

## Влияние биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза на уровень загрязнения Матырского водохранилища

В. В. Кульнев<sup>1,3</sup>✉, О. В. Базарский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центрально-Черноземное межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, Российская Федерация  
(394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, 105)

<sup>2</sup>Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Российская Федерация  
(394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а)

<sup>3</sup>Воронежский государственный медицинский университет им. Н. Н. Бурденко, Российская Федерация  
(394036, г. Воронеж, улица Студенческая, 10)

**Аннотация.** Цель – разработка методики оценки экологического риска водоемов, позволяющей оценить их сезонное загрязнение с определением допустимых ошибок измерений.

**Материалы и методы.** Проведены измерения состояния воды Матырского водохранилища (Липецкая область) с использованием стандартизированного индекса загрязнения воды и показано улучшение её качества за счет биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза.

**Результаты и обсуждение.** Развита методика измерения экологического риска состояния водоема, позволяющая оценить его состояние в целом за сезон. Найдены условия, при которых оценка экологического риска может быть произведена по нормированной шкале оценки индекса загрязнения воды.

**Выводы.** Показано, что за счет проведения биореабилитации класс качества воды повысился от загрязненного до умеренно загрязненного и стабилизировался в этом состоянии. Оценка состояния воды водохранилища в целом за год по методике расчета экологического риска дала тот же среднесезонный результат – стабильное умеренное загрязнение.

**Ключевые слова:** альгоценоз, биологическая реабилитация, водохранилище, качество воды, математическое ожидание, природоохранные технологии, экологический риск.

**Для цитирования:** Кульнев В.В., Базарский О.В. Влияние биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза на уровень загрязнения Матырского водохранилища // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 1, с. 138-143. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/138-143>

### ВВЕДЕНИЕ

На текущем этапе развития человеческого общества все более значимым является поиск решения ключевых экологических проблем. С каждым годом все новые территории подвергаются изменению качественного состояния компонентов окружающей среды. Помимо экстенсивности для современного этапа развития техногенеза все большее значение имеет аспект интенсивности. В современной геоэкологической теории появляются дефиниции – техногенно нагруженные территории [9], природно-антропогенный объект [2] и другие. По нашему мнению, связующим смысловым звеном, объединяющим приведенные понятия, является термин – экологический риск.

Анализом многочисленных научных источников установлено, что методика оценки экологического риска и его ранжирования по уровням опасности разработана не в полной мере, причем используются раз-

личные подходы к анализу риска. Согласно [12] выделяется пять основных разновидностей экологического риска, а именно – риски, угрожающие безопасности; риски, угрожающие здоровью; риски, угрожающие состоянию среды обитания; риски, угрожающие общественному благосостоянию и финансовые риски.

По нашему мнению, одна из задач геоэкологии состоит в поиске экологического равновесия между деградацией основного ресурса – запасов пресной воды и качеством жизни человечества [6]. Так, Воронежскому водохранилищу посвящен ряд актуальных работ [3, 5]. Считаем, что проблематика количественного выражения и нормирования экологического риска является актуальной научной задачей.

Целью является разработка подхода к оценке изменения экологического риска водохранилища вследствие проведения его биологической реабилитации методом коррекции альгоценоза. Нами сделана попытка



«посчитать» экологический риск водоема, который в математическом плане является произведением ущерба на вероятность его возникновения [11].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Практика изучения геоэкологического состояния водохранилищ показывает, что основными токсикантами являются тяжелые металлы, триада азота и нефтепродукты. Еще одной экологической проблемой является «цветение» воды цианопрокариотической альгофлорой, выражаемой в ухудшении санитарно-химических и органолептических показателей [1, 7]. Цианеи в результате быстрой утилизации азота продуцируют цианотоксины – микроцистин и анатоксин. При этом инновацией, интенсифицирующей процессы самоочищения, является применение хлорококковой микроводоросли *Chlorella vulgaris* [7, 10].

Недостатком метода является угнетение хлореллы тяжелыми металлами *in vitro* [4]. В [6] показано снижение содержания тяжелых металлов при биореаби-

литации слабопроточных водоемов. Неясным остается вопрос, как будет проходить процесс в загрязненных водохранилищах.

