

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ФИТОАККУМУЛЯТОРЫ МЕТАЛЛОВ-ПОЛЮТАНТОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ПОЧВ ГОРОДА ОРЕНБУРГА

На основе сопоставления концентраций металлов-поллютантов в образцах урбанизированных почв и надземных частей растений, собранных на реперных точках города Оренбурга, получены данные, указывающие на растения – потенциальные фиторемедиаторы. В отношении Pb и Cd потенциальными фитоаккумуляторами являются следующие виды: лопух большой (*Arctium lappa*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), птичий горец (*Polygonum aviculare*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*). В отношении других металлов (Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn), поллютантов почв, потенциально эффективными фиторемедиаторами могут стать: цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), подорожник средний (*Plantago media*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*).

Ключевые слова: почвы, растения, загрязнение металлами.

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. Среди последних методы фиторемедиации признаются наиболее адекватными способами очистки почв от различных загрязнений, как с точки зрения эффективности, так и с позиций экономических затрат [9, 13, 16, 17]. Фиторемедиационные технологии основаны на применении растений – гипераккумуляторов и специальных агротехнических приемов, являются относительно недорогими способами очистки, реализуемыми *in situ*. Одной из главных задач при разработке фиторемедиационных технологий является поиск местных видов растений, способных произрастать на загрязненных почвах и аккумулировать значительные количества поллютантов [16, 17, 18, 19].

Применительно к Южно-уральскому региону следует отметить, что выполнен ряд исследований посвященных изучению особенностей загрязнения урбанизированных и неурбанизированных почв в Оренбургской области [6, 9, 13], так и взаимосвязи загрязнений почв и некоторых видов растений [14, 15]. При этом системного анализа взаимосвязей концентраций металлов-поллютантов в почве и, как следствие, их накопления в надземных частях растений до сих пор проведено не было.

В этой связи актуальным представляется изучение типичных для региона представителей травянистой фитофлоры с точки зрения накопления металлов-поллютантов в связи с загрязнением урбанизированных почв, на которых эти растения произрастают.

Материалы и методы исследования

Реперные участки для исследования в основном были заложены на территориях санитарно-защитных зон предприятий г. Оренбурга (табл. 1). Реперные участки для анализа загрязнения растений соответствовали участкам №№4, 8, 9, 10, 12 (табл. 1).

Пробы отбирали с учетом требований [4], каждая проба представляла собой часть почвы, типичной для исследуемых почвенных горизонтов. Пробы собирались с глубины 0-10 см и 30-40 см. С каждого контролируемого участка брали по 5 проб почв из 5 точек для каждой из глубин залегания [2, 3, 4, 5]. Пробы с каждой глубины объединяли. Таким образом, с каждого реперного участка получали 2 образца почв. Всего (с учетом всех периодов наблюдения) было отобрано 150 образцов почв. В данных образцах определяли содержание подвижных форм металлов-поллютантов атомно-абсорбционным методом.

Для изучения загрязнения растений собирали образцы травянистых видов, являющихся типичными представителями региональной фитофлоры. Учету и анализу подвергались представители 40 видов растений, относящихся к следующим семействам: Asteraceae dumort

(сложноцветные) – 18 видов, Poaceae Barnhart (мятликовые) – 6 видов, Chenopodiaceae vent. (маревые) – 5 видов, Fabaceae Lindl. (бобовые) – 3, Plantaginaceae Juss (подорожниковые) – 2, Papaveraceae Juss (маковые) – 1, Polygonaceae Juss (гречишные) – 1, Brassicaceae Burnett (капустные) – 1, Convolvulaceae Juss. (вьюнковые) – 1, Boraginaceae Juss. (бурачниковые) – 1, Urticaceae Juss (крапивные) – 1 вид.

По результатам оценки частоты встречаемости были отобраны виды, распространенные повсеместно (на всех реперных участках г. Оренбурга) и относящиеся к типичным представителям региональной фитофлоры:

1. Лопух большой (*Arctium lappa* L.).
2. Одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* wigg).
3. Подорожник средний (*Plantago media* L.).
4. Полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.).
5. Полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.).
6. Птичий горец (*Polygonum aviculare* L.).
7. Пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski).
8. Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.).

