

ISSN 2304-9081

Учредители:  
Уральское отделение РАН  
Оренбургский научный центр УрО РАН

**Бюллетень**  
**Оренбургского научного центра**  
**УрО РАН**  
(электронный журнал)



**2014 \* № 2**

On-line версия журнала на сайте  
<http://www.elmag.uran.ru>

© Т.Н. Васильева, 2014

УДК 504.5:631.4:502.52 (470.56)

*Т.Н. Васильева*

## **ФИТОРЕМЕДИАТОРЫ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

Оренбургский научный центр УрО РАН, Отдел геоэкологии, Оренбург, Россия

*Цель.* Оценка способности растений к утилизации тяжелых металлов из почвы для разработки способа ее очистки от поллютантов.

*Материалы и методы.* Почва и вегетативные части растений исследованы атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре для определения тяжелых металлов по ряду параметров.

*Результаты.* Выявленные коэффициенты регрессии содержания подвижных форм тяжелых металлов в растениях и почве указывают на экологическую значимость процесса фиторемедиации.

*Заключение.* В качестве ремедиатора для цинка и кадмия предложен цикорий обыкновенный, а для свинца – пырей ползучий.

*Ключевые слова:* фиторемедиация, поллютанты, растения, почва, аккумуляция.

---

---

*T.N. Vasilyeva*

## **FITOREMEDIATORY TERRITORY CONURBATIONS**

Orenburg Scientific Centre UrB RAS, Department of Geoecology, Orenburg, Russia

*Aim.* Assessment of the ability of plants to utilize heavy metals from the soil to develop a method to clean it from pollutants.

*Materials and methods.* Soil and vegetative parts of plants investigated by atomic absorption method on the spectrophotometer for the determination of heavy metals in a range of settings.

*Results.* Identified regression coefficients mobile forms of heavy metals in plants and soils indicate the ecological importance of the process of phytoremediation.

*Conclusions.* As remediator for zinc and cadmium proposed chicory ordinary, and for lead – *Elytrigia repens*.

*Key words:* phytoremediation, pollutants, plants, soil, accumulation.

### **Введение**

Увеличение потребления человеком ресурсов биосферы и преобразование естественных ландшафтов стали одними из первых шагов в сторону антропогенной трансформации экосферы. Загрязнение почв является одной из важнейших экологических проблем урбанизации. Выходом в создавшейся ситуации может стать фиторемедиация – очистка почвы с помощью растений [2]. Методы фиторемедиации, основанные на применении растений, – отно-

сительно недорогие. Для очистки почвы необходимо засеять её нужным видом растений, а в конце сезона собрать «урожай» поллютантов и утилизировать [3, 4]. Поиск местных видов растений-ремедиаторов является актуальным для Оренбургской области.

В этой связи целью исследования является оценка способности растений к утилизации тяжелых металлов из почвы для разработки способа ее очистки от поллютантов.

### **Материалы и методы исследования**

Исследование почв и растений проводили в 2008-2011 гг., включавшее маршрутное обследование почв на участках с отбором проб по выделенным горизонтам (ГОСТ 17.4.3.04-85). Почвы и наземные части растений исследованы на соли тяжелых металлов. Растения были собраны в период вегетации. Пять реперных участков, заложенные в виде квадратов по 5 м<sup>2</sup>, расположены в различных микрорайонах города на территории санитарно-защитных зон предприятий:

реперный участок №1 - ОАО «Гидропресс»;

реперный участок №2 - ОАО «Завод Спецэлеватормельмаш» (бывший);

реперный участок №3 - ОАО «Завод «Инвертор»;

реперный участок №4 - ОПОГАТ-1 (бывший);

реперный участок №5 - ОАО «Рембыттехника».

Определение концентрации металлов в почвах и растениях. Почва и наземные части растений исследованы на подвижные формы тяжелых металлов по основным параметрам атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Спектр СП-115 (Россия). Оценка результатов проведена по перечню ПДК химических веществ в почве, а так же в соответствии с ГОСТ 17.4.3.04-85 и рекомендациями Государственной фармакопеи РФ. Концентрация выражается в мг/кг сухого вещества.

Виды растений, отобранные на всех реперных участках, относятся к типичным представителям региональной флоры: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), лопух 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) (табл. 1).

