

На правах рукописи

Солодухина Мария Анатольевна

МЫШЬЯК В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТОВ ШЕРЛОВОГОРСКОГО
РУДНОГО РАЙОНА

Специальность 25.00.23 – Физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Томск – 2012

Работа выполнена в лаборатории геохимии и рудогенеза Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор
Юргенсон Георгий Александрович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Середина Валентина Петровна

кандидат географических наук, доцент
Квасникова Зоя Николаевна

Ведущая организация: Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт географии им. В.Б. Сочавы
Сибирского отделения Российской
академии наук

Защита состоится 30 мая 2012 года в 14 часов 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.267.15 при Томском государственном университете по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, ауд. 119.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан ____ апреля 2012 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
кандидат географических наук, доцент

В.С. Хромых

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Мышьяк (As) – канцерогенный химический элемент, при длительном употреблении которого могут возникнуть опасные заболевания (кератоз, арсеникоз, онкологические, кожные и другие) (Yan ZHENG, 2010; Toshiaki ITO e.a, 2010). Он поражает все органы и ткани человека, что приводит к необратимым изменениям в организме, инвалидности и смерти (Chandrasekharam, 2010). По данным Всемирной организации здравоохранения, более 100 млн. человек из разных стран мира подвержены влиянию опасной концентрации As в грунтовой воде вследствие её природного загрязнения (<http://www.who.int/ru>). К таким странам относятся Индия, Бангладеш, Китай, Таиланд, Вьетнам, Тайвань, США, Мексика, Чили, Аргентина, Боливия, Сальвадор, Никарагуа, Перу, Венгрия, Финляндия и другие. На территории государств южной и юго-восточной Азии выделен так называемый мышьяковый пояс, Arsenic Belt (Yan ZHENG, 2010), в грунтовых водах которого установлено высокое природное содержание мышьяка и фтора, что вызывает арсеникоз и флюороз у местного населения (Yan ZHENG, 2010; Toshiaki ITO e.a, 2010). С 1958 г. Всемирная организация здравоохранения активно занимается вопросами изучения влияния As на здоровье человека. За это время ученые установили причины возникновения «мышьякового кризиса», открыли способы контроля и очистки питьевой воды от избытка As, доказали его канцерогенность. Тем не менее, проблема мышьякового загрязнения окружающей среды остается актуальной. Имеются сведения о его высоком содержании в основных продуктах питания в странах юго-восточной Азии (Chandrasekharam, 2010). Биогеохимические особенности поведения As изучены крайне слабо.

В России, согласно ГОСТу 17.4.1.02-83, As относится к 1 классу опасности. Известно, что он является попутным компонентом в рудах золоторудных, полиметаллических, олово-полиметаллических и других месторождений Забайкалья.

Шерловогорский рудный район находится на юго-востоке Забайкальского края, в Борзинском административном районе, северо-западнее поселка Шерловая Гора (Геологические исследования..., 1999). Здесь расположено олово-вольфрам-висмут-бериллиевое месторождение с наложенной мышьяковой минерализацией Шерловая Гора, крупное олово-полиметаллическое месторождение Сопка Большая и находящееся к востоку от него месторождение Восточная аномалия. Это типичный район на территории которого около 300 лет функционировал горно-промышленный комплекс. В результате деятельности Шерловогорского горно-обогачительного комбината образовались техногенные массивы с высоким содержанием токсичных элементов, в том числе As (Информационный отчет, 1998; Гудкова и др., 2006). Масса горных пород, накопленная только в хвостохранилище, составила 17617 тыс. т (Геологические исследования...,

1999), а содержание As в его техноземах значительно превышает установленные нормы до 850 ПДК (Информационный отчет, 1998).

Поскольку существует вероятность попадания этого токсичного элемента в пищевые цепи, а его геохимическое и биогеохимическое поведение в компонентах ландшафтов данной территории не изучалось, то и актуальность работы представляется значимой. Она определяется необходимостью отследить источники поступления As в компоненты ландшафтов, изучить его доступность для растений, пути миграции и влияние на гигиенические условия окружающей среды.

Целью исследования является изучение содержания и закономерностей пространственного распределения As в компонентах природных и антропогенных ландшафтов, выявление особенностей его геохимического и биогеохимического поведения.

В задачи исследования входило:

1) выявить источники поступления As в ландшафты и пути его миграции;

2) определить концентрацию As в горных породах геологического субстрата, в почвах, в техноземах хвостохранилища и в растениях Шерловогорского рудного района;

3) выявить особенности пространственного распределения As в компонентах ландшафтов;

4) изучить особенности биологического захвата и определить интенсивность его биологического поглощения растениями района;

5) провести анализ поведения As в системе: геологический субстрат – кора выветривания – почва – биота.

Объект исследования – компоненты природных и антропогенных ландшафтов Шерловогорского рудного района.

Предмет исследования – концентрация, распределение и поведение As в компонентах ландшафтов.

Фактический материал и методы исследования. В основу данной работы положены материалы, собранные автором и ее коллегами в течение полевых сезонов 2002–2011 годов на территории Шерловогорского рудного района в пределах природных и антропогенных ландшафтов.

В каждом ландшафте наблюдения проводили по точкам, хорошо изученным в геологическом отношении (всего 26).

Фоновый участок природного ландшафта был выбран за пределами зоны оруденения, но в рамках Шерловогорской рудно-магматической системы.

Антропогенные ландшафты представлены карьерно-отвальным, природно-техногенным и селитебным ландшафтами. Природно-техногенный представлен собственно олово-вольфрам-висмут-бериллиевым месторождением с наложенной мышьяковой минерализацией Шерловая Гора, где идет старательская добыча самоцветов с применением самоходной землеройной техники, и месторождением касситерит-силикатной формации

Аплитовый отрог. Карьерно-отвалный ландшафт – это техногенные массивы (карьер, хвостохранилище, отвалы и склады руды).

Объединенные пробы доминантных видов растений отбирали из каждого яруса. Каждая проба растений формировалась из 10–20 экземпляров с площади 4x4 м. Растения делили на органы. Корни и наиболее запыленные части растений промывали сначала струей проточной воды, а затем дистиллированной и высушивали до воздушно-сухого состояния (Гудкова и др., 2006; Солодухина, Зазулина, 2007).

