

P.1025
II



Минералогия Халиловских месторождений хромшпинелидов, магнезиальных карбонатов и никелевых руд на Ю. Урале

Асс. А. И. Киселев

**Mineralogie der Chalilowski Lagerstätten Chromspineliden,
Magnesia Karbonaten und Nickel Erz am S. Ural**

Ass. A. I. Kisselev

Введение

Целью настоящей статьи является минералогическое изучение Халиловских никель-гидросиликатных месторождений. Попутно с этим мной обследованы месторождения „хромита“ и „магнезита“. В результате геологических наблюдений составлены геологическая карта¹ и зарисовки.

Сбор минералогического материала в поле проведен летом 1933 г. при весьма неблагоприятных условиях. Горные выработки, проведенные летом 1931 г., в большинстве были засыпаны; сохранившиеся же дудки, вследствие обвалов в них, были недоступны для детального обследования, и поэтому перечень выявленных минералов на месторождениях не может быть исчерпывающим.

Полуторамесячный период полевой работы в таком сложном районе не позволил мне детально разрешить многие вопросы, поэтому геологическая карта, составленная впервые на топографической основе, имеет исключительно провизорный характер; например, на карте не расчленены осадки юры и мела, недостаточно точно оконтурены выхода габбровых пород.

В Халилове неизвестны собственно хромит и полнокристаллический магнезит. Минералы хрома и солей углекислого магния представлены совершенно другими минеральными видами.

Поэтому месторождения их названы в более широком смысле, именно хромшпинелидов и магнезиальных карбонатов.

¹ Геологическая карта напечатана в Курсе минералогии коллектива преподавателей Горного Института, 1936.

Краткий обзор предыдущих исследований

Меглицкий и Антипов (22) в 1854 г. составили геологическую карту Южного Урала. В районе Халилова ими указано несколько выходов змеевиков.

Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (21) в 1891 г. отметил развитие змеевиков по среднему течению реки Губерли. Им указано присутствие платины у деревни Байказак в змеевиках, содержащих россыпи кускового хромита. Также им отмечаются железные руды в форме конкреционных бурых железняков.

В 1918 г. производилась добыча хромита в Халилове предпринимателем Голлером (данные Халиловского рудоуправления).

С 1922 г. происходит систематическая добыча хромита и магнезита объединением Губсиликат (Оренбург), Средневолжским горным трестом (Куйбышев) и Союзхромитом (Уфа).

М. О. Клер (15) в 1923 г. зафиксировал 15 месторождений магнезита на территории бывшей Оренбургской губернии, из них более крупное — Халиловское. Запас магнезита определен им в 16380 т.

А. Н. Гейслер (5) в 1924—1925 гг. дает краткие данные об условиях залегания магнезита Халиловского месторождения на площади 5 км².

Летом 1927 г. при разведке месторождений хромита была найдена в карьере 105 небольшая залежь пентландита, содержащая в руде до 24% никеля. Н. К. Разумовский (25) кратко описал эти жилородные шилы пентландита. В полированных шлифах им отмечается светлая и темносиреневая разности пентландита в тесном сростании и разное содержание в них никеля.

К. В. Поляковым 1928 г. открыто никель-гидросиликатное месторождение Айдербак (28).

Н. А. Шадлун в (1928 г. (30) описал геологическое строение месторождения пентландита карьера 105. Характер оруденения определен им как магматический сульфидный шил.

В. С. Коптев-Дворников (16) в 1930 г. описал Халиловское месторождение магнезита. В этой работе приводится 52 химических анализа магнезитов без учета CO₂ и H₂O. Эти месторождения исследователь относит к гидротермальным.

Н. С. Лаврович и Д. Я. Терсков (20) в 1931 г. при исследовании Халиловских месторождений магнезита составили геологическую карту магнезитоносной площади на правом берегу реки Б. Губерли. Змеевики ими подразделены на три типа: 1) плотные темнозеленые змеевики с баститом, 2) магнезитоносные змеевики и 3) выветрелые „кремнисто-скелетистые“ змеевики. Образование магнезита исследователи связывают с поверхностными и термальными процессами.

Г. Б. Бокий (3) в 1931 г. составил геологическую карту Халиловских железорудных месторождений, относимых им к латеритному типу выветривания гарцбургитов.

А. А. Глазковским и А. А. Смуриным (7) в том же году в обзоре „Минеральные ресурсы никеля СССР“ помещена небольшая заметка о Халиловском никель-гидросиликатном месторождении по данным вышеперечисленных работ.

Д. Г. Ульяновым (28) в 1932 г. совместно с коллективом авторов опубликованы результаты геологоразведочных и научно-исследовательских работ за 1928—29, 1930 и 1931 гг. по Халиловскому никель-гидросиликатному месторождению.

Взгляд этого коллектива авторов на петрологию пород и генезис полезных ископаемых Халиловского комплекса сводится в основном к следующей схеме (28, стр. 21—24 и 46).

В девонскую толщу порфиринов и кремнистых сланцев интродуцировала перидотитовая магма и образовала перидотитовый массив. В послед-

ний вторглась габбро-диоритовая магма в виде даек габбро-диорита, габбро-диабазы и габбро-пегматита. Остаточные ювенильные воды этой магмы служили агентами минералообразования при главной стадии серпентинизации гарцбургитов, вследствие чего образовался „первый плотный темный тип змеевиков“. Несколько позднее вторгаются дериваты кислой магмы—граниты, плагиоклазиты и др. Появление последних вызвало усиление гидротермальной деятельности и активизацию остаточных от серпентинизации растворов габбро-диоритовой магмы, при циркуляции которых происходит образование прожилков вторичного серпентина с пентландитом и жил „хромита“. При дальнейшем затухании и изменении режима вод термальных процессов происходит карбонатизация и окремнение змеевиков, таким образом создается единый генетический термальный цикл от хромита и пентландита к магнезиту и процессам окремнения.

В заключение привожу взгляд Д. Г. Ульянова и Е. Е. Захарова по вопросу образования гарниерита (28, стр. 46): „Другой никелевый минерал, гарниерит, кристаллизовался позднее сульфида никеля (пентландита) и его образование возможно объясняется исчезновением в составе термальных растворов серы. Конечная стадия гидротермального процесса характеризуется выпадением низкотемпературных кварца и опала, причем вследствие специфических условий района месторождений стирается граница между только что описанными образованиями и продуктами деятельности уже поверхностных вод.“

В пересчете данных весового количества MgO анализированного силикатно-никелевого агрегата на молекулярные количества Д. Г. Ульяновым допущена ошибка, вследствие чего результаты пересчета на минералогический состав даны неверно.

В. В. Доливо-Добровольский (9) в 1933 г. исследовал распределение никеля по минеральным составляющим Халиловской руды. К сожалению, интересная методика работы не сопровождалась минералогическими исследованиями при опытах выщелачивания никеля из руд, и поставленная задача не разрешена.

Орогидрография

Халиловские месторождения вышеуказанных полезных ископаемых находятся в районе ст. Халилово, в 60 км на запад от г. Орска и в 270 км на восток от г. Оренбурга. Географические координаты для ст. Халилово: $51^{\circ}30'$ с. ш. и $58^{\circ}10'$ в. д.

Гидрографическая сеть создана системой реки Б. Губерли, текущей в районе ст. Халилово с северо-запада на юго-восток и принимающей в себя мелкие речки и ручейки с правой стороны северо-восточного и левой стороны юго-западного румбов. Режим воды реки Б. Губерли весьма непостоянный. При весеннем таянии снега и также во время проливных дождей вода по открытой местности быстро скатывается в долину реки; уровень воды последней иногда поднимается на 2—3 м выше ординара. В сухое время года дебит воды реки Б. Губерли невелик.

В пределах долины реки Б. Губерли рельеф сильно холмистый (рис. 1), на водоразделах он представляет степное плато.

Наибольшие высоты рельефа правой и левой сторон реки Б. Губерли приурочены к силикатно-никелевым месторождениям Айдербак и Дюрт-Кель-Тюбе; эти высоты приблизительно одинаковы и определяются максимум в 390 м. Самая низкая точка эрозионной долины реки Б. Губерли лежит на 260 горизонтали. Таким образом, амплитуда рельефа составляет 130 м.

Современный рельеф создан эрозионной деятельностью реки Б. Губерли, размывшей осадочную свиту и проложившей себе русло в кристаллических породах. За пределами Халиловского массива (в Губерлинских горах) она имеет скалистые берега. Осадочная мезозойско-кайнозойская толща сохранилась на водораздельных пространствах, прикрывая древний пенеплен.

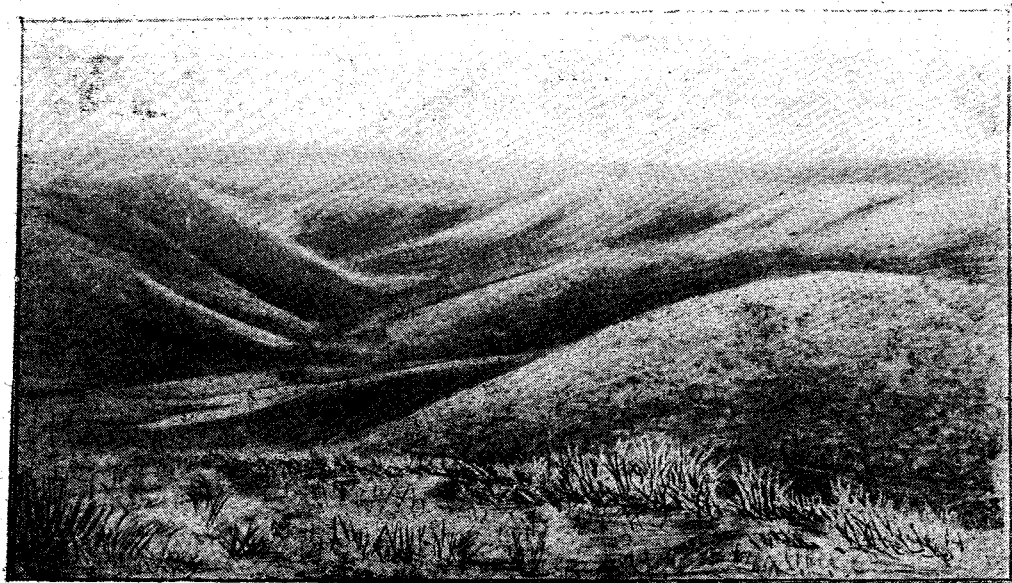


Рис. 1. Общий вид рельефа с Дюрт-Кель-Тюбе.

Характер рельефа также зависит от стойкости слагающих пород размытого мезозойского кристаллического темени к процессам эрозии. В отношении стойкости габбро-перидотитовые породы составляют определенную восходящую гамму (дунит, перидотит, диаллагит, габбро), обратную их генетической последовательности.

Доюрский пенепленизированный слабохолмистый рельеф находит свое отражение в развитии современного рельефа. Окремненные участки древней коры выветривания с трудом поддаются эрозии и нередко выступают в виде холмов на современном рельефе.

Весьма важным моментом, определяющим геоморфологию габбро-перидотитового массива, служит общий характер тектоники Ю. Урала, с меридиональным простираем главных слагающих его геологических образований.

Краткий геолого-петрографический очерк

Халиловский массив сложен глубинными интрузивными породами габброидной магмы и по времени образования относится к периоду уральской герцинской складчатости (средневерхнее карбоновое время).

Породы представлены ультраосновными и основными дифференциатами, принадлежащими к единому интрузивному телу, возрастная последовательность которых идет в порядке их основности, от дунитов к габбровым породам.

В центральной части массива слагающие породы залегают согласно друг к другу, их азимут простираения преимущественно северо-северо-восточный.

В основном массив сложен перидотитами — гарцбургитами, вмещающими в себе параллельные прерывистые полосы хромитоносных дунитов.

Выходы редких диаллагитовых пород приурочены к восточной левобережной части массива и как бы представляют небольшую кайму около перидотитов; с другой стороны, эти выходы контактируют часто с габбро-пегматитами.

Породы габбрового состава играют подчиненную роль к ультраосновным. На левобережье реки Б. Губерли выходы их представлены высокими расчлененными холмами, принадлежащими возможно одной мощной дайке меридионального простираения. На правобережье реки Б. Губерли изогнутая полоса (расчлененная дайка) преимущественно габбро-диабазового состава залегает дискордантно к вмещающим ультраосновным породам. Азимут простираения ее отклоняется от меридионального, к широтному.

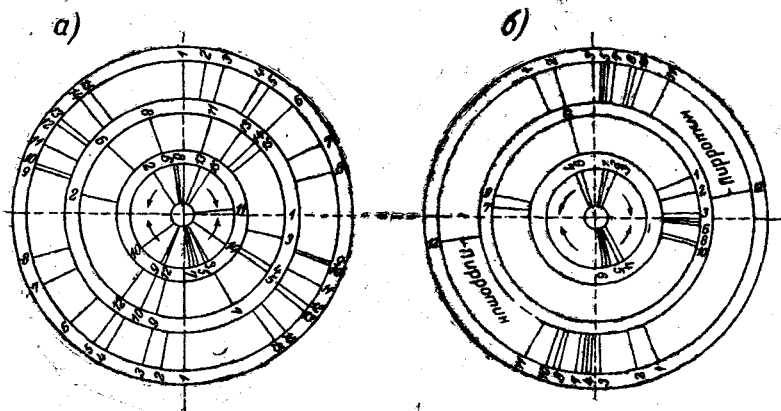


Рис. 2. а — элементы трещиноватости в змеевиках; б — элементы залегания рудных тел хромшпинелидов. В наружном широком круге показан азимут простираения. В среднем круге — азимут падения. В центральном круге — угол падения к горизонтальному вектору. Угол падения дается в одном румбе с азимутом падения. Простираение, падение и угол падения одного замера приводится под одним числом.

Ультраосновные породы разбиты трещинами трех систем.

Протомагматические трещины связаны с залеганием меридионально-линейновытянутых тел хромшпинелидов (рис. 2б).

Трещины северо-восточного и северо-западного простираения (в отдельных случаях их азимут отклоняется до широтного) относятся к трещинам натяжения или скалывания по классификации Клооса (рис. 2а).

Кроме того, в породах и особенно в рудных телах хромшпинелидов распространены мелкие сдвиги, сбросы, зеркала скольжения, брекчии, катаклаз и другие микротектонические явления.

Ультраосновная формация представлена дунитами, гарцбургитами, лерцолитами (редко) и диаллагитами. Эти породы в коре выветривания в разной степени озмеевикованы и представлены в той или иной мере измененными от свежих до окремненных продуктов выветривания их.

1. Абсолютно свежие дуниты не встречаются. В поверхностных условиях они представлены в разной степени измененными змеевиками, сохранившими текстуру материнской породы. Выходы дунитовых змеевиков встречаются в каждом хромшпинелидовом карьере. Они залегают в виде неправильных тел, линз и полос, согласно ориентированных с общим простираением массива.

Контакты дунитовых змеевиков с вмещающими их гарцбургитами наблюдаются двух типов. Или между ними существуют постепенные

переходы, или они разделяются резкими границами. В последнем случае дунитовые змеевики, обычно вмещающие залежи хромшпинелидов, смяты, раздроблены и замещены гипергенными продуктами. В них усиленно развита петельчатая, разных узоров, черная сеть вторичного магнетита. При лучшем доступе поверхностных вод они карбонитизированы и окремнены на большую глубину.

Свежие дунитовые змеевики черно-зеленого цвета; при выветривании они принимают окраску от зелено-желтой до буро-ржавой.

В составе дунитов и производных из них змеевиков определены эндотегенные минералы: хромшпинелиды, оливин, пентландит, пирротин, халькопирит (сульфиды рассеяны в виде мельчайшей пыли), магнетит, хризотил, антигорит, хлорит, родохром. В минералогическом отношении

озмеевикованные дуниты в главной своей массе представлены хризотилом и незначительно антигоритом.

Структура этих пород — петельчатая. Обычно от оливина сохраняются ядра — реликты, замещаемые серпентином. Породообразующие хромшпинелиды преимущественно идиоморфны. В редких случаях зерна имеют неправильные контуры, раздробленные и корродированные по периферии.

Одни исследователи черные непросвечивающие каемки зерен приписывают хромиту, а буро-красный просвечивающий их центр — пикотиту, т. е. зерно хромшпинелида

считается разного первичного состава. Другие исследователи черные каемки на хромшпинелиде считают за вторичные постмагматические продукты. При серпентинизации из хромшпинелида выносятся Mg, Al, Cr, и за счет их развивается венчик родохромхлорита, а хромшпинелид становится черным магнитным — феррихромитом.

Анализ серпентинизированного дунита с глубины 80 м из шахты 41, вмещающего крупную линзу хромшпинелидов, выполнен Фалеевым, НИС ЛГИ (табл. 1).

2. Перидотиты — гарцбургиты и производные из них змеевики являются более свежими, плотными, против дунитовых змеевиков. В поверхностной зоне они обычно буро-коричневого цвета, с глубиной переходят в темнозеленые. Эти породы порфириовидны за счет реликтов ромбического пироксена и псевдоморфоз по нему чешуйчатого бастита. Соотношение оливина и пироксенов в гарцбургитах весьма непостоянно: можно проследить постепенные переходы от дунитов до пироксенитов. По распространению они превалируют над всей совокупностью остальных кристаллических пород и слагают всю эрозионную долину реки Б. Губерли. В контактовых зонах с габбровыми

Таблица 1

	Вес %	Молекул. количество	Нормы состава и число- вая характеристика по А. Н. Заварицкому в %
SiO ₂	31,46	525	Pr = 0,29
TiO ₂	следы	—	c = 1,97
Al ₂ O ₃	1,97	020	mt = 6,50
Fe ₂ O ₃	4,79	028	cm = 1,23
Cr ₂ O ₃	0,84	005	cs = 1,72
CaO	1,10	020	fo = 70,38
MgO	40,49	1 013	fa = 1,63
FeO	3,32	046	
MnO	0,12	001	Сумма = 83,72
NiO	0,40	005	
CoO	0,02		
K ₂ O + Na ₂ O	следы		a : c : b : s =
P ₂ O ₅	0,04		= 0 : 0 : 69,5 : 30,5
V ₂ O ₅	нет		
S	0,15	004	
П. п. п.	15,21	844	
—H ₂ O	0,5		
Сумма	99,96		

породами они превращены в змеевиковые сланцы; в них развита магнетитовая сетчатость. Пироксен и бастит устойчивы по отношению к процессам выветривания; их чешуйчатая и таблитчатая спайная форма выделяется в разрушенном и полуразрушенном серпентиновом элювии; этим последние легко отличаются от дунитового элювия.

В составе серпентинизированных гарцбургитов под микроскопом определены эндотегенные минералы: хромшпинелид, магнетит, ильменит, мелкокрассеянные сульфиды (пирротин и пентландит), оливин, энстатит, моноклинный пироксен, хризотил, антигорит и хлорит. Пироксены по отношению к оливину ксеноморфны. Моноклинный пироксен встречается редко, 2V большое, угол погасания не превышает 18°, ближе подходит к псевдоромбическому энстатит-авгиту.

Таблица 2

Химический анализ озмеевикованного гарцбургита из района шахты 41 выполнен Фалеевым, НИС ЛГИ (табл. 2).

3. Пироксены - диаллагиты редки. Они приурочены к контактам ультраосновной формации с породами габбрового состава и залегают в виде маломощных полос. Диаллагиты — крупнокристаллические породы. Размеры отдельных кристаллов диаллага достигают 10 см. По сравнению с дунитами и гарцбургитами они более устойчивы при процессах выветривания. В них залежей Mg-карбонатов не встречается.

	Вес %	Молекул. количество	Нормы состава и число- вая характеристика по А. Н. Заварицкому в %
SiO ₂	40,94	682	il = 0,15
TiO ₂	0,11	1	ap = 0,34
Al ₂ O ₃	5,03	49	or = 2,22
Fe ₂ O ₃	4,94	31	ab = 9,43
Cr ₂ O ₃	0,39	2	an = 7,51
CaO	5,07	90	mt = 7,15
MgO	29,71	742	cm = 0,54
FeO	7,03	97	di { wo = 6,96
MnO	0,18	2	en = 4,50
NiO	0,26	3	fs = 1,98
CoO	0,14	1	hy { ln = 0,40
K ₂ O	0,42	4	fs = 0,26
Na ₂ O	1,16	18	ol { fo = 48,44
P ₂ O ₅	0,05	1	fa = 5,30
V ₂ O ₅	нет		
S	0,02		
П. п. п.	4,50		Сумма = 95,18
— H ₂ O	0,34		
Сумма	100,24		a : c : b : s = = 2,60 : 1,60 : 55,65 : 40,15

При микроскопическом исследовании в составе диаллагитов и их сланцев констатированы эндотегенные минералы: диаллаг, антигорит, хлориты, тальк (мало), магнетит, отдельные зерна ильменита, хромшпинелида и сульфидов.

Химический анализ слабо измененного диаллагита (порода с поверхности) выполнен Фалеевым, НИС ЛГИ (табл. 3).

Породы габбрового состава представлены следующими видами: габбро, габбро-диабаз, габбро-пегматит, габбро-диорит, габбро-амфиболит и плагиоклазит.

Петрологически они так близки, что нередко можно встретить всех представителей в одной дайке, и границы перехода между ними установить невозможно. Обычно наблюдаются в центре дайки лейкократовые разности, более близкие к габбро; к периферии дайки они переходят в более плотные и темные габбро-диориты и в редких случаях в габбро-амфиболиты.

4. Габбро — полнокристаллические массивные породы, по интенсивности окраски представлены от лейкократовых до меланократовых,

причем окраска их зависит часто от вторичных минералов (амфиболов, хлоритов). По текстурным особенностям различаются массивные и слоистые разновидности.

Микроскопически в составе габбро констатированы минералы: оливин, диаллаг, псевдоромбический пироксен, роговая обманка, плагиоклаз (№ 55—60), эпидот, цоизит, биотит, серицит, хлорит, апатит, ильменит, лейкоксен, магнетит, мелкозернистые пирротин, пентландит и халькопирит(?). Главные слагающие их компоненты — пироксены и плагиоклазы, остальные минералы второстепенные и акцессорные.

5. Габбро-диабазы. Дайка на правой стороне реки Б. Губерли залегает несогласно с общим простираем пород массива. Имеет секу-

щие зальбанды с перидотитами. По возрасту, возможно, относится к самым молодым дифференциатам габброидной интрузии. В карьере габбро-диабазы шарового сложения. Они секутся сетью мелких жилочек постмагматических минералов — пренита, пектолита, кальцита и др. В середине дайки порода среднезернистая, в зальбандах же мелкозернистая до афанитовой. Структура офитовая. В составе габбро-диабазов определены минералы: авгит, плагиоклаз (№ 40—60), роговая обманка, эпидот, биотит, хлорит, пренит, пектолит, кальцит, магнетит, пирит, гетит. Авгит амфиболизирован, плагиоклаз соссюритизирован (рис. 3).

