

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.074>

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА АРХИЕРЕЙСКОЕ ЛАИШЕВСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Научная статья

Набеева Э.Г.<sup>1</sup>, Мингазова Н.М.<sup>2</sup>, Шигапов И.С.<sup>3,\*</sup>, Зарипова Н.Р.<sup>4</sup>, Шакирова Л.А.<sup>5</sup>, Павлова Л.Р.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3246-9431;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-8360-7005;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-0429-4440;

<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-6747-8610;

<sup>1-6</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

\* Корреспондирующий автор (shigapov.irshat[at]yandex.ru)

### Аннотация

В работе анализируется экологическое состояние оз. Архьерейское (Республика Татарстан). В ходе исследования проведено картографический анализ современных изменений, физико-химический анализ воды, оценка экологического состояния озера по растительности и показателям зообентоса. Выявлены основные экологические проблемы озера: сокращение поверхностного стока, застройка водосборной площади, зарастание водоема. Отмечается зарастание озера элодеей канадской на глубинах от 0.5 до 2.6 м. При экологическом анализе сообщества макрофитов озера выявлено, что сапробность воды соответствует  $\beta$ -мезосапробной зоне III классу качества, умеренно загрязненной воде. По показателям зообентоса водоем характеризуется как эвтрофный, с достаточно высоким видовым разнообразием и равномерным распределением видов. По интегральному индексу экологического состояния ИИЭС водоем относится к категории «зона экологического кризиса».

**Ключевые слова:** геоэкология, озеро, карст, батиметрия, индекс сапробности.

## A GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF THE LAKE ARKHIEREYSKOE IN THE LAISHEVSKY DISTRICT OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Research article

Nabeeva E.G.<sup>1</sup>, Mingazova N.M.<sup>2</sup>, Shigapov I.S.<sup>3,\*</sup>, Zaripova N.R.<sup>4</sup>, Shakirova L.A.<sup>5</sup>, Pavlova L.R.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3246-9431;

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-8360-7005;

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-0429-4440;

<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-6747-8610;

<sup>1-6</sup> Kazan Federal University, Kazan, Russia

\* Corresponding author (shigapov.irshat[at]yandex.ru)

### Abstract

The paper analyzes the ecological state of the lake Arkhiereyskoe (Republic of Tatarstan). The article features a cartographic analysis of modern changes, a physico-chemical analysis of water, an assessment of the ecological state of the lake by vegetation and indicators of zoobenthos. The authors identify the main ecological problems of the lake such as the reduction of surface runoff, development of the catchment area, and overgrowth of the reservoir. There is overgrowth of the lake with *Elodea canadensis* at depths from 0.5 to 2.6 m. An ecological analysis of the macrophyte community of the lake determines that the saprobity of the water corresponds to the  $\beta$ -mesosaprobic zone of class III quality, moderately polluted water. According to the indicators of zoobenthos, the reservoir is characterized as eutrophic with a sufficiently high species diversity and a uniform distribution of species. According to the integrated index of the ecological state, the reservoir belongs to the category of «ecological crisis zone».

**Keywords:** geoecology, lake, karst, bathymetry, saprobity index.

### Введение

Малые озера подвергаются значительной трансформации в условиях изменения их водосборов [1, С. 102], [8, С. 62] и во многих случаях требуются мероприятия по улучшению их состояния.

Озеро Архьерейское – одно из самых больших и самых глубоких озер Республики Татарстан и Среднего Поволжья [9, С. 57], [2, С. 254]. Водоем с 1978 г. признан памятником природы. В настоящее время для озера остро стоит проблема сокращения площади и эвтрофирования, наблюдается массовое развитие элодеи канадской, что свидетельствует о макрофитном пути его развития.

Актуальность данного исследования состоит в необходимости современной оценки состояния озера Архьерейское по комплексу показателей для составления рекомендаций по борьбе с зарастанием озера.

Целью исследования является оценка экологического состояния озера Архьерейского Лаишевского района РТ по гидрологическим, физико-химическим и гидробиологическим показателям.

### Материал и методы исследования

Исследования оз. Архьерейское проводились в 2020 г. Батиметрические исследования проводились в сентябре 2020 г., с использованием эхолота, с контролем измерений с помощью ручного лота. Данные обработаны и проанализированы в MS Excel, Surfer, картографическая обработка материалов велась в ГИС QGIS, ArcGis, Google Earth. Пробы на гидрохимический анализ отбирались с помощью батометра Молчанова ГР-18 на 2 станциях, с поверхности и глубины и анализировались в аккредитованной лаборатории. Определяли прозрачность, цвет, количество

растворенного кислорода, электропроводность и кислотность среды; БПК<sub>5</sub>, ХПК, содержание нефтепродуктов, ионов различных солей, минерализацию, жесткость, АПАВ. Для оценки качества воды использовались эколого-санитарная классификация (ЭСК) поверхностных вод суши [10, С. 200] и индекс загрязнения воды (ИЗВ), использовались ПДК, предусмотренные для водоемов рыбохозяйственного пользования.