Нами ежемесячно с апреля по октябрь 2021 года производился отбор гидрохимических проб в акватории Матырского водохранилища, расположенного в Липецкой области (рис. 1). Точки отбора проб достаточно равномерно покрывают акваторию водохранилища, причем их плотность максимальна вблизи металлургического комбината. Проанализированы гидрохимические показатели: кислород, pH, запах, цветность, взвешенные вещества, жесткость общая, СПАВ, ХПК, БПК<sub>5</sub>, триада азота, ионы кальция и магния, общее железо, медь, цинк, марганец, нефтепродукты. За сезон выполнено 49 отборов, 798 измерений (табл.). В последней строке таблицы приведены средний уровень загрязнения водохранилища по месяцам ( $\bar{C}_p$ ) и средние коэффициенты концентрации по месяцам:

$$\langle K_i \rangle = \bar{C}_{sp} / \text{ПДК}_i$$



Рис. 1. Расположение точек отбора проб (мест альголизации) на акватории Матырского водохранилища  
[Fig. 1. Location of sampling points (algolisation sites) in the water area of the Matyr Reservoir]

Интегральный показатель помесечного загрязнения водохранилища определяется с использованием индекса загрязнения воды (ИЗВ) по компонентам, для которых  $\langle K_i \rangle$  превышает единицу (1):

$$\text{ИЗВ} = \sum_{i=1}^n \langle K_i \rangle, \quad (1)$$

где  $n$  – число загрязняющих веществ, концентрация которых больше ПДК: нитритный азот, а также ионы марганца, меди и цинка, т.е.  $n = 4$ .

Недостатком ИЗВ является тот факт, что он не позволяет статистически достоверно оценить уровень за-

грязнение акватории в целом за сезон и среднеквадратичную ошибку измерений.

Чтобы достоверно оценить уровень загрязнения водохранилища в целом, необходимо изучить закон распределения случайной величины  $\langle K_i \rangle$  и рассчитать математическое ожидание случайной величины (2):

$$M = \sum_{i=1}^m \langle K_i \rangle * P_i, \quad (2)$$

где  $m$  – число градаций, на которые разбит статистический ряд проведенных измерений, а  $P_i$  – вероятность реализации каждой градации, определяемая как

Динамика изменения показателей загрязнения Матырского водохранилища  
[Table 1. Dynamics of changes in pollution indicators of the Matyr Reservoir]

Мп	мг/л / mg/l	Ki	Zn	мг/л / mg/l	Ki
Апрель	0,027	2.7	Апрель	0,008	0.8
Май	0,013	1.3	Май	0,017	1.7
Июнь	0,011	1.1	Июнь	0,018	1.8
Июль	0,012	1.2	Июль	0,002	0.2
Август	0,008	0.8	Август	0,017	1.7
Сентябрь	0,013	1.3	Сентябрь	0,017	1.7
Октябрь	0,012	1.2	Октябрь	0,015	1.5
Ср, <K <sub>i</sub> >	0,014	<b>1.4</b>	Ср, <K <sub>i</sub> >	0,013	<b>1.3</b>
Сu	мг/л / mg/l	Ki	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/л / mg/l	Ki
Апрель	0,003	3	Апрель	0,254	3.2
Май	0,002	2	Май	0	0
Июнь	0,002	2	Июнь	0,173	2.2
Июль	0,002	2	Июль	0,219	2.7
Август	0,001	1,01	Август	0,013	0.16
Сентябрь	0,001	1,01	Сентябрь	0,019	0.24
Октябрь	0,001	1,01	Октябрь	0,017	0.21
Ср, <K <sub>i</sub> >	0,002	<b>2.0</b>	Ср, <K <sub>i</sub> >	0,099	<b>1.24</b>

отношение числа измерений, попадающих в каждую градацию, к общему числу измерений.

Поскольку экологический риск (R) определяется как произведение опасности явления (ущерба) на вероятность их реализации [11], то, с учетом того, что показатель <K<sub>i</sub>> представляет собой ущерб, связанный с загрязнением водохранилища, математическое ожидание ущерба является, по сути, экологическим риском.

Теперь определим среднеквадратичную ошибку измерения загрязнения водохранилища в целом по формуле (3):

$$\delta = \left( \frac{1}{m-1} (M - \langle K_i \rangle)^2 P_i \right)^{1/2}, \quad (3)$$

Недостатком показателя R является отсутствие шкалы его нормирования. Однако если число градаций случайной величины (ущерба) «m» равно числу поллютантов «n», то расхождения между нормированными значениями ИЗВ и R минимальны.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сначала проанализируем динамику загрязнения Матырского водохранилища с использованием нормированного показателя ИЗВ. Результаты приведены на рисунке 2, причем красным цветом отмечены периоды вселения суспензии.

