

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2026-1-87-105>
УДК 639.2:504.4:627.8:338.48

Поступила в редакцию 01.04.2026
Received 01.04.2026

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РУСЛОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЗЕЛЬВЯНСКОЕ С ЦЕЛЬЮ ЕГО ОЗДОРОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ (ГРОДНЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ, БЕЛАРУСЬ)

Л. Н. Гертман, Б. В. Адамович, Ю. С. Давидович,
И. А. Рудаковский, О. А. Макаревич, Ю. К. Верес

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования гидрологического режима, гидрохимических и гидробиологических показателей водохранилища Зельвянское в течение 2024 г. для обеспечения оздоровления и повышения рекреационной привлекательности водоема, согласно разработанному в 2023 г. биологическому обоснованию. Оценено изменение гидрологического режима водохранилища в зависимости от сезонного регулирования уровня режима. Проанализирован количественный и качественный состав фитопланктона водохранилища с выявлением потенциально токсичных форм цианобактерий. Проведен анализ собранных данных, разработан комплекс мероприятий по восстановлению и оздоровлению среды обитания рыб, стабилизации ресурсов ихтиофауны и повышения рекреационной привлекательности водоема. Предлагаемые авторами биомелиоративные мероприятия с учетом снижения степени зарастания водохранилища до пределов необходимой целесообразности и контроля дальнейшего развития в нем макрофитной растительности представляют собой повышение рыбопродуктивности водоема и расширение видового состава рыб, привлекательных для потенциальных туристов, с одновременным уменьшением численности менее привлекательных. С учетом характеристики среды обитания рыб и кормовой емкости водохранилища, а также рекреационной направленности зарыбления, в качестве объектов для вселения рекомендуются такие виды рыб, как сом европейский (с целью формирования самовоспроизводящегося стада) и щука (для увеличения численности хищников).

Ключевые слова: водохранилище Зельвянское; данные дистанционного зондирования Земли; гидробиологический мониторинг; туристско-рекреационная привлекательность.

Для цитирования. Гертман Л. Н., Адамович Б. В., Давидович Ю. С., Рудаковский И. А., Макаревич О. А., Верес Ю. К. Оценка состояния руслового водохранилища Зельвянское с целью его оздоровления и повышения рекреационной привлекательности (Гродненская область, Беларусь) // Природопользование. – 2026. – № 1. – С. 87–105.

ASSESSMENT OF A ZELVYANSKOYE RIVERINE RESERVOIR FOR ITS RESTORATION AND ENHANCEMENT OF RECREATIONAL VALUE (GRODNO REGION, BELARUS)

L. N. Hertman, B. V. Adamovich, Yu. S. Davidovich,
I. A. Rudakovsky, O. A. Makarevich, Yu. K. Veres

Belarussian State University, Minsk, Belarus

Abstract. The article presents the results of a study of the hydrological regime, as well as hydrochemical and hydrobiological parameters of the Zelvyanskoye Reservoir during 2024, in order to support fish stocking activities in accordance with the biological justification developed in 2023. Changes in the hydrological regime were evaluated in relation to seasonal water level regulation. The quantitative and qualitative composition of phytoplankton was analyzed, including the identification of potentially toxic cyanobacterial forms. Based on the collected data, a set of measures was developed to improve fish habitats, stabilize fish resources, and enhance the recreational value of the reservoir. The bioreclamation measures proposed by the authors, taking into account the reduction of the degree of overgrowth of the reservoir to a level that is necessary and reasonable, as well as control over the further development of macrophyte vegetation in it, are aimed at increasing the fish productivity of the water body and expanding the species composition of fish attractive to potential tourists, while simultaneously reducing the abundance of less attractive species. Given the characteristics of the fish habitat and the trophic capacity of the reservoir, as well as the recreational orientation of stocking, the following fish species are recommended for introduction: European catfish (in order to form a self-reproducing stock) and pike (to increase the number of predators).

Keywords: Zelyanskoye reservoir; Earth remote sensing data; hydrobiological monitoring; tourist and recreational attractiveness.

For citation: Hertman L. N., Adamovich B. V., Davidovich Yu. S., Rudakovsky I. A., Makarevich O. A., Veres Yu. K. Assessment of a Zelyanskoye riverine reservoir for its restoration and enhancement of recreational value (Grodno region, Belarus). *Nature Management*, 2026, no. 1, pp. 87–105.

Введение. Взаимодействуя с окружающей природной средой и находясь под постоянным влиянием хозяйственной деятельности, водохранилища постепенно трансформируются и в своем длительном развитии стремятся к выработке такой равновесной природной системы, которая характерна для естественных аквальных ландшафтов данной местности. Этот процесс является длительным во времени и сопровождается изменением природных, а в связи с этим и эксплуатационных характеристик водохранилищ.

Условия развития водохранилищ определяются характером волнения, особенностями водообмена в различных частях акватории, разной степенью воздействия стоковых и циркуляционных течений, формированием специфических гидродинамических зон [1].

Цель работы – дать оценку гидрологическому режиму, гидрохимическим, гидробиологическим, ихтиологическим показателям водохранилища Зельвянское в течение 2024 г. для разработки комплекса мероприятий по оздоровлению среды обитания рыб и повышения рекреационной привлекательности водоема.

Объект и методы исследования. Объектом проведенного исследования является Зельвянское водохранилище. Оно относится к группе малых и небольших неглубоких водохранилищ, отличающихся средними глубинами (от 2 до 3 м), соотношением мелководной и глубоководной части ложа (от 1 до 2 м) и низким показателем удельных затоплений (от 0,35 до 0,50 м). Северо-восточная часть водоема укреплена дамбой длиной 2,67 км, примыкающей к земляной плотине на севере. Площадь поверхности воды водохранилища Зельвянское по проекту составляет 10,37 км². Актуальная длина водохранилища – 9,0 км, ширина: максимальная – 2,0 км, средняя – 1,15 км; глубина максимальная – 7,5 м, средняя – 2,19 м. Объем: полный – 21,65 млн м³, полезный – 12,84 млн м³. Площадь водосбора водохранилища составляет 1273,02 км². Густота речной сети – 29,5 км/км². В водосборном бассейне водохранилища Зельвянское протекает около 400 водотоков и расположено 36 водоемов. Водосборная территория водохранилища расположена в шести административных районах: Волковыском, Зельвенском, Ивацевичском, Пружанском, Свислочском, Слонимском. Более подробные характеристики водохранилища приведены в табл. 1.

Для анализа динамики изменения водной поверхности водохранилища Зельвянское использовались космические снимки спутниковой системы Landsat разных серий: Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI/TIRS. Пространственное разрешение снимков – 30 м.

Радиометрическая и атмосферная коррекция мультиспектральных снимков производилась в программном продукте ENVI 5.6. с помощью инструмента Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) [2]. Выделение участков открытой водной поверхности производилось в автоматизированном режиме методом максимального правдоподобия [3].

Для определения химического состава и токсикологических характеристик в рамках исследований были использованы данные по отбору проб донных отложений на участках водохранилища Зельвянское, реки Зельвянка, полученные в результате исследований водоема в 2023 г. учеными РУП «ЦНИИКИВР» (руководитель – О. М. Таврыкина). Определяемые в отложениях параметры входят в перечень основных показателей для оценки экологического состояния почв населенных пунктов. Отбор проб воды и донных отложений производился в восьми точках в пределах водохранилища, мощность донных отложений составляла от 8 до 20 см. Анализ проб производился по 25 показателям: БПК₅, содержание нефтепродуктов, взвешенных веществ, минерализация воды, СПАВ (анионоактивные), медь, цинк, свинец, водородный показатель (рН), ХПК Сг, кальций, магний, марганец, фосфор общий, железо общее, калий, натрий, аммоний-ион, нитрат-ион, нитрит-ион, сульфат-ион, хлорид-ион, фосфат-ион, фенолы и азот (по Кьельдалю).

Анализ качества воды в водохранилище проводился в соответствии с работой [4].

Оценка состояния высшей водной растительности водохранилища Зельвянское осуществлялась методом маршрутной съемки в период с 4 по 5 июня 2024 г. Также в указанный период и 8 августа 2024 г. были проведены полевые исследования для отбора интегральных проб (по 0,5 доли с двух горизонтов – верхнего и нижнего) в трех точках водоема (рис. 1): в глубокой северной части, средней части и мелкой южной части. В интегральной пробе было определено содержание общего азота, общего фосфора, взвешенного вещества (сестона), хлорофилла *a* и фитопланктона. В пяти точках водоема (рис. 1) в столбе воды от поверхности через 1 м были измерены содержание кислорода, процент насыщения им воды и температуры воды. В местах массового развития (цветения) водорослей были отобраны пробы и изучено наличие гена синтеза микроцистина – основного токсина цианобактерий. Расположение всех точек было зафиксировано с помощью GPS (см. рис. 1).

Таблица 1. Проектные и актуальные морфометрические характеристики водохранилища Зельвянское и его водосборной территории**Table 1. Design and current morphometric characteristics of the Zelvyanskoye Reservoir and its catchment area**

Показатель	Характеристика	
	проектная	актуальная
Площадь водохранилища, км ²	11,9	10,37
Длина водохранилища, км	9	9
Ширина водохранилища, км:		
средняя	1,32	1,15
максимальная	2	2
Глубина, м:		
средняя	2,62	2,19
максимальная	7,5	7,5
Объем, млн км ³ :		
полный	28	21,65
полезный	17,6	12,84
Длина водораздельной линии, км	156	209,3
Площадь водосбора, км ²	1215,00	1273,02
Длина водосбора, км	54	47,3
Ширина водосбора, км:		
средняя	23	26,9
максимальная	35	39,8
Коэффициент, отн. ед.:		
асимметрии бассейна	0,57	0,49
развития водораздельной линии	1,27	1,654
Густота речной сети, км/км ²	29,5	29,5
Распаханность, %	40	50
Залесенность, %	16	34
Заболоченность, %	15	5

Пробы воды отбирали с помощью двухлитрового батометра Рутнера на нескольких горизонтах. Температуру воды и содержание растворенного кислорода измеряли с помощью оптического оксиметра OrionStar (Thermo Scientific, USA). Насыщение воды кислородом рассчитывали исходя из его концентрации и температуры воды. Прозрачность воды определяли по стандартному белому диску Секки. Содержание взвешенных веществ определяли гравиметрическим методом на мембранных фильтрах с диаметром пор 1 мкм. На этих же фильтрах оценивали содержание хлорофилла *a* без коррекции на присутствие феопигментов спектрофотометрическим методом с экстракцией пигментов в 90%-м ацетоне [5]. Измерение оптической плотности экстракта пигментов проводили на спектрофотометре Cary 50 с использованием приложения Scan, в диапазоне 350–800 нм с шагом 1 нм. Общее содержание азота (TN) определяли с помощью элементного анализатора XPERT-TOC/TN_b (Trace Elemental Instruments, Netherlands), фосфора (TP) – после минерализации нефилтрованной воды с персульфатом калия в кислой среде на водяной бане [6–8].

