

ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НЕКОТОРЫХ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Н.Г. Осмоловская, В.Ю. Самута, М.В. Богомазова, О.Н. Кузина, В.В. Куриленко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, *natalia_osm@mail.ru*

Аннотация. Исследованы особенности аккумуляции Zn, Cu, Pb, Fe в корнях и надземных органах однолетних декоративных растений – бархатцев *Tagetes patula*, цинерарии *Cineraria maritime* и календулы *Calendula officinales* с целью оценки перспективности их использования для технологий фиторемедиации. На основании модельных экспериментов и натурных исследований заключается, что эти растения могут рассматриваться в качестве кандидатов для целей фиторемедиации городских почв, загрязненных тяжелыми металлами. Показана предпочтительность использования растений, находящихся в фазе активной вегетации.

Ключевые слова: фиторемедиация, цинк, свинец, медь, железо, *Tagetes patula*, *Cineraria maritime*, *Calendula officinales*

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-1103-1105

Проблема загрязнения почв, в том числе, городских, тяжелыми металлами (ТМ) остается актуальной, несмотря на разработки различных путей ее решения. Одним из перспективных подходов является технология фиторемедиации, основанная на очистке почв от поллютантов с использованием растений [Salt et al., 1998; Галиулин, Галиулина, 2003; Прасад и др., 2009]. Много внимания при этом уделяется исследованию металл аккумуляющей способности разных видов растений и оценке их фиторемедиационного потенциала. Среди кандидатов на роль фиторемедиаторов преобладают как узкоспециализированные, но имеющие малую биомассу гипераккумуляторы отдельных ТМ (*Brassica juncea*, *Thlaspi caerulescens*, *Thlaspi rotundifolium*, *Alyssum sp.* и др.) [Salt et al., 1998; Baker et al., 2000; Sarma, 2011], так и быстрорастущие сельскохозяйственные культуры [Rossi et al., 2002]. Однако, использование последних вряд ли приемлемо для фиторемедиации загрязненных почв на территории мегаполиса. В данном случае более целесообразным представляется акцентировать внимание на оценке металл-аккумулирующего потенциала растений, традиционно используемых для озеленения городских территорий и проявляющих устойчивость к техногенному загрязнению, в частности, декоративно-цветочных растений.

Нами были исследованы особенности аккумуляции ряда тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Fe) в корнях и надземных органах однолетних цветочных растений – бархатцев *Tagetes patula*, цинерарии *Cineraria maritime* и календулы *Calendula officinales* с целью оценки перспектив их использования для технологий фиторемедиации. Эксперименты по воздействию ТМ и их аккумуляции в органах *Tagetes patula* проводили на растениях, выращиваемых условиях водной культуры на питательном растворе. Для исследования использовали 9- недельные и 14- недельные растения *Tagetes patula*, находящиеся в фазе соответственно вегетативного роста или цветения. ТМ – Zn и Pb вносили в питательные растворы в одинаковой концентрации 200 мкмоль/л в форме $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Время воздействия ТМ на растения составило 7 суток.

Показано, что корневая система декоративных растений характеризуется большей способностью к аккумуляции ТМ, чем их надземные органы. Вегетирующие растения

Tagetes patula аккумулировали Zn и Pb интенсивнее, чем растения в фазу цветения, при этом уровни Pb в корнях вегетирующих и цветущих растений были выше, чем Zn и достигали 15800 мкг/г и 9764 мкг/г сухой биомассы соответственно, а уровни Zn – 4950 мкг/г и 1359 мкг/г. Одновременно показана высокая эффективность перераспределения цинка в надземную часть растений *Tagetes patula*, в результате чего концентрация Zn в листьях вегетирующих растений достигала 920 мкг/г, а в листьях цветущих – 640 мкг/г. Значимый перенос Pb в побег был отмечен только у растений, находящихся в фазе цветения, где он составил 128 мкг/г против 20 мкг/г у вегетирующих растений, что говорит о высокой способности последних ограничивать перенос Pb в побег. Изучение динамики накопления Cu, Zn, Pb органами *Tagetes patula* показало, что интенсивное заполнение сайтов связывания в корнях ионами тяжелых металлов происходит в течение 1-х суток воздействия, при продолжении воздействия ТМ до 7 суток наблюдается их перераспределение в надземную часть растений.

Установлено, что внесение Zn и Pb повлияло на поглощение и аккумуляцию Fe корнями *Tagetes patula*. Цинк до 2 раз стимулировал поступление железа в корни и его перенос в побег, тогда как свинец, напротив, снижал поступление и транспорт железа по растению, что подтверждает представления об антагонизме таких металлов, как Pb и Fe, и синергизме Zn и Fe [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Увеличение дозы фосфорного удобрения в форме фосфата калия снижало вдвое поглощение как Pb, так и Zn корнями *Tagetes patula*, что очевидно, связано с образованием биологически менее доступных форм этих металлов. Однако, еще более сильное ингибирование поглощения Pb наблюдалось в ответ на повышение дозы KNO₃ в среде, в то время как поступление Zn в растения не зависело от увеличения концентрации в ней KNO₃.

