

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОТОКОВ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ АЛДАН РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

¹Николаева Н.А., ²Копырина Л.И.

¹ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»,
Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова, Якутск,
e-mail: nna0848@mail.ru;

²ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

Эльконский ураново-рудный район расположен в верхнем течении р. Алдан Республики Саха (Якутия) в пределах Эльконского горного массива. Ресурсный потенциал массива позволяет рассматривать его в качестве крупнейшего в России и мире резервного источника урана, золота и многих других полезных ископаемых. При разработке месторождений возникают многочисленные экологические проблемы, одной из которых является качественное состояние водотоков как приемников загрязняющих веществ, в том числе радиоактивных, распространяющихся с территорий разработок по компонентам природной среды. В связи с этим важно изучение водорослей, являющихся естественными индикаторами качественного состояния вод, а также гидрохимического состояния водотоков бассейна. Представлены результаты натуральных и лабораторных гидробиологических и гидрохимических исследований рек исследуемой территории. Впервые проведена инвентаризация водорослей фитопланктона и фитоперифитона исследуемого района. Выявлено, что основу таксономического спектра водорослевых сообществ формирует альгофлора отдела Bacillariophyta, менее разнообразны Cyanobacteria, единичны Chlorophyta и Ochrophyta. Фитопланктон во всех исследованных реках крайне беден по числу видов, по численности и биомассе. Гидрохимические исследования показали, что содержание большинства нормируемых ингредиентов исследуемых водотоков р. Алдан в районе Эльконского горста находится ниже предельно допустимых концентраций, нормируемых для водоемов рыбохозяйственного значения. Из загрязняющих веществ антропогенного происхождения отмечается превышение содержания нефтепродуктов. В летнее время отмечено высокое содержание сульфидов в воде ручья Непроходимый, впадающего в р. Курунг. Это обстоятельство, а также очень низкие показатели фитопланктона на станциях ручья Пропадающий являются следствием многолетних разработок в прошлые годы загрязненных горных отвалов в бассейне р. Курунг. В целом определено, что качественное состояние рек бассейна р. Алдан в пределах Эльконского ураново-рудного района обусловлено низкотемпературным режимом климата и вод, а также расположением в области прерывистого распространения многолетнемерзлых пород.

Ключевые слова: Якутия, реки, водоросли, гидрохимический состав, техногенное воздействие

Работа выполнена по государственному заданию по теме «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (код научной темы: FWRS-2021-0023; номер госрегистрации в ЕГИСУ: АААА-А21-121012190038-0) и в рамках проекта государственного задания (№ FWRS-2021-0014) программы по приоритетному направлению ПФНИ РФ на долгосрочный период (2021–2030 гг.).

HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL RESEARCH OF THE UPPER REACHES WATERCOURSES OF THE RIVER ALDAN, SAKHA REPUBLIC

¹Nikolaeva N.A., ²Kopyrina L.I.

¹Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
«Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov»,
Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru;

²Institute of Biological Problems of Permafrost, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

The Elkon uranium-ore region is located in the upper reaches of the river Aldan of the Republic of Sakha (Yakutia) within the Elkon mountain range. The resource potential of the massif allows us to consider it as the largest reserve source of uranium, gold and many other minerals in Russia and the world. During the development of deposits, environmental problems arise, for example, the quality of watercourses. In this regard, it is important to study the algal flora, which are natural indicators of the qualitative state of the waters and study of the hydrochemical state of water. The results of field and laboratory hydrobiological and hydrochemical studies of the rivers of the study area are presented. For the first time, an inventory of phytoplankton and phytoperiphyton algae in the study area was carried out. It was revealed that the basis of the taxonomic spectrum of algal communities is formed by the algaeflora of the Bacillariophyta division, Cyanobacteria are less diverse, Chlorophyta and Ochrophyta are single. Phytoplankton

in all studied rivers is extremely poor in terms of the number of species, abundance and biomass. Hydrochemical studies have shown that the content of the majority of normalized ingredients in the studied watercourses of the river Aldan in the area of the Elkonky horst is below the maximum permissible concentrations. There is a high content of petroleum products. In summer, a high content of sulfides in the water of the Neprokhodimyi stream, which flows into the river Kurung, is noted. This circumstance, as well as the very low levels of phytoplankton at the stations of the Propadajushij stream, are the result of many years of mining in the past years of polluted mountain dumps in the Kurung river basin. In general, it has been determined that the qualitative state of the rivers in the Aldan river basin within the Elkon uranium ore region is due to the low-temperature regime of the climate and waters, as well as the location in the area of discontinuous distribution of permafrost.