Таблица 1. Реперные участки для изучения загрязнения почв

№	Расположение
1	ранее – АО «Оренбургское сверло», в настоящее время – рынок «Мир» (ул. Орская, 47)
2	ЗАО «Стрела» (ул. Шевченко, 22)
3	ОАО «Радиатор» (ул. Невельская, 11)
4	ОАО «Гидропресс» (ул. Бр. Коростелёвых, 54)*
5	ОАО «Завод РТИ», ОАО «Силикатный завод» (ул. Столянского, 63)
6	ОАО «Завод холодильного оборудования» (ул. Новая, 1)
7	ОАО «Нефтемаслозавод» (ул. Заводская, 22)
8	ОАО «Завод Спецэлеватормельмаш» * (ул. Туркестанская, 14,)
9	ОАО «Завод «Инвертор» (ул. Промышленная, 14)*
10	Транспортное предприятие «ОПОГАТ-1», в настоящее время – рынок «Форштадт» * (ул. 60 лет Октября, 1)
11	ОАО «Оренбургсельхозремонт» (ул. Шоссейная, 24а)
12	«Рембыттехника» (ул. Космическая, 7) *
13	ОАО «Тепловозремонтный завод» (ул. Ткачёва, 6)
14	ОАО «Завод сантехзаготовок» (пр-д Автоматики, 12а)
15	ОАО «Станкозавод» (ул. Ногина, 8)

Обозначения: * – реперные участки, на которых параллельно изучали загрязнение металлами надземных частей травянистых растений.

9. Цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.).

Определение концентраций металлов в надземных частях растений проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Спектр» СП-115 в соответствии с методикой [10]. Оценка результатов проводилась по [12] с дополнениями, изложенными в [11], и в соответствии [1].

Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке с использованием стандартных методов вариационной статистики [7, 8].

Результаты и их обсуждение

Почвенный покров коренных ландшафтов города Оренбурга представлен закономерным сочетанием почв, характерных для степной зоны Южного Предуралья – подзоны южных черноземов (Русанов, 2006). По результатам исследования всех почвенных образцов на установленных реперных участках аномалий с доминированием отдельных металлов-поллютантов в г. Оренбурге не обнаружено. Наиболее существенными загрязнителями явились медь, свинец и цинк, при этом положительная динамика по годам отмечена помимо этих трех металлов еще и для кадмия. Таким образом, в пределах г. Оренбурга показаны разнонаправленные, мозаичные процессы, происходящие в почвах, что

Таблица 2. Достоверные корреляционные связи концентраций металлов в почве и растениях (поверхностные слои почв)

Наименование растений	Pb	Cd	Zn	Ni	Cr	Co	Cu
Лопух большой (<i>Arctium lappa</i>)	+	+	+	+	+	-	+
Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i>)	+	-	-	+	+	+	+
Пырей ползучий (<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski)	+	+	+	-	-	-	+
Подорожник средний (<i>Plantago media</i>)	+	+	-	-	+	+	-
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i>)	+	-	+	+	-	+	-
Полынь горькая (<i>Artemisia absinthium</i>)	+	+	+	+	-	+	-
Птичий горец, спорыш (<i>Polygonum aviculare</i>)	-	+	+	-	+	-	+
Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i>)	+	+	-	-	-	-	+
Цикорий обыкновенный (<i>Cichorium intybus</i>)	-	+	+	-	-	+	-

подтверждает необходимость непрерывного мониторинга загрязнения почв.

Изучение закономерностей накопления металлов-поллютантов в надземных частях высших травянистых растений, доминирующих на исследуемых реперных участках показало, что для отобранных девяти видов растений, относящихся к 4 семействам, наиболее частые пре-

