

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗАПОВЕДНОЙ ЛЕСОСТЕПИ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

Еремченко О. З., Чудинова Л. А.

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет Минобрнауки России», Пермь, Россия (614990, ул. Букирева, 15), e-mail: eremch@psu.ru

В Троицком лесостепном заказнике изучен микроэлементный состав почв и растительности. Заказник занимает площадь около 1200 га и представляет собой заповедный участок черноземных и луговых степей, окруженный техногенно-загрязненными территориями Зауралья. В гумусовых горизонтах черноземов и луговых солонцов содержание Zn, Pb, Cu, Co, V, Ni, Mn, Cr, Ti превышает мировые и региональные кларки в несколько раз, что обусловлено сочетанием геохимических и техногенных факторов. Накопление тяжелых металлов в надземных органах травяных растений незначительно отличается от средних показателей для растительности суши и соседних регионов. Содержание тяжелых металлов в корневищах, как правило, в несколько раз выше, чем в надземных органах. При инкубировании растений на растворах солей свинца и никеля гистохимическим методом установлена локализация металлов в клеточных стенках перидермы и коры подземных органов.

Ключевые слова: лесостепной заказник, загрязнение, микроэлементный состав, почвообразующие породы, почвы, растения, барьерная роль корневища.

MICROELEMENT COMPOSITION OF SOILS AND VEGETATION OF THE RESERVED FOREST-STEPPE IN CONDITIONS OF THE TECHNOGENESIS

Eremchenko O. Z., Chudinova L. A.

Perm State University, Perm, Russia (614990, Perm, street Bukireva, 15), e-mail: eremch@psu.ru

In Troitsk Forest-Reserve studied microelement composition of soils and vegetation. The reserve covers an area of 1200 hectares and is a reserved area of chernozem and meadow steppes surrounded by techno-laden territories Zauralye. In the humus horizons of chernozems and meadow solonetztes content Zn, Pb, Cu, Co, V, Ni, Mn, Cr, Ti exceeds global and regional clarks several times due to a combination of geochemical and anthropogenic factors. Accumulation of heavy metals in the aerial parts of herbal plants is slightly different from the average for terrestrial vegetation and neighboring regions. The heavy metal content in the rhizomes are usually several times higher than in the aerial parts. Incubating plants in solutions of salts of lead and nickel by histochemical localization of metal installed in the cell walls of the cortex and periderm underground organs.

Key words: Forest-steppe reserve, pollution, microelement composition, forming rocks, soils, plants, the barrier role of the rhizome.

Введение

Взаимодействие растений с почвой, в частности, процессы обмена микроэлементов, носит двойственный характер. С одной стороны, растения регулируют поглощение и накопление металлов, сохраняя генотипически заданный «микроэлементный гомеостаз», с другой – не могут полностью нейтрализовать «геохимическое давление» среды при повышении концентраций элементов в почвах выше уровня оптимума. В. Б. Ильин [4] определяет эти факторы как генотипический и экологический.

С развитием теплоэнергетики, металлургической, горнодобывающей, химической промышленности повсеместно происходит загрязнение почв техногенными веществами. Растения могут развиваться на почвах, загрязненных большим количеством разнообразных микроэлементов. Развитие толерантности к металлам происходит довольно быстро и имеет генетическую основу. Эволюционные изменения, вызванные тяжелыми

металлами, обнаружены у большого числа видов, произрастающих на обогащенных металлами почвах. Эти изменения отличают растения от популяций тех же видов, растущих на обычных почвах [1]. Реализация генетических возможностей высших растений при адаптации к поллютантам имеет особое значение для сохранения биоразнообразия на заповедных территориях, расположенных в техногенно-загрязненных регионах.

Цель исследования

Троицкий лесостепной заказник занимает площадь около 1200 га и представляет собой заповедный участок черноземных и луговых степей, окруженный техногенно-загрязненными территориями Зауралья. Исследования проведены на черноземном и лугово-солонцовом стационарах заказника. На черноземах обыкновенных среднетяжелых среднегумусных тяжелосуглинистых эдификатором растительного покрова являются ковыль красноватый и ковыль перистый, которые составляют 30 – 45 % покрытия. Солонцы луговые средненатриевые средние и высокие столбчатые глинистые характеризуются солончаковатостью, средней засоленностью, смешанным химизмом засоления с участием соды. Растительный покров луговых солонцов образован различными группировками разнотравно-типчачковых степей, эдификатором является типчак, произрастают также виды, свойственные засоленным почвам (полынь азотолубивая, подорожник Корнута, морковник обыкновенный и др.).

