



Оригинальная статья

Устойчивость ландшафтов и современное состояние фитопланктона водотоков Куларского золотоносного района

Л. И. Копырина^{✉,1}, Н. А. Николаева²

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

²Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова СО РАН,
г. Якутск, Российская Федерация

[✉]l.i.kopyrina@mail.ru

Аннотация

Приведены результаты оценки устойчивости ландшафтов и гидробиологических исследований водотоков, видового состава и структуры водорослей фитопланктона и фитоперифитона, проведенных впервые на территории Куларского золотоносного района в бассейне р. Яна Республики Саха (Якутия). Работы продиктованы возросшим интересом к возобновлению добычи россыпного золота на месторождениях района, что неизбежно приведет к негативному воздействию на природную среду и обострению экологических проблем. Для минимизации негативных последствий следует предусмотреть природоохранные мероприятия, необходимым этапом которых является оценка современного состояния компонентов природной среды этой территории. Практическое значение имеет изучение современного гидробиологического состояния водотоков, в частности, водорослей фитопланктона и фитоперифитона, которые являются надежными биоиндикаторами качества воды. Кроме того, низкая устойчивость ландшафтов к техногенной нагрузке, замедленность процессов их самоочищения и самовосстановления вызывают необходимость учета степени устойчивости природных комплексов. Материалом для гидробиологических исследований послужили количественные и качественные пробы, собранные в ручьях на р. Суор-Уйалаах. Устойчивость ландшафтов исследуемой территории оценена согласно методике по определению влияния основных факторов на снижение устойчивости ландшафтов криолитозоны. Результаты натурных и лабораторных исследований водорослей по определению показателей видового состава, численности и биомассы в водотоках р. Суор-Уйалаах в пределах золотоносного участка Куларского района показали бедность и низкий уровень развития водорослей. В таксономическом спектре основа фитопланктонных и фитоперифитонных сообществ сформирована диатомовыми водорослями, менее разнообразны зеленые, желтозеленые и эвгленовые. Определена крайне низкая и низкая степень устойчивости ландшафтных комплексов к техногенному воздействию в зависимости от соотношения мерзлотных и биоклиматических показателей. Полученные данные могут явиться основой для создания базы биомониторинга в условиях нарастания техногенных нагрузок на водные экосистемы реки Суор-Уйалаах северо-востока Якутии. Оценка устойчивости ландшафтов золотоносных месторождений Куларского района может иметь практическую значимость для разработок экологического нормирования территории и природоохранных мероприятий по снижению негативных последствий на природную среду.

Ключевые слова: фитопланктон, фитоперифитон, видовой состав водорослей, ландшафты, устойчивость

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ по проектам «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (№ FWRS-2021-0023; ЕГИСУ НИОКТР № AAAA-A21-121012190038-0) с применением оборудования ЦКП ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (грант № 13. ЦКП.21.0016) и «Комплексные исследования приоритетов развития энергетики Республики Саха (Якутия) с учетом влияния на окружающую среду и разработка способов, методов повышения энергетической эффективности и надежности локальных электроэнергетических систем труднодоступных, изолированных территорий Севера и Арктики» (№ FWRS-2024-0031).

Для цитирования: Копырина Л.И., Николаева Н.А. Устойчивость ландшафтов и современное состояние фитопланктона водотоков Куларского золотоносного района. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2025;30(1):119–129. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-1-119-129>

Landscape resilience and the modern state of phytoplankton in the streams of the Kularsky gold-bearing region

Lyubov I. Kopyrina^{✉1}, Nadezhda A. Nikolaeva²

¹*Institute for Biological Problems of Cryolithozone,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*

²*Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*

[✉]*l.i.kopyrina@mail.ru*

Abstract

An assessment of landscape resilience and hydrobiological research on watercourses was conducted for the first time in the Kular gold-bearing region within the Yana River basin of the Republic of Sakha (Yakutia). This study was prompted by the increasing interest in resuming placer gold mining in these areas, which could potentially harm the natural environment and exacerbate existing ecological issues. To address these potential negative impacts, it is essential to implement effective environmental protection strategies. A key component of this effort involves assessing the current state of the natural environment and thoroughly evaluating the resilience of its ecosystems. The hydrobiological research employed both quantitative and qualitative samples collected from the Suor-Uyalaakh River streams. We assessed landscape resilience using a methodology aimed at understanding how key factors affect landscape stability in the cryolithozone. Additionally, we conducted field and laboratory analyses of algae to identify indicators of species composition, abundance, and biomass in the watercourses of the Suor-Uyalaakh River. The findings revealed low diversity and underdevelopment of algal populations, with diatoms being the dominant group in the phytoplankton and phytoperiphyton communities. In contrast, green algae showed lower diversity, followed by yellow-green algae and Euglena. The evaluation of landscape stability in the region indicated extremely low to low resistance to human impacts, which varied based on the ratio of permafrost to bioclimatic factors. The data collected can serve as a basis for creating a biomonitoring database, particularly in light of the increasing human pressures on the aquatic ecosystems of the Suor-Uyalaakh River in Northeast Yakutia. Assessing the resilience of landscapes in the Kular gold-bearing deposits may be practically significant for formulating ecological regulations and implementing environmental protection measures to mitigate adverse effects on the natural environment.

