

БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЫШЬЯКА В ПОЧВАХ АЛТАЯ

С.В. Бабошкина

В пределах территории Алтая уровень содержания валового и подвижного мышьяка в почве довольно высокий, однако процентное соотношение общего количества мышьяка и концентрации его мобильных соединений согласуется с данными для других регионов и не кажется чрезмерным. Характер внутрипрофильного распределения мышьяка в почвах Алтая мало зависит от гранулометрического и микроэлементного состава почвообразующей породы; биогеохимическое поведение элемента определяется ведущим почвообразовательным процессом, его соответствие типу почв довольно четкое.

ВВЕДЕНИЕ

Мышьяк входит в группу особо опасных загрязняющих веществ [1] и в повышенных концентрациях оказывает токсическое действие на живые организмы. В процессе переработки полиметаллических руд, минералов серы и фосфора, при сжигании угля и нефти, использовании мышьяксодержащих пестицидов элемент существенно загрязняет окружающую среду. Дальнейшая миграция мышьяка, его поступление в растительные и животные организмы определяется свойствами почвы как одной из основных частей биосферы, поэтому содержание мышьяка в педосфере является важной экологической характеристикой региона.

Ранее отмечалось, что фоновые концентрации мышьяка в почвах и почвообразующих породах Алтая сравнительно высокие [2, 3, 4], тогда как биогеохимические циклы в природных ландшафтах края, почти не испытывающего химического загрязнения, практически не нарушены. Поэтому дальнейшие исследования интересны теоретически и имеют практическое значение.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологической базой для проведения экспедиционных работ послужил сравнительно-географический метод. Почвенные разрезы закладывали в системе ландшафтно-геохимических профилей, образцы почв отбирали из генетических горизонтов.

Физико-химические свойства почв определены общепринятыми методами, мышьяк – атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре фирмы Perkin-Elmer. Для извлечения подвижных соединений мышьяка использовали метод Кирсанова, разработанный для определения фосфора, в вытяжках 0,2н HCl при отношении почва: раствор – 1:10.

Геохимическое сродство мышьяка и фосфора позволяет считать, что природные механизмы образования их подвижных форм имеют схожие черты, и извлечение этих элементов из почв можно проводить по аналогичным схемам [5]. В процессе анализа учитывается содержание не только легкорастворимых соединений мышьяка, но и та его фракция, которая может проникать в растения коллоидно-химическим путем в процессе контактного обмена между корневым волоском и твердой частицей почвы, минуя растворение [6].

После проведения вариационно-статистической обработки данных полученная информация интерпретировалась с использованием сравнительно-генетического подхода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Среднее содержание мышьяка в незагрязненных почвах разных стран составляет 3,6 мг/кг [7] и 8,7 мг/кг по более поздним уточненным данным [8]. Незагрязненные почвы мира редко содержат мышьяка более 10 мг/кг, за исключением областей современного или недавнего вулканизма. Среднее содержание мышьяка в почвах бывшего СССР, как правило, не превышает более чем в 2 раза фоновое содержание – 5 мг/кг и составляет (мг/кг): в черноземах 5,4-9,5, в каштановых почвах 4,5-8,0, в серых лесных 1,5-9,6, в подзолистых – 1,2-3,0 и в почвах тундры 1,3-3,0 [7]. Регионы, педосфера которых содержит 10-25 мг/кг мышьяка, уже считаются биогеохимическими провинциями [9].

Среднее содержание валового мышьяка в педосфере Алтая составляет $17,6 \pm 1,0$ мг/кг, изменяясь от 0,4 до 69 мг/кг. Уровень этот не выходит за пределы фоновых концентраций мышьяка для незагрязненных почв мира – $<1-95$ мг/кг [8], но все же весьма высок и превышает российские ОДК: 2 мг/кг – для песчаных

БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЫШЬЯКА В ПОЧВАХ АЛТАЯ

почв, 5 мг/кг – для кислых, суглинистых и глинистых и 10 мг/кг – для нейтральных суглинистых и глинистых почв [10]. Это позволяет выделить изучаемую территорию как биогеохимическую провинцию с высоким валовым содержанием мышьяка в почве.

Биогеохимическая особенность педосферы региона объясняется фосфоритонностью отложений Алтае-Саянской горной страны – мышьяк, как известно, обладает геохимическим сродством к фосфору [7, 9, 2], и металлогеническими особенностями почвообразующих субстратов Алтая [11].

