

ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ МЫШЬЯКА РАСТЕНИЯМИ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИРОДНОЙ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ ЧИТИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрены некоторые особенности поглощения мышьяка органами растений в природных и геотехногенных ландшафтах юга Читинской области. Установлено, что коэффициент биологического поглощения мышьяка для большинства изученных растений не превышает 0,5.

С момента открытия элемента ок. 1250 г. и до наших дней мышьяк и его соединения исследуют и используют довольно широко. Несмотря на свою токсичность, его соединения применяют в сельском хозяйстве, медицине, цветной металлургии, при производстве полупроводниковых материалов, микросхем и волоконной оптики. В конце 80-х гг. XX в. была установлена его жизненная необходимость для домашних животных [1].

Изучению геохимии и минералогии мышьяка в почвах посвящены работы А.П. Виноградова (1950, 1957), Е.А. Карповой, Г.В. Мотузовой, Н.Г. Зырина (1987), распределение его в природных и техногенных ландшафтах – А.И. Перельмана (1975, 1982), В.С. Аржанова, П.В. Елпатьевского (1983) и др.

Экологическая геохимия и биогеохимия мышьяка и его соединений рассматривались В.В. Добровольским (1983, 1985, 1998, 2003), Ю.В. Алексеевым (1987), В.А. Алексеенко (2000), В.В. Ивановым (1996) и др.

Обобщенные материалы по изучению мышьяка и его соединений представлены в работах В.С. Гамаюровой (Мышьяк в экологии и биологии, 1993) и Н.И. Копылова и Ю.Д. Каминского (Мышьяк, 2004) Исследования за рубежом ведутся в нескольких направлениях. Наибольший вклад в обобщение материалов по биогеохимии мышьяка внесли Р.Р. Брукс (1983), А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас (1989).

Читинская область представляет собой крупнейший регион по запасам минерального сырья. Горное производство является важнейшей отраслью народного хозяйства; этот фактор на протяжении последних 300 лет оказывает негативное влияние на окружающую среду. В комплексе вредных воздействий особую группу представляет перераспределение токсичных элементов и поступление их в ландшафт за счет выемки горных пород геологического субстрата. Месторождения представляют собой природные геохимические аномалии, поэтому после их отработки на дневной поверхности оказываются горные породы, при разрушении которых аномально высокие содержания вредных химических элементов становятся доступными для биоты. Одним из таких объектов является Шерловогорское висмут-бериллий-олово-вольфрамовое месторождение с наложенной мышьяковой минерализацией. Олово-полиметаллическую руду добывали открытым способом, вследствие чего образовались геотехногенные массивы (карьер, отвалы бедных и забалансовых руд, хвостохранилище). Масса накопленных горных пород составила 17617,0 тыс. т., площадь хвостохранилища 64,5 га [2]. Горные породы геологического субстрата, кроме полезных химических элементов, содержат также и вредные примеси, например мышьяк. И если недоизвлечение свинца, цинка, олова из руды связано с несо-

вершенством технологии, то в мышьяке просто не было потребности. Содержание мышьяка в горных породах составляет в среднем 1029 (от 17 до 14700) г/т. Главный мышьяксодеждающий минерал – арсенопирит. В качестве примеси он присутствует во всех рудопроявлениях олова, он установлен на всех участках, продуктивных на камнесамоцветное сырье, является примесью в кварце, молибдените, во флюорите, в пирите.

Учитывая широкое распространение мышьяксодеждающих горных пород геологического субстрата, с целью выявления интенсивности биологического захвата мышьяка растениями и возможного влияния на здоровье населения, вследствие участия растений в трофических цепях, в течение полевых сезонов 2002–2007 гг. на трех участках района Шерловогорского месторождения были отобраны пробы почв и растений. Участки представляют собой собственно территорию месторождения, где рельеф расчленен геологоразведочными работами (шурфы, канавы, копуши), геотехногенные массивы (карьер, отвалы бедных и забалансовых руд и хвостохранилище) и участок за пределами месторождения (фоновый), но в пределах рудомагматической системы. На каждом участке наблюдения проводили по точкам, хорошо изученным в геологическом отношении, где отбирали объединенные пробы доминантных видов растений из каждого яруса, которые встречаются на всех участках. Отбор почвенных проб проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.4. 02–84 по искусственным обнажениям. Растения делили на органы. Корни и наиболее запыленные части растений промывали сначала струей проточной воды, а после дистиллированной, затем высушивали до воздушно-сухого состояния. Химический анализ растений проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрофотометре ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer (США) в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН (аналитики В.Е. Зазулина, А.Ю. Будкина, Е.М. Голубева и Д.В. Авдеев). Почвенные образцы анализировали методом РФА в Геологическом институте СО РАН (аналитики Б.Ж. Жалсаарев, Ж.Ш. Ринчинова).

