

УДК 550.424.6

ПОВЕДЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ» В УСЛОВИЯХ МАЛОПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА ПРИАМУРЬЯ – БЕЛОГОРСКА

© 2013 Н.А. Бородина

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск

Поступила в редакцию 15.05.2013

Исследованы особенности накопления и миграции Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, Pb и Mn в системе «почва-растения» под влиянием воздействия природных и антропогенных факторов в одном из малопромышленных городов Приамурья – Белогорске.

Ключевые слова: *городские почвы, трава, укос, тяжелые металлы*

Изучение техногенного загрязнения окружающей среды является одной из актуальных проблем в экологических исследованиях. Особое место по остроте этих проблем занимают урбанизированные территории, т.к. антропогенное загрязнение окружающей среды в последнее время приобрело такие размеры, что стало угрожать здоровью человека и представлять серьезную опасность для будущих поколений. Анализ литературных источников показывает, что большинство исследований были направлены на рассмотрение, как правило, экологических проблем крупных промышленных центров. Изучением экологического состояния г. Благовещенска – областного центра Приамурья, в том числе загрязнения экосистем тяжелыми металлами (ТМ), занимались многие исследователи [2, 5]. Экологические проблемы других малопромышленных городов Приамурья, процессы миграции и трансформации соединений ТМ практически не изучены.

Цель работы: исследование особенностей элементного химического состава растений и закономерности накопления и миграции ТМ в системе «почва-растения» г. Белогорска под влиянием воздействия природных и антропогенных факторов.

Характеристика района исследования. Город Белогорск является малопромышленным городом Амурской области, площадью 136 км² и населением 68,7 тысяч человек, расположен в 100 км к северо-востоку от областного центра Благовещенска. Станция Белогорск – узловая станция, через которую проходят поезда во всех направлениях. Крупные предприятия: мясокомбинат, мелькомбинат, овощеконсервный завод,

асфальтовый завод и завод железобетонных изделий, вагонное и локомотивное депо.

Основными загрязнителями атмосферного воздуха в г. Белогорске, как и по всей области, являются объекты жилищно-коммунального хозяйства и автотранспорт. Наибольший объем выброшенных загрязняющих веществ приходится на мелкие котельные, которых в городе достаточно много. Автотранспорт является также источником поступления пыли. Загрязнение воздуха происходит не только при сжигании топлива в двигателях внутреннего сгорания, но и при истирании шин о поверхность дороги. Образующая при этом пыль обогащена свинцом, цинком и кадмием [6]. По данным ГИБДД УВД по Амурской области в г. Белогорске зарегистрировано 16923 единицы автотранспорта. На 1 км² при плотности населения 505 человек приходится 124 автомобиля. Это без учета транзитного транспорта, а через г. Белогорск проходит автотрасса, соединяющая областной центр с восточной частью страны, и автомагистраль федерального значения.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования служили почвы разных функциональных зон города и трава укоса. Сбор материала (почва, растения) проводили с июля по сентябрь 2009-2010 г. с 8 пробных площадок, включая фоновую. В качестве фона использовали территорию соснового бора в 20 км севернее города. Валовое содержание ТМ (Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, Pb, Cd) в почвах и в озоленном растительном материале определяли после разложения их смесью концентрированных кислот: фтористоводородной, азотной и соляной с последующим растворением в растворе 1 М соляной кислоты. Для выделения форм ТМ различной подвижности в почвах и соответственно неодинаковой доступности растениям использовали метод последовательной экстракции металлов из одной навески почвы [4].

Бородина Нина Александровна, инженер-исследователь аналитического центра. E-mail: Borodina53@yandex.ru

Было выделено 5 форм нахождения ТМ в почвах: 1) водорастворимая фракция – соединения ТМ, переходящих в водную вытяжку, 2) фракция, содержащая непрочно сорбированные ионы ТМ, 3) фракция ТМ, связанная с аморфными оксидами и гидроксидами железа и марганца, 4) фракция ТМ, связанных с органическим веществом почв и сульфидами, 5) остаточная фракция, содержащая ионы ТМ, прочно закрепленные в кристаллических решетках минералов почв. Были рассчитаны коэффициенты концентраций (K_i), как отношение фактического содержания определяемого вещества в исследуемом объекте (C_i) к фоновому (C_f) по формуле: $K_i = C_i/C_f$. Суммарный показатель химического загрязнения рассчитывали по формуле: $Z_c = \sum K_{ci} - (n-1)$, где (Z_c) – суммарный показатель химического загрязнения; K_c – коэффициенты концентраций элементов; n – число определяемых загрязнителей [6]. Все определения ТМ в траве укоса были проведены атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре 1 класса «Хитачи»-

180-50 в пламени ацетилен-воздух. Свинец и кадмий – на ААС «Анализист 400».

