

*Р.П. Токинова, К.И. Абрамова, Л.К. Галиахметова,
С.В. Бердник, Р.Р. Шагидуллин*

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ r.tokin@rambler.ru

БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА АРХИЕРЕЙСКОЕ ПО СТРУКТУРЕ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ

В 2024 г. проведено обследование оз. Архирейское (Республика Татарстан) с целью оценки его экологического состояния и возможных рисков, связанных с застройкой его водосборной территории. На основании результатов исследования химических свойств озерных вод, видового состава и количественной структуры фито- и зоопланктона дана оценка биологическому разнообразию, уровню органического загрязнения и трофического статуса озера на различных участках его акватории.

Ключевые слова: пресноводные экосистемы; биоразнообразие; планктон; биоиндикация; озеро Архирейское.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2025.2.39.50>

Введение

Архирейское (Тарлашинское) – одно из наиболее крупных и глубоких озер в Республике Татарстан. Расположено в Западном Предкамье, в левобережье долины р. Волги, на высокой надпойменной террасе, у с. Тарлаши (Озера..., 1976). Озеро вытянуто в меридиональном направлении. Его площадь составляет 64.6 га, длина 2570 м, максимальная ширина 480 м (средняя 251 м), средняя глубина 6 м (Зиганшин и др., 2017). Водоем карстово-суффозионного происхождения, имеет устойчивое подземное питание. На дне озера расположена цепочка карстовых провалов, наибольшие из которых имеют глубину 8.9 м в северной и около 21 м в центральной части озера.

Озеро Архирейское с 1978 г. имеет статус особо охраняемой природной территории и является памятником природы регионального значения (Государственный..., 2007). В настоящее время используется как местный источник водных и рекреационных ресурсов жителями с. Тарлаши, расположенного в северной части озера, и садовых товариществ, находящихся в 0.4–1.5 км к западу от озера. Селитебные территории представляют собой наиболее значимый источник загрязнения вод озера, поскольку частные домовладения не оборудованы системами централизованного водоснабжения и канализации; сброс хозяйственно-бытовых сточных вод осуществляется в негерметичные выгребные ямы или на рельеф местности. Несоблюдение режима водоохранной зоны,

застройка береговой зоны вплоть до уреза воды приводит к повышенной антропогенной нагрузке на экосистему озера. Хозяйственно-бытовое загрязнение поверхностного стока и грунтовых вод, забор подземных вод из скважин могут негативно отражаться на водном режиме озера, качестве его вод и на ускорении темпов эвтрофирования озерной экосистемы.

При оценке состояния экосистемы водоемов и качества вод биологическое разнообразие и количественная структура сообществ гидробионтов являются важными показателями, чутко реагирующими на происходящие изменения. Впервые изучение гидробиологических сообществ оз. Архирейского проведено в 1997 г. в рамках исследований сети ООПТ, охватившей более 50 наземных и водных объектов Республики Татарстан (Совершенствование сети..., 1997). Полученные при этом результаты по планктонным и бентосным гидробионтам, однако, не получили освещения в научных публикациях и вошли лишь в краткие аннотации к водоемам в «Государственном реестре особо охраняемых природных территорий в Республике Татарстан (2007)».

В 2024 г. проведено комплексное обследование оз. Архирейское и его водосборной территории с целью оценки современного состояния экосистемы и возможных рисков, связанных с реализацией проектов жилой застройки на западном и восточном берегах водоема. Осуществлены гидрохимические,

батиметрические, гидробиологические и ряд других исследований. Изучены видовой состав и количественная структура планктонных сообществ, зообентоса и водной растительности, которые являются одними из основных гидробиологических показателей при биоиндикации уровня органического загрязнения и трофического статуса водных объектов.

Цель работы – на основании результатов исследования химических свойств озерных вод, состава и структуры фито- и зоопланктона дать оценку биологическому разнообразию и экологическому состоянию оз. Архирейское в настоящий период времени.

Материалы и методы исследований

Гидробиологические исследования оз. Архирейское проведен в июле – августе 2024 г. (даты: 2.07, 4.07, 15.08). При рекогносцировочном обследовании в озере выделено три участка, различающихся по морфометрическим и батиметрическим характеристикам (рис. 1). Центральный участок охватывает наиболее широкую и глубоководную (глубина до 21 м) акваторию озера. Северный участок, на дне которого имеются карстовые провалы глубиной до 9 м, обособлен от центральной акватории глубоко вдающимся мысом, который существенно ограничивает водообмен с остальной частью озера. Мыс представляет собой конус выноса терригенного материала из оврага, дренирующего сток в западной части с. Тарлаши. Южный участок – это наиболее мелководная часть озера с двумя заливами, без карстовых провалов, с глубинами 1–2 м и менее; его дно полностью заросло водными макрофитами (элодея, роголистник).

Для отбора проб воды на химический анализ и сбора биологического материала на каждом из выделенных участков заложено по одной станции. Станции на северном и центральном участках озера расположены над районом максимальных глубин. Отборы проб фито- и зоопланктона из поверхностного слоя озера (до 0.2 м) проведены путем зачерпывания воды; из глубоководных горизонтов (июль): ст. 1 – глубина 5 м, ст. 2 – глубины 7 и 15 м – с использованием батометра Молчанова. Объем пробы фитопланктона (9 проб) составил 0.5 л, зоопланктона (9 проб) – 20 л (поверхность) и 7.5 л (5, 7 и 15 м). Одновременно проведены измерения температуры и прозрачности воды (при помощи диска Секки). Сбор материала и его камеральная обработка выполнены в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками (Методика..., 1975; Методические

