

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЯСКИ МАЛОЙ (LEMNA MINOR) В УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ С ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

ANALYSIS OF VARIABILITY OF MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF LESSER DUCKWEED (LEMNA MINOR) UNDER HEAVY METALS CULTIVATION

Е. П. Живицкая^{1,2}, А. К. Галах^{1,2}, А. Г. Сыса^{1,2}

E. P. Zhivitskaya^{1,2}, A. K. Galakh^{1,2}, A. G. Sysa^{1,2}

¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
galax_n@mail.ru

²Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

В работе научно обосновано использования ряски малой *Lemna minor* в качестве тест-объекта для целей экологического мониторинга при загрязнении катионами меди (II), железа (II), свинца и цинка. Исследовано влияние катионов металлов в диапазоне концентраций от 0,1 до 10,0 мг/л на удельную скорость роста и динамику изменения общей площади листовых пластинок (фрондов) пресноводных растений ряски малой. Показано, что в области концентраций катионов Cu^{2+} и Fe^{2+} 0,1–0,25 мг/мл скорость роста ряски не отличалась от контрольных растений, в то время как катионы цинка и свинца оказывали 17,3%-ный и 30%-ный ингибиторный эффект, соответственно. Анализ кривых изменения удельной скорости роста растений в области концентраций 0,5–2,5 мг/л показал, что эффективность ингибирующего действия на рост ряски малой снижалась в ряду $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$, что также подтвердилось данными по динамике снижения отношений средних площадей фрондов до и через 7 дней культивирования. Результаты работы показывают, что ряска малая (*Lemna minor*) может быть использована в биоиндикационных мероприятиях в отношении содержания элементов группы тяжёлых металлов (меди (II), железа (II), свинца и цинка) в водных объектах.

This paper scientifically substantiates the use of the lesser duckweed (*Lemna minor* L.) as a test object for environmental monitoring purposes when contaminated with copper (II), iron (II), lead and zinc cations. The influence of metal cations in the concentration range from 0.1 to 10.0 mg/l on the specific growth rate and dynamics of changes in the total area of leaf blades (fronds) of freshwater duckweed plants has been studied. It was shown that in the concentration range of Cu^{2+} and Fe^{2+} cations of 0.1–0.25 mg/ml, the growth rate of duckweed did not differ from control plants, while zinc and lead cations had a 17.3% and 30% inhibitory effect, respectively. Analysis of the curves of changes in the specific rate of algae growth in the concentration range of 0.5–2.5 mg/l showed that the effectiveness of the inhibitory effect on the growth of duckweed decreased in the series $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$, which was also confirmed by data on the dynamics of the decrease in the average frond areas before and 7 days after cultivation. The results of the work show that the small duckweed (*Lemna minor*) can be used in bioindication measures regarding the content of elements of the group of heavy metals (copper (II), iron (II), lead and zinc) in water.

Ключевые слова: гидробионты, биоиндикация, токсичность, экологический мониторинг, удельная скорость роста.

Keywords: hydrobionts, bioindication, toxicity, environmental monitoring, specific growth rate.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-1-414-417>

В условиях глобального антропогенного воздействия на водные объекты возрастает необходимость изучения соотношения природных и антропогенных факторов в развитии их экосистем. В связи с этим перспективность изучения речных экосистем (как кумулятивных элементов ландшафта) определяется тем, что их эволюция служит индикатором антропогенной нагрузки на всю территорию.

Низкая предсказуемость антропогенного воздействия из-за нелинейности системных процессов в определении степени нарушения природного лимногенеза обуславливает необходимость изучения изменений в разных частях экосистем. При этом важно учитывать неоднозначность отклика последних, что связано с разнообразием характеристик водных масс, их взаимодействием с водосборами, влиянием ландшафта и климат. Наряду с описанием изменений структурно-функциональных характеристик сообществ необходимо установление регуляторных механизмов для выявления устойчивости экосистем и прогнозирования их развития [1].

Без адекватных знаний о функционировании гидробионтов невозможно решить главную задачу гидроэкологии, а именно научиться управлять водными экосистемами. Несомненно, что исследования биоиндикаторов в рамках гидроэкологического мониторинга должны носить системный характер и составлять одно из приоритетных направлений водной экологии.