Таблица 1. Градация растений по семействам и видам на реперных участках

Семейство	Количество видов
Asteraceae dumort (сложноцветные)	7
Papaveraceae Juss (маковые)	1
PlantaginaceaeJuss (подорожниковые)	1
Poaceae Varnhart (мятликовые)	1
Polygonaceae Juss (гречишные)	1

### Результаты и обсуждение

Все реперные участки поделены на 2 категории:

1) предприятия, производство которых связано со значительными выделениями поллютантов, расположенные на пересечении крупных автомагистралей (ОАО «Гидропресс», ОАО «Завод «Инвертор»).

2) предприятия, производство которых не связано со значительными выделениями или производство приостановлено (ОАО «Завод Спецэлеватормельмаш» (бывший), ОПОГАТ-1 (бывший), ОАО «Рембыттехника»).

Для всех 5 реперных участков, расположенных на территориях санитарно-защитных зон промышленных предприятий, общей закономерностью явилось загрязнение Zn, Pb и Cu, уровни которых либо постоянно, либо на протяжении всего периода наблюдения превышают ПДК. Повышенное содержание тяжелых металлов зарегистрировано на отдельных участках с конкретным производством. Наиболее существенные превышения отмечены на участках, прилегающих к ОАО «Гидропресс» (№1), ОАО «Завод «Инвертор» (№3). В целом по частоте встречаемости отклонений от ПДК (превышений) эти три металла располагались в ряду (по убыванию) Zn>Pb>Cu. Существенными загрязнителями явились Cu, Pb и Zn, при этом положительная динамика отмечалась у Cd, Cu, Pb и Zn, хотя в целом отмечается отрицательная динамика накопления металлов-поллютантов в почвах г. Оренбурга. На территории санитарно-защитных зон аномалий с доминированием отдельных поллютантов не обнаружено.

Растительный покров реперных участков соответствует по составу типичным степным фитоценозам, включающим искусственные древесные насаждения. При анализе растений в целом выяснено, что для большинства

поллютантов была характерна отрицательная динамика накопления в растениях. Среди элементов доминирующих у растений отмечены Cr и Zn, уровни которых постоянно, либо в большинстве случаев превышали ПДК на протяжении всего периода наблюдения. Положительная динамика концентрации металлов-поллютантов на всех участках наблюдалась в течение 3 лет у *Cichorium intybus* L., *Plantago media* L. и *Achillea millefolium* L.

В зависимости от степени накопления металлов в растениях, все изученные виды классифицированы:

1) растения с постоянными (и почти постоянными) превышениями ПДК по Zn, Cr, Cd: *Polygonum aviculare* L.;

2) растения с частыми превышениями ПДК по Zn, Cr, Cd, Pb, Ni: *Cichorium intybus* L., *Plantago media* L., *Taraxacum officinale* Wigg;

3) растения с иными значимыми концентрациями металлов-поллютантов: для *Elytrigia repens* (L.) Nevski показаны превышения ПДК по Co, Cr, Ni, Zn и Pb; для *Arctium lappa* L. – по Co, Cr, Pb и Cd; для *Artemisia absinthium* L. и *Artemisia vulgaris* L. – по Cr, Ni, Zn, Pb и Cd; для *Achillea millefolium* L. – по Co, Cr, Zn и Pb.

Таблица 2. Сопоставление рядов доминирующих металлов-поллютантов на изученных реперных участках г. Оренбурга

№ участка	Ряд металлов-поллютантов убывающих по частоте встречаемости и величине превышений ПДК	
	в почвах	в растениях
1	Zn>Cu>Pb>Mn>Co	Cr>Zn>Pb
2	Zn>Pb>Cu>Mn>Cd	Cr>Ni>Cd
3	Zn>Mn>Pb>Cd	Cr>Zn>Pb>Co
4	Cd>Zn	Cr>Zn>Cd>Co
5	Zn>Pb>Cu>Cd	Cr>Co>Zn

Анализ статистических данных показан на примере участка №1, как предприятия относящегося к 1 категории. Аналогичные результаты получены для всех реперных участков.

Участок №1 является одним из неблагополучных с точки зрения накопления токсичных металлов почвами и растениями. Рассмотрим концентрацию в почве подвижных форм поллютантов, относящихся ко 2 классу (высокоопасные вещества), – Pb, Cd и Zn.