Результаты и их обсуждение. На всех исследованных территориях города содержание ТМ в почвах, кроме Cr, не превышает ПДК и ОДК для почв, хотя и наблюдается более интенсивная аккумуляция этих элементов в городских почвах по сравнению с фоновой территорией, что указывает на антропогенные источники их поступления. В трех точках города отмечено превышение ПДК для почв по хрому в 1,03-2,3 раз (табл. 1). В порядке уменьшения среднего валового содержания ТМ образуют следующий убывающий ряд: Mn>Cr>Zn>Pb>Cu>Ni>Co>Cd. Согласно ориентировочной шкалы по суммарному показателю загрязнения почв (Z_c) тяжелыми металлами [6], исследуемые территории города имеют следующую градацию: 57,2% исследованных территорий города имеют допустимый уровень загрязнения ($Z_c < 16$) и 42,8% – умеренно опасный ($Z_c = 16-32$), это территории военного госпиталя, городского парка и консервного завода (табл. 1).

Таблица 1. Валовая концентрация тяжелых металлов в верхнем горизонте почв, мг/кг, – числитель, коэффициент концентраций – знаменатель

Место отбора	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Co	Pb	Cd	Z_c
мелькомбинат	11,0	33,0	246,0	148,0	8,5	2,0	23,9	<1,0	6,0
	1,37	1,1	0,96	4,9	0,8	0,5	2,4	<1	
школа-гимназия №1	20,0	67,0	595,0	68,0	15,5	6,0	40,1	<1,0	10,2
	2,5	2,2	2,3	2,3	1,4	1,5	4,0	<1	
завод ж/б конструкций	14,0	47,0	498,0	93,0	18,5	6,5	55,4	<1,0	11,0
	1,7	1,5	1,9	3,1	1,7	1,6	5,5	<1	
городской парк	18,0	79,0	859,0	211,0	18,0	4,5	42,3	<1,0	16,2
	2,25	2,6	3,5	7,0	1,6	1,1	4,2	<1	
железнодорожный вокзал	18,0	80,0	531,0	66,0	15,0	3,9	37,4	<1,0	9,4
	2,25	2,7	2,1	2,2	1,4	1,0	3,7	<1	
военный госпиталь	16,0	64,0	661,0	61,0	28,5	9,1	92,2	<1,0	16,8
	2,0	2,1	2,6	2,0	2,6	2,3	9,2	<1	
консервный завод	44,0	92,0	367,0	68,0	23,5	3,9	68,0	<1,0	16,2
	5,5	3,1	1,4	2,3	2,1	1,0	6,8	<1	
фон	8,0	30,0	256,0	30,0	11,0	4,0	10,0	<1,0	1,0
	1	1	1	1	1	1	1	<1	
ПДК			1500	90					
ОДК (рН КСl >5,5)	132	220			80		130	2	

Для предсказания поведения ТМ в экосистемах, их подвижности и доступности для поглощения и выведения живыми организмами необходимы знания о формах существования ТМ. Наиболее полную и объективную информацию о формах нахождения этих металлов в урбаноземах, участии различных компонентов почвы в их связывании дают методы последовательных селективных экстракций. В результате исследования было установлено, что наименьшее количество подвижных форм ТМ находится в водорастворимой – до 3,3% и специфически сорбированной фракциях – до 21% от валового

содержания. Эти фракции характеризуют подвижность и биодоступность ТМ. Оксиды и гидроксиды железа больше удерживают металлов, чем органическое вещество почв. Сорбция Zn и Mn гидроксидами железа до 10 раз выше, чем органическим веществом почв. Главной особенностью фракционного состава соединений ТМ в почвах является значительное преобладание остаточной фракции над остальными, что позволяет предположить ведущую роль глинистых минералов в закреплении элементов в почве. Максимальное содержание в остаточной фракции характерно для Cr и Cu – до 97%, а мини-

мальное для Zn – до 71% и Mn – до 63% от валового содержания.

