

УДК 574.5

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОПЛАНКТОНА СОЛОНОВАТОГО ОЗЕРА (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ, ОЗЕРО БОЛЬШОЕ КЕСЕНЕ)

Саган В.В., Кравцова А.В. ORCID ID0000-0001-9098-5795,

Сташкевич Д.С. ORCID ID 0000-0001-7235-9459,

Ковалева А.П., Башкатова К.Ю.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет», Челябинск, Российская Федерация,
e-mail: kravtsova87@yandex.ru*

Солоноватые озера представляют собой уникальные биотопы с особым биоразнообразием орнитофауны, в том числе редких видов птиц, в которых фитопланктон выступает основным продуцентом и звеном в пищевых цепях. Изучение альгофлоры таких водоемов вносит вклад в формирование представлений о структуре фитопланктонных сообществ, обитающих в минерализованных водах, и позволяет оценить основы кормовой базы для популяций обитающих водоплавающих птиц. Цель работы – определить состав, численность и эколого-географическую характеристику фитопланктона солоноватого озера Большое Кесене (Варненский район) в Челябинской области. В статье впервые представлено исследование альгофлоры оз. Б. Кесене. Физико-химический анализ пробы показал, что воды относятся к гидрокарбонатному классу, натриевой группе, являются солоноватыми, характеризуются щелочными условиями, очень высокой степенью цветности и жесткости. Гидробиологический анализ выявил, что фитопланктонное сообщество водоема включает 26 видов водорослей из отделов Cyanobacteriophyta, Charophyta и Heterokontophyta. Доминирующим отделом по численности и видовому разнообразию являются диатомовые, а доминирующим видом – *Lindavia radiosa*. Анализ эколого-географической характеристики показал, что наблюдается преобладание бентосных и планктонно-бентосных форм, космополитных видов, индифферентных к уровню солености и pH. В водоеме определены мезаспробные условия по индексу Пантле – Букка.

Ключевые слова: фитопланктон, солоноватое озеро, утка-савка

CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON OF BRACKISH LAKE (CHELYABINSK REGION, LAKE B. KESENE)

Sagan V.V., Kravtsova A.V. ORCID ID0000-0001-9098-5795,

Stashkevich D.S. ORCID ID 0000-0001-7235-9459,

Kovaleva A.P., Bashkatova K.Yu.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Chelyabinsk State University”, Chelyabinsk, Russian Federation,
e-mail: kravtsova87@yandex.ru*

Brackish lakes represent unique biotopes with a special biodiversity of avifauna, including rare bird species in which phytoplankton acts as the main producer and link in food chains. The study of the algoflora of such reservoirs contributes to the formation of ideas about the structure of phytoplankton communities living in mineralized waters, and allows us to assess the basics of the food base for populations of native waterfowl. The purpose of the work is to determine the composition, abundance, and ecological and geographical characteristics of phytoplankton in brackish Lake B. Kesene (Varna district) in the Chelyabinsk region. The article presents for the first time a study of the algoflora of Lake Baikal. Thank you very much. Physico-chemical analysis of the sample showed that the waters belong to the bicarbonate class of the sodium group, are brackish, characterized by alkaline conditions, a very high degree of color and hardness. Hydrobiological analysis revealed that the phytoplankton community of the reservoir includes 26 species of algae from the Cyanobacteriophyta, Charophyta and Heterokontophyta divisions. The dominant division in terms of abundance and species diversity is diatoms, and the dominant species is *Lindavia radiosa*. The analysis of the ecological and geographical characteristics showed that there is a predominance of benthic and planktonic-benthic forms, cosmopolitan species, indifferent to the level of salinity and pH. The meso-approved conditions in the reservoir have been determined according to the Pantle-Bucca index.

Keywords: phytoplankton, brackish lake, duck *Oxyura leucocephala*

Введение

Солоноватые озера представляют собой уникальные биотопы с особым биоразнообразием, в которых фитопланктон выступает основным продуцентом и звеном в пищевых цепях. Кроме того, данные о состоянии фитопланктона служат важным индикатором экологического состояния водных объектов и позволяют оценить процессы,

протекающие в них. В условиях глобальных изменений климата и увеличения антропогенного давления на водные объекты изучение фитопланктона солоноватых озер приобретает особую актуальность для разработки стратегий их сохранения [1; 2].

