

Научная статья

УДК 556.557

<https://doi.org/10.18522/1026-2237-2025-4-72-82>

АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В ЗАРАСТАНИИ ОЗЕР ПРИБРЕЖНО-ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

И.И. Зиганшин¹, Д.В. Иванов², А.Б. Александрова³, В.С. Валиев⁴, Р.Р. Хасанов⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань, Россия

¹ irek.ziganshin@tatar.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4449-3444>

² water-rf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2822-4623>

³ adabl@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2303-6156>

⁴ podrost@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8848-5326>

⁵ rustamkhasanov88@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4788-5524>

Аннотация. Исследование направлено на изучение взаимосвязи зарастания озер и абиотических факторов, включающих морфометрические характеристики, физико-химические свойства донных отложений и гидрохимические показатели. Объекты – озера различного генезиса (отчлененные заливы Куйбышевского водохранилища, суффозионно-карстовые и карстовые озера, искусственные водоемы), расположенные на территории охранной зоны Саралинского участка Волжско-Камского биосферного заповедника. Выявлено, что мелководность (глубина до 2 м) и высокая доля литоральной зоны (>50 % акватории) являются ключевыми факторами ускоренного зарастания озер прибрежно-водной растительностью (главным образом тростником южным (*Phragmites australis*) и рогозом узколистным (*Typha angustifolia* L.)). Гидрохимические показатели (минерализация, жесткость, ХПК, БПК₅) и гранулометрический состав донных отложений (преобладание илистых фракций) статистически значимо влияют на развитие макрофитов. Виды растительности демонстрируют избирательность к субстратам: *Phragmites australis* доминирует на песчаных грунтах, *Typha angustifolia* L. – на илистых. Результаты факторного анализа подтвердили роль двух ортогональных факторов: минерализации вод и параметров литорали. Исследование доказало важность применения комплексного подхода в мониторинге водных объектов с целью эффективного управления ими в современных условиях.

Ключевые слова: озера, прибрежно-водная растительность, абиотические факторы, зарастание, корреляционный анализ, Волжско-Камский биосферный заповедник

Для цитирования: Зиганшин И.И., Иванов Д.В., Александрова А.Б., Валиев В.С., Хасанов Р.Р. Абиотические факторы в зарастании озер прибрежно-водной растительностью // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2025. № 4. С. 72–82. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2025-4-72-82>

Благодарности: публикация подготовлена в рамках реализации гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан», №98/2024-ПД.

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0).

Original article

ABIOTIC FACTORS IN THE OVERGROWTH OF LAKES BY COASTAL AQUATIC VEGETATION

I.I. Ziganshin¹, D.V. Ivanov², A.B. Alexandrova³, V.S. Valiev⁴, R.R. Khasanov⁵

^{1,2,3,4,5}Research Institute for Problem of Ecology and Mineral Water Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russia

¹ irek.ziganshin@tatar.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0003-4449-3444>

² water-rf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2822-4623>

³ adabl@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2303-6156>

⁴ podrost@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8848-5326>

⁵ rustamkhasanov88@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4788-5524>

Abstract. This study assesses the relationship between lake overgrowing and abiotic factors, including morphometric characteristics, physicochemical properties of bottom sediments, and hydrochemical parameters. The research objects were lakes of different origins (detached bays of the Kuibyshev Reservoir, suffusion-karst, karst, and artificial water bodies) located within the buffer zone of the Saralinsky section of the Volga-Kama Biosphere Reserve. It was found that low maximum depths (up to 2 m) and a high proportion of the littoral zone (>50 % of the water area) are key factors in the accelerated overgrowing of these lakes with aquatic vegetation, primarily common reed (*Phragmites australis*) and narrow-leaved cattail (*Typha angustifolia* L.). The development of macrophytes was found to be significantly influenced by hydrochemical parameters (mineralization, water hardness, COD, BOD₅) and the granulometric composition of bottom sediments (predominance of silty fractions). The studied species exhibit substrate selectivity: *Phragmites australis* dominates on sandy substrates, while *Typha angustifolia* L. dominates on silty substrates. The results of factor analysis confirmed the role of two orthogonal factors: water mineralization and littoral zone parameters. The study results highlight the importance of employing an integrated approach in monitoring water bodies for their effective management under current conditions.

Keywords: lakes, coastal aquatic vegetation, abiotic factors, overgrowth, correlation analysis, Volga-Kama Biosphere Reserve

For citation: Ziganshin I.I., Ivanov D.V., Alexandrova A.B., Valiev V.S., Khasanov R.R. Abiotic Factors in the Overgrowth of Lakes by Coastal Aquatic Vegetation. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science.* 2025;(4):72-82. (In Russ.). <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2025-4-72-82>

Acknowledgments: the publication was prepared within the framework of the implementation of the grant of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, provided to young Candidates of Sciences for the purpose of defending a Doctoral dissertation, performing scientific-research works, as well as performing labor functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan within the framework of the State Program of the Republic of Tatarstan "Scientific-Technological Development of the Republic of Tatarstan", No. 98/2024-PD.

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0).

Введение

Активная эксплуатация водных ресурсов привела к значимому сокращению запасов и ухудшению качества поверхностных и подземных вод в разных регионах мира. Наиболее катастрофично негативные изменения проявляются для малых замкнутых водоемов, которые за достаточно короткий период времени мелеют и зарастают высшей водной растительностью [1].

Высшая водная растительность выполняет широкий спектр экосистемных функций, в значительной мере обеспечивая внутриводоемные механизмы самоочищения природных вод от загрязняющих веществ [2–6]. У малых озер, наряду с положительными эффектами, при избыточном их зарастании нередко отмечается снижение качества их вод, выражаемое в росте концентраций в воде легко- и трудноокисляемых органических веществ, биогенных элементов,

дефиците растворенного кислорода, заморных явлениях. В конечном счете зарастание отражается на санитарно-гигиеническом состоянии озёр и ведёт к снижению их рекреационного потенциала. Характер и течение процессов зарастания определяются комплексом биотических и абиотических факторов среды. В число последних входят морфометрические параметры водоёма, а также показатели состава и свойства воды и донных отложений [7, 8].

