

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОРЕМЕДИАТОРОВ Pb, Cd, Zn В ОРЕНБУРГСКОМ РАЙОНЕ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Рассмотрены процессы накопления тяжелых металлов в фитоценозах, проанализированы корреляционные связи между параметрами накопления тяжелых металлов в почвах и растенях-городской агломерации и степной зоны. Зарегистрированы значимые элементы относящихся к 2 классу опасности (высокоопасные вещества) Pb, Cd, Zn у некоторых видов растений и поверхностных слоев почв.**

**Ключевые слова:** фиторемедиация, тяжелые металлы, почва, экология, аккумуляция

Выбросы промышленных предприятий наносят значительный ущерб экосистемам, загрязняя атмосферу, водоемы, почвы, растительный покров, что приводит к снижению продуктивности биоценозов и агроценозов, то есть техногенез становится решающим фактором в развитии биосферы. Особо значимы исследования, характерные для фитоценозов, процессов изменчивости их химизма в пределах городских геосистем, применительно к растениям, как аккумуляторам тяжелых металлов (ТМ) [7].

Возможным выходом из создавшейся ситуации может стать фиторемедиация – очистка почвы с помощью растений [1]–[4]. Методы фиторемедиации, основанные на применении растений, – относительно недорогие, поскольку выполняются *in situ* [1]–[3]. Теперь для очистки почвы необходимо всего-навсего засеять его нужным видом растений, а в конце сезона собрать «урожай» ТМ и вывезти на специальное захоронание. Поиск местных специально отобранных видов растений – ремедиаторов является актуальным для Оренбургской области, эта проблема касается не только городской флоры, но и степных сообществ. В связи с этим на первых этапах разработки фиторемедиационных технологий особую актуальность приобретают исследования, направленные на выбор на основе сравнительного анализа наиболее эффективных растений-ремедиаторов из представителей местной флоры.

Для достижения цели исследования: выявить растения-ремедиаторы из числа типичных представителей местной флоры, ставились следующие задачи:

- 1) зонировать участки в городе Оренбурге и Оренбургском районе;
- 2) определить содержание ТМ в растениях;

- 3) определить ТМ в подвижных формах почв на исследуемых участках;

- 4) сопоставить содержание ТМ в растениях и поллютантов в поверхностных слоях почвы.

### **Материалы и методы исследования**

Основу содержания работы составили результаты полевых исследований, проводившихся в 1996-2005 гг. исследований и включавшие маршрутное обследование почв, на участках с отбором проб почв по выделенным горизонтам (слоям) в соответствии с ГОСТ 17.4.3.04-85 [6]. Почвы исследовали на соли ТМ. Параллельно с полевым обследованием почв в местах заложения основных почвенных разрезов произведен сбор наземных частей доминантных видов растений на предмет определения в них тяжелых металлов [6]. У предприятий были разбиты площадки в виде квадратов реперный участок 1, 2, 3, 4, 5, реперный участок №6, 7, 8 расположены в степи. На реперных участках №1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 были заложены площадки в виде квадратов по 5 м<sup>2</sup>. На реперном участке №2 была разбита линейная площадка, протяженностью 15 метров в 3 метрах от предприятия.

Реперный участок №1 – на территории санитарно-защитной зоны ОАО "Гидропресс" (ул. Бр. Коростелёвых, 54).

Реперный участок №2 – на территории санитарно-защитной зоны ОАО «Завод Спецэлеватормельмаш» (ул. Туркестанская, 142).

Реперный участок №3 – на территории санитарно-защитной зоны ОАО «Завод «Инвертор» (ул. Промышленная, 14).

Реперный участок №4 – на территории санитарно-защитной зоны бывшего ОПОГАТ-1, в районе оптового рынка «Форштадт» (ул. 60 лет Октября, 1).

Реперный участок №5 – на территории санитарно-защитной зоны "Рембыттехника" (ул. Космическая, 7).

Реперный участок №6 – на территории степной зоны в районе п. Н. Павловка.