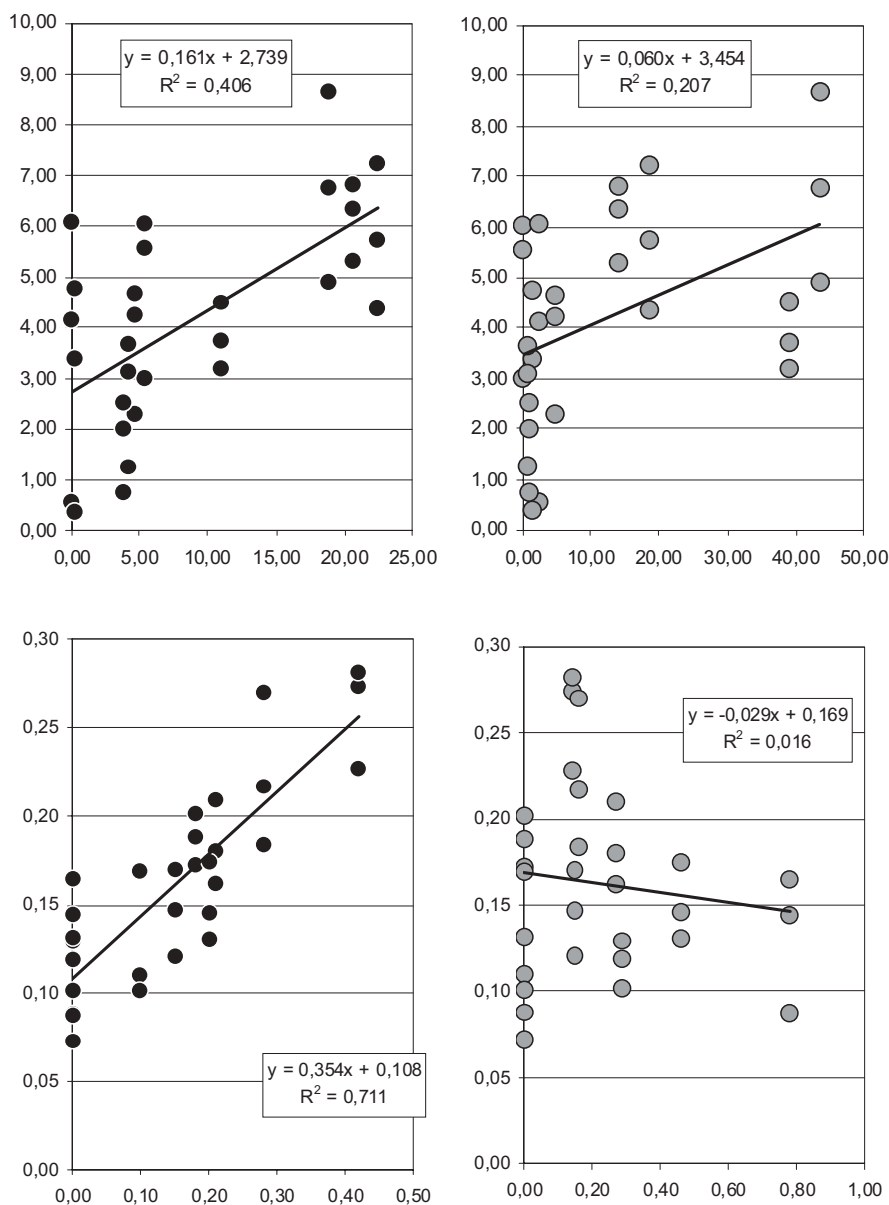
вышения ПДК отмечены для Cr и Zn, уровни которых постоянно, либо в большинстве случаев превышали допустимые на протяжении всего периода наблюдения.

Анализ частоты и величины превышений ПДК металлов-поллютантов в почвах и растениях указывает на наличие частых совпадений относительных сдвигов концентраций доминирующих поллютантов,

причем как для реперных участков, так и для изученных видов растений. Данный факт является косвенным доказательством взаимосвязи накопления металлов-поллютантов в почвах и растениях.

На следующем этапе работы проведен анализ взаимосвязи концентраций изученных металлов в почвах и надземных частях растений. Оценены параметры соответствующих корреляций и регрессий, на основе которых проведен сравнительный анализ как самих поллютантов, так и изученных растений как потенциальных фитоаккумуляторов металлов. Кроме того, показаны различия между самими металлами-поллютантами в их подверженности фитоаккумуляции (убывающий ряд для поверхностных слоев – Cd, Co, Pb, Cr, Zn, Ni, Cu), а также между поверхностными и глубокими слоями почв.

Корреляционные связи уровней накопления различных металлов в этих растениях представлены в табли-



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

Рисунок 1. Связь концентрации свинца (вверху) кадмия (внизу) в почве и наземных частях лопуха большого (*Arctium lappa*)

