УДК 504.455:574.63:504.062

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННОМ ВОДОЕМЕ

Козлов А.В., Вершинина И.В.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

В работе дан экологический анализ суммарного содержания нефтепродуктов и некоторых тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb, Cu) в водах антропогенно преобразованного водоема культурной зоны – Мухинского озера, расположенного в г. Бор Нижегородской области. Изначально имеющий природный генезис, этот водоем в силу активных инженерных решений по благоустройству территории оказался загрязнен некоторыми поллютантами, претерпел техническое изменение своего строения и оказался в активной фазе эвтрофикации. В результате исследования природно-техногенного водоема было установлено наличие цинка (до 0,3 % от ПДК), кадмия (до 78,2 % от ПДК), свинца (до 62,1 % от ПДК) и меди (до 257 % от ПДК), а также содержание нефтепродуктов в повышенных концентрациях (до 114 % от ПДК), по некоторым из которых были выявлены превышения относительно санитарно-экологических норм. Значительная вариабельность концентрации поллютантов в водах озера (Zn – 102 %, Cd – 66 %, Pb – 82 %, Cu – 141 %, н/п – 12 %) свидетельствует о возможном микрозональном загрязнении по диаметру водоема, а также о его полуприродном генезисе и наличии техногенного воздействия. В целях улучшения экологического состояния рассматриваемого водного объекта необходимо активное внедрение инженерно-технических решений по реабилитации и самовосстановлению озера, к которым можно отнести разбавление водоема и изменение скорости водообмена, удаление донных отложений, контроль насосоудерживающей способности озера и его зарастания макрофитами, использование сорбентов, коагулянтов и флокулянтов, биоманипуляции и использование биопрепаратов, а также балансировка кислотности воды. Подобные меры будут способствовать приведению озера к экологически оптимальному состоянию при условии прекращения неблагополучного техногенного воздействия.

Ключевые слова: техногенное изменение акватории, озерные водные системы, экологический анализ воды, тяжелые металлы, нефтепродукты, благоустройство территории водоема

ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF OIL PRODUCTS CONTENT AND HEAVY METALS IN ANTHROPOGENIC MODIFIED WATER

Kozlov A.V., Vershinina I.V.

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

The work provides an ecological analysis of the total content of oil products and some heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu) in the waters of the anthropogenic transformed water body of the cultural zone «Mukhinsky Lake,» located in the city of Bor of the Nizhny Novgorod region. Initially having a natural genesis, this water body, due to active engineering solutions for the improvement of the territory, was contaminated with some pollutants, underwent a technical change in its structure and was in the active phase of eutrophication. As a result of the study of the natural-man-made water basin, the presence of zinc (up to 0.3 % of TLV), cadmium (up to 78.2 % of TLV), lead (up to 62.1 % of TLV) and copper (up to 257 % of TLV) was found, as well as the content of petroleum products in increased concentrations (up to 114 % of TLV), for some of which excess environmental standards were identified. The significant variability in the concentration of pollutants in the lake waters (Zn – 102 %, Cd – 66 %, Pb – 82 %, Cu – 141 %, O/P – 12 %) indicates possible micro-horizontal contamination by the diameter of the water basin, as well as its semi-natural genesis and the presence of man-made effects. In order to improve the ecological state of the water object under consideration, it is necessary to actively introduce engineering and technical solutions for rehabilitation and self-recovery of the lake, which include dilution of the water basin and change of the rate of water exchange, removal of bottom deposits, control of the lake ‘s storage capacity and its growth by macrophytes, use of sorbents, coagulants and floculants, biomanipulation and use of biopreparations, as well as balancing water. Such measures will contribute to bringing the lake to an environmentally optimal state, provided that the adverse technological impact is stopped.

Keywords: technogenic change of water area, lake water systems, ecological analysis of water, heavy metals, oil products, improvement of water basin territory

Любая городская система в определенный период времени характеризуется рядом специфических, присущих только ей проблем, которые возникают в результате антропогенного воздействия на природные компоненты урбоэкосистемы. Практически повсеместно на территории Российской Федерации чрезвычайно остро стоит вопрос неблагополучного экологического состояния городских водных объектов [1–3].

