

С. Б. АБОВЯН

**О НИКЕЛЕНОСТИ И КОБАЛЬТОНОСТИ
УЛЬТРАОСНОВНЫХ ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
ОЗЕРА СЕВАН**

Ультраосновные интрузивные породы северо-восточного побережья озера Севан входят в состав Севано-Амасийского пояса офиолитовой формации Армянской ССР. Морфологически они приурочены к юго-западному склону Севанского хребта, где совместно с основными породами типа габбро слагают ряд массивов, вытянутых с северо-запада на юго-восток (Шоржинский, Артанишский, Джил-Сатанахачский, Шиш-каинский, Кясамаанский и Караиман-Зодский). В тектоническом отношении большинство массивов приурочено к сводовым частям главных, реже второстепенных антиклинальных складок, слагающих Севанский хребет [5].

Специальных работ, посвященных изучению никелености и кобальтоности ультраосновных интрузивных пород Армянской ССР не проведено и в настоящей статье эти вопросы изложены впервые.

Никель и кобальт в ультраосновных породах северо-восточного побережья оз. Севан встречаются в форме:

- а) изоморфной примеси в породообразующих минералах ультраосновных пород (главным образом в оливине);
- б) тонкой вкрапленности сульфидов никеля в сильно измененных, местами рассланцованных разностях ультраосновных пород, превращенных в типичные серпентиниты, и в рудах хромистого железняка, подвергшихся метаморфизму;
- в) вторичных минералов [гарниерита, ревинскита (непуита), асболоана], связанных с процессом выветривания ультраосновных пород.

**а) Никель и кобальт в виде изоморфных примесей
в породообразующих минералах ультраосновных пород (в оливине)**

Общеизвестно, что в железо-магнезиальном силикате — оливине $(Mg, Fe)_2 SiO_4$ никель и кобальт изоморфно замещают в кристаллических решетках Mg и Fe вследствие близости их ионных радиусов. Для

выяснения количественного распространения никеля и кобальта в ультраосновных породах северо-восточного побережья озера Севан в табл. 1 приведены пределы колебаний содержаний этих металлов (в процентах), определенных спектральным путем.

Таблица 1

Породы	Ni	Co	Количество анализов
Дунит . . .	0,3 — 1,0	0,01 — 0,1	3 анализа
Перидотит	0,03 — 1,0	0,01 — 0,1	4 анализа
Пироксенит	0,01 — 0,3	0,01 — 0,03	2 анализа
Серпентинит	0,1 — 0,3	0,01 — 0,03	2 анализа
Лиственит	0,01 — 0,03	0,003 — 0,04	4 анализа
Габбро . . .	0,001 — 0,03	0,003 — 0,03	5 анализов

Образцы отобраны из Шоржинского, Джил-Сатанахачского и Карайман-Зодского массивов. Для сравнения тут же приведены содержания никеля и кобальта (в процентах) в габбро из Джил-Сатанахачского массива.

Данные химических анализов отдельных разностей ультраосновных пород (табл. 2) подтверждают примерно те же количественные содержания никеля и кобальта (в процентах) в них. Образцы отобраны из Даринского участка Джил-Сатанахачского массива.

Таблица 2

Из обеих таблиц видно, что содержания никеля и кобальта убывают от дунитов, через перидотиты к лиственитам, пироксенитам, серпентинитам и габбро.

Породы	NiO	CoO
Дунит	0,33	0,01
Перидотит . . .	0,32	0,01
Пироксенит . . .	0,09	Не обн.
Серпентинит . .	0,01	—
Лиственит . . .	0,31	Не обн.

б) Сульфиды никеля в виде тонкой вкрапленности в серпентинитах и рудах хромистого железняка

Изучение образцов отдельных разностей ультраосновных пород в отраженном свете позволило установить в них наличие тонкой вкрапленности сульфидов никеля. Характерно, что в свежих разностях ультраосновных пород вкрапленность эта отсутствует и начинает появляться в серпентинизированных разностях. Максимальное количество их устанавливается в типичных серпентинитах, особенно в их расслапанных разностях.

