

ЗАГРЯЗНЕНИЕ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ГОРОДА ОРЕНБУРГА: ОБЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЗАИМОСВЯЗИ С ФИТОАККУМУЛЯЦИЕЙ МЕТАЛЛОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ СИНАНТРОПНОЙ ФЛОРЫ

В работе представлены результаты исследования концентраций металлов (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) в образцах почв и надземных частей растений – представителей типичных синантропных видов города Оренбурга. Проведенный анализ взаимосвязи между этими параметрами выявил достоверную положительную корреляционную связь между ними и позволил сделать вывод о более выраженной биодоступности металлов–поллютантов из поверхностных слоев почвы по сравнению с глубокими, а также о большей эффективности аккумуляции кадмия, никеля и хрома по сравнению со свинцом и цинком.

Химический состав почв и грунтов в крупных городах продолжает оставаться функцией совокупного воздействия различных факторов, ключевым из которых является антропогенный. Проблема загрязнения почв в последние десятилетия приобрела статус одной из важнейших экологических проблем урбанизации и стимулировала развитие новых ремедиационных технологий [7]. Среди последних методы фиторемедиации признаются наиболее адекватными способами очистки почв от различных загрязнений как с точки зрения эффективности, так и с позиций экономических затрат. Фиторемедиационные технологии, бурно развивающиеся в последние полвека, основаны на применении растений-гипераккумуляторов и специальных агротехнических приемов, являются относительно недорогими способами очистки, реализуемыми *in situ* [1, 6, 7, 8].

Одной из главных задач при разработке фиторемедиационных технологий является поиск местных видов растений, способных произрастать на загрязненных почвах и аккумулировать значительные количества поллютантов [6, 7]. Как правило, при этом имеется ввиду загрязнение почв металлами, в основном тяжелыми металлами, загрязнение которыми в крупных городах обусловлено различными техногенными причинами и может иметь выраженную специфику.

Подобные исследования в Оренбургской области не проводились, что и определило интерес авторов к определению и сопоставлению концентраций металлов-поллютантов в почвах и надземных частях растений – представителей типичной синантропной флоры города Оренбурга. В настоящей работе представлены наиболее общие параметры взаимосвязи между уровнями накопления металлов в почвах и надземных частях ти-

пично произрастающих на территории города Оренбурга растений.

Материалы и методы исследования

В работе использованы результаты полевых исследований, проводившихся в течение 2003–2005 гг. и включавшие маршрутное обследование почв на реперных участках с отбором проб из горизонтов (слоев) в соответствии с ГОСТ 17.4.2.01-81; СТ СЭВ 1364-78 [9, 10, 11]. На пяти реперных участках в местах заложения основных почвенных разрезов параллельно произведен сбор надземных частей доминантных видов растений, в пробах которых также как и в образцах почв определяли концентрации восьми металлов–поллютантов: Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn. Сбор образцов почв и растений производили одновременно в конце вегетационного периода (сентябрь).

Реперные участки располагались по следующим адресам: 1) санитарно-защитная зона ОАО «Гидропресс» (ул. Братьев Коростелёвых, 54); 2) санитарно-защитная зона ОАО «Завод Спецэлеватормельмаш» (ул. Туркестанская, 142); 3) санитарно-защитная зона ОАО «Завод «Инвертор» (ул. Промышленная, 14); 4) санитарно-защитная зона бывшего ОПОГАТ-1 в районе оптового рынка «Форштадт» (ул. 60-летия Октября, 1); 5) санитарно-защитная зона ООО «Рембыттехника» (ул. Космическая, 7). Участки №1, 3, 4, 5 представляли собой квадратные площадки [10] площадью 5 м². На реперном участке №2 была разбита линейная площадка, протяженностью 15 метров в непосредственной близости от предприятия.

На реперных участках были отобраны в качестве доминирующих и исследованы следующие виды растений: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), лопух

Таблица 1. Средние концентрации (мг/кг) металлов в почвах и обобщенные параметры взаимосвязи содержания металлов в почве и в надземных частях растений

Металл	ПДК	На глубине 0–10 см			На глубине 30–40 см		
		M±m	R	k	M±m	R	k
Cd	0,390	0,110±0,037	0,590*	0,284	0,132±0,046	-0,002	-0,000
Co	5,000	0,418±0,115	-0,036	-0,324	0,800±0,313	-0,034	-0,808
Cr	6,000	0,920±0,170	0,174*	0,317	0,912±0,167	-0,084	-0,167
Cu	3,00	3,41±0,94	0,086	0,064	4,14±1,48	0,068	0,031
Mn	140,0	119,6±6,4	0,076	0,060	110,9±5,8	0,063	0,068
Ni	4,00	1,90±0,17	0,328*	0,314	1,69±0,14	0,081	0,105
Pb	6,00	8,38±1,66	0,527*	0,114	10,63±3,42	0,308*	0,035
Zn	23,0	42,5±9,3	0,401*	0,590	49,3±13,6	0,182*	0,040

Обозначения: R – коэффициент корреляции, k – коэффициент линейной регрессии. * – P<0,05.

