

## Селен в почвах Тувы

А. В. ПУЗАНОВ, М. А. МАЛЬГИН

*Институт водных и экологических проблем СО РАН  
656099 Барнаул, ул. Папанинцев, 105*

### АННОТАЦИЯ

Изучены уровень содержания, пространственное и внутрипрофильное распределение селена в почвах Тувы. Обнаружен существенный диапазон колебаний концентраций микроэлемента в почвообразующих породах и почвах: минимальные значения от максимальных различаются на математический порядок и более. Исследована корреляционная связь между уровнем содержания селена и значениями основных показателей свойств почв.

В исследованной горной стране выявлены территории с повышенным и пониженным уровнем содержания селена (в сравнении с кларком и региональным фоном) в почвенном покрове, где возможны реакции живых организмов на дефицит или избыток этого элемента.

### ВВЕДЕНИЕ

Селен – необходимый элемент для животных и человека, но в то же время элемент-токсикант, относящийся к группе первого класса опасности. Дефицит селена в окружающей среде и организме вызывает кардиомиопатию – болезнь Кешана, особое изменение трубчатых костей – болезнь Кашина-Бека, беломышечную дистрофию сельскохозяйственных животных, некрозы печени, миопатии и дегенерации почек, поражение поджелудочной железы и кишечника.

Избыток селена в организме может приводить к острым и хроническим отравлениям, выражающимся в спазме мускулатуры, рвоте, нарушении деятельности сердечно-сосудистой системы, выпадении волос. Высокие дозы селена канцерогенны и мутагенны [1]. Для взрослого человека признано достаточным потребление селена в количестве 50–200 мкг/сут, для животных – 0,1–0,2 мкг на 1 кг сухого вещества корма.

Интегральным показателем состояния окружающей среды по содержанию селена и обеспеченности им животных организмов является уровень концентрации этого элемента в почвах.

Цель настоящей работы – показать характер распределения селена в почвах и почвенном покрове Тувы и оценить уровень содержания его с экологических позиций.

Экспедиционные работы с отбором материала выполнены авторами публикации во второй половине 80-х–начале 90-х гг. в плане государственной тематики Института почвоведения и агрохимии СО РАН. В основу натуральных исследований положен сравнительно-географический метод, принятый в почвоведении и биогеохимии. Физико-химические свойства почв определены общепринятыми методами, селен – методом атомной абсорбции на спектрофотометре фирмы Perkin Elmer.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

#### *Селен в почвообразующих породах*

Почвообразующие породы в условиях горно-котловинного рельефа Тувы весьма разнообразны по генезису и неодинаковы по уровню содержания в них селена, что кратко рассмотрим ниже.

Т а б л и ц а 1

## Селен в почвообразующих породах Тувы

Почвообразующая порода, местоположение и номер разреза	рН водный	CaCO <sub>3</sub> , %	Se, мг/кг
Элювий песчано-щебнистый, Хемчикская котловина, р. 64	7,8	8,0	0,36
Элювий суглинисто-щебнистый, Кантегирский хр., р. 56	4,6	Нет	0,01
Элювий песчано-щебнистый, Турано-Уюкская котловина, р. 155	4,6	17,8	0,1
Элювиоделювий супесчано-дресвянистый, плато Алаш, р. 60	6,1	Нет	0,4
Элювиоделювий супесчано-щебнистый, хр. Бура, р. 203	4,8	»	0,19
Делювий супесчаный, хр. Восточный Танну-Ола, р. 29	8,5	8,3	0,19
Делювий легкосуглинистый, хр. Западный Танну-Ола, р. 208	–	31,0	0,12
Эоловые пески, Улуг-Хемская котловина, р. 103	8,4	6,4	0,07
Эоловые пески, Убсунурская котловина, р. 131	8,5	10,6	0,11
Эоловые пески, Улуг-Хемская котловина, р. 141	8,5	6,2	0,05
Аллювий песчано-галечниковый, терраса р. Хемчик, р. 68	8,4	Нет	0,08
Аллювий песчаный, терраса р. Тес-Хем, р. 127	8,8	6,1	0,10

*Элювиальные и элювиоделювиальные отложения* широко распространены в условиях горного рельефа, весьма разнообразны по химико-минералогическому и петрографическому составу, их мощность варьирует от 20 до 70 см, гранулометрический состав песчаный, супесчаный или легкосуглинистый, содержание крупнозема увеличивается с глубиной. Процессы физической дезинтеграции преобладают над химическим выветриванием. Реакция среды варьирует от слабокислой до щелочной (табл. 1).