Реперный участок №7 – на территории степной зоны Н. Павловки, удален от поселка на 5 км.

Реперный участок №8 – на территории степной зоны в районе п. Старица.

Почва исследовалась и на подвижные формы ТМ по 8 параметрам атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Спектр» СП-115. Оценка результатов проводилась по «Перечню ПДК и ОДК химических веществ в почве», утвержденному зам. главного государственного санитарного врача РФ №6229-91 от 19.11.91 г. и дополнениями [6]. Результат выражается в мг/кг сухого вещества.

Растения были собраны в период вегетации. Сбор и пробоподготовка растений осуществлялся в соответствии с нормативными документами с ГОСТ 17.4.3.04-85 и рекомендациями Государственной фармакопеи РФ [5]–[6]. Растения исследовали на 8 элементов атомно-абсорбционным спектрофотометром «Спектр» СП-115. Результат выражается в мг/кг сухого вещества.

Статистическая обработка результатов проводилась общепринятыми методами вариационной статистики.

Растения. На основе результатов оценки частоты встречаемости отобраны виды, распространенные повсеместно (на всех реперных участках города, и Оренбургского района относящиеся к типичным представителям региональ-

ной 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*), грудница мохнатая (*Linosyris villosa* D. C.) (см. таблица 1).

**Результаты исследования**

Реперный участок №1 представлен основным типом почвы являются черноземы южные остаточного-луговые карбонатные слабогумусированные тяжелосуглинистые на древнеаллювиальных суглинках надпойменных террас.

Участок является одним из неблагоприятным с точки зрения накопления ТМ подвижными формами почв и растений. Рассмотрим концентрацию ТМ в подвижных формах почв относящихся ко 2 классу (высоопасные вещества) Pb, Cd, Zn.

Из таблицы 2 видно, что минимальные значения Pb<sup>2+</sup> в подвижных формах почв на глубине 0–10 см = 0 мг/кг. Максимальные значения Pb<sup>2+</sup> в подвижных формах почв на глубине 0–10 см = 26,84 мг/кг. Среднее значение Pb<sup>2+</sup> на глубине 0–10 см = 9,028 мг/кг, что выше ПДК (предельные концентрации Pb для подвижных форм почв = 6 мг/кг).

Минимальные концентрации Cd<sup>2+</sup> в подвижных формах почв на глубине 0–10 см были отмечены значительно ниже фоновых. Макси-

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

Семейство	Количество видов
Asteraceae Dumort (сложноцветные)	7
Papaveraceae Juss (маковые)	1
Plantaginaceae Juss (подорожниковые)	1
Roaceae Barnhart (мятликовые)	1
Polygonaceae Juss (гречишные)	1

Таблица 2. Вариабельность концентраций кадмия и свинца, цинка в почвах (минимальные/максимальные, средние ± m за все годы наблюдения) на реперном участке №1

Микроэлемент	Глубина 0–10 см		
	min	max	M ± m
Pb	0	26,84	9,69 0,387
Cd	0	0,81	0,128 0,005
Zn	2	139,2	39,365 0,01

мальные значения  $Cd^{2+}$  в подвижных формах почв на глубине 0–10 см = 0,81 мг/кг. Среднее значение  $Cd^{2+}$  на глубине 0–10 см = 0,128, что ниже ПДК в 3 раза (предельные концентрации Cd для подвижных форм почв равны 0,39 мг/кг).

Минимальные концентрации  $Zn^{2+}$  в подвижных формах почв на глубине 0–10 см были ниже фоновых.

Максимальные значения  $Zn^{2+}$  в подвижных формах почв на глубине 0–10 см = 139,36 мг/кг. Среднее значение  $Zn^{2+}$  на глубине 0–10 см = 39,00, что выше ПДК в 1,8 раз (предельные концентрации  $Zn^{2+}$  для подвижных форм почв равны 23 мг/кг).

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

В результате исследований растений были получены средние концентрации  $Pb^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$  большинство видов, из которых относились к семейству астровые, злаковые, гречишные.

