

УДК 582.475.4/632.1:553.94

**АККУМУЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА КЕДРОВСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА****HEAT-SINK ABILITY OF LEAVES OF WOOD PLANTS IN THE CONDITIONS  
OF THE PEDIGREE DUMP OF KEDROVSKY COAL MINE**

©Цандекова О. Л.

канд. с.-х. наук

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии

СО РАН «Институт экологии человека»

г. Кемерово, Россия, [zandekova@bk.ru](mailto:zandekova@bk.ru)

©Tsandekova O.

PhD

Federal research center of coal and coal chemistry SB RAS

«Institute of human ecology»,

Kemerovo, Russia, [zandekova@bk.ru](mailto:zandekova@bk.ru)

*Аннотация.* В работе дана оценка аккумулирующей способности листьев древесных растений в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза. Проведено определение тяжелых металлов (цинк, кадмий, свинец, медь) в растительных образцах и определение зольности путем сухого озоления в муфельной печи. Экспериментальные данные обработаны статистически с помощью компьютерных программ. Эмбриоземы исследуемых площадок наблюдений характеризовались высокой обеспеченностью обменным калием, низкой — подвижным фосфором, средней — нитратным азотом. Анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Fe, Cr) не показал превышения существующих ПДК. Установлено, что содержание тяжелых металлов в эмбриоземах и в исследуемых растительных образцах находился в пределах допустимых значений. Выявлено, что листовая аппарат *Betula pendula* характеризовался более высокими значениями зольности и, в большей степени, аккумулировал цинк и медь, в сравнении с *Pinus sylvestris*. Различные биохимические перестройки у древесных растений позволяют их рассматривать как приспособительные и защитные реакции, направленные на выживание в экологических условиях породного отвала. Экспериментальные данные можно использовать в оценке состояния древесных растений и в качестве информативного параметра в биоиндикации окружающей среды.

*Abstract.* In work the assessment of heat-sink ability of leaves of wood plants in the conditions of a pedigree dump of Kedrovsky coal mine is given. Definition of heavy metals (zinc, cadmium, lead, copper) in vegetable samples and definition of an ash content by a dry combustion in the muffle furnace. Experimental data are processed statistically by means of computer programs. Embriozema of the studied platforms of supervision were characterized by high security with exchange potassium, low — mobile phosphorus, average — nitrate nitrogen. The analysis of maintenance of mobile forms of heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Fe, Cr) hasn't shown excess of the existing maximum concentration limits. It is established that the content of heavy metals in the embriozema and in the studied vegetable samples was in limits of admissible values. It is revealed that the sheet device *Betula pendula* was characterized by higher values of an ash-content and, more, I accumulated zinc and copper, in comparison with *Pinus sylvestris*. Various biochemical reorganizations at wood plants allow considering them as the adaptive and protective reactions directed to a survival in ecological conditions of a pedigree dump. Experimental data can be used in an assessment of a condition of wood plants and as informative parameter in bioindication of environment.

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth., тяжелые металлы, зольность, листовой аппарат, эмбриоземы, породный отвал, угольный разрез.

**Keywords:** *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth., heavy metals, ash-content, sheet device, embriozema, pedigree dump, coal mine.

Большую опасность для растений представляет адсорбция тяжелых металлов, особенно таких как — свинец, цинк, кобальт, медь. Они участвуют во многих биологических процессах и аккумулируются в различных частях растительного организма [1]. На аккумуляционную способность влияет содержание в окружающей среде биогенных и зольных элементов. Величина зольного компонента у древесных растений зависит от многих факторов, в том числе, от вида и возраста растения, экологических условий произрастания. Лиственные виды характеризуются более высокими значениями зольности (5–8%), по сравнению с хвойными видами (2–3%) [2]. Доля зольного компонента наиболее высока в метаболически активных тканях, а лишённые живых протопластов ткани бедны зольными веществами. Для фитомассы, формирующейся в условиях техногенного загрязнения, характерно их высокое накопление [3]. Закономерности накопления химических элементов растениями изучали многие авторы [4–7], однако остается актуальной проблема выявления особенностей накопления тяжелых металлов и золы древесными растениями, произрастающих на техногенно нарушенных землях.