Фиксацию проб фитопланктона (объемом 0,5 л) проводили раствором Люголя в модификации Т. М. Михеевой [9]. Концентрировали пробы осадочным методом. Плотность (N) и биомассу (B) фитопланктона определяли стандартным счетно-объемным методом. Учет водорослей проводили в камере Фукса – Розенталя. Индивидуальную массу клеток определяли методом геометрического подобия. Формы геометрических тел, которыми аппроксимировали клетки водорослей, и формулы для расчета их объемов приведены в работах [10, 11].

Пробы для молекулярно-биологического анализа отбирали сетью Апштейна и фиксировали 80%-м этанолом. Для выявления цианобактерий, способных к продукции микроцистинов, применяли праймеры, детектирующие последовательность гена, кодирующего домен аминотрансферазы (AMT), входящий в большой кластер микроцистин-синтетазы (mcy) [12]. В качестве контроля использовали ДНК штамма токсичной цианобактерии *Microcystis aeruginosa* CALU 972. Выделение ДНК и амплификацию фрагментов гена AMT-домена проводили по протоколу [13, 14].



Рис. 1. Схема отбора проб воды в водохранилище Зельвянское 4–5 июня и 8 августа 2024 г.

Примечание: желтыми метками обозначены точки отбора проб по всем показателям, красными метками – изучение кислородного и температурного режимов

Fig. 1. Water sampling scheme in the Zelvyanskoye Reservoir on June 4–5 and August 8, 2024.

Note: yellow marks indicate sampling points for all indicators, red marks – the study of oxygen and temperature regimes

Трофический статус оценивали на основании расчета индекса Карлсона [15]. Расчет индекса проводили по трем гидроэкологическим показателям: содержанию в воде хлорофилла *a*, общего фосфора и прозрачности по диску Секки [16].

Индекс трофического состояния (TSI) рассчитывали по каждому из параметров (прозрачности воды, общему фосфору и хлорофиллу *a*) [16]. Статистическую обработку и визуализацию данных проводили в программной среде *R*.

Допустимую рекреационную нагрузку для водохранилища Зельвянское рассчитывали согласно работе [17].

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования показали, что площадь водохранилища Зельвянское в настоящее время составляет 9,7 км², что меньше проектной на 13 %. Средняя ширина водохранилища, по сравнению с данными проектных изысканий, сократилась на 0,17 км, средняя глубина уменьшилась на 0,43 м, полный объем снизился на 6,35 млн км³, или на 23 %, полезный объем снизился на 4,76 млн км³, или 27 %. Как видно из рис. 2, площадь водного зеркала почти за 40 лет уменьшилась с 1154,8 до 973,85 га в связи с изменением в регулировании водохранилища и его экологическими последствиями.

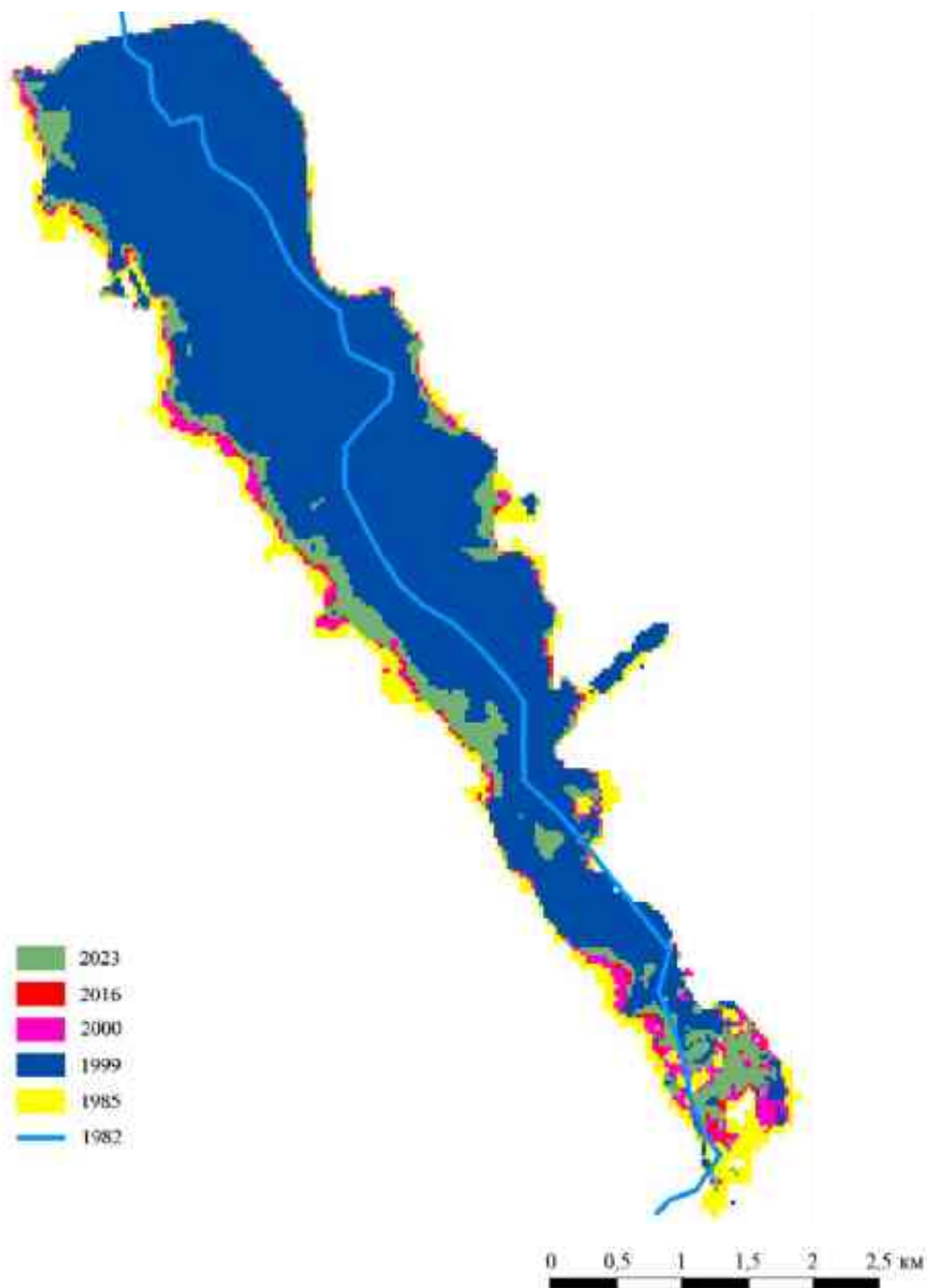


Рис. 2. Изменение площади открытой водной поверхности водохранилища Зельвянское

Fig. 2. Changes in the open water surface area of the Zelvyanskoye Reservoir

Донные отложения отмечаются по всему дну водохранилища со средней мощностью 34 см. Наибольшие мощности – у берегов южной части водоема, в местах сплошного зарастания. В верховьях мощности достигают 42 см. В низовьях мощность донных отложений варьирует от 5 до 10 см. У плотины дно представлено фракцией песков и скоплениями камней. Органический характер донных отложений практически не представлен.

Удельное распределение донных отложений следующее: 13,4 % ложа с наибольшей мощностью 0,35–0,45 м; 25,8 % с мощностью 0,25–0,35 м; 21,4 % с мощностью 0,15–0,25 м; 25,25 % с мощностью 0,05–0,15 м; 14,2 % с мощностью менее 0,05 м.

Анализ качества воды в водохранилище свидетельствует об отсутствии содержания анализируемых элементов, превышающих ПДК. Практически по всем исследуемым веществам их содержание соответствует требованиям [4]. Отмечены превышения биогенных веществ в воде в точках отбора в непосредственной зоне смешивания впадающих в водохранилище реки Мештовка и ручья, непосредственно на берегу которых расположены населенные пункты.

Установленные особенности загрязнения водохранилища Зельвянское позволяют сделать вывод о том, что основным фактором негативных процессов, связанных с явлением «цветения» воды в летний сезон, является антропогенная деятельность в водосборе. Усиленная распашка и внесение удобрений на сельскохозяйственных землях вносят существенный вклад в поступление биогенных веществ, которые при соответствующих погодных условиях вызывают бурный рост фитопланктона. Проводимые водоохранные мероприятия в населенных пунктах, предназначенные для уменьшения поступления биогенных веществ, малоэффективны.

В этой связи хозяйственная деятельность в пределах водосбора водохранилища, и особенно в границах водоохранных зон, должна осуществляться в соответствии с действующим законодательством.

Список растений, произрастающих в водохранилище, представлен в табл. 2. В результате маршрутной съемки водохранилища Зельвянское было выявлено 28 видов водной растительности. Растительный покров водоема определяют макрофиты, относящиеся к таким группам растительных формаций, как погруженные (эугидрофиты) и надводные (аэрогидрофиты) растения, растения с плавающими листьями (плейстогидрофиты), а также околводные (эугидрофиты) и водно-болотные (гигрофеллофиты) растения. Из них 16 видов относятся к ресурсообразующим.