Из таблицы 3 видно, что минимальные значения  $Pb^{2+}$  в почве на глубине 0-10см составили 0,03 мг/кг, а максимальные – 26,84 мг/кг. Среднее значение  $Pb^{2+}$  равнялось 9,028 мг/кг, что выше ПДК (предельные концентрации Pb – 6,0 мг/кг).

Минимальные концентрации  $Cd^{2+}$  в почве отмечены на уровне 0,05 мг/кг, а максимальные значения  $Cd^{2+}$  достигали 0,81 мг/кг. Среднее значение  $Cd^{2+}$  составило 0,128 мг/кг, что ниже ПДК в 3 раза (предельные концентрации Cd – 0,39 мг/кг).

Минимальные концентрации  $Zn^{2+}$  в почве не опускались ниже 2,01 мг/кг, а максимальные значения  $Zn^{2+}$  равнялись 139,36 мг/кг. Среднее значение  $Zn^{2+}$  составило 39,00 мг/кг, что оказалось выше ПДК в 1,8 раз (для  $Zn^{2+}$  – 23,00 мг/кг).

Таблица 3. Вариабельность концентраций кадмия, свинца и цинка в почве (минимальные/максимальные, средние и ошибка среднего за все годы наблюдения) на реперном участке №1

Металлы	Концентрация металлов (мг/кг) в почве на глубине 0-10 см		
	min	max	M±m
Pb	0,03	26,84	9,69±0,39
Cd	0,05	0,81	0,13±0,01
Zn	2,01	139,22	39,36±0,01

Травянистый ярус реперного участка №1 был представлен разнотравно-злаковыми ассоциациями (*Festuca valesiaca* Gaudin). Общее проективное покрытие составило 35%. Зарегистрировано 30 видов растений, из них синантропных 14 видов.

В результате исследований установлено, что в растениях обнаруживаются средние концентрации  $Pb^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$  и  $Zn^{+2}$ , причем большинство видов относилось к семействам астровые, злаковые и гречишные.

На реперном участке №1 по всем годам наблюдения превышения  $Pb^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$  и  $Zn^{+2}$  отмечены в одуванчике лекарственном (*Taraxacum officinale*), пырее ползучем (*Elytrigia repens*), цикории обыкновенном (*Cichorium intybus* L) и птичьим горцем (*Polygonum aviculare*) (табл. 4).

Таблица 4. Изменение концентрации тяжелых металлов в почвах и растениях

Фиторемедиаторы	Металлы	Диапазон концентраций тяжелых металлов в почвах, мг/кг	Диапазон концентраций тяжелых металлов в растениях, мг/кг
Одуванчик лекарственный	Pb	0-24,00	0,11-1,40
	Cd	0-0,48	0,06-0,34
	Zn	31,30-35,00	40,30-42,7
Цикорий обыкновенный	Pb	0-24,00	1,13-2,60
	Cd	0-0,48	0,20-0,25
	Zn	31,30-35,00	40,20-70,00
Пырей ползучий	Pb	0-24,00	0,90-1,67
	Cd	0-0,48	0,15-0,35
	Zn	31,30-35,00	41,75-44,55
Птичий горец	Pb	0-24,00	0,24-0,49
	Cd	0-0,48	0,07-0,15
	Zn	31,30-35	60,59-63,22

При анализе данных, полученных на реперном участке №1, нами выявлены взаимосвязи и рассчитаны регрессионные модели утилизации выше указанными растениями тяжелых металлов в зависимости от их содержания в почве (табл. 5).

Таблица 5. Характеристика взаимосвязей между концентрациями свинца, кадмия, цинка в почве и растениях на реперном участке №1

Растения	Эффективность утилизации тяжелых металлов					
	Pb		Cd		Zn	
	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>
Одуванчик лекарственный	1,31	0,74 <sup>4</sup>	0,01	0,078	1,20	0,84 <sup>4</sup>
Птичий горец	0,61	0,68 <sup>4</sup>	0,007	0,42 <sup>4</sup>	1,05	0,02
Цикорий обыкновенный	0,58	0,75 <sup>4</sup>	0,08	0,88 <sup>4</sup>	14,9	0,94 <sup>4</sup>
Пырей ползучий	1,70	0,58 <sup>4</sup>	0,04	0,75 <sup>4</sup>	1,40	0,23 <sup>3</sup>

Обозначения: K - коэффициент регрессии; R<sup>2</sup> - коэффициент детерминации; <sup>3</sup> – достоверность p<0,05, <sup>4</sup> - достоверность p< 0,01.