Целью работы является оценка уровня аккумуляции некоторых микроэлементов в почвах и растениях данной охраняемой территории.

Материалы и методы исследования

Для определения содержания микроэлементов были взяты образцы из гумусового горизонта чернозема и солонцов с глубины 0–10 см в 10-ти точках. Материал растений был собран в 5-ти точках для каждого исследуемого вида. Для изучения химического состава на черноземах использовали следующие виды: ковыль перистый (*Stipa pennata* L.), девясил шершавый (*Inula hirta* L.), подмаренник русский (*Galium ruthenicum* Willd.), клубника (земляника зеленая) (*Fragaria viridis* (Duch.) Weston), дрок красильный (*Genista tinctoria* (L.) Maxim.); на луговых солонцах – лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* Juss), полынь понтийская (*Artemisia pontica* L.), овсяница бороздчатая (типчак) (*Festuca sulcata* (Hack.) Nym.), полынь азотолубивая (*Artemisia nitrosa* Web.), подорожник Корнута (*Plantago cornuti* Gouan), солонечник двухцветный (*Galatella biflora* (L.) Nees). Содержание тяжелых металлов определяли на спектрографе ДФС – 1 атомно-абсорбционным методом с испарением пробы из угольного электрода и с контролем точности измерений по стандартным образцам.

Для изучения распределения свинца и никеля в растениях был использован гистохимический метод [10], основанный на окраске срезов живого корня и стебля дитизоном и диметилглиоксимом. Отобранные растения лабазника вязолистного,

солонечника двухцветного и полыни понтийской пересаживали в сосуды с растворами $Pb(NO_3)_2$ и $NiCl_2$ в двух концентрациях - 10^{-4} и 10^{-3} М и инкубировали на этих растворах. Локализацию свинца и никеля по тканям корней и стеблей определяли после 1, 24, 48, 72 и 120 часов инкубации.

Достоверность различий между микроэлементным составом почвенных проб, надземных и подземных частей растений оценивалась статистически и методом дисперсионного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Челябинская область расположена на территории древних и сильно разрушенных Уральских гор, ранее скрытые в глубине породы обнажаются, и под действием внешних факторов происходит высвобождение металлов и их миграция. Здесь развиты крупные месторождения ископаемых – титаномагнетита, хромита, меди, никеля, которые могут служить источником распространения металлов на близлежащих территориях. Основные почвообразующие породы территории заказника – желто-бурые суглинки характеризуются повышенным содержанием Ni, Ti, Cu, Mn по сравнению с кларками литосферы, количество хрома в них в 5,5 раза выше (табл. 1).

Таблица 1

Содержание микроэлементов в почвах (слой 0–10 см) и в материнской породе, мг/кг прокаленной почвы

Элемент	Содержание в материнской породе	Содержание в черноземе	Содержание в солонце	Кларк литосферы (по А. П. Виноградову)	Кларк почв (по А. П. Виноградову)
Ni	84	83	90	58	40
Co	16	20	25*	18	8
Cr	460	344	320	83	200
Mn	1140	1278	1660*	1000	850
V	108	213	236	100	100
Ti	5200	6111	7000	4500	4600
Cu	86	89	95*	47	20
Zn	54	220	253	85	50
Pb	10	42	54*	10	10
Mo	3	2	2	2	2

Примечание. 1. Полужирным шрифтом выделены достоверно отличающиеся данные по содержанию микроэлемента в почве относительно почвообразующей породы. 2. * – достоверное увеличение содержания микроэлементов в солонце по сравнению с черноземом.

