

УДК 91:502.7

DOI 10.17513/use.38054

## ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ СОСТОЯНИЯ РЕК И ЛАНДШАФТОВ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

<sup>1</sup>Николаева Н.А., <sup>2</sup>Копырина Л.И.

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

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»,  
обособленное подразделение Институт биологических проблем криолитозоны  
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

Бассейн р. Виллой расположен на территории Западной Якутии, наиболее освоенной и промышленно развитой части Якутии, имеющей важное экономическое и стратегическое значение для России. Регион является центром алмазодобывающей промышленности РФ, где разрабатываются коренные и россыпные месторождения алмазов, расположен каскад ГЭС на р. Виллой и Виллойское водохранилище. Это влечет экологические и социальные проблемы, негативно воздействуя на все компоненты природной среды. При исследовании различных аспектов состояния природной среды необходимо изучение устойчивости северных ландшафтов к техногенному воздействию и изучение гидробиологического состояния водных экосистем, в частности состояния альгофлоры водотоков. Проведена оценка степени устойчивости ландшафтов территории бассейна р. Виллой к техногенному воздействию по мерзлотным и биоклиматическим показателям. Выявлено, что северотаежные редколесные и маревые ландшафты обладают преимущественно слабой степенью устойчивости, среднетаежные – средней степенью устойчивости. Наиболее неустойчивыми по всем показателям являются горно-тундровые ландшафты, характеризующиеся наиболее холодными и влажными условиями. Проведено исследование современного гидробиологического состояния рек бассейна Виллой, в результате которых определено низкое развитие фитопланктона и фитоперифитона в р. Ирелях, М. Ботубуйа и в верхнем течении р. Виллой, состоящего из однообразного видового состава диатомовых и зеленых водорослей. Максимальная средняя численность водорослей варьирует от 82290 кл/л до 20700 кл/л, наибольшая биомасса отмечена на одном участке и составляет 1,58 мг/л. Индекс биоразнообразия по Шеннону – Уиверу варьирует по точкам отбора проб по течению р. Виллой от 0,19 бит/экз. и 1,00 бит/экз. до 2,40 бит/экз. По санитарно-биологической характеристике выявлены массовые виды – индикаторы сапробности воды, что говорит о III-м классе чистоты воды, определенной как умеренно загрязненная. Таким образом, состояние альгофлоры находится под влиянием техногенной нагрузки от предприятий алмазодобычи и энергетики.

**Ключевые слова:** Западная Якутия, бассейн р. Виллой, воздействие промышленности, устойчивость ландшафтов, гидробиологическое состояние, альгофлора

*Работа выполнена по госзаданию по теме «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (код научной темы: FWRS-2021-0023; номер госрегистрации в ЕГИСЦ: AAAA-A21-121012190038-0) и в рамках проекта государственного задания (№ FWRS-2021-0014) программы по приоритетному направлению ПФНИ РФ на долгосрочный период (2021–2030 гг.).*

## EVALUATION OF SOME ASPECTS OF THE STATE OF RIVERS AND LANDSCAPES IN WESTERN YAKUTIA UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

<sup>1</sup>Nikolaeva N.A., <sup>2</sup>Kopyrina L.I.

<sup>1</sup>Yakut 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. Lariyonov,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru;

<sup>2</sup>Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Institute of Biological Problems of Permafrost, Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

The Basin of the Vilyui river is located on the territory of Western Yakutia, one of the most developed and industrialized parts of Yakutia, which is of great economic and strategic importance for Russia. The region is the center of the diamond mining industry of the Russian Federation, where primary and alluvial diamond deposits are developed, a cascade of hydroelectric power stations is located on the river Vilyui. This causes environmental and social problems, negatively affecting all components of the natural environment. It is necessary to study the stability of northern landscapes to technogenic impact and study the hydrobiological state of aquatic ecosystems, in particular, the state of the alga flora of watercourses. As a result of studying the degree of stability of landscapes in the basin of the river Vilyui to technogenic impact on permafrost and bioclimatic indicators, the degree of their resistance is determined. It was revealed that, according to the permafrost characteristics, the northern taiga open forest and haze landscapes are defined as predominantly weakly resistant, the middle taiga as medium resistant. The most unstable in terms of bioclimatic indicators were mountain-tundra landscapes, characterized by the coldest and most humid conditions. As a result of studies of the current hydrobiological state of the rivers in the basin of the river