Keywords: phytoplankton, phytoperiphyton species composition, algae, landscapes, resilience

Funding. This study was conducted within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, specifically within the framework of the project “Vegetation cover of the cryolithozone in the taiga of Yakutia: biodiversity, environmental functions, protection, and rational use” (theme No. FWRS-2021-0023; registration No. AAAA-A21-121012190038-0). The research used equipment from the Core Shared Research Facilities of the FRC “The Yakut Scientific Center SB RAS” (grant No. 13. CSRF.21.0016). Additionally, the study aligns with the project “Comprehensive studies on the priorities of the energy sector in the Republic of Sakha (Yakutia) considering environmental impacts and the development of methods to enhance energy efficiency and the reliability of local power systems in remote, isolated regions of the North and the Arctic” (No. FWRS-2024-0031).

For citation: Kopyrina L.I., Nikolaeva N.A. Landscape resilience and the modern state of phytoplankton in the streams of the Kularsky gold-bearing region. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2025;30(1):119–129. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-4-119-129>

Введение

Куларский золотоносный район, включающий многочисленные месторождения россыпного золота, располагается в арктической зоне в бассейне р. Яна и долгое время являлся самым северным и труднодоступным прииском страны. Его открытие и разработка начались в 1960-х годах, пика своей деятельности он достиг в середине 1970-х годов. В конце 1990-х годов в связи с эко-

номической ситуацией ГОК «Куларзолото» был закрыт, хотя оставались значительные запасы полезного ископаемого. Так, в результате работ россыпных месторождений в бассейне р. Суор-Уйалаах, притока р. Яна, были оставлены тысячи гектаров техногенно-нарушенных и преобразованных земель [1], а также загрязненные и измененные природные компоненты литосферы, биосферы, криосферы, гидросферы.

В последние годы в связи с истощением минерально-сырьевой базы россыпей в РФ возрос интерес к возобновлению промышленных разработок месторождений Куларского золотоносного района [2]. Освоение территорий часто ведет к нарушению экологического равновесия, вызванному изъятием из цепи природных взаимосвязей определенных звеньев [3].

В связи с этим становится актуальным вопрос оценки воздействия промышленного освоения на состояние природной среды Куларского золотоносного района. Имеет значение как покомпонентное изучение природной среды, так и обобщенное – закономерных сочетаний взаимосвязанных компонентов, т. е. ландшафтов и современного гидробиологического состояния водной среды, в частности фитопланктона и фитоперифитона, которые являются одним из наиболее информативных и надежных биоиндикаторов качества воды и четко отражают степень техногенного загрязнения вод [4–7]. Низкая устойчивость северных ландшафтов к техногенной нагрузке, замедленность процессов их самоочищения и самовосстановления обуславливают необходимость оценки степени устойчивости природных комплексов.

Первые исследования альгофлоры Куларского золотоносного района были проведены в составе комплексного изучения техногенных ландшафтов в зонах тундры и притундровых редколесий Северо-Восточной Якутии и относились к наземным почвенным водорослям [8]. Были выявлены 32 вида из 4 отделов: синезеленых – 14 видов, зеленых – 9, желтозеленых – 6 и диатомовых – 3 вида. Видовой состав почвенных водорослей был изучен в естественных (мохово-лишайниковые, ивняк полевохвощовый и т. д.) и антропогенных (отстойники, отвалы) сообществах.

Целью работы является оценка устойчивости ландшафтов месторождений Куларского золотоносного района и изучение современного состояния водорослей фитопланктона, фитоперифитона в водных объектах в качестве биоиндикаторов техногенного загрязнения вод региона. Исследования водорослей водотоков реки Суор-Уйалаах ранее не проводились и приводятся впервые.

Район, материалы и методы исследования

Исследования проводились в южной подзоне субарктических тундр в предгорьях Яно-Индигирской низменности, характеризующейся суровым, резко-континентальным, субарктическим

климатом со среднемесячной температурой июля +12 °С, января – –34 °С, количеством осадков за год – 150–250 мм [2].

Рельеф представляет собой расчлененное плато, поверхность которого слагают низкие горы, холмы и увалы, переработанные системой мелких горных рек и ручьев. Большая часть территории района сложена осадочными породами триасового возраста, почвообразующими породами выступают делювиальные и элювиальные отложения выходов пород верхнего палеозоя и мезозоя. В северной части широко развиты четвертичные отложения, представленные аллювиальными, озерно-болотными, озерно-элювиальными, озерными и делювиальными фациями. Основная часть золотоносных россыпей приурочена к среднечетвертичным отложениям, залегающим на коренных породах террас и долинных водостоков. Территория лежит в зоне сплошного распространения вечной мерзлоты, мощность многолетнемерзлых пород достигает местами 600–800 м и более [9].

Ландшафты исследуемой территории относятся к Куларской низкогорной ландшафтной провинции физико-географической страны Горы Северо-Восточной Сибири. Природные комплексы представлены горносклоновыми горными тундрами и подгольцовыми кустарниковыми зарослями. В долине р. Яна распространены долинные ландшафты с подрусловыми таликами, произрастают лиственничные редины и редколесья зеленомошные. Ландшафтная структура состоит из следующих природных комплексов: типичных тундр кустарничково-лишайниковых моховых; предтундровых лиственничных редин кустарничково-лишайниково-моховых и ерниковых; горных тундр лишайниковых и кустарничково-моховых; горных редколесий лиственничных и редин кустарничково-лишайниковых моховых; комплекса северотаежной долинной растительности [10].

