

УДК 504.054

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-4-52-57>

Мониторинг экологического состояния городского озера в городе Чите

В. В. Звягинцев, О. Ю. Звягинцева, В. К. Чернышов

Забайкальский государственный университет (г. Чита, Российская Федерация)

Введение. Представлены результаты исследований по оценке качества водной экосистемы озера, расположенного в черте города Читы. В качестве индикатора для определения качества водной экосистемы по методу флуктуирующей асимметрии использовались окунь обыкновенный (*Perca fluviatilis* L.) и карась серебряный (*Carassius gibelio*).

Постановка задачи. Цель работы — проведение мониторинга с последующей оценкой качества экосистемы городского озера по методу флуктуирующей асимметрии (далее ФА).

Теоретическая и практическая часть. Осуществлен анализ качества водной экосистемы городского озера по методу ФА, индикаторы: окунь речной (*Perca fluviatilis* L.), 1758 и серебряный карась (*Carassius auratus* Bloch), 1783. Для выявления причин высоких значений ПФА был произведен химический анализ (в аккредитованной лаборатории) жабр серебряного карася на содержание тяжелых металлов.

Выводы. В результате исследований были получены показатели ФА для данных индикаторов. По результатам лабораторного исследования содержания тяжелых металлов в жаберных дугах серебряного карася было выявлено превышение ПДК в 8 из 10 проанализированных элементов. Установлено, что экосистема городского озера Кенон испытывает значительную антропогенную нагрузку (5 баллов — критическое качество водной среды) и среда обитания продолжает ухудшаться.

Ключевые слова: водная экосистема, тяжелые металлы, экологическое состояние, качество среды, флуктуирующая асимметрия (ФА).

Для цитирования: Звягинцев, В. В. Мониторинг экологического состояния городского озера в Чите / В. В. Звягинцев, О. Ю. Звягинцева, В. К. Чернышов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 4. — С. 52–57. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-4-52-57>

Monitoring of the ecological state of the city lake of Chita

V. V. Zvyagintsev, O. Yu. Zvyagintseva, V. K. Chernyshov

Transbaikal State University (Chita, Russian Federation)

Introduction. The paper presents the results of the studies on assessing the quality of the aquatic ecosystem of a lake located within the city. The European perch (*Perca fluviatilis* L.) and the Gibel carp (*Carassius gibelio*) were used as an indicator for determining the quality of the aquatic ecosystem by the method of fluctuating asymmetry.

Problem Statement. The aim of the work was to conduct monitoring with the subsequent assessment of the quality of the ecosystem of the city lake using the method of fluctuating asymmetry (hereinafter FA).

Theoretical and Practical Part. The quality of the urban lake aquatic ecosystem was assessed using the FA method (indicators: the European perch (*Perca fluviatilis* L.), 1758 and the Gibel carp (*Carassius auratus* Bloch), 1783). To identify the reasons for the high PFA values, a chemical analysis (in an accredited laboratory) of the gills of the Gibel carp for heavy metals was performed.

Conclusions. As a result of the research, the FA indicators values for these indicators were obtained. According to the results of a laboratory study of the content of heavy metals in the gill arches of the Gibel carp, an excess of the maximum permissible concentration of 8 out of 10 analyzed elements was revealed. It has been established that the ecosystem of the city lake Kenon is experiencing a significant anthropogenic load (5 points — the critical quality of the aquatic environment) and it continues to increase towards the deterioration of the habitat.

Keywords: aquatic ecosystem, heavy metals, ecological state, environmental quality, fluctuating asymmetry (FA).

