

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ МЫШЬЯКА В СИСТЕМЕ ТЕХНОЗЕМ – ТОПОЛЬ ДУШИСТЫЙ (*POPULUS SUAVEOLENS FISCHER*) В АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ ШЕРЛОВОГОРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

В статье рассматриваются биогеохимические особенности поведения мышьяка в системе технозем – растение.

*Установлено его высокое содержание (до 1700 мг/кг) в техноземах. *P. suaveolens* содержит в своих органах до 17,2 мг/кг As.*

Ключевые слова: мышьяк, технозем, органы растения, карьер, хвостохранилище, коэффициент биологического поглощения (КБП).

M.A. Solodukhina

ARSENIC BEHAVIOR BIOGEOCHEMICAL PECULIARITIES IN THE SYSTEM “TECHICAL SOIL– POPLAR” (*POPULUS SUAVEOLENS FISCHER*) IN ANTHROPOGENIC LANDSCAPES OF THE TRANSBAIKALIA TERRITORY SHERLOVOGORSKIY ORE REGION

The biogeochemical peculiarities of arsenic (As) behavior in the system “technical soil-plant” are considered in the article.

*Its high content (up to 1700 mg/kg) in technical soils is determined. *P. suaveolens* contains in its organs up to 17,2 mg/kg of As.*

Key words: arsenic, technological soil, plant organs, open pit, tailing storehouse, biological absorption coefficient (BAC).

Введение. Мышьяк (As) – канцерогенный химический элемент, при длительном употреблении которого могут возникнуть опасные заболевания (кератоз, арсеникоз, онкологические, кожные и др.) [10]. Он поражает все органы и ткани человека, что приводит к необратимым изменениям в организме, инвалидности и смерти [11].

Несмотря на длительное изучение As и его соединений, биогеохимия этого элемента изучена недостаточно.

В Забайкальском крае массы извлеченных из недр горных пород (не менее 340 млн т) с высоким содержанием токсичных элементов (мышьяка, свинца, цинка, кадмия, меди и др.) занимают более 4 тыс. га земель [2]. Они сосредоточены в центральной и юго-восточной частях. Из них 4,5 тыс. т As складировано в отходах горнодобывающих предприятий [2].

Цель исследования. Изучение биогеохимического поведения мышьяка в системе технозем – растение.

Объект, материал и методы исследования. В течение полевых сезонов 2002–2010 гг. на территории Шерловогорского рудного района были отобраны пробы техноземов и растений. В данной работе приведены результаты исследования поглощения мышьяка растениями на примере тополя душистого (*P. suaveolens*), поскольку он является одним из пионерных видов растений, заселяющих техногенные массивы.

Шерловогорский рудный район находится на юго-востоке Забайкальского края, в Борзинском административном районе. Здесь около 300 лет функционировал горно-промышленный комплекс, в результате деятельности которого образовались техногенные массивы с высоким содержанием токсичных элементов, в том числе мышьяка [7].

Участки отбора проб представляют собой антропогенные ландшафты. Основным типом этих ландшафтов, согласно классификации Ф.Н. Милькова (1973), на изучаемой территории является карьерно-отвальный комплекс, который образовался в результате деятельности Шерловогорского горно-обогатительного комбината. Он включает в себя карьер, хвостохранилище, склады и отвалы пустой, забалансовой и подготовленной к переработке горной породы (техногенные массивы). Общая площадь, занятая

карьерно-отвальным комплексом ландшафтов, на территории всего района составляет более 380 га. Из них площадь карьера сопки Большая около 150 га, хвостохранилища – 80 га, площадь земель, занятых отвалами и складами руды, – более 150 га [4]. Объем переотложенного каменного материала на территории карьерно-отвального комплекса приведен в таблице 1.

Таблица 1

Объем переотложенного техническими средствами каменного материала и занимаемые им площади в Шерловогорском рудном районе [4]

Наименование	Виды техногенного каменного материала				
	Хвостохранилище обогатительной фабрики	Горные породы вскрыши	Отвалы бедных оловянных руд	Отвалы бедных оловяноцинковых руд	Отвалы свинцовоцинковых руд
Площадь, га	80	210	Общая площадь 53		
Объем каменного материала, тыс. т	17617,3	133587	1430	3243	2434

Карьер, образовавшийся в результате добычи олово-полиметаллических руд, представляет собой воронку, на дне которой образовалось техногенное озеро. Тип местности – карьерно-отвальная пустошь. В карьере максимально залужен его западный фланг, здесь распространены древесно-кустарниковые заросли естественного происхождения. Это является следствием благоприятного географического положения (достаточная освещенность, защищенность от ветра) и процессов геотехногенеза.