В Челябинской области около 3000 озер. Однако преобладают озера с малой площадью водного зеркала (0,5 км² и меньше), их

около 80%. Примерно 1000–1200 из них классифицируются как соленые и солоноватые. Большая часть озер такого типа расположена в степной зоне Челябинской области. Эти водоемы играют важную роль в поддержании орнитофауны: служат местами гнездования и отдыха на миграционных путях водоплавающих птиц. Особую значимость представляют озера, являющиеся местом гнездования видов, занесенных в Международную Красную книгу, таких как утка-савка *Oxyura leucoccephala*, которая неоднократно была отмечена на оз. Чекатай и Кесене [3]. В настоящее время гидробиологических исследований степных солоноватых озер Челябинской области недостаточное количество [4]. Таким образом изучение альгофлоры таких водоемов является актуальной и важной задачей, так как вносит вклад в формирование представлений о структуре фитопланктонных сообществ, обитающих в минерализованных водах, и позволяет оценить основы кормовой базы для популяций обитающих водоплавающих птиц, в том числе видов, находящихся под особой охраной.

Цель исследования – определить состав, численность и эколого-географическую характеристику фитопланктона солоноватого оз. Б. Кесене.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужила проба воды, отобранная в сентябре 2025 г. с поверхностного горизонта в оз. Б. Кесене, представленного на рис. 1.

Водоем находится на юго-востоке Челябинской области, в 10–20 км на восток от с. Варна, вдоль него расположены региональные автодороги. Для этой территории характерен резко континентальный климат с дефицитом влаги (коэффициент увлажнения 0,5–0,7), годовое количество осадков составляет 330–350 мм. Водные объекты здесь питаются только за счет атмосферных осадков, поэтому часть озер в засушливые годы сильно мелеет, а иные высыхают. Озеро Б. Кесене представляет собой бессточный мелководный просадочный водоем с обширными зарослями тростника, площадью около 500 га каждый. Зеркало свободной от тростника воды зависит от гидрометеорологических условий. Исследование проводилось в Учебном научно-исследовательском центре биотехнологий Челябинского государственного университета. Гидрохимические показатели качества воды определялись в соответствии с действующими нормативными документами (РД 52.18.769-2012) и общепринятыми методиками (ГОСТ 17.1.3.07-82, РД 52.24.620-2000).



Рис. 1. Расположение пункта отбора пробы воды на оз. Б. Кесене

Примечание: составлен авторами на основе источника URL: <https://yandex.ru/maps>

Пробу природной воды сгущали фильтрацией воды под вакуумом через мембранный фильтр с диаметром пор 0,8 мкм. Затем сгущенный осадок с фильтра переносили в склянку при помощи кисточки и доводили дистиллированной водой до объема 5 мл. Концентрированную пробу фиксировали несколькими каплями 40%-ного раствора формалина. Подсчет численности фитопланктона осуществлялся в лаборатории в соответствии с руководством по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений (под ред. В.А. Абакумова, 1983). Определение видового состава проводилось с помощью определителей [5–7] с использованием микроскопа Микмед-1 в камере Горяева.

Результаты исследования и их обсуждение

Вода в оз. Б. Кесене характеризуется как солоноватая (минерализация 3,22 г/дм³) и относится к гидрокарбонатному классу, натриевой группе. Щелочность воды в озере составляет 11,5 ммоль/дм³. По характеру жесткости воды являются очень жесткими (24,75 мг-экв/дм³), по уровню pH – слабощелочными (7,79). Кислородный режим удовлетворительный, количество растворенного кислорода в воде – 7,29 мг/дм³. Биологическое потребление кислорода, характеризующее содержание органического вещества, – 2,1 мгО₂/дм³. Воды обладают низкой мутностью 0,84 мг/дм³ и очень высоким уровнем цветности (186 град. цветности).