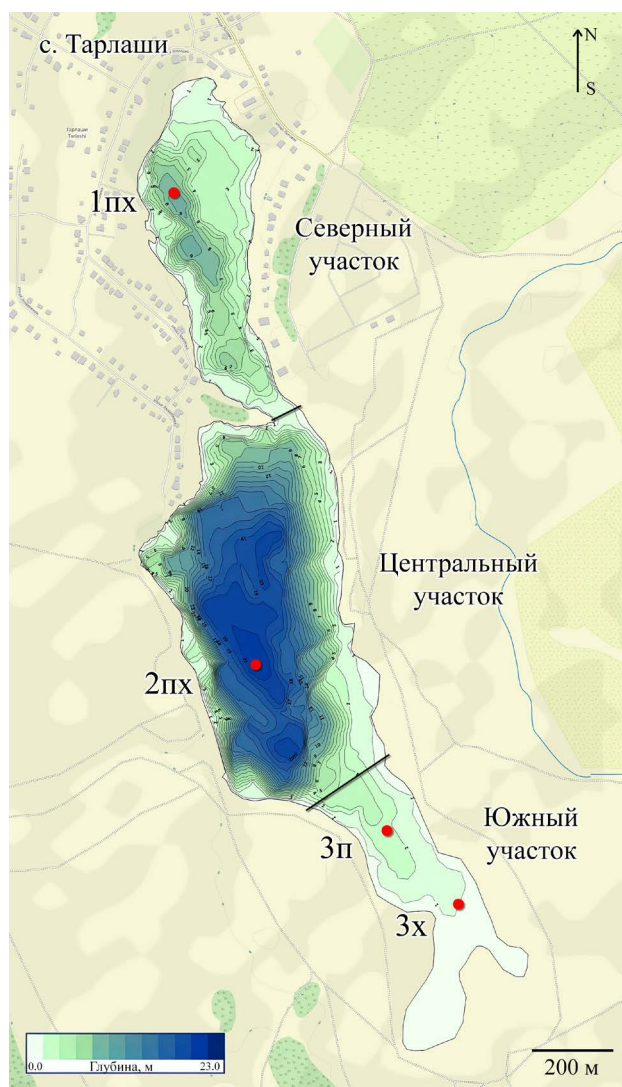


Рис. 1. Озеро Архирейское, расположение станций (1–3) отбора гидрохимических (x) и планктонных (n) проб

Fig. 1. Arkhiereyskoe Lake, stations for hydrochemical (x) and planktonic (n) sampling (1–3)

..., 1982; Руководство ..., 1983).

Для идентификации таксономической принадлежности обнаруженных организмов водорослей и животных использованы определительные ключи (Определитель пресноводных ..., 1951–1982; Царенко, 1990; Определитель зоопланктона ..., 2010; Komárek, Anagnostidis, 1998; Komárek, Anagnostidis, 2005; Komárek, 2013). Для описания структуры биологических сообществ рассчитаны показатели, обычно используемые в гидроэкологических исследованиях: число видов, индексы видового разнообразия Шеннона (H_N , бит) и выравненности сообщества Пielу (E_N), общая и относительная численность и биомасса сообществ и отдельных таксонов. Для анализа экологической значимости видов зоопланктона

проведены расчеты индекса доминантности Di по формуле Паляя-Ковнацки (Шитиков и др., 2003); из организмов фитопланктона к доминирующим отнесены виды, составляющие $\geq 10\%$ от общей численности и/или биомассы (Фитопланктон ..., 2003). Оценка уровня органического загрязнения вод проведена путем расчета индекса сапробности Пантле-Букка (S) по составу и обилию видов-индикаторов сапробности (Руководство ..., 1983; Wegl, 1983; Макрушин, 1974; Барина и др., 2006); уровень загрязнения водоема оценивался по значению S : от 0.5 до 1.5 – очень чистые и чистые воды (олигосапробная зона); от 1.5 до 2.5 – умеренно загрязненные воды (β -мезосапробная зона); от 2.5 до 3.5 – загрязненные воды (α -мезосапробная зона); от 3.5 до 4.0 и выше – грязные и очень грязные воды (ρ -сапробная зона). Для установления трофности водоема вычислен индекс трофности ИТ (Милиус, Кывасик, 1979; цит. по: Неверова-Дзюпак, Цветкова, 2020) по формуле: $Ib = 44.87 + 23.22 \cdot \log B$, где B – общая биомасса водорослей в пробе; также определена концентрация в воде общего фосфора $P_{\text{общ}}$.

Сходство таксономического состава гидробионтов на исследованных участках оценивалось методом кластерного анализа в программе MS Excel. Сходство данных оценивали методом попарных сравнений с помощью индекса Стьеренса, индекс выражен в процентах. При кластеризации данных по фитопланктонным водорослям использован метод Варда, в качестве метрики – нормированное евклидово расстояние, выраженное в процентах (Шитиков и др., 2003). Кластеризация данных по зоопланктону проведена методом средневзвешенного среднего (Андреев, 1980).

Гидрохимический мониторинг озера проведен

в вегетационный период 2024 г. (даты: 21.05, 17.06, 09.07 и 06.08). Отбор проб воды выполнен на выделенных станциях из поверхностного слоя и придонных слоев. Всего проанализировано 19 проб воды по 11 показателям. При анализе качества вод полученные значения сопоставлены с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) веществ для водоемов рыбохозяйственного значения (Приказ ..., 2016) и культурно-бытового водопользования (СанПин 1.2.3685–21).

Результаты и их обсуждение

Гидрофизические и гидрохимические показатели водной массы оз. Архирейское. Физико-оптические свойства воды распределены по акватории озера неравномерно (табл. 1). Наибольшей прозрачностью выделяются воды на центральном (3.0–3.5 м) и южном (более 2.2–2.7 м) участках озера, тогда как на северном участке наблюдается ее заметное снижение (1.8–2.1 м). По данному показателю, в соответствии с классификацией С.П. Китаева (1984), оз. Архирейское относится к озерам со средней прозрачностью.

Воды озера характеризуются весьма низкими значениями минерализации. По О.А. Алекину (1953), их можно отнести к водам малой и очень малой минерализации; по классификации А.М. Овчинникова (Справочник ..., 1989) – к ультрапресным. В поверхностных слоях (май–август) колебания значений происходят в пределах 84–115 мг/дм³, в придонных слоях глубоководных зон – 111–138 мг/дм³. Вода очень мягкая: средне-сезонная величина жесткости на поверхности находится на уровне 1.22–1.38 °Ж, в глубинной зоне – 1.51–1.73 °Ж. По составу основных ионов

Таблица 1. Температура поверхностного слоя и прозрачность воды в оз. Архирейское

Table 1. Surface layer temperature and water transparency in Arkhiereiskoe Lake

Участок озера Lake section	Даты Dates	Прозрачность, м Transparency, m	Глубина, м Depth, m	Температура, °С Temperature, °C
Северный	4.07.2024	2.0–2.1	0–0.2	27.4–27.8
			5.0	21.5
	15.08.2024	1.8–2.0	0–0.2	20.8
Центральный	2.07.2024	3.0	0–0.2	24.8–25.5
			7.0	19.4
			15.0	13.4
	15.08.2024	3.5	0–0.2	20.2
Южный	2.07.2024	до дна (> 2.2 м)	0–0.2	26.6–26.8
	15.08.2024	до дна (> 2.7 м)	0–0.2	20.2

озерная вода относится к гидрокарбонатному классу магниевых-кальциевой группы. Водородный показатель характеризует реакцию среды в поверхностных слоях озера как слабощелочную-щелочную (pH 7.93–9.45); в придонных слоях – как нейтральную (pH 6.93–7.22). Незначительные вариации величин свидетельствуют о довольно стабильном химическом составе вод озера как в сезонной динамике, так и в пространственном аспекте. Помимо того, сравнение текущих показателей с данными предшествующих лет (Совершенствование ..., 1997; Водные объекты ..., 2018) не позволяет выявить существенных изменений по показателям уровня минерализации и соотношения основных ионов водной массы озера за прошедший период времени.

