

## ГЕОГРАФИЯ

УДК 631.438

А.В. Пузанов, М.А. Мальгин

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОДАХ И ПОЧВАХ АТАЙСКОГО КРАЯ

Никель - приоритетный элемент-токсикант [1, 2]. Повышенные концентрации никеля в компонентах окружающей среды оказывают негативное воздействие на организмы, являются канцерогенными для человека [3, с. 128-138]. Однако имеются и сведения о необходимости никеля для организмов [3]. Растения, произрастающие на почвах с пониженным содержанием никеля, отзывчивы на внесение его соединений.

Объекты исследований - почвообразующие породы, зональные и интразональные почвы Алтайского края. В основу выполнения полевых работ положен сравнительно-географический метод. Почвенные разрезы закладывали в системе сопряженных ландшафтов. Физические и физико-химические параметры почв определяли общепринятыми в почвоведении методами, никель - атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре фирмы Perkin Elmer. В работе приняты следующие обозначения вариационно-статистических параметров:  $r$  - коэффициент корреляции;  $n$  - число коррелируемых пар;  $\lim$  - пределы колебаний;  $M \pm m$  - средняя арифметическая и ее ошибка;  $V$  - коэффициент вариации;  $p$  - число дат.

Задачи исследований:

- 1) изучение распределения никеля в почвообразующих породах;
- 2) определение уровня содержания, характера распределения никеля в почвах в зависимости от их свойств;
- 3) оценка с экологических позиций концентрации никеля в почвенном покрове региона.

#### Никель в горных и почвообразующих породах

Кларк никеля в литосфере, по мнению А.П.Виноградова [4, с.555-571], равен 58 мг/кг, по оценкам других исследователей [5, с. 104; 6, с.371-413] 80 и 95 мг/кг. Содержание никеля в основных породах значительно выше, чем в кислых [7, с.274]. Концентрация микроэлемента в осадочных породах существенно варьирует: в песчаниках 1,2-18 мг/кг, глинистых сланцах 21- 100 мг/кг, в карбонатных породах 2,3-16 мг/кг [8]. На невысокий уровень концентрации микроэлемента в гранитном слое (22 мг/кг) указывает А.А. Беус с соавторами [9]. В континентальных отложениях микроэлемент находится в основном в виде сульфидов и арсенидов, а также ассоциируется с фосфатами, силикатами и карбонатами [10]. При выветривании горных пород никель легко освобождается и далее осаждается преимущественно с оксидами железа и марганца.

Сведений о содержании никеля в почвообразующих породах немного. В аллювиальных отложениях Забайкалья концентрация микроэлемента колеблется от 8 до 47 мг/кг, делювиальных - от 10 до 40 мг/кг, эоловых - от 22 до 31 мг/кг [11, с.1291-1298]. Почвообразующие породы региона исследований многообразны по петрографическому и гранулометрическому составу - от глин предгорий Северного Алтая и Салаира до сортированных песков ложбин древнего стока и современных террас Оби [12, с.392; 13].

Степень дисперсности является ведущим фактором, определяющим уровень концентрации никеля в почвообразующих субстратах, о чем свидетельствует сильная коррелятивная зависимость между содержанием фракций физической глины и ила, с одной стороны, и концентрацией никеля, с другой (табл. 1).

Таблица 1  
Коэффициент корреляции между концентрацией никеля и физико-химическими свойствами почвообразующих пород

Физико-химические параметры	$p$	$r$
Ил	23	0,88
Физическая глина	23	0,90
Емкость поглощения	17	0,59
pH водный	22	0,47
CaCO <sub>3</sub>	14	0,68

Наиболее низким уровнем содержания рассматриваемого микроэлемента характеризуются песчаные отложения ложбин древнего стока и террас рек и озер, наиболее высоким - глинистые отложения подгорных равнин Алтая и Салаира (табл. 2).

Существенное влияние на распределение никеля в почвообразующих породах оказывают содержание карбонатов, реакция среды и поглотительная способность самих пород (см, табл. 1).

Исследуемый микроэлемент осаждается на карбонатном барьере четвертичных отложений степных и сухостепных ландшафтов в условиях щелочной реакции среды. География никеля в почвообразующих породах Алтайского края определяется распространенностью генетических типов четвертичных отложений, в свою очередь тесно связанных с геоморфологическими и ландшафтно-геохимическими особенностями этих пород.

