

К. В. Ахмедов

АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ХИМИИ

Г. Х. ЭФЕНДИЕВ

НИКЕЛЕНОСНОСТЬ
УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД
АЗЕРБАЙДЖАНА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Баку—1945

АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ХИМИИ

*Глубоководному Конгрессу
Николаеву Гавриловичу*

от автора

Г. Х. ЭФЕНДИЕВ

552.3:553.48

НИКЕЛЕННОСТЬ
УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД
АЗЕРБАЙДЖАНА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
Баку — 1945



273

ПРЕДИСЛОВИЕ

Ультраосновные породы, имеющие большое развитие на Малом Кавказе, стали объектом исследования лишь после установления советской власти в Азербайджане.

К. Н. Паффенгольц, А. Н. Соловкин, М.-А. Кашкай, Ш. А. Азизбеков и И. А. Преображенский посвятили свои работы геологии и петрографии этих пород.

Работы А. Кржечковского, А. Г. Бетехтина, Н. Д. Соболева, М.-А. Кашкай, Г. Эфендиева и Ф. Векиловой касаются рудных месторождений, связанных с ультраосновными породами Азербайджана.

Что касается систематического изучения минералогии и геохимии ультраосновных пород Азербайджана, то эта часть оставалась в тени.

Генетическая связь ряда полезных ископаемых с ультраосновными породами, как платина (и элементы ее группы), никель, хромовые руды, тальк, асбест, магнезит и другие, требует максимального внимания к этим породам.

Целью настоящей работы явилось установление распространения никеля в отдельных типах пород исследуемого ультраосновного комплекса. Это первый необходимый шаг для дальнейших, более широких работ в этом направлении. Поставленный нами в настоящей работе вопрос рассматривается на фоне геохимии никеля, которая еще недостаточно разработана, вследствие чего многие моменты остаются неясными.

Материал для настоящего исследования был собран автором в 1938—1939 гг.

Никель определен весовым методом, в виде диметилглиоксима никеля. Все анализы, приведенные в работе, произведены автором.

Краткий геолого-петрографический очерк районов распространения ультраосновных пород

Ультраосновные породы в пределах Азербайджана имеют широкое распространение на северных склонах Малого Кавказа. В орографическом отношении эта тектоническая зона характеризуется двумя основными элементами—Муровдагским и Восточно-Карабахским хребтами, образованными в эпоху альпийской складчатости. Эти хребты представляют собою границы между тремя тектоническими областями (49): 1) область северных и восточных предгорий Малого Кавказа и северо-восточных склонов Муровдагского и Шахдагского хребтов, в пределах которой распространены юрские и верхнемеловые вулканические и осадочные образования; 2) центральная тектоническая область, сложенная юрскими и верхнемеловыми отложениями, которые прорываются мелкими интрузиями третичного возраста; 3) тектоническая область бассейнов р. р. Тертер, Базар-чай и Акера.

Ультраосновные и основные породы имеют довольно широкое распространение в Карабахской и Курдистано-Шахдагской тектонической зонах. Крупные массивы этих пород в виде узкой полосы, шириною от 2 до 5, а местами до 10 км, тянутся с SO к NW, параллельно Карабахскому хребту, переходя далее в Армению—в бассейн озера Гокча.

Выходы ультраосновных пород приурочены к линии надвига, который проявляется по Карабахскому и по Шахдагскому хребтам.

Что же касается геологического возраста этой формации, то еще Абигом был определенно указан доолигоценый возраст основных пород бассейна р. Тертер. Позднее К. Н. Паффенгольц более точно установил послесреднеэоценовый возраст ультраосновной формации на основании взаимоотношения ее со свитами эоцена и олигоцена,—офиолитовая формация прорывает среднеэоценовые известняки и перекрывается трансгрессивно олигоценовой вулканогенной толщей.

Базиты являются более поздними образованиями по отношению к гипербазитам; они везде секут ультраосновные породы.

В зоне ультраосновных пород широкое распространение имеют верхнемеловые и третичные осадочно-вулканогенные породы, представленные известняками, порфиритами и более молодыми эффузивами и экструзивами. Кислые интрузии — гранодиориты и кварцевые диориты имеют подчиненное значение.

Полоса основных и ультраосновных пород, протягивающаяся от берега р. Аракс до северного побережья озера Гокча приблизительно на 180 км, представлена вытянутыми в общекавказском направлении и разобшенными друг от друга интрузиями среди верхнемеловых (сенон) и третичных (зоценовых) отложений. Длина отдельных интрузий нередко достигает 2 км, при ширине их до 300 м. Наиболее крупные массивы этих пород находятся на Шах-даге, в местности Гей-дара, в районе горы Чильязи и в районе сел. Ипяк и Тазакенд.

В петрографическом отношении офилитовая формация представлена разнообразными типами пород, начиная от крайних членов мономинеральных оливиновых пород (дунитов) до мономинеральных жильных дифференциатов анортозитов и альбититов).

В результате произведенных петрографических работ (А. Н. Соловкин, М.-А. Кашкай, Ш. А. Азизбеков и Р. Абдуллаев) в основном и ультраосновном комплексе Азербайджана установлены следующие типы пород: дуниты, перидотиты, пироксениты, габбро, габбро-пироксениты, трактолиты, габбро-нориты и породы жильной фазы (анортозиты, альбититы и др.). Ниже приведена краткая характеристика основных и ультраосновных пород офиолитовой формации Азербайджана.

Прежде всего отметим, что все представители ультраосновных пород исследованных районов серпентинизированы; остаются лишь кое-где слабо затронутые серпентинизацией участки. При этом в сравнительно меньшей степени подверглись серпентинизации пироксениты, тогда как перидотиты и дуниты в виде несерпентинизированных разностей встречаются довольно редко. Материнской породой большинства массивов серпентинитов явились перидотиты.

Дунитовые серпентиниты имеют меньшее распространение и встречаются в виде отдельных небольших островков среди других представителей гипербазитов. Как правило, везде с ними связаны скопления хромитовых руд (Гей-дара, Ипяк, Шах-даг, гора Чильяз). Дуниты имеют распространение, главным образом, в северо-западных частях формаций и на Шах-даге.

Перидотиты представлены различными типами. В зависимости от минералогического состава установлены сле-

дующие разновидности перидотитов: саксониты, лерцолиты и верлиты. Что же касается распределения этих типов, то можно сказать следующее: лерцолиты и верлиты чаще всего встречаются в Нагорном Карабахе и Курдистане, а на Шах-даге преобладают саксониты.

Перидотиты — макроскопически плотные, крупнозернистые породы с гипидиоморфно-зернистой микроструктурой. В минералогическом составе перидотитов отношение орто- и мегакремневых компонентов выражается различными цифрами (49) и вообще варьирует в широких пределах, причем во многих случаях преобладает пироксеновый компонент. Пироксены в них представлены диаллагом ($\text{Ng} - \text{Nr} = 0,028 - 0,033$; угол погасания $\text{CNg} = 41^\circ$, $+2V = 54^\circ$), реже авгитом, с одной стороны, и энстатитом (погасание прямое $+2V = 74 - 76^\circ$), с другой. В минералогическом составе серпентинизированных перидотитов участвуют хризотил, антигорит, бастит, хромшпинелиды, магнетит, реже тальк и из вторичных минералов, образовавшихся позднее — в гипергенной фазе, карбонаты — магнезит, гидромагнезит и кальцит.

Пироксениты представляют большое разнообразие и являются более поздней генерацией офиолитовой формации. Они больше всего встречаются в районе сел. Ипяк, Лысогорск на перевале горы Чильяз, у сел. Пичанис, Гей-дара и на Шах-даге.

Макроскопически пироксениты всегда крупнокристаллические, темнозеленого и зеленовато-серого цвета породы. Среди этих пород выделяются чисто диаллаговые (диаллагиты) и редко бронзитовые (бронзититы), встреченные нами в виде жил в районе сел. Ипяк.

Диаллагиты состоят из чистого, фисташково-зеленого цвета диаллага с частыми трещинами спайности, относительно которых он погасает при угле $40 - 42^\circ$; $2V = +54 - 56^\circ$; $\text{Ng} - \text{Nr} = 0,026$. (Анализ диаллагита и бронзитита см. на стр. 12).

Большинство пироксенитов состоит из ромбического пироксена с незначительной примесью моноклинного (диаллаг, авгит, реже диопсид). Ромбический пироксен по своим константам ($2V = 83 - 86^\circ$; $\text{Ng} - \text{Nr} = 0,011 - 0,012$; $\text{Ng} = 1,681$; $\text{Nm} = 1,676$, $\text{Nr} = 1,670$) (50) ближе всего стоит к энстатиту и бронзиту.

Кроме этих основных минералов, в пироксенитах в небольшом количестве встречаются оливин и рудные минералы (хромит и магнетит). Трещины нередко заполнены кальцитом.

Серпентиниты, как выше было отмечено, образовались в результате изменения пород ультраосновной магмы. По цвету и структуре среди них можно выделить следующие

типы: 1) темнозеленые и зеленые, чешуйчато-скорлуповатые и сланцеватые серпентиниты. Микроструктура их сетчатая, ячеистая или спутанно-волоконистая. Реликты минералов первоначальной породы (оливин и пироксены) позволяют отнести эти серпентиниты к перидотитовым; 2) бурые и желтовато-зеленые, а по сложению плотные серпентиниты с решетчатой структурой. Петельчатая структура характеризуется редкими реликтами оливина среди антигорита. Последний сопровождается магнетитом. Нередок и вкрапленный хромит. Эти серпентиниты относятся к дунитовым; 3) равномерно окрашенные в цвета от зеленого до черного серпентиниты, довольно хрупкие и характерные, главным образом, для поверхностных частей массивов. Микроскопически они аналогичны первому типу, являясь продуктом метаморфизации перидотита и пироксенита.

По структуре можно выделить еще сланцеватые серпентиниты, изученные М.-А. Кашкай на Шах-даге; они известны еще и в местности Лысогорск. В них отмечается повышенное содержание хромшпинелидов.

Спорадически, но на всем протяжении описываемой формации, встречаются сильно обохренные, разложенные и выщелоченные серпентиниты, характерные для приконтактовых участков и в особенности для верхней зоны массивов. Следует отметить еще сравнительно редко встречающуюся разновидность серпентина—благородный серпентин в прозрачных и полупрозрачных пластинках зеленого цвета. Значительно меньшее развитие имеют трактолиты (фореллештейны), которые встречаются на Шах-даге, в верховьях рек Алякчи-чай и Шамхор-чай, в Гей-дара, Чильяз и Ипяк. Они представляют собою зернистую породу с гипидиоморфно-зернистой микроструктурой. В минералогическом составе участвуют плагиоклаз-битовнит (Ап = 82%), оливин и как второстепенный минерал—хромшпинелиды. В отдельных случаях жильная свита представлена мономинеральными породами, плагиоклазитами—анортозитами, диаллагитами, бронзититом и волластонитом, которые отмечены нами в районе с. Ипяк и на Шах-даге, альбититами, описанными И. А. Преображенским (43) из верховья р. Тертер.

Габброиды имеют довольно широкое распространение по всей полосе, образуя крупные массивы, главным образом, на Шах-даге и в юго-восточной части офиолитовой формации (южный Карабах и Джебраильский район), где мы имеем преимущественно габбровые породы. Они относятся, с одной стороны, к породам массивов и с другой—к породам жил.

В петрографическом отношении выделяются следующие типы габбровых пород.

1. Роговообманковое габбро, имеющее распространение в бассейне р. Тертер, в окрестностях с. Тазакенд, на склонах горы Ардашава, на Шах-даге и в других местах. Этот тип габбро представлен несколькими разновидностями: мелко- и среднезернистое, полосатое (Шах-даг, Ипьяк) и пегматитовое габбро, крупный массив которого встречен на Шах-даге.

Окраска роговообманкового габбро, в основном, зеленовато-черная. Окраска их обуславливается количественным минералогическим составом и распределением окрашенных компонентов (полосатое габбро). Структура породы гипидиоморфно-зернистая. В минералогическом составе участвуют плагиоклаз (лабрадор-битовнит), роговая обманка и пироксен (в подчиненном количестве). Акцессорные минералы—магнетит, апатит, ильменит и пирит.

2. Кварцево-роговообманковое габбро встречается во многих местах (верховья рек Шамхор-чай и Кашка-чай, в местности Гасан-нене, на Шах-даге, в Нагорном Карабахе и других местах). В минералогическом составе кварцево-роговообманковых габбро участвуют плагиоклаз (андезин-лабрадор), роговая обманка, кварц, акцессорные (магнетит, ильменит и апатит) и вторичные (серицит, пренит и хлорит) минералы. Многочисленные трещины в породе заполнены кальцитом.

3. Биотитовое габбро из ущелья р. Ардашава-чай. изучено М.-А. Кашкай (30) и А. Н. Соловкиным (50) Порода эта залегает среди песчанистых сланцев туронского возраста. Структура ее гипидиоморфно-зернистая; состав: плагиоклаз (лабрадор), авгит, биотит и акцессорные минералы (магнетит, апатит и пирит). Из вторичных минералов встречаются серицит, цоизит и хлорит.

4. Пироксеновое габбро встречается, главным образом, в южном Карабахе, реже в Курдистане и на Шах-даге. Притом, в южно-карабахском габбро пироксен представлен авгитом, тогда как в шахдагском габбро кроме авгита встречается и эгирин-авгит (30). Плагиоклаз, являющийся существенной частью пироксенового габбро, относится к лабрадор-битовниту. Акцессорные минералы представлены редкими зернами магнетита, титанита, апатита и пирита.

Кроме вышеуказанных типов, встречается переходный тип породы—габбро-пироксениты.

Выходы этих пород зафиксированы в южном Карабахе около сел. Туг (50), в Кельбаджарском районе и на Шах-даге. Порода характеризуется равномерно-зернистой струк-

турой и следующим минералогическим составом: плагиоклаз (основной), авгит, оливин, биотит, магнетит, пирит (иногда), апатит, титанит и вторичные минералы (эпидот, цоизит, хлорит и серпентин).