Цель исследования – анализ взаимосвязи зарастания озёр прибрежно-водной растительностью и ключевых абиотических факторов.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись 13 озёр различного генезиса (отчлененные заливы Куйбышевского водохранилища, суффозионно-карстовые и карстовые озера, искусственные водоемы), расположенные в охранной зоне Саралинского участка Волго-Камского государственного природного биосферного заповедника, в южной части Волго-Мешинского междуречья (Республика Татарстан) (рис. 1).

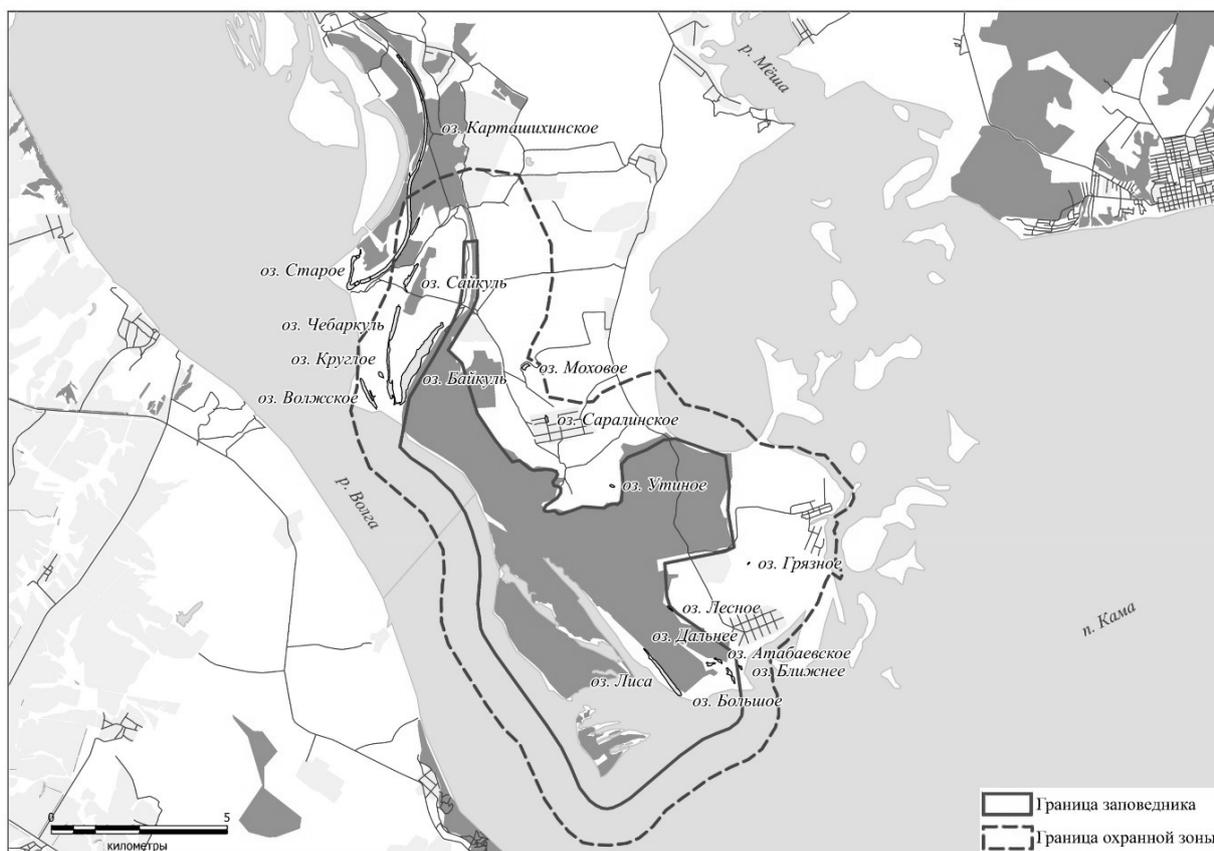


Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования
/ Fig. 1. Map-scheme of the location of research objects

В работе использовали материалы полевых и лабораторных исследований, характеризующие состав и свойства поверхностных вод и донных отложений озёр, за период 2021–2024 гг. [9–11], а также морфометрические параметры (всего 94 параметра). Вычисление морфометрических показателей, построение батиметрических карт и карт зарастания прибрежно-водной растительностью осуществлялись в ГИС Mapinfo Pro 16.0. Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакета Statistica 8.0. Оценка зависимости зарастания от анализируемых параметров осуществлялась с помощью коэффициента корреляции Спирмена. Выбор гидрохимических показателей обоснован методом многомерного статистического факторного анализа (главных компонент).

Результаты и обсуждение

Большинство исследованных озёр расположено на II надпойменной террасе р. Волги и представляет собой отчленённые заливы Куйбышевского водохранилища (образовано в 1955 г.), которые сформировались в результате естественных процессов, приведших к их изоляции от основной акватории (табл. 1). Наиболее крупные озёра – Карташихинское, Байкуль и Чебаркуль, площадь их акватории достигает 20–50 га. Для указанных водоёмов характерна сложная форма береговой линии, значительная площадь мелководий, что делает их чувствительными к изменениям гидрологического режима.

Таблица 1 / Table 1

Гидрографические параметры и степень зарастания озёр / Hydrographic parameters and degree of lake overgrowth

Озеро	Типы озёр	Координаты	S, га	Глубина, м		Объём, тыс. м ³	Литораль, %	Степень зарастания, %
				Сред.	Макс.			
II надпойменная терраса								
Байкуль	III*	N 55.35562 E 49.20193	52,2	1,4	2,7	747,5	23,6	19,5
Ближнее	III	N 55.27716 E 49.34850	0,4	0,8	1,2	3,4	99,4	90,1
Волжское	III	N 55.35791 E 49.18963	8,7	1,2	2,3	105,2	38	21,0
Карташихинское	III	N 55.40587 E 49.20283	58,2	0,8	2,7	465,4	55,1	1,5
Круглое	III	N 55.35275 E 49.18661	1,5	0,8	1,3	12,2	50,1	88,3
Сайкуль	III	N 55.37781 E 49.20007	5,8	0,6	1	33,2	98,7	53,6
Старое	III	N 55.37987 E 49.17360	10,6	1,5	2,9	158,9	25,0	0,1
Чебаркуль	III	N 55.35791 E 49.18963	22,9	1,1	2,7	257,6	24,8	47,5
III надпойменная терраса								
Грязное	I	N 55.30404 E 49.35221	0,2	0,7	0,7	1,3	100	93,1
Лесное	I	N 55.29233 E 49.31677	0,6	0,8	1,2	4,6	89,8	34,7
Моховое	II	N 55.35476 E 49.25188	1,9	3,6	8,2	69,9	13,7	56,4
Саралинское	IV	N 55.34138 E 49.26128	1,1	0,8	1,5	8,7	82,8	0,1
Утиное	I	N 55.32402 E 49.29070	0,7	0,4	0,5	2,8	100	23,7

Примечание. * I – суффозионно-карстовые; II – карстовые; III – отчленённые заливы; IV – искусственные (копани).