## Распределение никеля в почвообразующих породах и почвах Алтайского края

Таблица 2  
Никель в некоторых типах почвообразующих пород Алтайского края

Глубина образца, см	Ил	Физическая глина	CaCO <sub>3</sub>	рН водный	Емкость поглощения, мг-экв на 100 г почвы	Ni, мг/кг
<b>Песчаные отложения</b>						
160-170	0,5	3,8	---	7,1	—	6
150-160	0,5	1,6	—	7,0	—	9
130-140	0,5	1,8	—	7,3	—	13
170-180	0,5	0,5	---	7,3	—	10
<b>Суглинистые отложения</b>						
85-95	19,1	34,1	11,6	8,7	10,6	30
240-250	20,2	34,3	6,0	8,5	16,4	33
80-90	16,3	41,5	13,5	8,5	17,1	30
130-140	15,3	33,6	9,8	9,2	10,4	29
130-140	19,4	35,4	11,5	8,7	16,4	33
120-130	18,4	28,7	1,3	8,4	15,2	27
<b>Глинистые отложения</b>						
180-190	26,6	52,3	---	6,4	23,0	51
160-170	25,5	58,1	--	8,6	25,2	68
160-170	25,1	49,2	--	8,2	22,4	47

*Примечание:* прочерк - не определяли.

Среднее содержание никеля в почвообразующих породах Алтайского края составляет  $34,9 \pm 1,6$  мг/кг, при колебаниях от 6 до 68 <sup>мг/кг</sup>.

### Никель в почвах

Концентрация никеля в почвах Алтайского края варьирует в широких пределах (табл. 3, 4), что обусловлено сложностью структуры почвенного покрова, различиями в минералогическом, петрографическом и гранулометрическом составе почв, разнообразием физикохимических свойств почв разной генетической

принадлежности, контрастностью геохимических ситуаций в ландшафтах основных природных зон (сухие степи - черневая тайга), а главным образом - вариабельностью почвообразующих пород.

Почвообразующие породы определяют уровень концентрации никеля в почвах. Между содержанием никеля в почвах и почвообразующих породах отмечена сильная положительная высокодостоверная коррелятивная зависимость:  $r = 0,84$ .

Таблица 3  
Сравнительное содержание никеля в почвах Алтайского края и других регионов

Почвы	n	lim	M ± m	V, %	
		мг/кг			
Гумусовые горизонты Почвенный покров Почвы Западной сибире [11] Почвы СССР [11] Почвы мира [10]	289	2,1-60		31	
	598	2,1-69	$36,5 \pm 0,7$ $36,3 \pm 0,5$	36	
			25,9		
			46,9 20,0		