Vilyui determined the low development of phytoplankton and phytoplankton in the river Irelyakh, M. Botuobuya and in the upper reaches of the river Vilyui, consisting of a monotonous species composition of diatoms and green algae. The maximum average number of algae varies from 82290 cells/l to 20700 cells/l, the highest biomass was noted in one area and is 1.58 mg/l. The Shannon-Weaver biodiversity index varies by sampling points along the river. Vilyuy from 0.19 bits / copy. and 1.00 bits/copy. up to 2.40 bits/copy. According to the sanitary-biological characteristics, mass species-indicators of water saprobicity were identified, which indicates the III class of water purity, as moderately polluted. Thus, it was determined that the state of phytoplankton and phytoplankton is under the influence of the technogenic load of diamond mining and hydropower enterprises.

**Keywords:** Western Yakutia, basin of the river Vilyui, the impact of industry, landscape sustainability, hydrobiological state, algoflora

*The work was carried out according to the state assignment 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; draft state task (No. FWRS-2021-0014) of the program in the priority area of the PFNI RF for the long-term period (2021–2030).*

Западная Якутия, расположенная в бассейне р. Вилюй, является одним из самых развитых промышленных регионов Якутии, что обусловлено прежде всего деятельностью крупнейшей алмазодобывающей компании «АЛРОСА», имеющей стратегическое значение для страны и региона. Россия обладает самой большой ресурсной базой алмазов в мире, составляя 45 % мировых разведанных запасов алмазных месторождений, что позволяет России обеспечивать 25 % мировой алмазодобычи. Из них более 90 % алмазов добывается в Республике Саха (Якутия). Горные работы ведутся открытым и подземным способами на коренных и россыпных месторождениях алмазов [1].

Вместе с тем добыча алмазов оказывает негативное воздействие на все составляющие природной среды: рельеф, недра, воду, воздух, почвенно-растительный покров, животный мир – что влечет экологические последствия и наносит ущерб окружающей среде [2].

Добыча алмазов повлекла сооружение инфраструктурных объектов – энергетики, транспорта, населенных пунктов, сельскохозяйственных производств. Наиболее масштабным и значимым объектом является каскад ГЭС на р. Вилюй, включающий Вилюйскую ГЭС-I–II общей мощностью 680 мВт и Вилюйскую ГЭС-III, мощность которой составляет 270 мВт.

Но наряду с решением энергетической проблемы создание каскада ГЭС и Вилюйского водохранилища создало ряд экологических и социальных проблем. Так, произошло перераспределение гидрологического стока реки, изменение климатических условий, усиление эрозионно-русловых процессов и переработки берегов, тепловое и гидрохимическое загрязнение воды, влияние на гидробионты и ихтиофауну, изменение условий судоходства [3].

Изучение различных аспектов экологического воздействия промышленного освоения на природную среду бассейна р. Вилюй является предметом многих научных исследований и не теряет своей актуальности. Так, на этой территории, относящейся к районам Крайнего Севера, «достаточно широко известен феномен низкой устойчивости северных экосистем к различным формам антропогенного воздействия» [4, с. 80]. Также важны изучение и оценка гидробиологического состояния рек, в частности альгофлоры (фитопланктона и фитоперифитона).

Целью работы является оценка степени устойчивости ландшафтов и современного состояния альгофлоры водотоков бассейна р. Вилюй.

#### Материалы и методы исследования

Для сбора и обработки альгологических проб были применены унифицированные гидробиологические методики [5]. Видовое разнообразие фитопланктона оценивали при помощи индекса Шеннона [6], расчет численности и биомассы проведен счетно-объемным методом. Количественный учет клеток водорослей проводили под микроскопом Микмед-6 с использованием счетной камеры Нажотта объемом 0,01 и 0,05 см<sup>3</sup> в трехкратной повторности. Для санитарно-биологической характеристики исследованных водных объектов принадлежности видов водорослей к той или иной зоне сапробности использован «Атлас водорослей – индикаторов сапробности» [7]. Названия таксонов приведены согласно базе данных [8] с учетом дополнений и уточнений последних отечественных и зарубежных выпусков. Материалом послужили данные полевых исследований в сентябре 2018 г. и в августе 2020 г. на р. Ирелях выше и ниже дражных полигонов, устье; р. М. Ботуобуя выше и ниже р. Ирелях, р. Вилюй выше и ниже устья р. М. Ботуобуя.