Цель работы — изучить аккумулирующую способность листьев древесных растений в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза.

#### *Объекты и методы исследований*

Объектами исследований служили *Pinus sylvestris* L. (сосна обыкновенная) и *Betula pendula* Roth. (береза повислая), произрастающие на территории породного отвала угольного разреза «Кедровский». Для эксперимента были заложены две площадки наблюдений (ПН): 1 — контрольная (заложена на расстоянии 5 км от поселка Кедровка), 2 — опытная (заложена на породном отвале угольного разреза «Кедровский»). Угольный отвал имеет равнинно-наклонный рельеф. Его основание представлено преимущественно лессовидными суглинками, а породы отвала — песчаником (60%), алевролитом (20%), аргиллитом (15%), суглинками и глинами (5%). Возраст отвала 30 лет.

Анализы физико-химических показателей эмбриоземов выполнены на базе испытательного центра ФГУ ЦАС «Кемеровский». Определение тяжелых металлов (цинк, кадмий, свинец, медь) в растительных образцах выполнено на базе испытательной аккредитованной лаборатории ФГБУ «Кемеровская межобластная ветеринарная лаборатория» согласно ГОСТ Р 51301–99 [8]. Определение зольности (общей золы и золы, нерастворимой в 10%-ном растворе соляной кислоты) проводили путем сухого озоления в муфельной печи при  $t +400...+500^{\circ}\text{C}$  по ГОСТ 24027.2–80 [9]. Экспериментальные данные обработаны статистически с помощью компьютерных программ Excel и *Statistica 6.0*.

#### *Результаты и их обсуждение*

Экологические условия породного отвала оказывают влияние на элементный состав структурных частей растений, при этом возникает недостаток или избыток тех или иных элементов. Химический состав листьев растений формируется как под прямым влиянием атмосферного воздуха, так и под его косвенным воздействием через почву [10]. Анализ агрохимических показателей показал, что эмбриоземы исследуемых площадок наблюдений характеризовались высокой обеспеченностью обменным калием (100...240 мг/кг) и низкой обеспеченностью подвижным фосфором (10...50 мг/кг). На площадках отмечалась средняя обеспеченность нитратным азотом (9,5...13,8 мг/кг). Анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов (*Pb*, *Cd*, *Cu*, *Zn*, *Mn*, *Ni*, *Co*, *Fe*, *Cr*) не показал превышения существующих ПДК.

Зольность можно считать показателем приспособительных свойств растений к экологическим условиям их произрастания. Некоторые авторы отмечают, что к концу вегетационного периода в листьях древесных растений происходит накопление зольных элементов (повышение на 1,13–2,45%) [11, 12]. Нашими исследованиями подтверждена данная закономерность. В условиях Кедровского угольного разреза содержание зольности выше в ассимиляционном аппарате у всех исследуемых видов по сравнению с контролем. В течение вегетации у контрольных и опытных образцов отмечено повышение общей и нерастворимой золы с июня по август. Максимальные значения выявлены в августе (от 3,13 до 7,17%). У березы повислой, произрастающей на угольном разрезе показатели содержания общей золы в течение вегетации варьировали в пределах от 6,45 до 7,17%, у сосны обыкновенной — в пределах от 3,18 до 3,48%, что превысило контроль в среднем на 15–17%. У исследуемых видов по содержанию нерастворимой золы отмечена такая же закономерность. У березы повислой опытные образцы в течение вегетации превысили контрольные образцы в среднем на 9%, у сосны обыкновенной — на 27%.