Схема зарастания водохранилища приведена на рис. 3. По характеру зарастания водохранилище относится гидрофитному типу.

Проективное покрытие макрофитами речного (верхнего) района составляет 80–90 %. Макрофиты занимают глубины от 0,0 до 0,8 м.

Водохранилище можно разделить на три гидрографических района (см. рис. 3), в каждом из которых можно условно выделить три зоны: сплошного заболачивания с наличием русловой ложбины; развития сплавин и заболачивания с сохранившимися открытыми участками воды; активного зарастания.

Зона сплошного заболачивания с наличием русловой ложбины. В верхней части водохранилища в зоне заболачивания сформировался участок сплошного зарастания, акватория водохранилища большей частью занята сплавиной, частично свободными остаются речной участок с явно выраженным руслом и небольшие заливы. Сплавины формируют представители как группы гидрофитов (двукосточник тростниковый, аир обыкновенный), так и растения гидрофиты (тростник обыкновенный, рогоз узколистный и широколистный, манник большой). В данной части водохранилища сплавины занимают 70 % общей площади зарастания. Пояс надводной растительности образует сплошные заросли вдоль берегов до глубины 0,3 м. Доминирующими видами являются тростник обыкновенный и рогоз узколистный, образующие сплошные заросли. Рогоз широколистный, аир обыкновенный, манник большой отмечаются единичными экземплярами или небольшими группами (5–10 растений) среди зарослей тростника. Щавельник прибрежный, двукосточник тростниковый, осоки, хвощ речной произрастают вдоль береговой кромки узкой (от 0,5 до 1,0 м) полосой отдельными растениями или группами. Среди других представителей водной флоры вдоль полосы надводных растений в укрытых местах отмечены водокрас обыкновенный и ряска малая. Погруженные в воду растения в этой части русла встречаются по краю и незначительно – в редких зарослях воздушно-водных макрофитов. На сохранившихся участках, не занятых сплавиной и имеющих гидрологическую связь с основным руслом, видовой состав макрофитов более разнообразен. Среди аэрогидрофитов также доминируют тростник обыкновенный и рогоз узколистный, но заметно увеличивается роль в фитоценозе тростника. На отмелях (глубины от 0,1 до 0,2 м) произрастает единичными экземплярами или группами стрелолист стрелолистный, или ежеголовник. Большие площади занимают плейстогидрофиты, среди которых доминирует кубышка желтая. Небольшими группами отмечается кувшинка чисто-белая, водокрас обыкновенный, горец земноводный. Эугидрофиты (уруть колосистая, рдест блестящий и курчавый, штукения гребенчатая, роголистник темно-зеленый) также занимают значительные площади дна, имеют почти сплошной характер распространения. Менее часто в изреженных зарослях погруженных растений в виде единичных растений или фрагментов стеблей может встречаться элодея канадская.

Таблица 2. Список растений, произрастающих в водохранилище Зельвянское и на его водосборной территории**Table 2. List of plants growing in the Zelvyanskoye Reservoir and its catchment area**

Вид растения	Охраняемое	Профилактическая охрана	Ресурсообразующее
ГИДРОФИТЫ			
Эугидрофиты			
1. Уруть колосистая – <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	–	–	+
2. Шелковник волосистый – <i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	–	–	–
3. Роголистник темно зеленый – <i>Ceratophyllum demersum</i> L.	–	–	–
4. Рдест блестящий – <i>Potamogeton lucens</i> L.	–	–	–
5. Рдест курчавый – <i>Potamogeton crispus</i> L.	–	–	–
6. Рдест пронзеннолистный – <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	–	–	–
7. Штукения гребенчатая – <i>Stuckenia pectinata</i> (L.) Borner [<i>Potamogeton pectinatus</i> L.]	–	–	–
8. Элодея канадская – <i>Elodea canadensis</i> Michx.	–	–	+
9. Харовые водоросли – <i>Charophyceae</i>	–	–	–
10. Каулиния тончайшая – <i>Caulinia tenuissima</i> (A. Braun ex Magnus) Tzvelev	+	–	–
Плейстогидрофиты			
11. Кубышка желтая – <i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith	–	–	+
12. Кувшинка чисто-белая – <i>Nymphaea candida</i> J. et C. Presl	–	–	–
13. Ряска малая – <i>Lemna minor</i> L.	–	–	+
14. Водокрас обыкновенный – <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	–	–	+
15. Горец земноводный – <i>Persicaria amphibia</i> (L.) Delarbre	–	–	–
Аэрогидрофиты			
16. Рогоз широколистный – <i>Typha latifolia</i> L.	–	–	–
17. Рогоз узколистный – <i>Typha angustifolia</i> L.	–	–	+
18. Манник большой – <i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb	–	–	–
19. Тростник южный, или обыкновенный – <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	–	–	+
20. Камыш озерный – <i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla	–	–	–
21. Осока – <i>Carex</i> sp. p.	–	–	–
22. Стрелолист стрелолистный (мелководная форма) – <i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	–	–	–
23. Ежеголовник – <i>Sparganium</i> sp. p.	–	–	–
24. Хвощ речной – <i>Equisetum fluviatile</i> L.	–	–	–
25. Частуха подорожниковая – <i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	–	–	–
ГИГРОФИТЫ			
Эугигрофиты			
26. Двукосточник тростниковый – <i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rausch.	–	–	–
27. Щавельник прибрежный – <i>Rumex hydrolapathum</i> Huds.	–	–	–
Гигрогелофиты			
28. Аир обыкновенный, или болотный (аирный корень) – <i>Acorus calamus</i> L.	–	–	–

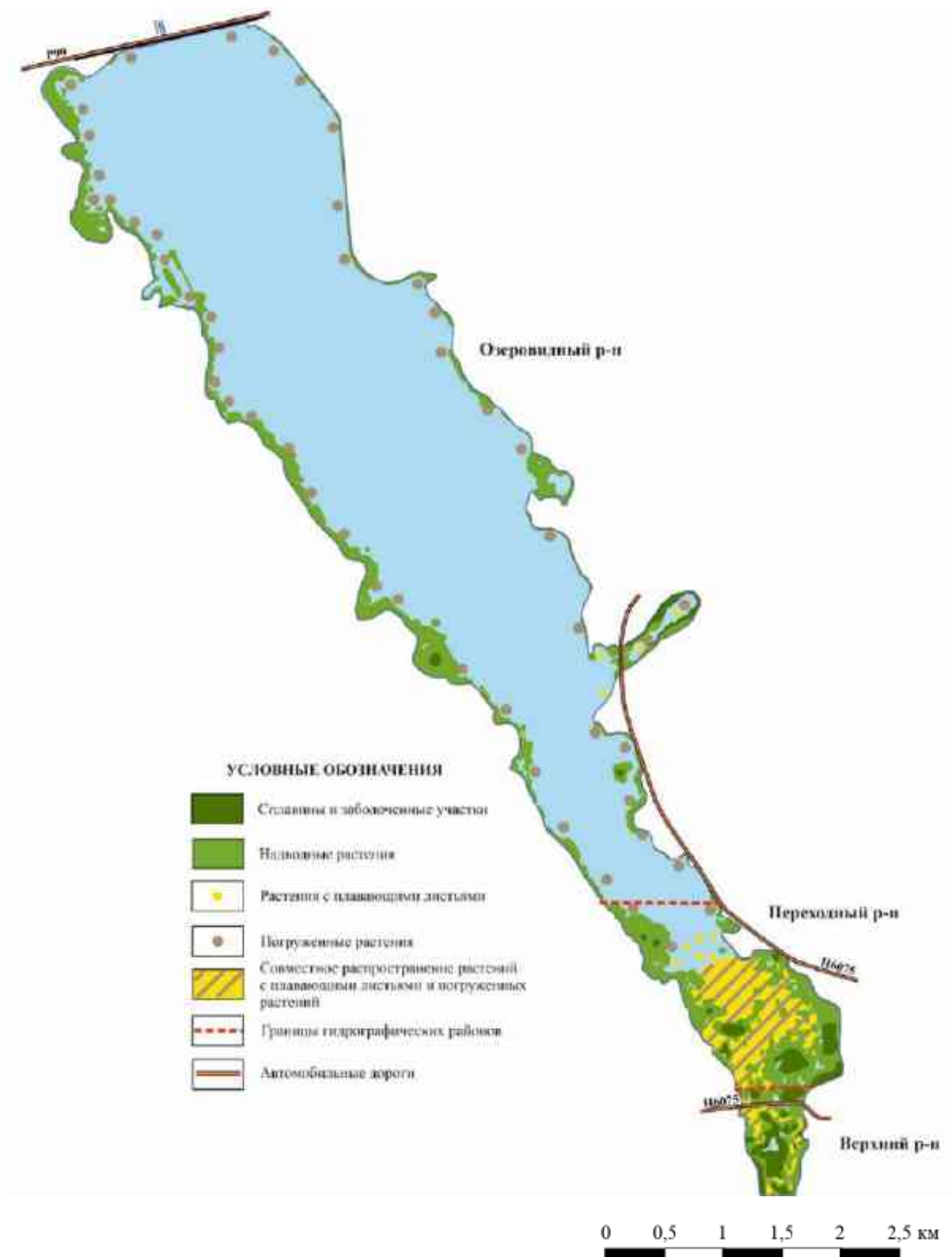


Рис. 3. Схема зарастания водохранилища Зельвянское высшей водной растительностью

Fig. 3. Scheme of overgrowing of the Zelvyanskoye Reservoir with higher aquatic vegetation

В зоне развития сплавин и заболачивания с сохранившимися открытыми участками воды растительный покров определяют гигрофиты и гидрофиты. На долю водно-болотной растительности (гигрофиты) приходится 30 % площади зарастания, на водные растения (гидрофиты) – 70 %. Водная растительность распространена до глубин 0,6 м. В полосе надводных растений основной фон зарастания состоит из рогоза узколистного и тростника обыкновенного. Они образуют как смешанные, так и чистые заросли, причем ближе к границе с третьей зоной, особенно на правом берегу, доля тростника заметно увеличивается. Крайне редко встречаются островки камыша озерного. Растения с плавающими листьями распространены повсеместно (немного меньше в русловой ложбине) на глубинах от 0,4 до 0,6 м. Они произрастают отдельными группами или образуют сплошное покрытие. Здесь значительно чаще (по сравнению с первой зоной) встречается кувшинка чисто-белая, образующая островки в диаметре до 20 м². Горец земноводный отмечен отдельными группами по 10–20 растений. Погруженная растительность произрастает на глубинах от 0,2 до 0,6 м. Имеет мозаичный характер распространения. Доминирующим ее видом является уруть колосистая (до 40 % проективного покрытия), образующая нижний ярус среди растений с плавающими листьями. Рдест блестящий, штукения гребенчатая, роголистник темно-зеленый произрастают отдельными растениями и небольшими группами. Рдест курчавый и рдест пронзеннолистный отмечаются единичными экземплярами.

