

Мониторинг водных экосистем

УДК 574.5; 561.26; 504.5

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА НА ПРИМЕРЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Л. В. Разумовский¹, Л. П. Черных², В. Л. Разумовский^{1,*}

¹Институт водных проблем Российской академии наук
119333, г. Москва, ул. Губкина, 3, e-mail: *nethaon@mail.ru

²Государственный университет "Дубна"
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19

Поступила в редакцию 7.05.2022

В работе приведены результаты одного из этапов апробации новой концепции комплексного мониторинга. Новизна концепции подразумевает совместный анализ диатомовых комплексов из колонок донных отложений и современных фитопланктонных комплексов. В качестве объекта исследований выбрано Иваньковское водохранилище. Рассмотрены результаты оценки качества вод по индексу сапробности (S). Биомониторинг не выявил существенных изменений индекса сапробности (S). При анализе диатомовых комплексов из колонок донных отложений установлена дифференциация между прибрежной зоной и открытыми участками водохранилища. В прибрежной зоне отмечено повышение численных значений S. Сапробизация прибрежных участков водохранилища предположительно определяется совокупностью факторов: несанкционированной застройкой, зарастанием прибрежных зон и др. Основной задачей работы была демонстрация информативности новой концепции комплексного мониторинга при оценке долговременных трансформаций, происходящих в водохранилище.

Ключевые слова: водохранилище, антропогенная нагрузка, фитопланктон, диатомовые комплексы, биоиндикация.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-53-58

ВВЕДЕНИЕ

Иваньковское водохранилище образовано в 1937 г. при перекрытии р. Волги в районе с. Иваньково. Основная цель при создании этого искусственного водоема – формирование бесперебойного режима водоснабжения г. Москвы. В настоящее время после более 80 лет эксплуатации экологический мониторинг Иваньковского водохранилища приобретает особую актуальность.

За прошедшие десятилетия экосистема водохранилища, его берега и ложе претерпели существенные изменения. Будучи одним из основных источников питьевого водоснабжения Московского мегаполиса, Иваньковское водохранилище испытывает достаточно серьезное многофакторное антропогенное воздействие.

В результате проведенного исследования для экосистемы Иваньковского водохранилища

сформирован новый методологический подход. Он подразумевает совмещение двух традиционных методов: анализа диатомовых комплексов из колонок донных отложений (ДО), который применяется в палеоолиминологии, и анализа фитопланктонных комплексов, который применяется при биомониторинге [Разумовский, 2020 (Razumovsky, 2020)]; [Разумовский, 2021 (Razumovsky, 2021)]. Данный подход позволяет получить дополнительную информацию о долговременных геоэкологических трансформациях Иваньковского водохранилища и изменения качества его вод.

Основная задача работы – демонстрация перспективности применения новой концепции комплексного мониторинга при анализе долговременных изменений качества вод в водохранилище.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Структуру и объем первичного материала составили >200 фитопланктонных проб, отобранных на всех участках акватории Иваньковского водохранилища в 2017–2019 гг. Отбор проб проводился на 5 створах: Шошинский плес (д. Безбородово), Верхневолжский плес (с. Городня), Средневолжский плес (д. Карачарово и г. Конаково), а также в районе о. Шевница (Иваньковский плес) (рис. 1).

Диатомовые комплексы изучали из двух колонок донных отложений (ДО), отобранных

в районе Перетрусовского залива, и между малыми островами и западной оконечностью о. Грабиловка (далее – Острова) в июле 2017 г. (рис. 1). Всего из колонок ДО изучили 41 образец на диатомовый анализ.

Колонки ДО отбирали стратометром ударно-замыкающего типа и колонкой ГОИН, пробы воды – батометром "Руттнера" с глубины 1 м. Образцы на диатомовый анализ выделяли из ДО по традиционной методике с интервалом 1 см [Полякова, 2010 (Polyakova,

2010)]. Обработка проб воды и ДО, изготовление постоянных препаратов, подсчет и идентификация створок диатомей осуществляли по

стандартным методикам [Давыдова, 1985 (Davydova, 1985); (Renberg, 1990)].



Рис. 1. Карта-схема Ивановского водохранилища: линии – створы мониторинга; цилиндрическими фигурами обозначены месторасположения отобранных колонок ДО: 1 – Острова; 2 – Перетрусовский залив.

Fig. 1. Map-diagram of the Ivankovo reservoir: lines - monitoring lines; cylindrical figures indicate selected of bottom sediments columns locations: 1 – Peretrusovsky Bay; 2 – Ostrova.

