

С. Б. АБОВЯН

К ГЕОХИМИИ НИКЕЛЯ В УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОДАХ АРМЯНСКОЙ ССР

Введение

Ультраосновные породы, вместе со связанными с ними габброидами, на территории Армянской ССР слагают два дугообразных пояса северо-западного простираения, отличающихся друг от друга своими размерами. Наиболее крупный из них—Севано-Амасийский—прослеживается вдоль Базумского и Ширакского и, главным образом, Севанского хребтов на северо-восточном побережье озера Севан и далее уходит в Азербайджанскую ССР, в бассейны рр. Тертер и Акера. Второй, значительно меньших размеров, Вединский пояс прослеживается в направлении сс. Арташат—Веди—Нахичевань, достигая наибольшего развития в бассейне р. Веди. Здесь, в поясе развития ультраосновных пород, крупные линейно-вытянутые складки отсутствуют и широкое развитие получают брахиантиклинальные структуры общекавказского направления: Урцкая, Кадырлинская, Кешишлерская и Джерманисская.

Оба пояса представляют восточный отрезок Понтийского офиолитового пояса Тавро-Кавказской геосинклинали, протягивающегося от Альп, через Балканы в Малую Азию. На территории Армянской ССР Севано-Амасийский пояс в тектоническом отношении входит в Севанскую интрагеосинклинальную зону, а Вединский—в Складчатую зону Армении (Паффенгольц, 1959).

В пределах указанных поясов ультраосновные породы слагают массивы различных размеров. Наиболее крупные из них наблюдаются в Севано-Амасийском поясе (от 1,0 до 70,0 км²). Для Вединского пояса характерно большое количество (около 100) довольно мелких массивов (от нескольких десятков квадратных метров до 1,0 км²). По форме массивы образуют узкие вытянутые интрузивные тела типа линз, даек, пластовых тел, реже штоков, лакколитов и интрузивных залежей, приуроченных к сводовым частям антиклинальных структур. В этом же северо-западном направлении простираения складчатости вытянуты длинные оси массивов. Расположение последних в зоне интенсивно смятых структур, вероятно, указывает на пассивное поднятие магмы вдоль трещин-разрывов, сопровождавших складкообразование или следовавших за ним.

Ультраосновные породы обоих поясов представлены главным образом перидотитами (гарцбургитами, лерцолитами, меньше верлитами), реже дунитами и пироксенитами. Дуниты встречаются среди перидотитов в виде линзо- и штирообразных тел, согласных с общим простираанием массивов. Среднезернистые разновидности пироксенитов связаны с перидотитами постепенными переходами, а крупнозернис-

тые—в виде жилоподобных тел пегматоидного облика секут перидотиты. Степень серпентинизации ультраосновных пород высокая. Из акцессорных минералов встречается хромшпинелид, а в серпентинизированных разностях присутствует также вторичный магнетит, образовавшийся в результате разрушения силикатов. Кроме того, встречаются сульфиды железа и никеля. В пироксенитах наблюдается титаномагнетит. Типичная кора выветривания ультраосновных пород обычно отсутствует или развита на отдельных участках весьма слабо.

Вопрос о никеленосности ультраосновных пород северо-восточного побережья озера Севан освещен автором (Абовян, 1961), а юго-западной части Севанского хребта—С. А. Паланджяном. В настоящей работе на основании новых данных (более 700 анализов)¹, охватывающих все массивы Армянской ССР, рассматривается поведение никеля в отдельных разновидностях ультраосновных пород, их породообразующих минералах, а также в хромитовых рудах, генетически связанных с этими породами.

Никель в ультраосновных породах

Как известно, по представлениям Фогта (Vogt, 1923), большая часть никеля в процессе кристаллизации ультраосновной магмы входит в состав первичных железо-магниевого силикатов (оливина и пироксенов) и лишь незначительная часть может присутствовать в виде сульфидов. По данным Э. Д. Санделла и С. С. Голдича (1952), содержание никеля быстро возрастает, когда магний превышает 4%, что также указывает на стремление никеля концентрироваться в ранних фракциях железо-магниевого минералов.

Ниже рассматривается распределение никеля в ультраосновных породах Армянской ССР—дунитах, перидотитах, пироксенитах и их метаморфических разностях—серпентинитах и контактово-метаморфических породах—лиственитах.

В дунитах содержание никеля колеблется в широких пределах—от 0,02 до 0,75% и в среднем из 62 анализов составляет 0,23% (табл. 1). Максимальное количество наиболее часто встречающихся содержаний в дунитах соответствует 0,2% Ni.

