

УДК 504.064.2:911.6:574.633
DOI 10.17513/use.38338

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ЗОНИРОВАНИЕ ВОД ДОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧИТИНСКОЙ ТЭЦ-1 ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА

Шойдоков А.Б.

ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии»
Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, e-mail: shdkvlv.sc@yandex.ru

Цель исследования – оценить состояние и выполнить зонирование вод донной подсистемы оз. Кенон по классам их качества на основе показателей макрозообентоса. В октябре 2022 г. и в марте 2023 и 2024 гг. на оз. Кенон проведены исследования состояния вод его донной подсистемы по показателям зообентоса. Современный состав донных беспозвоночных представлен хирономидами *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus* и *Tanipus punctipennis*, олигохетами *Limnodrilus hoffmeisteri* и хаоборидами *Chaoborus flavicans*. Преобладающими по площади классами качества воды в донной подсистеме оз. Кенон в октябре 2022 г. являлись третий и четвертый классы – загрязненные и грязные воды. Остальную часть от площади водоема составили воды пятого (экстремально загрязненные) и второго (слабо загрязненные) классов. В среднем современное состояние вод донной подсистемы оз. Кенон соответствует третьему классу качества (загрязненным водам). В марте 2023 и 2024 гг. качество вод донной подсистемы оз. Кенон в значительной степени не изменилось. Полученные результаты дают представление о состоянии вод в донной подсистеме озера и могут быть использованы для создания геомодели природно-технической системы водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1.

Ключевые слова: оценка состояния вод, донная подсистема, водоем-охладитель, геоинформационные технологии, зонирование, зообентос, озеро Кенон

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований Сибирского отделения Российской академии наук «Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза, основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов» (№ государственной регистрации 121032200070-2).

ASSESSMENT OF THE CONDITION AND ZONING OF THE WATERS OF THE BOTTOM SUBSYSTEM OF THE CHITA TPP-1 COOLING RESERVOIR ACCORDING TO THE INDICATORS OF ZOOBENTHOS

Shoydokov A.B.

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: shdkvlv.sc@yandex.ru*

The purpose of the study is to assess the condition and perform zoning of the waters of the bottom subsystem of Lake Kenon by their quality classes based on macrozoobenthos indicators. In October 2022 and in March 2023 and 2024, studies of the state of the waters of its bottom subsystem according to zoobenthos indicators were conducted at Kenon Lake. The modern composition of benthic invertebrates is represented by the chironomids *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus* and *Tanipus punctipennis*, oligochaetes *Limnodrilus hoffmeisteri* and chaoborides *Chaoborus flavicans*. The predominant water quality classes in the bottom subsystem of Kenon Lake in October 2022 were the third and fourth classes – polluted and dirty waters. The rest of the reservoir area was made up of waters of the fifth (extremely polluted) and second (slightly polluted) classes. On average, the current state of the waters of the bottom subsystem of Kenon Lake corresponds to the third quality class (polluted waters). In March 2023 and 2024, the water quality of the bottom subsystem of Kenon Lake remained largely unchanged. The results obtained give an idea of the state of the waters in the bottom subsystem of the lake and can be used to create a geomodel of the natural-technical system of the Chita TPP-1 cooling reservoir.

Keywords: assessment of the state of waters, bottom subsystem, cooling reservoir, geoinformation technologies, zoning, zoobenthos, Kenon Lake

The work was carried out under the fundamental scientific research program of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences “Geoecology of aquatic ecosystems of Transbaikalia in the conditions of modern climate and technogenesis, basic approaches to the rational use of waters and their biological resources” (state registration number 121032200070-2).

Введение

Использование озер в качестве охладителей тепловых агрегатов угольных электростанций обуславливает сложный и комплексный характер антропогенного воздействия на компоненты окружающей среды,

что влечет за собой нарушение естественного режима функционирования водоемов. Результат такого воздействия способствует появлению природно-технических геоэкосистем водоемов-охладителей, изучение которых необходимо для рационального

использования водных ресурсов. Исследование таких геоэкосистем имеет перспективу с использованием геоинформационных технологий (ГИС). Применение ГИС-технологий широко отражено в работах ученых [1, 2]. Сбор данных об изучаемом объекте, их анализ и дальнейшая визуализация с применением ГИС позволяют создать пространственную геодею [3], которая отражает состояние геоэкосистемы. При изучении геоэкосистем водоемов-охладителей в качестве геоданных выступают любые пространственные элементы природного и техногенного характера.