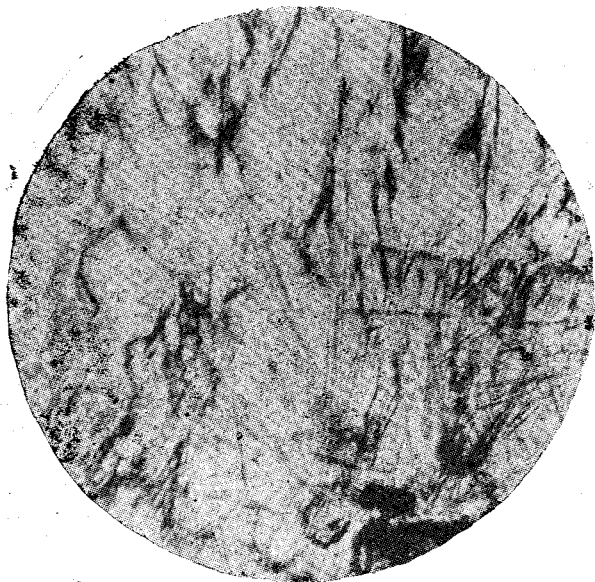


Рис. 3. Лучистые агрегаты игольчатого пектолита в прените с кальцитом. Увелич. 40.

Химический анализ мелкозернистого габбро-диабазы выполнен Фалеевым, НИС ЛГИ (табл. 4).

6. Габбро-диориты — среднезернистые до мелкозернистых породы темносерого до черного цвета. Это, вероятно, дейтерогенные породы, образовавшиеся в результате замещения в габбро пироксенов амфиболами. В трещиноватых и раздробленных зонах замещение происходит полностью, в плотных же участках роговая обманка образует каемки на авгитовых реликтах. Плагиоклаз значительно соссюритизирован и альбитизирован, в результате чего развивается зональная структура. В остальном минералогический состав пород идентичен габбро и габбро-диабазам.

7. Габбро-амфиболиты очень редки, они приурочены к контактной зоне даек габбровых пород. По минералогическому составу габбро-амфиболиты существенно отличаются от габбро-диоритов. В них параллельно с процессом амфиболитизации наблюдаются интенсивные изменения плагиоклазов. Бурая роговая обманка, обычная для габбро-диоритов, замещается зеленым амфиболом актинолитового ряда, плеохроирующим в зеленых цветах. Плагиоклазы соссюритизированы и местами обильно серицитизированы. Состав плагиоклаза соответствует альбито-олигоклазу № 28.

8. Габбро-пегматиты отличаются крупными размерами состав-

ных компонентов, особенно цветной части; кристаллы пироксенов достигают 10 см. В составе их определены минералы: пироксен (диаллаг), плагиоклаз, эпидот, цоизит, хлорит, серицит, актинолит, магнетит, тальк, хризотил, оливин (отмечается В. З. Коптевым-Дворниковым).

9. Плагиоклазиты—белые до светлосерых мелкозернистые породы, разбиты на параллелепipedальные отдельности по трещинам, близким ромбическо́й спайности гексагональных карбонатов. Выходят на поверхности мелкими грядами и куполами-сопками, из которых особенно оригинальные находятся к востоку от карьера 105 в полосе габбровых пород. В зальбандах наблюдается значительная вкрапленность остатков пироксенов и вторичных по отношению к ним цветных минералов, придающих породе порфировидную текстуру. В контактовой зоне с

Таблица 3

	Вес %	Молекул. количество	Нормы состава и число- вая характеристика по А. Н. Заварицкому в %
SiO ₂	47,62	793	il = 0,30
TiO ₂	0,14	2	ap = 0,54
Al ₂ O ₃	3,70	36	ab = 2,10
Fe ₂ O ₃	2,03	13	an = 8,90
Cr ₂ O ₃	0,26	2	mt = 3,20
CaO	19,76	352	cm = 0,40
MgO	18,87	472	wo = 36,77
FeO	3,87	54	en = 22,20
MnO	0,30	4	fs = 5,41
NiO	нет		fo = 17,50
CoO	нет		
K ₂ O	0,01		Сумма = 97,14
Na ₂ O	0,27		
P ₂ O ₅	0,07		
V ₂ O ₅	нет		
S	0,02		a : c : b : s =
П. п. п.	1,77		= 0,5 : 1,8 : 51,3 : 46,4
—H ₂ O	0,42		
Сумма	99,11		

плагиоклазитами змеевики рассланцованы и раздроблены (рис. 4).

В составе плагиоклазитов микроскопически констатированы минералы: плагиоклаз, пироксен, эпидот, цоизит, клинохлор, апатит, титанит, ильменит, лейкоксен, кальцит, арагонит, серицит и биотит.

Плагиоклаз составляет 85—90% от всей породы. Он в разной степени соскюритизирован, в проходящем свете серо-бурого цвета, полисинтетические двойники в большинстве утратились, периферия зерен замещается альбитом — олигоклазом; в редких случаях ядра зерен сохранили состав основного андезина. В трещинках плагиоклазитовой сопки на левом берегу реки Б. Губерли развиваются пелитовые продукты порошkovатого кальцита и каолинита(?), цементируемые опалом.

10. Серпентино-брусито-хлоритовые сланцы встречаются в экзоконтактовой зоне габбровых пород на левом берегу реки Б. Губерли и представляют небольшую оторочку измененных ультраосновных пород. На правом берегу прослежена узкая полоса их в зоне разработки Mg-карбонатов, симметрично залегающей с дайкой габбро-диабазы.

Главные эндотегенные минералогические компоненты: хризотил, антигорит, брусит, клинохлор, пеннин, тальк (ограниченно), магнетит, раздробленные зерна хромшпинелидов и реликты пироксенов.

11. Из магматических пород, прикрывающих габбро-перидотитовый массив и не принадлежащих к дериватам габброидной магмы, сохранились сопки измененных и окремененных порфиров на левом берегу р. Б. Губерли. Это плотные до мелкозернистых светлозеленого до темнозеленого цвета породы. Главная масса их состоит из порфировидных выделений полешпата и вкрапленности пироксена, замещаемого хлоритом и актинолитом. Они рассекаются сетью мелких жилок серо-белого кварца.

12. Кремнистые породы — плотные, темносерых цветов, по внешнему виду похожи на роговики. Отдельная сопка их встречена на левом берегу реки Б. Губерли, в восточной приконтактной зоне габбровых пород. Под микроскопом в породе слабо заметна порфировидная структура, с разветвляющейся сетью микрожилков вторичного кварца. Отдельные рудные изометрические вкрапления, иногда просвечивающие красным цветом, принадлежат мартиту(?). Ближе прироста этих пород мной не установлена. Они относятся к остаткам окремненных туфов или порфиров из кровли габбро-перидотитового массива.

Таблица 4

	Вес %	Молекул. количество	Нормы состава и число- вая характеристика по А. Н. Заварицкому в %
SiO ₂	47,64	794	il = 0,76
TiO ₂	0,45	5	ap = 0,34
Al ₂ O ₃	17,95	175	or = 7,23
Fe ₂ O ₃	2,24	15	ab = 18,34
Cr ₂ O ₃	0,05	—	an = 35,31
CaO	10,68	190	mt = 3,41
MgO	8,22	205	wo = 6,96
FeO	6,33	88	en = 9,50
MnO	0,10	1	fs = 3,30
NiO	следы	—	fo = 7,70
CoO	0,06	—	fa = 4,90
K ₂ O	1,22	13	
Na ₂ O	2,21	35	Сумма = 97,75
P ₂ O ₅	0,05	1	
V ₂ O ₅	нет	—	a : c : b : s =
S	0,01	—	= 6,85 : 9,05 : 27,45 : 56,65
П. п. п.	2,55	—	
— H ₂ O	0,5	—	
Сумма	100,35	—	

Под микроскопом в породе слабо заметна порфировидная структура, с разветвляющейся сетью микрожилков вторичного кварца. Отдельные рудные изометрические вкрапления, иногда просвечивающие красным цветом, принадлежат мартиту(?). Ближе прироста этих пород мной не установлена. Они относятся к остаткам окремненных туфов или порфиров из кровли габбро-перидотитового массива.

13, 14. На водораздельных плато кристаллическая свита прикрыта верхне-меловыми отложениями сеноманских мергелей, в осно-

вании содержащих юрский континентальный галечник, местами сцементированный в конгломерат. Мергели местами охарактеризованы фауной.

15. Мергель на поверхности высоких сопкок окремнен в своеобразные кварцитовидные породы, весьма сходные с кремнистым элювием змеевика. Эти немые разности отличаются от окремненных змеевиков отсутствием вкрапленности хромшпинелидов и структуры.

На рис. 5 графически изображено отношение окислов металлов в анализированных породах, за счет которых при выветривании создаются залежи экзогенных полезных ископаемых железа, никеля и Mg-карбонатов.

В отношении этих металлов, по данным анализов, замечается некоторая закономерность. Содержание Cr₂O₃ и NiO при переходе от дунитов к диаллагитам понижается. В дуните NiO : CoO = 20 (отношение нормально), а в гардбургите NiO : CoO = 2,6. В последнем содержание Со очень высоко; это вероятно, ошибка аналитического порядка. Содержание СоО в породах от

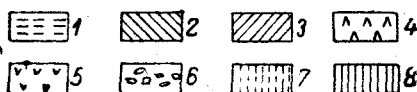
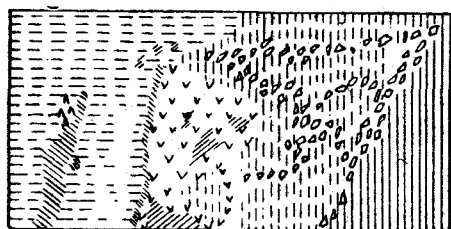


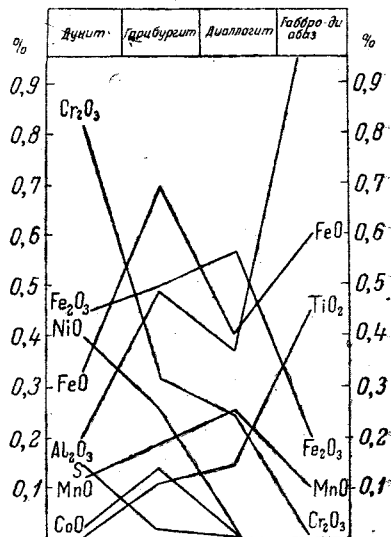
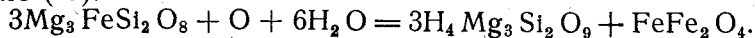
Рис. 4. Контакт плагиоклазита со змеевиком.

1 — обожженный сланцеватый змеевик; 2 — черный раздробленный змеевик; 3 — плотный черный змеевик; 4 — сланцеватый серо-зеленый змеевик; 5 — раздробленный серо-зеленый змеевик; 6 — брекчия плагиоклазита; 7 — трещиноватые плагиоклазиты; 8 — массивные плагиоклазиты. Масштаб 1 : 30.

дунита к диаллагиту повидимому меняется идентично с NiO. Содержание MnO и особенно TiO₂ имеет обратную тенденцию: их содержание в породах повышается при переходе от дунитов к диаллагитам и габбро. Высокое содержание окислов железа в гарцбургите по сравнению с таковым для дунита объяснимо тем, что большая часть Fe при кристаллизации дунита уходит в химическую связь с хромшпинелидами в шлировых скоплениях. Содержание MgO на диаграмме не показано, распределение его в анализированных дуните, гарцбургите, диаллагите, габбро-диабазе выражается отношением 4:3:2:1.

Судя по наличию залежей и мелко-вкрапленных сульфидов в Халиловском массиве, приходится считать, что кроме силикатов значительная часть никеля в первичных соединениях падает на сульфидные минералы.

Главная стадия серпентинизации проходила в период локализации габбровых пород, вследствие чего в экзоконтактовой зоне ультраосновные породы метаморфизованы в всерпентинохлоритовые сланцы.



Оливин { Серпентин → хлориты (редко)
Магнетит
Брусит (редко)
Са—Mg - карбонаты (мало)

Диаллаг { Черная рогеобманка¹ → зеленая
 ↓
 Хлориты
 Тальк (редко)
 Антигорит (редко)
 Са-карбонаты (редко)

¹ По диаллагу получается вторичная роговая обманка исключительно в габбровых породах.

При сопоставлении перидотитовых массивов Полярного, Среднего и Южного Урала резко наблюдается широтная, если можно так сказать, степень серпентинизации и выветривания их. Полярные перидотиты на дневной поверхности почти не серпентинизированы и претерпевают механическое разрушение. Дуниты Нижнего Тагила серпентинизированы на глубину до 400 м и в значительной степени затронуты процессами химического выветривания. На какую глубину распространяется серпентинизация в Халиловском массиве — вопрос пока открытый. Но здесь змеевиковый элювий полностью химически перерожден до конечных продуктов латеритного выветривания, за счет которых образовались экзогенные месторождения железа, никеля и Mg-карбонатов.

Характеристика эндотегенных месторождений

Месторождения хромшпинелидов. В Халилове известно 120 открытых карьеров и подземных выработок на хромшпинелиды. На поверхности они находятся на разных высотах рельефа. Более крупные промышленные залежи приурочены к низким частям рельефа эрозионной долины реки Б. Губерли.

Месторождения в массиве расположены группами, которые ориентированы в полосы северо-северо-восточного простиранья. При грубой схеме намечается шесть таких рудных полос. В них отдельные месторождения хромшпинелидов часто соединяются „проводниками“, узкими полосками карбонатизированных дунитов.



Рис. 6, 7 и 8. Залежи хромшпинелидов.

а—хромшпинелиды; б—карбонатизированный дунитовый змеевик, в—перидотитовый змеевик.

Месторождения хромшпинелидов генетически связаны с озмеевиком дунитами и редко с гарцбургитами, бедными пироксенами. В большинстве случаев мощность залежей определяется мощностью вмещающей дунитовой породы, т. е. в отношениях объемов их намечается прямая закономерность. В гарцбургитах же крупных залежей не встречается.

По характеру выполнения пространства хромшпинелидовые образования разделяются на сплошные, такситовые и вкрапленные; среди последних встречаются мелко-вкрапленные (рябчик) и нодулярные (карьеры 26 и 90).

Рудные тела хромшпинелидов имеют гнездообразные, шлировые (главным образом линзы), жилообразные и столбообразные формы залегания (рис. 6, 7 и 8).

Азимут простиранья линейно вытянутых рудных тел преимущественно северо-северо-восточный, только в отдельных месторождениях он отклоняется к западу (см. рис. 26). Падение рудных тел преимущественно восточное и крутое, $\angle 50-90^\circ$.

В одном и том же месторождении на разных горизонтах падение рудных тел иногда отклоняется от вертикального к западному и восточному.

Величина рудных тел весьма непостоянна. В крупных месторождениях констатированы линзы длиной до 50 м и до 5 м мощности в раз-
духах.

Отношение между залежами хромшпинелидов и их вмещающими породами определяется характером границ. Мелкие линзы, шлиры и тела вкрапленных руд постепенно переходят в боковую породу. Этим залежам свойственен сингенетический характер образования. Крупные линзы, столбообразные и жилообразные тела имеют резкие границы с вмещающими их породами. В то же время, в их взаимоотношениях отсутствуют разветленно секущие формы, подобные сложным жилам, которые свойственны эпигенетическим образованиям. Обычно эти рудные тела содержат мелкие сбросы, сдвиги, зеркала скольжения, расщепление и т. д. Хромшпинелиды в них брекчиевидны, нередко рассыпаются в порошок и в зоне коры выветривания сцементированы Mg-карбонатами.

По текстурным признакам руды хромшпинелидов разделяются на следующие типы: 1) однородные (от крупнозернистых до мелкозернистых), 2) брекчиевидные, 3) такситовые и атакситовые, 4) полосчатые (редко), 5) нодулярные и 6) сланцеватые (встречаются в приконтактной зоне с габбровыми породами).

Для сплошных, однородных хромшпинелидов характерна панидиоморфно-зернистая структура. Вкрапленные руды имеют гипидиоморфно-зернистую структуру; только в редких случаях корродированным или раздробленным зернам хромшпинелидов свойственны ангедральные формы.

В парагенезисе с хромшпинелидами встречаются эндотегенные минералы: оливин, энстатит, диаллаг, хромдиоксид, серпентин, хлориты, родохром, уваровит, магнетит, пентландит, пирротин. Хромшпинелиды к ним имеют эвгедральные формы.

В поверхностных условиях хромшпинелиды чрезвычайно устойчивы к процессам химического выветривания и сравнительно легко разрушаются механически. Мельчайшие пылинки блестящих черных хромшпинелидов рассеяны в глинистом и кремнистом элювии. В последнем из гипергенных минералов хрома редко встречается волконскоит.

Таблица 5

№ карьера	Содержание Cr_2O_3 в %	№ карьера	Содержание Cr_2O_3 в %	№ карьера	Содержание Cr_2O_3 в %	№ карьера	Содержание Cr_2O_3 в %
1	22,49	38	48,29	64	54,01	101	53,66
2	38,50—40,87	39	55,12	65	50,33—54,28	102	50,0
3	39,65—52,57	40	49,08	66	42,38—55,14	103	49,74
4	33,04—50,80	41	52,76—61,52	67	49,80—52,87	106	51,64
6	51,90	42	38,54	69	50,11—55,12	108	51,62
10	37,80	43	53,89	70	42,23	111	48,26
13	32,38	47	50,11—53,26	71	54,96—57,35	114	52,63
15	46,19—52,58	48	58,52—57,25	72	48,35	117	48,54
22	48,91—60,0	49	55,93	73	54,45		
23	40,69—44,81	51	45,09—47,68	79	48,30—50,62		
25	48,91	52	58,97	80	55,07		
28	54,92	55	39,80—58,21	81	50,67		
30	53,70—55,38	57	50,81—58,21	85	54,95		
34	31,14	59	50,11—58,92	90	20,62		
36	32,50—37,52	60	47,90—53,40	91	51,59		
37	31,05—48,39	61	51,21	92	50,62		

Собственно хромитов с содержанием 67,8% Cr_2H_3 не констатировано.

Химическая характеристика хромшпинелидов на содержание Cr_2O_3 приводится в табл. 5 (данные Халиловской лаборатории Союзхромита).

По запасам руды залежи хромшпинелидов весьма непостоянны, обычно запасы отдельных залежей исчисляются от единиц до нескольких десятков

Таблица 6

Год	Добыча в т	Год	Добыча в т	Год	Добыча в т
1922	279	1926	1995	1930	6000
1923	985	1927	3091	1931	7200
1924	1689	1928	5992	1932	7280
1925	8310	1929	1500		
				Всего	44 321

тонн. К выработанным месторождениям, содержащим более 50 т добытой руды, относятся карьеры: 8, 15, 28, 32, 60, 65, 88, 108, 114. Еще более крупные месторождения 6, 22, 41 и 59. Они эксплуатируются подземными работами при глубине шахт не больше

100 м. Запасы руды исчисляются десятками тысяч тонн. Карьеры 41 и 59 считаются самыми крупными по запасам хромшпинелидов в Халиловских месторождениях. Они открыты и разрабатываются с 1925 г.

По данным Халиловского рудоуправления добыча хромита по 1932 г. выражается в цифрах, приведенных в табл. 6.

О генезисе хромшпинелидов разными учеными создано несколько теорий (кристаллизационной дифференциации, ликвационной дифференциации, гидротермальная и другие — разбор их не входит в мою задачу), из которых Халиловским месторождениям наиболее рациональное объяснение дает теория А. Н. Заварицкого. Согласно взглядам последнего ученого, вкрапленные и мелкие аккумулятивные сегрегации (шлиры) хромшпинелидов образовались в первую фазу раскрысталлизации ультраосновной магмы. Крупные же линзовидно-жильные промышленные залежи с резкими границами по отношению к вмещающим породам считаются им более поздними образованиями. По времени выделения они относятся к концу кристаллизации дунита, т. е. на грани стадий магматической с пневматолитовой.

А. Г. Бетехтин подобного рода образования называет гистеромагматическими, а нодулярную текстуру хромшпинелидов объясняет ликвацией остаточного рудного расплава (рис. 9).

Железо-никелевые сульфидные месторождения. Месторождения железо-никелевых сульфидных сплошных руд в Халилове известны пока в трех точках на левом берегу реки Б. Губерли, расположенные друг от друга в дистанции $2\frac{1}{2}$ км.

1. Пентландитовая залежь в карьере 105 открыта в 1927 г. Месторождение приурочено к рассланцованным змеевикам приконтактовой зоны с габбровыми породами. В разрезе карьера вмещающие



Рис. 9. Нодулярный хромшпинелид (черные шарики) в серпентинизированном оливине. Увелич. 5.

рудное тело перидотитовые змеевики неравномерно рассланцованы и смяты. Местами они превращены в мелкую сланцеватую чешуйку и под действием поверхностных агентов значительно карбонатизированы и выщелочены. В бортах карьера среди чешуйчатых сланцев сохранились округленные штуфы пятнистого слабо серпентизированного гарцбургита. По сланцеватости и трещиноватости змеевиковых сланцев развивается сеть мелких жилочек гипса, кальцита и джиобертита с гидромагнетитом.

По описанию Н. К. Разумовского, пентландитовая залежь представляла жилородные шпильки колчедана в черных смятых серпентинитах длиной 30—40 см и шириной до 10 см. В зеленом ореоле выветривающихся черных змеевиков в бортах карьера развиваются примазки экзогенных минералов, среди которых мною определены: гарниерит, ревдинскит, хризоколл, царцит, гипс и вышеуказанные Са-Mg-карбонаты.

Текстура пентландитовой руды брекчиевидна-петельчатая и местами сланцеватая (рис. 10). В рудных шпильках определены минералы, расположенные здесь в порядке их генетической последовательности: хромшпинелид, пентландит, халькопирит, виоларит, миллерит, магнетит.

Н. К. Разумовский в описании этих руд указывает две разновидности пентландита, различаемые им по цвету и способности полироваться. Фиолетово-белая разновидность, наблюдаемая мною в одном шлифе, развивается по пентландиту. Я склонен относить ее к виолариту(?).

Хромшпинелид — эвгедральнo-катаклазированные зерна с ямчатой неровной поверхностью, по трещинам цементируется серпентином и магнетитом (вторичным).

Пентландит — ангедральнo-зернистый, в отдельных зернах наблюдается средняя спайность, к хромшпинелиду ксеноморфный, по трещинам цементируется серпентином и магнетитом (вторичным).

Халькопирит — отдельные мелкие и редкие ангедральные зерна.

Магнетит — петельчатые мелко-кристаллические вторичные образования, расположенные в трещинках первичных рудных минералов и серпентина.

Миллерит — очень мелкие петельчатые дендритовидные выделения в трещинах измененного пентландита, заметны при большом увеличении (рис. 11).

2. Месторождение пентландита Уша-Узбой расположено в 2,5 км на северо-запад от карьера 105. По данным Д. Г. Ульянова, оно представлено мелкой вкрапленностью пентландита с зернами хромита в серпентине приконтактной зоны с габбро-диабазом. Генетически совершенно идентично с месторождением карьера 105.



Рис. 10. Пентландитовая руда; текстура брекчиевидна-петельчатая. В центре шершавое зерно хромшпинелида, светлое — пентландит, темные пятна — серпентин, вокруг зерен хромшпинелида и пентландита каемки вторичного магнетита. Увелич. 80.

3. В карьере 59 впервые мною обнаружен пирротин, который раньше принимался за пирит. Горными работами в старой северной шахте сульфидное тело пересечено на 36 и 32 горизонтах северного штрека. В последнем пирротиновая залежь представляет жило-линзовидное тело, мощностью 5—20 см (рис. 12.) Элементы залегания непостоянны; произведены замеры: азимут простирания СВ 80°, падение СЗ 350° $\angle$ 60°.