В перидотитах содержание никеля несколько меньше и колеблется в пределах от 0,01 до 0,56% и в среднем из 102 анализов составляет 0,15%. Максимум наиболее часто встречающихся содержаний в перидотитах соответствует 0,1 и 0,2%, среднее между которыми равно 0,15% Ni. По данным Фогта, в перидотитах содержится 0,14% Ni. Согласно данным В. М. Гольдшмидта (Goldschmidt, 1937), в перидотитах с 40% содержанием MgO в среднем содержится 0,31% Ni.

В пироксенитах содержание никеля еще меньше, чем в перидотитах и колеблется в довольно узких пределах—от 0,01 до 0,3%—и в среднем из 35 анализов составляет 0,08%. Максимальное количество наиболее часто встречающихся содержаний в пироксенитах составляет 0,1% Ni. По данным Фогта в пироксенитах также содержится 0,08% Ni.

Из приведенных данных видно, что в разновидностях ультраоснов-

¹ Из этого количества около 40 анализов пород и породообразующих минералов выполнено химическим, 8 анализов вторичных магнетитов—количественным спектрографическим, а остальные—приблизительно-количественным спектрографическим методами. Сравнение результатов показывает хорошую сходимость данных, полученных этими методами.

Породы и минералы	С о д е р ж а н и е Ni (в %) по массивам												Ni	NiO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Дуниты	0,28(8)*	0,42(1)	0,16(2)	0,24(1)	—	0,19(22)	0,04(1)	0,35(16)	0,13(1)	0,12(5)	0,10(5)	0,23(62)		
Перидотиты	0,16(17)	0,07(6)	0,12(10)	0,08(2)	0,13(1)	0,22(14)	—	0,20(27)	0,10(1)	0,10(13)	0,09(11)	0,15(102)		
Пироксениты	0,11(9)	0,03(3)	0,02(2)	0,08(4)	—	0,10(6)	0,04(1)	0,10(4)	—	0,06(2)	0,09(4)	0,08(35)	0,16	0,20
Сerpентиниты	0,13(23)	—	—	—	—	0,17(21)	—	0,25(22)	0,06(1)	0,26(4)	0,13(6)	0,18(77)	(341)	
Листвениты	0,12(5)	0,15(2)	0,06(3)	0,06(1)	0,01(1)	0,08(19)	—	0,14(24)	—	0,06(9)	0,30(1)	0,11(65)		
Оливин из дунита	0,3(1)	—	—	—	—	0,3(1)	—	—	—	—	—	0,3(2)	0,26	0,33
Оливин из перидотита	0,3(1)	0,20(2)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,23(3)	(5)	
Пироксен ромбический из перидотита	0,18(4)	0,03(1)	0,24(3)	—	—	—	—	0,07(2)	—	0,07(5)	—	0,13(15)	0,105	0,10
Пироксен ромбический из пироксенита	0,03(1)	0,03(1)	—	0,12(2)	—	0,04(2)	—	—	—	0,01(1)	—	0,055(7)		
Пироксен миноклиновый из перидотита	—	0,05(1)	0,06(2)	0,04(2)	—	0,04(1)	—	—	—	0,010(1)	—	0,043(7)	0,051	0,06
Пироксен монок. из пироксенита	0,02(2)	0,03(1)	—	0,11(3)	—	—	—	—	—	0,013(1)	—	0,057(7)	(14)	
Хромшпинелиды акцессорные	0,08(6)	0,06(1)	0,20(1)	0,07(1)	—	—	—	—	—	—	—	0,09(9)	0,09	0,11
Хромшпинелиды рудообразующие	0,18(2)	—	0,05(1)**	—	—	0,19(7)	—	0,13(44)	—	0,19(35)	—	0,16(88)	0,16	0,20
Магнетиты вторичные	0,32(3)	0,14(2)	0,17(6)	—	—	0,25(1)	—	—	—	—	—	0,21(12)	0,21	0,27
												(12)	(12)	

Массивы.

1) Мумухан-Красарский, 2) Кармракарский, 3) Катнахпюр-Карахачские, 4) Желто- и Чернореченские, 5) Тохлуджинский, 6) Шоржинский, 7) Артаишский, 8) Джил-Сатанахачский, 9) Кясамаикий, 10) Каранмац-Зодский, 11) Массивы Вединского пояса, 12) Среднеарифметические значения по типам пород и минералов.

* В скобках указано количество анализов.