Рядом современных исследований указывается [4, 5], что усиление темпов негативного воздействия антропогенно-техногенного пресса на состояние водоемов обусловлено в первую очередь ростом промышленных предприятий и городского на-

селения, а также увеличением доли водного и наземного транспорта. Действие данных объектов, имеющее хронический характер, обусловлено газо-пылевыми выбросами, частицы которых оседают на поверхность близлежащих водных объектов, сточными водами, нормативная чистота которых, так или иначе, привносит поллютанты, а также твердыми отходами, негативно действующими в виде опосредованного эффекта через почвы, грунты и грунтовые воды при их складировании и захоронении.

Водоемы в городской черте являются элементами экологической инфраструктуры, они определяют рекреационные свойства городов и формируют ландшафтный облик урбанизированной территории, при этом за счет водных объектов происходит сток поверхностных и дренажных вод в них как в резервуары для очищения и накопления [6–8]. Как правило, городские водные объекты не используют в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а ценность водоемов на урбанизированной местности заключается в возможности использования их в качестве объектов рекреации (культурно-бытовое водопользование). Также нужно отметить, что экологическое состояние водоемов характеризует социально-экономическую и эстетическую привлекательность городских территорий, без которой не может обойтись ни одна современная городская застройка.

В условиях современной активной урбанизации происходит усиление техногенного воздействия на водные объекты, которое наиболее ярко проявляется на тех водоемах, которые расположены в центре урбанизированной территории (экологические центры каркаса города) [9]. В такие водные объекты стоками с городской местности привносятся загрязняющие вещества, которые ухудшают качество природных вод, нарушают гомеостаз водных экосистем и, как следствие, снижают их способность к самоочищению и самовосстановлению. В свою очередь, зачастую это приводит к усилению процессов эвтрофикации водоемов, их заболачиванию и комплексному нарушению местных биоценозов [10, 11].

В современной урбоэкологии для реализации целей сохранения и оптимизации экологических и социально значимых функций городских водоемов указывается на необходимость комплексного внедрения эффективной инженерно-экологической системы управления урбанизированными водными объектами [12–14]. В свою очередь, проведение мониторинговых исследований по оценке экологического состояния таковых водоемов является одной из первоочередных задач при выявлении их общего состояния.

Цель работы заключалась в оценке экологического состояния антропогенно измененного водоема – Мухинского озера, размещенного в условиях городской среды г. Бор Нижегородской области по содержанию нефтепродуктов и тяжелых металлов как по приоритетным экологическим показателям антропогенеза.

Материалы и методы исследования

Исследования осуществлялись на городском водном объекте г.о. г. Бор Нижегородской области, который был реконструирован в ходе проведения благоустройства территории. Ранее озеро Мухинское представляло собой естественный природный водоем со сложившимися трофическими связями и энергетическими потоками, однако в результате осуществленных технических работ данный исторический памятник центральной части г. Бор превратился в полуискусственную техногенную систему.

В соответствии с проектом «Формирование комфортной городской среды» весной 2018 г. озеро углубили с помощью земснаряда, очистили и сформировали береговую линию. В ходе работ были нарушены подводные ключи, питавшие озеро, в результате чего вода стала постепенно убывать за счет испарения, а озеро пересыхать. Без проведения гидрогеологических исследований чашу озера перенесли на 10 м ближе к зданию местного рынка с целью создания центрального объекта вновь формируемой территории рекреации. Прежнее ложе водного объекта было засыпано песком и щебнем – на первом этапе благоустройства, таким образом, был сформирован искусственный водоем.

В соответствии с генпланом общая площадь водного зеркала искусственной системы составляет 1560 м^2, глубина водоема 73,5 м. Береговая линия водного объекта укреплена шпунтовой стенкой, пешеходные дорожки вокруг озера выполнены из пластиковой террасной доски. Чаша озера размещена таким образом, что все рядом мигрирующие городские стоки несут свои воды непосредственно в водный объект.

В весенний период 2019 г. искусственно сформированная система пересохла, и вода из озера полностью ушла. За первые два месяца лета 2019 г. чашу водоема многократно наполняли водопроводной водой, подпитывая его искусственно, однако вода в озере не задерживалась. В июле 2019 г. были осуществлены работы по изоляции дна с помощью геомембраны, поверх изоляционного материала уложен слой песка, чаша вновь заполнена водой, сформирована искус-

ственная система подпитки озера. Результатом выполненных работ явился интенсивно протекающий процесс эвтрофизации водоема, после чего была предпринята попытка удалить все поверхностные цветущие водоросли из водной среды механическим путем, а затем в осенний период вода вновь была химически обработана.