*Делювиальные образования* распространены на покатых склонах гор, в широких ложбинах и в седловинах; в больших котловинах они развиты по склонам островных возвышенностей, мелкосопочника и на увалистых плато. В зависимости от положения в рельефе мощность варьирует от одного до десятков метров. Лито-

логический состав весьма разнообразен. Мелкоземистость увеличивается снизу вверх. По гранулометрическому составу преобладают две разновидности: пылевато-легкосуглинистая и супесчаная.

*Аллювиальные и пролювиально-аллювиальные отложения* распространены в котловинах и речных долинах, мощность их достигает десятков метров. В аллювии преобладают хорошо окатанные валунно-галечниковые наносы различного петрографического состава. Гранулометрический состав поверхностного мелкоземистого слоя изменяется от песчаного до среднесуглинистого, с преобладанием супесчаного и легкосуглинистого. Большинству аллювиальных отложений свойственны карбонатность мелкозема и окарбончатность поверхности валунов и гальки, а также незасоленность.

Т а б л и ц а 2

## Лимиты и среднее содержание селена в почвообразующих породах

Географический район	n	lim	$X \pm \bar{x}$	V, %
Убсунурская котловина	10	0,09–0,21	0,14 ± 0,01	30
Улуг-Хемская »	17	0,05–0,27	0,11 ± 0,01	51
Хемчикская »	16	< 0,05–0,40	0,15 ± 0,03	72
Турано-Уюкская »	9	0,08–0,26	0,14 ± 0,02	50
Горные окаймления	11	0,05–0,78	0,20 ± 0,06	97
Тува в целом	170	< 0,05–0,78	0,16 ± 0,008	65
Кларк в литосфере [7]			0,14	