Систематический состав альгофлоры оз. Б. Кесене
и эколого-географическая характеристика по видам

№	Таксономическая принадлежность	Численность, кл./дм ³	Доля от суммарной численности, %	Географическая приуроченность	Приуроченность к местообитанию	Отношение к рН	Галобность	Сапробность
Отдел Cyanobacteriophyta (Цианобактерии)		115 824	29,4					
1	<i>Anathece clathrata</i> (West & G.S. West) Komárek, Kastovsky & Jezberová	8333	2,1	b	п	i	i	β-o
2	<i>Chlorogloea microcystoides</i> Geitler	8333	2,1	k	б	i	i	—
3	<i>Komvophoron crassum</i> (Vozzhennikova) Anagnostidis & Komárek	21 665	5,5	k	пб	i	i	—
4	<i>Microcystis pulvereae</i> (H.C.Wood) Forti	52 495	13,3	k	пб	i	i	β
5	<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont	8333	2,1	k	пб	i	i	α
6	<i>Phormidesmis mollis</i> (Gomont) Turicchia, S. Ventura, Komárková & Komárek	7499	1,9	k	пб	i	i	β-α
7	<i>Phormidium foveolarum</i> Gomont	9166	2,3	k	пб	alf	i	α
Отдел Charophyta (Харовые водоросли)		13 332	3,4					
8	<i>Closterium parvulum</i> Nägel	833	0,2	k	пб	i	i	β
9	<i>Spirogyra</i> sp.	12 499	3,2	k	пб	i	i	x-α
Классы Bacillariophyceae и Mediophyceae отдела Heterokontophyta (Диатомовые водоросли)		264 144	67,2					
10	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	31 664	8,1	k	пб	i	i	x-α
11	<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) D.G. Mann	24 998	6,4	k	б	alf	i	α-β
12	<i>Diatoma elongate</i> (Lyngbye) C. Agardh	2500	0,6	b	пб	i	gl	o-β
13	<i>Diatoma vulgare</i> Bory	4166	1,1	k	пб	i	i	o-β
14	<i>Epithemia sorex</i> Kützing	1667	0,4	b	б	alb	gl	β
15	<i>Lindavia bodanica</i> (Eulenstein ex Grunow) T. Nakov, Guillory, Julius, Theriot & Alverson	13 332	3,4	b	п	i	i	o
16	<i>Lindavia radiosa</i> (Grunow) De Toni & Forti	112 489	28,6	k	пб	alb	i	β
17	<i>Meridion circulare</i> (Greville) C. Agardh	4166	1,1	k	пб	acf	gf	x-o
18	<i>Navicula radiosa</i> Kützing	2500	0,6	k	б	i	i	o-x
19	<i>Navicula salinarum</i> Grunow	1667	0,4	k	б	alf	mg	β-o
20	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	1667	0,4	k	б	i	i	α
21	<i>Nitzschia paleacea</i> (Grunow) Grunow	39 163	10,0	k	б	i	i	α-β
22	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	2500	0,6	b	б	alb	i	o
23	<i>Stephanocyclus meneghinianus</i> (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek	3333	0,8	k	пб	alf	gl	α-β
24	<i>Tabularia tabulata</i> (C.Agardh) Snoeijis	3333	0,8	k	б	alf	gl	β-α
25	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	9999	2,5	k	п	alf	i	β
26	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	5000	1,3	k	б	alf	i	x-α
Суммарная численность		393 300						

Примечание: составлена авторами по результатам данного исследования

Обозначения: k – космополит, b – бореальный, п – планктонный вид, пб – планктонно-бентосный вид, б – бентосный вид, i – индифферент, acf – ацидофил, alf – алкалофил, alb – алкалобионт, gf – галофоб, mg – мезогалофоб, gl – галофил, x – ксеносапроб, o – олигосапроб, β – бета-мезосапроб, α – альфа-мезосапроб, знак «—» – нет данных в экологическом и географическом отношении [8; 9, с. 61–146; 10, с. 123–132].

Видовой состав, численность и эколого-географическая характеристика фитопланктона оз. Б. Кесене представлены в таблице.