ГЕОГРАФИЯ

Таблица 4  
Содержание никеля и физико-химические свойства почв Алтайского края

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	Ил	Физическая глина	CaCO <sub>3</sub>	рН водный	*Е	Ni, мг/кг
		%						
Дерново-подзолистая песчаная под ленточным бором (Рубцовский район, разрез РСР-1)								
A	7-12	4,9	2,5	4,9	Нет	6,6	7,0	15
A	12-17	3,8	2,0	4,4	—	6,1	8,6	15
A1A2	17-22	3,2	1,1	3,2	—	6,6	5,3	15
A1A2	12-27	1,3	0,0	3,8	—	6,3	5,3	13
A1A2	27-32	3,0	0,9	3,2	—	6,4	3,5	13
A2B	35-45	3,1	1,1	3,8	—	6,5	7,0	18
B1	55-65	2,5	2,7	3,8	—	7,0	5,3	22
B2	90-100	0,5	2,7	4Д	—	6,8	8,8	12
B3	115-125	—	0,7	3,4	—	6,9	1,8	18
B4	140-150	—	2,0	4,5	—	6,9	5,3	15
BC	170-180	—	1,0	1,7	—	6,9	5,3	15
Чернозем оподзоленный тяжело суглинистый на бурых глинах (Красногорский район, разрез РСР-60)								
Адер	0-6	15,8	0,0	29,0	Нет	6,2	58,6	37
A1	10-20	14,3	5,8	43,4	—	5,8	67,9	39
A1A2	35-45	10,7	5,9	46,6	—	5,8	74,8	43
A1A2	50-60	5,8	4,4	47,3	—	5,8	42,2	43
A1A2	10-80	—	2,1	45,4	—	5,7	29,3	47
A2B1	85-95	—	12,4	50,8	—	5,9	27,5	53
A2B1	100-110	—	14,7	51,8	—	6Д	23,8	39
B1	120-130	—	18,1	50,4	—	6,3	34,8	57
B 2	150-160	—	26,1	51,4	—	6,4	33,0	51 [
C	180-190	—	26,6	52,3	—	6,4	33,0	51
Чернозем обыкновенный суглинистый на суглинистых оглеенных отложениях (Локтевский район, разрез 5)								
Ап ах	10-20	5,9	13,8	38,8	0,3	7,6'	35,7	39 I
Ак	40-50	4,0	16,7	36,7	3,6	8,4	37,2	33
Ак	80-90	2,4	22,6	48,8	13,9	8,6	26,8	28
АВк	100-110	2,9	23,9	45,0	0,1	8,5	23,8	27
Вк	130-140	0,2	22,7	50,5	4,3	8,5	19,3	33 [
ВСк	160-170	0,2	26,3	42,9	1,7	8,4	34,2	35
Ск	190-200	0,2	21,4	48,3	—	8,4	19,3	35
Луговая суглинистая (рубцовский район, разрез РСР-5)								
Адер	0-5	5,9	10,9	36,0	Нет	7,7	40,5	30
A	5-10	5,0	8,2	27,2	—	8,0	335,6	30
A	10-15	4,3	9,6	31,8	-	8,3	35,4	32
A	15-20	4,0	10,6	30,2	-	8,3	335,6	32
A	20-25	3,5	13,2	32,6	—	8,3	22,9	32
A	25-30	2,4	12,9	37,4	—	8,4	31,7	32
A	30-35	2,5	13,2	30,5	—	7,9	15,8	34
A	35-40	2,1	14,0	36,4	-	7,9	29,9	34 [
АВк	43-53	2,4	18,8	41,5	10,1	7,9	21,1	36 [
Вкg	65-75	1,1	24,3	39,6	9,2	8,0	8,8	36 I
Скg	110-120	0,7	19,6	33,0	—	8,4	21,2	32 [
Лугово-болотная торфянистая (Угловский район, разрез РСР-14)								
Адер	0-10	3,0	2,0	10,5	Нет	-	-	4 1
Ат1	15-25	3,1	1,0	6,4	-	-	-	2 1
Ат2	40-50	2,5	1,4	,6	-	-	-	9 1
Ат3	70-80	0,5	0,1	10,7	-	-	-	9
АСт	90-100	—	1,5	19,8	—	6,6	—	9
Аллювиальная дерновая супесчаная (Локтевский район, разрез 17)								
Адер.к	0-10	1,4	14,8	15,6	5,8	8,2	28,2	17
Ак	20-30	1,9	14,8	15,3	3,4	8,3	26,9	5 1
АВк	35-45	0,6	9,3	112,0	3,8	8,2	17,8	■
В1к	50-60	0,4	7,8	13,3	4,6	8,3	14,9	10 I
Ск	80-90	0,4	5,0	12,8	5,1	8,2	13,4	1° 1
СД1к	120-130	0,2	4,3	11,0	4,4	8,4	11,9	/ 1
СД2к	145-155	0,4	7,0	12,9	-	8,3	14,9	7 1
СД3к	170-180	0,4	10,1	11,8	—	8,3	10,2	10 Ц