Т а б л и ц а 3

## Физико-химические свойства и содержание селена в почвах Тувы

Название почвы, местоположение номер разреза	Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус		CaCO <sub>3</sub>	pH водный	Se, мг/кг
				%			
1	2	3	4	5	6	7	
<i>Горное окаймление</i>							
Горно-тундровая, перегнойная, хр. Кантегирский, 56	A <sub>п</sub>	0–2	17,9	Нет		4,2	0,08
	B	5–15	3,1	»		4,2	0,08
	BC	15–25	2,2	»		4,6	0,10
Горно-луговая суглинистая, плато Алаш, 57	A <sub>дер</sub>	0–5	14,5	»		5,0	0,18
	A	10–20	12,6	»		5,5	0,20
	BC	25–35	1,7	»		5,9	0,13
Горно-лесная бурая суглинистая, хр.Бура, 205	A <sub>дер</sub>	3–7	13,0	»		4,4	0,22
	A	8–16	9,8	»		3,9	0,19
	B	25–35	5,3	»		3,4	0,20
	C	50–60	2,3	»		3,4	0,20
Темно-серая лесная песчаная, Тоджа, 209	A <sub>дер</sub>	2–9	12,0	»		Не опр.	0,08
	AB	15–25	1,2	»		»	0,07
	B <sub>1</sub>	36–46	0,6	»		»	0,07
	B <sub>2</sub>	50–60	0,4	1,1		»	0,06
	BC <sub>к</sub>	70–80	0,4	4,6		»	0,07
	C <sub>к</sub>	100–110	0,2	1,6		»	0,05
Горно-лесная бурая супесчаная, хр. Сангилен, 137	A <sub>дер</sub>	1–11	26,7	Нет		4,6	< 0,05
	A	12–17	12,4	»		5,0	0,19
	B <sub>1</sub>	20–30	2,4	»		6,3	0,21
	B <sub>2</sub>	30–40	1,0	»		6,8	0,21
	BC	40–50	0,8	»		7,8	0,13
	C	60–70	0,6	»		7,9	0,16
Горно-лесная черноземовидная суглинистая, хр. Восточный Танну-Ола, 29	A	10–20	10,3	»		6,7	0,29
	AB	23–33	1,9	»		6,7	0,2
	B	40–50	1,0	»		6,9	0,22
	BC	70–80	0,8	13,4		8,3	0,26
	C <sub>к</sub>	90–100	0,6	8,3		8,5	0,19
Горно-лесная черноземовидная, плато Алаш, 60	A	0–10	12,4	0,2		5,0	0,13
	B	15–25	3,6	0,4		5,7	0,11
	C	40–50	2,8	0,3		6,1	0,14
Горно-лесная черноземовидная легкосуглинистая, хр. Восточный Танну-Ола, 208	A <sub>дер</sub>	2–11	14,9	Нет		Не опр.	0,18
	A	11–21	2,5	»		»	0,17
	AB	28–38	1,6	»		»	0,18
	B <sub>1к</sub>	49–59	1,2	10,9		»	0,18
	B <sub>2к</sub>	65–75	0,7	21,8		»	0,11
	C <sub>к</sub>	110–120	0,4	31,0		»	0,12
Горно-лесная черноземовидная, хр. Западный Танну-Ола, 207	A <sub>дер</sub>	2–10	9,0	Нет		»	0,19
	A	10–28	6,2	»		»	0,31
	AC	28–38	3,4	7,1		»	0,78
<i>Улуг-Хемская котловина</i>							
Чернозем обыкновенный суглинистый, 13	A	5–15	10,1	Нет		6,8	0,12
	AB	20–30	2,9	»		6,9	0,14
	B <sub>1к</sub>	42–52	2,8	10,7		7,5	0,16
	B <sub>2к</sub>	60–70	0,9	14,9		8,1	0,14
	BC <sub>к</sub>	110–120	0,5	9,6		8,2	0,19
Чернозем обыкновенный легкосуглинистый, 141	A <sub>пах</sub>	0–10	3,6	0,2		7,8	0,10
	AB <sub>к</sub>	20–30	2,4	5,3		8,1	0,15
	B <sub>к</sub>	30–40	1,7	12,5		8,0	0,13
	BC <sub>к</sub>	50–60	0,5	8,2		8,3	0,07
	C <sub>к</sub>	80–90	0,3	6,2		8,5	0,05

