

Научная статья
УДК 574.5:502(470.26)

EDN CDJVYY

DOI 10.17150/2500-2759.2024.34(3).538-546



НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА КАК БИОИНДИКАТОРА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Т.П. Ржепка¹, Э.А. Ржепка^{2, 3}

¹ *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация*

² *Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация*

³ *Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация*

Информация о статье

Дата поступления

19 июня 2024 г.

Дата принятия к печати

21 ноября 2024 г.

Дата онлайн-размещения

6 декабря 2024 г.

Ключевые слова

Зоопланктон; биоиндикация;
экологическое состояние;
озеро Байкал; экосистема;
мониторинг; гидробионты

Аннотация

Аннотация

В статье установлена актуальность исследования, обусловленная необходимостью анализа состояния и прогнозирования возможности изменений водных экосистем в процессе загрязнения их различными токсикантами. Выполнены эксперименты по оценке влияния загрязнителей на биоиндикаторы, в качестве которых выступили байкальские гидробионты (науплиусы *Epischura baikalensis* и коловратки круглогодичные). Зоопланктон как биоиндикатор дает информацию о природе и потенциале водоема, это мельчайшие организмы, которые питаются фитопланктоном для удовлетворения своих пищевых потребностей, но они помогают раскрыть потенциал любой водной экосистемы. Рассмотрены виды, которые чувствительны к изменениям в окружающей среде, вызванным различными факторами, и полезны для прогнозирования будущих изменений экосистемы озера Байкал. Выявлено, что байкальские гидробионты могут активно использоваться для оценки экологического качества воды, они являются недорогими, доступными, легко идентифицируемыми и простыми в сборе биоиндикаторами.

Original article

SOME ASPECTS OF STUDYING ZOOPLANKTON AS A BIOINDICATOR OF THE ECOLOGICAL STATE OF LAKE BAIKAL

Taisiya P. Rzhepka¹, Elina A. Rzhepka^{2, 3}

¹ *Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation*

² *Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation*

³ *V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation*

Article info

Received

June 19, 2024

Accepted

November 21, 2024

Available online

December 6, 2024

Abstract

The article establishes the relevance of the research due to the necessity of analyzing the state and predicting the possibility of changes in aquatic ecosystems in the process of their pollution by various toxicants. Experiments have been carried out to assess the impact of pollutants on bioindicators, which were Baikal hydrobionts (*Epischura baikalensis* naupliuses and rotifers of the year-round). Zooplankton as a bioindicator provides information about the nature and potential of

Keywords

Zooplankton; bioindication;
ecological state; Lake Baikal;
ecosystem; monitoring;
hydrobionts

a water body, they are tiny organisms that feed on phytoplankton to fulfill their nutritional needs, but they help to reveal the potential of any aquatic ecosystem. Species that are sensitive to any changes in the environment caused by various factors are considered and are useful in predicting any future changes to the Lake Baikal ecosystem. It is revealed that Baikal hydrobionts can be actively used to assess ecological water quality and are inexpensive, accessible, easily identifiable and easy to collect bioindicators.

Уникальная экосистема озера Байкал — хранилище пятой части мировых запасов поверхностных пресных вод при исключительной чистоте воды, поддерживаемой эндемичными организмами [1]. Проведенные многолетние исследования показали необходимость поиска причин состояния и качества байкальской воды, что имеет большое научно-практическое значение [2]. Сейчас, как никогда, необходимы комплексные мониторинговые наблюдения за состоянием естественных экосистем [3].

Живые существа полностью зависят от наличия воды для удовлетворения своих основных потребностей, поскольку вода является ценным природным ресурсом, который может быть использован в различных целях. Но прежде чем использовать эти ресурсы, необходимо знать, безопасны они для здоровья или нет. Поскольку экосистема страдает в результате различных видов деятельности, это является предупреждающим сигналом для всех организмов. Качество воды можно определить по различным параметрам, и его можно контролировать с помощью различных планктонных биоиндикаторов [4].

Биоиндикаторы предоставляют ценную информацию для поддержания качества воды. Поскольку биоиндикатор быстро реагирует на изменение условий окружающей среды, он считается важным инструментом для мониторинга [5]. Разные виды биоиндикаторов имеют разные уровни толерантности к экологическому стрессу [6].

Некоторые виды толерантны к стрессу, в то время как другие чувствительны к изменениям окружающей среды [7]. Их толерантность к определенной обстановке обеспечивает им чувствительность к различным изменениям.

Разнообразие, богатство и численность планктона зависят от различных факторов, таких как климат, температура и питательные вещества. Биоиндикатор может легко определить биотические последствия загрязнения.

Наряду с планктоном макробеспозвоночные также могут быть использованы в качестве биоиндикаторов, поскольку они обладают особыми характеристиками. Фито-

планктон и зоопланктон — это виды, которые могут оценить общее состояние здоровья территории. Различные виды фитопланктона и зоопланктона используются как метод доступа к условиям окружающей среды и для обозначения различных аспектов экосистем. Некоторые виды планктона указывают на пресноводные условия, некоторые указывают на морские воды, а некоторые — на загрязненные воды. Присутствие специфического планктона в определенной области указывает на тип водного режима.