ГЕОГРАФИЯ

Таблица 4  
Содержание никеля и физико-химические свойства почв Алтайского края

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	Ил	Физическая глина	CaCO <sub>3</sub>	рН водный	*Е	Ni, мг/кг
		%						
Дерново-подзолистая песчаная под ленточным бором (Рубцовский район, разрез РСП-1)								
A	7-12	4,9	2,5	4,9	Нет	6,6	7,0	15
A	12-17	3,8	2,0	4,4	—	6,1	8,6	15
A1A2	17-22	3,2	1,1	3,2	—	6,6	5,3	15
A1A2	12-27	1,3	0,0	3,8	—	6,3	5,3	13
A1A2	27-32	3,0	0,9	3,2	—	6,4	3,5	13
A2B	35-45	3,1	1,1	3,8	—	6,5	7,0	18
B1	55-65	2,5	2,7	3,8	—	7,0	5,3	22
B2	90-100	0,5	2,7	4Д	—	6,8	8,8	12
B3	115-125	—	0,7	3,4	—	6,9	1,8	18
B4	140-150	—	2,0	4,5	—	6,9	5,3	15
BC	170-180	—	1,0	1,7	—	6,9	5,3	15
Чернозем оподзоленный тяжело суглинистый на бурых глинах (Красногорский район, разрез РСП-60)								
Адер	0-6	15,8	0,0	29,0	Нет	6,2	58,6	37
A1	10-20	14,3	5,8	43,4	—	5,8	67,9	39
A1A2	35-45	10,7	5,9	46,6	—	5,8	74,8	43
A1A2	50-60	5,8	4,4	47,3	—	5,8	42,2	43
A1A2	10-80	—	2,1	45,4	—	5,7	29,3	47
A2B1	85-95	—	12,4	50,8	—	5,9	27,5	53
A2B1	100-110	—	14,7	51,8	—	6Д	23,8	39
B1	120-130	—	18,1	50,4	—	6,3	34,8	57
B 2	150-160	—	26,1	51,4	—	6,4	33,0	51
C	180-190	—	26,6	52,3	—	6,4	33,0	51
Чернозем обыкновенный суглинистый на суглинистых оглеенных отложениях (Локтевский район, разрез 5)								
Ап ах	10-20	5,9	13,8	38,8	0,3	7,6'	35,7	39 I
Ак	40-50	4,0	16,7	36,7	3,6	8,4	37,2	33
Ак	80-90	2,4	22,6	48,8	13,9	8,6	26,8	28
АВк	100-110	2,9	23,9	45,0	0,1	8,5	23,8	27
Вк	130-140	0,2	22,7	50,5	4,3	8,5	19,3	33
ВСк	160-170	0,2	26,3	42,9	1,7	8,4	34,2	35
Ск	190-200	0,2	21,4	48,3	—	8,4	19,3	35
Луговая суглинистая (рубцовский район, разрез РСП-5)								
Адер	0-5	5,9	10,9	36,0	Нет	7,7	40,5	30
A	5-10	5,0	8,2	27,2	—	8,0	335,6	30
A	10-15	4,3	9,6	31,8	—	8,3	35,4	32
A	15-20	4,0	10,6	30,2	—	8,3	335,6	32
A	20-25	3,5	13,2	32,6	—	8,3	22,9	32
A	25-30	2,4	12,9	37,4	—	8,4	31,7	32
A	30-35	2,5	13,2	30,5	—	7,9	15,8	34
A	35-40	2,1	14,0	36,4	—	7,9	29,9	34
АВк	43-53	2,4	18,8	41,5	10,1	7,9	21,1	36
Вкg	65-75	1,1	24,3	39,6	9,2	8,0	8,8	36
Скg	110-120	0,7	19,6	33,0	—	8,4	21,2	32
Лугово-болотная торфянистая (Угловский район, разрез РСП-14)								
Адер	0-10	3,0	2,0	10,5	Нет	—	—	4
Ат1	15-25	3,1	1,0	6,4	—	—	—	2 I
Ат2	40-50	2,5	1,4	,6	—	—	—	У
Ат3	70-80	0,5	0,1	10,7	—	—	—	У
АСт	90-100	—	1,5	19,8	—	6,6	—	9
Аллювиальная дерновая супесчаная (Локтевский район, разрез 17)								
Адер.к	0-10	1,4	14,8	15,6	5,8	8,2	28,2	17
Ак	20-30	1,9	14,8	15,3	3,4	8,3	26,9	5 I
АВк	35-45	0,6	9,3	112,0	3,8	8,2	17,8	
В1к	50-60	0,4	7,8	13,3	4,6	8,3	14,9	10 I
Ск	80-90	0,4	5,0	12,8	5,1	8,2	13,4	1° I
СД1к	120-130	0,2	4,3	11,0	4,4	8,4	11,9	/
СД2к	145-155	0,4	7,0	12,9	—	8,3	14,9	7 I
СД3к	170-180	0,4	10,1	11,8	—	8,3	10,2	10 Ц

## Распределение никеля в почвообразующих породах и почвах Атайского края

Содержание микроэлемента существенно варьируется в почвах сопряженных ландшафтов, особенно, если в аккумулятивном ландшафте происходит накопление тонкодисперсного материала (луговые глинистые почвы).

В большинстве изученных типов почв никель по профилю распределяется равномерно. Биогенное накопление микроэлемента не наблюдается даже в почвах с ярко выраженным дерновым макропроцессом - оподзоленных и выщелоченных черноземах Бие-Катунского междуречья, гумусовые горизонты которых отличаются высоким содержанием органического вещества (см. табл. 4). Между содержанием гумуса и концентрацией никеля в почвах исследуемого региона выявлена достоверная слабая коррелятивная зависимость (табл. 5).