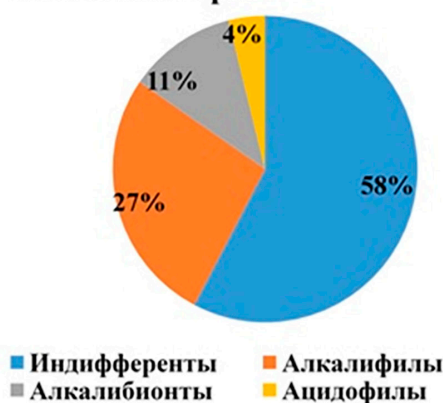
В оз. Б. Кесене обнаружено 26 видов водорослей, относящихся к 3 отделам (Cyanobacteriophyta – 7 видов, Charophyta – 2 вида и Heterokontophyta – 17 видов), 4 классам, 15 порядкам, 16 семействам и 21 роду. На долю диатомовых водорослей приходилось 67,2% общего видового состава. Видовой состав цианобактерий был представлен 1 классом (Cyanophyceae), 6 порядками и семействами по 1 виду каждого рода: пор. Synechococcales сем. Prochlorococcaceae – 1 род, пор. Chroococcales сем. Microcystaceae – 1 род, пор. Chroococcidopsidales сем. Gloeocapsaceae – 1 род, пор. Oscillatoriales сем. Oscillatoriaceae – 2 рода, пор. Leptolyngbyales сем. Leptolyngbyaceae – 1 род, пор. Gomontiellales сем. Gomontiellaceae – 1 род. Харовые водоросли были представлены 1 классом (Zygnematomphyceae), 2 порядками и семействами по 1 роду в каждом: пор. Desmidiaceae сем. Closteriace-

ae, пор. Spirogyrales сем. Spirogyraceae. Видовой состав диатомовых водорослей был представлен 2 классами Bacillariophyceae и Mediophyceae [11, с. 39–44]. Класс Mediophyceae порядок Stephanodiscales семейство Stephanodiscaceae 2 рода по 1 виду и класс Bacillariophyceae 6 порядков и 7 семейств по 1–2 вида в роде: порядок Achnanthes семейство Cocconeidaceae – 1 род, порядок Rhabdonematales семейство Tabellariaceae – род Diatoma 2 вида и род Meridion 1 вид, порядок Rhopalodiales семейство Rhopalodiaceae – 2 рода Epithemia и Rhopalodia по 1 виду, порядок Naviculales семейство Stauroneidaceae – 1 род и семейство Naviculaceae – род Navicula 2 вида, порядок Bacillariales семейство Bacillariaceae – род Nitzschia 2 вида, порядок Licmophorales семейство Ulnariaceae – род Ulnaria 2 вида и род Tabularia 1 вид [12]. Таким образом, фитопланктонное сообщество оз. Б. Кесене характеризовалось большим числом одно-видовых семейств (56,25% от общего числа семейств) и родов (76,19%).

Приуроченность к местообитанию



Отношение к pH



Географическая приуроченность



Галобность

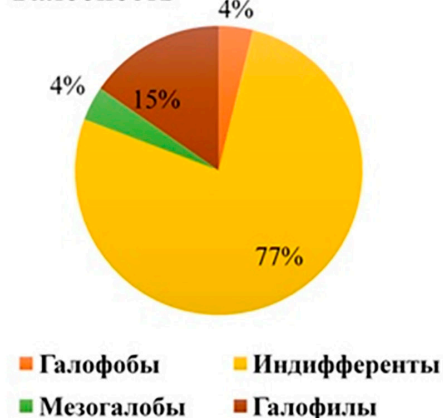


Рис. 2. Эколого-географическая характеристика фитопланктона оз. Б. Кесене
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Численность фитопланктона оз. Б. Кесене в сентябре 2025 г. составляла 393 300 кл./дм³. Доминирующим отделом в альгоценозе являлись диатомовые водоросли, доля которых соответствовала 67,2%, а доминирующим видом – *Lindavia radiosa* (численность – 112 489 кл./дм³, 28,6%). Вторым по численности был вид, относящийся к цианобактериям, *Microcystis pulverea* – 52 495 кл./дм³ и 13,3% соответственно. Преобладание диатомовых водорослей обусловлено как действием сезонного температурного фактора, так и повышенной минерализацией воды.

Для определения эколого-географической характеристики водорослей оз. Б. Кесене использовались такие характеристики, как их географическая приуроченность, приуроченность к местообитанию, к pH, галофильности и сапробный индекс. Результаты распределения видов по эколого-географическим группам представлены на рис. 2.

По приуроченности к местообитанию половина (50%) из определенных видов относилась к группе планктонно-бентосных, 38,5% – к бентосным и 11,5% – к планктонным. Для фитопланктона исследуемой пробы воды было характерно низкое видовое разнообразие: всего 26 видов из 3 отделов, из которых большинство являются бентосом или могут существовать не только как планктон, но и в качестве бентоса или перифитона. По численности также наблюдалось преобладание бентосных и планктонно-бентосных форм. Планктонно-бентосные виды обычно находятся в прикрепленном состоянии, но по тем или иным причинам переходят в планктонную форму (ветровое перемешивание, тепловая конвекция и т.д.). На мелководье ветровое и термическое перемешивание затрагивает всю толщу воды вплоть до дна, что облегчает попадание бентосных форм в планктон [13; 14].