Биоиндикаторы загрязнения могут указывать на последствия загрязнения еще до того, как оно начнется. Популяции планктона незаменимы для определения состояния воды в экосистеме [8]. Биоиндикаторы служат ранними сигналами загрязнения и могут быть использованы для оценки состояния конкретного водоема, причем они относятся к достаточно недорогим инструментам [9].

Использование биологического организма в качестве биоиндикатора позволяет не только предсказать текущую ситуацию, но и дать представление о любом изменении состояния среды обитания и его последствиях в достаточно отдаленном будущем (рис. 1).

Когда речь идет о биотических реакциях на экологический стресс, биоиндикаторы дают качественную оценку (например, наличие лишайника указывает на плохое качество воздуха), в то время как биомониторы дают количественную оценку реакции (например, уменьшение содержания хлорофилла в лишайниках или их разнообразие указывает на наличие и серьезность загрязнения воздуха).

Присутствие планктонных организмов в их естественной среде зависит как от абиотических факторов окружающей среды (температура, растворенный кислород и pH), так и от биотических взаимодействий между самими организмами. Диапазоны толерантности, также известные как экологические оптимумы, связаны с наличием планктонных организмов.

Присутствие или отсутствие видов в многомерном пространстве, известном как экологическая ниша, зависит от большого количества экологических факторов, включая как природные, так и антропогенные воз-

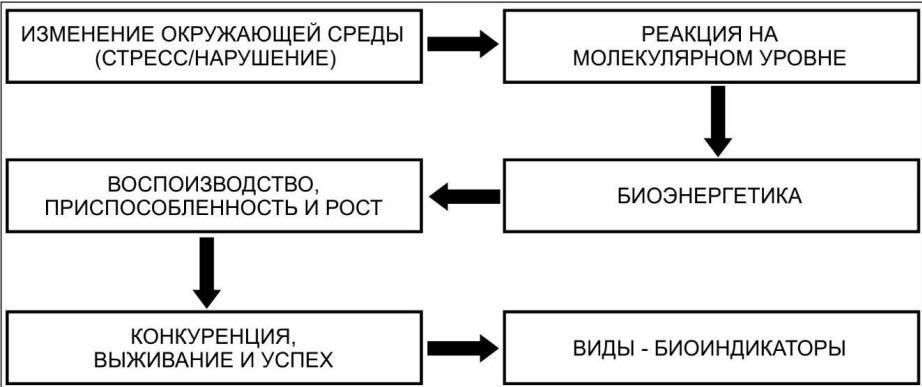


Рис. 1. Процесс жизнедеятельности биологических организмов как биоиндикаторов

действия. Поскольку виды, используемые в качестве биоиндикаторов, могут переносить лишь незначительные изменения в окружающей среде, они способны предоставить точную информацию о состоянии экосистемы [10]. Виды биоиндикаторов могут считаться хорошими биоиндикаторами на основании ряда характеристик (табл. 1), а хороший биоиндикатор должен быстро реагировать на любые изменения в окружающей среде. Биоиндикаторы, которые доступны по цене, представленные в широком диапазоне и не являющиеся редкими, реакция которых на любое изменение проявляется как реакция всей популяции или сообщества, считаются хорошими.

Вода — важнейший элемент для всех живых организмов, необходимый им для различных видов деятельности. Качество воды —

главный аспект для существ, живущих в водной среде обитания; оно связано с общим состоянием здоровья и способно оказывать влияние на водные организмы. Оно является значимой частью пищевой цепи. Различные исследования четко указывают на изменения качества воды и планктона в разные сезоны.

Эти изменения могут быть вызваны различными видами антропогенной деятельности. Из-за различных человеческих активностей наблюдается избыток питательных веществ, что также может быть причиной загрязненного водоема.

В последнее время использование биоиндикаторов для получения информации о качестве воды становится все более популярным (рис. 2).

Биоиндикаторы указывают на изменения в окружающей среде и могут быть использо-

Таблица 1

Некоторые характеристики биоиндикаторов

Показатели биоиндикатора	Характеристики
Объективно хороший биоиндикатор	Не поддающаяся количественной оценке реакция (чувствителен к возмущению или стрессу, но не погибает и не приобретает токсины непосредственно из окружающей среды)
	Реакция является репрезентативной для всей популяции, сообщества и экосистемы
	Действие прямо пропорционально количеству произошедшего загрязнения или ухудшения состояния
Многочисленен и широко распространен	Плотность популяции, соответствующая данной местности (редкие виды не являются оптимальными)
	Частое распространение, в том числе в пределах исследуемого региона
	Несмотря на некоторые различия в климате и окружающей среде, в целом он постоянен
	Отличное знание экологии, а также истории жизни
Очень хорошо задокументирован	Хорошо задокументированы и последовательны в отношении таксономии
	Простые и недорогие исследования
Значим с экономической и/или коммерческой точки зрения	Виды, которые уже используются для других целей в качестве ресурса
	Интерес или знания о видах, которыми обладает широкая публика