В зальбандах вмещающие залежь пирротина черные змеевики расланцованы в желвачные формы и в лежащем боку очень слабо асбестированы (встречаются микрожилки). В центре жило-линзы пирротин плот-

ный, по периферии переходит в вкрапленный, на рудном теле развиты зеркала скольжения и микротектонические трещинки.

Миаролитовые пустотки в рудном теле, свидетельствующие о скоплении газов в сульфидном расплаве, заполнены мелкочешуйчатым пирротинном, землистыми примазками графита, среди которых обнаружено несколько тонких иголочек марказита и зерно самородной меди. Стенки пустот местами покрыты блестящими слегка зеленоватыми мелкими кристаллами демантоида.

В штабеле руды в штреке найден штупф, в котором жилка пирротина мощностью 4 см сечет сплошной хромшпинелид (рис. 13). В зальбане штупфа черный блестящий раздробленный хромшпинелид рассыпается в крупку. В жиль-

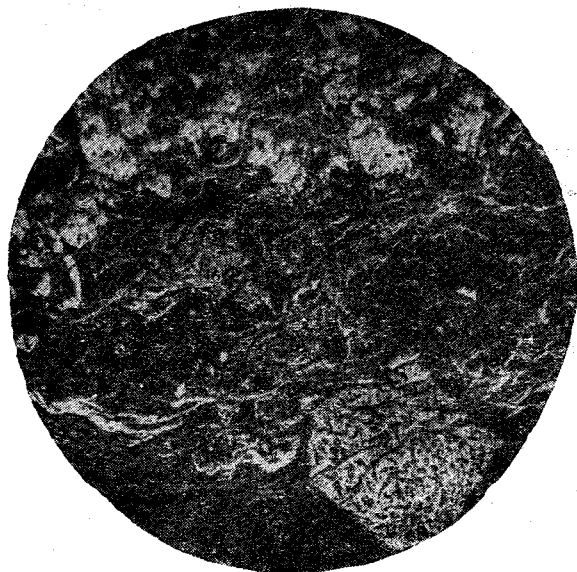


Рис. 11. Пентландитовая руда. Темное — серпентин, светлое — шершавое зерно хромшпинелида. Пентландит (светлое) по петельчатости замещается миллеритом. Увелич. 80.

ной части брекцию хромшпинелида цементирует пирротин с серпентинитом и их сечет микросеть магнетита.

Текстура пирротиновой руды массивно-брекчиевидная и крупно-вкрапленная в серпентините. Трещинки выполнены черным серпентинитом и магнетитом (рис. 14).

Рудный минералогический состав в последовательности их выделения: хромшпинелид, пирротин, пентландит, халькопирит, магнетит, чешуйчатый пирротин и самородная медь. Хромшпинелид эвгедральный, обычно кристаллы с неправильными контурами, часто раздроблены, трещинки в нем заполняются пирротинном, серпентином и вторичным магнетитом.

Пирротин — ангедральный, раздробленный, цементируется серпентином и магнетитом.

Пентландит — обнаружено несколько неправильных зерен.

Халькопирит — исключительно мелкие ангедральные включения в пирротине.

Магнетит — вторичный, одновременно с серпентином выполняет трещины в хромшпинелиде, пирротине и серпентине. Из описания сульфидных залежей руд можно констатировать: разнофазность образования шпир хромшпинелидов и первичных сульфидов. Хромшпинелид кристаллизовался первым, согласно разобранный раньше схеме. Сульфиды образовались до серпентинизации перидотитов.

Магнетит в петельчатых скоплениях — вторичный минерал, образовавшийся в период серпентинизации перидотитов.

4. В большинстве просмотренных отраженных шлифов наблюдалась мельчайшая вкрапленность сульфидов (пирротин, пентландит, халькопирит) в хромшпинелидах, серпентинизированных дунитах и гарцбургитах из карьеров 6, 9, 15, 20, 26, 41, 42, 44, 49, 59, 88, 90 и др. Вкрапленные сульфиды также фиксированы в диаллагите и габбровых породах из сопки к востоку от карьера 105.

Мелкая вкрапленность сульфидов в шлифах заметна при большом увеличении микроскопа. Обычная величина зерна 0,01—0,001 мм и меньше. К хромшпинелидам и силикатам они ангедральны, неправильные вроски их расположены между кристаллами первых или распылены в силикатах. В кристаллах хромшпинелидов включений сульфидов не встречается. Ориентировочный подсчет зерен в шлифах показал, что дуниты как будто обладают повышенной сульфидностью в сравнении с гарцбургитами.

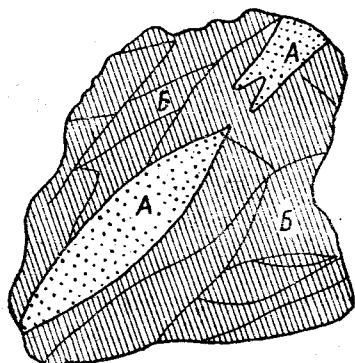


Рис. 12. Залежь пирротина.
А — пирротин; Б — змеевик.
Масштаб 1:25.

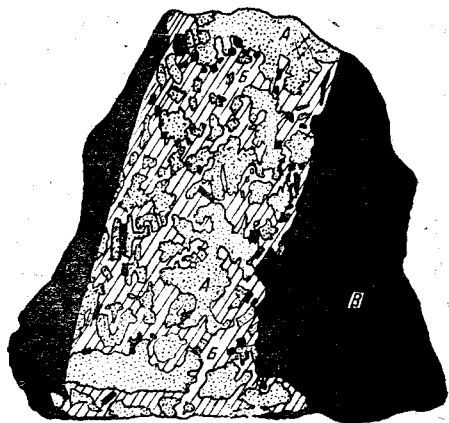


Рис. 13. Жилка пирротина в хромшпинелиде.

А — пирротин; Б — змеевик с брекчией хромшпинелида; В — хромшпинелид. Масштаб 1:2.

Нормальные отношения пентландита к пирротину¹ для месторождений Канады и Норвегии составляют от 1:15 до 1:20. В отдельных округах месторождений Южной Африки отношение выражается 1:1. В указанных месторождениях пентландит выделяется после пирротина. Весьма любопытно пока по имеющимся данным в Халилове отношения пентландита к пирротину. В карьере 105 имеем пентландит без пирротина. В карьере 59 (на расстоянии 0,5 км) имеем никеленосный пирротин с акцессорными включениями пентландита.

Из этих данных можно заключить, что порядок выделения пирротина и пентландита зависит от концентрации никеля в расплаве. Из насыщенного никелем расплава первым выделяется пентландит, а из слабого — никеленосный пирротин, при распаде в твердом виде выделяющий вторичный пентландит.

При эпимагматическом изменении первичные сульфиды распадаются:

Пентландит $\begin{cases} \rightarrow \text{виолярит (?)} \\ \rightarrow \text{миллерит} \end{cases}$

Пирротин $\rightarrow$ марказит

Халькопирит $\rightarrow$ самородная медь (акцессорно)

¹ В. А. Обручев, Рудные месторождения, изд. 2, 1934.

При кристаллизации силикатов мелкие капельки ликвированной сульфидной магмы частично затвердевают вкрапленниками (могут быть

величиной до пирозолей) в силикатах. Остаточный сульфидный расплав концентрируется в жидкостные шилы, которые кристаллизуются позднее силикатов в форме широ-линз (пентландитовая залежь) или выжимаются по трещинам и затвердевают в эпигенетических залежах (инъекционные жилы-линзы пирротина).

Остаточный сульфидный расплав обогащается летучими составными частями (возможны H , CH_4 , H_2S , CO_2), под влиянием которых в эпимагматическую фазу возникают минералы миаролитовых пустот: чешуйчатый пирротин, марказит, демантоид, графит, самородная медь (повидимому, восстанавливается из халькопирита). Остаточные пары и вода сульфидных сегрегаций метаморфизуют вмещающие перидотиты в черный змеевик.

Черный цвет змеевиков зависит от мелко-рассеянного магнетита.

Месторождение магнетита. К северо-западу от карьера 105 встречаются

мелкие линзовидные скопления плотного магнитного железняка. Они не представляют практического интереса, но не исключена возможность нахождения аналогичных крупных линз магнетита в серпентинитах. Мощность рудных линз-жилочек не превышает 20 см. В сплошных штуфах магнетита встречаются миндалины с октаэдрическими кристаллами его. Иногда эти пустотки заполнены плотным ромбоэдрическим кальцитом. Штуфы магнетита из россыпи покрыты зелено-голубыми примазками хризоколлы и бурого железняка. Структура руды магнетита—петельчатая замещения. В шлифе от темносерого хорошо полирующегося магнетита сохранились отдельные крапчатые островки; он метасоматически

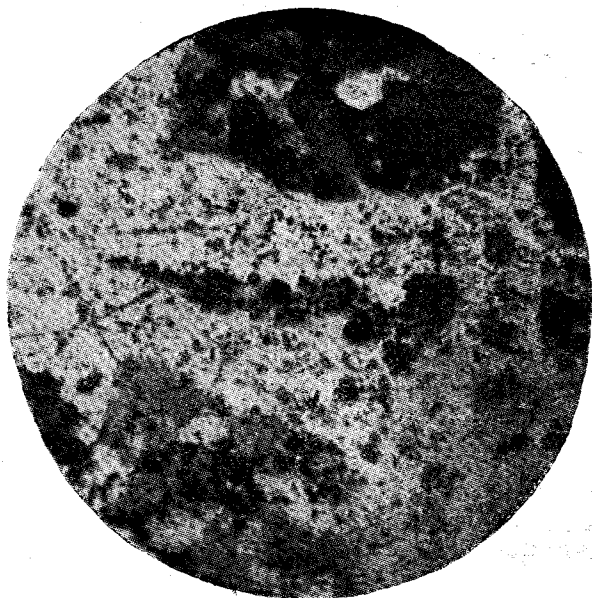


Рис. 15. Плотная руда магнетита: черные пятна серпентина, темносерые островки магнетита замещаются светлосерым гематитом (мартитом); халькопирит—отдельные белые неправильные зерна. Увел. 240.

замещается светлосерым гематитом, переходящим в бурый железняк. Метасоматическое замещение магнетита проходит не по спайности (111), как это наблюдается при мартитизации. По описанию Шнейдерхона магнетит окисляется в магхемит (кубическая магнитная разность Fe_2O_3). Поэтому для окончательного разрешения вопроса необходимо рентгенометрическое исследование вторичных продуктов магнетита.

В форме мелких вкрапленников в магнетите и продуктах его окисления встречается халькопирит (рис. 15). Качественной пробой в магнетите констатирован ванадий и титан (см. табл. 8). На основании примеси последних можно считать магнетит высокотемпературным образованием, т. е. фувивно-магматическим.

Эндотегенные минералы ¹

Элементы

* Медь, Си. Отдельное неправильное зерно вместе с графитом отмечено в миаролитовой пустотке пирротиновой залежи.

* Графит, С. Землистые примазки встречаются в миаролитовых пустотках пирротиновой залежи.

Сульфиды и сульфосоли

* Пирротин, FeS . Из карьера 59 плотный пирротин томпаково-бурого цвета, в свежем изломе на воздухе быстро тускнеет, обладает магнитными свойствами.

Химический анализ отобранного под лупой плотного пирротина выполнен М. М. Стукаловой, ЦНИГРИ (табл. 7.).

Таблица 7

	Вес %	Молекул. количество	Примечание
Cu	0,09	0,0015	Медь входит в состав халькопирита. Ni, Со—изоморфные примеси в пирротине и мелком вторичном пентландите. Избыток металлов против серы объясняется прорастанием пирротина магнетитом, на долю которого приходится кислородное железо
Ni	0,13	0,0025	
Co	0,19	0,0030	
Fe	62,86	1,1257	
S	35,13	1,0961	
As	нет		
V	нет		
Сумма . .	98,40		

Спектральный анализ ² показал в пирротине следы Ag и Pt. Чешуйчатый пирротин из миаролитовых пустот немагнитен и не содержит никеля.

Пентландит (Fe, Ni) S. Зернисто-ангедральные агрегаты, величина зерна не превышает 1 мм. Цвет томпаково-бурый, в отраженном свете кремово-белый, заметна средняя октаэдрическая спайность. Замещается фиолетового цвета виоляритом (?) и миллеритом.

¹ Минералы, отмеченные знаком *, в месторождении мною указываются впервые.
² Спектральные анализы на благородные металлы выполнены в ЛХТИ им. Ленинградского совета.

Анализом М. М. Стукаловой (25) для пентландитового агрегата дается состав:

$\text{Cu} = 0,9\%$
 $\text{Fe} = 18,95\%$
 $\text{Ni} = 24,29\%$ $\text{NiS} : \text{FeS} = 2,2 : 1$
 $\text{S} = 19,2\%$
 $\text{As} = 1,0\%$

Спектральным анализом отмечаются следы Ag и Pt.

* Миллерит, NiS . Вторичные микроволосистые образования в трещинках пентландита заметны при большом увеличении.

* Виолярит, $(\text{Ni}, \text{Fe})_3\text{S}_4$. Продукт замещения пентландита. В отраженном свете кремово-фиолетового цвета, заметна кубическая спайность.

* Марказит, FeS_2 . Мелкие иголки в миаролитовых пустотках и трещинках в залежи пирротина. Вторичный минерал по пирротину.

Пирит, FeS_2 . Мелкие кристаллики встречаются в габбро-диабаз (диоритовые карьеры).

Халькопирит, CuFeS_2 . Микроскопически ангедральные вкрапления в залежах пентландита, пирротина, плотном магнетите и перидотитах.

Окислы

Циркон, ZrSiO_4 . Акцессорные включения циркона в плагиоклазитах указываются Коптевым-Дворниковым.

Кварц, SiO_2 . Включения и жилки серого и молочно-белого кварца встречаются в порфиритах.

Карбонаты

Кальцит, CaCO_3 . К эндогидатогенному генезису относятся кальциты в жилах габбро-диабаз, в миаролитовых пустотках наблюдаются залежи магнетита. Они представлены зернистыми агрегатами бело-серого цвета.

Арагонит, CaCO_3 . В габбровых породах и серпентинитовом элювии арагонит относится к разному генезису и различается характером агрегатов. Арагонит в габбровых породах и контактах их с ультраосновными породами эндогидатогенного происхождения. В плагиоклазитовой сопке (к востоку от карьера 105) арагонит тонкоигольчатый, в шестовато-слоистых агрегатах, иногда замещается кальцитом. Чаще же представляет друзы-щетки мелких кристаллов.

Фосфаты

Апатит (вероятно, хлорапатит). Акцессорный минерал, встречается в габбровых породах, определим микроскопически. Идиоморфные серо-зеленоватые игольчатые кристаллики с поперечной трещиноватостью оптически отрицательны.

Алюминаты, ферриаты и хроматы

Магнетит, FeFe_2O_4 . Магматический первичный магнетит описан в обзоре полезных ископаемых.

Химический анализ плотного магнетита выполнен в лаборатории НИСа ЛГИ Фалеевым (табл. 8).

	Вес %	Молекулярное количество	Пересчет на молекулярный состав			Кремнистый остаток	Примечание
			FeFe_2O_4	FeCr_2O_4	Fe_2O_3		
SiO_2	0,72	0,011	—	—	—	0,011	Fe_2O_3 отвечает мартиту
TiO_2	следы	—	—	—	—	—	
Fe_2O_3	77,07	0,459	0,354	—	0,105	—	
Cr_2O_3	0,39	0,004	—	0,002	—	—	
V_2O_5	следы	—	—	—	—	—	
FeO	25,55	0,356	0,354	0,002	—	—	
ZnO	следы	—	—	—	—	—	
$-\text{H}_2\text{O}$	0,18	0,044	—	—	—	0,044	
Сумма . .	99,91	—	82,13%	0,6%	16,28%	0,90%	

Вторичный магнетит образуется при эпимагматическом изменении ультраосновных пород. Кристаллики магнетита в виде мелкодисперсной пыли пропитывают змеевики (больше дунитовые), придавая им черную окраску, или скопляются по трещинкам в петельчатые черные образования (рис. 16).

Хромшпинелиды, $(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$. По характеру агрегатов хромшпинелиды разделяются на плотные, вкрапленные, нодулярные, брекчиевидные, порошковатые, черные магнитные каемки и рассеянная пыль в серпентине. По данным двух анализов, согласно классификации хромшпинелидов А. К. Болдырева, мною установлены две разновидности хромпикотита.

Химический анализ плотного черного блестящего феррихромпикотита из карьера 41 выполнен в лаборатории НИС ЛГИ, Фалеевым (табл. 9).

Химический анализ плотного хромпикотита из карьера 59 дан в табл. 10. Данные извлечены из архива Халиловской лаборатории за № 296, аналитик неизвестен.

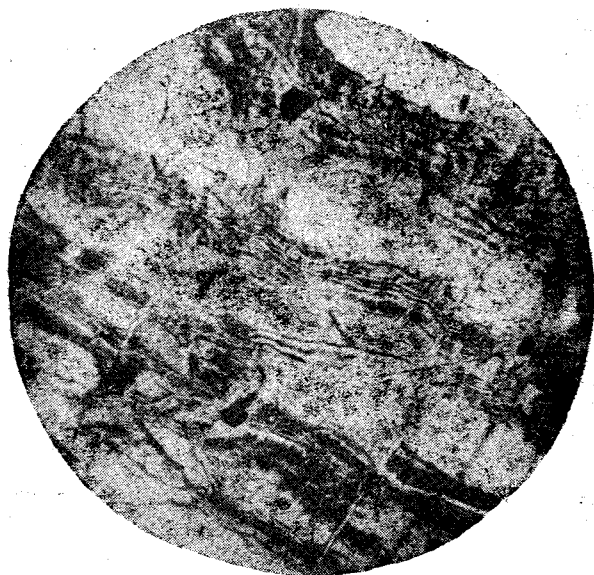


Рис. 16. Полосчато-сетчатые скопления вторичного магнетита в серпентините. Крупные черные зерна — породообразующего хромшпинелида.
Увелич. 15.

Силикаты

Оливин, $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ (маложелезистый). Обычно сохранились реликтовые ядра в дунитовых и гарцбургитовых змеевиках. Для более свежих зерен $Ng-Np = 1,708 - 1,672 = 0,036$; $2V = +86^\circ$.

Таблица 9

	Вес в %	Молекулярное количество	Пересчет на шпинели				FeTiO ₃	Оливиновый остаток	Молекулярные отношения шпинелей в феррихром-пикотите
			MgAl ₂ O ₄	MgCr ₂ O ₄	FeCr ₂ O ₄	FeFe ₂ O ₄			
SiO ₂	1,72	0,029	—	—	—	—	—	29	—
TiO ₂	0,12	0,001	—	—	—	—	—	—	13 MgAl ₂ O ₄
Al ₂ O ₃	15,54	0,152	152	—	—	—	1	—	—
Cr ₂ O ₃	50,52	0,332	—	195	137	—	—	—	17 MgCr ₂ O ₄
Fe-мет.	11,63	0,207	—	—	137	69	1	—	—
CaO	1,71	0,030	—	—	—	—	—	30	12 FeCr ₂ O ₄
MgO	15,03	0,375	152	195	—	—	—	28	—
MnO	нет	—	—	—	—	—	—	—	2 FeFe ₂ O ₄
NiO	следы	—	—	—	—	—	—	—	—
ZnO	следы	—	—	—	—	—	—	—	—
— H ₂ O	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	96,27	—	21,60%	37,50%	30,70%	5,340%	0,150%	4,560%	—

Энстатит, (Mg,Fe)₂ (SiO₃)₂. В малоизмененных гарцбургитах встречаются кристаллы до 1 см. Обычно составляет центры в бастите, который замещает энстатит с периферии. 2V = +75—80°. Погасание прямое, в отдельных случаях угол погасания достигает 18° (псевдоромбический энстатит-авгит?).

Гиперстен, (Mg,Fe)₂ (SiO₃)₂. Отмечает В. С. Коптев-Дворников в габбро.

Диаллаг — в крупных кристаллах на плоскостях отдельности (100) перламутрового блеска. В плотных массах изменен в пироксклерит (?).

Авгит — в габбро-диабазе имеет $Ng \wedge [001] = 45,5^\circ$; 2V = +44,5°.

Роговая обманка. В габбро-диоритах составляет кокардовые каемки по авгиту или нацело их замещает. Буро-черного цвета, плеохроизм по Ng — густокоричневый, Nm — светлокоричневый; $Ng \wedge [001] = 17^\circ$.

Таблица 10

	Вес %	Молекул. количество	Пересчет на шпинели			Кремнист. остаток (серпентин?)	Молекулярные отношения шпинелей в хром-пикотите
			MgAl ₂ O ₄	MgCr ₂ O ₄	FeCr ₂ O ₄		
SiO ₂	2,70	0,045	—	—	—	45	—
Al ₂ O ₃	12,96	0,127	127	—	—	—	2 MgAl ₂ O ₄
Cr ₂ O ₃	53,48	0,352	—	139	213	—	—
FeO	14,41	0,200	—	—	200	—	2 MgCr ₂ O ₄
MnO	0,92	0,013	—	—	13 ¹	—	—
MgO	11,66	0,291	127	139	—	25	3 FeCr ₂ O ₄
П. п. п.	3,10	—	—	—	—	3,10	—
Сумма	99,23	—	18,1	26,8	47,6	6,80	—

¹ Карьеры 41 и 59 смежные; в первом более точном анализе феррихромпикотита MnO нет. Наличие MnO в большом количестве в этом анализе — результат, вероятно, аналитической ошибки, поэтому MnO пересчитан на эквивалентное количество FeO.

В амфиболитах роговая обманка замещается зеленым амфиболом актинолитового ряда.

Актинолит, $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})_3 (\text{SiO}_3)_4$. Микроскопические игольчатые кристаллики плеохроируют в бледнозеленых тонах, $\text{Ng} \wedge [001] = 16^\circ$.

Серпентин, $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$. Серпентиниты Халиловского массива морфологически весьма разнообразны. Это различие зависит от характера материнских пород, разного генезиса и гипергенного изменения их. По генезису серпентиниты разделяются на пневмо-эндо-гидатогенные и экзогидатогенные. На долю последних, согласно В. И. Вернадскому,¹ приходится большая часть. Они представлены образованиями слабо кристаллическими и нередко аморфными по оливинам и баститам по пироксенам.

Кратце рассмотрим все найденные разновидности серпентина.

Хризотил — самый распространенный минерал из этой группы, замещает оливин в форме петельчатых образований. Удлинение $+$, знак $+$. N колеблется в значительных пределах.

Асбест — спорадически встречается в мелких жилах и микротрещинках, длина волокон до 1 см.

Офит — зелено-желтоватая плотная, просвечивающая разность хризотила, чаще встречается в залбандах залежей хромшпинелидов. В парагенезисе с офитом наблюдаются повышенное скопление порошковатого гидромагнетита. В большинстве слабо действует на поляризованный свет и нередко аморфный. N снижается до 1,546. Изотропные восковидные офиты представляют переходные виды к нонтронитам, скорее обязаны поверхностным процессам.

Вильямсит — офитовидная зеленая разность хризотила, значительно содержащая никель. $N = 1,556 - 1,564$.

