

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ (Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, Cr, Hg) В ТЕХНОЗЕМАХ, ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ

С.В. Бабошкина, И.В. Горбачев, А.В. Пузанов, С.Н. Балыкин

Изучен уровень содержания тяжелых металлов в системе субстрат – надземная часть растения горнопромышленных ландшафтов Северо-Западного Алтая. Произведен сравнительный анализ поведения тяжелых металлов в системе субстрат – растение, почва – растение загрязненных и фоновых территорий. Выявлены закономерности биологического поглощения тяжелых металлов растениями в естественных условиях и в обстановке антропогенного воздействия (антропогенно измененных ландшафтов).

ВВЕДЕНИЕ

Добыча и последующая переработка полезных ископаемых – один наиболее мощных видов техногенеза. Его воздействие на природную среду возрастает и охватывает все большие территории. Площади почти полного уничтожения природных ландшафтов, пространства, занятые скважинами, шахтами, карьерами, отвалами пород и отходами первичного обогащения довольно значительны. На этих участках формируются особые техногенные ландшафтно-геохимические системы – горнопромышленные ландшафты [1]. Более чем двухсотлетнее развитие горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности в Северо-Западном Алтае обусловило существенное загрязнение экосистем тяжелыми металлами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являются техноземы хвостохранилища Алтайского горнообогатительного комбината и Змеиногорской золотоизвлекательной фабрики, почвы сопредельных территорий и растения, произрастающие на бортах отвалов и почвах фоновых участков.

За время работы АГОКа у северо-западной окраины г. Горняка из переработанной руды образовалось два больших хвостохранилища общей площадью ~1 км² и объемом ~11 млн. м³. Оба хвостохранилища ограничены намывными дамбами высотой до 15 м [2]. Одной из главных экологических проблем окрестностей г. Горняка является распространение пыли с поверхности высыхающих хвостохранилищ, что способствует насыщению компонентов окружающей среды: почв, растений, поверхностных вод, воздуха тяжелыми металлами. Кроме того, существует реальная угроза подтопления прилегающих жилых массивов токсично загрязненными шахтными водами [3].

Хвостохранилище Змеиногорской золотоизвлекательной фабрики расположено на правобережной надпойменной террасе р. Корболиха, в пределах водоохраной зоны. В весеннее половодье поток воды подмывает «тело хвостохранилища», вследствие чего происходит вынос технозема в пойму и далее – в Гилевское водохранилище и р. Алей.

Образцы техноземов хвостохранилищ и почв отбирали на глубину 0-10 см. Всего на содержание тяжелых металлов методом атомной абсорбции в аналитическом центре ИГиМ СО РАН было проанализировано по 25 образцов почв (субстратов) и растений.

Поскольку главный путь поступления микроэлементов в растение – это их абсорбция из почвы корнями, нами был рассчитан индекс аккумуляции I_a изучаемых тяжелых металлов как отношение содержания элемента в сухой массе растения к его концентрации в почве или субстрате, на котором произрастает данное растение [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Cu. Медь играет значительную роль в некоторых физиологических процессах растений – фотосинтезе, дыхании, перераспределении углеводов, восстановлении и фиксации азота, метаболизме протеинов [5, 6]. В сухой фитомассе растений незагрязненных экосистем содержание меди составляет 1 – $n \cdot 10$ мг/кг [4, 7]. Кларк меди в почве – 20 мг/кг [8].

Pb. Данных, свидетельствующих о том, что свинец жизненно необходим растениям, нет. Средний уровень его содержания в растениях незагрязненных и безрудных областей довольно постоянен и лежит в пределах 0,1-10 мг/кг сухой массы [4]. Кларк свинца в почве составляет 10 мг/кг [8].

Zn. Цинк является необходимым элементом и выполняет важные функции в мета-

близме растений. Больше всего цинк накапливается в листьях и генеративных органах. При его недостатке у растений наблюдается задержка роста, деформации и хлороз листьев, угнетается образование семян. Среднее содержание цинка в травах по всему миру лежит в пределах 12-47 мг/кг сухой массы [4]. Кларк цинка в почве составляет 60 мг/кг [8].