For citation: V. V. Zvyagintsev, O. Yu. Zvyagintseva, V. K. Chernyshov. Monitoring of the ecological state of the city lake of Chita. Safety of Technogenic and Natural Systems. 2021; 4: 52–57. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-4-52-57>

Введение. В современном мире все более актуальной становится проблема загрязнения окружающей среды, поскольку технический прогресс не стоит на месте. Оба этих процесса неразрывно связаны друг с другом, с ростом промышленности растет и потребность в энергетических и сырьевых ресурсах — основных

факторах негативного воздействия на окружающую среду. В связи с этим накопление тяжелых металлов в почве, водных объектах и живых организмах становится все более интенсивным и опасным. Непосредственно на территории Забайкальского края расположено семь крупных теплоэлектростанций, которые являются серьезными источниками загрязнения, в том числе и тяжелыми металлами. Крупнейшим производителем электро- и теплоэнергии в Забайкалье является Читинская ТЭЦ-1, расположенная на берегу озера Кенон. Она же является единственной теплоэлектростанцией, использующей естественное природное озеро в качестве водоема охладителя уже в течение 55 лет. Кроме того, планируется завершение строительства следующей очереди ТЭЦ, что несомненно ухудшит экологическое состояние озера Кенон.

Постановка задачи. Целью работы явилось проведение мониторинга с последующей оценкой качества экосистемы городского озера по методу флуктуирующей асимметрии. Объект исследований — природное озеро Кенон, расположенное в черте города Чита (рис. 1).

Теоретическая и практическая части. Объект исследований и свыше 50% его водосборной площади находятся в границах городской территории (западная окраина). Озеро расположено в центральной части Читино-Ингодинской межгорной лесостепной котловины. С запада в озеро Кенон впадает река Кадалинка (27 км) с площадью водосбора 94,2 км², с севера — ручей Застепинский, который берет свое начало с Яблоневого хребта [1].

