

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.3.646-659>

УДК 631.95:626.81:504.064.36

Расширение возможностей применения физико-химического мониторинга поверхностных вод в условиях эвтрофирования

© 2026. А. С. Неваев ✉

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск,
Российская Федерация

Сохраняющийся высокий уровень антропогенного воздействия на естественные водные объекты неизбежно приводит к ухудшению их экологического состояния. В подобных условиях перед аграриями появляется необходимость в обеспечении контроля за качеством водных ресурсов, который может быть осуществлен с помощью физико-химического мониторинга. Несмотря на преимущества данного подхода, существующие ограничения по интерпретации получаемых результатов, особенно в условиях эвтрофированного водоема, являются существенной преградой перед широкой реализацией данного подхода на практике. В статье представлены результаты разработки методики учета фактора эвтрофирования при проведении мониторинга водных объектов с помощью физико-химических методов, которая обеспечивает лучшую интерпретацию получаемых сведений и делает возможной реализацию мониторингового процесса данного типа в условиях эвтрофированных вод. В основу данной методики была положена изменчивость базовых гидрохимических показателей водной среды (рН, концентрация растворенного кислорода, уровень общей минерализации), обусловленная жизнедеятельностью фитопланктона. Для подтверждения гипотезы о возможности совместного использования данных показателей при проведении мониторинга эвтрофированных вод в районе Центрального плеса Куйбышевского водохранилища в 2022–2024 гг. определены корреляционные взаимосвязи плотности скоплений фитопланктона с содержанием растворенного кислорода (0,56...0,77), водородным показателем (0,49...0,63) и общей минерализацией (–0,57...–0,72). Полученные результаты позволили выявить стабильную умеренно-высокую корреляционную связь между исследуемыми величинами, а также определенную конфигурацию их изменчивости в зависимости от наличия в воде фитопланктона. На основе данной взаимосвязи разработана вышеупомянутая методика, которая сводится к определению трех новых величин: специфической изменчивости гидрохимических показателей (K_p), степени влияния на гидрохимические показатели фактора фитопланктона (F_p), величины присутствия фитопланктона в водной среде (P), позволяющих расширить возможности стандартного физико-химического мониторинга в условиях повсеместного антропогенного эвтрофирования и оценить пригодность водоемов для сельскохозяйственных практик.

Ключевые слова: гидрохимический анализ, фитопланктон, водные ресурсы, сельское хозяйство, загрязнение, экология водоемов

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Неваев А. С. Совершенствование физико-химического мониторинга поверхностных вод в условиях эвтрофирования. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(3):646–659.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.3.646-659>

Поступила: 05.12.2025

Принята к публикации: 01.06.2026

Доработана после рецензирования: 11.03.2026

Опубликована онлайн: 30.06.2026

Expanding the possibilities of using physical and chemical monitoring of surface water in eutrophic conditions

© 2026. Alexey S. Nevaev ✉

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russian Federation

The continued high level of anthropogenic impact on natural water bodies inevitably leads to a deterioration in their ecological state. In such conditions, farmers need to ensure control over the quality of water resources, which can be achieved through physical and chemical monitoring. Despite the advantages of this approach, the existing limitations in interpreting the results, especially in eutrophic water bodies, pose a significant obstacle to its widespread implementation in practice. The article presents an attempt to develop a methodology for accounting for the eutrophication factor when monitoring water bodies using the physical and chemical method, which provides a better interpretation of the obtained data and makes it possible to implement this type of monitoring process in eutrophied waters. This methodology is based on the variability of basic hydrochemical parameters of the aquatic environment (pH, dissolved oxygen concentration, total mineralization), which are subject to

variability as a result of phytoplankton activity. In 2022–2024, in the Central Reach of the Kuybyshev Reservoir, correlation relationships between the density of phytoplankton clusters and the content of dissolved oxygen (0.56...0.77), hydrogen index (0.49...0.63), and total mineralization (–0.57...–0.72) were determined to confirm the hypothesis about the possibility of using these indicators together in the monitoring process of eutrophic waters. The research results revealed a stable moderate-high correlation between the studied variables, as well as a specific pattern of their variability depending on the presence of phytoplankton in the water. Based on this interaction, the above-mentioned methodology has been developed, which involves the determination of three new values: specific variability of hydrochemical parameters (KD), the degree of influence of the phytoplankton factor on hydrochemical parameters (FD), as well as the amount of phytoplankton present in the aquatic environment (P). These indicators make it possible to expand the capabilities of standard physical and chemical monitoring in the context of widespread anthropogenic eutrophication and assess the suitability of water bodies for agricultural practices.

Keywords: hydrochemical analysis, phytoplankton, water resources, agriculture, pollution, ecology of reservoirs

Acknowledgments: the research was carried out without financial support within the initiative topics.

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated no conflict of interest.

For citation: Nevaev A. S. Improving the physical and chemical monitoring of surface water under conditions of eutrophication. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(3):646–659. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.3.646-659>

Received: 05.12.2025

Revised: 11.03.2026

Accepted for publication: 01.06.2026

Published online: 30.06.2026

Увеличение масштаба и объема ведения хозяйственной деятельности человека за последнее время сопровождается серьезной техногенной нагрузкой на природные водные объекты [1]. К наиболее негативным последствиям, обусловленным сложившейся ситуацией, относится антропогенное эвтрофирование, источниками которого среди прочих нередко выступают объекты сельского хозяйства. Существенное увеличение биомассы фитопланктона, в результате насыщения водной среды биогенами, приводит к серьезным экологическим последствиям для водоема, а также снижает общее качество его воды, значимого для всего агропромышленного комплекса в целом [1].

Главным образом изменению подвергаются органолептические характеристики и физико-химические параметры воды [2], приводя к невозможности ее использования в оросительных целях.

Отсюда следует, что контроль гидрохимических показателей водной среды поверхностных водоемов, расположенных вблизи объектов сельского хозяйства, является важной задачей в рамках обеспечения соответствия сельскохозяйственной продукции высоким современным стандартам безопасности и качества как в России, так и за рубежом.

Существенную помощь в данной проблеме способны оказать экологические мониторинговые мероприятия, позволяющие заблаговременно предупредить негативные изменения объекта наблюдения, не допустив наступления необратимых последствий.

Особый интерес при этом вызывают физико-химические методы, представляющие собой наиболее распространенный и эффек-

тивный инструмент осуществления экологического мониторинга водных объектов за счет использования широкого перечня оборудования, позволяющего обеспечить комплексную оценку состояния водной среды с высокой достоверностью. К основным достоинствам данного подхода можно отнести относительную доступность приборов на рынке, оперативность и автоматизацию мониторингового процесса, а также возможность реализации в ходе изучения водоемов, подверженных эвтрофированию.

Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества, физико-химический мониторинг является контактным, что выражается в локальности его применения. Кроме того, несовершенным остается инструментарий, направленный на интерпретацию получаемых результатов мониторинга, особенно в условиях воздействия нескольких факторов, обуславливающих изменчивость гидрохимических показателей воды.

В настоящее время существует необходимость в совершенствовании мониторингового процесса поверхностных вод, основанного на физико-химических методах. Причем, принимая во внимание сложившуюся ситуацию с повсеместным биогенным загрязнением водоемов со стороны объектов сельского хозяйства, важным направлением развития данного вида мониторинга будет являться возможность его беспрепятственного использования, даже в условиях эвтрофированного водоема.

Цель исследований – разработка методики по учету фактора эвтрофирования при осуществлении экологического мониторинга водных объектов с помощью физико-химических методов.

Научная новизна – впервые в условиях центрального плёса Куйбышевского водохранилища установлена корреляционная связь между гидрохимическими показателями и скоплениями фитопланктона. На основании полученных результатов разработана методика учета фактора эвтрофирования при проведении мониторинга водных объектов с помощью физико-химических методов.

Материал и методы. При разработке методики учета фактора эвтрофирования на результаты физико-химического мониторинга за основу была взята изменчивость гидрохимических показателей, обусловленная жизнедеятельностью фитопланктонных сообществ, а именно:

- водородного показателя (рН);
- показателя общей минерализации (TDS);
- концентрации растворенного кислорода (O_2).

Следует подчеркнуть, что вышеуказанные гидрохимические показатели являются основой при оценке качества водных ресурсов, а также важны при осуществлении сельскохозяйственных мероприятий.

Высокую значимость, с точки зрения сельскохозяйственных нужд, имеет общая минерализация и уровень рН, в особенности для животноводства и ирригации [3]. Немаловажным параметром также выступает и содержание растворенного кислорода, участвующего в окислении органических соединений и играющего определяющую роль для аквакультуры [4].

Наряду с вышеизложенным данные гидрохимические показатели применяются при оценке трофности поверхностных водных объектов [5, 6]. Однако на сегодняшний день, совместной конфигурации таких гидрохимических параметров, как водородный показатель (рН), концентрация растворенного кислорода и показатель общей минерализации, в расчетах не встречается.

В связи с этим предпринята попытка провести исследование по взаимосвязи данных параметров в условиях реального водоема, подверженного высокой биогенной нагрузке со стороны объектов сельского хозяйства.

Принимая во внимание сложившуюся неблагоприятную экологическую обстановку в водоемах Среднего Поволжья [7], в качестве целевого водоема для исследования было решено рассмотреть крупнейшее водохранилище волжского каскада – Куйбышевское.

На протяжении длительного времени воды данного водохранилища относятся к классу «загрязненных» (3-й класс). В 2023 г. загрязненность воды Куйбышевского водохранилища ниже г. Казань аммонийным азотом возросла в среднем до 2 ПДК. При этом в сентябре того же года был зарегистрирован один случай высокого загрязнения аммонийным азотом¹.

Из общего объёма диффузных загрязнений Куйбышевского водохранилища 60 % приходится на поверхностный сток с полей, 20 % – на сток с объектов животноводства, 10 % – на поверхностный сток с урбанизированных территорий, 7 % – на сбросы водного транспорта, 3 % – следствие рекреационной деятельности и прочих воздействий. По поступлению биогенов наибольшую нагрузку испытывают верхние и средние части водохранилища [8].

По некоторым оценкам, биогенная нагрузка на Куйбышевское водохранилище составляет 40 559 т N/год и 1496 т P/год для условий средней водности. Вклад левобережной части составляет порядка 69 % по фосфору и 73 % по азоту от значения суммарной нагрузки [9].

Трофический статус Куйбышевского водохранилища, оцененный по среднему содержанию хлорофилла *a*, в разные годы меняется от мезотрофного до умеренно эвтрофного и эвтрофного [10].

Отдельный интерес с точки зрения антропогенной нагрузки сельскохозяйственных объектов на поверхностные воды представляет крупнейший плёс Куйбышевского водохранилища – Центральный. Он включает в себя зауженную часть с несколькими расширениями и расположен от г. Тетюши (Республика Татарстан) до г. Сенгилей (Ульяновская область). Общая площадь данного участка – 162 000 га.

Акватория Центрального плёса примечательна большим количеством крупных заливов, образованных в результате затопления надпойменных территорий. По мере приближения к южной границе течение ослабевает, глубина уменьшается.

Видовой состав фитопланктона довольно богат. По числу видов преобладают диатомовые, зеленые, эвгленовые и цианобактерии. Менее разнообразны золотистые – 6 %, динофитовые и желтозеленые – 4 % [11].

¹Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2023 год. М., 2024. 215 с.
URL: https://www.meteorf.gov.ru/upload/iblock/42b/Обзор%202023_010724.pdf

Берега центрального плёса граничат сразу с несколькими районами Ульяновской области, отличающимися высокой земледельческой освоенностью: Ульяновским (посевные площади 61,3 тыс. га), Чердаклинским (94,5 тыс. га) и Старомайным (59,2 тыс. га)², что и послужило основанием для проведения исследования на данном участке.

Для оценки искомой взаимосвязи был проведен корреляционный анализ между концентрацией растворенного кислорода, водородного показателя (рН), общей минерализации и обилием фитопланктона.

Объектами исследования являлись прибрежные акватории Куйбышевского водохранилища, граничащие с зонами высокой земледельческой активности. Гидрохимические пробы (содержание растворенного кислорода (O₂, мг/л)³, водородный показатель (рН)⁴, общая минерализация (TDS, мг/л)⁵ были отобраны на 6 организованных пунктах отбора, соответствующих береговым зонам наиболее развитых сельскохозяйственных районов Ульяновской области.

Ульяновский район расположен в северной части Ульяновской области. Общая площадь территории – 127302 га, из которой 85714 га (67,3 %) занимают земли сельскохозяйственного назначения. Протяженность береговой линии с Куйбышевским водохранилищем составляет примерно 55,7 км (за вычетом территории г. Ульяновска), около 39,3 % которой (21,9 км) сопряжено с посевными площадями. Учитывая, что северная часть береговой полосы Ульяновского района преимущественно занята лесными насаждениями, наибольший интерес для исследования представляет ее южная часть.