Загрязнителями воздуха в регионе являются предприятия топливной энергетики, коксохимические и электродные; среди особо опасных загрязняющих веществ выделяются свинец, хром шестивалентный, марганец. Согласно исследованиям, гумусовые горизонты черноземов и солонцов обогащены микроэлементами относительно почвообразующей породы (табл. 1). В черноземе они характеризуются достоверным накоплением Co, V, Ti, Pb и Zn, а в луговом солонце кроме этих элементов аккумулируется Mn; количество V в почвах выше в 2

раза, а Pb и Zn – в 4 раза, чем в материнской породе. По-видимому, современный микроэлементный состав почв в заказнике формируется как природными (геохимическими), так и техногенными факторами; в поверхностных горизонтах почв осаждаются поллютанты, в том числе связанные с работой Троицкой ГРЭС. Техногенные элементы перераспределяются в почвенном покрове, т.к. солонцы пониженных равнин содержат достоверно больше Co, Mn, Cu, Pb по сравнению с черноземами гривных повышений (табл. 1).

Сопоставление с мировыми кларками почв (по А. П. Виноградову) показало, что концентрация Zn, Pb, Cu превышена в 4–5 раз, а Co, V, Ni, Mn, Cr, Ti – в 1,5 – 2,5 раз (табл. 1). Среднее содержание тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири [6] превышено по Cr в 5 раз, а остальных тяжелых металлов (кроме Mo) в 2–3 раза. Согласно В. Б. Ильину [5], уровень накопления Ni, Co, Mn, V, Cu можно оценить как средний (толерантный), а концентрация Cr, Zn, Pb приближается к высокой (опасной).

Таким образом, почвенный покров лесостепного заказника испытывает техногенное загрязнение, связанное, по-видимому, с воздушным переносом поллютантов. Вследствие природно-техногенной обстановки в гумусовых горизонтах почв отмечен повышенный уровень накопления всех изучаемых микроэлементов, кроме Mo.

Содержание микроэлементов в надземных органах растений, произрастающих на одной почве, отличалось в несколько раз (табл. 2). По-видимому, растения поддерживают генотипически заданный «микроэлементный гомеостаз», который, в частности, может обеспечиваться барьерной функцией корневой системы. Металлы связываются клеточными стенками, предполагается, что определенное значение при этом имеет изменение углеводного состава клеточных стенок [4; 7; 8; 9].

Растения, произрастающие на черноземах и солонцах лесостепного заказника, богаты хромом, но бедны цинком по сравнению с мировыми кларками (по В. В. Добровольскому), региональными значениями на юге Западной Сибири [4] и в оренбургском Зауралье [3]. По содержанию остальных микроэлементов растения могут несколько отличаться в меньшую или большую сторону относительно кларков. Следовательно, растения заказника, произрастая в условиях повышенного почвенно-геохимического фона, лишь незначительно накапливают некоторые микроэлементы, проявляя при этом видоспецифичные особенности. Среди изученных растений выделяется лабазник вязолистный в связи с повышенным содержанием большинства микроэлементов. Злаки отличались низким содержанием Mn.

Таблица 2

Среднее содержание микроэлементов в надземных органах растений, мг/кг сухого веса

Вид	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Pb	Mo
Ковыль перистый	4,8	0,4	5,1	34,5	2,3	87,0	5,9	5,3	1,8	0.1
Девясил шершавый	8,8	1,5	4,0	388,6	2,4	29,1	10,6	12,1	1,2	0.3

Подмаренник русский	3,4	0,5	3,3	99,7	1,6	21,3	4,6	9,2	1,1	0,2
Земляника зеленая	9,2	1,2	6,3	221,0	2,1	34,0	13,8	11,9	5,1	0,3
Дрок красильный	4,9	0,6	2,4	118,0	0,8	9,5	10,9	4,8	0,8	0,6
Лабазник вязолистный	9,8	1,1	9,4	420	4,6	108	11,0	23,0	2,4	0,9
Полынь понтийская	5,4	0,5	6,2	124	5,4	49	9,7	5,5	0,8	0,2
Овсяница бороздчатая	7,6	0,5	12,6	32	2,1	19	6,4	13,9	2,0	0,2
<i>Кларк по В. В. Добровольскому</i>	2,0	0,5	1,8	202	-	-	8,0	30,0	-	0,5
<i>Содержание по В. Б. Ильину [4]</i>	8,1	0,3	1,3	105	-	-	10,0	53,3	4,0	0,9
<i>Содержание по И. В. Грошеву, О.В. Григорьевой [3]</i>	0,5-2,1	0,1-0,2	0,1-0,6	27,5-75	-	-	3-14,3	10,2-35,8	0,1-1,3	-

Значение барьерной функции корневой системы растений, произрастающих в условиях повышенного почвенно-геохимического фона Зауралья, выявлено при сравнении содержания микроэлементов в надземных и подземных органах растений; повышенное их количество в корнях отмечалось в более чем в 80 % случаев. И. Г. Важенин [2] предложил использовать в качестве биоиндикатора ранней фазы загрязненности почвы коэффициент аккумуляции – отношение между содержанием элементов в подземных и надземных органах. Коэффициент аккумуляции отражает адаптивные возможности растений и определяется свойствами растения и почвы.

