**СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА В ПОЧВЕ НА ТЕРРИТОРИИ
БЫВШЕГО АНГАРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА
г. СВИРСКА ПОСЛЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

Б.А. Баенгуев, Г.А. Белоголова

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, baenguev@igc.irk.ru

В настоящее время проблема антропогенного загрязнения экосистем, приводящая к крайне негативным последствиям, является очень актуальной. Особенно остро стоит вопрос химического загрязнения почв промышленных городов, в частности, тяжелыми металлами. Нарушение почвенного покрова вследствие техногенной трансформации почв приводит к ее деградации. Одним из таких примеров является город Свирск, расположенный на территории Иркутской области. Основными источниками поллютантов в почвенном покрове города являются Ангарский металлургический завод (АМЗ), работавший в 1934-1949 гг. и выпускавший мышьяк для оборонной промышленности СССР, и аккумуляторный завод, функционирующий с 1941 г по наши дни. Наибольшую экологическую опасность представлял АМЗ, так как на территории его промплощадки находилось около 131 тыс. тонн арсенопиритовых огарков в течение более 60 лет, что представляло большую угрозу здоровью для местного населения [4]. Такая ситуация значительно обострила экологическую обстановку в этом районе. В результате было установлено загрязнение почв As выше предельно допустимой концентрации ПДК – 10 мг/кг, которая охватывала всю территорию города, а вблизи отвалов содержания мышьяка превышало ПДК в 10-400 раз [2].

Работы по ликвидации сооружений завода, а также обезвреживанию и дальнейшему захоронению отходов производства АМЗ завершились в 2013 г. Однако после устранения очага загрязнения проблема рекультивации нарушенных земель и детоксикации почвенного покрова г. Свирска продолжает быть актуальной, так как территория завода, промплощадка и прилегающая территория остаются активно загрязненными мышьяком и ТМ, следовательно, представляют опасность для здоровья населения города.

Целью данной работы являлось проведение эколого-геохимической оценки территории бывшего Ангарского металлургического завода (АМЗ), после его ликвидации, который являлся одним из опасных объектов загрязнения на территории г. Свирска.

Исследования на территории бывшего АМЗ проводились в июле 2019 г. Для оценки пространственного распределения мышьяка в поверхностном слое почвы на этой территории были опробованы 70 площадок на приблизительно равном удалении друг от друга. Также проведено изучение двух почвенных разрезов на глубину 70 см на территории бывших мышьяковистых отвалов и в пределах бывшего здания завода АМЗ.

Исследуемую территорию условно разделили на 3 части: участок №1 - территория, бывших мышьяковых отвалов, участок №2 - территория, где непосредственно располагался АМЗ и 3-й участок - это окрестности основной зоны загрязнения. На участке №1, после ликвидации отвалов в основном распространены прикорневые его остатки огарков от производства мышьякового концентрата с высоким количеством органики и с примесью суглинков, где мышьяк преимущественно находился в связанных формах. Участок 2 являлся наиболее опасным источником As, так как здесь находились разрушенные остатки цеха и оборудование, где были распространены слабо связанные формы в виде полупродуктов триоксида мышьяка (As_2O_3). На территории участка 3, распространена дерново-карбонатная почва, представленная преимущественно легким суглинком с примесью тонкодисперсных огарков и гумусовым горизонтом 10-15 см.

Химические анализы почв и растений проводили на научном оборудовании сертифицированного аналитического центра коллективного пользования «Изотопно-геохимические исследования» Института геохимии СО РАН. Почвы и растения анализировали методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Измерения проводили при помощи рентгеновских спектрометров S4 Pioneer и S8 Tiger, ошибка анализа составляла 10–20 %.

Среднее содержание мышьяка в незагрязненных почвах разных стран составляет 3,6-8,7 мг/кг. Не загрязненные почвы мира редко содержат мышьяк более 10 мг/кг. Высокие содержания As характерны лишь для природных территорий современного вулканизма [5].

Закономерности накопления As в почвах в пределах выделенных участков показаны в табл. 1. Почвы исследованной территории на поверхности в целом остаются очень высокими с содержанием мышьяка значительно превышающие предельно допустимые концентрации, ПДК As - 10 мг/кг [3].

Таблица 1. Характеристика содержаний As в почве, мг/кг.

№ участка	кол-во проб	мин	макс	ср. знач.	станд. откл
1	18	43	8394	2424	2269
2	15	11	1400	177	352
3	37	19	4550	586	788

Максимальное накопление этого элемента установлено в почвенном грунте отвала на участке №1 и в зоне его влияния (табл. 1), распределение As здесь характеризуется высоким стандартным отклонением, что указывает на неоднородное его распределение. На этом участке наблюдается большой диапазон значения pH от 3,0 до 8,0 и высокие концентрации $C_{орг}$ до 13,5%, связанного с огарками.