Приблизительно таким же остается и уровень прозрачности вод – в 1997 г. он составлял 2.5 м (Совершенствование ..., 1997).

Распределение растворенного кислорода в оз. Архирейское имеет закономерный для озерных экосистем характер, на поверхности его концентрация находится в норме (9.4–11.70 мг/дм³), в придонных слоях максимальных глубин (карстовые провалы) – значительно понижена (0.9–1.7 мг/дм³). В отдельные периоды наблюдений в придонных слоях озера зафиксированы превышения предельно допустимой концентрации сульфидов и сероводорода: в июле в центральной части – до 0.06 мг/дм³, в августе в северной – до 0.09 мг/дм³.

Суммарное содержание в воде легкоокисля-

Таблица 2. Основные показатели структуры фитопланктона в оз. Архирейское
Table 2. Main indicators of phytoplankton structure in Arkhiereiskoe Lake

Показатели Indicators	2.07.24, 4.07.24						15.08.24		
	ст. 1		ст. 2			ст. 3	ст. 1	ст. 2	ст. 3
Глубина, м Depth, m	0.5 м	5 м	0.5 м	7 м	15 м	0.5 м	0.5 м		
Численность, млн кл./л Abundance, mln. cells/l	7.09	2.31	5.20	1.30	0.53	1.76	68.67	2.84	3.38
Биомасса, мг/л Biomass, mg/l	0.80	1.72	0.54	1.87	3.10	0.41	2.49	0.39	0.29
Плотность видов в пробе Species density in a sample	16	15	18	9	12	24	27	14	12
Индекс видового разнообразия, H_N Species diversity index, H_N	2.35	1.99	1.49	0.90	0.65	2.41	1.96	1.51	1.63
E_N индекс выравненности E_N evenness index	0.74	0.71	0.58	0.39	0.65	0.80	0.47	0.54	0.63
Индекс сапробности, S Saprobic index, S	2.27	2.0	2.26	2.03	1.70	2.22	недостаточно данных		

Таблица 3. Доминирующие виды в фитопланктоне поверхностного
горизонта вод оз. Архирейское
Table 3. Surface phytoplankton dominant species in Arkhiereiskoe Lake

Отделы Divisions	ст. 1	ст. 2	ст. 3
Июль			
Cyanophyta	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	<i>A. flos-aquae</i>	<i>A. flos-aquae</i>
Chlorophyta	<i>Coenococcus</i> sp.	<i>Coenococcus</i> sp.	<i>Coenococcus</i> sp.
Август			
Cyanophyta	<i>Coelosphaerium confertum</i> West & G.S. West <i>Snowella rosea</i> (J.W.Snow) Elenkin	<i>A. flos-aquae</i>	<i>A. flos-aquae</i> <i>C. confertum</i> <i>S. rosea</i>

емых органических веществ оценивалось по величине биологического потребления кислорода (БПК₅), используемого в качестве одного из основных измерителей количества загрязняющих веществ, поступающих в водоемы с хозяйственно-бытовыми сточными водами. В период наблюдений в поверхностном слое озера значение БПК₅ находилось в пределах ПДК_{рх} или незначительно (не более чем в 1.4 раза) превышало его. И лишь в северной части озера в июле – августе наблюдался его рост до 3.52–4.63 мгО₂/л (1.7–2.2 ПДК_{рх}). Также превышение фиксировалось все летние месяцы в придонном слое этого участка, с максимумом до 7.2 мгО₂/л (3.4 ПДК_{рх}) в августе.

Общее содержание органических веществ (по величине ХПК) на поверхности озера находилось в пределах нормы – 23–29 мг/дм³. Для озера с макрофитным типом зарастания эти значения можно рассматривать как фоновые, обусловленные протеканием природных процессов синтеза и разложения органических веществ. Незначительные отклонения от нормативных значений (1.2–1.6 ПДК_{кб}) отмечены лишь в мае, причем одновременно на всех трех станциях. Более значительные

отклонения – 4 ПДК_{кб} в июле и 8 ПДК_{кб} в августе – зафиксированы в придонном слое северной части озера.

Содержание общего фосфора в поверхностном горизонте оз. Архиерейское в период наблюдений изменялось незначительно, в пределах 0.014–0.041 мг/дм³. Его средне-сезонное значение составило 0.03 мг/дм³ в северной и южной частях, и 0.02 мг/дм³ – в центральной части озера. В придонном горизонте северного и центрального участков средние значения показателя повышались до 0.2 мг/дм³, что связано с образованием здесь нерастворимых форм фосфатов.

Видовой состав и количественное развитие планктонных сообществ. В фитопланктоне оз. Архиерейское обнаружено 68 видов из семи таксономических групп: Cyanoprokaryota (цианопрокариоты, или Cyanophyta – синезеленые водоросли), Cryptophyta (криптофитовые), Euglenophyta (эвгленовые), Chlorophyta (зеленые), Dinophyta (динофитовые), Bacillariophyta (диатомовые) и Charophyta (харофитовые). Основа озерной альгофлоры формируется за счет представителей зеленых (27 видов) и синезеленых (18 видов) водорослей.

Общие количественные показатели фитопланктона в водоеме варьируют как во временной (от месяца к месяцу), так и в пространственной динамике (табл. 2). В середине лета (июль) его обилие в поверхностном слое воды носит умеренный характер. На разных участках озера численность изменяется в пределах 1.8–7.1 млн кл./л, биомасса не превышает 1 мг/л. Незначительное усиление роста фитопланктона отмечается в направлении к акватории северной части озера. Таксономическую структуру сообщества формируют представители цианопрокариот пор. Nostocales (*Aphanizomenon flos-aquae*) и зеленых водорослей пор. Sphaeropleales (*Coenococcus* sp.) (табл. 3). Доминирующая роль по численности и биомассе принадлежит цианопрокариотам и зеленым водорослям, образующим совместно 92–100% численности и 52–100% биомассы фитопланктона (рис. 2). В южной части озера в биомассе фитопланктона заметно усиливается участие харофитов (*Cosmarium* sp.).