Материалом для гидробиологических исследований послужили количественные, качественные пробы фитопланктона и фитоперифитона (соскоб с каменистых субстратов, смыв со мхов), собранные в августе 2017 г. из восьми водных объектов золотоносного участка р. Суор-Уйалаах: ручьев Кристалл, Конечный, Суор-Уйалаах, Сдвиг, Кроткий, Мамонья, Улахан-Юрюйэ и Аленка. На всех точках отбора проб измерялась температура воды, определялись прозрачность, цвет, за-

пах. Сбор и обработка материалов проводились по общепринятым методикам [11, 12]. Камеральная работа выполнена нами в отделе ботанических исследований ИБПК СО РАН с применением микроскопа Микмед-6. Для идентификации водорослей использованы отечественные и зарубежные определители с учетом дополнений и уточнений последних отечественных и зарубежных выпусков. Для определения диатомовых водорослей изготовлено восемь постоянных препаратов путем прокалывания и заключения клеток (створок) в формальдегидную смолу. Подсчет численности водорослей фитопланктона осуществлен в счетной камере Нажотта объемами 0,01 и 0,05 см³ в трехкратной повторности. Экологическая и географическая характеристика водорослей приведена по литературным данным [4, 13, 14]. Для оценки степени загрязнения водных объектов применен метод Пантле–Бука [15] в модификации Сладечека [16].

Для оценки степени устойчивости природных комплексов исследуемой территории была применена методика по определению влияния основных ландшафтообразующих факторов на снижение устойчивости ландшафтов криолитозоны [17], а также использованы мерзлотно-ландшафтная и эколого-фитоценотическая карты [10, 18]. Были приняты такие мерзлотные показатели ландшафтов, как льдистость поверхностных отложений, температура мерзлых пород и мощность сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев, характер распространения многолетнемерзлых пород и биоклиматические характеристики – биологическая продуктивность, запасы фитомассы, показатели тепло- и влагообеспеченности. Оценка степени устойчивости проведена методом ранжирования мерзлотных и биоклиматических показателей по степени их влияния на снижение устойчивости ландшафтов в сочетании с методом непосредственной оценки [17].

Обсуждение и результаты

Оценка степени устойчивости ландшафтов. Оценка степени устойчивости ландшафтов Куларского золотоносного района проведена в отношении механического воздействия, т. е. нарушения и снятия поверхностного слоя грунтов и почвенно-растительного покрова – первичных последствий горнодобывающей деятельности на Севере. Основным ландшафтообразующим фактором в Арктике и Субарктике является криолитогенез. Устойчивость мерзлотных ландшафтов

во многом зависит от льдистости поверхностных отложений и температуры пород, которые влияют на изменение глубины процессов сезонного промерзания и протаивания, а также от характера распространения многолетнемерзлых пород. Кроме того, устойчивость фоновых ландшафтов во многом зависит от соотношения тепла и влаги, формирующих пространственную дифференциацию и тип ландшафтов, от которых зависит биологическая продуктивность и другие биоклиматические составляющие ландшафта. При этом прослеживается влияние широтной зональности и высотной поясности на распределение ландшафтов.

Для оценки устойчивости исследуемых ландшафтов приняты их мерзлотные (среднеголетняя температура мерзлых пород на подошве слоя годовых колебаний (0 °С), льдистость поверхностных отложений (%), мощность сезонно-мерзлого и сезонно-талого слоев (м), характер распространения многолетней мерзлоты) и биоклиматические (биологическая продуктивность (ц/га), запасы фитомассы (ц/га), условия теплообеспеченности, выраженные суммой среднесуточных температур выше 100 °С и условия увлажнения, выраженные значениями радиационного индекса сухости (ккал. см²/год)) показатели.

Согласно исходной методике [17], оценка устойчивости выполнена путем ранжирования этих показателей в каждом ландшафтном выделе в соответствии со значением присвоенных экспертным путем оценочных баллов, которые распределены на четыре группы по степени влияния каждого фактора на снижение устойчивости ландшафта от 1 балла (слабо влияет) до 4 баллов (нарушает). Суммарное значение каждого ландшафта характеризует степень его устойчивости.

В табл. 1 дана оценка влияния мерзлотных и биоклиматических факторов на снижение устойчивости ландшафтов. Показатели таблицы получены путем анализа данных различных источников [18–20].

В табл. 2 приведены значения принятых показателей и оценка их устойчивости. Показатели мерзлотных условий получены путем анализа данных Мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) под ред. М.Н. Железняк [10], биоклиматические показатели – на основе Эколого-фитоценотической карты Азиатской России, гл. ред. В.Б. Сочава, В.Н. Байбородин [18] и работ якутских мерзлотоведов [19, 20].

Выявлена различная степень устойчивости различных ландшафтных комплексов террито-

Таблица 1

Оценка влияния природных факторов на снижение устойчивости ландшафтов

Table 1

Assessing the impact of natural factors on reducing landscape resilience

Мерзлотные и биоклиматические показатели	Оценка влияния в баллах			
	1 балл относительно устойчивые	2 балла относительно неустойчивые	3 балла неустойчивые	4 балла крайне неустойчивые
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
Мощность сезонно-талого (стс) и сезонно-мерзлого (смс) слоев, м	1,5 – 2,0	0,8 –1,8	0,2–0,8	до 0,15
Характер распространения многолетнемерзлых пород	Сплошной	Сплошной с подрусловыми таликами	Прерывистый	Островной
Запасы фитомассы, ц/га	1200–2000	400–1000	70–400	20–130
*Продуктивность, ц/га	40–60	20–40	< 20 и 20–40	<20
**Теплообеспеченность, °C	1200–1400; 1400–1600	800–1000; 1000–1200	600–800	<600
***Радиационный индекс сухости, ккал·м ² /год	0,5–1,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0	<0,5

Примечание. * среднепродуктивные – 40–60; низкопродуктивные – 20–40; минимально- <20 и низкопродуктивные – 40–60; ** умеренно-теплые – 1200–1400, 1400–1600, умеренно-холодные – 800–1000, 1000–1200, холодные – 600–800, очень холодные – <600; *** влажные – 0,5–1,0, умеренно влажные – 1,0–1,5, недостаточно влажные – 1,5–2,0, избыточно влажные – <0,5.