Водоёмы III надпойменной террасы по генезису относятся к суффозионно-карстовым (Грязное, Лесное, Утиное), карстовым (Моховое) и искусственным (Саралинское) озерам. Их площадь варьирует от 0,2 до 1,9 га.

В соответствии с классификацией В.Г. Папченкова [12] исследуемые водоёмы по степени зарастания можно отнести к следующим категориям (рис. 2):

а) незаросшие или почти незаросшие (площадь зарастания < 1 % от площади акватории) – Саралинское, Старое;

б) очень слабо заросшие (1–5 %) – Карташихинское;

- в) умеренно заросшие (11–25 %) – Байкуль, Волжское, Утиное;
- г) сильно заросшие (41–65 %) – Лесное, Чебаркуль, Сайкуль, Моховое;
- д) очень сильно заросшие (66–95 %) – Круглое, Ближнее, Медовое.

Выделяется группа из пяти озер (Утиное, Грязное, Ближнее, Медовое, Сайкуль), где мелководья занимают большую часть акватории и присутствуют идеальные условия для распространения воздушно-водной растительности. Отмечаемые различия в величине зарастания озер обусловлены структурой рельефа дна: суффозионно-карстовые озера характеризуются долей мелководий, достигающих 90–100 % от общей площади акватории, в озёрах – отчлененных заливах она снижается до 20–55 % (исключение – озеро Старое), а в карстовом озере Моховое не превышает 15 %. Однако и среди генетически близких озер можно заметить существенные различия в величине зарастания.

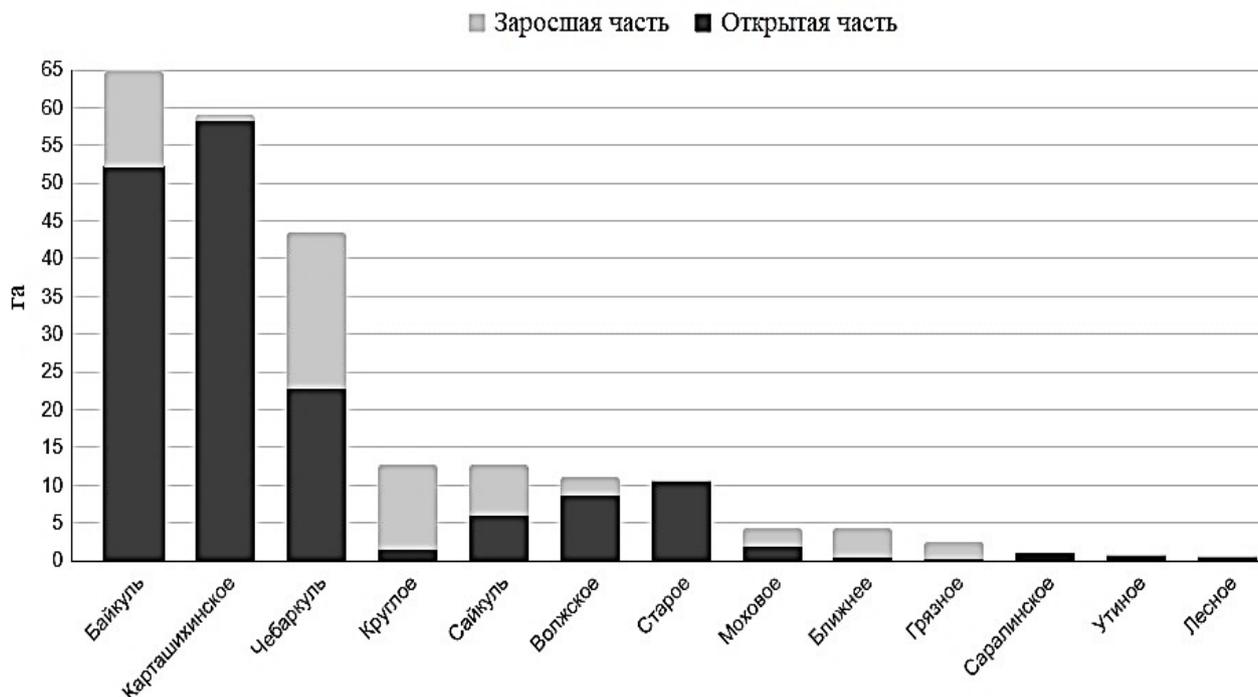


Рис. 2. Степень зарастания относительно акватории озер
 / Fig. 2. Degree of overgrowth relative to the water area of lakes

В мелководных водоемах, где средняя глубина не превышает 2 м, процессы зарастания протекают наиболее интенсивно, что ведет к накоплению на дне озер органических осадков и постепенному их заболачиванию. Доля мелководий (>50 % акватории) у 64 % исследованных нами озер объясняет их высокую уязвимость к зарастанию. Известно, что на зарастание озер оказывают влияние донные отложения и гидрохимия воды. Изменение химического состава водоёмов может способствовать развитию водной растительности, что приводит к заилению и зарастанию [13–15].

Донные отложения исследованных озер сложены песками (Круглое), илистыми песками (Карташихинское, Старое), песчанистыми (Байкуль, Сайкуль, Чебаркуль, Грязное, Лесное) и глинистыми (Ближнее, Волжское, Утиное, Моховое, Саралинское) илами (табл. 2).

Минимальное содержание пелитовых частиц характерно для оз. Круглое. Оно изначально представляло собой волжский залив (понижение рельефа на материке, заполненное водой). В весеннее половодье на дне откладывались пески, а со временем образование песчаной косы привело к утрате сообщения с р. Волга, что обусловило образование новых водных объектов – отчлененных заливов. Наиболее тяжелый гранулометрический состав донных отложений отмечается у оз. Моховое, что подтверждается увеличением глинистых фракций в сравнении с остальными озерами. Очевидно, это связано со структурой тонкого детрита донных отложений, диапазон частиц которых, в зависимости о степени деградации органического вещества, составляет 0,05–0,001 мм [15].