Горные породы и руды отбирали общепринятыми методами. Отбор почвенных проб проводили в соответствии с ГОСТом 17.4.4. 02–84 (Карпов, Савостин, 2003). Кроме этого, для подсчета коэффициента биологического поглощения (КБП) почву отбирали прямо из-под растений (корнеобитаемый слой) и принимали за КБП отношение содержания As в растении к среднему содержанию в корнеобитаемом слое на данном участке. Для расчета ОСВР (относительного содержания элемента в данном растении по сравнению с эталонным), предложенного А.Л. Ковалевским (1991), принимали формулу вида C_1/C_ϕ , где C_1 – содержание As в изучаемом органе растения; C_ϕ – содержание As в том же органе, того же вида растения, но растущего на фоновом участке.

В целом в работе использованы анализы 276 проб горных пород и руд, 441 проба почв, 84 пробы технозема из геотехногенных массивов и 501 проба растений (13 видов). Так как каждая проба растений формировалась из 10–20 экземпляров, общее число экземпляров растений составило около 8000 штук.

Кроме этого, собраны и обобщены фондовые материалы.

Анализ химического состава горных пород и почвы выполнен рентгеновским флуоресцентным анализом (РФА) в аналитической лаборатории ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) на спектрометре VRA–30, к.т.н. Б.Ж. Жалсараевым, В.А. Ивановой, И.В. Боржоновой, И.В. Бардамовой и Ж.Ш. Ринчиновой. Предел обнаружения As составляет 5 г/т.

Для выявления форм нахождения As в почвах и техноземах пробы анализировали по методике селективной экстракции BCR (Doelsch E. et al., 2008; Pueyo M. et al., 2008). Определение содержания As в вытяжках выполнено прямым атомно-эмиссионным спектральным анализом (ICP-AES) на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой OPTIMA-2000 DV в аналитической лаборатории ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Аналитики – Б.В. Дампилова и Т.И. Казанцева.

Анализ растений проведен методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer (США) (нижний порог обнаружения (НПО) As 0,01 мкг/кг), в Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН. Аналитики – В.Е. Зазулина, А.Ю. Лушникова, Д.В. Авдеев и Е.М. Голубева.

Во избежание подвижности летучих элементов вышеуказанными аналитиками был предложен новый метод пробоподготовки: растения не озоляли, а непосредственно переводили в раствор. Разложение

измельченного материала в смеси азотной кислоты и перекиси водорода позволил свести к минимуму потери As и заражение проб. Поэтому наши данные принципиально отличаются от опубликованных ранее более высокой точностью по сравнению с обычным способом озоления, когда потери As неизбежны.

Определение pH и Eh водной вытяжки почв проведено автором в соответствии с ГОСТом 26423-85, pH-метром Анион 7000.

Личный вклад автора. В течение полевых сезонов 2002–2011 годов на территории Шерловогорского рудного района Забайкальского края непосредственно автором в составе полевых экспедиций было проведено комплексное опробование и пробоподготовка образцов горных пород геологического субстрата, почв, техноземов, а также измерены pH и Eh водной вытяжки почв. Выполнен пробпоотбор и первичная пробоподготовка растений к анализу. Вся обработка аналитических данных, обобщение полевых исследований, фондовых материалов и литературы проведены автором.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- впервые раскрыты основные закономерности пространственного распределения As в почвообразующих породах и почвах Шерловогорского рудного района;

- впервые выявлен локальный геохимический фон содержания As в почвообразующих горных породах, почвах и растениях;

- определено, что основной минеральной формой нахождения As в ландшафте являются арсенопирит и продукты его гипергенного изменения – скородит и, в меньшей мере, миметит;

- в коре выветривания установлена прямая связь между концентрацией мышьяка и железа (III) и обратная между концентрацией мышьяка и железа (II);

- впервые показано, что в почвах района содержание As на фоновом участке в несколько раз превышает кларк и ПДК, в техноземах техногенных массивов – в 116 и 289 раз, в природных почвах месторождений – в 402 и 1005 раз соответственно, что позволяет выделить район как мышьяковую биогеохимическую провинцию;

- получены новые данные об интенсивности биологического поглощения As растениями;

- впервые изучено распределение As в органах растений и обнаружено максимальное его содержание в корнях и листьях, а минимальное – в плодах;

- впервые установлено, что травянистые растения более интенсивно вовлекают As в биологический круговорот, чем древесно-кустарниковые;

- обнаружено, что интенсивность биологического поглощения As не зависит от его валового содержания в почве.

Практическая значимость работы. Проведенные исследования существенно расширили представления о содержании и поведении As в почвах и растениях природной геохимической аномалии Забайкальского края.

Установленные биогеохимические особенности его захвата разными растениями и их органами могут быть учтены при разработке проектов биологической рекультивации техногенных массивов. Для этого необходимо применять древесно-кустарниковые растения с низким коэффициентом биологического поглощения As. Такими растениями являются тополь душистый, береза плосколистная, боярышник кроваво-красный.

Для определения действительных причин высокой заболеваемости жителей в окрестностях нефункционирующих предприятий рудной промышленности рекомендуется проводить комплекс биогеохимических и медико-биологических исследований.

Результаты исследования используются в преподавании курса «Геохимия ландшафта» в Томском государственном и Забайкальском государственном университетах.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Третьей Республиканской школе-конференции «Молодежь и пути России к устойчивому развитию» (Красноярск, 2003), IV и V Международном Симпозиуме «Геологическая и минерагеническая корреляция в сопредельных районах Китая, России и Монголии» (КНР, Чаньчунь, 2002, 2003), I, II и III Всероссийском Симпозиуме с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VII, VIII и IX Всероссийских чтениях памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» (Чита, 2006, 2008, 2010), Конференции молодых ученых в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Иркутск, 2007, 2009, 2011), Российской конференции, посвященной 30-летию ИПРЭК СО РАН «Эволюция биогеохимических систем (факторы, процессы, закономерности) и проблемы природопользования» (Чита, 2011).

