

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 581.526.325:574.635:546.3-3:628.35(476)

А. В. Бардюкова, О. В. Ковалёва

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВОБОДНОПЛАВАЮЩИХ ГИДРОФИТОВ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛАРУСИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ

В ходе выполнения работы была проведена оценка ремедиационного потенциала местных представителей свободноплавающих гидрофитов: ряски малой, ряски трёхдольной и многокоренника обыкновенного. Изучение видоспецифических особенностей объектов исследования и лабораторный эксперимент по оценке их устойчивости к высоким концентрациям исследуемого загрязнителя (железа) показали, что наиболее перспективным видом для очистки вод в природно-климатических условиях Беларуси является ряска малая. Лабораторный эксперимент по изучению эффективности фиторемедиации водной среды от ионов железа ряской малой показал, что при соотношении загрязнителя и фитосорбента в пределах значений 0,234—0,405 мг Fe на грамм сырого веса ряски эффективность фиторемедиации на 8 сутки может достигать 73 процентов.

Ключевые слова: соединения металлов, сточные воды, очистка сточных вод, биоремедиация, фиторемедиация, свободноплавающие гидрофиты.

В природных водах ионы металлов являются неизменными компонентами. В зависимости от условий среды (рН, окислительно-восстановительный потенциал) они существуют в разных степенях окисления и входят в состав разнообразных неорганических и металлорганических соединений, которые могут быть истинно растворёнными, коллоидно-дисперсными или входить в состав минеральных и органических взвесей. Многие металлы образуют довольно прочные комплексы с органикой; эти комплексы являются одной из важнейших форм миграции элементов в природных водах. Большинство органических комплексов образуются по хелатному циклу и являются устойчивыми.

Бардюкова Аlesia Владимировна — магистр географических наук (Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Республика Беларусь); e-mail: alesia.bardyukova@mail.ru.

Ковалева Оксана Владимировна — кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии (Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Республика Беларусь); e-mail: sanakovaleva@mail.ru.

© Бардюкова А. В., Ковалева О. В., 2019

В настоящее время химическое загрязнение поверхностных вод, связанное с поступлением тяжёлых металлов, имеет преимущественно антропогенное происхождение. Наибольший вклад в загрязнение водных объектов антропогенными поллютантами, а в частности, тяжёлыми металлами, вносят сточные воды. В объёме сброса сточных вод Республики Беларусь первое место среди металлов занимает железо общее. Этот поллютант является приоритетным загрязнителем (среди металлов) поверхностных вод г. Гомель.

Город Гомель – административный центр Гомельской области и района, находящийся на юго-востоке Республики Беларусь. Это крупный промышленный центр, где представлены различные отрасли промышленности, причём наибольшую известность в республике и за её пределами имеют предприятия металлургии, металлообработки и машиностроения, что определяет специфический ряд приоритетных загрязнителей окружающей среды региона. Основным источником загрязнения поверхностных вод города являются сточные воды. Современная система канализации предусматривает совместную очистку сточных вод промышленных предприятий и жилищно-коммунального хозяйства на городских очистных сооружениях. В городских стоках содержится большое количество загрязняющих веществ, в том числе и тяжёлых металлов.

Всего в 2016 году в поверхностные водные объекты г. Гомель было отведено 82,2 млн м³ сточных вод, в том числе 56 % – нормативно очищенных, 39 % – без предварительной очистки, 5 % – недостаточно очищенных. Наибольшее антропогенное воздействие среди поверхностных водных объектов города испытывает река Уза, в связи с тем, что она является водоёмом-приёмником очищенных стоков с городских очистных сооружений. Согласно данным Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС), в данном водотоке постоянно наблюдается превышение ПДК загрязняющих веществ, в том числе и тяжёлых металлов [2]. Экологическое состояние р. Уза отражается и на качестве воды в р. Сож, в которую она впадает в пределах городской черты. На рисунке 1 представлена многолетняя динамика среднегодовых концентраций железа общего, цинка и меди в р. Сож в пределах г. Гомель. В ходе проведения сравнительного анализа данных было выявлено, что для г. Гомель в течение последних нескольких лет характерна проблема превышения ПДК соединениями железа в воде р. Сож.

