

А. В. Лундима́н, Ж. Ф. Гессе, Е. В. Барино́ва

A. V. Lindiman, Zh. F. Gesse, E. V. Barinova

*ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Иваново*

Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service, EMERCOM of Russia,
Ivanovo

lindiman@list.ru

zhenni.gesse@mail.ru

lenok-ch@list.ru

**Мониторинг и фиторемедиация почв,
загрязненных тяжелыми металлами**

Monitoring and phytoremediation of contaminated with heavy metals soils

***Аннотация.** Представлен мониторинг 4-х родниковых экосистем с различной степенью техногенного воздействия, как индикаторов качества состояния окружающей среды посредством бонитировки растительности и анализа содержания в ней тяжелых металлов. Установлена взаимосвязь между состоянием природных растительных сообществ, изменением свойств почвы, качеством родниковой воды и уровнем техногенной нагрузки на эти экосистемы. Предложены перспективные растения-аккумуляторы тяжелых металлов.*

***Abstract.** This work contains a monitoring 4 spring ecosystems varying degrees of anthropogenic impact, as indicators of the quality of the environment by vegetation appraisal and analysis of the content of heavy metals in it. It is established the relationship between the state of natural plant communities, changes in the properties of the soil, the quality of spring water and the level of anthropogenic impact on these ecosystems. It is offered promising plant accumulators of heavy metals.*

***Ключевые слова:** техногенное загрязнение, тяжелые металлы, биоиндикация, рудеральные растения, экосистема.*

***Key words:** industrial pollution, heavy metals, bioindication, ruderal plants, ecosystem.*

В настоящее время все более насущной становится проблема усиления антропогенного воздействия на окружающую среду. Одной из главных составляющих выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) антропогенного происхождения является поступление в атмосферу, гидросферу и литосферу таких критериальных ксенобиотиков, как тяжелые металлы (ТМ). Часть техногенных выбросов ТМ поступает в атмосферу в виде тонких аэрозолей, переносится на значительные расстояния и вызывает глобальное загрязнение окружающей природной среды. Другая часть со сточными водами предприятий попадает в природные водоемы, где ТМ накапливаются в водной среде и донных отложениях и могут стать источником вторичного загрязнения экосистем.

Естественные родниковые воды (родники) издавна служат эталоном запасов полезной и экологически безопасной воды. Однако в последнее время из-за загрязнения окружающей природной среды вода родников не только теряет свои полезные свойства, но и становится опасной для употребления. При этом одними из приоритетных ЗВ родниковой воды являются ТМ. Усиление антропогенного воздействия (в частности на родниковые экосистемы) влечет за собой загрязнение сопредельных сред – воды, почвы, растительности.

Поэтому очень важным является проведение таких превентивных действий как мониторинг экологически небезопасных мест и своевременное проведение предупреждающих или смягчающих мероприятий [3]. Важность этого направления в деле защиты населения и территорий от природных и техногенных чрезвычайных ситуаций нашла свое отражение в распоряжении Президента Российской Федерации от 23 марта 2000 г. № 86-рп, определившем необходимость и порядок создания в стране системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

В настоящее время с целью восстановления нарушенных экосистем используются различные методы рекультивации почв, в том числе простой и экономически эффективный метод фиторемедиации, т.е. очистки почв с помощью растений-гипераккумуляторов [4]. Однако, из-за недостаточной

изученности характера протекающих процессов в загрязненных экосистемах и отсутствия сложившейся теории, это активно развивающаяся биотехнология восстановления почвенной среды на сегодняшний день является в определенной мере стихийной и не всегда с прогнозируемыми результатами. Поэтому исследования в этой области являются очень важными.

Цель данной работы заключалась в мониторинге родниковых экосистем, как индикаторов качества состояния окружающей среды; установлении взаимосвязи между состоянием природных растительных сообществ, изменением свойств почвы, качеством родниковой воды и уровнем техногенной нагрузки на эти экосистемы; выборе перспективных растений-аккумуляторов ТМ с целью их извлечения из загрязненных почв.

Объектами экологического мониторинга были выбраны родники, подвергнутые различной степени техногенного воздействия.

Около родника №1 располагаются дома частного сектора и недалеко от него теплоэлектростанция (ТЭЦ). Воду из родника используют для хозяйственно-питьевых целей большое количество людей. Родник №2 расположен на урбанизированной территории, недалеко от оживленной автомобильной дороги и несанкционированных свалок. Этот источник также пользуется популярностью среди жителей. В рекреационной зоне находится родник №3. Родник №4 расположен на экологически «чистой» территории вдали от дорог и жилого сектора.

Проведенные результаты биотестирования проб воды показали, что в первых двух родниках вода оказывает острое токсическое действие на тест-организмы, а из родников №3 и №4 было обнаружено отсутствие токсического воздействия. По химическому анализу воды наблюдалось превышение норм по ряду показателей качества в пробах из родников №1, №2 и №3, а именно – по общей жесткости, степени минерализации, содержанию ряда анионов и катионов металлов, в частности, по свинцу. В пробах почв, отобранных в районе водосбора родников, находящихся в зонах, подверженных антропогенному воздействию, также было обнаружено повышенное, по

сравнению с предельно допустимыми концентрациями, содержание ряда тех же металлов, что и в воде. В этих же почвах присутствовали нефтепродукты и пестициды. Почва около родника №4, расположенного в экологически чистой зоне, не содержала поллютантов.