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 7 глав, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 191 странице машинописного текста, содержит 33 таблицы, 72 рисунка, список литературы включает 180 наименований.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 35 печатных работ, в том числе 4 в журналах, рекомендованных ВАК.

Благодарности. Автор выражает признательность и благодарность научному руководителю д-ру геол.-минер. наук, профессору Г.А. Юргенсону за внимание и помощь в проведении исследований, советы, редакцию и конструктивную критику при подготовке диссертации. Автор благодарит канд. геол.-минер. наук А.Г. Горячкину, канд. геол.-минер. наук О.К. Смирнову, канд. биол. наук С.Г. Дорошкевич за консультации и помощь при проведении почвенно-картографических изысканий, м.н.с. Р.А. Филенко, А.С. Акишина, О.В. Гудкову, А.А. Смирнова, Е.В. Малышеву, Д.Н. Горбань, О.А. Чернову, канд. биол. наук О.К. Клишко, канд. геогр. наук Н.В. Помазкову за помощь и поддержку. Особую благодарность автор выражает директору Хабаровского инновационно-аналитического центра Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина

ДВО РАН, канд. геол.-минер. наук Н.В. Бердникову, вед. инж. В.Е. Зазулиной и коллективу аналитиков за плодотворное сотрудничество.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Мышьяк является одним из важных элементов в ландшафтах Шерловогорского рудного района и образует природную геохимическую аномалию на площади развития Шерловогорской рудно-магматической системы. В техноземах хвостохранилища его содержание существенно меньше, чем в природных почвах рудного узла.

Основным источником мышьяка в почвах является арсенопирит, а главным его носителем – минерал скородит, образующийся при окислении арсенопирита.

As широко распространен в горных породах геологического субстрата и почвах изучаемого района (табл. 1).

Таблица 1 – Геохимический фон содержания As в почвообразующих горных породах, почвах, техноземе и в растениях Шерловогорского рудного района.

Ландшафт	Название проб	Содержание, мг/кг			V, %	n
		x	Min	Max		
Природно-техногенный	Почвообразующие горные породы	915,6	17	14700	195	119
	Почва	607,9	3	18000	216	202
	Растения	13,7	Ниже НПО	847,29	320	312 (4680)
Карьерно-отвальный	Технозем	334	Ниже НПО	1700	109	83
	Растения	5	Ниже НПО	47,65	145	143 (2145)
Природный	Почвообразующие горные породы	Ниже НПО	-	-	-	5
	Почва	11	Ниже НПО	27	48	5
	Растения	0,5	Ниже НПО	6,01	200	76 (1140)

Примечание – В скобках дано общее количество экземпляров растений в массиве проб, n – число проб, x – среднее содержание, min – минимальное содержание, max – максимальное содержание, V – коэффициент вариации

As присутствует во всех типах горных пород Шерловой Горы, но в разной концентрации. Важной чертой Шерловогорской рудно-магматической системы является присутствие As во всех месторождениях и рудопроявлениях олова, вольфрама, цветных металлов и самоцветов. Его содержание в горных породах варьируется от 17 г/т до 1,47 %, минимум – в роговиках, максимум – в зонах сульфидной минерализации. На разных точках наблюдения почвообразующие горные породы в разной степени обогащены им (рис. 1, табл. 1), но встречается

он повсеместно. Его максимальная концентрация установлена в гранитах, грейзенах, миароловых гранитах, в продуктах их гипергенного изменения на участках Т.5.1, 5.2, 6, 9. В горных породах карьера Сопка Большая также установлено его высокое, порой ураганное содержание, достигающее 1 %. As образует собственные минералы и является примесью во многих других (в молибдените, вольфрамите, флюорите), при этом в Шерловогорских молибденитах его содержание достигает 6000 г/т (Бойко и др., 1983). Поэтому основным его источником в ландшафте являются горные породы геологического субстрата, собственные минералы, продукты их гипергенного изменения, а также другие рудообразующие минералы, где As является примесью.

Результаты, приведенные в табл. 1 и рис. 1, свидетельствуют о том, что в природных почвах фонового участка кларк концентрации As равен 6 а его содержание в 6 раз превышает ПДК и в 2 раза почвенный кларк.

На территории месторождений максимальный кларк концентрации (КК) в почве составляет 1183, а превышение ПДК – более чем в 1000 раз. В техноземе карьерно-отвального ландшафта соответственно КК=340, а превышение ПДК в 289 раз. Следовательно, Шерловогорский рудный район можно выделить как мышьяковую биогеохимическую провинцию. Это связано прежде всего с геологическим строением района и особенностями становления Шерловогорской рудно-магматической системы.

Шерловогорское рудное поле представлено группой месторождений, сформировавшихся в два этапа. На первом формируется олово-вольфрам-висмут-бериллиевое месторождение с самоцветами, а на втором – Шерловогорское олово-полиметаллическое месторождение, представленное шестью участками, с широким развитием мышьяковой минерализации. Первичной минеральной формой As является арсенопирит, и в значительно меньшей мере – теннантит. Его источником является процесс формирования олово-полиметаллических месторождений Сопка Большая и Восточная аномалия, относящихся ко второму этапу функционирования Шерловогорской рудно-магматической системы. Мышьяковая минерализация, развитая в жильных телах Шерловогорского олово-вольфрам-висмут-бериллиевого месторождения с самоцветами, является наложенной.

As присутствует на всех стадиях минерализации как в главных геохимических ассоциациях элементов, так и во второстепенных. Арсенопирит, как основной минерал, образуется во вторую, касситерит-силикатную стадию минерализации. В сульфидно-касситерит-хлоритовой и карбонат-галенит-сфалеритовой стадиях он имеет второстепенное значение. Арсенопирит присутствует во всех месторождениях олова и в полиметаллических рудах, а также в жилах, наложенных на тела с камнесамоцветным сырьем в Шерловогорском гранитном массиве.