Для проведения экологического анализа Мухинского озера в середине марта 2020 г. проводили отбор проб воды из четырех точек, расположенных равномерно по диаметру озера, непосредственно после схода снежного покрова и льда с водного зеркала исследуемого объекта (рис. 1).

Анализ показателей качества воды производился на базе Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды при НГПУ им. К. Минина; аналитическая повторность – трехкратная. Оценка экологического состояния воды Мухинского озера проводилась по наиболее приоритетным показателям, отражающим наличие и интенсивность техногенного воздействия на водоемы [15]. В пробах воды определяли содержание наиболее распространенных тяжелых металлов в общей (суммарной) форме – цинка, кадмия, свинца и меди, а также суммарное содержание нефтепродуктов.

Анализ воды по определению концентрации тяжелых металлов проводили инверсионно-вольтамперометрическим методом на анализаторе ТА-Lab по ПНД Ф 14.1:2:4.222-06 «Методика измерений массовой концентрации цинка, кадмия, свинца и меди в водах питьевых, природных и сточных методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА»; определение содержания нефтепродуктов проводили флуориметрическим способом на анализаторе ФЛЮОРАТ 02-4М по ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 «Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных (включая морские), питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02»».

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного анализа было установлено, что в целом воды Мухинского водоема характеризовались наличием определенного количества тяжелых металлов, в частности цинка и кадмия (рис. 2).

Содержание цинка оказалось наименьшим в точке 3, а наибольшим из всех определенных – в точке 2, превышающим минимальное значение в 77,1 раза. Несколько иная, гораздо менее похожая по вариабельности картина сложилась по концентрации кадмия: его минимальное количество оказалось в точке 1, а максимальное – в точке 4, увеличенное относительно первой точки отбора в 3,9 раза. Достаточно высокий уровень вариации уровня концентрации тяжелых металлов в воде, по-видимому, был обусловлен отсутствием проточности водоема, а также микрозональным загрязнением. Превышенных относительно допустимых концентраций значений содержания цинка и кадмия в исследуемых водах установлено не было.

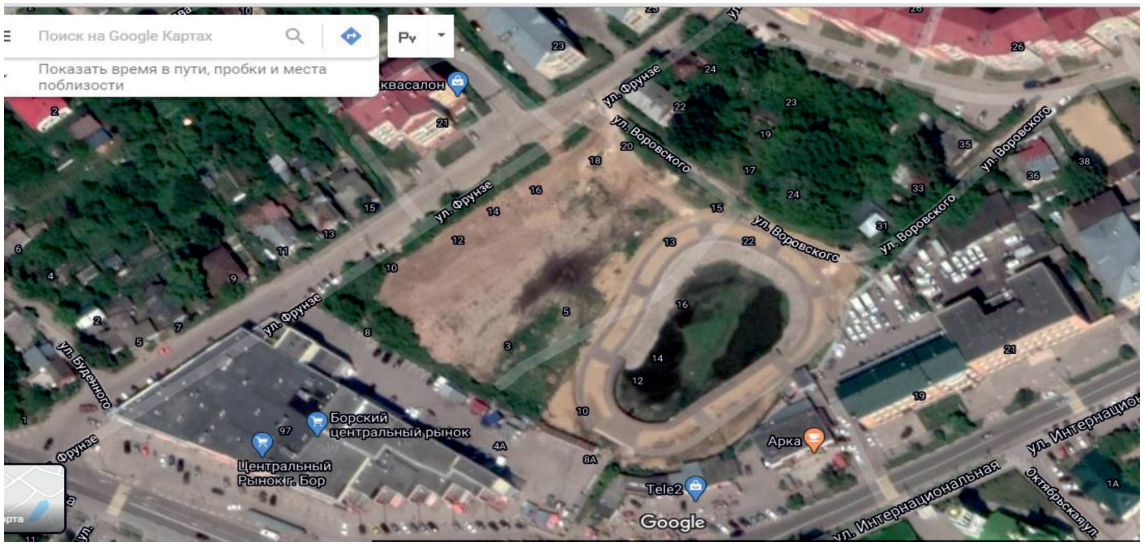

Рис. 1. Территория г. Бор с полуприродным комплексом «Мухинское озеро»