Эколого-географический анализ альгофлоры озера показал, что преобладающая часть фитопланктона космополиты (80,8%), остальные 19,2% представлены бореальными видами. Наиболее часто встречающимися космополитами в озере были представители цианобактерий (*Microcystis pulverea*) и диатомовых водорослей (*Lindavia radiosa* и *Nitzschia paleacea*), которые являются эвритерными организмами [8].

По отношению к pH 58% составляли индифферентные виды, 27% – алкалофилы, 11% – алкалибионты и 4% – ацидофилы. Несмотря на повышенную соленость воды озера (3,22 г/дм³) больше половины представителей альгофлоры (77%) являются индифферентами, 15% – галофилами, 4% – мезогалолами и 4% – галофобами. Все об-

наруженные виды, за исключением *Meridion circulare*, могут существовать как в пресной, так и в соленой воде, имея довольно широкую экологическую валентность по такому фактору, как соленость воды. Развитие *Meridion circulare* – единственного реофила и галофоба в исследуемом водоеме [8], возможно объясняется тем, что данный вид был занесен водоплавающими мигрирующими птицами из альгоценоза другого водоема или водотока и смог развиваться за счет повышения солевых выносов и возможного пресноводного питания озера. Больше половины видов относятся к отделу Heterokontophyta, что также может быть связано с соленостью воды, так как, чем выше соленость воды, тем больше в альгоценозе встречается диатомовых водорослей [4]. Преобладание в соленой воде диатомовых водорослей над представителями других отделов объясняется их высокой адаптивностью к условиям среды, например, за счет наличия крепких панцирей, вакуолей для хранения питательных веществ и накопления липидов, способствующих восстановлению панциря в неблагоприятной среде [15; 16].

Индикаторы органического загрязнения составляют 92,3% от всего таксономического состава пробы воды исследуемого озера, из которых преобладали α - β -, β - α -, β -, β - α -, α - β - и α -мезосапробы – 65,38%. Для представителя рода *Spirogyra*, не идентифицированного до вида, взяты зоны сапробности, характерные для рода α - α . Представители данного рода в зависимости от вида могут быть как толерантными, так и чувствительными к загрязнению, но им необходим свет для прорастания из зигоспор со дна [17]. Из общего числа индикаторных видов по численности выделялись β -мезосапробные формы, обитатели умеренно загрязненных водоемов. К широко распространенным в озере β -мезосапробным формам относились: *Microcystis pulverea* и *Lindavia radiosa*. Оценка сапробности оз. Б. Кесене с использованием индекса сапробности по Пантле – Букку в модификации Сладечека и в модификации Зелинки – Марвена показала схожие результаты: значения индексов составили 1,95 и 1,99 соответственно. Условия в оз. Б. Кесене характеризуются как β -мезосапробные, что соответствует умеренно загрязненным водам.

Заключение

В данной работе впервые исследован состав фитопланктонного сообщества солоноватого оз. Б. Кесене, расположенного в степной зоне Челябинской области. Выявлено 26 видов, которые от-

носятся к *Cyanobacteriophyta*, *Charophyta*, *Bacillariophyceae*. Альгофлора водоема характеризуется видовым и численным доминированием диатомовых водорослей. Фитопланктон в основном представлен планктонно-бентосными формами, индифферентными к уровню солености и pH, являющимися космополитами.

