

Пространственно-временная динамика растительности озера Плещеево

М.М. Никоноров^{1*}, В.А. Ермоленков²

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Россия

² Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

*mishanikonorov2002@nextmail.ru



Ключевые слова озеро Плещеево, прибрежно-водная растительность, макрофиты, эвтрофикация, дистанционное зондирование, биоразнообразие

Аннотация Статья посвящена исследованию пространственно-временной динамики растительности озера Плещеево, расположенного в Ярославской области. Актуальность работы обусловлена значительными изменениями в экосистеме водоема, вызванными антропогенной нагрузкой и процессами эвтрофикации. Исследования проводились в июле 2024 года и включали геоботаническое описание прибрежно-водной растительности с определением видового состава и проективного покрытия. С помощью дистанционного зондирования и ГИС-технологий была проведена оценка площади зарастания. Результаты показали существенное сокращение общего биоразнообразия и доминирование видов-индикаторов загрязнения. Динамика трансформации растительных сообществ демонстрирует необходимость регулярного экологического мониторинга озера Плещеево, а также разработки рекомендаций по сохранению его природных ресурсов в условиях глобальных изменений климата и нарастания антропогенного воздействия.

1 Введение

Озеро Плещеево представляет собой уникальный природный объект, обладающий значительным экологическим и рекреационным значением. На протяжении последних десятилетий водоем подвергается значительной антропогенной нагрузке, вызванной интенсивным развитием туризма, сельского хозяйства и урбанизации прилегающих территорий. Эти факторы приводят к увеличению стока биогенных элементов, что, в свою очередь, способствует эвтрофикации водоема и изменению структуры его экосистемы [1].

Изменения в экосистеме озера Плещеево непосредственно затрагивают флору и фауну данного водоёма, нарушая естественные биологические процессы и приводя к деградации существующих природных комплексов. В этом контексте изучение динамики зарастания прибрежно-водной растительности становится важным инструментом для оценки экологического состояния озера, позволяющим не только выявить степень антропогенного воздействия, но и разработать меры по сохранению биологического разнообразия водоема¹. Важность анализа зарастания растительности обусловлена тем, что именно растительные сообщества служат маркерами изменений в экосистеме, предоставляя информацию о качестве воды, уровне загрязнения и общем состоянии природного комплекса.

Цель нашего исследования заключалась в оценке экологического состояния озера Плещеево на основе анализа пространственно-временной динамики зарастания прибрежно-водной растительности. Мы стремились выявить не только количественные изменения в распределении видов, но и характер трансформаций, происходящих в структуре растительных сообществ, что позволит обоснованно рекомендовать цели и стратегии управления использованием природных ресурсов и охраны окружающей среды [1].

2 Материалы и методы

Исследования проводились в июле 2024 года на территории озера Плещеево (г. Переславль-Залесский Ярославской обл.). Объектом изучения выступала прибрежно-водная растительность литоральной и прилегающей к ней зоны озера.

В ходе настоящего исследования была проведена комплексная методика изучения прибрежно-водной растительности озера Плещеево. Геоботанические описания выполнялись маршрутным методом с использованием электромоторной лодки, что обеспечило детальное обследование литорали и прибрежных акваторий (рис. 1).

Определение видового состава проводилось при помощи полевых определителей с обязательной фиксацией координат и биотопических характеристик пунктов наблюдений посредством GPS-устройств. Для каждого выделенного ценоза оценивались параметры проективного покрытия, высоты над уровнем воды и структурной организации растительных сообществ, что позволило получить репрезентативные данные о зональности и гетерогенности фитоценозов [2, 3].

С целью пространственно-количественной верификации площадей зарастания использовались материалы дистанционного зондирования (ДДЗ), в том числе космические снимки высокого пространственного разрешения (Google Satellite) за 2024 г., а также геопривязанная и оцифрованная карта растительности 1970-х гг., созданная на основе архивных данных (рис. 2, 3).

¹ Национальный парк «Плещеево озеро» // plesheevo-lake.ru (дата обращения: 17.06.2025).