В данной работе представлены результаты исследования особенностей биологического захвата мышьяка в природных и геотехногенных системах на примере четырех видов растений. Это горец узколистный (*Polygonum angustifolium Pallas*), полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii Weber ex Stechm*), подмаренник настоящий (*Gallium verum L.*) и боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea Pallas*).

Известно, что мышьяк входит в состав многих растений, но его биохимическая роль практически не изучена

[3]. Токсичность мышьяка по отношению к растениям Р.Р. Брукс (1986) оценивает как сильную, Ю.В. Алексеев (1987) относит мышьяк к группе умеренно токсичных элементов. Токсическое действие мышьяка связывают с его способностью конкурировать с жизненно важными элементами. По данным [4] большие количества мышьяка в почве не представляют опасности для растений благодаря тому, что большинство из них могут выводить данный элемент из тканей надземных органов.

Кларк мышьяка для растений составляет 0,1 мг/кг [5], 0,2 мг/кг [6]. Концентрации мышьяка в растениях на незагрязненных почвах, по данным В.С. Гамаюровой, 0,01–5 мг/кг, по А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас варьируют в пределах 0,009–1,5 мг/кг. Критическая концентрация мышьяка в листьях для сельскохозяйственных культур, снижающих продуктивность на 10%, равна 20 мг/кг [4]. Коэффициент биологического поглощения

мышьяка (КБП), по А.И. Перельману, составляет $n - 0, n$ [7], по В.В. Добровольскому 1,58 [8]. КБП мышьяка для изученных растений (см. табл. 2) заметно отличается от [8]. Вероятно потому, что КБП по В.В. Добровольскому рассчитан глобально, для всей территории суши, а в настоящем исследовании приведены значения КБП для локальной территории природной геохимической аномалии. Кроме этого, для подсчета КБП почву отбирали прямо из под растения и принимали за КБП отношение содержания мышьяка в растении к содержанию мышьяка в почве на данном участке.

Полученные результаты (табл. 1) свидетельствуют о том, что в почвах месторождения, фонового участка и в субстрате хвостохранилища содержания мышьяка значительно превышают ПДК, но т.к. территория представляет собой природную геохимическую аномалию, ПДК приведен лишь для сравнения.

Таблица 1

Содержание мышьяка в почве и субстрате

Место отбора проб	ПДК, г/т [5]	Среднее, г/т	Min, г/т	Max, г/т	Коэффициент вариации, %	Число проб
Месторождение	2,0	667	53	18000	17,54	161
Геотехногенные массивы		278	2,5	1000	14,75	50
Фоновый участок		14,8	2,5	27	125	11

Данные табл. 1 указывают на то, что наибольшие содержания мышьяка в почвах характерны для месторождения, что хорошо увязывается с широким развитием мышьяковой минерализации. Субстрат геотехногенных массивов содержит в 2 и более раз меньше мышьяка, чем почвы месторождения, а фоновый участок – в 45 раз. Однако почвы фонового участка в 7 раз превышают ПДК, что указывает на принадлежность территории к природной геохимической аномалии.

КБП мышьяка растениями изучаемого района неодинаков (табл. 2), наибольшие его значения отмечены для растений месторождения. Здесь максимальный КБП характерен для корней всех изученных растений, а минимальный – для цветов и бутонов. Для фонового участка и геотехногенных массивов КБП мышьяка не превышает 0,06 и 0,02 соответственно. Среди изученных растений можно выделить горец узколистный и боярышник кроваво-

во-красный как растения, которые на разных участках с разным содержанием мышьяка в почве проявляют единую тенденцию к его захвату разными органами (рис. 1–2). Различия же в захвате мышьяка корнями боярышника кроваво-красного можно объяснить следующим образом. Благодаря способности корней проникать на большую глубину на месторождении они встречаются с мышьяковыми жилами, однако на фоновом участке наложенная мышьяковая минерализация не наблюдается, поэтому корни боярышника кроваво-красного на месторождении имеют высокий КБП мышьяка по сравнению с тем же на фоновом участке.

Шерловгорский горнорудный район представляет собой сложное сочетание природных, природно-техногенных и геотехногенных геохимических ландшафтов, где основным источником мышьяка служат горные породы геологического субстрата.

