

СООТНОШЕНИЕ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ И ТОКСИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛИСТЬЯХ БЕРЕЗЫ  
ВОКРУГ УРСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

Е.А. Богданович

Научный руководитель доцент Д.В. Юсупов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия

Химический состав растений является важным систематическим признаком, сформированным в процессе эволюции. Растения накапливают в биомассе большой набор микроэлементов, участвующих в важнейших биохимических процессах. Известно, что многие микроэлементы играют важную роль в метаболизме растений – входят в состав ферментов (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn), биологически активных соединений (B, Co, Mo), участвуют в фотосинтезе (Mn, Co, Cu), азотном (V, Mn, Fe, Cu, Mo) и белковом (Mn, Zn) обменах. Все они являются жизненно необходимыми или эссенциальными. С другой стороны существует ряд химических элементов, преимущественно металлы, представляющие серьезную опасность с точки зрения их токсических свойств и загрязнения окружающей среды. К ним относятся: V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Pb, Bi [1]. Интересно, что V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo и др. в зависимости от их концентрации могут быть как эссенциальными, так и токсичными.

Цель работы – установить соотношение эссенциальных и токсичных металлов в листьях березы, чтобы оценить эколого-геохимическое состояние территории вокруг Урского хвостохранилища.

Объектом исследования служили листья берёзы повислой (*Betula pendula*). Берёза является эдикатором, образуя мелколиственные леса в зоне умеренного пояса. Так же береза обладает высокой экологической пластичностью, высокими пыле- и газопоглощающими свойствами, устойчива к промышленному загрязнению. Элементный состав листьев березы наряду с другими биообъектами активно используется в биогеохимическом мониторинге, оценке состояния окружающей среды урбанизированных территорий [4, 8], в горнорудных районах [2, 10], а также в биогеохимических поисках рудных месторождений [6, 7].

Урское хвостохранилище находится в пос. Урск в Гурьевском районе Кемеровской области. Оно образовано более 50 лет назад в процессе отработки Ново-Урского золото-полиметаллического месторождения. Хвостохранилище состоит из двух насыпных отвалов с отходами обогащения сульфидсодержащих первичных и окисленных руд. Сплошные руды содержат пирит, халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, блеклые руды, борнит и др. Жильные минералы представлены кварцем, серицитом, баритом, кальцитом и др. [5]. Отходы переработки руд складировались рядом с карьером в пойме ручья без защитных технических сооружений или дамб. В настоящее время карьер обводнен и используется местными жителями для купания.

В июле 2015 г. в поселке Урск вокруг хвостохранилища отобраны 15 проб листьев березы повислой с шагом 150-200 метров. Фоновая проба (Ур-7) отобрана в районе озера Урское в 4 км к юго-востоку от хвостохранилища. Отбор и подготовку проб выполняли согласно методическим рекомендациям [3]. Содержание химических элементов в сухом веществе листьев березы определяли методом ICP-MS в аккредитованном химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск). Для контроля точности анализа использовали стандартный образец состава листа березы (ГСО 8923-2007). Ошибка определения концентрации элементов не превысила 10 %. Содержание эссенциальных и токсичных металлов в листьях берёзы показано на рис. 1.

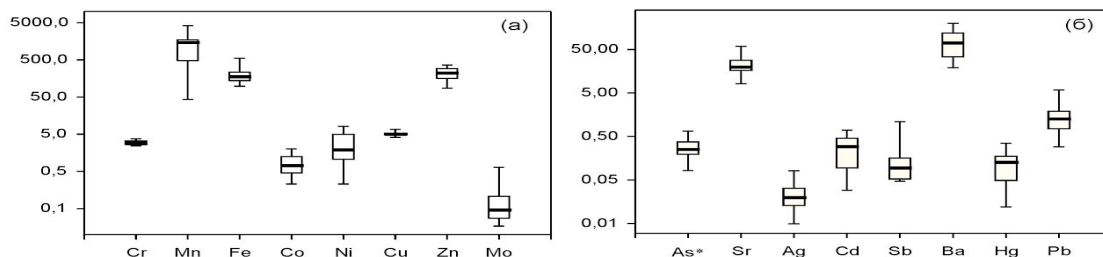


Рис. 1. Диаграмма размаха содержания (медиана, минимум, максимум, 25-75% квантили) эссенциальных (а) и токсичных (б) металлов (в мг/кг) в сухих листьях берёзы повислой вокруг Урского хвостохранилища

Для интегральной оценки соотношения концентраций эссенциальных и токсичных элементов в каждой пробе использован аддитивный подход:

$$Agi1 = \frac{1}{8} \cdot \left( \frac{Cr}{Cr^*} + \frac{Mn}{Mn^*} + \frac{Fe}{Fe^*} + \frac{Co}{Co^*} + \frac{Ni}{Ni^*} + \frac{Cu}{Cu^*} + \frac{Zn}{Zn^*} + \frac{Mo}{Mo^*} \right),$$

$$Agi2 = \frac{1}{8} \cdot \left( \frac{As}{As^*} + \frac{Sr}{Sr^*} + \frac{Ag}{Ag^*} + \frac{Cd}{Cd^*} + \frac{Sb}{Sb^*} + \frac{Ba}{Ba^*} + \frac{Hg}{Hg^*} + \frac{Pb}{Pb^*} \right),$$

где Agi1 и Agi2 – аддитивные показатели, составленные из эссенциальных и токсичных элементов соответственно. Содержания элементов нормированы на усредненные данные «Reference plant» [9].