Keywords: Yakutia, rivers, algae, hydrochemical composition, anthropogenic impact

The work was carried out according to the state task on the topic “Vegetation cover of the permafrost zone of the taiga Yakutia: biodiversity, habitat-forming functions, protection and rational use” (scientific topic code: FWRS-2021-0023; within the framework of the draft state task (No. FWRS-2021-0014) of the program in the priority area of the Program of Fundamental Scientific Research in the Russian Federation for the long term (2021–2030).

В настоящее время возрос интерес к ресурсам Эльконского горного массива (горста), расположенного в верхнем течении р. Алдан в Якутии. Суммарный ресурсный потенциал горста составляет 650 тыс. т урана, что позволяет рассматривать его в качестве крупнейшего в России резервного источника сырья [1]. Также значительно увеличилась потребность в добыче золота и других полезных ископаемых. В настоящее время на месторождении Северное производится добыча золота, потенциал которого, доступный для открытой добычи, составляет не менее 500 т [2].

При разработке месторождений возникают многочисленные экологические проблемы, одной из которых является исследование качественного состояния водотоков как приемников загрязняющих веществ, в том числе радиоактивных, распространяющихся с территорий разработок по компонентам природной среды. В связи с этим важно изучение современного видового состава и количественных показателей биогеоценозов, являющихся естественными индикаторами качественного состояния вод – альгофлоры (фитопланктона и фитоперифитона), а также гидрохимического состояния воды.

Целью данной работы является исследование водных объектов по гидробиологическим и гидрохимическим показателям на территории Эльконского ураново-рудного района Якутии.

Материалы и методы исследования

В работе использованы единые, общепринятые унифицированные методики сбора и обработки альгологического материала [3, с. 32–63, 151–172]. Количественные (объемом 100 л) и качественные пробы отбирались с помощью планктонной сетки

Апштейна (газ N30) в литорали и пелагиали водоемов в слое 0,5 м от поверхности воды. Для идентификации водорослей использованы отечественные и зарубежные определители. Подсчет количества клеток водорослей производился под микроскопом Микмед-6 с использованием счетной камеры Нажотта объемом 0,05 см³ в трехкратной повторности. Расчет численности и биомассы проведен обычным счетно-объемным методом. Индекс сапробности рассчитывался по методу Пантле и Букка [4] в модификации Сладечека [5]. Названия таксонов приведены согласно базе данных [6] с учетом дополнений и уточнений последних отечественных и зарубежных выпусков. Материалом для гидробиологических исследований послужили количественные пробы фитопланктона, собранные в августе 2018 г. на 12 станциях рек Алдан, Элькон, Эльконкан, Курунг, Большой Ыллымах и их притоках (рисунок). Карта-схема составлена на картографической основе [7].

Отбор проб воды на химический анализ производился согласно ГОСТ Р 51592-2000 в полевых условиях в весенний паводок и летнюю межень [8–10], химический анализ – в аттестованных химических лабораториях г. Якутска по общепринятым методикам. Материалом послужили данные гидрохимических полевых работ на реках Алдан, Элькон, Эльконкан, Курунг, Большой Ыллымах, Делинда, Русская, Холодная.