Озеро Кенон – важнейший объект обеспечения краевого центра Забайкальского края г. Читы тепло- и электроэнергией; водоем, использующийся в качестве охладителя тепловых агрегатов Читинской ТЭЦ-1 уже более 50 лет [4, с. 3]. До настоящего времени была попытка АНО «Центр исследований и разработок» [5] изучить состояние оз. Кенон с использованием геоинформационных технологий. Однако схема станций исследования, представленная в отчете [5], не дает полного представления о качестве воды в озере. Мониторинг за качеством вод оз. Кенон с использованием организмов – биоиндикаторов (зообентос, зоопланктон и т.д.) выполняет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды «Росгидромет» [6]. Росгидромет проводит наблюдения за качеством вод водоема на двух створах [6]: в районе ТЭЦ и в центре озера. Ограниченное количество станций мониторинга не позволяет выполнить зонирование вод оз. Кенон по классам качества с использованием ГИС-технологий.

При изучении природных водоемов Забайкальского края зонирование с использованием ГИС выполнялось на основе равномерно распределенных по озеру станций исследования [7]. В отношении водоемов-охладителей в Забайкальском крае исследования с целью выполнения зонирования не проводились. При мониторинге за состоянием оз. Кенон не уделяется достаточное внимание донной подсистеме водоема. В ней осуществляются процессы взаимодействия между компонентами: подстилающие породы – донные отложения – вода – биота, которые определяют состояние всей геоэкосистемы водоема-охладителя [8]. **Цель исследования** – оценить состояние и выполнить зонирование вод донной подсистемы оз. Кенон по классам их качества на основе показателей макрозообентоса.

Материалы и методы исследования

Озеро Кенон (52°02.349' N, 113°23.068' E) (рис. 1) – один из крупных водоемов, относящихся к Верхнеамурскому бассейну, который находится на северо-западной окраине г. Читы в пределах Читинской котловины на высоте 650 м. Водоем окружен городскими жилыми застройками, промышленными и технологическими предприятиями, к которым относятся: Читинская ТЭЦ-1, городская нефтебаза, Транссибирская железнодорожная магистраль, авторемонтные предприятия и т.д. [4, с. 3]. В 1,4 км к западу от водоема располагается Международный аэропорт Чита. Озеро является популярным местом отдыха жителей и гостей краевого центра Забайкальского края.

Водоем бессточный, однако при высоком стоянии уровня вод озера может наблюдаться поверхностный сток из него в р. Ингода. В оз. Кенон впадают р. Застепенский (Ивановский) и р. Кадалинка. В связи с использованием водоема в качестве охладителя Читинской ТЭЦ-1 для регулирования его уровня и восполнения потерь воды осуществляется подкачка вод из р. Ингода [4, с. 8].

Озеро Кенон относится к мелководным водоемам с значительными изменениями степени зарастания, зависящими от уровня режима озера, климатических факторов и т.д.

Преобладающим типом грунтов в озере являются илы. Наибольшее загрязнение донных отложений тяжелыми металлами отмечается в районе ТЭЦ [9]. При оценке токсического загрязнения водоема методом морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид установлено, что в районе ТЭЦ-1 сложились условия сильного токсического загрязнения [10].

По данным на 2022 г. площадь озера составляет 15,2 км², длина – 5,6 км, ширина (средняя) – 2,9 км. Средняя глубина – 4,8 м, максимальная – 6,2 м.

Отбор проб зообентоса выполнен в октябре 2022 г. на 32 станциях исследования, равномерно распределенных по оз. Кенон. В марте 2023 и 2024 гг. отбор проб зообентоса выполнен на семи постоянных мониторинговых станциях для оценки изменения качества вод (рис. 2). Пробы зообентоса отобраны с использованием дночерпателя Петерсена с площадью захвата 0,025 м². Далее пробы были отмыты от грунта через мельничное сито с размером ячеек 0,3 мм и зафиксированы 4%-ным раствором формальдегида.