Зона активного зарастания отличается более высоким видовым разнообразием по сравнению с первыми двумя. Здесь выявлены все виды водной растительности, произрастающие в верхнем гидрографическом районе водохранилища Зельвянское (см. табл. 2). Однако большинство видов встречается в незначительном количестве или единично, и только немногие виды образуют заросли. Вдоль береговой линии и на обширных отмелях отмечается формирование сплавин, растительный покров которых состоит как из водно-болотных растений (двукосточника тростникового, аира обыкновенного, щавельника прибрежный), так и надводных (тростника обыкновенного, двух видов рогоза и манника большого). Надводная растительность представлена чистыми или смешанными зарослями тростника обыкновенного и рогоза узколистного. Они произрастают прерывистой полосой вдоль береговой линии или образуют небольшие острова на акватории водохранилища. Из других представителей аэрогидрофитов отмечены рогоз широколистный, осоки, манник большой, стрелолист стрелолистный (или ежеголовник), хвощ речной. Растения с плавающими листьями распространены по всей акватории зоны, однако распределены крайне неравномерно. Основной фон плейстогидрофитов определяет кубышка желтая, образуя заросли в укрытых заливах. Кувшинка чисто-белая отмечается преимущественно на глубинах от 0,2 до 0,6 м. Она произрастает небольшими островами, площадь которых составляет 5–10 м². Горец земноводный образует небольшие группы, состоящие из 5–8 растений. Вдоль полосы надводных растений в укрытых местах изредка отмечены водокрас обыкновенный и ряска малая. Среди погруженной растительности доминирует уруть колосистая, занимающая глубины от 0,2 до 0,7 м. Вид имеет мозаичный характер распространения, произрастает небольшими куртинами, расположенными на значительном удалении друг от друга. На глубинах от 0,2 до 0,4 м среди урути отмечен роголистник темно-зеленый. Он образует разреженные заросли. Из других представителей эугидрофитов в незначительном количестве выявлены рдест блестящий, рдест курчавый, штукения гребенчатая. Данные виды отмечены единичными экземплярами на глубинах от 0,2 до 0,7 м по всей акватории зоны, кроме русловых участков.

В переходном районе акватории (участок смешанного зарастания) заросли имеют бордюрный (на правом берегу) и мозаичный характер. Здесь прослеживается секторность в расположении фитоценозов. От периферии к центру акватории отмечается следующая схема распространения растительных ассоциаций: осоки, двукосточник тростниковый, хвощ речной, манник большой → тростник обыкновенный, рогоз узколистный, реже – рогоз широколистный → кубышка желтая с вкраплениями кувшинки чисто-белой и иногда – горца земноводного. На близком к зоне сплошного зарастания участке начинают появляться сплавины растительного происхождения, представленные тростниково-рогозовой ассоциацией, а также происходит формирование типичных сплавинных берегов. Эугидрофиты (уруть, рдест блестящий и курчавый, штукения гребенчатая) занимают незначительные площади дна и имеют мозаичный характер распространения. В изреженных зарослях погруженных растений отмечаются небольшими скопления харовые водоросли и единичными растениями роголистник темно-зеленый. Проективное покрытие надводной растительности составляет от 30 до 40 %; растений с плавающими листьями – от 50 до 60; погруженной растительности – от 40 до 50 %.

Для озеровидного района водохранилища характерно различие берегов: правый (по течению) – высокий с подмывными обрывистыми берегами и растущими на них сосновыми лесами; левый – болотистый с растущими ивовыми кустами и ольхой. Основной фон растительного покрова озеровидного участка создают макрофиты из группы аэрогидрофитов. Заросли их здесь повсеместно распространены полосой от 5 до 100 м, и лишь территория у дамбы протяженностью 3 км свободна от зарастания. Среди них доминирующее положение занимает рогоз узколистный с проективным покрытием до 15 %,

обилие по шкале Друде соответствует 5 баллам. Вторым видом, формирующим полосу надводных растений, является тростник обыкновенный полосой от 5 до 50 м. Проективное покрытие тростника составляет около 10 %, обилие по шкале Друде соответствует 4 баллам. Единичными экземплярами отмечаются щавельник прибрежный, рогоз широколистный, хвощ речной, вербейник обыкновенный. Эугидрофиты имеют пятнистый характер распространения и представлены роголистником темно-зеленым и урутью. При этом глубже преобладает уруть, а ближе к зарослям полупогруженных макрофитов становится больше роголистника. Они распространены на глубинах от 0,3 до 0,8 м. Рдест блестящий, рдест курчавый, штукения гребенчатая встречаются редко. Проективное покрытие видов составляет примерно 30 %, обилие по шкале Друде соответствует 3 баллам. Плейстогидрофиты на данном участке водохранилища не обнаружены. За исключением редких находок небольших островков плавающих форм горца земноводного на самом краю зарослей полуводных растений.

Прибрежные участки мелководий левого берега до глубины 0,7 м зарастают жесткой надводной растительностью с образованием сплошной полосы зарастания (шириной от 50 до 100 м). В ассоциациях надводных макрофитов доминирует представитель осоковых – рогоз узколистный, доля которого составляет от 50 до 80 % и представитель семейства злаковых – тростник обыкновенный, доля которого составляет от 20 до 50 %. При этом на левом участке берега от уреза воды часто идет полоса тростника обыкновенного шириной от 5 до 50 м, далее за ним – полоса рогоза узколистного шириной 30–50 м. Единичными экземплярами отмечаются щавельник прибрежный, рогоз широколистный и хвощ речной. Эугидрофиты имеют пятнистый характер распространения и представлены роголистником темно-зеленым и урутью. Они распространены на глубинах от 0,3 до 0,8 м и часто заходят в сами заросли аэрогидрофитов. При этом глубже преобладает уруть, а ближе к зарослям полупогруженных макрофитов становится больше роголистника. Рдест блестящий, рдест курчавый, штукения гребенчатая встречаются редко и единичными растениями.

На правом берегу заросли аэрогидрофитов приобретают прерывистый характер распространения полосой от 10 до 50 м (редко – до 100 м). На высоких песчаных берегах встречаются проходы и небольшие пляжи. В зарослях полупогруженных макрофитов правобережья доминирующее положение занимают тростник обыкновенный и рогоз узколистный. Рогоз узколистный произрастает на правом берегу от уреза воды полосой от 5 до 20 м или небольшими группами среди зарослей тростника. Единичными экземплярами ближе к берегу отмечаются щавельник прибрежный, рогоз широколистный, хвощ речной, вербейник обыкновенный. Эугидрофиты, распространенные здесь еще в большей степени до глубины 0,8 м (фрагментарно – в изреженных тростниковых зарослях и незначительно – по краю надводных макрофитов), представлены в основном урутью, единичными растениями роголистника, рдеста курчавого, штукении гребенчатой.

На участке водохранилища у бетонной дамбы вообще не отмечено ни полупогруженных в воду растений, ни макрофитов с плавающими на поверхности воды листьями. Редко можно встретить негустые участки зарослей или отдельные растения рдеста курчавого, блестящего, пронзеннолистного, штукении гребенчатой, урути, которые уходят на глубину до 0,5 м.

Для озеровидного района водохранилища характерно постепенное обеднение водной растительности по сравнению с верхней его частью и на лицо стадия перерождения экосистемы речного типа к озерному. Также в этой части водохранилища прозрачность по диску Секки становится меньше (в летнее время из-за развития фитопланктона).

По результатам анализа состояния водохранилища Зельвянское можно констатировать, что оно развивается в соответствии с общими закономерностями развития искусственных водоемов и находится на второй стадии развития – окончательное формирование водохранилища, идет отработка отмелей, устойчивое закрепление мелководий высшей водной растительностью.

В начале лета 2024 г. не было отмечено выраженной температурной стратификации водохранилища. Разделение водной массы на эпилимнион (верхний теплый и богатый кислородом слой воды), металимнион (промежуточный слой воды с наибольшим градиентом температур – термоклином – в пределах которого температура резко падает) и гипolimнион (нижний бедный кислородом слой воды в стратифицированных водоемах, залегающий ниже слоя температурного скачка) было условным. На более глубоких станциях 1–3 отмечено незначительное снижение температуры к придонному слою воды. Снижение концентрации кислорода было более существенным, что можно считать признаком стратификации водной массы; однако даже на границе с иловыми отложениями оно составляло более 2 мг/л. На мелководных створах (станции 4–5) отмечено практически полное перемешивание воды, сопровождающееся гомотермией и одинаковой концентрацией кислорода по столбу воды (рис. 4).