Помимо зольности, проведен анализ содержания тяжелых металлов в ассимиляционном аппарате древесных растений. Тяжелые металлы нарушают нормальный ход биохимических процессов, влияют на синтез и функции многих активных соединений. Для интерпретации полученных результатов нами использовалась шкала, приводимая А. Кабата–Пендиас, Х. Пендиас [13], так как в ней указана градация содержания в листьях достаточно широкого спектра химических элементов (Таблица 1).

Таблица 1.

КОНЦЕНТРАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ, МГ/КГ СУХОЙ МАССЫ

Химический элемент	Концентрация нормальная (достаточная)	Концентрация токсичная (избыточная)
Zn	27–150	100–400
Cd	0,05–0,20	5–30
Pb	5–10	30–300
Cu	5–30	20–100

Нами выявлено, что в условиях Кедровского угольного разреза содержание тяжелых металлов в листовом аппарате древесных растений находился в пределах допустимых значений и их фактическое содержание в несколько раз меньше нормы (Таблица 2). Анализ фитомассы древесных растений выявил, что листья (хвоя) в большей степени аккумулировали Zn (28,5–136,5 мг/кг) и Cu (1,09–1,19 мг/кг) независимо от места сбора. Вероятно, это связано с потребностями этих элементов растениями и с синтезом биологически активных соединений.

Таблица 2.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛИСТЬЯХ (ХВОЕ) ИССЛЕДУЕМЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ (мг/кг)

Элемент	<i>Betula pendula</i>		<i>Pinus sylvestris</i>	
	контроль	опыт	контроль	опыт
Zn	115,7±38,2	136,5±45,1	28,5±9,4	31,3±10,3
Cd	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05
Pb	менее 0,04	0,22±0,08	0,15±0,05	0,66±0,23
Cu	1,09±0,41	1,19±0,45	1,17±0,44	1,17±0,44

Кроме того, было установлено, что поглощение и накопление «тяжелых» элементов растениями видоспецифично. Так, содержание тяжелых металлов, особенно Zn, у березы повислой выше (136,5 мг/кг), чем у сосны обыкновенной (31,3 мг/кг). Отмечено, что растительные образцы на опытных участках по содержанию цинка превышали контроль на 18% (береза) и 10% (сосна).

### Выводы

1. В условиях породного отвала Кедровского угольного разреза ассимиляционный аппарат древесных растений, в большей степени, аккумулировал цинк и медь. Содержание тяжелых металлов в эмбриоземах и растительных образцах находился в пределах допустимых значений.

2. *Betula pendula* характеризовалась более высокими показателями по содержанию общей и нерастворимой золы, в сравнении с *Pinus sylvestris*.

3. Различные биохимические перестройки у *Betula pendula* и *Pinus sylvestris* позволяют их рассматривать как приспособительные и защитные реакции, направленные на выживание в экологических условиях породного отвала. Экспериментальные данные можно использовать в оценке состояния древесных растений и в качестве информативного параметра в биоиндикации окружающей среды.

### Список литературы:

1. Сергейчик С. А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Минск, 1994. 385 с.

2. Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем. СПб.: Наука, 2005. 339 с.

3. Giachetti G., Sebastiani L. Metal accumulation in poplar plant grown with industrial wastes. *Chemosphere*, 2006, v. 64, pp. 446–454.

4. Галямова Г. К. Аккумуляция меди, цинка и свинца хвоей и листьями древесных растений в условиях атмосферного загрязнения г. Усть–Каменогорска // *Естественные науки*. 2012. №4 (41). С. 36–43.

5. Седельникова Л. Л., Цандекова О. Л. Аккумулирующая способность листьев декоративных растений в городской среде // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015. № 7 (129). С. 80–83.

6. Robinson B. H., Mills T. M., Petit D., Fung L. E., Green S. R., Clothier B. Natural and induced cadmium–accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. *Plant and Soil*, 2000, v. 227, pp. 301–306.