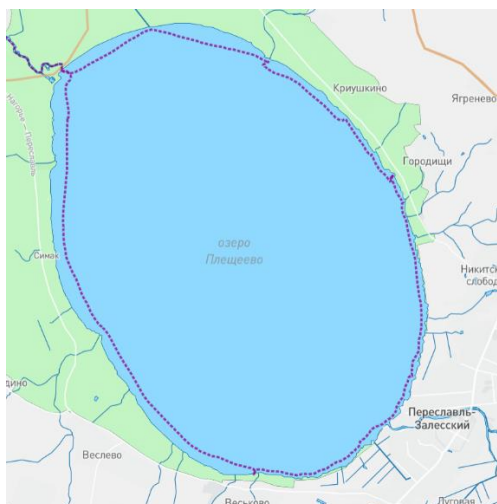


Рис. 1. Маршрут исследования прибрежно-водной растительности

Fig. 1. The route of coastal-aquatic vegetation research

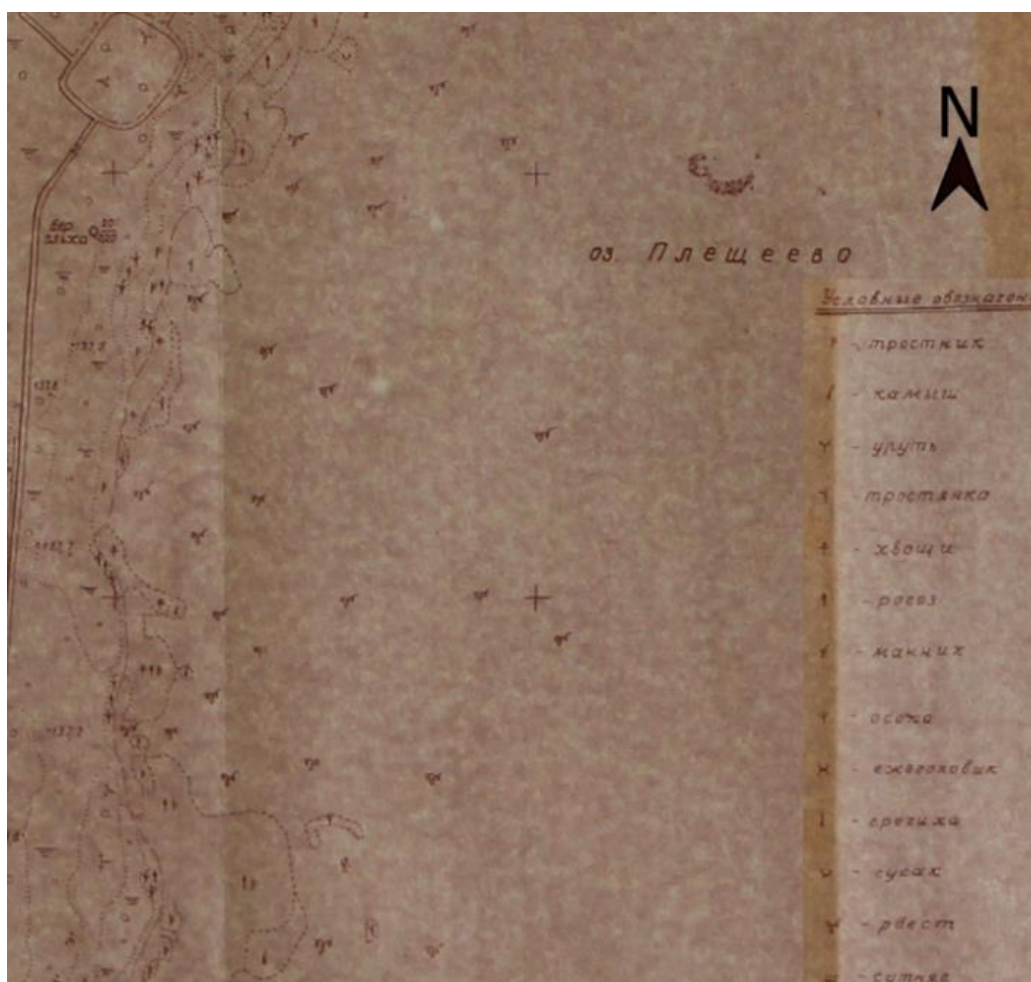


Рис. 3. Фрагмент архивной карты растительности оз. Плещеево 1970-х гг.