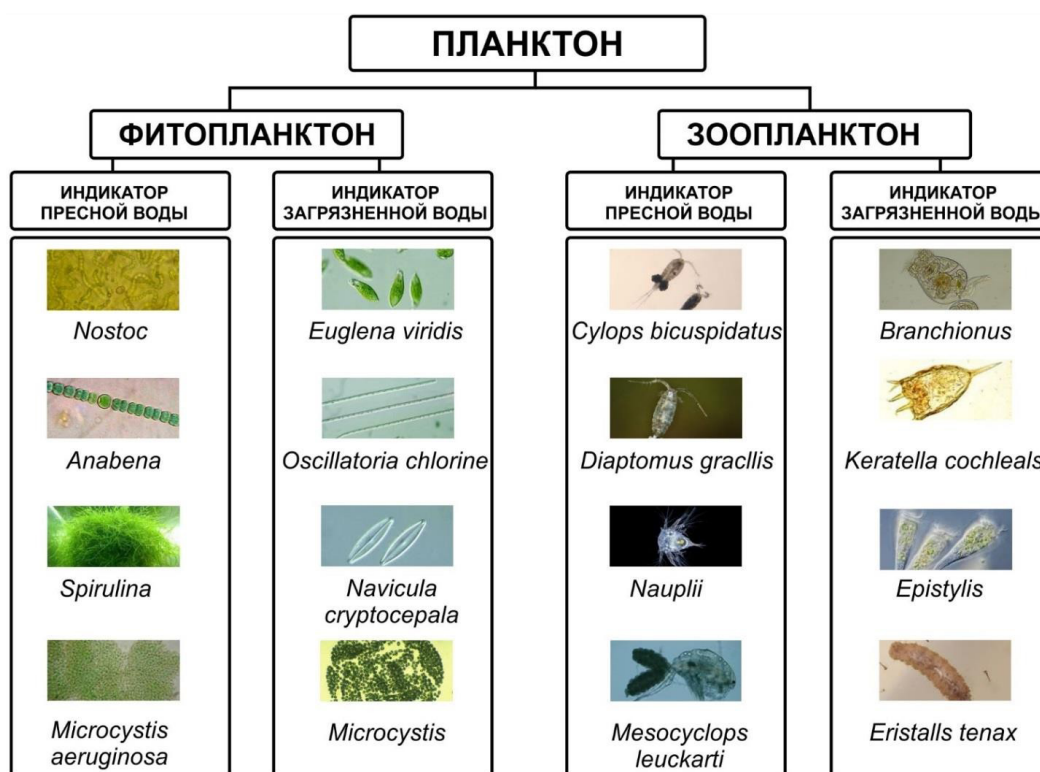


Рис. 2. Представление различных видов планктона в качестве биоиндикатора

ваны в качестве сигнала раннего предупреждения о любых изменениях в окружающей среде. Планктонные виды указывают на различные условия окружающей среды, такие как загрязнение, эвтрофикация, пресная вода и любые нарушения, вызванные антропогенной деятельностью. Планктон отражает состояние здоровья водного объекта и может указывать на уровень и степень загрязнения. Различные преимущества биоиндикаторов, несомненно, перевешивают все потенциальные недостатки, связанные с ними [11].

Действительно, зоопланктон является жизненно важным источником пищи для рыб и представляет собой важнейшее трофическое звено в водных пищевых сетях, которое переносит органические вещества, энергию, а также загрязняющие вещества от фитопланктона к зоопланктоноядным рыбам [12].

Кроме того, биоаккумуляция загрязняющих веществ, поступающих как с водой, так и с пищей, происходит в зоопланктоне гораздо быстрее, чем в рыбах: из-за короткой продолжительности жизни и быстрой скорости размножения зоопланктон быстрее, чем зоопланктонные рыбы, реагирует на колебания загрязняющих веществ в окружающей среде. Сочетание всех этих характеристик делает эти организмы действенными детекторами раннего предупреждения о загрязнении в пищевых сетях.

В то время как оценка концентрации загрязняющих веществ необходима для установления пределов и классификации уровня загрязнения экосистемы, количественная оценка зоопланктонного хранилища загрязняющих веществ является решающим шагом для оценки их доступности и поглощения через верхние уровни пищевой сети, что непосредственно связано с потреблением и здоровьем человека.

Систематические исследования байкальского планктона начал В.Н. Яснитский [13]. Он же провел первые круглогодичные наблюдения за байкальским планктоном в 1926–1928 гг. В 1945 г. встал вопрос об оценке репродуктивности Байкала. Поскольку байкальская эпишура составляет основу рациона омуля, надо было знать состояние зоопланктона в Байкале. М.М. Кожов совершил практически инновацию, когда впервые начал проводить оценку состояния фитопланктона, являющегося кормовой базой для зоопланктона [14; 15].

