

УДК 550.4

М.А. Солодухина

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ МЫШЬЯКА В СИСТЕМЕ ПОЧВА–МАК ГОЛОСТЕБЕЛЬНЫЙ (*PAPAVER NUDICAULE L.*) В АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ**

*В статье рассматриваются биогеохимические особенности поведения мышьяка в системе почва–растение. Установлено его повышенное содержание (до 1614 мг/кг) в почвах и в технозёме антропогенных ландшафтов Забайкальского края. Мак голостебельный, одним из первых заселяющий поверхность техногенных массивов, является безбарьерным видом и существенно накапливает мышьяк в корнях и листьях (до 122 мг/кг).*

**Ключевые слова:** мышьяк, почва, мак голостебельный, антропогенные ландшафты, органы растения, биологическое накопление.

М.А. Solodukhina

**ARSENIC BEHAVIOUR BIOGEOCHEMICAL PECULIARITIES IN THE SOIL – ARCTIC POPPY (*PAPAVER NUDICAULE L.*) SYSTEM IN THE TRANSBAIKALIA REGION ANTHROPOGENOUS LANDSCAPES**

*Arsenic behavior biogeochemical peculiarities in the soil – plant system are considered in the article. Its raised availability (up to 1614 mg / kg) in the soils and in substratum of the anthropogenous landscapes in Transbaikalia region is determined. Arctic poppy that occupies the technogenic solid mass surface one of the first is the barrierless species and accumulates arsenic in roots and leaves essentially (up to 122 mg/kg).*

**Key words:** arsenic, soil, arctic poppy, anthropogenous landscapes, plant organs, biological accumulation.

Мышьяк (As) – канцерогенный химический элемент, при длительном употреблении которого могут возникнуть опасные заболевания (кератоз, арсеникоз, онкологические, кожные и другие) [1]. Он поражает все органы и ткани человека, что приводит к необратимым изменениям в организме, инвалидности и смерти [2]. По данным Всемирной организации здравоохранения, более 100 млн человек в мире подвержены влиянию его опасных концентраций в грунтовых водах вследствие их природного загрязнения. К ним относятся страны Азии (Индия, Бангладеш, Китай, Таиланд, Вьетнам, Тайвань), а также США, Мексика, Чили, Аргентина, и другие. В грунтовых водах стран Южной и Юго-Восточной Азии установлено высокое природное содержание мышьяка и фтора, что вызывает арсеникоз и флюороз у местного населения [1]. С 1958 г. Всемирная организация здравоохранения активно занимается вопросами изучения его влияния на здоровье человека. 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 [2].

Поскольку растения являются одним из звеньев трофической цепи, то исследование поведения мышьяка в системе почва–растение представляется особо важным.

Изучению мышьяка и его соединений посвящены труды многих ученых. Среди них наибольший вклад внесли В.С. Гамаюрова [7]; Н.И. Копылов и Ю.Д. Каминский (Мышьяк, 2004); Г.В. Мотузова (Соединения микроэлементов в почвах, 2009). Изучению его поведения в природных и техногенных системах Алтая и Сибири посвящены работы С.В. Бабошкиной и А.В. Пузанова (2003, 2007, 2008); Г.А. Белоголовы и О.Н. Гордеевой (2008–2010) и др. Тем не менее 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. Они сосредоточены в центральной и юго-восточной частях. Из них 4,5 тыс. тонн мышьяка складировано в отходах горнодобывающих предприятий [3].

**Цель исследования.** Изучение поведения мышьяка в системе почва–растение и выявление особенностей его биологического поглощения разными органами.

**Объект и методы исследования.** В течение полевых сезонов 2002–2010 гг. на территории Шерловогорского рудного района были отобраны пробы почв и растений. В данной работе приведены результаты исследования поглощения мышьяка в растениях на примере мака голостебельного (*Papaver nudicaule* L.), поскольку он является пионерным видом, одним из первых заселяющим техногенные массивы.

Шерловогорский рудный район находится на юго-востоке Забайкальского края и входит в состав Борзинского административного района. Здесь около 300 лет функционировал горно-промышленный комплекс, в результате деятельности которого образовались техногенные массивы с высоким содержанием токсичных элементов, в том числе мышьяка [4].

Участки отбора проб представляют собой антропогенные ландшафты. На каждом участке наблюдения проводили по точкам. Почвенные пробы отбирали в соответствии с ГОСТ 17.4.4. 02-84. Растение делили на органы. Корни и наиболее запыленные части промывали сначала струей проточной воды, а после дистиллированной, и высушивали до воздушно-сухого состояния. Во избежание подвижности летучих элементов пробы растений не озоляли, а непосредственно переводили в раствор. Химический анализ растений выполняли аналитики В.Е. Зазулина, А.Ю. Лушникова, Е.М. Голубева и Д.В. Авдеев 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. Рентгеновский флуоресцентный анализ (РФА) химического состава почв и технозёма выполнен в аналитической лаборатории ГИН БФ СО РАН (г. Улан-Удэ) на спектрометре VRA-30 Б.Ж. Жалсараевым, В.А. Ивановой, И.В. Боржоновой, И.В. Бардамовой и Ж.Ш. Ринчиновой.

