

УДК 504.73.062:631.41

ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ В ЗАУРАЛЬСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

О. З. Еремченко, М. Г. Кусакина, Л. В. Шушминцева, Е. А. Шемякина, Е. М. Еремченко

Пермский государственный университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

Растения Троицкого заказника в условиях повышенного почвенно-геохимического фона проявили способность к избирательному поглощению и активному перераспределению тяжелых металлов в органах. Благодаря этому растения, произрастающие в одинаковых почвенно-химических условиях, отличались по накоплению тяжелых металлов. Барьерные механизмы препятствовали передвижению Pb, Zn, Cu, Cr, V, Ti в метаболически активные органы, в корнях количество тяжелых металлов существенно выше, чем в надземных органах.

Тяжелые металлы входят в состав ферментативной системы живых организмов. С другой стороны, являясь одним из главных природных ресурсов мирового хозяйства, тяжелые металлы образуют группу опасных загрязнителей окружающей среды. Выяснение глобальных закономерностей распределения металлов в экосистемах и биосфере в целом и последствий техногенной деятельности является весьма актуальной проблемой.

Растения обладают избирательной поглощательной способностью к химическим элементам; по отношению к группе опасных загрязнителей – тяжелых металлов – многие из них имеют физиологические механизмы защиты. В условиях повышенного содержания тяжелых металлов растения могут нейтрализовать их токсичное действие, задерживая их в корнях, переводя металлы в неактивные формы, отводя их в опадающие органы. В выработке устойчивости растений важная роль принадлежит связыванию металлов клеточными стенками в корнях, которые могут содержать до 70–90% всего поступившего кадмия и цинка. Определенное значение при этом имеет изменение углеводного состава клеточных стенок, которые в таком случае служат селективным барьером на пути включения металла в активные процессы метаболизма. Плазмалемма клеток и пояски Каспари эндодермы выполняют барьерную функцию, тяжелые металлы могут иммобилизоваться в клеточных стенках перикцикла. Происходит также задержка ионов в вакуолях и других органоидах (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Нестерова, 1989; Ильин, 1991; Ковалевский, 1991; Борина, Зубков, 2003; Серегин, Кожевникова, 2004; Tiffin, 1972).

Химический состав растений во многом опре-

делен почвенно-геохимическими особенностями ландшафтов. Горный Урал является природной геохимической аномалией в связи с особенностями горных пород; окружающие его территории в результате миграции веществ имеют повышенный почвенный фон в отношении многих элементов. Цель данной работы – изучить интенсивность поглощения тяжелых металлов растениями черноземной и солонцевой степи Троицкого заказника, расположенного в лесостепном Зауралье. Исследования являются частью работ по организации фоновый мониторинга тяжелых металлов в регионе.

На стационарах Троицкого заказника в 5-кратной повторности были отобраны пробы из чернозема обыкновенного, солонцов среднего и коркового, а также шести видов растений, произрастающих на этих почвах. После озоления в пробах определено содержание микроэлементов атомно-адсорбционным методом. Результаты обработаны с применением методов математической статистики.

Установлено, что почвы Троицкого заказника характеризуются повышенным содержанием некоторых тяжелых металлов. Были рассчитаны кларки концентрации (КК) – отношение содержания элемента в почве к кларку почв мира и кларки рассеивания (КР) – отношение кларка почв мира к содержанию в почве Троицкого заказника (рис. 1).

По среднему содержанию микроэлементов в почвах мира выделены следующие группы:

- Zn, Pb, Cu (концентрация в почвах заказника превышает среднемировые значения в 4–6 раз);
- Ag, Co, V, Ni, Mn, Cr, Ti, Zr, Sr, Sc (превышение концентрации в почвах заказника среднемировых значений в 1,2–3 раза);

- Mo, Sn, Be, Li (концентрация в почвах заказника меньше среднемировых значений в 1,4–2,2 раза).