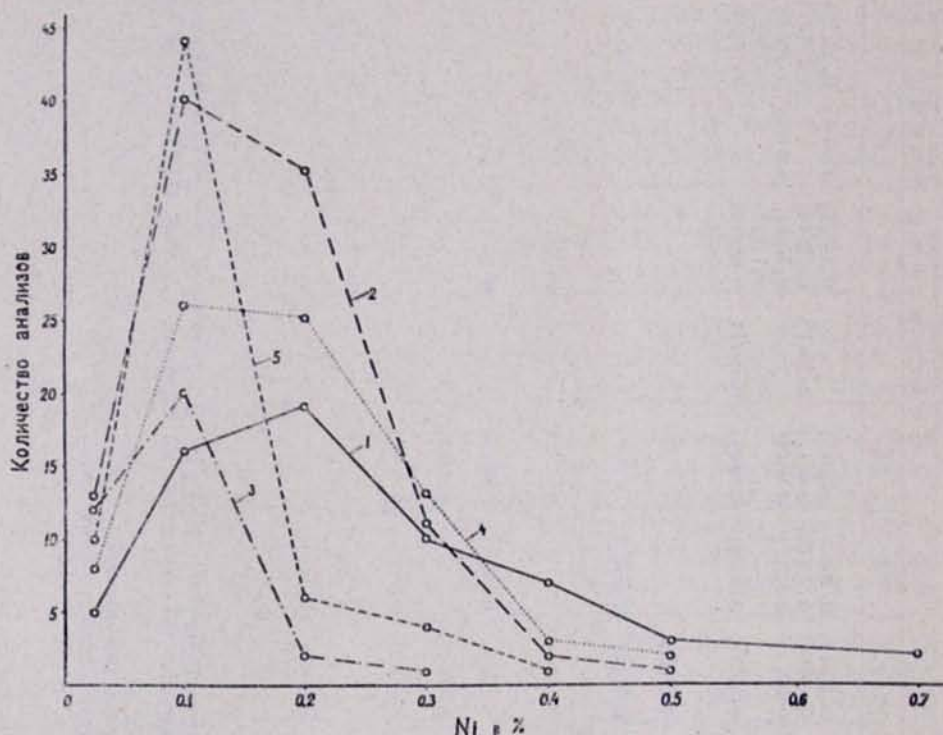
** Дано содержание никеля в первичном магнетите.

ных пород содержание никеля снижается от дунитов (0,23%) к перидотитам (0,15%) и пироксенитам (0,08%).

В серпентинитах содержание никеля колеблется в пределах от 0,01 до 0,56% и в среднем из 77 анализов составляет 0,18%. Максимум наиболее часто встречающихся содержаний в серпентинитах соответствует 0,2% Ni. Несколько повышенное содержание никеля в серпентинитах по сравнению с перидотитами и пониженное по сравнению с дунитами, вероятно, указывает на то, что серпентиниты являются как апоперидотитовыми, так и аподунитовыми. Среднее содержание никеля в серпентинитах соответствует примерно среднему содержанию никеля между перидотитами и дунитами.

В лиственитах содержание никеля варьирует от 0,013 до 0,42% и в среднем из 65 анализов составляет 0,11%. Максимум наиболее часто встречающихся содержаний в лиственитах соответствует 0,1% Ni. Учитывая, что листвениты образовались главным образом по перидотитам, содержания никеля в этих породах близки друг к другу (0,11 и 0,15%).

Распределение никеля в ультраосновных породах Армянской ССР и их метаморфических разностях показано на фиг. 1.



Фиг. 1. Содержание никеля в ультраосновных породах Армянской ССР и их метаморфических разностях.

1—дунит, 62 анализа; 2—перидотит, 102 анализа; 3—пироксенит, 35 анализов; 4—серпентинит, 77 анализов; 5—лиственит, 65 анализов.

Рассмотрение приведенных выше аналитических данных по распределению никеля в отдельных разновидностях ультраосновных пород показывает соответствие среднеарифметических данных и наиболее распространенных содержаний никеля в них.

Среднеарифметическое содержание никеля в ультраосновных породах Армянской ССР по данным 341 анализа составляет 0,16%. Учитывая также литературные данные по 227 анализам, равное 0,18% Ni, среднее содержание никеля по 568 анализам будет равно 0,17% Ni или 0,215% NiO (табл. 2).

Незначительная часть этого количества никеля, как будет видно ниже, присутствует в исследованных породах в виде аксессуарных сульфидов.

Таблица 2

Компоненты, %	Данные автора	Литературные данные	Среднеарифметическое содержание
Ni	0,166(341)*	0,18(227)	0,17(568)
NiO	0,20	0,23	0,215

Сравнение полученных цифр по Армянской ССР с соответствующими цифрами по Азербайджанской ССР (табл. 3) показывает близость их значений, что вполне естественно, так как они представляют разные участки одного и того же пояса ультраосновных пород. По сравнению же с данными Урала видно, что среднее содержание никеля в ультраосновных породах Армянской ССР—0,17% Ni (2,15% NiO) ближе к среднему содержанию никеля в дунитах Платиноносного пояса, в которых содержание его колеблется от 0,039 до 0,32% и в среднем составляет 0,134% Ni (0,17% NiO), тогда как в ультраосновных породах перидотитовой группы Урала содержание никеля выше и колеблется от 0,03 до 0,63%, а в среднем составляет 0,237% Ni (0,30% NiO), (Малахов, 1966).