Для подсчета коэффициента биологического поглощения (КБП) почву отбирали прямо из-под растений (корнеобитаемый слой) и принимали за КБП отношение содержания мышьяка в растении к среднему содержанию в корнеобитаемом слое на данном участке.

Рассматриваемая территория представляет собой преимущественно степное среднегорье с небольшими участками лесостепных ландшафтов в привершинной части. Согласно схеме физико-географического районирования, принадлежит Центрально-Азиатской пустынно-степной области, Монгольской степной провинции высоких равнин и гор [5]. В природном отношении объект расположен в пределах Борзинского степного округа [5].

Большая часть степных ландшафтов нарушена в результате геолого-разведочных, горнодобывающих, старательских работ и в настоящее время представляет собой сообщества на разных стадиях восстановления. На нарушенных участках доминируют полынно-разнотравные, ковыльно-вострещовые сообщества, обедненные, в составе травостоя которых отсутствуют лекарственные и редкие виды растений. Антропогенные комплексы находятся еще в ранней, неустойчивой стадии развития антропогенного ландшафта, т.е. здесь еще не произошло зарастание карьера и отвалов, не сформировался почвенно-растительный покров, свойственный данной природной зоне.

Мак голостебельный – многолетнее травянистое растение из семейства *Papaveraceae*. Имеет длительный срок вегетации, цветет летом. Главный корень сохраняется на протяжении всей жизни. Растет на щебнистых склонах южной экспозиции, на остепненных лугах, на вершинах сопков [6]. Он является пионерным видом растений, заселяющих нарушенные земли и техногенные массивы.

Антропогенные ландшафты в пределах района представлены природно-техногенным и карьерно-отвальным ландшафтами. Природно-техногенный ландшафт – олово-вольфрам-висмут-бериллиевое месторождение Шерловая Гора, где идет старательская добыча самоцветов с применением самоходной землеройной техники. Карьерно-отвальным ландшафт – карьер, хвостохранилище, склады и отвалы бедных и забалансовых пород и руд. Поскольку мак голостебельный растёт только на Северном отвале, то в настоящей работе приведены данные только для этого участка.

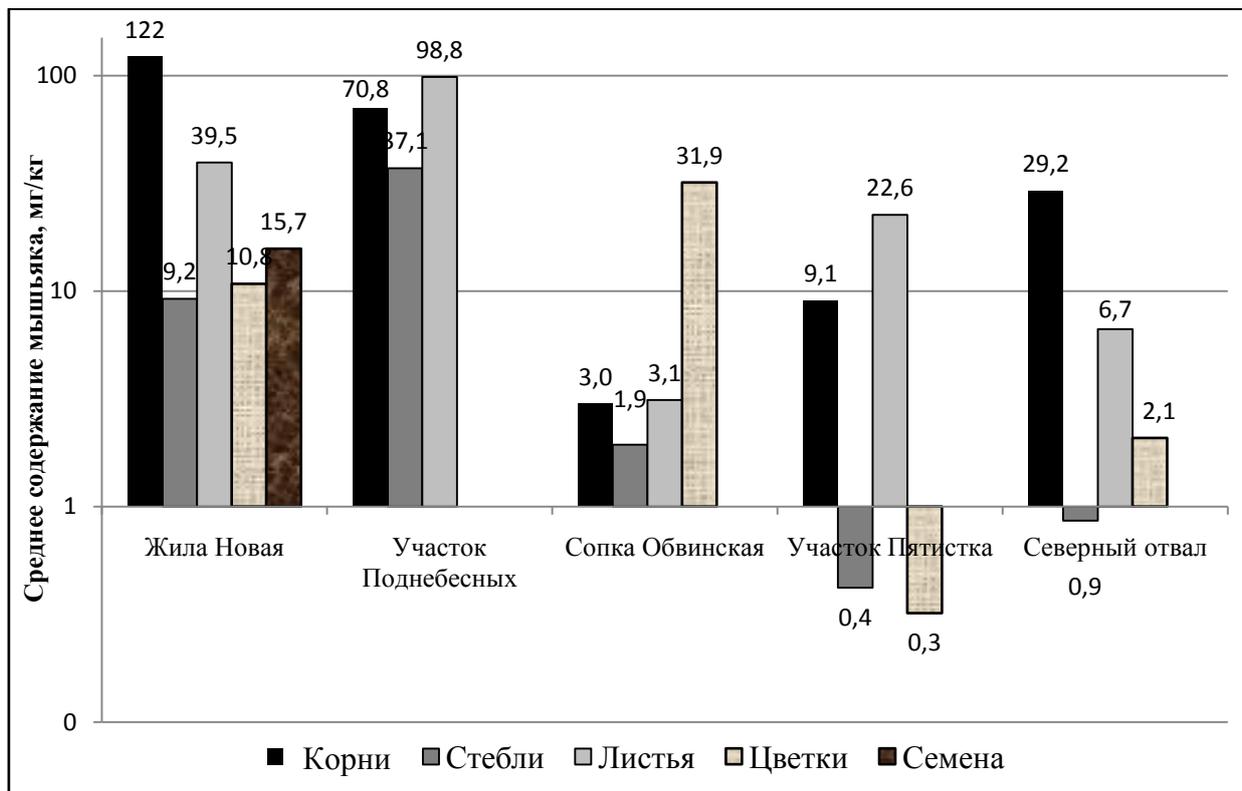
**Результаты исследований и их обсуждение.** Полученные данные свидетельствуют о том, что в почвах и технозёмах антропогенных ландшафтов валовое содержание мышьяка значительно превышает ПДК и кларк (табл.1).