На юго-востоке Ульяновской области расположен Чердаклинский район. Общая площадь его земель – 244144 га, 59,8 % (146112 га) которой приходится на земли сельскохозяйственного назначения. Длина береговой линии с Куйбышевским водохранилищем в границах Центрального плёса (за вычетом территории г. Ульяновска) составляет приблизительно 85,5 км – 33,4 км (39 %) которой сопряжено

с возделываемыми землями. Принимая во внимание наличие лесной растительности вблизи береговой линии на северной и южной сторонах, в целях исследования было принято решение выбрать для изучения восточную часть.

Старомайнский район расположен в северо-восточной части Заволжской зоны Ульяновской области. Общая площадь земель района – 204410 га, из которых 116306 га (56,9 %) составляют земли сельскохозяйственного назначения. Протяженность береговой линии с Куйбышевским водохранилищем достигает порядка 103 км – около 38 км (36,8 %) которой сопряжено с посевными площадями. В силу значительной протяженности береговой линии было принято решение организовать отбор проб в 2 пунктах, удаленных друг от друга на 20 км.

Определение протяженности береговых линий с Куйбышевским водохранилищем осуществляли с помощью инструмента «линейка», встроенного в поисково-информационный картографический сервис «Яндекс Карты».

Отбор проб производили еженедельно с апреля по ноябрь 2022–2024 гг. из поверхностного слоя воды (40 см) в первой половине дня (10.00–12.00) в прибрежной части глубиной 1,5 м с соблюдением необходимых требований⁶. Всего за период исследований было отобрано 576 проб.

В рамках специфики данного исследования важной составляющей является качественная оценка изменения биомассы фитопланктона в водной среде. Принимая это во внимание, а также учитывая результаты исследования К. И. Абрамовой и др. [4], в котором выявленная теснота связи между таксономическими группами фитопланктона и значениями растворенного кислорода в разные периоды исследования оказалась слишком неоднородной, было принято решение дать оценку численности фитопланктона, основываясь на качественном определении плотности его скоплений, используя методику измерения прозрачности воды с помощью диска Секки на месте отбора.

²Посевные площади сельскохозяйственных культур в Ульяновской области под урожай 2024 года (в хозяйствах всех категорий). Ульяновскстат, 2024. [Электронный ресурс]. URL: [https://73.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Посевные%20площади%20сх%20культуры%20за%202024г\(1\).pdf](https://73.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Посевные%20площади%20сх%20культуры%20за%202024г(1).pdf) (дата обращения: 25.11.2025).

³РД 52.24.419 – 2019. Массовая концентрация растворённого кислорода в водах. Методика измерений йодометрическим методом. Ростов-на-Дону, 2019. 28 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293726/4293726785.htm>

⁴РД 52.24.495 – 2017. Водородный показатель вод. Методика измерений потенциометрическим методом. Ростов-на-Дону, 2017. 17 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293739/4293739174.pdf>

⁵РД 52.24.468 – 2019. Массовая концентрация взвешенных веществ и сухого остатка в водах. Методика измерений гравиметрическим методом. Ростов-на-Дону, 2020. 24 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293722/4293722430.htm>

⁶ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб: М.: Российский институт стандартизации, 2023. 34 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/74335/?ysclid=mpsasuzn6b686487963>

Таблица 1 – Пункты наблюдения гидробиологических и гидрохимических параметров Куйбышевского водохранилища в районе Центрального плёса /

Table 1 – Points of observation of hydrobiological and hydrochemical parameters of the Kuibyshev Reservoir in the Central Reach

<i>№ пункта / The number of point</i>	<i>Местоположение пункта наблюдения / Location of the observation point</i>	<i>Широта, ° с. ш. / Latitude</i>	<i>Долгота, ° в. д. / Longitude</i>
1	Вблизи с. Криуши (городской округ Новоульяновск) / Near the village of Kriushi (Novoulyanovsk city district)	54,10732	48,5606
2	Поблизости от с. Панская Слобода (городской округ Новоульяновск) / Near the village of Panskaya Sloboda (Novoulyanovsk city district)	54,1197	48,48653
3	Неподалеку от п. Белая Рыбка (Чердаклинский район, Ульяновская область) / Not far from the village of Belaya Rybka (Cherdaklinsky district, Ulyanovsk region)	54,14494	48,72797
4	Около коттеджного п. Нагорный (Чердаклинский район, Ульяновская область) / Near the cottage village of Nagorny (Cherdaklinsky district, Ulyanovsk region)	54,10279	48,84315
5	Возле д. Малиновка (Старомайнский муниципальный округ, Ульяновская область) / Near the village of Malinovka (Staromainsky municipal district, Ulyanovsk region)	54,53961	48,90358
6	Между с. Волжское и с. Волостниковка (Старомайнский муниципальный округ, Ульяновская область) / Between Volzhskoye and Volostnikovka village (Staromainsky municipal district, Ulyanovsk region)	54,70935	48,98323

Категорирование плотности скоплений фитопланктона для данной задачи осуществлено на основе результатов А. А. Молькова и др. [12], адаптированных под условия проведения исследования (табл. 2).

Выбор меньшей глубины обнаружения диска Секки обусловлен возможностью снизить влияние мутности и цветности воды на итоговые результаты. Таким образом, необходимые измерения осуществляли в водной

среде, прозрачность которой, преимущественно, зависела от присутствия в ней биомассы фитопланктона.

При этом стоит отметить, что использование вышеуказанного подхода может быть ограничено в условиях низкой прозрачности воды, связанной как с морфологическими особенностями акватории, так и гидрологическими факторами водоема (колебания уровня воды, волнение и пр.).

Таблица 2 – Критерии оценки плотности скоплений фитопланктона на основе измерения прозрачности воды /
Table 2 – Criteria for assessing the density of phytoplankton aggregations based on water transparency measurements

<i>Глубина обнаружения диска Секки, м / Secchi disk detection depth, m</i>	<i>Категория / Category</i>	<i>Значение / Meaning</i>
1,5	0	Скопления фитопланктона незначительны или вовсе отсутствуют / Phytoplankton accumulations are insignificant or completely absent
1,4–1,0	1	Малая плотность / Low density
1,0–0,5	2	Высокая плотность / High density
≤ 0,5	3	Сверхвысокая плотность / Ultra-high density

Для анализа взаимосвязи был применен непараметрический метод – корреляционный коэффициент Спирмена, позволяющий определить тесноту (силу) и направление корреляционной связи между двумя признаками. Оценка тесноты связи проведена по Чеддоку (до 0,3 – слабая; 0,3–0,5 – умеренная; 0,5–0,7 – заметная; 0,7–0,9 – высокая)⁷. Статистический анализ

данных выполнен с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Весенний период (апрель – май) сопровождался значениями гидрохимических показателей, варьирующих в следующих пределах: растворенный кислород – 3,6–5,5 мг/л; водородный показатель (рН) – 8,22–8,86; общая минерализация – 226–280 мг/л

⁷Ксендзенко Л. С., Бойко Л. А., Шишкин А. В. Элементы теории корреляции. Владивосток: Дальневосточный ФУ, 2025. 71 с.