Сопоставление полученного значения среднего содержания никеля для ультраосновных пород Армянской ССР с соответствующими значениями для пород Азербайджанской ССР, Урала и среднемировыми данными приведено в табл. 3. Среднее содержание никеля для ультраосновных пород Армянской ССР, как видно из таблицы, выше среднего содержания его для ультраосновных пород по Т. Г. Сахама (1952) и Фогту (1923) и ниже среднего содержания никеля по А. П. Виноградову (1962) и Турекьяну и Ведеполу (Turekjan, Wadepol, 1961) и, особенно, по Кларку (Clarke, 1924) и Гольдшмидту (Goldschmidt, 1937).

О соотношении никеля с магнием в ультраосновных породах

Для рассмотрения вопроса о соотношении никеля с магнием в ультраосновных породах Армянской ССР в нашем распоряжении имеется 32 анализа, в которых определены количества MgO и Ni. Это количество по отдельным типам пород распределяется следующим образом: дуниты—10, перидотиты—12 и пироксениты 10 анализов (фиг. 2).

Сопоставление никеля и магния в исследованных породах свидетельствует об отсутствии прямой зависимости между содержаниями этих элементов. При одних и тех же или близких величинах магния содержание никеля варьирует в довольно широких пределах—от 0,06 до 0,42%. В целом, несмотря на отсутствие прямой зависимости между никелем и магнием, общее стремление увеличения количества никеля в более магнезиальных разностях ультраосновных пород—дунитах и перидотитах—подтверждается.

* В скобках дано количество анализов.

Таблица 3

Компоненты	Армянская ССР	Азербайджан- ская ССР (Ба- ба-Заде, Абду- лаев, 1967)	Урал (Малахов, 1966)	Среднемировые						
				А. П. Виноградов		Vogt (1923)	Clarke (1924)	Гольдшмидт (1938)	Сахама (1952)	Турекьян, Ведеполь (1961)
				1956	1962					
NiO	0.215(568)	0.236(162)	0.27(1120)	0.15	0.253	0.127(1)	0.35(225)	0.35(3)	0.10(7)	0.253
Ni	0.17	0.19	0.21	0.12	0.20	0.10	0.27	0.27	0.079	0.20

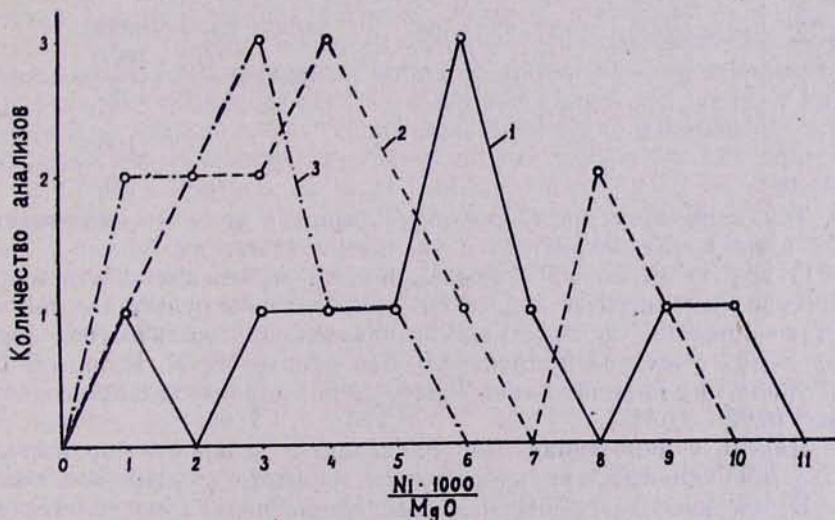
Отношение никеля к магнезию $\left(\frac{\text{Ni} \cdot 1000}{\text{MgO}} \right)$ в дунитах, по данным 10 анализов (фиг. 2), колеблется в пределах от 1 до 10 и в среднем составляет 6. Максимум наиболее распространенных отношений содержится также составляет 6. Если среднее содержание MgO для дунитов—38,45%,—полученное на основании 10 анализов, распространить на все дуниты, то и в этом случае отношение никеля к магнезию в среднем из 62 анализов составит 6 (табл. 4).