Проблема эффективной и экономически выгодной очистки промышленных и коммунальных стоков от тяжёлых металлов и других элементов с последующей их утилизацией имеет большое народнохозяйственное значение. Современным направлением таких методов является фиторемедиация – комплекс методов очистки сточных вод с использованием зелёных растений.

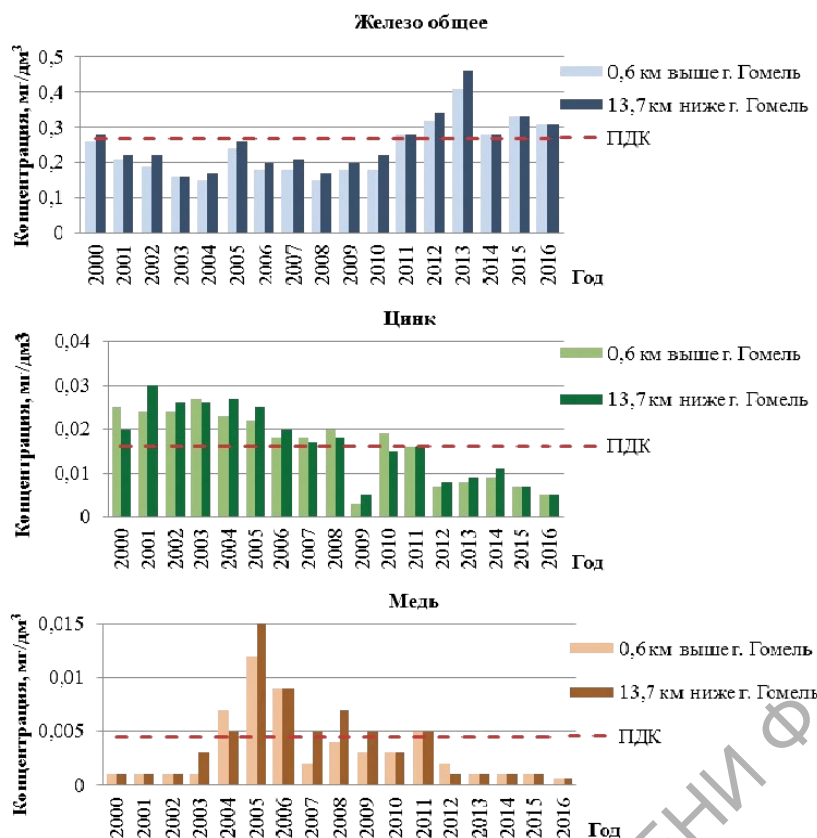


Рис. 1. Среднегодовые концентрации железа общего, цинка и меди в пунктах гидрохимических наблюдений на р. Сож в 2000 – 2016 гг.

На основе данных, полученных в ходе изучения объёмов сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод Республики Беларусь и загрязнения поверхностных вод г. Гомель тяжёлыми металлами, для проведения лабораторного эксперимента нами был определён модельный загрязнитель – железо.

Среди свободноплавающих гидрофитов водных экосистем Беларуси наиболее распространёнными являются представители подсемейства рясковых (*Lemnaceae*), а именно многокоренник обыкновенный, ряска трёхдольная и ряска малая [1]. Данные виды высшей водной растительности были выбраны в качестве объектов исследования. Одним из критериев оценки фиторемедиационного потенциала растения является его устойчивость к высоким концентрациям загрязняющего вещества.

Первой задачей работы было выявить среди объектов исследования наиболее оптимального потенциального фиторемедианта. Для этого необходимо было изучить особенности экологии каждого вида, а также

провести эксперимент на устойчивость объектов исследования в отношении высоких концентраций загрязнителя.