Соотношение  $Agi2/Agi1$  позволяет выявить локальный характер накопления токсичных элементов в растительности. Так, соотношение  $> 1$  указывает, что накопление токсичных элементов по сравнению с эссенциальными в листьях березы происходит более активно в точках Ур-8 и Ур-12 (табл. 1). Пространственное распределение значений аддитивных показателей  $Agi2$  и  $Agi1$  иллюстрирует рис. 2.

Таблица 1

Значения аддитивных показателей из эссенциальных ( $Agi1$ ) и токсичных ( $Agi2$ ) металлов и их соотношение в листьях березы повислой вокруг Урского хвостохранилища

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$Agi1$	2,9	3,4	2,9	2,8	2,6	4,7	0,8	3,7	2,0	1,4	2,2	1,8	3,4	4,7	2,1	1,6
$Agi2$	2,3	2,0	2,1	2,0	2,1	1,8	0,6	4,2	1,8	0,9	1,7	3,5	1,9	2,8	1,7	1,7
$\frac{Agi2}{Agi1}$	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,4	0,7	1,1	0,9	0,6	0,8	1,9	0,6	0,6	0,8	1,0

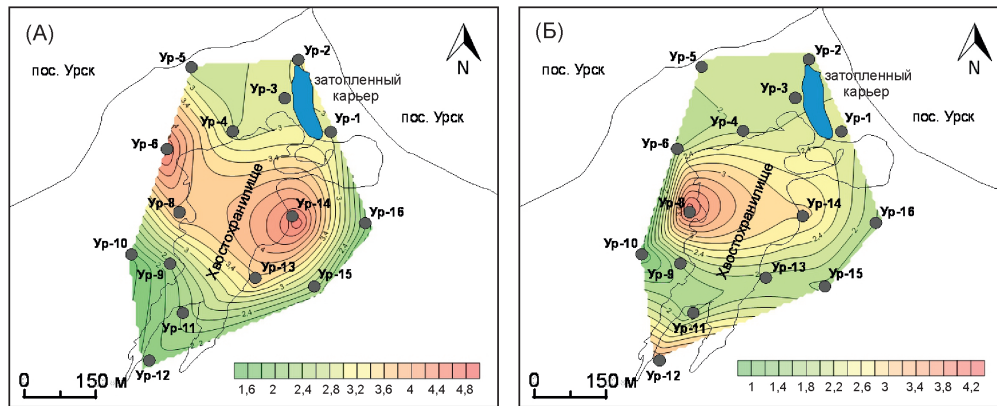


Рис. 2. Распределение величин аддитивных показателей из эссенциальных (А) и токсичных (Б) элементов в листьях березы повислой вокруг Урского хвостохранилища

Таким образом, установлено соотношение между содержанием эссенциальных и токсичных металлов в листьях березы повислой вокруг Урского хвостохранилища. Максимальные значения аддитивного показателя эссенциальных элементов картируют местоположение отвалов как первичной руды, так и руды зоны окисления. Максимальные значения аддитивного показателя токсичных металлов приурочены преимущественно к отвалу первичной руды, а также наблюдаются в области конуса выноса. Результаты работы могут быть использованы для проведения биогеохимического мониторинга территорий вокруг хвостохранилищ горнорудных предприятий.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 15-17-10011.

#### Литература

- Ильинских Н.Н. Генотоксикология тяжелых металлов и радиоактивных элементов: монография / Н.Н. Ильинских, Е.Г. Язык, Е.Н. Ильинских, И.Н. Ильинских. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 500 с.
- Межибор А.М., Рихванов Л.П. Биогеохимическая характеристика мхов *Polytrichum commune* на территории Урского хвостохранилища в Кемеровской области // Безопасность в техносфере, 2016. – Т. 5. – № 1. – С. 3 – 11.
- Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М.: Гидрометеиздат, 1981. – 108 с.
- Рихванов Л.П., Юсупов Д.В., Барановская Н.В., Ялалтдинова А.Р. Элементный состав листьев тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбасистем // Экология и промышленность России, 2015. – № 6. – С. 58 – 63.
- Щербакова И.Н., Густайтис М.А., Лазарева Е.В., Богуш А.А. Миграция тяжелых металлов (Cu, Pb, Zn, Fe, Cd) в ореоле рассеяния Урского хвостохранилища (Кемеровская область) // Химия в интересах устойчивого развития, 2010. – № 18. – С. 621 – 633.
- Юсупов Д.В. Биогеохимические ореолы золота и ртути Покровского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2009. – № 6. – С. 38 – 43.
- Юсупов Д.В. Применение биогеохимического и минерало-геохимического методов поисков в золотоносных районах Верхнего Приамурья / Д.В. Юсупов. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 136 с.
- Юсупов Д.В., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Ялалтдинова А.Р. Геохимические особенности элементного состава листьев тополя урбанизированных территорий // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2016. – Т. 327. – № 6. – С. 25 – 36.
- Markert B. Establishing of «Reference plant» for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting // Water, soil and air pollution, 1992. – Vol. 64. – P. 533 – 538.
- Yusupov D.V., Karpenko Yu.A. REE, Uranium (U) and Thorium (Th) contents in *Betula pendula* leaf growing around Komsomolsk gold concentration plant tailing (Kemerovo region, Western Siberia, Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2016. – Vol. 43: Problems of Geology and Subsurface Development. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/43/1/012053>