Рис. 1. Местоположение оз. Кенон

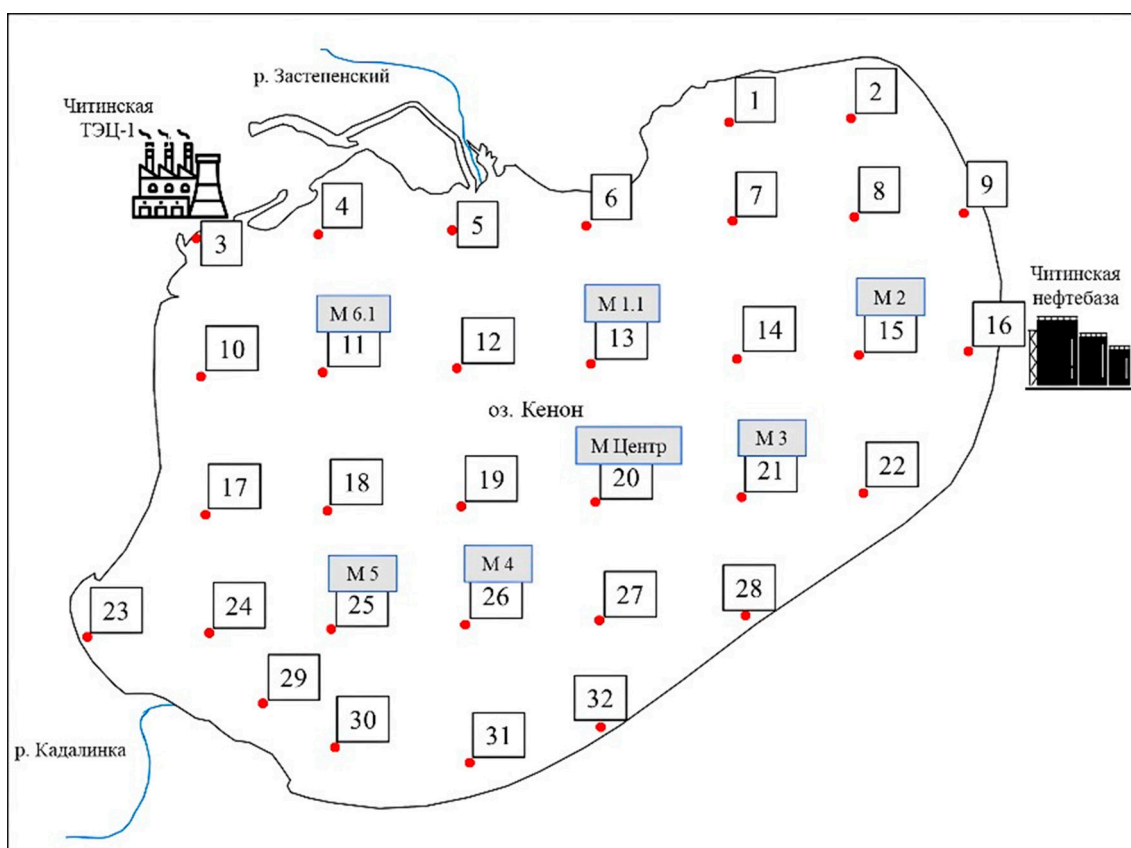


Рис. 2. Карта-схема отбора проб зообентоса на оз. Кенон, где 1–32 – станции отбора проб в октябре 2022 г., а станции с приставкой «М» – станции отбора проб в марте 2023 и 2024 гг.

Оценка качества воды оз. Кенон выполнена с использованием индекса Вудивисса [11]. Дополнительно по материалам 2022 и 2023 гг. посчитан индекс видового разнообразия Шеннона и индекс Гуднайта – Уитлея (соотношение численности олигохет к общей численности организмов зообентоса в пробе).

Расчет индекса Вудивисса был модифицирован. В качестве одной из индикаторных групп автором использовалась байкальская литоральная эндемичная амфипода *Gmelinoides fasciatus*. Известно, что этот вид избегает местообитаний с гипоксией и воздействием подогретых вод электростанций [12]. Помимо этого, имеются данные об использовании *Gm. fasciatus* в качестве тест-объекта при оценке загрязненности донных отложений [12].