Во время обследования 8 августа 2024 г. ситуация несколько изменилась (рис. 5). На станциях 1–3 отмечено существенное снижение концентрации растворенного кислорода от поверхности ко дну. Достигая на поверхности очень высоких величин (более 20 мг/л), содержание кислорода ко дну снижалось практически до 0. В то же время критическое снижение происходило только в нижнем

метровом слое воды. Очевидно, что высокие концентрации кислорода в верхних слоях вызваны фотосинтезом при массовом развитии фитопланктона, в то время как к нижним слоям процессы деградации преобладали над продукцией, и кислород потреблялся гораздо активнее, чем синтезировался в процессе фотосинтеза. На станциях 4 и 5 такого резкого снижения концентрации кислорода ко дну не отмечено, однако содержание кислорода оставалась невысоким по всему столбу воды, снижаясь ко дну до 2,5 мг/л. На всех станциях, кроме станции 5, отмечено некоторое снижение температуры от поверхности ко дну, при этом даже у дна температура не падала ниже 20 °С. На станции 5 в августе отмечена полная гомотермия.

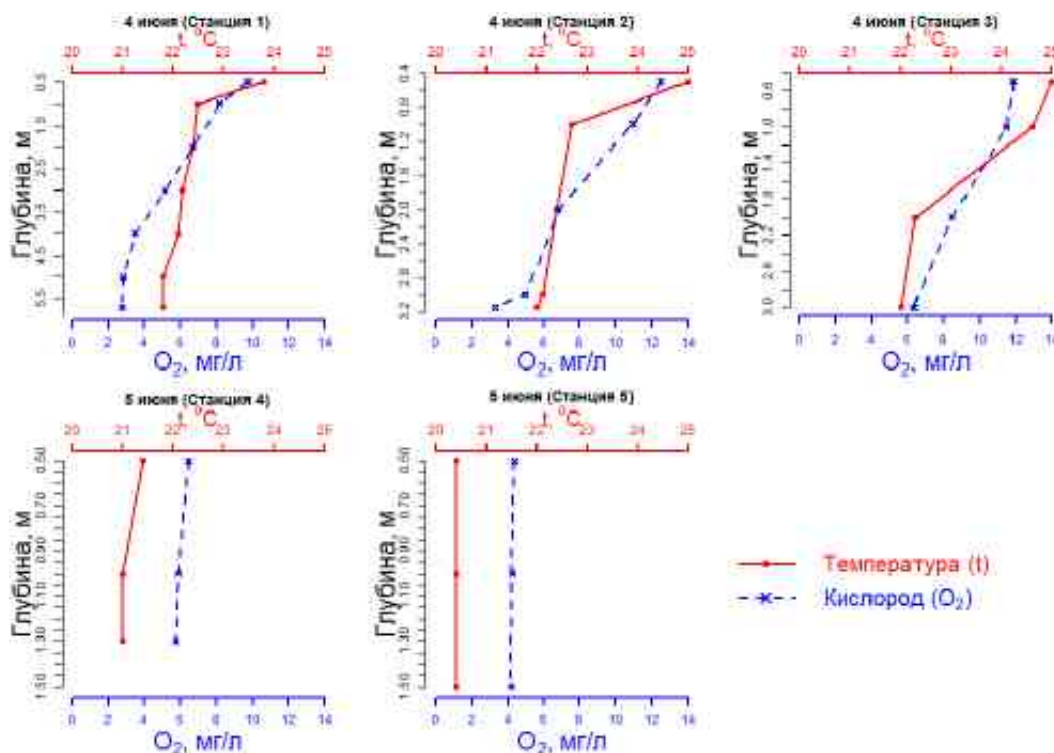


Рис. 4. Вертикальное распределение растворенного кислорода и температуры в столбе воды на водохранилище Зельвянское 4–5 июня 2024 г.

Fig. 4. Vertical distribution of dissolved oxygen and temperature in the water column on the Zelvyanskoye Reservoir on June 4–5, 2024

В целом, в отличие от начала лета 2024 г., газовый режим в августе 2024 г. был гораздо более напряженным и полностью контролировался массовым развитием (цветением) фитопланктона. В такой ситуации существует опасность кислородного дефицита и летних заморов, вызванных интенсивным потреблением кислорода фитопланктоном в процессе дыхания в ночной период (когда фитопланктон потребляет кислород, но не производит его в процессе фотосинтеза), а также деградацией большего количества биомассы фитопланктона, требующей больших затрат кислорода при окислении органического вещества.

Основные гидроэкологические показатели, характеризующие продуктивность водохранилища Зельвянское, представлены на рис. 6, из которого видно, что от станции 5 к станции 1 наблюдается существенное увеличение концентраций взвешенного вещества (сестона), общего фосфора и азота, и радикальное увеличение хлорофилла *a*. Прозрачность в то же время заметно снижается. При этом такая же, относительно благоприятная ситуация, наблюдалась на станции 5 в оба периода проведения исследований. На станциях 1 и 3 к августу значительно выросла концентрация общего фосфора, и, как следствие, существенно увеличилась концентрация хлорофилла *a*, снизилась прозрачность.

Следует отметить, что фосфор в подавляющем большинстве водоёмов мира по-прежнему остается основным биогенным элементом, лимитирующим развитие фитопланктона [18].

Из всего этого можно констатировать, что от верховья водохранилища к приплотинной его части наблюдаются существенное увеличение продуктивности и ухудшение экологической ситуации в водохранилище, вызванные увеличением притока фосфора в толщу воды, причем к августу ситуация значительно ухудшается.

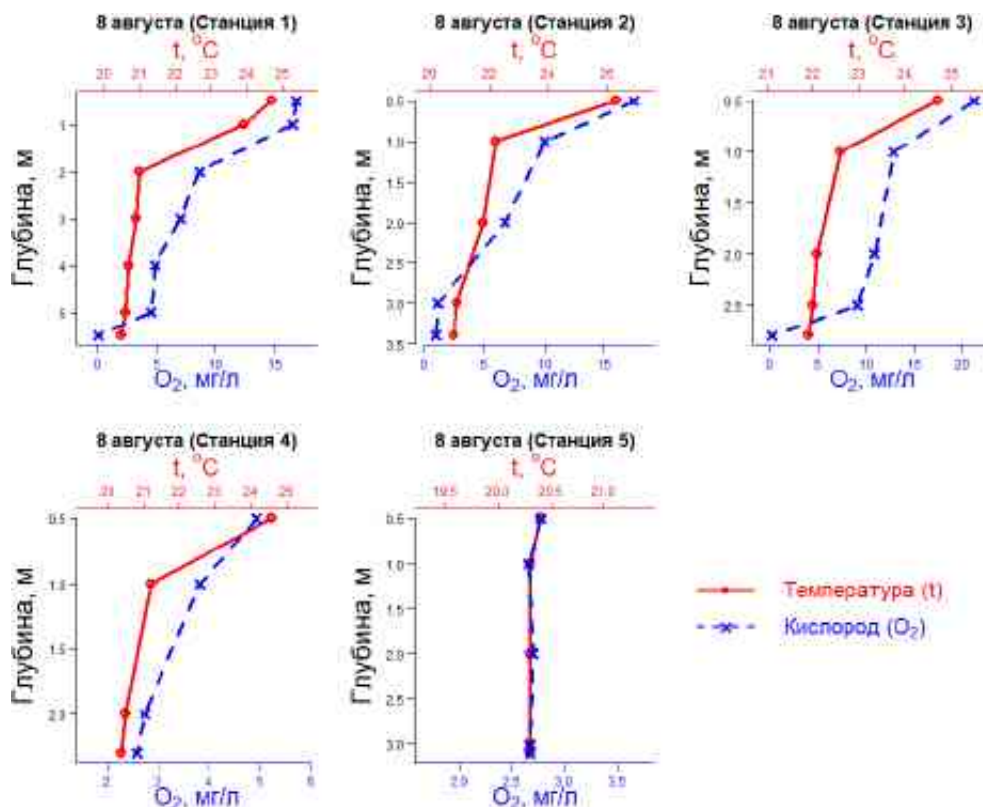


Рис. 5. Вертикальное распределение растворенного кислорода и температуры в столбе воды в водохранилище Зельвянское 8 августа 2024 г.

Fig. 5. Vertical distribution of dissolved oxygen and temperature in the water column in the Zelvyanskoye Reservoir on August 8, 2024

Пространственная и сезонная динамика трофического статуса водохранилища Зельвянское представлена на рис. 7. На нем видно, что в июне 2024 г. станции 1 и 3 находились на границе эвтрофной и высокоэвтрофной зон, а к августу 2024 г. обе станции уже устойчиво находились в высокоэвтрофных условиях. В то же время, трофический статус на станции 5 несколько снизился к августу и находился на границе мезотрофной и эвтрофной зоны. Это еще раз подтверждает вывод о том, что южная часть водохранилища гораздо менее эвтрофирована по сравнению с северной частью. Причиной этому может служить активное развитие в южной части водохранилища высшей водной растительности, которая аккумулирует и задерживает в своей биомассе биогенные элементы, поступающие в воду с территории водосбора и из донных отложений. В целом экологическая ситуация в северной части водохранилища вызывает беспокойство, так как высокотрофные условия могут сопровождаться рядом негативных последствий как для животных, обитающих в водоеме, так и для здоровья человека.

В период проведения исследований на трех станциях изучен фитопланктон водохранилища Зельвянское. Из табл. 3 видно, что уровень развития фитопланктона на станциях 1 и 3 гораздо выше, чем на станции 5. Биомасса фитопланктона на станциях 1 и 3 значительно увеличилась с июня по август 2024 г. Максимальная биомасса в оба периода наблюдения отмечена на станции 3.

На станциях 1 и 3 в оба периода наблюдений отмечено абсолютное доминирование цианобактерий, которые составляли до 99 % всей биомассы фитопланктона. Только на станции 5 в июне 2024 г. доминировали другие группы, а именно динофитовые и зеленые водоросли.

На наиболее эвтрофных станциях 1 и 3 абсолютным доминантом был один вид – *Planktothrix (Oscillatoria) agardhii*, относящийся к нитчатым цианобактериям. На створе 5 представитель динофитовых *Gymnodinium* Stein. *Planktothrix (Oscillatoria) agardhii*, преобладавший на створах 1 и 3 в течение сезона и относящийся к потенциально токсичным видам цианобактерий [19]. Однако в период исследований не зарегистрировано наличие генов синтеза микроцистина в водохранилище. Имеющие место летние заморные явления с большой долей вероятности вызваны дефицитом кислорода в утренние часы при интенсивном потреблении кислорода фитопланктоном в процессе дыхания, а также деструкцией большого количества биомассы фитопланктона.