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

*Характеристика объекта исследования*

Территория бассейна р. Вилюй характеризуется существенным разнообразием природных условий, обуславливающим неоднородность строения рельефа с горными и равнинными участками, растительности и весьма сложный рисунок распределения как ландшафтной структуры, так и водного режима рек. Климат суровый, резко континентальный. Криолитозона сплошного распространения мощных низкотемпературных мерзлых пород.

Река Вилюй – основная водная артерия Западной Якутии, левый приток Лены. Длина реки составляет 2654 км, площадь водосбора – 448655 км<sup>2</sup>, среднеголетний сток – 72,4 км<sup>3</sup>, среднегодовой расход воды – 1450 м<sup>3</sup>/с. [3]. Гидроэнергетическое строительство ведет к изменению гидрографических параметров водотоков, величины и режима стока. Каскад водохранилищ привел к перераспределению внутригодового стока реки: произошло уменьшение стока весеннего половодья и частично летне-осенних паводков в сторону зимней межени. Так, суточные колебания уровня воды прослеживаются в Вилюе на расстоянии 300–400 км ниже плотины ГЭС-3, недельное регулирование – до 700–850 км от плотины. Сезонное и межгодовое регулирование стока сохраняется вплоть до устья р. Вилюй, а отдельные его элементы прослеживаются на нижнем участке Лены. До начала заполнения Вилюйского водохранилища на весенний (май – июль), летне-осенний (август – октябрь) и зимний гидрологические сезоны в створе ГЭС-1,2 приходилось 79, 20 и 1% годового стока воды соответственно. В период нормальной эксплуатации гидроузла распределение по сезонам составляет 26, 18 и 56% соответственно. После зарегулирования изменился и режим стока наносов, ледово-термические условия среднего и нижнего участков Вилюя: стока наносов – на 34%, теплового стока на значительном протяжении реки – до 25–50% [9].

Вода р. Вилюй и его притоков гидрокарбонатного класса кальциевой группы, малой минерализации. В настоящее время качество воды рек бассейна оценивается 3-м классом разряда «б» и характеризуется как «очень загрязненная» и 3-м классом разряда «а», «загрязненная» [10]. До конца 1989 г. вода р. Вилюй находилась под прямым воздействием сбросов высокоминерализован-

ных вод алмазодобывающего производства, которые вызвали в начале 1990-х гг. высокую минерализацию воды р. Ирелях и Малая Ботубуйа. На протяжении последних лет для бассейна р. Вилюй наиболее характерными загрязняющими веществами остаются трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), железо общее и фенолы. Только по содержанию меди в 2021 г. было отмечено значительное снижение, максимальная величина составила 3,9 ПДК [10]. Среднегодовое содержание органических веществ и фенолов в среднем по бассейну составило: по ХПК – 2,6 ПДК, фенолов – 5,4 ПДК. Сохранялась загрязненность бассейна реки железом общим, среднегодовая концентрация которого превышала ПДК в 1,6 раза, максимальная – в 8,7 раза. Среднегодовая величина азота нитритного была ниже ПДК, максимальная превышала норматив в 6,7 раза. Фиксировалось отклонение от нормативных требований содержания легкоокисляемых органических веществ (по БПК<sub>5</sub>), азота аммонийного, цинка и нефтепродуктов, хотя их среднегодовые концентрации не превышали критерии ПДК. Среднее содержание растворенного в воде кислорода по бассейну составило 9,87 мг/л, минимальное 7,63 мг/л.

*Оценка устойчивости ландшафтов*

Территория бассейна р. Вилюй относится к физико-географической стране Северо-Восточная Сибирь и представлена северо-таежными горноредколесными и средне-таежными ландшафтами зоны сплошного распространения горных пород [11].