На реперном участке №1 превышения по всем годам  $Pb^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$  были отмечены в одуванчике лекарственном (*Taraxacumofficinale*), пырее ползучем (*Elytrigiarepens*), цикории обыкновенном (*Cichoriumintybus* L), птичьим горцем (*Polygonumaviculare*).

#### **Pb в одуванчике лекарственном**

Концентрация свинца в почве варьировала от 0 до 24 мг/кг, в лопухе от 0,11 до 1,4 мг/кг. Сопоставление концентраций свинца в почве и надземных частях растений выявило достоверную положительную корреляционную связь между параметрами. Коэффициент детерминации для лопуха составил 0,74 ( $P < 0,01$ ). Увеличение концентрации свинца в почве на 1 мг вело к увеличению концентрации в лопухе соответственно на 0,74 мг, что говорит о хорошем всасывании свинца из почвы.

#### **Cd в одуванчике лекарственном**

При исследованиях было выявлено, что содержание кадмия в почве изменялось от 0 до 0,48 мг/кг, в одуванчике от 0,06 до 0,34 мг/кг. Кадмий не определялся в почвах – 6 проб (16%). Сопоставление концентраций кадмия в почве и надземных частях растений выявило положительную достоверную корреляционную связь. При этом коэффициент детерминации одуванчика составил 0,078. При увеличении концент-

рации кадмия в почвах на 1 мг вело к увеличению концентрации в растениях на 0,078 мг.

#### **Zn в одуванчике лекарственном**

При исследованиях было выявлено, что содержание цинка в почве изменялось от 31,3 до 35 мг/кг, в одуванчике от 40,3 до 42,7 мг/кг. Сопоставление концентраций цинка в почве и надземных частях растений выявило положительную достоверную корреляционную связь. При этом коэффициент детерминации одуванчика составил 0,84 ( $P < 0,05$ ). При увеличении концентрации цинка в почвах на 1 мг вело к увеличению концентрации в растениях на 0,84 мг. Высокий коэффициент корреляции по отношению к Znu цикория обыкновенного, это говорит, что растение хорошо аккумулирует элемент из почвы.

#### **Pb в цикории обыкновенном**

Концентрация свинца в почве варьировала от 0 до 24 мг/кг, в цикории от 1,13 до 2,6 мг/кг. Сопоставление концентраций свинца в почве и надземных частях растений выявило достоверную положительную корреляционную связь между параметрами. Коэффициент детерминации для цикория составил 0,7 ( $P < 0,01$ ). Следовательно, при увеличении концентрации свинца в почве на 1 мг вело к увеличению концентрации в цикории соответственно на 0,7 мг, что говорит о хорошем всасывании свинца из почвы.

#### **Cd в цикории обыкновенном**

Концентрация кадмия в почве варьировала от 0 до 0,48 мг/кг, в цикории от 0,20–0,25 мг/кг. Сопоставление концентраций свинца в почве и надземных частях растений выявило достоверную положительную корреляционную связь между параметрами. Коэффициент детерминации для цикория составил 0,88 ( $P < 0,01$ ). Следовательно, при увеличении концентрации кадмия в почве на 1 мг вело к увеличению концентрации в цикории соответственно на 0,88 мг, что говорит о хорошем всасывании кадмия из почвы.

#### **Zn в цикории обыкновенном**

При исследованиях было выявлено, что содержание цинка в почве изменялось от 31,3 до 35 мг/кг, в цикории от 40,2 до 70 мг/кг. Сопоставление концентраций цинка в почве и надземных частях растений выявило положительную достоверную корреляционную связь. При

этом коэффициент детерминации для цикория составил 0,9 ( $P < 0,05$ ). На рисунке 1 видно, что при увеличении концентрации цинка в почвах на 1 мг вело к увеличению концентрации в растениях на 0,9 мг.