Fig. 3. Fragment of the archival vegetation map of the lake. Pleshcheyevo in the 1970s.

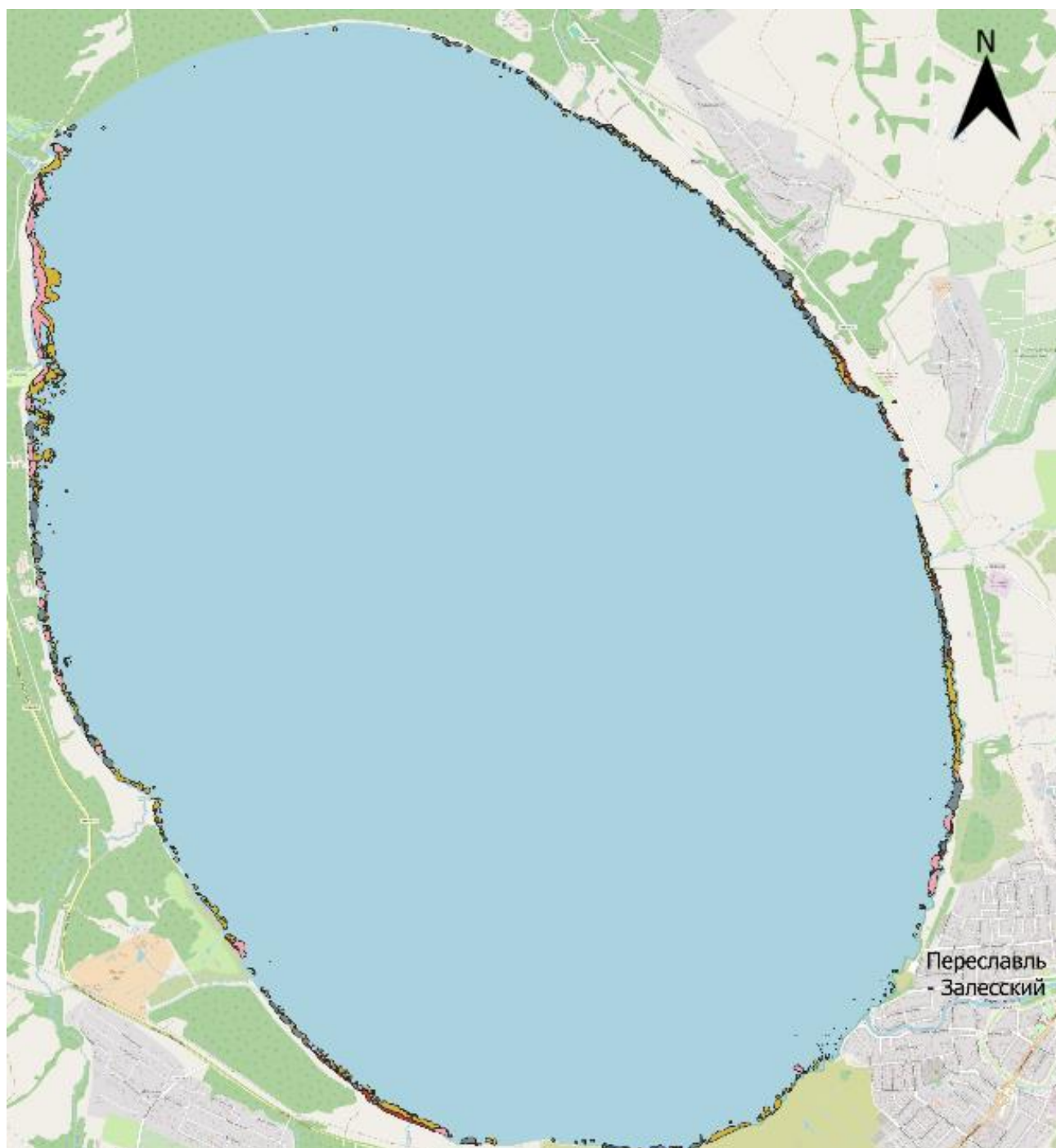


Рис. 2. Карта растительности оз. Плещеево, построенная по результатам проведенного исследования, 2024 г.