Согласно коэффициенту аккумуляции в корнях растений заказника количество Co, Cr, Mn, V, Ti, Cu, Zn, Pb, Mo в 2–16 раз выше, чем в надземных органах (табл. 3). Слабее выражена барьерная роль корневой системы в отношении никеля, коэффициенты аккумуляции у шести видов растений составляют 1,4-1,8; у трех видов накопление никеля в корнях не выражено.

Для лабазника, как правило, характерны пониженные коэффициенты аккумуляции микроэлементов в подземной части растения; как было указано выше, отсутствие барьерных механизмов защиты привело к общему повышенному содержанию микроэлементов в надземных органах этого растения.

Таблица 3

Коэффициенты аккумуляции микроэлементов в подземных органах растений по отношению к надземным органам (данные по содержанию в золе)

Вид	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Pb	Mo
Дрок красильный	0,9	1,6	4,4	0,8	6	14,5	1,5	2,3	5,1	0,8
Девясил шершавый	0,8	1	6	0,6	4,4	10	1,4	1,7	3,2	4,9
Земляника зеленая	1,6	2,2	5,4	1,3	8,1	15,7	2,1	3,3	1,2	3,3
Подмаренник русский	1,7	2	8,4	1,1	2,6	9,6	1,6	2,2	1,4	2,7

Лабазник вязолистный	0,8	1,3	1,3	0,4	1,8	2,1	1,2	1,1	1	0,7
Солонечник двухцветный	1,4	1,9	2,3	1,2	1,7	13,7	1,9	3,7	8,6	2,2
Подорожник Корнута	1,8	1,4	2,6	2,7	7,5	10,6	4,1	4,1	13,6	1
Полынь понтийская	1,4	1,6	1	1,7	4,1	1,6	1	1,3	1,3	1,5
Полынь азотолубивая	1,7	2,2	2,6	2,2	4,1	3,6	2,1	4,4	3,7	0,6

Значение физиологических барьеров в поступлении микроэлементов, разное поведение микроэлементов, а также видоспецифичные черты регуляции микроэлементного «гомеостаза» показали данные опытов по инкубации растений на растворах солей. Результаты по локализации Рb в тканях корневищ земляники зеленой, лабазника вязолистного и полыни понтийской представлены в таблице 4.

Таблица 4

Распределение Рb по тканям корневища растений

Вид	Время (час)	Перидерма	Наружная кора	Внутренняя кора	Эндо- дерма	Перици кл	Проводящие пучки
Земляника зеленая	1	+	-	-	-	-	-
	24	++	+	-	-	-	-
	48	++	+	-	-	-	-
	72	++	+	-	-	-	-
	120	+++	++	-	-	-	-
Лабазник вязолистный	1	++	+	-	-	-	-
	24	++	+	-	-	-	-
	48	+++	+	-	-	-	-
	72	+++	++	+	-	-	-
	120	+++	++	+	-	-	-
Полынь понтийская	1	+	-	-	-	-	-
	24	+	-	-	-	-	-
	48	++	++	-	-	-	-
	72	++	++	-	-	-	-
	120	+	+	-	-	-	-

Примечание: - отсутствие окраски, + очень слабая, ++ слабая, +++ сильная, ++++ очень сильная окраска.

После первого часа инкубации у всех растений Рb был выявлен в клеточных стенках перидермы корневища, при этом у лабазника небольшое содержание металла обнаружено также во внешних слоях коры.

Через 24 часа инкубации слабое окрашивание давали клеточные стенки перидермы, у земляники и лабазника очень слабо окрашивалась наружная кора. У полыни локализация Рb в клетках коры не обнаружена. С течением времени (48–120 ч) окраска перидермы несколько усилилась, что свидетельствует о повышении концентрации металла, а у наружной коры осталась очень слабой или слабой. Через 48 часа инкубации наблюдалось ослабление тургора клеток и появление бурых пятен на листьях. К концу опыта отмечено значительное ослизнение и разрушение клеток перидермы и коры.