Аналогичное явление наблюдается и в рудах хромистого железняка. В свежих разностях руд мелкие выделения сульфидов никеля отсутствуют и появляются лишь в метаморфических разностях [1]. Здесь, по-видимому, никель выделяется в процессе серпентинизации из вмещающих ультраосновных пород и вместе с серпентинизирующими растворами проникает по трещинам в руды хромистого железняка. Следовательно, появление и количество выделений сульфидов никеля находится в генетической зависимости от степени серпентинизации ультраосновных пород и метаморфизма руд хромистого железняка.

Согласно представлениям И. Фогта [7], в процессе кристаллизации

ультраосновной магмы никель в качестве изоморфной примеси к магнезию входит в состав кристаллизующихся первичных силикатов (оливина и пироксена). Источником серы также является ультраосновная магма, в которой содержатся заметные количества сероводорода [3, 4]. По мнению автора, при процессе серпентинизации происходит разложение оливина и пироксенов ультраосновных пород, в результате чего освобождается никель, изоморфно замещающий магний и, соединяясь с серой сероводорода, образует сульфиды, которые откладываются в трещинах и порах пород и руд хромистого железняка. При этом процессе сера, которая необходима для образования сульфидов никеля, по-видимому, переносилась серпентинизирующими растворами.

Из сульфидов никеля установлены пентландит и миллерит — обычно в серпентинитах и метаморфизованных рудах хромистого железняка.

Пентландит $(\text{Fe}, \text{Ni})_9 \text{S}_8$. Образует зерна неправильной формы размерами до 0,1 мм, реже тонкие прожилки мощностью до 0,05 мм. В отраженном свете имеет кремово-белый цвет с желтым оттенком, твердость средняя, довольно хрупкий минерал. В азотной кислоте растворяется, окрашиваясь в зеленый цвет.

Миллерит — NiS . Встречается чаще в серпентинитах в виде неправильных зерен, нередко имеющих игольчатую форму. Отражательная способность высокая, цвет желтый с кремовым оттенком, хрупок, твердость средняя. В концентрированной азотной кислоте растворяется, окрашивая раствор в зеленый цвет.

Как правило, зерна пентландита и миллерита встречаются в серпентинитах (фиг. 1), а прожилки — в метаморфизованных рудах хромистого железняка (фиг. 2).

Из серпентинитовых участков, в которых наблюдаются сульфиды никеля, обнаруживаемые под микроскопом, необходимо отметить следующие:



Фиг. 1. Выделения миллерита (белые) в серпентините (темные). Шоржинский массив. Аншлиф. Ув. 60, без анализатора.



Фиг. 2. Выделения пентландита (светлые) вдоль трещинок массивной руды метаморфизованного хромистого железняка. Джил-Сатанхачский массив. Аншлиф. Ув. 60, без анализатора.

1) западный и центральный серпентинитовые участки Шоржинского массива;

- 2) серпентинитовые участки Джил-Сатанахачского массива, расположенные к северу и северо-востоку от сс. Бабаджан, Памбак и Дара;
- 3) ряд небольших серпентинитовых участков к северо-востоку от сс. Джанахмед и Инакдаг на Караиман-Зодском массиве.

Спектральные анализы серпентинитов из этих участков дают содержания никеля до 1%. Как показывает микроскопическое изучение, никель в них присутствует в виде сульфидов и, по-видимому, отсутствует в виде изоморфной примеси. Указанный вопрос, естественно, требует дальнейших исследований.

в) Вторичные минералы никеля и кобальта, связанные с процессом выветривания ультраосновных интрузивных пород

Процессы выветривания на массивах ультраосновных пород северо-восточного побережья оз. Севан выражены весьма слабо. Отсутствует также кора выветривания, столь характерная для ультраосновных пород Урала. Обычно сохранились остатки древней коры выветривания, представленные выщелоченными серпентинитами с выделениями гидромагнезита и магнезита [2].