Таблица 2 / Table 2

Физико-химические свойства донных отложений озер
/ Physical and chemical properties of lake bottom sediments

Озера	N, %	P, %	pH	Гранулометрический состав, мм %						
				1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
Байкуль	0,03	0,03	6,3	0,3	81,3	6,9	2,8	5,0	3,7	11,5
Ближнее	0,18	0,25	6,6		43,3	25,8	1,6	12,4	16,9	30,9
Волжское	0,10	0,23	6,7		20,8	43,0	8,9	11,4	15,9	36,2
Карташи-хинское	0,03	0,01	6,8	6,6	87,0	1,5	0,9	3,8	0,3	5,0
Круглое	0,02	0,05	5,1	7,0	86,5	2,2	0,1	4,2	0,1	4,3
Сайкуль	0,11	0,02	5,4		21,3	50,8	10,3	6,6	11,0	27,9
Старое	0,03	0,01	6,8	5,6	88,2	0,7	1,1	4,0	0,5	5,6
Чебаркуль	0,02	0,07	5,5	0,6	67,3	17,6	2,8	6,7	5,0	14,5
Грязное	0,44	0,32	6,1	0,3	50,6	31,2	5,4	4,2	8,4	17,9
Лесное	0,18	0,11	5,5		41,4	46,5	2,2	7,5	2,4	12,1
Моховое	0,16	0,01	5,2		10,0	45,2	14,6	18,7	11,6	44,8
Саралинское	0,15	0,02	5,6		38,1	30,9	10,3	14,4	6,2	30,9
Утиное	0,16	0,01	5,7		8,9	53,7	9,8	16,4	11,2	37,4

Реакция среды донных отложений варьирует от кислой до близкой к нейтральной. Наиболее кислые донные отложения отмечаются в озерах с большим процентом зарастания, что обусловлено накоплением органической массы и образованием органических кислот в результате процессов разложения (табл. 2).

Донные отложения озер обогащены валовой формой азота, тогда как содержание валового фосфора в 77 % случаев характеризуется как низкое. Указанная диспропорция объясняется особенностями поступления фосфора в заповедных условиях, где его основным источником поступления являются выпадающие осадки. Тогда как в условиях антропогенной нагрузки доля суммарного поступления от сельскохозяйственных источников по фосфору может достигать 90 % [8].

С помощью факторного анализа были выявлены гидрохимические показатели, оказывающие влияние на степень зарастания озер (рис. 3).

В результате факторного анализа (метод главных компонент, варимакс-нормализованное вращение) выделены два ортогональных фактора. Первый фактор интерпретирован как фактор минерализации и эвтрофикации, объединивший взаимосвязанные параметры, стимулирующие зарастание озера: электропроводность, жесткость, содержание фосфата, кальция, сухого остатка, гидрокарбонатов, хлоридов, фенола, взвешенных веществ, а также химического потребления кислорода (ХПК) и концентрацию растворенного кислорода. Высокие нагрузки данных показателей ($>0,7$) свидетельствуют о едином процессе, в ходе которого увеличение биогенных элементов (фосфаты) и органического вещества, что показывает высокий уровень (ХПК), на фоне высокой минерализации приводит к интенсификации развития водной растительности и, как следствие, к изменению кислородного режима.

Второй фактор охарактеризован как литоральный, поскольку в него вошли параметры, типичные для прибрежной зоны: pH, анионные ПАВ, сульфаты, нитриты, аммоний и БПК₅. Данная совокупность отражает специфику антропогенного и биогеохимического воздействия в литорали.

Зарастание озер может объяснять сопутствующие изменения некоторых показателей: снижение pH и повышение содержания сульфатов, которые, в свою очередь, связаны с жесткостью воды. Тем не менее взаимосвязь между этими параметрами может быть и более сложной.

В литоральной зоне озер создаются благоприятные условия для разложения органического вещества, что приводит к накоплению аммонийного азота, который в ходе последующего окисления (нитрификации) преобразуется в нитриты и, как следствие, к повышенному содержанию этих ионов.

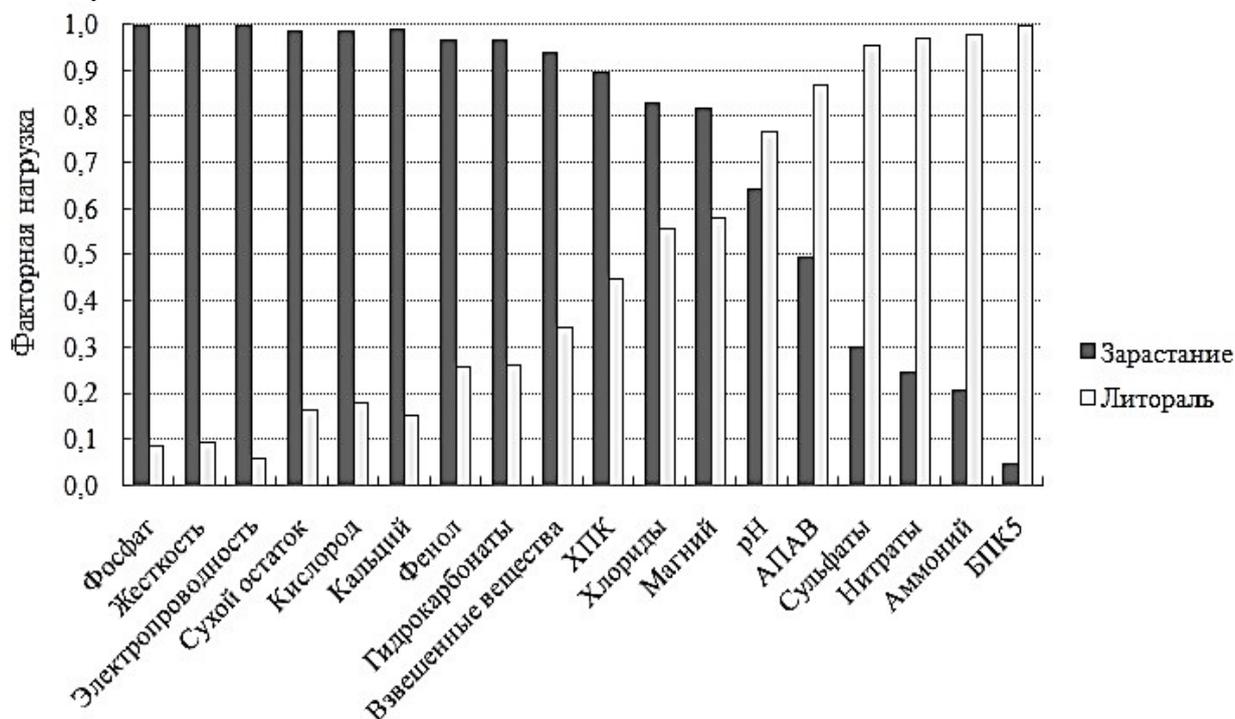


Рис. 3. Диаграмма распределения факторных нагрузок гидрохимических показателей озер / Fig. 2. Diagram showing the distribution of factor loads for hydrochemical indicators of lakes