Cd. Считается что кадмий не входит в число необходимых для растений элементов, однако он эффективно поглощается как корневой системой, так и листьями [4]. Кадмий редкий (Кларк 0,16 мг/кг), рассеянный, сильно токсичный, канцерогенный, кумулятивный металл [4, 6].

Fe. Железо считается важнейшим металлом, участвующим в преобразовании энергии. Природное содержание железа в кормовых растениях изменяется от 18 до 1000 мг/кг сухой массы [4]. Кларк железа в почве составляет 38000 мг/кг [8].

Cr. Участие хрома в метаболизме растений надежно не доказано. Его содержание в надземной части трав составляет 0,6-3,4 мг/кг на сухую массу [4]. Кларк хрома в почве составляет 200 мг/кг [8].

Hg. Ртуть очень редкий сильно токсичный, подвижный (летучий) металл. Его кларк в литосфере составляет 0,033 [7] (0,004 мг/кг [6]), а среднее содержание ртути в растениях составляет 0,012 мг/кг сухой массы [7]. В травах и кормовых бобовых культурах незагрязненных экосистем содержание ртути не превышает 0,1 мг/кг [4]. Интенсивность поглощения ртути растениями сравнима с такими важными микроэлементами, как марганец, цинк, селен, молибден и превышает биологический захват меди. Геохимически Hg близка к Cd, Zn.

По результатам наших исследований, уровни содержания тяжелых металлов в техноземах поверхности АГОКа существенно превышают санитарно-эпидемиологические нормы. В среднем, содержание кадмия в образцах отложений превышает допустимые концентрации в почвах в 16,5 раз, цинка – в 18 раз, меди – в 52 и свинца – в 83 раза [9]. Поэтому содержание тяжелых металлов в растениях, произрастающих на бортах отвалов АГОКа и ЗЗИФ, как правило, в 10-100 раз превышает фоновые концентрации в растениях незагрязненных экосистем (таблица 1).

Таблица 1
Средние содержания тяжелых металлов в растениях хвостохранилищ АГОКа и ЗЗИФ и в растениях незагрязненных экосистем Северо-Западного Алтая

объект	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Cr	Hg
Борта хвостохранилищ АГОКа	63,2	78,4	339	1,1	3869	2,0	0,06
Борта хвостохранилища ЗЗИФ	62,0	347,4	736,1	7,1	477	1,35	0,23
Фоновые участки	8,08	2,99	32,53	0,13	798	2,02	0,074

Таблица 2
Показатели интенсивности (индексы аккумуляции) и группы интенсивности биологического поглощения тяжелых металлов в почвах и техногенных субстратах исследуемых горнопромышленных ландшафтов и по данным различных авторов

	Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Cr	Hg
Хвостохранилища Алтайского ГОКа и Змеиногорской ЗИФ	<u>0,15±0,07</u> 0,42-0,02	<u>0,16±0,06</u> 0,003-0,32	<u>0,45±0,17</u> 0,03-1,95	<u>0,75±0,26</u> 0,06-2,07	<u>0,06±0,02</u> 0,004-0,22	<u>0,08±0,04</u> 0,02-0,26	<u>0,17±0,09</u> 0,01-0,57
Фоновые участки Северо-восточного Алтая	<u>0,28±0,04</u> 0,10-0,44	<u>0,30±0,17</u> 0,02-1,39	<u>0,44±0,07</u> 0,14-0,69	<u>0,68±0,21</u> 0,076-1,8	<u>0,03±0,01</u> 0,003-0,10	<u>0,03±0,01</u> 0,007-0,11	<u>1,30±0,49</u> 0,35-3,92
А. Кабата-Пендиас, Х Пендиас, 1989	0,8	0,6	0,9	10	0,008	0,04	0,7
*Добровольский В.В., 1998	0,12-0,23	0,07-0,15	0,6-1,2	0,02-0,04	0,006	0,1 – 0,2	0,78-1,6
*Перельман А.И., 1975	0,0n-0,n	0,0n-0,n	0,n - n	0,00n-0,0n	0,00n-0,0n	0,00n-0,0n	0,0n-0,n