Fig. 2. Vegetation map of the lake. Pleshcheyevo, built according to the research, 2024

На рисунке 3 представлены фрагменты карты береговой линии озера, построенной по результатам проведенного в 2024 году исследования: а) северо-западный берег озера (Урёв); b) северный берег озера (экотропа «в гостях у серой цапли»); c) восточный берег озера (Александрова гора); d) юго-западный берег озера (музей-усадьба «Ботик Петра I»); f) юго-восточный берег озера (г. Переславль-Залесский).

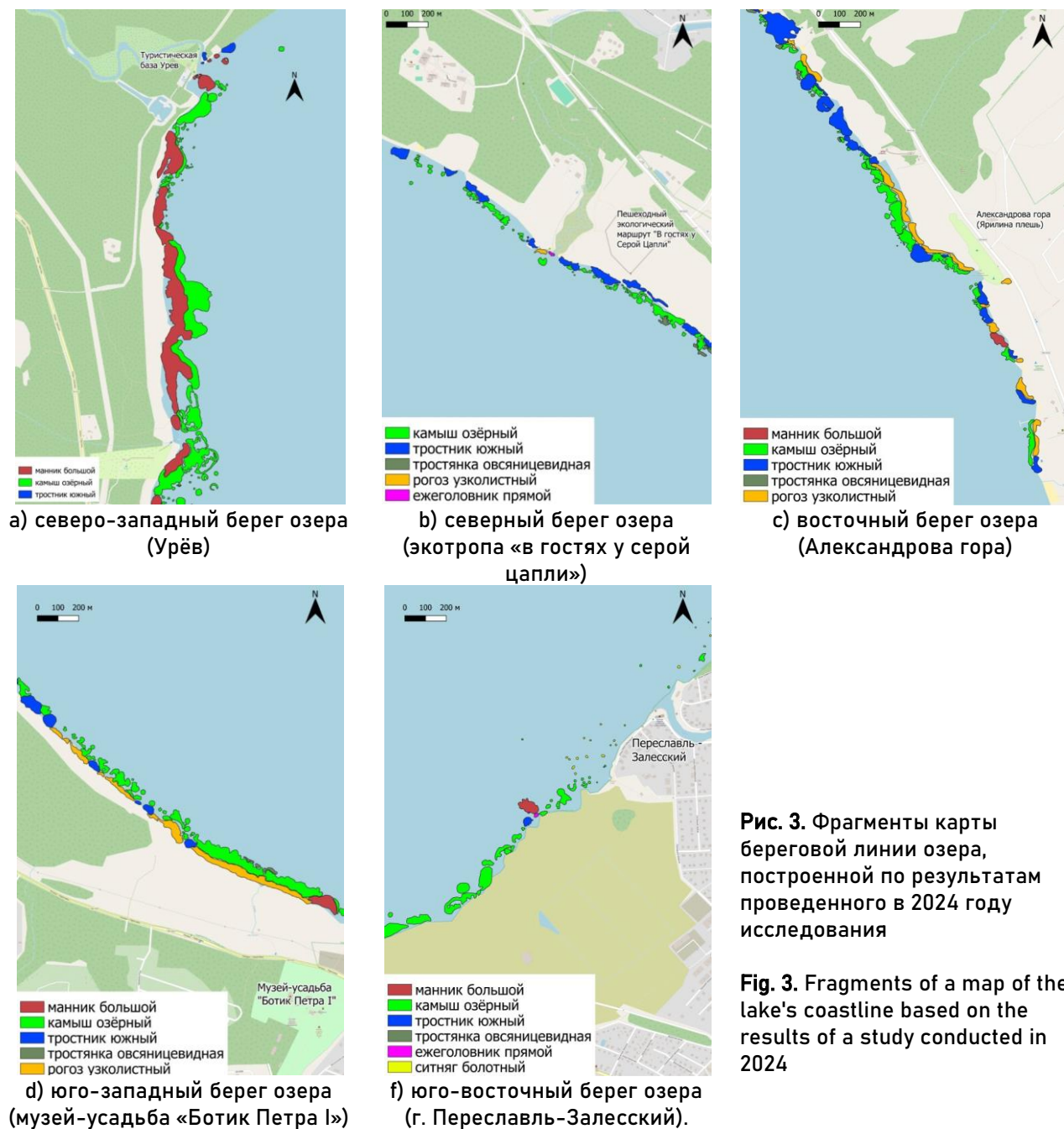


Рис. 3. Фрагменты карты береговой линии озера, построенной по результатам проведенного в 2024 году исследования