Таблица 4

Породы	MgO	Ni	Ni:1000	Ср. сод. MgO из 45 ан.	Ср. сод. Ni из 341 ан.	Ni:1000
			MgO			MgO
Дуниты	38,45(10)	0,23(62)	6,0	33,21	0,16	4,8
Перидотиты	35,65(12)	0,15(102)	4,2			
Пироксениты	26,57(10)	0,08(35)	3,0			
Серпентиты	36,62(6)	0,18(77)	4,9			
Листвениты	28,12(7)	0,11(65)	3,9			

Отношение никеля к магнезию в перидотитах, по данным 12 анализов (фиг. 2), колеблется в пределах от 1 до 9 и в среднем составляет 4,4. Максимум наиболее распространенных отношений содержится составляет 4. Если среднее содержание MgO для перидотитов—35,65%,—полученное на основании 12 анализов, распространить на все перидотиты, то отношение никеля к магнезию в среднем из 102 анализов составит 4,2 (табл. 4).

Отношение никеля к магнезию в пироксенитах, по данным 10 анализов (фиг. 2), колеблется в тех же пределах, что и в перидотитах и в среднем составляет 3,2. Максимальное количество наиболее распространенных отношений содержится составляет 3. Если среднее содержание MgO для пироксенитов—26,57%,—полученное на основании 10 анализов, распространить на все пироксениты, то отношение никеля к магнезию в среднем (35 анализов) также составит 3 (табл. 4).



Фиг. 2. Соотношение никеля с магнезией в ультраосновных породах Армянской ССР.

1—дунит, 10 анализов; 2—перидотит, 12 анализов; 3—пироксенит, 10 анализов.

Для серпентинитов среднее содержание MgO , по данным 6 анализов, составляет 36,62%. Если эту величину распространить на все серпентиниты, то отношение никеля к магнию в среднем из 77 анализов составит 4,9.

Для лиственитов среднее содержание MgO , по данным 7 анализов, составляет 28,12%. Если это содержание распространить на все листвениты, то отношение никеля к магнию в среднем из 65 анализов составит 3,9.

Отношение никеля к магнию по всем типам ультраосновных пород в среднем из 341 анализа составит 4,8. Однако, если учесть, что подавляющая часть ультраосновных пород представлена перидотитами и серпентинитами, то величина этого отношения несколько уменьшится и составит примерно 4,4.

Никель в породообразующих минералах ультраосновных пород

Никель в оливинах. Оливин является наиболее важным из никеленосных силикатов. В оливинах исследованных пород никель содержится в количестве от 0,2 до 0,3% и в среднем из 5 анализов составляет 0,26% или 0,33% NiO (табл. 1). По данным Росса (Ross и др., 1954) в оливинах в среднем содержится 0,34% NiO . Согласно Фогту содержание никеля в оливинах возрастает с увеличением магния. Такая тесная связь объясняется одинаковыми размерами их ионных радиусов (0,78 Å). Так, в среднем 13 анализов, богатых магнием оливинов ($MgO=47-51\%$) содержат 0,33% NiO , а 4 богатых железом оливинов содержат в среднем 0,21% NiO .

Рассматривая с этой точки зрения описываемые оливины, видно, что из 5 проб в двух содержание железа больше 10%, а в трех меньше 10%. В оливинах, богатых железом, среднее содержание никеля составляет 0,2, а в бедных железом—0,3% (табл. 5). Величина отношения

Таблица 5

Элементы, %	843а	1610	848	87	1001
Fe	10,0	7,5	10,0	7,5	5,6
Ni	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3

$\frac{Ni \cdot 1000}{MgO}$ в двух пробах оли-

винов следующая:

$$843a = \frac{0,2 \cdot 1000}{38 \cdot 78} = 5,16,$$

$$87 = \frac{0,3 \cdot 1000}{42 \cdot 76} = 7,01$$

Таким образом, подтверждается вывод о том, что содержание никеля в оливинах возрастает с увеличением магния.

С другой стороны, вероятно, весьма небольшая часть никеля в оливинах находится в виде тонко рассеянного сульфида, так как в составе оливинов присутствует незначительное количество серы (от следов до сотых долей процента). По данным Е. Н. Егоровой (1938), для уральских оливинов также характерно незначительное содержание серы (0,02—0,07%).

Никель в пироксенах. По сравнению с оливином пироксены, особенно моноклинные, характеризуются меньшим количеством никеля.

В ромбических пироксенах содержание никеля колеблется в пределах от 0,01 до 0,3% и в среднем из 22 анализов составляет 0,105% (табл. 1). Интересно отметить, что содержание никеля в ромбических пироксенах из перидотитов значительно больше (0,13%—среднее из 15 анализов), чем из пироксенитов (0,055%—среднее из 7 анализов). Последнее, вероятно, обусловлено более магниальным составом

пироксенов из перидотитов, по сравнению с пироксенами из пироксенитов. В целом отношение $\frac{\text{Ni} \cdot 1000}{\text{MgO}}$ в ромбических пироксенах равно

3,2. По данным Росса и других, в энстатитах из дунитов и из включений в базальтах содержание никеля колеблется от 0,01 до 0,15% и в среднем из 11 анализов составляет 0,08%.