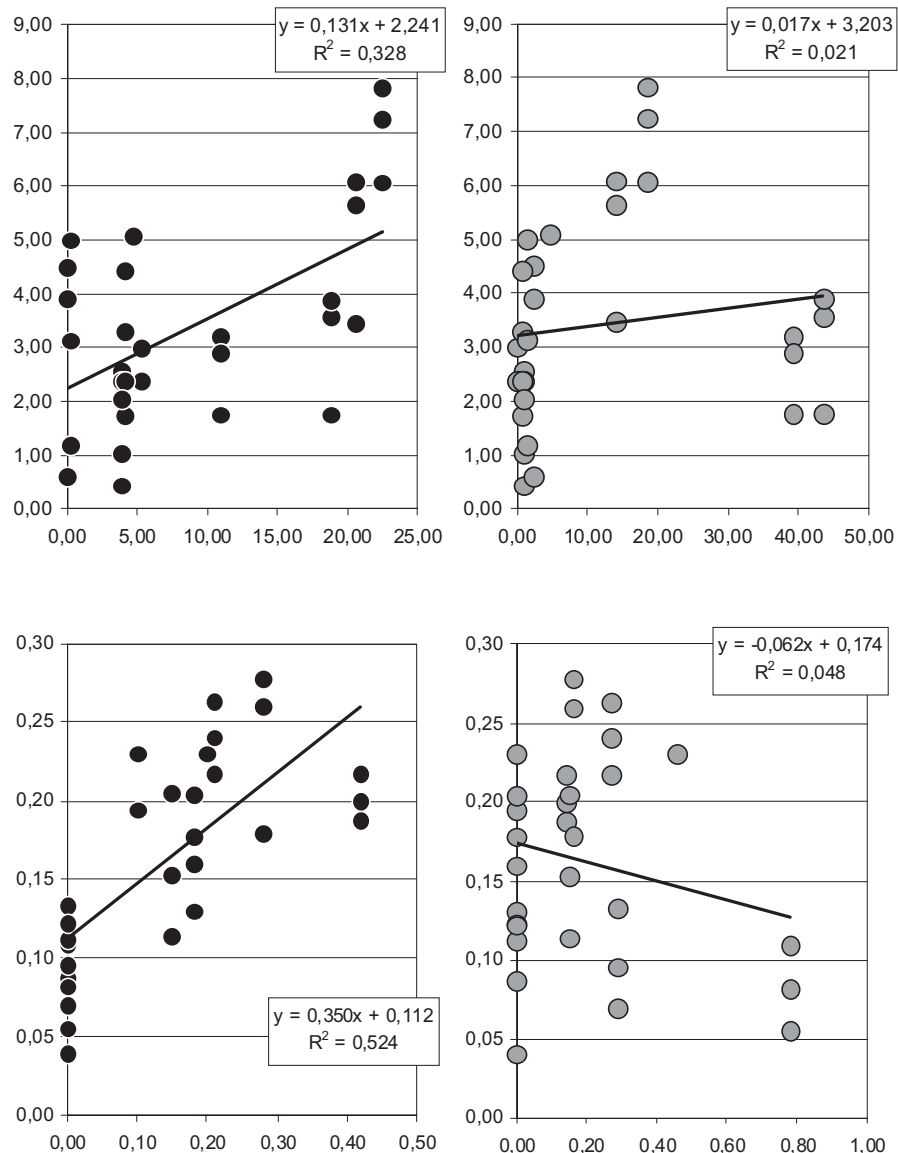
це 2. Регрессионные зависимости на примере лопуха большого (*Arctium lappa*) и подорожника среднего (*Plantago media*) – на рисунках 1 и 2 соответственно.

Таким образом, на фоне мозаичности загрязнения почв и травянистых растений города Оренбурга металлами–поллютантами при анализе корреляционных связей выявляются достоверные связи между накоплением этих металлов в поверхностных слоях почв и надземных частях некоторых представителей типичной фитофлоры региона.

Определены растения, имеющие наибольший из изученных видов потенциал к фиторемедиации: одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), лопух большой (*Arctium lappa*), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), птичий горец, спорыш (*Polygonum aviculare*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea mille folium*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*) и подорожник средний (*Plantago media*).

Максимальные значения коэффициента аккумуляции (Кс) в надземных частях растений показаны для цикория обыкновенного и кадмия, кобальта, хрома, свинца, а также для лопуха большого и кобальта, хрома, никеля. Выявлены поллютанты, которые более

всего подвержены аккумуляции. Фитоаккумуляция микроэлементов лучше всего происходит из верхних горизонтов по следующим параметрам: Cd, Co, Pb, Cr, Zn, Ni, Cu. Из глубоких слоев почв депонируются растениями следующие элементы: Co, Pb, Cu, Zn, Cr, Ni. Для наиболее опасных металлов-поллютантов Pb и Cd наилучшими ремедиаторами из изученных травянистых растений явились (в порядке убывания)



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

Рисунок 2. Связь концентрации свинца (вверху) кадмия (внизу) в почве и наземных частях подорожника среднего (*Plantago media*)

лопух большой (*Arctium lappa*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), полынь горь-

кая (*Artemisia absinthium*), птичий горец, спорыш (*Polygonum aviculare*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*).