Fig. 3. Fragments of a map of the lake's coastline based on the results of a study conducted in 2024

Материалы были интегрированы в ГИС-среду (QGIS), где на этапах векторизации береговая и водная растительность были выделены в виде отдельных фитоценозов согласно типологическим критериям (структура, доминанты, морфология и пространственное распределение). Геопривязка архивных данных обеспечила возможность корректной сопоставимости пространственных структур разных лет [4].

Площади каждого из выделенных фитоценозов были рассчитаны инструментальными средствами ГИС – в частности, с применением функции `$area` в калькуляторе полей QGIS, что позволило обеспечить автоматизированный и воспроизводимый расчёт площадей выделенных объектов с высокой точностью.



а) Манник большой



б) Камыш озёрный



с) Тростник южный



д) Тростянка
овсяницеvidная



е) Ежеголовник прямой



ф) Ситняг болотный



г) Рогоз узколистный

Рис. 4. Основные макрофиты, произрастающие вдоль береговой линии озера Плещеево (см. рис. 3)

Fig. 4. The main macrophytes growing along the shoreline of Lake Pleshcheyevo (see the fig.3)

Картографический и пространственный анализ был дополнен данными геоботанического описания, что позволило не только сопоставить фактические контуры распространения растительных сообществ, но и уточнить границы на разных этапах сукцессии и изменений водного режима.

3 Результаты и обсуждение

Ретроспективный анализ динамики зарастания озера Плещеево свидетельствует о существенных трансформациях как в общей площади макрофитных сообществ, так и в их видовом составе. Сравнение данных за 1970 и 2024 гг. (Таблица 1) выявило уменьшение площади зарастания более чем на треть, что сопровождается выраженной сменой структуры доминирования водной растительности [2].

В абсолютных показателях совокупная площадь зарастания снизилась с 1,28 млн м² (2,5% площади озера) до 837,5 тыс. м² (1,66%), что может быть обусловлено комплексом природных и антропогенных факторов – в том числе изменением гидрологического режима, уровнем колебаний воды, а также возрастанием антропогенной нагрузки на прибрежные экосистемы.

Таблица 1. Площади формаций доминантных видов растений прибрежно-водных сообществ, в 1970-х гг. и 2024 г, м²

Table 1. Areas of formations of dominant plant species of coastal aquatic communities in the 1970s and 2024, m²

Вид	1970-е гг.		2024 г.		Δ, м ²
	Площадь, м2	%	Площадь, м2	%	
Ежеголовник прямой	8027	0,016	500	0,06	-7531
Ситняг болотный	2710	0,005	1100	0,13	-1131
Манник большой	342536	0,67	170900	20,41	-171615
Рогоз узколистный	282669	0,55	52800	6,30	-229905
Тростник южный	184918	0,36	203600	24,31	18649
Тростянка овсяницевидная	371373	0,73	16300	1,95	-355077
Камыш озёрный	84975	0,17	392300	46,84	307321
ВСЕГО	1277208	2,5	837500	1,66	-439708
ЛИТОРАЛЬ	11651381	22,86	11566446	22,87	-84935
ОЗЕРО	50960617	100,00	50566400	100,00	-394217

Ключевой особенностью рассматриваемого периода является резкая трансформация структуры доминирования макрофитов. Если в 1970-х гг. существенную долю зарастания обеспечивали многие виды, то в 2024 г. наблюдается явная тенденция к монодоминации камышом озёрным (*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla) и тростником южным (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), доля которых в современной литорали достигла 46,8% и 24,3% соответственно. Причём площади этих видов демонстрируют стремительный рост (для камыша озёрного площадь увеличилась более чем в 4,6 раза, а для тростника южного – на 10%) (рис. 4) [5].