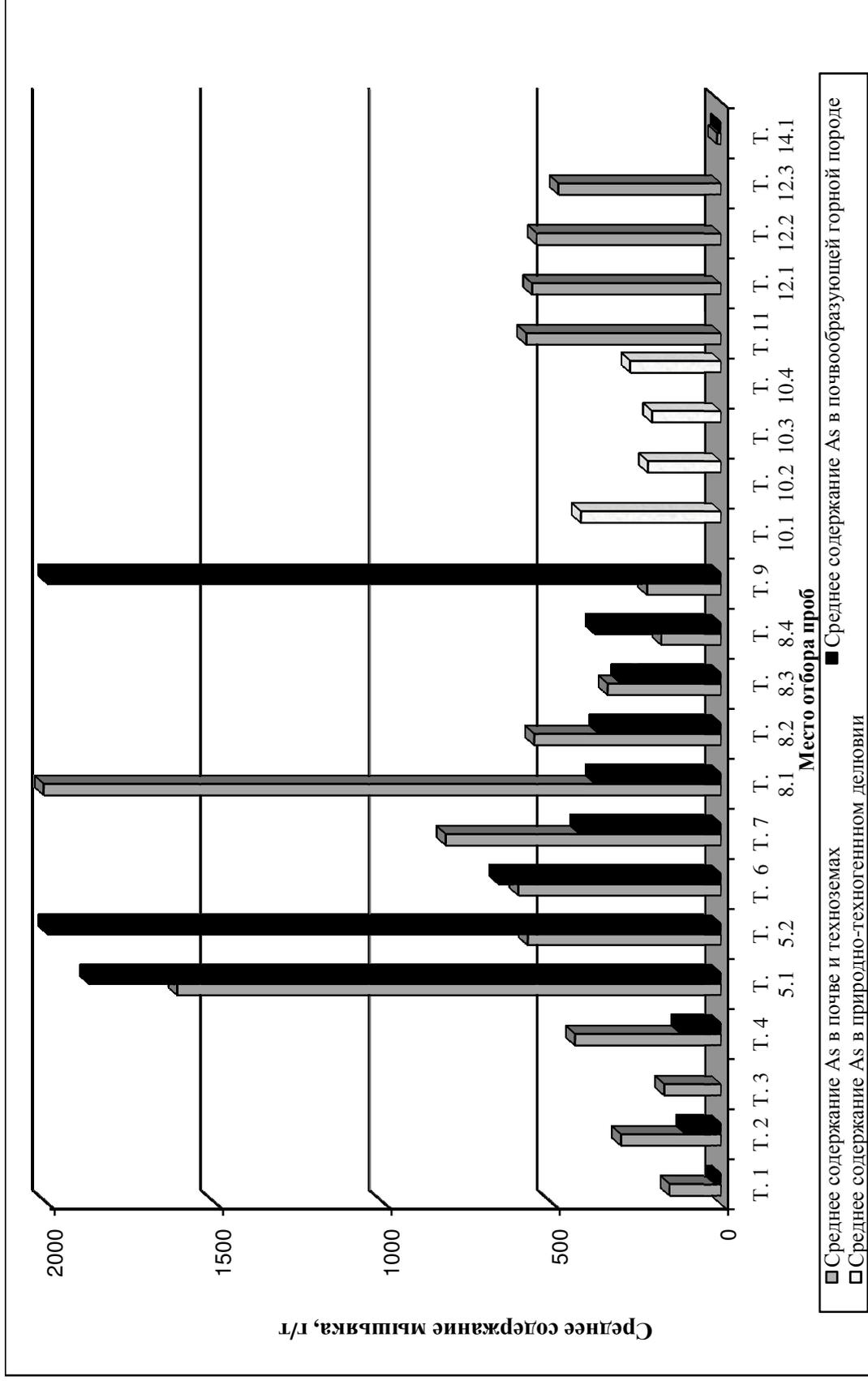


Рисунок 1 – Содержание мышьяка в почвообразующих горных породах и почве на разных участках. Т. 1–9 Шерловгорское месторождение, Т. 10–10.4 – карьер Шерловгорского ГОКа, Т. 11 – Северный отвал, Т. 12–12.3 – хвостохранилище, Т.14.1 – фоновый участок

2. Пространственное распределение мышьяка в почвах обусловлено закономерностями площадного развития второго этапа становления Шерловогорской рудно-магматической системы, с которым связано формирование олово-полиметаллических месторождений Сопка Большая и Восточная аномалия.

Приведенные данные (табл. 1, рис. 1) указывают на то, что наибольшее содержание As в почвообразующих горных породах и почвах характерно для месторождения. В Т. 1 и Т. 14.1 оно относительно невысокое и обусловлено тем, что здесь почвообразующими породами являются четвертичные отложения (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика почвообразующих горных пород на точках наблюдения

Точка наблюдения	Горные породы	Минеральные зоны
Т. 1, Т. 14.1	Четвертичные отложения	
Т. 2	Биотит-мусковитовые порфиридные граниты и роговики по сланцам и метапесчаникам	Зона контактового метаморфизма. Роговики кварц-биотитовые, кварц-биотит-топазовые, кордиеритовые с прожилками кварц-топаз-мусковитового состава
Т. 3	Верхнеюрские отложения (конгломераты, туфоконгломераты, туфобрекчии с прослоями метааргиллитов и метапесчаников	Зона развития в основном, породообразующих силикатов с редкими включениями продуктов выветривания рудных образований
Т. 4, 6,7	Мезозойские гранит-порфиры, порфиридные граниты и грейзены	Кварц-берилл-топазовая с наложенной арсенопиритовой минерализацией различной интенсивности
Т. 5.1 – 5.2	Мезозойские гранит-порфиры, порфиридные граниты и среднезернистые граниты	Кварц-берилл-топазовая с наложенной интенсивной арсенопиритовой минерализацией
Т. 8.1	Палеозойские диоритовые порфириды и порфириды, реже габбродиорит-порфириды, габбро-диориты и диориты	Кварц-полевошпатово-вольфрамит-касситеритовая
Т. 8.3		Турмалин-сульфидно-касситеритовая
Т. 8.4		
Т. 8.2	Зона контактового метаморфизма, где образовались участки грейзенизации во вмещающих граниты породах	Кварц-полевошпатово-вольфрамит-касситеритовая
Т. 9	Мезозойские гранит-порфиры, порфиридные граниты и грейзены.	Зона окисления сульфидных руд

Установлено, что на участках, где почвообразующей породой служат продукты разрушения мезозойских гранитоидов и грейзенов, содержание в них As не превышает 660 г/т.