(рис. 1, а, б, в). Имеющийся разброс показаний приборов обусловлен различными особенностями мест пробоотбора (наличие или отсутствие течения, удаленность от города и крупных поселений, морфология участка, прибрежный рельеф и пр.). Вместе с тем было замечено, что в более проточных зонах (пункты 2 и 6) значения концентрации растворенного кислорода были заметно выше по сравнению с остальными наблюдаемыми участками, характеризующимися как более застойные. Это подчеркивает повышенную лабильность кислорода в проточных водоемах, связанную с рядом внутренних и внешних факторов. При этом сколько-нибудь заметные скопления фитопланктона обнаружены только в пунктах 5 и 6 (категория 1).

Начало летнего периода (июнь) характеризовалось повышением концентрации растворенного кислорода во всех пунктах – в диапазоне 6,0–7,4 мг/л. Кроме того, было замечено повсеместное повышение уровня рН, значения которого составляли 8,46–9,18, а также снижение общей минерализации – 187–229 мг/л. Данные изменения объясняются началом сезонной вегетации фитопланктона, так как его скопления разной плотности уже обнаруживали во всех пунктах наблюдения (категории 1 и 2).

В июле вышеуказанная тенденция изменений гидрохимических параметров воды сохранялась, однако в пунктах 2 и 6 периодически наблюдали снижение плотности скоплений (вплоть до категории 0), что сопровождалось заметным понижением концентрации кислорода и уровня рН, а также небольшим постепенным ростом минерализации. Это может быть объяснено гидродинамической нейтральностью фитопланктона, что позволяет допустить возможность его переноса из наблюдаемой области посредством движения водных масс и ветра. Стоит отметить, что в остальных пунктах (1, 3, 4, 5) также временами отмечалось снижение плотности скоплений фитопланктона, но гораздо в меньшем объеме (не опускались ниже категории 1). Вышеописанная конфигурация гидрохимических изменений также присутствовала, однако в меньшем диапазоне.

В августе продолжался повсеместный рост концентрации растворенного кислорода, достигшей 6,7–8,3 мг/л, значений водородного показателя, находившегося в диапазоне 8,96–

10,23, на фоне снижающейся общей минерализации – 160–181 мг/л. Скопления фитопланктона заметно увеличились (категория 2-3) с сохранением периодических колебаний по плотности, особенно в пунктах 2 и 6.

Начало осеннего сезона (сентябрь) в 2022 г. сопровождалось средней температурой воздуха – 16,5 °С и низкой инсоляцией, что повлияло на активность фитопланктона, в силу чего повсеместно наблюдалось снижение плотности его скоплений, а также растворенного кислорода и рН. В 2023-2024 гг. сложились благоприятные погодные условия, что привело к повторной вспышке вегетации. Кислород фиксировали в интервале 7,5–8,6 мг/л, а водородный показатель – 9,18–10,34. Общая минерализация находилась в диапазоне 153–168 мг/л. Плотность скоплений фитопланктона оставалась значительной (категория 2, 3).

В течение последующих месяцев (октябрь – ноябрь) за весь период исследований сохранялась стойкая тенденция к снижению гидрохимических показателей и к концу наблюдений концентрация растворенного кислорода составила 4,3–5,5 мг/л, рН – 7,66–8,34, общая минерализация находилась в диапазоне 148–162 мг/л. Плотность скоплений фитопланктона также существенно уменьшилась (категории 0, 1).

Содержание растворенного кислорода в поверхностном слое центрального плёса Куйбышевского водохранилища за весь период наблюдений опускалось ниже нормативных значений (4,0 мг/л) лишь в нескольких пунктах (1 и 5) и только в весенний период. Примечательно, что данные точки характеризуют наиболее застойные участки рассматриваемой акватории. Его средние значения (табл. 3) в большинстве случаев достигают ПДК, установленной для рыбохозяйственных водоемов (6,0 мг/л)⁸. Средние значения водородного показателя находятся в пределах нормы (6,0–9,0), однако во время активной вегетации фитопланктона верхний порог периодически превышался. Показатель общей минерализации, как и ее средние значения за время всего исследования находились в диапазоне, позволяющем отнести воды рассматриваемой акватории к категориям ультрапресных-пресных вод (менее 200 мг/л – ультрапресные; 200–500 мг/л – пресные).

⁸Приложение № 1 к приказу Росрыболовства от 26 мая 2025 г. № 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rosrybolovstva-ot-26052025-n-296-ob-utverzhdenii-normativov/> (дата обращения: 25.11.2025).