Интересно отметить, что в Кельбаджарском районе Ш. А. Азизбековым и Р. Абдуллаевым (1) в 1938 г. описаны габбро-нориты с фациями габбро, габбро-пироксенитов, габбро-диоритов и диоритов, которые до этого были обозначены на геологической карте Азерб. ССР, в масштабе 1 : 200000, как „граниты и гранодиориты“.

Возрастное соотношение между базитами и гипербазитами и ацидититами массива р. Лев-чай указанными авторами устанавливается так: гипербазиты являются более ранней фазой магматического цикла, чем базиты, а ацидититы (гранодиориты Лев-кала) более молодой, чем габбро.

Заканчивая краткий геолого-петрографический очерк, отметим еще одну особенность описываемых пород. Все они являются безрудными в смысле содержания сульфидов. Характерные сульфиды для подобного типа пород — пирротин и пентландит — в них пока не установлены.

Глава II

Никель в базитах и гипербазитах Азербайджана

Прежде чем приступить к изложению фактических данных о никеле в породах Азербайджана, необходимо остановиться на вопросе о форме нахождения никеля в представителях основных и ультраосновных пород, допуская на основании известных фактов две возможные для него формы: 1) в виде сульфидов самостоятельно, или в виде включений и изоморфных примесей в других сульфидах и 2) в виде изоморфной примеси в магнезиальных силикатах.

Как было указано выше, в ультраосновных породах Азербайджана, судя по данным петрографических исследований (М.-А. Кашкай и данные автора настоящей работы), сульфиды как макроскопически, так и микроскопически не установлены за исключением редких зерен пирита. Тем не менее, сульфиды (пирит, пентландит, пирротин и др.) известны во многих породах гипербазитового типа в Канаде, Швеции, Норвегии, Южной Африке, на Урале, Кольском полуострове и в других местах (8, 27, 68, 74).

В. Н. Лодочников в своей капитальной работе (39) определенно указывает, что пирит является для серпентинитов минералом достаточно частым, и приводит много примеров гипербазитовых пород, содержащих как пирит, так и другие сульфиды.

Сульфиды в этих породах бывают не только в виде заметных вкрапленников, но и в очень тонко дисперсном, субмикроскопическом состоянии. Наличие таких сульфидов не вызывает никакого сомнения. За последние годы разрабатывались даже методы раздельного определения силикатного и сульфидного никеля в соответствующих породах (26). Хотя эти методы, безусловно, нуждаются в усовершенствовании, тем не менее доказанным является тот факт, что никель в оливин-содержащих породах частично находится в виде сульфидов. Для настоящей работы мы ограничились определением серы в 3-х образцах серпентинизированного дунита из Шах-дага. Результаты анализов сведены в нижеследующей таблице.

Образцы	NiO	S	Cu
1. Дунит	0,37	0,02	не обнаружено
2. „	0,41	0,03	следы
3. „	0,46	0,02	не обнаружено

Как видно из таблицы, незначительное содержание серы дает возможность заключить, что основная масса никеля находится в виде изоморфной примеси в силикатах. Мы пока оставляем в стороне вопрос о возможных иных формах нахождения никеля в ультраосновной породе—в форме несиликатного кислородного соединения (возможно, бунзенита—NiO) самородного никеля или своеобразных сплавов Fe—Ni. Этот весьма интересный вопрос только намечен, но не разрешен и требует очень тонкой методики исследования.

Следующий интересующий нас вопрос касается изменения никеля при серпентинизации. Процесс серпентинизации орто- и метасиликатов не является простым процессом гидратации, наоборот, молекулы их перерождаются и процесс метаморфизации их глубоко отражается на их качественном и количественном составе. Как никель ведет себя в этом процессе? Мы допускаем, что поскольку нет данных относительно выноса никеля в процессе серпентинизации, абсолютное количество его вряд ли изменяется. Повидимому, речь в данном случае может идти об изменении количества никеля на единицу объема или веса в материнской и метаморфизованной породах. Количество никеля в метаморфизованных породах должно, по всей вероятности, увеличиваться вследствие того, что процесс серпентинизации сопровождается выносом некоторых окислов;

в результате этого, на единицу продуктов серпентинизации падает больше никеля, чем в материнских породах.

Что же касается формы нахождения никеля в продуктах серпентинизации, то следует отметить, что основное количество его остается в силикатовой серпентиновой молекуле в виде изоморфной примеси.

Потеря же никеля, по нашему мнению, связана не с процессом собственно серпентинизации, а с дальнейшим изменением, приведшим к выщелачиванию и выветриванию серпентинитов, причем в одних случаях происходит аккумуляция никеля как в виде вторичных никелевых минералов, так и путем адсорбции, в других—при иных физико-химических условиях наблюдается только рассеивание никеля.

Отмечая подобного рода общие вопросы, во многом требующие еще специальных исследований, мы приступаем к изложению полученных нами данных о содержании никеля в отдельных типах основных и ультраосновных пород.

Прежде чем изложить результаты анализов пород на содержание в них никеля, приведем данные содержания никеля в отдельных минералах и в мономинеральных породах, связанных с гипербазитами Азербайджана (таблица 1). (Анализы приведены в таблице 2).

Таблица 1

Название пород и минералов	NiO в %
Альбитит из Шах-дага	не обнаруж.
Анортосит из с. Ипяк	"
Волластонит из с. Ипяк	"
Роговая обманка из габбропегматита из Шах-дага	"
Диаллагит из с. Ипяк	0,03
Бронзитит из с. Ипяк	0,04
Серпентин из с. Ипяк	0,28
" из Шах-дага	0,31
" из Гасан-нене	0,33

Никель в габбро

Общая петрографическая характеристика габбровых пород исследованной нами области дана в начале работы. На никель проанализированы различные типы габброидных пород из двух наиболее крупных массивов офиолитовой формации—на Шах даге и у сел. Ипяк. Результаты анализов помещены в таблице 3. Средние пробы готовились обычным способом, частично в поле или же из нескольких штучных проб из одного и того же массива или жилы—в лаборатории.

Из таблицы видно, что среди анализированных 30 проб различных габбро наибольшее содержание NiO наблюдается в оливиновом габбро—0,08%. В остальных типах процент NiO колеблется в пределах от 0,01 до 0,03%. В промежуточном типе—габбро-пироксените—содержание NiO=0,05%. Среднее содержание закиси никеля в иссле-

Таблица

Компо- ненты	Породы							
	Анортозит, Шах-даг	Волластонит, с. Ипяк	Рогов, обман- ка, Шах-даг	Диаллагит, с. Ипяк	Бронзитит, с. Ипяк	Серпентин- хризотил, с. Ипяк	Серпентин, Шах-даг	Серпентин, Гасан-вене
SiO ₂	54,57	49,95	44,00	52,90	52,27	41,67	38,22	39,78
Al ₂ O ₃	22,60	1,59	9,31	0,43	2,74	0,95	0,98	2,09
Fe ₂ O ₃	1,05		8,51	1,51	2,43	0,25	1,13	
CaO	—	—	—	0,95	—	—	—	—
FeO	0,61	—	10,90	3,49	5,14	4,30	4,34	2,31
MgO	0,59	1,61	13,86	18,08	34,23	38,79	38,84	40,81
CaO	16,98	46,60	12,00	21,61	2,12	нет	1,27	0,93
MnO	—	—	нет	0,08	—	—	—	—
NiO	нет	нет	нет	0,03	0,04	0,28	0,31	0,33
Na ₂ O	—	—	—	0,42	—	—	—	—
K ₂ O	—	—	—	0,33	—	—	—	—
H ₂ O _{110°}	0,50	—	—	0,36	—	0,38	0,67	0,69
H ₂ O _{+110°}	2,30	0,42	1,00	0,21	0,56	14,16	13,26	13,79
Cl	—	—	0,14	—	—	—	—	—
Σ	99,20	100,17	99,72	100,40	99,53	100,78	99,02	100,73

Аналитики Г. Эфендиев и Ф. Векилова.

дованных нами габброидных породах выражается 0,029%.

Эта цифра близка к данным J. Vogt (72), который среднее содержание NiO для 13 габбровых пород, лишенных оливина, вычислил в 0,03%.

Содержание никеля в серпентинизированных дунитах

Дунитовые серпентиниты имеют значительно меньшее распространение (в виде небольших выходов) в зоне ультраосновной формации. В шлифах серпентинизированных дунитов отмечаются реликты оливина, а из рудных минералов всегда присутствуют магнетит и хромшпинелиды. Сульфиды в них не отмечены. В отдельных образцах отмечен диаллаг в подчиненном количестве. Нередко тонкие трещинки заполнены магнезитом и гидромагнезитом.

В таблице 4 даны результаты анализов серпентинизированных дунитов (главным образом из Шах-дага). Таким

образом, в анализированных 19 пробах серпентинизированных дунитов содержание никеля колеблется в больших пределах от 0,21 до 0,92%. Средняя цифра по 19 анализам—0,45% Ni или 0,57% NiO. Большинство проб (11 проб)

Таблица 3

Место взятия пробы	Название породы	Колич. анализов	Среднее содержание в %
Шах-даг; хребтовая часть	Габбро-пироксенит; в отдельных шлифах редкие включения пирита	4	0,07
	Габбро-пироксенит — из жилородных тел	3	0,05
Из ущелья р. Ардашава-чай	Биотитовое габбро	1	0,03
Шах-даг	Оливиновое габбро — залегающее среди дунитов	2	0,08
"	Роговообманковое габбро	3	0,04
Среднее течение р. Шамхор-чай	"	2	0,04
С. Ипяк	Полосатое роговообманковое габбро	5	0,02
С. Чурман	"	3	0,01
Шах-даг	"	4	0,02
"	Офитовое габбро	1	0,03
Гасан-нана; среднее течение р. Шамхор-чай	Кварцево-роговообманковое габбро	2	следи

Таблица 4

Место взятия проб серпентинизированных дунитов	Колич. определений	Среднее содержание	
		Ni	NiO
Шахдагский хребет; истоки р. Калекент-чай	3	0,21	0,26
Шах даг; верховья р. "ашка-булак	2	0,42	0,54
Шах-даг; верховья р. Шамхор-чай	3	0,92	1,17
Шах-даг	2	0,21	0,26
Шах-даг; верховья р. Шамхор-чай у озера Гек-гель	2	0,44	0,56
С. Ипяк; хромитовые месторождения с. Орга-Ипяк	4	0,56	0,71
Гей-дара; хромитовое месторождение	3	0,37	0,43

дали близкие среднему количеству цифры. Указанное колебание объясняется тем, что пробы были взяты из различных массивов, с одной стороны, и с составом самих дунитов, т. е. соотношением молекул Mg_2SiO_4 и Fe_2SiO_4 , — с другой, как это будет указано ниже, и, наконец, влиянием



Рис. 1
Хребет Шах-даг

последующих явлений, приведших к частичному растворению и выщелачиванию исследованных пород.

[Никель в серпентинизированных перидотитах

Как было отмечено вначале, наибольшее распространение в зоне развития ультраосновных пород в Азерб. ССР имеют перидотиты, которые явились материнской породой большинства массивов серпентинитов. В виде несерпентинизированной разности они представляют редкость.

По соотношению содержания орто- и метакремневого компонентов они характеризуются большой вариацией; в общем превалируют пироксены, но в некоторых образцах оба компонента представлены в равном количестве. Как

правило, оливин в перидотитах целиком серпентинизирован, но пироксены нередко очень слабо метаморфизованы.

Ниже приводятся некоторые цифры с краткой характеристикой анализируемых пород (таблица 5).

Как видно из таблицы, 6 анализов дают от 0,16 до 0,23% NiO и 11 анализов показывают от 0,25 до 0,38% NiO



Рис. 2
Озеро Гек-гель на Шах-даге

Вычисленная средняя цифра из приведенных анализов. (по 67 определениям) дает 0,21% Ni или 0,27 NiO. Колебание содержания никеля в отдельных массивах вообще невелико.

Большинство цифр относится к пробам из Ипякского массива. По этим цифрам (37 определений) содержание Ni в серпентинизированных перидотитах Ипякского массива близко к вышеприведенной средней цифре.

Никель в пироксенитах

Для выявления общей картины нами анализированы на никель несколько образцов пироксенитов, главным обра-

Место взятия проб	Краткая характеристика породы	Количество анализов	Среднее содержание	
			Ni	NiO
Шах-даг	Серпентинит перидотитовый с равным количеством оливина и пироксенов	4	0,15	0,19
Шах-даг	Перидотит метаморфизованный: пироксена 70% и оливина 30%	3	0,15	0,19
Шах-даг	Перидотитовый серпентинит: оливин > пироксена	6	0,20	0,25
Шах-даг; верховья р. Шамхор-чай	Т о ж е	7	0,21	0,27
С. Лалабагирли	Перидотит серпентинизированный: оливин > пироксена	4	0,30	0,38
С. Чурман; левый берег р. Алякчи-чай	Перидотит серпентинизированный: оливин=пироксен	3	0,26	0,33
Т о ж е	Перидотит серпентинизиров. с большим содержанием вторичного рудного минерала	3	0,23	0,29
Ипякский массив	Перидотит серпентинизированный пироксенов больше, чем оливина	5	0,26	0,33
"	" "	4	0,27	0,34
"	" "	6	0,17	0,22
"	" "	3	0,18	0,23
"	" "	5	0,20	0,25
"	" "	2	0,23	0,29
"	" "	1	0,25	0,32
"	" "	2	0,26	0,33
"	Перидотит-оливин серпентинизирован. Пироксен представлен авгитом; в подчиненном количестве плагиоклазы, хромит и магнетит	5	0,13	0,16
"	Перидотит серпентинизированный	4	0,15	0,19

зом, из Ипякского массива. Разница в содержании никеля отдельных типов небольшая. В 13 пробах содержание никеля колеблется от 0,00 до 0,07% NiO или 0,06 Ni. Средняя цифра показывает 0,05% Ni или 0,06% NiO. Пироксенитов, давших 0,00% Ni, из 13 всего 2.

Большинство проб пироксенитов, являющихся энстатитовыми, дают 0,06% NiO.

