

В.74

Т Р У Д Ы

ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

вып. 74. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СЕРИЯ (№ 16)

О. М. Шубникова „НОВЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВИДЫ И РАЗНОВИДНОСТИ,
“ОТКРЫТЫЕ В 1939—1944 гг.“, В. К. Здравомыслов „МИНЕРАЛЫ, ВПЕРВЫЕ
УКАЗЫВАЕМЫЕ ДЛЯ СССР В ЛИТЕРАТУРЕ 1939—1940 гг.“



Т Р У Д Ы
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ВЫП. 80. СЕРИЯ УРАЛЬСКОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ АН СССР (№1), 1946

И. И. Гинзбург, **А. А. Кац**, И. З. Корин,
В. Ф. Попков, **И. И. Савельев**, К. Н. Трубина

ДРЕВНЯЯ КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ
НА УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОДАХ УРАЛА

Часть 1

ТИПЫ И МОРФОЛОГИЯ ДРЕВНЕЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

И. И. Гинзбург, **А. А. Кац**, И. З. Корин, **В. Ф. Попков**,

И. И. Савельев, К. Н. Трубина

ДРЕВНЯЯ КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ НА УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОДАХ УРАЛА

ЧАСТЬ I

ТИПЫ И МОРФОЛОГИЯ ДРЕВНЕЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1936 г. Ломоносовский институт Академии Наук СССР организовал в своем составе „группу по изучению древней коры выветривания“ под руководством И. И. Гинзбурга. Перед группой, перешедшей впоследствии, в 1938 г., в Институт геологических наук, была поставлена задача — разработать теоретические вопросы, связанные с древней корой выветривания на ультраосновных породах Урала, на примере изучения месторождений силикатного никеля.

Настоящая работа представляет собой детальное и систематическое изложение результатов, полученных группой за шесть лет полевых и лабораторных исследований, а также критической проработки имеющихся литературных источников. Группе пришлось разрабатывать или освещать различные вопросы: геологию мезо-кайнозойских континентальных отложений применительно к истории древней никеленосной коры, минералогию последней в различных ее типах и на разных стадиях выветривания, геохимию гипергенных процессов. Явилась также необходимость постановки некоторых физико-химических экспериментальных работ.

Многообразие и сложность вопросов, подлежавших изучению группой коры выветривания, а также недостаточная предыдущая их изученность не могли не отразиться на равномерности освещения отдельных вопросов и полноте разработки отдельных частей.

Представляемая работа рассчитана на три части. Каждая из них тематически связана с остальными, но составлена так, что может читаться независимо от предыдущих и последующих, представляя самостоятельное целое.

Первая часть посвящена рассмотрению типов древней коры выветривания на ультраосновных породах Урала в отношении состава первичных пород, строения месторождений и химизма процессов выветривания. В последующих выпусках намечено осветить геохимию и геологию, минералогию и процессы образования различных типов той же коры.

Благодаря предшествующим публикациям и докладам сотрудников группы часть из того, что в этой работе излагается, уже вошла в практику геолого-разведочного дела, как привились и общие представления о древней коре выветривания и указываемые здесь поисковые признаки, а также частично и специальная терминология. В последнее время проблемы древней коры выветривания благодаря работам группы и других организаций привлекли общее внимание геологов; они разрабатываются в смежных дисциплинах и вышли далеко за пределы интересов одной никелевой промышленности.

Данная работа представляет собой первый законченный этап исследований группы древней коры выветривания на ультраосновных породах Урала. Не все еще вопросы здесь полностью охвачены и решены, многие из них только намечены, но и в этих случаях полученные результаты имеют немаловажное значение в качестве направляющих материалов при выявлении ресурсов никелевых руд.

Г Л А В А I

ОБРАЗОВАНИЕ ЗОН И ПРОФИЛЕЙ В ДРЕВНЕЙ КОРЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ¹

Условия образования древней коры выветривания более или менее аналогичны современным и обусловлены всеми теми процессами, которые характеризуют современные процессы. Но имеются и некоторые различия: они касаются масштаба отдельных процессов, преобладания тех или иных в связи, с одной стороны, с огромным промежутком времени, в течение которого эти процессы протекали, а, с другой стороны, с последующим наложением новых процессов на первичные. Во многих случаях мы встречаем, таким образом, многократную смену процессов в разных климатических и гидро-геологических условиях. Не исключено, что известное значение имел и не вполне тождественный состав атмосферы в разные геологические периоды. В древней коре выветривания „макрофакторы“ резко преобладают и ступеньками вызывают отдельные мелкие факторы. Очень большое значение в этом отношении приобретают факторы литологический, стратиграфический и тектонический, большее, чем микрофакторы климатические, что заставляет подходить к картированию коры выветривания иначе, чем это делают почвоведы.

Древняя кора выветривания приобретает значение не только как физико-химический фактор, но и как геологическая формация. Это значительно усложняет ее изучение и вызывает необходимость использования целого ряда геологических моментов, особенно важных в тех случаях, когда создается специфическая обстановка для концентрации каких-либо полезных металлов и минералов.

Главнейшие моменты, которые влияли на образование коры, входят в круг факторов: 1) климатических, 2) гидро-геологических, 3) литологических, 4) топографических, 5) тектонических, 6) историко-геологических.

Господствующими условиями определяется минеральный состав продуктов, образующихся при выветривании, мощность коры, степень развития отдельных зон коры, концентрация разных элементов и т. п. В совокупности все эти особенности ведут к образованию разнообразных типов коры выветривания.

Важно иметь в виду, что в процессе развития коры выветривания, по мере выщелачивания силиката, его рН меняется в сторону более

¹ Теоретические положения к этой главе будут изложены в последней части этой работы.

кислую, и в тот момент, когда рН силиката становится равным рН протекающей воды, реакция разложения останавливается. Чем больше разница между первичной щелочностью (рН) минерала и рН раствора, тем, при всех прочих равных условиях, реакция идет глубже и интенсивнее. По мере выщелачивания оснований из верхних горизонтов уменьшается их усредняющее влияние на кислотность протекающих через них водных растворов и иным становится воздействие этих растворов на горизонты, которые они пересекают. Ранее образовавшиеся или уже существовавшие силикаты начинают разлагаться и дают стойкие при малых величинах рН окислы (Fe_2O_3 , SiO_2). Книзу, с увеличением рН, реакция разложения силикатов ведет к образованию других минералов. Если продукты реакции мало растворимы или не так быстро выносятся, разложение будет более слабым и менее полным. При равных условиях отвода продуктов реакции и притока воды значение приобретает степень растворимости продуктов реакции. В зависимости от стойкости минералов по отношению к выветриванию и растворимости продуктов реакции, например щелочных и щелочно-земельных полевых шпатов, пироксенов и серпентинов, мощность разложения за одно и то же время при прочих одинаковых условиях будет для разных пород разной.

Снизу вверх в результате процессов выветривания происходит увеличение пористости пород (объемный вес уменьшается), скорости прохождения через поры воды, количества и размеров капиллярных трещин и уменьшение рН грунтовой воды (усиление кислотности). В зависимости от последнего изменяется не только характер и степень разложения пород, но и состав осадков, которые выпадают в виде гелей или химических соединений. Как следствие прогрессивного изменения в течение длительного времени физического состояния и химического состава пород создается как в вертикальном, так и в горизонтальном сечении коры от свежей породы к разложенной ряд переходных стадий с границами между ними, зависящими от существующих гидрологических зон (аэрации, подвешенной воды, капиллярной и насыщенной воды), литологии породы и степени ее трещиноватости и пористости. С глубиной меняются как степень разложения пород, так и состав новообразующихся продуктов выветривания, причем неровные границы между неодинаково измененными породами обычно не резко отделяют господство одних характерных минералов от других. В пределах образующихся в коре выветривания зон иногда удается выделить и горизонты. Зональность прослеживается как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. С развитием коры выветривания границы отдельных зон опускаются: нижние зоны растут за счет свежих пород, верхние — за счет нижних. Такой же рост происходит в трещинной системе от оси трещины к альбандам. Последовательное распределение отдельных зон в поперечном разрезе коры выветривания образует профиль коры выветривания. Среди изверженных пород, где выветривание в той или иной степени связано с трещинной системой, остаются ксенолиты свежих пород, количество и размеры которых увеличиваются с глубиной. При продолжающемся выветривании ксенолиты постепенно исчезают.

При некоторых условиях (слабом выветривании современного типа в средних широтах) образуются мощные дезинтегрированные породы, которые, однако, в случае усиления выветривания (разложения) теряют в мощности, переходя кверху в породы, разложенные в разной степени. Выше последней зоны находится зона глиноземистых и железистых глин, сменяющаяся зоной охр разной мощности. Эти зоны подстилаются зоной свежих плотных пород, которые только в прожилках содержат иногда продукты изменения коренных пород,

отложившиеся из водных растворов: минералы кремнезема, карбонатов и водных силикатов магния, требующих высокой величины рН для своего образования.

Климатические условия образования древних кор выветривания могли быть самыми разнообразными. Наиболее мощную кору давало выветривание в условиях климата, близкого к современному тропическому и субтропическому, почему эта кора чаще всего в какой-то своей части и сохраняется от последующих эрозийных процессов. Хорошо сохраняются также силицифицированные породы, чаще всего связанные с пустынным (аридным) выветриванием. По условиям залегания хорошо сохраняется кора выветривания в опущенных последующими тектоническими процессами зонах, а также в карстовых впадинах, внутри глубоких трещин, и везде, где была хорошая покрывка из водонепроницаемых пород, остававшихся длительное время не эродированными. Поэтому кора выветривания на водоразделах сохраняется дольше и на больших площадях, чем в пониженных местах, особенно в долинах и на их склонах, где она раньше всего смывается.

Изменение климатических условий в течение всего мезо-кайнозоя могло в открытых корах выветривания вызвать развитие одних зон за счет других или наложение новых зон. В первичном состоянии зоны могли хорошо сохраниться только в корах, закрытых более древними осадками.

В дальнейшем мы будем рассматривать выветривание одних изверженных пород, не касаясь пород осадочных, лежащих вне области нашего исследования. Из изверженных пород мы остановимся исключительно на ультраосновных и основных породах, так как с ними связано никель-кобальтовое оруденение, больше всего нас здесь интересующее.

Г Л А В А II

ТИПЫ ДРЕВНЕЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

1. Типы коры

Прежде всего следует различать остаточную кору от переложенной. Остаточная кора представлена продуктами, оставшимися на месте разложения или выщелачивания первичной породы, причем обычно сохраняются структура и текстура последней. Переложенная кора образуется при переложении первичной коры на новом месте без механического привноса или при весьма слабом привносе посторонних первичной породе минералов. При переносе отдельные составляющие коры выветривания не претерпевают значительных изменений в своем минеральном составе, но структура породы не сохраняется. Это — делювий первичной коры.

Остаточная кора может на месте своего образования подвергаться перемыванию без переноса ее на новое место — в подобном случае мы имеем перемытую кору; по своему минеральному составу кора этого типа не всегда идентична с остаточной, возможен небольшой привнос посторонних минералов.

Иногда верхние горизонты коры в той или иной своей части смыты, оставшиеся же или не подверглись наложению на них новых процессов или затронуты ими; в обоих случаях образуется размытая кора. Если сохранились только отдельные языкообразные нижние части размытой коры среди плотной свежей или весьма слабо разложившейся породы, мы говорим о корнях коры выветривания.

Остаточная кора, равно как и переложенная, может впоследствии быть преобразована путем химической переработки или вноса инфильтрационными процессами добавочных элементов, что приводит к изменению как химического, так и минералогического и даже структурного состава коры; подобную кору мы называем преобразованной или наложенной.

Остаточная кора выветривания может образоваться или за счет плотных коренных пород, изверженных и метаморфических, или за счет рыхлых пород, образовавшихся при их разрушении, переносе и отложении.

В первом случае образуется, по терминологии Б. Б. Полянова (1934), ортоэлювий, во втором — параэлювий. Абсолютные отметки остаточной коры в пределах отдельных районов колеблются в неболь-

ших пределах, представляя собой древние поверхности выравнивания.

В остаточной коре следует отличать площадной тип выветривания, не связанный заметно с каким-либо особым направлением, и линейный, вытянутый в связи с особенностями геологического строения местности: линейной вытянутостью отдельных пород, тектоническими линиями, контактами и т. п. В случае связи с тектоническими линиями его называют трещинным типом коры.

Учитывая значение первичного состава пород, можно в каждом типе выделить те или иные подтипы и разновидности. В результате получаем классификацию коры выветривания по ее происхождению (см. табл. 1 и фиг. 1).

Эта классификация носит геолого-минералогический характер и приурочена к Уралу, преимущественно к коре выветривания на изверженных, метаморфических и плотных осадочных породах. В этой классификации нет места современным почвенным типам; она касается древней коры выветривания и учитывает в основном не столько горизонт А и В почв, сколько горизонты С и нижележащие.

Классификация имеет в виду весь Урал и разные типы выветривания, но все же на первом месте стоят ультраосновные породы Южного Урала, с которыми связаны никелевые месторождения, а потому в ней могут быть пропущены отдельные типы, относящиеся к иным породам, чем ультраосновные. На других типах мы подробно останавливаемся в другой нашей работе.¹

2. Характеристика отдельных типов коры выветривания применительно к ультраосновным породам и никелевым месторождениям Урала

Кора площадного распространения при глубине разложения 25—30—60 и до 80 м занимает неправильно ограниченные площади в виде более или менее значительных участков до 1—2 км² и более, в очертаниях которых не сказывается влияние каких-либо тектонических элементов. Этот тип коры особенно хорошо представлен на месторождениях каолина, охристо-глинистых железных руд и среди никелевых месторождений. Обычно месторождения, связанные с корой выветривания площадного распространения, имеют региональное распространение и встречаются на ряде массивов, близких по составу пород. Площадная кора характеризуется наличием среди продуктов выветривания вертикальной зональности, повторяющейся и в горизонтальном разрезе.

Среди месторождений, связанных с площадной корой на ультраосновных породах, наибольшим развитием, в особенности на Южном Урале, пользуются никелевые месторождения, содержащие в качестве основного рудного минерала никелевые нонтрониты; на Среднем Урале нонтрониты занимают подчиненное положение — их замещают гегит-гидрогетиты, отдельно или вместе с галлуазитами, ферригаллуазитами и феррибейделлитами (см. стр. 116—147); наряду с никелевыми здесь развиты остаточные железорудные месторождения.

Кору выветривания площадного распространения с зоной нонтронитовых минералов мы относим к южноуральскому или халиловско-кемпирсайскому типу (его можно назвать также нонтрони-

¹ См. „Древняя кора выветривания на Урале“. Минералогия Урала, т. 1, изд. АН СССР.

Классификация древней коры выветривания на ультраосновных породах Урала и связанных с ней никелевых месторождений

А. Остаточная кора разложения

I. Площадного распространения

1. Халиловско-кемпирсайского типа
а) с нонтронитовым профилем

а¹ на серпентинитах

а² на серпентинитах с пироксенитовыми амфиболитовыми и актинолит-хлоритовыми прожилками и шпирями

а³ на серпентинитах с жилами пород семейства габбро или под кровлей габбро { открытый и закрытый тип

а⁴ на серпентинитах в связи с хромитовыми месторождениями

б) с силицифицированным профилем

б¹ на серпентинитах

б² на габбро-диобазах

2. Среднеуральского типа

на серпентинитах, дунитах и перидотитах с силицифицированными породами или без них или с дезинтегрированными: а) гидрогетит-гетитовая, б) гидрогетит-галлуазитовая, галлуазит-монтмориллонитовая, гидрогетит-галлуазит-нонтронитовая

II. Линейного распространения

1. Новоаккермановского типа

на серпентинитах с магнезитом, доломитом, магниевыми и никелевыми силикатами и с силицифицированными и выщелоченными породами и зоной охр

2. Среднеуральского типа

на серпентинитах с слабым развитием карбонатов, магниевых и никелевых силикатов, но с силицифицированными породами, охристой, охристо-глинистой (галлуазитовой) корой и зоной дезинтегрированных серпентинитов

3. Верхнеуфалейского типа

на серпентинитах у контактов с известняками (в связи с карстообразованием) с силицифицированными породами, никелевыми силикатами и никелевыми галлуазитами, никелевыми тальками или с никелевым керолитом (отдельная разновидность) { открытые и подземные карсты

Б. Остаточная кора выщелачивания

Образование карстов

Остаток из светлых и железистых глин

Образование кварцевой муки (маршалитов)

В. Преобразованная и инфильтрационная кора

I. Позднейшим химическим разложением минералов и пород остаточной коры, ранее образовавшейся путем выветривания

- 1) обохренная или ожелезненная
- 2) окремненная
- 3) дезинтегрированная

II. Позднейшими инфильтрационными процессами с метасоматозом и без него:

- 1) в связи с карбонатными породами
 - а) на контакте с ультрабазитами (уфалейский тип)
 - б) вне непосредственного контакта (староаккермановский тип)
- 2) в связи с силицифицированными породами, образованными из известняков и серпентинитов
- 3) в связи с другими породами
 - а) глинистыми и тальковыми
 - б) щебенчатыми, галечниковыми, песчано-глинистыми, песчаными и железистыми

Процессы

Силицификация, ожелезнение, омарганцевание и образование водных силикатов железа, глинозема и никеля

Омарганцевание, ожелезнение, фосфатизация, образование водных силикатов глинозема и никеля

Ожелезнение, омарганцевание, образование никелевых силикатов, вынос кремнезема

Сорбция никеля, образование пленок никелевых силикатов среди тальковых и хлоритовых пород

Омарганцевание и ожелезнение, образование сидеритов, вторичных сульфидов железа и никеля и лептохлоритов

Г. Размытая кора

Оставление нижних горизонтов коры „корней“

а) без последующих на них процессов наложения

б) с последующими процессами наложения на остатках коры

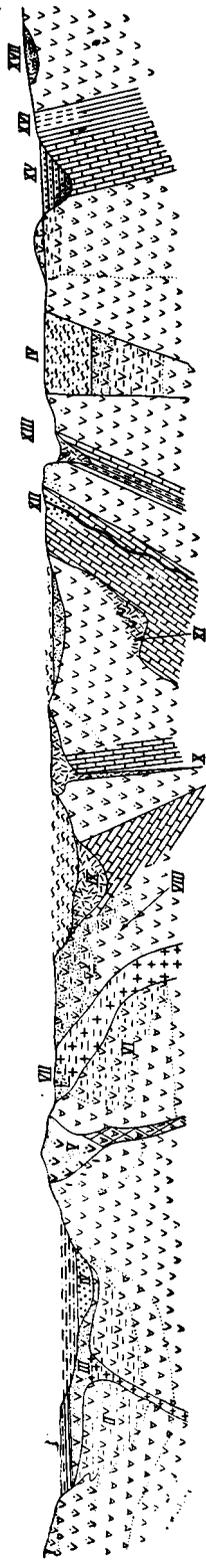
Д. Переотложенная кора

а) делювиальная, делювиально-элювиальная и пролювиальная кора с продуктами переотложения: 1) охр, нонtronитов, никелевых силикатов и глини, 2) силицифицированных и выщелоченных пород

б) в карстовых впадинах — алевроиты и пелиты

Е. Перемытая кора

Перемыв охр, нонtronитов и других глинистых продуктов разрушения



Фиг. 1. Схема разных типов коры выветривания на ультраосновных породах Урала

Условные обозначения:

I — силифицированный профиль. *II* — нонктронитизированный профиль. *III* — выветривание у залбандов жил габбро. *IV* — отложения легированных железных руд. *V* — новоккермановский тип коры выветривания. *VI* — габбро и кора на ней. *VIII* — кора среднеуральского типа. *IX* — открытый карст. *X* — крутой карст. *XI* — закрытый или подземный карст. *XII* — железная шляпа на рудной жиле. *XIII* — карст на сланцах. *XIV* — опущенная в грабене кора. *XV* — Ni сульфиды в карсте. *XVI* — кора на сланцах. *XVII* — окремнение эоценовых песчанников.

Условные обозначения:

1 — меловые, *2* — юрские отложения, *3* — третичные, *4* — серпентиниты свежие, *5* — серпентиниты дезинтегрированные, *6* — серпентиниты силифицированные, *7* — охра по серпентиниту, *8* — серпентиниты выщелоченные, *9* — серпентиниты нонктронитизированные, *10* — карстовые алевриты, *11* — серпентинит сетчатый, *12* — железная шляпа, *13* — рудная жила, *14* — известняки, *15* — сланцы, *16* — сланцы разрушенные, *17* — керолит, *18* — габбро, *19* — глины по габбро, *20* — сульфиды в осадочных отложениях, *21* — окремненные эоценовые песчанники, *22* — глинистые осы по серпентиниту

товым типом), с гетит-гидрогетит-галлуазит-ферригаллуазитовыми минералами — к среднеуральскому типу.

Среди никелевых месторождений нонктронитового типа следует выделить месторождения с частыми прожилками, гнездами и линзами пироксенита (вокруг которых, благодаря образованию никельсодержащих хлоритов, получают обогащенные металлом участки), а также месторождения, в геологическом строении которых принимают участие покровные и секущие габбро, целиком или частично разложенные, которые влияют на содержание никеля, то разубоживая месторождение (в случае большого количества жила и прожилков), то повышая концентрацию в нем металла.

Небольшие участки нонктронитизированных серпентинитов, нередко в значительной части размытые, встречаются в залбандах хромитовых гнезд, линз и жил или между ними; из-за обилия хромшпинелидов продукты разложения иногда имеют черный цвет. Промышленных месторождений никеля среди них пока не обнаружено.¹

На месторождениях среднеуральского площадного гетит-гидрогетит-галлуазит-ферригаллуазитового типа нонктрониты или

¹ На Донских хромитовых месторождениях обнаружены висячем боку рудной залежи остаточные никельистые железные руды.

вовсе отсутствуют, или имеют подчиненное значение; они обычно встречаются в виде более или менее сильно нонтронитизированных серпентинитов небольшой мощности, подстилаемых дезинтегрированными серпентинитами.

Наряду с этим имеется и чисто гетит-гидрогетитовый подтип, когда галлуазит отступает на второе место и преобладающим развитием пользуются гетиты и гидрогетиты.

Среди площадной коры как южноуральского, так и среднеуральского типа выделяются участки с сильно развитым силифицированным профилем выветривания.

Кора линейного распространения, характеризующаяся вытянутостью в том числе вдоль линий тектонических нарушений (до 4 км), отличается обычно значительной глубиной разложения, достигающей 100—200 м, и иным минеральным составом, чем кора площадного распространения (фиг. 2). В коре выветривания серпентинитов слабо представлена или отсутствует почти полностью нонтронитовая зона, зато широко развиваются порошковатые гидрогетитовые и гетитовые, реже гидрогематитовые руды. Часто встречаются никелевые и никельсодержащие магнезиевые силикаты, халцедон, хризопраз, кварц, а также желваки, линзы и жилы окремненных серпентинитовых пород.

Среди месторождений коры выветривания линейного распространения можно выделить три типа: а) новоаккермановский, б) среднеуральский и в) верхнеуфалейский.

а) В новоаккермановском типе пользуются широким развитием, кроме охристых минералов, гидросиликаты магнезия и никеля, халцедон, кварц и карбонаты; нонтрониты имеют небольшое значение. Зона разложенных, более или менее обохренных серпентинитов достигает в этом типе большой мощности, включает никельсодержащие минералы и является промышленно-рудноносной, несмотря на значительное содержание в ней магнезия.