Результаты исследования и их обсуждение

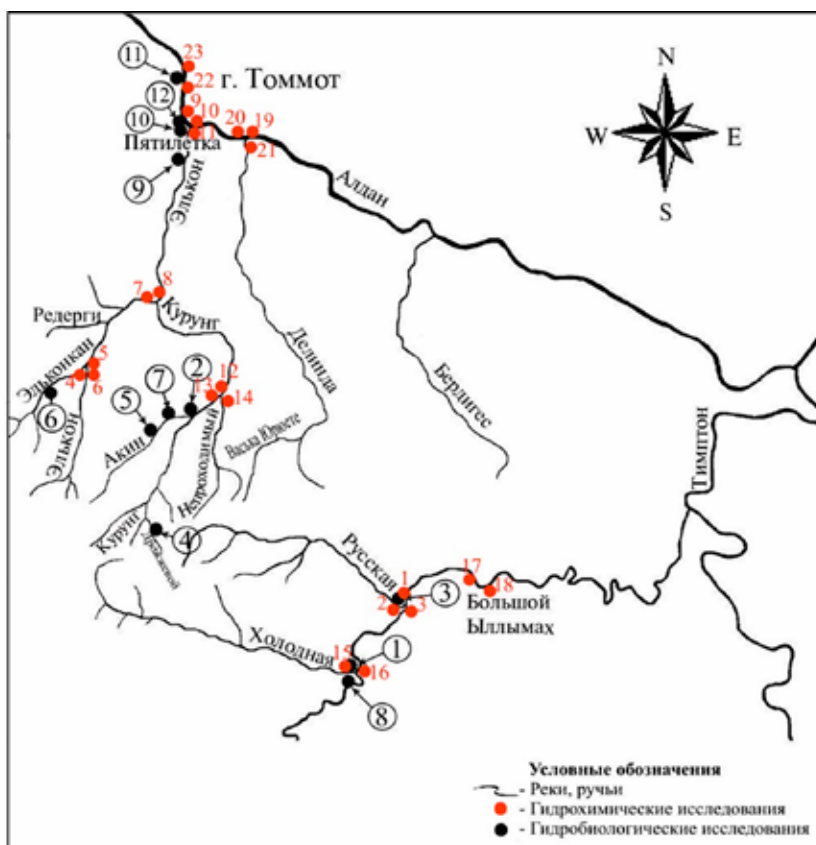
Гидробиологические исследования

Гидробиологические исследования поверхностных вод являются одним из важнейших инструментов для оценки экологического состояния природной среды. Важ-

ную роль в этом играют биоиндикаторы состояния водной среды, в качестве которых выступают такие гидробионты, как фитопланктон и фитоперифитон. Они чутко реагируют на любые изменения экологического состояния водоемов, характеризуют степень антропогенного загрязнения, явля-

ясь естественными индикаторами качества воды [11–14].

Результаты исследований по определению показателей видового состава, численности, биомассы фитопланктона и индекса сапробности в водных объектах представлены в таблице.



Карта-схема отбора проб воды на гидрохимический и гидробиологический анализы территории исследования

Основные параметры водорослей по водным объектам

п/п	Название водных объектов	Число видов	Численность тыс. (кл./л)	Биомасса (мг/л)	Сапробность (S)
1	Р. Холодная, устье	2	0,036	0,0001	–
2	Руч. Минеевский, устье	2	0,036	0,0001	–
3	Р. Русская, устье	5	283,680	0,72	0,43
4	Руч. Дрожжевой, ниже участка Д	5	5,040	0,02	–
5	Руч. Пропадающий, выше участка К1	5	4,080	0,02	1,4
6	Руч. Элькокан, среднее течение	2	0,036	0,0001	–
7	Руч. Пропадающий, ниже участка К1	2	0,548	0,002	–
8	Р. Большой Ыллымах, выше устья р. Холодной	4	0,072	0,0006	2,0
9	Р. Элькон, у моста	1	1,800	0,002	–
10	Р. Элькон, устье	4	0,198	0,0002	0,65
11	Р. Алдан, г. Томмот	2	0,012	0,00001	–
12	Р. Алдан, пос. Пятилетка	8	2,610	0,003	0,80

Как видно из таблицы, фитопланктон в водотоках крайне беден как по числу видов (от 1 до 8), так и по численности (от 0,012 до 283,680 тыс. кл/л) и биомассе (от 0,00001 до 0,72 мг/л). Основу выявленного списка фитопланктона водотоков составили виды из четырех отделов: Cyanobacteria – 1 вид, Ochrophyta – 1, Bacillariophyta – 17, Chlorophyta – 1 вид.