* Пикролит — толсторубцеватая разность хризотила, серо-зеленого цвета. Развивается в зонах нарушений по стенкам [в трещинах] змеевиков. Удлинение $-$, знак $-$. N меняется.

* Метаксит — очень редкий минерал, встречается в [условиях, аналогичных] пикролиту; отличается от последнего радиально-лучистыми агрегатами. Удлинение $-$, знак $-$. N непостоянный.

Антигорит — плотная слобатаблитчатая разность серпентина, встречается в приконтактах с габбровыми породами (возможно по диалягиту), доминируют темнозеленые цвета. Под микроскопом состоит из пакетобразнопогасающих пластинок (рис. 17). Знак $+$. N колеблется от 1,566 до 1,570.

Бастит — псевдоморфоза серпентина по энстатиту, макроскопически от него отличается низкой твердостью. Представляет чешуйчатые

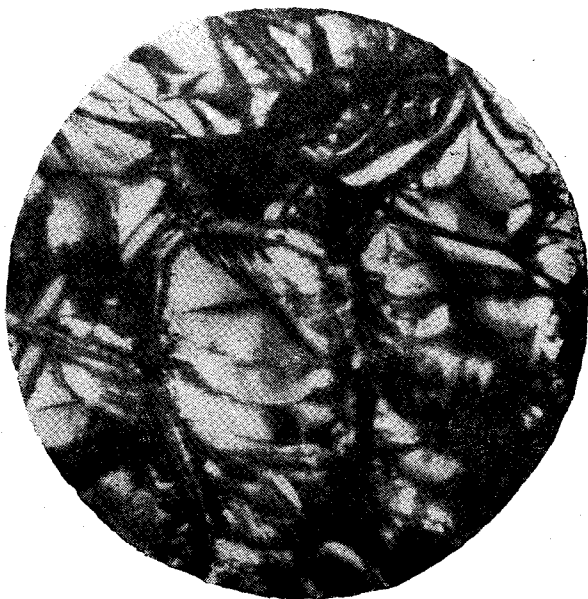


Рис. 17. Пакетообразно погасающий антигорит при скрещенных николях Увелич. 80.

¹ В. И. Вернадский, Минералогия, 1912.

с перламутровым блеском порфирировидные вкрапленники в озмеевиконных гарцбургитах. Серая интерференционная окраска, прямое погасание, удлинение +, знак +. Бастит является поверхностным образованием.

Термическому исследованию подвергнуты следующие разновидности серпентинита (рис. 18).¹

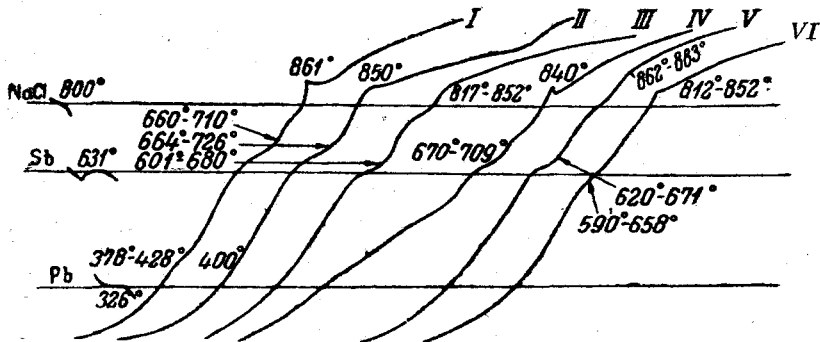


Рис. 18 Кривые нагревания серпентинов и хлорита.

I. Плотный темнозеленый серпентинизированный дунит, состоящий из реликтов оливина и петельчатого хризотила.

II. Плотный серо-коричневый серпентинизированный гарцбургит, состоящий из реликтов энстатита, хризотила и бастита.

III. Серо-зеленый плотный офит, слабо действующий на поляризованный свет.

Таблица 11

Объяснительная таблица кривых нагревания серпентинитов (к рис. 18)

№ кривой	Эндотермические остановки		Экзотермические остановки		Остановка	Тип остановки
	Начало	Конец	Начало	Конец		
I	378°	428°	—	—	Средняя	Бруситная
	660°	700°	—	—	Большая	Серпентиновая
	—	—	—	861°	Слабая	Муллитовая
II	400°	—	—	—	Оч. слабая	Бруситная
	666°	725°	—	—	Большая	Серпентиновая
	—	—	—	850°	Средняя	Муллитовая
III	601°	680°	—	—	Большая	Серпентиновая, от примеси снижена
	—	—	817°	852°	Средняя	Муллитовая
	670°	709°	—	—	Большая	Серпентиновая
IV	—	—	—	840°	Большая	Муллитовая
	620°	671°	—	—	Средняя	Серпентиновая, от примеси снижена
	—	—	862°	883°	Слабая	Муллитовая
V	590°	656°	—	—	Большая	Серпентиновая, от примеси снижена
	—	—	812°	852°	Средняя	Муллитовая
	—	—	—	—	Средняя	Муллитовая

¹ Кривые нагревания серпентинов, хлоритов и бурых железняков записаны в лаборатории ЦНИГРИ; обработка их принадлежит автору.

IV. Серо-зеленый волокнисто-рубцеватый пикролит.

V. Плотный слаботаблитчатый антигорит.

VI. Плотный серо-зеленый чешуйчатый хлорито-серпентиновый сланец.

Типичные эндотермические бруситную и серпентиновую остановки в одних и тех же образцах дает свежий хризотилковый серпентин I и II.

На всех кривых нагревания имеется эндотермическая серпентиновая остановка; в измененных образцах серпентинов ее температурный интервал понижается.

На всех кривых нагревания экзотермическая муллитовая остановка одного типа; она аналогична остановкам на кривых нагревания галлузита, нонтронита и волконскоита.

Тальк, $\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$. В Халиловском серпентиновом массиве является редким минералом, что указывает на слабую минерализацию кремнекислоты при серпентинизации перидотитов.

* Демантоид, $\text{R}_3''\text{R}_2''(\text{SiO}_4)_3$. Блестящие щетки с зеленоватым оттенком ромбододекаэдрических кристаллов развиваются на стенках миаролитовых пустот пирротиновой залежи в карьере 59. Кристаллы не больше 1 мм в диаметре. Оптически сильно аномальны, при скрещенных николях проявляют пакетобразное аномальное погасание во взаимопротивоположных квадрантах. $N = 1,780$ (рис. 19).



Рис. 19. Оптически аномальный демантоид при скрещенных николях. Увелич. 30.

* Уваровит, $\text{R}_3''\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$. Хромовый гранат найден в трещинах кливажа на хромшпиделидах в карьерах 108 и 115; чрезвычайно мелкие землистые зеленые примазки, их кристаллическая природа под микроскопом с трудом определяема.

Плагиноклазы. В разных основных породах определены следующие номера плагиноклазов: в габбро — 56 — 60, габбро-диабазе — 60; свежем плагиноклазите — 45 — 47, соссюритизированном плагиноклазите — 11 — 19, габбро-амфиболите — 21.

В измененных породах центр зерна представлен основными, а периферическая кайма более кислыми разностями. В плагиноклазах констатированы двойниковые законы — альбитовый, манебахский и карлсбадский.

Альбит, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. Мелкие кристаллики встречаются в жилах габбро-диабазов вместе с пренитом и кальцитом.

Цоизит, $3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$. В соссюритизированных габбро и плагиноклазитах выделяется вторичным по плагиноклазам; в шлифе почти бесцветный. Погасание прямое, $+2V$ маленькое, двупреломление низкое.

Эпидот, $3\text{Ca}(\text{Al},\text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$. Превалирует над цоизитом, в шлифах отличается высоким двупреломлением, слабо плеохроирует, развитие — $N_p \wedge [001] = 3^\circ$, $-2V$ большое.

Пренит, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Белые слабозернистые и слегка, натечные агрегаты в трещинах габбро-диабазов. Оптически аномальный. Обычно во всех руководствах двупреломление для пренита дается 0,033. В. Н. Лодочников для уральских пренитов отмечает снижение двупреломления до 0,020. В этих же определены константы: погасание прямое, знак +, $N_g - N_p = 1,630 - 1,615 = 0,015$. Перед паяльной трубкой выделяет много воды, возможно гидропренит (?).

* Пектолит, $(\text{Ca}, \text{Na}_2\text{H}_2)_2(\text{SiO}_3)_2$. Найден в трещинах габбро-диабазы в карьере. Белоснежные радиально-лучистые тонкоиглочатые агрегаты в парагенезисе с пренитом и кальцитом (см. рис. 3). Развитие —, $N_g = 1,632$, $N_p = 1,596$; $N_g - N_p = 0,036$.

Биотит — минерал скорее акцессорного порядка, буро-плеохроичные лейсты развиваются по авгиту и бурой роговой обманке, —2V маленькое.

Серицит — вторичный минерал; встречается в измененных основных породах, замещая полевшпаты.

Клинохлор¹ — дает под микроскопом лейсто-лучистые агрегаты, иногда крестовидное, подобное халцедону погасание; желтая интерференционная окраска, удлинение —, знак +, наблюдаются двойники по пеннинговому закону.

Пеннин — петельчатые выделения среди клинохлора: бледно-синяя интерференционная аномальная окраска, удлинение +, +2V маленькое.

* Родохром — фиолетовый хромовый хлорит, очень редко встречается в виде мелких чешуек и примазок на хромшпинелидах из линзовидных залежей, знак +, 2V маленькое. $N_m = 1,581$.

Ильменит, FeTiO_3 . Редко встречаются ксеноморфные мелкие вкрапленники в диаллагитах и габбровых породах.

Титанит, CaTiSiO_5 . По указаниям Коптева-Дворникова акцессорно встречается в габбро-диабазлах.

Характеристика экзогидатогенных (выветривания) месторождений

К экзогидатогенным месторождениям выветривания Халиловского массива относятся месторождения бурых железняков, никель-гидросиликатные и магнезиально-карбонатные (в основном джиобертитовые). Все три вида полезных ископаемых этих месторождений в минерально-сырьевом балансе СССР играют исключительно важную роль. Минералогический состав железных руд при большом запасе их обеспечивает производство высококачественной хромо-никелево-ванадиевой стали для ответственного машиностроения. Никель-гидросиликатные месторождения по запасам никеля занимают одно из первых мест в СССР. Месторождение магнезиальных карбонатов является также одним из крупнейших в СССР. Значительная примесь в них кальция и кремния служит главным дефектом в производстве магнезии.

Месторождения бурых железняков. Промышленные месторождения бурых железняков расположены за пределами обследованного мной участка, поэтому изучением их я не занимался. Залегают они под мезозойско-кайнозойскими отложениями в низких частях древнего пенепленизированного рельефа разрушенных ультраосновных пород. Только в отдельных случаях, вследствие переотложения, залежи бурых железняков выходят за пределы габбро-перидотитового массива.

На обследованных мною никель-гидросиликатных месторождениях бурые железняки приурочены в верхней зоне коры выветривания ультра-

¹ Разделение хлоритов на клинохлор и пеннин дается весьма приблизительно по оптическим константам без химических анализов.

основных пород и местами выходят на дневную поверхность. Здесь мощность железорудной зоны незначительная, и она не может служить объектом самостоятельной промышленной эксплуатации.

По моим наблюдениям железные руды бурых железняков можно разделить на следующие генетические типы:

1. Латеритные землистые и скелетисто-плотные руды, залегающие *in situ*.

2. Латеритные крупитчато-псевдоолитовые руды, продукты замещения нонтронита бурым железняком в зоне кислородной поверхности, выше уровня грунтовых вод. Этот весьма интересный тип, как и нонтронит, предыдущие исследователи не отмечали.

3. Переотложенные землистые и псевдоолитовые (галька) руды, скопившиеся в болотных и низменных частях древнего доюрского рельефа.

Никель-гидросиликатные месторождения. Среди Халиловского массива выделяется несколько никель-гидросиликатных месторождений. Из них более крупными по промышленным запасам никеля считаются Айдербак, находящийся на правом берегу реки Б. Губерли и Дюрт-Кель-Тюбе — на левом берегу.

Из других отдельных мелких никель-гидросиликатных участков Халиловской группы выделяются в самостоятельные следующие месторождения: Старохалиловское, Новокиевское, Новогеоргиевское.

Самое интересное никель-гидросиликатное месторождение по индивидуализированным никелевым минералам и процессам поверхностного их образования представлено зеленым ореолом вокруг вынутаго гнезда пентландита в карьере 105.

В геолого-генетическом отношении перечисленные никель-гидросиликатные месторождения между собою идентичны. В деталях отличаются орографией, содержанием никеля в руде, мощностью рудной зоны и наносного покрова. Выходы залежей никелевых руд на поверхности приурочены к каемкам размытых осадочных пород и обнаженной поверхности змеевиков на склонах эрозионной долины реки Б. Губерли. Все же большая часть рудоносной площади скрыта под тонким плащом мезозойско-кайнозойских отложений.

Содержание никеля в руде на месторождениях неравномерно. Это зависит не только от поверхностных процессов перераспределения металла в коре выветривания, но также от характера первичного оруденения материнских пород, т. е. различного содержания никеля в олиvine и пироксене и возможности концентрации в них вкрапленных железо-никелевых сульфидов.

По текстурным признакам никель-гидросиликатные руды можно разделить на типы:

- 1) землисто-глинистая руда,
- 2) оспенно-крупитчатая руда (псевдоолитовая),
- 3) скелетисто-брекчиевая руда.

По химико-минералогическому составу силикатно-никелевые руды подразделяются на следующие типы:

- 1) охристо-железистые бедные никелем руды,
- 2) нонтронито-галлуазитовые-керолитовые руды,
- 3) нонтронито-серпентиновые руды,
- 4) ревинскито-гарниеритовые, уникально встречающиеся руды,
- 5) опало-халцедоновые кремнистые руды, с непостоянным содержанием никеля,
- 6) асболаано-вадовые руды, богатые кобальтом и среднего содержания никелем.

1. Месторождение Айдербак расположено вдоль восточного борта водораздельного степного плато реки Б. Губерли и ее правого притока

реки Каялы. Никеленосная полоса длиной 5—6 км и шириной около 1 км разведана в направлении железнодорожной трассы вблизи ст. Халилово.

По топографическим условиям месторождение Айдербак разделяется на 5 участков: северный, северо-западный, юго-восточный, южный и воронежский. Северный и северо-западный участки расположены у триангуляционного знака Айдербак; в 3 км к северо-западу от станции Халилово. Это самые крупные участки по площади, качеству, промышленным запасам никелевых руд.

Воронежский участок расположен в районе поселка Воронежского (приурочен к западному склону того же плато) на склоне эрозионной узкой долины реки Каялы. Никелевые руды бедны и в запасе общего подсчета играют незначительную роль.

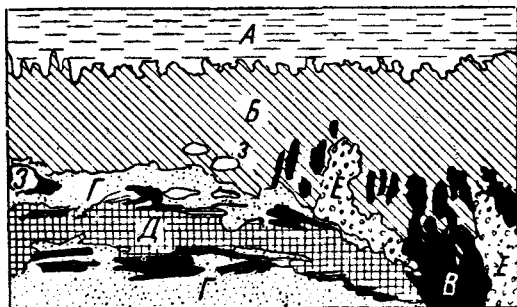


Рис. 20. Никель-гидросиликатные залежи в месторождении Айдербак.

А—почва; Б— бурый железняк (Rote Gebirge); В— табачно-зеленая „оспенная“ нонтронитовая никелевая руда; Г— окремненный змеевик; Д— скопления асболана-вад. Е— полуразрушенный нонтронитизированный пористый змеевик; З— кремнистые скелеты с остатками Mg—Ca-карбонатов. Масштаб 1: 50.

Оба участка в целом представляют чашеобразную пологую древнюю пенепленизированную впадину, погребенную под наносами водораздельного плато. Никель-гидросиликатные залежи являются составной частью коры выветривания озмеевикованных ультраосновных пород, сложение которых имеет сходство с петельчато-трещиноватым сложением рудных залежей (рис. 20).

2. Месторождение Дюрт-Кель-Тюбе (Столовая гора) расположено в 10 км от ст. Халилово вблизи дороги в Ново-Киевку. Оно приурочено к куполообразному змеевиковому плато площадью в 1 кв. км, при абсолютной высоте его в 390 м. С трех сторон месторождение окаймляется глубокими оврагами-ручьями, местами образующими весьма крутые обнажения, особенно в западную сторону к долине реки Б. Губерли. При взгляде с высот станции Халилово эти обнажения Столовой горы резко выделяются на фоне холмистого рельефа и производят впечатление осыпающихся пестроцветных скал.

В этих обнажениях заметно зональное строение коры выветривания. На поверхности скопляются кремнисто-скелетистые продукты змеевикового элювия. Ниже идут землистоглинистые образования со смесью магнезиальных карбонатов, постепенно переходящие из разрушенных в более свежие змеевики. С западо-юго-западной стороны месторождения рельеф беспокойный. Здесь развиты высокие сопки гарцбургитовых змеевиков и габбровых пород. Среди последних встречаются выходы габбро, габбродiorита, габбро-амфиболита, крупно-кристаллического

габбро-пегматита плотных плагиоклазитов. Вблизи контактов с габбровыми породами никель-гидросиликатные залежи имеют сланцеватое сложение (рис. 21).

С юго-юго-восточной стороны на месторождении на склоне к оврагу верхняя никель-рудноносная зона эродирована, и на террасе обнажены месторождения магнезиальных карбонатов.



Рис. 21. Никель-гидросиликатные залежи сланцеватого сложения в месторождении Дюрт-Кель-Тюбе.

Б — разрушенный понтронитизированный змеевик; В — зеленая нонгронитовая никелевая руда; Г — окремненный змеевик; Д — бурый железняк.

Масштаб 1:30.

С северо-северо-западной стороны к оврагу на месторождении рудоносный элювий смывает змеевики окремненные и усиленно ожежены.

С северо-восточной стороны месторождение прикрыто мощной осадочной свитой. Нижний слой представлен юрским галечником, выше их покрывают меловые известняки и другие осадки.

На самом месторождении сохранившаяся кровля осадочной свиты размыта в бурый суглинок, перемешанный с галькой, среди которых

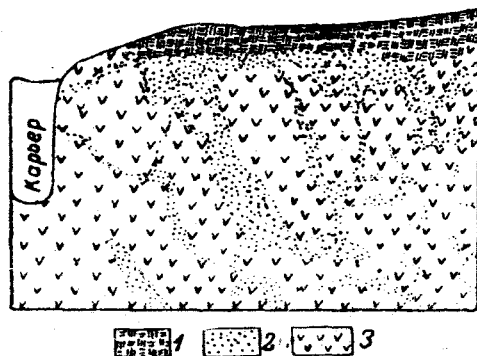


Рис. 22. Залежь джиоберрита.

1 — почва; 2 — джиоберрит с другими магнезиальными карбонатами; 3 — полуразрушенный змеевик. Масштаб 1:15.

местами сохранились рухляки мергелей, охарактеризованные фауной: *Belemnitella Canceolata*, *Ostrea vesicularis*, *Pecten* sp.

Месторождения магнезиальных карбонатов. Халиловские месторождения магнезиальных карбонатов описаны предыдущими исследователями (16,20) как магнезитовые. Фактически же кристаллического магнезита, каковым его принято считать в литературе, в месторождениях мной не констатируется. Залежи магнезиальных карбонатов

представлены в главной массе джиобертитом (гельмагнезитом), меньше гидромагнезитом (*Magnesia alba*) и другими гидрокарбонатами. Поэтому их месторождения я назвал в более общем виде магнезиальных карбонатов, которых в Халилове известно несколько. Залежи их всегда приурочены к полуразрушенным змеевикам.

Разрабатываемые месторождения находятся в полосе железнодо-рожной трассы вблизи ст. Халилово. Их расположение представляет своеобразную полосу-кайму около никель-гидросиликатного месторождения Айдербак, лежащую ниже на склоне рельефа к долине реки Б. Губерли.

Самые крупные разработки их производятся в юго-восточной части Айдербак, где никеленосная зона сильно эродирована.

Как указывалось выше, аналогичные топографические условия местоположения залежей магнезиальных карбонатов имеются с юго-юго-восточной стороны Дюрт-Кель-Тюбе, где на склонах массива никеленосная зона также эродирована.

Непосредственно на никель-гидросиликатных месторождениях зона магнезиальных карбонатов разведкой не вскрыта, так как глубина разведочных дудок и шурфов контролировалась появлением вышележащих над ними окремненных змеевиков, бедных никелем.

Залежи представлены самыми разнообразными телами непостоянной мощности — неправильными простыми и сложными жилами, штоками, гнездами и т. д. Они в открытых выработках выклиниваются на глубине, примерно, 10—20 м (рис. 22).

По характеру агрегата магнезиальные карбонаты представлены типами землистыми, мелкошестоватыми, лучистыми, плотными и редко-выщелоченными скелетистыми жеодами. Особенно распространенными являются формы кочана капусты. Отдельные „капустники“ коломорфного джиобертита встречаются до нескольких тонн. Они очень плотные, с трудом поддаются раскалыванию.

Сравнение Халиловских экзогидатогенных месторождений с аналогичными союзными и мировыми месторождениями. Халиловские экзогидатогенные месторождения по геологическому строению и генезису сходны со следующими месторождениями.

Франкенштейн (Германия), никель-гидросиликатное месторождение, описанное Вейшлягом, Крушом-Харботом. На фоне его генезиса проделаны интересные экспериментальные работы Шорштейном. Связанные с ними Mg-карбонатные месторождения Берг (2) считает гельмагнезитными.

Ново-Каледонские, преимущественно никель-гидросиликатные месторождения, описанные Гляссером.

Остров Куба — железорудные и гидромагнетитовые месторождения, содержащие бедные никелевые руды.

Из месторождений СССР абсолютно идентичны Актюбинские месторождения железных красок, никель-гидросиликатных руд и магнезиальных карбонатов, принадлежащие к коре выветривания той же кристаллической свиты пород, что и Халиловские месторождения.

Данные о генезисе этих месторождений разделяются на два противоположные взгляда.

Вейшляг, Круш, Шорштейн (Франкенштейн), Гляссер (Новая Каледония) придают силикатно-никелевым месторождениям поверхностный генезис. Харбот месторождение Франкенштейна относит к термальным. Заварицкий, Хогг, Крафт месторождения магнезита считают поверхностными, а Коржинский, Вейншак, Бэйн относят их к термальным. Месторождения бурых железняков всеми исследователями признаются за латеритные образования.

По существу все эти месторождения являются месторождениями одноклассного генезиса, образовавшимися при сложном латеритном выве-

тивании ультраосновных массивов, где продукты коры выветривания обособляются в самостоятельные залежи.

Геохимическое перераспределение элементов в коре выветривания происходит закономерно в отношении химико-минералогического состава в пространстве. При этом развивается вертикально-зональное строение коры выветривания.

Характеристика коры выветривания Халиловского перидотитового массива

Вещественный состав коры выветривания. Если первоначальный минералогический состав серпентизированных ультраосновных пород обозначим через *A*, остаточные продукты их выветривания — через *B*, новые образования переходного типа — через *C* и поверхностные минерализаторы — через *D*, то суммарно вещественный состав коры латеритного выветривания выразится формулой: $A = B + C - D$.

A. Эндотегенные минералы, входящие в состав плотных озмеевикованных ультраосновных пород, рассмотрены в параграфе „Эндотегенные минералы“.