На участках пади Лукаво-Золотой (Т. 8.1) и на восточном склоне Сопки Лукавой (Т. 8.4), где почвообразующие породы представлены продуктами

разрушения палеозойских диоритовых порфириров и порфириров, габбро-диоритов и диоритов, оно еще меньше (до 375 г/т). Существенное отличие, выражающееся в аномально высокой концентрации, выявлено на Жиле Новой, участке Поднебесных и Сопке Мелехинской (Т. 5.1 – 5.2 и Т. 9). Здесь в тех же мезозойских гранитоидах и грейзенах обнаружено содержание As, превышающее кларк в 1000 и более раз. Это объясняется тем, что на точках, кроме указанных горных пород, развиты зоны рудной минерализации.

На Жиле Новой и участке Поднебесных на кварц-берилл-топазовые жилы наложена поздняя интенсивная арсенопиритовая минерализация, а на Сопке Мелехинской развита зона окисления сульфидных руд, где As представлен в форме скородита. Кора выветривания и зона окисления на указанных участках вскрыта горными работами и прослеживается довольно четко. Так как арсенопиритовая минерализация связана со вторым этапом становления Шерловогорской рудно-магматической системы и формированием олово-полиметаллических месторождений Сопка Большая и Восточная аномалия, то и пространственное распределение As в почвах района обусловлено этими процессами. По функционировавшим рудопроводящим каналам обогащенные As флюиды проникали в системы трещин в районы участков Т. 5.1, 5.2 и Т. 9. Участки, расположенные вдали и гипсометрически выше от источника мышьяк-содержащих флюидов, характеризуются относительно невысоким содержанием As в горных породах и почвах.

3. Мышьяк преимущественно накапливается в корнях и листьях растений, минимальное содержание установлено в плодах. Активными концентраторами As являются травянистые растения: лапчатка скученная (*Potentilla acervata* Sojak), таран (горец) узколистный (*Aconogonon angustifolium* (Pall.)), подмаренник настоящий (*Gallium verum* L.) и полукустарник – полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm).

Для выявления особенностей концентрирования As в изученных растениях в соответствии с литературными данными предложено выделять классы по уровню его содержания.

Первый класс – менее 0,001 мг/кг (значения близкие к НПО и ниже). Растения, произрастающие на природных почвах, содержат As до 5 мг/кг (Гамаюрова, 1993), поэтому второй класс – это значения от 0,001 до 5 мг/кг. Первый и второй класс условно назовем нормальной (достаточной) концентрацией As в растениях. Известно, что его токсичной концентрацией считается 5–20 мг/кг, а критической, снижающей урожайность – 20 мг/кг и более (Алексеев, 1989; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989), что соответствует третьему и четвертому классам.

Установлено, что в корнях, стеблях, листьях, цветках, соцветиях и плодах содержание As в большинстве случаев не превышает 5 мг/кг (рис. 2). Из всего массива проб доля образцов корней с нормальной концентрацией As составляет 54%; стеблей – 81%; листьев – 60,3%; цветков и соцветий – 84%; плодов – 92%.

Токсичная концентрация As обнаружена во всех органах растений, критическая во всех пробах, кроме плодов и семян. Несмотря на то, что критическое содержание As в семенах не выявлено, доля образцов с его токсичной концентрацией самая большая по всей выборке и составляет 56%.

В целом наибольшая встречаемость образцов с аномальным содержанием As характерна для корней, листьев и семян.

Результаты, приведенные в табл. 2 дают основание полагать, что критическая концентрация As чаще накапливается в корнях и листьях, а в семенах и плодах отсутствует.

В плодах и семенах, в отличие от корней, стеблей, листьев и цветков отсутствие критического содержания As свидетельствует о наличии у них фильтров или барьеров, препятствующих его накоплению этими органами.