Зонирование вод донной подсистемы оз. Кенон выполнено в программе ArcGIS 10.8 с использованием инструментов Spatial Analyst по результатам расчета индекса Вудивисса.

Результаты исследования и их обсуждение

В материалах исследования 2022, 2023 и 2024 гг. зообентос представлен 53 видами, из которых 58% – хирономиды, 11% – олигохеты, 5% – ручейники, 26% – прочие таксоны: *Amphipoda*, *Mollusca*, *Ephemeroptera*, *Odonata*, *Coleoptera*, *Diptera*, *Hirudinea*, *Lepidoptera* и *Arachnida*. Из показательных организмов, учитывающихся при определении биотического индекса Вудивисса [13, с. 90], отмечены: поденки *Caenis horaria* и *Ephemera orientalis*; ручейники *Cyrrus fennicus*, *Phryganea bipunctata* и *Leptoceridae* sp.; амфиподы *Gammarus lacustris* и *Gmelinoides fasciatus*; хирономиды *Chironomus plumosus* (*cyngulatus*?), олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Aulodrilus pigueti*. При расчете индекса Гуднайта – Уитлея [13, с. 87] в литоральной зоне юго-западной и северо-восточной частях озера встречались *Stylaria fossularis*, *Nais variabilis*, *Nais pseudobtusa* и *Nais communis*. В глубинной зоне в центре озера встречался *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Aulodrilus pigueti*.

Таксономическое обилие зообентоса в пробах изменялось от 3 до 17 видов. Максимальное число таксонов зообентоса (17) отмечалось в литоральной зоне оз. Кенон на глубине 3,5 м в зарослях *Stuckenia pectinata*. Минимальное число таксонов (три) отмечено в центральной части водоема

на глубине 6 м. Количественные показатели зообентоса ($M \pm SE$) в озере составили 5503 ± 1058 экз./м² и $11,2 \pm 1,6$ г/м². Максимальные значения достигали 32960 экз./м² и $43,6$ г/м² в литоральной зоне северо-восточной части озера. Минимальные значения составили 1000 экз./м² и $3,16$ г/м² в центральной части водоема.

Станции исследования многолетней динамики зообентоса оз. Кенон охватывают глубинную (диапазон глубин от 5,6 м до 6,2 м) часть водоема-охладителя, представляющую собой илистый биотоп с отсутствием макрофитов. В октябре 2022 г. количество таксонов этой зоны изменялось от 4 до 9. Зообентос был представлен хирономидами *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus*, *Tanipus punctipennis*, хаоборидами *Chaoborus flavicans* и олигохетами *Limnodrilus hoffmeisteri*. Количественные показатели ($M \pm SE$) на станциях в октябре составили 2663 ± 531 экз./м² и $6,3 \pm 1,2$ г/м². Максимальные значения достигали 4720 экз./м² и 11 г/м², а минимальные – 1000 экз./м² и $3,32$ г/м². В марте 2023 г. зообентос был представлен теми же видами. Количество таксонов в пробах изменялось от 6 до 9. Количественные показатели ($M \pm SE$) в марте 2023 г. увеличились в два раза и составили 5377 ± 1826 экз./м² и $11,7 \pm 1,9$ г/м². Максимальные значения достигали 12880 экз./м² и $19,1$ г/м², а минимальные – 1560 экз./м² и $5,6$ г/м².

Индекс видового разнообразия Шеннона в октябре 2022 г. в оз. Кенон составил $2,24 \pm 0,08$ бит/г, что соответствует умеренно загрязненным водам [14]. Индекс Вудивисса составил $2,91 \pm 0,24$ балла. Это свидетельствует о том, что вода в оз. Кенон загрязненная, местами грязная и экстремально грязная [11]. Локально в северной и южной частях водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 воды степени слабого загрязнения. Условно чистых вод не было. Индекс Гуднайта – Уитлея составил $9,71 \pm 3,11\%$, что по степени загрязненности соответствует условно чистым водам и первому классу качества воды [11].