Исследование макрофитов проводилось с лодки вдоль берегов и по средней линии. При изучении использовались принятые методики [9, С. 156], использована бальная оценка обилия с помощью шкалы Друде, сапробность оценивалась методом Пантле и Букка в модификации Сладечека с изменениями. Для определения качества воды по данному методу было определено обилие видов, по которым известны значения сапробности [6, С. 120], [3, С. 50]. Индекс сапробности вычисляется по формуле:  $S = \sum(sh) / \sum h$ , где  $s$  – индекс сапробности каждого вида,  $h$  – относительное обилие видов. Определялось обилие видов, по которым известны значения сапробности. Пробы зообентоса отбирались 28 августа и 1 октября 2020 г. в литоральной зоне, с 6 станций. Изучение велось в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками. Для оценки качества воды озера использованы индексы видового разнообразия (Шеннона (H), Симпсона (S)), индекс выравненности Пиелу (E)), индекс Гутнайта-Уитлея (GW), комплексный индекс оценки гидрохимических и биологических показателей (ИИЭС) [4, С. 115].

## Результаты и их обсуждение

### Гидрологические исследования

По данным гидрологических исследований на батиметрической схеме (рис. 1) видна цепочка карстовых провалов в северной части озера (глубинами более 8 м) и обширные карстовые провалы в центральной части (глубинами более 20 м). Котловину озера можно разделить на северную, центральную и южную части. В центральной зоне озера обнаружена максимальная глубина – 21.5 м. Грунт дна в северной и центральной частях озера песочный, активного илообразования не наблюдается.