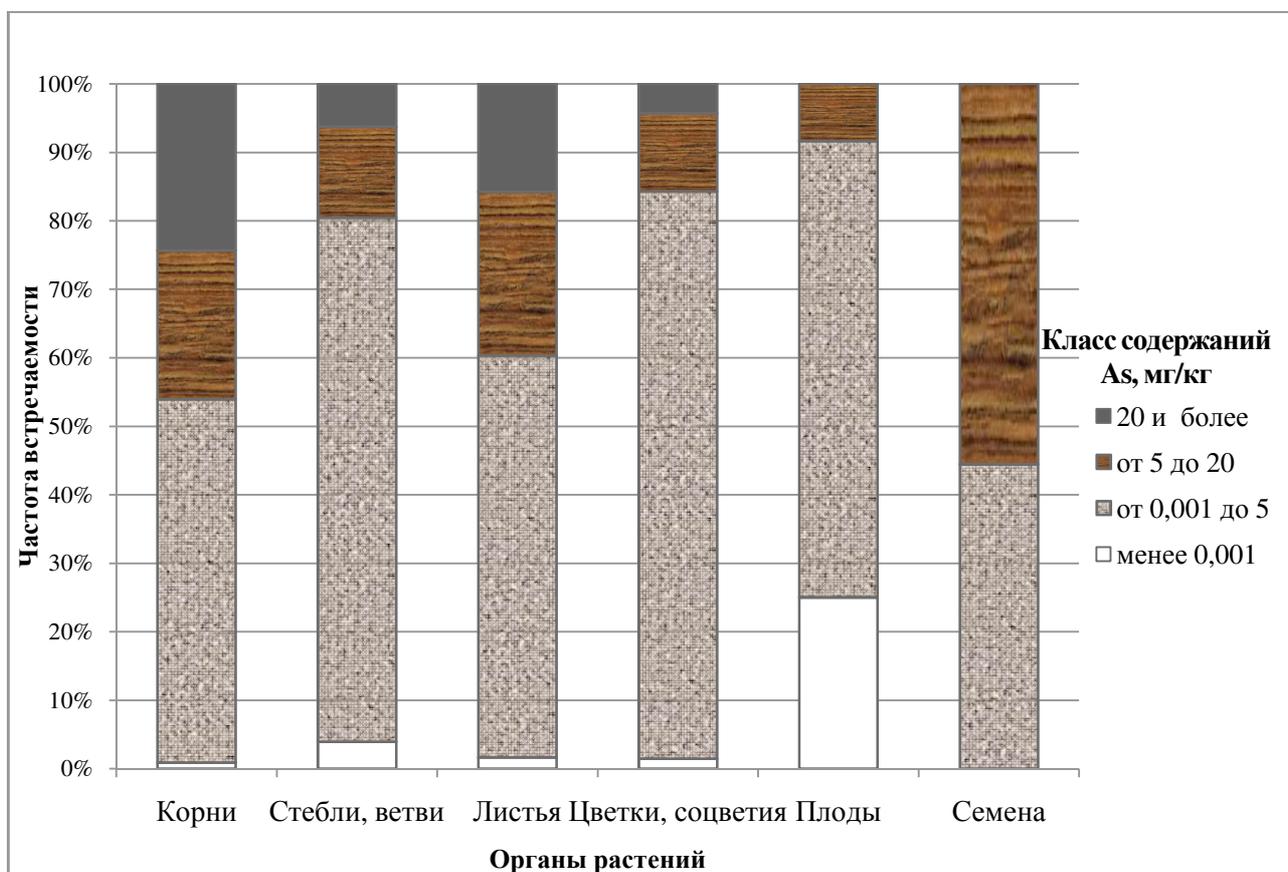


Рисунок 2 – Частота встречаемости образцов с разной концентрацией As

Для выявления степени концентрирования As растениями изученного района рассчитан коэффициент ОСВР. Он отражает превышение содержания элемента в растении или его органе изучаемого участка по сравнению с фоновым (эталонным). Однако ОСВР был подсчитан только для шести видов растений из тринадцати изученных, так как видовой состав разных участков наблюдения имеет различия. На фоновом участке среди выбранных нами для исследования видов встречаются только пять, остальные семь видов найдены не были.

Почти все изученные виды растений, для которых был рассчитан этот коэффициент, являются концентраторами As разной интенсивности (табл. 3). К деконцентраторам относятся только цветки боярышника и сережки березы плосколистной.

Из данных приведенных в табл. 3 следует, что листья и корни боярышника кроваво-красного не дают однозначной информации о степени захвата As так же, как стебли и листья березы плосколистной.

Таблица 3 – Растения-концентраторы As

Растение	Орган растения	Деконцентраторы, ОСВР менее 0,4	Фоновое содержание ОСВР=0,4–2,5	Степень концентрирования		
				Слабая ОСВР=2,5–4,0	Умеренная ОСВР=4,0–25,0	Интенсивная ОСВР=25,0–400 и более
Боярышник кроваво-красный	Плоды	1	2	0	1	0
	Цветки	1	0	0	0	0
	Листья	0	2	1	1	0
	Стебли	1	0	0	1	0
	Корни	0	0	0	1	1
Береза плосколиственная	Сережки	2	0	0	0	0
	Листья	0	3	0	4	1
	Стебли	0	2	4	0	0
	Корни	0	0	0	5	1
Полынь Гмелина	Цветки	0	0	0	8	0
	Листья	0	0	0	10	5
	Стебли	0	0	1	4	4
	Корни	0	0	1	3	6
Подмаренник настоящий	Цветки	0	0	0	3	2
	Листья	0	0	0	1	5
	Стебли	0	0	0	2	2
	Корни	0	0	1	1	3
Таран узколиственный	Цветки	0	1	0	1	0
	Листья	0	0	0	5	6
	Стебли	0	0	1	4	3
	Корни	0	1	0	4	3
Лапчатка скученная	Семена	0	0	0	0	2
	Цветки	0	1	0	6	1
	Листья	0	0	0	2	5
	Стебли	0	1	2	2	2
	Корни	0	0	1	2	3

У полыни Гмелина и травянистых растений обнаруживается иная тенденция: 91% образцов соответствуют умеренной и интенсивной степени концентрирования As; 3% характеризуются фоновым содержанием; 6% проб

соответствуют слабой степени захвата As. При этом не наблюдается разница в степени концентрирования As между органами одних и тех же видов травянистых растений и полыни Гмелина. Это может свидетельствовать об особенностях изученных растений района, разной подвижности As в питающей среде и сложной геохимической обстановке. Тем не менее, широкий диапазон значений ОСВР для древесно-кустарниковых растений дает основания предположить, что на захват ими As влияет несколько факторов (генетический, возрастной, экологический, и др.).

При значительной вариабельности содержания As в почве 91% значений коэффициента ОСВР травянистых растений и полыни Гмелина находятся в пределах двух градаций из пяти, что может объясняться преобладанием роли генетического фактора, оказывающего влияние на захват As над экологическим и временным.

4. Биологическое поглощение мышьяка растениями не зависит от его валового содержания в почвах и технозомах.

Для оценки интенсивности биологического поглощения химических элементов растительностью используют коэффициент биологического поглощения (КБП) (Ивлев, 1986; Добровольский, 2003).

Коэффициент биологического поглощения As изученными растениями довольно низок ($\bar{x}=0,03$, $\sigma - 0,09$). Максимальный КБП (1,83) характерен только для корня тарана узколистного, произрастающего в природно-техногенном ландшафте.

В карьерно-отвальном ландшафте КБП As растениями составляет в среднем 0,01, в природном ландшафте – 0,03.

Наибольший размах значений КБП As растениями на разных участках наблюдения характерен для месторождений, а наименьший – для фонового участка. Это, возможно, связано с тем, что на территории месторождений в разных точках наблюдения геохимическая обстановка различна, она сложилась под действием как природных процессов эволюции ландшафта, так и в результате геотехногенеза.

Кроме этого установлено, что КБП As боярышником, пятилисточник кустарниковым, дендрантемой и маком наибольший на месторождении, тогда как лапчатка и береза интенсивнее поглощают As на фоновом участке.