Почвы автоморфного ряда – горно-тундровые, горно-луговые, формирующиеся на коренных элювиально-делювиальных отложениях, отличаются довольно высокими средними содержаниями элемента – 13,6 и 24,2 мг/кг соответственно. Почвы горно-лесных экосистем занимают промежуточное положение по содержанию мышьяка. Среди почв аккумулятивных ландшафтов довольно высоким содержанием характеризуются только тяжелосуглинистые луговые и тонкосупесчаные аллювиальные полугидроморфные почвы пойм рек (20,5 мг/кг). Черноземы и каштановые почвы сухостепных котловин, формирующиеся на песчаных озерных и аллювиальных отложениях, характеризуются минимальными концентрациями элемента (12,1 – 12,7 мг/кг). По литературным данным, в аналогичных типах почв, но сменяющих друг друга в широтном направлении, количество мышьяка наоборот убывает от черноземов и каштановых почв к дерново-подзолистым, серым лесным почвам и почвам тундры [7, 12].

Разнообразная минеральная основа почвообразования, исходная неоднородность почвообразующих субстратов по генезису, минералогии, и гранулометрии обуславливают неравномерное содержание мышьяка в педосфере Алтая, высокие коэффициенты варьирования средних значений (<60%) и ненормальное статистическое распределение.

Биогеохимическая ситуация осложняется влиянием зон высокой минерализации мышьяка – многочисленных месторождений киновари и полиметаллов, причем влияние это носит экспозиционный характер. Например, зоной аккумуляции Восточно-Алтайской полиметаллической и Курайской ртутной зон можно считать лишь северный, более увлажненный макросклон водосборного бассейна р. Башкаус, где были обнаружены аномальные концентрации мышьяка (42-233 мг/кг). Педосфера юго-западного макросклона Курайско-

го хребта и прилегающих к нему Чуйской и Курайской котловин отнюдь не обогащена мышьяком. Геохимические связи здесь выражены слабее, поскольку в условиях аридной обстановки миграционные способности мышьяка, как активного водного мигранта, снижены [13, 14], и среднее содержание элемента в каштановых почвах составляет всего 11,8 мг/кг.

Использование сведений только о валовом содержании химического элемента в педосфере позволяет объективно оценить лишь размер его накопления [15]. В мониторинге окружающей среды, кроме выявления фоновых уровней содержания элемента, или обнаружения его естественных аномалий, важное место занимает прогнозирование масштаба поступления этих элементов в растения, для чего необходима информация о содержании его подвижных форм.

Содержание водорастворимых форм мышьяка почти во всех исследованных нами образцах оказалось ниже предела обнаружения. В водную вытяжку перешли соединения элемента только в образцах почв, обнаруживающих очень высокие валовые концентрации вследствие антропогенного загрязнения или в условиях напряженного литогеохимического фона. Например, в образце верхнего горизонта горно-тундровой почвы (р.12-99, место бывшей дислокации военной части), концентрация валового мышьяка достигает 40 мг/кг, а содержание его водорастворимой формы составило 0,033 мг/кг. В гумусовом горизонте черноземовидной почвы, формирующейся вблизи урановой шахты (с. Ело) обнаружено 0,013 мг/кг водорастворимых арсенатов. Высокие концентрации мышьяка в почвенном растворе (0,013 мг/кг) верхнего горизонта светло-каштановой лугово-солончаковой почвы (р. 27-99) можно объяснить естественными биогеохимическими и почвообразовательными процессами – современными и реликтовыми [4].

Среднее содержание подвижных форм мышьяка в педосфере Алтая составляет 0,45 мг/кг, варьируя в пределах от 0,10 до 1,13. Максимальное значение обнаружено в верхнем горизонте светло-каштановой лугово-солончаковой почвы. Минимальным содержанием подвижной формы мышьяка отличается иллювиальный горизонт В₄ дерново-глубокоподзолистой почвы.

Максимальным средним содержанием подвижного мышьяка характеризуются черноземы выщелоченные. Черноземы южные и обыкновенные содержат соответственно 0,40

и 0,41 мг/кг подвижного As. Каштановые почвы Алтая по количеству в них подвижного As близки к черноземам выщелоченным – 0,59 мг/кг. Таким образом, «крайние» члены ряда почв степного периода почвообразовательного процесса характеризуются максимальными концентрациями подвижного мышьяка.