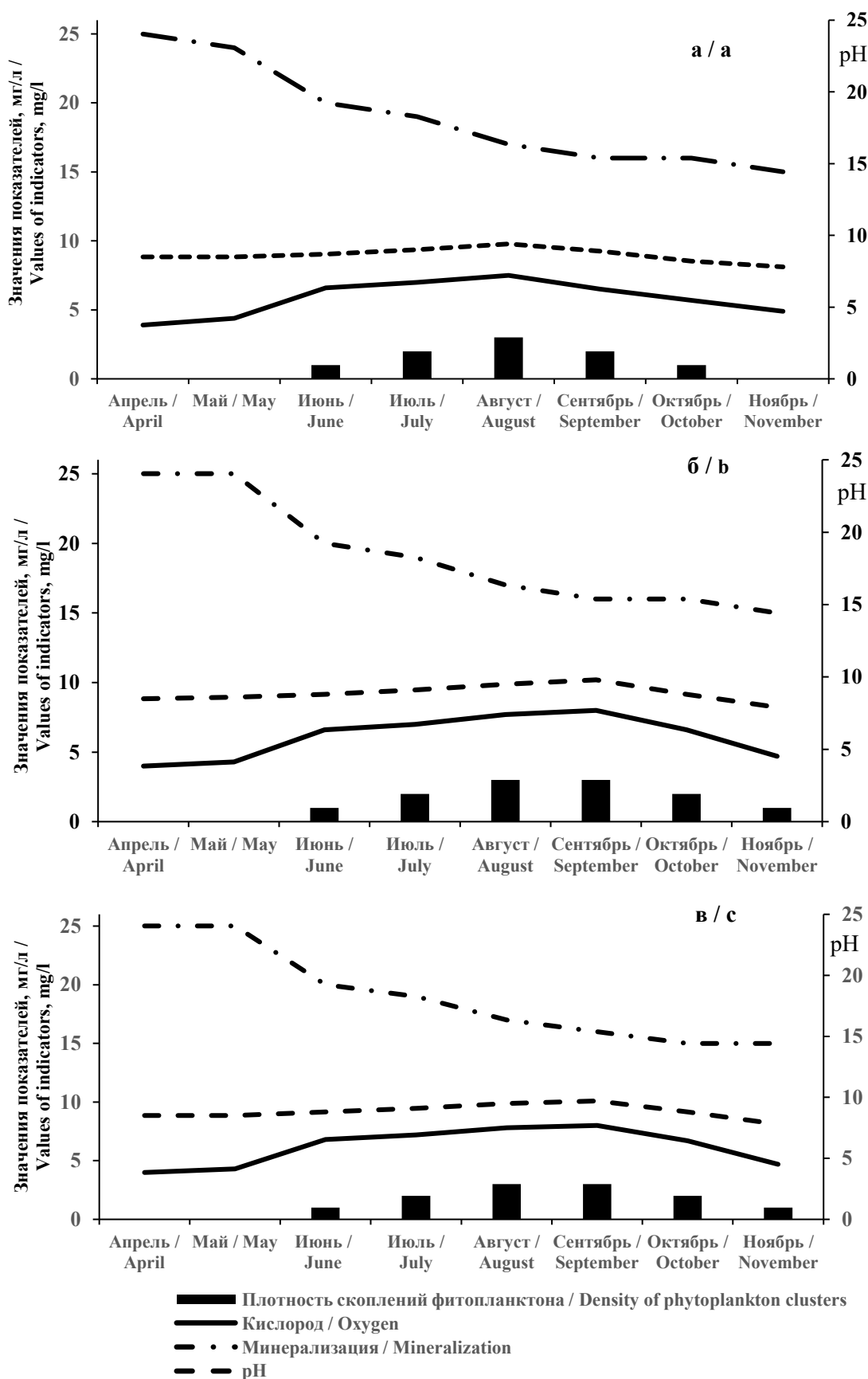


Рис. 1. Динамика изменчивости гидрохимических показателей центрального плёса Куйбышевского водохранилища: а – 2022 г.; б – 2023 г.; в – 2024 г. /

Fig. 1. Dynamics of variability of hydrochemical indicators in the Central Reach of the Kuybyshev Reservoir: а – 2022; б – 2023; в – 2024

Таблица 3 – Средние значения гидрохимических показателей центрального плёса Куйбышевского водохранилища за период исследования (2022–2024 гг.) /

Table 3 – Average values of hydrochemical indicators in the Central Reach of the Kuybyshev Reservoir during the study period (2022–2024)

<i>Год / Year</i>	<i>Растворенный кислород, мг/л / Dissolved oxygen, mg/l</i>	<i>Водородный показатель (pH) / The hydrogen index (pH)</i>	<i>Общая минерализация, мг/л / Total mineralization, mg/l</i>
2022	5,84±1,14	8,67±0,48	196,18±32,65
2023	6,16±1,30	8,92±0,54	195,58±33,39
2024	6,23±1,38	8,87±0,55	194,29±34,19

Установлено, что кислородный режим поверхностных вод зависит от целого ряда факторов, однако для водоемов с низкой проточностью значительный вклад в обогащение воды кислородом привносит альгоценоз [13]. Этим и объясняется увеличение содержания растворенного кислорода во время его активной вегетации.

Рост уровня pH в данные периоды также обусловлен поглощением фитопланктоном углекислого газа (CO_2) в процессе фотосинтеза, что способствует уменьшению концентрации свободных ионов водорода (H^+) и ведет к повышению pH.

Зафиксированные изменения общей минерализации предположительно связаны с истощением минеральных солей азота (нитраты, нитриты и соли аммония) и фосфора

(фосфиты, метафосфаты, ортофосфаты, пирофосфаты), а также бикарбонатов в ходе сезонной динамики развития фитопланктона.

В таблице 4 представлены коэффициенты корреляции между плотностью скоплений фитопланктона и исследуемыми гидрохимическими показателями воды центрального плёса Куйбышевского водохранилища.

Проведенный корреляционный анализ позволил выявить положительную заметно-высокую тесноту связи численности фитопланктона (выраженную через плотность его скоплений) с содержанием растворенного кислорода, положительную умеренно-заметную связь с водородным показателем, а также отрицательную заметно-высокую связь с общей минерализацией.

Таблица 4 – Коэффициент корреляции Спирмена гидрохимических показателей с плотностью скоплений фитопланктона ($p < 0,05$) за исследуемый период /

Table 4 – Spearman correlation coefficient of hydrochemical indicators with the density of phytoplankton clusters ($p < 0.05$) for the study period

<i>№ пункта / The number of point</i>	<i>Растворенный кислород / Dissolved oxygen</i>	<i>Водородный показатель (pH) / The hydrogen index (pH)</i>	<i>Общая минерализация / Total mineralization</i>
1	0,68	0,51	-0,71
2	0,59	0,49	-0,57
3	0,65	0,57	-0,61
4	0,64	0,55	-0,67
5	0,77	0,63	-0,69
6	0,56	0,59	-0,72

Примечательно, что сила взаимосвязи между рассматриваемыми показателями на участках наблюдения неоднородна, однако, анализируя полученные результаты, можно обнаружить некоторые особенности. Так, значения коэффициента корреляции у водородного показателя заметно ниже по сравнению с другими, что может быть связано с высокой лабильностью данного параметра.

Вместе с тем данные, полученные на более проточных участках (пункты 2 и 6), демонстрируют меньшие корреляционные значения растворенного кислорода относительно менее проточных зон, что подчеркивает доминирующую роль фитопланктона как фактора, регулирующего кислородный режим на данных участках акватории.

Таким образом, полученные результаты исследования позволили выявить следующую зависимость:

1. При $\Delta D > 0$:

Пусть $A = f(D)$, $B = g(D)$, $C = h(D)$, тогда

$$\Delta D > 0 \Rightarrow \begin{cases} f'(D) > 0 \\ g'(D) > 0, \\ h'(D) < 0 \end{cases} \quad (1)$$

где A – концентрация растворенного кислорода; B – водородный показатель (рН); C – общая минерализация; D – количество фитопланктона.

2. При $\Delta D < 0$:

Пусть $A = f(D)$, $B = g(D)$, $C = h(D)$, тогда

$$\Delta D < 0 \Rightarrow \begin{cases} f'(D) < 0 \\ g'(D) < 0 \\ h'(D) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

На практике изменчивость переменных A , B и C – зависит от различных факторов, однако результаты проведенного исследования показывают, что при влиянии исключительно переменной D – вышеуказанные показатели

склонны изменяться в конфигурации, описанной выражениями (1-2).

