

ОЦЕНКА ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ *LEMNA MINOR* И *DAPHNIA MAGNA* В КАЧЕСТВЕ БИОИНДИКАТОРОВ

Галах А.К., Яковлева А.П.,
младшие научные сотрудники, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Живицкая Е.П., ст. преподаватель

Ключевые слова. Тяжелые металлы, токсичность, биоиндикация, синергетический эффект, антагонистический эффект, загрязнение воды, экотоксикология.

Keywords. Heavy metals, toxicity, bioindication, synergistic effect, antagonistic effect, water pollution, ecotoxicology.

В условиях возрастающего антропогенного воздействия на водные экосистемы особую актуальность приобретает проблема загрязнения водоемов тяжелыми металлами. Промышленные сточные воды, содержащие смеси токсичных металлов, представляют серьезную угрозу для водных экосистем даже при низких концентрациях загрязнителей [1]. Ежегодно значительные объемы сточных вод, содержащих тяжелые металлы, сбрасываются предприятиями автомобильной, горно-обогатительной и металлургической промышленности, что создает необходимость постоянного мониторинга их воздействия на водные организмы.

Для оценки экологического состояния водных объектов широко применяются методы биоиндикации, основанные на анализе реакции живых организмов на присутствие токсикантов. Особый интерес представляет комплексное использование различных тест-объектов, позволяющее получить более полную картину токсического воздействия тяжелых металлов на водные экосистемы [2]. В качестве модельных организмов успешно применяются как представители водных растений (*Lemna minor*), так и животных (*Daphnia magna*).

Ряска малая (*Lemna minor*) обладает исключительной способностью к аккумуляции тяжелых металлов, превосходя в этом отношении другие водные макрофиты. В свою очередь, *Daphnia magna* является стандартизированным тест-объектом, широко используемым для оценки острой токсичности водной среды благодаря своей высокой чувствительности к загрязнителям и простоте культивирования в лабораторных условиях.

Несмотря на значительное количество исследований токсичности отдельных металлов, механизмы их совместного воздействия на водные организмы изучены недостаточно. Это затрудняет прогнозирование экологических рисков в реальных условиях, когда водные экосистемы подвергаются воздействию сложных смесей загрязнителей.

Целью настоящего исследования является комплексная оценка токсического воздействия тяжелых металлов (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+}) как по отдельности, так и в различных комбинациях на физиологические показатели *Lemna minor* и *Daphnia magna* для разработки эффективной системы биоиндикации загрязнения водных объектов.

Материал и методы. В работе использованы разведения стандартных водных растворов $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ (с содержанием тяжелых металлов 1 мг/см³).

Определение острой токсичности с использованием Daphnia magna.

В работе был проведен 48-часовой тест на острую иммобилизационную токсичность *Daphnia magna*. Для каждой повторности пять особей *Daphnia magna* в возрасте менее 24 часов помещали в 10 мл искусственной пресной среды (контроль) и раствор тестируемого загрязнителя в контрольной среде.

Оценка влияния исследуемых веществ на ряску L. minor.

Для выращивания растений использовалась водопроводная дехлорированная (отстоянная) вода. В каждый 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 культиви-

ровали в лабораторных условиях при искусственном освещении (11-часовом световом дне, освещенность 1000 лк) при температуре 24 °С в течение семи суток.

Показателями токсичности в опыте служили удельная скорость роста (темп роста) и общая площадь пластинок ряски.

Статистический анализ.

Для построения моделей доза-эффект в настоящей работе использована логистическая модель с четырьмя параметрами (b, c, d, e) LL.4 библиотеки *drm* в среде статистических вычислений R (GraphPad Software, Inc.), которая имеет вид:

$$\psi(x) = c + \frac{d-c}{1 + e^{b(\log x - \log e)}}$$

где *c* и *d* – параметры, определяющие нижнюю и верхнюю горизонтальные асимптоты сигмоидной кривой,

e – соответствует положению точки перегиба,

b – соответствует коэффициенту угла наклона в области переходного состояния.

Результаты и их обсуждение. В работе проведено комплексное исследование токсического воздействия тяжелых металлов на два модельных организма - ряску малую (*Lemna minor*) и большую дафнию (*Daphnia magna*).

Для ряски малой установлено, что все исследованные катионы в диапазоне концентраций от 0,1 до 10,0 мг/дм³ приводят к значительному снижению скорости роста (на 87-94 % по сравнению с контролем). Эффективность ингибирующего действия на рост ряски малой снижается в ряду $Zn^{2+} > Pb^{2+} > Fe^{2+} > Cu^{2+}$, что подтверждается рассчитанными значениями ED₅₀: ED₅₀ Zn²⁺ (0,58 мг/дм³) ≈ ED₅₀ Pb²⁺ (0,66 мг/дм³) < ED₅₀ Fe²⁺ (1,24 мг/дм³) < ED₅₀ Cu²⁺ (2,54 мг/дм³).

При исследовании влияния катионов металлов на иммобилизацию *Daphnia magna* обнаружен иной порядок токсичности: $Cu^{2+} > Cd^{2+} > Pb^{2+} > Ni^{2+}$, что подтверждается значениями EC₅₀: EC₅₀ Cu²⁺ (0,11 мг/дм³) ≈ EC₅₀ Cd²⁺ (0,14 мг/дм³) < EC₅₀ Pb²⁺ (1,41 мг/дм³) < EC₅₀ Ni²⁺ (2,84 мг/дм³).