Исследование постоянных препаратов проводили при помощи светового микроскопа, оснащенного масляно-иммерсионным объективом (100×). Обработка и просмотр фитопланктонных проб проводилась по стандартным методикам [Руководство..., 1992 (Rukovodstvo..., 1992)].

При комплексном мониторинге водохранилищ по фитопланктону и диатомовым комплексам из ДО вычислялся индекс сапробности (S) по Сладечку [Slàdeček, 1973]. Исходной информационной базой данных для расчета численных значений сапробности послужила работа С.С. Бариновой с соавторами [Баринова и др., 2006 (Barinova et al., 2006)].

Оценку степени негативных трансформаций, происходящих на акватории Ивановского водохранилища, проводили в соответствии с теорией экологических модификаций [Абакумов, 1991 (Abakumov, 1991)].

Кроме традиционных форм гидробиологических и биоиндикационных исследований был применен метод графического анализа (МГА). МГА состоит в следующем: при по-

строении графиков по оси абсцисс откладывается число идентифицированных таксонов видового и более низкого рангов (далее в тексте – таксонов), а по оси ординат – их относительная численность. Таксоны ранжируются по показателю относительной численности в сторону его уменьшения. В результате в линейной системе координат строится исходная гистограмма [Разумовский, Моисеенко, 2009 (Razumovskij, Moiseenko, 2009)].

Установлены три основных типа распределения таксономических пропорций: экспоненциальный, логистический и линейный. Они соответствуют трем основным нециклическим формам зависимостей, которые возникают в экосистемах при их ответных реакциях на внешнее воздействие [Шитиков и др., 2003 (Shitikov et al., 2003)].

Два первых (нелинейных) типа распределения характерны для естественных, ненарушенных таксономических пропорций в диатомовых комплексах. Линейный тип распределения характерен для диатомовых комплексов, подвергшихся процессам переотложения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 2017 г. среди видов-индикаторов в Ивановском водохранилище доминировали

диатомовые водоросли. Обнаружено 136 видов-индикаторов органического загрязнения.

Большинство из них относятся к мезосапробам. Минимальное значение индекса сапробности (1.35) было зафиксировано на Иваньковском плесе (о. Шевница); максимальное (2.8) – на Средневолжском плесе (г. Конаково).

В 2018 г. в результате анализа таксономического состава фитопланктонных комплексов было установлено, что наибольшая доля идентифицированных индикаторных видов сапробности (S) в водохранилище также относится к отделу диатомовых. Было обнаружено 149 видов-индикаторов органического загрязнения. Большинство из них относятся к мезосапробам. Минимальное значение индекса сапробности зафиксировано в мае 2017 г. на Иваньковском плесе (1.24); максимальное – в августе 2018 г. на Шошинском плесе (2.47).

По результатам наблюдений 2019 г. наибольшая доля обнаруженных индикаторных видов в водохранилище так же относится к отделу диатомовых. Обнаружено 152 вида-

индикатора органического загрязнения. Как и в предыдущие годы, большинство из них относятся к мезосапробам. Минимальное значение индекса сапробности равно 1.25, зафиксировано в мае на Иваньковском плесе; максимальное – 2.32 в августе на Шошинском плесе.

По данным 2017–2019 гг. констатируется ожидаемая сезонная повторяемость численных значений S. Их незначительная ежегодная вариативность определяется природно-климатическими, погодными условиями. Подавляющее большинство численных значений S не выходит за рамки β -мезосапробной зоны (рис. 2).

Полученные результаты подтверждают, что принятый при биомониторинге расчет индекса сапробности (S) обладает исходным методологическим недостатком, и происходит “выравнивание” или нивелирование реальной сапробиологической обстановки на акватории водохранилища [Шитиков и др., 2003 (Shitikov et al., 2003)].