За эти годы удалось установить многое о функционировании экосистемы озера Байкал. Если сравнить сложность населения дна озера и водной толщи, то экосистема пелагиали имеет меньше компонентов. Из абиотических факторов наибольшее внимание при исследовании байкальского зоопланктона уделялось температурному режиму вод

озера. Бедность планктона пелагиали озера, вероятно, может зависеть от низких температур воды. В.Н. Ясницкий показал, что температура определяет характер планктона и его разнообразие [13].

Некоторые авторы выделяют температурные границы, в пределах которых наблюдается присутствие тех или иных видов в планктоне, а также отмечают смену доминирующих видов и продвижение максимумов в их развитии вслед за прогреванием воды.

Серьезные изменения происходят в экологии планктона глубоководной зоны озера. В зоопланктоне растет численность неэндемиков — кладоцер и летне-осенних коловраток, снижается численность эндемичных подледных коловраток и круглогодичных коловраток.

Исследование зоопланктона в различных частях пелагии озера Байкал необходимо для того, чтобы объективно отражать его структурно-функциональную устойчивость. Адекватность данных о состоянии зоопланктона можно определить по специфике методов его изучения, времени и параметрам взятия проб. Пелагическое сообщество озера Байкал по своей природе простое и является хорошей моделью для изучения поведения зоопланктона [16].

По параметру горизонтального распределения планктона в Байкале можно выделить:

- прибрежно-соровые районы;
- районы, находящиеся у впадения больших рек на мелководье;
- районы, относящиеся к заливам, проливам, губам, и участки мелководий вдоль побережья;
- районы открытого глубоководного Байкала.

С целью выявления возможных поводов для трансформации структуры трофических цепей в глубоководной части Байкала был выполнен анализ закономерностей тех изменений, которые происходят в видовом составе зоопланктона и связаны с биотопным составом пелагиали; они основываются на тех исследованиях, которые проводились в 60–90-е гг. прошлого века.

Целью мониторингового исследования 1999–2023 гг., проводимого учеными Лимнологического института СО РАН, было выявить основные фазы вертикальной миграции зоопланктона науплий *Epischura* в течение ледового периода, сравнить миграцию науплиев и их кормовую активность, чтобы определить, какие хищники влияют на активность питания науплиев, беспозвоночные (*Macrohectopus*) или позвоночные. Впервые

была проведена серия дневных синхронных наблюдений для видов, представляющих всю пищевую сеть (пикопланктон, фитопланктон, *Epischura baikalensis* Sars, *Macrohectopus* и личинки рыб) [17].

Использование зоопланктона в качестве биоиндикатора может помочь определить успех или неудачу методов, применяемых для улучшения экологических условий воды. Они считаются индикаторами тропических условий и легко реагируют на любые изменения в качестве воды. Несмотря на то, что зоопланктон является биоиндикатором, он также важен, поскольку поедается планктоноядными рыбами и является основным источником питания для водных организмов. А поскольку он питается фитопланктоном и потребляется планктоноядными рыбами, он формирует отношения между производителями и потребителями. Популяции зоопланктона характеризуются различными факторами, такими как глубина, площадь поверхности, трофический уровень и цвет воды, поэтому они помогают отслеживать любые изменения в водной экосистеме.

Зоопланктон связан с окружающей средой своим жизненным циклом, и он может оценить любое изменение в условиях среды, поэтому по его состоянию легко анализировать загрязнение воды, а следовательно, он может эффективно использоваться в качестве биоиндикатора.

Коловратки — это вид биоиндикаторов, который считается питательно-толерантным видом и используется в качестве индикатора [18]. Во всем мире зоопланктон в воде считается индикатором загрязнения. Коловратки проявляют определенную чувствительность к некоторым факторам, они меньше реагируют на разные трофические уровни и преобладают в эвтрофных условиях. Более высокое распределение коловраток указывает на планктонообразующие эвтрофные условия.

Рассматривая происходящие эффекты, следует отметить, что зоопланктон может существенно изменять популяции фитопланктона, что определяет вектор при проведении программы мониторинга. Низкая плотность зоопланктона может означать олиготрофные водные условия или нехватку съедобной пищи (несоответствие между хищником и жертвой), например, когда доминируют нитчатые цианобактерии или колониальные водоросли.