Горные породы вскрыши карьера складированы в трех отвалах: Южном, Восточном и Северном. Они представляют собой высокие плато (от 17 до 46 м в высоту), сложенные щебнисто-глыбовым материалом – обнаженный карьерно-отвальный тип местности.

Наиболее распространенными видами растений, заселяющими поверхность отвалов, являются тополь душистый, береза повислая и мак голостебельный. Реже встречается осина, таран узколистый и полынь Гмелина. Проективное покрытие составляет менее 5 %. Это связано с тем, что технозем отвалов представляет собой горные породы разной крупности, от глыб более 3 м в диаметре до мелкозема, в состав которого входят рудные минералы и продукты их разрушения. Химические элементы, в том числе и токсичные, образуют ореолы рассеяния, в пределах которых распространение растительности затруднено.

Кроме этого, указанные техногенные массивы располагаются на высотах от 842 до 950 м над уровнем моря, что в силу природно-климатических особенностей территории существенно замедляет процесс почвообразования. В итоге зарастание поверхности происходит очень медленно.

В результате полевых работ установлено, что Северный отвал зарастает более интенсивно, чем другие отвалы, поэтому в данной работе представлены результаты исследования именно этого техногенного массива.

Хвостохранилище Шерловогорского ГОКа представляет собой обезвоженное озеро, озерно-холмистый обнажено-пустошный тип местности. Технозем состоит из горных пород разной крупности, но преобладает зернисто-илистый материал класса – 0,2 мм, который является продуктом переработки руд. Руда состояла из рудных и нерудных минералов: пирит, арсенопирит, халькопирит, касситерит, сфалерит, галенит, турмалин, сидерит, флюорит [4]. После закрытия ГОКа в 1993 году хвостохранилище было обезвожено, и лишь в 2004–2005 гг. его частично засыпали неравномерным слоем каменного материала с отвалов и складов бедных руд. В северной и северо-восточной его частях лежат глыбы липаритов, привезенные сюда для засыпки его пылящей поверхности.

В хвостохранилище растительность распространяется неширокой полосой около 20–30 м, простираясь с юго-запада на северо-восток вдоль временного водоема (во влажный период года) и на дамбе. Поскольку поверхность хвостохранилища более увлажнена, чем другие техногенные массивы, то и его зарастание проходит более интенсивно. Растительное сообщество представлено тополем душистым, березой повислой, пятилистниками (кустарниковым и мелколистным), полынью Гмелина, тараном узколистым, дендрантемой Завадского, иван-чаем, маком голостебельным, злаками. На хвостохранилище периодически пасется крупный рогатый скот жителей пгт. Шерловая Гора.

Отбор проб технозема проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.4. 02-84. Растение отбирали и делили на органы. Корни и наиболее запыленные части промывали сначала струей проточной воды, а после дистиллированной, и высушивали до воздушно-сухого состояния. Во избежание потерь As пробы растений не озоляли, а непосредственно переводили в раствор. Химический анализ растений выполняли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрофотометре ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН аналитики: В.Е. Зазулина, А.Ю. Лушников, Е.М. Голубева и Д.В. Авдеев. Анализ химического состава технозема выполнен рентгеновским флуоресцентным анализом (РФА) в аналитической лаборатории ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) на спектрометре VRA-30 канд. техн. наук Б.Ж. Жалсараевым, В.А. Ивановой, И.В. Боржоновой, И.В. Бардамовой и Ж.Ш. Ринчиновой.

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные данные свидетельствуют о том, в техноземах антропогенных ландшафтов валовое содержание As значительно превышает ПДК и кларк (табл. 2). Такая его концентрация закономерна и обусловлена тем, что он присутствует во всех месторождениях и рудопроявлениях олова, вольфрама, цветных металлов и самоцветов. Его максимальное содержание в горных породах геологического субстрата составляет 1,47 % [5].