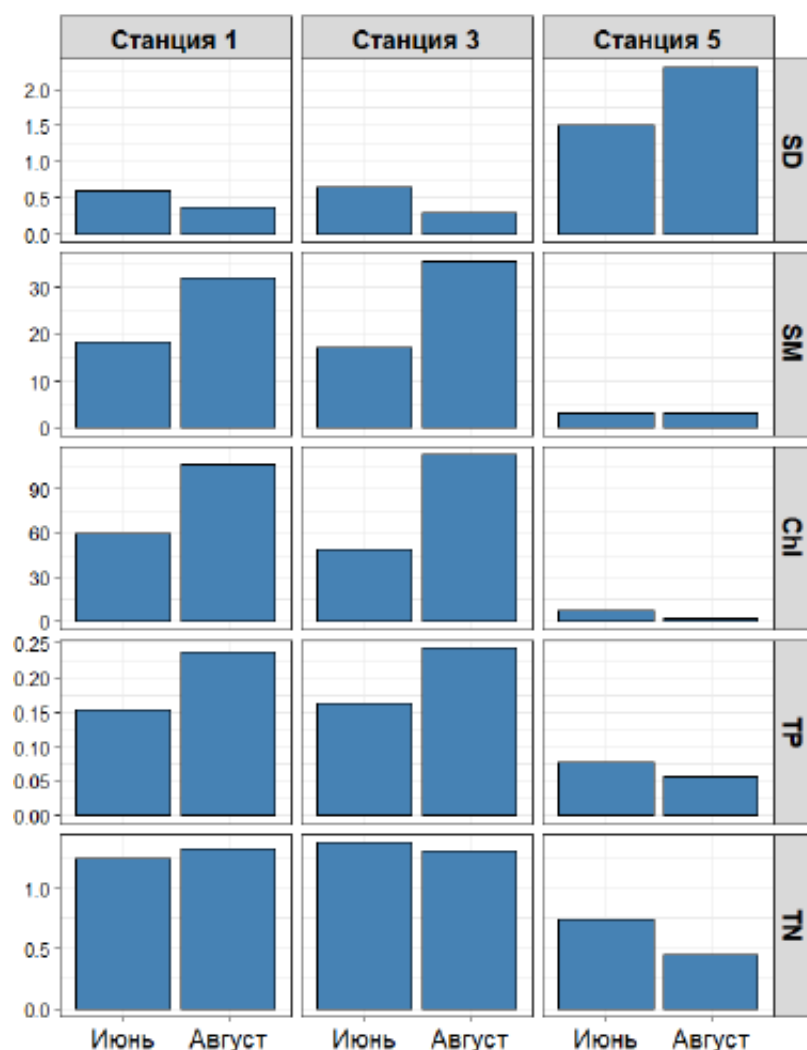


Рис. 6. Основные гидроэкологические показатели водохранилища Зельвянское в 2024 г:
SD – прозрачность по диску Секки, м; SM – содержание в воде взвешенного вещества, мг/л;
Chl – содержание в воде хлорофилла а, мкг/л; TP – содержание в воде общего фосфора, мг/л;
TN – содержание в воде общего азота, мг/л

Fig. 6. Main hydroecological indicators of Zelvyanskoye reservoir in 2024:
SD – Secchi disk transparency, m; SM – suspended matter content in water, mg/l;
Chl – chlorophyll a content in water, µg/l; TP – total phosphorus content in water, mg/l;
TN – total nitrogen content in water, mg/l

В настоящее время согласно данным Государственного водного кадастра на водохранилище Зельвянское оборудован только один пляж – городской пляж г. п. Зельва, ул. Шоссейная (53.142570, 24.823440). По результатам измерений качества воды по санитарно-гигиеническим показателям для целей рекреации за последние 4 года превышений предельно допустимых значений не установлено. Следовательно, данный водоем может быть использован для различных видов рекреации, включая контактные виды (например, плавание).

Наибольший интерес в настоящее время водохранилище Зельвянское представляет для любительского рыболовства. В этой связи организация рекреации и туризма может быть подчинена именно данной группе отдыхающих.

Наиболее приемлемым для организации оборудованной сети туристических стоянок для отдыха в естественных природных условиях является восточный берег водохранилища, занятый лесными массивами Государственного лесохозяйственного учреждения «Слонимский лесхоз» (Зельвенское лесничество, кварталы 91, 108, 114, 116). Береговая линия водохранилища на данном участке представлена обрывистыми абразионными и низкими песчаными берегами.

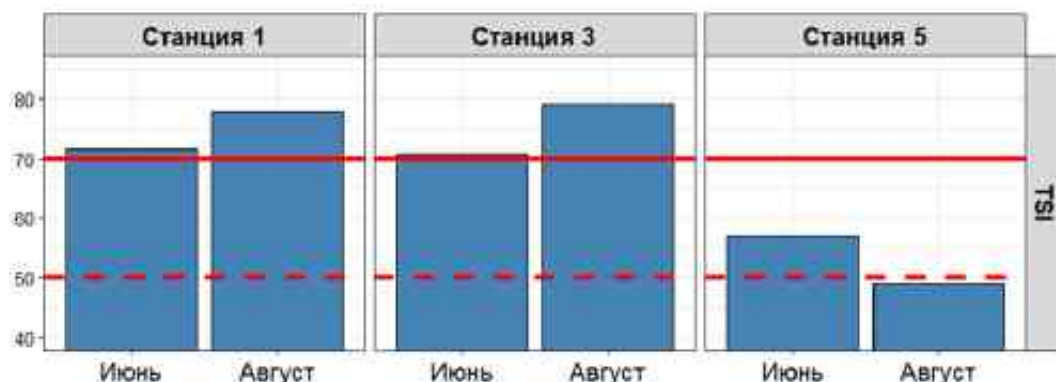


Рис. 7. Индекс трофического состояния (TSI) водохранилища Зельвянское 4–5 июня и 8 августа 2024 г.

Примечание: штриховой линией обозначена условная граница мезотрофной и эвтрофной зон, сплошной линией – эвтрофной и высокоэвтрофной зон

Fig. 7. Trophic state index (TSI) in the Zelvyanskoye Reservoir on June 4–5 and August 8, 2024.

Note: the dashed line indicates the conditional boundary of the mesotrophic and eutrophic zones, the solid line – the eutrophic and highly eutrophic zones

Таблица 3. Количественные характеристики развития фитопланктона в водохранилище Зельвянское

Table 3. Quantitative characteristics of phytoplankton development in the Zelvyanskoye Reservoir

Дата	Станция	Численность фитопланктона		Биомасса фитопланктона, мг/л
		млн организмов /л	млн клеток /л	
05.06.2024	1	19,17	703,61	38,55
05.06.2024	3	24,48	974,88	50,07
04.06.2024	5	3,56	9,89	1,33
08.08.2024	1	39,90	1533,30	81,02
08.08.2024	3	57,27	2604,75	131,72
08.08.2024	5	1,38	16,22	0,95

Создание сети туристических стоянок направлено на:

- 1) снижение антропогенной нагрузки на экосистемы и рациональное ее перераспределение в соответствии с состоянием и пропускной возможностью экосистем;
- 2) регулирование посещаемости природных комплексов туристами;
- 3) обеспечение удовлетворения спроса населения на туристическое обслуживание и сохранение природных комплексов путем организации платных туристических стоянок.

Возможно несколько типов туристических стоянок:

- 1) общего типа – туристическая стоянка без предварительного бронирования и оплаты на месте за размещение на ее территории;
- 2) заказного типа – туристическая стоянка с возможностью предварительного бронирования и предварительной оплаты за размещение на ее территории.

Ориентировочно местоположение туристических стоянок представлены на рис. 8.

Как дополнительное обустройство стоянок предлагается создание стационарных или наплавных мостков, для более удобного причаливания маломерных судов или любительского лова рыбы. Также на акватории водохранилища возможна установка плотов для любительского лова рыбы.

Функционирование и обслуживание туристических стоянок обеспечиваются землепользователем или арендаторами. Они проводят работы по подготовке к сезону массового летнего отдыха, поддерживают надлежащий порядок в течение всего туристического сезона, осуществляют поставку дров на туристические стоянки заказного типа, обслуживание туалетов, вывоз мусора, размещение необходимой информации, производят контроль за санитарным состоянием туристических стоянок и прилегающей территории.



Рис 8. Ориентировочное местоположение туристических стоянок

Fig. 8. Approximate location of tourist camps

Для увеличения экономических выгод от развития туризма на территории района необходимо:

1) увеличивать число посетителей. При этом рост посещаемости допустим только до тех пор, пока доходы от привлечения туристов превышают расходы по организации туризма. Увеличение числа посетителей при определенных условиях может усилить негативный экологический эффект. Туризм на охраняемых территориях должен осуществляться с учетом нормативов антропогенной нагрузки и не допускать нарушений состояния экосистем;

2) увеличивать среднюю продолжительность пребывания: длительное пребывание туриста на территории создает больше возможностей для реализации местной продукции и услуг;

3) привлекать, используя различные рыночные механизмы, потребителей с высокой покупательной способностью;

4) повышать продажи для каждого посетителя: чем больше предлагается к реализации местной продукции, доступной посетителям как непосредственно, так и опосредованно, тем выше расходы туристов и доходы местных жителей;

5) обеспечивать возможность ночлега на месте, что также повышает расходы туристов на питание и приобретение различных товаров и услуг;

6) осуществлять экскурсионное обслуживание, предоставлять другие виды дополнительных услуг;

7) организовывать интересные события: выставки художников и ремесленников, а также фестивали, основанные на культурных традициях, способствующие росту рекреационной привлекательности территории;

8) осуществлять продажу местной еды и напитков в целях обеспечения популяризации и развития местных кулинарных традиций, а также получения существенного дохода местными фермерами.