Рост, наблюдаемый в области изучения экологического состояния водоемов и водотоков методами биоиндикации с использованием донных сообществ, во многом связан с необходимостью решения практических задач, связанных с охраной и сохранением экологических систем внутренних водоемов, и во многом носит благодаря успешной разработке эффективной теории функционирования экологических систем. Однако реализация теоретических предпосылок функционирования при изучении проточных гидроэкосистем пока затруднена из-за отсутствия достоверных сведений об экологии отдельных видов и групп животных, которые могут оказывать существенное влияние на функциональные характеристики надводных экосистем, системы организма. [2]. Необходимо постоянное накопление информации, их анализ и синтез, в ходе которых структурно-функциональные характеристики биоценозов и их биоиндикативные качества приводятся в соответствие друг с другом. Поиск и использование информативных элементов при оценке экологического состояния водотоков является весьма актуальной задачей.

В последние десятилетия наблюдается расцвет экологических исследований поверхностных вод: быстро накапливаются гидроэкологические знания, создаются новые направления исследований. Одной из важных задач в высокоиндустриальных районах является определение критических уровней антропогенной нагрузки на водотоки. Однако отсутствие постоянного наблюдения за гидроэкологическим состоянием водоемов и водотоков значительно усложняет возможности экологических исследований в части оценки связи между интенсивностью антропогенной нагрузки и реакцией водной экосистемы.

Экологические исследования пресноводных сообществ часто носят скорее описательный, чем объяснительный характер в исследованиях, связанных с проблемами загрязнения рек, из-за их разнообразия и системной динамики. Для получения адекватных данных при изучении рек необходимо предложить методы комплексной оценки состояния водных экосистем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям, которые позволят количественно оценить состояние водотока или участка реки, реки и классифицировать критические уровни антропогенной нагрузки на экосистему.

Как показывает многолетняя практика при токсикологической оценке водных систем обязательными являются эксперименты на тест-объекте ряска малая (*Lemna minor* L.). Семейство Рясковые (*Lemnaceae* S. F. Gray) относится к однодольным цветковым растениям. Согласно таксономической классификации цветковых растений APG II (2003) и APG III (2009) этот таксон теперь уже в ранге подсемейства Рясковые (*Lemnoideae*) относится к семейству Ароидные. Ряска – многолетнее цветковое водное растение-эпифит, подавляющее большинство которого свободно плавает на поверхности или на поверхности воды (тройчатая ряска) и являются самыми маленькими растениями в мире, не превышающими 1 см в длину. Представители семейства рясковых часто образуют большие группы (сплавы) и являются типичными обитателями мелководных прудов, канав, плотин, болот, прудов и других хорошо прогреваемых водоемов с пресной или медленно стоячей водой, богатой органическим веществом. Водная среда обитания ряски, как и других водных растений, эволюционно привела к утрате или сильному упрощению большинства органов.

У лимона нечетко разделенные на стебли побеги и мелкие продолговатые, округлые, эллиптические или почковидные листовые пластинки (листочки), которые часто соединяются между собой в большие группы, благодаря тому, что листья развиваются по бокам в две особые мутовки («карманы»)) новые боковые побеги. Корни ряски выполняют несколько функций, с одной стороны, они служат якорями, препятствующими опрокидыванию растений, с другой стороны, корни переплетаются друг с другом, облегчают расселение растений и повышают устойчивость их колоний, что особенно важно в условиях проточных водоемов.

Соцветие ряски упрощено до 1–2 мужских и 1 женской. Промежность отсутствует. Мужские цветки состоят из 1–2 тычинок, 2 расположенных в шахматном порядке пыльников, раскрытых поперечно. Женский цветок редко превышает 1 мм. Завязь эллиптическая, монокулярная, с 1-6 семязачатками, столбик короткий и тонкий, рыльце расширено в виде воронки или чашечки с неровными краями. Цветы ряски редки и связаны с их небольшим размером. Цветут ряски в июне-августе, реже в сентябре. Каждая вайя дает только одно соцветие, которое у ряски развивается в одном из боковых синусов, реже в левом синусе. Эти растения зимуют в виде семян или листьев, которые к осени утолщаются, наполняются крахмалом и оседают на дно.

Плоды водорослей, в отличие от видимых невооруженным глазом цветков, нескрывающиеся, мешковидные, содержащие от 1 до 7 семян, снабженные крыловидными зелеными семядолями по бокам и килем на нижней стороне плода, облегчает его плавание и может длиться от 1–2 дней. Часть семени прорастает в новое растение, другая часть опускается на дно и прорастает в мае следующего года.

Размножение рясковых происходит главным образом вегетативно с июня по август с помощью почек, которые производят новые листецы по типу розеток всегда в одном направлении. Удваивание массы растений происходит за 1–6 дней, а удвоение количества листецов за 2–3 дня.