B. Остаточные образования, устойчивые к дальнейшему химическому выветриванию, представлены залежами бурых железняков с примесью гидроксидов *Al*, *Mn*, *Co* и кремневыми продуктами: опалом, халцедоном, кварцем.

C. Новые образования переходного типа, устойчивые только в определенных зонах коры выветривания и способные к дальнейшему выветриванию, представляют *Al—Fe—Cr—Si*-кислоты, *Mg—Ni*-гидросиликаты, *Mg—(Ca)*-карбонаты.

D. К поверхностным минерализаторам относятся растворы запрещенных элементов кислородной зоны, как например: *Fe²⁺—Ni—Cu—Co*-сульфаты, *Fe—Mn—Co—Ni*-бикарбонаты и кремнекислые щелочи. Этих типов минералы, кроме *Ni*-гидрокарбонатов, на месторождении не фиксированы, но их растворы в экзогидатогенных процессах играют исключительную роль.

Зональность коры выветривания. При латеритном выветривании ультраосновных пород образуется вертикально-зональная структура коры выветривания. Здесь развивается картина, аналогичная с жильными сульфидными месторождениями. Отдельные минеральные зоны между собою связаны постепенными переходами с очень сложными границами, которые часто незаметны в отдельных дудках и шурфах, а на обнаженных участках коры выветривания (склоны) зональность рельефно выступает.

Сводный нормальный геологический разрез осадочной свиты¹ и коры выветривания ультраосновных пород Халиловского массива представляется в следующей последовательности (рис. 23).

1. Почвенный каштано-гумусовый слой непостоянной мощности. На ровном плато осадочной свиты он достигает 1,0 м; на размытых кристаллических породах и в окремненных участках коры выветривания часто совершенно отсутствует.

В период летней засухи почва растрескивается на гексагонально-столбчатые отдельности. Ширина трещин высыхания измеряется до 10 см, по ним поверхностные продукты (гумус, галька) спускаются на глубину 2 м, вступая в механические смеси с рухляками и змеевиковым элювием.

2. Средняя мощность карбонатно-суглинистых верхнемеловых отложений 2—4 м и максимальная—20 м. Они представлены глинистыми рухляками, только в отдельных участках сохранившими горизонтальную

¹ Осадочная свита дается только для картированного мной участка.

слоистость осадков. В нижней зоне рухляки обогащены гипсом экзогенного генезиса, который скопляется неправильными гнездами и мелкими вертикальными чечевицами.

Главный минералогический состав осадочной свиты: кальцит, доломит, бурый железняк, кварц, опал и гипс.

3. Континентальная юра представлена галечником, местами сцементированным в конгломерат. Горизонт непостоянной мощности; более мощные скопления встречаются в карманах древнего подземного рельефа. Состав галечника: кварц, халцедон, слюдисто-кварцевые сланцы и габбровые породы.

Доюрская кора латеритного выветривания разделяется на следующие зоны:

4. Зона красного выветривания — латеритная железная шляпа (Rote Erde Новой Каледонии, Rote Gebirge Франкенштейна); она является конечным продуктом выветривания змеевикового элювия. Средняя мощность ее 2—3 м.

Химическая характеристика Fe-латеритной шляпы, по данным нескольких анализов, выражается следующим составом: $\text{SiO}_2 = 10\text{--}40\%$, $\text{TiO}_2 = 0,1\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 25\text{--}70\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 7\text{--}15\%$, $\text{MnO}_2 = 2\text{--}4\%$, $\text{MgO} = 0\text{--}1\%$, $\text{CaO} = 0,5\text{--}4\%$, $\text{NiO} = 0,2\text{--}0,4\%$, в виде примеси содержатся CoO_2 , Cr_2O_3 , V_2O_5 .

5. Зона зеленого выветривания, зона никель-гидросиликатных залежей с глубиной постепенно сменяет зону красного выветривания. Ее цвет зависит от нонтронитизированных змеевиков с примесью Mg—Ni-гидросиликатов. По своему составу она неоднородна; сверху вниз разделяется на три горизонта:

- а) нонтронито-галлуазитовый, бедный никелем;
- б) нонтронитизированных змеевиков с примесью Ni-гидросиликатов и
- в) окремненных змеевиков.

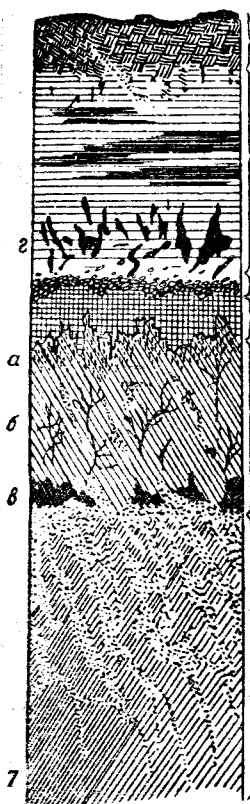


Рис. 23. Сводный нормальный геологический разрез осадочных пород и коры выветривания ультраосновных пород хапиловского массива. 1 — почвенный покров; 2 — белесовато-бурая карбонатно-суглинистая осадочная свита; 3 — обогащенные гипсом участки; 4 — континентальная юра — галечник, сцементированный местами в конгломерат.

Кора выветривания: 4 — зона красного выветривания (Rote Gebirge) — латеритная железная шляпа; 5 — зона зеленого выветривания, никель-гидросиликатные залежи: а — нонтронито-галлуазитовый горизонт; б — горизонт нонтронитизированных змеевиков с примесью Ni-гидросиликатов; в — горизонт окремненных змеевиков; 6 — зона белого выветривания — магнезиально-карбонатные залежи; 7 — зона свежих плотных змеевиков. Масштаб 1:75.

В главном нонтронито-галлуазитовом составе в том или ином количестве всегда входят керолитовые (с гарниеритом) и опало-халцедоновые смеси.

Нонтронитизированные змеевики являются главными слагающими силикатно-никелевых залежей. В зависимости от глубины нонтронитизация и степень разрушения змеевиков постепенно затухают. При разрушении серпентина развиваются мелкие нонтронитизированные псевдоолитовые тельца, которые не имеют сферо-зональной структуры. Они действуют на поляризованный свет; показатель преломления их выше серпентина.

Окремненные змеевики имеют специфический характер. Это проявляется в отдельных участках коры выветривания, главным образом, в дунитовых змеевиках. Здесь обычно серпентин замещается псевдоморфозами халцедона-кварца. При эрозии латеритно-никель-силикатного элювия эта кремнисто-скелетная кора предохраняет массив от механического разрушения, как это наблюдается на горе Дюрт-Кель-Тюбе.

Окремнение змеевиков в этом горизонте зависит от резкого изменения уровня и химического режима грунтовых вод в сторону повышенной кислотности, вследствие чего все катионы из гидросиликатов интенсивно выщелачиваются.

Минералогический состав зоны зеленого выветривания: главный — серпентин, нонтронит, галлуазит, опал, халцедон, кварц; второстепенный — керолит, гарниерит, ревдинскит, волконскоит и примеси минералов из зон красного и белого выветривания (гидроокислы Fe, Mn, Co, Ca-Mg-карбонаты).

По данным нескольких анализов, валовой химический состав силикатно-никелевых залежей выражается содержанием: $\text{SiO}_2 = 40,0\%$, TiO_2 следы; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5-10\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 10-15\%$, $\text{MnO}_2 = 1-2\%$, $\text{NiO} = 0,5$ и выше, $\text{CaO} = 1-2\%$, $\text{MgO} = 5-10\%$.

6. Зона белого выветривания, зона магниезальных карбонатных залежей. Она непостоянна в своем развитии, более мощные залежи концентрируются в местах смятий и трещинах змеевиков, где при усиленном доступе грунтовых вод и меняющейся с глубиной восстановительной среде выпадают различные Mg-карбонаты.

Главный минералогический состав этой зоны: джиобертит, баудиссерит (окремненный джиобертит), гидромагнетит, артинит, брунхеллит, брусит, кальцит, доломит, гидродоломит, арагонит и примеси минералов зоны зеленого выветривания.

Средний химический состав по данным 52 анализов (16): $\text{MgO} = 46,0\%$, $\text{CaO} = 1,02$, $\text{R}_2\text{O}_3 = 0,4\%$, $\text{SiO}_2 = 0,5\%$, $(\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2) = 51,47\%$.

7. Зона свежих плотных змеевиков, их минералогический состав рассмотрен при описании эндотегенных минералов.

Экзогидатогенные минералы¹

Окислы и гидроокислы

Из модификаций SiO_2 встречаются опал, халцедон и кварц. Все эти минералы наблюдаются в разнообразных агрегатах и от адсорбции красящих веществ (Fe, Mn, Co, Ni) часто бывают окрашены в пестро-цветные цвета.

Дегидратация опала, богатого водой, переход его в кристаллическое состояние происходит при увеличении объема: гель³ < кристалл³ + H_2O . Повышение давления будет задерживать раскристаллизацию геля, и это явление до некоторой степени обуславливает раздельное нахождение модификаций SiO_2 в коре выветривания.

Таблица 12

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	NiO	H_2O
84,16	0,53	1,16	3,10	0,29	9,76

¹ Расположены в порядке химической классификации.

Опал более типичен для нижних зон элювия. Халцедон, особенно агатовой структуры, развивается в жеодах и трещинах ближе к дневной поверхности. Кварц в псевдоморфозах замещает серпентин (рис. 24); на поверхностных кремнистых скелетах агрегата нарастают щетки — друзы. При этом наблюдается оригинальное явление, что окремненные штуфы на поверхности с полуденной стороны интенсивнее покрыты кристаллами кварца. Здесь сказывается влияние солнечной теплоты на раскристаллизацию геля SiO_2 .

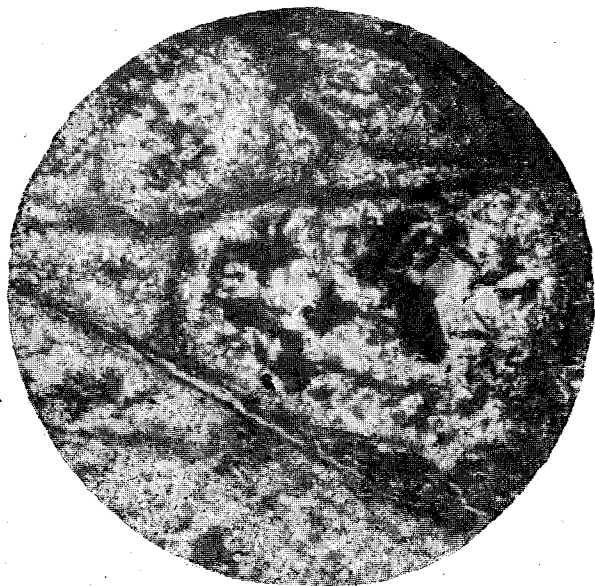


Рис. 24. Псевдоморфозы кварца по серпентину, образовавшаяся при выветривании. Увелич. 40.

Опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Агрегаты плотные, скелетистые, натечные, городчатые. Встречаются различной степени гидротации; N варьирует в широком интервале. Окраска меняется от белых прозрачных до пестроцветных непросвечивающих. Последние неравномерно насыщены адсорбентами, что видно из анализа черного плотного опала, НИС ЛГИ (табл. 12).

В пятнисто-жилковатой сети залежей галлуазита (рис. 25) белоснежный порошковатый опал-халцедон представлен микрочувствительными спикелевидными агрегатами. N варьирует 1,470—1,537. Это вторичные продукты выщелачивания галлуазита — нонтронита.

Анализ порошковатого опал-халцедона выполнен М. В. Ковязиной, ЦНИГРИ (табл. 13).

Таблица 13

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$+\text{H}_2\text{O}$	$-\text{H}_2\text{O}$	Сумма
Вес %	89,04	нет	3,06	0,77	0,51	0,16	1,64	4,93	100,11
Молекул. колич.	1 483	—	29	11	9	4	92	273	—

Механическая смесь:

Опал-халцедон, $5(\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 89,11\%$.

Галлуазит, $\text{H}_2(\text{Al,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 100\%$.

Са—Mg-карбонаты = 1% .

Разновидности опала:

* Гиалит. Спорадически встречаются мелкие городчатонатечны агрегаты белого прозрачного опала.

* Энгидрос. Среди пузырчато-скелетистых опалов встречен пузырек-пустотка с водой, которая выделилась при раскристаллизации геля.

Полуопалы и кремнь — плотные, непрозрачные разновидности опала.



Рис. 25. Залежь галлуазита.

А — железный сурик; Б — железная охра; В — зеленый галлуазит; Д — голубоватый галлуазит; Г — порошковый опал-халцедон. Масштаб 1:20.

Халцедон, SiO_2 . Чистый халцедон встречается в небольших количествах, всегда находится в парагенезисе с опалом или кварцем,

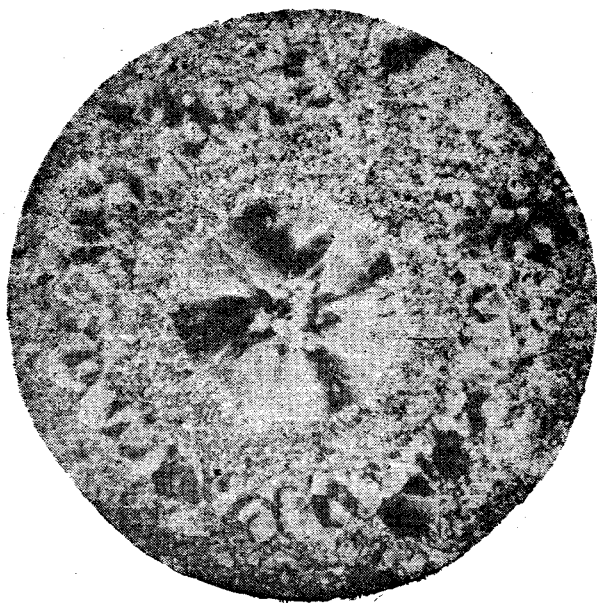


Рис. 26. Сферолучистый халцедон; при вращении столика микроскопа в скрещенных николях перемещается фигура креста. Увелич. 40.

нередко встречаются все три минерала вместе. Известен в разнообразных агрегатах: натечных, плотных, скелетистых, землистых и псевдоморфозных. Среди халцедона констатируется несколько разновидностей.

* Сапфирин. Оригинальный по своей структуре, синеватый сапфирин встречается в юго-восточном Айдербаке. Сферолучистые конкреции с поверхности раскристаллизованы в нормальные головки кварца,

а внутренние части их сложены типичным халцедоном, который при вращении столика микроскопа в скрещенных николях дает перемещающиеся кресты погасания (рис. 26).

* Агат — полосчатый халцедон; встречается редко и мелкими штуфами в юго-восточном Айдербаке.

* Сердолик — пятнисто-желтый халцедон; встречается редко, также мелкими кусочками вместе с агатом.

* Кахчолонг — молочно-белый сероватого и розоватого оттенков гидратизированный халцедон, переходный тип опала. Иногда заметна в нем микролучистая структура. N колеблется 1,526—1,537.

Хризопраз — зеленый халцедон; окраска зависит от примеси Ni-гидросиликатов, в отдельных пробах содержит до 2% никеля.

Кварц, SiO_2 . Мелкие щетки — друзы, каркасовидные скелеты, плотные кремнистые с текстурой змеевика породы.

Брусит, $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Мелкочешуйчатый белый брусит встречается вместе с артинитом и бруньятеллитом в трещинах главным образом дунитовых змеевиков. Одноосный, положительный; $N_g = 1,579$, $N_p = 1,560$.

Асболоан-вад. Черные с синеватым оттенком землистые скопления и дендриты в джиобертите и опале. Они ярче выступают в зоне зеленого выветривания и маскируются в латеритной зоне.

В материнских породах, как указывалось выше, отношение $\text{Ni}:\text{Co} = 20:1$. Их отношение в асболоане-ваде резко изменяется. По данным двух проб в землистых черных рудах имеем отношение окислов металлов в процентах:

$$\text{Mn}_2\text{O}_3 : \text{NiO} : \text{CoO} = 1,05 : 1,12 : 0,62;^1$$

$$\text{Mn}_2\text{O}_3 : (\text{NiO} + \text{CoO}) = 36,36 : 5,62.^2$$

* Гетит, FeOOH . Мелкие кубики псевдоморфозы по пириту вместе с кальцитом встречаются и жилках габбро-диабазы.

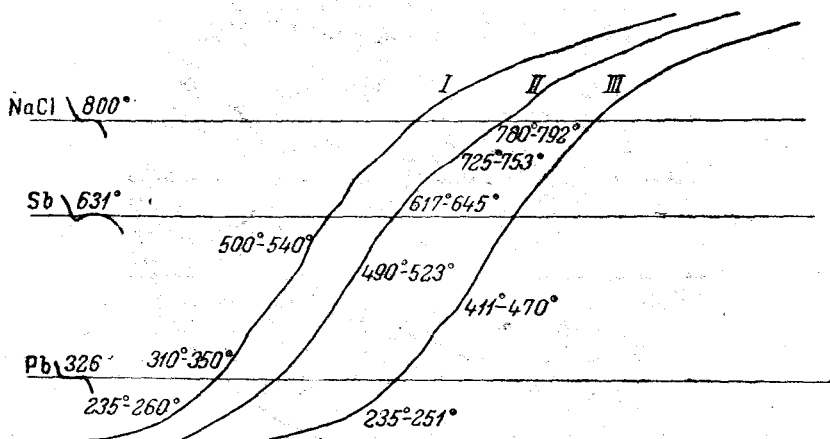


Рис. 27. Кривые нагревания бурых железняков.

Магнетит, FeFe_2O_4 . В пустотках бурого железняка встречались мелкие магнитные кристаллики, возможно поверхностного генезиса (?).

* Гематит (мартит), Fe_2O_3 . Переходный тип выветривания магнетита в бурый железняк. Данные приведены в анализе магнетита (табл. 8).

¹ Анализ НИСа ЛГИ.

² Данные из анализа Е. Е. Захарова (30), Ni и Co не разделены.

Объяснительная таблица к кривым нагревания бурых железняков (рис. 27)

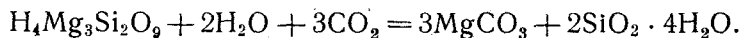
№	Минеральный вид	Эндотермическая остановка		Остановка	Характеристика остановок
		Начало	Конец		
I	Порошковатый темно-красный железный сурик {	235°	260°	Средняя	Гетитная
		310°	350°	"	Манганитовая (?)
		500°	540°	"	Диаспоровая (?)
II	Псевдооолитовый бурый железняк, размер бобов 0,5—0,8 см {	490°	523°	"	"
		725°	753°	Оч. слабая	(?)
		780°	792°	Средняя	(?)
III	Буровато-черный землистый, содержащий вад, бурый железняк (мангано-лимонит) {	235°	251°	"	Гетитная
		411°	470°	"	Явления рекалесценции

Бурый железняк, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Разделение бурых железняков по текстурным типам дано при описании их месторождений. Он не имеет сферозональной оолитовой структуры, что позволяет относить его к механическим образованиям (галька окатанного плотного бурого железняка).

Термическим исследованием установлена гидрогетитная природа бурых железняков. Гидрогематитных остановок на кривых нагревания нет.

Карбонаты

Конечные продукты выветривания серпентина Чермаком приводятся к опалу и магнезиту по формуле:



Изучение месторождения показало, что первоначально осаждаются различные Mg-гидрокарбонаты, которые при изменении основности среды дегидратируются в коломорфный джиобертит, содержащий в незначительном количестве воду.

Дисперсно-порошковатые Mg-гидрокарбонаты адсорбируются опалом. Его защитные коллоиды препятствуют перекристаллизации Mg-карбонатов при дегидратации, вследствие чего образуется баудиссерит.

Мне кажется, что эту поправку на образование Mg-гидрокарбонатов в формулу Чермака надлежит ввести.

* Баудиссерит (окремненный джиобертит). Встречается среди распространенных агрегатов „капустника“. Минерал аморфный или местами криптокристаллический; в разной степени окремнен и нередко прорастается дендритами гидроокислов марганца.

* Джиобертит (гельмагнетит), $\text{MgCO}_3(?)$. Минерал в плотных агрегатах, метаколлоидной структуры, криптокристаллического строения, ситовидно действует на поляризованный свет. Высокая анизотропия; N варьирует, в редких случаях приближается к N кристаллического магнетита, часто цементирует брекчиевидные хромшпинелиды (рис. 28).

Средний химический состав из 4-х анализов 1-го сорта магнетита, по данным исследования Н. С. Лавровича и Д. Я. Терскова (20), дан в табл. 15.

Избыток летучих ($53,42\% - 50,45\% = 2,97\%$) в пересчете анализов на теоретический минералогический состав показывает, что часть CO_2 замещалась в анализированном магнетите более легкой группировкой OH ,

Таблица 15

Окислы	MgO	CaO	SiO ₂	R ₂ O ₃	П. п. п.	Примечание
Определенный вес, в %	44,89	2,99	2,44	0,73	50,45	SiO ₂ и R ₂ O ₃ выражены в тригидратах
Для пересчета на MgCO ₃ , CaCO ₃ и опал требуется	CO ₂	CO ₂	H ₂ O	H ₂ O	—	
CO ₂ и H ₂ O	49,6	2,35	1,2	0,3	53,42	

Механический анализ порошкового полнокристаллического гидромагнезита выполнен в ЦНИГРИ (табл. 16).

Таблица 16

Размер фракций	0,5—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,001
Содержание, %	0,20	1,28	3,19	95,33

Химический анализ гидромагнезита выполнен Ю. Н. Книпович, ЦНИГРИ (табл. 17).

Таблица 17

	Вес %	Молекул. количество	Молекул. отношение	Формула
Fe ₂ O ₃	0,03	—	—	3MgCO ₃ ·Mg(OH) ₂ ·3H ₂ O
CaO	1,74	0,030	0,11	
SrO	0,001	0,001	—	Примесь карбоната кальция составляет 3%
MgO	41,44	1,036	4	
CO ₂	36,51	0,830	3,09	
+ H ₂ O	19,60	1,090	4,13	
— H ₂ O	0,17	—	—	
Нерастворимый остаток .	0,19	—	—	
Сумма	99,68	—	—	

и в составе их в значительной степени находились гидроджиобертит или гидромагнезит.

* Гидромагнезит (Magnesia alba) 3MgCO₃·Mg(OH)₂·3H₂O. Агрегаты микрошестоватые, землистые, дисперснопорошковатые, редко слегка плотные и городчатые; последние адсорбированы опалом. Сингония ромбическая, зона развития +. $Ng=1,544$; $Nm=1,528$; $Np=1,524$; —2V средний.

В СССР гидромагнезит известен только в Баженовском месторождении асбеста и в Нижнетагильском дунитовом массиве, указываемый А. Г. Бетехтиным.

По данным Долтера (34) гидромагнезит известен в шести мировых месторождениях.

Для сравнения Халиловского гидромагнезита с гидромагнезитами из других месторождений привожу анализы (табл. 18).

1. Тонкоигольчатый гидромагнезит из Баженово.
2. Гидромагнезит из Негропонта, анализ Кобелля.
3. Кристаллический гидромагнезит из Техаса, анализ Смита и Бруша.
4. Кристаллический гидромагнезит из Краубата с. Стейермарке, анализ Чермака.