Индекс видового разнообразия Шеннона по многолетним станциям исследования динамики зообентоса в октябре 2022 г. составил $2,12 \pm 0,16$ бит/г, а в марте 2023 г. – $2,19 \pm 0,07$ бит/г (таблица). Значения индексов соответствуют умеренно загрязненным водам. Индекс Вудивисса с 2022 по 2024 г. стал немного выше. В октябре 2022 г. он составил $2,0 \pm 0,38$ балла, в марте 2023 г. – $2,14 \pm 0,34$ балла, а в марте 2024 г. – $2,29 \pm 0,18$ балла. Класс качества

воды четвертый, степень ее загрязненности соответствует грязным водам. Индекс Гуднайта – Уитлея снизился. В октябре 2022 г. соотношение численности олиго-

хет к организмам зообентоса в пробе было $13,1 \pm 5,96\%$, а в марте 2023 г. – $6,19 \pm 4,44\%$. Класс качества воды первый, степень загрязненности условно чистая.

Индексы качества вод по многолетним станциям исследования зообентоса оз. Кенон

№ станции	Октябрь 2022 г.			Март 2023 г.			Март 2024 г.
	Индекс Шеннона, бит/г	Индекс Вудивисса, балл	Индекс Гуднайта – Уитлея, %	Индекс Шеннона, бит/г	Индекс Вудивисса, балл	Индекс Гуднайта – Уитлея, %	Индекс Вудивисса, балл
М 1.1 (13)*	2,69	2	2,7	2,35	2	0	2
М 2.1 (15)*	1,48	4	0	2,01	2	0	4
М 3 (21)*	2,06	2	0	2,21	2	0	4
М 4 (26)*	2,06	1	29,6	2,11	4	0	2
М 5 (25)*	2,25	2	24,6	2,43	2	30,5	2
М Центр (20)*	1,78	1	0	2,24	1	0	2
М 6.1 (11)*	2,51	2	34,7	1,96	2	12,8	2
Среднее значение	$2,12 \pm 0,16$	$2,0 \pm 0,38$	$13,1 \pm 5,96$	$2,19 \pm 0,07$	$2,14 \pm 0,34$	$6,19 \pm 4,44$	$2,29 \pm 0,18$

*Станции отбора проб в октябре 2022 г., аналогичные станциям мониторинга в марте 2023 и 2024 гг.