(подмаренник), Sr (лабазник, девясил, подмаренник). По-видимому, травяные растения Троицкого заказника

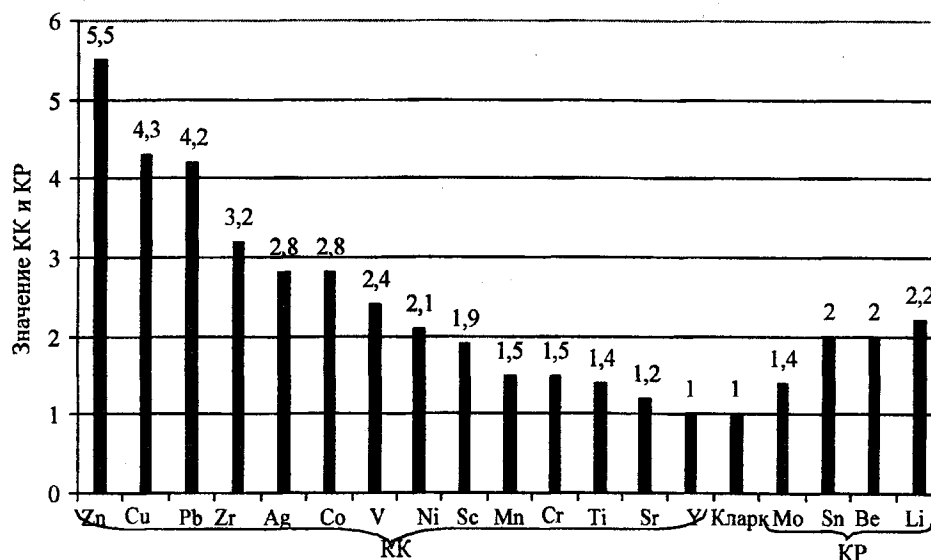


Рис. 1. Уровень содержания микроэлементов в черноземе обыкновенном (слой 0–5 см) по сравнению с кларками почв мира (пояснения в тексте)

Высокое содержание тяжелых металлов в почвах связано, прежде всего, с региональным геохимическим фоном, близостью месторождений титана, хрома, ванадия, железа, меди, никеля, кобальта. Потенциальным источником дополнительного поступления тяжелых металлов в экосистемы Троицкого заказника может служить загрязненная атмосфера. Известно, что в зауральском регионе распространены такие аэральные загрязнители, как Pb, Zn, Sr, Mn и некоторые другие элементы. Предварительное сравнение поверхностных и подповерхностных слоев почв Троицкого заказника показало возможное загрязнение почвенного покрова Pb, Zn, Sr.

Биогеохимический фон заказника оценивался по содержанию тяжелых металлов в шести видах растений, произрастающих на черноземе – девясил шершавый и подмаренник русский и на луговых солонцах – земляника зеленая, лабазник вязолистный, солонечник двухцветковый, подорожник Корнута.

В целом установлено, что на фоне видовых отличий растений в накоплении тяжелых металлов проявилась определенная закономерность. Несмотря на повышенный почвенно-геохимический фон, уровень накопления некоторых тяжелых металлов меньше или равен среднему уровню содержания в растительности суши (по: Ильин, 1991; Добровольский, 1998). Так, у клубники зеленой на среднем солонце содержание Ni, Co, Cr, Mn больше кларков растительности в 2–4 раза, количество Cu, Mo, Sr приближается к среднему; одновременно понижен (на 20–50 %) уровень накопления Zn и Pb по сравнению со средним их содержанием в растительности суши. Пониженное содержание цинка и свинца отмечено и у остальных травяных растений заказника, у отдельных видов понижено также накопление Ni (подмаренник), Cu

ка обладают механизмами защиты, препятствующими избыточному накоплению в них тяжелых металлов.

В условиях повышенного почвенно-геохимического фона растения заказника проявили способность контролировать уровень накопления тяжелых металлов в разных органах. Надземная часть и корни растений достоверно отличались по уровню накопления некоторых тяжелых металлов. Так, статистическая обработка данных показала, что в корнях клубники содержится достоверно больше Cr – в 2,7, V – в 2,9, Ti – в 3,2, Cu – в 2, Zn – в 5,1, Pb – в 2,3 раза, по сравнению с надземными органами (табл. 1).

Девясил, произрастающий на черноземе, накапливает в корнях больше Cr, V, Ti, Cu, Pb, чем в надземных органах (табл. 2); подмаренник на этом же черноземе концентрирует в корнях V, Cu, Co, Cr и Ti.