В литературе много внимания уделяется исследованию роли хелатирующих агентов в повышении способности растений поглощать и транспортировать тяжелые металлы в надземные органы [Evangelou et al., 2007]. В отличие от сообщений ряда авторов, наши эксперименты показали, что использование в фазу вегетации в качестве хелаторов малата и цитрата в концентрации 2 ммоль/л в форме калиевых солей привело к снижению содержания цинка в корнях *Tagetes patula* в 1,7 и в 1,4 раза по сравнению с контролем, а также существенно (до 4 и 5,2 раз) затормозило перенос Zn в листья. Отмеченный эффект хелаторов был выражен еще сильнее в отношении аккумуляции свинца корнями, которая снизилась в 2,6 и в 3,3 раза под влиянием внесения малата и цитрата соответственно. В то же время перенос Pb в надземные органы *Tagetes patula* увеличился в присутствии малата (но не цитрата) в 2,5 раза. Полученные данные позволяют говорить о снижении связывания Zn и Pb корнями растений ввиду очевидно меньшей аффинности хелатированных форм этих металлов к отрицательно заряженным сайтам клеточных стенок. С другой стороны, выявлен положительный эффект использования малата для перемещения поглощенного свинца в листья *Tagetes patula*, свидетельствующий в пользу возможного участия малата в дальнейшем транспорте Pb по ксилеме.

Исследования, выполненные на *Calendula officinales* и *Cineraria maritime*, показали что календула, как и бархатцы, достаточно эффективно переносит Zn в надземные органы, тогда как цинерарию отличает более интенсивный в сравнении с другими растениями перенос меди в побег, что нашло подтверждение и при анализе декоративных растений, произрастающих на загрязненных ТМ почвах в разных районах города. При этом были также выявлены некоторые закономерности сезонного распределения и перераспределения тяжелых металлов в органах декоративных растений. Так, установлено резкое, до 10-20 раз снижение содержания Cu в корнях растений *Tagetes patula* и *Cineraria maritime* в период с июня до начала сентября при одновременном возрастании содержания в них Fe (в 2-4 раза), возможно,

обусловленном его оттоком из листьев в корни в конце вегетационного периода. Иная закономерность наблюдалась в распределении Zn, уровни концентрации которого сезонно возрастали как в корнях *T. patula* и *C. maritime*, в среднем, в 2 раза, так и в листьях этих растений.

Результаты проведенного исследования позволяют заключить, что декоративные растения можно рассматривать в качестве кандидатов для целей фиторемедиации в условиях загрязнения городской среды тяжелыми металлами. В то же время полученные данные свидетельствуют, что для фиторемедиационной очистки почв целесообразнее использовать декоративные растения, находящиеся в фазе активного вегетативного роста.

Литература

Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Очистка почв от тяжелых металлов с помощью растений // Вестник Российской Академии Наук. – 2008. – Т. 78, № 3. – С. 247–249.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 440 с.

Прасад М.Н.В., Саджвана К.С., Найдю Р. (ред.). Микроэлементы в окружающей среде: биогеохимия, биотехнология и биоремедиация. – М.: Физматлит, 2009. – 816 с.

Baker A. J. M., McGrath S. P., Reeves R. D., Smith J. A. C. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils // In Phytoremediation of contaminated soil and water (Eds. Terry N., Banuelos G.) – London: Lewis Publishers, 2000. – P. 85–107.

Evangelou M.W.H. Ebel M., Schaeffer A. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil. Effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents // Chemosphere. – 2007. – V. 68. – P. 989–1003.

Rossi G., Figliolia A., Socciarelli S., Pennelli B. Capability of *Brassica napus* to accumulate cadmium, zinc and copper from soil // Acta Biotechnologica. – 2002. – V. 22, No. 1-2. – P. 133–140.

Salt D. E., Smith R. D., Raskin I. Phytoremediation // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1998. – P. 643–668.

Sarma H. Metal hyperaccumulation in plants: a review focusing on phytoremediation technology // J. of Environmental Science and Technology. – 2011. – V. 4, No. 2. – P. 118–138.

PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF SOME ORNAMENTAL PLANTS IN RELATION TO URBAN SOILS POLLUTION WITH HEAVY METALS

N.G. Osmolovskaya, V.Yu. Samuta, M.V. Bogomazova, O.N. Kuzina, V.V. Kurilenko

Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia, natalia_osm@mail.ru

Abstract. Features of accumulation of Zn, Cu, Pb, Fe in roots and aboveground organs of annual ornamental plants - *Tagetes patula*, *Cineraria maritime* and *Calendula officinales* were studied to assess the prospects of their use for phytoremediation technologies. Based on model experiments and field studies, these plants can be considered as candidates for the phytoremediation of urban soils contaminated with heavy metals. The preference is shown for the use of plants in the phase of active vegetation.

Keywords: *phytoremediation, zinc, lead, copper, iron, Tagetes patula, Cineraria maritime, Calendula officinales*