В вертикальном распределении отмечается снижение численности и рост биомассы фитопланктона с глубиной (табл. 2). Это обусловлено сменой доминирования цианопрокариот и зеленых водорослей на представителя динофитовых водорослей *Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin. Данный крупноклеточный вид, присутствуя в небольшом числе (2–17% от общей численности), но обладая тяжеловесным панцирем,

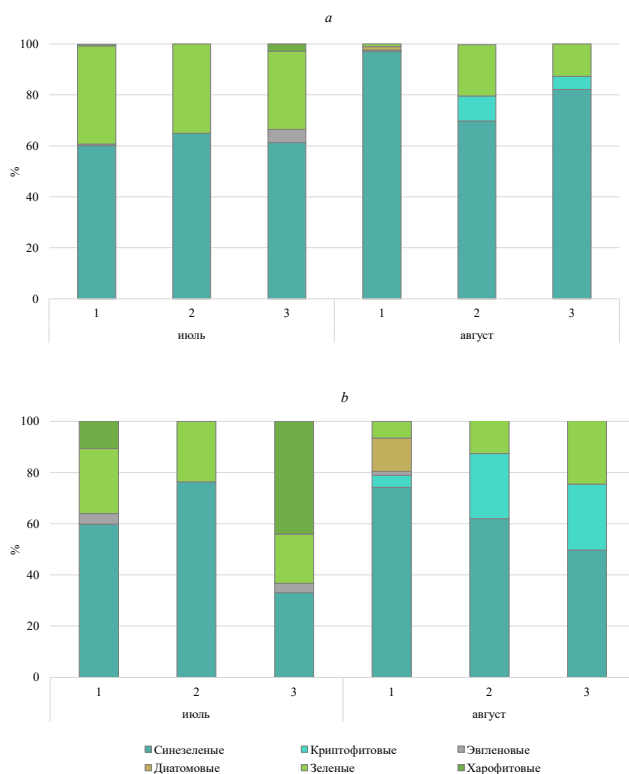


Рис. 2. Вклад водорослей разных отделов в формирование общей численности (a) и биомассы (b) фитопланктона в поверхностном слое оз. Архиерейское; 1–3 – номера станций

Fig. 2. Contribution of algae different divisions into total abundance (a) and biomass (b) of phytoplankton in surface of Arkhiereyskoe Lake; 1–3 – station numbers

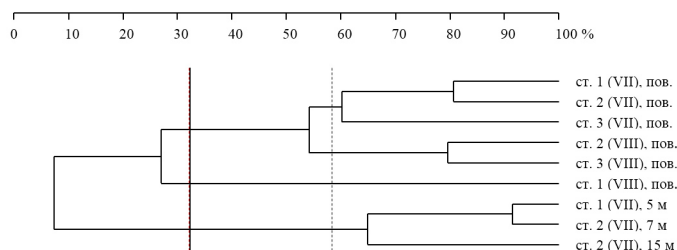


Рис. 3. Дендрограмма сходства исследованных станций по биомассе отделов фитопланктона в оз. Архирейское

Fig. 3. Dendrogram of stations similarity by biomass of phytoplankton divisions in Arkhiereiskoe Lake

вносит основной вклад в формирование биомассы фитопланктона (85–99%) на горизонтах 5, 7 и 15 м. Его доминирование в глубоководной зоне объясняется наличием конкурентных преимуществ перед другими микроводорослями – способностью к миксотрофному (смешанному) питанию, активному передвижению в воде в поисках оптимальных условий для питания и толерантностью к условиям недостаточности света.

Отдельно следует отметить распространение в озере харофитов, представленных десмидиевыми водорослями из родов *Cosmarium*, *Closterium*, *Spondylosium*, *Staurastrum* и *Xanthidium*. Десмидиевые известны как индикаторы, чувствительные к среде обитания, и их присутствие в планктоне может свидетельствовать об определенных гидрохимических условиях в озере. В целом, их обилие в фитопланктоне невысокое (не превышает 10% от общих показателей). Вместе с тем, неравномерное распределение этой группы водорослей по акватории озера и в градиенте глубин указывает на дискретность в распределении физико-химических показателей воды. Согласно анализу экологических предпочтений десмидиевых водорослей (Неудахина, Анисимова, 2022), наибольшим загрязнением характеризуются глубинные зоны оз. Архирейское и его северная часть. Наибольшее число видов (8) отмечается в поверхностном слое, с глубиной (7–15 м) их разнообразие снижается до двух (*Closterium aciculare* West и *Staurastrum* sp.). Наиболее богат десмидиевыми центральный участок озера (ст. 2), менее – южный (ст. 3). Условия на северном участке озера (ст. 1) неблагоприятны для их развития, здесь число десмидиевых минимально (*Staurastrum*).

В августе, в поверхностном слое центрального и южного участков озера, количественное обилие фитопланктона продолжает носить умеренный характер. Также, в структуре фитопланктона ведущие роли принадлежат цианопрокариотам и

зеленым водорослям; более заметную роль начинают играть диатомовые (ст. 1) и криптофитовые (ст. 2 и 3). Представители харофитовых водорослей при этом выпадают из числа доминантов и субдоминантов. На этом фоне отмечено значительное увеличение общей численности и биомассы фитопланктона до 68.67 млн кл./л и 2.49 мг/л в северной части озера. Этот рост обусловлен доминированием представителей цианопрокариот, доля которых в численности и биомассе достигает 97% и 74%, соответственно. При этом развитие получают преимущественно представители порядков Chroococcales (*C. confertum*, *S. rosea*) и Nostocales (*A. flos-aquae*).

При проведении кластеризации основных отделов фитопланктона по биомассе (рис. 3) выделяются три кластера со степенью сходства менее 30%. В отдельный кластер объединяется фитопланктон глубинных горизонтов, сходство которого с поверхностным составляет менее 10%. Второй кластер образует фитопланктон почти всех исследованных поверхностных проб и третий, обособленный от них – фитопланктон северного участка, отобранный в августе. Таким образом, в августе на ст. 1 формируется особая структура фитопланктона, отличающаяся от таковых на ст. 2 и 3. Здесь, в отличие от других станций, отмечено присутствие диатомовой водоросли *Aulacoseira* sp. и многообразие видов цианопрокариот.

В зоопланктоне озера обнаружено 27 видов беспозвоночных животных из трех таксономических групп. Наиболее высоким видовым богатством представлены коловратки – 16 видов; ветвистоусые и веслоногие ракообразные – по 7 и 4 вида, соответственно (табл. 4).

К доминантным формам зоопланктона в озере следует отнести веслоногих рачков *Eudiaptomus graciloides* (Di 20.02), к субдоминантным – коловраток *Pompholyx sulcata* (1.61) и *Kellicottia longispina* (1.66), ветвистоусых рачков *Bosmina coregoni* (9.99) и *Daphnia cucullata* (9.99), веслоногих рачков *Cyclops strenuus* (4.3), *Mesocyclops leuckarti* (1.82) и *Thermocyclops crassus* (5.72).

