

УДК 581.5 : 631.811.98

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ФИТОЭКСТРАКЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ

Одех Ияд, Аспирант кафедры экологии, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, eyad.tetan@gmail.com

Морев Дмитрий Владимирович, к.б.н, доцент кафедры экологии, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, dmorev@rgau-msha.ru

Габечая Валерия Вячеславовна, Ассистент кафедры экологии, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, lera.gabechaya@mail.ru

***Аннотация:** В статье рассматриваются основные процессы, факторы и критерии оценки эффективности работы стимуляторов роста растений почв загрязнённых тяжёлыми металлами, в качестве основных стимуляторов роста растений используется полиамины, биоразлагаемый хелатирующий агент нитрилотриуксусная кислота, этилендиамин- N, N'- диязотарная кислота и природных низкомолекулярных органических кислот, таких как лимонная кислота, янтарная кислота. В качестве основных вариантов растений используется растения с повышенным производством биомассы, более высокой скоростью роста и интенсивным потенциалом накопления токсичных тяжёлых металлов в надземных частях, в качестве условия рассматриваются рН.*

***Ключевые слова:** экологическая оценка почв, фитоэкстракция, тяжёлые металлы, стимуляторы роста растений.*

В свете промышленного и сельскохозяйственного развития, в последнее время, в связи с увеличением строительства заводов и пережитков войны, а также увеличением количества химических отходов, сбрасываемых в окружающую среду, становится важным поиск пути снижения рисков загрязнения почв тяжёлыми металлами. Загрязнение почвы токсичными металлами является широко распространённой экологической проблемой, возникшей в результате глобальной индустриализации за последнее десятилетие, так как потребность в использовании различных металлов возрастает. Таким образом, обеззараживание почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, очень важно для снижения связанных с этим рисков, а также для поддержания здоровья окружающей среды. Фиторемедиация – это относительно новая технология, использующая зелёные растения для очистки окружающей среды от загрязняющих веществ, которая считается экономически эффективной и неинвазивной альтернативой традиционной рекультивации. Следует обратить внимание, что важным элементом процесса фиторемедиации является отбор растений, которые естественным образом произрастают на почвах, загрязнённых тяжёлыми металлами, для использования этих растений

в фиторемедиации, поскольку они более устойчивы, чем остальные растения . Среди различных видов фиторемедиации, к которым относятся в том числе фитостабилизация, фитостимуляция, фитотрансформация, фитофильтрация и фитоэкстракция, последняя наиболее широко применяется для ремедиации почв, загрязненных токсичными тяжелыми металлами[3] .

Фитоэкстракция или фитоаккумуляция основана на поглощении из почвы или воды и накоплении тяжелых металлов в надземной биомассе растения (рис.1) . Эффективность видов растений при фитоэкстракции металлов определяется соотношением концентраций металлов в растении и почве [7] .



Рис. Фитоэкстракция тяжелых металлов [7]

Растения, способные выжить в почве, загрязненной тяжелыми металлами, называются металлофиты. Металлофиты в основном принадлежат к семейству растений Brassicaceae и делятся на три класса; исключатели, индикаторы и гипераккумуляторы [3] . Следует отметить, что для выполнения технологии фитоэкстракции необходимо подобрать определённые виды сельскохозяйственных растений, так как растения - гипераккумуляторы тяжёлых металлов поглощают и накапливают тяжелые металлы значительно больше, чем растения- исключатели [2] .

Успех фитоэкстракции зависит от доступности и растворимости тяжелых металлов в почве для поглощения корнями. Следовательно, биодоступность является ограничивающим фактором для фитоэкстракции. Растворение тяжелых металлов в почвенном растворе, в первую очередь, регулируется экологическим фактором кислотности-щелочных условий (pH). Щелочная реакция среды (высокий pH) почвы приводит к большему удержанию и низкой растворимости металлов в почвенном растворе, при повышенной емкости катионного обмена и содержания органических веществ.

Тяжелые металлы в почве можно разделить на доступные, обменные и недоступные фракции – в зависимости от их поглощения растениями. Для успешной фитоэкстракции требуется использования видов растений с

повышенным производством биомассы, более высокой скоростью роста и интенсивным потенциалом накопления токсичных тяжелых металлов в надземных частях. Повышение биодоступности тяжелых металлов за счет снижения рН почвы с помощью стимуляторов роста растений, таких как синтетические или натуральные хелаты является одним из наиболее важных способов повышения эффективности фитоэкстракции [3].

К таким стимулятором относятся этилендиамин- N, N'- дизантарная кислота (EDDS) который естественным образом вырабатывается микроорганизмами и эффективен для увеличения поглощения тяжелых металлов. Биодоступность меди, никеля и цинка еще больше повышается при применении (EDDS)[6]. Нитрилотриуксусная кислота (NTA) является биоразлагаемым хелатирующим веществом и не обладает фитотоксическим действием NTA используется для повышения эффективности фитоэкстракции за счет повышения биодоступности тяжелых металлов [3].

В последнее время использование природных низкомолекулярных органических кислот, таких как лимонная кислота, щавелевая кислота, янтарная кислота ,или яблочная кислота было рекомендовано к более широкому применению – из-за их низкой стоимости и высокой способности к разложению по сравнению с дорогими и легко вымываемыми синтетическими хелаторами. Также следует отметить, что органические кислоты связывают ионы тяжелых металлов в растениях в нетоксичные или менее токсичные формы. Лимонная кислота является одной из важных органических кислот, которая может выделяться корнями растений. Наблюдалось повышения фиторемедиационного потенциала тяжёлых металлов, таких как Cr, Pb,Cu, при применении лимонной кислоты – за счёт стимулирования роста растений [4].

Известно, что янтарная кислота (ЯК), как физиологически активное вещество, находит применение в качестве биостимулятора роста сельскохозяйственных растений. Было установлено, что при наличии в почве янтарной кислоты степень извлечения свинца всеми изученными растениями возрастает [1].

Другая группа стимуляторов – полиамины которые представляют собой небольшие алифатические амины, повсеместно присутствующие во всех живые клетки растений. Они считаются новым классом ростовых веществ и участвуют в широком спектре биологических процессов растений, таких как рост, развитие и реакция на стрессы окружающей среды. Наиболее распространенными полиаминами, обнаруженными в растениях, являются спермин (Spm), спермидин (Spd) и путресцин (Put), которые представляют собой низкомолекулярные азотсодержащие алкалоиды с линейной цепью и сильной биологической активностью. Добавление экзогенного спермидина может непосредственно хелатировать металл в органах растений, стабилизируя и защищая мембранные системы – за счет уменьшения перекисного окисления липидов, вызванного металлами, тем самым повышая концентрацию тяжелых металлов в тканях растений [5].

Таким образом, экологическая эффективность фитоэкстракции тяжёлых металлов из почвы зависит от нескольких экологических факторов (рН), а наличие в почве стимуляторов роста растений повышает эффективность фитоэкстракции, положительно влияя на ее факторы.

Библиографический список

1. Линдиман А.В. Применение янтарной кислоты в процессе фитоэкстракции свинца и кадмия из загрязненных почв/ А.В. Линдиман, Л.В. Шведова, Н.В. Тукумова, А.П. Куприяновская, А.В. Невский // Вестник МИТХТ. 2010. Т. 5, № 5. С. 102–107 .

2. Львова, В.А. Применение ЭДТА, янтарной кислоты в процессе фитоэкстракции никеля и кадмия из загрязнённых почв / В.А. Львова, И.С. Коротченко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1 (124). – С. 144-149.

3. Ashraf, S. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils/S. Ashraf, Q. Ali, Z. Ahmad Zahir, S. Ashraf, H. Naeem Asghar // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2019 . – Vol. 174 . – С. 714-727 .

4. Farid, M. Citric acid assisted phytoextraction of chromium by sunflower; morpho-physiological and biochemical alterations in plants/M. Farid, S. Ali, M. Rizwan, Q. Ali, F. Abbas, S. A. H. Bukhari, R. Saeed, L. Wu // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2017 . – Vol. 145. – С. 90-102 .

5. Qin, S. Effects of exogenous spermidine on poplar resistance to leaf and root herbivory as affected by soil cadmium stress/S. Qin, Z. Wu, J. Tang, G. Zhu, G. Chen, L. Chen, H. Lei, X. Wang, T. Zhu, T. Lin // Journal of Environmental Management. – 2021 . – Vol. 288. – № 112467. – с. 9 .

6. Sidhu, G. P. S. Ethylenediamine disuccinic acid enhanced phytoextraction of nickel from contaminated soils using *Coronopus didymus* (L.) Sm/G. P. S. Sidhu, A. S. Bali, H. P. Singh, D. R. Batish, R. K. Kohli // Chemosphere. – 2018 . – Vol. 205. – С. 234–243 .

7. Ghori, Z. Chapter 15 - phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soil: schoolbook /Z. Ghori, H. Iftikhar, M. F. Bhatti, N. Um. Minullah, I. Sharma, A. G. Kazi, P. Ahmad // book. – India.: Elsevier Inc, 2015. – 619 с.: .

УДК 581.5 : 631.811.98

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ОПЫТ ПО ТЕСТИРОВАНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ФИТОЭКСТРАКЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ

Одех Ияд, Аспирант кафедры экологии, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, eyad.tetan@gmail.com