В нашем случае для биотестирования были использованы стандартная культура *Daphnia magna* из Иркутского филиала Федерального центра охраны здоровья животных и бай-

кальские гидробионты (науплиусы *Epischura baikalensis* и коловратки круглогодичные). В настоящее время широко разрабатываются технологии, направленные на использование подземных высокоминерализованных рассолов (пластовых флюидов), насыщенных макро- и микроэлементами [19], поэтому в данном исследовании мы применяли токсикант — пластовый флюид газового месторождения (предоставлен ИрННТУ). Плотность раствора составляла 1,33 г/см³. Дата добычи: 27.06.2022 г.; глубина — 2 350 м; Христофоровский горизонт; Нижнесреднебельская свита. Время: 12:30. Кустовая площадка: № 308. Скважина № 2084. Местонахождения КГКМ. Забор: 2413 м. Нами было проведено три эксперимента с использованием флюида и приготовленными тест-объектами. Проба байкальских гидробионтов была собрана 10 марта 2023 г. в пос. Листвянка на глубине 3 м. Собранные экземпляры хранились в лаборатории ЛИН СО РАН в течение 1 ч при комнатной температуре в специальном термосе. Перед началом эксперимента проводилось разбавление подготовленного токсиканта в разных концентрациях. Разбавление составляло в 1-й чашке — 0,16 мл/л, 2-й — 0,08 мл/л, 3-й — 0,041 мл/л, 4-й — 0,01 мл/л, 5-й — 0,005 мл/л, в 6-й чашке был контрольный состав (чистая байкальская вода). Смесь добавлялась в чашки Петри количеством 21 шт. и объемом 7 мл, установленные на планшете. Таким образом, смесь состояла из чистой байкальской воды с добавлением животных и флюида.

Первая часть эксперимента включала помещение байкальских гидробионтов в токсикант с различной степенью разведения.

Из рис. 3 видно, что при помещении байкальских гидробионтов в чистую воду наблюдалось резкое уменьшение их численности (это мы видим через 45 минут эксперимента), далее последовало погибание видов со скоростью 20 % общей численности за каждые 15 минут.

При помещении гидробионтов в токсикант с разведением 0,16 мл/л за 90 минут эксперимента погибли все экземпляры, причем скорость их погибания была равномерна в течение всего времени, т.е. по 20 % каждые 15 минут.

При использовании токсиканта с разведением 0,08 мл/л, первые 27 минут скорость погибания была достаточно умеренная (около 2 % в минуту), далее произошел резкий спад численности и практически за следующие 30 минут погибли все экземпляры.

При разведении 0,41 мл/л динамика была такова: за 35 минут практически не погиб ни один экземпляр, более того, все образцы были активны и хорошо себя чувствовали. Резкое падение численности началось на 37-й минуте эксперимента: каждые 15 минут погибало до 40 % гидробионтов, пока на 90-й минуте не осталось ни одного.

При разведении 0,01 мл/л динамика наблюдалась практически симметричная с предыдущей, но на 90-й минуте эксперимента еще около 18 % образцов были активны, и нам показалось немного странным, что при раз-