Произрастает ряска малая в большинстве стоячих водоемов на территории всей страны с различным уровнем загрязнения. Различные виды ряски имеют исключительную способность захватывать и аккумулировать тяжелые металлы, металлоиды, превосходя в этом плане водоросли и другие макрофиты [3].

Цель исследования – рассмотреть особенности использования водных макрофитов (на примере ряски малой (*Lemna minor*)) в биоиндикационных мероприятиях в отношении содержания элементов группы тяжелых металлов (меди (II), железа (II), свинца и цинка) в водных объектах.

Материалом для работы послужили растения *Lemna minor*, собранные в период 30.05.2022–05.06.2022 гг. из пресноводного водоема (Волковичское водохранилище) в окрестностях города Минска. Вид определен согласно его морфологии.

Испытания на ингибирование роста пресноводных растений ряски малой (*Lemna minor*) катионами меди (II), железа (II), свинца и цинка диапазоне концентраций от 0,1 до 10,0 мг/л проводили согласно межгосударственного стандарта ГОСТ 32426–2013 [4]. Для приготовления растворов использовали соли: $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Для выращивания растений использовалась водопроводная дехлорированная (отстоянная) вода объемом 100 см³ в цилиндрических сосудах объемом 250 см³. В каждый такой сосуд с разведением исследуемых соединений помещали десять растений ряски с одной развитой и одной развивающейся лопастью по три повторности для каждого разведения и шесть повторностей для контроля. Растения культивировали в лабораторных условиях при искусственном освещении (11-часовом световом дне, освещенность 1000 лк) при температуре 24 °С в течение семи суток. Контролем служила дехлорированная водопроводная вода [5].

Показателем токсичности в опыте служила общая площадь пластинок ряски.

Средняя удельная скорость роста (темп роста) рассчитывается как логарифметрическое увеличение темпа роста – количества фрондов для каждой параллели опытных и контрольных групп [4]:

$$\mu_{i-j} = \frac{\ln \ln N_j - \ln \ln N_i}{t},$$

где μ_{i-j} – средняя удельная скорость роста от времени i до времени j ;

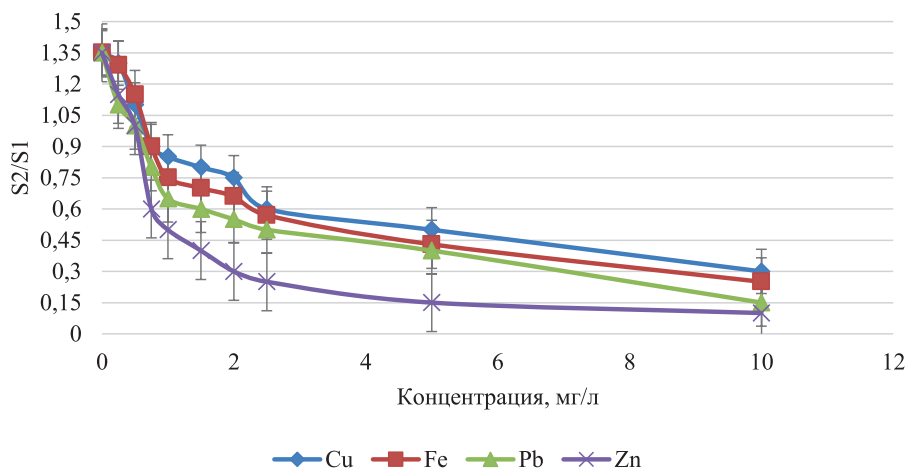
N_j – переменная теста в опыте во время j ;

N_i – переменная теста в контроле во время i ;

t – период времени от i до j .

Расчет площади фронда (пластинок ряски) проводили по фотографиям, изображения проанализированы с помощью программного обеспечения Image J («NIH», USA).

Параметром, который важен при оценке последствий действия катионов меди (II), железа (II), свинца и цинка на ряску малую, является общая площадь фрондов (рис.).



S1 – площадь фрондов до культивирования;

S2 – площадь фрондов после культивирования

Рисунок – Отношение средних значений площадей фрондов ряски малой (*Lemna minor*) до и через 7 дней культивирования

После семидневного воздействия катионов свинца и цинка в концентрациях свыше 0,5 мг/мл, а катионов меди (II) и железа (II) в концентрациях свыше 0,75 мг/л дней отмечается сокращение площади фрондов (рисунок 2). 50-процентное снижение площадей фрондов ряски малой наблюдалось при семидневном культивировании в присутствии концентрации катионов цинка (0,75 мг/л), свинца (1,0 мг/л), железа (II) (2,0 мг/л), а также меди (II) (2,5 мг/л).