Оценка устойчивости ландшафтов бассейна рек Вилюй была произведена путем применения методики покомпонентного анализа влияния основных мерзлотных и биогидроклиматических факторов на снижение устойчивости ландшафтов [12]. Они были приведены в ряд, ранжированный по присвоенным баллам экспертных оценок, разграничивающих степени устойчивости, что дало возможность оценить степень устойчивости каждого ландшафта по суммарному количеству баллов. При этом наибольшие баллы присвоены наименее устойчивым ландшафтам, а наименьшие – наиболее устойчивым.

Расположение ландшафтов бассейна р. Вилюй в области сплошного распространения мерзлых пород обуславливает их потенциальную неустойчивость, но при этом имеются различия в зависимости от соотношения температуры и льдистости. Так, северо-таежные редколесные ландшафты,

имеющие очень низкую температуру горных пород, достигающую до  $-8^{\circ}\text{C}$ , и невысокую льдистость (до 0,2 и 0,2–0,4 отн.ед.), определены как относительно устойчивые, а северотаежные маревые слабодренированные интразональные ландшафты, хотя имеют низкие температуры до  $-3$  и  $-8^{\circ}\text{C}$ , содержат высокое количество льда (0,4–0,8 отн. ед.) и являются слабоустойчивыми. Среднетаежные ландшафты со средней температурой до  $-3^{\circ}\text{C}$  определены как слабоустойчивые [13].

По биоклиматическим показателям (запасам фитомассы, биопродуктивности, по теплообеспеченности и увлажнению) североредколесные ландшафты определены как слабоустойчивые и неустойчивые, а среднетаежные – как преимущественно среднеустойчивые. Так, северотаежные ландшафты по запасам фитомассы и продуктивности определены как слабоустойчивые, по показателям тепло- и влагообеспеченности они относительно неустойчивы и неустойчивы. Среднетаежные комплексы

отмечены как преимущественно среднеустойчивые по всем показателям. Наиболее неустойчивыми по всем биоклиматическим показателям определены горно-тундровые ландшафты, характеризующиеся наиболее холодными и влажными условиями [13].

#### Состояние альгофлоры

Фитопланктон и фитоперифитон являются биоиндикаторами экологического состояния водной среды [14, 15]. В период осенней межени 2018 г. произошел выброс большого количества загрязняющих веществ из нескольких дамб на р. Ирелях и Малая Ботубуйа в р. Виллой. Были проведены гидробиологические исследования по количественному и качественному состоянию водорослей, в результате которых количество видов во всех исследованных участках рек оказалось низким и составило на трех участках р. Ирелях (от 6 до 12 видов), на трех участках р. М. Ботубуйа (4–5 видов) и на двух участках верхнего течения р. Виллой (от 9 до 13 видов) (таблица).

Число видов, количественные показатели численности (N – кл/л) и биомассы (B – мг/л) по годам (2018/2020) в исследованных притоках р. Виллой

№	Участки	Год	Число видов	N	B	Доминирующие виды
1	Р. Ирелях выше дражных полигонов	2018	12	8460	0,023	Diatoma vulgare, Hannaea arcus, Tabellaria flocculosa, Ulothrix zonata
		2020	20	71,9	0,0006	Cocconeis pediculus, Cocconeis placentula
2	Р. Ирелях ниже дражных полигонов	2018	7	1620	0,02	Closterium moniliferum, Spirogyra varians, Ulanaria ulna
		2020	9	270	0,001	Stigeoclonium tenue, Sphaerocystis polycocca
3	Устье р. Ирелях	2018	6	20700	0,04	Aulacoseira italica, Melosira varians, Tabellaria fenestrata
		2020	7	163,0	0,003	Cymatopleura elliptica Stigeoclonium tenue, Spirogyra varians
4	Р. М. Ботубуйа выше устья р. Ирелях	2018	5	16380	0,3	Chantransia sp., Hannaea arcus, Ulothrix zonata
		2020	20	3,30	0,0007	Cymatopleura elliptica
5	Р. М. Ботубуйа ниже устья р. Ирелях	2018	4	61350	1,58	Spirogyra condensata, Ulothrix zonata
		2020	15	371,6	0,006	Stigeoclonium tenue, Cymatopleura elliptica, Pediatrum boryanum
6	Устье р. М. Ботубуйа	2018	5	11565	0,01	Aphanizomenon flos-aquae, Melosira varians, Tabellaria fenestrata
		2020	6	62,7	0,0003	Melosira varians
7	Р. Виллой выше устья р. М. Ботубуйа	2018	13	82290	0,20	Aulacoseira italica, Fragilaria virescens, Tabellaria fenestrata, Tolypothrix distorta, Tribonema ulotrichoides, Ulothrix zonata
		2020	14	2130,5	0,002	Tabellaria fenestrata, Fragilaria capucina, Stigeoclonium tenue
8	Р. Виллой ниже устья Р. М. Ботубуйа	2018	9	36405	0,03	Fragilaria virescens, Melosira varians, Tribonema viride, Ulanaria ulna
		2020	14	2865	0,06	Cladophora fracta, Melosira varians, Tabellaria fenestrata, Ulothrix zonata