большой (*Arium lappa*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), чистотел большой (*Chelidonium majus*), подорожник средний (*Plantago media*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*), птичий горец (*Polygonum aviculare*). Из отобранных видов шесть относились к семейству сложноцветных (*Asteraceae dumort*) и по одному виду – к семействам маковых (*Papaveraceae Juss*), подорожниковых (*Plantaginaceae Juss*), мятликовых (*Poaceae Barnhart*) и гречишных (*Polygonaceae Juss*).

Образцы почв и растений исследовали на содержание металлов по 8 параметрам (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) атомно-абсорбционным методом («Спектр» СП-115). Оценка результатов проводилась по «Перечню ПДК и ОДК химических веществ в почве», МУ №6229-91 от 19.11.91 г. с дополнениями [9, 10, 11, 12, 14]. Сбор и пробоподготовку растений осуществляли в соответствии с [12]. Результат выражали в мг/кг сухого вещества.

Всего было отобрано и исследовано по 25 проб почв с каждого реперного участка и 244 образца надземных частей растений (со всех участков).

Статистическая обработка проводилась с использованием общепринятых методов вариационной статистики [15].

Результаты исследования

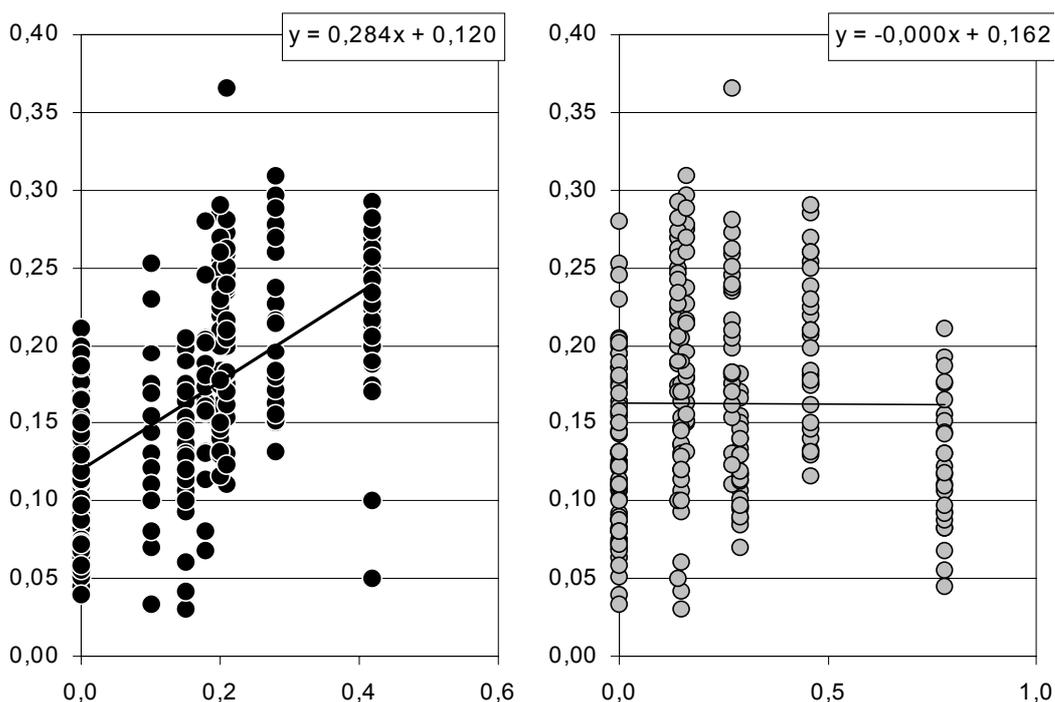
Концентрации изучаемых металлов в образцах почв и растений, собранных в 2003–2005 годах на реперных участках характеризовались выраженной вариабельностью и отсутствием четкой динамики по годам наблюдения и значимых различий по горизонтам отбора проб. Исключением явился свинец, определявшийся в больших концентрациях в глу-

боких слоях почвы, хотя средние уровни содержания на глубинах 0–10 см и 30–40 см по всем пробам почв достоверно не отличались.