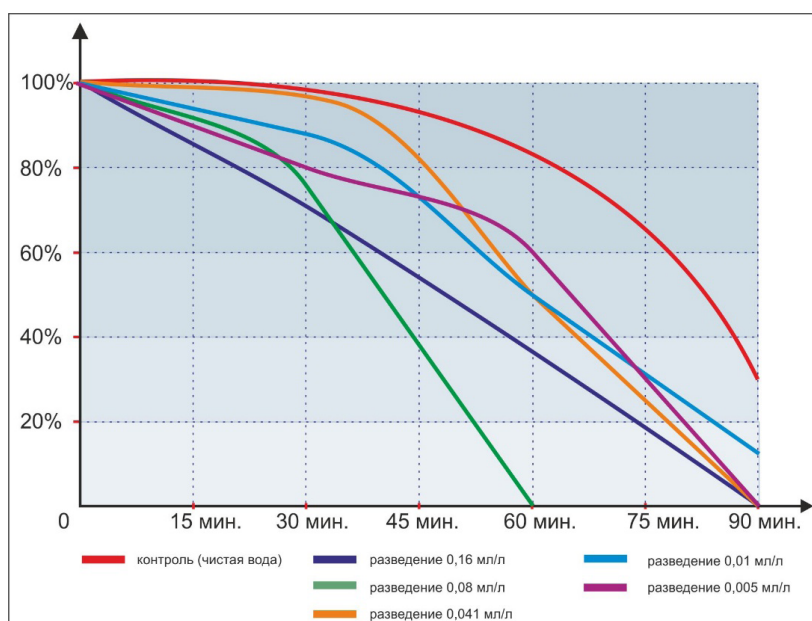


Рис. 3. Выживаемость байкальских гидробионтов в условиях флюида

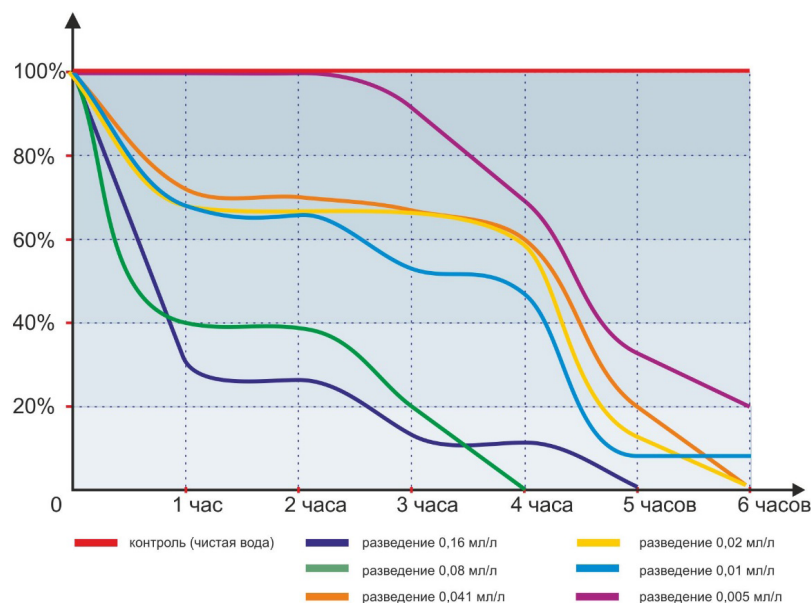


Рис. 4. Выживаемость *Daphnia magna* в условиях флюида

ведении 0,005 мл/л гидробионты чувствовали себя хуже, чем в предыдущем случае, и практически все погибли к 90-й минуте наблюдения.

Рисунок 4 показывает состояние стандартной культуры *Daphnia magna* в тех же условиях, что и байкальские гидробионты. Эксперимент показал, что данный вид более устойчив к различным видам загрязнений и даже к экстремальной концентрации флюида.

Итак, определено, что науплиусы *Epischura baikalensis* и коловратки круглогодичные показали себя в данном эксперименте как истинные индикаторы процесса, происходящего в среде обитания. *Daphnia*

magna значительно более устойчива к различным изменениям среды обитания, поэтому не может быть четким индикатором для оценки экологической чистоты воды [20].

Проведение подобных исследований с различными токсикантами, имеющими место в бассейне озера Байкал, позволит составить статистический динамический ряд показателей, которые укажут основную тенденцию в численности байкальских гидробионтов на достаточно длительный период, а это, в свою очередь, даст возможность предсказывать изменения, определяющие состояние экосистемы озера Байкал.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русецкая Г.Д. Роль и значение заповедных лесных территорий в сохранении озера Байкал / Г.Д. Русецкая, Л.В. Санина. — DOI 10.17150/2500-2759.2024.34(1).96-108. — EDN IKZPDY // Известия Байкальского государственного университета. — 2024. — Т. 34, № 1. — С. 96–108.
2. Верховина Е.В. Подходы к разработке оценки качества и подлинности природной питьевой воды, поставляемой из озера Байкал / Е.В. Верховина, В.А. Верховина, О.А. Бельх. — DOI 10.17150/2500-2759.2023.33(4).755-761. — EDN UTZWRO // Известия Байкальского государственного университета. — 2023. — Т. 33, № 4. — С. 755–761.
3. Тагиров Р.Р. Разработка системы мониторинга состояния и загрязнения поверхностных вод суши в районе проектирования Нижнебогучанской ГЭС / Р.Р. Тагиров, Т.П. Спицына. — DOI 10.17150/2500-2759.2023.33(3).571-580. — EDN ZFWWLK // Известия Байкальского государственного университета. — 2023. — Т. 33, № 3. — С. 571–580.
4. A New Slope Mass Rating in Mountainous Terrain, Jammu and Kashmir Himalayas: Application of Geophysical Technique in Slope Stability Studies / R.P. Singh, C.S. Dubey, S.K. Singh [et al.] // Landslides. — 2013. — Vol. 10. — P. 255–265.
5. Evaluating the Cleavage Efficacy of CRISPR-Cas9 sgRNAs Targeting Ineffective Regions of Arabidopsis Thaliana Genome / A. Malik, A. Gul, F. Munir [et al.] // PeerJ. — 2021. — Vol. 9. — P. 11409.
6. Use of New Approach Methodologies (NAMs) to Meet Regulatory Requirements for the Assessment of Tobacco and Other Nicotine-Containing Products / J. Miller-Holt, H.P. Behrsing, A.J. Clippinger [et al.] // Frontiers in Toxicology. — 2022. — Vol. 9. — P. 943358.
7. Rahim A.M.A. Fabrication of Nano-Composite Silica Fume Using Green Microwave Solventless Technique for Pb(II) Extraction / A.M.A. Rahim // J. Mater. Environ. — 2022. — Vol. 13, iss. 12. — P. 1435–1445.
8. Kumar C.S. Cyclophosphamide Induced Dna and Testicular Damage: Protective Role of Withania Somnifera / C.S. Kumar, K.N. Suchetha, K.P. Sharmila // International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. — 2023. — Vol. 14, iss. 4. — P. 1762–1768.