Примечание. *Индексы аккумуляции рассчитаны по приведенным этими авторами Коэффициентам биологического поглощения (отношение среднего количества элемента в золе растений к его среднему содержанию в почве); исходя из того, что зольность степных растений варьирует в пределах 5-10%, мы принимаем, что *Ia* по величине будет в 10-20 раз меньше КБП

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ (Cu, Pb, Zn, Cd, Fe, Cr, Hg) В ТЕХНОЗЕМАХ, ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ

Из таблицы 2 видно, что полученные нами индексы аккумуляции изученных химических элементов несколько ниже значений I_a , вычисленных А. Кабатой-Пендиас (1989), но сравнимы с ними и ранжируются по группам интенсивности биологического поглощения согласно предыдущим исследованиям [7, 10].

Например, кадмий по расчетам А. Кабаты-Пендиас (1989), является одним из элементов, наиболее активно поглощаемых растениями. По результатам наших исследований, растениями горнопромышленных ландшафтов Северо-Восточного Алтая кадмий также аккумулируется наиболее интенсивно. Однако, по исследованиям других авторов, кадмий является элементом слабого и очень слабого биологического захвата [7, 10].

По вычисленным нами значениям I_a цинк, ртуть, медь, свинец попадают в группу средней степени накопления, аналогично другим исследованиям [4, 7, 10]. А.И. Перельман (1975) относит цинк и ртуть к элементам среднего и интенсивного накопления – по результатам нашего исследования, интенсивность биологического поглощения этих элементов действительно несколько выше остальных.

Слабо аккумулируются растениями, по мнению всех авторов, железо и хром. По результатам наших исследований эти элементы также имеют наиболее низкие индексы аккумуляции – как в условиях природных ландшафтов, так и при антропогенной нагрузке.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в системах субстрат - растение хвостохранилищ АГОКа и ЗИФ и в системе почва - растения незагрязненных экосистем

система		Cu	Pb	Zn	Cd	Fe	Cr	Hg
<i>Phragmites australis</i> – Тростник южный								
АГО	Растение	11	2,8	65	0,05	216	0,5	0,029
	Субстрат	293	988	241	0,23	57800	22	0,37
фон	Растение	7,8	4,0	28	0,08	96	0,5	0,032
	Почва	31	20	78	0,18	33000	76	0,051
<i>Medicago falcate</i> – Люцерна серповидная								
АГО	Растение	50	66	186	0,64	3310	1,4	0,042
	Субстрат	858	8120	1740	5,6	70700	24	0,45
ЗИФ	Растение	83	600	730	14	507	1,4	0,26
	Субстрат	412	2420	1880	7,5	7200	14	1,5
фон	Растение	7,8	2,6	23	0,03	365	1,1	0,042
	Почва	27	23	82	0,40	28700	69	0,062
<i>Gypsophila patrinii</i> – Качим Патрэна								
ЗИФ	Растение	90	305	2135	17	662	1,2	0,27
	Субстрат	354	1775	1920	8,7	9900	17	2,5
фон	Растение	2,3	2,2	10	0,11	257	0,9	0,034
	Почва	22	16	74	0,20	28700	63	0,039
<i>Echium vulgare</i> – Синяк обыкновенный								
ЗИФ	Растение	53	266	303	2,2	653	1,7	0,12
	Субстрат	403	2040	1990	7,6	7200	14	1,2
фон	Растение	12	2,7	28	0,06	655	1,7	0,20
	Почва	27	16	62	0,14	27100	52	0,051
<i>Cirsium setosum</i> – Бодяк щетинистый								
ЗИФ	Растение	63	315	449	4,1	839	1,8	0,36
	Субстрат	231	1290	2260	11,5	26200	54	1,2
фон	Растение	14	4,4	51	0,19	1610	3,8	0,13
	Почва	36	18	74	0,17	33300	75	0,096
<i>Melilotus suaveolens</i> – Донник ароматный								
ЗИФ	Растение	9,2	27	52	0,52	95	0,7	0,034
	Субстрат	435	2310	1920	8,5	9200	16	2,7
фон	Растение	5,7	1,6	17	0,04	136	0,6	0,034
	Почва	29	20	88	0,18	36300	79	0,045