Note. * medium-productive – 40–60; low-productive – 20–40; minimal – <20 and low-productive – 40–60; ** moderately warm – 1200–1400, 1400–1600; moderately cold – 800–1000, 1000–1200; cold – 600–800; very cold – <600; *** wet – 0.5–1.0; moderately wet – 1.0–1.5; insufficiently wet – 1.5–2.0; excessively wet – <0.5.

рии Куларского золотоносного района к любым антропогенным механическим воздействиям. Определено, что ландшафты типичных и горных тундр, а также предтундровых реди и редколесий с их высокой льдистостью, распространением на сплошных мерзлых породах, низкими запасами фитомассы и минимальной продуктивностью, а также очень холодными и недостаточно влажными условиями обладают их крайне низкой степенью устойчивости (21–22 балла). Немногим более благоприятные условия тепло- и влагообеспеченности, менее высокая льдистость и наличие таликов в долинах водотоков обусловили низкую устойчивость (17–18 баллов) ландшафтов горных лиственничных редколесий и реди, а также северотаежной растительности долин рек и ручьев.

Водоросли. По результатам исследований водорослей фитопланктона и фитоперифитона в 8 водных объектах выявлено 48 видов водорослей из 5 отделов, 7 классов, 15 порядков, 24 семейств, 29 родов (табл. 3).

В исследованных водных объектах основу фитопланктона и фитоперифитона составляют диатомовые (58,3 %) и зеленые (27,1 %) водоросли, что характерно для водоемов Якутии и в целом для регионов Голарктики [21, 22]. Видовой состав водорослей других систематических групп незначителен. Среди семейств первые ранговые места принадлежат семействам: Naviculaceae, Cymbellaceae и Closteriaceae по 5 видов, за ними следуют Diatomaceae, Gomphonemataceae по 4 вида, а также семейства Fragilariaceae, Zygnemataceae, Spirogyraceae по 3 вида соответственно. Среди родов наиболее разнообразно представлены: *Closterium* – 5 видов, *Cymbella* и *Gomphonema* по 4, затем *Diatoma*, *Pinnularia* по 3 вида, *Fragilaria*, *Tabellaria*, *Tribonema* и *Spirogyra* по 2 вида соответственно.

Среди исследованных водных объектов наиболее высокая численность фитопланктона оказалась в ручьях Сдвиг (825066,7 кл./л) и Кроткий (310924,0 кл./л), а биомасса – в руч. Кроткий (1,74 мг/л) (табл. 4).

Таблица 2

Мерзлотные и биоклиматические показатели ландшафтов Куларского золотоносного района и оценка их устойчивости

Table 2

Permafrost and bioclimatic indicators of landscapes in the Kular gold-bearing region and their resilience assessment

Ландшафтные комплексы	*Температура пород, °С **Сумма баллов	Объемная суммарная льдистость, доли ед. Сумма баллов	Мощность стл/смс, м Сумма баллов	Распространение многолетнемерзлых пород Сумма баллов	Запасы фитомассы, ц/га Сумма баллов	Продуктивность растительного покрова, ц/га / Сумма баллов	Условия теплообеспеченности, град. Сумма баллов	Радиационный индекс сухости, ккал.м ² /год Сумма баллов	Сумма баллов	Степень устойчивости
Типичные тундры кустарничково-лишайниковые моховые	$\frac{-8...-10}{1}$	$\frac{0,4-0,6 (0,8)}{3}$	$\frac{0,3-0,5}{3}$	$\frac{\text{Сплошное}}{1}$	$\frac{75}{3}$	$\frac{<20}{4}$	$\frac{<600}{4}$	$\frac{1,5-2,0}{3}$	22	Крайне низкая
Предтундровые листовничные редины кустарничково-лишайниково-моховые и ерниковые	$\frac{-6...-7}{1}$	$\frac{0,4-0,6 (0,8)}{3}$	$\frac{0,5-0,7}{3}$	$\frac{\text{Сплошное}}{1}$	$\frac{75}{3}$	$\frac{<20}{4}$	$\frac{<600}{4}$	$\frac{1,5-2,0}{3}$	22	Крайне низкая
Горные тундры лишайниковые и кустарничково-моховые	$\frac{-8...-11}{1}$	$\frac{0,2-0,4 (0,6)}{2}$	$\frac{0,5-0,8}{3}$	$\frac{\text{Сплошное}}{1}$	$\frac{75}{3}$	$\frac{<20}{4}$	$\frac{<600}{4}$	$\frac{1,5-2,0}{3}$	21	Крайне низкая
Горные редколесья листовничные и редины кустарничково-лишайниковые моховые	$\frac{-2...-4}{2}$	$\frac{0,2-0,4 (0,6)}{2}$	$\frac{1,0-2,0}{1}$	$\frac{\text{Сплошное}}{1}$	$\frac{300}{3}$	$\frac{20-40}{3}$	$\frac{600-800}{3}$	$\frac{1,0-1,5}{2}$	17	Низкая
Комплекс северотраежной долиной растительности	$\frac{-2...-6}{2}$	$\frac{0,2-0,4}{2}$	$\frac{0,5-1,0}{2}$	$\frac{\text{Сплошное с подозерными таликами}}{2}$	$\frac{300}{3}$	$\frac{20-40}{3}$	$\frac{600-800}{3}$	$\frac{0,5-1,0}{1}$	18	Низкая

Примечание. * – в числителе мерзлотные и биоклиматические показатели, ** – сумма баллов.