Таблица 5  
Корреляционная зависимость между содержанием никеля и свойствами почв

Свойства почв	п	г
Гумус	101	0,25
Ил	131	0,62
Физическая глина	131	0,79
СаСО <sub>3</sub>	127	0,34
pH водный	127	0,27
1 Емкость поглощения	126	0,52

Содержание никеля в почвах Забайкалья также слабо зависит от количества органического вещества [11]. Но по данным В.П. Оголе-вой и Л.Е. Чердаковой [14; 15, с. 105-109], в каштановых почвах Волгоградской области существует более тесная корреляционная связь ( $r = 0,46$ ). Накопление никеля в гумусовых горизонтах почв в результате биологической аккумуляции также отмечают В.А. Ковда с соавторами [16]. По степени влияния физико-химических свойств почв Алтайского края на уровень концентрации никеля можно составить следующий убывающий ряд: физическая глина → ил → емкость поглощения → СаСО<sub>3</sub> → pH → гумус (см. табл. 3). О решающем влиянии ила и физической глины на поведение никеля в почвах сообщают многие авторы [3, 10, 13, 15, 17]. Высокий уровень концентрации никеля (по сравнению с растениями) свойственен хвойным подстилкам ленточных боров и оторфованным горизонтам лугово-болотных почв. В почвах с элювиально-иллювиальным типом перераспределения продуктов почвообразования (дерново-подзолистые, серые лесные, черноземы оподзоленные, луговые оподзоленные) иногда наблюдается пик концентрации никеля в иллювиальных горизонтах, что связано с максимальным содержанием в них глинистых и илистых частиц (см. табл. 4). Неоднородность внутрипро-

фильного распределения никеля в иллювиальных слоистых почвах поймы р.Алей обусловлена различной минеральной основой горизонтов. Погребенные горизонты и много-членность иллювиальных почв хорошо диагностируются по содержанию никеля. Снижение концентрации никеля в пахотных горизонтах черноземов Алтайского края, вероятно, обусловлено отторжением микроэлемента вместе с тонкодисперсным материалом в результате мощных дефляционных процессов прошлых лет. Прослеживается тенденция накопления никеля в иллювиально-карбонатном горизонте или непосредственно над ним в обыкновенных черноземах, что связано с осаждением микроэлемента на карбонатном барьере.

Оценивая уровень концентрации никеля в почвенном покрове Алтайского края с экотоксикологических позиций, необходимо отметить, что в почвах большей части региона (предгорные равнины, Приобское плато, восточная часть Кулундинской депрессии, Бийско-Чумышская возвышенность) содержание микроэлемента находится на уровне фона, а в глинистых почвах Салаира, Присалаирской равнины и Бие-Катунского междуречья превышает его. Учитывая важную физиологическую роль никеля, можно ожидать негативную реакцию организмов в биогеоценозах, почвы которых характеризуются аномально низким содержанием микроэлемента (песчаные почвы ложбин древнего стока и приозерной части Кулундинской впадины).

Содержание микроэлемента в почвах Барнаула не превышает санитарно-гигиенических норм, что свидетельствует об отсутствии выраженного антропогенного загрязнения никелем компонентов урболоандшафтов. Содержание никеля в почвенном покрове окрестностей Алтайского горно-обогатительного комбината и в почвах, формирующихся над полиметаллическими месторождениями Западного Алтая, не превышает уровня регионального фона, что связано с особенностями геохимии полиметаллических месторождений. Отложения хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината также не накапливают значительного количества никеля.

### Выводы

1. Почвы Алтайского края наследуют уровень концентрации никеля почвообразующих пород.
2. Ведущим фактором, определяющим содержание микроэлемента в почвообразующих породах и почвах, является гранулометрический состав.
3. Внутрипрофильное распределение никеля зависит в разной степени от физикохимических свойств и проявления почвообразовательных макропроцессов.
4. Техногенного загрязнения никелем почвенного покрова Алтайского края не выявлено.

# ГЕОГРАФИЯ

## ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М., 1983.
2. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. Л., 1987.
3. Ягодин Б.А., Говорина В.В., Виноградова С.Б. Никель в системе почва - удобрения - растения - животные и человек // Агрохимия. 1991. №1.
4. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. №7.
5. Манн А.У. Природные ресурсы // Химия окружающей среды. М., 1982.
6. Брукс Р.Р. Загрязнение микроэлементами // Химия окружающей среды. М., 1982.
7. Распространенность элементов в земной коре. М., 1972.
8. Браунлоу А.Х. Геохимия. М., 1984.
9. Беус А.А., Г'рабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М., 1976.
10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., 1989.
11. Кашин В.К., Иванов Г.М. Никель в почвах Забайкалья // Почвоведение. 1985. №10.
12. Почвы Алтайского края. М., 1959.
13. Почвенная карта Алтайского края, масштаб 1:500000. Барнаул, 1986.
14. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск, 1991.
15. Оголева В.П., Чердакова Л.Н. Никель в почвах Волгоградской области // Агрохимия. 1980. №9.
16. Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюканов А.Н. Микроэлементы в почвах Советского Союза. М., 1959.
17. Пашнева Г.Е. Содержание цинка и никеля в почвах Томской области // Микроэлементы в Сибири. Вып.5. Улан-Удэ, 1967.