б) В среднеуральском типе мощность никельсодержащей зоны разложенных серпентинитов с промышленным содержанием металла меньше или равна мощности новоаккермановского типа. Гидросиликатов никеля и магнезия и карбонатов в большинстве случаев здесь меньше; кора преимущественно сложена гидроокислами железа, окремненными породами и галлуазитами. Среди месторождений этого типа можно выделить:

1. Участки, представленные преимущественно сильно развитыми силифицированными серпентинитами, в виде силифицированных и железненных глыб, сцементированных цементом из гидроокислов железа, иногда ферригаллуазита, с никелевыми силикатами в ячейках силифицированных пород (кремнистые железные руды).

2. Участки с порошковатыми железными рудами, только на небольших участках сопровождающиеся небольшим количеством силифицированных серпентинитов.

3. Участки с охристо-глинистыми рудами, в которых, наряду с гидроокислами железа, значительную роль играют и галлуазитовые минералы.

К линейным месторождениям среднеуральского типа относятся еще месторождения, расположенные вдоль зон смятия и сбросов среди серпентинитов и тальково-карбонатных пород, представленных порошковатыми рудами без значительного развития карбонатных зон, никелевых минералов и т. п. Часто в них встречаются силифицированные участки, приуроченные к нижней или боковой части выщелоченных пород.

в) На Среднем Урале довольно большим развитием пользуются

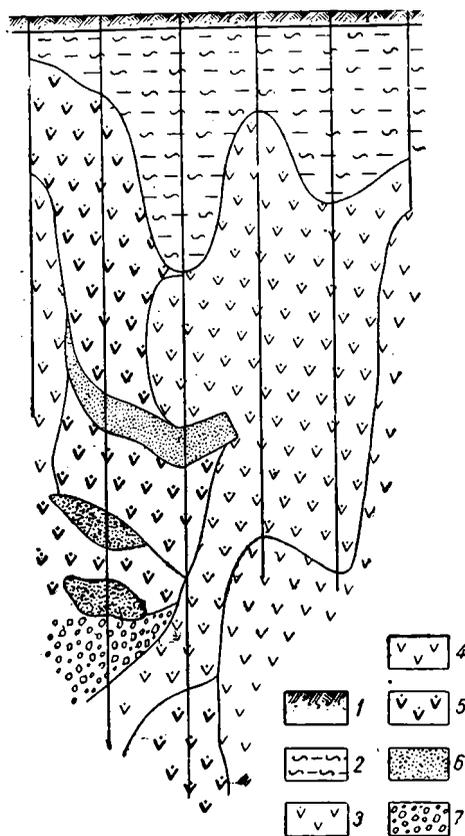
месторождения, где серпентиниты находятся в тектоническом контакте с мраморами (фиг. 3), с тектоническими подвижками и зонами смятия и дробления вдоль контакта, причем как серпентиниты, так и мраморы в области контакта большей или меньшей степени силицифицированы. Этот тип мы называем верхнеуральским. Силицифицированный, обохренный элювий серпентинита или тальково-карбонатной породы, образованной из серпентинита, лежит в случае пологого контакта непосредственно на мраморе или в карстовых углублениях в нем, при крутом же контакте получаются „щели“, т. е. длинные, лентообразно вытянутые зоны разложения (см. стр. 129), мощностью от нескольких до 40—60 м при глубине от 10—20 до 100 и более метров.

Иногда встречается керолитовый тип, где в зоне тектонического смятия на контакте с известняками или с силицифицированными известняками, развивается керолит, нередко никеленосный, переходящий в гарниерит (Кротовское месторождение, Северно-Кротовское, Липовское).

Имеются многочисленные случаи контактов серпентинитов с полосами сланцев, в свою очередь контактирующих с известняками с полосами разложения вдоль серпентинитов и сланцев (режевской тип).

В связи с развитием на Среднем Урале коры выветривания, связанной с карстообразованием, следует различать карсты открытые, или поверхностные, и подземные, образовавшиеся на глубине под покровом плотных пород. Выветривание в последнем случае идет как в результате вертикального нисходящего просачивания сквозь кроющиеся породы, так и в результате бокового притока вод на контакте двух пород, различающихся по разной интенсивности происходящих в них процессов выщелачивания и разложения.

Следует отметить, что, несмотря на значительное развитие на Урале, в особенности на Среднем, карстовых процессов и связанных с карстами месторождений, остаточный тип коры в результате выщелачивания известняков и мраморов представлен весьма слабо, так как большинство известняков весьма чисты и нерастворимый остаток в массе пород, заполняющих карст, существенной роли не играет (см. стр. 123). Только в результате выщелачивания глинистых известняков и мергелей обра-



Фиг. 2. Выветривание вдоль трещины. Ульяновское месторождение (длиною около 750 м, шириною до 50—60 м) (по Н. Тарханеву)

Условные обозначения:

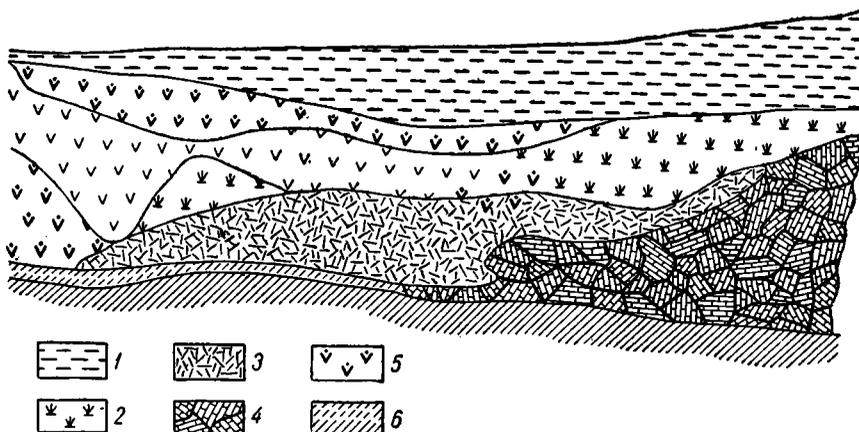
1—почва, 2—бурые железистые глины, 3—дезинтергрированный серпентинит, 4—плотный серпентинит, 5—окремненная порода, 6—порошковатый бурый железняк марганцовистый, 7—бурый железняк.

зуется остаточная кора выщелачивания. Terra rossa же, как таковая, в древней коре выветривания на Урале не пользуется значительным развитием.

Зато здесь чрезвычайно распространены своеобразные остаточные коры, образованные при выщелачивании кремненных известняков, различного рода „кремневые муки“ (маршаллиты).

К коре выветривания мы относим и образование полых форм в известняках, гипсах и т. п., т. е. самих карстов.

Карст заполняется или элювием крошащих известняк пород (в подземных карстах), или делювием и пролювием соседних пород, а также аллювием древних речных систем и озер. Эти породы могут дополнительно разлагаться в самом карсте, образуя параэлювий (Полынов Б. Б., 1934).



Фиг. 3. Контакт серпентинитов с брекчированными известняками (в зоне контакта — карстовые алевриты). Шелейское месторождение В. Уфалейского р-на (по И. И. Савельеву)

Условные обозначения:

1 — верхнетретичные отложения, 2 — серпентиниты тальково-карбонатные, 3 — карстовые алевриты, 4 — мрамор брекчиевидный, 5 — серпентиниты силицифицированные, 6 — сланцы разрушенные, книзу плотные.

Для месторождений Среднего Урала характерно не столько развитие выщелоченных серпентинитов, обычно имеющих здесь небольшую мощность и не представленных так ярко в своей карбонатизированной зоне, как на Южном Урале, сколько развитие дезинтегрированных пород, т. е. слабо выщелоченных серпентинитов, расчлененных на отдельные куски, сцементированные охристо-глинистой массой.

За последнее время намечается в отношении кровли коры выветривания различие между выветриванием закрытого типа, где выветривание идет под прикрытием других пород, менее разлагающихся или остающихся неразложившимися (в случае бокового притока вод), и открытого типа, где разложение пород с самого начала начинается с поверхности.¹

Интересны случаи сложных кор, состоящих из сменяющих друг друга в вертикальном разрезе разложенных пород разного состава,

¹ Термин введен М. А. Цябульчиком в 1941 г. в одном из его обзоров никелевых руд Актюбинского района.

например, габбро и серпентинитов, порфиритов и серпентинитов, эффузивной толщи зеленокаменных пород и сланцев и т. п. Особый случай сложных кор представляют собой коры, образованные налегающими друг на друга породами, обладающими разной стойкостью к выщелачиванию, например серпентинитами и мраморами.

Все остаточные коры в разных частях обладают чертами то одного, то другого типа или подтипа с переходами между ними, и отнесение их к той или иной категории может основываться только на преобладании наиболее характерных признаков.

3. Кора выветривания, связанная с позднейшей химической переработкой остаточной коры или с инфильтрационными процессами

Типичные профили коры выветривания редко сохраняются в чистом виде. В случае изменений климатических условий открытые или вновь раскрывшиеся части коры в отдельных зонах испытывают те или иные превращения минералогического, химического и структурного характера.

Наиболее распространенными процессами наложения на остаточной коре являются процессы ее обохривания или ожелезнения. По возрасту эти процессы относятся к разным периодам, начиная с нижне- и среднеюрского и кончая четвертичным. Более влажные климатические условия вызывают кислое выветривание и распад минералов остаточной коры с выделением гидратов окислов железа. Обохриваются не только нонтронитизированные, но и выщелоченные серпентиниты в разных своих горизонтах вплоть до магнезитов (последние редко) и дезинтегрированных серпентинитов (фиг. 4). Обохривание обычно начинается сверху и идет карманообразно вниз; однако имеются случаи обохривания под нормальными неизменными горизонтами выщелоченных и карбонатизированных серпентинитов, благодаря засасыванию воздуха по трещинам и щелочной водной среде в нижних горизонтах. Обохривание происходит и в настоящее время; вершины и подветренная сторона холмов ультрабазитов, даже свежих, принимают при этом красный цвет. Обохривные минералы и породы могут одновременно или позднее подвергнуться процессам аггломерации, нарастания, коркования и т. п., в результате чего образуются большие или меньшие конкреции железных руд. Чрезвычайно интенсивно процессы обохривания развиты на Среднем Урале, где на ряде месторождений нонтронитовый профиль почти полностью исчез. Обохриванию и ожелезнению подвергаются и карбонатизированные и силицифицированные породы.

Омарганцевание как процесс наложения на кору инфильтрационными растворами гидроокислов Mn имеет огромное распространение, особенно на Среднем Урале, но размеры омарганцевания в большинстве случаев небольшие. В переотложенных рыхлых продуктах коры выветривания инфильтрационные процессы приводят к образованию стяжений марганцевых минералов разной величины. Омарганцевание в большинстве случаев приурочено к верхним частям коры, а в случае присутствия известняков имеет место непосредственно на них. Особенно интенсивно омарганцеванию подвергаются силицифицированные и карбонатизированные горизонты, щебенчатые породы, пористые руды и известняки карстов. Присутствие габбро, амфиболитов, порфиритов усиливает вокруг них процессы омарганцевания, создавая марганцевые ореолы.

С и л и ц и ф и к а ц и я, или к р е м н е н и е, затрагивает как выщелоченные нонтронитизированные и карбонатизированные гипобазиты, так и породы габбро и др., образуя нередко силицифицированные бугры. Силицифи-

кация носит покровный или трещинный характер; в первом случае она распространяется большей частью на повышенные точки рельефа (фиг. 5), во втором случае имеет жильный характер, с глубиной выклинивающийся. Силицифицируются и некоторые хромитовые руды, например в Донском месторождении хромитов (Кемпирсайский массив). При одновременном выпадении Fe_2O_3 и SiO_2 процессы силицификации и ожелезнения приводят к образованию железистых кварцитов.

Чаще всего силицификация накладывается на карбонатные породы — известняки, доломиты, магнезиты. Последующая силицификация распространяется и на обохренные разности пород и даже на нонтрониты.

Наряду с силицификацией поверхностных горизонтов бывают случаи силицификации коры в зоне нижних выщелоченных и карбонатизированных горизонтов, что часто бывает связано с присутствием обохренных пород. Подобная силицификация обусловлена проникновением содержащих SiO_2 грунтовых вод по трещинам или из более возвышенных частей массивов вдоль границы выщелоченных пород, затронутых нонтронитизацией, и свежих — на участках с развитыми карбонатизированными породами. Интенсивное разложение нонтронитов и ферригаллуазитов вызывает миграцию SiO_2 вниз и неравномерное выпадение в нижних горизонтах вне всякой видимой закономерности. Эти случаи особенно развиты на Среднем Урале.

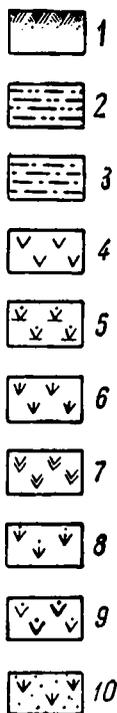
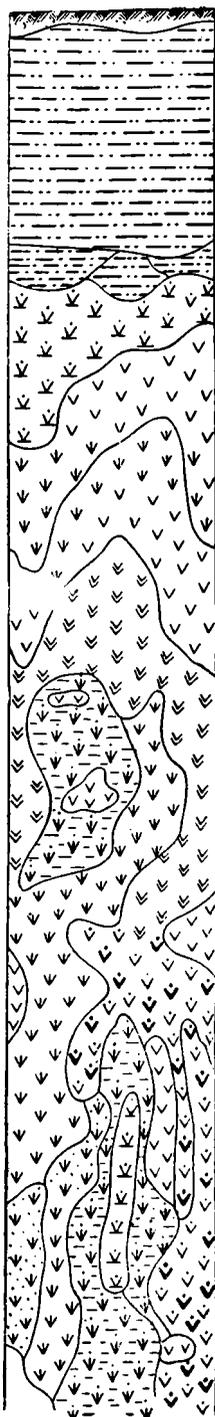
К процессам позднейшей силицификации следует отнести образование цементных (динасовых) песчаников в Орском и Кемпирсайском районах, а также отчасти силицифицирование поверхностей и бугров на размытой коре восточных серпентинитовых массивов Южного Урала. Здесь процессы силицификации повторяются: первоначальный процесс связан с образованием самой коры, повторный наложен в позднейший период.

Для Южного Урала следует отметить пеликанитизированные граниты, описанные А. А. Петренко (1938).

Многочисленны проявления и обратного процесса — десилицификации, выражающегося в выносе кремнезема из глинисто-кремнистых и силицифицированных пород и в освобождении содержавшихся в них глинистых или охристых частей. К этим случаям относится образование некоторых разностей песчаных охр. К десилицификационным процессам следует отнести также такие процессы, которые сопровождают образование марганцевых шляп на яшмовых породах, а также и такие, которые выражаются в выносе кремнезема и в оставлении богатого марганцем остатка с одновременной или позднейшей миграцией последнего.

Карбонатизация как процесс наложения пользуется в древней коре выветривания меньшим развитием. Происходит она многократно, образуя несколько генераций как магнезита, так и доломита, арагонита и кальцита. Процесс приурочен большей частью к определенным зонам и не изменяет характера профиля выветривания, если не считать обычного опускания зон. Процессами наложения следует объяснить образование кальцита в виде кристаллов и друз в зоне охр, а иногда и в горизонте арагонита, доломитизацию, идущую нередко по магнезиту, и позднейшие (даже современные) процессы карбонатизации, которые ведут иногда к появлению небольших количеств карбонатов в верхних зонах коры среди охр и нонтронитов и каолинизированных пород. Надо отметить и случаи декарбонатизации, выщелачивания карбонатов, исключительно сильно развитые на Среднем Урале.

Огипсование имеет место в разных горизонтах коры. Оно встречается на Южном Урале обычно в небольших размерах и связано или с сульфидами, или чаще с выщелачиванием сульфата кальция из выщелачивающих юрских или верхнетретичных отложений.



Условные обозначения:

1 — почва, 2 — бурая глина с кварцем, 3 — красная глина, 4 — змеевик, 5 — змеевик, перешедший в тальк и вермикулит, 6 — змеевик, перешедший в магнезит, 7 — змеевик окварцованный и железненый, 8 — змеевик разрушенный, перешедший в магнезит, тальк и глину яркозеленого цвета, 9 — змеевик сильно разрушенный, частично окварцованный, 10 — змеевик магнетитизированный с частичным поверхностным ожелезнением,

Фиг. 4. Наложение на корни древней коры выветривания молодых процессов (окварцевания, ожелезнения и дезинтеграции). Деревня Липовка, Режевского р-на (по И. И. Боку).

Наконец, процессы современного выветривания вносят в структуру коры свои изменения. Они выражаются главным образом в обохривании, восстановлении окислов железа, появлении в коре гумуса и выносе карбонатов на Среднем Урале и в карбонатизации на Южном Урале, а также и в процессах вторичного омарганцевания на Среднем и Северном Урале.

Время и порядок процессов наложения бывают самыми разнообразными. Они в той или иной степени маскируют классические профили, хотя большей частью не настолько, чтобы их не удалось распознать; основными, наиболее серьезными процессами наложения являются обохривание и силификация.

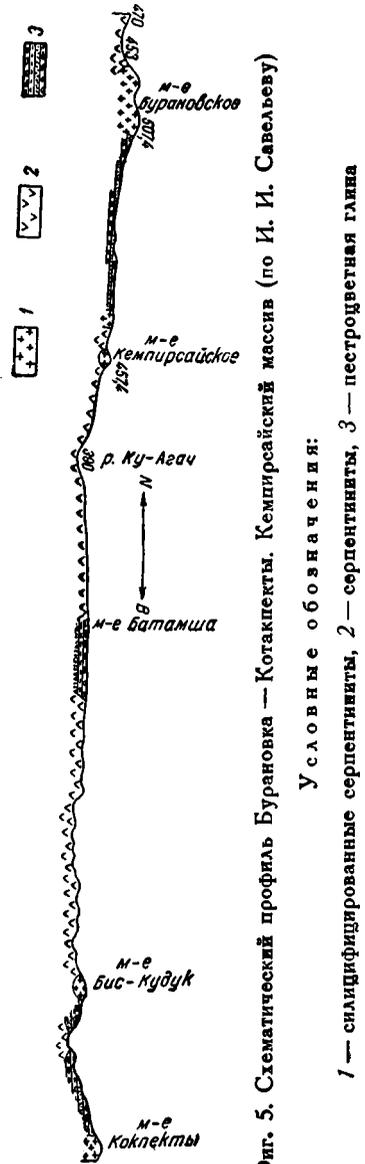
Очень важны случаи инфильтрации никель-марганец- и кобальтсодержащих растворов, образующих корки, пленки, прожилки, прослойки в разных типах коры выветривания и в рыхлых породах. Эти случаи нередко сопровождаются сорбционными реакциями обменного характера. Никель и кобальт вносятся нисходящими или боковыми притоками никельсодержащих вод серпентинитовых массивов. По дальности приноса никеля можно выделить месторождения, образованные вблизи контактов с серпентинитами и находящиеся вдали от контакта нередко более чем в 1—2 км. Примером первых месторождений может служить часть Верхнеуфалейских месторождений, примером вторых — Старо-Аккермановское марганцевое и близлежащее, богатое никелем, железорудное месторождение „Железнячки“. По тем породам, в которых происходит инфильтрация растворов, можно различать инфильтрацию в кремнистых щебенчатых породах,

в карстовых впадинах, в сланцеватых, тальковых и хлоритовых породах, в элювии или делювии глинистых пород, в порошокватых охристых породах, в углистых породах и т. п. В кремнисто-щебенчатых породах никель находится в виде никелевых силикатов, адсорбционных соединений и продуктов коагуляции совместно с марганцем и окислами железа; в карстовых впадинах — в минералах того же типа, а также в виде никельсодержащих ферригаллаузитов и галлаузитов; в порошокватых охристых или плотных рудах — в виде продуктов коагуляции и адсорбционных соединений с гидроокислами железа, марганца, глиноземистыми и железистыми глинами, лептохлоритами и в виде никелевых силикатов; в глинистых породах — в виде продуктов сорбции с обычно невысоким содержанием металла; чешуйки сланцеватых разностей пород покрываются пленками никелевых силикатов, а в случае пеннина образуются никелевые хлориты. Темные, содержащие органические остатки осадки способствуют образованию вторичных сульфидов железа и никеля.

Инфильтрация растворимых продуктов выветривания соседних пород иного состава вносит в месторождение новые элементы. К ним часто относится инфильтрация окислов марганца, железа и кобальта. Они образуют в направлении потока грунтовых вод ореол (шлейф) более усиленной концентрации как принесенных элементов, так и тех, которые они фиксировали (закрепили, захватили) при своем выпадении. Этот ореол может преимущественно распространяться в горизонтальном или в вертикальном направлениях, обуславливая этим очертания и рудного тела. Сложные коры особенно вносят в подстилающие их горизонты добавочное количество растворов другого состава и концентрации.

Между процессами преобразования коры путем позднейшей химической переработки и процессами инфильтрационными разница не столько в ином минералообразовании (минералы могут получиться даже одинаковыми), сколько в другом характере процессов. Так, разложение нонтронитов может привести к образованию охр и железистых стяжений, но те же руды могут образоваться и в результате инфильтрации растворов; кремнезем может явиться остаточным продуктом и может образовать внутреннее и интерное окремнение, или может быть принесен извне и т. д.

Размытая кора. Большинство остаточных месторождений, особенно площадных, последующими эрозийными процессами смыты пол-



Фиг. 5. Схематический профиль Бурановка — Котакпекты. Кемпирсайский массив (по И. И. Савельеву)

Условные обозначения:

1 — силифицированные серпентиниты, 2 — серпентиниты, 3 — пестроцветная глина

ностью или до нижних горизонтов, представленных выщелоченными серпентинитами с опалами, магнетитами или без них. От размыва часто сохраняются также и более плотные породы, типа силифицированных. Размыв никелевых месторождений особенно интенсивен в районах, где отсутствуют покровные континентальные глинистые и глинисто-песчаные, юрские, меловые и нижнетретичные отложения и где в кровле месторождений преобладают галечниковые материалы. Подобного рода месторождения встречаются обычно среди размытых или смытых кор. Сюда относится большое число серпентинитовых массивов в северо-восточной части Южного Урала и почти вся горная часть Урала. К смытым месторождениям относится и часть месторождений, залегающих в карстах и впоследствии срезанных эрозией. Делювий коры иногда сползает к подпирающему его континентальному водному бассейну и отлагается среди его песчаных и песчано-глинистых отложений; такие случаи мы имеем на Среднем Урале, где среди верхнемеловых отложений или в их основании залегают (среди песков) делювиальные охристо-глинистые никельсодержащие руды (Режевский район, см. стр. 134—135).

Переотложенные коры образуются в результате переотложения остаточных кор в виде делювия и находятся в непосредственной близости к остаточным корам, обычно в карстовых впадинах карбонатных пород. Переотложенные коры нередко подвергаются последующим инфильтрационным процессам. Они контактируют непосредственно с остаточными корами и связаны с ними переходами. Среди переотложенных месторождений никеля следует выделить месторождения с перемытыми нонtronитами, залегающими на склонах и в углублениях месторождений халиловского типа. Очень часты случаи переотложения охр, покрывающих нонtronиты. Между перемытыми на месте элювиальными продуктами и переотложенными имеются все переходные стадии. На размытой и перемытой коре в Халиловском районе отлагаются слоистые и бобовые никель- и хромсодержащие железные руды, в которых, наряду с химически выпавшими осадками, принимает участие кластический материал древней коры выветривания.