Результаты корреляционного анализа выявили значимые взаимосвязи между степенью зарастания литоральной зоны и аккумуляцией биогенных элементов. Выявленная положительная корреляция наблюдается между площадью литоральной зоны и содержанием валового азота в донных отложениях ($r = 0,77$; $p < 0,05$), что свидетельствует о важной роли мелководных участков в процессах биогенной аккумуляции (рис. 4).

Пологий рельеф литорали с обширными мелководьями способствует активному зарастанию этой зоны. Разложение и захоронение растительных остатков ведет к накоплению в донных отложениях органического вещества и азота, что, в свою очередь, стимулирует дальнейшее расширение зоны зарастания, формируя таким образом циклический процесс.

В озерах доминируют два вида прибрежно-водной растительности: тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) и рогоз узколистный (*Typha angustifolia*). Они демонстрируют выраженную избирательность в отношении гранулометрического состава донных отложений.

Тростник преимущественно занимает песчаные грунты, тогда как рогоз явно тяготеет к илистым отложениям, что статистически подтверждается высокими значениями корреляции с содержанием фракции 0,005–0,001 мм ($r = 0,82$, $p < 0,05$) и фракции 0,05–0,01 мм ($r = 0,61$, $p < 0,05$), фракции <0,001 мм ($r = 0,61$, $p < 0,05$) и долей фракций < 0,01 мм в донных отложениях ($r = 0,72$, $p < 0,05$). Для тростника характерна агрессивная конкурентная стратегия, направленная на подавление других видов, тогда как рогоз не проявляет подобной активности.

Выявлена положительная корреляция между степенью зарастания озёр и содержанием аммонийного азота в воде ($r = 0,61$; $p < 0,05$) (рис. 5) и отрицательная – между ХПК и площадью акватории водоемов ($r = -0,69$; $p < 0,05$) (рис. 6).

Установлено, что основной тенденцией для большинства исследованных озёр является подкисление донных отложений по мере их зарастания, обусловленное интенсификацией аэробных окислительных процессов (нитрификации и окисления сульфидов) (рис. 7). В тоже время в сильно заросших озерах (5-я категория по классификации Папченкова) отмечается

статистически значимый рост показателя рН донных отложений ($r = 0,71$; $p < 0,05$), что, вероятно, связано с интенсивным накоплением органического вещества и развитием в донных отложениях процессов сульфатредукции и денитрификации, приводящих к подщелачиванию среды.

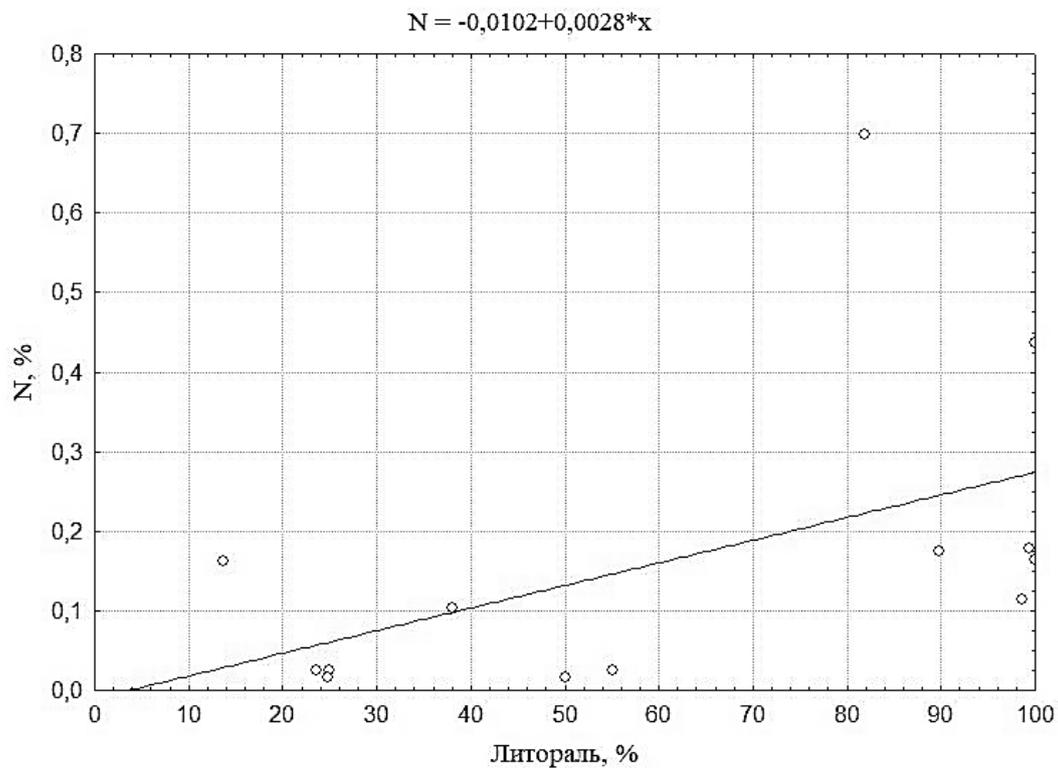


Рис. 4. Накопление валовых форм азота в донных отложениях литорали озера
/ Fig. 4. Accumulation of gross forms of nitrogen in bottom sediments of lake littoral zones