В наиболее выветрелых и выщелоченных участках серпентинитов довольно редко, но все же наблюдается небольшое развитие вторичных минералов никеля и кобальта, представленных гарниеритом, ревдинским (непуитом) и асболоном. Минералы эти обычно имеют колломорфное строение и образуют небольшие прожилки мощностью до 1—2 см и скопления, имеющие в поперечнике 3—5 см. Количество и размеры выделений их на данной стадии изученности позволяют говорить о минералогическом их значении.

Гарниерит — $\text{Ni}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Образует тонкие гелевидные скопления в нижних горизонтах и контактовых частях магнезитизированных ультраосновных пород, где наблюдается переход от рыхлых разностей к трещиноватым.

Макроскопически гарниерит представляет собой мягкий фарфоровидный минерал с различными оттенками зеленого и голубого цветов. Иногда обладает радиально-лучистым строением. Блеск матовый, излом ровный, уд. в. — 2,2. Показатели преломления следующие: $n_g = 1,599$ (вдоль волокна), $n_p = 1,592$ (поперек волокна), $n_g - n_p = 0,007$ (измерены иммерсионным методом). Оптически отрицательный, разлагается в соляной кислоте.

Гарниерит встречается на Урале в месторождениях Уфалейского района и в Аккермановском, Халиловском и Кемпирсайском месторождениях, а также в продуктах выветривания серпентинитовых массивов Новой Каледонии. На северо-восточном побережье оз. Севан гарниерит установлен на Шоржинском, Джил-Сатанахачском, Кысаманском и Караиман-Зодском массивах в виде небольших скоплений.

Ниже, по Г. О. Пиджину [6], приводятся данные спектрального анализа гарниерита из района Кысаманского проявления ртути: Mg — десятки процентов, Al, Ca, Fe, Ni, Cr — целые проценты, Hg — десятые доли процента, Mn — сотые доли процента, Ti, Cu — тысячные доли процента. Здесь гарниерит встречается среди кварц-карбонатных пород в ассоциации с медной зеленью и киноварью.

Ревдинскит (непуит) — $(\text{Ni}, \text{Mg})_3 [\text{Si}_4 \text{O}_{10}] [\text{OH}]_2$. Обнаружен в трещинах сильно выветрелых и серпентинизированных ультраосновных пород, являющихся переходными разностями от рыхлых магнезитизированных пород к плотным немагнезитизированным породам.

Макроскопически представляет скрытокристаллическую плотную массу серовато-зеленого цвета. Реже встречается в виде чешуйчатых агрегатов. Блеск матовый, излом ровный, удельный вес — 3,0. Показатели преломления, измеренные в иммерсионных жидкостях, следующие: $n_g = 1,647$, $n_r = 1,621$, $n_g - n_r = 0,026$. Оптически отрицательный, разлагается только в горячей соляной кислоте.

Ревдинскит является довольно распространенным минералом в Ревдинском и Уфалейском районах Среднего Урала и в Халиловском и Аккермановском месторождениях Южного Урала, а также в месторождениях силикатных руд Новой Каледонии. На северо-восточном побережье озера Севан ревдинскит встречен на Шоржинском массиве среди выщелоченных серпентинитов в виде тонких прожилков и небольших скоплений в ассоциации с магнезитом, гидромагнезитом, арагонитом, опалом, реже гарниеритом и асболоном.

Асболоан — $m(\text{Co}, \text{Ni})\text{O} \cdot \text{MnO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Встречается в виде тонких прожилков в трещинах выветрелых и магнезитизированных ультраосновных пород.

Образует плотные, реже рыхлые порошкообразные скопления черного цвета. Твердость низкая — 1, марают пальцы, удельный вес плотных разностей — 3,2. Перед паяльной трубкой не плавится. По данным спектрального анализа содержание Mn и Co достигает до десятков процентов, а Ni — до десяти процентов.

Асболоан встречается в Елизаветинском месторождении бурых железняков (около гор. Свердловска, Урал), в Уфалейских месторождениях гидросиликатов никеля (Средний Урал), в Аккермановском и других силикатно-никелевых месторождениях Южного Урала, образовавшихся путем выветривания ультраосновных пород. На северо-восточном побережье оз. Севан он встречен на Шоржинском, Джил-Сатан-хачском и Каранман-Зодском массивах в ассоциации с магнезитом, гидромагнезитом, гарниеритом, ревдинскитом, арагонитом и опалом.