По количественному развитию водорослей максимальная средняя численность водорослей отмечена на станциях р. Виллой выше устья р. М. Ботубуйа – 82290 кл/л, М. Ботубуйа ниже устья р. Ирелях – 61350 кл/л, р. Виллой ниже устья р. М. Ботубуйа – 36405 кл/л, устье р. Ирелях – 20700 кл/л. Наибольшая биомасса отмечена на участке р. М. Ботубуйа ниже устья р. Ирелях – 1,58 мг/л. В основном в формировании численности и биомассы водорослей участвовали нитчатые зеленые водоросли – *Spirogyra condensata*, *Ulothrix zonata*; диатомовые – *Melosira varians*, *Pinnularia viridis*, *Tabellaria fenestrata*, *Ulnaria ulna*.

Среди диатомовых водорослей есть виды, которые практически постоянно присутствовали в составе фитопланктона рек (*Aulacoseira italica*, *Cymatopleura elliptica*, *Melosira varians*, *Navicula radiosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Ulnaria acus*, *U. ulna* и др.) и являются доминирующими видами на всех исследованных станциях. Кроме диатомовых и зеленых, в формировании численности фитопланктона играли определенную роль виды из синезеленых водорослей – *Aphanizomenon flos-aquae* и др.

По нашим наблюдениям, число видов в 2020 г. немного увеличилось по сравнению с 2018 г. Так, на участке р. Ирелях обнаружено 25 видов водорослей из 4 отделов: Bacillariophyta (17 видов), Chlorophyta (5), Xanthophyta (2), Cyanobacteria (1), среди них число видов на участке выше дражных полигонов – 20 видов, ниже дражных полигонов – 9, в устье – 7 видов. Наибольшая численность водорослей отмечена в реке ниже дражных полигонов (270 кл/л), биомасса в устьевой части реки (0,003 мг/л). Выявлены массовые виды и индикаторы сапробности воды: *Cymatopleura elliptica* (b), *Sphaerocystis polycoeca*, *Spirogyra varians* (b-a), *Stigeoclonium tenue* (a) и др., показывающие сильную антропогенную нагрузку.

На участке р. М. Ботубуйа выявлено 32 вида из 4 отделов: Bacillariophyta (16 видов), Chlorophyta (13), Dinophyta (2), Cyanobacteria (1). Среди исследованных участков наибольшее число видов отмечено на участке выше устья р. Ирелях (20), где средняя численность составила 371,6 кл/л. Биомасса – 0,006 мг/л (ниже устья р. Ирелях). Массовыми видами явились *Cymatopleura elliptica* (b), *Melosira varians* (b), *Pediastrum boryanum* (b), *Stigeoclonium tenue* (a).

На двух участках р. Виллой найдено по 14 видов водорослей. Количественное развитие водорослей низкое. Средняя

численность составила 2865 кл/л, биомасса – 0,06 мг/л (р. Виллой, ниже устья р. Малая Ботубуйа) и 2130,5 кл/л, биомасса 0,002 мг/л (р. Виллой выше устья р. М. Ботубуйа). В пробах часто встречались индикаторы сапробности воды: *Cladophora fracta* (b), *Cymatopleura elliptica* (b), *Fragilaria capucina*, *Pediastrum boryanum* (b), *Stigeoclonium tenue* (a), *Tabellaria fenestrata* (b-o), *Ulothrix zonata* и др.