Интересно отметить различия в чувствительности тест-объектов к катионам металлов. Так, ионы меди оказались наименее токсичными для ряски (ED₅₀ = 2,54 мг/дм³), но проявили максимальную токсичность для дафний (EC₅₀ = 0,11 мг/дм³). Ионы свинца показали схожую токсичность для обоих тест-объектов: ED₅₀ = 0,66 мг/дм³ для ряски и EC₅₀ = 1,41 мг/дм³ для дафний.

Особый интерес представляют результаты исследования бинарных смесей металлов на иммобилизацию дафний. Выявлены как синергетические, так и антагонистические эффекты, зависящие от концентрации компонентов смеси. При добавлении меди (в концентрации EC₅₀) к низким концентрациям свинца и кадмия наблюдался синергетический эффект, который сменялся антагонистическим при высоких концентрациях. Для смесей с никелем обнаружен противоположный эффект: все комбинации Ni²⁺ (в концентрации EC₅₀) с другими металлами демонстрировали синергизм, причем токсичность снижалась в ряду Cd+Ni > Cu+Ni > Pb+Ni.

Полученные результаты свидетельствуют о сложном характере токсического действия тяжелых металлов на водные организмы и необходимости комплексного подхода к оценке их воздействия на экосистемы. Использование двух различных тест-объектов позволяет получить более полную картину потенциальной опасности загрязнения водоемов тяжелыми металлами, учитывая различную чувствительность представителей разных трофических уровней.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их использования для разработки нормативов содержания тяжелых металлов в водных объектах с учетом их комбинированного действия, а также для совершенствования методов биологического мониторинга загрязнения водных экосистем.

Заключение. В данной работе проведено комплексное исследование влияния тяжелых металлов (меди (II), железа (II), свинца, цинка, кадмия и никеля) на водные организмы, используя в качестве тест-объектов ряску малую (*Lemna minor*) и большую дафнию (*Daphnia magna*).

Установлено, что все исследованные катионы металлов оказывают ингибирующее действие на рост ряски малой, снижая ее удельную скорость роста и общую площадь

фрондов. Эффективность ингибирования роста ряски малой снижается в ряду $Zn^{2+} > Pb^{2+} > Fe^{2+} > Cu^{2+}$.

Тестирование на большой дафнии (*Daphnia magna*) показало, что ионы металлов вызывают угнетение двигательной активности рачков. Токсичность отдельных катионов для *Daphnia magna* снижается в ряду $Cu^{2+} > Cd^{2+} > Pb^{2+} > Ni^{2+}$.

Исследование комбинированного воздействия ионов металлов на *Daphnia magna* выявило сложные взаимодействия, проявляющиеся в синергетических и антагонистических эффектах. В частности, добавление меди к низким концентрациям свинца и кадмия усиливало токсический эффект (синергизм), в то время как при высоких концентрациях наблюдался антагонизм. Смеси ионов никеля с медью, кадмием и свинцом во всех исследованных концентрациях проявляли синергетическое действие, причем токсичность смесей снижалась в ряду $Cd+Ni > Cu+Ni > Pb+Ni$.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности *Lemna minor* и *Daphnia magna* к загрязнению тяжелыми металлами и подтверждают перспективность использования этих организмов в биоиндикационных исследованиях водных экосистем. Комплексный подход, основанный на использовании различных тест-объектов, позволяет получить более полную картину токсического воздействия тяжелых металлов и учесть синергетические и антагонистические эффекты при их совместном присутствии. Данные исследования могут быть использованы для разработки эффективных мер по охране водных ресурсов и нормированию сброса сточных вод, содержащих тяжелые металлы.

1. Раимбеков, К.Т. Использование макрофитов для доочистки городских сточных вод / К.Т. Раимбеков // Инновации в науке: научный журнал. – 2017. – № 4(65). – С. 8-10.

2. Systematic evaluation of chronic metal-mixture toxicity to three species and implications for risk assessment / C. Nys [et al.] // Environ. Sci. Technol. – 2017. – Vol.51 – P.4615-4623.

ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ЖУЖЕЛИЦ В РОДНИКОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ДОЛИНЫ Р. ЛУЧЕСЫ

Галех Е.В.,

ВГУ имени П.М. Машерова,

г. Витебск, Республика Беларусь

Научный руководитель – Солодовников И.А., канд. биол. наук, доцент

Ключевые слова. Карабидокомплексы, динамика активности, доминирование, береговые биоценозы, Carabidae.

Keywords. Carabid complexes, dynamic activity, dominance species, banks biocenoses, Carabidae.

Наличие обрывистых берегов р. Лучесы обуславливает большое количество родников. Большая их часть относится к группе родников грунтовых поровых вод. Водные жесткокрылые довольно хорошо изучены в родниковых экосистемах в условиях Республики Беларусь, а вот околородные жужелицы – практически не изучены.

Карабидокомплексы родниковых экосистем долины реки Лучесы, можно охарактеризовать как довольно богатые и стабильные биоценозы, где условия среды являются оптимальными для жизни данных видов жесткокрылых. Жужелицы являются важным компонентом экосистемы и часто используются в экологических исследованиях. Их высокое разнообразие и адаптивность позволяют им обитать в различных средах [1].

Большинство из представителей жужелиц являются хищниками, играющими важную роль в контроле численности вредителей, что делает их полезными для сельского хозяйства. Кроме этого, их чувствительность к изменениям в окружающей среде позволяет использовать их как биоиндикаторов. Изменения численности и разнообразия жужелиц могут свидетельствовать о состоянии и уровне загрязнения экосистемы.

Исследования жужелиц помогают в оценке воздействия антропогенной деятельности на природные сообщества. Цель работы – исследовать динамику активности жужелиц родниковых экосистем долины реки Лучесы.