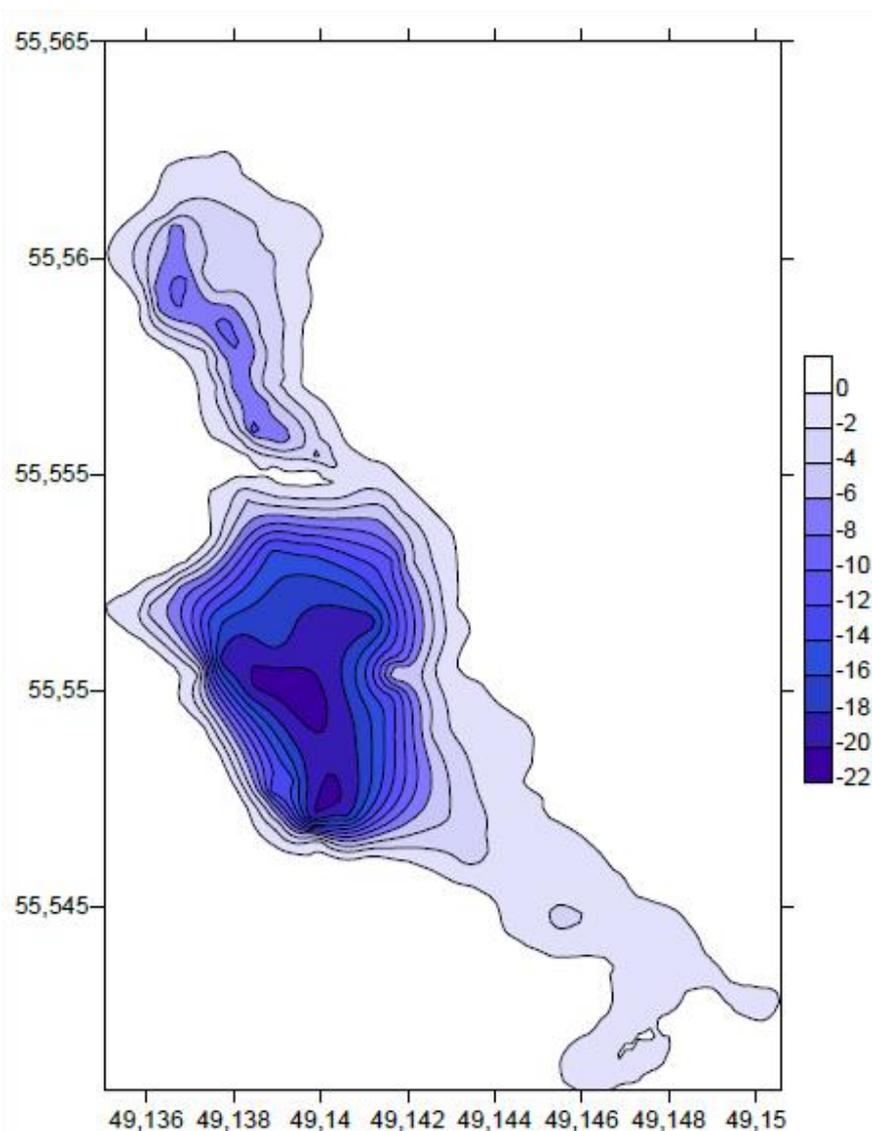


Рис. 1 – Батиметрическая схема оз. Архиерейское

Южная часть озера характеризуется относительно ровной поверхностью дна с глубиной от 2.6 до 0.6 м, наблюдается заиление и зарастание.

В таблице 1 приведены данные современных гидрологических измерений на 2020 г., в сравнении с данными за 1970-е гг. [7], 1996 г. [10] и 2000 г. [5, С. 38].

Таблица 1 – Морфометрические характеристики оз. Архиерейское

	Площадь, га	Длина берег, линии, м	Длина тах, м	Ширина, м	Глубина тах, м	Сред, глубина, м	Объем воды, тыс, м <sup>3</sup>	Площадь водосбора, га
1970-е гг,	67,1	-	2400	480	22,0	6,7	4496	1935
1996 г,	-	-	-	-	19,9	-	-	-
2000 г,	70,5	-	-	520	18,0	8	4231	-
2020 г,	69,3	6340	2400	558	21,5	6,2	4290	2848

Сравнительный анализ изменений за 50 лет показывает две тенденции:

1) наблюдается небольшой рост площади озера (с 67.1 га до 69.3 га (70,5 га по данным 2000 г.), прежде всего за счет увеличения максимальной ширины при практически неизменной длине озера;

2) сохранение максимальных глубин (до 21.5 м).

В целом данные батиметрических съемок 2020 совпадают с результатами 1970-х годов, были обнаружены указанные на схеме 1970-х гг. [7, С. 150] 4 карстовые воронки с совпадающими значениями глубин. Можно отметить изменение формы крупной воронки в центральной части, которая начала расширяться в северо-западном направлении, что и привело к увеличению максимальной ширины. Кроме этого, было обнаружено еще две небольшие воронки в северной и южной частях озера. Вероятно, это можно объяснить использованием более точного оборудования, позволяющего проводить непрерывную съемку дна, однако возможно и некоторое развитие карстовых процессов в озере. Использование более точных методов можно объяснить и разницу в площади водосбора: использование 3D-моделирования рельефа позволяет точнее определять линии водораздела по сравнению с использованием карт, что особенно важно для малых озер.

Также отметим, что в настоящее время происходит интенсивная малоэтажная застройка многих сельскохозяйственных земель, что в геоэкологическом плане меняет факторы антропогенного воздействия: вместо сельскохозяйственного загрязнения указываемого А.С. Тайсиным [10, С. 125] для 1990-х годов, преобладающим видом воздействия становится хозяйственно-бытовое загрязнение поверхностного стока и грунтовых вод.

#### Гидрохимические показатели

По оценке по ЭСК качества поверхностных вод, воды соответствуют разрядам от «вполне» до «достаточно чистой» воды со средними ранговыми показателями, вычисленными по семи показателям, равными 3.5-4.4. Индекс загрязнённости воды составил в среднем  $0.67 \pm 0.05$ , что соответствует II классу качества «чистой» воде.

#### Гидробиологические исследования

В ярусе погруженной растительности преобладает *Elodea canadensis*, единично встречаются *Myosoton aquaticum* и *Hippuris vulgaris*. *Elodea canadensis* является доминирующим видом. Дно озера до глубины около 1.5 м покрыто зарослями элодеи, но встречаются и незаселенные песчаные участки дна. Сапробность воды в озере составляет 1.6, что позволяет отнести ее к  $\beta$ -мезосапробной зоне, к III классу качества, умеренно загрязненной воде.