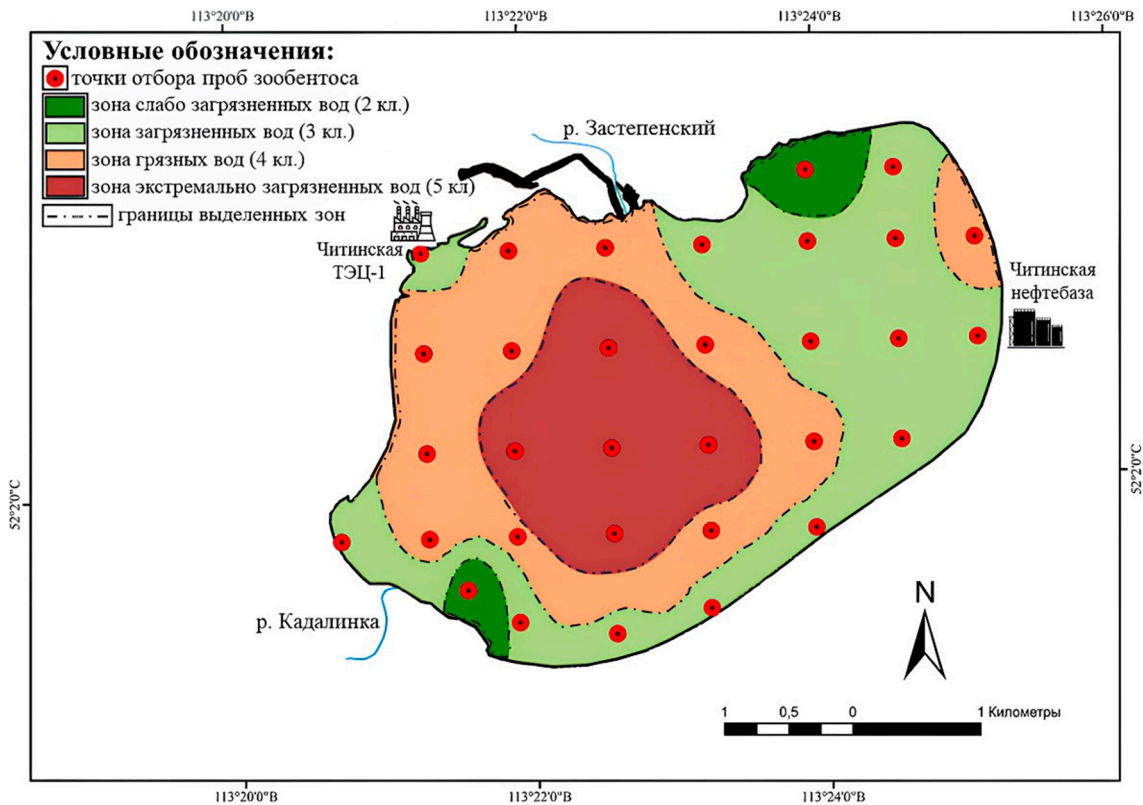


Рис. 3. Зонирование вод оз. Кенон по классам их качества, октябрь 2022 г.

Увеличение индекса Шеннона в марте 2023 г. на 0,07 бит/г, увеличение индекса Вудивисса с 2 (2022 г.) до 2,14 (2023 г.) и до 2,29 (2024 г.) балла, и снижение % индекса Гуднайта – Уитлея с 13,1 до 6,19 (таблица) свидетельствует о возможной тенденции к повышению качества воды в донной подсистеме оз. Кенон.

Преобладающим по площади классом качества вод в донной подсистеме оз. Кенон в октябре 2022 г. являлся третий класс – загрязненные воды (36,5%) (рис. 3). Остальную часть площади водоема составили воды четвертого класса качества – грязные (35,8%); воды пятого класса качества – экстремально загрязненные (22,4%); и воды второго класса качества – слабо загрязненные (5,3%).

Сравнение полученных материалов по составу зообентоса оз. Кенон 2022, 2023 и 2024 гг. с данными периода исследований 1985–1991 гг. свидетельствуют о изменениях его структуры. В 1985–1991 гг. основными представителями донных беспозвоночных были хирономиды *Chironomus* gr. и *Procladius ferrugineus*, моллюски *Sphaerium corneum* и *Pisidium inflatum*, олигохеты *Tubidex tubifex* и хаобориды *Chaoborus crystallinus* [4, с. 149]. В современных условиях зообентос представлен хирономидами *Tanytarsus bathophilus*, *Procladius choreus* и *Tanypus punctipennis*, олигохетами *Limnodrilus hoffmeisteri* и хаоборидами *Chaoborus flavicans*. Моллюски *Sphaerium corneum* и *Pisidium inflatum* не обнаружены. Отсутствовали и олигохеты *Tubidex tubifex*.

В литоральной зоне водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 отмечены максимальные показатели численности (3400 экз./м²) и биомассы (18,8 г/м²) вида-вселенца из оз. Байкал – литоральной амфиподы *Gmelinoides fasciatus*, не обнаруженной в водоеме в период исследований 1985–1991 гг. *Gm. fasciatus* встречался в юго-западной, южной, юго-восточной, восточной и северо-восточной частях оз. Кенон, что сказалось на выделении зоны загрязненных вод третьего класса качества (рис. 3).

Индекс видового разнообразия Шеннона по результатам исследований 1985–1991 гг. в целом по оз. Кенон составлял 2,8 бит/г [4, с. 152]. В литоральной части озера индексы Шеннона 2,9–3,0 бит/г. В зоне влияния сбросных вод с ТЭЦ-1 индекс Шеннона составлял 2,96 бит/г, что свидетельствует о высоком видовом разнообразии зообентоса. В центральной части отмечено снижение индекса видового разнообразия до 2,5 бит/г

[4, с. 152]. Значения соответствуют умеренному загрязнению вод. В 2010–2011 гг. индекс Шеннона в районе ТЭЦ-1 составлял 3,24 бит/г [15], что соответствует чистым водам. В 2022 г. отмечено снижение индекса видового разнообразия Шеннона. По озеру он составил 2,24±0,08 бит/г. В прибрежной зоне озера максимальный индекс видового разнообразия составил 2,7 бит/г, как и в центральной части водоема. Возле Читинской ТЭЦ-1 индекс видового разнообразия Шеннона также составил 2,7 бит/г. Степень загрязнения вод оценивается как умеренно загрязненная.