Индекс биоразнообразия по Шеннону – Уиверу варьирует по точкам отбора проб от 0,19 бит/экз. (р. Виллой участки выше и ниже устья р. М. Ботубуйа) и 1,00 бит/экз. (устье р. Ирелях) до 2,40 бит/экз. (р. М. Ботубуйа в 200 м ниже устья р. Ирелях).

По санитарно-биологической характеристике выявлены массовые виды – индикаторы сапробности воды от β-бета-олигосапробной до β-бета-мезосапробной зоны самоочищения, что говорит о III-м классе чистоты вод, оцениваемых как умеренно загрязненные.

### Заключение

В результате оценки степени устойчивости ландшафтов территории бассейна р. Виллой к антропогенному воздействию по мерзлотным и биоклиматическим показателям определена степень их устойчивости к антропогенным воздействиям. Северотаежные редколесные и маревые ландшафты обладают преимущественно слабой степенью устойчивости, среднетаежные – средней степенью устойчивости.

В результате исследований современного гидробиологического состояния рек бассейна р. Виллой за 2018 и 2020 гг. определено, что состояние фитопланктона в исследованных участках рек все еще остается под антропогенной нагрузкой. Это подтверждается низким развитием фитопланктона в р. Ирелях, М. Ботубуйа и верхнего течения р. Виллой, состоящих из однообразного видового состава диатомовых и зеленых водорослей. Развитие фитопланктона и его состав, количественные показатели зависят главным образом от уровня режима, концентрации биогенных веществ, рельефа, проточности, степени зарастания высшей прибрежной и водной растительностью в мелководьях.

Кроме антропогенных факторов, важной характеристикой водных объектов является проточность, которая имеет большое значение для формирования качества воды в них и их способности к самоочищению. В связи с этим существует необходимость

мониторинговых долгосрочных гидробиологических наблюдений водных объектов бассейна р. Вилюй.

### Список литературы

1. Сидоревич А.С., Инякина Е.Е. Территориальная организация алмазодобывающей промышленности России // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19, № 3. С. 1058–1060.
2. Курочкина А.А., Семенова Ю.Е. Экологические проблемы алмазодобывающей промышленности в условиях Арктики // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 6. С. 56–61.
3. Вилюйский гидроузел: социально-экологические последствия. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.plo-tina.net/experts/vilyujskij-gidrouzel-socialno-ekologicheskie-posledstviya/> (дата обращения: 20.04.2023).
4. Вольперт Я.Л. Трансформация наземных экосистем в результате воздействия алмазодобывающей промышленности // Успехи современного естествознания. 2012. № 11. С. 80–82.
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу поверхностных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
6. Magurran A.E. Ecological diversity and its measurement. New Jersey: Princeton Univ. Pres. 1988. P. 192.
7. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. М.: ВНИИПрироды. 2000. 150 с.
8. Guiry M.D. in Guiry G.M. Algae Base. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 22.06.2023).
9. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты на Нижней Лене и Вилюе // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2015. № 6. С. 85–95.
10. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2015 году. Якутск: СВФУ, 2016. 546 с.
11. 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.
12. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. 1994. № 1. Сер. 5. География. С. 56–65.
13. Николаева Н.А. Устойчивость ландшафтов бассейна р. Вилюй в Западной Якутии // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 88–94.
14. Дрозденко Т.В. Фитопланктон как индикатор экологического состояния водоема (на примере озера Барское, Псковская область) // Известия Саратовского университета. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18. Вып. 2. С. 225–231. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-225-231.
15. Bessudova A.U., Tomberg I.V., Firsova A.D., Kopyrina L.I., Likhoshway Y.V. Silica-scaled chrysophytes in lakes Labyntyr and Vorota, of the Sakha (Yakutia) Republic, Russia // Nova Hedwigia. 2019. № 148. P. 35–48.