10.02.2011

Список литературы:

1. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест: Методические указания//М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. – 1999. – 38 с.
2. ГОСТ 17.0.0.01-76 (СТ СЭВ 1364-78). Охрана природы. Почвы. Государственные стандарты./ Редактор Р.С.Федосеева- М.:Изд-во Стандартов. – 1994. – 75 с.
3. ГОСТ 17.4.2.01-81. Охрана природы. Почвы, номенклатура показателей санитарного состояния. М.: Изд-во стандартов, 1980. – 3 с.
4. ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охрана от загрязнения/ Под редакцией Т.Н. Василенко. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
5. ГОСТ 17.4.3.05-86 (СТ СЭВ 5297-85). Охрана природы. Почвы. Требования к сточным водам и их осадкам для орошения. М.: Изд-во стандартов, 1985. – 3 с.
6. Грошев И.В. Оценка эколого-геохимического состояния почвенного покрова степной зоны Южного Урала (на примере Оренбургской области): Автореф. дисс. ...канд. биол. наук. – Оренбург. –2004. – 22 с.
7. Иберла К. Факторный анализ – М.: Статистика. – 1980.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа. – 1990. – С. 352.
9. Ложкин И. В. Геоэкологическая оценка трансформации почв в природно-технических системах под влиянием урбанизации (На примере г. Оренбурга) : Дис. ... канд. геогр. наук: Оренбург, 2005. – 193 с.
10. Методические указания по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеоиздат, 1981. – С. 45–73
11. ОДК тяжёлых металлов и мышьяка в почвах. Дополнение к перечню ПДК и ОДК №6229-91//Гигиенические нормативы/М.: Информационно-издательский центр Госсанэпиднадзора России, 1991. – 8 с.
12. Перечень ПДК и ОДК химических веществ в почве №6229-91// Гигиенические нормативы/М.: Информационно-издательский центр Госсанэпиднадзора России, 1991. – 12 с.
13. Русанов А. М. Экологический мониторинг почв, как составная часть мониторинга земель Оренбургской области / Русанов А. М., Новоженкин И. А., Юров С. А. // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – N12. – С. 78-81.
14. Рябинина З.Н. Флора и растительность степей Южного Урала и проблемы ботанического мониторинга// Дисс. докт. биол. наук. – Оренбург. – 1996. – 376 с.
15. Янчук Е.Л. Комплексная оценка элементарного статуса биогеоценозов в геотехнических системах Южного Урала. Автореф. дис. канд. тех. наук. – Оренбург. – 2004. – 17 с.
16. Audet P., C.Charest Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective// Environmental Pollution. – V.147 (2007). – P. 231–237.
17. Baker, A.J.M., S.P. McGrath, R.D. Reeves, and J.A.C. Sniith. 2000. Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. p. 85–107. In N. Terry and G. Bafuelos (ed.) Phytoremediation of contaminated soil and water. Lewis Publishers. Boca Raton, FL.
18. Kuperberg, M., G. Banuelos, R.L., R.L.Chaney, M. Coia, S. Dushenkov, G. Hulet, M. Kucharski, M.Lasat, S. Lee, Y.M. Li, K.Rose, and N. Terry, 1999. Removal from soil report. Proceedings from the Workshop on Phytoremediation of Inorganik Contaminants. 30 nov.- 2 dec., Argonne Natl. Lab, Chicago, IL.
19. 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

Сведения об авторах:

Васильева Т.Н., преподаватель Центра повышения квалификации среднего медицинского персонала, соискатель кафедры профилактической медицины Оренбургского государственного университета
Брудастов Ю.А., профессор кафедры профилактической медицины Оренбургского государственного университета, главный врач МСЧ Оренбургского государственного университета,
доктор медицинских наук

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 316866, brudastov@mail.ru

UDC 631.416.8

Vasil'eva T.N., Brudastov Y.A.

Orenburg State University, e-mail: brudastov@mail.ru

POTENTIAL FITOACCUMULATION METAL-POLYUTANTOV URBAN SOILS OF ORENBURG

On the basis of comparison of concentrations of metals in urban soils and vegetative parts of herbaceous plants, received on fixed points of Orenburg city, findings about plants as potential phytoremediators of soil had been collected. For about Pb and Cd the potential remediators were followed species: *Arctium lappa*, *Taraxacum officinale*, *Artemisia vulgaris*, *Artemisia absinthium*, *Polygonum aviculare*, *Achillea millefolium*. Regarding to another metals (Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn) the potential remediators were: *Cichorium intybus*, *Plantago media*, *Achillea millefolium*.

Keywords: soil, herbaceous plant, metal pollution.