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
Чернозем южный супесчаный, 173	A <sub>пах</sub>	0–10	1,5	Нет	6,9	0,14
	A	10–20	1,6	»	6,9	0,11
	B <sub>k</sub>	30–40	0,7	11,8	7,4	0,13
	B <sub>k</sub>	50–60	0,2	7,8	7,3	0,08
	BC <sub>k</sub>	70–80	0,1	4,6	7,3	0,1
	C <sub>k</sub>	110–120	0,1	3,4	7,4	0,6
Чернозем южный супесчаный, 185	A <sub>k</sub>	0–10	3,0	5,7	7,4	0,19
	B <sub>k</sub>	30–40	2,1	21,2	7,7	0,23
	C <sub>k</sub>	60–70	0,7	8,7	7,6	0,27
Каштановая песчаная, 195	A	0–10	1,3	0,2	6,4	0,09
	A	15–25	0,9	1,0	6,2	0,1
	B <sub>1k</sub>	40–50	0,4	2,7	7,0	0,07
	BC <sub>k</sub>	70–80	0,3	10,2	7,5	0,09
	C <sub>k</sub>	130–140	0,2	6,8	7,4	0,08
Каштановая супесчаная, 201	A	0–10	2,6	0,5	5,8	0,15
	B <sub>k</sub>	30–40	1,6	5,3	7,1	0,15
	BC <sub>k</sub>	55–65	0,7	2,8	7,0	0,20
	C <sub>k</sub>	70–80	0,4	2,3	7,6	0,10
Светло-каштановая песчаная, 103	A <sub>пах</sub>	0–10	1,0	0,4	8,0	0,07
	A	19–29	1,0	0,3	8,0	0,15
	B <sub>k</sub>	30–40	0,3	6,7	8,2	0,08
	BC <sub>k</sub>	55–65	0,2	6,7	8,5	0,08
	C <sub>k</sub>	100–110	0,2	6,4	8,4	0,07
Чернозем обыкновенный суглинистый, 143	<i>Турано-Уюкская котловина</i>					
	A <sub>пах</sub>	0–10	6,6	Нет	5,8	0,17
	A	12–21	6,3		5,9	0,23
	B <sub>1k</sub>	21–29	3,4	9,8	7,2	0,28
	B <sub>2k</sub>	29–38	2,7	12,1	7,4	0,28
	BC <sub>k</sub>	50–60	1,6	19,0	8,1	0,26
Чернозем обыкновенный легкосуглинистый, 163	C <sub>k</sub>	70–80	0,6	10,8	7,4	0,25
	A <sub>пах</sub>	0–10	8,2	1,5	1,5	0,47
	A	15–25	8,0	1,2	6,4	0,51
	A <sub>k</sub>	30–40	4,6	7,6	6,8	0,30
	AB <sub>k</sub>	50–60	1,5	33,9	7,4	0,24
	B <sub>k</sub>	62–72	1,3	28,2	7,5	0,22
	BC <sub>k</sub>	80–90	0,9	20,0	7,6	0,16
Каштановая супесчаная, 62	C <sub>k</sub>	90–100	0,3	12,1	7,4	0,1
	<i>Хемчикская котловина</i>					
	A	0–10	1,9	Нет	7,3	0,13
	A	10–20	1,9	»	7,9	0,13
	B <sub>k</sub>	25–35	1,3	14,8	8,2	0,15
	B <sub>k</sub>	45–55	0,3	6,2	8,0	0,19
Каштановая супесчаная, 64	BC <sub>k</sub>	65–75	0,5	6,2	7,9	0,27
	BC <sub>k</sub>	80–90	0,5	4,0	8,0	
	A	0–10	2,2	Нет	7,6	0,33
	B <sub>1</sub>	25–35	1,7	14,6	7,8	0,33
	B <sub>2k</sub>	40–50	0,8	5,0	7,7	0,58
Каштановая супесчаная, 64	BC <sub>k</sub>	60–70	0,5	9,0	7,9	0,40
	C <sub>k</sub>	80–90	0,5	8,0	7,8	0,36

1	2	3	4	5	6	7
Лугово-каштановая песчаная, 81	A	0–10	0,8	0,0	7,6	0,12
	B	20–30	0,7	0,0	7,9	< 0,05
	BC	60–70	0,3	0,9	8,2	0,05
	C <sub>к</sub>	120–130	0,3	2,3	8,3	0,05
Чернозем обыкновенный супесчаный, 98	A	0–10	2,8	Нет	7,0	0,07
	AB	22–32	1,2	»	7,1	0,08
	B	32–42	0,5	»	7,2	0,08
	C <sub>1к</sub>	60–70	0,3	1,3	8,1	0,07
	C <sub>2к</sub>	110–120	0,2	2,1	8,2	0,05
<i>Убсунурская котловина</i>						
Каштановая супесчаная, 125	A	0–10	3,2	0,3	8,1	0,15
	B <sub>к</sub>	30–40	1,2	3,9	8,0	0,12
	BC <sub>к</sub>	40–50	1,7	15,0	8,1	0,12
	C <sub>к</sub>	60–70	1,2	4,5	8,5	0,10
Светло-каштановая песчаная, 127	A	0–10	1,8	0,6	7,8	0,12
	B <sub>к</sub>	25–35	3,1	24,4	7,9	0,27
	BC <sub>к</sub>	40–50	2,2	11,3	8,3	0,11
	C <sub>к</sub>	70–80	1,4	6,1	8,8	0,10
Светло-каштановая супесчаная, 131	A	0–10	1,2	1,6	7,9	0,09
	B <sub>к</sub>	20–30	1,0	18,2	8,0	0,15
	BC <sub>к</sub>	40–50	0,7	13,5	8,2	0,09
	C <sub>к</sub>	60–70	0,2	10,6	8,5	0,11

Эоловые песчаные образования встречаются во всех степных котловинах. Они создают характерные формы рельефа (дюны, барханы, гряды, бугры), характеризуются высоким содержанием карбонатов и щелочной реакцией среды (см. табл. 1).