Это позволяет определить диапазон значений величины специфической изменчивости гидрохимических показателей (K_D) в зависимости от размера скоплений фитопланктона и вывести математическое выражение, определяющее степень его влияния (F_D) на исследуемые показатели – для идентификации фитопланктона в водной среде, косвенной оценки величины его скоплений, а также интерпретации изменчивости гидрохимических показателей с учетом данного фактора в рамках проведения экологического мониторинга эвтрофированных водных объектов с помощью физико-химического метода.

Принимая во внимание диапазон изменения A (0–8 мг/л), B (0–4) и C (0–200 мг/л) при проведении исследования, а также допустив линейный характер их изменчивости, получим значения величины специфической изменчивости гидрохимических показателей (K_D) в зависимости от размера скоплений фитопланктона (табл. 5).

Таблица 5 – Диапазон значений (K_D) от изменчивости концентрации растворенного кислорода (ΔA), водородного показателя (ΔB) и общей минерализации (ΔC) в ходе мониторинга /

Table 5 – Range of values (K_D) from the variability of dissolved oxygen concentration (ΔA), hydrogen index (ΔB), and total mineralization (ΔC) during monitoring

ΔA	ΔB	ΔC	K_D
1	2	3	4
0,2	0,1	-5	1
0,4	0,2	-10	2
0,6	0,3	-15	3
0,8	0,4	-20	4
1,0	0,5	-25	5
1,2	0,6	-30	6
1,4	0,7	-35	7
1,6	0,8	-40	8
1,8	0,9	-45	9
2,0	1,0	-50	10
2,2	1,1	-55	11
2,4	1,2	-60	12
2,6	1,3	-65	13
2,8	1,4	-70	14
3,0	1,5	-75	15
3,2	1,6	-80	16
3,4	1,7	-85	17
3,6	1,8	-90	18
3,8	1,9	-95	19
4,0	2,0	-100	20

Продолжение табл. 5

1	2	3	4
4,2	2,1	-105	21
4,4	2,2	-110	22
4,6	2,3	-115	23
4,8	2,4	-120	24
5,0	2,5	-125	25
5,2	2,6	-130	26
5,4	2,7	-135	27
5,6	2,8	-140	28
5,8	2,9	-145	29
6,0	3,0	-150	30
6,2	3,1	-155	31
6,4	3,2	-160	32
6,6	3,3	-165	33
6,8	3,4	-170	34
7,0	3,5	-175	35
7,2	3,6	-180	36
7,4	3,7	-185	37
7,6	3,8	-190	38
7,8	3,9	-195	39
8,0	4,0	-200	40

Примечания / Notes: $K_{Dmin} = 1$; $K_{Dmax} = 40$.

Необходимо отметить, что приведенный выше диапазон значений специфической изменчивости гидрохимических показателей (K_D) не ограничивается Куйбышевским водохранилищем, а может быть применен и для других водных объектов, у которых изменчивость А, В и С в ходе мониторинга лежит в указанных пределах (табл. 5). В случае, если морфологические особенности водоема или характеристика влияния фитопланктона на А, В и С способствуют получению значений, выходящих за вышеуказанные границы, допустимо расширить диапазон значений K_D , соблюдая условие линейного характера изменчивости А, В и С. Объем наблюдений предполагает как

можно большее количество измерений в периоды интенсивной вегетации фитопланктона, что обусловлено высокой лабильностью гидрохимических параметров и периодическим перемещением скоплений фитопланктона под воздействием потоков воды. Целесообразным представляется использование данного подхода совместно с автоматизированными стационарными или мобильными устройствами и системами мониторинга, обеспечивающими проведение измерений на регулярной основе.

Качественная характеристика скоплений фитопланктона в водной среде относительно величины K_D определяется с помощью следующей таблицы 6.

Таблица 6 – Значения величины (K_D) и определяемый по ней размер скоплений фитопланктона /
Table 6 – Values of the quantity (K_D) and the size of phytoplankton clusters

Значение / Value	Размер скоплений фитопланктона / Size of phytoplankton accumulations		
	малые / small	средние / average	крупные / large
Показатель K_D / indicator K_D	1–10	11–25	26–40

Для определения степени влияния фитопланктона (F_D) на изменчивость переменных А, В и С воспользуемся формулой среднего

арифметического от суммы частных при делении табличного значения каждого из параметров (Δi_{const}), определяемого по таблице 5, на его

реальное значение ($\Delta i_{\text{измер}}$), полученное в ходе промежуточных измерений в рамках мониторинга:

$$F_D = \left(\frac{(\frac{\Delta A_{\text{const}}}{\Delta A_{\text{измер}}} + \frac{\Delta B_{\text{const}}}{\Delta B_{\text{измер}}} + \frac{\Delta C_{\text{const}}}{\Delta C_{\text{измер}}})}{3} \right) \times 100, \% \quad (3)$$

Значение Δi_{const} для расчета F_D по формуле (3) определяется по наименьшему из $\Delta i_{\text{измер}}$,

которое соотносится со значениями из таблицы 5. Табличные значения (Δi_{const}) для оставшихся двух показателей будут соответствовать значениям, указанным на соответствующей строке, определяемой наименьшей из $\Delta i_{\text{измер}}$.

Оценка степени влияния фактора фитопланктона на изменения переменных А, В и С осуществляется по следующей таблице 7.

Таблица 7 – Степень влияния фактора фитопланктона на результаты физико-химического мониторинга в зависимости от полученных значений F_D /
Table 7 – The degree of influence of the phytoplankton factor on the results of physical and chemical monitoring depending on the obtained values F_D

Значение F_D , % / The value of the F_D indicator, %	Степень влияния / Degree of influence
30–55	Низкая / Low
55–75	Средняя / Average
75–100	Высокая / High

Таким образом, принимая в расчет детерминированную изменчивость показателей в ходе мониторинга эвтрофированных вод, появляется возможность не только идентифицировать присутствие в водной среде фитопланктона, но и косвенно определить размеры его скоплений на разных участках водоема, анализируя изменения ключевых гидрохимических показателей.

Кроме того, определение степени влияния фитопланктона на результаты физико-химического мониторинга позволяет оценить вклад местного фитопланктонного сообщества в изменчивость целевых физико-химических характеристик водного объекта, а также поможет лучше интерпретировать получаемые данные об экологическом состоянии подверженных эвтрофированию поверхностных вод в рамках осуществления мониторингового процесса.

С целью консолидации вышеуказанных величин, обеспечения возможности удобно оценить и сравнить между собой обстановку с фитопланктоном на различных водоемах/участках акватории, а также принятия оптимальных решений по сельскохозяйственному водопользованию, выведем выражение для определения величины присутствия фитопланктона в водной среде (P), основываясь на показателях K_D и F_D .