Для наиболее опасных поллютантов – свинца и кадмия – общие параметры варьирования содержания в почвах и растениях были следующими. Концентрация свинца в поверхностных слоях почвы (0–10 см) варьировала от 0 до 0,58 мг/кг, в глубоком слое – от 0 до 43,52 мг/кг. При этом в 8 (11%) пробах из поверхностного слоя и в 3 пробах (4%) из глубокого слоя свинец не определялся. Концентрация кадмия в поверхностных слоях почвы изменялась от 0 до 0,42 мг/кг, в более глубоких слоях 30–40 см от 0 до 0,78 мг/кг. Кадмий не определялся в поверхностном слое – 25 проб (36%) и в глубоких слоях 17 проб (25%). Содержание свинца в растениях составила от 0,4 мг/кг в надземных вегетативных частях пижмы семейства астровых до максимальных значений 12,5 мг/кг у лопуха. Предельная концентрация кадмия в растениях была 0,4 мг/кг семейство астровые лопух, 0,4 мг/кг семейство астровые цикорий, минимальные значения встречались у чистотела семейство маковые 0,003 мг/кг.

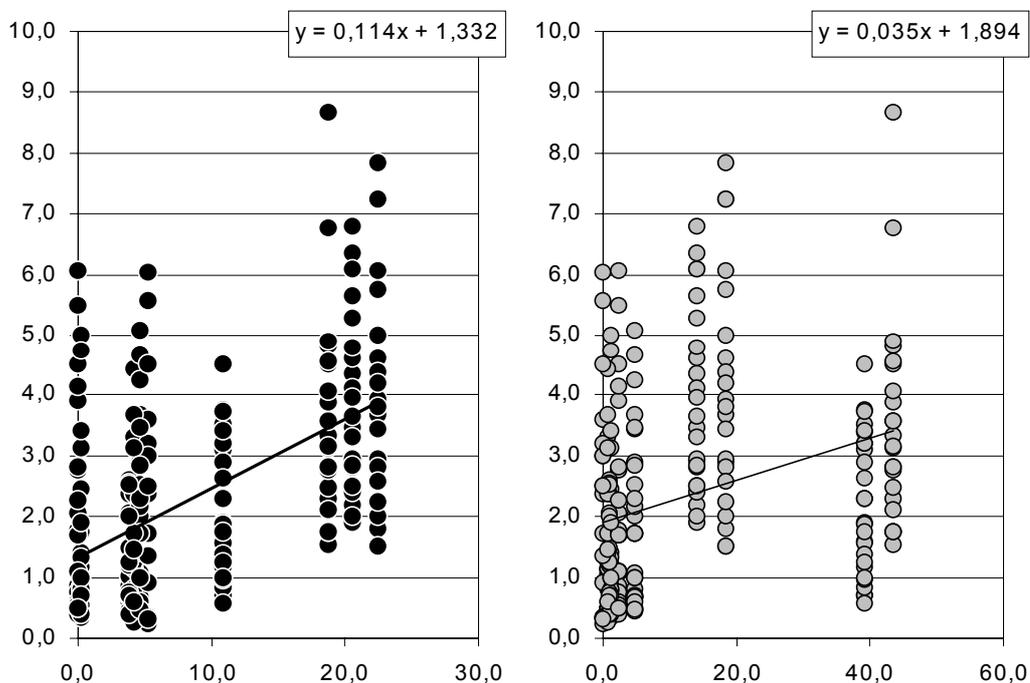
Средние уровни содержания металлов в почвах превышали предельно допустимые концентрации лишь в случае со свинцом, медью и цинком, что сопровождалось и относительно частым превышением ПДК в отдельных пробах.

Анализ суммарных корреляций между концентрациями металлов в почве и растениях (таблица 1) указывает на ряд общих закономерностей. Во-первых, для пяти из восьми изучаемых металлов–поллютантов отмечены достоверные положительные корреляционные связи между уровнями накопления в почве и надземных частях растений (кадмий, хром, никель, свинец и цинк). Для



Обозначения: Слева – для поверхностного слоя почвы (0–10 см), справа – для глубокого (30–40 см). По оси абсцисс – концентрация в почве, мг/кг. По оси ординат – концентрация в надземной части растений, мг/кг сухой массы.

Рисунок 1. Связь концентрации кадмия в почве и растениях.



Обозначения: Слева – для поверхностного слоя почвы (0–10 см), справа – для глубокого (30–40 см). По оси абсцисс – концентрация в почве, мг/кг. По оси ординат – концентрация в надземной части растений, мг/кг сухой массы.

Рисунок 2. Связь концентрации свинца в почве и растениях.