9. Kumar C.S. Microbial Diversity of Industrial Wastewater: A Review / C. S. Kumar, Ya. Rajesh // International Journal of Zoological Investigations. — 2022. — Vol. 08, no. 1. — P. 241–248.
10. Kamboj O. Stimulated Forward Raman Scattering in Density Rippled Magnetized Plasma / O. Kamboj, A. Yadav, N. Kant // Journal of Physics: Conference Series. — 2022. — Vol. 2267. — P. 012017.
11. A Review on Plankton as a Bioindicator: A Promising Tool for Monitoring Water Quality / P. Chandel, D. Mahajan, K. Thakur [et al.] // World Water Policy. — 2024. — Vol. 10, no. 1. — P. 213–232.
12. Ferdous Z. A Review: Potentiality of Zooplankton as Bioindicator / Z. Ferdous, K.M. Mukhtadir // American Journal of Applied Sciences. — 2009. — No. 6. — P. 1815–1819.
13. Яснитский В.Н. Планктон северной оконечности озера Байкал. По материалам экспедиций Биолого-географического института / В.Н. Яснитский // Известия Биолого-географического института при Иркутском государственном университете имени А.А. Жданова. — 1934. — Т. 6, вып. 1. — С. 85–102.
14. Кожов М.М. Биология озера Байкал / М.М. Кожов. — Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1962. — 315 с.
15. Кожова О.М. К вопросу о цикличности процесса многолетних колебаний биомассы зоопланктона в оз. Байкал / О.М. Кожова, Н.Г. Мельник // Гидробиологический журнал. — 1977. — Т. 13, № 1. — С. 36–39.
16. Zooplankton as an Indicator of the Status of Contamination of the Mediterranean Sea and Temporal Trends / G. Boldrocchi, B. Villa, D. Monticelli [et al.] // Marine Pollution Bulletin. — 2023. — Vol. 197. — P. 115732.
17. Vertical Distribution and Feeding Activity of *Epischura Baicalensis* Sars Jasnitskij V.N. (Copepoda) Nauplii in Response to Two Predators in Lake Baikal in Winter / E.P. Tereza, E.Y. Naumova, O.I. Belykh [et al.] // Fundamental and Applied Limnology. — 2007. — Vol. 169, no. 3. — P. 211–216.
18. Предварительные результаты комплексного исследования вертикального распределения зоопланктона с использованием погружной голографической камеры / Т.П. Ржепка, Е.С. Троицкая, М.М. Макаров [и др.]. — EDN ETZYUМ // Комплексные исследования Мирового океана : материалы VI Всерос. науч. конф., Москва, 18 апр. 2021 г. — Москва, 2021. — С. 530–531.
19. Зелинская Е.В. Извлечение ионов лития из пластовых флюидов / Е.В. Зелинская, Е.Г. Филатова, А.Ю. Хамаганова // Технологии материалов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Ульяновск, 21 нояб. 2023 г. — Ульяновск, 2024. — С. 60–62.
20. Ржепка Т.П. Сравнение токсикологической устойчивости *Daphnia magna* и байкальских гидробионтов / Т.П. Ржепка, Е.Ю. Наумова // Социально-экологические проблемы Байкальского региона и сопредельных территорий : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф., Иркутск, 21 апр. 2023 г. — Иркутск, 2023. — С. 124–126.

REFERENCES

1. Rusetskaya G.D., Sanina L.V. The Role and Importance of Protected Forest Areas in the Preservation of Lake Baikal. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2024, Vol. 34, no. 1, pp. 96–108. (In Russian). EDN: IKZPDY. DOI: 10.17150/2500-2759.2024.34(1).96-108.
2. Verkhozina E.V., Verkhozina V.A., Belykh O.A. Approaches to the Development of an Assessment of the Quality and Authenticity of Natural Drinking Water Supplied From Lake Baikal. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2023, vol. 33, no. 4, pp. 755–761. (In Russian). EDN: UTZWRO. DOI: 10.17150/2500-2759.2023.33(4).755-761.
3. Tagirov R.R., Spitsyna T.P. Development of a System for Monitoring the State and Pollution of Land Surface Water in the Design Area of the Nizhneboguchanskaya HPP. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2023, vol. 33, no. 3, pp. 571–580. (In Russian). EDN: ZFWWLG. DOI: 10.17150/2500-2759.2023.33(3).571-580.
4. Singh R.P., Dubey C.S., Singh S. K. [et al.]. A New Slope Mass Rating in Mountainous Terrain, Jammu and Kashmir Himalayas: Application of Geophysical Technique in Slope Stability Studies. *Landslides*, 2013, vol. 10, pp. 255–265.
5. Malik A., Gul A., Munir F. [et al.]. Evaluating the Cleavage Efficacy of CRISPR-Cas9 sgRNAs Targeting Ineffective Regions of Arabidopsis Thaliana Genome. *PeerJ*, 2021, vol. 9, pp. 11409.
6. Miller-Holt J., Behrsing H.P., Clippinger A.J. [et al.]. Use of New Approach Methodologies (NAMs) to Meet Regulatory Requirements for the Assessment of Tobacco and Other Nicotine-Containing Products. *Frontiers in Toxicology*, 2022, vol. 9, pp. 943358.
7. Rahim A.M.A. Fabrication of Nano-Composite Silica Fume Using Green Microwave Solventless Technique for Pb(II) Extraction. *J. Mater. Environ*, 2022, vol. 13, iss. 12, pp. 1435–1445.
8. Kumar C.S., Suchetha K.N., Sharmila K. Cyclophosphamide Induced DNA and Testicular Damage: Protective Role of Withania Somnifera. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2023, vol. 14, iss. 4, pp. 1762–1768.
9. Kumar C.S., Rajesh Ya. Microbial Diversity of Industrial Wastewater: A Review. *International Journal of Zoological Investigations*, 2022, vol. 08, no. 1, pp. 241–248.
10. Kamboj O., Yadav A., Kant N. Stimulated Forward Raman Scattering in Density Rippled Magnetized Plasma. *Journal of Physics: Conference Series*, 2022, vol. 2267, pp. 012017.
11. Chandel P., Mahajan D., Thakur K. [et al.]. A Review on Plankton as a Bioindicator: A Promising Tool for Monitoring Water Quality. *World Water Policy*, 2024, vol. 10, no. 1, pp. 213–232.
12. Ferdous Z., Mukhtadir K.M. A Review: Potentiality of Zooplankton as Bioindicator. *American Journal of Applied Sciences*, 2009, no. 6, pp. 1815–1819.
13. Jasnitskij V.N. Plankton at the northern end of Lake Baikal. Based on materials from expeditions of the Biological-Geographical Institute. *Izvestiya Biologo-geograficheskogo instituta pri Irkutskom gosudarstvennom universitete imeni A.A. Zhdanova = Proceedings of the Biological and Geographical Institute at Irkutsk State University named after A.A. Zhdanov*, 1934, vol. 6, iss. 1, pp. 85–102.

