

# БИОГЕОХИМИЯ СВИНЦА В ГОРНОМ АЛТАЕ

О.А. Ельчинова, А.В. Пузанов, Т.А. Рождественская

*Исследовано содержание свинца в почвах и растениях Горного Алтая. Выявлено, что уровень концентраций элемента в почвенном покрове находится на уровне фоновых значений, характерных для незагрязненных регионов, и равен таковому в почвообразующих породах. Количество свинца в растениях исследуемой территории находится в пределах нормальных концентраций.*

*Ключевые слова:* свинец, уровень содержания, Горный Алтай, почвы, растения.

Повышенный интерес к свинцу вызван его приоритетным положением в ряду основных загрязнителей окружающей природной среды. Металл токсичен для микроорганизмов, растений, животных и людей. При длительном поступлении Pb в организм человека в высоких концентрациях может развиваться интоксикация, которая нарушает процессы обмена в железах внутренней секреции, поражает желудочно-кишечный тракт [1]. В последние десятилетия в процессы миграции свинца в природной среде интенсивно включилась антропогенная деятельность. Природными источниками металла являются выветривание горных пород, эрозия почв, вулканические газы и аэрозоли, дымовые выбросы лесных пожаров; антропогенными – металлургические заводы и предприятия по производству красителей, химикатов, пестицидов, батареи, аккумуляторы; сжигание топлива, городских отходов, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания, сточные воды и др.

Основным и практически единственным видом транспорта в Горном Алтае является автомобильный, долгое время работавший на топливе с добавками свинца. Период же полураспада элемента из почвы составляет от 740 до 5900 лет, что характеризует его как консервативный загрязнитель [1]. Поэтому исследование свинца в компонентах ландшафтов Горного Алтая представляется весьма актуальной задачей.

## *Свинец в почвах*

Естественные содержания свинца в почвах наследуются от материнских пород и тесно связаны с их составом. В региональных условиях на содержание свинца в почвах оказывает большое влияние рельеф местности, климат, растительный покров и хозяйственная деятельность человека [1-5].

Наименьшие концентрации исследуемого элемента обнаружены во всех типах почв высокогорного пояса и всех подтипах каштановых почв при невысокой вариабельности содержания элемента, наибольшие – в почвах лесостепного пояса – черноземах выще-

лоченных и оподзоленных при высоком значении коэффициента вариации (табл. 1). Последнее связано не только с уровнем концентрации тяжелого металла в почвообразующих породах, генезисом и свойствами почвы, но и антропогенным загрязнением территории распространения этих почв.

Таблица 1

Распределение свинца в почвах

Горизонт	n	lim		V, %
		мг/кг		
<i>Почвы высокогорного пояса</i>				
<i>Горно-тундровые</i>				
A <sub>0</sub> дер	13	3,0-15,0	8,2±0,9	38
A <sub>n</sub>	14	3,0-30,0	9,7±1,9	74
AB	13	6,0-20,0	15,3±1,2	53
B	26	3,0-30,0	14,5±1,4	50
C	15	6,0-30,0	14,1±1,6	43
Профиль	81	3,0-30,0	12,4±0,8	55
<i>Горно-луговые</i>				
A <sub>дер</sub>	11	2,9-16,8	9,7±1,4	47
A	11	3,1-19,8	14,6±0,3	53
B	13	3,3-30,8	15,4±0,3	53
BC	6	9,7-30,0	15,8±3,3	51
Профиль	41	2,9-30,8	13,2±1,3	54
<i>Горно-лугово-степные</i>				
A <sub>дер</sub>	6	5,7-15,3	10,3±2,6	44
A	6	15,0-22,3	16,6±1,7	17
B	10	9,8-21,0	15,2±1,6	24
C	6	9,9-15,2	13,3±1,7	22
Профиль	28	5,7-22,3	14,0±1,0	28
<i>Почвы горно-лесного пояса</i>				
<i>Горно-лесные бурые</i>				
A <sub>дер</sub>	10	8,0-45,0	18,5±3,6	61
A	10	8,0-50,0	15,5±4,0	81
AB	7	9,0-15,0	10,9±0,9	21
B	20	9,0-45,0	18,2±2,2	54
BC	7	10,0-36,0	15,9±3,5	59
C	10	8,0-20,0	10,9±1,2	35
Профиль	64	8,0-50,0	15,6±1,2	61
<i>Горно-лесные дерново-глубокоподзолистые</i>				
A <sub>дер</sub>	7	15,0-30,0	21,3±1,8	23
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	7	10,0-30,0	20,3±3,7	48
A <sub>2</sub>	7	10,0-30,0	19,1±2,7	38
A <sub>2</sub> B	8	15,0-35,0	25,6±2,4	27
B <sub>1</sub>	25	12,0-65,0	23,2±2,2	48
BC	9	12,0-30,0	19,6±1,9	30
C	6	15,0-40,0	23,8±3,8	39
Профиль	69	10,0-65,0	22,2±1,1	40
<i>Горно-лесные серые</i>				
A <sub>дер</sub>	9	8,0-59,0	24,7±6,6	81