Распределение Ni в тканях корня заметно отличалось от локализации Pb (табл. 5). Уже через 24 часа Ni обнаруживался во всех тканях корня – от перидермы до проводящих пучков. Наиболее сильное окрашивание, а соответственно и высокое содержание металла, отмечалось в перидерме и коре. С течением времени увеличилась концентрация Ni в проводящих тканях, очень сильное окрашивание наблюдалось через 120 часов. В надземных органах обнаружена небольшая концентрация Ni в проводящих тканях, хотя окраска в надземных органах слабее, чем в подземных.

Таблица 5

Распределение Ni по тканям корневища растений

Вид	Время (час)	Перидерма	Наружная кора	Внутренняя кора	Эндодерма	Перицикл	Проводящие пучки
Земляника зеленая	1	+++	++	-	-	-	-
	24	+++	++	++	++	++	++
	48	++++	+++	+++	+++	+++	+++
	72	++++	++++	++++	+++	+++	+++
	120	++++	+++	+++	+++	++++	++++
Лабазник вязолистный	1	++	+	-	-	-	-
	24	+++	+++	++	++	+	+
	48	+++	+++	+++	++	++	++
	72	++++	++++	++++	++	++	+++
	120	++++	+++	+++	+++	+++	++++
Польнь понтийская	1	++	+	-	-	-	-
	24	++++	+++	+++	++	++	++
	48	++++	++++	+++	+++	+++	+++
	72	++++	+++	+++	++++	++++	++++
	120	++++	+++	+++	++++	++++	++++

Примечание: - отсутствие окраски, + очень слабая, ++ слабая, +++ сильная, ++++ очень сильная окраска.

Выводы

1. Почвы лесостепного заказника в Зауралье испытывают техногенное загрязнение, связанное, по-видимому, с воздушным переносом поллютантов; вследствие природно-техногенной обстановки в гумусовых горизонтах почв отмечено высокое содержание Zn, Pb, Cu, Co, V, Ni, Mn, Cr, Ti.

2. Растения заказника в условиях повышенного содержания тяжелых металлов в почвах незначительно накапливают некоторые микроэлементы, проявляя при этом видоспецифичные особенности.

3. В корневищах растений количество тяжелых металлов, как правило, в несколько раз выше, чем в надземных органах; отмечена их локализация в клеточных стенках перидермы и коры.

Список литературы

1. Алексеева-Попова Н. В., Игошина Т. И., Косицин А. В., Ильинская М. Л. Устойчивость к тяжелым металлам (Pb, Zn, Cu) отдельных видов и популяций естественных фитоценозов из района медноколчеданных проявлений // Растения в экстремальных условиях минерального питания. – Л.: Наука, 1983. – С. 22-24.
2. Важенин И. Г. Корни растений как биоиндикатор уровня загрязненности почвы токсическими элементами // Агрохимия. – 1984. – № 2. – С. 73 – 77.
3. Грошев И. В., Григорьева О. В. Экологическая роль тяжелых металлов в формировании биологических ресурсов степи // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: материалы III междунар. науч. конф. – Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ», 2006. – С. 88-90.
4. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение: монография. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
5. Ильин В. Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами // Агрохимия. – 1995. – №1. – С. 94-99.
6. Ильин В. Б., Сысо А. И., Байдина Н. Л., Конарбаева Г. А., Черевко А. С. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири // Почвоведение. – 2003. – №5. – С. 550-556.
7. Ковалевский А. Л. Биогеохимия растений: монография. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 18-48.
8. Нестерова А. Н. Действие тяжелых металлов на корни растений, поступление, локализация и механизмы устойчивости растений // Биологические науки. – 1989. – № 9. – С. 72-86.
9. Прасад М. Н. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, №5. – С. 764 – 780.
10. Серегин И. В., Иванов В. Б. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях // Физиология растений. – 1997. – Т.44, № 6. – С. 915-921.

Рецензенты:

Демьянова Евгения Ивановна, доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и генетики растений, ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» Министерства образования и науки России, г. Пермь.

Боме Нина Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет», г. Тюмень.