Сравнение изложенного материала с средними процентами по Фохту приведено в таблице 6.

Таблица 6

Породы	Габбро	Пироксениты	Перидотиты	Дуниты
Средние кларки никеля по Фохту	0,03	0,08	0,16	0,26
Среднее содержание никеля в основных и ультраосновных породах Азербайджана . .	0,029	0,05	0,21	0,45

Как видно из таблицы, цифры, полученные для габбро, полностью совпадают.

Для пироксенитов мы имеем несколько пониженное содержание. Перидотиты и дуниты Азербайджана дали значительно большее содержание никеля, чем у Фохта. Это расхождение, повидимому, объясняется, во-первых, тем, что И. Фохт в своих вычислениях исходил из анализов весьма различного типа пород из различных участков земной коры, включая и амфиболитовые, во-вторых, тем, что исследованный нами материал является полностью серпентинизированной разностью перидотитов.

Никель в серпентинитах

В этом разделе нами объединяются данные, относящиеся к тем серпентинитам, определение материнской породы которых оказалось невозможным, вследствие чего они и не включены в предыдущие разделы.

Исследованию подверглись различные типы серпентинитов. Ниже мы приводим средние данные содержания никеля в серпентинитах массивов и контактовых участков. Серпентиниты из Шах-дага дают в среднем 0,24% NiO. Коллание содержания в них NiO от 0,09 до 0,28%, причем

из 23 анализов в 4 имеем от 0,09 до 0,15%, в 9—от 0,23 до 0,26, а в остальных 9—от 0,27 до 0,28% NiO.

По анализам серпентинитов Ипякского массива и прилегающих районов—Вагазин, Финге, Чурман, Лалабагырлы, Кюрд-Гаджи установлено среднее содержание 0,26% NiO. Из 49 анализов, на основании которых выведена вышеуказанная средняя цифра, большинство дает выше 0,20% NiO. Вообще, содержание закиси никеля колеблется в этих серпентинитах от 0,17 до 0,32%. Высокие цифры

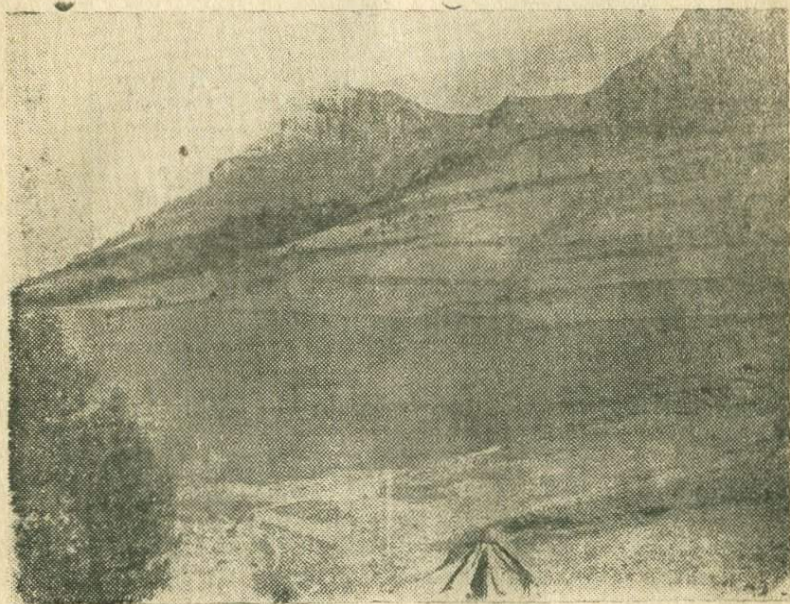


Рис. 3
Хребет Сары-баба

(0,32% NiO) получены для серпентинитов из контактовых участков. По содержанию никеля серпентиниты довольно близки к серпентинизированным разностям перидотитов, в которых установлено в среднем 0,21% Ni.

По двум основным массивам (Шах-даг и Ипякский массив) получается 0,24 (0,235)% NiO (72 анализа). Как известно, J. Vogt на основании двадцати анализов для серпентинитов вывел среднюю цифру 0,24% NiO.

Несколько повышенное содержание никеля обнаружено в серпентинитах частично разложенных и обохренных,

контактирующих с другими породами. Так, например, серпентиниты, взятые у контакта с листовниками у сел. Чурман и Лалабагырлы, дают 0,34—0,39% NiO, тогда как соседние, не измененные серпентиниты, характеризуются обычным содержанием никеля. Имеет место и обратное явление,—образцы из краевых зон ультраосновного массива Ипяк отличаются очень низким содержанием никеля, вследствие почти полной разложенности пород и сильно-го размыва.

Причина этих явлений разбирается в следующем разделе.

Вышеизложенный аналитический материал позволяет расположить минералы и породы по содержанию никеля в следующий ряд [см. также кривые содержания (рис. 4)]:

Дуниты	0,45%	Волластонит	} не обнаружено
Серпентиниты	0,20%	Анортозит	
Перидотиты	0,21%	Альбитит	
Ироксениты	0,05%	Рогов. обманка	
Бронзитит	0,04%	из габбро-	
Габброиды	0,03%	пегматита	
Диаллагит	0,03%		

Из этого ряда следует, что в дериватах габброидной магмы содержание никеля в сторону ультраосновной ветви постепенно увеличивается. Из вышеприведенных цифр J. Vogt'a видно, что отмеченная закономерность является общей и что породы Азербайджана в этом отношении не представляют исключения. Причины подобного распределения становятся более или менее ясными, если проследить поведение атомов никеля на примере дифференциации габброидной магмы.

В начале остывания габброидной магмы путем ликвации образуются металлические сплавы, в частности, такие специфические минералы—твердые сплавы и эвтектические смеси, как аварунит ($FeNi_2$), джозефинит (суэзит, $FeNi_3$), камаксит (Fe, Ni), октиббегит (Ni, Fe) и тенит [$(Fe, Ni) + (Ni, Fe)$] (9).

Это наиболее ранние выделения протокристаллизации. В ранней же стадии кристаллизации (магматической и эпимагматической стадии) никель, проявляя свою халькофильность, обособляется в сульфидных выделениях. Сульфиды состоят, главным образом, из выделений пентландита, а также пирротина с включениями пентландита. Но, кроме того, к таким расплавам почти всегда тяготеют медь (в виде халькопирита), кобальт и благородные металлы—

Pt, Pd и Jg, причем нужно отметить, что в этом процессе никель все еще остается с Fe в силу растворимости его сульфида-пентландита в сульфиде железа—пирротине. Поэтому содержание никеля в пирротинах объясняется наличием многочисленных, иногда субмикроскопических включений пентландита (25).

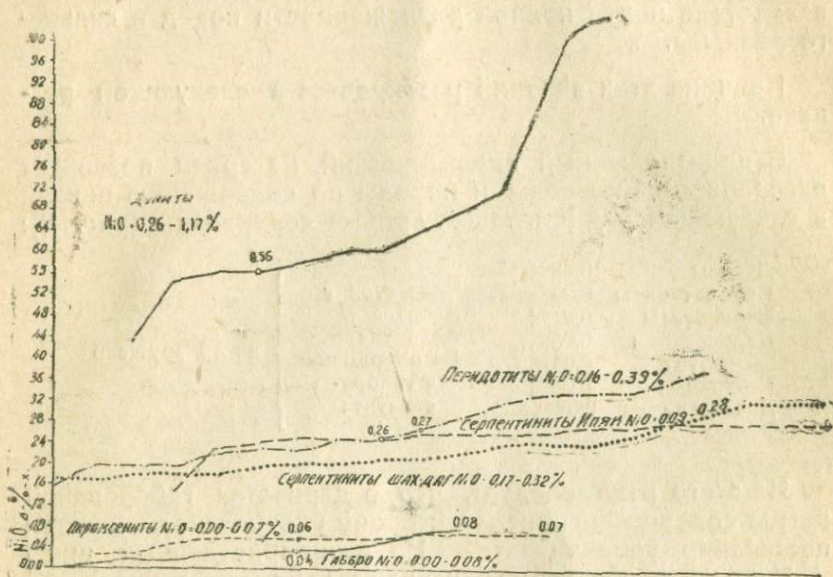


Рис. 4

Кривые содержания никеля в базитах и гипербазитах Азерб. ССР

Важнейшие магматические месторождения магнитно-колчеданных никелевых руд в норитах, пироксенитах, перидотитах, в габбро и диабазах образовались таким путем. Примерами являются крупное месторождение в Седбери в Канаде, затем многочисленные мелкие месторождения на юге Норвегии, в Швеции, Германии и ряд менее важных (по размерам) месторождений в Пенсильвании, Виржинии, Неваде, Испании и Италии (14, 47). К этому же типу относятся месторождения никелевых сульфидных руд Волчьей тундры, по характеру очень близкие к норвежским месторождениям (11, 37).

Выделенное из магмы сульфидное тело по отношению к силикатовой массе обособляется или в нижних горизонтах (в норитах Намакваланд в Ю. Африке) или, как это

встречается часто, в верхних контактах. Кроме того, возможно полное обособление сульфидной фракции в виде труб и неправильных каминов, проникающих иногда даже в боковые породы [акад. А. Е. Ферсман (60)].

В процессе охлаждения этих сульфидных ликваций, возможно, самого остаточного силикатового расплава, часть атомов никеля все же вырывается из сульфидного тела в виде летучих соединений и, как это допускается акад. А. Е. Ферсманом (60), переходит в более поздние геофазы (геофазы Н-К), отлагаясь в серебро-свинцовых и кобальтовых рудных жилах.

Характерным является тот факт, что никель в ранних высокотемпературных сульфидных выделениях связан с S, тогда как в гидротермальных образованиях он почти исключительно связывается с As и Sb или вообще с сульфомышьяковым и сульфомышьяково-сурмяным комплексом. Видимому, никель с этим комплексом встречается в виде летучих, возможно, галоидных соединений. Никель в таких жилах представлен следующими минералами: никелин (купферникель)— $NiAs$, хлоантит— $NiAs_2$, герсдорфит $NiAsS$, динерит— Ni_3As , маухерит— Ni_3As_2 , ульманнит— $NiSbS$, раммельсбергит— $NiAs_2$, брейтгауптит— $NiSb$ и рядом других, недостаточно изученных минералов.

Подобные минералы связаны не только с сульфидными жилами вышеуказанного типа, но они, хотя и редко, встречаются в некоторых гидротермальных образованиях типа лиственитов, безусловно, генетически связанных с гипербазитами.

Примерами таких скоплений сульфоарсенидов и сульфоантимонидов никеля в лиственитах могут служить никелин, коринит в кварцево-карбонатных породах по р. Б. Лабэ (36, 52) и арит, миллерит, вилльямит $(NiCo)SbS$ и, возможно, калилит $Ni(Sb,Bi)S$ в лиственитах р. Белой (33).

Не исключена возможность образования сульфидов никеля, в особенности миллерита, в процессе серпентинизации.

Таким образом, обособленные сульфидные и силикатные расплавы, как это указано Фохтом и Шнейдергеном, делаются несмешивающимися уже при очень высоких температурах; их разделение в жидком виде происходит около $1500^\circ C$.

Практически разделение заканчивается, когда начинают кристаллизоваться силикаты. Затвердеванию сульфидного

расплава предшествует кристаллизация силикатного расплава (8). Если сульфидные массы пространственно не обособляются в нижних или приконтактовых участках, то они остаются в виде эмульсионных включений в силикатах.

Несвязанный с сульфидами и оставшийся в силикатовом расплаве никель вступает в силикатовые минералы, накапливаясь в наиболее ранних выделениях протокристаллизации. Небольшой ионный радиус никеля ($0,78 \text{ \AA}$) и сравнительно большой Эк (2,18), обуславливающий высокую точку плавления и малую растворимость соединений, являются причинами тяготения никеля к наиболее высокотемпературным образованиям. Соответственно этому, некоторая часть его захватывается хромитами. Никель установлен во многих хромитах. В хромитах Азербайджана нами установлено присутствие NiO от 0,08 до 0,13% (31).

Довольно интересным доказательством того, что никель тяготеет к высокотемпературным выделениям, может служить состав платины разных типов месторождений Урала. Как указал акад. А. Е. Ферсман (61), содержание посторонних примесей, куда входит и никель, падает с увеличением содержания платины и Pd, что объясняется общим законом „самоочистки“ по мере перехода к отложениям более низких температур.

Но основными носителями никеля в ультраосновных и основных породах являются орто- и, в меньшей степени, метасиликаты. Небольшое содержание его в силикатовой магме не дает ему возможности построить собственную решетку. В силу этого он находит укрытие в решетках магнезиальных силикатов: благодаря равенству ионных радиусов (51), близости энергии решетки (Эк) и равенству координации в элементарной ячейке, никель следует за Mg и частично за Fe^{+2} . При этом интересным является то, что распределение никеля в минералах, выделяющихся при различных температурах (фазах и этапах фаз), идет с убывающей силой от высокотемпературных минералов к низкотемпературным. Поэтому наибольшее содержание Ni обнаруживается всегда в оливинах, т. е. в минерале ранней фазы кристаллизации. Но, с другой стороны, не все оливины содержат одинаковое количество никеля (вне зависимости от содержания его в магме), и это количество находится в прямой зависимости от соотношения Mg и Fe^{+2} в них. Как показали работы J. Vogt'a, содержание никеля в оливинах возрастает с увеличением магния и падает с увеличением содержания железа. Другими словами, содержание никеля в оливинах зависит от количественного соот-

ношения в них форстеритовой и фаялитовой молекул, Ni легче ассоциирует с Mg_2SiO_4 , чем с Fe_2SiO_4 . Здесь снова мы наблюдаем склонность никеля тяготеть к решеткам минералов, формирующихся в ранней фазе. На самом деле, Fe_2SiO_4 входит в оливин несколько позднее в процессе кристаллизации, а это, в свою очередь, находится в зависимости от температуры плавления (цифры по Landolt-Bernstein'y, 69).