Заключение

По состоянию на октябрь 2022 г. в донной подсистеме оз. Кенон выделено четыре зоны вод по классам качества. В целом современное состояние вод донной подсистемы оз. Кенон соответствует третьему классу качества (загрязненные воды). Полученные геоданные впервые дают представление о состоянии вод в донной (бентической) подсистеме оз. Кенон и могут использоваться для создания геомодели природно-технической системы водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1.

Автор статьи выражает благодарность научному сотруднику лаборатории водных экосистем ИПРЭК СО РАН, канд. биол. наук П.В. Матафонову за оказанные консультации по теме исследования.

Список литературы

1. Bychkov I.V., Gagarinova O.V., Orlova I.I., Bogdanov V.N. Water Protection Zoning as an Instrument of Preservation for Lake Baikal // *Water*. 2018. Vol. 10. P. 1474. DOI: 10.3390/W10101474.
2. Tian F., Fan Y., Gao J., Huang J. A novel lake-zoning framework for large lakes based on numeral modelling // *Ecological Informatics*. 2022. Vol. 69. P. 101595. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2022.101595.
3. Шаннаа А.А., Кулик Е.А. Современные средства пространственного моделирования территории в ГИС // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2019. Т. 6, № 2. С. 208–214. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-6-2-208-214.
4. Экология городского водоема / Под ред. О.М. Кожовой, М.Ц. Итигиловой. Н.: Издательство СО РАН, 1998. 260 с.
5. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка программы по сохранению экосистемы озера Кенон (II этап)» // АНО «Центр исследований и разработок». 2013. [Электронный ресурс]. URL: <https://media.75.ru/minprir/documents/53876/o-nauchno-issledovatel-skoy-rabote.pdf> (дата обращения: 24.10.2024).
6. Потютко О.М., Буйолов Ю.А., Лазарева Г.А., Быхова И.В., Лукиных А.И., Чамкина А.В., Коршенко А.Н. Ежегодник состояния экосистем поверхностных вод России по гидробиологическим показателям в 2022 г. // *Росгидромет*. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/ezhegodniki/> (дата обращения: 21.10.2024).

7. Matafonov P.V., Bazarova B.B. Spatial distribution of zoobenthos in the shallow saline lake Zun-Torey in the low-water phase // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9 (6). P. 120–128.
8. Шойдоков А.Б., Матафонов П.В. Геоэкологические условия донной подсистемы озера Кенон // *Геология, география и глобальная энергия*. 2023. № 4 (91). С. 103–107. DOI: 10.54398/20776322_2023_4_103.
9. Tsybekmitova G.Ts., Kuklin A.P., Tsyganok V.I. Heavy Metals in Bottom Sediments of Lake Kenon (The Trans-Baikal Territory, Russia) // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2019. № 103 (1). P. 286–291. DOI: 10.1007/s00128-019-02645-7.
10. Матафонов П.В., Шойдоков А.Б. Оценка токсического загрязнения водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 методом морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид // *Амурский зоологический журнал*. 2020. Т. 12, № 2. С. 201–210. DOI: 10.33910/2686-9519-2020-12-2-201-210.
11. РД 52.24.309 – 2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши // Росгидромет. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/495872993> (дата обращения: 27.10.2024).
12. Березина Н.А., Голубков С.М., Максимов А.А. Опыт использования нового биоиндикатора (*Gmelinoides fasciatus*) для оценки состояния донных местообитаний в Финском заливе // *Вода: химия и экология*. 2016. № 4 (94). С. 40–47.
13. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 297 с.
14. Деревенская О.Ю. Методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям: учебно-методическая разработка по курсу «Гидробиология» // Казань: КФУ, 2015. [Электронный источник]. URL: <https://krfu.ru/portal/docs/F231377577/MethodichkaGidrobiologiya.pdf> (дата обращения: 22.10.2024).
15. Шойдоков А.Б., Матафонов П.В. Оценка качества воды в сообществах донных растений озера Кенон по показателям зообентоса // *Шаг в науку. Секция: Науки о Земле и смежные экологические науки 2020*. № 1. С. 109–113.