Одновременно существенно сократились площади зарастания такими ранее типичными видами, как тростянка овсяницевидная, рогоз узколистный, манник большой, что указывает на сокращение экологических ниш и вытеснение их более конкурентоспособными и толерантными видами.

Обращает на себя внимание сокращение общего биоразнообразия и резкая смена эколого-ценотических групп – от сходного по значимости участия различных макрофитов к выраженной монодоминации адаптированных видов. Обусловлено это, вероятно, сочетанием факторов стабильного или пониженного гидрологического режима, осевым развитием сукцессионных процессов, а также влиянием хозяйственной деятельности в водосборной и прибрежной зонах.

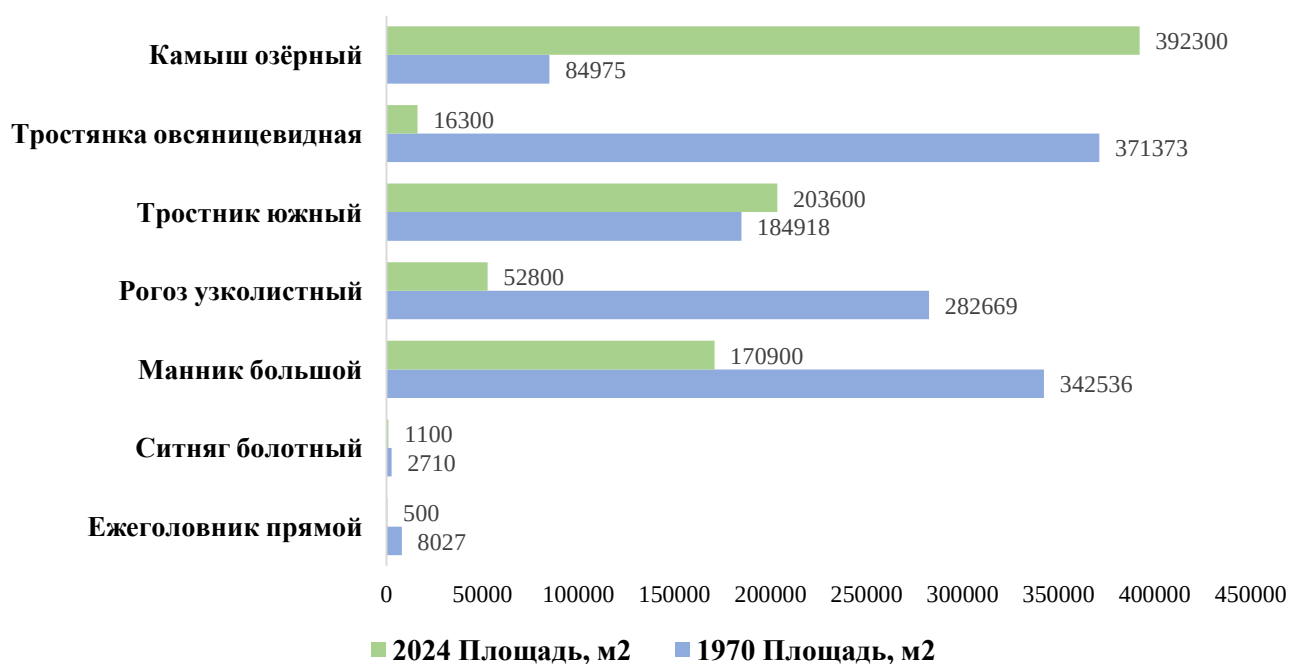


Рис. 4. Сравнительная характеристика площадей формаций доминантных видов растений прибрежно-водных сообществ, в 1970-х гг. и 2024 г, м²

Fig. 4. Comparative characteristics of the areas of formations of dominant plant species of coastal aquatic communities, in the 1970s and 2024, m²

Статистический анализ показал, что индекс видового разнообразия Шеннона снизился с 1,56 в 1970-х гг. до 1,07 в 2024 г., что подтверждает огрубение структуры и снижение равномерности видового распределения.