Список литературы

- Афони́на Е.Ю., Ташлыкова Н.А. Влияние факторов среды на структуру планктонных сообществ минеральных озер в разные фазы водности // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2019. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-faktorov-sredy-na-strukturu-planktonnyh-soobshchestv-mineralnyh-ozerv-v-raznye-fazy-vodnosti> (дата обращения: 19.10.2025).
- Williams W.D. Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025 // *Environmental Conservation*. 2025. Vol. 29 (2). P. 154–167. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-conservation/article/environmental-threats-to-salt-lakes-and-the-likely-status-of-inland-saline-ecosystems-in-2025/7AA4739A8B7B80B0DE876C14918404A6> (дата обращения: 22.10.2025). DOI: 10.1017/S0376892902000103.
- Гашек В.А. Гнездование савки *Oxyura leucocephala* в Варненском районе Челябинской области // Русский орнитологический журнал. 2017. Т. 26. № 1516. С. 4458–4459. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gnezdovanie-savki-oxyura-leucocephala-v-varnenskom-rayone-chelyabinskoy-oblasti> (дата обращения: 29.10.2025). EDN: ZNEIOZ.
- Кострюкова А.М., Машкова И.В. Эколого-географическая характеристика фитопланктона соленых озер Челябинской области // Вестник ЮУрГУ. Серия: Химия. 2023. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-geograficheskaya-harakteristika-fitoplanktona-solenykh-ozerv-chelyabinskoy-oblasti> (дата обращения: 28.10.2025).
- Голлербах М.М., Красавина Л.К. Определитель пресноводных водорослей СССР. В 14 т. Т. 14. Харовые водоросли. Л.: Наука, 1983. 190 с.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. В 14 т. Т. 2. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука, 1953. 651 с.
- Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. В 14 т. Т. 4. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1951. 618 с.
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. М.: ВНИИ природы. 2000. 150 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/281545365_Bioraznoobraziye_vodorosley-indikatorov-okruzhayushchey-sredy (дата обращения: 05.10.2025). ISBN 5-9297-0004-4.
- Лишаев Д.Ю. Диатомовые водоросли эпилитона каменистых грунтов залива Донгузлав и Инкерманской бухты крымского побережья Черного моря: специальность 1.5.16 «Гидробиология»: дис. ... канд. биол. наук. Севастополь: Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, 2025. 150 с.
- Унифицированные методы исследования качества вод. В 3 ч. Ч. III. Методы биологического анализа вод. Приложение 2. Атлас сапробных организмов. М.: Секретариат СЭВ, 1997. 372 с.
- Генкал С.И., Куликовский М.С., Кузнецова И.В. Современные пресноводные центрические диатомовые водоросли России. Ярославль: Филигрань, 2020. 430 с. URL: <https://ibi.ru/index.php?p=publ&id=489> (дата обращения: 22.10.2025). ISBN 978-5-6045263-3-0.
- AlgaeBase: World-wide electronic publication: National University of Ireland. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 30.10.2025).
- Воденеева Е.Л., Охапкин А.Г., Генкал С.И. Состав, структура и распределение фитопланктона высокоминерализованного карстового озера // Биология внутренних вод. 2020. № 6. С. 573–582. DOI: 10.31857/S0320965220050150.
- Дудакова Д.С., Родионова Н.В., Протопопова Е.В., Капустина Л.Л., Бардинский Д.С. Состав и динамика гидробионтов литорали бухты Петрокрепость Ладожского озера // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostav-i-dinamika-gidrobiontov-litorali-buhty-petrokrepost-ladozhskogo-ozera> (дата обращения: 28.10.2025).
- Cvjetinovic J., Bedoshvili Y.D., Davidovich N.A., Maksimov E. Exploring salinity induced adaptations in marine diatoms using advanced photonic techniques // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14 (1). URL: https://www.researchgate.net/publication/387538173_Exploring_salinity_induced_adaptations_in_marine_diatoms_using_advanced_photonic_techniques (дата обращения: 11.10.2025). DOI: 10.1038/s41598-024-83640-9.
- Pierella Karlusich J.J., Cosnier K., Zinger L., Henry N., Nef C., Bernard G., Scalco E., Dvorak E. Patterns and drivers of diatom diversity and abundance in the global ocean // *Nature Communications*. 2025. Vol. 16 (1). P. 3452. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-025-58027-7?fromPaywallRec=false> (дата обращения: 22.10.2025). DOI: 10.1038/s41467-025-58027-7.
- Гладышев М.И., Губелит Ю.И. «Зеленые приливы»: новые последствия эвтрофирования природных озер // Сибирский экологический журнал. 2019. № 2. С. 135–156. URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/e79/e7954a7a3fbc82310bed57987da17303.pdf> (дата обращения: 28.10.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президентского фонда природы, проект ЭКО-25-2-003433 «Школа зооволонтеров. ЭкоПрактикум».

Financing: The study was carried out with the financial support of a grant from the Presidential Foundation for Nature, the ECO project-25-2-003433 “The school of animal volunteers. EcoPracticum”.