Резюмируя все изложенное, мы можем составить приведенную выше сводную схему классификации коры выветривания (табл. 1).

4. Химико-минералогические типы никелевых руд

Одновременно с классификацией по генетическому признаку древней коры выветривания на ультрабазах и связанных с ними месторождений никелевых руд на Урале последние можно разбить по преобладающему химико-минералогическому составу, который также естественно связан с их генезисом. Это разделение, имеющее и технологическое значение, дает следующие группы никелевых руд:

1. **Нонtronитовые.** Основными минералами являются никелевые ферримонтмориллониты и феррибейделлиты, второстепенное (по своей массе) значение имеют никелевые силикаты и гидросиликаты магнезия, а также прапапы и хризопразы. В некоторых месторождениях значительную роль играют никелевые хлориты. Слабо никеленосными являются выщелоченные серпентиниты, гидроокислы железа и силифицированные разности серпентинитов (в последних в отдельных ячейках встречаются иногда никельсодержащие нонtronиты и силикаты). К этому типу относятся остаточные площадные месторождения халиловско-кемпирсайского типа.

2. **Никелево-силикатные руды.** Характерны для уфалейского типа. Основными минералами являются: гарниерит, непуит, никелевые

галлуазиты и ферригаллуазиты, никелевые керолиты и тальк с чешуйками никелевых силикатов. Пустой породой служат гидроокислы железа, мучнистый кварц, чешуйки талька, хлорита и глинистые минералы, остатки неразложенных пород — амфиболитовых, глинистых и кремнистых сланцев, талько-хлоритовых сланцев, куски силицифицированных серпентинитов и мраморов и др. Характерны для горизонта карстовых алевроитов и алевропелитов. Этот же тип руд встречается в Ново-Аккермановском месторождении, но здесь нет непуита, а доминируют никельсодержащие гидросиликаты магнезия, никеля и халцедон.

3. Руды магнезиальных силикатов (магнезиальные). Представлены нижними частями месторождений новоаккермановского и халиловского типа. Они сложены выщелоченными и разложенными серпентинитами и содержат никель как в виде никелевых силикатов, так и в виде магнезиальных никельсодержащих силикатов и продуктов сорбции никеля.

К этому же типу следует отнести тальковые руды, а также и дезинтегрированные серпентиниты Среднего Урала и хлоритовые руды Кемпирсайского массива. Богатую никелем разновидность представляют керолитовые руды, развитые на Ново-Аккермановском месторождении, но особенно хорошо представленные на Среднем Урале, на Кротовском и Северно-Кротовском месторождениях Верхнеуфалейского района.

4. Никелево-галлуазитовые и ферригаллуазитовые гетит-гидрогетитовые руды с большим содержанием глинистого, охристого и кварцевого материала. Из никелевых минералов отмечаются никелевые галлуазиты и ферригаллуазиты, реже гарниерит и непуит; содержат примесь никельсодержащего вада и гидрата закиси никеля. Этот тип образует охристо-глинистые руды нередко с содержанием никеля выше кондиционного. Они развиты на Среднем Урале и одновременно являются природно-легированными железными рудами и никелевыми.

5. Гетит-гидрогетитовые (гидрогематитовые) с большим или меньшим содержанием силицифицированных серпентинитов. Эти руды связаны преимущественно с линейным типом месторождений и частично с площадным и инфильтрационным. Образуют порошковатые или кусковые железные руды. Основными никельсодержащими минералами являются здесь никельсодержащие галлуазиты и ферригаллуазиты, гидрат закиси никеля, гидроокислы марганца, т. е. те же минералы, что и в предыдущем типе, только в меньших количествах. Служат в качестве природно-легированных железных руд.

6. Кварцевые руды (кремнеземистые). Содержат большое количество кремнезема в виде силицифицированных глыб, обломков и пелитовых масс мучнистого кремнезема типа загрязненного маршалита.

Г Л А В А Ш

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД УРАЛА И СОДЕРЖАНИЕ В НИХ НИКЕЛЯ

Ультраосновные породы — главные носители никеля — имеют на Урале широкое распространение. Они выступают в виде крупных и мелких массивов, которые, как и все массивы изверженных пород Урала, вытянуты преимущественно в меридиональном или близком к нему направлении.

1. Ультраосновные массивы Южного Урала

В пределах Южного Урала выделяются западная и восточная группы массивов.

В западную группу, вытянутую в виде неширокой меридиональной полосы (примерно в пределах меридианов $57^{\circ} 20' - 58^{\circ} 30'$), входят из более крупных массивов Кемпирсайский, Хабарнинский и Халиловский; ряд более мелких массивов распространен между указанными выше крупными массивами, создавая почти непрерывную полосу ультраосновных пород, а также и к северу от них.

Восточная группа массивов ультраосновных пород, в отличие от западной, приурочена к более широкой полосе (в пределах меридианов $59^{\circ} 30' - 61^{\circ} 30'$). В эту группу входят массивы: Шевченковский, Кундыбаевский, Гришинский, Джетыгаринский, Милютинский, Айдырлинский, Наследницкий, Каменецо-Подольский, Берсуатский, Чебенданско-Ливановский и ряд других.

Характеристика ультраосновных пород. В строении южноуральских ультраосновных массивов участие принимают: а) перидотиты типа гарцбургитов (количественно преобладают), б) дуниты (в меньшем количестве), в) перидотиты типа лерцолитов и верлитов (в подчиненном количестве).

Взаимоотношения, существующие между этими разновидностями ультраосновных пород, весьма различны. В одних случаях, как, например, на Кемпирсайском и Тагило-Невьянском массивах, они, по данным исследований хромитовой группы Института геологических наук (Соколов и друг., 1941), закономерно слагают пологолежачие зоны, простирающиеся с перерывом через весь массив, причем в наиболее распространенном типе вертикальная последовательность зон следующая (сверху вниз):

Амфиболовые перидотиты (не всегда)	0—15 м
Порфириновые гардбургиты	20—50 м
Полосчатый дунито-перидотитовый комплекс	50—60 м
Дуниты	мощность не известна

В других случаях, как, например, на Халиловском массиве, по данным А. Г. Бетехтина и А. С. Кашина (1937), дуниты наблюдаются в виде полос или тел, имеющих то неправильную, то штокообразную или широкообразную форму, с постепенными переходами к перидотитам (Подольский и другие массивы).

Все указанные выше разновидности ультраосновных пород в результате процесса серпентинизации в большей своей части превращены в апоперидотитовые и аподунитовые серпентиниты. При этом часто теряется реликтовая структура первоначальной породы и образуется так называемый „перекристаллизованный“ тип серпентинитов.

Кроме апоперидотитового, аподунитового и перекристаллизованного серпентинитов, здесь наблюдаются также серпентиниты по пироксенитам, образующие в преобладающей своей части жилы или шпалы среди ранее указанных разновидностей ультраосновных пород (Кемпирсайский, Шевченковский, Кундыбаевский, Верхнеуфалейский и другие массивы).

Главную массу серпентинита обычно составляет серпентин, представленный хризотилом и антигоритом; в сравнительно меньших количествах распространены бастит и серпофит (табл. I, фиг. 1—3). Из других минералов в серпентинитах присутствуют оливин и пироксен в виде реликтов, актинолит, тремолит, хлорит, магнетит, хромит, хромшпинелиды, тальк, карбонаты и ряд более редких минералов.

Среди западной группы массивов преобладают хризотилосые разновидности серпентинитов, которым хризотил придает петельчатую структуру, в восточной же группе массивов более часты антигоритовые и антигорито-хризотилосые серпентиниты — здесь господствующее значение имеет антигорит, придающий серпентинитам чешуйчатую или лучистогольчатую структуру (табл. I, фиг. 4).

Часто наблюдается, что хризотилосые серпентиниты развиты в центральной части массива, а антигоритовые и антигорито-хризотилосые — в периферической (Айдырлинский массив) и в контакте с кислыми жильными породами (Шевченковский, Джетыгаринский и другие массивы восточной группы).

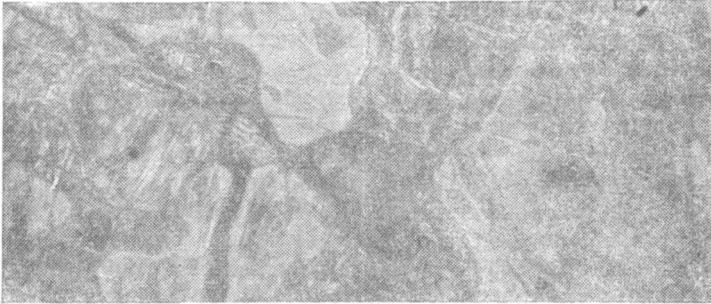
Апоперидотитовые серпентиниты пользуются наиболее широким распространением. От перекристаллизованных и аподунитовых серпентинитов они легко отличаются макроскопически по наличию бастита или реликтовых зерен пироксена. Линейно ориентированные цепочки зерен бастита нередко создают полосчатые текстуры (например Халиловский массив). Апоперидотитовые серпентиниты представлены антигоритовой и антигорито-хризотилосой разновидностями.

Аподунитовые серпентиниты находятся в подчиненном количестве и в большинстве случаев представляют жилы или широкообразные участки среди апоперидотитовых серпентинитов. Эти плотные серовато- и темнозеленые породы отличаются от апоперидотитовых отсутствием реликтов пироксена, псевдоморфоз по пироксену и несколько повышенным содержанием хромита.

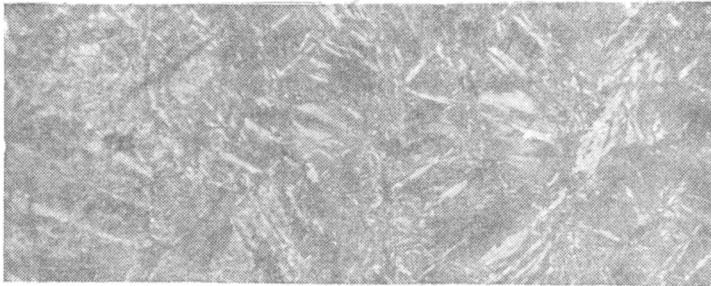
Перекристаллизованные серпентиниты более широко распространены среди массивов восточной группы, где они слагают иногда большую часть массива, например Айдырлинский. Обычно же этот тип серпентинитов наблюдается в краевых частях массива. Макроскопически они имеют плотное сложение, мелкозернисты и окрашены в светлозеленые или серовато-бурые цвета.



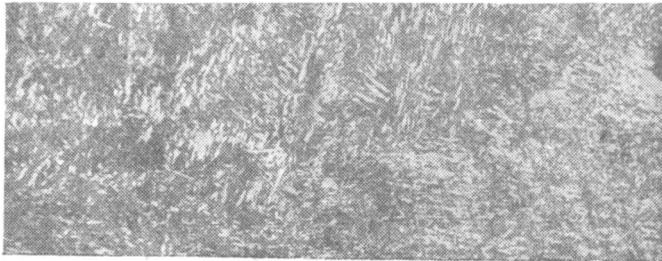
Фиг. 1. Хризотиловый серпентинит. Батамшинское месторождение. $\times 90$, Николи \rightarrow



Фиг. 2. Хризотиловый серпентинит с баститом. Батамшинское месторождение. $\times 90$, Николи \rightarrow



Фиг. 3. Антигорит — хризотиловый серпентинит. Кемпирсайское месторождение. $\times 25$, Николи \rightarrow



Фиг. 4. Мелкочешуйчатый антигоритовый серпентинит (верлитовый). Подольское месторождение. $\times 25$, Николи \rightarrow

Среди широко распространенных жильных пород наблюдаются пироксениты, горнблендиты, габбро, габбро-диабазы, диабазы, кварцевые порфиры, жилы кварца и т. д. В контакте жильных пород с ультраосновными заметны повышенная серпентинитизация и появление прожилков хризотиласбеста.

Вмещающими породами для ультраосновных интрузий, образующими с ними контакты и наблюдающимися среди них в виде останцев и ксенолитов, являются метаморфизованные, осадочные, эффузивные и интрузивные породы. Чаще всего это песчано-сланцевые и эффузивные образования средне- и верхнепалеозойского возраста, значительно реже известняки. Среди интрузивных пород в контакте с ультраосновными наблюдаются граниты, гранодиориты, габбро и др.

Массивы ультраосновных пород испытали на себе воздействие варисийского диастрофизма, вызвавшего образование трещиноватости, смещение рудных тел и жильных пород, образование зон разломов, перетираия, превращения серпентинитов в сланцы и т. д. Влияние термального метаморфизма выразилось в перекристаллизации и образовании так называемых генетически неопределимых перекристаллизованных серпентинитов, в которых доминирующее значение имеет антигорит, а также и в образовании лиственитов, тальково-карбонатных пород и т. д. Наибольшему термальному метаморфизму подверглись ультраосновные породы восточной группы массивов, где широко распространены интрузии кислых пород, появившиеся после интрузий ультрабазитов.

2. Ультраосновные массивы Среднего Урала

На Среднем Урале ультраосновные массивы также разбиваются на две полосы — центральную и восточную. Первая начинается от широты Челябинска и тянется в меридиональном направлении до широты Серова. Вторая, немногочисленная, группа массивов расположена несколько восточнее Свердловска и тянется до Алапаевска. Среди многочисленных среднеуральских массивов наиболее изученными в геолого-петрографическом отношении и интересными с точки зрения их никеленосности являются Верхне-Уфалейский, массивы в районе Северского и Полевского заводов, полоса массивов, идущая через Дегтярку к Ревде, Верхне-Нейвинский, Тагило-Невьянский и Режевский.

Большая часть перечисленных массивов представляет конкордантные интрузии, краевые выклинивающиеся части которых сложены в пологие складки вместе с вмещающими отложениями. Сами ультраосновные породы при этом подверглись интенсивному рассланцеванию, а местами даже милонитизации. Обычно массивы имеют вид сильно уплощенных, вытянутых в меридиональном или близком к нему направлении тел лакколитообразной или штокообразной формы.

Массивы ультраосновных пород Среднего Урала неоднородны, а тем более неодинаковы по своему первичному петрографическому составу. Г. А. Соколов и друг. (1941), опираясь на первичный петрографический состав массивов и на данные возрастных отношений между различными фациями, разбил все массивы Урала на несколько групп.

К группе существенно перидотитовых массивов могут быть отнесены Алапаевский, Режевский и массивы б. Монетной дачи. Здесь преобладающими среди ультраосновных пород являются перидотиты. В тесной связи с ними находятся довольно распространенные породы семейства габбро и габбро-пироксенито-верлитового состава. Переход от габбро к перидотитам сопровождается различными по форме

обособлениями пироксенитов и верлитов; между пироксенитами и верлитами наблюдаются постепенные переходы; между верлитами и перидотитами обычны резкие контакты.

Дуниты, присутствующие в весьма ограниченных количествах, представлены небольшими, неправильной формы шширами, вытянутыми согласно с простираением массива. Шширы дунитов обычно располагаются в перидотитовом поле и имеют с последним резкие контакты.

В пределах Режевского массива преобладают перидотитовые серпентиниты гарцбургитового состава, дунитовые же разности серпентинитов имеют подчиненное развитие.

Массивы Верхне-Нейвинский, Верхне-Тагильский, Гологорский, Иткульский, Каркадинский относятся, по классификации Г. А. Соколова и друг. (1941), к существенно дунитовым массивам с тем или иным участием пироксенитов и габбро. Эти массивы в основном сложены дунитами и их серпентинизированными разностями, подчиненное значение приобретает перидотиты верлитового и гарцбургитового состава. Здесь, в отличие от других массивов, непосредственно с дунитами связаны пироксениты (диаллагиты и диопсидиты), причем местами между ними наблюдаются постепенные дифференцированные переходы, местами резкие контакты.

К зонально-дифференцированным массивам с подчиненным участием габброидных пород относятся Верхне-Уфалейский и Тагило-Невьянский массивы, для которых характерно большое развитие перидотитов и подчиненное дунитов и пироксенитов. В Тагило-Невьянском массиве гарцбургиты преобладают над лерцолитами; верлиты являются редкостью. Г. А. Соколовым и друг. (1941) для Тагило-Невьянского массива устанавливается вертикальная зональность расположения дифференциатов ультраосновной магмы. Им выделены следующие зоны: верхняя — лерцолитовая, средняя — гарцбургитовая и нижняя — гарцбургито-дунитовая (местами почти чисто дунитовая).

Строение Верхне-Уфалейского ультраосновного плутона не вполне ясно. Ясно преобладают перидотиты различных типов (гарцбургиты и верлиты). Большие площади сложены перидотитовыми серпентинитами. Дуниты слагают вытянутые, нередко крупные обособления в краевых зонах массива. Габбро и пироксениты частью занимают значительные площади, частью образуют дайкоподобные тела среди перидотитов.

Контактные изменения. Для массивов Среднего Урала характерны частые контакты их с известняками и гидротермальные процессы, развивающиеся в области контакта. Оталькование и хлоритизация ультраосновных пород в контакте с породами кислого ряда наблюдается почти повсеместно, в то время как амфиболитизация имеет локальное распространение и небольшое развитие, будучи приурочена главным образом к контактам пород среднего и основного состава. Скарновые образования на контакте с мраморами констатированы в районе Ново-Черемшанского рудника и Чусовских месторождений (Верхне-Уфалейского района) и в районе Ревдинско-Дегтярской группы.

Значительные контактовые изменения в ультраосновных породах наблюдаются и на участках, где развиты жильные породы. Характер изменения здесь почти тот же, но наблюдается развитие и мелких жилоч хлоритфельса.

3. Химический состав ультраосновных пород

Химические анализы разностей ультраосновных пород — дунитов, перидотитов и др. и происшедших из них серпентинитов в районе развития

никелевых месторождений представлены в таблицах 2 и 3. Их состав обычный для этого типа пород.

В образцах, не затронутых выветриванием и не содержащих карбонатов или содержащих их в незначительных количествах, кремнезема имеется от 38.17% до 40.44%; в общем колебания бывают от 32 до 42%, чаще от 35 до 40%.

В образцах, содержащих карбонаты, количество кремнезема несколько ниже. Содержание магния более подвержено колебаниям. Для образцов, содержащих мало карбонатов, количество MgO находится в пределах 32.41—40.98%. Содержание закисного железа колеблется в пределах от 0.66 до 1.87%; только в образце из месторождения Айдербак с глубины 66 м (анализ № 10, табл. 2) содержание FeO повышается до 2.7%. Среднеуральские породы дают большей частью повышенное содержание FeO в 3—4 и до 6% (особенно дунитовые разности). За счет уменьшения закисного железа часто наблюдается повышенное содержание Fe₂O₃, количество которого достигает 6.09—7.54%. Содержание Al₂O₃ обычно менее 1% и редко больше, до 2%. Содержание NiO для южноуральских пород колеблется в пределах от 0.20 до 0.39%, а содержание CoO — от 0.01 до 0.07%. Среднее содержание NiO равно 0.29%, среднее содержание CoO — 0.03%. Отношение NiO:CoO варьирует в значительных пределах, от 1:4 до 1:27; в среднем оно 1:15.

Изменения в содержании основных компонентов породы (FeO, NiO, MgO, H₂O) частично объясняются влиянием процессов выветривания, которое обычно начинается с перехода закисного железа в окисное и выноса магния с одновременной гидратацией и, возможно, сорбцией никеля. Часть анализированных образцов в небольшой степени, вероятно, подвергалась выветриванию. Содержание NiO в ультраосновных породах, как это видно из табл. 2 и 3, колеблется в небольших пределах (от 0.2 до 0.3%), и только в тех случаях, когда они сильно выветрены, содержание никеля и кобальта может несколько уменьшиться; однако обычно выветрелые образцы содержат несколько больше никеля, чем свежие, а образцы с повышенным содержанием закиси никеля (до 0.5% и больше) являются результатом сорбции никеля выветрелой поверхностью породы. Иногда несколько повышенное содержание никеля можно объяснить присутствием никелевых сульфидов.

О содержании никеля в других изверженных породах, находящихся среди массивов ультрабазитов и в контакте с ними, мы имеем значительно меньше данных. Содержание NiO большей частью колеблется в них в пределах от 0.06 до 0.09% и изредка доходит до 0.15% (табл. 4). Выветрелые образцы пироксенитов иногда имеют более высокое содержание никеля, чем свежие. Пироксениты содержат значительно меньше MgO, чем серпентиниты, зато содержание кальция в них высоко. Актинолитовые разности обогащены глиноземом и щелочами, диаллагитовые — богаты СаО. Во всех этих разностях содержание NiO почти одно и то же, притом невысокое. Фохт (1923) в своей работе по пироксенитам указывает среднее содержание никеля в 0.08%; оно почти полностью совпадает с величинами, полученными нами для уральских пироксенитов. Для габбро и диабазов Фохт (1923) дает меньшие величины, чем для пироксенитов.

В свежем габбро-диабазе из Кемпирсайского месторождения никель не обнаружен. Четыре анализа плотных габбро-амфиболитов из района Западно-Кемпирсайского месторождения дали для NiO 0.01%, следы, 0.06 и 0.05%, т. е. цифры, близкие к данным Vogt для габбро и диабазов. Выветрелые породы дают повышенные содержания NiO в результате сорбции выветрелой поверхностью (стр. 101 и табл. 25, стр. 103).