БИОГЕОХИМИЯ СВИНЦА В ГОРНОМ АЛТАЕ

Горизонт	n	lim	X±m	V, %
		мг/кг		
A <sub>1</sub>	13	10,0-26,0	18,6±1,7	32
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	6	12,0-26,0	16,5±2,0	30
A <sub>2</sub> B	9	12,0-25,0	19,0±1,3	21
B <sub>1</sub>	19	13,0-45,0	25,0±1,9	34
BC	8	9,0-30,0	20,5±2,6	36
C	8	9,0-20,0	13,9±1,4	29
Профиль	72	8,0-59,0	20,6±1,1	47
<b>Горно-лесные черноземовидные</b>				
A <sub>дер</sub>	18	6,0-66,0	21,3±3,2	64
A	33	10,0-96,0	23,5±3,3	80
AB	11	12,0-102,0	28,7±7,5	87
B	17	10,0-85,0	25,2±4,1	66
C	25	10,0-123,0	22,4±4,3	97
Профиль	104	6,0-123,0	23,7±1,9	80
<b>Почвы лесостепного пояса</b>				
<b>Черноземы выщелоченные и оподзоленные</b>				
A <sub>тах (дер)</sub>	12	8,0-100,0	25,3±7,0	96
A <sub>к</sub>	13	10,0-100,0	26,5±6,3	87
AB	10	13,2-200,0	41,3±18,2	139
B	22	10,0-300,0	36,7±13,1	168
BC	11	13,5-40,0	22,2±2,7	40
C <sub>к</sub>	12	11,2-200,0	35,3±15,1	148
Профиль	80	8,0-300,0	31,7±5,0	140
<b>Почвы межгорных котловин и речных долин</b>				
<b>Черноземы обыкновенные</b>				
A <sub>тах (дер)</sub>	47	8,0-30,0	19,8±0,9	31
A <sub>к</sub>	55	9,3-35,0	20,9±0,9	34
AB <sub>к</sub>	36	9,3-35,0	19,8±1,1	32
B <sub>к</sub>	68	4,9-90,0	19,8±1,3	56
BC <sub>к</sub>	31	10,0-35,0	19,8±1,2	33
C <sub>к</sub>	23	9,0-80,0	23,9±2,8	56
Профиль	260	4,9-90,0	20,4±0,5	43
<b>Черноземы южные</b>				
A <sub>тах</sub>	27	6,2-60,0	18,5±2,6	71
A	27	6,6-30,0	15,3±1,5	49
AB	16	8,1-22,0	14,6±1,3	35
B <sub>к</sub>	40	6,0-30,0	16,3±1,0	41
BC	22	4,6-30,0	17,8±1,6	43
C <sub>к</sub>	47	5,6-40,0	16,5±1,3	54
Профиль	180	4,6-60,0	16,5±0,6	52
<b>Каштановые</b>				
A	33	4,2-30,0	15,2±1,0	39
B <sub>к</sub>	38	6,8-150,0	19,0±3,8	122
C <sub>к</sub>	28	6,0-30,0	13,9±1,3	49
Профиль	99	4,2-150,0	16,3±1,5	93
<b>Интразональные почвы</b>				
<b>Черноземно-луговые и лугово-черноземные</b>				
A <sub>дер</sub>	4	8,1-22,3	14,0±3,3	48
A	8	8,2-22,1	13,5±2,2	47
AB	4	12,2-21,1	15,2±2,1	28
B	13	10,2-32,3	19,8±2,0	37
BC	3	20,0-25,1	22,6±1,4	11
C	3	9,2-15,1	11,6±1,7	26
Профиль	35	8,1-32,3	17,2±1,1	39
<b>Лугово-болотные</b>				
A <sub>т</sub>	6	3,3-10,2	7,1±1,4	50
B	5	7,4-15,1	11,9±1,5	29
S	11	3,0-14,8	9,2±1,1	38
D	5	9,8-15,0	11,4±0,9	19
Профиль	27	3,0-15,0	9,6±0,7	38