Наиболее информативным критерием, указывающим на активность металлов в почвенном растворе, является уровень накопления их в растениях [9]. По накоплению в фитомассе того или иного элемента можно судить об экологически значимом его содержании в почве, а в химическом составе растений могут отражаться особенности геохимической среды. Химический состав травы укоса показал, что содержание определяемых ТМ в растениях урбофитоценозов гораздо выше, чем на фоновом участке. Концентрация Cu, Zn и Pb в траве укоса урбанизированных территорий г. Белогорска превышает фоновые

значения до 3-4 раз, а Ni – до 12 раз (табл. 2). Наиболее высокая концентрация характерна для Mn (37,4-97,1 мг/кг) и Zn (19,8-49,7 мг/кг). Это объясняется большим физиологическим значением этих элементов и высокой потребностью в них растений различных фитоценозов [1]. Содержание Cu варьирует в интервале от 3,0 до 9,3 мг/кг, Cr, Ni и Pb от <1,0 до 3,6 мг/кг, а Cd аккумулируется в растениях незначительно (табл. 2). Наибольшее значение суммарного показателя химического загрязнения (Z_c) в траве укоса г. Белогорска выявлено в районе завода железобетонных конструкций (15,4), школы-гимназии № 1 (14,7) и железнодорожного вокзала (14,3).

Таблица 2. Концентрация ТМ в траве укоса, мг/кг (в пересчете на воздушно-сухую массу)

Место отбора	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Co	Pb	Cd	Z_c
завод ж/б констр.	7,18	49,7	70,4	1,36	3,11	0,39	2,23	0,10	15,4
военный госпиталь	6,04	25,9	65,9	0,92	2,46	0,31	1,12	0,10	9,0
мелькомбинат	8,36	22,6	49,1	2,22	2,48	0,52	3,66	0,13	13,1
школа-гимназия №1	8,09	34,7	53,2	0,99	3,55	0,44	1,44	0,11	14,7
консервный завод	6,67	30,6	37,4	1,31	2,12	0,81	2,63	0,10	10,3
ж/д вокзал	9,34	40,8	49,8	0,56	2,70	0,67	3,15	0,22	14,3
городской парк	6,0	19,8	97,1	1,47	2,45	0,61	1,84	<0,1	10,1
фон	3,09	11,4	68,7	1,37	0,28	<1,0	<1,0	<0,1	1,0
кларк раст.[8]	14,0	100,0	630,0	0,23	3,0	0,5	2,7	0,6	

Следует отметить, что в почвах г. Белогорска концентрация Cd ниже предела обнаружения (табл. 1), а в траве укоса Cd присутствует почти на всех точках отбора. На основании этих данных можно предположить, что для Cd возможно поглощение элемента из атмосферы через листья. Содержание ТМ в растениях – комплексный показатель, отражающий загрязнение почвы и приземного слоя атмосферы. Главный путь поступления металлов в растения – адсорбция корнями. Почвенная среда является основным источником элементов для растений. Для установления степени влияния элементного состава почвы на химический состав растений была проведена оценка корреляционной зависимости между содержанием ТМ в траве укоса и их валовым

содержанием в почве. Было установлено, что корреляционная зависимость отсутствует. Это можно объяснить способностью растений к избирательному накоплению элементов, хотя некоторые исследователи считают, что между химическим составом растений и элементным составом почвы существует определенная связь [3]. Была рассчитана корреляционная зависимость между накоплением ТМ в растениях от содержания их подвижных форм в почвах города. Разница в корреляционной связи от количества фракций в почве (1+2) и (1+2+3) незначительна. Поэтому в качестве примера рассмотрим корреляционную зависимость между накоплением ТМ в траве укоса с их подвижными формами (1+2+3 фракции) в почве (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционная зависимость между накоплением ТМ в траве укоса и содержанием их подвижных форм (1+2+3 фракции) в почвах