Таблица 2

Содержание мышьяка в техноземах Шерловогоского рудного района, мг/кг

Место отбора проб	x	σ	min	max	x/ПДК	x/кларк*	n
Карьер	172	152	3	790	86	34	40
Северный отвал	578	412	250	1427	289	116	7
Хвостохранилище	529	426	44	1700	265	106	40

Примечание: x – среднее содержание; σ – стандартное отклонение; min – минимум; max – максимум; * кларк по [1]; n – число проб.

В результате деятельности Шерловогоского ГОКа горные породы с высоким содержанием As и отходы их переработки переместили в техногенные массивы. Поскольку рекультивацию не проводили, а мышьяк не был предметом извлечения, то и его содержание осталось на прежнем уровне.

Несмотря на столь высокую концентрацию As в техноземах, *P. suaveolens* поглощает малую долю от его валового содержания (табл. 3).

Таблица 3

Среднее содержание As в органах *P. suaveolens* (в числителе – среднее содержание, в знаменателе размах содержаний), мг/кг

Орган растения	Место отбора проб (число экземпляров в выборке)		
	Карьер (45)	Северный отвал (30)	Хвостохранилище (135)
Листья	0,8	2,9	4,6
	0,3–1,5	0,8–5,1	0,2–17,2
Ветви	2,3	1,6	1,7
	2–2,5	1,3–2	0,2–4,2
Корни	0,4	4,0	4,0
	0,08–0,87	1,3–6,7	0,5–14,2

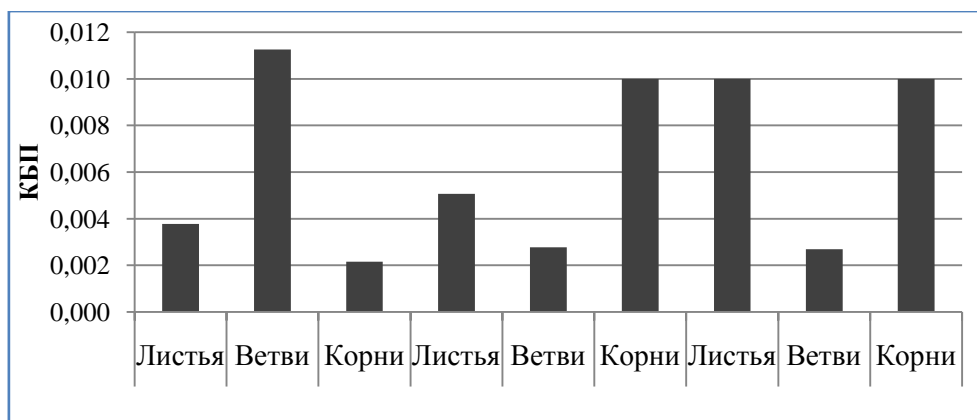
Из таблицы следует, что среднее содержание As в органах *P. suaveolens* не превышает мировой фоновой концентрации, которая, по данным [3], составляет 1,5–5 мг/кг, но оно значительно выше растительного кларка (см. табл. 3). На разных участках опробования, в разных органах оно неодинаковое. Это связано с тем, что As в техноземах присутствует в различных формах. Известно, что в хвостохранилище около 40% от валового содержания составляет его подвижная форма [8]. По карьеру и Северному отвалу опубликованных дан-

ных пока нет. Тем не менее для других древесных растений Шерловогорского рудного района установлены аналогичные особенности биологического захвата As [6]. Опыт показывает, что древесные растения менее интенсивно, чем травянистые, вовлекают As в биологический круговорот, они обладают барьерностью по отношению к его высокой концентрации в питающей среде [5]. Группой иностранных ученых была обнаружена устойчивость некоторых сельскохозяйственных растений к высокому содержанию мышьяка в почве [9], что указывает на наличие у растений фильтров-барьеров.

Установлено, что в подавляющем большинстве случаев (в 165 из 210) накопление мышьяка происходит в корнях и листьях *P. suaveolens*. При этом в стеблях содержание As существенно меньше (в 2 и более раз), чем в других органах. Длительное накопление As происходит в корнях, поскольку лист – орган временный.

Интенсивность биологического поглощения As разными органами *P. suaveolens*, выраженная через КБП, представлена на рисунке. Исходя из приведенных данных, следует, что на Северном отвале и в хвостохранилище КБП As корнями и листьями больше, чем ветвями, а в карьере наоборот.