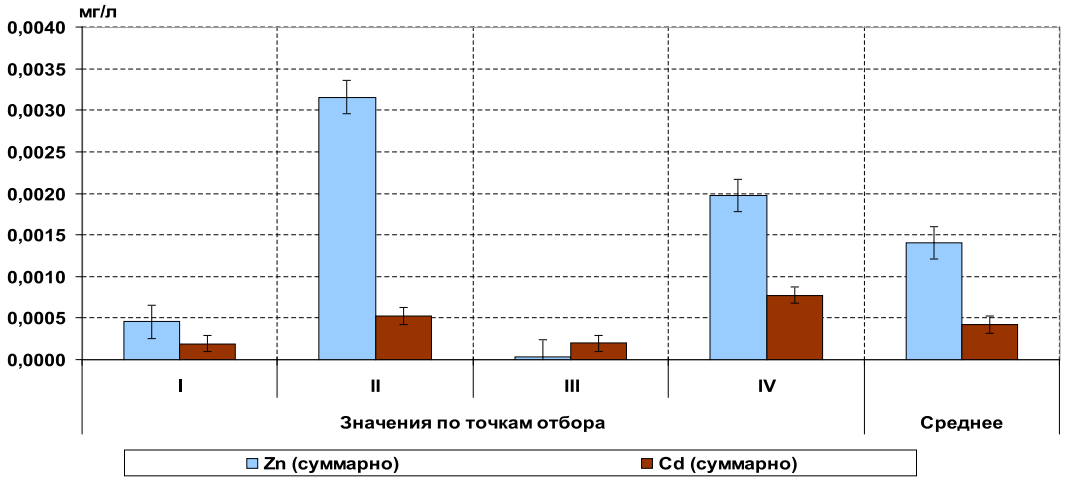

Рис. 2. Суммарное содержание соединений цинка и кадмия в водах антропогенно измененного водоема «Мухинское озеро» (2020 г.)

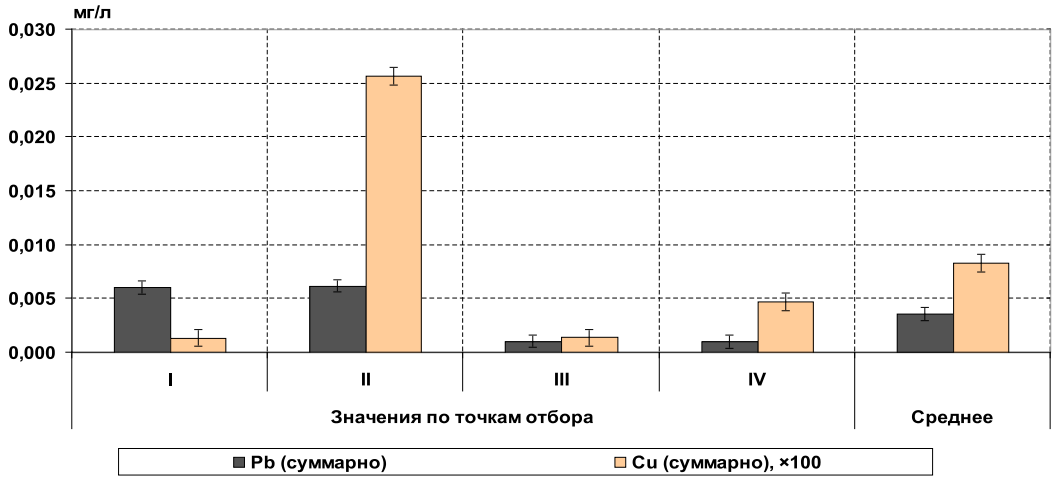

Рис. 3. Суммарное содержание соединений свинца и меди в водах антропогенно измененного водоема «Мухинское озеро» (2020 г.)

