) Ecological aspects of restoration of lands disturbed during the development of silver deposits in the North Far East of Russia, *Bulletin of the Northeastern State University*, no. 28, pp. 72–79.
20. Fedorov A.N. (2000), Frozen landscapes, their stability and restoration. Forest and permafrost. 2000. pp. 17–21.
21. Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. et al. (1989) *Merzlotnye landshafty Jakutii: Pojasnitel'naja zapiska k «Merzlotno-landshaftnoj karte Jakutskoj ASSR»*. [Permafrost landscapes of Yakutia: Explanatory note to the «Permafrost-landscape map of the Yakut ASSR»], GUGK, Moscow, USSR.
22. Shpolyanskaya N.A., Zотова Л.И. (1994) Map of stability of cryolithic landscapes of Western Siberia, *Bulletin of Moscow State University. Ser.5. – Geography*, no. 1. pp. 56–65.
23. Jenergetiki Sahajenergo uspeshno... [Sahaenergo power engineers successfully passed the autumn-winter period], available at: <https://in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/51862-energetiki-sahaenergo-uspeshno-proshli-osenne-zimnii-period.html> (accessed 07 February 2024).

Экология и природопользование
Николаева Н.А., Пинигин Д.Д., Никулин К.В.

Статья поступила в редакцию: 21.03.24, одобрена после рецензирования: 10.12.24, принятая к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 21 March 2024; approved after review: 10 December 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Надежда Анисимовна Николаева

кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела проблем энергетики, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения РАН; 677980, Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1

e-mail: nna0848@mail.ru

Дмитрий Дмитриевич Пинигин

научный сотрудник отдела проблем энергетики, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения РАН; 677980, Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1

e-mail: pinigind@mail.ru

Константин Васильевич Никулин

ведущий инженер отдела проблем энергетики, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения РАН; 677980, Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1

e-mail: nikulin9090@mail.ru

Information about the authors

Nadezhda A. Nikolaeva

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Department of Energy Problems, V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russia

Dmitry D. Pinigin

Researcher, Department of Energy Problems, V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russia

Konstantin V. Nikulin

Leading Engineer, Department of Energy Problems, V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

1, Oktyabrskaya st., Yakutsk, 677980, Russia

Вклад авторов:

Николаева Н.А. – идея, обработка материала, написание статьи, редактирование.

Пинигин Д.Д. – создание карты, перевод и редактирование статьи.

Никулин К.В. – сбор и анализ материала, создание графиков.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Nadezhda A. Nikolaeva – the idea; data processing; writing and editing of the article.

Dmitry D. Pinigin – creation of the map; translation and editing of the article.

Konstantin V. Nikulin – material collection and analysis; creation of the graphs.

The authors declare no conflict of interests.