5. Плотный гидромагнетит из Карибостраса Британской Колумбии, анализ Гофмана.

* Артинит, $MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$. Из группы Mg-карбонатов является более редким минералом. Встречается на стенках трещин и в жилках преимущественно в дунитовых змеевиках в парагенезисе с бруннетом и редко бруситом. Радиально-лучистые игольчатые агрегаты

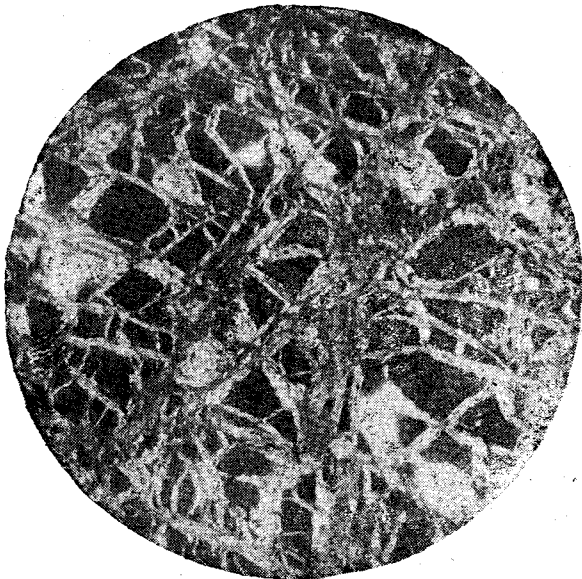


Рис. 28. Брекчиевидный хромшпинелид, цементируется плотным олигобертитом. Увелич. 30.

белоснежного цвета, хрупкий, полустеклянного блеска, очень сходный с лучистым арагонитом. Твердость 2—3. Излом слабозанозистый. Сингония ромбическая. Развитие —, $Ng = 1,540$, $Nm = 1,527$, $Np = 1,523$, (рис. 29).

Химический анализ артинита выполнен Ю. Н. Книпович, ЦНИГРИ (табл. 19).

Артинит еще более редкий по сравнению с гидромагнетитом. В СССР он известен в Баженовском и Нижнетагильском месторождениях и за границей — в итальянских месторождениях. Для сравнения привожу их химические анализы (табл. 20).

Таблица 18

	1	2	3	4	5
Al_2O_3	—	—	—	—	0,02
Fe_2O_3	—	—	—	—	0,04
CaO	0,15	—	—	—	0,10
MgO	43,09	43,96	42,30	44,02	43,71
CO_2	36,48	36,0	36,74	35,71	37,03
H_2O	20,06	19,68	20,10	19,74	17,79
Нерастворимый остаток	—	0,36	—	0,99	1,91
Сумма . . .	99,78	100,0	99,4	100,46	100,90

	Вес. %	Молекул. количество	Молекул. отношение	Эмпирическая формула
Fe ₂ O ₃	0,03	—	—	} MgCO ₃ · Mg(OH) ₂ · 3H ₂ O
Al ₂ O ₃	нет	—	—	
CaO	0,87	0,015	—	
SrO	0,003	—	—	
MgO	40,29	1,008	2	
CO ₂	19,21	0,437	0,86	
+ H ₂ O	38,32	2,129	4,16	
- H ₂ O	0,85	—	—	
Нерастворимый остаток	0,19	—	—	
Сумма	99,76	—	—	

Примечание. Для пересчета на эмпирическую формулу в молекулярных отношениях немного не достаёт CO₂ и есть в избытке H₂O. Эта неточность в отношении, возможно, аналитического порядка.

*. Бруньятеллит, 8Mg(OH)₂ · 2Fe(OH)₃ · MgCO₃ · 3H₂O. Встречается в виде примазок в трещинках, главным образом, дунитовых жмеевиков, в нижней зоне коры выветривания. Мелкочешуйчатые агрегаты

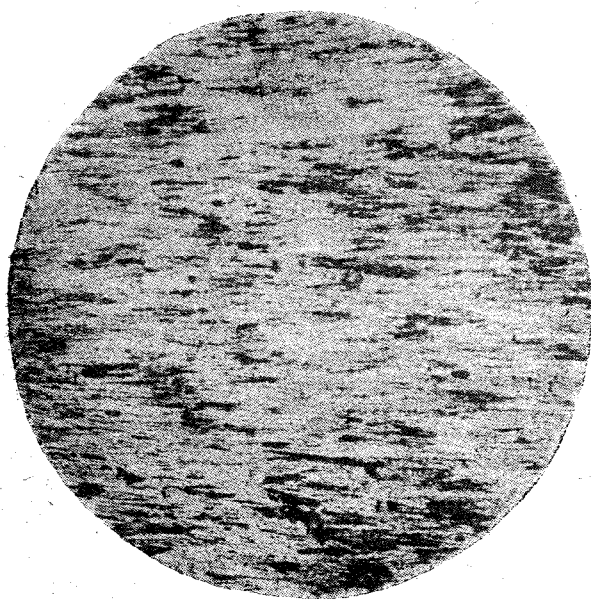


Рис. 29. Шестоватые агрегаты игольчатых кристаллов артинита. Увелич. 15.

при беглом взгляде неотличимы от примазок золотистого бурого железняка. Чешуйки не превышают 1—2 мм. Сингония гексагональная или тригональная, кристаллики пластинчато-тригональные и гексагональные, нередко зональные в плоскости базопинакоида; коричневые зоны чередуются с бесцветными (рис. 30). Цвет золотисто-коричневый, редко светло-желтый (возможно от выветривания). Блеск перламутровый. Твердость 1—2. Оптические константы непостоянны, при увеличении содержания железа *N* повышается. Знак меняется. Коричневые чешуйки чаще отрицательны. *Nm* = 1,585 — 1,605; в белых знак +, *Nm* = 1,565 — 1,605; одноосный крест в редких случаях расходится на 1—2 мм, сингония возможно псевдогексагональная.

Вещество переменного состава, составляющие компоненты (Mg,Fe)CO₃ и [(Mg, Fe)(OH)₂] могут входить в различных отношениях. Вероятно, железо первоначально осаждалось закисное в изоморфной смеси с магнием, которое впоследствии окисляется; минерал принимает буроватую и желтую окраску.

Химический анализ бруньятеллита выполнен Е. Н. Егоровой, ЦНИГРИ (табл. 21).

Бруньятеллит, подобно артиниту, также редкий минерал. Для сравнения привожу их анализы из известных нам месторождений.

1. Бруньятеллит из Баженово (30):

$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 13,78\%$; $\text{MgO} = 43,13\%$; $\text{CO}_2 = 10,41\%$; $\text{H}_2\text{O} = 32,90\%$

2. Бруньятеллит из Торре С. Мария (Италия):

$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 13,39\%$; $\text{MgO} = 44,45\%$; $\text{H}_2\text{O} = 34,27\%$; CO_2 не дается в анализе.

Доломит, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Крупная залежь доломита находится на высокой сопке в 2 км к югу от ст. Халилово. Доломит залегает в виде неправильной жилы меридионального простираия, на контакте дунитового и перидотитового змеевиков. От большей стойкости доломита

	1	2	3
MgO	42,41	43,32	41,34
CaO	0,19	—	—
CO ₂	22,17	21,85	22,37
H ₂ O	35,38	34,32	36,29
Сумма	100,15	99,49	100,00

1. Землистый артинит из Баженова.
2. Артинит из Малино, Италия.
3. Артинит из Лантерна, Италия.

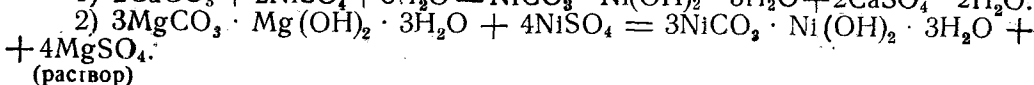
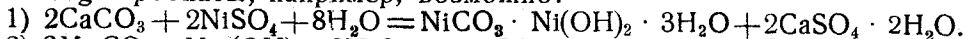
к выветриванию по сравнению с серпентином сопка имеет вид каравая. Доломит плотный, мелкозернистый, мраморовидный. Цвет белый, желтый, розоватый и местами полосатый. Стенки трещин и пустот покрыты плотным гроздевидным гидродоломитом. В шлифе доломит крапчатозернистый, местами колломорфной структуры.

Химический анализ плотного гидратизированного доломита выполнен Ю. Н. Книзович, ЦНИГРИ (табл. 22).

* Царацит (никелевый изумруд), $n\text{NiO} \cdot \text{CO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ (?). Встречается в зеленом ореоле залежи пентландита карьера 105. Представляет густозеленые коллоидальные примазки вместе с гарниеритом, кальцитом, гидромагнетитом на серпентине. Образуется

Рис. 30. Гексагональные и тригональные зональные кристаллики бруньятеллита. Увелич. 40.

действием Ni-сульфатных растворов (продукты окисления пентландита) на Ca-Mg-карбонаты; например, возможно:



(раствор)

Формула царацита не установлена. Подобно Mg-гидрокарбонатам Ni-гидрокарбонаты могут быть разной гидратации и возможно несколько минеральных видов. Минерал неустойчивый, легко растворяется, откуда никель высаживается в силикатные минералы (химический анализ табл. 27).

Кальцит, CaCO_3 . Скорлуповато-землистые кальциты встречаются в змеевиковом элювии.

Арагонит CaCO_3 . Минерал распространен в нижних горизонтах зоны белого выветривания. Радиально-лучистые и пучковатые агрегаты нередко состоят из нескольких сочлененных звеньев, достигающих 15 см в длину. Встречаются окремненные арагониты и псевдоморфозы по нему Mg-карбонатов.

Таблица 21.

	Вес %	Молекул. количество	Молекул. отношение	Примесь серпентина	Примечание
SiO_2	0,83	0,013	—	0,013	Химическую формулу можно выразить: $8\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot \text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ Теоретическая формула по Дольтеру (37): $5\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ Минерал назван им бругнательлитом
TiO_2	0,07	—	—	—	
Al_2O_3	нет	—	—	—	
Fe_2O_3	20,01	125	1,0	—	
CaO	0,24	0,004	—	—	
MgO	43,50	1,087	8,5	0,039	
CO_2	3,94	0,090	0,7	—	
+ H_2O	31,33	1 740	13,8	0,026	
Сумма	99,92	—	—	1,8	

Таблица 22

	Вес %	Молекул. количество	Молекул. отношение	Формула
Al_2O_3	0,08	—	—	$9\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ или
Fe_2O_3	0,12	—	—	
MnO	0,03	—	—	$8\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{CaMg}(\text{OH})_2$
CaO	30,77	550	—	
SrO	0,23	003	8,5	
MgO	21,18	530	8,2	
CO_2	45,90	1040	16	
+ H_2O	1,17	065	1	
— H_2O	0,14	—	—	
Нерастворимый остаток	0,12	—	—	
Сумма	99,74	—	—	—

Сульфаты

Гипс, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Среди осадочных отложений гипс представлен таблитчато-скорлуповатыми и землистыми агрегатами, загрязнен механическими примесями, доминируют ржаво-грязные цвета.

Гипс в змеевиковом элювии имеет пластинчатые и волокнисто-изогнутые агрегаты; обычно они разъедены в рубцеватые и другие декоративные формы. Гипс легко деформируется: кристаллы под влиянием давления изгибаются в коленчатые формы. Отдельные рубцеватые пластинки достигают 12 см длины; цвет водянисто-белый, полупрозрачный или молочно-белый непрозрачный.

Силикаты

* Хризоколл $\text{H}_2\text{CuSiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Зелено-голубые коллоидальные примазки встречаются на плотном магнетите и в зеленом ореоле выветривания змеевиков в залежи пентландита. *N* колеблется от 1,570 до 1,605.

Существует три классификации Mg — Ni-гидросиликатов: Лейтмейра, Ф. Ф. Крафта и А. Е. Ферсмана.

По химической классификации Лейтмейра Mg — Ni-гидросиликаты делятся на три группы, внутри которых минералы располагаются по возрастающему количеству окислов Mg, Ni и $\text{Fe}^{+++} + \text{Al}$.

1. Немагнезиальные гидросиликаты: комарит, реттизит.

2. Mg — Ni-гидросиликаты без глинозема или содержащие Al_2O_3 до 1% или $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ до 3%; сюда относятся: гарниерит, гентит, непунт, нумейт, никельгимнит.

3. Значительно содержащие глинозем: пимелит (хризопразовая земля), ревдинскит.

Предложенная классификация не охватывает всех групп Mg — Ni-гидросиликатов.

В классификации Ф. Крафта Mg — Ni-гидросиликаты по внешним признакам и химическому составу делятся на две группы.

1. Группа гарниерита: минералы темнозеленой окраски, ничтожное содержание Al_2O_3 , прилипают к языку, жирны на ощупь. Сюда относятся: гентит, гарниерит, никельгимнит, алипит.

2. Группа пимелита: много содержит глинозема, светлозеленого цвета, нежирны на ощупь. Сюда относятся: пимелит, нумейт, шухардит, гентит.

Предложенная классификация не соответствует морфологическим признакам и химической конституции. Одни и те же минералы с разными синонимами попадают в разные группы, например: гарниерит и нумейт.

Лучшей систематичностью и полнотой отличается химическая классификация А. Е. Ферсмана.

А. Е. Ферсман, исходя из аналогии с Mg-гидросиликатами, простые Mg — Ni-гидросиликаты по отношению RO к SiO_2 делит на 4 группы (I—IV). Но в соответствии с Mg — Al — Fe-гидросиликатами их необходимо дополнить двумя группами Ni — Fe — Al-гидросиликатов (V—VI).

Таблица 23

№	Группа	RO SiO ₂	Формула	Относятся минералы
I	Ni-сепиолита (конарита)	0,66	$\text{H}_8(\text{Mg}, \text{Ni})_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$	Конарит, реттицит (скрыто-кристаллический аналог конарита)
II	Гарниерита	1,0	$\text{H}_2(\text{Mg}, \text{Ni})\text{SiO}_4$	Гарниерит, Ni-керолит
III	Гимнита	1,33	$\text{H}_{10}(\text{Mg}, \text{Ni})_3\text{Si}_3\text{O}_{15}$	Гентит
IV	Серпентина	1,5	$\text{H}_4(\text{Mg}, \text{Ni})_3\text{Si}_2\text{O}_9$	Ревдинскит, непунт
V	Гарниерит-галлуазит-нонтронита	—	$n(\text{Mg}, \text{Ni})\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot m\text{H}_2(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Гарниерит-галлуазит-нонтронит-пимелит
VI	Шухардита	—	Никелевые хлориты	

Чистые Ni-гидросиликаты почти не встречаются, они всегда содержат изоморфную примесь магния.

Химическая конституция Mg — Ni-гидросиликатов исследователями трактуется различно. А. Е. Ферсман MgO и NiO считает в ядре силиката, Al_2O_3 и Fe_2O_3 в боковой цепи (по теории строения силикатов В. И. Вернадского).

Н. Стремме считает Mg — Ni-гидросиликаты исключительно смешанными гелями. Крафт, ссылаясь на анизотропию минералов, считает воз-

можным образование химических соединений в общей массе смешанных гелей. Кристаллизация Mg—Ni-гидросиликатов по Крафту возможна только по закону изохимичности Корню.

Шорнштейн придерживается взгляда комплексного состава гидросиликатов (гелей), анизотропию их объясняет присутствием в комплексе гелей криптокристаллических образований халцедона, гидраргиллита, брусита, бунзенита (NiO) и т. д. Из теорий образования Mg—Ni-гидросиликатов надлежит отметить следующие.

1. Селективно-адсорбционная теория Крафта признает осаждение Ni-содержащих растворов через адсорбцию гелями магниальных и магниально-глиноземистых силикатов. Экспериментальными работами Шорнштейна эта теория опровергается.

2. Гидролизно-коллоидальная теория Шорнштейна признает образование Mg—Ni-гидросиликатов через гидролиз Mg—Ni-гидрокарбонатов и совместную коагуляцию ионов Mg и Ni с коллоидальной кремнекислотой.

3. Метасоматическая никелевая теория Гольдшмидта, изложенная в форме общего положения в очерке „Основные идеи геохимии“ (8).

Индивидуализированные Mg—Ni-гидросиликаты в Халиловском месторождении являются уникальными за исключением зеленого ореола в пентландитовом карьере, где они лучше обособлены. В коре выветривания они находятся в криптокристаллических смесях с Al—Fe—Si-кислотами; в той или иной степени адсорбированы опалом-халцедоном.

* Керолит, $H_6Mg_2Si_2O_9$. Входит в тонкие смеси с Al—Fe—Si-кислотами. Исследованный образец найден в полуразрушенном серпентините в парагенезисе с кальцитом и гидромагнезитом. Крупитчатоземлистые агрегаты светлокремового цвета. Твердость 1—2. Действует на поляризованный свет; в шлифе местами заметна спутанная микросетчатая волокнистая структура. $N=1,530-1,535$.

Химический анализ керолита выполнен В. М. Ковязиной, ЦНИГРИ (табл. 24).

Табл и

	Вес ¹ %	Вес ² %	Механи- ческая примесь CaCO ₃ MgCO ₃	Пересчет на 100%	Молекул. количе- ство	Пересчет на моле- кулярный состав	
						Галлуа- зит	Керолит
SiO ₂	46,96	40,46	—	46,58	0,776	88	688
Al ₂ O ₃	—	3,92	—	4,54	0,044	44	—
Fe ₂ O ₃	—	0,07	—	0,08	—	—	—
NiO	—	нет	—	—	—	—	—
CaO	—	5,16	5,16	—	—	—	—
MgO	31,21	26,41	2,20	28,1	0,702	—	702
CO ₂	—	6,58	6,58	—	—	—	—
+ H ₂ O	21,22	10,68	—	12,40	0,689	44	645
— H ₂ O	—	6,84	—	7,92	0,440	88	352
Сумма	99,44	100,12	—	99,62	—	12,08	87,56

Примечание. В боковой цепи керолита А. Е. Ферсман дает монтморилонит. По Ларсену состав монтморилонита: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot nH_2O$. Поэтому R_2O_3 я пересчитал на галлуазит, считая последний крипто-кристаллической примесью керолита.

¹ Анализ керолита из Франкенштейна, В. Силезия (34).

² Анализ халиловского керолита.

* Никелевый керолит-гарниерит, $H_4(Mg,Ni)_2Si_2O_8$. Найден в карьере северо-западной части Айдербака. Представляет корочки, примазки на стенках трещин в скоплениях опал-халцедона среди разрушенных змеевиков. По морфологическим признакам сходен с пимелитом из Франкенштейна, описанным Карстеном. Он разделяется на твердую и мягкую разности.

Твердая опаловидная разность, яблочно-зеленого цвета, слабо раковистого излома, просвечивает. Твердость 3—4. В агрегате постепенно замещается опал-халцедоном (хризопразом).

Землистая разность керолит-гарниерита светло-зеленоватого цвета, матового блеска, довольно сухая на ощупь. Между пальцами рассыпается в порошок, твердость 1—2. Под микроскопом в обеих разновидностях заметна неравномерная насыщенность опалом, вследствие чего показатель преломления сильно варьирует.

Чистая землистая разность имеет сферокриптокристаллическую структуру (рис. 31). $N=1,554—1,560$. В плотной разности от прорастания опалом N снижается до 1,520.

Анализ землистой разности керолит-гарниерита выполнен М. М. Стукаловой, ЦНИГРИ (табл. 25).

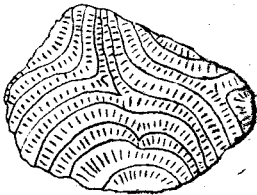


Рис. 31. Сферокристаллы никелевого керолита. Увелич. 400.

Таблица 25

	Вес %	Молекул. количество	Пересчет на молекулярный состав		
			Ni-керолит-гарниерит	Галлуазит-нонтровит	Опал-халцедон
SiO ₂	52,98	0,882	741	20	118
TiO ₂	нет	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	0,59	0,006	—	6	—
Fe ₂ O ₃	0,49	0,004	—	4	—
FeO	нет	—	—	—	—
NiO	8,62	0,115	116	—	—
CaO	0,69	0,013	13	—	—
MgO	24,60	0,615	615	—	—
+ H ₂ O	6,57	0,365	624	30	—
— H ₂ O	5,20	0,289	120	—	169
Сумма	99,74%	—	84,30%	2,8	12,63
Молекулярные отношения {	{ $37H_2(Mg,Ni)SiO_4 \cdot H_2(Al,Fe)_2Si_2O_8 \cdot 2H_2O$ $6(SiO_2 \cdot H_2O)$		{ Криптокристаллические и коллоидные (опал) смеси		

Примечание. Минерал беден водой, может быть с переходом в землистое состояние дегидратируется. Твердая разность из-за недостатка материала не анализировалась. Отдельная проба показала: SiO₂ = 73,10%, NiO = 2,07%. Эта разность — переход к хризопразу.

Исследованные гарниерит и ревдинскит представляют продукты выветривания пентландита в карьере 105. Выбраны из зеленых корочек на пентландите и серпентине. В нескольких случаях строение корочки на серпентине наблюдалось такое: снаружи корочка представлена гарниеритом, затем ревдинскитом, переходящим в серпентин.

Гарниерит $H_2(Mg,Ni)SiO_4$. Изумрудно-зеленый цвет, мелкобугорчатые агрегаты, хрупкий, слабо-раковистый излом, полустеклянный блеск. Твердость 2—2,5. Под микроскопом заметна ясная сферокристал-

лическая структура (рис. 32). Зональность развивается эксцентрично-постепенно разрастаясь от трещинок в серпентин. В криптокристаллическом гарниерите $N=1,596-1,604$; в коллоидальном $N=1,596$.

* Ревдинскит, $H_4(Mg, Ni)_3Si_2O_3$. Яблочно-зеленый цвет, жирный блеск, структура спутанно-микроволоконистая; минерал местами коллоидальный. $Nm=1,558-1,560$. Содержание в одной пробе $NiO=9,72\%$.

Анализ¹ гарниерито-царацитового агрегата выполнен В. М. Ковязиной, ЦНИГРИ (табл. 27).

* Шухардит (никелевый хлорит). Спорадически встречается в Ni-силикатных залежах Айдербака. В пробе установлено 0,2% никеля. Мелкие чешуйки весьма совершенной спайности [001]. Цвет желто-зеленый, перламутровый блеск, твердость 1-2. Развитие —, — $2V=5-6$, $Ng=1,532-1,535$; $Np=1,505-1,508$. От талька и хлорита отличается меньшим показателем преломления.

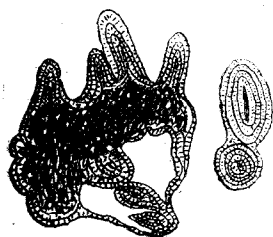


Рис. 32. Сферокристаллы гарниерита. Увелич. 400.

Al — Fe — Cr — Si-кислоты

Al — Fe — Si-комплексные кислоты при выветривании серпентинов образуются в широких масштабах, среди них спорадически встречается Cr—Si-кислота.

Минералы этой группы переменного состава имеют N непостоянный; при увеличении в молекуле железа N повышается. Против нормального состава $R_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ наблюдается избыток SiO_2 , входящей в опал-халцедон. От концентрации Fe_2O_3 минералы приобретают цвет густо-зеленый, от Cr_2O_3 — зелено-голубой. Fe — Si-кислота больше содержит цеолитной воды (сильный пермутит). На кривых нагревания они дают три однотипные остановки. В образцах с повышенным содержанием воды низкотемпературная (100°) площадка на кривых нагревания увеличивается (рис. 33).