**Мышьяк в системе почва–мак голостебельный**

Ландшафт	Название участка (тип почв)	Почва/технозём (число проб)			Мак голостебельный (число экземпляров в выборке)	
		х, мг/кг	х/кларк	х/ПДК	х, мг/кг	х/кларк*
Природно-техногенный	Участок Поднебесных (щебнистая маломощная)	558 (15)	112	280	69,4 (60)	347
	Жила Новая (чернозем бескарбонатный)	1614 (56)	323	807	39 (165)	195
	Сопка Обвинская (щебнистая маломощная)	601 (36)	120	301	7,7 (90)	38,5
	Участок Пятисотка (щебнистая маломощная)	498 (5)	100	249	8 (60)	40
Карьерно-отвалный	Северный отвал (технозём)	578 (7)	115	289	9,7 (120)	48,5

Примечание: х – среднее содержание; ПДК – предельно допустимая концентрация; \* – растительный кларк по [8].

Несмотря на столь высокие его концентрации в почвах и технозёмах, мак голостебельный поглощает малую долю от его валового содержания. Тем не менее его среднее содержание в растении значительно выше растительного кларка и мировых фоновых концентраций (табл. 1), которые составляют 1,5–5 мг/кг [8]. Однако приведенные результаты хорошо согласуются с данными, полученными другими авторами, исследовавшими рудные районы [9]. На разных участках опробования в органах мака голостебельного установлены разные концентрации мышьяка (рис.).



Распределение мышьяка в органах мака голостебельного

На Жиле Новой и участке Поднебесных – они максимальные, до 610 растительных кларков. Такие высокие концентрации As в растении, по-видимому, обусловлены нахождением в питающей среде его обменных форм. На этих участках доля таких форм составляет – 46,1 и 41,4% [10]. Известно, что существует зависимость между его подвижностью в почвах и уровнем содержания в растениях [11]. Оно (растение) в таких условиях просто вынуждено поглощать столько As, сколько находится в почвенной влаге. А так как корень мака сохраняется на протяжении всей его жизни в отличие от листьев, то со временем содержание As может увеличиваться и достигать ураганных значений.

На других участках опробования его содержание в органах растения ниже, но варьирует довольно широко (от 0,3 до 31,3 мг/кг). Это может указывать на уменьшение доли обменных форм мышьяка в почве и технозёме. В целом на четырех участках из пяти отмечено накопление мышьяка корнями и листьями. И лишь в одном случае цветками – на сопке Обвинской.

Из анализа рисунка следует, что максимальное концентрирование As происходит в корнях и листьях. Это обусловлено непосредственным контактом корней с почвой и технозёмом, а также процессами фотосинтеза и образования основных жизненно важных веществ организма в листьях. Минимальные содержания мышьяка в стеблях связаны с их транспортными функциями, а повышенное в цветках и семенах указывает на безбарьерное накопление этого элемента.

КБП мышьяка маком варьирует широко, но не превышает 0,2 (табл. 2).

Таблица 2

#### Интенсивность биологического поглощения мышьяка органами мака голостебельного

Место отбора проб	КБП				
	Корни	Стебли	Листья	Цветки	Семена
Жила Новая	0,2	0,02	0,1	0,02	0,03
Участок Поднебесных	0,04	0,02	0,1	-	-
Сопка Обвинская	0,005	0,003	0,005	0,05	-
Участок Пятисотка	0,02	0,001	0,05	0,001	-
Северный отвал	0,05	0,001	0,01	0,004	-

Максимальный КБП установлен для корней и листьев мака, растущего на Жиле Новой, и листьев с участка Поднебесных.