Среди отмеченных отделов водорослей доминирует отдел Bacillariophyta, где в обрастаниях высших водных растений (фитоперифитон) и камней (эпилиты) часто присутствовали – *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarneski, *Cymbella cistula* (Ehrenberg) O. Kirchner, *Odontidium hyemale* (Roth) Kützing, *Odontidium mesodon* (Ehrenberg) Kützing, *Diatoma vulgare* Bory, *Eunotia fallax* A. Cleve, *Eunotia diodon* Ehrenberg, *Eunotia praerupta* Ehrenberg, *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson, *Fragilariforma virescens* (Ralfs) D.M. Williams & Round, *Gomphonema truncatum* Ehrenberg, *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M. Patrick, *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh, *Neidium iridis* (Ehrenberg) Cleve, *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith, *Staurosirella martyi* (Héribaud) Morales & Manoylov, *Tabellaria fenestrata* (Lynge) Kützing. Из отдела Cyanobacteria нечасто – *Chamaesiphon confervicola* A. Braun, *Tolypothrix distorta* Kützing ex Bornet & Flahault. Отдел Chlorophyta представлен редким видом *Chaetophoropsis elegans* (Roth) B. Wen Liu, Qian Xiong, X. Dong Liu, Z. Yu Hu & G. Xiang Liu и в обрастаниях постоянны из Ochrophyta – *Tribonema vulgare* Pascher.

В количественном отношении наиболее высокая численность водорослей отмечена в устье р. Русская, где средняя численность составила 283680 кл /л, биомасса 0,72 мг/л в сложении которых участвовали виды из отдела Bacillariophyta – *Odontidium hyemale*, *Diatoma vulgare*, *Fragilariforma virescens*, *Hannaea arcus*, *Tabellaria fenestrata*. В руч. Дрожжевой и Пропадающий выявлено по 5 видов водорослей, где средняя численность видов составила 5040 и 4080 кл/л, биомасса – 0,02 мг/л каждое.

Следует отметить, что по числу видов в одних и тех же реках имеются существенные различия. Например, в р. Элькон у моста (т. 9) и в устьевой части (т. 10) были обнаружены 1 и 4 вида соответственно. Обеднение фитопланктона можно отметить и на других участках р. Алдан, г. Томмот (т. 11) и пос. Пятилетка (т. 12), где было выявлено 2 и 8 видов соответственно. Видимо, в (т. 12) были благоприятные

условия для развития фитоперифитонных видов, где в количественных пробах фитопланктона встречались виды обрастатели мхов и высших водных растений из отдела Bacillariophyta – *Epithemia adnata*, *Eunotia diodon*, *Eunotia fallax*, *Eunotia praerupta*, *Staurosirella martyi*; из Cyanobacteria реофильный и нитчатый вид – *Tolypothrix distorta*; из Ochrophyta нитчатый вид – *Tribonema vulgare*.

Большое влияние на фитопланктон руч. Пропадающий на участках выше К 1 (т. 5) и ниже К 2 (т. 7) оказывают отвалы участка Курунг, что проявляется в низком уровне развития водорослей. По нашим данным, число видов уменьшается от 5 (т. 5) до 2 видов (т. 7), средняя численность от 4,080 до 0,5480 тыс. кл/л, биомасса от 0,02 до 0,002 мг/л соответственно. Видимо, это обусловлено радиоактивным загрязнением изучаемых вод руч. Пропадающий (т. 7), расположенного ниже отвалов участка Курунг.

Индекс сапробности варьирует в пределах 0,43–2,2. В р. Большой Ыллымах, выше устья р. Холодной найдены виды – индикаторы загрязнения водной среды, это *Gomphonema truncatum*, *Nitzschia palea*, сапробные значения которых составили 2,2–2,0 соответственно. Следует отметить, что в формировании качества воды существенными факторами являются проточность, а также физико-химические, биохимические и другие естественные процессы.

Полученные сведения по фитопланктону исследованных рек являются новыми и могут составить основу для создания базы данных для биомониторинга в условиях нарастания техногенных нагрузок на водные экосистемы р. Алдан.