Химический состав серпентинитов Южного Урала

Таблица 2

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	37.15	38.17	39.89	39.10	38.52	39.01	36.34	34.39	35.21	35.86	39.08	40.44	35.86
TiO ₂	Нет	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—	Нет	Нет	0.06	0.02
Al ₂ O ₃	1.37	0.23	0.29	1.72	0.83	1.05	1.07	1.52	0.22	1.76	2.39	0.95	1.20
Cr ₂ O ₃	0.33	0.51	0.25	0.35	0.36	0.35	0.37	0.29	0.40	0.30	—	0.42	0.25
Fe ₂ O ₃	6.09	7.32	7.21	7.06	6.63	6.41	6.87	6.22	7.54	3.02	5.19	7.24	5.93
FeO	1.87	1.14	0.72	1.44	1.22	1.15	1.17	0.66	0.68	2.69	0.75	0.11	1.28
MnO	0.08	0.11	0.08	0.11	0.08	0.08	0.11	0.11	0.08	0.10	0.05	0.02	—
CuO	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	—	—	—	—	—	—	—
NiO	0.26	0.31	0.36	0.29	0.28	0.29	0.22	0.20	0.27	0.20	0.27	0.34	0.08
CoO	0.04	0.07	Нет	0.03	—	0.03	0.01	0.01	0.01	—	—	—	0.01
CaO	1.31	Нет	Нет	Следы	0.25	Следы	1.01	3.18	2.69	0.59	0.64	Следы	0.00
MgO	35.97	35.87	34.72	32.41	35.98	33.77	37.17	34.21	35.89	38.95	36.37	39.21	38.65
K ₂ O	Нет	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.00
Na ₂ O	Нет	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.00
Na ₂ O + K ₂ O	—	0.11	0.13	0.15	0.10	0.13	—	—	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅	Следы	Следы	0.01	Нет	0.02	Нет	—	—	—	—	—	—	—
SO ₃	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Следы	—	—	0.21	—	—	—
CO ₂	1.56	0.13	0.24	0.04	0.27	0.12	2.2	6.1	4.9	—	0.62	—	—
Потеря при прокаливании	11.02	13.28	13.10	12.35	15.39	12.69	12.74	7.22	10.63	14.91	10.38	11.90	15.22
H ₂ O ⁻¹¹⁰	2.57	3.14	2.62	4.50	—	4.79	1.30	2.07	1.65	1.11	3.02	0.01	1.28
H ₂ O ⁻²⁰⁰	—	—	—	—	—	—	0.34	2.89	0.34	0.22	0.55	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.13
Сумма	99.62	100.39	99.62	99.55	99.93	99.87	100.92	99.07	100.51	99.72	99.31	100.70	99.90

- 1) Серпентинит по дуниту. Район Кемпирсайского месторождения („Бугор“). Аналитик М. М. Стукалова. Анализ представлен М. А. Цибульчиком.
- 2) Серпентинит по гардбургиту. Район Кемпирсайского месторождения („Бугор“). Аналитик М. М. Стукалова. Анализ представлен М. А. Цибульчиком.
- 3) Дунит, серпентинит. Район Бурановского месторождения, Кемпирсайский массив. Аналитик М. М. Стукалова. Анализ представлен М. А. Цибульчиком.
- 4) Аподунитовый серпентинит. Район Бурановского месторождения, Кемпирсайский массив. Аналитик М. М. Стукалова. Анализ представлен М. А. Цибульчиком.
- 5) Дунит, серпентинит с мелковкрапленным хромитом. Образец взят из Кемпирсайского месторождения Н. Д. Никитиной. Аналитик М. М. Стукалова.
- 6) Дунитовый серпентинит. Образец взят из Бурановского месторождения Н. Д. Никитиной. Аналитик М. М. Стукалова.
- 7) Серпентинит по перидотиту. Ново-Аккермановское месторождение, штольня № 1, в 18 м от устья, магнетитовая зона. Анализ произведен в полевой химической лаборатории Южноуральской экспедиции.
- 8) Мелкосетчатый серпентинит. Ново-Аккермановское месторождение, штольня № 1, в 115,8 м от устья. Анализ произведен в полевой химической лаборатории Южноуральской экспедиции.
- 9) Плотный крупносетчатый серпентинит. Ново-Аккермановское месторождение, штольня № 1 (забой). Анализ произведен в полевой химической лаборатории Южноуральской экспедиции.
- 10) Серпентинит. Месторождение Айдербак, скв. 20, гл. 66.01—68.66 м. Аналитик Т. В. Переверзева, ИГН АН.
- 11) Серпентинит по дуниту. Айдербак, Крутой овраг, левый склон, в 80 м от дороги на Айдербак из Халилова. Аналитик Т. В. Переверзева, ИГН АН.
- 12) Серпентинит по дуниту. Аккаргинский массив. Анализ взят из отчета М. И. Алешина (рукопись).
- 13) Серпентинизированный гардбургит из шлора среди дунитов юго-восточного рудоносного дунитового поля, месторождение Спорное (Кемпирсайское месторождение), скв. 67, гл. 57 м. Из работы Логинова, Павлова и Соколова (1940).

Таблица 3

Химический состав серпентинитов Среднего Урала

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	39.67	35.60	36.50	42.00	47.00	36.01	36.40	36.30
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.10	0.08
Al ₂ O ₃	1.01	0.95	1.33	0.92	0.94	0.06	0.27	0.92
Fe ₂ O ₃	1.51	3.32	6.15	4.13	3.78	2.75	4.37	6.29
Cr ₂ O ₃	1.79	0.25	0.35	0.00	0.20	0.10	0.15	0.55
FeO	2.93	2.23	0.90	2.23	2.58	3.03	1.66	2.92
MnO	—	0.05	—	0.08	0.05	0.06	0.15	0.08
NiO	—	0.21	0.28	0.50	0.52	0.44	0.50	0.16
CoO	—	—	Сл.	0.03	0.02	0.01	0.03	—
MgO	49.50	43.16	37.81	39.10	34.20	45.65	44.27	41.78
CaO	0.20	0.00	2.22	0.20	0.58	0.00	0.38	0.59
K ₂ O + Na ₂ O	0.07	0.16	0.04	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	3.71	14.28	14.74	11.10	8.92	11.92	11.94	—
H ₂ O ⁻	0.34	0.36	—	0.60	0.56	—	0.22	10.80
Cu	—	0.02	0.02	—	—	—	—	—
S	—	0.06	0.06	0.10	0.12	—	Сл.	—
P	—	0.00	0.00	—	—	—	0.007	—
CO ₂	—	—	—	0.20	0.50	—	—	—
SO ₄	—	—	—	0.60	0.00	—	—	—
Сумма	100.73	100.65	100.40	100.83	100.01	100.03	100.45	99.47

1) Дунит крупнозернистый, слегка серпентинизированный, с Иткульского массива. По В. С. Красулину (1940).

2) Дунит серпентинизированный с 58 квартала (Уфалейский массив). По В. С. Красулину (1940).

3) Перидотит серпентинизированный и карбонатизированный с Северной Песчанки, с гл. 35 м (Уфалейский район).

- 4) Серпентинит с горы Чегрес (Верхний Уфалей). По М. Н. Годлевскому (1940).
 5) Серпентинит с борта Тюленевского карьера (Верхний Уфалей). По М. Н. Годлевскому (1940).
 6) Дунит серпентинизированный с Анатолийского месторождения (Невьянский район). По Лион (1940).
 7) Дунит слегка вонитронитизированный с Калининевского месторождения (Верхне-Нейвинский район). По Н. М. Аксенову и др. (1940).
 8) Дунит с Елизаветинского массива Свердловской области. По К. Е. Кожевникову и И. А. Пантелееву (1940).

Таблица 4

Химический состав пироксенитовых и актинолитовых пород

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	52.08	47.00	48.00	48.82	49.02	47.32	51.40	50.72
TiO ₂	0.20	—	0.02	0.30	0.35	0.29	—	0.20
Al ₂ O ₃	1.24	1.00	2.87	1.96	7.18	10.68	2.00	0.37
Fe ₂ O ₃	2.50	3.74	1.95	2.96	0.91	2.75	1.88	1.66
Cr ₂ O ₃	0.38	0.53	0.48	0.34	0.29	1.58	0.05	0.57
FeO	2.81	2.10	3.61	2.85	3.45	1.77	3.35	4.51
MnO	0.25	—	—	0.08	0.26	—	0.04	—
NiO	0.06	—	0.09	Сл.	0.15	0.08	0.02	0.08
CoO	Сл.	—	—	—	0.01	—	—	—
MgO	18.06	26.37	19.71	21.72	22.91	19.96	21.27	22.03
CaO	21.40	12.97	19.88	19.58	10.98	9.92	19.55	19.00
K ₂ O	—	0.01	0.49	0.05	0.42	0.20	—	—
Na ₂ O	—	—	—	0.16	1.28	1.76	—	—
H ₂ O ⁻	0.08	—	—	—	0.30	1.60	0.07	—
H ₂ O ⁺	—	—	—	—	2.78	1.76	0.83	1.08
п.п.п.	1.12	6.28	2.47	2.05	—	—	0.17	—
Cu	0.09	—	0.05	—	—	—	—	—
P	0.007	—	0.002	—	—	—	—	—
CO ₂	—	—	0.10	0.44	—	—	—	—
S	—	—	—	—	0.05	0.25	—	—
Сумма	100.28	100.00	99.72	101.31	100.33	99.96	100.63	100.22

- 1) Пироксенит с Верхне-Нейвинского серпентинитового массива. По Н. М. Аксенову и Горланову (1935).
 2) Пироксенит с Нижне-Черемшанского рудника Верхне-Уфалейского района. По В. С. Красулину (1940).
 3) Пироксенит с горы Высокой Верхне-Уфалейского района. По В. С. Красулину (1940).
 4) Пироксенит с Елизаветинского массива. По К. Е. Кожевникову и И. А. Пантелееву (1940).
 5) Актинолитовые породы с Актюбинского массива, Северная группа. По В. П. Логинову, Н. В. Павлову и Г. А. Соколову (1940).
 6) То же.
 7) Диаллагиты с Хабаровинского массива, карьер 10. По С. А. Кашину и В. Л. Федорову (1940).
 8) Диаллагиты с Хабаровинского массива, карьер 5/II. По С. А. Кашину и В. Л. Федорову (1940).

Из пород кислой магмы мы имеем только один анализ пегматита из района Таиткенского месторождения (Кемпирсайский массив), который показал отсутствие никеля; Vogt для гранитов дает среднее содержание никеля равным 0.0005%.

Ввиду того что на Среднем Урале в месторождениях никеля весьма распространены тальково-карбонатные породы, возникает вопрос о содержании в них никеля. Приводимые в табл. 5 анализы свидетельствуют о том, что содержание NiO здесь такое же, как и в серпенти-

нитах, т. е. обычно 0.2—0.3%. Более высокие цифры — до 0.5% NiO относятся к разложенным разностям или обусловлены привнесенным со стороны никелем, отложившимся среди чешуек талька. Разложенные талько-карбонатные породы обычно содержат весьма мало никеля, но в некоторых случаях, которые будут особо разобраны, содержание никеля достигает в них кондиционного количества и даже превышает его

Таблица 5.

Химический состав тальково-карбонатных пород (в %)о

Компоненты	1 Шеленское место- рождение Верхне- Уфалейского района	2 Шабровское место- рождение (18)	3 Шабровское место- рождение (18)	4 Колодникское место- рождение Миасского района (19)	5 Листвяное место- рождение	6 Миасское II место- рождение (20)	7 Сыростанское, в 8 км к югу от Сыростана	8 Черныговское, в 10 км от Субутыла
SiO ₂	51.70	30.45	29.70	57.16—59.25	59.32	52.75	31.0 — 40.9	—
TiO ₂	сл.	—	сл.	0.02	0.04	—	0.04 — 0.15	—
Al ₂ O ₃	1.90	1.25	1.06—1.48	1.64	7.36	2.69	0.8 — 3.9	0.56
Fe ₂ O ₃	14.00	3.08	0.64—4.02	0.08—0.25	0.93	1.35	1.4 — 7.4	5.38
Cr ₂ O ₃	0.11	0.18	сл. до 0.36	0.24	—	—	—	0.33
FeO	0.49	4.16	3.12—6.01	1.78	4.84	4.81	3.8	—
MnO	0.21	0.46	—	0.05	0.90	0.19	—	0.05
CaO	0.12	0.63	0.41—1.16	0.00	0.05	2.61	сл. до 0.15	0.11
MgO	24.50	32.68	29.36	28.61—29.32	29.50	29.14	30.7 — 35.6	35.17
K ₂ O	—	—	Нет	Нет	0.07	Нет	0.0 — 0.08	Нет
Na ₂ O	—	—	—	—	0.1	Нет	0.0 — 0.02	—
NiO	0.50	0.33	От сл. до 0.70	0.22	0.21	0.26	0.28 — 0.50	0.32
П. п. п.	2.54	—	—	—	4.26	5.05	—	—
H ₂ O ⁻	1.12	1.73	—	4.86	0.08	0.17	—	—
CO ₂	0.20	24.65	Нет ¹	—	0.23	—	7.9 — 20.9	23.13

4. Форма вхождения никеля

Специальных исследований о форме вхождения никеля в ультраосновные породы Урала не производилось. По мнению Фохта (Vogt, 1923), никель в ультраосновных породах находится главным образом в оливине и ромбическом пироксене. При равных количествах железистого силиката в этих минералах оливин содержит больше никеля, чем ромбический пироксен, а последний больше, чем моноклинный пироксен, амфибол и биотит. По Фохту, в оливинах, содержащих 7—14% ортосиликата железа, содержание закиси никеля составляет от 0.19 до 0.50%, в среднем 0.33%, в образцах с 18—30% ортосиликата железа (четыре анализа) — от 0.15 до 0.32%, в среднем 0.21% закиси никеля. Отсюда Фохт делает вывод, что более магниевые оливины содержат в среднем больше никеля.

Содержание никеля в оливине из Нижне-Тагильского массива составляет, по данным Н. В. Бутырина (1938), 0.13%, в оливине из Елизаветинского месторождения, по К. Е. Кожевникову и А. И. Пантелееву — 0.24% NiO и 0.03% CoO, в Ново-Аккермановском — 0.37%, по данным Г. С. Грицаенко (см. табл. 6).

¹ SiO и P₂O₅ следы, S отсутствует.

АНАЛИЗЫ ОЛИВИНОВ

	I	II	III
SiO ₂	40.48	38.33	39.54
TiO ₂	—	Нет	—
Al ₂ O ₃	—	0.05	0.37
Fe ₂ O ₃	0.62	Нет	—
Cr ₂ O ₃	—	Нет	0.11
FeO	7.15	12.78	7.64
MnO	0.14	0.25	0.10
NiO	0.13	0.24	0.37
CoO	—	0.03	—
MgO	50.26	47.98	49.76
CaO	0.15	Следы	—
K ₂ O + Na ₂ O	0.12	—	—
H ₂ O ⁺	—	—	0.19
H ₂ O ⁻	—	—	0.38
	—	Нет	1.62
Сумма	99.05	99.66	100.08

I — Нижне-Тагильский, выделен механич. путем из дунита с глубины 600 м, лаб. ЦНИГРИ. По Н. Н. Бутыршу.

II — Елизаветинский, по К. Е. Кожевникову и И. А. Пантелеву.

III — Ново-Аккермановский. По Г. С. Грицаенко.

По данным Е. Н. Егоровой (1938), изучавшей никеленосность оливина, следует, что: а) содержание никеля в исследованных ею чистых оливинах укладывается в пределы от 0.34 до 0.41%, при этом, как правило, чем больше в оливине железа, тем меньше никеля; чистые форстериты и оливин из палласова железа не содержат никеля; б) основная масса никеля в оливине находится, несомненно, в виде изоморфной примеси ортосиликата; в) оливин постоянно содержит незначительное количество высокодисперсных сульфидов; г) незначительное количество никеля находится, повидимому, в металлическом или окисном состоянии.

Побочным и далеко не постоянно присутствующим источником никеля могут явиться пентландит, никелин и миллерит, констатированные в некоторых серпентинитовых массивах. Впервые они были указаны в Халиловском массиве, затем в Ревдинском (Гребневское месторождение никелевых сульфидов), Гологорском, Верхне-Нейвинском, Тагильском. За последнее время они обнаружены в массивах Карабашском, Сугурском и др.; нами они были констатированы в кернах скважин Ново-Аккермановского месторождения. Почти во всех случаях мы имеем дело с более или менее частой вкрапленностью, то макроскопически видимой, то наблюдаемой только под микроскопом. Большей частью эта вкрапленность приурочена к гидротермально переработанным зонам: карбонатизированным, хлоритизированным, оталькованным, офитизированным и т. п. Обнаруживаемая в серпентинитах, пироксенитах и габбро сульфидная сера бывает связана с никелем, кобальтом, медью и железом. Иногда последние (халькопирит и пирит) вовсе отсутствуют и сера связана только с никелем и кобальтом (Золотая гора у Карабаша). Иногда сера находится в столь незначительном количестве, что ее хватает только для связывания никеля. Почти во всех подобных случаях мы имеем породы, в той или иной степени переработанные гидротермальными процессами, которые или вносили в породу серу и металл,

или переносили никель из силикатной части в сульфидную. Бывает, что сульфиды никеля концентрируются в отдельных прожилках и гнездышках. Вопрос о форме вхождения никеля может быть решен только путем рационального анализа с параллельным микроскопическим контролем. В шлифах серпентинитов мы под микроскопом редко видим сульфиды никеля и сульфиды вообще, несмотря на присутствие в породе никеля. Как на Южном Урале, так и на Среднем Урале, имеются огромные массивы серпентинитов, почти или совсем не испытавших гидротермального воздействия серасодержащих растворов, но все же содержащих нормальные для серпентинитов количества никеля. Поэтому для огромного большинства массивов или для огромных участков их вероятно, что основная масса никеля находится включенной в силикатной форме в оливин, замещая метасиликат железа или магния в серпентините, образовавшемся за счет оливина или пироксена. Силикатная форма никеля в серпентинитах носит региональный характер, сульфидная — локальный, хотя и гораздо более распространенный, чем это казалось несколько лет тому назад.

На вопрос, в каком виде никель находится в талько-карбонатных породах, в виде ли силиката или карбоната в изоморфной примеси к брейнериту, за отсутствием анализов брейнерита на никель ответа пока дать невозможно. Наконец, надо отметить небольшие количества никеля и кобальта, которые в ультраосновных породах входят в магнетиты (до 0.2% NiO) и хромшпинелиды (от следов до 0.29% NiO) и кобальта (от следов до 0.1—0.2%) (А. Г. Бетехтин и С. А. Кашин, 1937).

ГЛАВА IV

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

1. Кора выветривания на серпентинитах

А. Нонтронитовая кора площадного распространения халиловско-кемпирсайского типа

Относительно хорошо сохранившаяся площадная кора выветривания на ультраосновных породах Южного Урала развита обычно неправильными участками площадью от 0.5 до 4 кв. км, преимущественно в пределах современных слабо холмистых водораздельных равнин, рельеф которых часто унаследован с юрского и доюрского времени. С древним микрорельефом связан тип строения профиля коры выветривания, выдержанного для больших площадей.

На нижних частях склонов и внутри древних пологих котловин и глубоких корытообразных лощин с углом падения склонов в 2—3° и разницей относительных высот в 20—30 м кора выветривания обладает в вертикальном направлении зональным строением с хорошо развитой зоной нонтронитизированных серпентинитов (фиг. 6). Типичный сводный разрез подобной коры выветривания выражен в так называемом „нонтронитовом“ профиле (фиг. 7).

В верхних частях склонов и особенно на самих куполах небольших древних холмов и увалов наблюдается широкое распространение „шапок“ охристо-кремнистых и кремнистых образований, сводный разрез которых представлен силицифицированным профилем (стр. 61).

Иногда в результате преобразования материала, составляющего эти два основных профиля площадного типа коры выветривания, получаются совершенно новые профили.

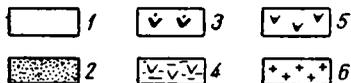
Нонтронитовый профиль (фиг. 8). Средняя мощность коры выветривания составляет 20—30 м, а если включить серпентиниты с жилами магнезита, залегающими в нижней части профиля, то мощность сильно увеличивается, например до 70 м в Айдербаке.

По минералогическому составу продуктов выветривания профиль делится на следующие зоны (сверху вниз): 1) охры; 2) нонтронитизированные серпентиниты; 3) разложенные (выщелоченные) серпентиниты; 4) малоизмененные серпентиниты.

Кроме зон, в профиле выделяются горизонты, представляющие скопления жильных или иных включений — никелевых силикатов, опалов, арагонитов и магнезитов. Распространение этих минералов неравномерно

и не всегда ограничено одной определенной зоной, но всегда наблюдается преимущественное распространение:

1) никелевых силикатов — на границе зон выщелоченных и нонтронитизированных серпентинитов;



Фиг. 6. Геологическая карта Батамшинского месторождения никеля (1937 г.)
(по И. И. Савельеву и Е. И. Сарычеву)

Условные обозначения:

1 — пестроцветные глины, 2 — охры, 3 — серпентиниты силицифицированные, 4 — серпентиниты нонтронитизированные, 5 — серпентиниты выщелоченные, мало измененные, 6 — габбро, габбро-диабазы и диабазы

2) опалов во всей зоне нонтронитизированных серпентинитов и верхней части выщелоченных;

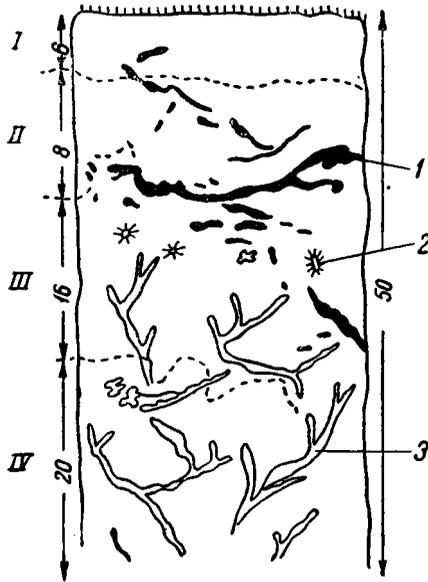
3) карбонатов, арагонита, доломита, магнезита — в зоне выщелоченных и частью среди малоизмененных серпентинитов.

Описание зон

Зона охры в среднем имеет мощность около 6 м. В верхней части охры, если на них развита почва, представлены бурым землисто-глинистым материалом со столбчатой отдельностью. При перекрытии морскими или

континентальными образованиями, по своему литологическому составу отличающимися от охр, верхняя граница охр хорошо различима. В тех случаях, когда на охры налегают пестроцветные глины (Кемпирсайское месторождение) или бурые железняки (Халиловское месторождение), содержащие значительное количество перемытых продуктов выветривания (в том числе и охр), границу очень трудно провести; иногда она заменяется интервалом полосчато-слоистых переотложенных охр в смеси с вышележащим материалом. В некоторых случаях перемытые и переотложенные охры образуют толщу до 4 м мощности.

Сами охры выделяются своей яркой окраской, от вишнево-красных до буро-желтых тонов. Они представляют рыхлый, землистый (в сухом состоянии сыпучий) материал, в составе которого основную роль играют гидроокислы железа ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$; $Fe_2O_3 \cdot 0,75 H_2O$; $Fe_2O_3 \cdot 0,5 H_2O$),



Фиг. 7. Схема нормального профиля выветривания в месторождениях халиловско-кемпирсайского типа

Условные обозначения:

1 — опал, халцедон, 2 — арагонит, 3 — магнетит. Зоны: I — охры. II — нонтронитизированный серпентинит. III — вышележащий серпентинит. IV — малоизмененный серпентинит

представленные гетитом и гидрогетитом, реже гидрогематитом; в небольшом количестве здесь же присутствуют псиломелан, вад, бейделлит, галлуазит и остаточные минералы материнской породы — хромшпинелиды, магнетит и хлориты; последние нередко значительно изменены в процессе выветривания. Местами в охрах встречаются халцедон и опал, унаследованные, видимо, от нонтронитизированных серпентинитов, за счет которых охры образовались. Как чужеродные образования, более молодые, чем охры, в верхней части охр в виде втеков встречаются карбонаты и включения глинистых минералов. Благодаря всем этим дополнительным включениям в валовом составе охр повышается содержание отдельных компонентов (Al_2O_3 , SiO_2 , MnO), однако характерным остается низкое содержание SiO_2 , почти полное отсутствие CaO ,¹ небольшое количество MgO и непромышленное содержание никеля. Примеси минералов обуславливают некоторую пестроту окраски зоны охр. Псиломелан, вад, скопления пылевидных зерен хромшпинелида и магнетита создают на

общем фоне охр темные пятна, а глины — светлые. Большинство охр является бесструктурными; реликтовая серпентинитовая структура улавливается только в полосчатых и богатых рудными пылевидными включениями охрах.

Внизу охры постепенно переходят в зону нонтронитизированных серпентинитов, с которыми образуют неровную границу, с отдельными карманообразными углублениями (до 2 и более м) и выступами. Как исключение можно встретить резкий, быстрый переход, обуславливаемый наличием трещин или жил опала, которые являлись преградой для нисхо-

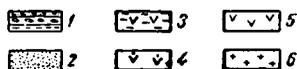
¹ Если CaO не внесена.

дящих растворов при обохривании нонтронитизированных серпентинитов.