**Выводы.** Анализ поведения мышьяка в системе почва–растение показал, что он интенсивно вовлекается в биологический круговорот маком голостебельным. Растение накапливает до 122 мг/кг (610 растительных кларков) мышьяка в своих органах. Максимальное его концентрирование происходит в корнях и листьях, но в корнях, кроме концентрирования, наблюдается и накопление. Мак голостебельный можно считать безбарьерным видом растения по отношению к мышьяку.

#### Литература

1. Yan ZHENG Mobilization of natural arsenic in groundwater: targeting low arsenic aquifers in high arsenic occurrence areas // *Geology in China*. – Vol. 37, № 3. – Jun. 2010. – P. 723–728.
2. Smandrasekharam D. Scinario of arsenic pollution in groundwater: West Bengal // *Geology in China*. – Vol. 37, № 3. – Jun. 2010. – P. 712–722.
3. 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.
4. 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.
5. Типы местности и природное районирование Читинской области. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 158 с.
6. Горшкова А.А. Биология степных пастбищных растений Забайкалья / отв. ред. В.Н. Голубев. – М.: Наука, 1966. – 276 с.
7. Гамаюрова В.С. Мышьяк в экологии и биологии. – М.: Наука, 1993. – 208 с.
8. Брукс Р.Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 311 с.

9. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
10. Корешкова Ю.В., Юргенсон Г.А. Формы нахождения мышьяка в почвогрунтах Шерловогорского горнорудного района Забайкальского края // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: тр. III Всерос. симп. с междунар. участием и IX Всерос. чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана (29 ноября–2 декабря 2010, г. Чита). – Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2010. – С. 19–22.
11. Гордеева О.Н., Белоголова Б.А., Гребенщикова В.И. Распределение и миграция тяжелых металлов и мышьяка в системе «почва-растение» в условиях г. Свирска (Южное Прибайкалье) // Проблемы региональной экологии. – 2010. – №3. – С. 108–113.



УДК 630.24: 582.635.13(571.51)

А.И. Татаринцев

### САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ ВЯЗА В г. КРАСНОЯРСКЕ

*На основе изучения санитарного состояния насаждений вяза приземистого в различных районах г. Красноярска сделан анализ влияния на состояние насаждений типа посадки, обрезки деревьев; зависимости состояния деревьев от их параметров. Выявлены повреждения и болезни на вязе приземистом, их распространение и вредоносность.*

**Ключевые слова:** вяз приземистый, насаждения, санитарное состояние, г. Красноярск.

A.I. Tatarintsev

### ELM TREE STAND SANITATION CONDITION IN KRASNOYARSK CITY

*The analysis of influence of the planting type and tree pruning on stand condition; tree condition dependence on their parameters is conducted on the basis of studying the Siberian elm stand sanitation condition in the various areas in Krasnoyarsk city. Damages and diseases of the Siberian elm, their spread and injuriousness are revealed.*

**Key words:** Siberian elm, stands, sanitation condition, Krasnoyarsk city.

---

**Введение.** Городские насаждения представляют собой огромную эстетическую и рекреационную ценность; они смягчают колебания температуры в городе, уменьшают шумовое и другие загрязнения, предоставляют местообитания мелким животным и т.д. [9]. В озеленении городов и поселков, в том числе крупных индустриальных центров юга Средней Сибири, значительное место занимают успешно интродуцированные и акклиматизированные к местным условиям деревья и кустарники [6]. В числе прочих интродуцентов достаточно широко используется вяз приземистый (мелколиственный) (*Ulmus pumila*), что обусловлено его декоративными качествами, хорошей приживаемостью после посадки и, самое главное, устойчивостью к выбросам промышленных предприятий, в том числе содержащим наиболее фитотоксичные соединения фтора [4, 10]. В г. Красноярске вяз произрастает в промышленных зонах, повсеместно присутствует в пределах селитебных территорий в виде придорожных, внутридворовых посадок, в парках, скверах, в живых изгородях.

**Цель работы.** Изучение санитарного состояния насаждений вяза приземистого в условиях г. Красноярска.

**Задачи.** Оценить санитарное состояние насаждений вяза в различных районах города; изучить влияние типа посадки, обрезки на состояние деревьев (насаждений), взаимосвязь состояния деревьев с их морфометрическими показателями; выявить основные болезни и повреждения в посадках вяза, определить их вредоносность.

**Материалы и методы.** Для реализации намеченных задач в трех районах г. Красноярска: Советском, Центральном и Октябрьском – проведено детальное фитопатологическое обследование насаждений вяза на девяти пробных участках (ПУ), представленных посадками разного типа. Обследование осуществляли, руководствуясь общепринятыми методиками [7, 8], путем сплошной инвентаризации деревьев с указанием диаметра (по четырехсантиметровым ступеням толщины), категории состояния, наличия болезней и поврежде-