

## **БИОАККУМУЛЯЦИЯ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТВАЛОВ УЧАЛИНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)**

© 2011 Э.Р. Радостева, А.Ю. Кулагин

Институт биологии Уфимского научного центра РАН, г. Уфа

Поступила 22.04.2011

Представлены сведения о кислотности почвогрунтов, содержании гумуса, подвижного фосфора и тяжелых металлов в молодых почвах. Исследовано накопление тяжелых металлов (медь, цинк, свинец, кадмий) в различных частях сосны и березы, произрастающих на полиметаллических отвалах.

**Ключевые слова:** *тяжелые металлы, полиметаллические отвалы, аккумуляция, распределение.*

В горнодобывающей промышленности добыча полезных ископаемых открытым способом является наиболее эффективной, однако в результате рассеивания рудогенных элементов формируются полиэлементные техногенные аномалии, охватывающие все компоненты биосферы [1]. Древесная растительность, произрастающая в таких условиях, выполняет функции механического барьера при аэрогенной миграции металлов и вовлечения элементов в процесс малого биологического круговорота веществ [2]. Исследования особенностей аккумуляции элементов древесными растениями связаны с оценкой средостабилизирующей роли древесных на пути распространения загрязнителей в окружающую среду.

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

Объектом исследований являются береза повислая (*Betula pendula* Roth) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на отвалах полиметаллического месторождения Учалинского горно-обогатительного комбината (УГОК) в лесостепной зоне Учалинского р-на РБ. Комбинат выпускает медный, цинковый и пиритный концентраты, которые поставляются 69 потребителям страны, экспортируются в зарубежные страны. Особенностью отвалов являются многокомпонентные медно-колчеданные руды, которые способствуют тому, что в отходах металлургических предприятий велико содержание различных металлов – свинца, цинка, меди и кадмия.

Для изучения техногенного влияния промышленных отвалов на древесные насаждения был проведен отбор почвогрунтов и растительных образцов (корни, кора, побеги, листья (хвоя) с целью определения тяжелых металлов (ТМ). Выбор участков отбора проб проводился с учетом известных и общепринятых методических подходов [3].

В лабораторных условиях были определены химические параметры почв следующими методами: содержание гумуса методом определения органи-

ческого вещества (ГОСТ 26213–91), рН, подвижный фосфор и калий по методу Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-91), азот по Корнфильду. Изучение содержания валовых форм ТМ в почвах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе Contr-AA (Analytik Jena AG, Germany) в центральной лаборатории Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК» [4]. Определение подвижных форм ТМ проводилось методом экстракции проб почв аммонийно-ацетатным буфером (ААБ) с рН 4,8 с использованием вольтамперометрического комплекса «СТА» (ООО «ЮМХ», Россия). Для анализа растительного материала на содержание ТМ применялся также инверсионный вольтамперометрический метод исследования на установке СТА [5]. Для экотоксикологической оценки почв использовали предельно-допустимые концентрации (ПДК) ТМ по их валовым и подвижным формам [6].

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Отвалы медно-колчеданных месторождений УГОК сложены скальными плохо выветривающимися породами различного химического состава (змеевики, флюориты, кварциты, порфириды, пириты и др.), легко подвергающимся выветриванию глинистыми и песчаными сланцами, различными глинами [7]. Молодые почвы под сосновыми насаждениями по химическому составу представляют собой породы с кислой реакцией среды (рН 4,3), слабо обеспечены подвижным фосфором (2,05 мг на 100 г почвогрунта), низким содержанием калия (2,05 мг на 100 г почвогрунта) и азота (0,6 мг на 100 г почвогрунта). Содержание гумусовых веществ в верхнем аккумулятивном горизонте низкое и составляет 1,65%.

Сравнение данных по содержанию валовых форм Cu и Zn с ПДК в почвогрунтах под сосновыми насаждениями показало, что в грунтах наблюдается превышение допустимых норм. По содержанию подвижных форм Cu отмечается превышение в 1,4 ПДК. По отношению к подвижным формам Zn исследуемые почвенные образцы относятся к категории «незагрязненный».

---

*Радостева Эльза Рауфовна*, e-mail: elza\_85.85@mail.ru, *Кулагин Алексей Юрьевич*, докт. биол. наук, проф., e-mail: elza\_85.85@mail.ru

Концентрация валовых и подвижных форм Pb и Cd в горизонте 0-20 см в почвогрунтах сосновых насаждений находится в пределах ПДК.