7. Радостева Э. Р., Кулагин А. Ю. Биоаккумуляция металлов в органах древесных растений в условиях полиметаллических отвалов учалинского горно–обогатительного комбината (республика Башкортостан) // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011. Т. 13, №5 (2). С. 200–202.

8. ГОСТ Р 51301–99 Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно–вольтамперометрические методы определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка). М.: Стандартинформ, 2010.

9. ГОСТ 24027.2–80 Сырье лекарственное растительное. Метод определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. М.: Издательство стандартов, 1981.

10. Domínguez M. T., Marañón T., Murillo J. M., Schulin R., Robinson B. H. Trace element accumulation in woody plants of the Guadiamar Valley, SW Spain: a large–scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution*, 2008, v. 152, pp. 50–59.

11. Михайлова Т. М., Бережная Н. С., Игнатьева О. В. Элементный состав хвои и морфофизиологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения. Иркутск: Изд–во Института географии СО РАН, 2006. 134 с.

12. Бухарина И. Л., Поварнищина Т. М., Ведерников К. Е. Эколого–биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. 216 с.

13. Кабата–Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 440 с.

*References:*

1. Sergeychik S. A. Stability of wood plants in the technogenic environment. Minsk, 1994, 385 p.
2. Ufimtseva M. D., Terekhin N. V. Phytoindication ecological state of urban ecosystems. St. Petersburg: Nayka, 2005. 339 p.
3. Giachetti G., Sebastiani L. Metal accumulation in poplar plant grown with industrial wastes. *Chemosphere*, 2006, v. 64, pp. 446–454.
4. Galyamova G. K. Accumulation of copper, zinc and lead needles and leaves of wood plants in the conditions of atmospheric pollution of Ust–Kamenogorsk. *Natural sciences*, 2012, no. 4 (41), pp. 36–43.
5. Sedelnikova L. L., Tsandekova O. L. Heat–sink ability of leaves of ornamental plants in an urban environment. *Bulletin of the Altai state agricultural university*, 2015, no. 7 (129), pp. 80–83.
6. Robinson B. H., Mills T. M., Petit D., Fung L. E., Green S. R., Clothier B. Natural and induced cadmium–accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. *Plant and Soil*, 2000, v. 227, pp. 301–306.
7. Radosteva E. R., Kulagin A. Yu. Bioaccumulation of metals in bodies of wood plants in the conditions of polymetallic dumps Uchaly mountain–concentrating industrial complex (republic of Bashkortostan). *News of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences* 2011, v. 13, no. 5 (2), pp. 200–202.
8. GOST R 51301–99 Foodstuff and food staples. Inversion and voltammetric methods of determination of content of toxic elements (cadmium, lead, copper and zinc). Moscow, Standartinform, 2010.
9. GOST 24027.2–80 Raw materials medicinal vegetable. Method of determination of humidity, content of ashes, extractive and tannins, essential oil. Moscow, Standards Publishing House, 1981.
10. Domínguez M. T., Marañón T., Murillo J. M., Schulin R., Robinson B. H. Trace element accumulation in woody plants of the Guadiamar Valley, SW Spain: a large–scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution*, 2008, v. 152, pp. 50–59.
11. Mikhaylova T. M., Berezhnaya N. S., Ignatyeva O. V. Element structure of needles and morphological and physiological parameters of a pine ordinary in the conditions of technogenic pollution. Irkutsk, Publishing house of Institute of geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 2006, 134 p.
12. Bukharina I. L., Povarnitsina T. M., Vedernikov K. E. Ecological and biological features of wood plants in the urbanized environment: monograph. Izhevsk, FGOU VPO Izhevsk GSHA, 2007, 216 p.
13. Kabata–Pendias A., Pendias X. Minerals in soils and plants. Moscow, Mir, 1989, 440 p.

*Работа поступила  
в редакцию 19.07.2016 г.*

*Принята к публикации  
21.07.2016 г.*