В поверхностных слоях озера численность зоопланктона в первый месяц наблюдений (июль) изменяется в пределах 74–134 тыс. экз./м³, биомасса – 0.27–1.12 г/м³ (табл. 5). Ведущая роль в количественной структуре сообщества принадлежит веслоногим рачкам, представленным преимущественно личиночными формами, доля которых в общей численности составляет 86–98% (рис. 4). По биомассе эта группа также доминирует на большей части акватории озера (центральный и южный участки) – 92–93%, тогда как на се-

Таблица 4. Видовой состав зоопланктона оз. Архьерейское с указанием индикаторной значимости
Table 4. Species composition of zooplankton in Arkhiereiskoe Lake with indicator significance

№	Виды/станции Species/stations	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Сапроб- ность Saprobity	Индекс сапробности Saprobic index
Тип Rotifera – Коловратки						
1	<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	+			о, β	1.6
2	<i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851			+	β, α	2.5
3	<i>Brachionus diversicornis</i> (Daday, 1883)	+			β	2.0
4	<i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann, 1783	+			β	2.2
5	<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet, 1892		+		о	1.3
6	<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	+			β, α	2.3
7	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	+	+	+	о, β	1.4
8	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	+			β	1.9
9	<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)	+	+	+	β	1.7
10	<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)	+			о, β	1.6
11	<i>Lepadella patella</i> (Müller, 1773)	+			β	1.7
12	<i>Polyarthra euryptera</i> Wierzejski, 1891	+	+	+	о	1.2
13	<i>Pompholyx sulcata</i> Hudson, 1885	+			β	1.7
14	<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg, 1832		+	+	о, β	1.7
15	<i>Trichocerca capucina</i> (Wierzejski & Zacharias, 1893)	+			о, β	1.5
16	<i>Trichocerca similis</i> (Wierzejski, 1893)	+	+		о, β	1.6
Тип Arthropoda – Членистоногие						
Класс Branchiopoda: надотряд Cladocera – ветвистоусые ракообразные						
17	<i>Bosmina (Eubosmina) coregoni</i> Baird, 1857	+	+	+	о	1.2
18	<i>Chydorus sphaericus</i> (Müller, 1785)	+	+	+	о, β	1.8
19	<i>Daphnia (Daphnia) cucullata</i> Sars, 1862	+	+	+	о, β	1.7
20	<i>Daphnia (Daphnia) cristata</i> Sars, 1862		+		о	1.1
21	<i>Daphnia (Daphnia) galeata</i> Sars, 1863		+		о	1.0
22	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)	+	+		о, β	1.6
23	<i>Diaphanosoma mongolianum</i> Uéno, 1938		+	+	н/д	н/д
Класс Copepoda – веслоногие ракообразные						
24	<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg, 1888)	+	+	+	о, β	1.7
25	<i>Cyclops strenuus</i> Fischer, 1851		+	+	β, α	2.2
26	<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)		+	+	β	1.7
27	<i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer, 1853)	+			о	1.3
Всего видов – 27, в том числе по станциям:		19	16	12		

верном участке в качестве доминантов выступают коловратки (69%), что обусловлено присутствием в их составе крупноразмерного вида *Asplanchna priodonta*. Особенно высокая плотность коловраток, до 300 тыс. экз./м³ и 12.3 г/м³ (64% и 82%, соответственно, от общей численности и биомассы зоопланктона) наблюдается на глубине 5 м. Здесь

же отмечается наиболее высокое видовое разнообразие планктонного сообщества, представленного 15 видами (в пробе), и максимальными значениями индекса Шеннона – 3.18 бит.

В августе отмечен количественный рост зоопланктона, в поверхностных слоях озера его численность достигает 156–191 тыс. экз./м³, биомас-

Таблица 5. Основные показатели структуры зоопланктона в оз. Архирейское
Table 5. Main indicators of zooplankton in Arkhiereiskoe Lake

Показатели Indicators	2.07.24, 4.07.24						15.08.24		
	ст. 1		ст. 2			ст. 3	ст. 1	ст. 2	ст. 3
Глубина, м Depth, m	0.5 м	5 м	0.5 м	7 м	15 м	0.5 м	0.5 м		
Численность, тыс. экз/м ³ Abundance, th. sp./m ³	79.5	469.50	134.2	61.4	33.2	74.1	191.3	155.7	180.1
Биомасса, г/м ³ Biomass, g/m ³	1.12	14.88	0.27	0.82	0.71	0.28	0.74	2.23	1.68
Плотность видов в пробе Species density in a sample	10	15	6	6	7	8	14	10	9
Индекс видового разнообразия, H_N Species diversity index, H_N	1.67	3.18	1.05	0.87	1.75	1.48	1.85	2.31	1.88
Индекс сапробности, S Saprobic index, S	1.54	1.64	1.90	1.63	1.64	1.88	1.50	1.54	1.55

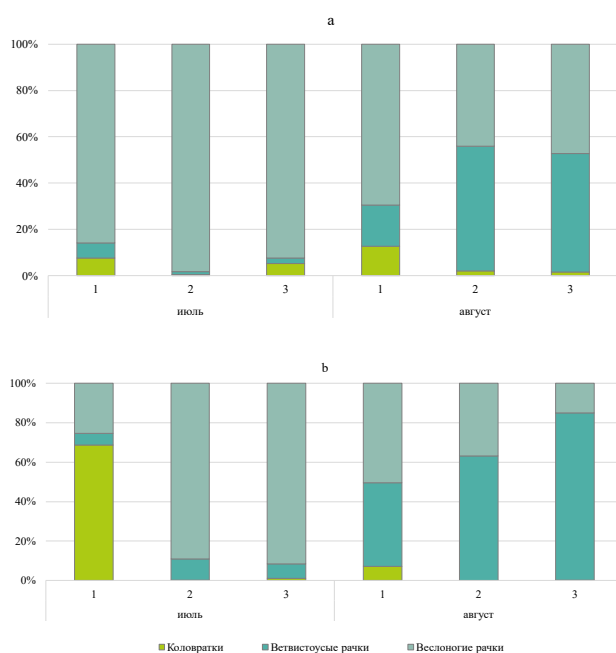


Рис. 4. Вклад отдельных групп беспозвоночных животных в общую численность (а) и биомассу (б) зоопланктона в поверхностном слое оз. Архирейское; 1–3 – номера станций
Fig. 4. Contribution of separate groups into total abundance (a) and biomass (b) of zooplankton in surface of Arkhiereiskoe Lake; 1–3 – station numbers

са – 0.74–2.23 г/м³. В северной части озера продолжает сохраняться доминирование веслоногих рачков, тогда как массового развития коловраток *A. priodonta* здесь уже не наблюдается. На остальной акватории озера ведущая роль в численности и биомассе переходит, преимущественно, к ветвистоусым рачкам.