14. Kozhov M.M. *Biology of Lake Baikal*. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1962. 315 p.
15. Kozhova O.M., Mel'nik N.G. On the issue of the cyclical nature of the process of long-term fluctuations in zooplankton biomass in Lake Baikal. *Gidrobiologicheskii zhurnal = Hydrobiological Journal*, 1977, vol. 13, no. 1, pp. 36–39.
16. Boldrocchi G., Villa B., Monticelli D. [et al.]. Zooplankton as an Indicator of the Status of Contamination of the Mediterranean Sea and Temporal Trends. *Marine Pollution Bulletin*, 2023, vol. 197, pp. 115732.
17. Tereza E.P., Naumova E.Y., Belykh O.I. [et al.]. Vertical Distribution and Feeding Activity of *Epischura Baicalensis* Sars Jasnitskij V.N. (Copepoda) Nauplii in Response to Two Predators in Lake Baikal in Winter. *Fundamental and Applied Limnology*, 2007, vol. 169, no. 3, pp. 211–216.
18. Rzhepka T.P., Troickaja E.S., Makarov M.M. [et al.]. Preliminary results of a comprehensive study of the vertical distribution of zooplankton using a submersible holographic camera. Comprehensive studies of the World Ocean. *Materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Moscow, April 18, 2021*. Moscow, 2021, pp. 530–531. (In Russian). EDN: ETZYU.
19. Zelinskaja E.V., Filatova E.G., Hamaganova A.Ju. Extraction of lithium ions from formation fluids. Materials technologies. *Materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Ulyanovsk, November 21, 2023*. Ulyanovsk, 2024, pp. 60–62. (In Russian).
20. Rzhepka T.P., Naumova E.Ju. Comparison of toxicological resistance of *Daphnia magna* and Baikal hydrobi-
onts. Social and environmental problems of the Baikal region and adjacent territories. *Materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Irkutsk, April 21, 2023*. Irkutsk, 2023, pp. 124–126. (In Russian).

Информация об авторах

Ржепка Таисия Павловна — магистрант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: tasyarjpk@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-2151-5789>.

Ржепка Элина Анатольевна — кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры мировой экономики и экономической безопасности, Байкальский государственный университет, старший научный сотрудник, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: rjepka@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-4369-8061>, SPIN-код: 1757-1465, AuthorID РИНЦ: 747099.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования

Ржепка Т.П. Некоторые аспекты изучения зоопланктона как биоиндикатора экологического состояния озера Байкал / Т.П. Ржепка, Э.А. Ржепка. — DOI 10.17150/2500-2759.2024.34(3).538-546. — EDN CDJVVY // Известия Байкальского государственного университета. — 2024. — Т. 34, № 3. — С. 538–546.

Authors

Taisiya P. Rzhepka — Master's Degree Student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: tasyarjpk@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-0002-2151-5789>.

Elina A. Rzhepka — Ph.D. in Geography, Associate Professor, Department of World Economy and Economic Security, Baikal State University, Senior Researcher, V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: rjepka@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-4369-8061>, SPIN-Code: 1757-1465, AuthorID RSCI: 747099.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

For Citation

Rzhepka T.P., Rzhepka E.A. Some Aspects of Studying Zooplankton as a Bioindicator of the Ecological State of Lake Baikal. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2024, vol. 34, no. 3, pp. 538–546. (In Russian). EDN: CDJVVY. DOI: 10.17150/2500-2759.2024.34(3).538-546.