Кривые нагревания Al — Fe — Cr — Si-кислот между собою тождественны; экзотермические остановки их отвечают таковым в серпентинах.

Дебаграммы Al — Fe — Cr — Si-кислот и Mg — Ni-гидросиликатов очень сходны, что указывает на близость их структур (рис. 34, табл. 30).

Таблица 26

Дебаграммы керолит-гарниерита²

Мягкая разность		Твердая разность		Примечание
Интенсивн. линии	α°	Интенсивн. линии	α°	
3	30,0	1	23,5	Дебаграммы обеих разностей точно не совпадают с дебаграммами типоморфных Mg-Ni-силикатов. Дебаграмма мягкой разности ближе подходит к керолитовой. Дебаграмма трердой разности ближе подходит к гарниеритовой
2	33,4	1	37,6	
3	36,6	1	53,3	
3	38,0	1	57,6	
2	55,8	5	64,6	
3	57,6	4	77,2	
5	64,4	—	—	
4	77,0	—	—	

¹ Анализировалось 0,405 г; из-за недостатка материала H_2O и CO_2 отдельно не определялись.

² Все дебаграммы сняты Е. Ф. Алексеевой, ЦНИГРИ. Условия съемки: Fe — излучение, длина волны $K_\alpha=1,93 \text{ \AA}$; $K_\beta=1,75 \text{ \AA}$. Диаметр камеры — 45,83 мм, диаметр образца — 1,0 мм.

³ α — расстояние между симметричными дужками по рентгенограмме, выраженное в миллиметрах.

	Вес %	Молекул. количе- ство	Пересчет на молекулярный состав			
			Кальцит	Гарни- ерит	Царацит	Нонтро- нит-гал- луазит
SiO ₂	14,17	0,236	—	202	—	34
Al ₂ O ₃	0,82	0,008	—	—	—	8
Fe ₂ O ₃	1,37	0,009	—	—	—	9
CaO	5,25	0,112	112	—	—	—
MgO	1,92	0,048	—	48	—	—
NiO	42,37	0,564	—	154	410	—
П. п. п.	32,92	H ₂ O	—	202	820	—
	—	CO ₂	112	—	205	—
Сумма	98,82	—	10,20%	29,00%	54,80%	4,830%

Примечание. Царацит рассчитан на формулу: $\text{NiCO}_3 \cdot \text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

* Галлуазит плотный взят на стенках кливажа разрушенного эмеевикового элювия. Блеск восковидный, жирноватый. Цвет кремово-серый. Действует на поляризованный свет. Структура волокнисто-таблитчатая, содержит эмульсионную вкрапленность опала. $N=1,522-1,530$; $2V$ очень маленькое.

Химический анализ тальковидного галлуазита выполнен М. М. Стукаловой, ЦНИГРИ (табл. 32).

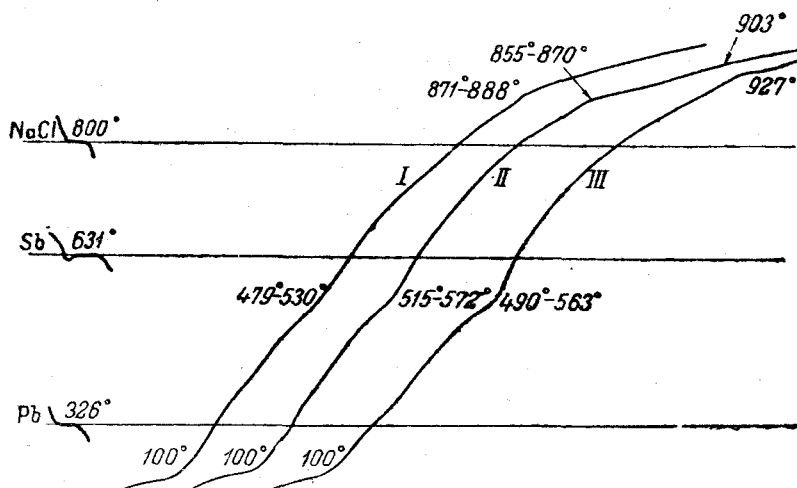


Рис. 33. Кривые нагревания Al—Fe—Cr—Si-кислот.

Данные анализа пересчитываются на валовую формулу: $\text{RO} \cdot 2\text{R}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, каковая ближе подходит к байделлиту.¹ Однако минерал неоднородный, представляет криптокристаллические и коллоидальные смеси, состав которых рациональнее пересчитывается: на галлуазит-нонтронит — $\text{H}_2(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 67,6\%$; Ni-сепиолит ($\text{Mg}, \text{Ni}, \text{Ca}, \text{K}_2 \text{Na}_2$) — $3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 22,1\%$ и опал-халцедон — $9,9\%$.

¹ Байделлит, подобно хлоропалу в группе нонтронита, представляет, вероятно, смесь галлуазита с опал-халцедоном.

Дебаграммы гарниерита и ревдинскита (рис. 35)

Изумрудно-зеленый сферокристаллический гарниерит	Интенсивн. линий a	3	36,2 1	21,4	3	36,2 1	22,6	38,2 1	2	5	38,2	4	39,0	3	46,0	3	55,6	3	56,6	5	64,6	3	65,9	1	68,8	0,5	70,5	4	72,4	—	78,1
Светлозеленый в серпентините ревдинскит с примесью кремнистых продуктов																															

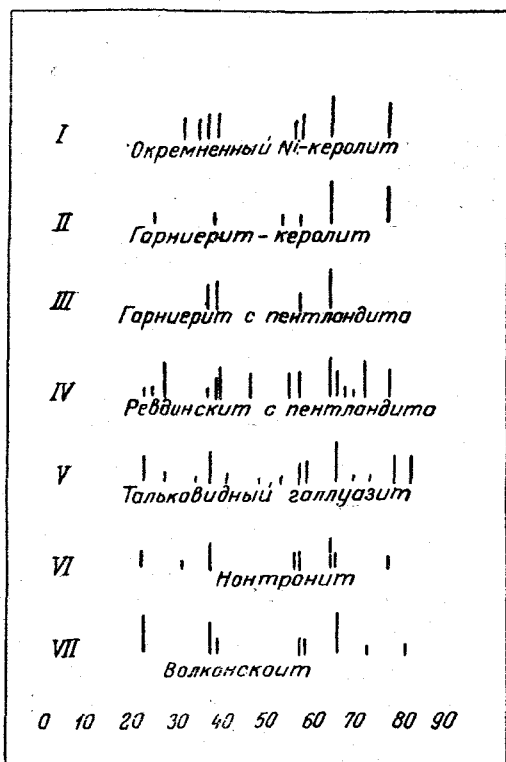


Рис. 34. Дебаграммы Mg—Ni-гидросиликатов и Al—Fe—Cr—Si-кислот.

Исследованные голубой и зеленый галлуазиты взяты на месторождении Айдербак из залежи поднаносного змеевикowego элювия. Залежь представлена пестрыми расцветками железного сурика и охры, голубого и зеленого галлуазитов, петельчатосетчатым скоплением в них порошкового опал-халцедона (рис. 25).

Голубой галлуазит имеет микротаблитчатую структуру и действует на поляризованный свет.

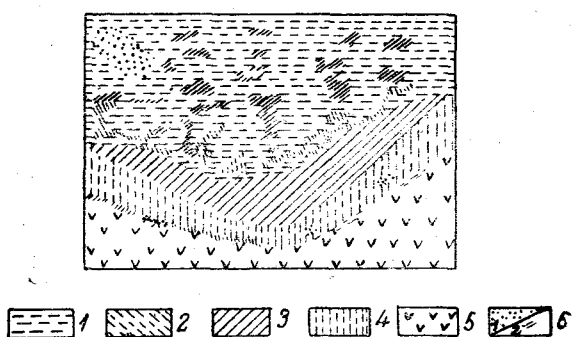


Рис. 35. Залежь нонтронита.

1 — охристый бурый железняк; 2 — железный сурик; 3 — нонтронит; 4 — обохренный галлуазит-нонтронит; 5 — карбонатизированный разрушенный змеевик; 6 — кремнистые скелеты (I) и асболово-вазовые скопления (II). Масштаб 1 : 10.

Объяснительная таблица к кривым нагревания Al—Fe—Cr—Si-кислот (рис. 31)

Минеральный вид	№ кривой	Остановки эндотермич.		Остановки экзотермич.		Остановки	Характер остановки
		начало	конец	начало	конец		
Бледноголубой галлуазит	I	—	100°	—	—	Большая	От большого количества низкотемпературной воды
		479°	530°	—	—	Средняя	Диаспоро-каолинитовая, т. е. моногидратная
Оливково-зеленый псевдо-оолитовидный нонтронит (хлоропал)	II	—	—	871°	888°	Слабая	Муиллитовая
		—	100°	—	—	Очень большая	От большого количества низкотемпературной воды
		515°	572°	—	—	Средняя	Диаспоро-каолинитовая, т. е. моногидратная
Голубо-зеленый плотный волконскоит	III	—	—	855°	870°	Слабая	Муиллитовая
		—	100°	—	—	Средняя	От большого количества низкотемпературной воды
		490°	563°	—	—	Большая	Диаспоро-каолинитовая, т. е. моногидратная
Остановки на кривых нагревания галлуазита, Кобб (6)		—	—	903°	927°	Средняя	Муиллитовая
		—	100°	—	—	—	Снижение остановок каолинитовой и муиллитовой происходит от влияния примесей
		490°	560°	—	—	—	
		—	—	860°	930°	—	

$N=1,542$. Двупреломление порядка 0,008, $2V$ очень маленькое (химический анализ¹—табл. 33). По химическому составу ближе подходит к галлуазиту из Георгии, анализ Е. Пизнани (35).

* Нонтронит, $H_2(Fe,Al)_2Si_2O_8 \cdot 2H_2O$. Более чистые яркозеленые нонтрониты встречаются в трещинах и карманах поднаосного змеевикowego элювия (рис. 35).

Агрегаты нонтронита крупитчато-псевдо-оолитовые. С трудом растирается в ступке, имеет спутанно-волокнистую и микро-параллельную волокнистую структуру, которая напоминает псевдоморфную структуру серпентина (рис. 36). Параллельные волокна — пластинки плеохроируют в зеленозеленых и желто-зеленых цветах. Развитие —, погасание прямое, в единичных случаях наблюдается косое с маленьким углом, $+2V$ маленькое. N колеблется от 1,476 до 1,610. Для железистых разностей $Ng-Np=1,610-1,595-0,015$ (химический анализ²—табл. 34).

При выветривании распадается в бурый железняк, сохраняющий агрегаты нонтронита, и опал, переходящий в халцедон и кварц.

* Волконскоит³ $H_2(Cr,Al,Fe)_2Si_2O_8 \cdot 2H_2O$. Найден на месторождении Дюрт-Кель-Тюбе, в яме у триангуляционного столба, вблизи дороги в Ново-Киевку. Скопления его в трещине окремненного разрушенного, серпентина представлены в парагенезисе с галлуазитом—нонтронитом, бурым железняком, опалом, халцедоном (рис. 37). Плотный, в сухом состоянии сравнительно хрупкий, в руке рассыпается в брекчиевидную крупку. Твердость 1—2. Блеск матовый, слегка жирноватый. Голубовато-

¹ Анализы выполнены В. М. Ковязиной, ЦНИГРИ.

² Анализы выполнены М. М. Стукаловой, ЦНИГРИ.

³ Анализируемый волконскоит по валовому составу больше подходит к хромбайделлиту ($R_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$). Последний (подобно хлоропалу в группе нонтронита) представляет смесь волконскоита с опал-халцедоном.

Дебаграммы Al—Fe—Cr—Si-кислот (рис. 32)

	Интенсивность линий	3	1	1	33,6 3	4	1	0,5	0,5	2	3	5	0,5	0,5	3	3
Плотный галловидный галлуазит	Интенсивность линий a	21,6 1	26,6 1	33,6 3	37,0 2	40,5 2	48,2 4	53,2 2	57,4 1	59,0 —	66,0 —	69,8 —	73,4 —	79,4 —	83,0 —	—
	Интенсивность линий a	21,2 5	30,6 4	36,9 2	56,6 2	57,6 2	64,8 5	65,5 1	77,7 1	—	—	—	—	—	—	—
Оливково-зеленый мелко-оолитовый нонтронит (хлоропал)	Интенсивность линий a	22,0	37,2	38,6	57,9	59,0	66,6	72,6	82,0	—	—	—	—	—	—	—
Голубо-зеленый плотный волконскоит	Интенсивность линий a	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

зеленый цвет. Под микроскопом имеет параллельно- и спутанно-волокнистую структуру, действует на поляризованный свет (адсорбированные опалом участки изотропные). Удли-

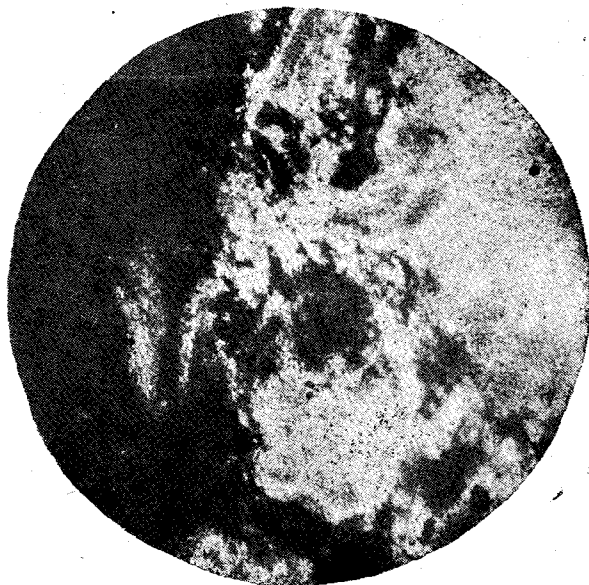


Рис. 36. Спутанно-волокнистый нонтронит. Увел. 160.

нение — $1, 2V_d$ очень маленькое $N=1,520-1,546$. N изменяется в зависимости от присутствия изоморфной примеси Al, Fe в составе молекулы. Сингония моноклинная (?) (химический анализ — табл. 34).

Лейкоксен, $CaTiSiO_5$. На ильмените в габбровых породах микроскопически встреча-

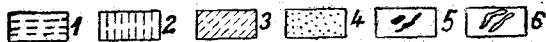
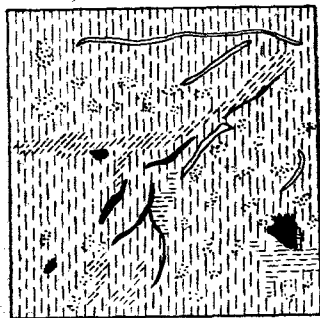


Рис. 37. Залёжь волконскоита.

1 — охристый бурый железняк; 2 — глинистый галлуазит-нонтронит; 3 — волконскоит; 4 — опал-халцедоновые скелеты; 5 — скопления асболонава; 6 — порошковатые карбонаты с опалом.

Размер фракций мм	Бледноглубой глинистый галлуазит		Оливково-зеленый крупитчато-глинистый галлуазит-нонтронит		Оливково-зеленый мелко-оолитовидный нонтронит	
	% сод. фракц.	Минерал. состав	% сод. фракц.	Минерал. состав	% сод. фракц.	Минерал. состав
1—0,5	—	Халцедон, опал, хромшпинелид	0,08	Халцедон, опал, хромшпинелид	—	Хромшпинелид, кварц, халцедон, опал
0,5—0,25	0,06		1,68		0,04	
0,25—0,05	8,52		8,94		2,98	
0,05—0,01	13,01	Кальцит, халцедон, опал, галлуазит, гидраргиллит	9,54	Опал, халцедон, хромшпинелид, галлуазит, серпентин, нонтронит	10,52	Нонтронит, серпентин, опал
0,01—0,005	26,00		40,82		34,08	
0,005—0,001	6,45		8,82		7,72	
< 0,001	45,96	—	30,2	—	44,66	—

ются коричневатые корочки лейкоксена, представляющие продукты выветривания ильменита.

Таблица 32

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	NiO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	+H ₂ O	—H ₂ O	Сумма
Вес %	48,08	0,41	23,02	2,37	0,80	1,05	2,94	0,89	1,29	7,69	11,11	99,65
Молекул. колич.	800	5	225	15	11	18	74	10	20	428	618	—

Генезис экзогенных минералов

Ультраосновные породы, образовавшиеся в условиях глубокой зоны, при нормальной t и P земной поверхности неустойчивы. Нарушение равновесия системы сопровождается сложным ее изменением, своеобразным поверхностным метаморфизмом, называемым латеритным выветриванием, совокупность которого складывается из процессов гидратизации, карбонатизации (вынос металлов), окисления, гидролиза и образования коллоидальных и криптокристаллических осадков. Здесь кристаллоиды глубинной зоны энергично разрушаются, уступая место поверхностным коллоидам и особенно криптокристаллоидам, трудно изучаемым минералогически. Выветривание определяется рядом сложных факторов, из которых главную роль играет климатический режим района, определяющий гидрохимические процессы, связанные с циркуляцией поверхностных и грунтовых вод. Согласно правилу Оствальда скорость процесса удваивается при повышении температуры на 10°C. С повышением температуры резко увеличивается электролитическая диссоциация воды и ее активность.

Гидролиз силикатов зависит от климата. Ортосиликаты и метасиликаты в теплых климатических условиях выветриваются в гидросиликаты (Берг, В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, В. Линдгрэн), которые в дальнейшем при изменении кислотности среды снова разрушаются в гидро-

	Бледноглубой глинистый галлаузит					Оливково-зеленый крупитчато-глинистый галлаузит-нотронит								
	Вес %	Молекул. колич.	Керолит	Галлаузит	Гидраргиллит	Вес %	Молекул. колич.	Галлаузит	Нотронит	Керолит-гариерит	Хромит	Опал-халцедон		
SiO ₂	41,90	0,698	21	677	—	46,10	0,751	330	104	99	—	218		
TiO ₂	следы	—	—	—	—	следы	—	—	—	—	—	—		
Al ₂ O ₃	37,28	0,365	—	337	28	17,73	0,165	165	—	—	—	—		
Cr ₂ O ₃	0,16	0,001	—	1	—	1,34	0,008	—	—	—	8	—		
Fe ₂ O ₃	0,20	0,001	—	1	—	8,30	0,052	—	52	—	—	—		
FeO	не опр.	—	—	—	—	0,56	0,008	—	—	—	8	—		
MnO	—	—	—	—	—	нет	—	—	—	—	—	—		
CaO	0,48	0,008	8	—	—	0,96	0,017	—	—	17	—	—		
MgO	0,52	0,013	13	—	—	2,82	0,071	—	—	71	—	—		
NiO	нет	—	—	—	—	0,06	0,001	—	—	1	—	—		
K ₂ O	—	—	—	—	—	0,68	0,010	—	—	10	—	—		
Na ₂ O	—	—	—	—	—	нет	нет	—	—	—	—	—		
+ H ₂ O	11,47	0,637	21	994	84 {	8,53	0,437	165	52	99	—	157		
— H ₂ O	8,33	0,462	—			—	—	13,35	0,732	330	104	—	—	298
Сумма	100,34	—	2,68%	93,25%	4,42%	99,63	—	46,5%	17,4%	12,35%	19%	21,3%		
Валовая формула: R ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 3H ₂ O Молекулярные отношения { 50H ₂ (Al,Fe,Cr) ₂ Si ₂ O ₈ · 2H ₂ O H ₂ (Mg,Ca)SiO ₄ 2(Al ₂ O ₃ · 3H ₂ O)						Валовая формула: RO · 2R ₂ O ₃ · 8SiO ₂ · 12H ₂ O Молекулярные отношения { 3H ₂ Al ₂ Si ₂ O ₈ · 2H ₂ O H ₂ Fe ₂ Si ₂ O ₈ · 2H ₂ O H ₂ (Mg,Ca,Ni,K) ₂ SiO ₄ 2(SiO ₂ · 2H ₂ O)							Изоморфные смеси Криптокристаллические смеси Криптокристаллические смеси и коллоидные примеси	

Примечание. Хромшпинелид из первого анализа отобран под микроскопом. Материал второго анализа отбирался макроскопически, содержит механические примеси.

Оливково-зеленый псевдо-оолитовый нонтронит (хлоропал)				Голубо-зеленый плотный волконскоит							
Вес %	Молекул. количество	Пересчет на молекулярный состав			Вес %	Молекул. количество	Пересчет на молекулярный состав				
		Гарни-ерит	Галлу-азит	Нонтро-нит			Опал-халцедон	Гарни-ерит	Галлу-азит	Нонтро-нит	Волкон-скоит
SiO ₂	44,77	94	272	168	211	42,82	0,715	61	442	34	144
TiO ₂	следы	—	—	—	—	нег	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	13,90	—	136	—	—	22,51	0,221	—	221	—	—
Fe ₂ O ₃	13,35	—	—	84	—	2,65	0,017	—	—	17	—
Cr ₂ O ₃	0,84 ¹	—	—	—	—	2,53 ²	0,017	—	—	17	—
FeO	следы	—	—	—	—	следы	—	—	—	—	—
NiO	0,24	3	—	—	—	0,12	0,002	2	—	—	—
CaO	1,05	18	—	—	—	0,43	0,008	8	—	—	—
MgO	2,51	63	—	—	—	2,09	0,051	51	—	—	—
K ₂ O	следы	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	1,20	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+ H ₂ O	7,83	94	136	84	120	11,66	0,648	61	221	17	392
— H ₂ O	14,21	—	272	168	350	15,75	0,875	—	663	51	110
С у м м а	99,94	—	38,25%	28,20%	21,15%	100,56	—	—	65,10%	6,54%	15,86%
Валовой состав: RO · 2R ₂ O ₃ · 8SiO ₂ · 12H ₂ O				Изоморфные смеси				Изоморфные смеси			
Состав в молекулярных отношениях { 3H ₂ Al ₂ Si ₂ O ₈ · 2H ₂ O 2H ₂ Fe ₂ Si ₂ O ₈ · 2H ₂ O H ₂ (Mg, Ca, Ni, Na ₂) ₂ SiO ₄ 2(SiO ₂ · 2H ₂ O) }				Криптокристаллические и коллоидальные смеси				Криптокристаллические и коллоидальные смеси			

Примечание: В обоих анализах материал сильно поглощен кремнеземом.
Al—Fe—Cr—Si-кислоты кроме конституционной и кристаллизационной воды содержат цеолитную и гигроскопическую, которая присчитана к опалу.

1 Cr₂O₃ входит в состав хромшпинелида.
2 Хромшпинелид из анализа отобран под микроскопом.

силикаты более кислого состава (эволюционный принцип химии) и только в последнюю стадию их выветривания освобождается коллоидальная кремнекислота.

Например, при выветривании оливина получается ряд: оливин → серпентин → керолит¹ (обычно смешанный с Al—Fe—Si-кислотами) → опал, в дальнейшем переходящий в кристаллические продукты.

Кроме того, при непрерывном изменении свойств вещества между минералами нормального состава могут возникать промежуточные переходные типы (мутабильные по А. Е. Ферсману), в которых отношение окислов не укладывается в простые кратные числа.