Изменения в структуре зоопланктона центральной части озера, наблюдаемые с увеличением глубины, затрагивают, главным образом, его количественное развитие (табл. 5). Происходит заметное снижение численности, тогда как общая биомасса увеличивается. Ведущее значение веслоногих рачков, отмечаемое для поверхностных слоев, сохраняется. При этом относительный рост биомассы на глубинах 7 и 15 м объясняется возрастанием доли взрослых особей ракообразных.

Кластерный анализ степени сходства видового состава зоопланктона по количественному индексу Сьёренсена показывает разделение проб на уровне 15% на 2 основных кластера (рис. 5). Первый образует зоопланктон акватории северного участка озера, второй – из центрального и южного участков. Внутри второго кластера отдельно группируются пробы из поверхностного и глубинных горизонтов, и также отдельно – пробы, отобранные в июле и августе.

Биологическая индикация состояния экосистемы озера Архирейское. Видовое разнообразие планктонных сообществ озера на основе данных, имеющихся для срединных акваторий северного, центрального и южного участков озера, можно оценивать как невысокого – среднего уровня. Значения индекса видового разнообразия Шеннона изменяются в диапазоне 1.49–2.41 бит для фитопланктона и 1.05–2.31 бит для зоопланктона, и выходят за эти пределы (менее 1 или более 3) лишь в глубоководных слоях водной толщи. Более высокими значениями индекса Шеннона ($H_N=2.08$, в среднем) и индекса Пielу ($E=0.71$,

Таблица 6. Трофические условия (тип) в акватории оз. Архирейское по прозрачности, содержанию общего фосфора и индексу трофности: М – мезотрофный, О – олиготрофный

Table 6. Trophic conditions (type) in Arkhiereiskoe Lake by transparency, total phosphorus content and trophic index: М – mesotrophic, О – oligotrophic

Участок озера Lake area	Прозрачность воды, м Transparency, m			Общий фосфор, мкг/л Total phosphorus, mkg/l		Индекс трофности Trophic index		
	июль July	август August	тип type	май – август May – August	тип type	июль July	август August	тип type
Северный	2.1	1.9	М	32	М	43	54	М
Центральный	3.0	3.5	М	21	М	39	35	О
Южный	> 2.2	> 2.7	М	33	М	36	32	О

в среднем) разнообразие фитопланктона характеризуется в июле, тогда как во второй половине лета оно снижается до 1.70 и 0.55, соответственно, что обусловлено усилением доминирования в планктоне представителей цианопрокариот. Число видов в планктонных пробах варьирует от 9 и до 27 (фитопланктон) и от 6 до 15 (зоопланктон). Относительно более высокими значениями данного показателя выделяются фитопланктон (до 27 видов в пробе) и зоопланктон (14–15) в северной части озера.

Индекс сапробности, рассчитанный по обилию организмов-биоиндикаторов, варьирует в незначительных пределах как для фитопланктона (S 1.7–2.3), так и для зоопланктона (S 1.5–1.9). Эти значения укладываются в диапазон, свойственный для β -мезосапробной зоны, что характеризует уровень органического загрязнения как поверхностных, так и глубоководных горизонтов вод акватории оз. Архирейского, как зону умеренно-загрязненных вод. В целом, на незначительный уровень органического загрязнения указывают и результаты химико-аналитических измерений воды: значения показателей ХПК и БПК₅ в поверхностных слоях находятся, главным образом, в пределах нормативных значений. По

имеющимся архивным данным (Совершенство ..., 1997), качество вод оз. Архирейское в конце 1990-х годов на основе сапробиологического анализа фито- и зоопланктонных сообществ открытой акватории также оценивалось как «умеренно загрязненные» воды, в литоральной зоне – как «чистые».

Озеро Архирейское характеризуется слабым количественным развитием фитопланктона с биомассой, обычно не превышающей 1 мг/л. В целом, незначительное загрязнение и низкое обилие фитопланктона и зоопланктона способствуют достижению высокой прозрачности воды, достигающей на большей части акватории озера 3–3.5 м. Прозрачность воды и содержание общего фосфора являются наиболее доступными методами приближенной оценки трофического состояния водоемов. По этим показателям, используя имеющиеся классификации трофности водных экосистем (Милиус, Кывасик, 1979; Китаев, 1984), условия в озере могут быть охарактеризованы как мезотрофные (табл. 6).

Использование для оценки трофического статуса озера биотических показателей позволяет дифференцировать акваторию озера на зоны с отличающимися условиями трофности. Согласно индексу трофности, который находится в диапазоне значений от 32 до 54, акватория южного и центрального участков озера относится к зоне с олиготрофными условиями, тогда как на северном участке уровень поднимается до мезотрофных.

Отклонение условий в этой части озера по ряду показателей обусловлено, по-видимому, значительным влиянием со стороны частных домовладений с. Тарлаши. Повышенная антропогенная нагрузка на экосистему данного

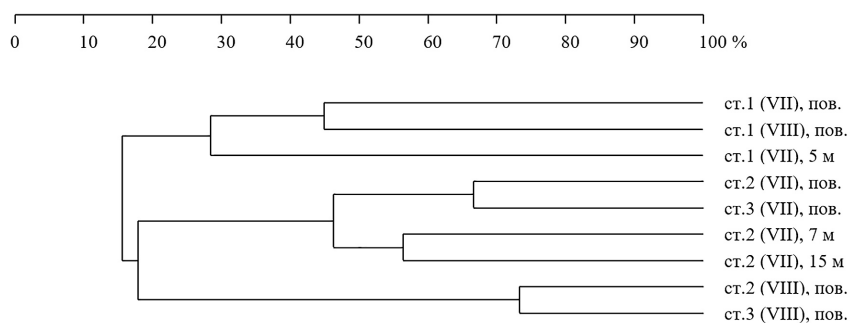


Рис. 5. Дендрограмма сходства исследованных станций по численности видов зоопланктона в оз. Архирейское
Fig. 5. Dendrogram of stations similarity by abundance of zooplankton species in Arkhiereiskoe Lake

участка озера проявляется в нарушении режима водоохранной зоны озера и хозяйственно-бытовом загрязнении вод. Росту уровня трофности в северной части также способствует его довольно изолированное положение и, вследствие этого, затрудненный водообмен с центральной частью озера. Как следствие, в северной части процессы эвтрофирования идут более ускоренными темпами. Так, в развитии гидробиологических сообществ в отдельные периоды (август) отмечается более существенный рост фитопланктона до 2.5 мг/л, на порядок превышающий значения на других участках акватории. При этом в структуре общей численности усиливается доминирование цианопрокариот до 97%, что, по мнению некоторых авторов (Neverova-Dziopak, 2007), позволяет классифицировать условия как эвтрофные. На повышение уровня органического загрязнения в северной части указывает рост БПК₅ как в поверхностных, так и в глубинных слоях, а также заметное снижение прозрачности воды.