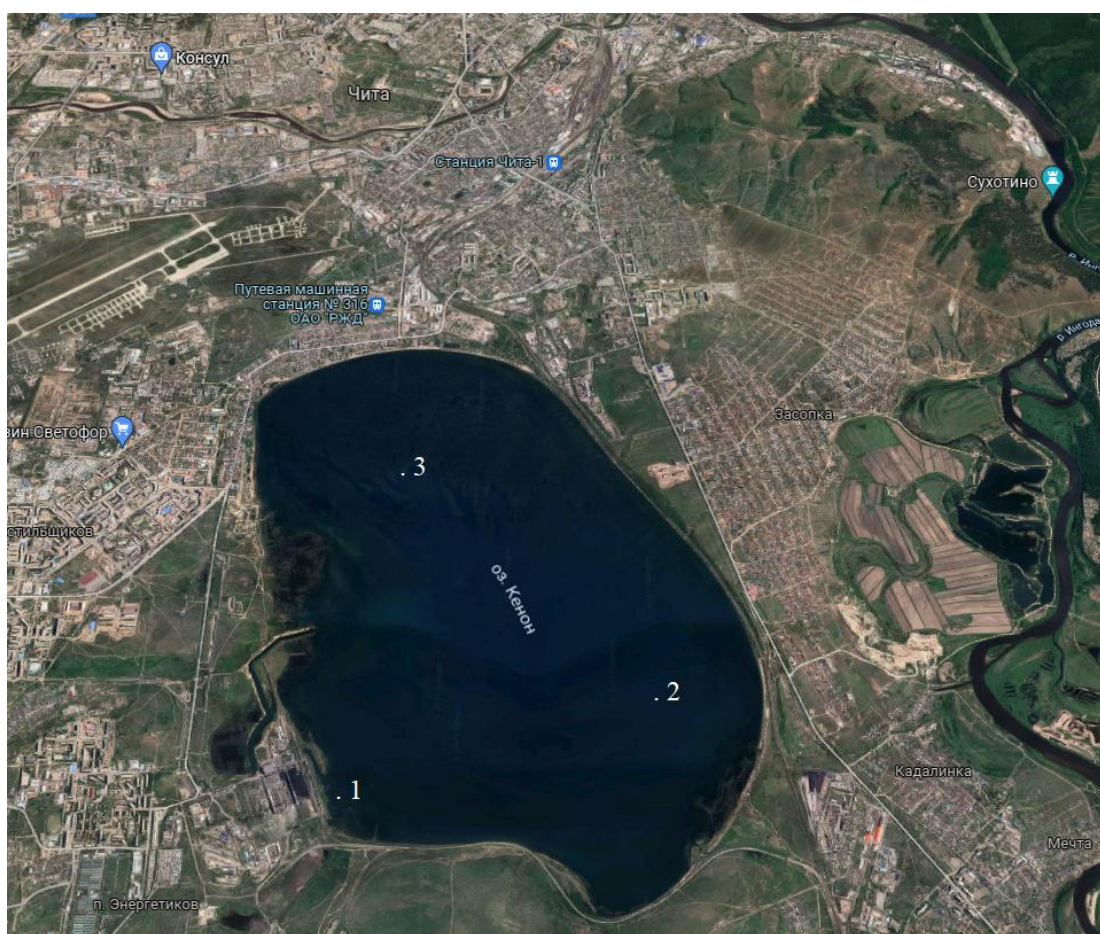


Рис. 1. Расположение озера Кенон

Озеро Кенон является водоемом-охладителем для теплоэлектростанции ТЭЦ-1, а также используется населением в качестве места отдыха преимущественно в летний период. Озеро уникально тем, что является естественным водным объектом, расположенным в черте города и имеющим площадь водного зеркала около 16 200 м², это единственное озеро на территории Сибири и Дальнего Востока, расположенное в черте административного центра. В предыдущие периоды акватория озера активно использовалась в целях рыболовства, поскольку оно было богато крупной рыбой (щукой, белым амуром, чебаком, амурским сомом, сазаном, пестрым толстолобиком, карасем, окунем) [2]. Позднее некоторые виды рыб исчезли.

В 2010 году на восточном берегу озера был оборудован городской пляж, который функционирует в настоящее время, это привлекает сюда большее количество отдыхающих и туристов.

К гидрологическим особенностям водного режима озера можно отнести то, что оно подпитывается преимущественно подземными водами, осадками и небольшими ручьями, кроме того, извне по трубопроводу, проложенному от реки Ингода, периодически ведется подкачка воды с целью сохранения абсолютной отметки уровня в 653 м для обеспечения работоспособности ТЭЦ.

Период ледостава на озере колеблется от 180 до 215 дней только в юго-восточной части, поскольку часть акватории, расположенной вблизи сброса теплых вод, в северо-западной части, не замерзает. Это ведет к интенсивному испарению вод, а также к уменьшению ледяного покрова в этой части озера. В связи с эксплуатацией озера в качестве водоема-охладителя нарушается тепловой баланс водных масс водоема, что безусловно сказывается на состоянии гидробионтов и водной растительности.

В городское озеро были вселены белый амур и пестрый толстолобик, почти на метр был поднят в нем уровень воды [2, 3]. Из-за этого быстро сократились площади расселения, а в центральной части озера исчезли сообщества рдеста курчавого (*Potamogeton crispus*) [4].

Поскольку некоторые виды рыб, в том числе пестрый толстолобик и белый амур, исчезли, в настоящее время наблюдается тенденция активного развития водной растительности, особенно в местах сброса теплых вод, так как условия развития в них наиболее благоприятны.

Особенностью донных отложений озера Кенон является то, что оно покрыто небольшим слоем темно-серого, а местами черного ила. Его мощность в западной части объекта исследования составляет до 0,3 м, а в восточной — до одного метра. Загрязнение донных осадков современное и не может быть реликтовым. Неравномерному распределению донных отложений в некоторой степени способствовала добыча песчаного грунта со дна озера при помощи земснаряда в северо-западной части при намывке основания под площадку ТЭЦ-1 в начале шестидесятых годов прошлого столетия. По результатам исследований в 2013 году было выявлено превышение ПДК по нескольким химическим элементам в различных местах акватории [5]. Превышение было зафиксировано по следующим элементам: свинец (Pb), мышьяк (As), цинк (Zn), селен (Se). Кроме того, было выявлено превышение нормативов по бензапирену непосредственно вблизи ТЭЦ и со стороны поселка Кадала, а также тенденция к его накоплению с восточной части акватории [5, 6].