При исследованиях макрозообентоса в 2020 г. было обнаружено 25 видов и таксонов рангом выше вида, относящихся к пяти классам: *Insecta*, *Hirudinea*, *Oligochaeta*, *Gastropoda* и *Crustacea*. Наибольшее количество видов относилось к классу *Insecta*. Наличие олигохет (*Limnodrilus* sp.) на двух станциях указывает на высокий уровень органических загрязнений. По данным 2016 г. здесь так же наблюдалось доминирование хирономид при количественном анализе [7, С. 153]. В 2020 г. максимальная численность зообентоса составила  $113 \pm 39$  экз./м<sup>2</sup> (*Guttipelopia guttipenis* (Van der Walp, 1861)). Среднее значение индекса Шеннона ( $2,04 \pm 0,6$ ) характеризует водоем как эвтрофный. Индекс Симпсона в среднем на всех точках отбора составляет  $0,69 \pm 0,1$ , что характеризует достаточно высокое разнообразие видов в сообществе. Индекс выравненности Пиелу на всех станциях близок к единице, при среднем значении  $0,84 \pm 0,1$ , что свидетельствует о равномерном распределении численности особей при данном количестве видов, выравненность высокая. Анализ трофической структуры донных фауны оз. Архиерейское показал доминирование в количественных пробах организмов-фильтраторов. На их долю в общей биомассе зообентоса приходилось 88.0%. Индекс Гутнайта-Уитлея (GW) составляет  $11 \pm 3\%$ , что показывает отсутствие загрязнения и соответствует 1-2 классу качества воды. По интегральному индексу экологического состояния ИИЭС, среднее значение которого составило  $2.2 \pm 0.1$ , водоем относится к категории «зона экологического кризиса».

По гидробиотическим показателям необходимо отметить достаточно интенсивное зарастание отдельных участков озера на глубинах от 0.5 до 2.6 м элодеей канадской, особенно в южной мелководной части, где наблюдается заиление дна.

#### Анализ антропогенного воздействия

При анализе существующего геоэкологического состояния можно сделать вывод, что основными проблемами изучаемого озера являются:

1. Застройка водосборного бассейна поселками и дорогами

2. Зарастание озера элодеей канадской на глубинах от 0.5 до 2.6 м, приводящее к интенсивному заилению отдельных озерных участков, особенно в южной части озера.

3. Вода в озере характеризуется повышенным содержанием органических веществ, наблюдаются признаки эвтрофирования озера.

**Заключение**

В настоящее время озеро Архиерейское Лаишевского района РТ (памятник природы) отличается благоприятным качеством воды, соответствующей разрядам от «вполне» до «достаточно чистой» воды; индекс загрязнённости соответствует II классу качества «чистой» воде. При экологическом анализе сообщества макрофитов озера выявлено, что сапробность воды позволяет отнести ее к  $\beta$ -мезосапробной зоне, к III классу качества, умеренно загрязненной воде. По показателям зообентоса водоем характеризуется как эвтрофный, с достаточно высоким видовым разнообразием и равномерным распределением видов.

Комплексный подход к анализу экологической ситуации на водоеме (расчет интегрального индекса экологического состояния ИИЭС) относит водоем к категории «зона экологического кризиса».

В ходе проведенного анализа антропогенного воздействия выявлены современные геоэкологические проблемы озера: застройка водосборного бассейна и интенсивное эвтрофирование озера, выражающееся в зарастании водоема элодеей канадской.