Последовательность в этом ряде следующая:

Минералы: форстерит → хризолит (оливин) → гиалосидерит → фаялит

Темп. п.л.	1890°	1255—1430°	1215—1220° 1055—1075°
------------	-------	------------	-----------------------

Следовательно, оливины, бедные Fe^{+2} , кристаллизуются раньше. Вышеотмеченная закономерность в соотношении содержания Ni—Fe, с одной стороны, и Ni—Mg, с другой, легко объясняется этим обстоятельством. Это же явление способствует, в определенной степени, разобщению Ni и Fe^{+2} .

Дальнейшее распределение и концентрация никеля в минералах протокристаллизации, повидимому, соответствуют последовательности кристаллизации и количество его уменьшается, в общем, согласно следующему ряду:

Энстатит (бронзит)	→ гиперстен	→ диопсид (генбергит)	
1375—1380°	1180—1210°	1080—1200	
авгит	→ роговая обманка	→ биотит	→ плагиоклаз
1145°	1060°		

Биотит в ходе кристаллизации, вероятно, является последним минералом, в котором фиксируется, повидимому, остающийся в силикатовом расплаве никель.

Отсутствие, вернее, незначительное содержание никеля в минералах средних и кислых пород объясняется вышеизложенным обстоятельством. Этому вполне соответствуют кларки никеля в различных типах магматических пород.

По подсчетам А. Е. Ферсмана, весовой кларк никеля—0,02 (1933), что согласуется с более ранними данными других авторов: Кларка и Вашингтона—0,018 (1924) В. И. Вернадского (0,01—1925—30) (10), Берга—0,018 (1932) (62).

Если сравнить содержание никеля в отдельных типах

пород с средним весовым кларком его в земной коре, то получается следующая картина:

Граниты	Ср. кларк	Габбро	Пироксениты	Перидотиты	Дуниты (оливин)
0,0003% Ni	0,02% Ni	0,03% Ni	0,08% Ni	0,16% Ni	0,26

Другими словами, основная масса никеля в земной коре сосредоточена в ультраосновных породах.

Несколько слов о поведении геохимически близких к никелю элементов в процессе протокристаллизации.

Железо, как выше было отмечено, в значительной степени захватывается сравнительно низкотемпературными минералами,—другими словами, в ходе кристаллизации силикатовый расплав (остаточный) постепенно обогащается железом за счет магния и никеля. Обособление Fe^{+2} , Ni и Mg в разнотемпературных продуктах кристаллизации находится в зависимости от величины ЭК и размеров радиусов ионов.

	Ri	ЭК	
Fe^{+2} .	0,83	2,12	Больше всего в низкотемпературных минералах Больше всего в высокотемпературных минералах
Mg .	0,78	2,15	
Ni . .	0,78	2,18	

Высокий Ri и низкий ЭК обуславливают низкую температуру плавления его соединений.

Mn—по этим же причинам устремляется к дифференциатам последних фаз, сопутствуя железу, и количество постепенно увеличивается к концу процесса; это ясно видно из следующих цифр: отношение Fe: Mn в оливинах равно 80 : 1, а в биотите—в магнезиальном минерале (более поздней фазы) 30 : 1 и даже 15 : 1.

В процессах дифференциации кобальт лишь в незначительном количестве захватывается решеткой магнезиальных силикатов, несмотря на близость ионного радиуса и ЭК кобальта к Mg и Ni. Он более способен перейти в

пневматолит и гидротермальные растворы, в силу несколько большей летучести и растворимости его соединений и склонности его перейти в 4-ю координацию при высоких температурах (63).

Из всего изложенного можно сделать следующий вывод: высокий Эк и низкий радиус иона и связанная с ними высокая температура плавления соединений никеля обуславливают накопление его в наиболее ранних минералах дифференциации габброидной магмы; при этом он больше всего тяготеет к богатым магнием минералам в силу равности R_i , координации и близости Эк никеля с магнием.

Благодаря этим же геохимическим параметрам, никель при дифференциации габброидной магмы в значительной степени разобщается от Co , Fe^{+2} и Mn^{+2} .

Глава III

Никель в продуктах выветривания серпентинитов

Выше было отмечено два типа концентрации никеля в земной коре: 1) сульфидные руды высоких температур в основных и ультраосновных породах и 2) сульфо-арсенантимониды сравнительно холодных геофаз. Кроме них мы имеем еще третий тип его концентрации—это концентрация никеля во вторичных никелевых силикатах, образующих нередко крупные промышленные месторождения, как, например, в Новой Каледонии, на Урале (Халиловское, Уфалейское, Кемперсайское и ряд других), на острове Куба, в Греции, на островах Борнео и Целебес. Все эти месторождения без исключения связаны генетически с серпентинитами, из которых никель обогащался в условиях гипергенеза.

Несмотря на явно гипергенный характер разрушения серпентинитов и образования месторождений никелевых силикатов, все же в литературе сохранилось давно установившееся мнение о необычайной стойкости серпентинитов в термодинамической обстановке поверхности земной коры, об их стойкости в отношении к поверхностным факторам выветривания и выщелачивания.

Как характер образующихся минералов (см. ниже), так и их морфологические особенности не только свидетельствуют о совершенно нетрудной разрушаемости серпентинитов, но также и о гипергенном характере этих изменений, хотя до последнего времени существовали и, пожалуй,

еще неполностью оставлены высказывания о гидротермальном характере некоторых из этих процессов; в особенности пытались объяснить образование никелевых силикатов, как результат деятельности гидротерм.

Детальный разбор материала, относящегося к месторождениям силикатных никелевых руд (29, 32, 35, 57, 58, 66), не дает возможности установить наличие признаков деятельности гидротерм. С другой стороны, характер никелевых минералов, представленных большей частью коллоидными образованиями (нахождение совершенно свежих, полужидких гелей никелевых силикатов, 45), также исключает гидротермальное происхождение их. Последний факт говорит еще о том, что процесс минералообразования происходит и в настоящее время.

Наконец, следует придать должное значение растворению и выщелачиванию серпентинитов атмосферными водами, циркулирующими в серпентинитах. По данным А. А. Смурова (46), природные воды, содержащие незначительное количество CO_2 , достаточно энергично выщелачивают серпентиниты; в таких водах (их минерализация доходит до 250 мг на л) содержится в среднем 0,02 мг Ni. Кроме никеля в них всегда имеется один из ведущих элементов гипербазитов—магний. Незначительная минерализация этих вод не может быть меркой стойкости серпентинитов, поскольку речь идет о природном процессе, т. е. о процессе, эффект которого нужно измерить геологическим временем. Нет сомнения, что весьма медленно действующие поверхностные и грунтовые воды в течение геологического времени могут разрушить (химически) очень крупные массивы серпентинитов. В результате этих разрушений образуется кора выветривания, с чем и связывается гипертенная концентрация никеля.

В литературе, как доказательство гидротермального происхождения никелевых силикатов, приводится приуроченность их к тектоническим зонам, но есть основания отметить, что приуроченность их к тектоническим зонам обусловлена не деятельностью гидротерм, а совершенно другими обстоятельствами, а именно: во-первых, в ослабленных зонах земной коры имеются более благоприятные условия для циркуляции поверхностных вод; именно к таким зонам стремятся и в таких зонах задерживаются воды. Следовательно, здесь привнос материала, при прочих равных условиях, больше, чем в других участках. Во-вторых, никелевые силикаты часто приурочиваются к контакту серпентинитов с известняками. Это не потому, что такие контакты были местом деятельности гидротерм, а лишь потому, что именно

в таких контактах имеются условия для аккумуляции никеля, в силу того, что известняки активизируют глинистые образования, являющиеся адсорбентами (48) по отношению к никелю, а никеленосные растворы в соприкосновении с известняками меняют концентрацию Рн. Последнее обстоятельство создает благоприятные условия для адсорбции.

Продукты выветривания серпентинитов и их никеленосность

В исследованных нами районах кора выветривания серпентинитов не имеет мощного и сколько-нибудь широкого развития. Это, по видимому, объясняется сильной пересеченностью рельефа, способствующей интенсивной эрозии. Но возможность наличия коры выветривания под почвенным покровом в сохранившихся участках древнего рельефа не исключается.

В этом отношении равнинные участки, котловины, пологие бугры и возвышенности—остатки древнего рельефа—представляют определенный интерес (16,20). В число подобных мест можно включить район развития пологих возвышенностей в бассейне р. Алякчи-чай, котловину Базардюзю, где возможно ожидать скрытую под почвенным покровом кору выветривания или ее переотложенные продукты.

Произведенной шурфовкой на правом берегу р. Алякчи-чай около сел. Лалабагырлы под мощным почвенным покровом обнаружены продукты латеритового выветривания с накоплением охристых масс. Это, как будет указано ниже, является характерным образованием для верхней зоны коры выветривания серпентинитов.

Хотя кора выветривания серпентинитов, в полном смысле этого слова, нами не встречена, но все же во многих районах ультраосновной зоны наблюдаются разнообразные продукты выветривания серпентинитов. Сравнительно большое развитие они имеют в районе сел. Ипяк, в крайних зонах гипербазитового массива, и особенно у сел. Орта-Ипяк, где по естественному разрезу можно было наблюдать изменение серпентинитов и по вертикали. Этот участок, примыкающий к сел. Орта-Ипяк с севера, занимает возвышенную часть и со всех сторон размывается проточными водами. Возможно, что он является остатком коры, когда-то занимавшей и соседние, впоследствии эродированные участки.

Продукты выветривания как по своему внешнему облику, так и по химическому составу резко отличаются от

неизменных серпентинитов. Образования, занимающие среди них верхнюю зону и залегающие на поверхности, представляют собою сильно обохренные, рыхлые и пористые массы. Окраска их не только различна в отдельных участках, но также меняется в пределах одного и того же образца от светложелтых, светло-зеленовато-желтых до бурых тонов. Часто стенки мелких трещинок и пор покрыты марганцовым налетом. В массе видны зерна хромшпинелидов.

Под микроскопом наблюдается следующая картина: масса состоит, главным образом, из гидроксидов железа с халцедоном и опалом; среди последних беспорядочно распределены неразложившиеся и имеющие разнообразную форму серпентины и пироксены; кроме того, отмечаются зерна хромита и магнетита.

Химический анализ этого типа массы дал следующие результаты.

Окислы	%	Молек. кол.
SiO ₂ . . .	37,65	0,6269
Fe ₂ O ₃ . .	33,42	0,2093
Al ₂ O ₃ . . .	2,15	0,0211
FeO	2,05	0,0285
Cr ₂ O ₃ . . .	0,29	0,0019
MnO	0,23	0,0032
CaO	0,12	0,0021
MgO	13,23	0,3281
NiO	0,05	—
H ₂ O _{110°} . .	2,15	—
H ₂ O _{+110°} . .	8,36	0,4640
Σ	99,70	

Минералогический состав	
Серпентин	48,82
Халцедон	23,01
Fe ₂ O ₃ · H ₂ O	26,01
Хромит	0,22
Диоксид	0,49
Пирролюзит	0,28

Химический анализ другого образца подобной же массы из другого участка (местность Лысогорск) приведен ниже.

Окислы	%	Молек. кол.
SiO ₂	62,13	1,0350
Al ₂ O ₃	1,03	0,0101
Fe ₂ O ₃	19,12	0,1198
Cr ₂ O ₃	0,13	0,0008
FeO	0,31	0,0043
MnO	0,23	0,0032
MgO	7,63	0,1893
CaO	нет	—
NiO	0,03	0,0004
H ₂ O _{110°} . . .	1,92	—
H ₂ O _{+110°} . . .	8,08	0,4475
Σ	100,61	

Минералогический состав	
Серпентин	25,01
Халцедон	50,17
Fe ₂ O ₃ · H ₂ O	23,73
Хромит	0,04
Пирролюзит	0,28

Как показывают анализы и их пересчеты на минералогический состав, исследованные образцы представляют собою сильно обохренные и окремненные продукты разложения серпентинитов. Они, судя по анализам и по сравнению с неразложенными серпентинитами (анализ, см. таблицу 8), характеризуются следующими особенностями: прежде всего, отмечается резкое возрастание количества окислов трехвалентного железа при почти полном переходе Fe^{+2} в Fe^{+3} ; затем значительная часть Mg, Ca и Ni вынесена из породы; далее, процесс сопровождался накоплением SiO_2 с уменьшением содержания воды.

Кроме того, мы здесь имеем дело с появлением новых минералов—типа гипергенных: гидроокислов железа, марганцового минерала¹, халцедона и опала.

Несколько иного характера группу продуктов разложения серпентинитов составляют сравнительно менее разложенные „серпентиниты“. Последние также по сравнению с „свежими“ серпентинитами изменились. Это мелкопористые, сильно разбитые мелкими трещинками и нередко тонкосланцеватые породы. Окраска их: серовато-зеленая, желтовато-серая, зеленовато-серая и бледнозеленая. Поверхности мелких трещин и трещин сланцеватости покрыты охристым веществом.

В некоторых частях в их трещинах нами констатированы прожилки немалита и иногда гидромагнетита (67).

Под микроскопом обнаруживается типичная реликтовая структура с многочисленными пустотами, заполненными вторичными продуктами. Кроме антигорита-бастита, отмечены и зерна хромшпинелидов и магнетита. Антигорит окружен бурой каемкой; нередко в них же имеются точечные включения бурых окислов железа. Трещинки также заполнены бурыми окислами железа, редко карбонатом (магнетитом, кальцитом), халцедоном и опалом.

В зависимости от степени разложения отдельные зерна серпентина отличаются различной интенсивностью окраски.)

Все эти данные, вместе взятые, говорят о значительной преобразованности серпентиновых молекул в породе. Подобный тип серпентинита встречается во многих местах, занимая везде верхние части массива или приконтактные участки (массивы у сел. Ипяк, в верховье р. Шамхорчай, около сел. Кюрд-Гаджи и др.).

¹ Качественная реакция на Mn.

Химические анализы описанного типа серпентинитов приведены в таблице 7.

Анализы свидетельствуют о сильном изменении химического состава. Мы здесь так же, как и в первом случае, имеем резкое уменьшение Mg, увеличение Fe^{+3} , незначительное содержание Ca и сравнительно высокое содержание Ni.