Отбор и культивирование объектов исследования

Из природного водоёма (р. Сож) были отобраны многокоренник обыкновенный, ряска малая и ряска трёхдольная. Отобранные растения сначала промывались проточной, затем дистиллированной водой. После этого проводилась санация объектов исследования: гидрофиты выдерживались 30 минут в 0,3 % растворе H_2O_2 . После санации растения снова промывались дистиллированной водой, затем высаживались на питательную среду Штейнберга. Культивирование растений осуществлялось в кристаллизационных чашах ЧКЦ-1-125 (каждый вид отдельно), при естественном освещении и температуре $25 \pm 2^\circ C$, объём питательной среды – 500 мл. Раз в неделю производился отбор молодых растений, которые промывались дистиллированной водой и пересаживались на свежую среду. Таким образом, через 8 недель были получены чистые лабораторные культуры исследуемых видов.

Ход эксперимента

Объекты исследования помещались в модельные растворы с концентрацией железа $1,35 \text{ мг/дм}^3$ – 10 ПДК для поверхностных водоёмов. Для каждого вида были подготовлены контрольные и модельные растворы в 3-кратной повторности. Контрольным раствором служила 2 % среда Штейнберга. Модельный раствор готовился путем добавления в 2 % среду Штейнберга стандартного раствора железа до достижения нужной концентрации. Затем в каждую экспериментальную ёмкость с раствором объёмом 50 мл помещалось 15–16 листочков исследуемых растений (сырая масса 0,014 г), в приблизительном соотношении 4,821 мг Fe на 1 г сырой массы растения. Условия эксперимента: ёмкости – стеклянные боксы, закрытые чашками Петри для минимизации воздействия внешних факторов; естественное освещение; температура $25 \pm 2^\circ C$. В ходе пятидневной экспозиции каждые 24 часа анализировались морфологические показатели объектов исследования.

Результаты

Наиболее выраженная ответная реакция на присутствие соединений железа в течение первых 24 часов была отмечена у ряски трёхдольной.

По истечении первых суток эксперимента листочки ряски трёхдольной в модельных растворах обесцветились (стали белыми), началось увядание растения, рост полностью прекратился. Контрольные образцы на протяжении всей экспозиции оставались ярко-зелёными, хлорозы и некрозы не наблюдались, количество листочков умножалось.

У многокоренника обыкновенного в модельных растворах по истечении 24 часов начались явные морфологические изменения, окраска побледнела, местами появился хлороз, началось рассоединение листе-

цов. Всё последующее время ситуация ухудшалась. Спустя 48 часов прекратился рост растения. Область поражения хлорозом увеличивалась каждые сутки, появились участки с некрозом. На 5 сутки растения полностью обесцветились (разрушение хлорофилла), остались лишь небольшие бурые вкрапления на месте вегетативных почек. Контрольные образцы оставались интенсивно зелёными, хлорозы и некрозы не наблюдались, растения активно размножались.

У ряски малой морфологические отклонения стали проявляться спустя 48 часов: листецы побледнели, появились бурые вкрапления, прекратился рост растения. На 3 сутки появился хлороз. По истечении экспозиции растения стали светло-бежевого цвета. Рассоединение листецов не наблюдалось. Растения в контрольном растворе остались зелёными, хлорозы и некрозы не наблюдались, рост не прекращался.

По истечении времени экспозиции в контрольных и модельных растворах было подсчитано общее количество листецов, включая материнские особи и листецы, отделившиеся от них. На основании полученных результатов были рассчитаны коэффициенты роста популяций в модельных и контрольных растворах, после чего было рассчитано отклонение данного показателя у всех объектов исследования. Результаты вычислений отображены графически на рисунке 2.