Из этих результатов следует, что при сопоставлении концентраций тяжелых металлов в почве и надземных частях растений наблюдается положи-

тельная регрессионная связь. Самые высокие коэффициенты детерминации составляли у цикория обыкновенного и одуванчика лекарственного применительно к утилизации цинка ( $R^2$  соответственно - 0,94 и 0,84,  $p < 0,01$ ), цикория обыкновенного и пырея ползучего – в отношении кадмия ( $R^2$  соответственно - 0,88 и 0,75,  $p < 0,01$ ), у цикория обыкновенного и одуванчика лекарственного – для свинца ( $R^2$  соответственно - 0,75 и 0,74,  $p < 0,01$ ).

В качестве примера на рисунке представлена регрессионная зависимость концентрации подвижных форм  $Zn^{+2}$  в вегетативной части цикория обыкновенного и почве на участке №1.

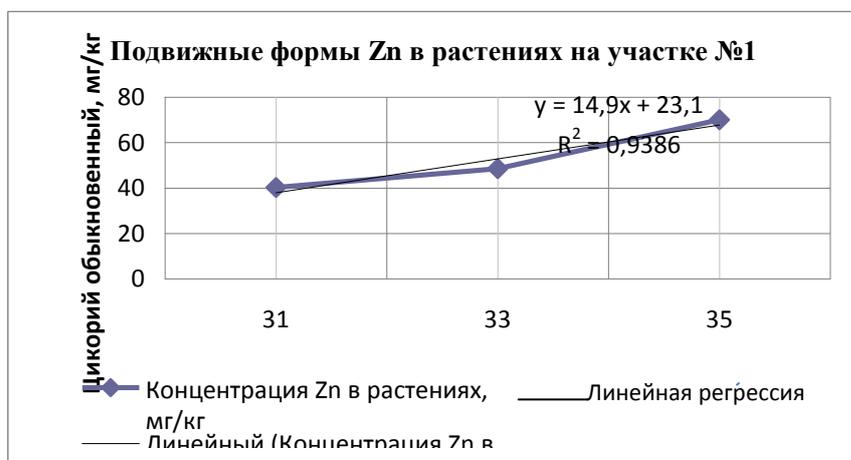


Рис. Регрессионное уравнение, описывающее взаимосвязь концентрации подвижных форм  $Zn^{+2}$  в растениях и почве на участке №1.

Обозначения: По оси абсцисс - концентрация металла в почве, мг/кг; по оси ординат - концентрация металла в надземной части растений, мг/кг сухой массы.

Из представленных данных следует, что одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L) и птичий горец (*Polygonum aviculare*) могут успешно выполнять функцию ремедиаторов почв в отношении таких поллютантов как кадмий, цинк и свинец.

### Заключение

Растения имеют естественную склонность аккумулировать тяжелые металлы. Одной из основ применения фиторемедиационных технологий является феномен гипераккумуляции растениями тяжелых металлов. По регрессионным моделям, построенным на основе данных, полученных на реперном участке №1, выделены такие эффективные ремедиаторы, как цикорий обыкновенный, пырей ползучий, одуванчик лекарственный, птичий горец.

Представленные результаты могут быть использованы в качестве информационной базы для комплексных ландшафтных наблюдений, предотвращения негативного техногенного воздействия на урбанизированные территории и планирования необходимых природоохранных мероприятий в городских агломерациях [1].

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Боев В.М., Верещагин Н.Н. и др. Экология человека на урбанизированных и сельских территориях. Оренбург, 2003. 392 с.
2. Blaylock, M.J., Salt D.E., Dushenkov S., Zakharova O., Gussman C. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environ. Sci. Technol.* 1997. 31: 860-865.
3. Gerard E., Echevarria G., Sterckeman T., Morel J.L. Cadmium availability to three plant species varying in cadmium accumulation pattern. *J. Environ. Qual.* 2000. 29: 1117-1123.
4. Grichko V.P., Filby B., Glick B.R. Increased ability of trans-genic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Zn. *J. Biotech.* 2000. 81: 45-53.

*Поступила 23.06.2014 г.*

*(Контактная информация: Васильева Татьяна Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Отдела геоэкологии ОНЦ УрО РАН; 460014, г. Оренбург, ул. Набережная, 29, тел./факс (3532) 77-06-60; e-mail: [vtn1972@mail.ru](mailto:vtn1972@mail.ru)).*