Гидрохимические исследования

Гидрохимическое состояние рек в районе Эльконского горста изучалось в основном гидробиологами ЯНЦ СО РАН [15], мониторинг качества воды проводился на пункте наблюдения, расположенном на р. Алдан, 500 м выше г. Томмот.

Во время проведенных в периоды весеннего половодья и летней межени исследований было определено содержание следующих компонентов, характеризующих физико-химический состав воды: физические свойства (запах, прозрачность, водородный показатель, взвешенные вещества, жесткость), солевой состав (хлориды, сульфаты, кальций, магний, натрий, калий, гидрокарбонаты, сухой остаток), газовый состав (растворенный кислород, двуокись углерода),

биогеогенный состав (аммонийный азот, нитриты, нитраты, фосфаты, железо), загрязняющие вещества органического происхождения (ХПК, фенолы, нефтепродукты, АПАВ), а также ряд тяжелых металлов [8–10].

Результаты оценки гидрохимического состояния воды района Эльконского горста получены путем сравнения данных лабораторных исследований с предельно допустимыми концентрациями для водоемов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}) [10]. Определено, что изучаемые речные воды имеют преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый состав. Гидрокарбонатно-кальциево-магниево-железистые воды распространены незначительно. Воды характеризуются малой величиной общей минерализации с содержанием, не превышающим 200 мг/дм³, преимущественно нейтральной средой, по показателю жесткости очень мягкие. По водородному показателю в поверхностных водах Эльконского месторождения преобладают нейтральные (85%). Слабощелочные воды составляют 11%, а слабокислые – 4% от всех исследованных. По показателю общей жесткости доминируют очень мягкие воды (до 1,5 мг-экв/дм³, что составляет 74%, а также встречаются мягкие воды, составляющие 26% [8, 9].

Исследования газового состава воды на изучаемых водотоках, проведенные в весеннее время, показали, что содержание растворенного кислорода было высоким и колебалось от минимальной величины в 9,38 мг O₂ /л в точке р. Большой Ыллымах (67% насыщения) до максимальной величины в 15,92 мг O₂ /л, которое составило 113,7% насыщения в р. Курунг. Содержание двуокиси углерода не превышало нормируемых значений [8, 9]. Таким образом, газовый режим определен как удовлетворительный.

Отмечены разовые максимальные превышения содержания общего железа, меди и цинка, при этом их среднегодовое содержание не превышает предельно допустимых норм.

Концентрация большинства тяжелых металлов находится ниже нормируемых пределов. Из органических веществ в 19% пробах выявлено превышение предельно допустимых значений для водоемов рыбохозяйственного значения по нефтепродуктам [8].

Таким образом, содержание большинства нормируемых ингредиентов исследуемых водотоков верхнего течения р. Алдан в районе Эльконского горста находится ниже предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного значе-

ния. Из загрязняющих веществ [8] антропогенного происхождения отмечается превышение содержания нефтепродуктов. Вместе с тем в летнюю межень отмечалось увеличение в воде содержания сульфидов, связанное с техногенным воздействием отвалов горных пород, содержащих радиоактивные элементы и расположенных в бассейне р. Курунг [9].

Заключение

Впервые проведена инвентаризация водорослей рек бассейна р. Алдан в зоне расположения Эльконского ураново-рудного района. В таксономическом спектре основу фитопланктона формировали водоросли из отдела *Bacillariophyta*, менее разнообразны *Cyanobacteria*, единичны *Chlorophyta* и *Ochrophyta*. Отмечена неравномерность пространственного распространения водорослей в различных реках в зависимости от различия концентрации и качественного состава органических веществ, поступающих в водоемы. Фитопланктон изученных рек крайне беден как по числу видов (от 1 до 8), так и по численности (от 0,012 до 283,680 тыс. кл/л) и биомассе (от 0,00001 до 0,72 мг/л). Большое влияние на фитопланктон руч. Пропадающего на участках выше К 1 (т. 5) и ниже К 2 (т. 7) оказывают отвалы участка Курунг, что проявляется в низком уровне развития водорослей. Индекс сапробности варьирует в пределах 0,43–2,20.