Гранулометрическое и петрографическое разнообразие верхних горизонтов четвертичных кор выветривания в регионе исследования и их свойства обусловили широкий диапазон концентрации селена (табл. 1–3). Минимальные концентрации его от максимальных различаются на 1–1,5 математических порядка (табл. 1, 2). Максимальный уровень содержания селена отмечен в суглинистых почвообразующих породах элювиального и элювиоделювиального генезиса на макросклонах хребтов.

Эоловые, аллювиальные и озерно-аллювиальные песчаные отложения обеднены микроэлементом (см. табл. 1). Минимальные концентрации селена свойственны эоловым пескам с большим содержанием кварца, а также песчаным сортированным аллювиальным отложениям.

Значительный уровень содержания селена характерен для элювиальных и элювиоделювиальных отложений, формирующихся в пределах

кобальто-никелевых месторождений на северном макросклоне хр. Западный Танну-Ола (см. табл. 3).

Существенное варьирование концентраций селена свойственно почвообразующим породам отдельных географических районов Тувы (см. табл. 2). Однако средние величины различаются не столь значительно, за исключением Улуг-Хемской котловины, где концентрация селена в 1,5 раза меньше, чем в среднем в почвообразующих породах Тувы.

Сравним наши данные по уровню содержания селена в почвообразующих породах Тувы с аналогичными для других районов и мира в целом.

Селен обнаружен практически во всех компонентах литосферы. Его концентрация в магматических породах колеблется от 0,01 до 0,05 мг/кг, в осадочных – от 0,03 до 0,6 мг/кг [3, 4]. В ряду осадочных пород максимальные содержания микроэлемента свойственны глинам и сланцам (0,4–0,6 мг/кг), минимальные – песчаникам и известнякам (0,03–0,1 мг/кг) [3]. Селен относится к группе халькофильных неметаллов, поэтому высокое содержание его характерно для сульфидных минералов и самородной серы [3, 5]. Так, в пиритах концентрация элемента составля-

Лимиты и среднее содержание селена в почвах

Географический район	n	lim	$X \pm \bar{x}$	V, %
			мг/кг	
Убсунурская котловина	23	0,09–0,29	$0,15 \pm 0,01$	37
Улуг-Хемская »	40	0,05–0,27	$0,12 \pm 0,01$	40
Хемчикская »	40	< 0,05–0,58	$0,15 \pm 0,02$	79
Турано-Уюкская »	27	0,07–0,51	$0,21 \pm 0,02$	55
Горные окаймления	30	0,05–0,78	$0,17 \pm 0,02$	77
Педосфера Тувы	170	< 0,05–0,78	$0,16 \pm 0,008$	65
Почвы мира [3]			0,40	
Почвы СССР [6]		0,012–4		

ет 0,07–2 мг/кг, в сфалерите – от 0,1 до 9, в халькопиритах – от 0,07 до 2 мг/кг [3, 5]. В значительной степени селеном обогащена вулканическая сера – 0,67–2 мг/кг [5]. По данным [6], содержание селена в породах зоны гипергенеза не зависит от их типа и изменяется в пределах 0,08–19,2 мг/кг. Повышенные концентрации элемента обнаружены в юрских песчаниках – 0,69 мг/кг и в среднедевонских розовато-серых песчаниках – до 1,92 мг/кг Центрально-Тувинской депрессии, другие типы пород (алевролиты, серые и зеленовато-серые песчаники) содержат селена существенно меньше – от 0,17 до 0,5 мг/кг [6]. Кларк селена в породах зоны гипергенеза Тувы составляет 0,27 мг/кг [6], в горных породах СССР – 0,14 мг/кг [7]. Информации о содержании селена в почвообразующих породах различного генезиса немного, так, черноземы Донецкой области и песчаные дерново-подзолистые почвы Читинской области формируются на отложениях с содержанием микроэлемента около 0,3 мг/кг [8].

В целом, уровень содержания селена в почвообразующих породах Тувы определяется главным образом их гранулометрическим и петрографическим составом, а также металлогенной территории.

### Селен в почвах

Сложность и контрастность почвенного покрова Тувы обусловлены вертикальной поясностью и наличием обширных межгорных котловин [2]. Здесь широко представлены почвы горных тундр, субальпийских и альпийских лугов, лесные и степные почвы.

**Горно-тундровые почвы** широко распространены на северо-востоке Тувы, формируются они в условиях резко континентального климата преимущественно под лишайниково-кус-

тарниковой растительностью на маломощных элювиальных и коллювиальных отложениях под влиянием сильно расчлененной поверхности. Профиль образован следующей системой генетических горизонтов:  $A_0 - A_{II} - (AB) - B - C$ . Процессы химического выветривания почвенной толщи не выражены. Рассматриваемые почвы характеризуются высоким содержанием грубого гумуса, азота, кислой реакцией среды, разнообразным минералогическим и гранулометрическим составом, неравномерным распределением составляющих валового химического состава и являются компонентами элювиальных и транзитных ландшафтов.

**Горно-луговые почвы** формируются в пределах субальпийского и альпийского поясов на суглинисто-щебнистом элювии и элювиоделювии пород палеозойского возраста в жестких температурных условиях при годовой сумме осадков 1400–1500 мм. Почвы характеризуются промывным типом водного режима, высоким содержанием в гумусовом горизонте органического вещества (до 20 %) и валового азота (до 0,95 %). Реакция среды в профиле изменяется в широких пределах. В составе гумуса могут преобладать как гуминовые, так и фульвокислоты. Почвенный профиль состоит из горизонтов:  $A_0 A_1 - B - (BC) - C$ .

**Горно-лесные бурые почвы** образуют развитую вертикальную подзону горно-таежной зоны на хребтах Обручева, Танну-Ола, Сангилен, встречаются отдельными контурами по хребтам из системы Западного Саяна. Формируются под формациями бореальной тайги из лиственницы и кедра с участием ели на элювии и элювиоделювии песчаников, гнейсов, гранитов, карбонатных пород в условиях резко континентального климата. Почвенный профиль

представлен системой горизонтов:  $A_0 - A_{дер} - A - (AB) - B - (BC) - C$ . Почвенный профиль, как правило, отмыт от карбонатов, реакция среды по всей толще кислая, за исключением вариантов почвообразования на карбонатных породах. Содержание фракций ила и физической глины убывает вниз по профилю, а защелоченность возрастает. Содержание гумуса в верхнем горизонте колеблется от 5 до 13 %, состав гумуса гуматно-фульватный. Почвенная толща не насыщена основаниями. Распределение химических элементов по элювиально-иллювиальному типу не наблюдается.

**Горно-лесные черноземовидные почвы** формируются под парковыми травянистыми лиственничными лесами и их дериватами на элювиоделювии и делювии пород различного петрографического и гранулометрического состава на макросклонах северной ориентации хребтов из системы Западного Саяна, Танну-Ола, нагорья Сангилен, плато Алаш, хр. Обручева. Рассматриваемые почвы являются компонентами элювиальных и трансэлювиальных геохимических ландшафтов. Почвенный профиль имеет следующее строение:  $A_0 - A_{дер} - A - AB - B - (BC_k) - C_k$ . Ведущий почвообразовательный макропроцесс – дерновый. Содержание гумуса в аккумулятивном горизонте высокое, состав гумуса фульватно-гуматный. Реакция среды в верхней части профиля слабокислая или близкая к нейтральной. Гранулометрический состав варьирует от супесчаного до суглинистого. Емкость поглощения изменяется в широких пределах. Содержание карбонатов в карбонатных горизонтах колеблется от 1 до 39 %. Наблюдается биогенное накопление макроэлементов.

**Черноземы** широко распространены в Турано-Уюкской котловине, фрагментарно – в Улуг-Хемской и Хемчикской котловинах. Формируются на увалах, покатых предгорных шлейфах, террасовидных краях днищ котловин в условиях резко континентального климата под разнотравно-злаковыми и злаково-разнотравными ассоциациями на делювиальных, элювиоделювиальных, аллювиальных и эоловых отложениях разнообразной литологии, гранулометрии и петрографии. Обобщенный профиль черноземов характеризуется следующим строением:  $A(A_{пах}) - (AB_k) - B_k - (BC_k) - C_k$ . Сложение рыхлое, зернистость отсутствует.

Содержание гумуса в верхнем горизонте варьирует в широких пределах, гумус имеет гуматную природу. Гранулометрический состав колеблется от песчаного до тяжелосуглинистого. Почвы не засолены. Реакция среды в гумусовом горизонте нейтральная или слабощелочная, в нижних – слабощелочная.

**Каштановые почвы** – зональный тип автономных ландшафтов сухостепных котловин: Хемчикской, Чаа-Хольской, Улуг-Хемской, Убсунурской. Формируются на древних речных террасах крупных рек, холмисто-увалистых днищах сухостепных котловин, на подгорных равнинах в условиях резко континентального криоаридного климата под сухими степями. Почвообразующими породами являются песчаные, супесчаные и легкосуглинистые отложения. Почвенный профиль состоит из следующих горизонтов:  $A_k - (AB_k) - B_k - (BC_k) - C_k - (CD_k)$ . Содержание гумуса в аккумулятивном горизонте варьирует от 0,5 до 4,3 %, состав гумуса гуматно-фульватный. Реакция среды по всему профилю слабощелочная. Рассматриваемые почвы, как правило, легкого гранулометрического состава. Наличие мощных реликтовых карбонатных горизонтов с высоким содержанием  $CaCO_3$  (до 40 %) – отличительная черта профиля исследуемых почв. Емкость поглощения невелика. Почвы подвержены в значительной степени дефляционным процессам. Такова в общих чертах почвенная ситуация в исследуемой горной стране.

Почвенная химия селена до настоящего времени изучена недостаточно. Содержание селена в почвенном покрове существенно варьирует, что, прежде всего, связано с разнообразием его концентраций в почвообразующих породах и, в определенной степени, с проявлением почвообразовательных макропроцессов. Значительные колебания содержания селена свойственны не только почвам определенного региона, но и одному и тому же типу почв [3, 4, 6, 8, 9].

Например, в почвах Нечерноземной зоны европейской части России концентрация элемента варьирует от 0,061 до 0,727 мг/кг [9], в поверхностных горизонтах почв мира – от 0,005 до 2,320, в верхнем слое почв США – от 0,02 до 3,50 мг/кг [3]. Весьма разнообразно содержание селена в почвах Англии, Китая, Индии [10].

Разнообразие горных пород, четвертичных аккумулятивных и остаточных кор выветривания, проявление всей гаммы почвообразовательных макропроцессов, а также влияние многочисленных ореолов рассеяния полиметаллических месторождений предопределили высокую степень варьирования концентраций микроэлемента и в почвах Тувы.

Среднее содержание селена в почвенной толще региона исследований аналогично уровню его в педосфере СССР, но ниже, чем в почвах мира (см. табл. 3). Каштановые почвы Хемчикской, Улуг-Хемской и Убсунурской котловин, формирующиеся на эоловых и аллювиальных песчаных и супесчаных отложениях, а также серые лесные почвы Тоджинской котловины отличаются самым низким содержанием селена (см. табл. 3, 4). Сравнительно низкий уровень концентрации микроэлемента отмечен в горно-тундровых почвах. Направленность почвообразования в пределах горно-лесного пояса и разнообразие материнских пород обуславливают вариабельность концентрации селена. Почвенному покрову каждого макросклона хребтов свойственно свое пространственное распределение микроэлемента. Так, на северном макросклоне хр. Восточный Танну-Ола селен убывает от почв высокогорий к каштановым почвам Улуг-Хемской котловины.

Биогенная аккумуляция селена выявлена в высоко гумусированных горно-лесных черноземовидных, горно-луговых и черноземных почвах. В некоторых разрезах лугово-каштановых почв наблюдалось также относительное увеличение содержания селена в гумусовом горизонте, но это явление, вероятно, в большей степени обусловлено подчиненным положением рассматриваемых почв в ландшафтах, нежели степенью проявления дернового макропроцесса. Биологическое накопление микроэлемента в почвах высокогорий и среднегорий, вероятно, нивелируется интенсивно протекающими эрозионными процессами, а также активным выносом мобильных соединений селена в составе вертикального и латерального стока транзитных геохимических ландшафтов.

Ярко выраженные дефляционные процессы в степных и сухостепных котловинах Тувы способствуют отторжению микроэлемента вместе с тонкодисперсными фракциями гумусовых горизонтов каштановых и черноземных почв.

Т а б л и ц а 5

**Зависимость между концентрацией селена и некоторыми физико-химическими показателями почв**

Параметр	Коэффициент корреляции
Гумус	0,68
Карбонаты	0,71
Ил	0,20
Физическая глина	0,45
Емкость поглощения	0,62
pH	0,28

В большинстве профилей степных почв селен распределен равномерно или убывает книзу. Аналогичный характер распределения микроэлемента в почвах отмечен предыдущими исследователями [6, 10–12].

На поведение селена в почвах Тувы оказывают влияние гумус, карбонаты, физическая глина, емкость поглощения (табл. 5). В ряде случаев максимум концентрации селена отмечен в карбонатных горизонтах почв (см. табл. 3).

Карбонаты четвертичных аккумулятивных кор выветривания региона исследований, вероятно, реликтового происхождения. Элементный химический состав их сформировался под влиянием повышенного литохимического фона, что привело к насыщению карбонатов микроэлементами, в том числе и селеном.

Аномальные содержания селена в почвах и биогеохимические провинции в Туве с высоким содержанием селена выявлены ранее [6, 11, 12]. Высокий уровень содержания микроэлемента в некоторых почвах Хемчикской и Турано-Уюкской котловин отмечен и нами (см. табл. 3).

Рассматривая уровень концентрации селена в почвах Тувы в экологическом аспекте, можно отметить районы (Убсунурская, Хемчикская и Улуг-Хемская котловины с каштановыми песчаными и супесчаными почвами), где содержание селена в почвах меньше нижних пороговых концентраций, и территории, в почвенном покрове которых концентрации селена превышают верхний порог.

**ВЫВОДЫ**

1. Контрастность почвообразующих пород, физико-химических свойств почв, ландшафтно-геохимических условий миграции обуславливали значительную неоднородность содержания селена в почвенном покрове Тувы.



2. Распределение селена в почвах в значительной мере коррелирует с содержанием гумуса, карбонатов, физической глины и величиной емкости поглощения. Биогенная аккумуляция его чаще всего наблюдается в высокогумусированных почвах.

3. В пределах Тувы выявлены почвы с повышенным и с пониженным содержанием селена.

Работа поддержана грантом ККФН-РФФИ № 99-05-196017.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Авцын, А. А. Жаворонков, Риш М.А. и др., Микроэлементозы человека, М., Медицина, 1991.
2. В. А. Носин, Почвы Тувы, М., Изд-во АН СССР, 1963.
3. А. Кабата-Пендиас, Х.Пендиас, Микроэлементы в почвах и растениях, М., Мир, 1989.
4. А. П. Виноградов, Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах, М., Изд-во АН СССР, 1957.
5. Краткий справочник по геохимии. М., Недра, 1977, 183.
6. В. В. Ковальский, В. В. Ермаков, *Геохимия*, 1967, 1, 86–97.
7. Н. Д. Синдеева, Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура, М., 1959, Изд-во АН СССР.
8. М. А. Глазовская, *Почвоведение*, 1995, 10, 1215–1225.
9. С. П. Торшин, Т.М. Удельнова, Н. И. Конова и др., *Экология*, 1996, 4, 253–258.
10. М. А. Флоринский, Е. В. Седова, *Агрохимия*, 1992, 5, 122–129.
11. В. В. Ковальский, Геохимическая экология, М., Наука, 1974, 299.
12. В. В. Ермаков, В. В. Ковальский, Биологическое значение селена, М., Наука, 1974, 298.

### Selenium in Tuva Soils

A. V. PUZANOV, M. A. MALYGIN

The selenium content, spatial and intraprofile distribution across soils of Tuva have been studied. A considerable range of oscillations of the microelement's concentrations in soil-forming rocks has been found: the minimal values differ from the maximal ones by a mathematical order and more. The correlation between the selenium content and the values for the basic indices of soil properties has been studied.

In the mountainous country explored, territories with heightened and lowered selenium levels (as compared to percent abundance and the regional background) in the soil cover where living organisms' reactions to a deficit or an excess of this element are possible, have found.