Зона нонтронитизированного серпентинита в среднем имеет от 4 до 12 м мощности. Глинистый, в отдельных крупинках воскоподобный, материал этой зоны полируется ногтем, жирен наощупь и обладает оливково-зеленым или бурым цветом. Более светлую зеленую окраску имеют нонтронитизированные пироксенитовые серпентиниты. Наиболее темные разности обычно получаются при нонтронитизации чисто перидотитовых серпентинитов.

На свежих срезах стенок выработок, по прожилкам гидроокислов железа, марганца и по жилкам опала почти всегда хорошо передается реликтовая структура сетчатости и блочности серпентинита. Минералогический состав зоны представлен нонтронитом с подчиненным количеством серпентинита. Исследования И. И. Гинзбурга показали, что термин нонтрониты, широко принятый в разведочной практике, по существу относится к сложному по составу водному феррисиликату — ферримонтмориллону и феррибейделлиту.

Из остаточных минералов содержатся: хромшпинелиды, магнетит, местами хлориты и редкие зерна бастита; к ним присоединяются новообразованные минералы коры выветривания: халцедон, опал, гидроокислы железа и марганца, галлуазиты, наконец, иногда попадают примеси (натеки по трещинам и выделения из растворов) более молодых образований (карбонатов).



Фиг. 8. Широтный схематический разрез Батамшинского месторождения никеля (по Е. И. Сарычеву)

Условные обозначения:

1 — пестроцветные глинны, 2 — охры, 3 — нонтронитизированные серпентиниты, 4 — силифицированные серпентиниты, 5 — серпентиниты, 6 — габбро-диабазы и диабазы

В отличие от охр нонтронитизированные серпентиниты содержат значительные (промышленные) количества никеля. Последний распределен во всей массе нонтронита, однако, наблюдается локализация его в нижней части нонтронитизированных серпентинитов. Часто никель обогащает опалы и хлориты (празопалы, никелевые хлориты), реже он встречается в индивидуализированных никелевых силикатах, которые образуют тонкие прожилки, корочки и землистые скопления в переходной части зон от нонтронитизированных к разложившимся серпентинитам и в верхней части последних.

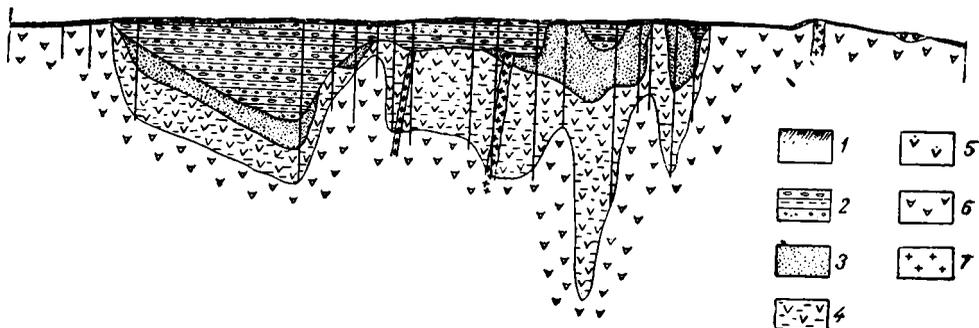
На некоторых месторождениях наблюдаются переотложенные нонтронитизированные серпентиниты. Они обладают неясной слоисто-полосчатой структурой и обычно имеют более светлую окраску, хотя наличие марганца может придать им темный, почти черный цвет. В их составе отмечается обогащение кремнеземом и глиноземом за счет песчано-глинистого материала и привнесенных кремнистых обломков.

В нижней части этой зоны часто присутствуют блоки и небольшие куски разложившихся серпентинитов, количество которых по мере приближения к зоне разложившихся (выщелоченных) серпентинитов увеличивается.

Нонтронитизация в первую очередь развивается по тонким волосным трещинам и по периферии отдельных блоков. Нередко встречаются разложенные серпентиниты оспенно-ячеистой структуры, в которых ячейки выполнены нонтронитом.

На крупных площадях граница нонтронитизированных и разложенных серпентинитов образует неправильную волнистую поверхность (фиг. 9). На небольших участках нонтронитизация развивается вдоль трещин (фиг. 10) и полосчатых структур, в связи с чем наблюдаются глубокие (иногда до 12—20 м) карманы, норы или, наоборот, выступы, форма которых согласуется с общей структурой участка.

Зона разложенного (выщелоченного) серпентинита. Мощность ее очень непостоянна, в пределах от 5 до 25 м. Выщелоченные



Фиг. 9. Меридиональный схематический разрез Батамшинского месторождения никеля (по Е. И. Сарычеву). Вертикальный масштаб резко увеличен по сравнению с горизонтальным

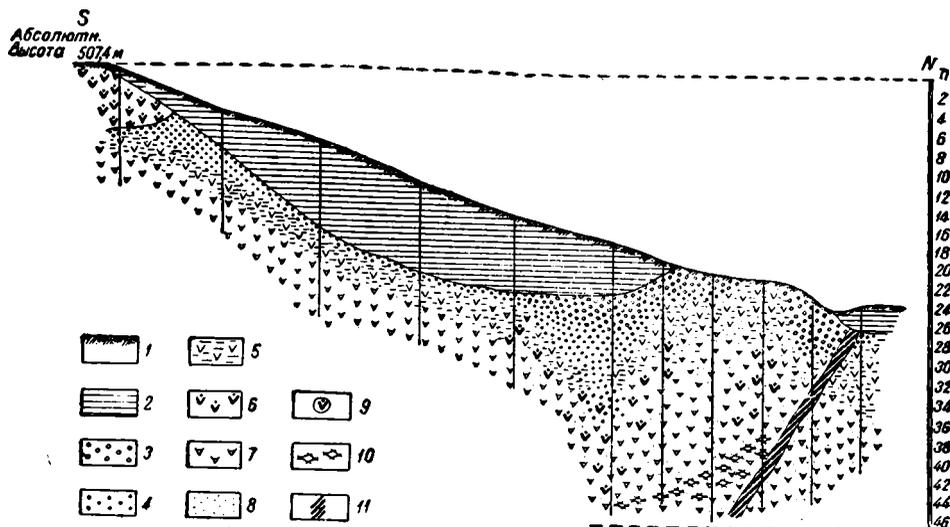
Условные обозначения:

1 — почва, 2 — пестроцветные глинистые отложения (мезозоя), 3 — охры, 4 — нонтронитизированные серпентиниты, 5 — силифицированные серпентиниты, 6 — выщелоченные серпентиниты, 7 — габбро-диабазы

серпентиниты обычно представляют слабо разложенную породу, в которой макроскопически совершенно не виден или едва заметен нонтронит. От неизмененных серпентинитов они внешне отличаются тем, что имеют осветленную, „поблекшую“ окраску и сильнее дезинтегрированы. Нередко они обладают сетчато-петельчатой или ячеистой или губчатой структурой (табл. II, фиг. 5). Значительно понижено в них содержание окислов Са, Mg и закисного железа, относительно возрастает содержание кремнезема и окисного железа. Минералогический состав представлен в основном серпентинитом (хризотил, антигорит), составляющим главную массу, прожилками серпופита и хризотил-асбеста, отдельными включениями зерен бастита. Из аксессуарных минералов развиты хромшпинелиды, всегда присутствует большое количество магнетитовой рудной пыли. Местами в шлифах наблюдаются реликты зерен пироксена и оливина. В зависимости от материнской породы в разложенном серпентините встречается большее или меньшее количество хлорита, талька или серпופита. Количество нонтронитов и гидроокислов железа зависит от степени разложения: чем глубже прошел процесс выветривания серпентинитов, тем больше нонтронита. В верхней части, на границе с зоной нонтронитизированных серпентинитов, количество нонтронита в породе настолько увеличивается, что он становится хорошо заметен макроскопически.¹

¹ По терминологии, принятой в геологоразведочной практике, — „выщелоченные, затронутые нонтронитизацией (сокращенно ВЗН) серпентиниты“.

Такие разности обладают большей рыхлостью и интенсивностью окраски. В шлифах наблюдается развитие нонтронита с периферии очень тонких трещин, по сторонам хризотилowych шнуров, причем серпентин приобретает зеленую и буроватую окраску и повышенные цвета интерференции. В отдельных выработках были обнаружены так называемые опализованные разности разложенного серпентинита. Они отличаются большей плотностью, интенсивной окраской и смоляным блеском на поверхности раскола. Чаще всего в шлифах эта опализация выражается в том, что опал неравномерно, но насыщенно, пропитывает всю породу; сохраняется структура шнуров хризотила и даже нонтронитизированных участков; опал образует также отдельные сплошные островки, которые соединяются друг с другом.



Фиг. 10. Разрез древней коры выветривания юго-восточной части Бурановского месторождения никеля (по И. И. Савельеву и И. З. Корину)

Условные обозначения:

1 — почва, 2 — гипсоносные глины (мезозой), 3 — охра желтая, 4 — охра красная, 5 — нонтронитизированный серпентинит, 6 — силицифицированный серпентинит, 7 — выщелоченный серпентинит, 8 — вторичное обогащение, 9 — участки кремения, 10 — включения арагонита, 11 — пироксенит

В зоне разложенных серпентинитов наблюдаются никелевые гидросиликаты, опалы, арагонит, кальцит, доломит, магnezит.

Никелевые силикаты (генерит) образуют прожилки, натеки и землистые скопления в ячейках. Они приурочены к верхней части зоны выщелоченных серпентинитов.

Ниже, частично совпадая с никелевыми силикатами, расположен горизонт опалов. Опалы редко образуют отдельные неправильные включения и чаще выполняют трещины, т. е. представляют „жилы“. Мощность жил небольшая, в среднем 1—2 см, местами до 10—15 см (табл. II, фиг. 6). Преимущественно пологое падение жил, выполненных опалом, объясняется образованием его в пологих трещинах, собирающих нисходящие кремне-содержащие растворы. Чаще всего опалы окрашены в желтый или зеленый цвет окислами железа и никеля. Иногда гидрокислоты марганца выделяются в опалах в виде дендритов, при насыщенности которыми получают бурые непросвечивающие, так называемые „печенковые“ опалы.

Белые опалы в нонтронитизированном профиле почти не встречаются, и сравнительно ограниченное распространение имеют халцедоны.

Иногда опал представляет небольшие глобулярные почки — сферолиты, которые в виде разобщенных капель располагаются внутри петель хризотилowych шнуров. К опализованным серпентинитам относятся „пористо-сетчатые“ разности, в которых сетки породы состоят главным образом из тонких опаловых прожилков, замесивших серпентин и серпофит. При этом часть прожилков может быть явно секущей; последние нередко обладают симметрично слоистым строением, аналогичным кольцам Лизеганга.

Ниже опалов находится горизонт карбонатов. Вверху он представлен арагонитом в виде поперечно-столбчатых прожилков и отдельных радиально-лучистых (табл. II, фото 4) и гороховидных скоплений; ниже в весьма незначительном количестве (не горизонт) встречаются тонкие натечные корочки и прожилки доломита и кальцита, а еще ниже идет горизонт магнезита. Магнезит образует прожилки, жилы, отдельные включения (табл. II, фото 3), часто имеющие вид цветной капусты, т. е. он имеет типичные колломорфные формы. В самом низу разложенный серпентинит постепенно переходит в малоизмененный.

Кое-где в трещинах малоизмененного серпентинита, резко выделяясь белым цветом, располагаются жильные скопления магнезита. Магнезит здесь образовался за счет выноса магния при выветривании вышележащего серпентинита, почему участки с магнезитовыми жилами мы нередко называем корнями коры выветривания.

В нижней части зоны широким распространением пользуются карбонатизированные разности разложенного серпентинита. Просмотр шлифов показывает, что наибольшим распространением пользуются разности, в которых мелкозернистый, чаще всего окрашенный гидроокислами, карбонат заполняет ячейки, пересекая шнуры хризотила. Чаще всего карбонат распределен неправильными пятнами, соединяющимися друг с другом и дающими сложные ответвления в стороны. Карбонат почти не считается со структурой серпентинита. Чистый и более крупнокристаллический кальцит, как правило, образует секущие прожилки и отдельные скопления, однако, он пользуется значительно меньшим распространением.

Почти всегда карбонат в верхних частях зоны представлен кальцитом, несколько ниже доломитом, а в нижних частях магнезитом с доломитом здесь он очень часто является криптокристаллическим, а отдельные включения имеют колломорфное строение.

Сводная характеристика продуктов выветривания отдельных зон дана в табл. 7.

Физическая характеристика процессов выветривания

Удельный вес свежего перидотита — 3.234, с колебаниями от 3.152 до 3.76; дунит имеет в среднем удельный вес 3.289, гарцбургит — 3.075, перцолит — 3.315; средний вес свежего дунита, верлита, гарцбургита, вебстерита составляет — 3.270 (Дели, 1936).

Удельный вес серпентинитов от 2.5 до 2.65. Следовательно, удельный объем породы при серпентинизации увеличивается в 1.258 раз, т. е. на 26%. По мере развития процессов выветривания серпентинит становится легче, его удельный вес продолжает уменьшаться вплоть до 2.0 и даже до 1.14 и меньше, т. е. более, чем наполовину.

Многочисленные взвешивания вырезанных кубиков разложенных серпентинитов и измеренных объемов вынудой породы дали по Хали-

Нонтронитовый профиль [выветривания на серпентинитах

Средняя мощность	Общая характеристика породы	Минералогический состав
6 м	Охры бесструктурные или слоистые, рыхлые, в сухом виде сыпучие. Окраска желтая, красная, вишневая, бурая.	Основная масса: минералы коры — окислы железа (гидрогетит, гидрогематит, лимонит, гетит). В подчиненном количестве: а) минералы коры — гидроокислы марганца (псиломелан, вад), глинистые минералы (галлуазит бейделлит); гидросиликаты железа; б) минералы, наложившиеся на первоначальную кору — карбонаты, галлуазит, бейделлит; в) остаточные минералы материнской породы — хромшпинелиды, магнезит; г) остаточные минералы коры выветривания — халцедон, опал.
8 м	Нонтронитизированный серпентинит-глинистая воскообразная порода, зеленой или оливково-зеленой окраски, с структурными особенностями серпентинита.	Основная масса: минералы коры — нонтронит (ферримонтмориллозит и феррибейделлит). В подчиненном количестве: а) минералы коры — гидроокислы железа и марганца, халцедон, опал (смоляной, печенковый, клеевидный, молочный, гидрофан, кахолонг, празопал), никелевые гидросиликаты (гарниерит, ревинскит) и очень редко бейделлит, галлуазит, скопления гороховидного арагонита; б) остаточные минералы материнской породы — серпентин, пироксен, оливин, магнетит, хромшпинелиды. ¹
от 16 до 25 м	Разложенный (выщелоченный) серпентинит серо-зеленой окраски, с сохранившейся структурой серпентинита. На первоначальную структуру серпентинита часто наложены сетчатые и ячеистые структуры выветривания.	Основная масса: минералы материнской породы — серпентин (хризотил, серпофит, бастит, антигорит). В подчиненном количестве: а) минералы материнской породы — оливин, пироксены, хлорит, хромшпинелиды, магнетит; б) минералы коры — нонтронит, никелевые гидросиликаты (гарниерит, ревинскит), халцедон, разлячные опалы, гидроокислы железа и марганца, кальцит, арагонит, доломит, магнезит. Карбонаты иногда в количественном отношении преобладают над серпентиниом.
	Малоизмененный серпентинит с жилами магнезита по трещинам до глубины 70 м.	

¹ В нонтронитизированном серпентините Кемпирсайских месторождений М. И. Ожеговой обнаружен аллофан.

ловскому району следующие цифры для объемного веса. Объемный вес окристых руд колебался от 1.56 до 1.79 (6 случаев) и лишь в одном случае составлял 1.18; среднее арифметическое для объемного веса 6 проб равно 1.66. Указываемый объемный вес окры 1.10 несколько мал и, повидимому, относится к порошковатой разности высушенного образца.

Объемные веса нонтронитизированных руд колеблются в значительных пределах, в зависимости, с одной стороны, от степени нонтронитизации и, с другой, — от степени обохривания, при условии одной и той же влажности. По 84 определениям, относящимся к Халиловскому району (Айдербакское месторождение), колебания объемного веса составляют от 1.25 до 1.98, но большей частью лежат в пределах 1.60—1.80 (50%) и 1.40—1.60. Если отбросить крайние случаи (выше 1.8—10 случаев), то объемный вес составит 1.50. С глубиной объемный вес нонтронитизированных пород увеличивается, как видно из следующих примеров, относящихся к трем дудкам того же участка:

Глубина взятия проб	от 3.6 до 6.5 м,	от 4.0 до 6.6 м,	от 4.1 до 6.1
Объемный вес	от 1.72 до 1.89 м,	от 1.54 до 1.75,	от 1.25 до 1.65

Таким образом, с глубиной плотность пород увеличивается, дезинтеграция постепенно уменьшается и количество вынесенных элементов из породы становится меньше. Одновременно приведенные данные показывают, как на одном и том же участке объемные веса пород меняются от одной дудки к другой. Поверхность однородного выщелачивания или поверхность пород одинакового объемного веса представляет собой чрезвычайно сложную, неправильную, местами разорванную кривую, являющуюся результатом многочисленных факторов.

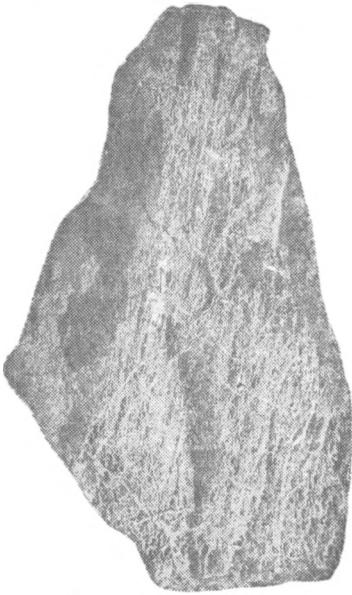
Плотные выщелоченные серпентиниты также обладают самым разнообразным объемным весом. Здесь колебания составляют от 1.38 до 2.48. Отчасти столь большие колебания объясняются недостаточным тонким разделением этого горизонта на подгруппы, но основная причина заключается в том, что степень выщелоченности серпентинитов на разных участках и в разных дудках — разная. Имеет значение и разная степень влажности отдельных образцов. Среднее арифметическое объемного веса из 50 определений составляет 1.73. Таким образом, с глубиной увеличивается объемный и удельный вес пород.

Более детальные данные дает инж. М. А. Цибульчик в одном из своих отчетов для Кемпирсайского района. Приводим их:

	Объемный вес Сырая руда	Удельный вес Высушенная руда
Нонтронитизированный серпентинит	1.67	2.0
Выщелоченный серпентинит	1.86	2.50
Силицифицированный серпентинит	2.10	2.50

Для Айдербакского месторождения влажность нонтронитовых руд составляет от 20 до 40.1%, в среднем 30.77%, для выщелоченных руд — от 20 до 44%, в среднем 28.15%.

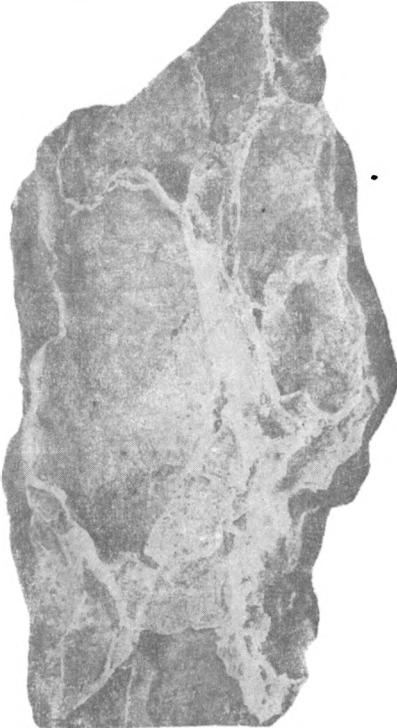
Приведенные величины чрезвычайно характерны и важны для понимания процессов выветривания. Нонтронитизированные руды даже при высыхании удерживают влагу интенсивнее, чем выщелоченные; они чрезвычайно гигроскопичны: содержание воды в воздушно-сухих нонтронитизированных породах составляет 14—25%, в то время как для выщелоченных оно составляет в среднем всего 7.98%. За исключением сухих месяцев года нонтронитизированные породы на 40—50% пропитаны влагой. Выщелоченные породы частично удерживают воду, частично



Фиг. 5. Губчатый выщелоченный серпентинит



Фиг. 6. Прожилки опала в выщелоченном серпентините



Фиг. 7. Прожилки и коломорфные формы магнезита



Фиг. 8. Арагонит радиально-лучистый

пропускают ее в нижележащие горизонты, нонтронитизированные же породы пропускают воду в нижележащие горизонты лишь тогда, когда они наполовину пропитываются ею; более влагоемкие, они содержат „подвешенную“ воду. Вышележащая зона — охристая, близкая к поверхности и менее влагоемкая, более пронизана воздухом.

Пористость выветрелого серпентинита вызывает миграцию гравитационной воды, сверху вниз. Если в верхних горизонтах опускание почвенной воды имеет сплошной характер (горизонтальное сито), то в нижних горизонтах, с уменьшением пористости, воды начинают стекать вдоль трещин и направляются в сборные трещины, а оттуда в зону истечения. По мере заполнения трещин минеральными осадками воды вынуждены искать себе другие трещины и скопляться в водоносный горизонт. Неодинаковая степень разложения пород по отдельным участкам и глубинам создает крайне прихотливый уровень грунтовых вод; в некоторых случаях возникают несколько временных горизонтов, в других случаях, при обилии трещин, воды спускаются глубоко и „водоносного горизонта“ вовсе не образуется. Отсюда понятна крайняя изменчивость и в вещественном составе разложенных серпентинитов, чрезвычайная неправильность в распределении отдельных горизонтов, их мощности и площадного распространения. Одновременно следует отметить и роль водяных паров в грунте, их конденсацию в отдельных зонах и трещинах и, обратно, значение испарения воды из капиллярной зоны в сухое время года.

Опускание водоносного горизонта влечет за собой перемещение вниз отдельных горизонтов коры выветривания. Выщелоченная зона будет опускаться все ниже, будет увеличиваться мощность нонтронитизированного горизонта, а опускание последнего вызовет усиление процессов обохривания верхних горизонтов нонтронита и увеличение мощности горизонта охр. Нонтронитовый горизонт, опускаясь все ниже, будет перерабатывать выщелоченные серпентиниты вместе с их опализованными частями. Выщелоченный горизонт, углубляясь, захватит горизонт магнетита. Последний может очутиться в горизонте более высоком, чем ему полагается быть в нормальном профиле, а арагонитовый горизонт может опуститься к магнетитовому и т. д., что приведет к развитию процессов кальцитизации магнетита. Даже опализованный горизонт может перейти в арагонитовый и магнетитовый.

С другой стороны, подъем грунтовых вод вызовет уменьшение мощности нонтронитового горизонта и уменьшение зоны аэрации.

Все эти обстоятельства необходимо иметь в виду при подходе к геохимическому изучению продуктов выветривания.

Химическая характеристика процессов выветривания

Для изучения химических процессов выветривания остановимся на двух дудках Айдербакского месторождения: дудке № 2791 на южном участке и № 3834 на северо-западном участке. В обоих случаях были взяты пробы бороздой в 1936 г.