свинца и цинка эти связи были достоверны для обоих почвенных горизонтов, в то время как для кадмия, хрома и никеля – только для поверхностного слоя почвы. В целом для поверхностных (0–10 см) слоев почвы по сравнению с глубокими (10–30 см) были показаны более высокие показатели связи.

Вычисленные методом наименьших квадратов соответствующие коэффициенты линейной регрессии (таблица 1) указывают на усредненное увеличение содержания того или иного металла в растениях (в мг/кг) при увеличении его концентрации в почве на 1 мг/кг. Соотнесение коэффициентов регрессии с ПДК металлов позволило оценить усредненную эффективность биоадсорбции поллютантов. Так соответствующий коэффициент регрессии для кадмия указывает на высокую эффективность утилизации из поверхностных слоев почв ($k=0,284$, что составляет около 70% от ПДК кадмия в почвах; рисунок 1) и неэффективную биоаккумуляцию из глубоких (30–40 см) слоев. В отношении свинца аналогичные параметры указывают на сравнительно невысокие темпы всасывания растениями этого металла ($k=0,114$ для поверхностного слоя, что составило 1,9% от ПДК; рисунок 2).

Таким образом, анализ взаимосвязи концентраций элементов в почве и наземной части растений выявил достоверную положительную корреляционную связь между

этим параметрами. Проведенное сопоставление без учета таксономической принадлежности изученных растений позволяет сделать наиболее общие выводы, во-первых, о более выраженной биодоступности металлов-поллютантов из поверхностных слоев почвы по сравнению с глубокими, во-вторых, о наибольшей эффективности аккумуляции кадмия, никеля и хрома и относительно невысокой эффективности утилизации свинца и цинка.

Кроме того, соотнесение коэффициентов линейной регрессии при таком анализе с ПДК соответствующего металла может быть полезным при предварительной оценке эффективности фиторемедиации почв, поскольку указывает на долю ПДК поллютанта, утилизируемую растениями за один вегетационный период. Это обстоятельство авторы предполагают использовать при анализе межвидовых различий эффективности биоаккумуляции металлов растениями – типичными представителями синантропной флоры региона. Такой анализ позволит реализовать начальный этап разработки адаптированных к Оренбургской области фиторемедиационных технологий – выбор растений-ремедиаторов из числа представителей местной фитофлоры, что в свою очередь откроет перспективу экспериментальной разработки фиторемедиационных технологий в регионе.

Список использованной литературы:

1. Audet P., Charest C. Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective//Environmental Pollution. – 2007. – V. 147. – P.231-237.
2. Gerard, E., G. Echevarria, T. Sterckeman, and J.L. Morel. 2000. Cadmium availability to three plant species varying in cadmium accumulation pattern. J. Environ. Qual. 29:1117-1123.
3. Guerinot, M.L. 2000. The ZIP family of metal transporters. BBA 1465:190-198.
4. Heaton, A.C.P., C.L. Rugh, N.J. Wang, and R.B. Meagher. 1998. Phytoremediation of mercury and methylmercury-polluted soils using genetically engineered plants. J. Soil Contain. 7:497-509.
5. Hong, A., T.C. Chen, R.W. Okey. 1995. Chelating extraction of copper from soil using s-carboxymethylcysteine. Water Environ. Res. 67: 971-978.
6. Kirkham M.B. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments//Geoderma. – 2006. – V.137. – P.19-32.
7. Lebeau T., Braud A., Jezequel K. Performance of bioaugmentation-assisted phytoextraction applied to metal contaminated soils: A review//Environmental Pollution. – 2007. – V.20. – P.1-26.
8. Niu Zhi-xin, Sun Li-na, Sun Tie-heng, Li Yu-shuang, Wang Hong Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture//Journal of Environmental Sciences. – 2007. – V.19. – P.961–967.
9. ГОСТ 17.4.2.01-81. Охрана природы. Почвы, номенклатура показателей санитарного состояния/М.: Изд-во стандартов, 1980. – 3 с.
10. ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охрана от загрязнения/М.: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
11. ГОСТ 17.4.3.05-8С (СТ СЭВ 5297-85). Охрана природы. Почвы. Требования к сточным водам и их осадкам для орошения/М.: Изд-во стандартов, 1985. – 3 с.
12. Государственная фармакопея Союза Советских Социалистических Республик. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырьё. М.: Медицина, 1989.- 400 с.
13. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Оренбургской области в 2001 году. - Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ», 2002.–180 с.
14. Зырин Н.Г и др. Физико-химические (инструментальные) методы анализа содержания микроэлементов./ В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине.//Т. 1.: Улан-Удэ. – 1966. – №9. – С.1132-1139.
15. Лакин Г.Ф. Биометрия/М.: Высшая школа. – 1990. – 352 с.