У полыни Гмелина, горца и подмаренника наибольший КБП As установлен в природно-техногенном и карьерно-отвальном ландшафтах.

Невысокий КБП указывает на избирательное поглощение As растениями района, на наличие у них барьерных механизмов и на нахождение в почвах и технозомах его неподвижных форм.

Прямой функциональной связи между содержанием As в питающей среде и в растениях не установлено. Как следует из рис. 3 интенсивность биологического поглощения As не зависит от его валового содержания в почве ни в одном из изученных ландшафтов. Впервые этот факт был установлен в

2006 г., но опубликован лишь в 2009 (Юргенсон и др., 2009). Подобная тенденция наблюдается и для Алтая (Бабошкина, 2007).

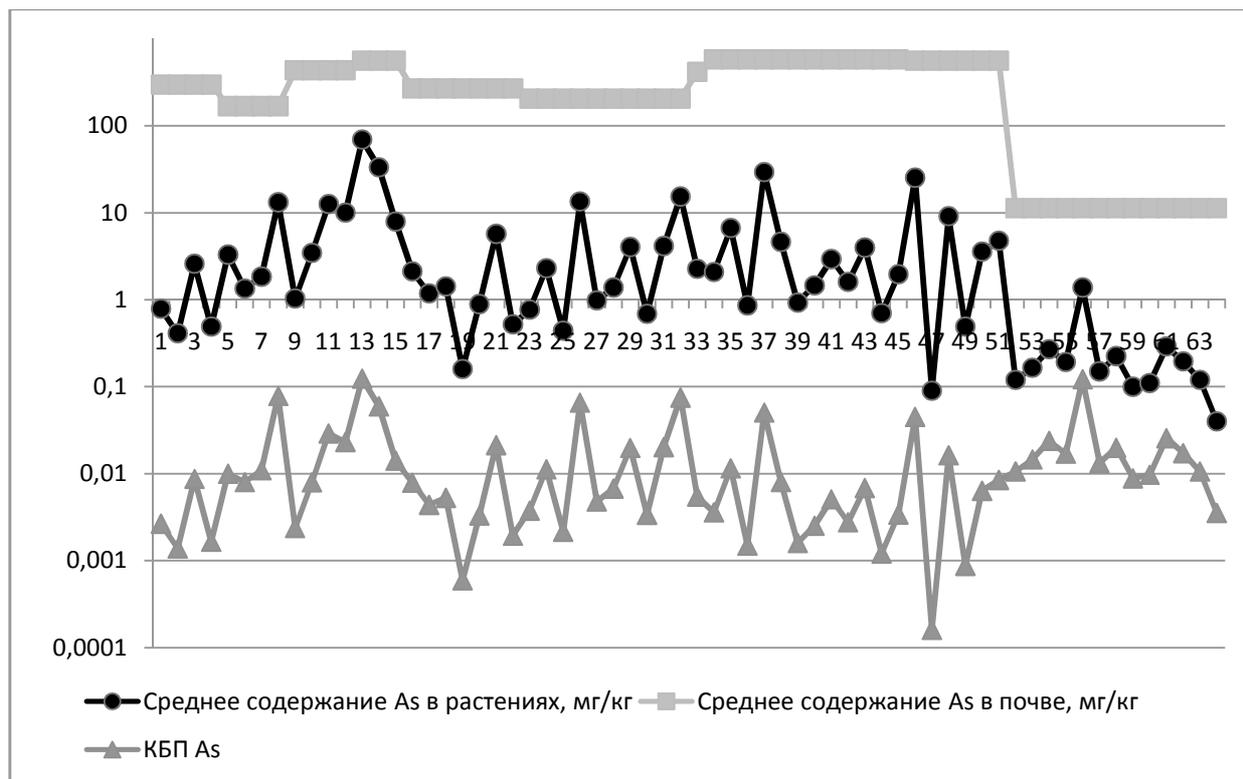


Рисунок 3 – Содержания As в почвах, растениях и интенсивность его биологического поглощения. 1–16 – месторождения, 17–52 – техногенные массивы, 57–69 – фоновый участок

ВЫВОДЫ

Впервые проведено исследование поведения As в компонентах ландшафтов Шерловогорского рудного района. Выявлены источники его поступления, концентрация, закономерности пространственного распределения в почвах, особенности биологического захвата и накопления в растениях.

1. Все компоненты ландшафтов Шерловогорского рудного района значительно обогащены As. Установлено, что в природных почвах фонового участка кларк концентрации As равен 6, а его содержание в 6 раз превышает ПДК и в 2 раза – почвенный кларк. На территории месторождений максимальный кларк концентрации в почве составляет 1183, а превышение ПДК в 1005 раз. В техноземе карьерно-отвального ландшафта соответственно КК=340, а превышение ПДК в 289 раз. Шерловогорский рудный район можно выделить как мышьяковую биогеохимическую провинцию.

2. Пространственное распределение As на территории района обусловлено закономерностями развития второго этапа становления Шерловогорской рудно-магматической системы, с которым связано формирование олово-полиметаллического месторождения Сопка Большая. По функционировавшим рудопроводящим каналам обогащенные As флюиды проникали в системы трещин в районы участков Т. 5.1, 5.2 и Т. 9.

Расположенные вдали и гипсометрически выше эпицентра-источника мышьяксодержащих флюидов участки характеризуются относительно невысоким содержанием As в почвах.

3. Установлено, что основной формой нахождения As в почвах является остаточная. В мерзлотной лугово-лесной, в щебнистой маломощной, в каштановой мучнистокарбонатной почве и в черноземе бескарбонатном, более 50% As закреплено в неподвижном состоянии.

4. Выявлены существенные различия захвата As разными растениями. Травянистые и кустарниковые растения более интенсивно вовлекают As в биологический круговорот, чем древесно-кустарниковые. Из древесно-кустарниковых растений боярышник и береза не обладают гипераккумуляцией As, в отличие от таких кустарников как пятилистники и полукустарника – полыни Гмелина. В них так же, как и в травянистых растениях в природно-техногенном ландшафте, обнаружена токсичная и критическая концентрация As.

