

**М.И. ХВАЩЕВСКИЙ**

Брест, Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина  
Научный руководитель – А.П. Колбас, канд. биол. наук, доцент

## **СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ БИДОСТУПНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ**

**Введение.** Загрязнение почвы является типом деградации земель, при котором диапазон естественных или антропогенных составляющих превышает предельно допустимую концентрацию в естественной почвенной среде [1]. Потенциально токсичные металлы (ПТМ) как из природных, так и из антропогенных источников регулярно попадают в почву, а неправильная утилизация промышленных и бытовых отходов, чрезмерное использование агрохимикатов лишь приводят к ускорению процесса загрязнения почвы. Например, загрязнение ПТМ, передающееся по пищевым цепям, является серьезной проблемой, которая угрожает здоровью животных и людей [2].

По оценкам, в последние годы во всем мире умерло более 12,6 миллиона человек от болезней, вызванных загрязнением почвы [3]. По данным Всемирной организации здравоохранения в 2015 г. было зарегистрировано 494550 смертельных исходов и 9,3 млн случаев подтверждения статуса инвалидности в результате длительного воздействия свинца на человека. Маленькие дети особенно подвержены отравлению свинцом из-за проглатывания загрязненной свинцом почвы или пыли, и многие в Нигерии, Сенегале и многих других странах умерли от воздействия загрязненной свинцом почвы [4]. Поэтому так важно разрабатывать подходы по изменению биодоступности ПТМ в почвах, для эффективного применения методов фиторемедиации.

**Материалы и методы.** В аналитическом обзоре использовались материалы статей и исследований на тему очистки почвенных экосистем от потенциально токсичных металлов, в том числе и методами фиторемедиации.

**Результаты и их обсуждение.** Поскольку загрязнение почвы ПТМ является серьезной экологической угрозой, демобилизация/выведение ПТМ в/из почвенных экосистемах имеют решающее значение. Под демобилизацией ПТМ подразумевается их стабилизация или снижение их подвижности в почве с целью снижения биодоступности для растений и животных, и уменьшения вымывания ПТМ в подземные воды [5].

В зависимости от типа ПТМ, физико-химических свойств почвы и имеющихся временных и финансовых ресурсов изменение биодоступности ПТМ может быть достигнуто с помощью методов мобилизации и иммобилизации.

Методы демобилизации направлены на предотвращение перемещения ПТМ с помощью различных почвенных добавок и минимизации биодоступности ПТМ для растений, животных и людей и снижения способности выщелачивания к подземным водам. Иммобилизация *ex-situ* или *in-situ* часто осуществляется путем включения соответствующих добавок в загрязненные почвы. Обнадеживающие результаты наблюдались с использованием как органических добавок (биоуголь, компост, ил), так и неорганических (фосфаты, известковые материалы). При этом эти добавки одновременно будут выполнять функцию удобрений, т.е. ускорять темпы роста растений, улучшать структуру почвы, нормализовать рН а также влагоемкость почв. Этот метод относительно прост и экономичен, но не перспективен, т.к. он лишь обезвреживает ПТМ, а не выводит их из почвенной экосистемы полностью.

Методы мобилизации тесно связаны с процессами фиторемедиации (фитоэкстракции), при которых подвижные формы ПТМ могут поглощаться высшими растениями, которые впоследствии идут на переработку или утилизируются [6]. Также различные почвенные добавки и удобрения ускоряют этот процесс. Так, например, при окислении серы до серной кислоты почвенными микроорганизмами, происходит снижение рН почвы и посредством этого увеличивается растворимость катионов металлов. Или же использование хелатирующих агентов, повышающих растворимость из твердых фаз, например EDTA, NTA, DPTA и EDDS

Однако химически усиленная фитоэкстракция связана с целым рядом экологических рисков: вымывание металлов и их токсическое воздействие на микроорганизмы, усложненное повышением биодоступности остальных микроэлементов (EDTA долгое время остается в почве).

Применение органических кислот обычно приводит к увеличению подвижности Cu, Cd и Zn вследствие повышения кислотности почвы или образования комплексных соединений гуминовых кислот с металлами, которые легче поглощаются растениями.

В некоторых исследованиях говорится о применении фитогормонов в фиторемедиации. Например, гормональное сопровождение гуминовых веществ исследовано на сельскохозяйственных и лесных растениях.

Фиторемедиация достаточно эффективна т.к. имеет допустимую продолжительность (3–10 лет), по цене близка к обычному культивированию почв. При этом процесс фиторемедиации может

сопровождаться дополнительной прибылью за счёт реализации растительного сырья для производства биотоплива, технического спирта, зеленых удобрений и др.

**Заключение.** Мы проанализировали основные способы регулирования биодоступности ПТМ, их положительными и отрицательными сторонами. Наиболее перспективными и выгодными можно считать методы мобилизации ПТМ, в частности с применением серы в качестве мобилизирующего агента. Это будет предотвращать заболачивание почвы и ускорит процесс фитоэкстракции. Для фитостабилизации лучше применять сочетание органических и неорганических агентов, например компоста и доломита.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hou, D. Sustainability: A new imperative in contaminated land remediation / D. Hou, A. Al-Tabbaa // *Environmental Science & Policy*. – 2014. – Vol. 39. – P. 25–34.
2. Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation. – A review / V. Antoniadisa [et al.] // *Environmental Science & Policy*. – 2017. – Vol. 171. – P. 621–645.
3. An estimated 12.6 million deaths each year are attributable to unhealthy environments [Electronic resource] // World Health Organization. – Mode of access: <https://www.who.int/news-room/detail/15-03-2016-an-estimated-12-6-million-deaths-each-year-are-attributable-to-unhealthy-environments>. – Date of access: 17.12.2019.
4. Lead poisoning and health [Electronic resource] // World Health Organization. – Mode of access: <https://www.who.int/en/news-room/factsheets/detail/lead-poisoning-and-health>. – Date of access: 17.12.2019.
5. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize? / N. Bolan [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2014. – Vol. 266. – P. 141–166.
6. Sulfur-modified organoclay promotes plant uptake and affects geochemical fractionation of mercury in a polluted floodplain soil / J. Wang [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2019. – Vol. 371. – P. 687–693.
7. Kolbas, A. Phenotypic traits and development of plants exposed to trace elements; utilization for phytoremediation and biomonitoring: PhD theses / A. Kolbas. – Bordeaux, 2012.