Note. * – in the numerator, permafrost and bioclimatic indicators, ** – total score.

Таблица 3

Таксономический состав водорослей в бассейне р. Суор-Уйалаах

Table 3

Taxonomic composition of algae in the Suor-Uyalaakh River Basin

Отдел	Число					% от общего числа видов (48)
	Класс	Порядок	Семейств	Родов	Видов	
Cyanophyta – синезеленые	1	2	2	2	2	4,2
Euglenophyta – Эвгленовые	1	1	1	1	2	4,2
Bacillariophyta – диатомовые	2	6	12	17	28	58,3
Xanthophyta – желтозеленые	1	2	2	2	3	6,2
Chlorophyta – зеленые	2	4	7	7	13	27,1
Всего	7	15	24	29	48	100

Таблица 4

Показатели численности, биомассы водорослей и индекса сапробности

Table 4

Indicators of abundance, biomass, and saprobicity index

Показатель	Водные объекты							
	Кристалл	Конечный	Суор-Уйалаах	Сдвиг	Кроткий	Мамонья	Улахан-Юрюйэ	Аленка
Численность, кл.	32844,0	43792,0	9250,0	825066,7	310924,0	1846,8	1377,0	10675,8
Биомасса, мг/л	0,14	0,11	0,03	1,74	0,14	0,007	0,007	0,008
Индекс сапробности	1,2	1,76	1,7	1,82	2,0	1,2	1,5	1,6

По числу видов наиболее разнообразно представлены р. Суор-Уйалаах, ручьи Кроткий, Аленка и Улахан-Юрюйэ. В остальных исследованных водных объектах число видов невелико.

1. Ручей Кристалл образован в результате слияния р. Суор-Уйалаах и ручья Улахан-Юрюйэ. Протекает по территории отработанного горного участка «Кристалл». Ширина ручья до 15 м. Дно каменисто-илистое. Глубина до 0,5 м, берега образованы техногенными отвалами прошлых лет.

В результате исследований видового состава водорослей руч. Кристалл обнаружены 6 видов из 3 отделов водорослей. В таксономическом спектре ведущая роль принадлежит диатомовым (66,0 % от общего числа обнаруженных видов в данном ручье). Наименьшим числом видов представлены синезеленые и зеленые отделы водорослей по 16,0 % соответственно. Средние показатели численности составляют 35844 кл./л при биомассе 0,14 мг/л (см. табл. 4). Основу численности и биомассы фитопланктона формируют синезеленые водоросли *Anabaena sphaerica* Bornet & Flahault и зеленая – *Spirogyra tenuissima* (Hassall) Kützing. Также в сложении участвуют планктонные виды из диатомовых – *Asterionella formosa* Hassall, *Aulacoseira islandica* (O. Müller)

Simonsen, *Planothidium lanceolatum* (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot и *Cyclotella* sp.

Экологический анализ водорослей руч. Кристалл показал, что по местообитанию доминируют планктонно-бентосные виды. По отношению к содержанию солей в воде – индифференты. Географический анализ показал преобладание космополитов, что свойственно всей циркулярной области Голарктики. Индекс сапробности (S) по Пантле и Буку составляет 1,20.

2. Ручей Конечный, левый приток р. Суох-Уйалаах. Ширина до 2 м, дно илистое. В составе водорослей руч. Конечный обнаружено 7 видов из 2 отделов водорослей. В таксономическом спектре ведущая роль принадлежит диатомовым (57,1 % от общего числа обнаруженных видов в данном ручье) и зеленым (43,0 %). Средние показатели численности составляют 43792 кл./л при биомассе 0,11 мг/л (см. табл. 4). Основу численности и биомассы фитопланктона формируют диатомовые водоросли *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, *Pinnularia gibba* (Ehrenberg) Ehrenberg и *Cymboplectra austriaca* (Grunow) Krammer и зеленые – *Closterium kuetzingii* Brébisson, *Closterium rostratum* Ehrenberg ex Ralfs. В экологиче-

ском спектре по местообитанию преобладают планктонно-бентосные виды. По отношению к содержанию солей в воде – индифференты. В географическом отношении – широко распространенные виды. Индекс сапробности (S) по Пантле и Буку – 1,76.

3. Река Суор-Уйалаах расположена в 209 км по левому берегу от устья р. Яна, Ленского бассейнового округа. Длина водотока 39 км, ширина русла варьирует от 2 до 6 м, глубина 0,8 м. Дно каменисто-илистое. Современная долина ручья Суор-Уйалаах V-образная, асимметричная. Берега пологие, произрастают хвои и ива.