По расчетам А.И. Перельмана (1975) и А. Кабаты-Пендиас (1989), ртуть является элементом средней степени накопления. По нашим данным для незагрязненных экосистем (средний $I_a=1,3$) и по мнению В.В. Доб-

ровольского (1998) накопление ртути растительностью происходит наиболее интенсивно. Объяснить этот факт для хвостохранилища ЗИФ можно объяснить тем, что здесь в

свое время осуществлялась добыча золота методом амальгамирования.

В таблице 3 приведены результаты анализа некоторых «сквозных» видов растений, произрастающих на бортах хвостохранилищ и в условиях природных экосистем.

Большинство исследуемых нами растений являются видами с барьерным типом поглощения микроэлементов [11]. Концентрации тяжелых металлов в Тростнике южном и Доннике ароматном, очевидно, являются предельными: растения эти, произрастая в условиях антропогенной нагрузки, не допускают дополнительного поступления тяжелых металлов в свои ткани, превышающее фоновое содержание. С увеличением концентрации тяжелых металлов в субстрате в тканях растений Люцерна серповидная, Синяк обыкновенный, Бодяк щетинистый увеличение концентрации тяжелых металлов происходит, однако в гораздо меньшей степени, чем увеличение концентрации тяжелых металлов в субстрате.

При увеличении концентрации изученных металлов в субстрате происходит ответное, пропорциональное или в гораздо большей степени, увеличение концентрации элементов в тканях растения Качим Патрэна. В этом растении обнаружено максимальное среди всех растений отвалов содержание цинка и кадмия.

ВЫВОДЫ

1. В растениях, произрастающих на загрязненных тяжелыми металлами субстратах отмечен их высокий уровень концентрации.

2. На основании полученных средних значений коэффициента I_a можно делать теоретические расчеты загрязнения почв или растений.

3. Большинство исследуемых нами растений являются видами с барьерным типом поглощения микроэлементов.

Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ 06-06-18007е и интеграционного проекта ОНЗ-3.1

ЛИТЕРАТУРА

1. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта: Учебное пособие. Издание 3-е, переработанное и дополненное. – М.: Астрель-2000, 1999. – 768 с.
2. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на золото и серебро в пределах техногенных образований золотушинской обогатительной фабрики и локтевского сереброплавильного завода за 1999-2001 гг. Книга 1. – Змеиногорск, 2001 г.
3. Техничко-экономическое обоснование защиты г. Горняк от подтопления подземными водами. – Белгород, 1997.
4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. – Л.: Изд-во Наука, 1974. – 324 с.
6. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова. – М.: Экология, 1997. – Кн. 5.: Редкие d-элементы. – 576 с.
7. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1998. – 413 с.
8. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
9. Горбачев И.В., Пузанов А.В., Бабошкина С.В. и др. Влияние хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината на окружающую среду // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4, Ч. 2. – С. 179-182.
10. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высш. школа, 1975. – 342 с.
11. Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. – М.: Недра, 1974. – 142 с.

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕЙ ОБИ

Т.А. Степченко, В.А. Жоров, О.В. Ловцкая

Рассматривается качество поверхностных вод бассейнов рек Томь, Иня в пределах Кемеровской области, реки Обь на территории Алтайского края. Показывается, что использование данных за длительные периоды времени позволяет оценить состояние поверхностных вод в различных пунктах измерений и определить тенденцию его изменения.

ВВЕДЕНИЕ

Существующая система мониторинга качества поверхностных вод находится сегодня в крайне неудовлетворительном состоянии. Наблюдения производятся весьма редко и не

освещают все фазы водного режима водотоков. В результате можно уловить только общие долговременные тенденции изменения качества поверхностных вод. К попыткам же численного учета сосредоточенного и диф-