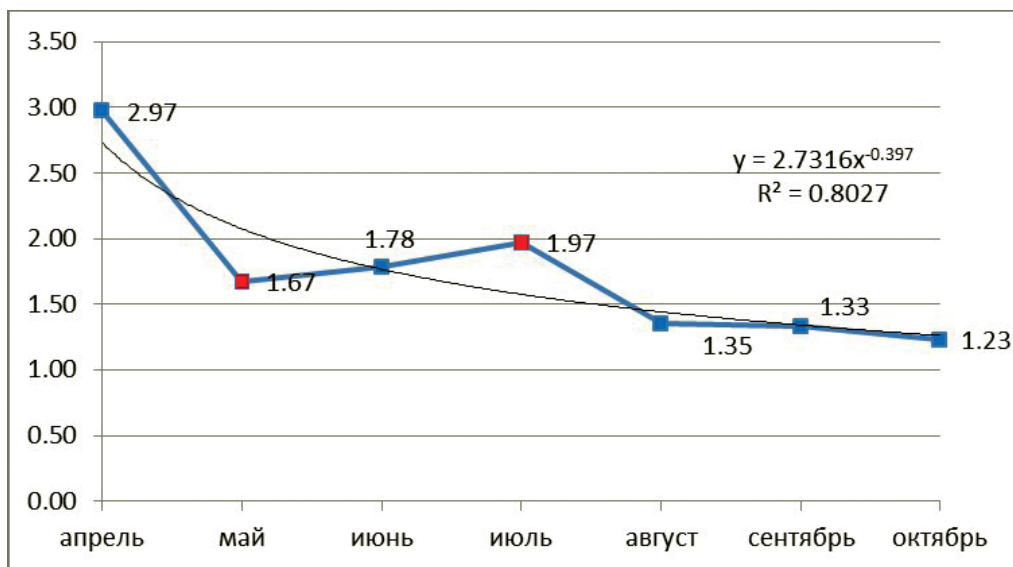


Рис. 2. Динамика изменения величины суммарного показателя загрязнения вследствие альголизации *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111

[Fig. 2. Changes in the total pollution index value as a result of algalisation of *Chlorella vulgaris* IFR №C-111]

По графику (рис. 2) удалось выявить позитивное влияние биореабилитации на экосостояние водной среды.

Первое вселение суспензии было подледным в условиях устойчивого ледяного покрова – в середине марта. Апрельские измерения показали, что воды относились к 4 классу качества и характеризовались как загрязненные. По причине того, что снежный покров является депонирующей средой для атмофильных источников загрязнения [8], уровень загрязнения обусловлен поступлением поллютантов вследствие снеготаяния.

После майского «послепаводкового» вселения удалось не допустить скачкообразного увеличения ИЗВ, обусловленного ростом температуры воды. После летнего июльского вселения, динамика снижения ИЗВ сохранилась, и воды на протяжении всего вегетационного периода относились к 3 классу качества; характеризовались как умеренно загрязненные.

Регрессионное уравнение показывает экспоненциальное снижение уровня загрязнения воды водохранилища с коэффициентом достоверности 0,8.

Оценим уровень загрязнения Матырского водохранилища в целом, с помощью вновь введенного показателя – экологический риск. Шаг дискретизации ущерба для  $m = 4$  равен  $\langle \Delta K_i \rangle = \frac{2,97 - 1,23}{4} = 0,44$ .

Вероятность попадания измерения в каждую градацию определялась как отношение числа измерений, попавших в данную градацию, к общему числу измерений, а ущерб каждой градации определялся как среднее арифметическое измерений, попавших в неё. На рисунке 3 построен закон распределения случайной величины (ущерба).

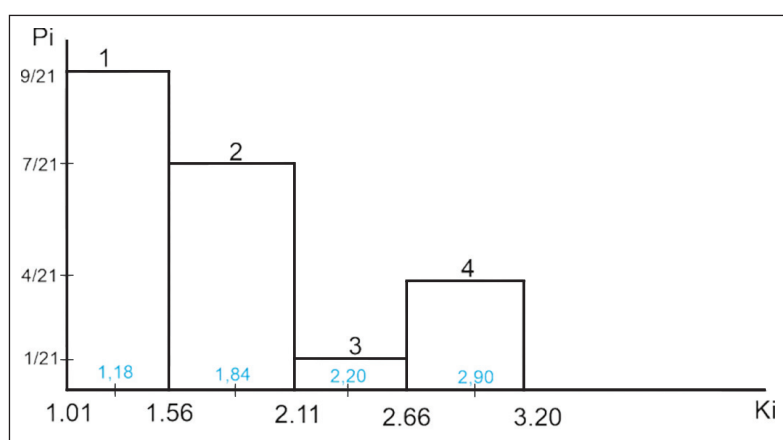


Рис. 3. Закон распределения случайной величины ущерба  
[Fig. 3. Law of distribution of the random value of damage]