Таблица 2

Коэффициент биологического поглощения мышьяка растениями района

Название растения	Число проб	Орган растения	Месторождение	Геотехногенные массивы	Фоновый участок
			Коэффициент биологического поглощения		
Горец узколистный (<i>Polygonum angustifolium</i> Pallas)	57	Цветы	0,001	–	0,007
		Листья	0,03	0,04	0,007
		Стебель	0,02	0,06	0,02
		Корень	0,5	–	0,05
Польнь Гмелина (<i>Artemisia gmelinii</i> Weber ex Stechm)	54	Цветы	0,007	0,02	–
		Листья	0,01	0,05	–
		Стебель	0,006	0,003	$< 1 \times 10^{-6}$
		Корень	0,1	0,02	$< 1 \times 10^{-6}$
Подмаренник настоящий настоящий (<i>Gallium verum</i> L.)	31	Цветы	0,01	0,03	0,02
		Листья	0,1	0,03	0,01
		Стебель	0,01	0,01	$< 1 \times 10^{-6}$
		Корень	0,1	0,01	0,003
Боярышник кроваво-красный (<i>Crataegus sanguinea</i> Pallas)	30	Плоды	0,01	0,0005	0,009
		Бутоны	$< 2 \times 10^{-7}$	–	0,008
		Листья	0,02	0,005	0,02
		Ветви	0,003	–	0,006
		Корень	0,1	–	0,005

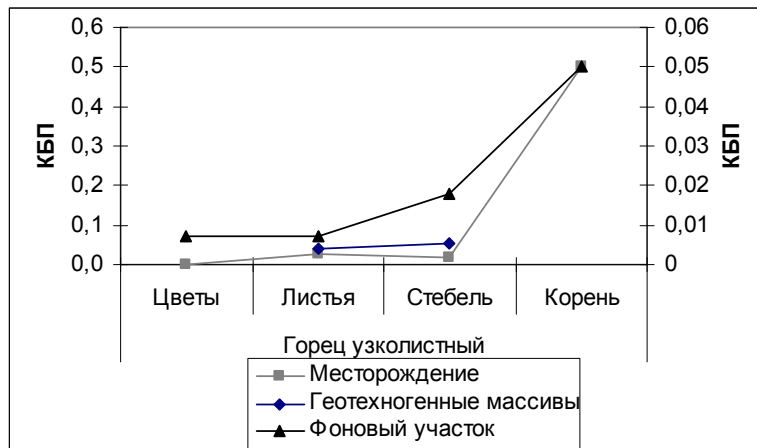


Рис. 1. КБП горца узколистого на разных участках района

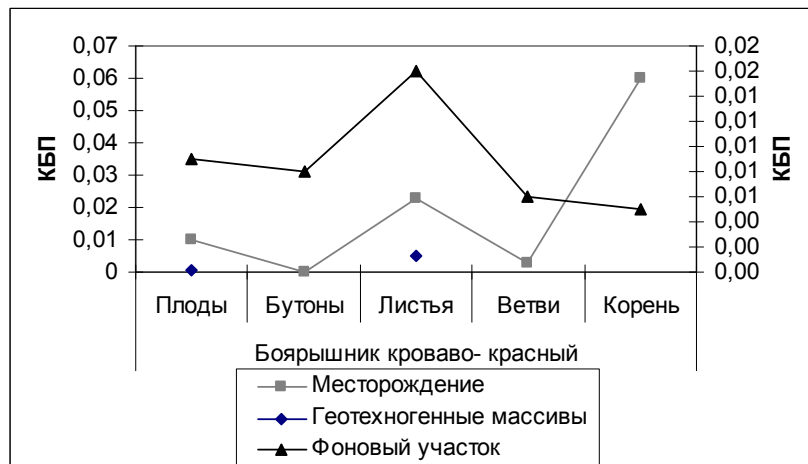


Рис. 2. КБП боярышника кроваво-красного на разных участках района

Мышьяк, несмотря на токсичность и высокое содержание в почве, существенно не накапливается в растениях. Это – лишь косвенное доказательство того, что данный элемент присутствует в почве в труднодоступной для растений форме или растение обладает высокой степенью толерантности к избытку мышьяка в почве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамаюрова В.С. Мышьяк в экологии и биологии. М.: Наука, 1993. 208 с.
2. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел / Г.А. Юргенсон, В.С. Четкин, В.М. Асоков и др. Новосибирск: Наука, 1999. 574 с.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
4. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
5. Федорчук В.П. Минеральное сырье. Мышьяк: Справочник. М.: Геоинформмарк, 1999. 23 с.
6. Брукс Р.Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых: Пер. с англ. М.: Недра, 1986. 311 с.
7. Инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1965. 230 с.
8. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2003. 400 с.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 9 апреля 2008 г.