Примечание. Здесь и далее: n – число проб, lim – пределы колебаний, X±m – средняя арифметическая и ее ошибка, V – коэффициент вариации.

Сравнительно высокое содержание свинца обнаружено в почвах горно-лесного

пояса: горно-лесных дерново-глубоко-подзолистых – 22,2±1,1 мг/кг. Это в 2 раза выше, чем в подзолистых почвах Европейской части бывшего СССР – 11,5 мг/кг [6], в горно-лесных серых – в 1,6 раза.

Выше уровень концентрации элемента во всех подтипах чернозема исследуемого региона по сравнению с черноземами европейской части: от 1,3 (черноземы южные) до 2,4 раза (черноземы выщелоченные и оподзоленные) [6].

Свинец среди тяжелых металлов наименее подвижен. В почвах высокогорного пояса наблюдается его накопление в горизонте B. В горно-лесного поясе (в горно-лесных бурых почвах и горно-лесных серых) отмечается два максимума содержания элемента: в горизонтах A (биогенное накопление) и горизонте B. В них обнаружена достоверная положительная корреляционная зависимость между концентрацией свинца и содержанием гумуса. В дерново-глубокоподзолистых почвах также обнаружено два максимума содержания свинца: в иллювиальном горизонте и материнской породе. Основная его масса трансформируется в лесной подстилке и гумусовых горизонтах почв.

В почвах черноземного ряда биогенное накопление обнаружено только в черноземах южных. Равномерное распределение характерно для темно-каштановых почв. В интразональных почвах максимум содержания свинца – в горизонте B.

Почти во всех типах почв наблюдается достоверная отрицательная корреляционная зависимость между концентрацией свинца и реакцией почвенного раствора.

Таким образом, уровень концентраций свинца в почвенном покрове Алтайской горной области находится на уровне фоновых значений.

**Свинец в растениях**

Высокие содержания свинца в питательной среде вызывают нарушения метаболизма у растений. Основным симптомом токсического действия Pb является торможение роста и угнетение накопления биомассы [14]. Естественные уровни содержания свинца в растениях из незагрязненных и безрудных областей находятся в пределах 0,1-10,0 мг/кг сухой массы при средней концентрации 2 мг/кг [1], по данным В.Б. Ильина [9] – 4,1 мг/кг. Широкое варьирование содержания свинца в растениях связано с их способностью накапливать этот элемент, а также с воздействием различных факторов среды. По данным [8] содержание элемента в растении возрастает

непропорционально увеличению его концентрации в почве.

Различные виды растений характеризуются избирательной способностью в накоплении свинца, которая обусловлена их биологическими особенностями. Разница между минимальным и максимальным содержанием свинца в растениях может достигать нескольких раз [9].

Наиболее интенсивное поступление свинца в растения происходит на кислых дерново-подзолистых почвах [10] и совсем небольшое – на черноземах [8]. Ионы свинца, поступающие в почву, очень быстро теряют подвижность в результате химических реакций, а также за счет поглощения органическими и минеральными коллоидами [11].