Видовой состав фитопланктона реки включает 20 видов водорослей из 4 отделов: диатомовые – 11 видов, зеленые – 6, желтозеленые – 2, эвгленовые – 1. Количественные показатели водорослей составляют, в среднем, для реки 9250,0 кл./л при биомассе 0,03 мг/л (см. табл. 4) за счет желтозеленой водоросли *Microthamnion kuetzingianum* Nägeli ex Kützing, диатомовой – *Tabellaria flocculosa* и зеленых нитчатых – *Ulothrix zonata* (F. Weber & Mohr) Kützing и *Spirogyra tenuissima*, которыми обильно обрастают подводные камни и мхи. В экологическом спектре по местообитанию доминировали планктонно-бентосные виды. По отношению к содержанию солей в воде – индифференты. В географическом анализе – широко распространенные виды. Индекс сапробности (S) по Пантле и Буку – 1,70.

4. Ручей Сдвиг, левый приток р. Улахан-Юрюйэ. Ширина 1 м, глубина до 0,8 м, дно илистое. Берега представлены старыми техногенными отвалами.

В составе водорослей руч. Сдвиг обнаружено 7 видов из 3 отделов водорослей. В таксономическом спектре ведущая роль принадлежит диатомовым (71,4 % от общего числа обнаруженных видов в данном ручье). Средние показатели численности составляют 825066 кл./л при биомассе 1,74 мг/л (см. табл. 4). Основу численности и биомассы фитопланктона формируют диатомовые водоросли – *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, *Tabellaria flocculosa*, *Pinnularia brevicostata* Cleve, *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg, *Stauroneis anceps* Ehrenberg; желтозеленые – *Tribonema vulgare* Pascher; зеленые – *Closterium striolatum* Ehrenberg ex Ralfs. В экологическом спектре преобладают планктонно-бентосные виды. По отношению к содержанию солей в воде – индифференты. В географическом анализе – ши-

роко распространенные виды. Индекс сапробности (S) по Пантле и Буку – 1,82.

5. Ручей Кроткий (правый приток р. Суор-Уйалаах) находится на восточном склоне Улахан-Сисского хребта. Ширина 1 м, глубина 0,50 м.

В составе водорослей руч. Кроткий обнаружено 12 видов из 3 отделов. В таксономическом спектре ведущая роль принадлежит диатомовым (75,0 % от общего числа обнаруженных видов в данном ручье). Средние показатели численности составляют 310924 кл./л при биомассе 0,14 мг/л (см. табл. 4). Основу численности и биомассы фитопланктона формируют *Tabellaria fenestrata* (численность – 19449 кл./л, биомасса – 0,02 мг/л), *T. flocculosa* (численность – 77760 кл./л, биомасса – 0,01 мг/л) из диатомовых водорослей. В сложении также участвуют *Fragilaria intermedia* (Grunow) Grunow, *Gomphonema angustatum* (Kützing) Rabenhorst с вариацией *Gomphonema angustatum* var. *productum* Grunow, *Gomphonema truncatum* Ehrenberg, *Cymboplectra amphicephala* (Nägeli ex Kützing) Krammer, *Pinnularia viridis*, *Stauroneis anceps*; синезеленые – *Phormidium granulatum* (N.L.Gardner) Anagnostidis; зеленые – *Zygnema pectinatum* (Vaucher) C. Agardh, *Spirogyra tenuissima* и др. В экологическом анализе по местообитанию – планктонно-бентосные. По отношению к содержанию солей в воде – индифференты. В географическом анализе – широко распространенные виды. Индекс сапробности (S) по Пантле и Буку – 2,20.

6. Ручей Мамонья, левый приток руч. Этинээх. Ширина до 5 м, глубина до 0,5 м, дно илистое. Берега образованы техногенными отвалами прошлых лет.

В альгофлоре ручья выявлено 8 видов водорослей, из которых 5 видов относятся к диатомовым, 3 – к зеленым. Средние показатели численности составляют 1846,8 кл./л, биомассы 0,007 мг/л (см. табл. 4) за счет зеленых нитчатых – *Zygnema ralfsii* (Hassall) De Bary, *Spirogyra tenuissima* и колониальной *Sphaerocystis polycocca* Korshikov, диатомовых – *Aulacoseira islandica*, *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh и *Tabellaria flocculosa*. В экологическом анализе по местообитанию – планктонно-бентосные. По отношению к содержанию солей в воде – индифференты. В географическом спектре – широко распространенные виды. Индекс сапробности (S) по Пантле и Буку – 1,20.

7. Река Улахан-Юрюйэ расположена в северной части Яно-Омолойского междуречья на ле-

вом берегу р. Суор-Уйалаах. Длина реки 16 км. Ширина русла небольшая – 3–4 м, глубина до 0,5 м, дно каменисто-илистое.

В видовом составе водорослей реки выявлено 11 видов из 3 отделов: диатомовые – 9 видов, желтозеленые и зеленые – по 1. Численность фитопланктона составила 1377,0 кл./л, биомасса 0,006 мг/л (см. табл. 4) за счет нитчатых – *Spirogyra tenuissima*, *Tribonema viride*, а также диатомовых – *Melosira varians* C. Agardh, *Fragilaria intermedia*, *Ulnaria ulna*, *Diatoma elongata* (Lyngbye) C. Agardh, *Eunotia pectinalis* (Kützinger) Rabenhorst, *Cymbella amphicephala*. В экологическом спектре по местообитанию – планктонно-бентосные. По отношению к содержанию солей в воде – индифференты. В географическом спектре – широко распространенные виды. Индекс сапробности (S) по Пантле и Буку – 1,51.