**Pb в пырее ползучем**

Концентрация свинца в почве варьировала от 0 до 24 мг/кг, в растении от 0,9 до 1,67 мг/кг. Сопоставление концентраций свинца в почве и надземных частях растений выявило достоверную положительную корреляционную связь между параметрами. Коэффициент детерминации для пырея составил 0,58 ( $P < 0,01$ ). Следовательно, при увеличении концентрации свинца в почве на 1 мг вело к увеличению концентрации в пырее соответственно на 0,58 мг, что говорит о хорошем всасывании свинца из почвы.

**Cd в пырее ползучем**

Концентрация кадмия в почве варьировала от 0 до 0,48 мг/кг, в цикории от 0,15–0,35 мг/кг. Сопоставление концентраций свинца в почве и надземных частях растений выявило достоверную положительную корреляционную связь между параметрами. Коэффициент детерминации для пырея составил 0,75 ( $P < 0,01$ ). Следовательно, при увеличении концентрации кадмия в почве на 1 мг вело к увеличению концентрации в пырее соответственно на 0,75 мг.

**Zn в пырее обыкновенном**

При исследованиях было выявлено, что содержание цинка в почве изменялось от 31,3 до 35 мг/кг, в пырее от 41,75 до 44,55 мг/кг.

Сопоставление концентраций цинка в почве и надземных частях растений выявило положительную достоверную корреляционную связь. При этом коэффициент детерминации пырея составил 0,23 ( $P < 0,05$ ). При увеличении концентрации цинка в почвах на 1 мг вело к увеличению концентрации в растениях на 0,23 мг

**Pb в птичьем горце**

Концентрация свинца в почве варьировала от 0 до 24 мг/кг, в растении от 0,24 до 0,49 мг/кг. Сопоставление концентраций свинца в почве и надземных частях растений выявило достоверную положительную корреляционную связь между параметрами. Коэффициент детерминации в птичьем горце составил 0,68 ( $P < 0,01$ ). Следовательно, при увеличении концентрации свинца в почве на 1 мг вело к увеличению концентрации в пырее соответственно на 0,68 мг, что говорит о хорошем всасывании свинца из почвы.

**Cd в птичьем горце**

Концентрация кадмия в почве варьировала от 0 до 0,48 мг/кг, в спорыше от 0,07 до 0,15 мг/кг. Сопоставление концентраций свинца в почве и надземных частях растений выявило достоверную положительную корреляционную связь между параметрами. Коэффициент детерминации для растения составил 0,75. Следовательно, при увеличении концентрации кадмия в почве на 1 мг вело к увеличению концентрации в растении соответственно на 0,75 мг.

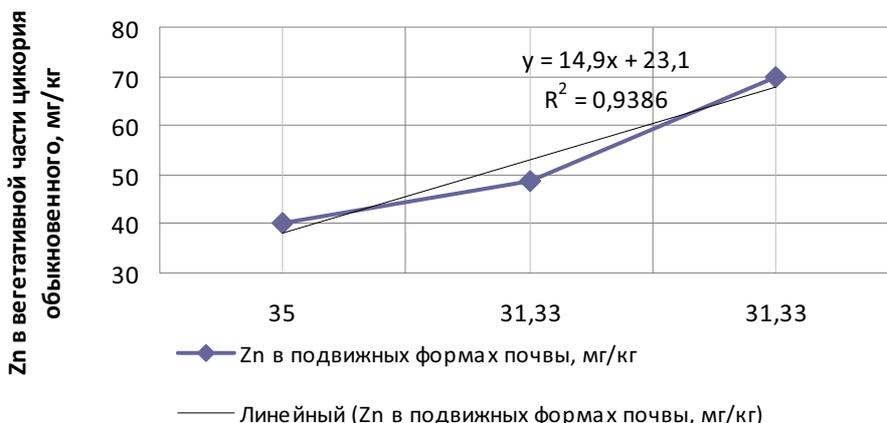


Рисунок 1. Связь концентрации подвижных форм Zn в растениях и почвах (0–10 см) на участке №4

Таблица 3. Характеристика корреляционных связей между концентрациями свинца и кадмия цинка в почве (0-10 см) и растениях на реперном участке №1  
 Обозначения: К-коэффициент регрессии. R<sup>2</sup>– коэффициент детерминации.  
 З– вероятность ошибки P<0,05,4– вероятность ошибки P< 0,01.