Таким образом, все исследованные катионы в исследуемом диапазоне концентраций (от 0,1 до 10,0 мг/л) приводили к снижению скорости роста ряски малой на 87–94 % по сравнению с контролем. Характер кривых изменения удельной скорости роста ряски в области концентраций 0,5–2,5 мг/л свидетельствует о том, что эффективность ингибирующего действия на рост ряски малой снижается в ряду $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$. После семидневного воздействия катионов свинца и цинка в концентрациях свыше 0,5 мг/мл, а катионов меди (II) и железа (II) в концентрациях свыше 0,75 мг/л через 7 дней отмечалось сокращение площади фрондов ряски.

Результаты работы показывают, что ряска малая (*Lemna minor*) может быть использована в биоиндикационных мероприятиях в отношении содержания элементов группы тяжелых металлов (меди (II), железа (II), свинца и цинка) в водных объектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.* Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с.
2. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек. Под ред. О.В. Бухарина, Г.С. Розенберга. М.: Наука, 2007. 403 с.
3. *Раимбеков К.Т.* Использование макрофитов для доочистки городских сточных вод. Инновации в науке: научный журнал. 2017. № 4(65). С. 8-10.
4. ГОСТ 32426-2013. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение роста.
5. *Жмур Н.С.* Экотоксикологический контроль. Приемы исследования и лабораторная практика. М.: Издательство «АКВАРОС», 2018. 472 с.

КОРРЕКЦИЯ И НИТРОЭРГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕЧЕНИ ПРИ ПАРАЦЕТАМОЛОВОМ ГЕПАТИТЕ КВЕРЦЕТИНОМ И ЕГО СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫМ КОМПЛЕКСОМ С ГЛИЦИРРИЗИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

CORRECTION OF THE AND NITROERGIC SYSTEM OF THE LIVER IN PARACETAMOL HEPATITIS WITH QUERCETIN AND ITS SUPRAMOLECULAR COMPLEX WITH GLYCYRRHISIAN ACID

**Г. Б. Умарова¹, Д. Д. Тухтаев¹, С. Н. Далимова¹,
Ш. Н. Кузиев¹, М. Х. Юнусова¹, А. Г. Сыса², А. В. Алексейчик²
G. B. Umarova¹, D. D. Tukhtaev¹, S. N. Dalimova¹,
Sh. N. Kuziev¹, M. Kh. Yunusova¹, A. G. Sysa², A. V. Alekseichik²**

¹Национальный университет имени Мирзо Улугбека, НУУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан
gulbahor_umarova@mail.ru

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kbb@iseu.by, maks.khanchevskiy@bk.ru

¹Mirzo Ulugbek National University, NUUZ, Tashkent, Republic of Uzbekistan

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

Изучено влияние супрамолекулярного комплекса МАСГК/кверцетин на образование малонового диальдегида (МДА) в аскорбат-зависимой и НАДН-зависимой системах перекисного окисления липидов (ПОЛ) при парацетамоловом гепатите, обнаружено его выраженное антиоксидантное действие. В клетках печени животных с парацетамоловым гепатитом нарушается нормальное состояние NO-системы, и можно предположить, что это нарушение связано с повышением активности индуцибельного фермента (iNOS) образующего NO.

The effect of the supramolecular complex MASHA/quercetin on the formation of MDA in ascorbate-dependent and NADH-dependent LPO systems in paracetamol hepatitis was studied, and its pronounced antioxidant effect was found. In the liver cells of animals with paracetamol hepatitis, the normal state of the NO system is disturbed, and it can be assumed that this violation is associated with an increase in the activity of the inducible enzyme (iNOS) forming NO.

Ключевые слова: токсический гепатит, моноаммонийная соль глицирризиновой кислоты, кверцетин, перекисное окисление липидов, малоновый диальдегид, нитриты, нитраты.

Keywords: toxic hepatitis, glycyrrhizic acid monoammonium salt, quercetin, lipid peroxidation, malondialdehyde, nitrites, nitrates.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-1-417-420>

Изучение молекулярных механизмов развития патологических процессов в печени, разработка эффективных методических подходов к коррекции выявленных нарушений, поиск соединений, способствующих защите и восстановлению важных биохимических показателей печени, являются в настоящее время актуальной задачей.

Печень вовлекается в различные патологические процессы, и её повреждение приводит к значительным метаболическим нарушениям [1]. Одним из механизмов, которые могут вызвать гибель гепатоцитов, является