Для измерения полного экологического риска нами предлагается использовать соотношение (4):

$$R = \sum_{i=1}^m R_i = \sum_{i=1}^m K_i * P_i, \quad (4)$$

где  $i = 1, 2 \dots m$  – количество градаций, на которые разбит ожидаемый ущерб. Фактически формула (4) является математическим ожиданием уровня опасности загрязнения водоема.

Экологический риск загрязнения Матырского водохранилища, рассчитанный по формуле (4) составляет  $R = 1,78$ , а среднеквадратичная ошибка  $\delta$  равна 0,36. Относительная ошибка измерения среднего уровня загрязнения водохранилища в целом составляет  $\varepsilon = 20,2\%$ . То есть в целом при  $m=n=4$  значение  $R = 1,78$  соответствует 3 классу качества воды. Водохранилище в целом является умеренно загрязненным.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нормированный показатель качества воды ИЗВ позволяет оценить пространственно-временное загрязнение водохранилища опасными поллютантами с  $\langle K_i \rangle \geq 1$ .

Показано, что биореабилитация Матырского водохранилища методом коррекции альгоценоза позволила при трехкратном вселении суспензии улучшить класс качества воды от загрязненного до умеренно загрязненного и стабилизировать это состояние. Однако опе-

ративное управление качеством воды в водохранилище возможно при достоверной оценке её состояния за сезон в целом с расчетом допускаемой ошибки измерений. Для принятия управленческих решений введено понятие экологический риск водного объекта. Если экологический риск рассчитан по закону распределения случайной величины (ущерба) при числе градаций, равном числу поллютантов с коэффициентами опасности большими единицы, то для оценки экологического риска можно использовать шкалу нормирования ИЗВ.

Показано, что уровень загрязнения Матырского водохранилища относится к 4 классу качества (загрязненные), а применение биореабилитации приводит состояние воды к 3 классу качества (умеренно загрязненные) и стабилизирует это состояние, что благоприятно сказывается на состоянии питьевой воды в водозаборах города Липецка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анциферова Г. А., Кульнев В. В. Биотехнологии в управлении качеством искусственных водных объектов на примере Матырского водохранилища // *Материалы Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности»*, ч. II, 2016, с. 152-157.
2. Аткина Л. И., Булатова Л. В., Абрамова Л. П. Городской парк как природно-антропогенный объект (на приме-

ре парка 50-летия ВЛКСМ, г. Екатеринбург) // *Природообустройство*, 2021, № 5, с. 133-140.

3. Геоэкологическая оценка состояния искусственных водоемов зоны влияния металлургических предприятий / Г. А. Андиферова, В. В. Кульнев, С. Л. Шевырев и др. // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле*, 2022, т. 22, № 1, с. 4-12.

4. К вопросу об альголизации водоемов / Е. А. Бутакова, Т. Е. Павлюк, О. С. Ушакова и др. // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*, 2013, № 5, с. 75-84.

5. Каверина Н. В., Куролап С. А. Экологическая безопасность донных отложений Воронежского водохранилища // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2021, № 2, с. 70-79.

6. Кульнев В. В., Базарский О. В., Кочетова Ж. А. Комплексный подход к регулированию качества воды слабопроточных водоемов (на примере Баландинского пруда Челябинского металлургического комбината) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 1, с. 103-112.

7. Кульнев В. В., Богданов Н. И., Лухтанов В. Т. Биологическая реабилитация водоемов путем структурной перестройки фитопланктонного сообщества // *Материалы конференции молодых ученых и специалистов «Аквакультура России: вклад молодых»*, 2012, с. 51-56.

8. Лисецкая Л. Г., Шаяхметов С. Ф. Оценка уровня загрязнения снежного покрова химическими соединениями и элементами на территории Шелеховского района в Восточной Сибири // *Гигиена и санитария*, 2022, т. 101, № 12, с. 1443-1449.