Прежде всего, необходимо нормализовать диапазон K_D . Для этого воспользуемся кусочно-линейной нормализацией:

$$1. \text{ При } 1 \leq K_D \leq 10 \text{ имеем:} \quad N_{KD}(K_D) = \frac{K_D - 1}{9} \quad (4)$$

2. При $10 < K_D \leq 25$ имеем:

$$N_{KD}(K_D) = \frac{K_D - 10}{15} + 1. \quad (5)$$

3. При $25 < K_D \leq 40$ имеем:

$$N_{KD}(K_D) = \frac{K_D - 25}{15} + 2. \quad (6)$$

Таким образом, нормированное значение K_D принимает значения от 0 до 3.

Далее нормализуем диапазон F_D по аналогии с K_D :

1. При $30 \leq F_D \leq 55$ имеем:

$$N_{FD}(F_D) = \frac{F_D - 30}{25}. \quad (7)$$

2. При $55 < F_D \leq 75$ имеем:

$$N_{FD}(F_D) = \frac{F_D - 55}{20} + 1. \quad (8)$$

3. При $75 < F_D \leq 100$ имеем:

$$N_{FD}(F_D) = \frac{F_D - 75}{25} + 2. \quad (9)$$

Здесь также нормированные значения будут находиться в диапазоне от 0 до 3.

Предполагая равнозначность показателей, объединим их в единую формулу с помощью простого произведения:

$$P = N_{KD}(K_D) \times N_{FD}(F_D). \quad (10)$$

Значения $N_{KD}(K_D)$ и $N_{FD}(F_D)$ определяются с помощью выражений (4)–(6) и (7)–(9), исходя из диапазона K_D и F_D соответственно.

Так как каждое из нормализованных значений находится в пределах $[0–3]$, их произведение даст результат в диапазоне $[0–9]$ (при максимальных значениях обеих переменных), отсюда выведем градацию полученного значения P для возможности качественной оценки полученных результатов (табл. 8).

Таблица 8 – Классификация уровней присутствия фитопланктона в водной среде /
 Table 8 – Classification of phytoplankton levels in aquatic environments

Уровень присутствия фитопланктона / The level of phytoplankton presence	Значение P / The value of the P indicator
Низкий / Low	$P < 2$
Средний / Average	$2 \leq P < 6$
Высокий / High	$6 \leq P \leq 9$

Принимая во внимание негативные последствия для водоема со стороны высокой численности фитопланктона (изменения гидрохимических показателей, альготоксины и продукты разложения, ухудшение органолепти-

ческих свойств воды и пр.), а также опираясь на величину P, появляется возможность судить о пригодности водоема, подверженного эвтрофированию, для сельскохозяйственных мероприятий (табл. 9).

Таблица 9 – Определение пригодности водоема для сельскохозяйственных практик на основе показателя величины присутствия фитопланктона в водной среде (P) /
 Table 9 – Determining the suitability of a water body for agricultural practices based on the presence of phytoplankton in the water environment (P)

Величина показателя P / The value of the P indicator	Пригодность водоема для сельскохозяйственных мероприятий / Reservoir suitability for agricultural activities
0	Водоем может быть пригоден для сельскохозяйственных нужд / The reservoir may be suitable for agricultural purposes
2–5	Использование водоема допустимо только при непрерывном контроле качества воды / The reservoir may be used with continuous monitoring of water quality
6–9	Использование водоема недопустимо, предварительно необходимо провести комплекс реабилитационных процедур / The reservoir using is not permitted; Rehabilitation procedures must be performed first

Заключение. В настоящее время высокая антропогенная нагрузка на поверхностные водные объекты приводит к значительному ухудшению качества водных ресурсов, играющих ключевую роль для многих отраслей промышленности и жизнедеятельности человека в целом.

При этом отдельного внимания заслуживает сельское хозяйство, которое наряду с высокой зависимостью от качества водных ресурсов является одним из главных источников биогенного загрязнения поверхностных вод. В связи с этим перед многими агропромышленниками, привлекающими для осуществления сельскохозяйственной деятельности поверхностные водоемы, достаточно остро стоит задача по организации контроля за качеством водных ресурсов.

Оказать помощь в данном вопросе способны мониторинговые мероприятия, основанные на физико-химических методах. Вместе с тем существенным ограничивающим фактором их применения в условиях эвтрофированных вод выступает корректная интерпретация получаемых данных, осложняемая особенностями жизнедеятельности фитопланктона.

Результаты проведенного исследования показали, что изменения базовых гидрохимических показателей, таких как концентрация растворенного кислорода, водородный показатель и уровень общей минерализации в эвтрофированных водоемах, тесно связаны между собой.

Выявленная конфигурация их изменчивости и умеренно-высокая корреляционная связь между ними и скоплениями фитопланктона позволили разработать методику по учету фактора эвтрофирования в ходе осуществления экологического мониторинга водных объектов с помощью физико-химических методов.

Предложенная методика позволяет не только идентифицировать присутствие фитопланктона в водной среде и косвенно оценить величину его скоплений, но также правильно интерпретировать изменчивость основных гидрохимических показателей, обусловленную жизнедеятельностью фитопланктонных сообществ. Дополнительным преимуществом разработанного подхода является возможность классифицировать водоёмы по степени развития в них биомассы фитопланктона и оценить их пригодность для проведения сельскохозяйственных практик.

Таким образом достигается лучшее понимание состояния исследуемых водоемов, протекающих в них процессов, а также причин, вызывающих изменения базовых показателей

водной среды. Кроме того, расширяются возможности физико-химического мониторинга в целом, что немаловажно в условиях повсеместного антропогенного эвтрофирования.