Молодые почвы березовых насаждений УГОК характеризуются низким содержанием подвижных форм фосфора (3,2 мг на 100 г почвогрунта) и средним – калия (15,9 мг на 100 г почвогрунта), а также подвижного азота (0,7 мг на 100 г почвогрунта). Содержание гумусовых веществ в верхнем аккумулятивном горизонте под насаждениями березы высокое и составляет 7,4%. Реакция почв

сильнокислая. Следует отметить крайне неустойчивый характер распределения запасов валовых и подвижных форм элементов в молодых почвах березовых насаждений.

Сопоставление содержания валовых форм Cu, Zn, Pb и Cd в отвальных грунтах под насаждениями березы со значениями ПДК показало, что концентрация металлов в условиях отвалов значительно выше нормы. По содержанию подвижных форм Cu и Cd почвогрунты относятся к категории «загрязненные» (табл. 1).

**Таблица 1.** Содержание валовых и подвижных форм металлов (мг/кг) в почвогрунтах под насаждениями сосны и березы

Cu		Zn		Pb		Cd	
Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма	Валовая форма	Подвижная форма
Почвогрунты под насаждениями сосны							
51,7±10,82	2,73±0,80	99,7±4,44	8,27±0,8	19,4±3,64	0,31±0,05	0,67±0,80	0,12±0,03
Почвогрунты под насаждениями березы							
74,17±26,8	3,80±0,74	137,8±18,1	9,03±1,40	59,9±21,99	1,13±0,27	1,53±0,28	0,29±0,05
Значение ПДК							
23	2	85	23	32	6	1,5	0,24

В целом, повышенное содержание исследуемых металлов в почвогрунтах медно-колчеданных отвалов УГОК свидетельствует о высоких концентрациях данных элементов во вскрышных породах.

Результаты анализа содержания металлов в различных органах сосны и березы показали значительные отличия в накоплении металлов березой и сосной и их частями, а также избирательность по отношению к определенным элементам (табл. 2, 3).

**Таблица 2.** Содержание микроэлементов в различных органах сосны

Органы растений	Концентрация металлов, мг/кг сухого вещества			
	Cu	Zn	Pb	Cd
Корни	55,73±16,54	54,19±10,19	4,43±0,80	0,31±0,02
Кора	28,17±8,23	49,41±9,27	9,31±0,47	1,08±0,05
Ветви	16,22±4,54	22,15±3,82	5,64±0,52	1,00±0,08
Хвоя	12,56±3,58	21,61±3,70	6,54±0,31	0,65±0,05

**Таблица 3.** Содержание микроэлементов в различных органах березы

Органы растений	Концентрация металлов, мг/кг сухого вещества			
	Cu	Zn	Pb	Cd
Корни	72,08±21,5	152,14±32,29	13,17±1,84	1,80±0,03
Кора	15,9±4,60	186,37±36,64	8,13±0,80	1,49±0,04
Ветви	14,55±3,81	192,96±37,96	7,23±0,84	1,04±0,08
Листья	14,97±4,31	179,65±35,29	5,27±0,48	1,66±0,05

Согласно таблице 3, максимальное накопление Cu и Zn обнаружено в корневой системе сосны. Отмечается постепенное снижение содержания элемента в надземных органах: кора > побеги > хвоя. Наибольшее депонирование Pb установлено для коры и наблюдается превышение ПДК для Cd (0,065-0,085 мг/кг [8]) во всех органах сосны.

Отмечается сходный характер распределения Cu в органах березы и сосны, где основным органом депонирования служит корневая система как орган, препятствующий проникновению металла в надземные органы. Распределение Zn по органам березы представлена в ряду убывания: побеги > кора > листья > корневая система. Обнаружено закономерное увеличение Pb от надземных органов к подземным, причем в корневой системе установлено

превышение в 1,3 ПДК, относительно Cd установлено, что во всех органах березы обнаружено превышение ПДК (табл. 3). В целом, повышенное содержание исследуемых металлов в почвогрунтах медно-колчеданных отвалов УГОК свидетельствует о выполнении ими роли фитофильтра и аккумуляции металлов в своих органах, препятствуя их рассеиванию в окружающую среду.