Для оптимизации состояния озера в озере необходимо проведение профилактических и восстановительных мероприятий, но так как озеро является особо охраняемой природной территорией (памятником природы), все мероприятия должны быть согласованы с Государственным Комитетом по биологическим ресурсам Республики Татарстан.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Ахмедова Г.А. Состояние малых озер в урбанизированных ландшафтах и их защита в условиях антропогенной нагрузки / Г.А. Ахмедова, М.М. Расулова // Юг России: экология, развитие. – 2009. – № 4. – С.136.
2. Биоразнообразие и типология карстовых озер Среднего Поволжья / под ред. Мингазовой Н.М. – Казань: изд-во Казан. ун-та, 2009. – 290 с.
3. Власов Б.П. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды: Мет. рекомендации / Б.П. Власов, Г.С. Гигевич. – Мн.: БГУ, 2002. – 84 с.
4. Вшивкова Т.С. Введение в биомониторинг пресных вод: учебное пособие / Т.С. Вшивкова, Н.В. Иваненко, Л.В. Якименко и др. – Изд-во ВГУЭС, 2019. – 136 с. DOI:10.13140/RG.2.2.31070.89927/1
5. Зиганшин И.И. Динамика морфометрических показателей особо охраняемых водоемов Лаишевского района Республики Татарстан / И.И. Зиганшин, Д.В. Иванов, Р.Р. Хасанов // Российский журнал прикладной экологии, 2017. – №1. – С. 38-43.
6. Кокин К. А. Экология высших водных растений / К.А. Кокин. – М.: МГУ, 1982. – 160 с.
7. Мельникова А.В. Донная фауна озера Архиерейское (Лаишевский район, республика Татарстан) / А.В. Мельникова // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 2017. – Т. 26. – № 3. – С. 153-158.
8. Мингазова Н.М. Карстовые озера Среднего Поволжья и их биоразнообразие / Н.М. Мингазова, О.Ю. Деревенская, О.В. Палагушкина и др. // Матер. докл. научно-практ. конф. гидробиологов, посвящ. памяти проф. Х.М. Курбангалиевой. 09 ноября 2010 г., Казань. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. – С. 62-63.
9. Озера Среднего Поволжья / под ред. И.Н.Сорокина и Р.С.Петровой. – Л., Наука, 1976. – 236 с..
10. Тайсин А. С. Озера Приказанского района, их современные природные и антропогенные изменения. — Казань: Изд-во ТГГПУ, 2006. – 167 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Ahmedova G.A., Rasulova M.M. Sostoyanie malyh ozer v urbanizirovannyh landshaftah i ih zashchita v usloviyah antropogennoj nagruzki [The state of small lakes in urban landscapes and their protection under anthropogenic pressure] / G.A. Ahmedova, M.M. Rasulova / YUg Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: ecology, development], 2009. – V. № 4. – P.136. [in Russian]
2. Bioraznoobrazie i tipologiya karstovykh ozer Srednego Povolzh'ya [Biodiversity and typology of karst lakes in the Middle Volga region] / ed. Mingazova N.M. – Kazan: publishing house Kazan. un-ta, 2009. – 290 p. [in Russian]
3. Vlasov B.P. Ispol'zovanie vysshikh vodnykh rasteniy dlya ocenki i kontrolya za sostoyaniem vodnoy sredy [The use of higher aquatic plants for assessing and monitoring the state of the aquatic environment] / B.P. Vlasov, G.S. Gigevich // Met. recommendations. – Minsk: BSU, 2002. – 84 p. [in Russian]
4. Vshivkova T.S. Vvedenie v biomonitring presnykh vod: uchebnoe posobie [Introduction to freshwater biomonitoring: textbook] / T.S. Vshivkova, N.V. Ivanenko, L.V. YAKimenko et al. // Publishing house VGUES, 2019. P. 136. DOI:10.13140/RG.2.2.31070.89927/1 [in Russian]
5. Ziganshin I.I. Dinamika morfometricheskikh pokazatelej osobo ohranyaemykh vodoemov Laishevskogo rajona Respubliki Tatarstan [Dynamics of morphometric indicators of specially protected water bodies of the Laishevsky district of the Republic of Tatarstan] / I.I. Ziganshin, D.V. Ivanov, R.R. Hasanov // Russian Journal of Applied Ecology. 2017. No. 1. pp. 38–43. [in Russian]
6. Kokin K. A. Ekologiya vysshikh vodnykh rastenij [Ecology of higher water plants] / K.A. Kokin. – M.: MSU, 1982. – 160 p. [in Russian]
7. Mel'nikova A.V. Donnaya fauna ozera Arhierejskoe (Laishevskij rajon, respublika Tatarstan) [Bottom fauna of Lake Archiereyskoe (Laishevsky District, Republic of Tatarstan)] / Mel'nikova A.V. // Samarskaya Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii [Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology], 2017. – Vol. 26. –№ 3. –P.153-158. [in Russian]

8. Mingazova N.M. Karstovye ozera Srednego Povolzh'ya i ih bioraznoobrazie [Karst lakes of Middle Povolzh'ya and their biodiversity] / N.M. Mingazova, O.YU. Derevenskaya, O.V. Palagushkina et al. // Mater. dokl. nauchno-prakt. konf. gidrobiologov, posvyashch. pamyati prof. H.M. Kurbangalievoy. 09 noyabrya 2010 g., Kazan'. – Kazan': Kazan. gos. un-t, 2010. – P.62-63 [in Russian]

9. Ozera Srednego Povolzh'ya [Lakes of Mid-Volga Region.] / ed. by. I.N.Sorokina i R.S.Petrovoj. –L., Nauka, 1976. – 236 p. [in Russian]

10. Taisin A.S. Ozera Prikazanskogo rajona, ih sovremennye prirodnye i antropogennye izmeneniya [Lakes of the Prikazansky region, their modern natural and anthropogenic changes] / A.S. Taisin. – Kazan: Publishing house of TSGPU, 2006. – 167 p. [in Russian]