Таблица 1
Содержание мышьяка в почвах Алтая

Почвенный горизонт	Глубина образца	As, мг/кг	
		Подвижный (0.2н HCl)	Валовый
Горно-лесная дерново-глубокоподзолистая на бескарбонатных глинах, р.2-98			
A _{дер}	1-3	0,37	25
A	3-13	0,46	21
A ₁ A ₂	16-26	0,36	25
A ₂	34-44	0,59	27
A ₂ B	52-62	0,32	19
B ₁	67-77	0,48	21
B ₂	80-90	0,52	28
B ₃	100-110	0,20	22
B ₄	120-130	0,15	21
B ₅	155-165	0,32	22
BC	175-185	0,61	21
Темно-серая лесная на покровных бескарбонатных глинах, р.3-98			
A _д	1-7	0,12	13
A ₁	7-17	0,10	18
A ₁ A ₂	20-30	0,43	23
A ₂ B	40-50	0,26	15
B ₁	60-70	0,37	22
B ₂	78-88	0,65	19
B ₃	120-130	0,50	21
BC	155-165	0,46	26
C	190-200	0,60	21
Темно-серая лесная на песчаных аллювиальных отложениях, р. 48-00			
A _д	2-12с	0,41	14
A ₁	9-19с	0,32	33
AB	20-30	0,32	20
B	35-45	0,73	25
BC	60-70	0,22	14
C	75-85	0,53	9
D ₁	95-100	0,67	10
D ₂	108-118	0,63	10
D ₃	120-130	0,62	28
Горно-лесная бурая среднемощная на элювио-делювиальных отложениях, р.13-99			
A _{дер}	1-7	0,47	27
A	7-15	0,49	26
B ₁	20-30	0,40	19
B ₂	40-50	0,38	19

		As, мг/кг	
		Подвижный (0.2н HCl)	Валовый
BC	70-80	0,20	22
Горно-лесная бурая супесчаная на флювиогляциальных отложениях, р.22-99			
A _{дер}	1-6	0,45	11
A	6-14	0,19	5
AB	15-25	0,19	7,5
B	28-38	0,34	7,2
BC	40-50	0,29	6,8
CD	70-80	0,14	7,5
Горно-лесная черноземовидная на суглинстом элювио-делювие, р.14-99			
A _{дер}	1,5-9	0,57	17
A'	15-25	0,25	22
AB	37-47	0,24	22
B ₁	50-60	0,27	23
B ₂	62-72		28
BC _к	80-90	0,52	22
C _к	100-110	0,54	20
Горно-лесная черноземовидная, на элювио-делювие, с.Ело, р.62-00			
A _{дер}	4-11	0,58	34
A ₁	12-22	0,40	33
A ₂	30-40	0,30	49
AB	50-60	0,38	45
B	65-75	0,47	77
CD	78-88	-	49
Горно-тундровая полугидроформная на волокнисто-щебнистом делювие, р.12-99			
A	0-5	0,70	40
B ₁	5-15	0,39	27
B ₂	16-26	0,43	20
BC	30-40	0,24	22
CD	42-52	0,47	23
Чернозем выщелоченный оподзоленный на покровных суглинках, р.4-98			
A _{дер}	0-6	0,55	18
A ₁	8-18	-	19
AB	20-29	0,27	19
B ₁	31-41	0,76	25
B ₂	44-54	0,41	21
B ₃	60-70	-	27
B ₄	86-96	1,03	23
B ₅	104-114	0,47	25
BC	130-140	0,56	22
CD	170-180	0,75	25
Чернозем обыкновенный среднемощный на щебнисто-песчаном аллювие, р.49-00			
A _{дер}	0-10	0,59	19
A ₁	20-30	0,75	12
AB	38-48	0,93	18
B	50-60	0,49	19

БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЫШЬЯКА В ПОЧВАХ АЛТАЯ

Почвенный горизонт	Глубина образца	As, мг/кг	
		Подвижный (0.2н HCl)	Валовый
BC	80-90	0,59	7
C	110-120	0,40	11
D	130-140	0,32	20
Чернозем обыкновенный на тонкосупесчаных карбонатных отложениях, (с/х), р.50-00			
Апах	0-10	0,25	10
A1	22-32	0,28	21
AB	32-40	0,31	10
B	45-55	0,31	11
B	60-70	0,23	14
BC	77-87	0,34	8
C	100-110	0,40	13
Чернозем обыкновенный маломощный на песчано-дресвянисто-мелкогалечниковых аллювиальных отложениях (с/х), р.51-00			
Апах	0-10	0,21	9
B	25-35	0,17	19
D1	42-52	0,35	12
D2	67-77	0,41	12
D3	88-98	0,47	15
Чернозем южный, среднемощный, супесчаный на песчано-галечниковых озерно-аллювиальных карбонатных отложениях, р.16-99			
A _{дер}	0-7	0,62	21
A ₁	7-14	0,45	16
AB _к	20-30	0,47	17
B ₁	35-45	0,19	17
B ₂	60-70	0,53	19
BC	80-90	0,24	15
CD	95-105	0,32	6,5
Каштановая маломощная на аллювиально-галечниковых отложениях, р.24-99			
A	0-8	0,39	21
B	10-20	0,50	12
C	30-40	0,48	12
Темно- каштановая на песчано-галечниковых аллювиальных отложениях, р.26-99			
Ад	0-5	0,40	8,6
A	5-15	0,29	13
B	25-35	0,73	17
BC	40-50	0,32	13
C	55-65	0,68	12
Светло-каштановая, песчаная, солончак-овая, луговая, р.27-99			
A	1-15	1,13	17
B	20-30	0,66	7,9
C	30-40	0,89	5

		As, мг/кг	
		Подвижный (0.2н HCl)	Валовый
Горно-тундровая дерновая автоморфная на элювие хлоритовых сланцев, р.31-01у			
Адп	0-5	0,66	7,0
A	5-13	0,15	5,3
B	13-23	0,83	4,0
BC	23-40	0,44	7,7
Горно-тундровая торфянисто-перегнойная, р.32-01у			
Атп	0-5	0,72	4,0
A	5-19	0,63	5,2
B	19-50	0,72	6,3
BC	50-70	0,42	5,8
Горно-лугово-степная, р.33-01у			
Ад	0-8	0,62	4,2
A	8-22	0,48	14,1
B	22-39	0,34	8,9
BC	39-53	0,33	4,9

Среди лесных почв минимальное среднее содержание подвижного мышьяка обнаружено в горно-лесных бурых (0,32 мг/кг) а максимальное – в темно-серых лесных почвах (0,44 мг/кг). Довольно высоким содержанием подвижного As характеризуются горно-тундровые почвы (0,52 мг/кг).

Корреляционной зависимости между содержанием в почве подвижных форм мышьяка и ее физико-химическими свойствами нами не обнаружено.

На долю подвижных форм мышьяка для 70% всех исследованных образцов почв Алтая приходится менее 3% от общего содержания элемента. По данным Г.В. Мотузовой, соотношение подвижных форм мышьяка (также определенных по методу Кирсанова) и валового его количества в гумусовых горизонтах лесных почв изменяется от 1,6% (Сихотэ-Алинь) до 7% (Московская, Тульская области) [17]. Таким образом, абсолютное содержание подвижных форм мышьяка в почвах Алтая (как и валовое) можно признать повышенным, однако соотношение его общего количества в почве и форм, доступных растениям, не превышает аналогичные показатели для других территорий.

Доля подвижных форм мышьяка от валового его содержания в почвах Алтая обратна пропорциональна общему содержанию, коэффициент корреляции составляет –0,53. Следовательно, степень интенсивности вовлечения элемента в биологический круговорот, его миграционная способность определяется не общим его содержанием в педосфере, а химическими свойствами почвы и

свойствами самого элемента, потребностями в нем живого вещества экосистемы.

В горно-тундровых и каштановых почвах Алтая степень подвижности мышьяка, (то есть одновременно высокое абсолютное содержание подвижных форм и процент от общего содержания мышьяка) наиболее высока. Дело в том, что выше указанные два типа почв отличаются максимальным проявлением условий, необходимых для мобилизации соединений мышьяка, как анионогенного элемента и активного водного мигранта. Горно-тундровые почвы характеризуются, максимальным увлажнением, а каштановые – наиболее высоким рН среды.