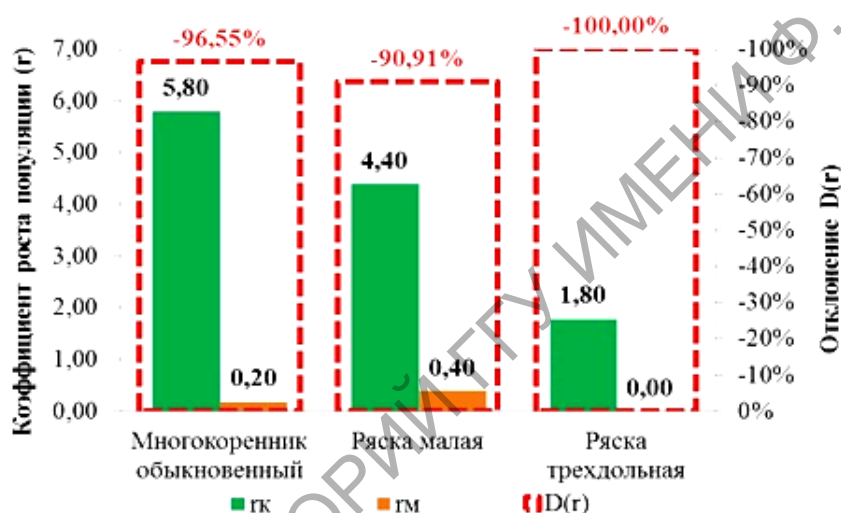


Рис. 2. Коэффициенты роста популяции и значения их отклонений

Было выявлено, что высокое содержание железа в воде оказывает угнетающее действие на все объекты исследования. При этом наиболее устойчивым видом оказалась ряска малая, наименее устойчивым – ряска трёхдольная. Таким образом, наиболее перспективным фиторемедиантом среди объектов исследования является ряска малая.

Вторая задача работы заключалась в определении эффективности фиторемедиации модельных растворов от ионов железа ряской малой. В экспериментальные растворы с определённой концентрацией железа помещались растения в количестве 175 ± 5 . Ёмкости выдерживали при естественном освещении, температуре $22-25^\circ\text{C}$ и закрывали часовыми стёклами с целью минимизации воздействия внешних факторов. В течение 8 суток каждые 24 часа фотоколориметрическим методом определяли остаточную концентрацию железа общего в растворах.

Динамика снижения концентрации (рис. 3) показывает, что в растворах с начальной концентрацией железа общего, равной $0,675 \text{ мг/дм}^3$, за период 8-дневной экспозиции не была достигнута отметка, равная ПДК для поверхностных водоёмов. Однако на 4–5 сутки была достигнута концентрация, меньшая установленной ПДК для рек бассейна Днепра (что является актуальным для Гомельской области). В растворах с начальной концентрацией железа общего $0,405 \text{ мг/дм}^3$ уже на вторые сутки экспозиции была пройдена отметка ПДК для рек бассейнов Днепра, а на 6–7 сутки достигнута отметка ПДК для водотоков.