Профиль № 2791

Разрез дудки № 2791, согласно данным Ф. Я. Аносова, следующий (в метрах):

- | | |
|--|---------|
| 1. Почва | 0.5 |
| 2. Суглинок с небольшим количеством мучнистого кремнезема, примесью светлого бейделлита и выцветами гипса | 0.5—2.0 |
| 3. Обохренная нонтронитизированная масса, в ней немного бейделлита, натеки окислов марганца, зерна хромита и выцветы гипса | 2—3 |

4. Нонтронитизированная порода буроватого цвета, слегка обожрена, с довольно большой примесью зерен хромита 3—4
5. Нонтронитизированная порода темнокоричневого цвета, слегка обожренная; содержит зерна хромита 4—5
6. Светлый, выщелоченный, легкий, слегка нонтронитизированный серпентинит, местами опалезирован, корочки и прожилки опала, натеки окислов марганца, примесь темной восковидной нонтронитизированной породы 5—6
7. Зеленовато-серый плотный серпентинит; содержит внизу арагонит, местами нонтронитизирован и опалезирован; внизу более плотен 6—7.6
8. Арагонит 7.6—7.7

Для сравнительной характеристики современного почвенного процесса и древнего обратимся к анализам почвы нижележащего суглинка из дудки № 2791 (табл. 8, № 1 и 2).

Мы видим в почвенном горизонте резкое уменьшение Fe_2O_3 и увеличение FeO . Одновременно происходит накопление Al_2O_3 , CaO и MgO . Никель и кобальт полностью выщелочены из этих горизонтов, или их не было ни в почве, ни в подстилающих их суглинках (см. ниже). При почти одинаковой потере при прокаливании количество воды, выделяющееся при 100° , несколько уменьшается. Согласно прямому определению воды, в почвенном горизонте ее на 1.65% меньше, чем в суглинке. Характерны меньшие содержания SO_3 и Cl и небольшое увеличение CO_2 в почве.

Если мы примем содержание отдельных компонентов в суглинке за 100% , то для почвенного горизонта получим следующие количества их (в %):

SiO_2	Fe_2O_3	FeO	Al_2O_3	CaO	MgO	H_2O^{100}	H_2O^{200}
131	23	174	118	120	286	91	141

Совершенно иное представление мы получаем при изучении профиля, лежащего ниже суглинка, где мы в ближайшем горизонте находим еще следы современных почвенных процессов. Анализы нонтронитизированного горизонта от 2.0 до 5.0 м (слои 3, 4, 5) указывают при их сравнении с анализами нижележащих пород на повышенное содержание окислов железа, в результате позднейшего разложения водных силикатов железа и выноса кремнезема. Здесь происходит накопление не только окиси, но даже и закиси железа (на глубине 2.0—4.0 м). Весьма характерно, что одновременно кверху уменьшается содержание окиси никеля.

Приняв содержание важнейших компонентов на глубине 4.0—5.0 м за 100, имеем для вышележащих двух слоев (в %):

	SiO_2	Fe_2O_3	FeO	NiO	Cr_2O_3	H_2O^{100}	H_2O^{200}	Потери при прокаливании
2.0—3.0 м	74	154	430	410	90	69	80	155
3.0—4.0 м	84	125	460	68	96	92	85	130

При уменьшении содержания SiO_2 на 26% имеем увеличение содержания окислов железа на 54% . Нонтронитизированная порода более гигроскопична, чем образующаяся при разложении ее охра. Поэтому гигроскопической влаги в обожренной породе меньше, чем в более свежей нонтронитизированной (на 31%). Постепенное увеличение потери при прокаливании (на 55%) связано с увеличением конституционной воды в минералах окиси железа. Характерно и уменьшение количества воды, выделяющейся при температуре от 100° до 200° . Так как мы эту воду связываем с присутствием водных феррисиликатов или алюмоферри-силикатов, то уменьшение ее на 20% указывает, что количество водных

Феррисиликатов уменьшилось, что они разложились при обожривании. Заслуживает внимания хотя и небольшое, но систематическое уменьшение содержания Cr_2O_3 по мере приближения к верхним горизонтам.

Окислы марганца продолжают фиксироваться в верхних горизонтах и ниже 4 м здесь не мигрируют. Для Cl и SO_3 характерно, что в верхней, охристой зоне их меньше, чем в нонтронитизированной, а для CO_2 характерно обратное отношение.

Между современным и древним выветриванием мы можем, следовательно, отметить ряд различий. При современном выветривании происходит обеднение окислами железа кверху, при древнем — обогащение ими (на 54%). Здесь имеют место противоположные процессы: в почве — восстановление железа, в коре — окисление его. С другой стороны, на процесс обожривания, наложенный на процесс нонтронитизации, влияние оказывает современный почвенный процесс: оно сказывается в увеличении количества закиси железа в обожренной нонтронитизированной зоне, так же как и в ниже лежащей (3—4 м). Постепенное снижение закиси железа с 1.66% в почвенном горизонте до 0.05% в разрушенном серпентините естественно поставить в связь с влиянием процессов восстановления при современном почвообразовании. Современное карбонатное

Изменение состава пород в дудке
(аналитик)

Компоненты	1. Растительный слой 0,0—0,6			2. Суглинок 0,6—2,0			3. Обожренный нонтронитизированный серпентинит 2—3 м			4. Нонтронитизированный серпентинит бурый, слабо обожренный 3—4 м		
	%	Пересчет ¹	Молекулярные количества	%	Пересчет ²	Молекулярные количества	%	Пересчет ¹	Молекулярные количества	%	Пересчет ¹	Молекулярные количества
SiO_2	49.08	57.50	0.95	37.41	43.4	0.715	30.59	34.80	0.574	35.26	42.40	0.699
Fe_2O_3	5.25	6.15	0.041 ¹	22.46	26.0	0.163	39.34	45.10	0.283	31.73	37.80	0.237
FeO	1.66	1.95	0.027	0.95	1.1	0.015	0.43	0.52	0.007	0.46	0.55	0.007
Al_2O_3	17.30	20.30	0.201	14.67	17.0	0.168	5.44	6.20	0.061	3.52	4.20	0.041
TiO_2	Не определ.			—	—	—	0.22	0.25	—	0.09	0.11	—
Cr_2O_3	—			—	—	—	1.26	1.14	0.009	1.33	1.59	0.010
CaO	6.57	1.32	0.023	5.52	0.80	0.014	2.14	1.35	0.024	1.68	0.85	0.015
MgO	1.72	2.02	0.05	0.50	0.69	0.017	2.93	3.34	0.083	3.56	4.24	0.105
MnO	0.07	—	—	0.08	0.08	—	0.06	0.07	—	0.09	0.11	—
CoO	0.00	—	—	0.00	—	—	0.02	0.02	—	0.03	0.045	—
H_2O^{100}	5.68	—	—	6.16	—	—	10.62	—	—	14.27	—	—
$\text{H}_2\text{O}^{100-200}$	1.83	2.14	0.12	1.30	1.50	0.084	1.34	1.53	0.085	1.43	1.70	0.010
Потеря при прокаливании ²	8.98	10.50	0.591	8.40	9.71	0.540	6.37	7.40	0.411	5.37	6.40	0.356
H_2O^+	11.70	—	—	13.35	—	—	17.94	—	—	20.00	—	—
Пр. опр.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SO_3	0.19	—	—	0.47	—	—	0.16	—	—	0.44	—	—
Cl	0.11	0.13	—	0.29	0.34	—	0.30	—	—	0.50	—	—
CO_2	3.93	—	—	3.24	—	—	0.37	—	—	0.08	—	—

¹ Пересчитано на 100% без CO_2 , SO_4 , Cl и H_2O до 100° и CaO , связанного в карбонат, сульфат и хлорид.

² Включая CO_2 и Cl .

выветривание (чернозем) сказывается еще в обохренном нонтроните (на глубине 2—3 м), ниже оно прекращается.

Характерно, что хлор вымывается из верхних горизонтов в нижние и максимальное его количество находится в нонтронитизированных горизонтах (3—5 м), где он, несомненно, адсорбирован водными ферри- и алюмосиликатами, так как из всех горизонтов коры выветривания эти горизонты (глубина 3—5 м) содержат максимальное количество диспергированных частей. Ниже 5 м содержание хлора снова начинает понижаться в связи с тем, что породы становятся более плотными и менее поглощают Cl. То же относится и к SO₂.

Анализ химического состава 5 проб позволяет, таким образом, констатировать: 1) древнее выветривание, 2) влияние современных почвообразующих процессов. Верхние 2—4 м являются в некоторой степени „преобразованными“ современными процессами. При этом миграция элементов совершалась не только из покрывающих кору выветривания пород, но и в самой коре выветривания, что видно по никелю, содержание которого книзу постепенно возрастает и на глубине 5—6 м в 2.5 раза больше, чем на глубине 2—3 м.

Таблица 8

№ 2791 Айдербакского месторождения

Т. В. Переверьева)

5. Нонтронитизированный серпентинит темно-коричневый 4—5 м			6. Вышеложенный серпентинит опализованный 5—6 м.			7. Плотный серпентинит, опализованный, книзу с арагонитом 6—7.6 м			8. Плотный серпентинит с арагонитом 7.6—7.7 м			9. Свежий серпентинит, скв. 20, гл. 66.01—68.66		
%	Пересчет 1	Молекулярные количества	%	Пересчет 1	Молекулярные количества	%	Пересчет 1	Молекулярные количества	%	Пересчет 1	Молекулярные количества	%	Пересчет 1	Молекулярные количества
41.66	49.00	0.806	43.76	52.80	0.865	51.26	58.40	0.964	40.99	49.00	0.816	35.86	0.598	—
25.41	29.80	0.187	21.15	25.80	0.162	18.16	20.70	0.170	15.68	18.88	0.118	3.02	0.019	—
0.10	0.47	0.006	0.05	0.06	0.008	0.13	0.152	0.002	0.05	0.06	0.008	2.69	0.037	—
5.82	6.84	0.067	4.55	5.47	0.053	3.52	4.000	0.039	3.63	4.35	0.043	1.76	0.017	—
0.12	0.14	—	0.13	0.161	—	0.06	0.070	—	0.07	0.08	—	Нет	—	—
1.39	1.63	0.010	1.36	1.640	0.010	0.96	1.090	0.007	0.63	0.08	0.005	0.30	—	—
1.90	1.15	0.020	2.76	1.000	0.018	1.57	0.987	0.017	2.66	0.08	0.001	0.59	0.350	0.006
2.26	2.64	0.066	4.27	5.130	0.127	6.07	6.900	0.171	15.23	18.20	0.452	38.95	0.973	—
0.01	—	—	0.00	—	—	0.00	—	—	0.00	—	—	0.10	—	—
0.03	0.04	—	0.06	0.072	—	0.03	0.030	—	0.02	0.02	—	—	—	—
15.46	—	—	14.47	—	—	12.32	—	—	14.26	—	—	1.11	—	—
1.68	1.97	0.0109	1.36	1.640	0.091	1.15	1.31	0.072	1.03	1.23	0.068	—	0.840	—
4.11	4.82	0.263	4.60	5.530	0.303	4.25	4.840	0.269	8.22	9.85	0.547	15.13	—	—
21.58	—	—	20.32	—	—	18.05	—	—	19.55	—	—	—	—	—
0.38	—	—	0.27	—	—	0.26	—	—	0.19	—	—	0.21	—	—
0.46	—	—	0.34	—	—	0.32	—	—	0.40	—	—	0.22	—	—
0.09	—	—	1.00	—	—	0.12	—	—	1.65	—	—	—	—	—

В более глубоких горизонтах, лежащих ниже нонтронитизированных пород, процесс осложняется, так как увеличивается количество минеральных индивидов, слагающих эти горизонты. Если в нонтронитизированных серпентинитах в основном преобладает нонтронит и подчиненное значение имеют окислы железа и еще меньшее небольшие количества кремнезема и минералы водных магниевых силикатов, то в более глубоких горизонтах к увеличивающимся количествам последних минералов присоединяются карбонаты кальция и остатки неразложенного серпентинита, причем роль нонтронита и окислов железа постепенно уменьшается и возрастает значение серпентинита. Валовые анализы дают здесь более ступенчатую картину в силу обилия минеральных индивидов, но все же явления образования водных ферросиликатов и водных алюмосиликатов продолжают сказываться еще очень глубоко. Об этом можно судить не только по повышенному содержанию железа на глубине 6—7.7 м, но и по количеству выделяющейся при температуре от 100° до 200° воды, характерной для водных алюмо- и ферросиликатов. Содержание воды лишь постепенно убывает, составляя в процентах от воды, выделяющейся в виде потери при прокаливании (за вычетом CO_2 , Cl и H_2O^{100}), на глубине:

4—5 м	5—6 м	6—7.6 м	7.6—7.7 м
41 ⁰ / ₀	30 ⁰ / ₀	27 ⁰ / ₀	13 ⁰ / ₀

Характерно количество воды, которое выделяется при температуре выше 200° в виде „потери при прокаливании“. Если вычесть из этой величины Cl и CO_2 , улетучивающиеся при прокаливании, получаем на глубине:

2—3 м	3—4 м	4—5 м	5—6 м	6—7.6 м	7.6—7.7 м
5.70 ⁰ / ₀	4.79 ⁰ / ₀	3.56 ⁰ / ₀	3.26 ⁰ / ₀	3.81 ⁰ / ₀	6.17 ⁰ / ₀

На глубине 2—3 м значительная часть потери воды при прокаливании связана с образованием охры; в дальнейшем процесс обохривания нонтронитизированных пород ослабевает, и вместе с этим падает количество воды, выделяющейся при прокаливании; наименьшее ее количество достигается в горизонте наименее обохренной нонтронитизированной породы на глубине 4—5 и 5—6 м. Глубже количество воды снова начинает увеличиваться в силу того, что мы переходим к породам, содержащим уже части свежего неразложенного серпентинита, который теоретически содержит около 14.04⁰/₀ воды.

Поведение отдельных окислов

SiO_2 . Обогащение SiO_2 с глубиной до 7.0 м связано с накоплением опала и халцедона. Оно сопровождается усилением MgO , как следствие увеличения количества неразложенного серпентинита (7—8 м), и уменьшением Fe_2O_3 в связи с меньшей степенью развития процессов нонтронитизации. Рост SiO_2 в так называемом „опализованном“ горизонте в анализах пометровых борзодовых проб не сказывается столь интенсивно, как по отдельным участкам и штучным пробам, ввиду того, что скопления опалов имеют неравномерный и гнездовый характер. Если глубина 5—6 м может считаться в этой дудке переходной от нонтронитизированных пород (4—5 м) к выщелоченным, то глубина 6—7 м является переходной к более плотным серпентинитам (7—8 м).

MgO . На глубине 7—7.7 м процесс опализации постепенно падает и на первое место выдвигается процесс разложения серпентинита, сказывающегося в выносе MgO и небольшом относительно накоплении Fe_2O_3 ; от первоначального содержания MgO остается всего около 40⁰/₀. Немного увеличивается количество SiO_2 . Уменьшение MgO идет не

столько за счет увеличения SiO_2 , сколько вследствие накопления Fe_2O_3 . Можно составить целую гамму переходов от свежих серпентинитов к таким, где MgO вынесена на 50 и 75%.

Для процессов выветривания серпентинита характерно, что MgO в нонтронитизированной зоне никогда полностью не вымывается, что его всегда немного остается. Отчасти это связано с тем, что образующиеся нонтрониты, как мы увидим дальше, содержат в своей молекуле некоторое количество MgO , а отчасти и с тем (и это особенно заметно на выщелоченных серпентинитах), что не вся MgO минерала одинаково прочно удерживается. Количество MgO , которое не поддается вымыванию, составляет примерно $\frac{1}{3}$ всего содержания MgO в серпентините; единственное объяснение — это более прочная связь этой части магния в решетке минерала.

СаО. В процентном отношении СаО слабее выносятся, чем MgO : в то время как содержание MgO в наших анализах уменьшается почти в 18 раз, количество СаО убывает весьма слабо, максимально в 1.5—2 раза. Вычитывая ту часть, которая связана с CO_2 и SO_4 , мы всегда получаем остаток СаО, находящейся в какой-то иной связи. Это видно из следующих цифр (в мол. %):

№ образца	3	4	5	6	7	8
Всего СаО	0.038	0.030	0.034	0.050	0.030	0.048
СаО связан. в СаСО ₃ и СаSO ₄	0.010	0.008	0.007	0.026	0.006	0.040
Остаток СаО	0.028	0.022	0.027	0.024	0.024	0.008

Даже если и хлор связать с СаО, все же остается часть ее, не связанная с анионами, а находящаяся, повидимому, в виде поглощенного комплекса или, что также возможно (принимая во внимание близость оставшихся молекулярных процентов от № 3 до № 7) в решетке реликтовых зерен пироксеновой части первичной породы.

О. Гассель (1936) указывает, что в пироксенах часть ионов Са расположена между двумя цепочками, обращенными друг к другу основаниями своих тетраэдров. Они имеют восьмерную координацию и являются более прочно связанными. Возможно поэтому, что часть кальция моноклинных пироксенов в апоперидотитовых разностях остается в продуктах выветривания этих пород; известно, что образующиеся из пироксенов баститы при выветривании сохраняются дольше и дают более сложные продукты.

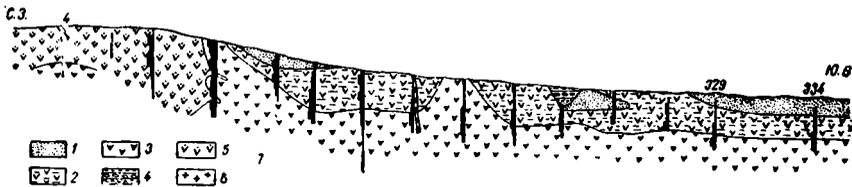
Показательно отделение Са от Mg в арагонитовом горизонте и образование арагонита. Арагонитовый горизонт мы связываем с зоной капиллярных вод над зоной насыщения; мощность этого горизонта колеблется в обычных пределах колебаний поднятия капиллярных вод. Арагонитовая форма карбоната объясняется насыщенностью и щелочностью раствора капиллярных вод.

Доломит не является частым минералом в зоне выветривания. Более обычно раздельное присутствие карбонатов кальция и магния, чаще всего в виде арагонита и магнезита. Наблюдающееся обыкновенно вклинивание наиболее трудно растворимого карбоната доломита между арагонитом и магнезитом представляет странность и может быть объяснено только последующим внесением СаО.

Fe_2O_3 . Железо в оливине и в серпентините изоморфно замещает MgO . Элементарный подсчет показывает, что Fe_2O_3 в нонтронитизированных породах находится в большем количестве, чем ему полагалось бы быть, если бы из молекулы серпентинита исчезла одна MgO ; в лучшем случае его количество могло бы только удвоиться против содержания в свежем серпентините. Остается предположить или привнос, или накопление

окислов железа в результате разложения большого количества вещества, чем то, которое находится в одной молекуле (см. также нонтрониты). Иначе говоря, при образовании водных феррисиликатов из серпентинитов для получения одной части нонтронитизированного серпентинита надо разложить не одну, а несколько молекул серпентинита. Повидимому, в природе на разных горизонтах имеют место оба явления, как привнос или перенос Fe_2O_3 , так и концентрация его в молекуле. Поэтому надо полагать, что наряду с нацело разрушенной решеткой серпентинита, от которой остается только Fe_2O_3 , с выносом не только MgO , но и SiO_2 , часть серпентинита разрушается в меньшей степени, оставляя Fe_2O_3 и SiO_2 на месте первичного минерала.

NiO . Как показывает расчет, содержание никеля в нонтронитизированных породах, подобно окислам железа, при полном удалении MgO в наиболее благоприятном случае могло удвоиться, а никак не составить то количество, которое дают анализы, если не допускать привноса никеля извне или же разрушения большего количества молекул серпентинита, с выносом соответствующих окислов. Можно подсчитать, что кондиционное для заводов содержание NiO в руде всегда вызывает необходимость в дополнительном привносе никеля, т. е. в его миграции.



Фиг. 11. Кемпирсайское месторождение. Разрез по А—В
(по И. И. Савельеву и И. З. Корину)

Условные обозначения:

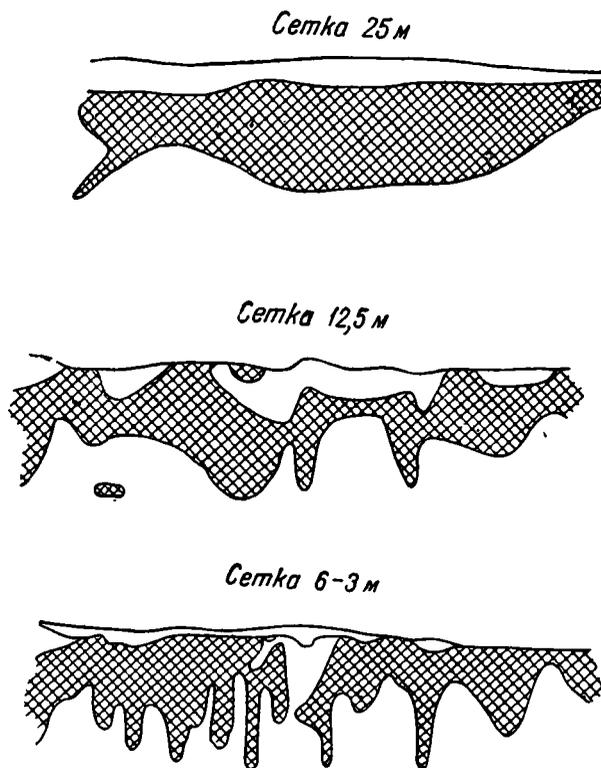
- 1 — охры, 2 — нонтронит-серпентинит, 3 — выщелоченный серпентинит, 4 — пестроцветные глинны, 5 — силицифицированный серпентинит, 6 — габбро-диабазы, 7 — относительное содержание никеля

Нонтронитизированные и выщелоченные серпентиниты составляют главную массу руд южноуральских никелевых месторождений. Для характеристики никеленосности отдельных горизонтов приводим величины отношений молекулярных количеств окиси никеля к сумме молекулярных количеств остальных (главнейших) окислов для пород каждой зоны:

Зона мумий и охр	0.001
„ нонтронитизированного серпентинита	0.024
„ выщелоченного серпентинита	0.0080
„ малоизмененного „	0.0019

Содержание никеля постепенно возрастает от малоизмененного серпентинита к нонтронитизированному, достигая максимума в нижней части зоны нонтронитизированного серпентинита и в переходной части к выщелоченному, т. е. в выщелоченном затронутым нонтронитизацией (сокращенно ВЗН) серпентините. Здесь иногда встречаются по трещинам примазки и землястые скопления гарниерита, чем обуславливается высокое содержание никеля в отдельных пробах с разных участков породы. В верхней части зоны нонтронитизированных серпентинитов содержание никеля постепенно падает и в охрах бывает только не намного большим, чем в малоизмененном серпентините (фиг. 11). Уточнение контуров рудных тел хорошо показывает трещинный характер рудного тела кнizu (фиг. 12).

Al_2O_3 .¹ Окись алюминия ведет себя несколько иначе, чем окислы железа и никеля. В то время как в свежих серпентинитах (см. табл. 7, анализ № 9) молекулярное количество глинозема в 2, максимум в 4 раза меньше, чем окислов железа ($Fe_2O_3 + FeO$), в нонтронитизированных серпентинитах и в особенности в обожженных молекулярные отношения $Fe_2O_3:Al_2O_3$ держатся в пределах от 3 до 6 (табл. 8, анализы 3—7). Чем серпентин менее выветрелый, тем отношение $Fe_2O_3:SiO_2$ ближе к отношению в свежих породах.