Основная задача предлагаемых биомелиоративных мероприятий – на фоне снижения степени зарастания водохранилища Зельвянского до пределов необходимой целесообразности и контроля дальнейшего развития в нем макрофитной растительности достичь повышения рыбопродуктивности

водохранилища и расширить видовой состав рыб, привлекательных для рыболовов-любителей, с одновременным уменьшением численности мелкой «сорной» рыбы.

С учетом характеристики среды обитания рыб и кормовой емкости водохранилища Зельвянское, а также принимая во внимание рекреационную направленность зарыбления, в качестве объектов для вселения рекомендуются такие виды рыб, как сом европейский (с целью формирования самовоспроизводящегося стада) и некоторое количество щуки (для увеличения численности хищников).

Заключение. По результатам анализа состояния водохранилища Зельвянское можно констатировать, что оно развивается в соответствии с общими закономерностями развития искусственных водоемов и находится на второй стадии – окончательного формирования водохранилища, идет отработка отмелей, происходит устойчивое закрепление мелководий высшей водной растительностью. Уровненный режим в водохранилище регулируется на водосбросе гидроузла и во многом зависит от сезонных внутригодовых явлений.

Содержание анализируемых химических веществ в донных отложениях не превышает пороговые значения загрязняющих веществ в донных отложениях поверхностных водных объектов, установленных в работе [20]. Отмечены превышения содержания биогенных веществ в точках отбора в воде в непосредственной зоне смешивания впадающих в водохранилище реки Мештовка и ручья, непосредственно на берегу которых расположены населенные пункты. Установленные особенности загрязнения водохранилища Зельвянское позволяют сделать вывод о том, что основными факторами негативных процессов, связанных с явлением «цветения» воды в летний сезон, являются результатом антропогенной деятельности на водосборе. Усиленная распашка и внесение удобрений на сельхозугодьях вносят существенный вклад в поступление биогенных веществ, при соответствующих погодных условиях вызывающих бурный рост фитопланктона. Проводимые водоохранные мероприятия в населенных пунктах, предназначенные для уменьшения поступления биогенных веществ, малоэффективны. Гидроэкологическую ситуацию на водохранилище Зельвянское можно охарактеризовать как благоприятную.

Характер растительного покрова водоема определяют макрофиты, относящиеся к таким группам растительных формаций, как околотовые (эугигрофиты), водно-болотные (гигрогелофиты), надводные растения (аэрогидрофиты), растения с плавающими листьями (плейстогидрофиты) и погруженные растения (эугидрофиты). Из них 16 видов относятся к ресурсообразующим. По характеру зарастания водохранилища можно отнести гидрофитному типу.

Для озеровидного района водохранилища характерно постепенное обеднение водной растительности по сравнению с верхней его частью и налицо стадия перерождения экосистемы речного типа к озерному. Также в этой части водохранилища прозрачность по диску Секки становится меньше (в летнее время из-за развития фитопланктона).

В изученном водоеме не отмечено выраженной стратификации и разделение водной массы на эпи- и металимнион является условным. Содержание кислорода сохраняется относительно благоприятным практически по всему столбу воды. При этом на более глубоких станциях 1–3 отмечено незначительное снижение температуры к придонному слою воды. Снижение концентрации кислорода было более существенным, что можно считать признаком стратификации водной массы, однако даже на границе с иловыми отложениями оно составляло более 2 мг/л. На мелководных створах 4–5 отмечено практически полное перемешивание воды, сопровождающееся гомотермией и одинаковой концентрацией кислорода по столбу воды.

От верховья к приплотинной части наблюдается существенное увеличение продуктивности и ухудшение экологического состояния в водохранилище, вызванное увеличением притока фосфора в толщу воды, причем к августу ситуация значительно ухудшается.

Южная часть водохранилища гораздо менее эвтрофирована по сравнению с северной частью. Причиной этому может служить активное развитие в южной части водохранилища высшей водной растительности, которая аккумулирует и задерживает в своей биомассе биогенные элементы, поступающие в воду с территории водосбора и из донных отложений.

В период исследований не зарегистрировано наличие генов синтеза микроцистина в водохранилище. Имеющие место летние заморные явления с большой долей вероятности вызваны дефицитом кислорода в утренние часы при интенсивном потреблении кислорода фитопланктоном в процессе дыхания, а также деструкцией большого количества биомассы фитопланктона.

Водоем имеет достаточно большую рекреационную емкость, что позволяет развивать здесь различные виды рекреации. В настоящее время водохранилище представляет наибольший интерес для любительского рыболовства. В этой связи организация рекреации и туризма может быть подчинена именно данной группе отдыхающих. Наиболее приемлемым для организации оборудованной сети туристических стоянок для отдыха в естественных природных условиях является восточный берег водохранилища, занятый лесными массивами государственного лесохозяйственного учреждения «Слонимский лесхоз» (Зельвенское лесничество, кварталы 91, 108, 114, 116). Береговая линия водохранилища на данном участке представлена обрывистыми абразионными и низкими песчаными

берегами. Кроме организации мест размещения рекреантов непосредственно на берегу водохранилища Зельвянское, для расширения возможности принятия отдыхающих требуется развитие инфраструктуры в целом в регионе.

Благодарность. Работа выполнена в рамках выполнения 2-го этапа научно-исследовательской работы «Исследование водохранилища Зельвянское с целью его восстановления и оздоровления среды обитания рыб и стабилизации ресурсов ихтиофауны» (ГР № 20241046).

Acknowledgement. The work was carried out as part of the 2-nd stage of the research project “Study of the Zelyvanskoye Reservoir in order to restore and improve the fish habitat and stabilize the ichthyofauna resources” (GR No. 20241046).

Список использованных источников

1. Давидович, Ю. С. Оценка изменения водной поверхности Зельвянского водохранилища по данным дистанционного зондирования Земли / Ю. С. Давидович, Л. Н. Гертман // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии : материалы VII Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию каф. геогр. экологии Белорус. гос. ун-та, Минск, 11–15 нояб. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А. Н. Витченко (гл. ред.) [и др.]. – М. : БГУ, 2024. – С. 93–96.
2. Топаз, А. А. Радиометрическая и атмосферная коррекция космических снимков в программном комплексе ENVI : учеб.-метод. рекомендации по курсу «Цифровая обработка космических снимков» для студентов специальностей 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» / А. А. Топаз, Ю. С. Давидович. – Мн. : БГУ, 2022. – 28 с.
3. Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков : учебник / И. К. Лурье. – М. : КДУ, 2010. – 424 с.
4. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Нормативы качества воды поверхностных водных объектов : ЭкоНП 17.06.01-006-2023. – Введ. 26.04.2024. – Мн. : Мин-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2023. – 21 с.
5. Kovalevskaya, R. Z. Modification of the method of spectrophotometric determination of chlorophyll a in the suspended matter of water bodies / R. Z. Kovalevskaya, H. A. Zhukava, B. V. Adamovich // Journal of Applied Spectroscopy. – 2020. – Vol. 87, № 1. – P. 72–78. – DOI: 10.1007/s10812-020-00965-9.
6. Унифицированные методы анализа вод / под общ. ред. Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия, 1973. – 376 с.
7. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Т. С. Кишкинова, В. Т. Каплин, А. Г. Страдомская [и др.]. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.
8. Wetzel, R. G. Limnological analysis / R. G. Wetzel, G. E. Likens. – N. Y. : Springer-Verlag, 2000. – 429 p.
9. Михеева, Т. М. Методы количественного учета нанофитопланктона (обзор) / Т. М. Михеева // Гидробиологический журнал. – 1989. – Т. 25, № 4. – С. 3–21.
10. Михеева, Т. М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог / Т. М. Михеева. – Мн. : Изд-во БГУ, 1999. – 396 с.
11. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae / H. Hillebrand, C.-D. Dürselen, D. Kirschtel [et al.] // Journal of Phycology. – 1999. – № 35. – P. 403–424. – DOI: 10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x.
12. Jungblut, A.-D. Molecular identification and evolution of the cyclic peptide hepatotoxins, microcystin and nodularin, synthetase genes in three orders of cyanobacteria / A.-D. Jungblut, A. B. Neilan // Archives of Microbiology. – 2006. – № 185. – P. 107–114. – DOI: 10.1007/s00203-005-0073-5.
13. Presence and genetic diversity of microcystin-producing cyanobacteria (Anabaena and Microcystis) in Lake Kotokel (Russia, Lake Baikal Region) / O. I. Belykh, E. G. Sorokovikova, G. A. Fedorova [et al.] // Hydrobiologia. – 2011. – № 671. – P. 241–252. – DOI: 10.1007/s10750-011-0724-2.
14. Phytoplankton of the transboundary River Viliya (Neris): community structure and toxic cyanobacterial blooms / B. Adamovich, T. Mikheeva, E. Sorokovikova [et al.] // Baltica. – 2021. – Vol. 34, № 2. – P. 174–184. – DOI: 10.5200/baltica.2021.2.4.
15. Carlson, R. E. A trophic state index for lakes / R. E. Carlson // Limnol. Oceanogr. – 1977. – Vol. 11. – P. 361–369. – DOI: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
16. Long-term variations of the trophic state index in the Narochanskies lakes and its relation with the major hydroecological parameters / B. V. Adamovich, T. V. Zhukova, T. M. Mikheeva [et al.] // Water Resources. – 2016. – Vol. 43, № 5. – P. 809–817. – DOI: 10.1134/S009780781605002X.
17. Требования по содержанию поверхностных водных объектов в надлежащем состоянии и их благоустройству : ЭкоНП 17.06.08-003-2022. – Введ. 11.03.2022. – Мн. : Мин-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2022. – 40 с.
18. Relationships of total phosphorus and chlorophyll in lakes worldwide / R. Quinlan, A. Filazzola, O. Mahdian [et al.] // Limnol. Oceanogr. – 2021. – № 66. – P. 392–404. – DOI: 10.1002/lno.11611.
19. Meriluoto, J. Handbook on cyanobacterial monitoring and cyanotoxin analysis / J. Meriluoto, L. Spoof, G. A. Codd. – N. Y. : Wiley, 2017. – 576 p.
20. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности : ЭкоНП 17.01.06-001-2017. – Введ. 18.07.2017. – Мн. : Мин-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2017. – 185 с.