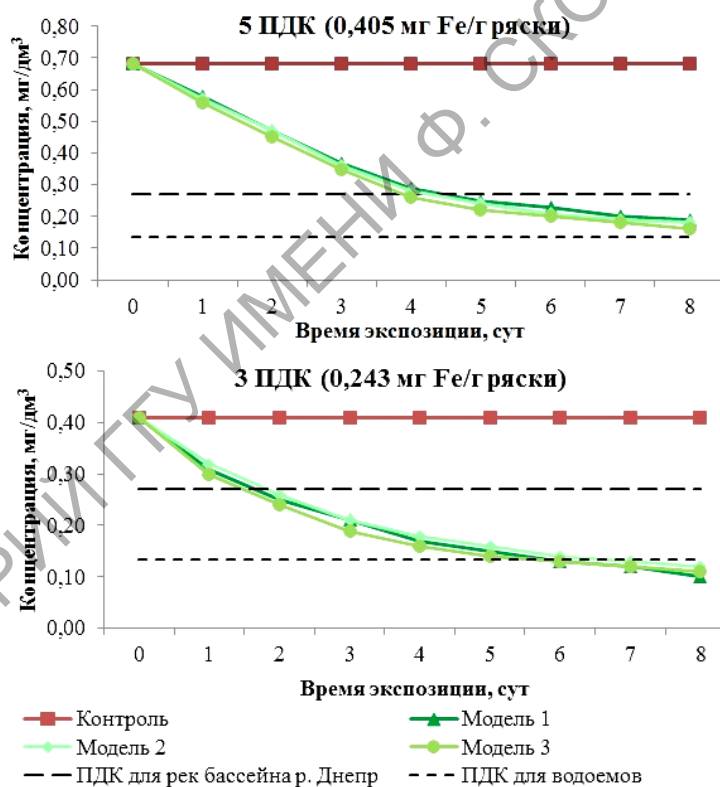


Рис. 3. Коэффициенты роста популяции и значения их отклонений

На основе полученных данных был произведён расчёт скорости и эффективности очистки водной среды от исследуемого поллютанта. Установлено, что наибольшая скорость очистки приходится на первые сутки экспозиции, далее она постепенно снижается. При соотношении загрязнителя и фиторемедианта в пределах значений 0,234–0,405 мг железа общего на грамм сырого веса ряски эффективность фиторемедиации водной среды на 8 сутки достигает 73 % (рис. 4).

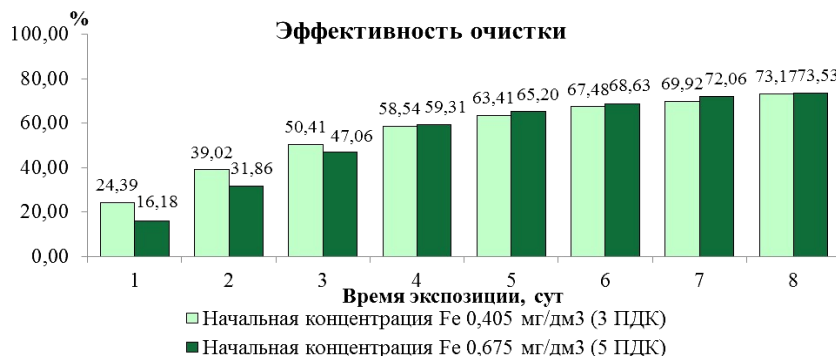


Рис. 4. Динамика эффективности очистки водной среды от ионов железа ряской малой

Таким образом, из наиболее распространённых свободноплавающих гидрофитов водных экосистем Беларуси в качестве фитосорбента соединений железа для очистки сточных вод методом биоремедиации предпочтительно применение ряски малой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определитель высших растений Белоруссии / под ред. В. И. Парфёнова. Минск: Дизайн ПРО, 1999. 472 с.
2. Результаты наблюдений НСМОС, 2017 [Электронный ресурс] // Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. URL: <http://www.nsmos.by/content/777.html> (дата доступа: 15.03.2018).

* * *

Bardiukova Alesia V., Kovaleva Oksana V.
ABOUT THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF FREE-FLYING HYDROPHITES OF WATER ECOSYSTEMS OF BELARUS TO CLEAN WASTE WATER FROM METAL COMPOUNDS BY PHYTOREMEDIATION METHOD
 (Francisk Scorina Gomel State University, Gomel, Belarus)

In the course of the work, an assessment was carried out of the remediation potential of local representatives of free-floating hydrophytes: duckweed, duckweed, trilobe, and polypus. The study of species-specific features of research objects and a laboratory experiment to assess their resistance to high concentrations of the studied pollutant (iron) showed that the most promising type of water treatment in natural and climatic conditions of Belarus is small

duckweed. A laboratory experiment to study the effectiveness of the phytoremediation of the aquatic environment from iron ions to small poyas showed that with a ratio of pollutant and phytosorbent in the range of 0.234—0.405 mg Fe per gram of fresh weight of duckweed, the efficiency of phytoremediation on day 8 can reach 73 percent.

Keywords: metal compounds, wastewater, wastewater treatment, bioremediation, phytoremediation, free-floating hydrophytes.

REFERENCES

1. Parfenova V. I. (ed.) *Opredelitel vysshikh rastenii Belorussii* (Key to higher plants of Belarus), Minsk, Design PRO Publ., 1999. 472 p.
2. *Rezultaty nabliudeni Natsionalnoi sistemy monitoringa okruzhaiushchei sredy Respubliki Belarus, 2017* (Observation results of the National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus, 2017). Available at: <http://www.nsmos.by> (accessed 03/15/2018) (In Russ.).

* * *

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