Таблица 7

Окислы	Образцы		
	I	II	III
SiO ₂	40,16	42,63	46,26
Al ₂ O ₃	2,05	2,93	3,01
Fe ₂ O ₃	16,75	15,80	11,26
FeO	0,21	0,19	0,13
CaO	0,92	0,63	0,98
MgO	23,24	24,36	22,93
MnO	—	0,09	—
NiO	0,71	0,69	0,80
H ₂ O _{110°}	5,29	4,18	4,24
H ₂ O _{+110°}	10,13	9,12	10,93
Σ	99,46	100,62	100,64

Анализы 13 сильно обожженных разностей серпентинитов, собранных из различных участков распространения гипербазитов, дали в среднем 0,04% Ni (0,05% NiO), а в общем содержание его в пределах от 0,00 до 0,19%.

Такое большое колебание объясняется, повидимому, различной степенью изменения. Отсутствие никеля, а также и наименьшее содержание его наблюдалось в окисленных и превращенных в гидроокислы железа разностях.

Содержание NiO в рыхлых менее измененных серпентинитах колеблется в пределах от 0,29 до 0,71%. Среднее содержание NiO (по 21 анализу)—0,46%. Из 21 анализа в 16 наблюдалось содержание NiO больше 0,40%.

Следующий по степени изменения серпентинит, занимающий еще более низкие горизонты в ипякском участке, как по своему облику, так и по химическому составу почти не отличается от обыкновенного серпентинита. Но в породе замечаются признаки механического раздробления (дезинтеграции), сильная трещиноватость и, самое важное, наличие многочисленных прожилков коллоидаль-

ного магнезита, достигающих иногда 1 м мощности*. Химический анализ магнезита, освобожденного от примесей, приведен в таблице 8.

Описанные магнезитоносные серпентиниты обнажаются только в одном месте исследованного участка.

Таблица 8

SiO ₂	3,15	MgCO ₃ = 93,13%
R ₂ O ₃	1,20	
MgO	44,33	
CaO	1,05	
CO ₂	49,84	
Σ	98,57	

Анализы „магнезитоносных“ и обыкновенных серпентинитов приведены в таблице 9.

Таблица 9

Породы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	NiO	H ₂ O—110°	H ₂ O+110°
Серпентинит магнезитоносный (без последн.)	39,99	1,45	3,47	2,13	4,24	37,37	0,23	0,51	10,69
Серпентинит	39,10	4,60	3,87	7,32	38,94	0,29	0,97	14,30	

Вышеизложенный материал хотя далеко недостаточен для окончательного заключения, но все же по нему можно судить о характере процессов выветривания серпентинитов и о поведении отдельных основных элементов. Геохимию этого процесса грубо схематично можно представить в следующем виде: поверхностные (грунтовая, трещинная и капиллярная) воды, содержащие CO₂, выщелачивают серпентиниты, переводя в раствор Ca, Mg и Ni, вероятно, в виде бикарбонатов. Гидрокарбонатный характер вод серпентинитовых массивов и нахождение в них Mg, Ni и Ca делает вполне вероятным вышеуказанное.

А. А. Смуров (45) показал, что растворимость бикарбонатов Ni и Co в воде (с CO₂) выше растворимости щелочноземельных элементов, кроме магния; по растворимости интересующие нас элементы могут быть расположены в следующий ряд: Mg > Ni > Co > Ca > Mn > Fe. Из этого следует, что выщелоченные из серпентинита элементы могут мигрировать в виде бикарбонатов. Но индивидуаль-

* В районе сел. Орта-Ипяк нами обнаружено несколько жил магнезита, мощностью до одного метра. Детальное изучение этого участка весьма желательно.

ные химические особенности этих элементов делают невозможным миграцию некоторых элементов вышеуказанного ряда, как, например, Fe, Mn и Co. Уже в начальной стадии растворения серпентинитов в условиях гипергенеза эти элементы окисляются, переходят в трехвалентное состояние, что делает невозможной дальнейшую миграцию. Поэтому они выпадают на поверхности или, вернее, на месте разложения материнской породы, что видно из сильной обогащенности продуктов разложения серпентинитов (анализ см. стр. 28) гидроокислами железа и наличия марганцовых налетов в порах и на поверхности трещин]. Никель при этих условиях остается двухвалентным и потому остается в растворе и мигрирует дальше в нисходящих растворах совместно с Mg и Ca. Весьма низкое содержание Mg, Ca и Ni, по сравнению со свежими серпентинитами, в окристо-окремненных продуктах их разложения свидетельствует об этом. За счет этих элементов продуктах разложения увеличивается содержание не только Fe_2O_3 , но и SiO_2 , в виде халцедона и опала. Но не исключается возможность частичного перехода SiO_2 (в виде коллоидной гели *in statu nascendi*) в раствор, из которого она осаждается в трещинках нижележащих горизонтов. Что же касается менее измененных серпентинитов то они теряют магний, кальций, но обогащаются никелем. И. И. Гинзбург и А. И. Пономарев (19) опытами доказали, что никель адсорбируется из водных растворов нонтронитом, серпентинитом, хлоритами и т. д. и что процесс адсорбции носит обменный характер (Mg на никель), и явление это необратимое.

Учитывая это, следует допустить, что выщелоченный из верхних горизонтов никель задерживается в серпентиновой массе значительно увеличивая процентное содержание его. С другой стороны, нет сомнения, что для большой концентрации никеля [концентрация его может доходить до 40% NiO (48)] подобного рода адсорбция недостаточна. Для этого требуются дополнительные условия, о которых речь идет ниже. Затем Mg и Ca мигрируют дальше. Незначительное количество Ca в растворе не дает большого скопления его в виде кальциевых минералов, но он частично отлагается в виде кальцита совместно с Mg (см. анализ магнезита). Последний осаждается в трещинках в виде магнезита.

Мы отметили выше, что хотя содержание никеля увеличивается путем адсорбции в продуктах изменения серпентинитов, но это отнюдь недостаточно для объяснения больших концентраций никеля, имеющих место, например, на Урале. В этих месторождения никель пред-

ставлен различными водными никелевыми силикатами: ревенскит (непуит), гарниерит (гентит, нумеит), конарит (ретзит), айдырлит и пр. (3, 21, 23, 38, 64).

Природа вторичных никелевых силикатов, их непостоянный химический состав, не позволяющий дать им определенную стехиометрическую формулу, отсутствие кристаллической формы и резкости колец и общая завуалированность в рентгенограммах (48), говорят о характере их, как о сложных коллоидных комплексах. С другой стороны, высокая концентрация никеля в этих минералах, при незначительном содержании его в первоисточнике (ультраосновные породы), требует особых условий для их образования из водных растворов. Для этого необходим более длительный контакт растворов с адсорбентами, а этот последний осуществим в условиях, где имеются стоячие воды или уровень грунтовых вод стоит довольно высоко в течение большого отрезка времени. Так как уровень грунтовых вод зависит от рельефа местности и климатических условий, то роль этих последних в образовании месторождений никелевых силикатов очевидна. Роль этих факторов, на примере довольно мощной коры выветривания с промышленным содержанием никеля в ряде районов Южного Урала, и процесс образования коры выветривания детально разобраны И. И. Гинзбургом (16, 20, И. И. Савельевым и И. З. Кориным (34); ими же подробно исследованы различные типы коры выветривания на Южном Урале.

Главным образом И. И. Гинзбургом разработана и геохимия коры выветривания.

В заключение отметим, что в результате гипергенного изменения серпентинитов наряду с аккумуляцией Ni в адсорбированном виде в продуктах изменения и в виде водных никелевых минералов, он также деконцентрируется. На основании вышеизложенного можно заключить, что при отсутствии благоприятных условий для концентрации (стоячие воды, рельеф и пр.) никель уносится в водах и рассеивается в земной коре; он входит в состав организмов (40), в почву (40), разнообразные минеральные вещества (17, 22, 41) и, наконец, доходит до морей и океанов. В донных отложениях, в особенности в составе донных марганцовых конкреций, многими исследователями установлено присутствие никеля (18, 44, 73).

Глава IV

Листвениты и их никеленосность

Из жильных пород, с точки зрения их никеленосности, нами изучены листвениты, имеющие довольно широкое

распространение в пределах районов развития гипербазитов.

Повышенное содержание никеля в отдельных образцах и никелевые силикаты в лиственитах как наших, так и других районов (28, 36, 65) явились предпосылкой для наших исследований.

Термин „лиственит“ в геологической литературе относится к числу тех, вокруг которых мнения отдельных авторов сильно расходятся. Под названием „лиственит“, как это вполне справедливо указано В. Н. Лодочниковым (39), часто обозначаются породы различного происхождения, структуры и состава. Созданное этим обстоятельством затруднение осложняется еще тем, что наряду с термином лиственит употребляются и термины „лиственитоподобные породы“, „кварцевокарбонатные породы“, „парасерпентиниты“ и даже „карбонатные породы“. В связи с этим и взгляды на происхождение этих пород сильно расходятся. На все эти разногласия и неясности значительный свет проливает недавно появившаяся работа Ш. А. Азизбекова и М.-А. Кашкай (2).

В дальнейшем, при описании лиственитов под этим термином подразумевается следующее: лиственитом называется: 1) порода, преобладающая составная часть которой является кварц (или халцедон или опал) и карбонаты (магнезит, брейнерит и доломит), 2) порода, характеризующаяся более или менее равномерным распределением основных составных частей, 3) образования, генетически связанные с ультра основными породами, т. е. породу, являющуюся продуктом поствулканической гидротермальной деятельности ультраосновной магмы, следовательно, непосредственно связанную с процессами серпентинизации.

Вышеизложенное определение будет правильным, по крайней мере, для изученных нами лиственитов Азербайджана.

Никеленосность лиственитов изучена в районах хромитового месторождения Гей-дере выше сел. Исти-булаг и у сел. Чайкенд в Кельбаджарском районе, далее, на Шахдаге выше сел. Джанахмед, и наконец, в Лачинском районе близ сел. Чурман и у сел. Лалабагырлы. Этим исчерпываются все те пункты, в которых в настоящее время известны листвениты (см. карту „Выходы лиственитов“).

Листвениты первых трех районов описаны М.-А. Кашкай. Мы здесь сообщаем только данные об их никеленосности. Листвениты у сел. Чурман и Лалабагырлы впервые обнаружены автором, и краткое описание их дается ниже.

Здесь же коснемся и вопроса о классификации лиственитов. М.-А. Кашкай выделяет 4 генетических типа. По

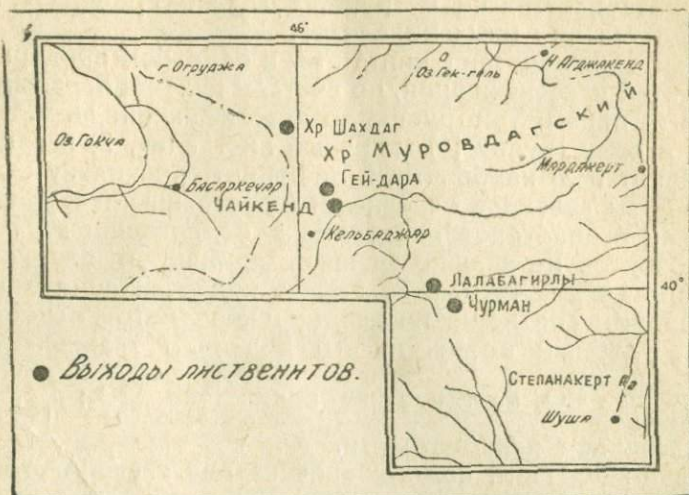


Рис. 5



Рис. 6

Лиственитовая жила у сел. Чурман

классификации этого автора, значительная часть лиственитов Азербайджана относится к гидротермальному типу.

Что же касается более дробной классификации лиственитов на основе минералогического их состава, то М.-А. Кашкай разделяет их на 6 групп, согласно преобладанию в породе тех или иных минералов.

При описании лиственитов мы в основном придерживаемся этой классификации, но считаем целесообразным объединить первые три группы по классификации М.-А. Кашкай в одну группу [1) типичный лиственит, 2) кварцевый лиственит и 3) карбонатный лиственит], поскольку кварц и карбонаты являются основными и постоянными составными частями и некоторое колебание в содержании этих двух компонентов не должно служить принципом для классификации; а для того, чтобы иметь представление о количественном соотношении кварца и карбонатов, мы считаем более удобным выразить его делением эквивалентного количества CO_2 на такое же количество SiO_2 ; $\frac{r\text{CO}_2}{r\text{SiO}_2} =$ коэффициент карбонатности.

Таким образом, соотношение кварца и карбонатов довольно наглядно выражается указанным коэффициентом. Но, с другой стороны, среди лиственитов необходимо различать согласно составу их карбонатных минералов: магнезитовый, брейнеритовый и т. д. листвениты, а также магнезито-брейнеритовый или же брейнерито-магнезитовый листвениты в случае сложности карбонатного состава.

Описание лиственитов

Листвениты из Исти-булага (Гей-дере), Чайкенда и Шагдага, как это было отмечено выше, описаны М.-А. Кашкай. Ниже мы даем лишь краткие сведения о них.

Листвениты района месторождения хромистого железняка Гей-дара были именно тем материалом, в котором нами было обнаружено повышенное содержание никеля. Листвениты обнажаются на правом берегу р. Гей-дере (выше сел. Исти-булаг) в виде жилы мощностью до 30 м, при простирации WN 295 и вертикальном падении. Они расположены в серпентинизированных перидотитах, которые ближе к зальбандам жилы сильно изменены и превращены в полуобохренную рыхлую массу, но такое изменение имеет ограниченное распространение и охватывает лишь участки вдоль контакта жилы.

Макроскопически листвениты зернистого сложения, зеленого и зеленовато-серого цвета, обусловленного присутствием хлорито-серпентиновой массы. Они прорезаны многочисленными вторичными прожилочками карбонатов и кварца, пронизывающими и боковые породы. Жила в

двух местах разветвляется. Сопротивляемость их против выветривания значительно больше, чем боковых пород.