Почвы территории участка 2, где непосредственно находился завод и вблизи него, характеризуются не очень высокими концентрациями As после рекультивации, так как здесь были проведены дополнительные работы по внесению удобрений и известковистого раствора в почвенный грунт после удаления остатков завода [1]. По данным ранее проведенных исследований, концентрации мышьяка в почвах на территории мышьяковистых отвалов достигали 21400 мг/кг, а на территории АМЗ до 36700 мг/кг [2], тогда как сейчас максимальная концентрация As в почве на территории здания бывшего АМЗ (участок 2) значительно ниже (табл. 1).

После ликвидации отвалов осталась их корневая часть. Это видно по распределению As по почвенному профилю №1, рис. 1-А, табл. 2. Содержание этого элемента с поверхности и до глубины 40 см остается очень высоким. Далее оно снижается, а на глубине 60-70 см концентрация As возрастает. Причиной этому служит, развитый на глубине глинистый природный горизонт, который создает геохимический барьер, способствующий иммобилизации концентраций мышьяка до 259 мг/кг. Такая же закономерность наблюдается и в почвенном профиле на месте бывшего АМЗ участка 2, рис 1-Б. Содержания As в этом случае характеризуются меньшими значениями, накоплением его также происходит на глубине 60-70 см на глинистом горизонте. Это указывает на наличие подвижных соединений мышьяка в почвенном разрезе, способных мигрировать вниз и сорбироваться на глинистом горизонте, который блокирует распространение мышьяка на глубину.

Рис. 1. Распределение содержания As мг/кг в почвенном профиле участка 1- А и участка 2-Б

Большую роль в миграции As по вертикальным разрезам могло играть также изменение кислотности почв и органическое вещество. В почвах разрезов прослеживалось снижение кислотности почв и количество $C_{орг}$ на глубину (табл. 2).

Таблица 2. Распределение концентраций As на глубину (мг/кг)

Почвенные разрезы	Мощность горизонта, см						
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Разрез 1 As	4650	8250	5150	146	12	11	259
pH	3,0	3,1	3,5	6,8	7,7	7,9	8,0
C _{орг} , %	6,5	4,0	3,0	1,5	1,4	0,9	0,7
Разрез 2 As	120	67	37	25	34	65	185
pH	3,8	3,8	4,1	7,4	7,8	8,1	8,1
C _{орг} , %	4,7	4,1	2,9	2,3	1,1	0,8	0,6

Анализ взаимодействия этих параметров с концентрацией мышьяка в почвах на основе полиномиальных регрессионных уравнений по разрезу 1 показал закономерное их взаимодействие (рис 2, табл. 2).

Рис. 2 Зависимость концентраций As мг/кг в почве от pH (А), от содержания C_{орг}(Б) в разрезе 1.

Наиболее тесное взаимодействие установлено между концентрациями As и водородным показателем pH по разрезу 1, рис. 2- А. С уменьшением pH наблюдается увеличение концентраций As в почве. Повышение концентраций C_{орг} в почве сопровождается увеличением концентрации мышьяка. Зависимость этих параметров характеризуется также значимым коэффициентом корреляции, рис. 2–Б. В пределах разреза 2 значимая корреляция между этими параметрами отсутствует, что может быть связано со специфическими миграционными процессами, связанными с проведенной здесь детоксикацией почв. Таким образом, формы соединений As и его миграционная подвижность может зависеть от pH и C_{орг} и на глубину по почвенному разрезу. Увеличение органического вещества в почве может менять величину окислительно-восстановительного потенциала почв Eh, который также влияет на миграцию и формы соединений мышьяка [5].

Таким образом, в настоящее время по результатам нашего исследования, территория остается опасной зоной для проведения какой-либо хозяйственной деятельности. В результате ликвидации бывшего АМЗ может быть приостановлен ветровой перенос мышьяка на жилую зону города Свирска, так как основной объем опасных мышьяковистых огарков был вывезен. По результатам исследования, находящийся на глубине глинистый горизонт почв служит мощным геохимическим барьером для проникновения остатков As и тяжелых металлов в подземные воды и попадание их в р. Ангару.

Литература

1. Богданов А.В., Качор О.А., Федотов К.В., Чайка Н.В. Ликвидация последствий деятельности мышьякового производства горно-перерабатывающей промышленности // Экология и промышленность России. 2014. № 2. С. 31-35.
2. 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.
3. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / под ред. Исаева Л.К. СПб: эколого-аналитический информационный центр «Союз». 1998. 896 с.
4. Шенькман Б.М. Свирский отвал арсенопиритового концентрата и его влияние на водные объекты // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология. 2016. № 2. С. 121-132.
5. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.