Для того, чтобы оценить, масштабы возможного антропогенного воздействия на окружающую среду, выявить экологически опасные отклонения, необходимо иметь представление об исходной, «нормальной» биогеохимической ситуации. Одним из ее показателей является характер распределения токсичных элементов в профиле почвенного покрова, которое, при отсутствии негативных воздействий на окружающую среду, должно быть постоянным, и зависеть исключительно от свойств почвы и химического элемента. Если антропогенное воздействие имеет значительное влияние на почвенный покров, кривая внутрипочвенного распределения элемента должна существенно измениться. Например, резко аккумулятивное распределение [17] или повышенное содержание подвижных форм [15] справедливо считаются признаком антропогенной нагрузки на почвенный покров. Поэтому одной из задач настоящего исследования являлось выяснить влияние почвообразовательного процесса на распределение мышьяка в профиле.

Нами сравнивались картины распределения элемента в почвах, факторы почвообразования которых схожи, а микроэлементный или гранулометрический состав подстилающих пород резко отличаются. Например, горно-лесная бурая почва, формирующаяся на суглинистом элювио-делювии коренных пород (р.13-99), и бурая лесная почва, почвообразующей породой для которой выступают флювиогляциальные песчаные отложения (р.22-99), заметно отличаются по количеству валового мышьяка. Однако, содержание подвижной формы элемента в них практически одинаково, а распределение мышьяка в профиле в обоих случаях носит аккумулятивный характер, который, очевидно, определяется здесь естественными причинами. Та же закономерность обнаружилась при сравнении

разных по гранулометрическому составу темно-серых лесных почв.

В почвах одного типа, формирующихся на субстратах различного петрографического состава, условия почвообразования также являются решающим фактором в процессе перераспределения мышьяка в профиле и образовании его подвижных соединений. Несмотря на повышенные (до 77 мг/кг в горизонте В) концентрации валового мышьяка в черноземовидной почве, разрез который был заложен в окрестностях с. Ело (урановой шахты, р.62-00), характер распределения обоих форм элемента практически не отличается от его распределения в черноземовидной почве Семинского хребта (р.14-99). Кроме того, по абсолютному содержанию подвижных форм мышьяка почва, формирующаяся в условиях напряженного литогеохимического фона, не отличается от почвы со средним содержанием элемента в почвообразующей породе. Таким образом, естественно высокий уровень валового содержания мышьяка в черноземовидных почвах Алтая не представляет экологической опасности для окружающей среды, поскольку при этом степень подвижности элемента не увеличивается, а его внутрипрофильное поведение не изменяется и остается характерным для данного типа почв.

Известно, что содержание мышьяка в почве увеличивается при техногенном загрязнении, при этом значительно возрастает абсолютное и относительное содержание его подвижных форм [15]. Разрез горно-тундровой полугидроморфной почвы 12-99 отличается повышенным валовым содержанием мышьяка. Резко аккумулятивный характер распределения и повышенное (но не максимальное) содержание подвижных форм мышьяка (0,70 мг/кг) объясняется расположением разреза на месте бывшей дислокации военной части. Однако, процентное соотношение подвижной и валовой форм мышьяка не превышает аналогичное значение для, например, незагрязненных горно-тундровых почв плато Укок. Очевидно, дополнительный приток мобильных соединений элемента связывается с органическим веществом почвы, и «техногенный» мышьяк, не нарушая экологического равновесия, переходит в неподвижное состояние.

Прежде чем приступить к рассуждениям о типах биогеохимического поведения мышьяка в почвах Алтая, необходимо уточнить:

1) по валовой концентрации мышьяка мы судим непосредственно о количестве элемента в почвенном образце, а содержание

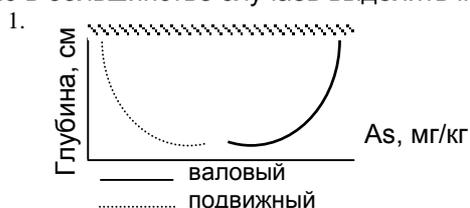
БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЫШЬЯКА В ПОЧВАХ АЛТАЯ

подвижных форм мышьяка (абсолютное и процентное) является, в нашем понимании, скорее, качественной характеристикой, определяющей миграционную способность элемента в данном горизонте или почвенном профиле, и то, с какой интенсивностью возможно его выщелачивание или вовлечение в биологический круговорот;