Условия залегания и формы выделения этих минералов говорят о том, что выпадение их произошло в виде гелей из коллоидных растворов. Источником никеля, кобальта, марганца и железа являлись серпентин и те минералы, за счет которых он образовался (главным образом оливин, реже пироксен).

ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА ИЗ УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД

Из описанных выше форм проявлений наибольшими перспективами обладают никель и кобальт в виде изоморфной примеси в ультраосновных породах (дунитах, перидотитах и лиственитах) и в виде тонкой вкрапленности сульфидов в серпентинитах. Перспективность их обусловлена практически неисчерпаемыми запасами ультраосновных пород, их удобным географическим расположением (близость к дорогам) и весьма выгодными горно-техническими условиями их будущей разработки (открытые выработки).

Имеющиеся к настоящему времени данные (М. А. Оганесяна) по технологии извлечения никеля и кобальта из ультраосновных пород дают довольно обнадеживающие результаты. Предлагаемый технологический процесс, в сущности говоря, сводится к воспроизводству природных процессов выветривания указанных пород в искусственных условиях. С этой целью предлагается использовать в качестве разлагающих реагентов отходящие газы промышленных предприятий Армянской ССР, содержащие SO_2 , CO_2 , Cl_2 и др. Опытным путем установлено, что при оптимальном коэффициенте разложения породы, равном 0,8, и при содержании Ni —0,3% и Co —0,01% извлечение никеля и кобальта из одной тонны породы составляет соответственно 2,4 и 0,08 кг. Значение процесса разложения ультраосновных пород еще больше увеличивается тем, что наряду с металлами — никелем, кобальтом, хромом, железом получают соли и окись магния и кремнезем той или иной активности.

ВЫВОДЫ И НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ РАБОТ

1. Максимальные количества никеля и кобальта в виде изоморфной примеси содержатся в дунитах (NiO —0,33%, CoO —0,01%), затем в перидотитах (NiO —0,32%, CoO —0,01%), лиственитах (NiO —0,1%) и пироксенитах (NiO —0,08%).

2. Появление и количество выделений сульфидов никеля в ультраосновных породах и рудах хромистого железняка находятся в зависимости от степени серпентинизации этих пород и метаморфизма руд.

3. Вторичные минералы никеля и кобальта представлены их водными силикатами (гарниерит, ревдинскит, асболан), не имеющими практического значения.

В связи с возможным практическим использованием первых двух форм проявления никеля и кобальта, описанных выше, необходимо:

1) начать систематическое изучение никеленосности и кобальтоносности всех массивов ультраосновных пород Армянской ССР с целью выяснения закономерностей распространения никеля и кобальта в отдельных разностях этих пород и оконтуривания участков с повышенными содержаниями этих металлов;

2) продолжить технологическое изучение ультраосновных пород с целью испытания результатов их разложения, полученных в лабораторных условиях, в полужаводских и заводских условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абовян С. Б. О явлениях метаморфизма в хромшпинелидах Армении. Зап. Арм. отд. ВМО, вып. 1, 1959.
2. Абовян С. Б., Арутюнян Г. М. Магнетитизированные ультраосновные породы Армении и их происхождение. «Изв. АН АрмССР», геол. и геогр. науки, т. X, № 1, 1957.
3. Лодочников В. Н. Серпентины и серпентиниты ильчирские и другие. Тр. ЦНИГРИ, вып. 38, 1936.
4. Логинов В. П. К изучению сульфидоносности ультраосновных пород СССР. Тр. ИГН АН СССР, сер. рудных месторождений, вып. 41, № 5, 1941.
5. Паффенгольц К. Н. Бассейн озера Гокча (Севан). Тр. ВГРО, вып. 219, 1934.
6. Пиджийн Г. О. Ртутное оруденение северо-восточного побережья озера Севан. «Изв. АН АрмССР», геол. и геогр. науки, т. X, № 3, 1957.
7. Vogt J. H. Nickel in Igneous rocks. Econ. Geol., V, XVIII, 1923.