Только широтной зональностью гипергенных процессов можно объяснить огромное распространение змеевиков сплошным горизонтом в коре выветривания перидотитовых массивов. Доюрская кора выветривания Халиловского массива образовалась в условиях тропического климата.

Металлы из силикатов и гидросиликатов выносятся главным образом карбонатными растворами. Поверхностный процесс карбонатизации проходит одновременно с гидратизацией и в большей степени развивается в гидросиликатах группы серпентина. Водноуглекислый метасоматоз при латеритовом выветривании играет исключительную роль и проявляется в больших масштабах. CO₂ действует в не газообразном, а в растворенном виде, ибо содержание последней в воде в сто раз превосходит ее газообразное количество в атмосфере.

Углекислота является очень слабым соединением. Концентрация ионов H⁺ и HCO₃⁻ возможна главным образом в верхних зонах коры выветривания, проявляется в бикарбонатных растворах, которые в нижних зонах играют весьма ограниченную роль, где их заменяют гидрокарбонатные растворы.

Железо-никелевые сульфиды окисляются в сульфаты, которые в поверхностных процессах, особенно в образовании никельгидросиликатов, играют весьма важную роль.

Карбонатные растворы щелочных металлов (главным образом магния) в зависимости от кислотности среды выпадают в углекислые соли различной основности и гидратности. Растворы металлов переменного кислородного потенциала (Fe, Mn, Co) выпадают в гидрокислы.

В порядке выпадения осадков (минералов) в коре выветривания для разного рода элементов главнейшим фактором является величина p_n (кислотность среды).

Величина p_n является функцией валентности и размера ионного радиуса элемента. В верхних зонах коры выветривания выпадают в осадки элементы высокой p_n (кислотные) и валентности, малого ионного радиуса, а в нижних — наоборот.

Главнейшие элементы, входящие в ультраосновные породы, имеют p_n (n -логарифм отрицательный): Si—2, Fe^{'''}—3, Mn^{'''}—4, Cr?, Al—5, Mn^{'''}—5—6, Cu—6, Fe^{''}—6—7, Co—7, Ni—9, Mg—10, Ca—11, Ba—11.

В порядке этого ряда в соединениях каждый предыдущий элемент может замещать последующий и их осадки разделяются в коре выветривания. В результате развивается зональное строение коры выветривания, где сверху вниз распределяются экзогенные минералы (дается схематично).

Кварц
Халцедон
Опал

} В верхней зоне находится в небольших количествах. Большая часть кремнекислоты щелочными растворами сносится в зону никелевых залежей

¹ В соответствующей химико-геологической среде из серпентина или керолита образуется сепиолит.

Бурый железняк
 Асболоан-вад
 Гипс (во всех зонах)
 Нонтронит
 Волконскоит
 Гидраргиллит (акцессорно)
 Галлуазит
 Хризоколла
 Керолит
 Ni—керолит
 Гарниерит
 Ревдинскит

Царацит (акцессорный)
 Баудиссерит
 Джиобертит
 Гидромагнетит
 Артинит
 Брусит
 Бруньятеллит
 Гидродоломит
 Доломит
 Кальцит
 Арагонит

Сerpтинны — измененные в разной степени, как продукты выветривания оливина и энстатита.

Главнейшие возможные пути образования экзогидатогенных минералов в коре выветривания:

1) взаимодействием молекулярных растворов с твердыми телами (метасоматоз) вытесняются металлы с низким p_H . Осадительная способность минерала зависит от его дисперсности: чем мельче вещество, тем активнее проявляются свойства к осаждению;

2) выпадение осадков из молекулярных растворов под влиянием переменных величин p_H ;

3) выпадение осадков из молекулярных растворов под влиянием кислородного потенциала (гидролиз);

4) взаимодействие молекулярных растворов с обменом катионами;

5) коагуляция коллоидальных растворов в гель;

6) осаждение под влиянием адсорбции, мицеллы SiO_2 и MnO_2 адсорбируют катионы из растворов и гидрозолы их.

Все эти процессы далеко не равноценны для геохимии отдельных элементов коры выветривания. На обзоре их для главнейших элементов вкратце остановимся.

Кремний. При гидролизе Mg-силикатов, как указывалось выше, получаются Mg-гидросиликаты ряда: оливин, серпентин, керолит, опал. Гель SiO_2 в дальнейшем раскристаллизовывается: опал → кахчолонг → халцедон → кварц.

Мицеллы кремнекислоты адсорбируют ионы и гидрозолы Fe, Al, Cr, Cu, Ni в простые и комплексные гели.

Железо. Миграция железа возможна в бикарбонатных, органических и коллоидальных растворах. Распространенность бруньятеллита в зоне белого выветривания указывает на циркуляцию карбонатных растворов железа.

Осадки железа фиксируются в минералах группы лимонита (верхняя зона), нонтронита (средняя зона), бруньятеллита (нижняя зона).

В верхней зоне под влиянием кислородного потенциала соединения железа переходят в гидроокиси и коагулируют в простые и сложные гели.

Образование нонтронита возможно разными путями:

1) совместной коагуляцией гидрозолей $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$;

2) переокислением железа внутри соединений Mg—Fe"-силикатов (серпентина - керолита) и замещение им выщелачиваемого магния;

3) осаждением из молекулярных растворов (например $\text{Fe}_2[\text{SO}_4]_3$) Mg-гидросиликатами (железный метасоматоз). Из-за малого количества Fe-сульфидов в породах возможность весьма ограничена;

4) за счет примеси окиси железа в первичных силикатах (весьма ограниченно).

В нижней зоне (нейтрально-щелочная среда) железо из молекулярных растворов осаждается в бруньятеллит под влиянием p_H .

Алюминий. Свободные гидрозолы окиси алюминия в верхней зоне коагулируют в смеси с лимонитом. Они в зеленой зоне осаждаются в комплексе с кремнекислотой в галлуазит с изоморфной примесью нонтронита и волконскоита. Из молекулярных растворов алюминий может осаждаться Mg-гидросиликатами.

Хром. В змеевиковом элювии поведение хрома аналогично Fe, Al. Вследствие устойчивости хромшпинелидов образование экзогидатогенных минералов весьма ограничено. Гидрозолы Cr_2O_3 в комплексе мицеллами SiO_2 осаждаются в волконскоит. Кроме него в коре выветривания возможны милошин и хромовая охра.

Марганец. При выветривании первичных силикатов марганец переходит в бикарбонатные растворы, которые под влиянием кислородного потенциала распадаются в гидрокислы, селективно адсорбирующие кобальт и никель в гели асболана-вада.

Распространение марганцовых дендритов в джиобертитах не исключает возможности осаждения их из растворов магнезиальными гидрокарбонатами.

Кобальт. Ничтожное содержание кобальта в материнских породах и концентрация его до нескольких процентов в асболан-ваде свидетельствуют об избирательной адсорбции гелей гидрокислов марганца в отношении положительных ионов кобальта, образующихся из Со-бикарбонатов (Со-силикатный) и их продуктов окисления.

Никель. Изучение грунтовых вод Ni-гидросиликатных месторождений показывает, что никель мигрирует в ионном состоянии (сульфатных и бикарбонатных растворов) и выпадает в осадок (под влиянием p_{H}) в нейтральной или слабоосновной среде. В гипергенной обстановке из растворов никель осаждается в гидрокислы состава асболана-вада (латеритная зона), главным образом, в простые и сложные гидросиликаты (зона зеленого выветривания) и аксессуарно, в минералы группы царцита (зона белого выветривания).

Пути фиксации никеля в экзогидатогенных минералах:

1. Адсорбция катионов никеля гидрокислами марганца. Природа асболана-вада нам совершенно неизвестна. Возможно, здесь находится трехвалентный никель в связи с кобальтом.

2. Осаждение из молекулярных растворов всеми Mg-гидросиликатами, хлоритами (и, вероятно, оливином) с обменом катионами, где Ni замещает Mg (никелевый метасоматоз). В результате получают Mg—Ni-гидросиликаты, Mg выносятся в раствор. Это одна из главных форм фиксации Ni в условиях гипергенеза.

3. Адсорбция кремнекислотой NiO в комплексе с $\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ и редко Cr_2O_3 . В результате получают криптокристаллические смеси гарниерита и галлуазита-нонтронита.

4. Осаждение из сульфатных (Ni-сульфидный) растворов Ca—Mg-карбонатами в минералы группы царцита, которые подобно Mg-гидрокарбонатам могут быть переменного состава.

Магний. Из силикатов и гидросиликатов магний выносятся в карбонатные растворы (водоуглекислый метасоматоз), из которых под влиянием p_{H} выпадают разной основности магнезиальные гидрокарбонаты — гидромагnezит (*Magnesia alba*), артинит, бруньятеллит (возможны лансдорфит, несквегонит) и брусит. Все эти минералы неустойчивы, превращаются в джиобертит (дегидратация), а в условиях повышенной кислотности (ближе к поверхности) переходят в бикарбонатные растворы, которые в нижней зоне снова выпадают в осадки.

Кальций. Из экзогидатогенных минералов известны: кальцит (мало), арагонит, доломит, гидродоломит (возможен гидрокальцит). В среде повышенной основности карбонаты кальция осаждаются главным образом в арагонит. Сульфатные растворы кальцевыми карбонатами осаждаются в гипс.

Список минералов Халиловского массива

№ по пор.	Названия минералов ¹ (расположены в порядке химической классификации)	Магма-тогенные	Пневмато-генные	Эндо-гидато-генные	Экзо-гидато-генные
1	* Графит		×		
2	* Медь			×	
3	* Пирротин	×	×		
4	Пентландит	×			
5	* Миллерит			×	
6	* Виолярит (?)			×	
7	Пирит			×	
8	* Марказит		×	×	
9	Халькопирит	×			
10	— Циркон	×			
11	Кварц	×		×	
12	Халцедон ²				×
13	Опал ³				×
14	* Брусит			×	×
15	* Гидраргиллит				×
16	* Гетит				×
17	Бурый железняк				×
18	Асболоан-вад				×
19	Кальцит			×	×
20	Арагонит			×	×
21	Доломит			×	×
22	* Гидродоломит			×	×
23	* Баудиссерит				×
24	* Джиобертит				×
25	* Гидромагnezит				×
26	* Артинит				×
27	* Царацит				×
28	Гипс				×
29	Апатит	×			
30	Хромшпинелиды ⁴	×			
31	Магнетит	×		×	×
32	* Мартит				×
33	Оливин	×			
34	Энстатит	×			
35	— Гиперстен	×			
36	Диаллаг	×			
37	Авгит	×			
38	Хромшпинелиды	×			
39	* Пектолит			×	
40	Роговая обманка	×			
41	Актинолит			×	
42	Хризотил-асбест			×	
43	Хризотил плотный ⁵		×	×	×
44	Антигорит		×	×	
45	Бастит				×
46	Тальк			×	
47	* Керолит				×
48	* Ni-керолит				×
49	* Ревдинскит				×
50	Гарниерит				×
51	* Галлуазит				×

¹ Минералы, отмеченные знаком (*), указываются мной на месторождении впервые. Минералы, отмеченные черточкой (—), указывались только предыдущими исследователями.

² Разновидности халцедона: * Сапфирин, * Агат, * Сердолик, * Кахчолонг, Хризопраз.

³ Разновидности опала: Полуопал, * Энгидрос, Кремьень, * Гиалит.

⁴ Разновидности хромшпинелидов: * Хромшпинелит, * Феррихромшпинелит.

⁵ Разновидности серпентина-хризотила: * Офит, * Пикролит, * Метаксит, * Вильямсит.

№ по пор.	Названия минералов ¹ (расположены в порядке химической классификации)	Магматогенные	Пневматогенные	Эндогигатогенные	Экзогигатогенные
52	* Нонтронит				×
53	* Волконскоит				×
54	* Гранат бурый (?) ²	×			
55	* Демантоид		×		
56	* Уваровит		×		
57	Лабрадор	×			
58	Альбит			×	
59	Цоизит			×	
60	Эпидот			×	
61	Пренит			×	
62	Биотит	×			
63	Серицит			×	
64	Хлориты			×	
65	* Родохром		×		
66	* Шухардит				×
67	— Титанит	×			
68	Ильменит	×			
69	Лейкоксен				×

В составе Халиловского массива известно 25 элементов: Н, К, Na, Mg, Ca, Sr, Ba, Ag, Au, Pt, Zn, Cu, Fe, Ni, Co, Mn, Cr, Ti, V, As, P, Si, Zr(?), C, S. Из них содержание благородных металлов отмечается спектрально; Zn, V — в следах, Sr, Ba — в сотых долях процента. В порядке заключения привожу сводку минералов с подразделением их на генетические группы, которая дается в табл. 35, но еще раз подчеркну, что эта сводка не может быть исчерпывающей для Халиловских месторождений. При дальнейших разведочных и исследовательских работах необходимо обратить внимание на возможность нахождения минералов, указанных мной в числе проблематичных в параграфе „Генезис экзогигатогенных минералов“, а также изучить Mg—Ni-гидросиликаты на более чистом материале.

Литература

1. Алешков А. Н. Дунито-перидотитовые массивы Полярного Урала, Ак. Наук СССР, 1929.
2. Берг. Геохимия месторождений полезных ископаемых, 1933.
3. Бокий Г. Б. Геологическое строение окрестностей Халиловского месторождения бурых железняков, „Вестник Всесоюзн. Геолого-разведочн. объединен.“, VI—1931 № 11—12.
4. Воробьев А. А. Никелевые и кобальтовые руды Халиловского района. Минеральное сырье и цветные металлы, стр. 252, № 3, 1929.
5. Гейслер А. Н. Магнезит в Халиловском районе. „Вестник Геолкома“, № 4, 1925.
6. Гинсберг А. С. и Никогосян Х. С. Об изменениях в аллофанаильных глинах, при нагревании. Тр. Минер. музея Ак. Наук, IV, 1930.
7. Глазковский А. А. и Смуров А. А. Минеральные ресурсы СССР. Никель, Главн. Геолого-развед. управление, 1931.
8. Гольдшмидт В. М. Основные идеи геохимии, вып. I, 1933.
9. Долово-Добровольский В. В. Исследование состава Халиловской никелевой, руды и распределение никеля по минеральным составляющим, Механобр, 1933.
10. Заварицкий А. Н. Коренные месторождения платины на Урале, Геол. ком., вып. 108.
11. Заварицкий А. Н. Перидотитовый массив Рай-Из в Полярном Урале, Всесоюзн. Геол.-развед. управление, 1932.
12. Заварицкий А. Н. Магнезит, КЕПС, № 31, 1918.

¹ Минералы, отмеченные знаком (*), указываются мной на месторождении впервые. Минералы, отмеченные черточкой (—), указывались только предыдущими исследователями.

² Гранат бурый точно не установлен; наблюдавшиеся мельчайшие зерна в шлифе, возможно принадлежат хромпикотиту.

13. Карпинский А. П. Геологические исследования на Ю. Урале летом 1884 г., И. Г. К., т. IV, 1885.
14. Карпинский А. П. О вероятном происхождении коренных месторождений пла-
тины уральского типа, Изв. Ак. Наук, 1926.
15. Клер М. О. Магнетит. Нерудные ископаемые, КЕПС т. II, 1927.
16. Коптев-Дворников В. С. Халиловское месторождение магнетита на Ю. Урале.
„Минеральное сырье“, № 7—8, 1930.
17. Кротов Б. П. Петрографическое исследование южной части Миасской дачи, Тр.
Казанского об-ва естеств. 47, Казань, 1915.
18. Кузнецова Е. В. Материалы по минералогическому описанию никелевых руд
Тюленевского месторождения на Ю. Урале. Тр. Минер. музея Ак. Наук, т. I, 1926.
19. Курбатов И. Д. О никелевых силикатных рудах Нижне-Исетской дачи на Урале,
Тр. Минер. музея Ак. Наук, т. I, 1926.
20. Лавровиц Н. С. и Терсков Д. Я. Халиловское месторождение магнетита на
Ю. Урале, „Минер. сырье“, № 5—6, 1931.
21. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Геологические исследования в Губерлинских горах,
Зап. Минер. Общ., т. IV, 1891.
22. Меглицкий и Антипов. Геогностическое исследование южной части Уральского
хребта, „Горный журнал“, ч. III, 1857.
23. Никитин В. В. Геологическое исследование центральной части группы дач
В. Исетских заводов, Ревденской дачи и Мурзинского участка, Тр. б. Геол. ком.,
Нов. сер., вып. 22, 1907.
24. Объяснительная записка к геологической карте Урала, 1930.
25. Разумовский Н. К. Халиловское месторождение никелевой руды на Ю. Урале,
„Вестник Геол. ком.“, № 10, 1927.
26. Татаринов П. М. и др., Курс нерудных месторождений, ч. I, 1934.
27. Татаринов П. М. Материалы к познанию хризотил-асбеста Баженовского района
на Урале, Тр. Геол. ком., Нов. сер. вып. 185, 1928.
28. Ульянов Д. Г., Поляков К. В., Коптев-Дворников В. С., Смир-
нова С. П., Захарова Е. Е., Зив Е. Ф., Глазковский А. А. Халиловские
м-ния никелевых руд Ю. Урала, Ср.-Волжский Геол. разв. трест, в. I, 1932.
29. Ферсман А. Е. Материалы к исследованию и систематике водных магнезиальных
никелевых силикатов, Тр. Геол. музея Ак. Наук, т. VII, вып. 6, стр. 248, 1913.
30. Шадлун Н. А. О разведке никелевых руд в Халиловском районе. „Минеральное
сырье“, № 5—6, 1929.
31. Шадлун Н. А. Естественные производительные силы России, т. IV, 1923.
32. Шадлун Н. А. Ново-Черемшанское месторождение никелевых руд, „Изв. б. Геол.
Ком.“, т. XXXVI, № 1, стр. 148, 1917.
33. Бетехтин А. Г. К изучению месторождений хромистого железняка, Записки Лен.
Горного ин-та, т. VIII, 1934.
34. Doelter C., Handbuch der Mineralogie.
35. Schornstein W., Die Rolle kolloider Vorgänge bei der Erz- und Mineral-Bildung ins-
besondere auf den Lagerstätten der hydrosilikatischen Nickelerze. Abh. z. prakt. Geol.,
Bd. 9, 1927.
36. Krafft Ph., Über die genetischen Beziehungen des dichten Magnesits zu den Mine-
ralien der Nickelsilikatgruppe. Archiv für Lagerstättenforschung, Heft 20, 1915.
37. Krafft Ph., Über die genetischen Beziehungen des dichten Magnesits zu den Mine-
ralien der Nickelsilikatgruppe. Mitteilungen a. u. Institut der Lagerstättenforschung d.
Preussischen Landesanstalt. Berlin, 1923.

Zusammenfassung

Die Chalilowski serpentinierte gabbro-peridotive Massiv befindet sich in einer Entfernung von 60 km gegen Westen von der Stadt Orsk in S. Ural. Der Koordinaten der Station Chalilowo: 58°10' O. L. und 51°30' N. B.

Der gegenwärtige Relief ist geschaffen durch eine Erosion des Flusses des Gr. Guberli. In Tale des Flusses befindet sich ein Relief von kleinen Hügeln von gabbro-peridotiv Gesteinen, welche auf dem Plateau durch von Mesosoi und Kainosoi Ablagerungen bedeckt sind.

Nach der Zeit Formierung gehört dieser Massiv zur Periode der gerzin Ural Lagerung, der mittel-oberen Karbon Zeit.

Die Ursprungs-Gesteine sind vertreten durch verschiedene Arten folgender ultra-radikaler und radikaler Gesteine: Dunit, Garzburgit, Lerzolit, Diallagit, Gabbro, Gabbro-Diorit, Gabbro-Amfibolit, Plagioklasit und Gabbro-Diabas.

Zum Hauptteil besteht der Massiv aus serpentinisirten ultra-radikalen Gesteinen, von welchen der Hauptteil der Harzburgit ist, welcher in sich unbedeutende Steifen von Chrom-Duniten enthält. In der Nachbarschaft befinden sich seltene Ausgänge von Diallagit.

Die Gesteine des Gabbro Bestandes spielen eine unbedeutende Rolle zu den ultra-radikalen. Ihr Ausgang ist durch vereinzelte Hügel und Deiki dargestellt.

Die Industrie-Lager Chromspineliden befinden sich in den Duniten. Sie sind dargestellt durch Linsen, Pfeiler und derartige Körper mit streng bezeichneten Grenzen der erwähnten Arten.

Die nicht industriellen Anhaufungen sind dargestellt durch kleine Schliere in den Duniten und Inkrustationen der verschiedenen Konzentrierung von Peridotit.

Die Eisen-Nickel-Sulfid-Erzlager sind selten durch kleine derartige Schliere und Inkrustationen in Peridotit dargestellt.

Die Verwitterungsrinde der ultra-radikalen Gesteine hat eine vorjurische Periode. Sie besitzt eine vertical zonische Struktur. Die einzelnen Zonen derselben stellen Lager von exogenische nützlichen Ausgrabungen dar. Von oben scheiden sich folgende Zonen bei der Verwitterungsrinde aus:

1) Zone der roten Verwitterung—Rote Gebirge. Sie stellen Endprodukt der Verwitterung des ultra-radikalen Gesteins dar.

2) Zone der grünen Verwitterung — Nickel Hydrosilikat Lager. Sie ist verteilt in drei Horizonte: a) Nontronit-Halloysit; b) Nontronitische Serpentin; c) Kieselstein Serpentin.

3) Zone der weissen Verwitterung — Magnesia-karbonat Lager.

4) Zone der frischen, festen Serpentin.

Im Bestande der Gabbro-peridotit Gesteine und ihrer Rinde der Verwitterung sind folgende Minerale¹, zu konstatieren, welche hier nach dem Grot'schen System wie folgt verteilt sind:

Elemente

Graphit⁺, Kupfer⁺.

Sulfide und Sulfosalze

Pirrotin⁺, Markasit⁺, Pentlandit, Millerit⁺, Violarit⁺ (?) Chalkopyrit, Pyrit.

Oxyde und Hydroxyde

Quarz, Chalzedon (Sapfirin⁺, Chrisopras, Agat⁺, Serdolik⁺), Opal (Kieselstein, Hyalit⁺, Enhydros), Brucit⁺, Hydrargillit⁺, Goetit⁺, Brauneisenerz, Asbolan-Wad.

Karbonate

Calcit, Aragonit, Dolomit, Hydrodolomit⁺, Giobertit⁺, Baudisserit⁺, Hydromagnetit⁺, Artinit⁺, Brugnattellit⁺, Zaratit⁺.

Sulfate

Gyps.

Ferrite, Chromite

Magnetit, Martit⁺, Chromspinelid (Chrompicottit⁺, Ferrichrompicottit⁺).

Silikate

Olivin, Enstatit, Hypersten, Diallag, Chromdiopsid⁺, Avgit, Pektolith⁺, Hornblende, Aktinolith, Serpentine (Antigorit, Chrisotil, Asbest, Ophit⁺, Bastit, Pikrotit⁺, Metaxit⁺), Kerolith⁺, Garnierit, Rewdenskit⁺, Talk, Chrisokolla⁺, Halloysit⁺, Nontronit⁺, Albit, Plagioklas.

¹ Die mit einem Kreuzchen bezeichneten Mineralien sind von mir zum ersten Mal beobachtet.