По минералогическому составу они относятся к группе хлорито-карбонатных лиственитов (классификация М.-А. Кашкай). Порода в основном состоит из кварца и карбонатов. Последние представлены, главным образом, магнезитом и в подчиненном количестве брейнеритом. Сле-

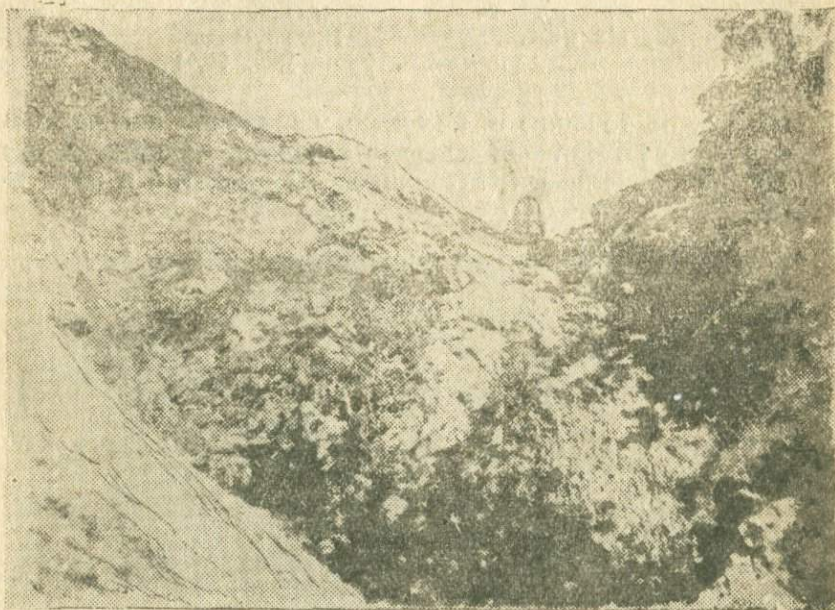


Рис. 7

Лиственитовая жила у сел. Лалабагырлы

довательно, их можно более точно назвать хлорито-магнезито-брейнеритовыми лиственитами. Но следует отметить, что минералогический состав их довольно изменчив. В образцах, взятых из отдельных участков, наблюдается изменение количественного соотношения как основных компонентов (кварца и карбонатов), так и отдельных минералов. Довольно характерным для гейдаринских лиственитов является присутствие серпентино-хлоритовой массы. Эта масса неравномерно распределена в породе в виде отдельных мелких скоплений или в виде листочков. Кроме главных составных частей — антигорита и хлорита, она содержит отдельные зерна хромита и магнетита, встречаю-

щихся и в ультраосновных породах. Анализ хлорито-магнезитового лиственита Гей-дара приведен ниже:

Окислы	%	Окислы	%
SiO ₂	28,86	MnO	0,01
TiO ₂	следы	K ₂ O	0,90
Al ₂ O ₃	4,39	Na ₂ O	1,07
Fe ₂ O ₃	2,56	NiO	0,23
FeO	0,93	CO ₂	29,86
CaO	2,70	H ₂ O _{II} ^o	0,23
MgO	26,65	H ₂ O _{+II} ^o	0,05
		Σ	99,44

Ниже, по течению р. Гей-дере, у впадения ее в р. Тертер около сел. Чайкенд обнажается крупная лиственитовая жила, приуроченная к тектоническому разлому и прости-

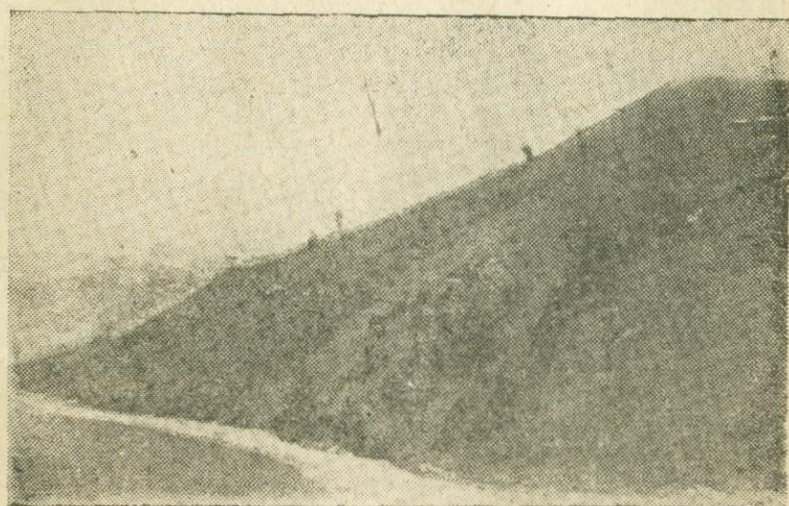


Рис. 8
Хребет Кырх-гыз

рающаяся более чем на 100 м в SO направлении под углом 115°. Мощность ее превышает 25 м. Морфологически она вполне аналогична гейдаринской. В отношении количества основных минералов наблюдается большая вариация. В общем, в чайкендских лиственитах карбонаты (брейнерит) превалируют над кварцем. Вследствие значительной выветренности брейнерита, на поверхности порода покрыта гидроокислами железа. Таким образом, чайкендские

листвениты М.А. Кашкай относит к карбонатным и железисто-карбонатным лиственитам. Если иметь в виду главный компонент брейнерит, то их следовало бы назвать брейнеритовым лиственитом.

Листвениты в районе сел. Чурман обнажаются у самого селения и к SW на правом скалистом берегу р. Алякчи-чай, непосредственно у дороги, ведущей в Старый Чурман. Листвениты по р. Алякчи-чай представлены тремя мощными жилами широтного простирания. Жилы приурочены к серпентинитам, которые ближе к зальбандам, значительно изменяясь, превратились в рыхлую и карбонатизированную массу. На северо-западе жила вкрест простирания прорезана андезитами. В близких к андезитам участках листвениты сильно силицифицированы.

Листвениты имеют довольно изменчивый состав. Минералогический состав чурманских лиственитов позволяет отнести их к группе хлорито-магнетитово-брейнеритовых лиственитов.

Химический состав одного типичного образца приводится ниже.

Оксиды	%	Оксиды	%
SiO ₂	32,76	MgO	20,50
Fe ₂ O ₃	4,75	TiO ₂	нет
C ₂ O ₃	0,13	MnO	нет
Al ₂ O ₃	11,30	NiO	1,87
FeO	2,55	CO ₂	23,03
CaO	1,41	H ₂ O _{+110°}	2,02
		Σ	100,32

Более мощные жилы лиственитов нами осмотрены недалеко от сел. Лалабагырлы у дороги, ведущей в Кюрд-Гаджи, на правом берегу р. Алякчи-чай. Серпентиниты, к которым непосредственно приурочены листвениты, раздроблены и, вследствие циркуляции поверхностных вод в этих участках, сильно изменены и обохрены.

Листвениты этого участка относятся в основном к хлорито-магнетитовой разности.

Кроме основных компонентов (кварца и карбонатов), как постоянная составная часть присутствуют хлорито-серпентиновая масса, рудные минералы (хромит и магнетит) и нередко отдельные чешуи талька.

Здесь же отметим, что в 0,5 км к северу от лиственитов встречаются крупные глыбы мраморизованного известняка.

Ниже приводим краткое описание минералов, входящих в состав лиственитов.

1. Кварц—одна из главных составных частей породы—представлен двумя генерациями. К кварцу первой генера-

ции относятся мелкозернистый кварц обычно мозаичной структуры (рис. 10).

Иногда он играет роль как бы цемента (рис. 11). В редких случаях кварц в породе заменяется опалом. Но одновременно присутствует и вкрапленный кварц. Весьма

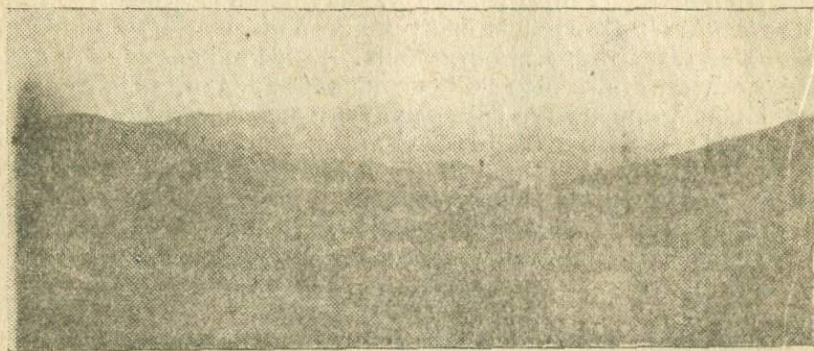


Рис. 9
Хребет Кырг-гыз

большой интерес представляют газовые включения в средней части почти всех кристалликов вкрапленного кварца.

Другие полиморфные разновидности кремнезема нами не найдены; кварц второй генерации прорезывает массу породы в виде жилочек во всевозможных направлениях.

Карбонаты. Из карбонатов в чурманских и лалабагырлинских лиственитах констатированы магнезит, брейнерит, доломит и кальцит. Сидерит в просмотренных нами шлифах не найден. На редкость его в лиственитах указывают также авторы „Листвениты Закавказья“.

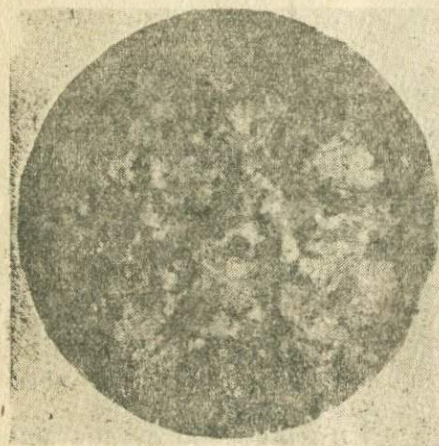


Рис. 10

Магнезит количественно преобладает в составе изученных нами лиственитов. Он, так же как и остальные карбонаты, представлен двумя генерациями: магнезит первой генерации либо равномерно распределяется по всей по-

роде чешуйчатыми образованиями, либо образует зернистые скопления белого цвета, интерференционная окраска нежно перламутровая. Нередко минерал в шлифе образует как бы сплошной войлочный покров (рис. 12).

Магнезит второй генерации образует тонкие прожилки, совершенно аналогичные таковым в окружающих серпентиновых породах.

Брейнерит для большинства лиственитов у сел. Чурман и Лалабагырлы занимает второе место по количеству среди карбонатов. Он устанавливается в шлифах по бурой полоске, окаймляющей прожилки и зерна. Обычно он сильно изменен, вслед-

ствие чего образуются бурые окислы железа. Брейнерит в лиственитах, главным образом, присутствует в виде многочисленных тонких прожилков, различно ориентированных, но иногда и в виде зернистых скоплений (рис. 14).

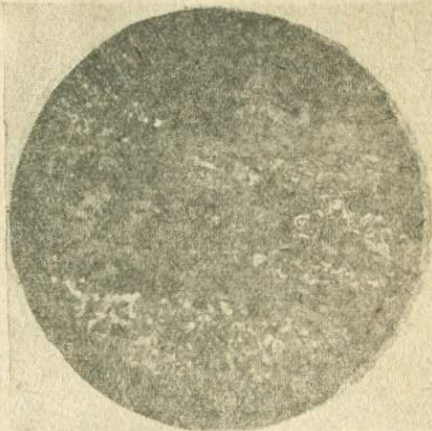


Рис. 11

Доломит — следующий по количеству карбонат в лиственитах. В шлифах отдельных образцов чурманских лиственитов он нередко превалирует над другим карбонатом. Он устанавливается в шлифах по характерным для него ромбическим разрезам (рис. 15).

Кальцит исследуемыми лиственитах встречается в подчиненном количестве и, главным образом, в

прожилках второй генерации; также и в виде небольших корок. Кальцит в зернистых агрегатах в основной массе проявляет полисинтетическое двойникование.

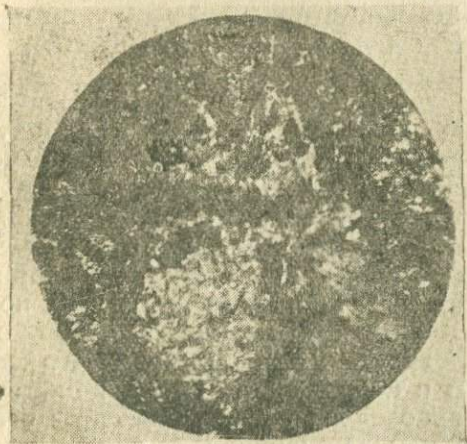


Рис. 12

Серпентин и хлорит. Как выше было отмечено для лиственитов Азербайджана характерным является присутствие хлорито-серпентиновой массы. Серпентин, как правило, представлен антигоритом.

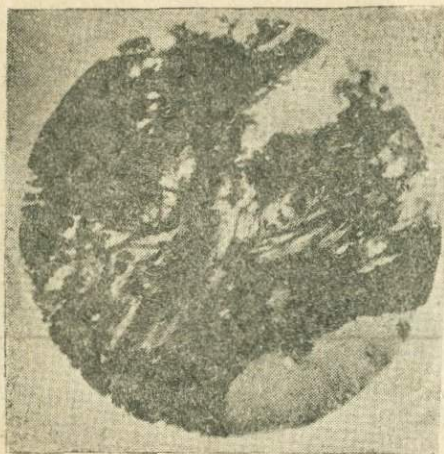


Рис. 13

Мелкие чешуи или листочки, также и небольшие скопления серпентина и хлорита, неравномерно распределены в породе. Ш. А. Азизбеков и М.-А. Кашкай относят хлорит к амезиту со следующими константами: $N_q=1,562-0,001$, $N_p=1,553-0,001$, $N_g-N_p=0,010$. Удлинение отрицательное. Погасание прямое. В шлифах плеохроирует от бесцветного до слабозеленого.

Как это будет подробно разобрано ниже, сравнительно большое содержание никеля обнаружено в хлоритовой массе лиственитов, при общем содержании Ni в средней пробе лиственитов в 0,18%; хлорито-серпентиновая масса, выделенная из них, показала в трех пробах 0,59%, 0,68% и 0,94% (в очищенной под лупой пробе). Таким образом, никеленосной в листвените является хлорито-серпентиновая масса.