5. Для большинства изученных растений характерна тенденция максимального захвата As корнями и листьями; к концу вегетационного периода отмечается его накопление в этих органах. Минимальное содержание As установлено в плодах.

6. Из шести изученных растений, произрастающих на всей территории района, деконцентраторами As являются плоды и цветки боярышника и сережки березы плосколистной. Листья, стебли и корни этих растений концентрируют As, но умеренно. Явными концентраторами As являются изученные травянистые растения (лапчатка скученная, таран узколистный, подмаренник настоящий) и полукустарник (полынь Гмелина).

7. В целом ситуацию с содержанием As в компонентах ландшафтов Шерловгорского рудного района можно признать как неблагоприятную для животных и человека. Поскольку территорию природно-техногенного и карьерно-отвального ландшафтов используют для выпаса домашних животных, то попадание As в пищевые цепи неизбежно, поэтому необходимо провести комплекс биогеохимических и медико-биологических исследований в этом районе.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. **Солодухина М.А.** Особенности поглощения мышьяка растениями на территории природной геохимической аномалии Читинской области // Вестник Томского государственного университета, 2008. № 314. С. 193–195.

2. Юргенсон Г.А., **Солодухина М.А.**, Смирнова О.К., Смирнов А.А., Боковенко Л.С. К проблеме биологического поглощения токсичных химических элементов растениями в природных и геотехногенных системах // Вестник МАНЭБ, 2009. – Т. 14. №3. С. 110–113.

3. **Солодухина М.А.**, Помазкова Н.В. Мышьяк в системе почва – растение в природных и антропогенных ландшафтах Забайкальского края (на примере горца узколистного (*Polygonum angustifolium* Pallas)) // Вестник КрасГАУ, 2011. – Выпуск 10. С. 96–101.

4. Юргенсон Г.А., **Солодухина М.А.** Мышьяк в зоне гипергенеза Шерловогорского горнопромышленного района // Вестник Читинского государственного университета, 2011. №10 (77). С. 117–123.

Статьи и тезисы докладов в других изданиях:

5. Yurgenson G.A., **Solodukhina M.A.**, Goriachkina A.G. Arsenic in dry steppes landscape hypergenesis zone // Proceedings of the 2nd International Symposium of Geosciences in NE Asia and the 9th China-Korea Joint Symposium of Geology on Crustal Evolution in NE Asia. – Changchun, China, 2002. P. 130–131.

6. Юргенсон Г.А., **Солодухина М.А.**, Горячкина А.Г. Мышьяк в рудах Шерловогорского месторождения // Роль минералогических исследований в решении экологических проблем (теория, практика, перспективы развития) Материалы к годовичному собранию ВМО. Москва, 2002. С. 202–204.

7. Yurgenson G.A., Goriachkina A.G., **Solodukhina M.A.**, A.I. Frolov The Sherlovgorsk Ore-Magmatic System and Its Mineral Resources // Proceedings of the 5th International Symposium of Geological and Mineragenic Correlation in Configuous Regions of China, Russia and Mongolia. – Changchun, China, 2003. P. 18–21.

8. **Солодухина М.А.**, Юргенсон Г.А., Горячкина А.Г. К вопросам изучения геохимии и минералогии мышьяка в степном ландшафте (на примере Шерловогорского рудного района) // Экологическая геология и рациональное недропользование. Материалы международной конференции. – СПб, 2003. С.74–75.

9. Юргенсон Г.А., **Солодухина М.А.**, Гудкова О.В. К основам биогеохимического мониторинга в геотехногенных ландшафтах горнорудных территорий // Вестник МАНЭБ, 2006. – Т. 11. №5. С. 119–123.

10. Юргенсон Г.А., Гудкова О.В., **Солодухина М.А.**, Филенко Р.А., Смирнов А.А. К методологии комплексного исследования геотехногенных ландшафтов исторических горнорудных районов // Вестник РФФИ, 2007. №1 (51). С. 66–69.

11. **Солодухина М.А.**, Авдеев Д.В. Мышьяк в почвах и растениях Шерловогорского рудного узла // Современные проблемы геохимии. Материалы научной конференции посвященной 50-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 50-летию Сибирского отделения Российской Академии Наук. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2007. С. 122–124.

12. **Солодухина М.А.** Мышьяк в почвообразующих горных породах и почве Шерловогорского горнорудного района Забайкальского края //

Кулагинские чтения. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – Чита: ЧитГУ, 2009. – Ч. 1. С. 119–123.

13. Юргенсон Г.А., **Солодухина М.А.**, Смирнов А.А. К проблеме биологического поглощения вольфрама, молибдена и мышьяка растениями на примере полыни Гмелина // Вестник Забайкальского центра Российской Академии естественных наук, 2009. №1. С. 16–21.

14. **Солодухина М.А.** Мышьяк в древесных растениях природной геохимической аномалии Забайкальского края // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ – 2010» [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

15. Юргенсон Г.А., **Солодухина М.А.**, Смирнова О.К. Мышьяк в почвах Шерловогорского рудного района // Вестник Забайкальского центра Российской Академии естественных наук, 2010. №1 (3). С. 15–19.

16. **Солодухина М.А.** Мышьяк в почвообразующих породах, почвах и древесных растениях Шерловогорского горнорудного района Забайкальского края // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. Труды III Всероссийского симпозиума с международным участием и IX Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана. – Чита, 2010. С. 82–86.

17. **Солодухина М.А.** Мышьяк в компонентах ландшафта природной геохимической аномалии Забайкальского края // Современные проблемы геохимии. Материалы конференции молодых ученых. – Изд-во УРАН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, 2011. С. 195–198.

18. **Солодухина М.А.** Мышьяк в системе горная порода – почва – растение в ландшафтах Шерловой Горы // Материалы научной конференции и симпозиума, посвященных 30-летию ИПРЭК СО РАН. – Чита, 2011. С. 46–49.

Подписано в печать 5 апреля 2012 г. Формат 60x841/16
Усл. печ.л. 1. Тираж 100 экз.
Отпечатано в ИПРЭК СО РАН
672014, г. Чита, ул. Недорезова, д. 16 а