Фиг. 12. Контуры рудных тел с кондиционным содержанием металла в зависимости от частоты разведочной сети на одном из площадных месторождений никеля

Иное поведение Al_2O_3 объясняется, с одной стороны, тем, что глинозем, связанный в моноклинный пироксен или хлорит, труднее разрушается, чем окись железа в серпентинитах, и концентрируется поэтому слабее и позднее; с другой стороны, и новообразовавшиеся продукты, а именно водные алюмосиликаты, слабее разлагаются, чем водные силикаты железа, менее стойкие в поверхностной зоне. Таким образом, и в том и в другом случае Al_2O_3 мигрирует в меньшей степени, чем обладающая более высокой миграционной способностью окись железа.

Cr_2O_3 . Чрезвычайно интересна судьба хрома. С первого взгляда казалось бы, что весь хром в серпентинитах должен находиться в виде хромшпинелидов т. е. в нерастворимой в кислотах форме. Однако ближайшие исследования вскрывают иную картину. Нами произведены были 10%-ные солянокислые вытяжки (аналитик Т. В. Переверзева) из разных нонтронитов. Получены следующие результаты (в %):

№ образца	Содержание Cr_2O_3 в валовом анализе	Растворилось Cr_2O_3	% растворения
3	1.26	0.8	64.5
4	1.33	1.11	83.5
7	0.96	Не обн.	0.0
8	0.68	0.11	16.0
Свежий серпентинит	0.30	0.10	33.0

Этими данными доказывается растворимость в HCl части Cr_2O_3 из нонтронитизированных пород, причем, чем порода более нонтронитизирована, тем процент растворимого хрома выше. Выделенный чистый нонтронит содержал 0.45% Cr_2O_3 ; в 10%-ной соляной кислоте растворилось 0.40%, т. е. 90%. Таким образом, установлено, что процессы выветривания сопровождаются также разложением хромшпинелидов, что Cr_2O_3 переходит в растворимую форму. Нонтронитизированные породы содержат хром, если не считать реликтов хромшпинелидов, в растворимой форме. Хром может находиться в нонтроните в форме силиката, а часть его может быть в форме $\text{Cr}(\text{OH})_3$.

Окислы хрома способны к миграции. По мере усиления степени обохривания нонтронитов растворенный хром выносится, например, из зоны охр. По мере усиления степени нонтронитизации растворимый Cr_2O_3 концентрируется в зоне нонтронитов вместе с окислами железа.

Выщелоченные и свежие породы содержат меньше хрома, чем нонтронитизированные (ферримонтмориллонитизированные). Разложение хромшпинелидов связано с щелочной средой и начинается уже в зоне магнетитов; FeO хромшпинелида окисляется в Fe_2O_3 , что приводит к распаду этого минерала и освобождению Cr_2O_3 .

TiO_2 . В связи с вопросом миграции минералов, обыкновенно считающихся не поддающимися выветриванию, интересны данные по распределению TiO_2 . Анализ свежих серпентинитов обыкновенно не обнаруживает TiO_2 , но как только мы переходим к выветрелым серпентинитам или к продуктам их выветривания, отмечается накопление TiO_2 . В нонтронитизированной породе № 3 (табл. 8) TiO_2 больше, чем в плотном серпентините или в серпентините № 8 (0.22% против 0.07%), т. е. в нонтронитизированном серпентините концентрация TiO_2 увеличивается в 3 раза. Солянокислые вытяжки дают содержание растворимой TiO_2 около 0.02%, т. е. около 10% (анализы Т. В. Виноградовой). В свежем серпентините Айдербака с глубины 66.01—68.66 м (№ 9, табл. 8) или с крутого оврага TiO_2 вовсе не обнаружена, так же как и в анализе М. М. Стукаловой дунитовых змеевиков Кемпирсая. Выветрелые же серпентиниты и нонтронитизированные породы из того же месторождения дают 0.27—0.38% TiO_2 (анализы Поленовой и Стукаловой).

Профиль № 3834

Не везде профиль так хорошо выражен, как в дудке № 2791. Имеются более сложные случаи. В качестве такового рассмотрим результаты анализов пометровых проб из дудки № 3834 северо-западного участка Айдербакского месторождения. Эта дудка тем интересна, что нонтронитизированная порода покрыта здесь толщей четвертичных и мезо-кайнозойских отложений мощностью в 8 м (табл. 9). Разрез дудки № 3834, согласно описанию Ф. Я. Аносова, следующий (в м):

- | | |
|---|---------|
| 1. Почва | 0.8 |
| 2. Суглинок, сверху красновато-желтый, со включением гальки, ниже с отдельными кусочками бейделлита | 0.8—3.5 |

- | | |
|---|-----------|
| 3. Пестроцветная толща, несколько обохрена, с менее окатанной галькой; попадаются включения бейделлита; ниже содержится бейделлит без гальки, натеки окислов марганца | 3.5—7.0 |
| 4. Песок светлоселый, включения нонтронитизированной породы, пятна окислов железа, натеки окислов марганца, мушкетистый кремнезем, включения бейделлита | 7.0—8.10 |
| 5. Нонтронитизированная порода ядовитого цвета, натеки окислов марганца, зерна хромита, мушкетистый кремнезем, куски выщелоченного серпентинита с прожилками карбоната | 8.10—9.0 |
| 6. Нонтронитизированная порода темнозеленая, восковидная; натеки марганца, зерна хромита, куски выщелоченного нонтронитизированного серпентинита, куски кремнеземного и опалитизированного серпентинита | 9.0—11.0 |
| 7. Выщелоченный серпентинит; сверху слегка осветлен, местами нонтронитизирован, прослойки опала, натеки окислов марганца, зерна хромита, частично в нижней части нонтронитизирован; на глубине 12.6—13.6 м серпентинит более плотен, частично опалитизирован, нонтронитизирован, внизу арагонит | 11.0—13.6 |

Разрез показывает, что часть нонтронитизированной породы здесь размывта, так как включения нонтронитизированных пород встречаются уже в песке. Понятно, размывты и охры, покрывшие нонтронитизированные породы, и мы имеем здесь относительно более глубокие горизонты нонтронитизированных пород, т. е. переходные к выщелоченным и менее обохренным.

Меньшей обохренностью пород в дудке № 3834 объясняется, почему в ней, по сравнению с дудкой № 2791, содержание CO_2 в нонтронитизированных породах на глубине от 8 до 10 м значительно повышено, равно как и SiO_2 (присутствие опалов), в то время как содержание Fe_2O_3 значительно ниже, что отвечает содержанию полуторных окислов на глубине 7,6—7,8 м табл. 8 того же горизонта в дудке № 2791.

Повышенное же содержание кремнезема в дудке № 3834 до глубины 10—12 м и даже до 12.3 м обусловлено постоянным присутствием макроскопически хорошо заметных опалов, в значительной степени выщелоченных в верхних горизонтах дудки № 2791. Здесь нонтронитизирована опалитизованная подзона выщелоченных серпентинитов.

Что касается MgO , то этот окисел выщелочен здесь почти в том же количестве, что и в породе дудки № 2721, или чуть меньше. Если же вычесть присутствующий опал, сделав перерасчет на вещество, содержащее столько же опала, сколько его в дудке № 2791, то содержание MgO окажется повышенным.

Никеля в дудке № 3834 содержится значительно меньше, чем в дудке № 2791, концентрация же его слабая во всех горизонтах. Повидимому, мы имеем здесь или довольно интенсивно размывтый горизонт, в котором сохранились только остатки подвергшихся частичной нонтронитизации опалитизованных выщелоченных пород (хотя и имеющих 3 м мощности), или, что нам кажется более вероятным, здесь не происходил процесс вторичной концентрации окислов никеля, связанный с выносом их из охристого горизонта в нижележащий. Возможно также, что здесь охристый горизонт был слабо развит или отсутствовали вторичные процессы обохривания, что подтверждало бы наше предположение о вторичной концентрации NiO , вымываемого из верхних горизонтов. Наложение почвенного процесса здесь также не имело места. Благодаря всем этим особенностям дудка № 3834 вообще не дает того характерного и очень типичного разреза, который наблюдается у дудки № 2791.

Коэффициенты выветривания. Отдельные элементы процесса выветривания, как мы видели выше, сводятся к процессам 1) окисления, 2) гидролиза силикатов и 3) к процессам образования из них

Состав пород дудки № 3834 северо-западного участка нагорья Айдербак

(аналитик Т. Переверзева)

Породы	Глубина в м	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Ni	Co	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	SO ₃	Cl	CO ₂	H ₂ O ¹⁰⁰	H ₂ O ²⁰⁰	Потеря при про- каливании ¹	Прямое определе- ние H ₂ O	Сумма
Нонtronитизированный серпентинит с кусками выщелоченного	8.1—9.0	48.32	0.09	4.29	19.79	1.49	0.46	0.00	1.20	2.65	1.07	0.24	0.23	0.29	15.07	1.45	4.02	20.37	100.14
Восковидные нонtronи- тизированные породы зеленоватого цвета с кусками выщелочен- ных	9.0—10.0	46.99	0.08	3.45	20.61	1.62	0.62	0.016	1.17	4.20	1.56	0.27	0.23	0.42	14.29	0.71	4.72	19.46	100.31
Восковидный нонtronит с кусками опализован- ного серпентинита . . .	10.0—11.0	54.47	0.07	3.81	18.47	0.14	0.55	0.008	0.94	3.06	0.85	0.21	0.25	0.09	12.70	1.27	3.66	17.70	100.21
Выветрелый нонtronи- тизированный серпен- тинит с прослойками опала	11.0—12.0	54.08	0.15	7.43	16.71	0.14	0.57	0.013	0.94	2.70	0.65	0.20	0.23	0.06	11.54	1.32	3.68	16.33	100.12
Сильно выщелоченный серпентинит	12.0—12.6	54.51	0.05	2.73	15.22	0.33	0.57	0.02	0.92	7.80	0.84	0.21	0.27	0.09	10.99	1.09	4.37	16.69	99.70
Более плотный серпен- тинит, переходящий в карбонатизированный .	12.6—13.3	46.05	0.06	5.41	15.01	0.19	0.62	0.014	1.84	11.48	0.73	0.19	0.25	1.20	11.48	1.10	6.53	18.75	100.70

¹ Без вычета CO₂ и Cl.

новых, более стойких в условиях гипергенеза минералов. Первые процессы состоят в основном в окислении двухвалентных железа, марганца и кобальта, вторые в выщелачивании щелочных и щелочно-земельных металлов, третьи — в образовании 1) новых, уже гидратированных силикатов железа, глинозема и магнезия, 2) свободных гидроокислов и окислов железа, марганца, никеля, кобальта, хрома, титана, кремния и магнезия (?), 3) карбонатов щелочных земель и никеля (редко) и 4) реже сульфатов кальция и никеля.

Исходя из вышеуказанного, мы выражаем степень развития отдельных элементов процесса выветривания силикатных пород следующими коэффициентами.

Коэффициент выщелачивания показывает степень выноса оснований (в молекулярных количествах) по сравнению с более устойчивым к выщелачиванию кремнеземом, $\text{SiO}_2 (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$.

Коэффициент гидратации показывает изменение количества воды, выделяющейся при температуре выше 100° , по отношению к оставшимся основаниям, так как в процессе выветривания силикатов гидратация сопровождается вытеснением оснований сольватизированным водородом, $\text{H}_2\text{O} : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$.

Коэффициент окисления обозначает степень окисления закисных соединений железа в окисные. Этот коэффициент особенно показателен для основных пород и менее для кислых ($\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{FeO}$).

Процессы новообразования минералов, связанные с наиболее частым случаем образования гидросиликатов, следует выразить коэффициентами с алитизации $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, соответствующей степени образования глиноземистых глин

сиферритизации $\text{SiO}_2 : \text{Fe}_2\text{O}_3$, соответствующей степени образования железистых глин.

В случае, если процесс идет преимущественно в одну сторону, можно вместо двух коэффициентов брать только один коэффициент глинизации: $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$.

Если процессы идут в направлении концентрации свободных полуторных окислов, их следует изобразить в виде коэффициентов

алитизации Al_2O_3 в продуктах выветривания к Al_2O_3 в исходной породе

ферритизации Fe_2O_3 в продуктах выветривания к Fe_2O_3 в исходной породе.

Последние коэффициенты не всегда играют самостоятельной роли, а обычно являются дополнительными к коэффициентами с алитизации и сиферритизации.

Из коэффициентов, имеющих частное значение для наших целей, представляет интерес коэффициент оруденения, показывающий отношение NiO в продуктах выветривания к NiO в исходной породе.

В отдельных случаях мы будем пользоваться коэффициентом карбонатизации: $\text{R}'\text{CO}_3$ — в продуктах выветривания и $\text{R}'\text{CO}_3$ — в исходных породах.

При изучении серпентинитовых пород, ввиду относительно меньшей сложности процессов, заключающихся в основном в выносе MgO и накоплении Fe_2O_3 (особенно характерных для Среднего Урала), очень удобным является отношение $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{MgO}$, показывающее степень развития всего процесса выветривания в серпентинитовых породах; мы называем его коэффициентом разложения. Для алюмосиликатных пород в этих целях может служить коэффициент „К“ Гаррасовича т. е. $\text{R}_2\text{O}_3 : \text{RO} + \text{R}_2\text{O}$.

Если разделить полученные коэффициенты на аналогичные коэффициенты в свежей породе, то мы можем получить абсолютные коэффициенты; но обычно одно сопоставление этих коэффициентов в таблице бывает достаточным, чтобы представить себе ясно ход отдельных элементов процесса выветривания в численном выражении.

Нанося на абсциссе глубины профиля выветривания, а на ординате наши коэффициенты, можно получить и наглядное зрительное впечатление о ходе отдельных процессов выветривания в этом профиле.

При всех коэффициентах предполагаем, что как кремнезем, так и остальные окислы не привнесены со стороны, а целиком взяты из породы, будучи только перегруппированы в другие минералы, причем возможна любая миграция отдельных элементов в пределах профиля выветривания.

Для характеристики отдельных процессов применим указанные коэффициенты выветривания (табл. 10) к нонтронитовому профилю (№ 1) на Айдерабаке, исходя из данных анализов табл. 8.

Выщелачивание достигает своего максимума в наиболее свежем и наименее обохренном темнокоричневом нонтронитизированном серпентините № 5 и в выщелоченном опализованном № 6. В горизонтах вышележащих (влево) этот коэффициент понижается в силу того, что часть нонтронита разложена и часть кремнезема вынесена. Ниже № 6 (вправо) коэффициент также понижается, но уже по другой причине — в связи с увеличением количества неразложенного серпентинита, вследствие чего содержание окиси магния возрастает.

Таблица 10

Коэффициенты выветривания пород нонтронитового профиля

Коэффициенты	№ проб						Свежий серпентинит
	3	4	5	6	7	8	
Выщелачивания SiO ₂ :MgO	6,80	6,66	12,20	6,80	5,60	1,77	0,613
Сиферритизации SiO ₂ :Fe ₂ O ₃	2,02	2,94	4,31	5,34	5,67	6,92	31,4
Разложения Fe ₂ O ₃ :MgO	3,41	2,26	3,00	1,27	1,00	0,26	0,02
Гидратации H ₂ O ⁺ :MgO	5,00	3,39	3,00	2,07	1,70	1,17	0,861
Ферритизации Fe ₂ O ₃ в руде: Fe ₂ O ₃ в породе	15,00	12,5	10,0	8,5	8,9	6,20	1
Оруденения NiO в руде: NiO в породе .	2,4	3,9	5,8	6,2	4,6	4,9	1

Коэффициент сиферритизации достигает своей наиболее характерной величины также в образце № 5. В более высоких горизонтах идет уже обохривание нонтронита, количество окислов железа увеличивается, количество кремнезема уменьшается. Так, в обохренном нонтроните № 3 коэффициент сиферритизации более чем в два раза меньше, чем в типичной нонтронитизированной породе № 5, а в промежуточном горизонте № 4 он составляет 75% от № 5. В более глубоких горизонтах коэффициент сиферритизации увеличивается потому, что понижается степень разложения породы. Коэффициент сиферритизации падает снизу вверх от свежей породы к окре.

Коэффициент разложения снизу вверх резко поднимается. В обохренном нонтроните (№ 3) этот коэффициент в 13 раз выше, чем в плотном серпентините в арагонитовой подзоле (№ 8); он сразу резко поднимается в выщелоченном серпентините (№ 7) и продолжает быстро расти; иначе говоря, концентрация окиси железа растет быстрее, чем выщелачивание окиси магния; накопление окисного железа опережает процесс выноса окиси магния; возможно, что это частично связано с привносом железа.

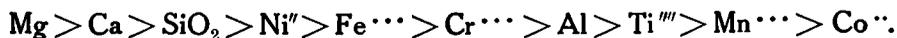
Коэффициент гидратации. В свежем серпентините (№ 9) потери при прокаливании или содержание воды за вычетом гигроскопической воды, Cl , CO_2 , SO_3 составляет 13.59%. При выносе окиси магния количество воды должно уменьшиться до нормального содержания его в нонтронитах (около 5%). Понятно, что коэффициент гидратации будет минимальным в свежем серпентините. Повышение этого коэффициента в пробах № 7, 6, 5 происходит уже за счет воды, связанной с нонтронитом, и по разнице в отдельных пробах можно составить себе представление о степени нонтронитизации породы (если игнорировать возможность небольшого параллельного обохривания). Дальнейшее возрастание этого коэффициента, выше № 5, показывает не степень нонтронитизации, а степень обохривания нонтронитизированных продуктов.

Коэффициент оруденения ясно показывает, в каком горизонте концентрируется больше никеля и в каком меньше. Выше всего содержание никеля в выщелоченном нонтронитизированном серпентините и в примыкающем к нему нонтронитизированном.

Коэффициенты выветривания позволяют оценить, во сколько раз отношения отдельных окислов в разложенных породах изменяются по сравнению с теми же отношениями в свежей породе; они дают представление о количественном развитии отдельных этапов процесса выветривания. Так, отношение $\text{SiO}_2:\text{MgO}$ (коэффициент выщелачивания) в зоне нонтронитов увеличивается в 20 раз, коэффициент сиферритизации ($\text{SiO}_2:\text{Fe}_2\text{O}_3$) уменьшается в 7 раз, коэффициент разложения ($\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{MgO}$) увеличивается в 1500 раз; содержание Fe_2O_3 по сравнению с Fe_2O_3 в породе, увеличивается в 10 раз, а содержание никеля — в 58 раз (фиг. 13).

Так как для нонтронитового профиля характерно отсутствие выноса Fe_2O_3 , то можно смело считать, что десятикратное увеличение содержания Fe в зоне нонтронитов связано с тем, что для образования железа в этой зоне потребовалось в 10 раз больше Fe_2O_3 , чем его было в породе, а если принять во внимание FeO , то в 3 раза больше. Отсюда, казалось бы, следует, что содержание NiO должно увеличиваться в 3 раза; на самом деле, его в 5,8 раз больше, чем в породе, и это естественно приводит к выводу, что избыточное количество NiO объясняется инфильтрацией никеля за счет выноса из выщележащих охр или из более возвышенных точек выветривающихся серпентинитов.

Резюмируя, мы можем составить следующий ряд миграционной способности основных элементов пород в профиле коры выветривания хадиловского типа:

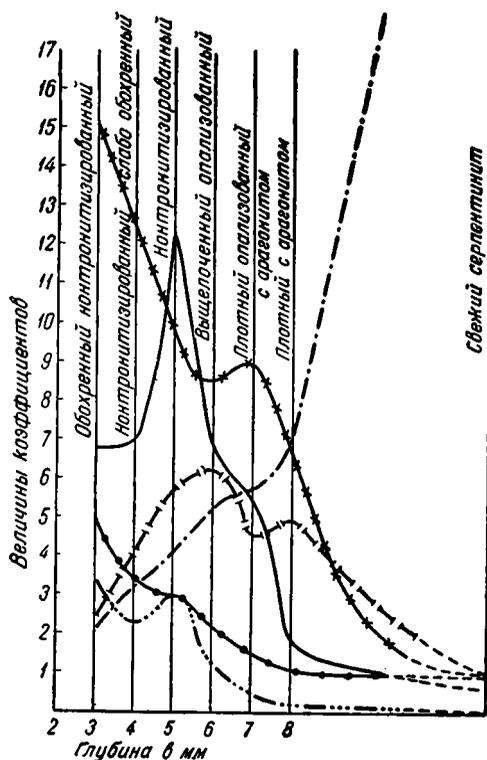


Наибольшую миграционную способность обнаруживает магний; он вымывается из всех зон выветривания в нормальном профиле. За ним после CaO следует SiO_2 , миграционная способность которой ограничена верхней и средней частью профиля. Никель, несмотря на свою легкую растворимость, мигрирует из верхней части профиля и задерживается в средней части. Что касается Al , Fe и Mn , то среди них Mn обладает

наименьшей миграционной способностью и концентрируется поэтому преимущественно в верхней части профиля, а с ним вместе задерживается Co^{++} ; глинозем отличается меньшей подвижностью, чем Fe_2O_3 , так как по сравнению с содержанием в свежей породе он в меньшей степени концентрируется в промежуточных и основных продуктах, чем окислы железа. TiO_2 накапливается вместе с Al_2O_3 . Cr_2O_3 по своей подвижности занимает среднее место между Al_2O_3 и Fe_2O_3 , образуя, вероятно, изоморфные с ними смеси. Для процесса в целом характерна окислительная атмосфера на протяжении всего профиля выветривания.

Б. Силицифицированная кора выветривания

На возвышенных частях древнего микрорельефа продукты выветривания серпентинита существенно отличаются от описанных выше про-



Кoeffициенты выветривания:

I — $SiO_2 : MgO$	IV — $H_2O : MgO$
II — $SiO_2 : Fe_2O_3$	V — $\frac{Fe_2O_3 \cdot Fe_2O_3}{P \cdot C}$
III — $Fe_2O_3 : MgO$	VI — $\frac{NiO : NiO}{P \cdot C}$

Фиг. 13. Коэффициенты выветривания в нонтронитовом профиле

дуктов выветривания, типичных для древних понижений микрорельефа.