Содержание свинца в растениях Горного Алтая изменяется от 0,1 до 11,4, в среднем составляя  $1,80 \pm 0,09$  мг/кг (табл. 2) при незначительном отличии концентраций между природно-климатическими районами. В 80 % выборки надземной массы содержание свинца не превышает 2 мг/кг.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в растениях разных природно-климатических районов Горного Алтая, мг/кг

Районы Алтая	n	lim	$\bar{X} \pm m$	V, %
Северный	99	0,1-11,4	$1,97 \pm 0,15$	78
Центральный	29	0,9-3,8	$1,85 \pm 0,14$	41
Юго-Восточный	80	0,5-7,5	$1,57 \pm 0,11$	63
Итого	208	0,1-11,4	$1,80 \pm 0,09$	71

Различия между группами растений также незначительны (таблица 3).

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в разных группах растений, мг/кг

Растения	n	lim	$\bar{X} \pm m$	V, %
Дикорастущие	170	0,1-11,4	$1,50 \pm 0,07$	65
Культурные	35	0,5-7,2	$1,53 \pm 0,19$	75
Зерновые	9	0,8-2,5	$1,31 \pm 0,17$	40
Кормовые травы	26	0,5-7,2	$1,60 \pm 0,25$	80
Культивируемые	25	0,4-3,1	$1,56 \pm 0,16$	50
Итого	230	0,1-11,4	$1,54 \pm 0,06$	64

Не обнаружено значительных колебаний в среднем содержании свинца и в растениях разных ботанических семейств при заметных различиях внутри них (таблица 4). Максимальные концентрации обнаружены в корнях *Polemonium coeruleum* и *Raeonia anomala*.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в растениях разных ботанических групп, мг/кг

Семейство	lim
Бобовые – Fabaceae	0,05-2,5
Брусничные – Vacciniaceae	0,6-1,3
Бурачниковые – Boraginaceae	1,0-1,6
Гречишные – Polygonaceae	1,0-2,3
Губоцветные – Lamiaceae	0,25-4,10
Зверобойные – Hypericaceae	1,0-2,5
Камнеломковые – Saxifragaceae	1,1-2,9
Капустовые – Brassicaceae	0,1-0,2
Кипрейные – Onagraceae	1,0-1,5
Крапивные – Urticaceae	3,2
Лютиковые – Ranunculaceae	0,21-3,80
Мареновые – Rubiaceae	0,06-2,60
Норичниковые – Scrophulariaceae	0,13-2,50
Пионовые – Paeoniaceae	5,6-15,8
Розоцветные – Rosaceae	0,31-3,80
Синюховые – Polemoniaceae	0,1-5,7
Сложноцветные – Asteraceae	0,13-2,70
Толстянковые – Grassulaceae	1,2-1,6
Шикшевые – Empetraceae	1,0-2,0

Влияние исходного валового содержания свинца в почве исследовано на примере *Pentaphylloides fruticosus* (L.) – курильского чая (сем. Rosaceae). Оно довольно широко распространено на территории Горного Алтая и встречающегося в условиях разных ландшафтно-геохимических обстановок [12] (таблица 5).

Таблица 5

Содержание химических элементов в *Pentaphylloides fruticosus* (L.) и почвах, мг/кг

Разрез	Объект	Pb
Э1/91. Правый берег р. Жумалы выше устья р. Сарытас	почва	6,0
	растение	1,4
Э3/91. Верховья р. Жумалы	почва	6,6
	растение	1,2
Э4/91. Левый берег ручья Теплый	почва	3,6
	растение	1,4
Э5/91. Верховья р. Сарытас	почва	8,1
	растение	1,4
Э7/91. Долина Тархатинских озер	почва	4,3
	растение	2,7
Э13/91. Чуйская степь	почва	6,5
	растение	1,2

Связи между содержанием элемента в растениях и его валовым количеством в почве нет. В фоновом диапазоне содержания свинца в почве увеличение этого параметра практически не приводит к возрастанию концентрации свинца в растении. Это свидетельствует о превалировании генетического фактора в накоплении тяжелых металлов растениями, то есть растения способны регулировать химический состав независимо от

уровня содержания элемента в почве. С другой стороны, возможно, коэффициенты накопления, рассчитанные на валовое содержание элемента в почве, не всегда отражают реальную подвижность его в звене почва-растение.