9. Печкин А. С., Шинкарук Е. В., Красненко А. С. Экологический мониторинг снежного покрова города Надым // *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*, 2022, № 4 (117), с. 52-73.

10. Предотвращение загрязнения природных водоемов цианотоксинами с помощью микроводоросли *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 / В. С. Петросян, Е. А. Шувалова, В. Т. Лухтанов и др. // *Экология и промышленность России*, 2015, т. 19, № 4, с. 36-41.

11. Прогнозирование опасных факторов пожара: определение расчетных величин пожарного риска общественных зданий и сооружений: учебное пособие / Ю. И. Иванов, Д. А. Бесперстов, Д. С. Мамонтов и др. Кемерово: Издательство Кемеровского государственного университета, 2013. 122 с.

12. Kolluru R. V. Health Risk Assessment: Principles and Practices // *Risk Assessment and Management Handbook. For Environmental, Health, and Safety Professionals*, 1996, pp. 123-151.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 14.09.2023

Принята к публикации: 20.02.2025

UDC 502.2 (470.322)

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/138-143>

ISSN 1609-0683

## Impact of Biological Rehabilitation by Algalocenos Correction Method on the Level of Pollution in the Matyr Reservoir

V. V. Kulnev<sup>1,3</sup> ✉, O. V. Bazarskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Central Black Soil Interregional Directorate of the Federal Service for Supervision of Natural Resources Management, Russian Federation  
(105, Lomonosov Str., Voronezh, 394087)

<sup>2</sup>Air Force Academy named after Prof. N. Ye. Zhukovskiy and Yu. A. Gagarin, Russia Federation  
(54a, Sarykh Bol'shevikov Str., Voronezh, 394064)

<sup>3</sup>Voronezh State Medical University named after N. N. Burdenko, Russian Federation  
(10, Studencheskaya Str., Voronezh, 394036)

**Abstract:** The purpose is to develop a methodology for assessing the ecological risk of water bodies, allowing to estimate their seasonal pollution with determination of allowable measurement errors.

**Materials and methods.** The water condition of the Matyr reservoir (Lipetsk Region) has been measured using a standardised water pollution index. Improvement of water quality through biological rehabilitation by correction of algalocenos has been shown.

**Results and discussion.** The methodology of measuring the ecological risk of a water body state is developed, which allows estimating its state as a whole for a season. The conditions under which the ecological risk assessment can be made on the normalised scale of water pollution index assessment are found.

**Conclusions.** It is shown that due to bioremediation the water quality class increased from polluted to moderately polluted and stabilised in this state. The assessment of the reservoir water condition as a whole for a year according to the methodology of ecological risk calculation gave the same seasonal average result – stable moderate pollution.

**Key words:** algalocenos, biological rehabilitation, reservoir, water quality, mathematical expectation, environmental technologies, environmental risk.

© Kulnev V. V., Bazarskiy O. V., 2025

✉ Vadim V. Kulnev, e-mail: kulnev@rpn36.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



**For citation:** Kulnev V.V., Bazarskiy O.V. Impact of Biological Rehabilitation by Algocenosis Correction Method on the Level of Pollution in the Matyr Reservoir. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2025, № 1, p. 138-143 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/138-143>

#### REFERENCES

1. Antsiferova G.A., Kul'nev V.V. Biotehnologii v upravlenii kachestvom iskusstvennykh vodnykh ob'ektov na primere Matyrskogo vodokhranilishcha [Biotechnologies in the quality management of artificial water bodies on the example of Matyr reservoir]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Kompleksnye problemy tekhnosfernoy bezopasnosti»*, ch. II, 2016, pp. 152-157. (In Russ.)
2. Atkina L.I., Bulatova L.V., Abramova L.P. Gorodskoy park kak prirodno-antropogennyi ob'ekt (na primere parka 50-letiya VLKSM, g. Ekaterinburg) [City park as a natural-anthropogenic object (on the example of the park of the 50th anniversary of Komsomol, Yekaterinburg)]. *Prirodoobustroystvo*, 2021, no. 5, pp. 133-140. (In Russ.)
3. Geoekologicheskaya otsenka sostoyaniya iskusstvennykh vodoemov zony vliyaniya metallurgicheskikh predpriyatiy [Geo-ecological assessment of artificial reservoirs in the zone of influence of metallurgical enterprises] / G.A. Antsiferova, V.V. Kul'nev, S.L. Shevyrev i dr. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle*, 2022, vol. 22, no. 1, pp. 4-12. (In Russ.)
4. K voprosu ob al'golizatsii vodoemov [On the issue of algalization of water bodies] / E.A. Butakova, T.E. Pavlyuk, O.S. Ushakova i dr. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, 2013, no. 5, pp. 75-84. (In Russ.)
5. Kaverina N.V., Kurolap S.A. Ekologicheskaya bezopasnost' donnykh otlozheniy Voronezhskogo vodokhranilishcha [Ecological safety of the bottom sediments of the Voronezh Reservoir]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2021, no. 2, pp. 70-79. (In Russ.)
6. Kul'nev V.V., Bazarskiy O.V., Kochetova Zh.A. Kompleksnyy podkhod k regulirovaniyu kachestva vody slaboprotochnykh vodoemov (na primere Balandinskogo pruda Chelyabinskogo metallurgicheskogo kombinata) [Complex approach to regulation of water quality of low-flow water bodies (on the example of Balandinsky pond of Chelyabinsk metallurgical plant)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 1, pp. 103-112. (In Russ.)
7. Kul'nev V.V., Bogdanov N.I., Lukhtanov V.T. Biologicheskaya reabilitatsiya vodoemov putem strukturnoy perestroyki