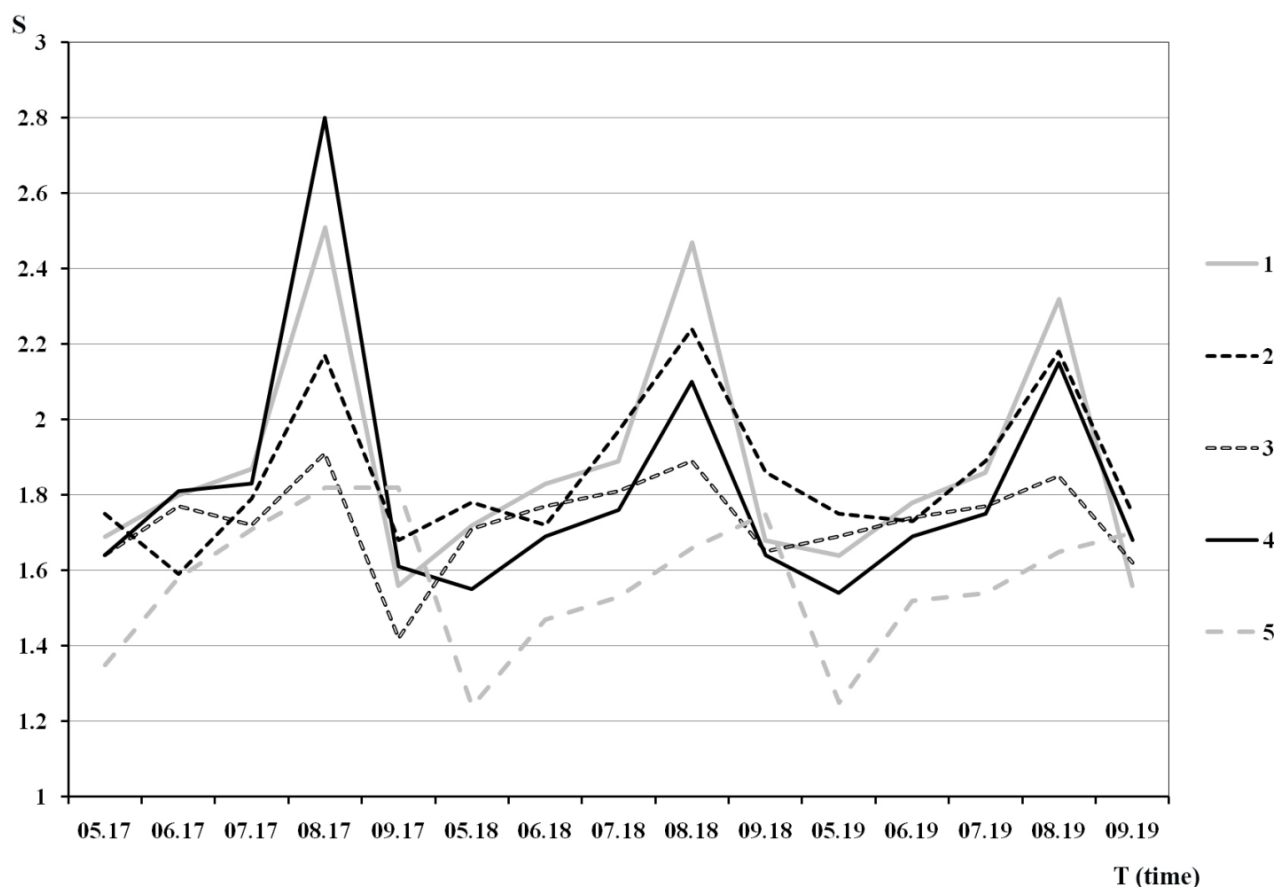


Рис. 2. Изменение численных значений индекса сапробности (S) на акватории Иваньковского водохранилища в 2017–2019 гг. По оси абсцисс – время отбора проб (T); по оси ординат – численные значения индекса сапробности (S). Линиями обозначены: 1 – Шошинский плес; 2 – Верхневолжский плес; 3 – Средневолжский плес (с. Городня); 4 – Средневолжский плес (г. Конаково); 5 – Иваньковский плес.

Fig. 2. Changes in the numerical values of the saprobity index (S) in the water area of the Ivankovo reservoir in 2017–2019. On the abscissa axis – sampling time (T); on the ordinate axis - numerical values of the saprobity index (S). The lines are indicated: 1 – Shoshinsky ples; 2 – Verkhnevolzhsky ples; 3 – Srednevolzhsky ples (Gorodnya village); 4 – Srednevolzhsky ples (Konakovo); 5 – Ivankovsky ples.

При анализе таксономических пропорций в диатомовых комплексах из колонки ДО, отобранной в Перетрусовском заливе, установлено преобладание экспоненциального типа распределения таксономических пропорций. Для диатомовых комплексов из колонки ДО, отобранной в районе Островов, характерно преобладание логистического типа распределения таксономических пропорций или смешанного (между логистическим и экспоненциальным типом распределения).