Условия культуры не оказали влияния на концентрацию элемента в культивируемых лекарственных растениях (табл. 6). Во всех исследованных лекарственных растениях как культивируемых, так и дикорастущих содержание свинца не превышало допустимый уровень для БАДов (СанПин 23.2.1078-01). Наибольшие концентрации обнаружены в корнях *Echinacea purpurea*, наименьшие – в соцветиях *Inula helenium* и *Calendula officinalis*, облиственные побеги занимают промежуточное положение.

Таблица 6

Вариационно-статистические показатели содержания тяжелых металлов в лекарственных растениях Северного Алтая, мг/кг

Растения	n	lim	$X \pm m$	V, %
Дикорастущие	68	0,1-5,7	1,80±0,10	48
Культивируемые	25	0,4-3,1	1,60±0,16	50
ДУ для БАДов – не более 6,0				

Таким образом, уровень концентраций свинца в почвенном покрове Алтайской горной области немного выше кларка, но находится на уровне фоновых значений для незагрязненных территорий и равен таковому в почвообразующих породах. Содержание свинца в растениях Горного Алтая находится в пределах нормальных концентраций, при которых нет нарушений метаболических функций у растений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
2. Борисова Е.Н. Изучение естественного содержания свинца в почве и пищевых продуктах: Автореф. дис. ... канд. мед. наук – Казань: Мед. ин-т, 1960. – 12 с.
3. Золотарева Б.Р., Скрипниченко И.И., Гелетюк Н.И. Содержание и распределение тяжелых металлов (свинца, кадмия, ртути) в почвах Европейской части СССР // Генезис, плодородие и мелиорация почв. – Пушино, 1980. – С. 77-90.
4. Юшкан Е.Н., Чичева Т.Б., Лаврентьева Е.В. Фоновое содержание свинца, ртути, мышьяка и кадмия в природных средах (по мировым данным). Сообщ. 2 // Мониторинг фоновых загрязнений природных сред. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – Вып. 2. – С. 17-35.
5. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. Книга Редкие d-элементы. – М.: Экология, 1997. – 576 с.
6. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды – М.: Недра, 1976. – 248 с.
7. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
8. Ильин В.Б., Юданова Л.А. Тяжелые металлы в почвах и растениях // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. Часть II. Процессы биоаккумуляции и экотоксикология. – Новосибирск, 1989. – С. 6-47.
9. Кашин В.К., Иванов Г.М. // Агрехимия. – 1997. – № 8. – С. 61-67.
10. Сокаев К.Е., Бестаев В.В., Бясов К.Х. // Агрехимический вестник. – 2004. – № 2. – С. 16-18.
11. Курочкина Г.Н., Пинский Д.Л. // Агрехимия. – 2004. – № 3. – С. 55-62.
12. Ревушкин А.С. Высокогорная флора Алтая. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. – 320 с.

## ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ И ТРАНСЛОКАЦИИ ПЕСТИЦИДОВ В УСЛОВИЯХ АЛТАЙСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

Ю.В. Робертус, А.В. Кивацкая, Р.В. Любимов, Е.Н. Куликова-Хлебникова

*Рассмотрены слабо изученные вопросы поведения хлорорганических пестицидов ДДТ и ГХЦГ на территории Горного Алтая. Установлены уровни их присутствия в загрязненных природных средах и продуктах питания растительного и животного происхождения. Выяснен характер миграции и аккумуляции пестицидов в условиях региона, особенности их перехода из загрязненных почв в сопряженные природные среды и продукты питания. Предварительно установлено, что основной переход изученных ХОП происходит в системе почва-растение, в меньшей степени – в системах «почва-вода» и «почва – донные осадки».*

*Ключевые слова: Горный Алтай, хлорорганические пестициды, остаточное загрязнение, природные среды, почвы, миграция, аккумуляция, транслокация.*

К стойким хлорорганическим пестицидам (ХОП), применявшимся в прошлом в форме дустов на территории Горного Алтая, отно-

сятся, в основном, СОЗ 1 класса – ДДТ и ГХЦГ. В результате их хранения и применения сформировался ряд различных по интен-