С целью получения наиболее полной информации о состоянии и причинах загрязнения родниковых экосистем в работе был изучен и проанализирован состав растительности на территории в радиусе 15 м вокруг родников. Проведенная бонитировка растительных сообществ, включала в себя идентификацию видов растений, распределение их по группам, определение среднего количества экземпляров отдельных видов растений на единицу площади (густоту стояния), степень угнетенности растений и т. п. [1]. Также оценивался коэффициент биологического поглощения металлов растениями, для чего навески воздушно-сухой почвы и растений подвергались «мокрому» озолению по методике [5] и в полученных растворах определялась концентрация тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Сатурн.

Анализ результатов бонитировки показал, что количество местных растений уменьшается с увеличением степени антропогенной нагрузки, а пришлых, особенно рудеральных, увеличивается в общем растительном сообществе. Также растет и густота стояния данных видов растений-сорняков. Следовательно, густоту стояния представителей отдельных групп растений (особенно рудеральной группы) можно использовать для оценки уровня антропогенного воздействия на родниковые экосистемы.

Часто степень техногенной нагрузки оценивается по содержанию в компонентах экосистем тяжелых металлов, причем многие из них являются маркерами [3]. В данной работе в сухой массе растений и в почве определялись концентрации меди, цинка, хрома, свинца, кадмия и других ТМ. При этом были выбраны представители разных структурных групп растений (рудеральных, сорно-луговых и местных), которые произрастали вокруг всех исследуемых нами родников.

Свинец и кадмий, практически при любом содержании, как в почве, так и в растениях, оказывают токсическое действие, как на почвенную фауну, так и на рост и развитие растений. Полученные результаты содержания свинца в растениях разных групп, представленные на рис.1, показывают, что с увеличением степени техногенной нагрузки на экосистемы родников, увеличивается содержание ТМ в наземной части растения.

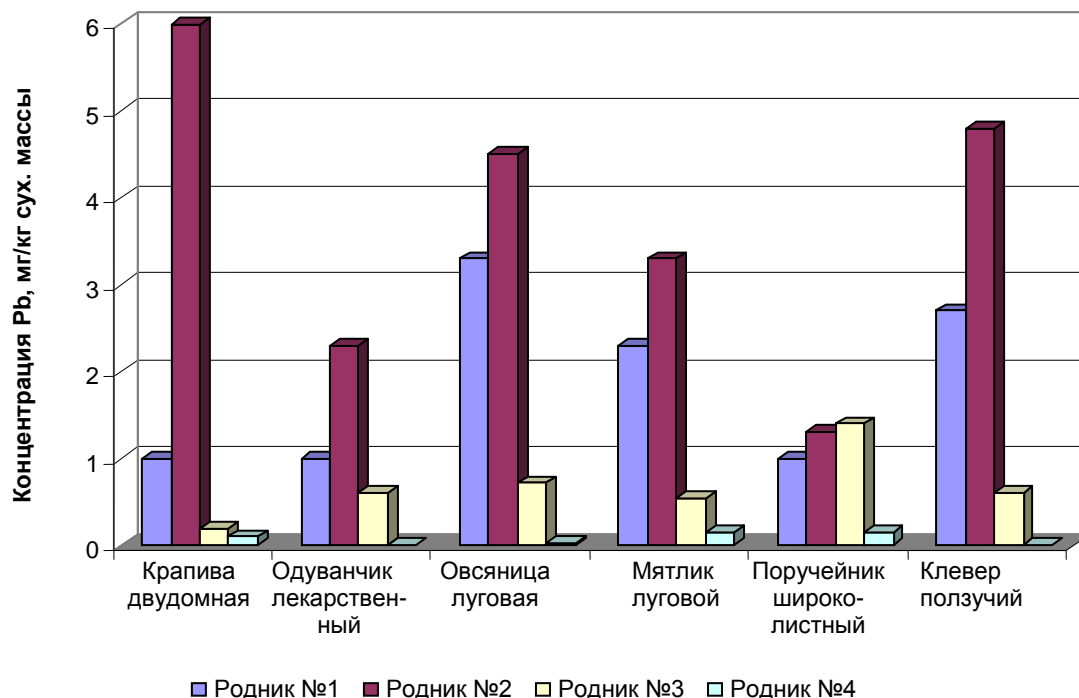


Рис. 1. Концентрация свинца в сухой массе растений, собранных у исследуемых родников

Значительные концентрации свинца в растениях, собранных около родника № 2, по-видимому, связаны с близостью автомобильной магистрали с интенсивным движением машин и выхлопными газами, содержащими соединения свинца.