В моноклинных пироксенах, в отличие от ромбических, наблюдается меньшее количество никеля. Содержание его колеблется в пределах от 0,01 до 0,2% и в среднем из 14 анализов составляет 0,051% Ni. Как в перидотитах, так и в пироксенитах моноклинные пироксены характеризуются примерно одинаковыми содержаниями никеля (0,042 и 0,057% соответственно). Отношение $\frac{\text{Ni} \cdot 1000}{\text{MgO}}$ для моноклинных пироксенов

равно 3,0. По данным Росса и других содержание никеля в диопсидах в среднем из 10 анализов составляет 0,04%.

Таким образом, здесь также подтверждается вывод о том, что содержание никеля в пироксенах возрастает с увеличением количества магния. Как и в оливинах, в пироксенах также наблюдается незначительное содержание серы (от следов до сотых долей процента), что, вероятно, указывает на наличие в них тонко рассеянных сульфидов никеля.

Из изложенного выше по породообразующим минералам видно, что содержание никеля убывает в ряду: оливин (0,26%), ромбический пироксен (0,105%), моноклинный пироксен (0,051%).

Никель в акцессорных минералах ультраосновных пород

Из акцессорных минералов ультраосновных пород Армянской ССР, в которых наблюдаются те или иные содержания никеля, следует отметить: магнетит, хромшпинелид, пирит, пирротин, пентландит, миллерит, аварунт и хизлевудит. Из них наибольшим распространением пользуются первые два минерала.

Магнетит представлен двумя генерациями. Магнетит первой генерации (магматический) встречается лишь в пироксенитах в количестве до 0,04%, второй генерации (вторичный) — наблюдается во всех разновидностях ультраосновных пород и образуется в результате разрушения темноцветных минералов. Количество его варьирует в пределах от 0,02 до 0,8% породы и зависит от степени ее изменения.

Содержание никеля в магнетитах второй генерации колеблется от 0,076 до 0,76 и в среднем из 12 анализов составляет 0,21%. Учитывая, что вторичный магнетит представляет собой рудную пыль в силикатной массе, то, вероятно, никель входит в состав последней. Не исключена также возможность наличия тонкодисперсных новообразований сульфидов никеля среди вторичного магнетита, возникших в процессе серпентинизации. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Содержание никеля в магнетитах первой генерации значительно ниже и составляет 0,05% (табл. 1). Никель в них, вероятно, замещает двухвалентное железо (Fe^{2+} — 0,83 Å). С другой стороны, принимая во внимание, что первичный магнетит встречается пока лишь в крупнокристаллических пироксенитах, представляющих собой пегматондные образования ультраосновной магмы, можно говорить о сравнительной обедненности никелем остаточных флюидов, породивших указанные образования. Это вполне согласуется с мнением, что никель стремится концентрироваться в ранних фракциях железо-магниевого минералов.

Хромшпинелид распространен в количестве от 0,05 (пироксениты) до 0,6% (дуниты).

Содержание никеля в хромшпинелидах колеблется в пределах от 0,02 до 0,2% и в среднем по 9 анализам составляет 0,094%. Характерно отметить, что количество никеля в хромшпинелидах из дунитов значительно выше и составляет 0,15%, из перидотитов—равно этому количеству (0,095%), из лиственитов (0,062%) и пироксенитов (0,052%)—ниже этого количества. Никель в них, вероятно, изоморфно замещает магний в решетках хромшпинелидов, вследствие чего содержание его возрастает в наиболее обогащенных магнием хромшпинелидах—магнитохромитах, характерных для дунитов, и убывает в бедных магнием—хромпикотитах и алюмохромитах, характерных для перидотитов и пироксенитов.

Пирит и пирротин встречаются во всех разновидностях ультраосновных пород в количествах, меньших 0,001% (от 2 до 12 г/т). Содержание никеля в пиритах составляет 0,047%, а в пирротинах несколько больше—0,1%. В обоих минералах никель, вероятно, замещает двухвалентное железо. Учитывая, что они по отношению к силикатным минералам являются более поздними и образовались в результате наложения гидротермальных процессов, не исключена возможность наличия в них тонких включений сульфидов никеля, особенно в пирротинах. Этот вопрос также требует дальнейшего изучения.

Пентландит и миллерит. Пентландит наблюдается в виде зерен неправильной формы, а миллерит—в виде пластинчатых, реже игольчатых выделений размерами от 0,2 до 1,0 мм. Количество их в ультраосновных породах не превышает 30 г/т.