8. Ручей Аленка, левый приток р. Суор-Уйалаах. Длина 7 км, ширина до 2 м, глубина 0,30 м. Долина современного ручья имеет симметричную чашеобразную форму с очень пологими склонами, которые являются водораздельными участками реки Суор-Уйалаах и руч. Улахан-Юрюйэ. За время эксплуатации в долине ручья сформировано большое количество техногенных отвалов гали и эфелей, образующих часть техногенной россыпи. Отвалы состоят в основном из щебня, гальки глинистых, песчано-глинистых сланцев, песчаников, гравия и песка с незначительной примесью глинистого материала.

В видовом составе водорослей реки отмечено 12 видов из 4 отделов: диатомовые – 7 видов, зеленые – 3, эвгленовые и желтозеленые по 1 виду. Средняя численность фитопланктона составляют 10675,8 кл./л, биомасса 0,008 мг/л (см. табл. 4) за счет желтозеленой водоросли *Microthamnion kuetzingianum*, диатомовых – *Aulacoseira islandica*, *Diatoma hiemale* (Roth) Heiberg, *Tabellaria flocculosa* и зеленой нитчатой – *Mougeotia scalaris* Hassall и кустистой *Stigeoclonium fasciculare* Kützinger. В экологическом спектре по местообитанию – планктонно-бентосные. По отношению к содержанию солей в воде – индифференты. В географическом анализе – широко распространенные виды. Индекс сапробности (S) по Пантле и Буку – 1,60.

Заключение

Таким образом, оценка степени устойчивости показала, что в целом все ландшафтные комплексы территории и современный видовой состав

водорослей Куларского золотоносного района обладают низкой степенью устойчивости к техногенному воздействию водных объектов, что обусловлено сочетанием мерзлотных, биогидроклиматических факторов региона.

Проведенные исследования свидетельствуют о бедности видового состава и низком уровне развития водорослей фитопланктона и фитоперифитона в исследованных водных объектах. Среди исследованных водных объектов по числу видов наиболее разнообразно представлены р. Суор-Уйалаах, ручьи Кроткий, Аленка и Улахан-Юрюйэ. Показатели количественного развития водорослей составляют в среднем от 1377 (Улахан-Юрюйэ) до 825066,7 кл./л (руч. Сдвиг), биомасса от 0,007 (Улахан-Юрюйэ) до 1,74 мг/л (руч. Кроткий) (табл. 5).

Анализ экологической структуры показал, что в исследованных водотоках распространены планктонно-бентосные виды, по отношению к солености воды – индифференты. В географическом спектре доминируют широко распространенные виды. Индекс сапробности (S) по Пантле и Буку колеблется в пределах 1,20–2,20, что позволяет отнести воды изучаемых объектов к разряду от достаточно чистых до умеренно-загрязненных вод. Следует отметить, что водорослевые сообщества, развивающиеся в суровых климатических условиях, являются наиболее чувствительным компонентом водных экосистем и также чутко реагируют на изменение экологического состояния ландшафта.

Полученные данные о составе водорослей могут явиться основой для создания базы биомониторинга в условиях нарастания техногенных нагрузок на водные экосистемы реки Суор-Уйалаах северо-востока Якутии. Оценка устойчивости ландшафтов золотоносных месторождений Куларского района может иметь практическую значимость для разработок экологического нормирования территории и природоохранных мероприятий по снижению негативных последствий для природной среды.

Список литературы / References

1. Иванова А.З., Десяткин Р.В. Техногенные почвы Куларского золотоносного района. *Успехи современного естествознания*. 2018;(6):71–77.
2. Ivanova A.Z., Desyatkin R.V. Technogenic soils of the Kular gold-bearing region. *Advances of Current Natural Science*. 2018;(6):71–77. (In Russ.)
3. Лунышин П.Д. Куларские сокровища обретают наследников. Прошлое и будущее золотого Кулара. *Золото и технологии*. 2018;39(1):126–134.