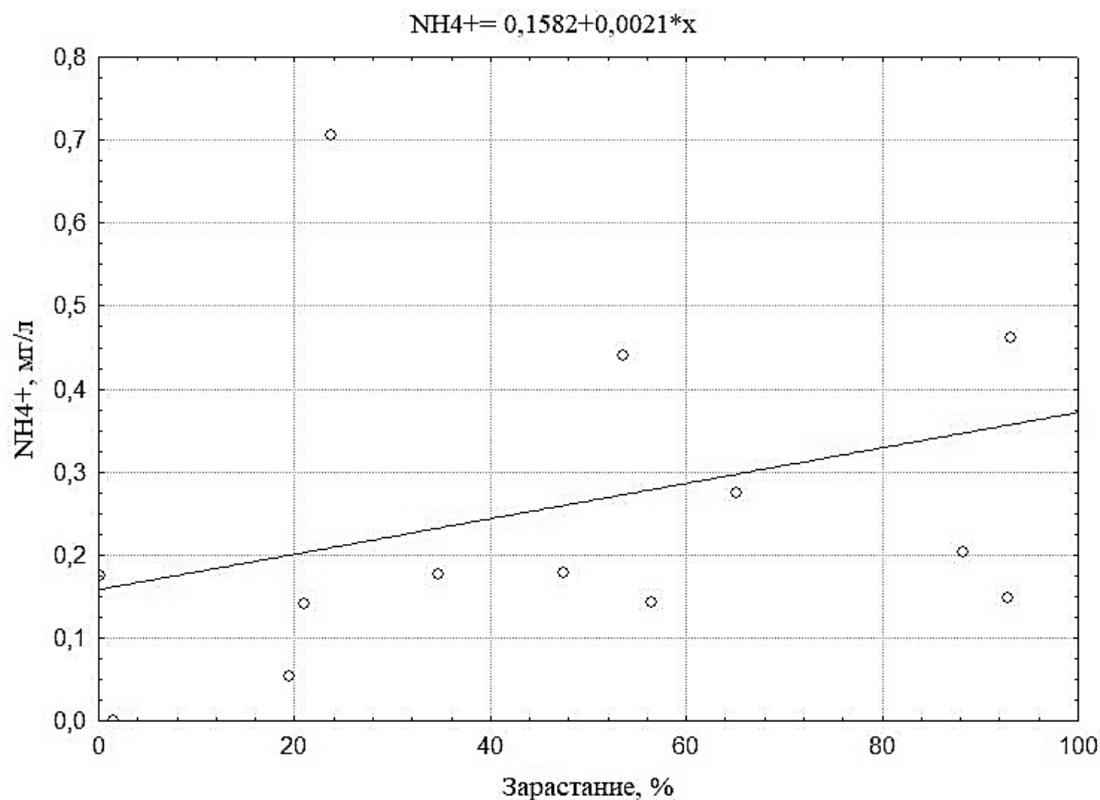


Рис. 5. Накопление аммонийной формы азота в воде в зависимости от степени зарастания озер
/ Fig. 5. Accumulation of ammonium nitrogen in water depending on the degree of lake overgrowth

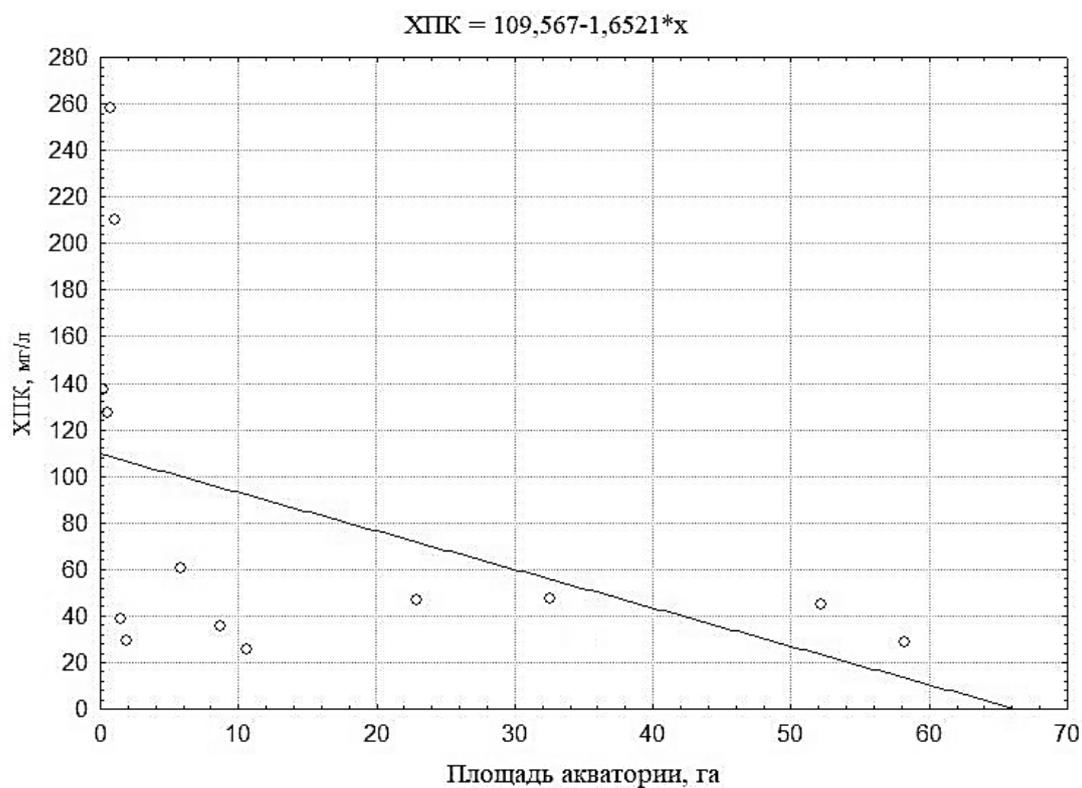


Рис. 6. Химическое потребление кислорода в озерах с различной площадью акватории
/ Fig. 6. Chemical oxygen demand in lakes with different water areas