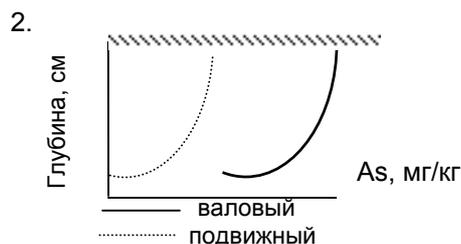
2) вертикальная нисходящая миграция мышьяка в пределах геохимического или почвенного профиля может происходить в составе неподвижных труднорастворимых соединений, поэтому судить о ней можно по общему содержанию элемента в почве; с другой стороны, процессы биогенного накопления, испарительной концентрации и осаждения на карбонатном барьере происходят исключительно в форме подвижных соединений;

3) если содержание подвижных форм элемента относительно высокое в горизонтах В, ВС, это, на наш взгляд, свидетельствует о том, что элемент, если и вовлекается в биологический круговорот, то в большей степени корневыми волосками древесной растительности, а если концентрация подвижных форм максимальна в гумусовом горизонте, это указывает на его «потребление» травянистыми формами растительного сообщества

По нашим данным, во многих типах почв Алтая внутрипрофильное распределение валового мышьяка и его подвижной формы очень неравномерно. Тем не менее, общую закономерность – аккумуляцию или регрессию в большинстве случаев выделить можно.



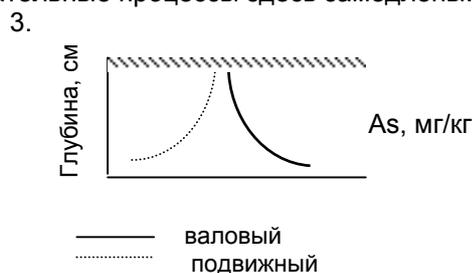
В верхнем почвенном содержание валового мышьяка увеличено, одновременно снижается его подвижность, что является, очевидно, результатом «перекачивания» мышьяка в форме подвижных соединений из нижних горизонтов корнями древесной растительности и дальнейшего закрепления его органическим веществом гумусового слоя. Такое сочетание аккумулятивного характера распределения для валовой формы мышьяка и регрессивного – для подвижной четко выражено на примере разрезов 48-00 горно-лесной темно-серой почвы и 2-98 дерново-глубокоподзолистой.



Одновременно с аккумуляцией в верхнем гумусовом горизонте валовой концентрации возрастает и подвижность мышьяка по сравнению с почвообразующей породой. Такое сочетание может быть обусловлено, во-первых, привнесением элемента в почвенный покров подчиненных ландшафтов в процессе поверхностной миграции, а во-вторых, активными биогенными процессами минерализации и аккумуляции в верхних горизонтах, когда доминирующая роль в процессе перераспределения мышьяка принадлежит травянистой растительности.

Примером такого биогеохимического поведения являются почвы, формирующиеся под сухостепными и степными растительными сообществами. Это чернозем обыкновенный (р.49-00), чернозем южный (р.16-99). Накопление мышьяка в верхних горизонтах этих почв также определяется испарительной концентрацией.

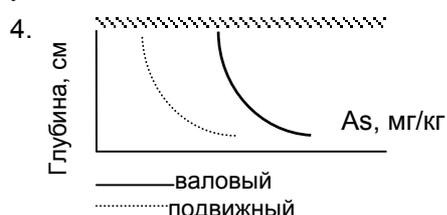
Поведение мышьяка в почвенном покрове автоморфных кобрезиевых тундр (р.31-01) также можно отнести ко второму типу, хотя содержание мышьяка в их гумусовом горизонте еще не достигает исходного значения материнской породы, поскольку почвообразовательные процессы здесь замедлены.



Уменьшение общего содержания мышьяка в верхних гумусовых горизонтах при возрастании степени его подвижности наблюдается например, в горно-лесных черноземовидных почвах (разрезы 14-99 и 62-00). «Расход» происходит из-за выщелачивания мышьяка и осаждения его на карбонатном геохимическом барьере.

В горно-тундровой торфянистой почве (р.32-01) происходит, возможно, депонирование мышьяка в коре ерника, и, что более вероятно, его пространственная миграция в ус-

ловиях крутого склона и промывного режима увлажнения.