Заключение

Полученные в ходе исследований результаты гидрохимических и гидробиологических исследований указывают на то, что экосистема озера Архиерейское находится в относительно благополучном и устойчивом состоянии. Видовое разнообразие планктонных сообществ открытой акватории озера находится на уровне невысоких – средних значений; качество воды оценивается как «умеренно-загрязненные воды»; трофический статус водоема соответствует олиго-мезотрофным условиям. Вместе с тем, анализ пространственной динамики указывает на имеющееся разделение акватории озера не только по морфометрическим, но и по гидрофизическим, гидрохимическим и гидробиологическим параметрам. Повышение уровня органического загрязнения и трофности в северной части озера указывает на то, что здесь процесс эвтрофирования носит более выраженный характер, проявляющийся, в том числе, в изменении структуры планктонных сообществ. Обусловлено это, в значительной степени, влиянием жилой застройки в водоохранной зоне озера (с. Тарлаши) и поступающих в водоем вместе с диффузным стоком хозяйственно-бытовых загрязнений. Начатая в последние годы реализация проектов по малоэтажному (коттеджному) строительству на территориях западного и восточного берегов озера должна учитывать данный опыт и при планировании строительных работ следовать положениям о строгом соблюдении режима водоохранной зоны озер.

Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1953. 296 с.
2. Андреев В.Л. Классификационные построения в экологии и систематике. М.: Наука, 1980. 142 с.
3. Баринаева С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
4. Водные объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. Казань: Изд-во «Фолиант», 2018. 512 с.
5. Государственный реестр особо охраняемых природных территорий в Республике Татарстан. Казань: Идел-Пресс, 2007. 407 с.
6. Зиганшин И.И., Иванов Д.В., Хасанов Р.Р. Динамика морфометрических показателей особо охраняемых озер Лаишевского района Республики Татарстан // Российский журнал прикладной экологии. 2017. №1. С. 38–43.
7. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер различных природных зон. М.: Наука. 1984. 208 с.
8. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод / Под ред. Г.Г. Винберга. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1974. 60 с.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука., 1975. 240 с.
10. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Винберг Г.Г., Лаврентьева Г.М. Л.: ГосНИОРХ, 1982. 34 с.
11. Неверова-Дзиопак Е., Цветкова Л.И. Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб: СПбГАСУ, 2020. 176 с.
12. Неудихина М.А., Анисимова О.В. История изучения рода *Staurostrum* (Zygnematomyxidae, Desmidiaceae) в Московской области // Бюллетень Московского общества испытателей природы. 2022. Т. 127, вып. 2. С. 23–36.
13. Озера Среднего Поволжья. Л.: Наука, 1976. 236 с.
14. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.
15. Определитель пресноводных водорослей СССР Вып. 2. Синезеленые водоросли. М., 1953. 651 с. Вып. 3. Золотистые водоросли. М., 1954. 188 с. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М., 1951. 619 с. Вып. 7. Эвгленовые водоросли. М., 1955. 281 с. Вып. 8. Зеленые водоросли. Класс Вольвоксовые. М.; Л., 1959. 230 с. Вып. 11 (2). Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые. Л., 1982. 624 с.
16. СанПин 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
17. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 №552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»
18. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
19. Совершенствование сети ООПТ и создание эколого-обеспечивающего каркаса Республики Татарстан (Западный ПТК Предкамья РТ). Отчет по Договору №41-НИР/97/21 от 8.07.1997 г. В 2-х т. Казань, 1997. Т. 1. 343 с. Т. 2. 277 с. (Архив ИПЭН АН РТ).
20. Справочник по гидрохимии / Под ред. А.М. Никанорова. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 392 с.
21. Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовые реки. СПб.: Наука, 2003. 232 с.
22. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых

водорослей Украинской ССР. Киев: Наукова думка, 1990. 208 с.

23. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: Изд-во ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

24. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin-Heidelberg: Spectrum Akademischer Verlag, 1998. Bd. 19/1. 548 p.

25. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. München: Elsevier GmbH, 2005. Bd. 19/2. 759 p.

26. Komárek J. Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin-Heidelberg: Springer, 2013. Bd. 19/3. 1130 p.

27. Neverova-Dziopak E. Ekologiczne aspekty ochrony wod powierzchniowych. Rzeszow. 2007. 103 p.

28. Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Bd. 26. S. 1–175.

References

1. Alekin O.A. Osnovy gidrohimii [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1953. 296 p.

2. Andreev V.L. Klassifikatsionny'e postroeniia v e'kologii i sistematike [Classification constructions in ecology and systematics]. Moscow: Nauka, 1980. 142 p.

3. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Bioraznoolobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhaiushchei sredy [Biodiversity of environmental indicator algae]. Tel-Aviv: Pilies Studio, 2006. 498 p.

4. Vodny'e ob'ekty Respubliki Tatarstan. Gidrograficheskii spravochnik [Water bodies of the Republic of Tatarstan. Hydrographic reference book]. Kazan: Foliant, 2018. 512 p.

5. Gosudarstvennyi reestr osobo okhraniayemykh prirodn'kh territorii v Respublike Tatarstan [State Register of Specially Protected Natural Territories in the Republic of Tatarstan]. Kazan, 2007. 407 p.

6. Ziganshin I.I., Ivanov D.V., Khasanov R.R. Dinamika morfometricheskikh pokazatelei osobo okhraniayemykh ozer Laishevskogo raiona Respubliki Tatarstan [Dynamics of morphometric parameters of protected lakes located in Laishevo district of the Republic of Tatarstan] // Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii [Russian journal of applied ecology]. 2017. No 1. P. 38–43.

7. Kitaev S.P. E'kologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer razlichnykh prirodn'kh zon [Ecological bases of bioproductivity of lakes of different natural zones]. Moscow: Nauka, 1984. 208 p.

8. Makrushin A.V. Biologicheskii analiz kachestva vod [Biological analysis of water quality] / ed. G.G. Vinberg. Leningrad: Zool. in-t AN SSSR, 1974. 60 p.

9. Metodika izucheniia biogeocенозов vnutrennikh vodoemov [Methods of studying biogeocenoses of inland water bodies] / ed. F.D. Mordukhai-Boltovskoi. Moscow: Nauka, 1975. 240 p.

10. Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktitsiya [Methodological recommendations on collection and processing of materials for hydrobiological research in freshwater bodies. Zooplankton and its production] / ed. Vinberg G.G., Lavrent'eva G.M. Leningrad, 1982. 34 p.

11. Neverova-Dziopak E., Tsvetkova L.I. Ocenka troficheskogo sostoianiia poverkhnostnykh vod [Assessment of trophic state of surface waters: a monograph]. Saint Petersburg, 2020. 176 p.

12. Neudakhina M.A., Anissimova O.V. Istoriia izucheniia roda Staurastrum (Zygnematophyceae, Desmidiaceae) v Moskovskoi oblasti [History of study of genus Staurastrum (Zygnematophyceae, Desmidiaceae) in Moscow region] // Byulleten' Moskovskogo Obshchestva Ispytatelei Prirody. Otdel Biologicheskii [Bulletin of the Moscow Society of Nature Researchers. Department of Biology.]. 2022. Vol. 127, No 2. P. 23–36.

13. Ozyora Srednego Povolzhia [Lakes of the Middle Volga region]. Leningrad: Nauka, 1976. 236 p.

14. Opredelitel zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii. Vol. 1. Zooplankton [Identification keys of zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia. Volume 1. Zooplankton] / ed. Alekseev V.R., Tsalolikhin S.Ya. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010. 495 p.

15. Opredelitel presnovodnykh vodoroslei SSSR. Vyp. 2. Sinezelenye vodorosli [Key to Freshwater Algae of the USSR. Vol. 2. Blue-green Algae]. Moscow, 1953. 651 p. Vyp. 3. Zolotisty'e vodorosli [Iss. 3. Golden algae]. Moscow, 1954. 188 p. Vyp. 4. Diatomovy'e vodorosli [Iss. 4. Diatom algae]. Moscow, 1951. 619 p. Vyp. 7. Evglenovy'e vodorosli [Iss. 7. Euglenoid algae]. Moscow, 1955. 281 p. Vyp. 8. Zelenye vodorosli. Class Volvoksovye [Iss. 8. Green algae. Class Volvocales]. Moscow, Leningrad, 1959. 230 p. Vyp. 11 (2). Zelenye vodorosli. Class Koniugaty. Poriadok Desmidiyeve [Iss. 11 (2). Green algae. Class Conjugatophyceae. Order Desmidiales]. Leningrad, 1982. 624 p.

16. SanPin 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovaniia k obespecheniiu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlia cheloveka faktorov sredy obitaniia [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans].

17. Prikaz Minsel'hoza Rossii ot 13.12.2016 №552 «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybohoziaistvennogo znachenii, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh koncentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybohoziaistvennogo znachenii» [Order of the Ministry of Agriculture of Russia No. 552 of 13.12.2016 «On the approval of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies»].

18. Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii [Guide to Methods of Hydrobiological Analysis of Surface Waters and Bottom Sediments] / ed. V.A. Abakumov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. 239 p.

19. Sovershenstvovanie seti OOPT i sozdanie e'kologobespechivaiushchego karkasa Respubliki Tatarstan (Zapadnyi PTK Predkam'ia RT) [Improvement of the network of protected areas (PAs) and creation of an environmentally supportive framework of the Republic of Tatarstan (Western PTK of the Cis-Kama region of the Republic of Tatarstan)]. Otchet po Dogovoru №41-NIR/97/21 ot 8.07.1997 g. V 2-kh tomakh / Nauch. ruk. V.A. Boiko. Kazan. 1997. V. 1. 343 p. V. 2. 277 p. (library of IPM TAS).

20. Spravochnik po gidrohimii [Handbook of Hydrochemistry.]. Pod red. A.M. Nikanorova. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 392 p.

21. Fitoplankton Nizhnei Volgi. Vodokhranilishcha i nizov'e reki [Phytoplankton of the Lower Volga. Reservoirs and the lower reaches of the river]. SPb.: Nauka, 2003. 232 p.

22. Tcarenko P.M. Kratkii opredelitel khlorokokkovykh vodoroslei Ukrainskoi SSR [A brief guide to chlorococcal algae of the Ukrainian SSR]. Kiev: Naukova dumka, 1990. 208 p.

23. Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. Kolichestvennaia gidroekologiya: metody sistemnoi

identifikacji [Quantitative hydroecology: methods of system identification]. Tol'iaty: Izd-vo IE'VB RAN, 2003. 463 p.

24. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin-Heidelberg: Spectrum Akademischer Verlag, 1998. Bd. 19/1. 548 p.

25. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. München: Elsevier GmbH, 2005. Bd. 19/2. 759 p.

26. Komárek J. Cyanoprokaryota 3. Teil: Heterocytous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin-Heidelberg: Springer, 2013. Bd. 19/3. 1130 p.

27. Neverova-Dziopak E. Ekologiczne aspekty ochrony wod powierzchniowych. Rzeszow. 2007. 103 p.

28. Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Bd. 26. S. 1–175.

Tokinova R.P., Abramova K.I., Galiahmetova L.K., Berdnik S.V., Shagidullin R.R.. **Bioindication of Arkhiereiskoe Lake ecosystem condition based on the structure of planktonic communities.**

In 2024, a survey of Arkhiereiskoe Lake (Tatarstan Republic) was conducted to assess its ecological state and potential risks associated with low-rise development of its catchment area. Based on the study of the chemical properties of lake waters, the species composition, and the quantitative structure of phyto- and zooplankton, an assessment was made of the biological diversity, the level of organic pollution, and the trophic status of the lake in various sections of its water area.

Keywords: freshwater ecosystems; biodiversity; plankton; bioindication; Arkhiereyskoye Lake.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 02.04.2025

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 16.04.2025

Принята к публикации / Accepted for publication: 30.04.2025

Информация об авторах

Токинова Римма Петровна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: r.tokin@rambler.ru.

Абрамова Ксения Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: kseniaiv@yandex.ru.

Галиахметова Люция Камилевна, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: lyuciya-mustafina@yandex.ru.

Бердник Сергей Владимирович, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: svberdnik@mail.ru.

Шагидуллин Рифгат Роальдович, доктор химических наук, член-корреспондент АН РТ, директор, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: shagidullin_@mail.ru.

Information about the authors

Rimma P. Tokinova, Ph.D. in Biology, Head of Laboratory, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: r.tokin@rambler.ru.

Ksenia I. Abramova, Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: kseniaiv@yandex.ru.

Lucia K. Galiahmetova, Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: lyuciya-mustafina@yandex.ru.

Sergey V. Berdnik, Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: svberdnik@mail.ru.

Rifgat R. Shagidullin, D.Sci. in Chemistry, Corresponding Member of Tatarstan Academy of Sciences, Director, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: Shagidullin_@mail.ru.