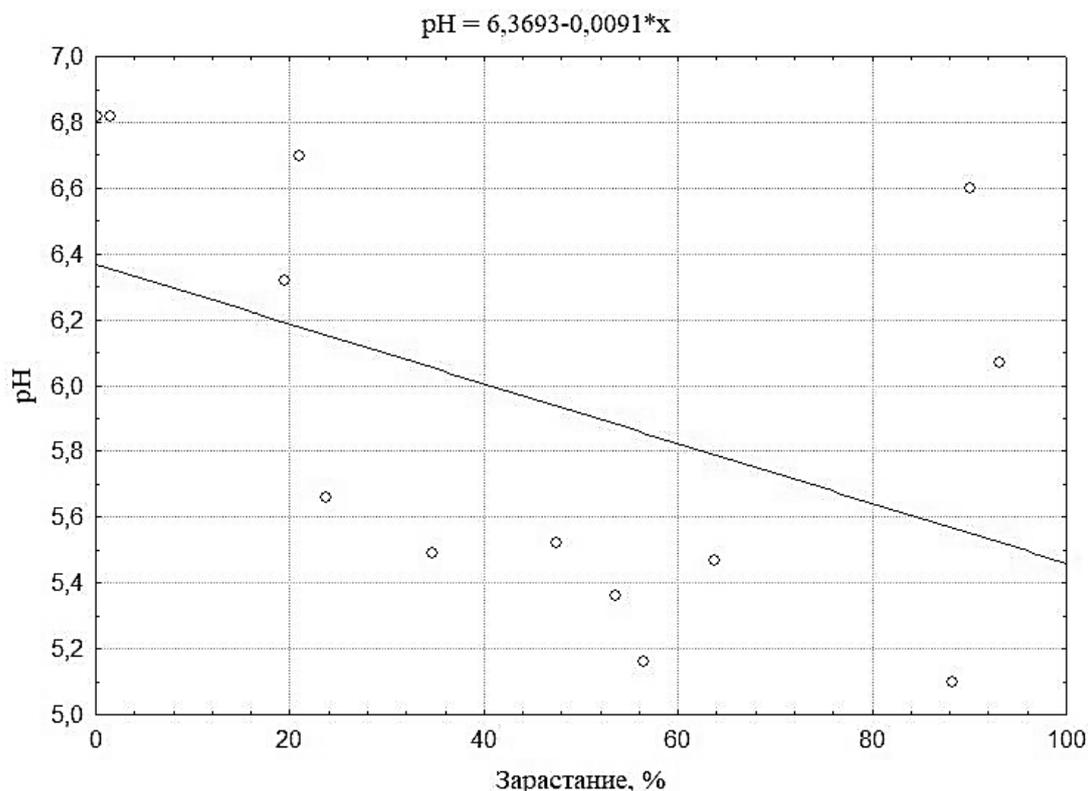


Рис. 7. Увеличение кислотности донных отложений в зависимости от степени зарастания озер
/ Fig. 7. Increase in the acidity of bottom sediments depending on the degree of lake overgrowth

Заключение

Комплексное влияние абиотических факторов на зарастание озер подтверждает необходимость интегративного подхода при оценке состояния водных экосистем. Мелководность, высокая доля литорали и преобладание илистых грунтов создают условия для ускоренной сукцессии и эвтрофикации. Установлены значимые связи между площадью литорали, накоплением органики и азота, а также зависимость распределения растительности от типа грунта. Крупные водоемы менее подвержены накоплению загрязняющих веществ, тогда как мелководные быстрее эвтрофицируются.

Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования трансформации аналогичных водоемов в условиях климатических изменений.

Список источников

1. Авакян А.Б., Широков В.М. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. Минск: Университетское, 1990. 240с.
2. Basu B.K., Kalff J., Pinel-Alloul B. The influence of macrophyte beds on plankton communities and their export from fluvial lakes in the St Lawrence River // *Freshwater Biol.* 2000. Vol. 45, № 4. P. 373–382. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2000.00635.x>
3. Lucena-Moya P., Duggan I.C. Macrophyte architecture affects the abundance and diversity of littoral microfauna // *Aquat. Ecol.* 2011. Vol. 45, № 2. P. 279–287. <https://doi.org/10.1007/s10452-011-9353-0>
4. Protasov A.A. River and lake continua: An attempt at analysis and synthesis // *Inland Water Biology.* 2008. Vol. 1, № 2. P. 105–113.
5. Raspopov I.M., Adamec L., Husák S. Influence of aquatic macrophytes on the littoral zone habitats of the lake Ladoga, NW Russia // *Preslia.* 2002. Vol. 74, № 4. P. 315–321.
6. Распопов И.М. Высшие водные растения как структурообразующий фактор в развитии гидробиоценозов // *Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее.* СПб.: Наука, 2002. С. 242–245.
7. Гельфан А.Н., Гусев Е.М., Калугин А.С., Крыленко И.Н., Мотовилов Ю. Г., Насонова О.Н., Миллионщикова Т.Д., Фролова Н.Л. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях

- климата: обзор публикаций. 2. Влияние изменения климата на водный режим рек России в XXI веке // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 3. С. 270–285. EDN: FBYFJJ. <https://doi.org/10.31857/S0321059622030051>
8. Руднева И.И., Чабан В.В., Шайда В.Г., Корепанов А.Л. Влияние природных и антропогенных факторов на сезонную экогидрологическую динамику восточного бассейна гиперсоленого Сакского озера (Республика Крым) // Водные ресурсы. 2023. Т. 50, № 1. С. 103–212. EDN: EDWXGP. <https://doi.org/10.31857/S0321059623010133>
9. Зиганшин И.И., Иванов Д.В., Хасанов Р.Р. Генезис и морфометрическая характеристика озер охранной зоны Саралинского участка Волжско-Камского заповедника // Рос. журн. прикл. экологии. 2021. № 1. С. 36–43. EDN: UEZCLZ. <https://doi.org/10.24411/2411-7374-2020-10039>
10. Зиганшин И.И., Иванов Д.В., Хасанов Р.Р. Осадконакопление в озерах охранной зоны Саралинского участка Волжско-Камского заповедника // Рос. журн. прикладной экологии. 2021. № 2. С. 47–52. EDN: JOGGVJ. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.2.47.52>
11. Зиганшин И.И., Иванов Д.В., Хасанов Р.Р., Кочетков Д.А. Генезис и морфометрические особенности отчлененных заливов Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища // Рос. журн. прикл. экологии. 2024. № 4. С. 10–17. EDN: ZVAGRK. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2024.4.10.17>
12. Папченков В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ; 2001. 214 с. EDN: SFYDZT
13. Зиганшин И.И., Иванов Д.В., Валиев В.С., Александрова А.Б., Хасанов Р.Р., Шамаев Д.Е., Паймикина Э.Е., Маланин В.В., Марасов А.А. Характеристика донных отложений особо охраняемых озер Волго-Мёшинского междуречья // Рос. журн. прикл. экологии. 2020. № 3. С. 9–16. EDN: NOLLBO
14. Руфова А.А., Ксенофонтова М.И. Гидрохимический состав как один из индикаторов современных условий формирования озер (на примере г. Якутска) // Наука и образование. 2015. № 2. С. 144–150. EDN: VWOMYU
15. Иванов Д.В., Осмелкин Е.В., Зиганшин И.И. Пространственные закономерности накопления углерода, азота и фосфора в донных отложениях озер Чувашской Республики // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2021. № 4. С. 108–118. EDN: RBYCAA. <https://doi.org/10.17076/lim1402>