КБП As изученными растениями не превышает 0,12, поэтому рационально использовать это растение для биологической рекультивации техногенных массивов с высоким содержанием As в условиях юго-востока Забайкальского края. Это позволит решить две задачи: 1) уменьшить механическую миграцию мышьяка в составе пылеватых частиц в результате пыления поверхности отвалов и хвостохранилища за счет закрепления грунта; 2) исключить попадание As в продукты питания животноводства местного населения, поскольку *P. suaveolens* домашние животные не едят.



КБП As *P. suaveolens*

Выводы

1. Установлено высокое содержание мышьяка в технозомах техногенных массивов Шерловогорского рудного района Забайкальского края.
2. Среднее содержание As в *P. suaveolens* не превышает мировую фоновую концентрацию в растениях, но существенно выше кларка.
3. Длительное накопление As происходит в корнях *P. suaveolens*. КБП As органами растения не превышает 0,12.
4. Учитывая установленные биогеохимические особенности, рационально использовать это растение для биологической рекультивации техногенных массивов изученного района.

Литература

1. Брукс Р.Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 311 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 [и др.] – Новосибирск: Наука, 1999. – 574 с.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

4. Кадастр техногенных скоплений горнорудных предприятий Читинской области / Ю.Ф. Харитонов [и др.]. – Чита: Изд-во ЗабНИ, 1998. – 960 с.
5. Солодухина М.А. Мышьяк в компонентах ландшафтов Шерловогорского рудного района: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Томск, 2012. – 19 с.
6. Солодухина М.А. О содержании мышьяка в некоторых лекарственных растениях Забайкальского края // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №6.
7. Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Гудкова О.В. К основам биогеохимического мониторинга в геотехногенных ландшафтах горнорудных территорий // Вестн. МАНЭБ. – Т. 11, № 5. – 2006. – С. 119–123.
8. Юргенсон Г.А., Корешкова Ю.В. Формы нахождения мышьяка в почвогрунтах Шерловогорского горнорудного района Забайкальского края // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. – Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2010. – С. 19–22.
9. Arsenic contamination of soils and agricultural plants through irrigation water in Nepal / B.M. Dahal, M. Fuerhacker, A. Mentler [et al.] // Environmental Pollution. – 2008. – №155. – P. 157–163.
10. Yan ZHENG Mobilization of natural arsenic in groundwater: targeting low arsenic aquifers in high arsenic occurrence areas // Geology in China. – 2010. – Vol. 37, № 3. – P. 723–728.
11. Smandrasekharam D. Scinario of arsenic pollution in groundwater: West Bengal // Geology in China. – 2012. – Vol. 37, № 3. – P. 712–722.



УДК 630*181.351

В.И. Уфимцев

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮГА КУЗБАССА НА ПРОИЗРАСТАНИЕ КУЛЬТУР КЕДРА СИБИРСКОГО

Статья посвящена исследованию комплекса экологических условий отвалов, под влиянием которых протекает ход роста, формируются морфометрические показатели и жизненное состояние древостоев кедра сибирского.

Ключевые слова: кедр сибирский, отвалы вскрышных пород, эмбриоземы, классы бонитета, твердость почвы, густота древостоя.

V.I. Ufimtsev

COAL FIELD ECOLOGICAL CONDITION INFLUENCE ON SIBERIAN CEDAR CULTURE GROWTH IN THE SOUTH KUZNETSK BASIN

The article is devoted to the research of the dump ecological condition complex that influences growth process, morphometric indicator formation and the forest stand vital condition of Siberian cedar.

Key words: Siberian cedar, overburden dumps, embryo soils, quality of locality classes, soil hardness, forest stand density.

Введение. Формирование растительного покрова является одним из важнейших факторов оптимизации природной среды на территориях разработки месторождений полезных ископаемых. В Кузбассе, где в результате добычи каменного угля природные ландшафты испытывают колоссальный экологический прессинг, вопросы адаптации растительности к изменяющимся условиям окружающей среды приобретают глубокий научный смысл.

Угольные месторождения Юга Кузбасса (Междуреченский район, южная часть Новокузнецкого района), по лесорастительному районированию Г.В. Крылова [5], расположены в подпорье среднегорной черной тайги Кузнецкого черного округа на границе Кузнецко-Алатауского горно-таежного и Горношорского