Оценка качества водной экосистемы городского озера производилась авторами следующими методами:

— по методу ФА окуня речного (*Perca fluviatilis* L.), 1758 и серебряного карася (*Carassius auratus* Bloch), 1783;

— оптический метод (атомно-абсорбционной спектроскопии) использовался для определения количественного показателя тяжелых металлов в тканях и органах рыбы (серебряного карася).

Малозатратный метод флукуирующей асимметрии (рекомендован Минприроды РФ) позволяет определить качество наземной и водной сред [7]. Суть данного метода — определение морфологических признаков (симметричности) растений и живых организмов для оценки состояния окружающей среды. Кроме окуня речного, биоиндикатором для данного метода был дополнительно выбран карась серебряный, который по итогам исследований в 2016 году был рекомендован авторами для целей биоиндикации [3].

Исследования по вышеуказанным методикам осуществлялись в период с 2019 по 2020 год. Каждая выборка материала (точка) для водной среды составляла 20 особей рыб. Материал отбирался в трех точках (рис. 1). Точка № 1 расположена непосредственно вблизи ТЭЦ-1. Материал для исследования отбирался в русле канала сброса теплых технических вод. Точка № 2 расположена со стороны южного берега озера, недалеко от места подачи вод из реки Ингода. Точка № 3 расположена в северо-восточной части акватории озера, вблизи рекреационной зоны.

После завершения измерений по методу ФА серебряного карася, пойманного в зимне-весенний период 2020 года, у каждой особи были удалены и высушены все жаберные дуги, после чего в лаборатории одним из оптических методов был произведен анализ на содержание в них тяжелых металлов. С помощью атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915 были определены следующие тяжелые металлы в жабрах серебряного карася: мышьяк (As), кадмий (Cd), кобальт (Co), хром (Cr), медь (Cu), железо (Fe), марганец (Mn), никель (Ni), свинец (Pb), цинк (Zn).

Сравнительный анализ и обработка данных проводились на ЭВМ с применением программы Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований по методу ФА окуня речного и серебряного карася, приведенные в табл. 1, подтверждают, что экосистема городского озера Кенон испытывает значительную антропогенную нагрузку (относится к пятому баллу).

Таблица 1

Оценка качества водной среды (уровня отклонения от нормы) озера Кенон методом ФА

Год	ПФА окуня (<i>Perca fluviatilis</i> L.)	Балл	Качество среды	ПФА карася (<i>Carassius auratus</i> Bloch)	Балл	Качество среды
2019	0,61±0,001	5	Критическое	-	-	-
2020	0,6±0,001	5	Критическое	0,47±0,001	5	Критическое

Кроме того, показатель ФА окуня (*Perca fluviatilis* L.) существенно увеличился по сравнению с данными исследования, проведенного в 2009–2012 годы ($0,46 \pm 0,001$), что свидетельствует об ухудшении среды обитания [8, 9].

Для выявления причин высоких значений ПФА был произведен химический анализ (в аккредитованной лаборатории) жабр серебряного карася на содержание тяжелых металлов, как органов, которые наиболее подвержены их аккумуляции. По результатам данного лабораторного исследования было выявлено превышение ПДК в 8 из 10 анализируемых элементов (табл. 2). В табл. 2 отражено содержание тяжелых металлов в жаберных дугах серебряного карася в абсолютных (мг/кг) величинах. ПДК тяжелых металлов в рыбе установлены в соответствии с действующим документом [10].