References

- Davidovich Yu. S., Gertman L. N. *Ocenka izmeneniya vodnoj poverxnosti Zel'vyanskogo vodoxranilishha po dannym distancionnogo zondirovaniya Zemli* [Assessment of changes in the water surface of the Zelvyanskoye Reservoir based on remote sensing data]. *Sovremennyye problemy landshaftovedeniya i geokologii: materialy VII Mezhdunar. nauch. konf., posvyashh. 90-letiyu kaf. geogr. e'kologii Belorus. gos. un-ta, Minsk, 11–15 noyab. 2024 g.* [Modern problems of landscape science and geocology: Proc. of the VII Intern. scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the Department of Geogr. Ecology of the Belarusian State University, Minsk, 11–15 November 2024.]. Minsk, 2024, pp. 93–96. (in Russian)
- Topaz A. A., Davidovich Yu. S. *Radiometricheskaya i atmosfernaya korrekciya kosmicheskix snimkov v program-mnom komplekse ENVI: ucheb.-metod. rekomendacii po kursu «Cifrovaya obrabotka kosmicheskix snimkov» dlya studentov special'nostej 1-31 02 03 «Kosmoaerokartografiya», 1-56 02 02 «Geoinformacionnyye sistemy» (po napravleniyam)* [Radiometric and atmospheric correction of space images in the ENVI software package: training and methodological recommendations for the course "Digital processing of space images" for students of specialties 1-31 02 03 "Space and aeronautical cartography", 1-56 02 02 "Geoinformation systems (by direction)"]. Minsk, BSU Publ., 2022, 28 p. (in Russian)
- Lurye I. K. *Geoinformacionnoe kartografirovanie. Metody geoinformatiki i cifrovoj obrabotki kosmicheskix snimkov: Geoinformatsionnoye kartografirovanie. Metody geoinformatiki i cifrovoj obrabotki kosmicheskix snimkov: tekhnicheskoe posobie* [Geoinformation mapping. Methods of geoinformatics and digital processing of space images: textbook]. Moscow, KDU Publ., 2010, 424 p. (in Russian)
- EcoNiP 17.06.01-006-2023. *Oxrana okruzhayushhej sredy i prirodopol'zovanie. Gidrosfera. Normativy kachestva vody poverxnostnyx vodnyx ob'ektov* [EcoNiP 17.06.01-006-2023. Environmental protection and Nature Management. Hydrosphere. Water quality standards for surface water bodies]. Minsk, Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, 2023, 21 p. (in Russian)
- Kovalevskaya R. Z., Zhukava H. A., Adamovich B. V. Modification of the method of spectrophotometric determination of chlorophyll *a* in the suspended matter of water bodies. *Journal of Applied Spectroscopy*, 2020, vol. 87, no 1, pp. 72–78. DOI: 10.1007/s10812-020-00965-9.
- Lurye Yu. Yu. *Unificirovannyye metody analiza vod* [Unified methods of water analysis]. Moscow, Chemistry Publ., 1973, 376 p. (in Russian)
- Kishkinova T. S., Kaplin V. T., Stradomskaya A. G. *Rukovodstvo po ximicheskomu analizu poverxnostnyx vod sushi* [Manual of chemical analysis of terrestrial surface waters]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1977, 541 p. (in Russian)
- Wetzel R.G., Likens G. E. *Limnological analysis*. New York, Springer-Verlag Publ., 2000, 429 p.
- Miheeva T. M. *Metody kolichestvennogo ucheta nanofitoplanktona (obzor)* [Methods for quantitative accounting of nanophytoplankton (review)]. *Gidrobiologicheskij zhurnal = Hydrobiological Journal*, 1989, vol. 25, no. 4, pp. 3–21. (in Russian)
- Miheeva T. M. *Al'goflora Belarusi. Taksonomicheskij katalog* [Algal flora of Belarus. Taxonomic catalog]. Minsk, BSU Publ., 1999, 396 p. (in Russian)
- Hillebrand H., Dürselen C.-D., Kirschtel D., Pollinger U., Zohary T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 1999, no. 35, pp. 403–424. DOI: 10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x.
- Jungblut A.-D., Neilan A. B. Molecular identification and evolution of the cyclic peptide hepatotoxins, microcystin and nodularin, synthetase genes in three orders of cyanobacteria. *Archives of Microbiology*, 2006, no. 185, pp. 107–114. DOI: 10.1007/s00203-005-0073-5.
- Belykh O. I., Sorokovikova E. G., Fedorova G. A., Kaluzhnaya O. V., Korneva E. S., Sakirko M. V., Sherbakova T. A. Presence and genetic diversity of microcystin-producing cyanobacteria (*Anabaena* and *Microcystis*) in Lake Kotokel (Russia, Lake Baikal Region). *Hydrobiologia*, 2011, no. 671, pp. 241–252. DOI: 10.1007/s10750-011-0724-2.
- Adamovich B., Mikheeva T., Sorokovikova E., Belykh O., Paškauskas R., Kuzmin A., Fedorova G., Zhukava H., Karosienė J. Phytoplankton of the transboundary River Viliya (Neris): community structure and toxic cyanobacterial blooms. *Baltica*, 2021, vol. 34, no. 2, pp. 174–184. DOI: 10.5200/baltica.2021.2.4.
- Carlson R. E. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanog.*, 1977, vol. 11, pp. 361–369. DOI: 10.4319/lo.1977.22.2.0361.
- Adamovich B. V., Zhukova T. V., Mikheeva T. M., Kovalevskaya R. Z., Luk'yanova E. V. Long-term variations of the trophic state index in the Narochanskies Lakes and its relation with the major hydroecological parameters. *Water Resources*, 2016., vol. 43, no. 5., pp. 809–817. DOI: 10.1134/S009780781605002X.
- EcoNiP 17.06.08-003-2022. *Trebovaniya po sodержaniyu poverxnostnyx vodnyx ob'ektov v nadlezhashhem sostoyanii i ix blagoustrojstvu* [EcoNiP 17.06.08-003-2022. Requirements for the maintenance of surface water bodies in proper condition and their improvement]. Minsk, Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, 2022, 40 p. (in Russian)
- Quinlan R., Filazzola A., Mahdian O., Shuvo A., Blagrove K., Ewins C., Moslenko L., Gray D. K., O'Reilly C. M., Sharma S. Relationships of total phosphorus and chlorophyll in lakes worldwide. *Limnol. Oceanog.*, 2021, no. 66, pp. 392–404. DOI: 10.1002/lno.11611.
- Meriluoto J., Spoof L., Codd G. A. *Handbook on cyanobacterial monitoring and cyanotoxin analysis*. New York, Wiley Publ., 2017, 576 p.
- EcoNiP 17.01.06-001-2017. *Oxrana okruzhayushhej sredy i prirodopol'zovanie. Trebovaniya e'kologicheskoy bezopasnosti* [EcoNiP 17.01.06-001-2017. 27. Environmental Protection and Nature Management. Environmental Safety Requirements]. Minsk, Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, 2017, 185 p. (in Russian)

Информация об авторах

Гертман Любовь Николаевна – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета (ул. Ленинградская, 16, 220030, г. Минск, Беларусь). E-mail: lubov.hertman@yandex.by

Адамович Борис Владиславович – кандидат биологических наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией гидроэкологии биологического факультета Белорусского государственного университета (ул. Курчатова, 10, 220030, г. Минск, Беларусь). E-mail: belqualab@gmail.com

Давидович Юрий Сергеевич – аспирант кафедры почвоведения и геоинформационных систем факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета (ул. Ленинградская, 16, 220030, г. Минск, Беларусь). E-mail: seg98001@gmail.com

Рудаковский Игорь Алексеевич – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета (ул. Ленинградская, 16, 220030, г. Минск, Беларусь). E-mail: rudakovski@bsu.by

Макаревич Олег Анатольевич – старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета Белорусского государственного университета (ул. Курчатова, 10, 220030, г. Минск, Беларусь). E-mail: oleg_mak69@mail.ru

Верес Юлия Константиновна – кандидат биологических наук, начальник Нарочанской биологической станции им. Г. Г. Винберга» Белорусского государственного университета (ул. Набережная, 8, 222395б, к. п. Нарочь, Беларусь). E-mail: veres.julia.naroch@gmail.com

Information about the authors

Lubov N. Hertman – Senior Researcher of the Landscape Ecology Research Laboratory of the Faculty of Geography and Geoinformatics of the Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Belarus). E-mail: lubov.hertman@yandex.ru

Boris V. Adamovich – Ph. D. (Biology), Head of Research Laboratory of Aquatic Ecology of the Faculty of Biology of the Belarusian State University (Kurchatov St., 10, 220030, Minsk, Belarus). E-mail: belqualab@gmail.com

Yury S. Davidovich – Postgraduate student of the Department of Soil Science and Geoinformatic, Junior Research Assistant of the Landscape Ecology Research Laboratory of the Faculty of Geography and Geoinformatics of the Belarusian State University (16, Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Belarus). E-mail: seg98001@gmail.com

Igor A. Rudakovsky – Senior Researcher of the Landscape Ecology Research Laboratory of the Faculty of Geography and Geoinformatics of the Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Belarus). E-mail: rudakovski@bsu.by

Oleg A. Makarevich – Senior Researcher of the Research Laboratory of Aquatic Ecology of the Faculty of Biology of the Belarusian State University (10, Kurchatov St., 220030, Minsk, Belarus). E-mail: oleg_mak69@mail.ru

Yulia K. Veres – Ph. D. (Biology), Head of the G. G. Vinberg Naroch Biological Station of the Belarusian State University (8, Naberezhnaya St., 222395b, Naroch, Belarus). E-mail: veres.julia.naroch@gmail.com