- Lunyashin P.D. Kular treasures find heirs. The past and future of the golden Kular. *Gold and Technology*. 2018;39(1):1260134. (In Russ.)
3. Федоров А.Н. Эволюция и динамика мерзлотных ландшафтов Якутии: Автореф. дис. ...докт. геогр. наук. Якутск; 2020. 38 с.
- Fedorov A.N. Evolution and dynamics of permafrost landscapes of Yakutia: Abstr. ... Diss. Doct. Sci., Yakutsk; 2020. 38 p. (In Russ.).
4. Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. М.: ВНИИприроды; 2000. 150 с.
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. *Algae-indicators in assessing environmental quality*. Moscow: VNIIPrirody Publ.; 2000. 150 p. (In Russ.).
5. Parmar T.K., Rawtani D., Agrawal Y.K. Agrawal. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in Life Science*. 2016;9(2):110–118. <https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1162753>
6. Firsova A.D., Bessudova A.Y., Likhoshway Y.V., Kopyrina L.I. Chrysophycean stomatocysts from two unique lakes of Yakutia (Russia). *Phytotaxa*. 2020;474(3):197–217. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.474.3.1>
7. Gökçe D. *Algae as an indicator of water quality*. London: IntechOpen; 2016. 342 p. <https://doi.org/10.5772/62916>
8. Захарова В.И., Исаев А.П. Влияние горнодобывающей промышленности на экосистемы Северо-востока Якутии. Новосибирск: Наука; 2010. 208 с.
- Zakharova V.I., Isaev A.P. The impact of the mining industry on the ecosystems of North-East Yakutia. Novosibirsk: Nauka; 2010. 208 p. (In Russ.).
9. Петрова Л.В., Марков В.С. Горно-геологические особенности подземной разработки россыпных месторождений Кулара. *Евразийское научное объединение*. 2022;68(10-2):151–154. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4268771>
- Petrova L.V., Markov V.S. Mining and geological features of underground mining of Kular placer deposits. *Eurasian Scientific Association*. 2022;68(10-2):151–154. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4268771>. (In Russ.)
10. 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.; гл. ред. М.Н. Железняк. 2018. 2 л.
- Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1: 1,500,000 / Fedorov A.N., Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A., Vasilyev N.F., Makarov V.S. and etc.; Ch. ed. M.N. Zheleznyak. 2018. 2 L. (In Russ.).
11. Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. Водоросли. *Справочник*. Киев: Наукова думка; 1989. 608 с.
- Wasser S.P., Kondratyeva N.V., Masyuk N.P. *Algae: Directory*. Kyiv: Naukova Dumka; 1989. 608 p. (In Russ.).
12. Абакумов В.А. Руководство по гидробиологическому мониторингу поверхностных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат; 1992. 318 с.
- Abakumov V.A. *Guide to hydrobiological monitoring of surface ecosystems*. St. Petersburg: Gidrometeoizdat; 1992. 318 p. (In Russ.).
13. Харитонов В.Г. Диатомовые водоросли Колымы. Магадан: Кордис; 2014. 495 с.
- Kharitonov V. G. *Diatoms of Kolyma*. Magadan: Kordis; 2014. 495 p. (In Russ.).
14. Харитонов В.Г., Генкал С.И. Диатомовые водоросли озера Эльгыгитгын и его окрестностей (Чукотка). Магадан: СВНЦ ДВО РАН; 2012. 402 с.
- Kharitonov V.G., Genkal S.I. *Diatoms of Lake Elgygytyn and its environs (Chukotka)*. Magadan: NESCFEB RAS; 2012. 402 p. (In Russ.).
15. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas und Wasserbach*. 1955; 96(18):1–604.
16. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse Limnologie*. 1973;(7):1–218.
17. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири. *Вестник МГУ*. 1994;1:56–65.
- Shpolyanskaya N.A., Zotova L.I. Map of the stability of landscapes in the permafrost zone of Western Siberia. *Bulletin of Moscow State University*. 1994;1: 56–65. (In Russ.).
18. Корреляционная эколого-фитоценотическая карта. Карты природы, населения и хозяйства Азиатской России. Масштаб 1:7 500 000 / Букс И.И., Байбородин В.Н., Тимирбаева Л.С.; гл. ред. В.Б. Сочава, В.Н. Байбородин. М.; 1977. 1 л.
- Correlation ecological-phytocenotic map. Maps of nature, population and economy of Asian Russia*. Scale 1:7 500 000 / Buks I.I., Bayborodin V.N., Timirbaeva L.S.; chief editor V.B. Sochava, V.N. Bayborodin. M.; 1977. 1 L. (In Russ.).
19. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. и др. Мерзлотные ландшафты Якутии: Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1:2500000». Новосибирск: ГУГК; 1989. 70 с.
- Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P., et al. *Permafrost landscapes of Yakutia: Explanatory note to the "Permafrost-landscape map of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic at a scale of 1:2500000"*. Novosibirsk: GUGK; 1989. 70 p. (In Russ.).
20. 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):4–8.
- Vasilyev I.S., Fedorov A.N., Varlamov S.P., et al. Stability of cryogenic landscapes in the northern part of the railway line of Yakutia. *Nauka i obrazovanie*. 2009;(2):4–8. (In Russ.).
21. Васильева И.И. Анализ видового состава и динамики развития водорослей водоемов Якутии. Якутск: Изд-во Якут. науч. центр СО РАН СССР; 1989. 48 с.

Vasilyeva I.I. *Analysis of the species composition and dynamics of development of algae in water bodies of Yakutia*. Yakutsk: Publishing House of the Scientific Center SB RAS USSR; 1989. 48 p. (In Russ.).

22. *Разнообразие растительного мира Якутии*. Новосибирск: Изд. СО РАН; 2005. 328 с.

Diversity of the flora of Yakutia. Novosibirsk: Publishing House SB RAS; 2005. 328 p. (In Russ.).

Об авторах

КОПЫРИНА Любовь Иннокентьевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-0374-3323>, ResearcherID: S-7979-201, Scopus Author ID: 55225689300, SPIN: 8609-8506 e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

НИКОЛАЕВА Надежда Анисимовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-6831-6613>, ResearcherID: I-9615-2018, Scopus Author ID: 56909645200, SPIN: 6134-6433, e-mail: nna0848@mail.ru

Вклад авторов

Копырина Л.И. – разработка концепции, проведение исследования, проведение статистического анализа, ресурсное обеспечение исследования, создание черновика рукописи, редактирование рукописи; **Николаева Н.А.** – разработка концепции, проведение исследования; создание черновика рукописи; редактирование рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

KOPYRINA, Lyubov Innokentievna, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0374-3323>, ResearcherID: S-7979-201, Scopus Author ID 55225689300, SPIN: 8609-8506, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

NIKOLAEVA, Nadezhda Anisimovna, Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher, Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-6831-6613>, ResearcherID: I-9615-2018, Scopus Author ID: 56909645200, SPIN: 6134-6433, e-mail: nna0848@mail.ru

Authors' contribution

Kopyrina L.I. – conceptualization, investigation, formal analysis, resources, writing – original draft, writing – review & editing; **Nikolaeva N.A.** – conceptualization, investigation, writing – original draft, writing – review & editing

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 08.11.2023

Поступила после рецензирования / Revised 10.12.2024

Принята к публикации / Accepted 12.02.2025