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в жаберных дугах серебряного карася

№	Наименование элемента	Содержание, мг/кг	ПДК, мг/кг
1	Кадмий	0,69	0,2
2	Никель	3,7	0,5
3	Хром	2,4	0,3
4	Цинк	544,9	40
5	Марганец	22,2	10
6	Медь	8,8	10
7	Железо	214,9	30
8	Свинец	2,1	1,0
9	Мышьяк	0,3	1,0
10	Кобальт	0,7	0,5

Содержание кадмия составило 3,45 ПДК, никеля — 7,4 ПДК, хрома — 8 ПДК, цинка — 13,62 ПДК, марганца — 2,22 ПДК, железа — 7,16 ПДК, свинца — 2,1 ПДК и кобальта — 1,4 ПДК, содержание меди и мышьяка в жаберных дугах серебряного карася не превышает ПДК. Полученные результаты говорят о том, что уровень загрязнения рыбы тяжелыми металлами в озере Кенон очень высокий. В первую очередь это может быть связано с утечками вод из гидрозолоотвала, со сбросом оборотной воды с ТЭЦ-1, а также с водотоком, образовавшимся в результате утечек и сбросов с багерной станции насосной второго подъема [5].

По полученным результатам видно, что озеро Кенон испытывает сильную антропогенную нагрузку из-за комплексного воздействия неблагоприятных факторов. Поступление тяжелых металлов в водоем несомненно связано с производственным процессом Читинской ТЭЦ-1, поскольку в ходе эксплуатации теплоэлектростанции сжигается большое количество твердого топлива.

Озеро Кенон нуждается в систематическом экологическом мониторинге, восстановлении экосистемы путем снижения техногенной нагрузки. Только жесткий контроль качества сбрасываемых технических вод, выбросов сжигаемого твердого топлива, а также качественно оборудованный гидрозолоотвал позволят снизить негативное воздействие на водоем.

В качестве объекта для сравнения полученных значений по методу ФА были выбраны озера Арахлей и Шакшинское, расположенные на территории природного парка. В летний период 2019 года на этих озерах

авторами проводилась выборка речного окуня с целью оценки качества окружающей среды методом ФА. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Качество водной экосистемы некоторых озер по показателю ФА

Наименование озера	ПФА окуня обыкновенного (<i>Perca fluviatilis</i> L.)	Балл	Качество среды (уровень отклонения от нормы)
Арахлей	0,32 ±0,001	2	Начальные отклонения
Шакшинское	0,25 ±0,001	1	Условно нормальное

При сравнении полученных результатов видно, что качество окружающей среды озера Кенон значительно ниже, чем озер природного парка. Хотя оба этих озера испытывают значительную рекреационную нагрузку, они достаточно далеко расположены от города и промышленных предприятий, поэтому уровень антропогенной нагрузки на их экосистему небольшой [11].

Выводы. Исследованиями по методу ФА было выявлено, что акватория озера Кенон имеет высокий балл оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине ПФА стабильности развития для рыб. Впервые в условиях Восточного Забайкалья в качестве индикатора качества водной среды по методу ФА использовался серебряный карась (*Carassius auratus* Bloch), который показал хорошие биоиндикационные свойства.

При сравнительном анализе результатов, полученных в ходе исследований летом 2019 года и в зимне-весенний период 2020 года, было установлено, что тенденция достижения критического уровня состояния экосистемы водоема сохранилась. Сравнительный анализ качества среды озера Кенон и озер Арахлей и Шакшинское Ивано-Арахлейского природного парка выявил, что Арахлей и Шакшинское имеют ПФА значительно лучше. Результаты анализа содержания тяжелых металлов в жаберных дугах серебряного карася показали превышение ПДК по 8 из 10 определяемых металлов.

Таким образом, мониторинг экологического состояния городского озера Кенон в городе Чите показал, что качество его экосистемы, определенное по методу флуктуирующей асимметрии, оценивается как критическое. Это подтверждается очень высоким уровнем загрязнения тяжелыми металлами рыбы (по результатам лабораторного исследования жаберных дуг серебряного карася). Необходимо осуществление регулярного комплексного мониторинга данного объекта и проведение работ по улучшению экологии озера Кенон.