Солонечник и подорожник Корнута, произрастающие на солонце корковом, концентрируют Cr, V, Ti, Cu, Zn, Pb (табл. 3). Количество некоторых тяжелых металлов в надземных органах в несколько раз ниже, чем в корнях. Подобная закономерность была отмечена Т.А. Бориной, Н.В. Зубковым (2003) в опытах по выращиванию сельскохозяйственных культур на почвах, загрязненных тяжелыми металлами. У лабазника слабее выражена дифференциация элементов в надземных органах и корнях; в его корнях достоверно накапливается лишь титан (в 2,3 раза больше, чем в надземных органах). В отношении остальных элементов разница между органами растений недостоверна при данном объеме выборки и естественной вариабельности показателей. Одновременно лабазник характеризуется наименьшим содержанием тяжелых металлов в корнях. Вероятно, данный вид обладает иными барьерными механизмами, препятствующими

накоплению токсичных элементов во всем организме. Например, своеобразным механизмом самоочистки растений может служить перевод физиологически активных форм химических элементов, находящихся в клеточных и межклеточных растворах, в физиологи-

чески неактивные формы твердой фазы – биолиты. Путем экзоцитоза твердые минеральные частицы выделяются через клеточные оболочки в среду. Обнаружено также выделение тяжелых металлов с корневой слизью в почву (Ковалевский, 1991).

Таблица 1

Содержание элементов в органах клубники зелёной, мг/кг золы

Органы	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Pb
Надземные	104	20	78	3400	54	1180	126	186	32
Корни	118	20	210	3100	154	3800	250	940	72
t_{05}^*	0.76	0.80	5.83	0.58	2.28	4.18	3.70	4.45	3.53
t_{05}^{**}	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31

Примечание: t_{05}^* - критерий Стьюдента опытный, t_{05}^{**} - критерий Стьюдента теоретический.

Таблица 2

Содержание элементов в органах девясила шершавого, мг/кг золы

Органы	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Pb
Надземные	138	23	65	6500	35	400	153	195	18
Корни	170	22	386	3200	126	4000	220	320	56
t_{05}^*	1,86	0,27	3,18	2,43	4,48	5,18	2,46	1,68	3,28
t_{05}^{**}	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31

Примечание: t_{05}^* - критерий Стьюдента опытный, t_{05}^{**} - критерий Стьюдента теоретический.

Таблица 3

Содержание элементов в органах солонечника двухцветкового, мг/кг золы

Органы	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Pb
Надземные	106	16	106	1680	42	1860	170	106	10
Корни	146	30	240	2020	300	6600	320	390	86
t_{05}^*	1,46	0,8	4,97	1,27	7,87	4,93	2,83	2,55	4,22
t_{05}^{**}	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31

Примечание: t_{05}^* - критерий Стьюдента опытный, t_{05}^{**} - критерий Стьюдента теоретический.

Заключение

Растения Троицкого заказника в условиях повышенного почвенно-геохимического фона проявили способность к избирательному поглощению и активному перераспределению тяжелых металлов в органах. Благодаря этому растения, произрастающие в одинаковых почвенно-химических условиях, отличались по накоплению тяжелых металлов. Барьерные механизмы растений препятствовали передвижению Pb, Zn, Cu, Cr, V, Ti в метаболически активные части надземных органов, поэтому в корнях количество тяжелых металлов существенно выше.

Библиографический список

- Борина Т.А., Зубков Н.В. Характер распределения тяжелых металлов по органам растений в зависимости от биологических особенностей культуры // Физиология растений и экология на рубеже веков. Ярославль, 2003. С. 66–67.
Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Высшая школа, 1998. 413. с.

- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск, 1991. С. 5–41.
Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989.
Ковалевский А. Л. Биогеохимия растений. Новосибирск, 1991.
Нестерова А.Н. Действие тяжелых металлов на корни растений, поступление, локализация и механизмы устойчивости растений // Биол. науки. 1989. № 9. С. 72–86.
Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Транспорт, распределение и токсическое действие стронция на рост проростков кукурузы // Физиол. растений. 2004. Т. 51, № 2. С. 241–248.
Tiffin L.O. Translocation of micronutrients in plants // Soil Science Society of America. Madison, 1972. P. 199.
Turg G, Temple H.J. Uptake and localization of lead in corn (*Zea mays* L.). Seedling, a study by Histochemical and electron microscopy // Sci. Total. Environ. 1996. V. 188. P. 71–85.

Поступила в редакцию 28.09.2005

Selective absorption of heavy metals by plants of forest-steppe Zauralje

O.Z. Eremchenko, M.G. Kusakina, L.V. Schuschmintseva, E.A. Shemyakina, E.M. Eremchenko

Plants of the Troitzk protection regime in conditions of the increased soil-geochemical background have exhibited capacity to selective absorption and active reallocating of heavy metals in organs. Owing to this the plants growing in identical soil-chemical conditions, differed on upbuilding heavy metals. Barrier dodges precluded with excursion Pb, Zn, Cu, Cr, V, Ti in metabolically active organs, in roots amount of heavy metals essentially above, than in overground organs.