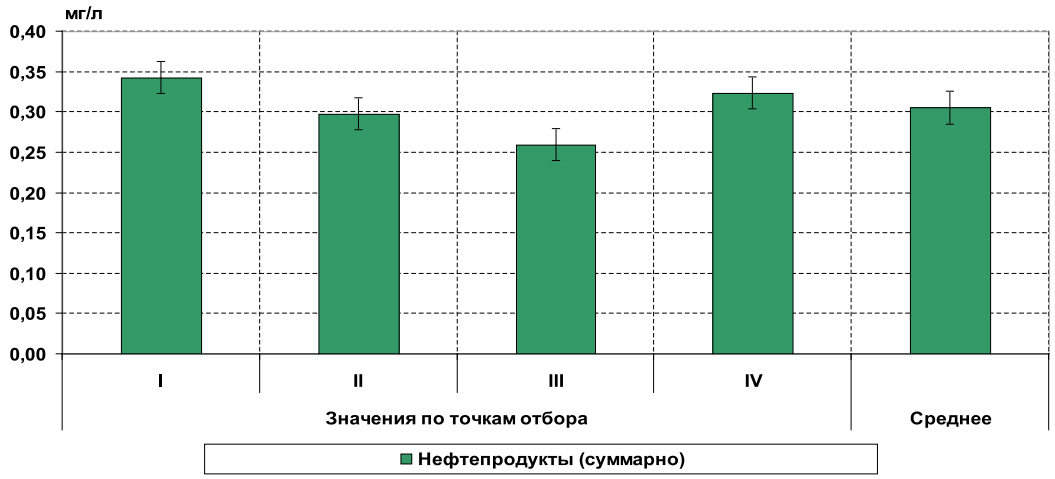

Рис. 4. Суммарное содержание нефтепродуктов в водах антропогенно измененного водоема «Мухинское озеро» (2020 г.)

Данные вариационного анализа показателей содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов в природно-техногенном водоеме «Мухинское озеро» (Нижегородская область, 2020 г.)

Показатель	Минимальное значение (Min)	Максимальное значение (Max)	Среднее значение (M)	Ошибка среднего значения (m)	Коэффициент вариации (V,%)	ПДК*
Zn (суммарно)	0,000041	0,003162	0,001411	0,00072	102	1,0
Cd (суммарно)	0,000198	0,000782	0,000428	0,00014	66	0,001
Pb (суммарно)	0,001034	0,006213	0,003599	0,00147	82	0,01
Cu (суммарно)	0,137011	2,570014	0,829636	0,58538	141	1,0
Нефтепродукты	0,260	0,343	0,306	0,018	12	0,3

Примечание. ПДК – согласно ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», ГН 2.1.5.2280-07 Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03, ГН 2.1.5.2307-07 «Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

Содержание в водах озера свинца и меди, представленное на рис. 3, также имело заметный уровень колебания в зависимости от точки отбора пробы. Например, наибольшая концентрация свинца была выявлена также в точке 2, а наименьшая – в точке 4; при этом в точке 2 уровень содержания металла превышал минимальное значение в 6 раз. Чего нельзя сказать про содержание меди в водах Мухинского озера. Здесь вариабельность между наибольшим и наименьшим значением достигала 18,7 раза между показателями 0,137011 мг/л и 2,570014 мг/л.

Очевидно, что, несмотря на столь несущественные размеры водоема, уровень токсичности его вод может быть различным, что оказалось продиктовано значительным разбросом уровня показателей содержания тяжелых металлов в диаметре водного объекта. Также необходимо отметить, что по накоплению в воде меди было установлено превышение относительно ПДК в 2,6 раза.

Относительно накопления нефтепродуктов в водах озера, показанного на рис. 4, необходимо отметить, что их суммарное содержание в целом было достаточно повышенным и по точкам отбора 1 и 4 превышало установленные нормы соответственно в 1,14 и 1,02 раза.

Однако между точками отбора заметной разницы в показателе не обнаружилось – кратность повышения в содержании нефтепродуктов в водах достигала лишь 1,3 раза. Данные статистической обработки показателей, представленные в таблице, свидетельствуют об уровне значимости их вариации при $p < 0,05$.

Из таблицы следует, что очень существенной вариабельностью характеризовалось содержание в водах озера цинка и меди (более 100 %), значительной вариабельностью – содержание кадмия и свинца (60–80 %) и несущественной – суммарное содержание нефтепродуктов (менее 20 %). Полученный разброс данных свидетельствует об антропогенном микрозональном загрязнении водоема, а также о факте его техногенного преобразования.