Библиографический список

1. Горлачева, Е. П. Эколого-фаунистическая характеристика ихтиофауны некоторых озёр Читино-Ингодинской впадины / Е. П. Горлачева, В. П. Горлачев // Ученые записки ЗабГУ. — 2018. — Т. 13, № 1. — С. 50–59.
2. Горлачева, Е. П. Ихтиофауна водоемов-охладителей Забайкальского края: озеро Кенон и водоем-охладитель Харанорской ГРЭС / Е. П. Горлачева // Экосистемы. — 2019. — № 18. — С. 118–124.
3. Горлачева, Е. П. Серебряный карась *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782) как индикатор состояния экосистемы озера Кенон / Е. П. Горлачева, А. В. Афонин // Ученые записки ЗабГУ. — 2017. — Т. 12, № 1. — С. 6–12.
4. Базарова, Б. Б. Виды-вселенцы озера Кенон (Забайкальский край) / Б. Б. Базарова, Е. П. Горлачева, П. В. Матафонов // Российский журнал биологических инвазий. — 2012. — Т. 5, № 3. — С. 20–27.
5. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка программы по сохранению экосистемы озера Кенон (2 этап)» / АНО «Центр исследований и разработок»: [сайт]. — URL: <https://media.75.ru/minprir/documents/53876/o-nauchno-issledovatel-skoy-rabote.pdf> (дата обращения: 22.10.2021).
6. Чернышов, В. К. Состав донных отложений пресных озёр Забайкальского края и обзор методов отбора проб донных отложений / В. К. Чернышов // Техносферная безопасность Байкальского региона: сб. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. — Чита, 2019. — С. 152–158.
7. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ: [распоряжение Министерства природных ресурсов РФ от 16 октября 2003 года № 460-р] / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/901879474> (дата обращения: 22.10.2021).

8. Звягинцев, В. В. Оценка состояния озер Восточного Забайкалья / В. В. Звягинцев, О. Ю. Звягинцева // Проблемы и перспективы развития водного хозяйства. Опыт внедрения новых технологий : мат. Всеросс. науч.-практ. конф. — Уссурийск, 2013. — С. 27–28.

9. Звягинцев, В. В. Оценка экологического состояния озер Ивано-Арахлейского заказника с помощью метода биоиндикации / В. В. Звягинцев, О. Ю. Звягинцева // Вестник ВСГУТУ. — 2015. — № 3 (54). — С. 22–27.

10. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах / Докипедия : [сайт]. — URL: <https://dokipedia.ru/document/5182275> (дата обращения: 22.10.2021).

11. Звягинцев, В. В. Современные проблемы рекреационной нагрузки на Ивано-Арахлейский парк / В. В. Звягинцев, О. Ю. Звягинцева // XXI век. Техносферная безопасность. — 2016. — Т. 1, № 2 (2). — С. 36–44.

Поступила в редакцию 25.10.2021

Поступила после рецензирования 08.11.2021

Принята к публикации 09.11.2021

Об авторах:

Звягинцев Владимир Викторович, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Забайкальского государственного университета (672039, РФ, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6587-4524>, zchst@mail.ru

Звягинцева Ольга Юрьевна, доцент кафедры водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности Забайкальского государственного университета (672039, РФ, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30), кандидат биологических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0691-5901>, zchst@mail.ru

Чернышов Вадим Константинович, магистрант кафедры «Техносферная безопасность» Забайкальского государственного университета (672039, РФ, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7340-4239>, zchst@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

В. В. Звягинцев — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение исследований, подготовка текста, формирование выводов; О. Ю. Звягинцева — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; В. К. Чернышов — сбор ихтиологического материала, проведение исследований, анализ.