Такое же повышенное содержание никеля в хлорите из лиственитов Маднис-геле (Юго-Осетия) нами было установлено в 1935 г. (см. работу Ш. А. Азизбекова и М.-А. Кашкай). Повышенное содержание никеля в хлоритовой массе лиственитов побудило нас к более детальному исследованию этих хлоритов. Для этой цели хлорит нами был выделен из породы и очищен от примесей под бинокулярной лупой. Хлорит плеохроирует слабо от светложелтого до слабозеленого цвета. Листочки его ксеноморфны по отношению к карбонатам, в толстых листочках он имеет типичный яркозеленый цвет. Константы его, определенные в иммерсионной жидкости, следующие: $N_g=1,578$; $N_p=1,580$, $N_g-N_p=0,010$.

Химический анализ, произведенный нами, представлен в таблице 10.

Окислы	%	Молек. кол.
SiO ₂	32,66	0,5438
TiO ₂	0,03	—
Cr ₂ O ₃	0,06	—
Al ₂ O ₃	17,73	0,1739
Fe ₂ O ₃	5,12	0,0321
FeO	1,42	0,0198
MgO	25,94	0,6433
CaO	1,08	0,0192
MnO	0,08	0,0011
NiO	0,94	0,0125
K ₂ O+Na ₂ O	следы	—
H ₂ O _{100°}	1,06	—
H ₂ O+110°	13,98	0,7760
Σ	100,10	

Константы по Орселю:

$$S = \frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3} = 2,64; \quad r = \frac{\text{RO}}{\text{R}_2\text{O}_3} = 3,38; \quad h = \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{R}_2\text{O}_3} = 3,77;$$

$$a = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,18; \quad f = \frac{\text{FeO}}{\text{MgO}} = 0,03.$$

Как видно из анализа и коэффициента $S=2,64$, исследованный нами хлорит относится к клинохлору (по классификации Орселя), а коэффициент $f=0,03$ позволяет отнести его к магнезиальной разновидности клинохлора.

Повышенное содержание NiO в анализируемой пробе (0,94%) приближает его к никелевому клинохлору—шухардиту, хотя содержание никеля в нашем хлорите значительно ниже, чем в типичном шухардите, где содержание NiO нередко превышает 5%. Хлориты, в той или иной мере связанные с основными и ультраосновными породами, нередко более или менее обогащены никелем, в силу довольно широкого изоморфного замещения магнезиальный хлорит может содержать Ni иногда в очень большом количестве. Такие хлориты были описаны многими авторами: K o s t a n n, B u r k a r d, B e y s c h l a g и K r u c h, Глазковский, K r a f t, S c h r a u f, S t a r k l, Г.С. Грицаенко и др.

Типичным представителем никелевых хлоритов является шухардит (никелевый клинохлор), который следует рассматривать как самостоятельный минеральный вид в группе хлоритов.

Повидимому, мы имеем в природе целый ряд минералов, которые можно было бы поместить между шухардитом и безникелевым клинохлором. Содержание никеля в них и изоморфное замещение магния никелем количественно наглядно выражается индексом $p = \frac{\text{NiO}}{\text{MgO}}$, впервые введенным в литературу Г. С. Грицаенко. Это отношение для шухардитов $>0,1$, для остальных никелевых клинохлоров $<0,1$. Для нашего хлорита $p=0,02$. Таким образом, исследованный нами минерал относится к никелевому клинохлору.

Захват никеля из раствора хлоритом происходил в термальную фазу во время образования самого хлорита. Источником никеля явились ультраосновные породы.

Тальк встречается в шлифах отдельных образцов в виде поперечно-волокнистых агрегатов с высокой интерференционной окраской прямым погасанием. Необходимо отметить, что тальк встречается, главным образом, в образцах, взятых из краевых зон лиственитовых жил сел. Чурман и Лалабагырлы.

Слюда в большом количестве была встречена в шлифах лиственитов из сел. Чурман. Листоватые и чешуйчатые агрегаты ее, размером до 1,5 см, находятся в сильно измененной и катакластически переработанной породе в непосредственной близости к лиственитам. Произведенный анализ слюды из этой породы приводится в таблице 11.

Таблица 11

Окислы	%	Молек. кол.	
SiO ₂	34,41	0,5729	0,5729
TiO ₂	0,01	—	
Al ₂ O ₃	11,97	0,1174	} 0,1468
Fe ₂ O ₃	4,60	0,0294	
C ₂ O ₃	0,08	—	
CaO	2,19	0,0390	} 0,7813
MgO	28,60	0,7088	
FeO	3,13	0,0435	} 0,0399
Na ₂ O	0,18	0,0029	
K ₂ O	3,49	0,0370	
H ₂ O _{110°} . . .	1,52	—	
H ₂ O _{+110°} . .	9,43	0,5234	
Σ	99,61	—	—

Слюда в лиственитах, по микроскопическим данным, относится к биотиту. Хромовая слюда — фуксит в лиственитах Гей-дере отмечена М.-А. Кашкай (2).

Рудные минералы—хромит и магнетит—являются постоянными составными частями лиственитов. Оба минерала и в особенности просвечивающие кровяно-красным цветом зерна хромита неравномерно распределены по всей массе породы. Очертание этих зерен хромита вполне аналогично таковому в серпентините и более или менее сохранившихся перидолитах и дунитах.

Зерна хромита идиоморфны и образуют отдельные выделения. Пржилки хромита, отмеченные М.-А. К а ш к а й, нами в чурманских и лалабагырлинских лиственитах не были встречены. Размер отдельных зерен от точечных до 2—3 мм.

В лиственитах у сел. Чурман и Лалабагырлы, так же как и в других районах Азербайджана, кроме вышеописанных минералов встречается еще никелевый силикат в виде редких субмикроскопических зерен. Он приурочен к хлорито-серпентиновой массе. Под микроскопом иногда удается заметить чешуйчатое строение никелевого силиката. В шлифе он зеленого и бледнозеленого цвета с голубоватым оттенком. Очень слабо плеохроирует в светлых тонах. Показатель преломления его $n_p = 1,594$.

Подчиненное содержание этого минерала и незначительный размер зерен не позволяют более детально исследовать данный минерал. Но приведенные выше скудные данные все же позволяют говорить о близости этого минерала к гарниериту.

Здесь кратко коснемся вопроса генезиса исследованных нами лиственитов, отмечая одновременно слабое освещение генезиса лиственитов в петрологии. По имеющимся литературным данным (2, 6, 39), нетрудно заключить, что вопрос о генезисе лиственитов вообще не может быть разрешен однозначно; безусловно существуют листвениты различного генезиса и, прежде всего, в зависимости от комплекса тех пород, среди которых они возникают.

Что же касается лиственитов Закавказья, как это указано Ш. А. А з и з б е к о в ы м и М.-А. К а ш к а й, то они образовались из гидротермальных растворов. К этой группе относятся также листвениты у сел. Чурман и Лалабагырлы. О гидротермальном происхождении этих лиственитов прежде всего говорит их жильный характер и приуроченность их везде к тектоническим разломам. Минералогический состав их также не противоречит гидротермальному происхождению.

Как выше было отмечено, в близких к зальбандам участках ультраосновные породы сильно карбонатизированы

и изменены. Это наиболее наглядно наблюдается в листовенитовом массиве у сел. Лалабагырлы, где ультраосновная порода в промежутках листовенитовых жил целиком изменена и сильно карбонатизирована, в результате чего по-

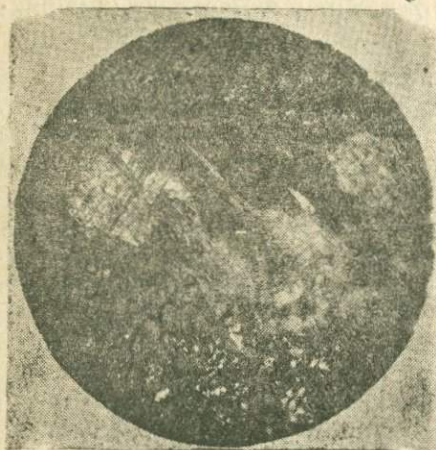


Рис. 14

лучились продукты, по составу очень близкие к листовенитам. По моему мнению, это объясняется тем, что CO_2 -гидротермы перерабатывали серпентиниты с образованием вытесненного из магнезиальных силикатов кремнезема, карбонатов магния и частично железа и других минералов. Другими словами, здесь имеет место и метасоматический процесс.

Никель в листовенитах

Аналитические данные наши относительно содержания никеля в листовенитах отдельных районов позволяют констатировать следующее.

Процентное содержание никеля в листовенитах, в среднем, того же порядка, что и в серпентинитах. В таблице 12 даны средние данные никеленосности отдельных массивов.

Таблица 12

Районы жил	Колич. определ.	Содержание никеля	
		Ni	NiO
Гей-дере	8	0,27	0,34
Чайкенд	2	0,07	0,09
Чурман	11	0,25	0,31
Лалабагырлы	8	0,18	0,23

В большинстве случаев листовениты содержат никеля меньше указанной средней цифры. Но зато в отдельных случаях наблюдаются обогащенные никелем участки. Так,

Заклучение

1. В результате исследований установлено присутствие никеля во всех типах ультраосновных и основных пород.

Из двух возможных форм нахождения никеля в этих породах, на основании аналитических данных, автор пришел к заключению, что никель в этих породах заключен в молекулах магниевого силиката в виде изоморфной примеси.

В указанных породах, как другими авторами, так и автором данной работы, сульфиды (за исключением редких зерен пирита) ни макроскопически, ни микроскопически не установлены, и анализы образцов этих пород на серу показывают незначительное ее содержание.

2. Результаты анализов около 300 проб различных минералов и пород на содержание в них никеля позволяют констатировать следующее:

а) никель отсутствует в мономинеральных породах, являющихся крайними жильными фациями основной магмы, к каковым относятся анортозиты и альбититы; он также отсутствует в продуктах пегматитовой фазы дифференциации основной магмы (габбро-пегматитах) и некоторых метасиликатах (волластоните);

б) небольшое содержание никеля, порядка 0,03 – 0,04%, констатировано в магнезиальных метасиликатах (диаллаг и бронзит)

в) содержание никеля в габброидах колеблется в пределах от следов до 0,08% NiO, при среднем содержании 0,03% Ni. В большинстве проб получались близкие к среднему содержанию цифры. Максимальное содержание в 0,07% – 0,08% отмечено в оливиновом габбро и в породах промежуточного типа — габбро-пироксенитах;

г) пироксениты в среднем содержат 0,05% Ni, при колебании его от 0,00 до 0,07% Ni. Следует отметить, что в большинстве из них количество Ni близко стоит к среднему содержанию;

д) сравнительно большое колебание никеля наблюдается в серпентинизированных перидотитах, что обусловливается вариацией количественного соотношения орто- и метакремневых компонентов. Среднее содержание никеля в них 0,21%, при колебании его в пределах 0,13 — 0,30%. В большинстве проб колебание находится в пределах от 0,20 до 0,26%;

е) те серпентиниты, материнская порода которых точно не определяется, рассматривались нами отдельно. В них также наблюдается колебание содержания никеля в широких пределах: 0,09 — 0,32% NiO, при среднем содержа-

нии его, вычисленном на основании 72 анализов, в 0,24% NiO;

ж) наибольшее содержание никеля среди исследованных пород найдено в серпентинизированных дунитах. В некоторых пробах содержание никеля значительно (достигает 1,17%). Вообще же дуниты Азерб. ССР содержат в среднем 0,45% Ni или 0,56% NiO.

Вышеуказанное находится в полном соответствии с наблюдениями других авторов, в особенности И. Фохта, в иных участках земной коры, где имеется распространение основных и ультраосновных пород.

3. Указанная закономерность в распределении никеля в различных породах, т. е. постепенное увеличение содержания его в сторону ультраосновной ветви габброидной магмы и, наоборот, уменьшение до почти полного исчезновения в сторону средних и кислых пород (в гранитах содержится в среднем 0,0003% Ni), а также распределение никеля в минералах протокристаллизации (большое количество его в ортосиликатах и меньшее в метасиликатах) объясняется тем, что никель тяготеет к высокотемпературным минералам, в особенности к решеткам, богатым магнием, т. е. к минералам, формирующимся в ранней стадии кристаллизации. Такой вывод подтверждает повышенным содержанием никеля в оливинах. С другой стороны, оливины и сложенные из них породы—дуниты содержат различное количество никеля и это находится в зависимости от соотношения в оливинах фаялитовой и форстеритовой молекул: никель тяготеет к тем оливинам, в которых имеются преимущественно форстеритовые молекулы.

Стремление никеля к минералам высокотемпературной фазы обусловлено высокой точкой плавления его соединений, что, в свою очередь, зависит от сравнительно высокого его Э_k и низкого R_i; близость Э_k и равенство радиусов ионов (0,78 Å), с одной стороны, и равная координация в кристаллической решетке, с другой, обуславливают вхождение никеля в решетку магниевых силикатов.

4. В районах распространения ультраосновных пород в Азерб. ССР кора выветривания не имеет мощного развития, что может быть объяснено сильной пересеченностью рельефа, способствующей интенсивной эрозии.

Но наличие коры выветривания в пониженных участках древнего рельефа не исключается. В этом отношении районы развития пологих возвышенностей и равнинные участки представляют определенный практический интерес; в качестве примера можно привести правый берег р. Аляк-

чи-чай у сел. Лалабагырлы и равнину Базар-дюзи; здесь под почвенным покровом обнаружено накопление охристых продуктов. Поиски коры выветривания, следовательно и концентрации никеля, в этих районах весьма желательны.

Вследствие слабого развития коры выветривания в естественных обнажениях, полную картину выветривания серпентинитов атмосферными агентами проследить не удалось, но все же, на основе изучения процессов выветривания серпентинитов в одном участке (сел. Орта-Ипяк) и сопоставления их с продуктами выветривания в других, удастся выяснить ход выветривания и поведение отдельных элементов при этом процессе.