Свинец в большей степени проникает в растения, относящиеся к группе рудеральных (крапива двудомная) и сорно-луговых растений (овсяница луговая), собранных на урбанизированных территориях. Накопление свинца в крапиве двудомной и овсянице луговой при значительном уровне загрязнения

почвы (3 ПДК_п около родника № 2 и 1,5 ПДК_п около родника № 1), по-видимому, обусловлено приспособительными возможностями этих растений.

Толерантность указанных растений к накоплению иона свинца, возможно, связана с образованием малоподвижных хелатных комплексов свинца со специфичными для этих растений органическими соединениями и белками, их депонированием в вакуолях клетки, что уменьшает степень негативного воздействия свинца на физико-биологические свойства растения. Аналогичные результаты по превышению концентрации другого тяжелого металла – кадмия также были обнаружены у всех обследованных растений.

Таким образом, наряду со структурными характеристиками растительных сообществ вокруг природных родников, содержание этих металлов, особенно свинца, в растениях может служить репрезентативным показателем состояния родниковых экосистем.

Далее был определен круг растений, которые можно было бы использовать в качестве растений-аккумуляторов из семейств крестоцветных, злаковых и бобовых, способных в больших количествах извлекать ТМ, а именно свинец и кадмий, как одни из наиболее опасных для живых организмов тяжелых металлов, из загрязненной почвы.

Для изучения влияния уровня загрязнения почвы ТМ на рост растений и на их миграционную способность в системе «почва-растение», использовали методику [5]. Оценку влияния уровня загрязнения почвы Pb и Cd на биомассу растений и на степень извлечения их растениями из почвы проводили по количественным показателям – фитотоксическому эффекту (ФЭ) и коэффициенту биологического поглощения (Ах) [4].

Анализ результатов исследования показал, что наиболее устойчивыми к поступлению соединений свинца и кадмия из почвы являются растения овса посевного и горчицы полевой и для них также характерна наибольшая степень извлечения этих металлов из почвы.

Исходя из результатов, представленных в таблице Овес посевной, Горчица полевая и Кресс-салат можно использовать для обезвреживания почв, как наиболее устойчивых и в большем количестве накапливающих ТМ.

Таблица. Показатели эффективности фиторемедиации почв

Вид растений	Pb			Cd		
	ФЭ,%*	ЭД ₅₀ , мг/кг сух.массы	A _x × 10 ⁻³	ФЭ,%*	ЭД ₅₀ , мг/кг сух.массы	A _x × 10 ⁻³
Кресс-салат	56,2	4 (при 2 ПДК _п)	0,3	60	11 (при 4 ПДК _п)	25,6
Горчица полевая	45,7	112 (при 5,5 ПДК _п)	2,6	61	25 (при 4 ПДК _п)	18,8
Рожь посевная	53	2 (при 4 ПДК _п)	0,04	64,5	0,7 (при 2 ПДК _п)	0,6
Овес посевной	29,4	137 (при 10ПДК _п)	6,5	53	5 (при 4 ПДК _п)	13,4
Горох посевной	57,7	14 (при 4 ПДК _п)	0,17	75	0,7 (при 3 ПДК _п)	0,6

Итак, при поиске решения проблем защиты населения и территорий от последствий чрезвычайных ситуаций экологического и техногенного характера можно использовать:

1) в качестве биоиндикатора уровня техногенного загрязнения окружающей среды рудеральные растения – овсяницу луговую и крапиву двудомную;

2) густоту стояния родниковых растений и содержание ТМ в их биомассе, как отражение уровня последствий техногенного загрязнения на исследуемых объектах;

3) растения–аккумуляторы: горчицу полевую и овес посевной для очистки загрязнения почв тяжелыми металлами.

Список литературы

1. Линдиман, А.В. Уровень антропогенного воздействия на экосистемы как функция свойств растительных сообществ / А.В. Линдиман, С.А. Буймова, Л.В. Шведова, А.П. Куприяновская, А.В. Невский // Вестник МИТХТ. – 2008. – Т. 3, № 6. – С.67-74.

2. Линдиман, А.В. Влияние алифатических карбоновых кислот на миграционную способность свинца и кадмия в системе «почва-растение» / А.В. Линдиман, Л.В. Шведова, А.П. Куприяновская, А.В. Невский // Известия ВУЗов: Химия и хим. Технология. – 2013. –

Т.56, вып.11. – С.68-73.

3. Постановление Правительства РФ от 09.08.2013 N 681 "О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)" (вместе с "Положением о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)": [пост. Правительства РФ: начало действия документа – 22.08.2013] / Собрание законодательства РФ. - 19.08.2013. – N 33, ст. 4383.

4. Линдиман, А.В. Фиторемедиация почв, содержащих тяжелые металлы / А.В. Линдиман, Л.В. Шведова, Н.В. Тукумова, А.В. Невский // Экология и промышленность России. – 2008. – № 9. – С. 45-47.

5. Фомин, Г.С. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам: справочник / Г.С. Фомин, А.Г. Фомин. – М.: Протектор, 2001. – 301 с.