Оба минерала приурочены к сильно серпентинизированным участкам ультраосновных пород и образовались в результате разрушения оливинов и дальнейшей реакции освободившегося никеля с серой. Вероятно, частично, пентландит образуется за счет замещения пирротина, а миллерит за счет хизлевудита.

Аварунит встречается в серпентинизированных разновидностях ультраосновных пород и в типичных серпентинитах в количестве от 10 до 35 г/т. Зерна его достигают в поперечнике 0,5, реже до 1,0 мм. Это самородное никель-железо с большим содержанием никеля (Ni:Fe от 4:1 до 2:1). В аваруните из исследованных пород Ni и Fe содержится больше 10% (данные приближенно-количественного анализа). В аваруните из Новой Зеландии содержание Ni—67,63 и Fe—31,02%.

Тонкие сростки аварунита с магнетитом и серпентином, явные признаки замещения магнетита, указывают на его возникновение за счет магнетита при низкотемпературных восстановительных условиях. Необходимый для аварунита никель, по-видимому, был получен при серпентинизации из оливинов и других никельсодержащих минералов, на последних затухающих стадиях этого процесса.

Хизлевудит также обнаружен в наиболее серпентинизированных разновидностях ультраосновных пород в количестве от 5 до 30 г/т. Размеры его зерен достигают 0,5 мм. Представляет собой сернистое соединение никеля Ni_3S_2 с теоретическим составом Ni—73,3, S—26,7%. В исследованном хизлевудите никеля больше 1% (определен на 10 зернах приближенно-количественным спектральным анализом). Данные рентгеноструктурного анализа также подтверждают принадлежность минерала к хизлевудиту.

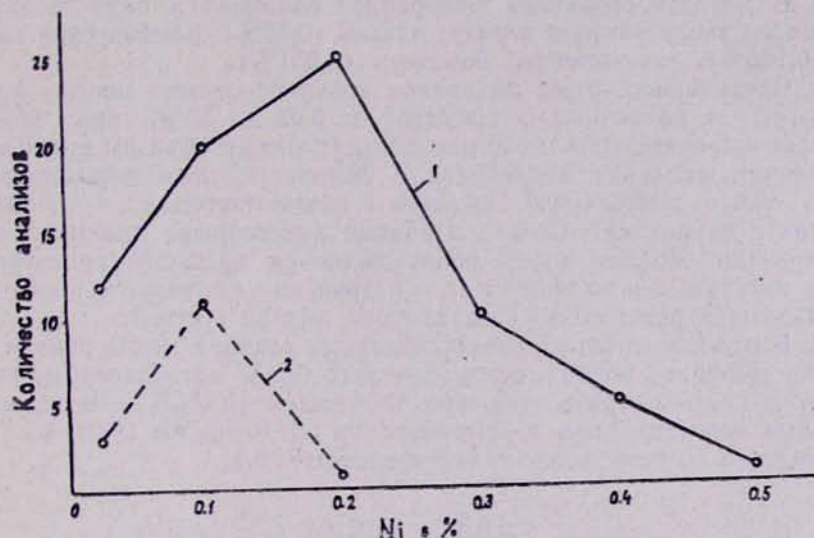
Тесные срастания хизлевудита с аварунитом, а также наличие реликтовых включений аварунита, вероятно, указывают на возникновение хизлевудита за счет аварунита при низкотемпературных условиях.

Среди описываемых ультраосновных пород рудообразующие хромшпинелиды в большинстве случаев приурочены к дунитовым участкам. Они слагают гнездо-, линзо- и жиллообразные рудные тела различных размеров, некоторые из которых имеют промышленное значение.

Содержание никеля в рудообразующих хромшпинелидах колеблется в пределах от 0,02 до 0,56% и в среднем из 87 анализов составляет 0,17% (табл. 1). В целом содержание никеля в них заметно выше, чем в аксессуарных.

По минеральному составу среди рудообразующих хромшпинелидов выделяются магнохромиты, хромпикотиты и алюмохромиты. Характерно отметить, что магнохромиты слагают сравнительно крупные рудные тела и приурочены к средним-нижним частям массивов ультраосновных пород, а хромпикотиты и алюмохромиты—более мелкие тела и приурочены к верхним или апикальным частям массивов.

Количество никеля в указанных хромшпинелидах также находится в зависимости от их состава. В магнохромитах содержание никеля в среднем из 73 анализов составляет 0,175%, причем максимум наиболее часто встречающихся содержаний приходится на 0,2% Ni. В алюмохромитах и хромпикотитах содержание никеля в среднем из 15 анализов составляет 0,091%, а максимум наиболее часто встречающихся содержаний в них приходится на 0,1% Ni (фиг. 3).



Фиг. 3. Содержание никеля в рудообразующих хромшпинелидах Армянской ССР.