References

1. Avakyan A.B., Shirokov V.M. Comprehensive use and protection of water resources. Minsk: University Press; 1990. 240 p. (In Russ.).
2. Basu B.K., Kalff J., Pinel-Alloul B. The influence of macrophyte beds on plankton communities and their export from fluvial lakes in the St Lawrence River // Freshwater Biol. 2000. V. 45. № 4. P. 373–382. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2000.00635.x>
3. Lucena-Moya P., Duggan I.C. Macrophyte architecture affects the abundance and diversity of littoral microfauna // Aquat. Ecol. 2011. V. 45. № 2. P. 279–287. <https://doi.org/10.1007/s10452-011-9353-0>
4. Protasov A.A. River and lake continua: An attempt at analysis and synthesis // Inland Water Biology. 2008. V. 1. № 2. P. 105–113.
5. Raspopov I.M., Adamec L., Husák S. Influence of aquatic macrophytes on the littoral zone habitats of the lake Ladoga, NW Russia // Preslia. 2002. V. 74. № 4. P. 315–321.
6. Raspopov I.M. Higher aquatic plants as a structuring factor in the development of hydrobiocenoses // Lake Ladoga: past, present, future. St. Petersburg: Nauka, 2002. Pp. 242–245. (In Russ.).
7. Gelfan A.N., Gusev E.M., Kalugin A.S., Krylenko I.N., Motovilov Yu.G., Nasonova O.N., Millionshchikova T.D., Frolova N.L. River flow in Russia under current and projected climate change: a review of publications. 2. The impact of climate change on the water regime of Russian rivers in the 21st century // Water Resources, 2022, Vol. 49, No. 3, pp. 270–285. EDN: FBYFJJ. <https://doi.org/10.31857/S0321059622030051> (In Russ.).
8. Rudneva I.I., Chaban V.V., Shaydas V.G., Korepanov A.L. The influence of natural and anthropogenic factors on the seasonal ecohydrological dynamics of the eastern basin of the hypersaline Lake Saki (Republic of Crimea) // Water Resources, 2023, vol. 50, no. 1, pp. 103–212. . EDN: EDWXGP. <https://doi.org/10.31857/S0321059623010133> (In Russ.).
9. Ziganshin I.I., Ivanov D.V., Khasanov R.R. Genesis and morphometric characteristics of lakes in the protected area of the Saralinsky section of the Volga-Kama Reserve // Russian Journal of Applied Ecology. 2021 (a). No. 1. Pp. 36–43. EDN: UEZCLZ. <https://doi.org/10.24411/2411-7374-2020-10039> (In Russ.).
10. Ziganshin I.I., Ivanov D.V., Khasanov R.R. Sedimentation in the lakes of the protected area of the Saralinsky section of the Volga-Kama Reserve // Russian Journal of Applied Ecology. 2021. No. 2. Pp. 47–52. EDN: JOGGVJ. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.2.47.52> (In Russ.).
11. Ziganshin I.I., Ivanov D.V., Khasanov R.R., Kochetkov D.A. Genesis and morphometric features of separated bays in the Kazan area of variable backwater of the Kuibyshev Reservoir // Russian Journal of Applied Ecology. 2024. No. 4. Pp. 10–17. EDN: ZVAGRK. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2024.4.10.17> (In Russ.).
12. Papchenkov V.G. Vegetation cover of water bodies and watercourses in the Middle Volga region. Yaroslavl: CMP MUBiNT; 2001. 214 pp. EDN: SFYDZT (In Russ.).

13. Ziganshin I.I., Ivanov D.V., Valiev V.S., Aleksandrova A.B., Khasanov R.R., Shamaev D.E., Paimikina E.E., Malanin V.V., Marasov A.A. Characteristics of bottom sediments in specially protected lakes of the Volga-Myshinsky interfluvium // Russian Journal of Applied Ecology. 2020. No. 3. Pp. 9–16. EDN: NOLLBO (In Russ.).

14. Rufova A.A., Ksenofontova M.I. Hydrochemical composition as one of the indicators of modern lake formation conditions (using the example of Yakutsk) // Science and Education. 2015. No. 2. – pp. 144–150. EDN: VWOMYV (In Russ.).

15. Ivanov D.V., Osmelkin E.V., Ziganshin I.I. Spatial patterns of carbon, nitrogen, and phosphorus accumulation in bottom sediments of lakes in the Chuvash Republic // Proceedings of the Karelian Scientific EDN: RBYCAA. <https://doi.org/10.17076/lim1402> (In Russ.).

Информация об авторах

Ирек Ильгизарович Зиганшин – кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник, лаборатория биогеохимии ИПЭН АН РТ.

Дмитрий Владимирович Иванов – доктор географических наук, лаборатория биогеохимии, заместитель директора по научной работе ИПЭН АН РТ.

Асель Биляловна Александрова – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория биогеохимии, ИПЭН АН РТ.

Всеволод Сергеевич Валиев – старший научный сотрудник, лаборатория биогеохимии ИПЭН АН РТ.

Рустам Равилевич Хасанов – научный сотрудник, лаборатория биогеохимии ИПЭН АН РТ.

Information about the authors

Irek I. Ziganshin – Candidate of Science (Geography), Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, RPEMW.

Dmitry V. Ivanov – Doctor of Science (Geography), Laboratory of Biogeochemistry, Deputy Director for Research, RPEMW.

Asel B. Alexandrova – Candidate of Science (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, RPEMW.

Vsevolod S. Valiev – Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, RPEMW.

Rustam R. Khasanov – Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, RPEMW.

*Статья поступила в редакцию 18.06.2025; одобрена после рецензирования 04.09.2025; принята к публикации 11.11.2025.
The article was submitted 18.06.2025; approved after reviewing 04.09.2025; accepted for publication 11.11.2025.*