Динамика доминирования видов подвержена значительным изменениям. Индекс Бергера-Паркера, показывающий доминирование наиболее распространённых видов, возрос с 0,27 в 1970-х гг. до 0,47 в 2024 году. Это подчеркивает явное преобладание камыша озёрного в его ареале. Корреляционный анализ между площадями сокращения и степенью антропогенной нагрузки, учитывая количество рекреационных объектов, выявил достоверную положительную связь. Кроме того, агломеративный кластерный анализ показал формирование двух устойчивых типов сообществ: один тип представлен сообществами с преобладанием камыша озёрного и тростника южного, второй – реликтовыми фрагментами ослабленных таксонов.

В результате, современное сообщество прибрежной и литоральной зоны характеризуется как находящееся на стадии тенденциозного упрощения структуры. Подобное перераспределение свидетельствует о высокой степени адаптации камыша озёрного и тростника южного к изменяющимся условиям и позволяет рассматривать данные виды как биоаккумуляторы сукцессии зарастания, а также маркерные виды динамики трансформации водных и прибрежных экосистем [2, 6].

Полученные результаты указывают на необходимость дальнейшего мониторинга литоральных зон озера Плещеево, а также реализации направленных мероприятий, способствующих поддержанию биоразнообразия и предотвращению деградации природных комплексов, что особенно актуально в условиях глобальных климатических изменений и продолжающейся антропогенной нагрузки.

4 Выводы

За последние пять десятилетий пространственно-временная структура макрофитных сообществ озера Плещеево претерпела значительные изменения, которые отражают как естественные процессы старения экосистемы, так и влияние антропогенных факторов. Несмотря на сохранение базовой структуры распределения водной растительности вдоль уреза воды, отмечено существенное сокращение площади покрытия и существенная потеря биоразнообразия.

В 1970-х гг. суммарная площадь зарослей водной растительности составляла 1,28 млн м², однако к 2024 году этот показатель сократился до 837,5 тыс. м². Такой спад свидетельствует о нарушении экологического баланса, связанном, прежде всего, с возросшей антропогенной нагрузкой и изменением гидрологического режима озера. Одновременно с этим наблюдается смещение в структуре сообществ: на первый план выходят адаптивные, устойчивые к стрессу виды, способные формировать монодоминантные сообщества. К числу таких видов относятся тростник южный и камыш озерный, которые вытесняют менее устойчивые элементы флоры.

Анализ изменений видового состава свидетельствует о том, что произошло упрощение структуры сообществ – индекс Шеннона снизился с 1,56 до 1,07. Это отражает тенденцию к одновидовому господству и сужению экологической ниши, что сопровождается снижением устойчивости экосистемы к внешним воздействиям. Фоновый уровень разнообразия снижается, и экосистема постепенно приобретает черты монокультуры с набором немногих устойчивых таксонов.

Тем не менее, пространственная стабильность основных полос прибрежно-водной растительности сохраняется благодаря физико-географическим и гидрологическим особенностям берега. Это смягчает последствия утраты частей биоразнообразия, обеспечивая относительную устойчивость базовых экосистемных процессов, таких как формирование микроклимата, фильтрация воды и поддержание среды обитания для гидробионтов.

Методология исследования, сочетающая многолетние полевые обследования, анализ снимков дистанционного зондирования и работу с ГИС-технологиями, позволила детально отследить тенденции деградации и определить базовые векторы изменений. Эти данные служат фундаментом для последующего стратегического мониторинга и разработки природоохранных мероприятий, адаптированных к современному состоянию озера Плещеево.

Таким образом, за последние 50 лет экосистема озера прошла путь от многовидовых и биологически насыщенных сообществ к устойчивому, но менее разнообразному состоянию. В новых условиях становится особенно важным продолжать регулярный мониторинг, чтобы своевременно реагировать на дальнейшие вызовы и риски, связанные с продолжающимся антропогенным воздействием и потенциально возрастающим влиянием климатических изменений [7].

Благодарности

Исследование выполнено в рамках студенческой экспедиции, которая состоялась в июле 2024 г. состоялась при поддержке программы «Открываем Россию заново», организованной Высшей школой экономики при поддержке президентской платформы «Россия — страна возможностей», программы Росмолодёжи «Больше, чем путешествие» и Русского географического общества (РГО).