Графический анализ не выявил по очертаниям построенных гистограмм признаков переотложения (линейный характер распределения таксономических пропорций). Это позволило в дальнейшем провести реконструк-

цию долговременных изменений трофического статуса водохранилища [Разумовский, Чермных 2021 (Razumovsky, Chermnyh, 2021)].

В Иваньковском водохранилище в образцах из колонки ДО, отобранной в Перетрусовском заливе, идентифицировано 45 видов-индикаторов сапробности (S). Из них четыре вида – ксеносапробы, 15 видов – олигосапробы, 20 видов – β -мезосапробы, три вида – α -мезосапробы, два вида α - β -мезосапробы и один вид приурочен к олиго- α -мезосапробной зоне. За проанализированный промежуток времени индекс сапробности увеличился от 1.575 до 1.725, что соответствует β -мезосапробной зоне (рис. 3).

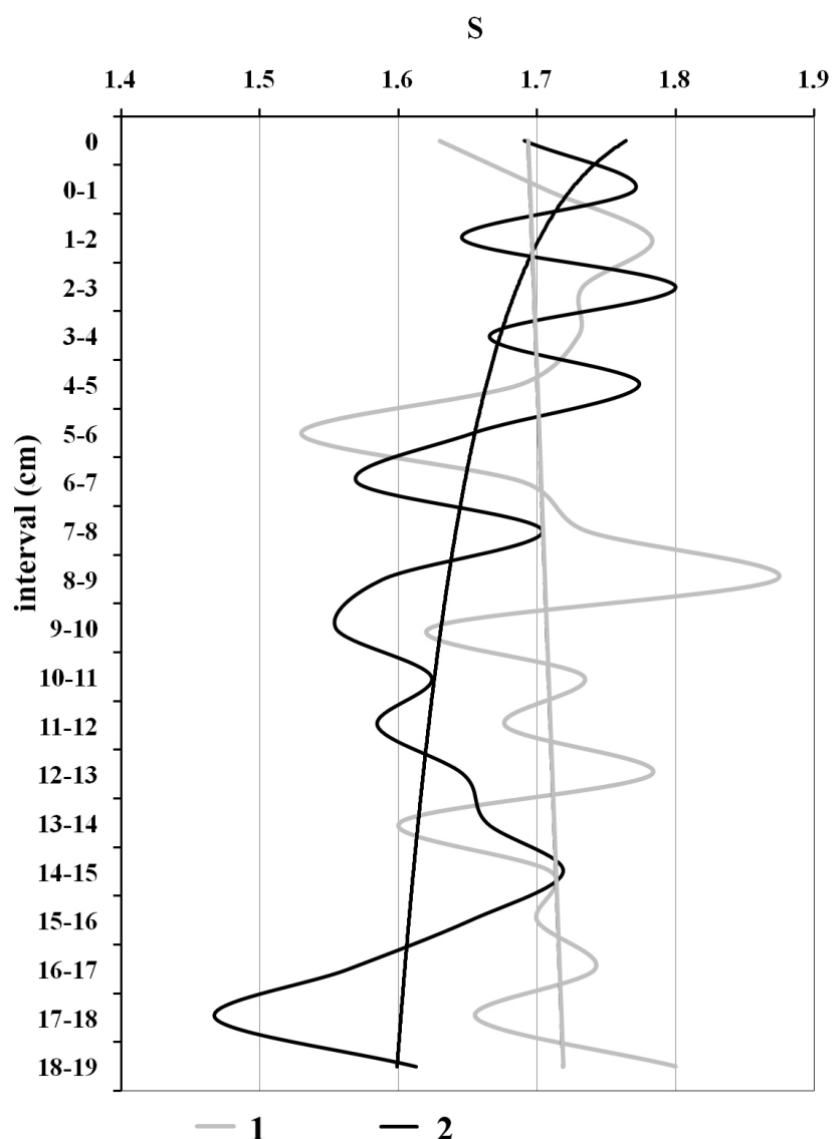


Рис. 3. Долговременные изменения численных значений индекса сапробности (S) в Иваньковском водохранилище. Серым цветом обозначены численные значения и результирующая линия в районе Островов (1); черным цветом обозначены численные значения и результирующая линия в Перетрусовском заливе (2).

Fig. 3. Long-term changes in the numerical values of the saprobity index (S) in the Ivankovo reservoir. Numerical values and the resulting line in the area of the Ostrova (1) are indicated in gray; numerical values and the resulting line in the Peretrusovsky Bay (2) are indicated in black.

В образцах из колонки ДО, отобранной в р-не Островов, идентифицировано 45 видов-индикаторов сапробности (S). Из них четыре вида – ксеносапробы, 10 видов – олигосапробы, 22 вида – β -мезосапробы, четыре вида – α -мезосапробы и два вида – α - β -мезосапробы. В результате проведенных подсчетов получены численные значения S вдоль всего разреза колонки ДО (рис. 3).

Расчет численных значений S позволил установить малозначительные изменения, но-

сящие циклический характер. Изменения численных значений не выходят за рамки погрешности при проводимых расчетах и соответствует β -мезосапробной зоне.

В результате анализа диатомовых комплексов из колонок ДО можно констатировать, что в Перетрусовском заливе наблюдается сапробизация водоема, что, вероятно, связано с процессами зарастания, обмеления и накоплением органики (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системе Иванковского водохранилища установлена выраженная дифференциация уровня экологического благополучия в открытых, центральных частях и в прибрежной мелководной зоне. Открытые участки стабильно находятся на начальной стадии экологического напряжения, и дальнейших негативных трансформаций не происходит. Это определяется высоким показателем водообмена, в результате которого происходит ежегодное десятикратное обновление вод в Иванковском водохранилище.

Прибрежные, мелководные участки стабильно пребывают в состоянии сильного экологического напряжения с элементами экологического регресса [Абакумов, 1991 (Abakumov, 1991)]. Это определяется заметным ростом неконтролируемых источников загрязнения и массовой застройкой частными домами участ-

ков прибрежных территорий, примыкающих к акватории Иванковского водохранилища.

Наглядная демонстрация применения новой концепции комплексного мониторинга – проведение исследований по оценке достоверности и информативности рассчитываемого индекса сапробности (S).

Подобный концептуально-методологический подход предполагает совместное, комплексное применение традиционных, опробованных форм мониторинга и инновационных форм трактовки полученных результатов, что и было осуществлено при проведении научно-исследовательских работ. Кроме того, полученные результаты обосновывают дальнейшие научные работы в рамках упомянутой концепции для формирования на акватории Иванковского водохранилища новой схемы мониторинга.

Работа выполнена в рамках госзадания ИВП РАН № FMWZ-2022-0002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумов В.А. Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Тр. Междунар. симпозиума, Нальчик 1–12 июня 1990. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 18–40.
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. 498 с.
- Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
- Полякова Е.И. Диатомовый анализ. Методы палеогеографических реконструкций. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 126–160.
- Разумовский В.Л. Комплексный мониторинг Клязьминского водохранилища // Вопросы современной альгологии. 2020. № 2(23). С. 17–25. DOI: 10.33624/2311-0147-2020-2(23)-17-25
- Разумовский Л.В. Оценка информативности новой концепции комплексного мониторинга на примере трех водохранилищ // Сб. трудов XVII международной научной конференции диатомологов (Минск 23–28 августа 2021 г.). Минск: “Колоград”, 2021. С. 106–112.
- Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Доклады академии наук. Общая биология. 2009. Т. 429, № 3. С. 274–277.
- Разумовский Л.В., Чермных Л.П. Комплексный мониторинг Иванковского водохранилища по диатомеям из фитопланктона и донных отложений. // Сб. трудов XVII международной научной конференции диатомологов (Минск 23–28 августа 2021 г.). Минск: “Колоград”, 2021. С. 117–120.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 320 с.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.
- Razumovsky L.V. Application of paleolimnological methods in study of ecosystem transformations in reservoirs // Limnology and Freshwater Biology (Special issue PaleoEurasia – 2020), 2020. Vol. 4. P. 474–475. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-474