Под действием поверхностных вод с CO_2 серпентинит разлагается, в результате чего на поверхности накапливаются гидроокислы железа, окись кремния, марганцовые минералы. Значительное количество магния и почти весь никель и кальций выщелачиваются из серпентинитов и мигрируют в нижние горизонты, что объясняется большой миграционной способностью бикарбонатных соединений этих элементов.

Низкий потенциал ионизации Fe^{+2} и Mn^{+2} ограничивает их миграцию и они осаждаются непосредственно на поверхности. В менее измененных серпентинитах, по сравнению с серпентинитом, наблюдается накопление Fe^{+3} , вынос магния и кальция и, наконец, накопление никеля. Никель, по всей вероятности, адсорбируется из раствора и дальнейшая его миграция прекращается.

5. Кроме вышеуказанных образований изучены листвениты, генетически связанные также с ультраосновными породами. Автором описываются новые жилы лиственитов в районе сел. Чурман и Лалабагырлы.

Во всех лиственитах констатировано наличие никеля от 0,07 до 1,68%.

Подробное изучение хлорита лиственитов позволяет прийти к заключению, что никеленосным в лиственитах является хлорит, относящийся к клинохлору.

6. В свете новых достижений технических наук и все растущих потребностей социалистической индустрии, критерии ценности тех или других природных продуктов должны меняться.

В связи с ограниченными запасами сырья огнеупоров, своевременно выдвигаются породы магнезиальных силикатов, в качестве сырья для керамической промышленности (75, 5). С этой точки зрения серпентиниты Азербайджана представляют определенный интерес. Серпентиниты в по-

следнее время стали объектами химико-технологических исследований как возможное сырье для получения солей магния, активной кремниевой кислоты, никеля (53, 54, 55, 56). Некоторые разновидности их давно рассматриваются как бедные никелевые руды (13, 15, 59, 70, 71). Вопрос о разработке экономически выгодных методов комплексного использования серпентинитов и в дальнейшем должен стоять в порядке дня химико-технологических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ш. А. Азизбеков и Р. Абдуллаев—Малые интрузии в Курдистане. Юбилейный сборник АзИИ, 1940.

2. Ш. А. Азизбеков и М.-А. Кашкай—Листвениты Закавказья. Изд. АзФАН, 1939. Баку.

3. Е. Ф. Алексеева и М. Н. Годлевский—Рентгенометрическое изучение гидросиликатов никеля. Зап. Рос. минералогического об-ва, сер. II, часть 66, В. 1, 1937.

4. В. Ф. Белик—Хлорирование серпентинитов (змеевиков). Журн. прикл. химии, т. XII, вып. 11, 1939.

5. А. С. Бережний—Использование силикатов магния для получения огнеупоров. Журн. прикл. химии, т. XIII, № 6, 1940.

6. А. Г. Бетехтин—Шорджинский хромитоносный перидотитовый массив (Закавказье) и генезис месторождений хромистого железняка вообще. Хромиты СССР, т. I, АН СССР, 1923.

7. Акад. П. П. Будников—К вопросу об использовании силикатов магния. Журн. прикладной химии, т. XIII, № 6, 1940.

8. П. А. Вагнер—Месторождения платины и рудники Южной Африки, 1932.

9. Акад. В. И. Вернадский—История минералов земной коры. Т. 1, вып. II, 1926.

10. Акад. В. И. Вернадский—История минералов земной коры. Т. 1, вып. I, 1925.

11. О. А. Воробьева—К вопросу об орудуении Волчьей тундры и Монча Тундры. Материалы по петрографии и геохимии Кольского полуострова, часть III, 1933. изд. АН СССР.

12. Второе научное совещание по использованию оливковых пород и серпентинитов Кольского п-ва и др. районов СССР. Журн. прикл. химии, т. XII, вып. 12—1939.

13. А. С. Гарнак—Гидрометаллургия никеля. ОНТИ, Свердловск. 1935.

14. Георг Берг—Геохимия месторождений полезных ископаемых ОНТИ, 1933.

15. Герман—Горный журнал, III; 1866.

16. И. И. Гинзбург—Геохимия коры выветривания серпентинитов Южного Урала. Изв. АН СССР, сер. геологич., № 1, 1938.

17. И. И. Гинзбург—Образование марганцовых песчаников в северных широтах СССР. Сборн. посв. 50-летию акад. В. И. Вернадского, т. I, изд. АН СССР, 1937.

18. И. И. Гинзбург—Опыт характеристики никеленосности и кобальтоносности марганцовых руд СССР, Сов. геология, № 2 1939.

19. И. И. Гинзбург и А. М. Пономарев—Адсорбция никеля и других металлов водными силикатами железа. Изв. АН, сер. геологич. № 1, 1939.

20. И. И. Гинзбург и И. И. Савельев—Образование никелевых месторождений силикатных руд на Южном Урале. Изв. АН СССР сер. геологическая, № 6, 1939.

21. М. Н. Годлевский—Айдырмит—новый минерал. Зап. Всерос. минер. об-ва, ч. LXII, вып. 2, 1934.

22. В. М. Гольдшмидт—Принципы распределения химических

элементов в минералах и горных породах. „Успехи химии“, т. VII, вып. 2, 1938.

23. Г. С. Грицаенко—К систематике водных магнезиально-железных силикатов. Минеральное сырье, 1936, № 3.

24. Г. С. Грицаенко—Никелевый хлорит Западно-Кемперсайского месторождения. Минеральное сырье № 5, 1936.

25. Э. С. Дана—Описательная минералогия. ОНТИ. 1937.

26. Е. Н. Егорова—О никеленосности оливина. Зап. Российского Минералогического общества. Часть 67, В. 2, 1938.

27. А. Н. Заварицкий—Коренные месторождения платины на Урале. Матер. по общей и прикладной геологии. Вып. 108, Геологич. К-т. 1928.

28. Н. А. Игнатьев—Геолого-петрографический очерк р-на р. М. Лабы. Северо-Кавказская экспедиция АН СС СР, 1933.

29. А. П. Карпинский—Месторождения никелевых руд на Урале С.-Петербург 1891.

30. М.-А. Кашкай—Основные и ультраосновные породы Азербайджана Изд. АН Азерб. ССР 1945

31. М.-А. Кашкай и Г. Эфендиев—Ассоциация минералов хромшпинелиевой группы в хромитовых месторождениях АзССР. Тр. АзФАН, том 55, 1938.

32. А. И. Киселев—Минералогия Халиловских месторождений хромшпинелидов, магнезиальных карбонатов и никелевых руд на Южном Урале. Записки Ленинград. Горн. Ин-та, т. 11, вып. 1, ОНТИ 1938.

33. А. Г. Кобилев—К металлогении бассейнов рек Лабы и Белой. Геология на фронте индустриализации, № 4—5, 1936.

34. И. З. Корин—Халиловские месторождения никеля и условия его образования. Изв. АН СССР, сер. геологическая, № 6, 1939.

35. Б. П. Кротов—О Халиловском железорудном месторождении. Тр. Ломоносовского Института АН СССР, вып. IX, 1938.

36. Г. А. Крутов, С. А. Кремчуков и Н. В. Борисевич—Месторождение кобальта на Кавказе. Труды ВИМС, вып. 32, ОНТИ 1935.

37. Б. М. Куплетский—Ультраосновные породы Монча-тундры. Материалы по петрографии и геохимии Кольского полуострова, ч. IV, изд. АН СССР 1935.

38. И. Д. Курбатов—О никелевых силикатных рудах Нижне-Исетской дачи на Урале. Труды Минералогического музея Академии Наук СССР, том 1, 1926.

39. В. Н. Лодочников—Серпентины и серпентиниты Ильчирские и другие и петрологические вопросы, с ними связанные. Труды ЦНИРИ, вып. 38, ОНТИ, Ленинград-Москва 1936.

40. Д. П. Малюга—К геохимии рассеянного никеля. Труды Биохимической лаборатории, т. V. 1938.

41. К. К. Матвеев—Спектроскопические исследования биотитовых сланцев изумрудных копей. Сб. посв. 50-летию акад. В. И. Вернадского, т. I. 1936.

42. К. Н. Паффенгольц—Бассейн р. Тертер. Тр. ВГРО, 1936.

43. И. А. Преображенский—Альбитит из Курдистана АзССР. Изв. АзФАН № 1, 1936.

44. Я. В. Самойлов и А. Г. Титов—Железо-марганцевые желваки со дна Черного, Балтийского и Баренцова морей. Тр. геол. и минер. музея АН, том III, 1917—18.

45. А. А. Смуров—Растворимость бикарбонатов никеля, кобальта и марганца. Зап. Рос. Минералогич. общества, В. 3. ч. 67, 1938.

46. А. А. Смуров—Химизм подземных вод Верхнеуфалейского серпентинитового массива. ОНТИ 1938.

47. А. А. Смуров и А. А. Глазковский—Никель. Минеральные ресурсы СССР. Главн. геол.-развед. управление, 1931.

- 48. А. А. С м у р о в и Н. В. М ю л л е р—Материалы к познанию генезиса уральских силикатных никелевых руд. Тр. ЦНИГРИ, В. 21, 1934.
- 49. А. Н. С о л о в к и н—Интрузивы и интрузивные циклы АзССР. Изд. АзФАН, Баку, 1939.
50. А. Н. С о л о в к и н—Основные породы Курдистанского района и южной части Нагорного Карабаха. Тр. АзОЗФАН т. XIV, 1935.
51. Спутник геохимика и минеролога. Изд. АН СССР, 1937.
52. П. М. Т а т а р и н о в—Лабинское (Веденское) месторождение хризотил. асбеста на Сев. Кавказе. Тр. ЦНИГРИ. Полезные ископаемые. Сборник 2, 1935.
53. С. В. Т е р п у г о в, Э. П. П о р т у г а л о в а и М. И. О к а т о в а—Использование кремнекислого отхода змеевиков в качестве адсорбента. Изв. Рост. н.-иссл. института прикладной химии, кн. II, 1937.
54. С. В. Т е р п у г о в, Э. П. П о р т у г а л о в а и М. И. О к а т о в а—Осветление нефтепродуктов отходами серпентинитов (змеевиков). Изв. Ростов н.-иссл. ин-та прикл. химии, кн. III, 1937.
55. С. В. Т е р п у г о в и А. М. Т и к т и н а—Получение из змеевиков семиводного сульфата магния, „магнезии альба“ и „магнезии уста“. Изв. Рост. всесоюзного научно-исследовательского ин-та прикладн. химии, книга II, 1937.
56. С. В. Т е р п у г о в и А. М. Т и к т и н а—Получение из серпентинитов (змеевиков) нитрата магния. Изв. Рост. н.-иссл. ин-та прикл. химии, кн. III, 1937.
57. Д. Г. У л ь я н о в—Халиловские никелевые месторождения. Тр. IV Всесоюзн. конф. по цветн. металлам, В. II, Москва 1932.
58. Д. Г. У л ь я н о в, Г. С. Г р и ц а е н к о, Г. А. К р у т о в и др. Месторождения силикатно-никелевых руд Орско-Халиловского района. ОНТИ 1937.
59. Г. Г. У р а з о в — Металлургия никеля, ОНТИ, Ленинград Москва. 1935.
60. Акад. А. Е. Ф е р с м а н—Геохимия Т. IV. ОНТИ, 1939.
61. Акад. А. Е. Ф е р с м а н—Геохимия, том III, 1937.
62. Акад. А. Е. Ф е р с м а н—Геохимия т. I, 1934.
63. Акад. А. Е. Ф е р с м а н—Геохимия кобальта. Изв. АН СССР. Геологическая серия, № 3, 1939.
64. А. Е. Ф е р с м а н—Материалы к исследованию и систематике волютовых магниево-силикатов. Труды Геологич. музея АН, том VII, вып. 6, 1916.
65. А. А. Ф л о р е н с к и й и Г. П. Б а р с а н о в—Геология бассейна р. Лопани-Цхали. Производительные силы Юго-Осетии. Сб. IV. СОПС. Сер. Закавказск., вып. 13.
66. А. В. Х а б а к о в—Доюрский рельеф и древняя кора выветривания в южной части Южного Урала. Изв. Геогр. о-ва, т. 17, вып. 2, 1935.
- 67. Г. Э ф е н д и е в и Ф. В е к и л о в а—Немалиты из ультраосновных пород Азерб.ССР. Известия АзФАН, № 4. 1940
68. E. S. Bastin—A. Pyrrhotitic Peridotite from Knox. Co., Maine. Journ. of Geology, 1908.
69. Landolt-Bernstein—Physikalisch-chemische Tabellen, 1935.
70. Davis—Journ. of Ind. a. Eng. Chem. 1919.
71. Haward—Chem. a. Met. Eng. XXVI.
72. J. Vogt—Nickel in igneous rocks. Econ. Geology, XVIII, 1923.
73. J. Vogt—Z. f. Prakt. Geol. 14. 1906.
74. T. L. Walker—Alexoite, a pyrrhotite-peridotite from Ontario. Contr. № 30 to Canadian Mineralogy, 1931

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
I. Краткий геолого-петрографический очерк районов распространения ультраосновных пород	4
II. Никель в базитах и гипербазитах Азербайджана	9
III. Никель в продуктах выветривания серпентинитов	25
IV. Листвениты и их никеленосность	33
Заключение	48
Литература	52

Редактор проф. М.-А. Кавкази

Техредактор В. И. Фрунзева

Получено к печати 20/V 1945 г. Теч. листа 3 1/2. Уч.-авт. лист. 3 5/8.
Тит. зн. в печ. листе 41664. ФТ 13728. Заказ № 3390. Тираж 1000.

Типография «Красный Восток», Азотипграфтреста упр. по делам
Полигр. и Издат. при СНК Азерб. ССР. Баку, ул. им. Ази Асланова, 80.

4 руб.

273

Азербайжан ССР Элмлер Академиясы
Кимя институту

Н. Х. Өфөндиєв

АЗƏРБАЙҶАНЫН УЛТРАƏСАСИ
СҮХУРЛАРЫНДА НИККЕЛ

(Рус дилиндə)

Азербайжан ССР ƏА Нəшрийлти
Бакы—1945