Список литературы

1. Уманская М. В., Горбунов М. Ю., Тарасова Н. Г. Цианобактериальные цветения воды в пресноводных континентальных водоемах: обзор. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023;25(5):182–194. DOI: <https://doi.org/10.37313/1990-5378-2023-25-5-182-194> EDN: WCZHUG
2. Горская О. И. Совершенствование методов альголизации и биомелиорации водоема-охладителя Ростовской АЭС и приплотинной части Цимлянского водохранилища. Глобальная ядерная безопасность. 2023;13(2):14–23. DOI: <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-02> EDN: MHRNWW
3. Дубенок Н. Н., Исаева С. Д., Овчинникова Е. В., Быстрицкая Н. С. О качестве воды для сельскохозяйственного водоснабжения и мерах по его обеспечению. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015;(3(39)):20–25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24318676> EDN: UMEHSX
4. Абрамова К. И., Токинова Р. П., Водунов Н. Р., Шагидуллин Р. Р., Шурмина Н. В. Анализ корреляционной связи между развитием фитопланктона и кислородным режимом устьевой области реки. Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2021;(5):20–31. DOI: <https://doi.org/10.17076/eco1391> EDN: TVYSKD
5. Слепчук К. А., Совга Е. Е. Уровень эвтрофирования восточного района Севастопольской бухты по результатам численного моделирования индекса E-TRIX. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018;(2):53–59. DOI: <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-2-53-59> EDN: YLLQLJ
6. Фрумин Г. Т., Терещенко О. В. Трофический статус озера Ильмень (по данным 2003–2020 годов). Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2022;(6):50–57. DOI: <https://doi.org/10.17076/lim1555> EDN: NHPPGR
7. Макеева Е. Д. Деятельность человека как причина ухудшения экологического состояния реки Волги в конце XIX – начале XXI вв (исторический аспект). Вестник Сургутского государственного педагогического университета. 2021;(6(75)):58–69. DOI: <https://doi.org/10.26105/SSPU.2021.75.6.005> EDN: KHYHAN
8. Петров Б. Г. Куйбышевское водохранилище. Географические аспекты водоохранных мероприятий. М.: Экспресс, 2004. 320 с.
9. Поздняков Ш. Р., Кондратьев С. А., Минакова Е. А., Брюханов А. Ю., Игнатова Н. В., Шмакова М. В. и др. Оценка биогенной нагрузки на Куйбышевское водохранилище со стороны водосбора. География и природные ресурсы. 2019;(3):67–76. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39239187> EDN: GAESVB
10. Минеева Н. М., Поддубный С. А., Степанова И. Э., Цветков А. И. Абиотические факторы и их роль в развитии фитопланктона водохранилищ средней Волги. Биология внутренних вод. 2022;(6):640–651. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0320965222060158> EDN: DFTPPD
11. Халиуллина Л. Ю., Яковлев В. А. Фитопланктон мелководий в верховьях Куйбышевского водохранилища. Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2015. 171 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25560890> EDN: VNJB RN
12. Мольков А. А., Капустин И. А., Щегольков Ю. Б., Воденеева Е. Л., Калашников И. Н. Взаимосвязь первичных гидрооптических характеристик на 650 нм с глубиной видимости диска Секки и концентрацией сине-зеленых водорослей в Горьковском водохранилище. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2018;11(3):26–33. DOI: <https://doi.org/10.7868/S2073667318030036> EDN: YAMOYX
13. Пронина Г. И., Корягина Н. Ю., Терентьев П. В. Воздействие фитопланктона на кислородный режим рыбохозяйственного водоема в условиях низких температур. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2016;(1):52–61. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25736552> EDN: VRFAFV

References

1. Umanskaya M. V., Gorbunov M. Yu., Tarasova N. G. Cyanobacterial blooms in freshwater continental reservoirs: a review. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2023;25(5):182–194. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37313/1990-5378-2023-25-5-182-194>
2. Gorskaya O. Yu. Improvement of methods of algalization and biomelioration of the Rostov NPP cooling pond and the near dam part of the Tsimlyansk reservoir. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* = *Global Nuclear Safety*. 2023;13(2):14–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-02>

3. Dubenok N. N., Isaeva S. D., Ovchinnikova E. V., Bistritskaya N. S. On water quality for agricultural water supply and measures to ensure it. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vissheye professionalnoye obrazovaniye* = Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education. 2015;(3(39)):20–25. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24318676>
4. Abramova K. I., Tokinova R. P., Vodounon N. R., Shagidullin R. R., Shurmina N. V. Analysis of correlation between phytoplankton and oxygen regime in river mouth area. *Trudi Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Transactions of the Karelian research centre of the Russian academy of sciences. 2021;(5):20–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17076/eco1391>
5. Slepchuk K. A., Sovga E. E. Eutrophication level of the eastern part of the Sevastopol bay on the basis of numerical modeling of E-TRIX index. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon morya* = Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. 2018;(2):53–59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-2-53-59>
6. Frumin G. T., Tereshchenko O. V. Trophic status of lake Ilmen (2003–2020). *Trudi Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Transactions of the Karelian research centre of the Russian academy of sciences. 2022;(6):50–57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17076/lim1555>
7. Makeeva E. D. Human activity as a cause of deterioration of the ecological state of the Volga river in the late XX – early XXI centuries (historical aspect). *Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* = Bulletin of Surgut State Pedagogical University. 2021;(6(75)):58–69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26105/SSPU.2021.75.6.005>
8. Petrov B. G. Kuibyshev reservoir. Geographical aspects of water protection measures. Moscow: Ekopress, 2004. 320 p.
9. Pozdnyakov Sh. R., Kondratyev S. A., Minakova E. A., Bryukhanov A. Yu., Ignatyeva N. V., Shmakova M. V. et al. Estimation of nutrient load on the Kuibyshev reservoir from the catchment area. *Geografiya i prirodniye resursy* = Geography and Natural Resources. 2019;(3):67–76. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39239187>
10. Mineyeva N. M., Poddubny S. A., Stepanova I. E., Tsvetkov A. I. Abiotic factors and their role in phytoplankton development in reservoirs of the middle Volga river, Russia. *Biologiya vnutrennikh vod* = Inland Water Biology. 2022;(6):640–651. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0320965222060158>
11. Khaliullina L. Yu., Yakovlev V. A. Phytoplankton of shoals in upper reaches of the Kuibyshev reservoir. Kazan: *Izd-vo Akademii nauk RT*, 2015. 171 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25560890>
12. Molkov A. A., Kapustin I. A., Shchegolkov Yu. B., Vodeneva E. L., Kalashnikov I. N. On correlation between inherent optical properties at 650 nm, Secchi depth and blue-green algal abundance for the Gorky reservoir. *Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika* = Fundamental and Applied Hydrophysics. 2018;11(3):26–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S2073667318030036>
13. Pronina G. I., Koryagina N. Yu., Terentyev P. V. Impact of the phytoplankton on the oxygen mode of the fishery reservoir in the conditions of low temperatures. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ribnoye khozyaystvo* = Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2016;(1):52–61. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25736552>

Сведения об авторе

✉ Неваев Алексей Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», ул. Л. Толстого, д. 42, г. Ульяновск, Российская Федерация, e-mail: contact@ulsu.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7208-7380>, e-mail: voitto73@yandex.ru

Information about the author

✉ Alexey S. Nevaev, post-graduate student, Ulyanovsk State University, 42 L. Tolstoy St., Ulyanovsk, Russian Federation, 432017, e-mail: contact@ulsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7208-7380>,
e-mail: voitto73@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author