- Renberg I. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores // *Journal of Paleolimnology*. Vol. 4. 1990. P. 87–90.
- Sládeček V. System of water quality from biological point of view // *Arch. Hydrobiol. Erg. Limnol.* 1973. Vol. 7. P. 1–218.
- REFERENCES
- Abakumov V.A. Ekologicheskie modifikacii i razvitie biocenozov. Ekologicheskie modifikacii i kriterii ekologicheskogo normirovaniya [Ecological modifications and development of biocenoses. Ecological modifications and criteria of ecological rationing]. *Tr. Mezhdunar. simpoziuma, Nal'chik 1-12 iyunya 1990*. L., Gidrometeoizdat, 1991, pp. 18–40. (In Russian)
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Bioraznობrazie vodoroslej – indikatorov okruzhayushchej sredy [Biodiversity of algae - indicators of the environment]. Tel'-Aviv, PiliesStudio, 2006. 498 p. (In Russian)
- Davydova N.N. Diatomovye vodorosli – indikatory prirodnyh uslovij vodoemov v golocene [Diatoms – indicators of natural conditions of reservoirs in the Holocene]. L., Nauka, 1985. 244 p. (In Russian)
- Polyakova E.I. Diatomovyj analiz. Metody paleogeograficheskikh rekonstrukcij [Diatom analysis. Methods of paleogeographic reconstructions]. M., Izd-vo MGU, 2010. pp. 126–160. (In Russian)
- Razumovskij L.V. Ocenka informativnosti novoj koncepcii kompleksnogo monitoringa na primere trekh vodohranilishch [Evaluation of the informativeness of the new concept of integrated monitoring on the example of three reservoirs]. *Sb. trudov XVII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii diatomologov (Minsk 23–28 avgusta 2021 g.)*. Minsk, “Kolograd”, 2021, pp. 106–112. (In Russian)
- Razumovskij L.V., Chermnyh L.P. Kompleksnyj monitoring Ivan'kovskogo vodohranilishcha po diatomeyam iz fitoplanktona i donnyh otlozhenij [Comprehensive monitoring of the Ivankovo reservoir by diatoms from phytoplankton and bottom sediments]. *Sb. trudov XVII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii diatomologov (Minsk 23–28 avgusta 2021 y.)*. Minsk, “Kolograd”, 2021, pp. 117–120. (In Russian)
- Razumovskij L.V., Moiseenko T.I. Ocenka prostranstvenno-vremennyh transformacij ozernyh ekosistem metodom diatomovogo analiza [Assessment of spatial and temporal transformations of lake ecosystems by diatom analysis]. *Doklady akademii nauk. Obshchaya biologiya*, 2009, vol. 429, no. 3, pp. 274–277. (In Russian)
- Razumovskij V.L. Kompleksnyj monitoring Klyaz'minskogo vodohranilishcha [Comprehensive monitoring of the Klyazma reservoir]. *Voprosy sovremennoj al'gologii*, 2020, no. 2(23). pp. 17–25. doi: 10.33624/2311-0147-2020-2(23)-17-25
- Razumovsky L.V. Application of paleolimnological methods in study of ecosystem transformations in reservoirs. *Limnology and Freshwater Biology*, 2020, vol. 4, pp. 474–475. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-474
- Renberg I. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores. *Journal of Paleolimnology*, 1990, vol. 4, pp. 87–90.
- Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnyh ekosistem [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. SPb., Gidrometeoizdat, 1992. 320 p. (In Russian)
- Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. Kolichestvennaya gidroekologiya: metody, kriterii, resheniya [Quantitative hydroecology: methods, criteria, solutions]. M., Nauka. 2005, bd. 1. 281 p. (In Russian)
- Sládeček V. System of water quality from biological point of view. *Arch. Hydrobiol. Erg. Limnol.*, 1973, vol. 7, pp. 1–218.

EVALUATION OF THE NEW CONCEPT OF INTEGRATED MONITORING INFORMATIVENESS ON THE EXAMPLE OF THE IVANKOVO RESERVOIR

L. V. Razumovsky¹, L. P. Chermnykh², V. L. Razumovsky¹ *

¹*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences*

*119333, Moscow, Gubkina st., 3, Russia, e-mail: *nethaon@mail.ru*

²*State University “Dubna”*

141980, town Dubna, Universitetskaya st., 19, Moscow region, Russia

Revised 7.05.2022

The paper presents results of one of the stages of integrated monitoring new concept testing. The novelty of the concept implies a joint analysis of diatom complexes from bottom sediment columns and modern phytoplankton complexes. The Ivankovo reservoir was chosen as the object of research. The results of the water quality assessment by the saprobity index (S) are considered. Biomonitoring did not reveal significant changes in the saprobity index (S). In the analysis of diatom complexes from columns of bottom sediments, the differentiation between the coastal zone and the open areas of the reservoir was established. In the coastal zone, an increase in the numerical values of S was registered. Saprobization of the coastal sections of the reservoir is presumably determined by a combination of factors: unauthorized construction, overgrowth of coastal zones, etc. The main objective of the work was to demonstrate the informative value of the new concept of integrated monitoring in assessing long-term transformations occurring in the reservoir.

Keywords: reservoir, anthropogenic load, phytoplankton, diatom complexes, bioindication