Исследования показали, что содержание большинства нормируемых ингредиентов в водотоках р. Алдан в районе Эльконского горста находится ниже допустимых уровней. Из загрязняющих веществ антропогенного происхождения отмечается превышение содержания нефтепродуктов.

В целом по результатам гидробиологических и гидрохимических исследований определено, что качественное состояние рек бассейна р. Алдан в пределах Эльконского горста обусловлено низкотемпературным характером режима климата и речных вод в условиях прерывистого распространения многолетнемерзлых пород. Низкие показатели альгофлоры на станциях руч. Пропадающего, а также высокое содержание сульфидов в воде руч. Непроходимый являются последствиями техногенного загрязнения воды от горных отвалов участка Курунг.

Полученные результаты являются новыми и могут стать основой для создания базы данных по биомониторингу водных ресурсов бассейна р. Алдан.

Список литературы

1. Спирин Э.К., Филонов А.В., Киселев С.В. Эльконский ураново-рудный район как перспектива Российской уранодобывающей промышленности // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 11-1. С. 81–83.
2. Данилов А.А., Гласс И.Д., Е.С. Овчарова, Фомин В.Ю., Руденко А.А., Журавлев В.Г., Домаренко В.А. Перспективы освоения комплексных золотоурановых месторождений Эльконского района // *Золото и технологии*. 2021. № 3 (53). С. 34–41.
3. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 318 с.
4. Pantle R., Buck H. Die biologische Uberwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse // *Gas und Wasserbach*. 1955. Vol. 96, Is. 18. P. 604–618.
5. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view // *Ergebnisse Limnologie*. 1973. No. 7. P. 1–218.
6. Guiry M.D., Guiry G.M. Algae Base. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org>. (дата обращения: 15.05.2023).
7. Чевычелов А.П., Собакин П.И., Кузнецова Л.И. Естественные радионуклиды ^{238}U , ^{226}Ra и ^{222}Rn в поверхностных водах Эльконского ураново-рудного района (Южная Якутия) // *Водные ресурсы*. 2019. Т. 46. № 6 (2019). С. 613–620. DOI: 10.31857/S0321-0596466613-620.
8. Николаева Н.А., Салова Т.А. Гидрохимические и гидробиологические исследования воды рек Южной Якутии в зоне разработки Эльконского ураново-рудного месторождения // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14652> (дата обращения: 20.07.2023).
9. Ноговицын Д.Д., Николаева Н.А., Ксенофонтова М.И. Оценка гидрохимического состояния рек бассейна Алдана в районе строительства Эльконского горно-металлургического комбината // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=4659> (дата обращения: 30.07.2023).
10. Ноговицын Д.Д., Николаева Н.А., Пинигин Д.Д. Гидрологическое и гидрохимическое состояния поверхностных вод зоны влияния Эльгинского угольного месторождения // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9238> (дата обращения: 20.07.2023).
11. Parmar T.K., Rawtani D., Agrawal Y.K. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution // *Frontiers in life science*. Taylor & Francis. 2016. No. 9 (2). P. 110–118.
12. Tulay O., Erkaya I.A., Solak C.N., Udoh A.U. Diversity and Ecology of Algae from Melen River (Western Black Sea River Catchment) in Turkey // *Turkish Journal of fisheries and aquatic sciences*. 2018. No. 18. P. 1187–1194.
13. Gökçe D. Algae as an Indicator of Water Quality. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/51074> (дата обращения: 15.05.2023).
14. Firsova A.D., Bessudova A.Y., Likhoshway Y.V., Kopyrina L.I. Chrysophycean stomatocysts from two unique lakes of Yakutia (Russia) // *Phytotaxa*. 2020. Vol. 474, Is. 3. P. 197–217.
15. Кузнецова Л.И., Чевычелов А.П. Мониторинг химического состава поверхностных вод в зоне хозяйственного освоения Амуро-Якутской железнодорожной магистрали // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2019. Т. 24, № 1. С. 92–102. DOI: 10.31242/2618-9712-2019-24-1-92-102.