1—хромшпинелиды, приуроченные к нижним частям массивов, 73 анализа;
2—хромшпинелиды, приуроченные к верхним частям массивов, 15 анализов.

Таким образом, в рудообразующих хромшпинелидах главная масса никеля изоморфно рассеяна и количество его находится в зависимости от магнезиальности хромшпинелидов—более магнезиальные обогащены никелем, менее магнезиальные—обеднены. Роль сульфидного никеля в них незначительна.

Характер распределения никеля в отдельных разновидностях ультраосновных пород Армянской ССР позволяет прийти к следующим выводам:

1. Содержание никеля в ультраосновных породах снижается от дунитов (0,20%) к перидотитам (0,15%) и пироксенитам (0,08). В их метаморфических разновидностях содержится: серпентинитах 0,18% и лиственитах—0,11% Ni.

2. Главная масса никеля в указанных породах в виде изоморфной примеси входит в состав железо-магниевого силикатов—оливинов и пироксенов и лишь незначительная часть—в виде акцессорных сульфидов. Количество последних несколько увеличивается в метаморфических разновидностях—серпентинитах и лиственитах. При комплексном использовании ультраосновных пород Армянской ССР, вероятно, акцессорные сульфиды могут представлять практический интерес.

3. Значение среднеарифметических данных по никелю в отдельных разновидностях ультраосновных пород находится в полном соответствии с наиболее распространенными содержаниями никеля в них.

4. Среднее содержание никеля в ультраосновных породах Армянской ССР близко к среднему содержанию никеля в дунитах Платиноносного пояса Урала; оно выше соответствующих данных по Сахаму и Фогту и ниже данных по А. П. Виноградову, И. А. Малахову, Турекьяну и Велеполю и особенно по Кларку и Гольдшмидту.

5. В породообразующих минералах—оливинах и пироксенах—содержание никеля убывает в ряду: оливин (0,26%), ромбический пироксен (0,105%), моноклинный пироксен (0,051%).

6. Среди акцессорных минералов ультраосновных пород никель содержится в различных количествах от 0,02 до 55%, при этом он образует как самостоятельные минералы (главным образом сульфиды—пентландит, миллерит, хизлевудит и самородное никель-железо—аварунт), так и изоморфную примесь в хромшпиннелидах, магнетитах, пиритах и пирротинах. Самостоятельные акцессорные минералы никеля, вероятно, обязаны своим происхождением процессу серпентинизации, в результате чего происходило разрушение оливинов и пироксенов и дальнейшая реакция освободившегося никеля с серой.

7. В рудообразующих хромшпиннелидах главная масса никеля изоморфно замещает магний, вследствие чего более магнезиальные разновидности—магнхромиты—обогащены никелем (0,175%), менее магнезиальные алюмохромиты и хромпикотиты обеднены им (0,091%). Роль сульфидного никеля здесь также незначительна.

ЛИТЕРАТУРА

- Абовян С. Б. Геология и полезные ископаемые северо-восточного побережья озера Севан. Изд. АН Арм. ССР, 1961.
- Баба-Заде В. М., Абдуллаев В. М. Некоторые новые данные о содержаниях Ni, Co и Cr в ультраосновных породах Азербайджана и их породообразующих минералах. Уч. зап. Азерб. гос. ун-та, 1967.
- Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. Геохимия, 1956, № 1.
- Виноградов А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, 1962, № 7.
- Гольдшмидт В. М. Принципы распределения химических элементов в минералах и горных породах. Сб. статей по геохимии редких элементов. М.—Л., 1938.

- Егорова Е. Н. О никеленосности оливина. Зап. ВМО, 1938, сер. 67, вып. 2.
- Малахов Н. А. Петрохимия ультрабазитов Урала. Тр. Ин-та геол. Уральск. фил. АН СССР, 1966, вып. 79.
- Паффенгольц К. Н. Геологический очерк Кавказа. Изд. АН Арм. ССР, 1959.
- Санделл Э. Д., Голдиш С. С. Редкие металлы некоторых американских изверженных пород. В сб. «Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах». М., ИЛ, 1952.
- Сахама Т. Г. Рассеянные элементы в породах южной финской Лапландии. В сб. «Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах». М., ИЛ, 1952.
- Clarke F. W., Washington H. S.—The composition of the Earth's Crust. Washington, 1924.
- Ross C. S., Foster M. D. and Myers A. T.—Origin of dunites and of olivine-rich inclusions in basaltic rocks. Amer. Mineral., 1954, vol. 39, № 9—10.
- Turekjan K. K., Wadepohl K. N.—Distribution of the elements in some major units of the Earth's Crust. Bull. Geol. Soc. of Am., 1961, v. 72, № 2.
- Vogt J. H. L.—Nickel in Igneous Rocks. Econ. Geol., 1923, v. 18.