Несмотря на варьирование содержания ТМ в органах хвойной и лиственной пород, выявлен ряд особенностей. Во-первых, береза во всех органах накапливает больше металлов, чем сосна. Наибольшие концентрации элементов характерны для корней и коры деревьев (сосна, береза), что, видимо, формируется в результате внешнего захвата из

атмосферы и внутреннего, посредством корневого питания и откладывания в депо запасаения.

В наибольшей степени древесными растениями аккумулируется Zn, количество этого металла во всех органах на порядок, а то и выше, чем Cu, Pb и Cd. Видимо, это связано с физиологической ролью Zn как важного микроэлемента в жизнедеятельности растений. Содержание Cu ниже по сравнению с Zn, что, вероятно, связано с антагонистическими взаимодействиями между элементами и проявляется в виде ингибирования Zn потребления Cu растительностью [9]. В наименьшей степени в сосне депонируется Pb, содержание которого колеблется в пределах 4,43-9,31 мг/кг. В корнях березы Pb накапливается свыше ПДК, установленной на уровне 10 мг/кг [10]. Незначительное количество металла отмечено в коре, ветвях и листьях.

Растения способны легко извлекать Cd из воздушных источников, особенно его концентрация высока в загрязненных районах [9]. В условиях полиметаллических отвалов древесные породы накапливают значительное количество фитотоксиканта. В рассматриваемых нами условиях наибольшим содержанием Cd отличаются кора и ветви сосны, а в органах березы максимальным аккумулятивированием характеризуются корни и листья.

Проведенные исследования позволяют отметить следующее: по уровню содержания в отвальных грунтах подвижных соединений азота, калия и фосфора почвогрунты характеризуются как бедные на макроэлементы; отвальные грунты УГОК загрязнены Cu, Zn, Pb и Cd, причем под разными породами их количественное содержание значительно варьирует; высокие концентрации ТМ в почвогрунтах отвалов УГОК избыточно накапливаются в органах сосны обыкновенной и березы повислой; сосна обыкновенная и береза повислая, относящиеся к различным видам и семействам, обладают неодинаковой способностью к аккумуляции избыточных ТМ в среде обитания; неодинаковое распределение

по органам сосны обыкновенной и березы повислой связано, по-видимому, с биологическими особенностями изученных пород. Необходимо отметить, что наибольшее среднесуммарное количество техногенных металлов накапливается в многолетних частях растений (корневая система, кора и ветви) относительно ассимиляционных органов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 08-04-97017) и гранта по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин В.Б. Химические элементы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 134 с.
2. Федорова Е.В., Одищева Г.Я. Биоаккумуляция металлов растительностью в пределах малого аэротехногенного загрязненного водосбора // Экология. 2005. № 1. С. 26-31.
3. Сукачев В.Н. Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1966. 333 с.
4. Методика выполнения измерений массовых концентраций меди, цинка, кадмия и свинца в пробах почв методом атомно-абсорбционной спектроскопии. РД 52.18.685-2006.
5. МУ 08-47/136. Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрические методы определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка).
6. Система оценки степени деградации почв / В.В. Снакин и др. Пушино, 1992. 19 с.
7. Баталов А.А., Мартынов Н.А., Кулагин А.Ю., Горюхин О.Б. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала. Уфа, 1989. 140 с.
8. Klope A. Content of arsenic, cadmium chromium, fluorine, lead, mercury and nickel in plants grown on contaminated soil, paper presented at United Nations // ECE Symp. On Effects of Air-born Pollution on Vegetation, Warsaw, 1979. P. 192.
9. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
10. Махонина Г.И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала. Свердловск: Изд. Урал. ун-та, 1987. 176 с.

#### **BIOACCUMULATION OF METALS IN BODIES OF WOOD PLANTS IN THE CONDITIONS OF POLYMETALLIC DUMPS UCHALY MOUNTAIN-CONCENTRATING INDUSTRIAL COMPLEX (REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)**

© 2011 E.R. Radosteva, A.Yu. Kulagin

Institute of Biology, Ufa Sci. Centre of RAS, Ufa

The data on the acidity of sediments, humus content, mobile phosphorus and heavy metals in young soils are presented. The accumulation of heavy metals (copper, zinc, cadmium and lead) in various parts of the pine and birch, growing on sediments of polymetallic, is investigated.

**Key words:** heavy metals, polymetallic sailings, accumulation, distribution.