fitoplanktonnogo soobshchestva [Biological rehabilitation of water reservoirs through structural reorganization of phytoplankton community]. *Materialy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov «Akvakul'tura Rossii: vklad molodykh»*, 2012, pp. 51-56. (In Russ.)

8. Lisetskaya L.G., Shayakhmetov S.F. Otsenka urovnya zagryazneniya snezhnogo pokrova khimicheskimi soedineniyami i elementami na territorii Shelekhovskogo rayona v Vostochnoy Sibiri [Assessment of the level of snow cover pollution by chemical compounds and elements on the territory of Shelekhovsky district in Eastern Siberia]. *Gigiena i sanitariya*, 2022, vol. 101, no. 12, pp. 1443-1449. (In Russ.)

9. Pechkin A.S., Shinkaruk E.V., Krasnenko A.S. Ekologicheskii monitoring snezhnogo pokrova goroda Nadym [Ecological monitoring of snow cover of Nadym city]. *Nauchnyy vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*, 2022, no. 4 (117), pp. 52-73. (In Russ.)

10. Predotvrashchenie zagryazneniya prirodnykh vodoemov tsianotoksinami s pomoshch'yu mikrovdorosli Shlorella vulgaris IFR №S-111 [Prevention of cyanotoxin pollution of natural water bodies by means of microalgae Chlorella vulgaris IFR №C-111] / V.S. Petrosyan, E.A. Shuvalova, V.T. Lukhtanov i dr. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2015, vol. 19, no. 4, pp. 36-41. (In Russ.)

11. Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara: opredelenie raschetnykh velichin pozharnogo riska obshchestvennykh zdaniy i sooruzheniy: uchebnoe posobie [Prediction of fire hazards: determination of calculated values of fire risk of public buildings and structures: textbook] / Yu.I. Ivanov, D.A. Besperstov, D.S. Mamontov i dr. Kemerovo: Izdatel'stvo Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013. 122 p. (In Russ.)

12. Kolluru R.V. Health Risk Assessment: Principles and Practices. *Risk Assessment and Management Handbook. For Environmental, Health, and Safety Professionals*, 1996, pp. 123-151.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

*Received: 14.09.2023*

*Accepted: 20.02.2025*

Кульнев Вадим Вячеславович

Кандидат географических наук, ведущий специалист-эксперт отдела государственного экологического надзора по Воронежской области Центрально-Черноземного межрегионального управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования; ассистент кафедры медицины катастроф и безопасности жизнедеятельности Воронежского государственного медицинского университета имени Н.Н. Бурденко, г. Воронеж Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-1646-9183, e-mail: kulnev@rpn36.ru

Базарский Олег Владимирович

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики и химии ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-2851-716X

Vadim V. Kulnev

Cand. Sci. (Geogr.), Leading Specialist-Expert of the State Environmental Supervision Department for the Voronezh Region of the Central Black Soil Interregional Directorate of the Federal Service for Supervision of Nature Management; Assistant at the Department of Disaster Medicine and Life Safety of Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-1646-9183, e-mail: kulnev@rpn36.ru

Oleg V. Bazarskiy

Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor at the Physics and Chemistry Department, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force «Air Force Academy named after Prof. N.Ye. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-2851-716X