Авторы выражают искреннюю благодарность Национальному парку «Плещеево озеро», Институту биологии внутренних вод РАН, Переславль-Залесскому историко-архитектурному и художественному музею-заповеднику за содействие и всестороннюю помощь в организации и проведении исследований. Особая признательность наставникам экспедиции – Галине Дмитриевне Кузнецовой, доценту кафедры космического мониторинга и экологии, руководителю Студенческого научно-образовательного центра МИИГАиК, и Виталию Викторовичу Браткову, профессору, заведующему кафедрой географии МИИГАиК; а также кураторам экспедиции: Марине Игоревне Андреевой (Национальный парк «Плещеево озеро») и Александру Игоревичу Цветкову (Институт биологии внутренних вод РАН).

Библиография

1. Филоненко И. В., Комарова А. С. Многолетняя динамика площади зарастания прибрежно-водной растительностью оз. Воже // Принципы экологии. 2015. № 4. С. 63–72. DOI: 10.15393/j1.art.2015.4622.
2. Чемерис Е. В., Кутузов А. В., Ефимов Д. Ю., Гришуткин О. Г. Изменение растительного покрова оз. Плещеево (Ярославская обл.) с 1899 по 2017 гг // Труды ИБВВ. РАН. 2020. №90 (93).
3. Папченков В. Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 213 с.
4. Преснухин В. И. Комплексные исследования инженерно-геологических, гидрологических условий и экологической обстановки Плещеева озера и окружающих территорий // Ярославский пед. вестн. 2010. Вып. 1. Сер. Физико-математические и естественные науки. С. 108–111.

5. Михайлова К.Б., Михалап С.Г. Исследование динамики зарастания литорали Псковского озера с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) // Труды КарНЦ РАН. 2021. № 9.

6. Розумная Л. А. Антропогенная эвтрофикация пресноводных озер средней полосы России // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 2.

7. Базарова Б.Б., Ку克林 А.П. Динамика биомассы и площади зарастания водной растительности озера Кенон (Забайкальский край) в условиях снижения уровня воды // Принципы экологии. 2023. №2 (48).

Spatial and Temporal Dynamics of the Vegetation of Lake Pleshcheyevo

Michael M. Nikonorov¹, Valeriy A. Ermolenkov²,

¹Samara National Research University, Samara, Russia

²Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

*mishanikonorov2002@nextmail.ru

Keywords lake Pleshcheyevo, coastal and aquatic vegetation, macrophytes, eutrophication, remote sensing, biodiversity

Abstract The article is devoted to the study of the spatial and temporal dynamics of the vegetation of Lake Pleshcheyevo, located in the Yaroslavl region. The relevance of the work is due to significant changes in the ecosystem of the reservoir caused by anthropogenic pressure and eutrophication processes. The research was conducted in July-August 2024 and included a geobotanical description of the coastal-water vegetation with the determination of the species composition and projective coverage. Using remote sensing and GIS technologies, the area of overgrowth was assessed. The results showed a significant reduction in overall biodiversity and the dominance of pollution indicator species. The dynamics of the transformation of plant communities demonstrate the need for regular environmental monitoring of Lake Pleshcheyevo, as well as the development of recommendations for preserving its natural resources in the context of global climate change and increasing anthropogenic impact.

Acknowledgements

This research was carried out as part of a student expedition that took place in July 2024. It was supported by the "Rediscovering Russia" program organized by the Higher School of Economics with the support of the President platform "Russia is a Land of Opportunity", the Rosmolodezh program "More than a Journey" and the Russian Geographical Society (RGS).

The authors express their sincere gratitude to the Pleshcheyevo Lake National Park, the Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences, and the Pereslavl-Zalesky Historical, Architectural, and Art Museum-Reserve for their assistance and comprehensive assistance in organizing and conducting research. Special thanks to the mentors of the expedition – Galina D. Kuznetsova, Associate Professor of the Department of Space Monitoring and Ecology, Head of the MIIGAiK Student Scientific and Educational Center, and Vitaly V. Bratkov, Professor, Head of the Department of Geography of MIIGAiK; as well as the curators of the expedition: Marina I. Andreeva (Pleshcheyevo Lake National Park) and Alexander I. Tsvetkov (Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences).