

# ВАНАДИЙ В ГОРНО-ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ АЛТАЯ

И.А. Архипов, А.В. Пузанов

*Исследован уровень содержания и особенности внутрипрофильного распределения ванадия в почвах горно-лесных ландшафтов Алтая. Концентрация микроэлемента в исследуемых почвах близка к значению кларка. Внутрипрофильное распределение и особенности миграции его подвижных форм определяются ведущими почвообразовательными макропроцессами горно-лесного почвообразования – лессиважем, иллювицированием, подзолистым и дерновым.*

## ВВЕДЕНИЕ

Роль ванадия в биологических процессах до настоящего времени изучена слабо, ряд исследователей относят его к жизненно необходимым элементам [1,2,3].

В задачи исследований входило: 1) исследовать уровень содержания и особенности распределения ванадия в почвообразующих породах и почвах горно-лесного пояса Алтая; 2) рассмотреть влияние физико-химических свойств горно-лесных почв и особенностей почвообразовательных макропроцессов на распределение элемента; 3) изучить подвижные формы ванадия в горно-лесных почвах; 4) выявить корреляционные связи между содержанием элемента и физико-химическими параметрами почв.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследований – различные по генезису почвообразующие породы (элювиальные, элювио-делювиальные, делювиальные) и горно-лесные почвы Алтая.

*Горно-лесные бурые почвы* формируются в средней, наиболее увлажненной части лесного пояса и занимают значительные площади у верхней границы леса [4]. Процессы почвообразования осуществляются под влиянием различных формаций бореальной тайги. Почвы развиты на элювио-делювии и элювии хлоритово-серицитовых сланцев и песчаниках интрузивных пород. Дифференциация на генетические горизонты слабая. Гумус равномерно распределен по профилю. В составе гумуса отмечается резкое преобладание фульво-кислот над гуминовыми кислотами. Профиль горно-лесных бурых почв ненасыщен основаниями. Максимальное содержание подвижных окислов железа приурочено к гумусовому горизонту. Гранулометрический состав средне и тяжелосуглинистый. Горно-лесные бурые почвы имеют кис-

лую реакцию среды, и характеризуются высоким содержанием подвижного железа. Профиль имеет следующее строение:  $A_0$ - $A_d$ - $A_1(AB)$ - $B_1$ - $BC$ - $C$ . Профиль отмыт от карбонатов, реакция среды кислая. Водный режим почв – промывной. Вниз по профилю увеличивается защебненность, и облегчается гранулометрический состав.

Ареал распространения *горно-лесных черноземовидных* почв ограничивается среднегорными районами Центрального и Северного Алтая.

Исследуемые почвы развиты под парковыми лиственными лесами. Почвообразующими породами являются делювиальные, элювио-делювиальные и аллювиальные отложения, лессовидные карбонатные отложения щебнисто-суглинистого и песчаного характера. Мощность почвенного профиля редко превышает 100 см. Гранулометрический состав суглинистый и среднесуглинистый, водный режим промывной или периодически промывной, основной почвообразовательный макропроцесс – дерновый. Почвенный профиль имеет следующее строение:  $A_0$ - $A$  ( $A_d$ - $A_1$ )- $AB$ - $B$ - $BC$ - $C$ .

*Горно-лесные серые почвы* занимают нижнюю часть горно-лесного пояса. Формируются на обедненных первичными минералами тяжелых суглинках и глинах под пихтово-осиновыми или осиново-березовыми лесами. Количество гумуса постепенно уменьшается к нижней части профиля.

Величина емкости поглощения определяется количеством высокодисперсных минеральных частиц. Серые лесные почвы характеризуются слабокислой или кислой реакцией среды. Ведущие почвообразовательные макропроцессы: дерновый, подзолистый, глеевый. Водный режим – промывной. Величина емкости поглощения в этих почвах определяется содержанием высокодисперсных минеральных частиц, химическим и минералогическим составом почвенных коллоидов.

Почвы имеют следующее строение: А<sub>0</sub>-А<sub>д</sub>-А(А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>)-А<sub>2</sub>В<sub>1</sub>-В<sub>1</sub>-В<sub>2</sub>-С.

*Горно-лесные дерново-подзолистые почвы* распространены на Бие-Катунском низкогорном междуречье, а также на правобережье р. Бия и верхней части бассейна р. Кокса. Почвы сформированы на тяжелых покровных суглинках и бурых бескарбонатных глинах под формациями черневой тайги в условиях низкогорного рельефа. Для них характерно невысокое содержание гумуса, суглинистый и глинистый гранулометрический состав, промывной водный режим, преобладание кислой реакции среды и восстановительная обстановка. Основными почвообразовательными макропроцессами являются лессиваж и подзолообразование.

Гумусовые соединения рассматриваемых почв обладают значительной подвижностью [5], образуя глубоко расположенные гумусовые затеки. Наибольшая емкость обмена наблюдается в иллювиальном горизонте.

Почвенный профиль состоит из следующих горизонтов: А<sub>0</sub>-А<sub>д</sub>-А<sub>1</sub>-А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>(А<sub>2</sub>)-А<sub>2</sub>В-В<sub>1</sub>-С-С<sub>д</sub>. Подобная дифференциация почвенного профиля на генетические горизонты обусловливает различие водно-физических свойств элювиального и иллювиального горизонтов и играет большую роль в своеобразии динамики современных почвенных процессов.

Методы исследований – сравнительно-географический и сравнительно-генетический. Физико-химические свойства почв определяли общепринятыми в почвоведении методами; валовой ванадий – методом количественного плазменно – спектрального анализа; обменные формы ванадия экстрагировали ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8; легко растворимые соединения ванадия – 0,1 н НСl с последующим определением методом атомной абсорбции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Ванадий в почвообразующих породах* Четвертичные отложения, на которых формируется почвенный покров горно-лесного пояса Алтая, весьма неоднородны по своему происхождению, минералогии и химическому составу. Почвообразующие породы представлены остаточными и аккумулятивными корами выветривания четвертичного возраста таких пород, как: хлоритовые и хлоритово-серицитовые сланцы, кварцево-хлоритовые

сланцы, алевролитовые и кремнисто-глинистые сланцы, песчаники, кристаллические известняки и кварциты [4]. Валовое содержание ванадия в почвах главным образом определяется характером почвообразующей породы и степенью ее трансформации [6]. В зоне выветривания происходит щелочной гидролиз первичных минералов. Анионогенные элементы в этих условиях наиболее подвижны, способны к биогенной и абиогенной миграции [7].

По валовому содержанию ванадия почвообразующие породы располагаются в следующем убывающем ряду: глины, суглинки, щебнистые и галечниковые отложения, песчаные отложения (рис. 1). Подобные отложения Европейской части России содержат следующие количества ванадия (мг/кг): покровные суглинки – 90, лессы – 80, древнеаллювиальные пески – 30 [8]. В почвообразующих породах Русской равнины содержание ванадия колеблется в пределах 20-214 мг/кг [9]. Неоднородность литологического и гранулометрического состава почвообразующих пород региона исследований в значительной степени влияет на вариабельность концентрации элемента.

По сравнению с мировым значением кларка [3], осадочные породы Алтая отличаются повышенной концентрацией ванадия (см. рис. 1). Карбонатные породы более обогащены микроэлементом по сравнению со средним содержанием в карбонатных породах мира. Песчаники Алтая богаче ванадием, а глинистые породы алтайского девона обеднены им в сравнении с мировыми данными [11,12].

*Ванадий в почвах.* По А.П. Виноградову [13], среднее содержание ванадия в почвах мира 100 мг/кг. По А.А. Беусу [14], почвы европейской части содержат ванадия: серые лесные – 118; подзолистые – 63 мг/кг. Уровень концентрации микроэлемента в почвах определяется его количеством в почвообразующих породах. Формы наследуются также от коренных пород, но и изменяются под воздействием почвообразовательных процессов [15]. В почвах ванадий тесно связан с глинистой фракцией и полуторными оксидами железа и алюминия [16]. Содержание всех форм ванадия с оксидами и минералами увеличивается по мере возрастания рН. Валовое содержание ванадия в горно-лесных почвах Алтая существенно варьирует (табл. 1).

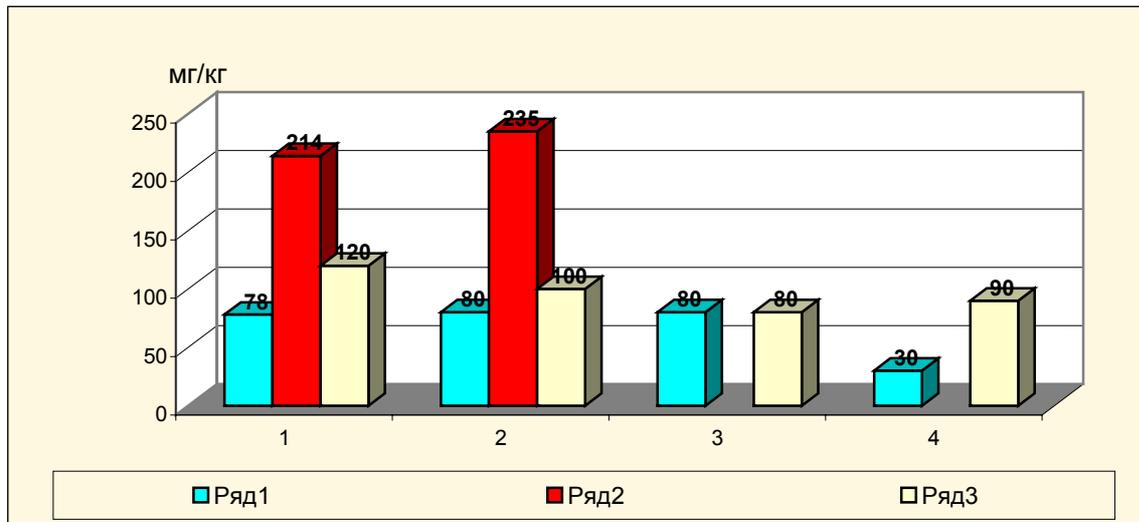


Рис. 1. Ванадий в почвообразующих породах горно-лесных ландшафтов Алтая  
 1 – глинистые отложения                      ряд 1 – по [10]  
 2 – тяжелые суглинки                        ряд 2 – по [11]  
 3 – лессовидные суглинки                    ряд 3 – Алтай  
 4 – супесчаные отложения

Таблица 1

Статистические параметры содержания ванадия в горно-лесных почвах Алтая

Генетический горизонт	N	Lim	X±x	V, %
			Мг/кг	
<b>Горно-лесные черноземовидные (Северный и Центральный Алтай)</b>				
A, (AB)	11	200-80	120±4,2	27
A1A2	10	270-90	112±3,5	24
A2B	8	270-80	113±3,2	25
B	7	370-70	127±4,8	26
BC,C	8	160 -190	109±3,1	21
Профиль в целом	43	370-70	103±3,9	23
<b>Горно-лесные бурые (Северо-Восточный и Центральный Алтай)</b>				
A, (AB)	10	120-90	100±4,0	24
A1A2	6	180-100	135±3,8	32
A2B	10	180-120	160±4,3	27
B	19	150-90	120±3,9	22
BC,C	17	150-110	115±3,7	29
Профиль в целом	62	220-75	129±4,6	26
<b>Горно-лесные серые (Северный и Центральный Алтай)</b>				
A, (AB)	9	145 – 75	115±3,8	30
A1A2	9	140-110	123±4,0	27
A2B	11	200-150	172±3,2	21
B	14	190-120	150±4,2	19
BC,C	10	270 - 115	182±3,7	24
Профиль в целом	53	270 – 70	127± 5	26
<b>Горно-лесные дерново-глубокоподзолистые (Северо-Восточный Алтай)</b>				
A, (AB)	12	110-70	80±3,6	23
A1A2	10	140 – 90	100±4,3	20
A2B	10	150-90	100±4,5	22

ВАНАДИЙ В ГОРНО-ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ АЛТАЯ

Продолж. табл. 1

Генетический горизонт	N	Lim	X±x		V, %
			Mг/кг		
B	25	210-140	160±4,8		18
BC,C	9	180-110	100±5,5		19
Профиль в целом	66	210-60	102±3,4		25

Максимальные концентрации элемента обнаруживаются в почвах, сформированных на породах тяжелого гранулометрического состава (табл.2).

Значительные различия по уровню содержания ванадия наблюдаются в почвах разных типов (и даже одного типа), занимающих различное положение в системе высотной поясности и сформированных в разных экологических условиях (табл. 2).

Валовое содержание ванадия в почвах зависит в основном от его содержания в почвообразующих породах, а распределение элемента по профилю – от направленности почвообразовательных процессов и физико-химических параметров почв (табл. 3). Наи-

большее содержание валового ванадия отмечается в горно-лесных черноземовидных, а наименьшее – в дерново-глубокоподзолистых. В дерново-подзолистых почвах происходит обеднение верхней части профиля тонкодисперсными частицами и соединениями полуторных оксидов, которые выносятся и концентрируются в иллювиальном горизонте. Вместе с ними по профилю мигрирует и ванадий. Распределение содержания элемента в этих почвах параллельно изменению в них количества железа и алюминия, илистой фракции (табл. 2). При этом количество элемента во фракции < 0,001 мм уменьшается от верхних к нижним горизонтам (табл. 2).

Таблица 2

Распределение ванадия и физико-химических свойств по профилю горно-лесных почв Алтая

Генетический горизонт	Глубина образца, см.	Гумус	Ил	Физич. глина	pH	Е. мг/экв на 100г почвы	Ванадий, мг/кг		
							валовой	(0,1н HCl)	(CH <sub>3</sub> CO ONH <sub>4</sub> )
% (для Гумус, Ил, Физич. глина)									
Горно-лесная дерново-глубокоподзолистая. Северо-Восточный Алтай. Разрез 2-98-А.									
A <sub>дер</sub>	1-3	6,2	6,8	36,9	5,8	28	106	7,38	0,34
A	3-13	3,5	12,2	44,4	5,6	32	102	8,61	0,5
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	16-26	2,2	7,1	45,3	5,6	30	93	11,67	0,31
A <sub>2</sub>	34-44	0,8	12,1	47,7	5,8	34	139	11,1	0,74
A <sub>2</sub> B	52-62	0,6	17,6	47,1	5,7	32	152	9,68	0,28
B <sub>1</sub>	67-77	0,4	25,9	57,9	5,8	46	206	2,1	0,44
B <sub>2</sub>	80-90	0,2	31,1	58,4	5,5	44	145	11,94	0,47
B <sub>3</sub>	100-110	0,1	37,2	62,2	5,8	50	139	11,78	1,53
B <sub>4</sub>	120-130	0,1	38,6	61,5	6,0	60	139	12,76	0,96
B <sub>5</sub>	155-165	0	36,8	58,8	7,2	66	152	6,13	1,22
BC	175-185	0	30,0	66,5	7,9	60	145	4,99	1,33
Темно-серая лесная. Северный Алтай. Разрез 3-98-А									
A <sub>дер</sub>	1-7	8,2	16,8	46,5	5,2	70	75	4,5	1,28
A <sub>1</sub>	7-17	5,6	21,3	58,6	5,2	60	145	15,56	0,49
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	20-30	4,9	17,8	60,3	5,4	56	139	9,02	0,45
A <sub>2</sub> B	40-50	2,7	21,4	63,6	5,3	54	139	5,3	0,29
B <sub>1</sub>	60-70	1,9	26,8	59,6	5,3	42	198	3,8	0,15
B <sub>2</sub>	78-88	0,7	44,0	71,7	5,3	60	198	3,07	0,7
B <sub>3</sub>	120-130	0,5	40,6	73,2	5,3	64	189	5,74	0,58
BC	155-165	0,2	40,2	73,0	5,7	64	269	6,26	0,31
C	190-200	0	38,3	69,0	6,2	5,6	116	5,29	0,26
Горно-лесная черноземовидная. Северный Алтай. Разрез 10-99-А									
A <sub>0</sub>	1-9	9,4	10,3	29,5	5,8	38,2	206	15,7	0,55

Продолж. табл. 2

Генетический горизонт	Глубина образца, см.	Гумус	Ил	Физич. глина	рН	Е. мг/экв на 100г почвы	Ванадий, мг/кг		
							валовой	(0,1н HCl)	(CH <sub>3</sub> CO ONH <sub>4</sub> )
A'	12-22	10,4	10,6	29,6	5,8	36	269	10,05	0,5
A''	30-40	6,2	12,8	30,8	6,2	27,6	269	11,28	0,15
A'''	55-65	3,7	18,8	43,8	6,8	29,6	367	4,63	0,2
AB <sub>к</sub>	78-88	3,6	20,4	46,8	7,4	25,4	158	9,27	0,29
B <sub>к</sub>	105-115	1,8	25,6	49,6	8,4	14,8	189	7,39	0,66
Горно-лесная бурая. Центральный Алтай. Разрез 22-99-А									
A <sub>дер</sub>	1-6	3,4	3,9	16,7	7,4	33,6	79	9,04	0,55
A	6-14	2,3	8,7	17,2	7,4	24,6	56	4,86	0,61
AB	15-25	0,6	7,0	17,9	5,8	22,4	62	6,02	0,58
B	28-38	0,5	6,0	16,0	5,8	20,2	73	4,79	0,53
BC	40-50	0,4	4,1	8,8	5,5	6,7	67	3,65	0,45
CD	70-80	0,3	0,8	6,2	6,2	4,4	49	3,65	0,62

По экологической обстановке почвообразования, вещественному составу и физико-химическим свойствам горно-лесные черноземовидные почвы близки к черноземам. На поведение элементов в профиле этих почв оказывают влияние следующие характерные для них свойства и процессы: 1 – вертикальный вынос химических элементов растительностью, образующей большую биомассу; 2 – наличие в профиле гумусовых горизонтов с большими запасами гумуса; 3 – преобладание окислительной обстановки; 4 – неоднородность литологического состава почвообразующих пород.

Горно-лесные серые почвы характеризуются слабокислой или кислой реакцией среды. Ведущие почвообразовательные процессы: дерновый, подзолистый, глеевый [4]. Содержание гумуса постепенно уменьшается к нижней части профиля, величина емкости поглощения определяется количеством высокодисперсных минеральных частиц, химическим и минералогическим составом почвенных коллоидов. В горно-лесных серых почвах происходит накопление ванадия в иллювиальном горизонте и отсутствие выноса или накопления в верхней части почвенного профиля (табл. 2).

Наблюдается увеличение содержания ванадия к почвообразующей породе.

В профиле бурых лесных почв содержание ванадия подвержено небольшому колебанию. Для бурых лесных почв характерно низкое содержание ванадия в гумусовых горизонтах по сравнению с материнской породой. Профиль горно-лесных бурых почв, как правило, не насыщен основаниями, максимальное содержание подвижных окислов

железа приурочено к гумусовому горизонту, распределение химических элементов по элювиально-иллювиальному типу не наблюдается (табл. 2). Таким образом, профиль горно-лесных бурых почв обладает рядом характерных особенностей, влияющих на поведение ванадия:

- 1) аккумуляцией больших количеств органического вещества фульватного состава;
- 2) кислой реакцией среды;
- 3) промывным водным режимом.

В профиле дерново-глубокоподзолистых почв концентрация ванадия увеличивается к низу. Дифференциация почвенного профиля на генетические горизонты обуславливает различие водно-физических свойств элювиального и иллювиального горизонтов и играет большую роль в своеобразии динамики современных почвенных процессов. Характер отдельных почвенных горизонтов профиля определяет существенные различия в миграции потока микроэлементов и особенностях их внутрипрофильного распределения [17].

Основное количество ванадия закреплено в почве неподвижно [17]. Распределение легкорастворимых и обменных форм ванадия всецело зависит от типа почв и характера происходящих в них процессов. Подвижные соединения представлены веществами почвенного раствора, почвенного поглощающего комплекса, метастабильных непрочных связанных соединений твердой фазы почвы, в том числе гидратированных и аморфных, которые подвержены влиянию наиболее динамичных почвенных условий: окислительно-восстановительных, влажности, температуры [7] (табл. 3).

## ВАНАДИЙ В ГОРНО-ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ АЛТАЯ

Таблица 3

Корреляционная зависимость между содержанием различных форм ванадия и физико-химическими свойствами горно-лесных почв Алтая

Параметры	Число коррелируемых пар	Валовой ванадий	Ванадий (0,1 н HCl)	Ванадий (CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> )
Валовой ванадий	32	1,00	0,15	- 0,02
Ил	32	0,06	0,05	0,27
Физ. глина	32	- 0,17	0,14	0,12
Емкость	32	0,22	0,13	0,44
Гумус	32	- 0,41	0,08	- 0,12

В горно-лесных почвах Алтая основная доля подвижного ванадия находится не в илистой, а в песчаной и пылеватой фракциях, так как связь соединений ванадия с крупными фракциями менее прочная, чем с илистой. Часть легкорастворимого и обменного ванадия связана с органическими веществами почв [17]. Однако содержание легкоподвижного ванадия не коррелирует с количеством валового гумуса ( $r = 0,08$ ) и валовым содержанием элемента ( $r = 0,15$ ) (табл. 3).

### ВЫВОДЫ

1. Материнские породы являются основным фактором, определяющим содержание элемента в сформированных на них почвах. Наиболее высокой концентрацией микроэлемента отличаются глинистые и суглинистые отложения.

2. Внутрпрофильное распределение валового и подвижного ванадия в основных типах горно-лесных почв Алтая определяется основными почвообразовательными макропроцессами: дерновым, подзолистым, лессиважем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ноздрюхина Л.Р. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. – М.: Наука, 1977. – 185 с.
2. Петербургский А.В. Сельскохозяйственное значение ванадия // Агрохимия. – 1975. – № 2. – С. 142 – 152.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

4. Почвы Горно-Алтайской автономной области / Под ред. Ковалева Р.В. – Новосибирск: Наука, 1973. – 350 с.

5. Кленов Б.М. Гумус почв Западной Сибири. – М.: Наука, 1981. – 114 с.

6. Борисенко Л.Ф. Ванадий. Минералогия, геохимия и типы эндогенных месторождений. – М.: Недра, 1973. – 192 с.

7. Мотузова Г.В. Информативность показателей варьирования содержания микроэлементов в почвах при биогеохимических исследованиях и экологическом мониторинге // Сибирский экологический журнал. – 2001. – № 2. – С. 119-124.

8. Добрицкая Ю.И. Некоторые закономерности распространения ванадия в разных типах почв // Почвоведение – 1972. – № 9. – С. 51-61.

9. Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б. Тяжелые металлы и радионуклиды в гидроморфных почвах Русской равнины и их профилное распределение // Почвоведение. – 1999. – № 4. – С. 435-444.

10. Сапрыкин Ф.Я. Геохимия почв и охрана природы. – Ленинград: Недра, 1984. – 231 с.

11. Якушевская И.В., Мартыненко А.Г. Микроэлементы в ландшафтах колючей лесостепи // Почвоведение. – 1972. – № 4. – С. 44-53.

12. Эдлин М.Г., Милославская О.А. Поведение галлия и ванадия в латеритных корах выветривания Гвинеи, развитых по различным исходным породам // Геохимия. – 1996. – № 2. – С. 134-138.

13. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 341 с.

14. Беус А.А. Геохимия литосферы. – М.: Мысль, 1976. – 141 с.

15. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. – М.: Экология, 1996. – 190 с.

16. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.

17. Содержание и формы микроэлементов в почвах / Под ред. Н.Г. Зырина. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 387 с.