Растения	Эффективность утилизации тяжелых металлов					
	Pb		Cd		Zn	
	К	R <sup>2</sup>	К	R <sup>2</sup>	К	R <sup>2</sup>
одуванчик	1,31	0,74 <sup>4</sup>	0,01	0,078	1,2	0,84 <sup>4</sup>
птичий горец	0,61	0,68 <sup>4</sup>	0,007	0,42 <sup>4</sup>	1,05	0,017
цикорий	0,58	0,75 <sup>4</sup>	0,08	0,88 <sup>4</sup>	14,9	0,9 <sup>4</sup>
пырей	1,7	0,58 <sup>4</sup>	0,04	0,75 <sup>4</sup>	1,4	0,23 <sup>3</sup>

### Zn в птичьем горце

При исследованиях было выявлено, что содержание цинка в почве изменялось от 31,3 до 35 мг/кг, в спорыше от 60,59 до 63,22 мг/кг. Сопоставление концентраций цинка в почве и надземных частях растений выявило положительную достоверную корреляционную связь. При этом коэффициент детерминации пырее составил 0,017. При увеличении концентрации цинка в почвах на 1 мг вело к увеличению концентрации в растениях на 0,017 мг.

По результатам исследования данного реперного участка самые высокие коэффициенты регрессии свинца и кадмия, цинка были у цикория обыкновенного, свинца и цинка – у пырея ползучего.

#### Выводы:

Повышенное содержание элементов относящихся к 2 классу опасности (высокоопасные вещества) Pb, Cd, Zn регистрировали только у

доминантных видов растений городской агломерации.

По моделям построенным на реперном участке №1 выделяем ремедиаторы – цикорий обыкновенный, пырей ползучий, одуванчик лекарственный, птичий горец.

Корреляционный анализ взаимосвязи концентраций элементов в почве и надземной части растений выявил достоверную положительную связь между этими параметрами.

Сопоставление коэффициентов регрессии растений подвижных форм почв тяжелых металлов с точки зрения экологической значимости указало на наибольшую актуальность модели фиторемедиации Pb, Cd, Zn. В качестве ремедиатора Zn, Cd можно предложить цикорий обыкновенный, так как коэффициент детерминации цинка K=14,9, кадмия K=0,08. В качестве фиторемедиатора Pb можно предложить пырей ползучий коэффициент детерминации K=1,7.

24.04.2014

#### Список литературы:

1. De Souza, M.P.; Pilon-Smits, E. A.H. & Terry, N. (2000). The physiology and biochemistry of selenium volatilization by plants. In: Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment, Raskin, I. & Ensley, B.D. (Ed.) 171. – 190.
2. Ernst, W.H.O. (1975). Physiology of heavy metal resistance in plants, p. 121. – 136. In T.C. Hutchinson et al. (ed.) Proceedings of an International Conference on Heavy Metals in the Environment. CEP Consultants, Edinburgh.
3. 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.
4. Grichko, V.P., B. Filby, B.R. Glick. (2000). Increased ability of trans-genic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Zn. J. Biotech. 81:45. – 53.
5. Государственная фармакопея РФ XII издание (2 часть). М.: Медицина. – 2010. – 600 с.
6. ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. М.: Изд-во стандартов. – 1984. – 4 с.
7. Серегина Ю. Ю., Семенова И. Н., Кужина Г. Ш. Комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова прибрежной зоны р. Белая Белорецкого района Республики Башкортостан // Живые и биокосные системы. – Электронное периодическое издание. – 2013. – № 3.

#### Сведения об авторах:

**Васильева Татьяна Николаевна**, старший научный сотрудник отдела геоэкологии УрО РАН,  
 кандидат биологических наук  
 460014, г. Оренбург, ул. Набережная, 29, тел./факс (3532) 770660