	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Co	Pb
Cu	-0,19	0,57	-0,20	0,16	-0,07	0,16	-0,42
Zn	-0,15	0,46	0,18	-0,49	-0,30	0,35	0,32
Mn	-0,63	-0,49	0,65	-0,31	-0,20	0,08	-0,15
Cr	-0,13	-0,11	-0,57	0,24	-0,17	-0,32	-0,74
Ni	-0,63	0,27	0,32	0,00	0,16	-0,01	-0,70
Co	-0,55	0,40	0,52	-0,45	0,25	-0,57	-0,36
Pb	-0,08	0,75	0,10	-0,09	0,04	0,06	-0,05

Примечание: жирным шрифтом отмечены достоверные коэффициенты корреляции, курсивом – коэффициенты парной корреляции

С помощью корреляционного анализа обнаружена значимая прямая связь только между концентрацией Mn в траве укоса города с его подвижными формами в почве ($r=0,65$) и средняя связь для Zn ($r=0,46$). Возможно, это связано с наличием у растений эволюционно выработанных механизмов извлечения эссенциальных элементов из корнеобитаемого слоя [7]. Исходя из этих данных, можно предположить, что накопление Mn и Zn в растениях зависит от содержания этих элементов в почве. Растворимые формы Zn и Mn доступны для растений и их потребление растениями возрастает с повышением концентрации элемента в почве [3]. Для остальных исследованных элементов полученные результаты не выявляют зависимости между накоплением ТМ в растениях и содержанием их подвижных форм в почвенном растворе, где коэффициенты парной корреляции отрицательны или колеблются в интервале от 0,16 до 0,24 (табл. 3). В результате исследования накопления элементов в траве укоса городских почв установлено, что факторами, определяющими уровень аккумуляции ТМ растениями, являются содержание подвижных форм металлов в почвах, потребность растений в каждом конкретном химическом элементе, биодоступность самого элемента и видовой состав растений.

Выводы: приоритетными загрязняющими веществами окружающей среды (по результатам анализов химического состава почвы и травы укоса) в г. Белогорске являются Cr, Pb и Ni. Корреляционный анализ показал, что накопление Mn и Zn в растениях зависит от содержания этих элементов в почве, а для Cd возможно поглощение элемента из атмосферы через листья. На

формирование полиэлементного состава загрязнения оказывают влияние предприятия топливно-энергетического комплекса и автотранспорт, выбросы которых имеют широкий ареол рассеяния в пределах городских территорий, но в целом экологическая обстановка в г. Белогорске не вызывает опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алексеев, Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
2. *Бородина, Н.А.* Аккумуляция тяжелых металлов хвоей сосны в урбоэкосистеме города Благовещенска // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т.14. № 1 (18). С.1958-1962.
3. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / *А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас.* – М.: Мир, 1989. 439 с.
4. *Ладонин, Д.В.* Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение. 2002. № 6. С. 682-692.
5. *Радомская, В.И.* Оценка загрязнения почвенного покрова г. Благовещенск // *В.И. Радомская, С.М. Радомский, Н.Г. Куимова* / Вестник ДВО РАН. 2008. № 3. С. 37-43.
6. *Саев, Ю.Е.* Геохимия окружающей среды / *Ю.Е. Саев, Б.А. Ревич, Е.П. Янин* и др.. – М.: Недра, 1990. 335 с.
7. *Снакин, В.В.* Состав жидкой фазы почв / *В.В. Снакин, А.А. Присяжная, О.В. Рухович.* – М.: РЭФИА, 1997. 325 с.
8. *Войткевич, Г.В.* Справочник по геохимии / *Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г. Прохоров.* – М.: Недра, 1990. 480 с.
9. *Чимитдоржиева, Г.Д.* Тяжелые металлы (свинец, никель, кадмий) в органической части серых лесных почв Бурятии / *Г.Д. Чимитдоржиева, А.З. Нимбуева, Е.А. Бодеева* // Почвоведение. 2012. № 2. С. 166-172.

BEHAVIOUR OF HEAVY METALS IN SOIL-PLANT SYSTEM IN THE CONDITIONS OF LOW-INDUSTRIAL CITY IN PRIAMURYE – BELOGORSK

© 2013 N.A. Borodina

Institute of Geology and Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk

Features of accumulation and migration of Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, Pb and Mn in soil-plant system under the influence of natural and anthropogenous factors in one of the low-industrial cities in Priamurye – Belogorsk are investigated.

Key words: *city soils, grass, hay crop, heavy metals*