Регрессивное распределение элемента можно наблюдать в почвах аккумулятивных ландшафтов, формирующихся под травянистой растительностью. В случае промывного режима увлажнения преобладает вертикальное перемещение всех форм мышьяка в более глубокие слои почвы (р.4-98 чернозема выщелоченного) и пространственная миграция труднорастворимых форм элемента. В случае непромывного режима (в каштановых почвах) механизмы распределения мышьяка действуют снизу вверх, и снижение его подвижности при увеличении общего содержания в верхних горизонтах происходит в результате испарительной концентрации элемента. Причем такое накопление мышьяка может происходить как в А горизонте (р. 24-99), так и на уровне капиллярной каймы, когда влага при десуктивно-выпотном режиме увлажнения не достигает поверхности почвы (р. 26-99).

Регрессивным типом распределения всех форм мышьяка характеризуются также черноземы агроландшафтов. Причем повышенного содержания подвижных форм мышьяка в верхних горизонтах, которое свидетельствовало бы о постоянном поступлении элемента в сельскохозяйственные культуры, не обнаружено, поэтому объяснить снижение количества мышьяка в верхних горизонтах ежегодным «отторжением» элемента с урожаем нельзя. Уменьшение содержания мышьяка в гумусовых горизонтах черноземов агроландшафтов связано с поверхностной миграцией элемента в составе труднорастворимых соединений в результате эрозийных процессов.

ВЫВОДЫ

1. Фоновое содержание мышьяка в почвах изучаемой геохимической провинции сравнительно высокое, однако, соотношение его общего количества и форм, доступных растениям, не превышает аналогичные показатели для других территорий.
2. В процессе образования подвижных форм мышьяка и перераспределении эле-

мента в профиле почвы ведущую роль играет почвообразовательный процесс. Поэтому несоответствие типа почв и ожидаемого биогеохимического поведения мышьяка, возможно, следует рассматривать, как нарушение экологического равновесия в системе почва-растение.

3. Естественно высокий уровень содержания мышьяка в почвах Алтая не представляет экологической опасности, поскольку увеличения степени подвижности элемента не наблюдается.

4. В горно-тундровых и каштановых почвах Алтая степень подвижности мышьяка наиболее высока, поэтому они являются наиболее уязвимым объектом возможных антропогенных нагрузок.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РГНФ 03-06-18006е

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. / Под ред. Э.К. Буренкова. Кн. 3: Редкие р-элементы. — М.: Недра, 1996. — 352 с.
2. Ильин В.Б.. Фоновое содержание мышьяка в почвах Западной Сибири // Агрохимия. — 1992. — №6.
3. Мальгин М.А., Пузанов А.В.. Мышьяк в почвах юга Западной Сибири // Сиб. экол. журн. — №2, 1996. — С.199-210.
4. Бабошкина С.В., Пузанов А.В., Мальгин М.А. Мышьяк в каштановых почвах Алтая // География и природные ресурсы. — 2003. — №2. — С. 73-78.
5. Карпова Е.А. Мышьяк в почвах Сихотелинского биосферного заповедника: Автореф. дис... — М., 1986.
6. Вильямс В.Р. Почвоведение. — М., «Сельхозгиз», 1946. — 456 с.
7. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 238 с.
8. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. — М., Мир, 1989.
9. Гамаюрова В.С. Мышьяк в экологии и биологии. — М.: Наука, 1993.— 208 с.
10. Ориентировочно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах: Гигиенические нормативы 2.1.7.020-94. — М., Госкомсанэпиднадзор России, 1995.
11. Кузнецов В.А. тектоническое районирование и основные черты эндогенной металлогении Горного Алтая // Вопросы геологии и металлогении Горного Алтая. — Новосибирск, 1963.
12. Ведина О.А. Атомно-абсорбционное определение и содержание мышьяка в почвах: Автореф. дисс... к.б.н. — М.,1979.

БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЫШЬЯКА В ПОЧВАХ АЛТАЯ

13. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высш. школа, 1975. – 342 с.
14. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: Учеб. пособие. – М. Высш. шк., 1998. – 413 с.
15. Ильин В.Б., Конарбаева Г.А.. Мышьяк в почвах Западной Сибири в связи с региональным мониторингом окружающей среды // Почвоведение. – 1995. – №5. – С. 634-635.
16. Мальгин М.А., Пузанов А.В., Ельчиногова О.А. и др. Тяжелые металлы и мышьяк в дикорастущих лекарственных растениях Алтая // Сиб. биол. журн. – 1993. – №2. – С. 52-58.
17. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 168 с.