Заключение

В результате экологического анализа природно-техногенного водоема, находящегося в культурной зоне «Мухинское озеро» г. Бор Нижегородской области, было установлено наличие цинка, кадмия, свинца и меди, а также содержание нефтепродуктов в повышенных концентрациях, по некоторым из которых были установлены превышения относительно санитарно-экологических норм. Значительная вариация концентрации поллютантов в водах озера свидетельствует о возможном микрозональном загрязнении по диаметру водоема, а также о его полуприродном генезисе. В целях улучшения экологического состояния рассматриваемого водного объекта необходимо активное внедрение инженерно-технических решений по реабилитации и самовосстановлению озера, к которым можно отнести: разбавление водоема и изменение скорости водообмена, удаление донных отложений, контроль насосоудерживающей способности озера и его зарастания макрофитами, использование сорбентов, коагулянтов и флокулянтов, биоманипуляция и использование биопрепаратов, а также балансировка кислотности воды. Подобные меры будут способствовать приведению озера к экологически оптимальному состоянию при условии прекращения неблагополучного техногенного воздействия.

Список литературы

1. Берникова Т.А., Цупикова Н.А., Нагорнова Н.Н. Роль водных объектов в обеспечении устойчивого развития городской среды (на примере бассейна пруда Верхнего в г. Калининграде // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 4. С. 97–106.

2. Козлов А.В., Вершинина И.В. Применение гидробиологических показателей для оценки экологического состояния крупных водоемов (на примере Чебоксарского водохранилища) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 11. С. 15–20.

3. Kozlov A.V., Vershinina I.V., Volkova A.V., Uromova I.P., Novik I.R., Zhadaev A.Yu., Avdeev Yu.M. Environmental performances and biological toxicity of snowpack water. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. Vol. 9. № 1. P. 4967–4971.

4. Теличенко В.И., Курочкина А.В. Методология оценки техногенного загрязнения водных объектов урбанизированных территорий // Вестник МГСУ. 2016. № 6. С. 80–89.

5. Козлов А.В., Маркова Д.С., Соколюк С.А., Тогузов В.И. Экспертиза эколого-гидрохимического состояния памятника природы – озера «Светлояр» Нижегородской области // Успехи современного естествознания. 2019. № 6. С. 74–81.

6. Крохалева С.И., Чепиль А.П. Сравнительный анализ экологического состояния водных рекреационных объектов г. Биробиджана // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2016. № 3 (24). С. 14–26.

7. Маркова С.М., Наркозиев А.К. Методика исследования содержания профессионального образования // Вестник Мининского университета. 2019. Т. 7. № 1 (26). С. 2.

8. Козлов А.В., Тарасов И.А., Дедык В.Е. Эколого-гидрохимическая характеристика акватории озера «Ключик» Павловского района Нижегородской области // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 1. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=25909 (дата обращения: 26.05.2020).

9. Шабанов В.А., Шабанова А.В. Управление качеством городской среды: два подхода к реабилитации водных объектов // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 7–2 (61). С. 51–58.

10. Горюнова С.И. Влияние антропогенного воздействия на экологическое состояние малой городской реки // Вестник Московского университета. Серия 3 «Естественные науки». 2010. № 2. С. 57–64.

11. Усманова Л.И. Характеристика химического состава речных вод на территории и в окрестностях города Читы // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 200–208.

12. Суппес Н.А. Влияние хозяйственной деятельности на экологическое состояние водоемов города Ишима // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7. № 3 (24). С. 98–103.

13. Мялкина Е.В. Диагностика качества образования в вузе // Вестник Мининского университета. 2019. Т. 7. № 3 (28). С. 4.

14. Дмитриев В.В., Боброва О.Н., Грачева И.В., Колодкин П.А., Примак Е.А., Седова С.А., Четверова А.А. Мониторинг и моделирование продукционно-деструкционных отношений в водных экосистемах // Успехи современного естествознания. 2019. № 1. С. 82–87.

15. Козлов А.В. Лабораторно-инструментальные методы исследований в экологии объектов окружающей среды: учебно-методическое пособие. Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2016. 89 с.