Зона силицифицированных серпентинитов. Эти более или менее плотные кремненные породы можно по развитым в них макроструктурам разделить на четыре группы:

образованных в древних понижениях микрорельефа. Наиболее полные разрезы, достигающие мощности 12—18 м, а иногда и 25, наблюдаются на месторождениях Бурановском, Кемпирсайском (фиг. 14 и 15), Дюрт-кельтубе (Халиловский массив), Ак-Су (Мугоджары) и др. Схематически кора выветривания этого типа отчетливо подразделяется на следующие зоны (сверху вниз):

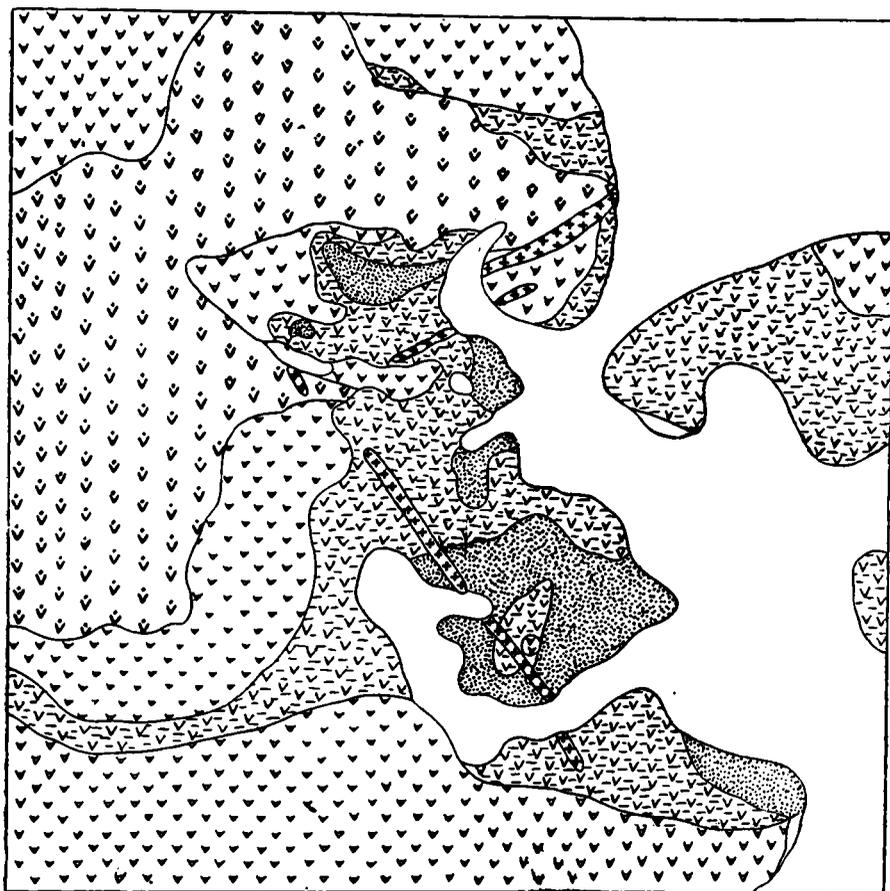
Зона силицифицированных серпентинитов.

Зона разложившихся (выщелоченных) серпентинитов, в верхней части часто обохренных и карбонатизированных.

Зона малоизмененных серпентинитов (материнская порода).

Древняя кора выветривания рассматриваемого типа отличается от нонтронитового наличием мощной зоны силицифицированных серпентинитов. Зона нонтронитизированных серпентинитов, характерная для предыдущего профиля выветривания, здесь большей частью отсутствует или обладает незначительной мощностью, встречаясь на склонах древних возвышенностей вблизи нонтронитовых продуктов выветривания.

I. Песчано-охристую, с небольшими изолированными включениями и глыбами плотных силицифицированных серпентинитов среди песчано-охристой массы, в которой, кроме того, местами встречаются участки с сохранившейся скелетной сеткой опала или халцедона (табл. III, фиг. 9).



Фиг. 14. Кемпирсайское месторождение никеля Бугор (по И. И. Савельеву и И. З. Корину)

Условные обозначения:

1 — пестроцветная глина, 2 — охры, 3 — нонtronитовый серпентинит, 4 — выщелоченный серпентинит, 5 — силицифицированный серпентинит, 6 — габбро-диабаз

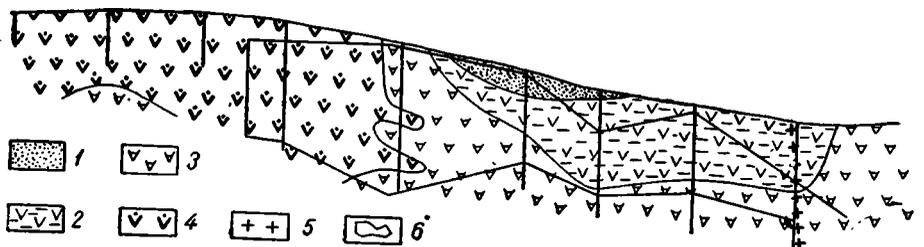
II. Сетчато-пористую, в которой по размерам ячеек можно различать разности мелко-средне-крупносетчатые (табл. III, фиг. 10). В ячейках обычно находятся землистые скопления гидроокислов железа. У стенок трещин и вблизи поверхности охра из ячеек вымывается и получают так называемые „сотовые сухари“.

III. Кавернозно-оспенную, представленную сливной или мелкопористой силицифицированной породой, пронизанной разобщенными, обычно равномерно распределенными пустотами, размером от 2 мм до

1,5 см. Местами пустоты сливаются и придают породе пещеристый облик. Как и в ячейках, в пустотах находится охра, к которой в некоторых случаях примешивается немного мелких сферолитов опала и халцедона.

IV. Плотные сплошные силицифицированные серпентиниты с мелкозернистой структурой. Тонкозернистые разности связаны обычно с темнубурой или коричневой окраской и отличаются глянцевитым изломом. По окраске гидроокислами железа и распределению в породе темной магнетитовой „пыли“ и зерен хромшпинелид можно различать „полосчатые“ и „пятнистые“ разности.

Из жильных мономинеральных выделений в силицифицированных серпентинитах встречаются опал-халцедоновые жилы, прожилки и натечные корки. В них отмечено сложное чередование слоев, окрашенных гидроокислами железа, с бесцветными или, наоборот, с чистолимонитовыми, а также и взаимопересекаемость отдельных прожилков. Все эти прожилки не имеют большой мощности и ярко выраженной индивидуальности.



Фиг. 15. Силицифицированный профиль, переходящий в пониженной части рельефа в нонтронитовый (по И. И. Савельеву и И. З. Корину)

Условные обозначения:

1 — охры, 2 — нонтронитизированные серпентиниты, 3 — выщелоченные серпентиниты, 4 — силицифицированные серпентиниты, 5 — габбро-диабазы, 6 — контур рудного тела

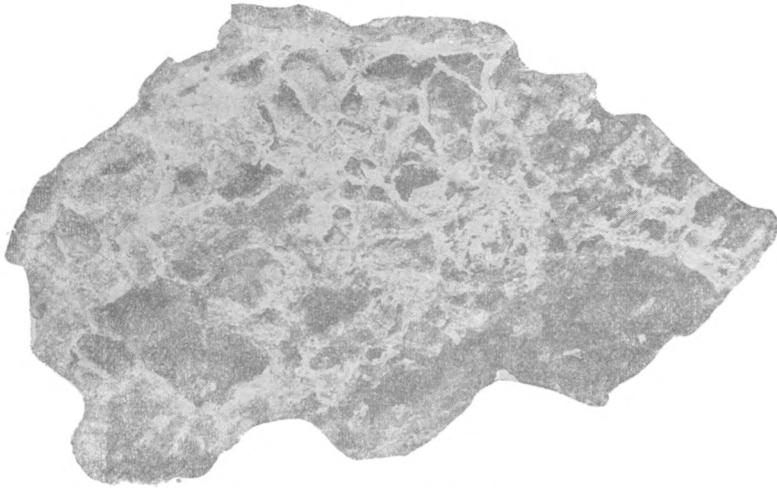
С точки зрения промышленной никеленосности представляют интерес отдельные участки сетчато-охристых серпентинитов, в ячейках которых иногда встречаются землистые скопления никелевых силикатов. Местами никелевые силикаты образуют корочки на стенках трещин. Их сопровождают натечные корочки темных кобальтсодержащих псиломеланов и розовато-синих халцедонов, также обладающих несколько повышенным содержанием кобальта.

В трещинах, идущих с поверхности, в силицифицированных серпентинитах встречаются иллювиальные натёки и скопления глинистых образований, яркокрасные выцветы гипса и отдельные его стяжения среди охристой массы. Местами наблюдаются натёки гидроокислов железа в виде „стеклянной“ головы, а также гороховидные агрегаты сферолитовых образований арагонита, реже кальцита.

В шлифах главными порообразующими минералами являются опал, халцедон и кварц.

1) Опал отличается изотропностью и низким показателем преломления, $N = 1.45$, несколько возрастающим в связи с частой окраской его гидроокислами железа. В слабо окрашенных и бесцветных разностях в параллельном свете опал всегда распознается отчетливо выраженным золотисто-оранжевым оттенком поверхности и отрицательным рельефом.

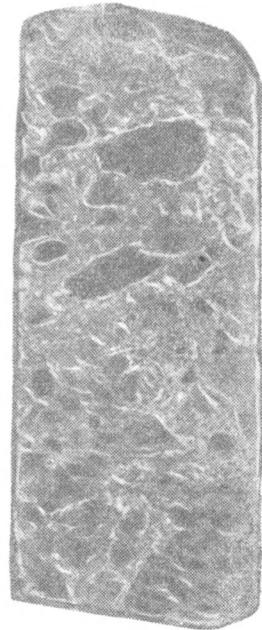
2) Халцедон отличается анизотропией, мозаично-зернистым, а иногда радиально-лучистым строением и более высоким показателем преломления, $N = 1.53$.



Фиг. 9. Плотный кварцитоподобный силифицированный серпентинит из песчано-охристой массы



Фиг. 10. Мелкоячеистый силифицированный выщелоченный серпентинит



Фиг. 11. Силифицированный серпентинит с новоринитом в ячейках

3) Кварц встречается реже; он представлен отдельными зернами и образует прожилки и небольшие участки, обладает хорошо выраженным кристаллическим зернистым строением, часто бесцветен.

Как правило, все шлифы окрашены гидроокислами железа, местами образующими самостоятельные прожилки и неправильные лапчатые скопления. В небольшом количестве присутствуют кальцит, доломит, магнезит и остаточные минералы: серпентин, хлорит, магнетит и хромшпиделиды.

Несмотря на несложный минералогический состав, отдельные участки и разновидности силифицированных серпентинитов отличаются пестротой своей структуры.

Среди опаловых разновидностей распространена коломорфная структура с реликтовой петельчатостью, передающейся окислами железа, и с участками типичной слоисто-крустификационной структуры. В халцедоновых разновидностях наблюдается зернистая структура, в которой реликтовое серпентинитовое строение передается различной величиной зерна, распределением гидроокислов железа и псевдоморфозами халцедона по хризотилу. В опал-халцедоновых разновидностях наблюдается петельчатая, сетчатая и кокардовая структура, при которых халцедон образует неправильные овальные формы поля мелкозернистой структуры и агрегативного угасания, расположенные в аморфной, окрашенной железом, массе опала.

В шлифах отчетливо видно, что сетчатый скелет силифицированных серпентинитов образован пересекающимися прожилками опала и халцедона, представляющими частью изоморфно-замещенные хризотиловые шнуры, частью выполнения секущих трещин. В ячейках-кавернах обычно присутствуют „сгустки“ гидроокислов железа, иногда совместно с микролитами опала.

В шлифах из всех месторождений устанавливается ритмичный характер образования кремнистых стяжений и выполнения пустот и отмечается до трех, иногда четырех разновозрастных генераций кремнезема в виде пересекающихся прожилков и налегающих друг на друга натечков.

К наиболее молодым образованиям, повидимому более молодым, чем последний цикл окремнения, относится радиально-лучистый и поперечно-столбчатый арагонит.

Зона разложенных (выщелоченных) серпентинитов. Переход силифицированных серпентинитов в разложенные (выщелоченные) совершается постепенно. Морфологически и в особенности по структуре различить их друг от друга часто не представляется возможным. Разложенным карбонатизированным разновидностям иногда бывает свойственна более светлая окраска, обусловленная равномерной вкрапленностью точечных белых включений карбоната, меньшая плотность, отсутствие никелевых силикатов, наличие прожилков кальцита и жил коломорфного магнезита. Увеличение карбонатов сверху вниз прослеживается макроскопически и подтверждается химическими анализами. Главными пороодообразующими минералами являются:

1) Кальцит мелко- и среднезернистый, иногда несколько окрашенный гидроокислами железа. В шлифах он выделяется псевдоабсорбцией, наличием ромбоэдрической спайности и двупреломлением. Светопреломление по $N_{\omega} = 1.65$.

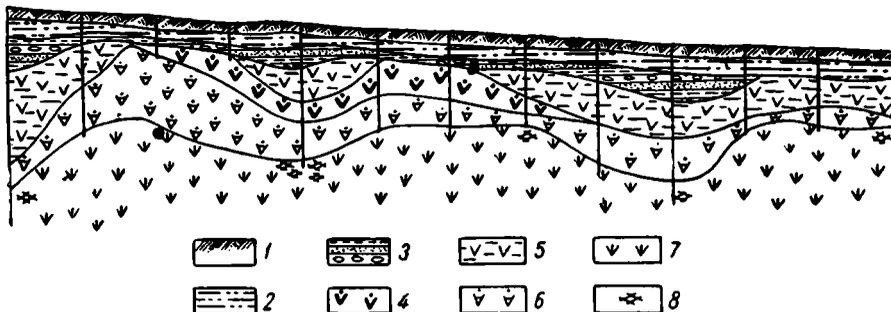
2) Доломит также мелкозернистый, встречается чаще совместно с магнезитом, реже образует тонкие натечные корочки. Обычно он более интенсивно окрашен железом. Светопреломление по $N_{\omega} = 1.68$.

3) Магнезит бывает мелко- или криптокристаллическим. Мелкозернистый магнезит, распределенный по всему шлифу (на отдельные коло-

морфные выделения), очень часто сильно окрашен гидроокислами железа. Светопреломление магнезита по $N_{\omega} = 1.70$.

Кроме этих минералов, здесь распространены гидроокислы железа, образующие прожилки, стяжения, землистые скопления, охры в ячейках и, наконец, пигмент, придающий всей породе желто-бурый цвет. Среди гидроокислов железа встречаются опал, халцедон, кварц и остаточные минералы серпентинита.

Структура карбонатизированных серпентинитов сходна со структурой силифицированных. Сетчато-петельчатая структура образована прожилками карбоната или петельчатым и лапчатым распределением гидроокислов железа в мелкозернистом буром ожеженном карбонате. Наблюдается, что 1) в нижней части зоны преобладает магнезит, в верхней — кальцит; 2) макроскопически определяемый доломит не имеет широкого распространения, он встречается в верхней части магнезитовых разностей; 3) в обособленных ячейках, как правило, распространен грязно-



Фиг. 16. Силификация вдоль трещин, месторождение Айдербак (Халиловский район)

Условные обозначения:

1 — почва, 2 — суглинок, 3 — пестрые глины, 4 — серпентинит силифицированный, 5 — серпентинит монтронитизированный, 6 — серпентинит выщелоченный, опализованный, и 7 — серпентинит карбонатизированный, 8 — арагонит

бурый мелкозернистый карбонат, чаще всего представленный магнезитом; 4) более чистый и более крупнозернистый карбонат образует структуры замещения в серпентините, где он развивается по прожилкам, петлям, трещинам и проникает также в ячейки; 5) совершенно чистый карбонат образует секущие образования, крупнокристаллические жилы и радиально-лучистые агрегаты молодого кальцита, а в нижней части профиля — жилы и колломорфные (капустники) стяжения криптокристаллического магнезита.

Взаимоотношения карбоната с опалом и халцедоном весьма сложные, однако, при рассмотрении профиля снизу вверх устанавливается: 1) наличие окремнения магнезита; 2) разъедание и замещение карбоната опалом и халцедоном, сопровождающееся вытеснением гидроокислов железа и локализацией их в отдельные участки; 3) пересечение карбонатизированных серпентинитов жильным кремнеземом; 4) случаи, когда в верхней части карбонатизированных серпентинитов опаловые и халцедоновые жилы и даже целые кремнистые участки пересекаются кальцитовыми жилами, т. е. когда в процессе развития коры выветривания имело место наложение отдельных фаз окремнения и карбонатизации друг на друга.

В нижней части зоны серпентиниты почти аналогичны породам одноименной зоны в „нонтронитовом“ профиле, отличаются лишь большим

развитием прожилок и жил магнезитов и полным отсутствием (под карбонатизированными серпентинитами) никелевых силикатов.

В местах перехода силифицированного профиля в нонтронитовый зона охр последнего постепенно приобретает некоторую песчанность, в ней появляются мелкие, а затем и крупные кремнистые включения, и, наконец, она превращается в охристо-кремнистую породу.

Нонтронитизированные серпентиниты обычно переходят в сетчатые и кавернозные разновидности. В некотором переходном интервале в кавернах и ячейках силифицированного серпентинита появляется нонтронит (табл. III, фиг. 11), а ниже по склону, наоборот, в глинистой массе нонтронитизированного серпентинита появляются плотные кремнистые включения кавернозно-оспелых и пещеристых силифицированных серпентинитов и, реже, нацело опализованного нонтронита. (фиг. 15)

При хорошо ориентированной полосчатости или трещиноватости переход выражается в увеличении числа жил опала (мощность которых доходит до 10 см), протягивающихся от силифицированных пород в нонтронитизированный серпентинит. Как общая закономерность наблюдается наклон и выклинивание в виде жил и апофиз силифицированных пород в сторону нонтронитизированной зоны и подстилающих ее разложенных серпентинитов.

Следует заметить, что на многих месторождениях, как то: Восточно-Киевском, Айдербакском, Бурановском и др., силифицированные породы встречаются среди нонтронитизированных серпентинитов и ниже их (фиг. 16). По структуре они не отличаются от вышеописанных, но по минералогическому составу относятся к менее силифицированным и более близки к выщелоченным обохренным серпентинитам. Как правило, они не занимают больших площадей, залегают чаще наклонно и образуют тела клинообразной формы. Происхождение этих силифицированных под нонтронитами пород связано с зонами местных нарушений и участковой трещиноватости в серпентините.

Общая характеристика продуктов древнего выветривания на возвышенностях доюрского микрорельефа и их минералогического состава дана в табл. 11.

Химическая характеристика профиля силифицированной коры выветривания

Силифицированный профиль весьма сложен по своему образованию, хотя элементарный его химический состав довольно прост. Между карбонатизированными породами и силифицированными имеются все переходы. Сильно силифицированные породы, как показывают анализы (табл. 12), состоят из 80—90% SiO_2 ; 6—12% Fe_2O_3 ; 2—4% RO и небольшого количества воды; карбонаты или отсутствуют, или количество их всего 2—3%. Затем идет группа силифицированных серпентинитов, содержащих 60—80% SiO_2 ; карбонатов от 3 до 10%; R_2O_3 от 7 до 22%. Наконец, меньше 60% SiO_2 содержат переходные разности от силифицированных к карбонатизированным породам, с большим содержанием карбонатов, и к выщелоченным, где карбонатов мало.

Из карбонатов встречаются кальцит, доломит и магнезит как раздельно, так и совместно. Качественное отношение между MgCO_3 и CaCO_3 варьирует от случая, когда среди карбонатов кальцит присутствует только в виде следов, до случаев его исключительного преобладания. Малое количество воды, выделяющейся при температуре выше 100°, свидетельствует о том, что гидромагнезит в сколько-нибудь заметных количествах среди этих разностей не представлен.

**Общая характеристика продуктов выветривания
силицифицированного профиля**

Средняя мощность	Общая характеристика породы	Минералогический состав
От 0,5 до 4 м	Силицифицированный серпентинит, плотный, сливной, сетчатый или кавернозный, иногда в виде глыб и небольших включений в песчанисто-охристой массе. Иногда наблюдается реликтовая структура серпентинита.	Основная масса: минералы коры — халцедон, опал, кварц, гидроокислы железа (гидрогетит, гидрогематит). В подчиненном количестве: минералы коры — гидроокислы марганца (псиломелан, вад), никелевые силикаты, карбонаты; остаточные минералы материнской породы — хромшпинелиды, магнетит, серпентин, тальк.
От 2 см до 8 м	Разложенные (выщелоченные) серпентиниты. Разложенные серпентиниты, обохренные, с большим количеством карбонатов, представленные плотными, пористыми, но вздревато-сетчатыми разностями, часто с большим количеством песчанистой охры. Часто наблюдается реликтовая структура серпентинита.	Основная масса: минералы коры — кальцит, арагонит, доломит, магнезит, опал, халцедон, кварц, гидроокислы железа. В подчиненном количестве: остаточные минералы материнской породы — серпентин, магнетит, хромшпинелиды.
От 2 до 4 м	Разложенные серпентиниты, частью обохренные и с небольшим количеством карбонатов, с реликтовой структурой серпентинита, на которую наложены сетчатые структуры выветривания.	Основная масса: минералы материнской породы — серпентин, хризотил, серпофит, бастит, антигорит. В подчиненном количестве: минералы материнской породы — магнетит, хромшпинелиды, хлорит, тальк; минералы коры — гидроокислы железа, контонит, карбонаты (преимущественно магнезит), опал, реже халцедон.
От 5 до 8 м	Малоизмененный серпентинит, часто с жилами магнезита.	Основная масса: минералы материнской породы — серпентин (хризотил, серпентин, бастит, антигорит). В подчиненном количестве: остаточные минералы материнской породы — хромшпинелиды, магнетит, оливин, пироксен, хлорит, тальк; минералы коры — магнезит, иногда доломит.

В отличие от нонtronитового профиля в силицифицированном строгой последовательности зон не наблюдается — среди более силицифицированных встречаются и менее силицифицированные породы и остатки выщелоченных; но с глубиной количество карбонатизированных серпентинитов все же увеличивается.

В разрезе дудки № 441 Кемпирсайского месторождения (табл. 12) на глубине 16 м в серпентините содержится 67.90% карбоната при соотношении $\text{CaCO}_3:\text{MgCO}_3=1, 1.10:1$; пересчитав на бескарбонатное вещество, получаем силицифицированную породу с 81.2% SiO_2 . Уже

Химический состав пород силицифицированной коры выветривания

Компоненты	Силицифицированные породы Кемпирса												Айдербака	Сусанского м-ния (Кем-пирс. массив)	Бурановки		
	лудка № 441, образец № 514, глубина 16 м			лудка № 441, образец № 513, глубина 11 м		лудка № 441, № 512, глубина 4 м, разрушенный		лудка № 414, № 4 и № 16, глубина 11—12 м		шурф 10, образец № 5, глубина 1—2 м с вклуч. карбонатов		лудка № 441, образец № 9296, глубина 7—8 м средняя проба			лудка № 35, глубина 7—8 м		
	вес, %	молекуляр-ные количества	вес, % без карбонатов	вес, %	молекуляр-ные количества	вес, %	молекуляр-ные количества	вес, %	молекуляр-ные количества	вес, %	молекуляр-ные количества	вес, %			молекуляр-ные количества	вес, %	молекуляр-ные количества
SiO ₂	26.66	0.444	81.2	89.29	1.487	66.83	1.112	82.12	1.367	39.78	0.663	64.22	1.069	88.99	81.17	79.26	1.320
TiO ₂	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—	0.05	—	0.04	—	—	Нет	0.02	—
Al ₂ O ₃	0.41	—	1.3	0.06	—	0.70	—	Сл.	—	0.65	—	0.00	—	0.22	1.17	Сл.	—
CaO	0.14	—	0.4	0.40	—	0.92	—	0.64	—	0.92	—	0.92	—	Сл.	0.28	1.13	—
Fe ₂ O ₃	2.93	0.018	8.9	8.03	0.050	22.42	0.141	12.39	0.078	9.82	0.061	18.77	0.018	6.00	8.36	8.80	0.055
FeO	—	—	—	—	—	—	—	0.50	—	0.16	—	0.87	—	0.12	0.36	0.66	—
MnO	0.03	—	0.1	0.22	—	0.63	—	0.09	—	0.71	—	0.28	—	0.07	0.18	0.15	—
CoO	—	—	—	0.03	—	0.06	—	—	—	—	—	0.05	—	0.005	0.00	—	—
CaO	20.51	0.366	—	0.08	0.001	1.83	0.033	0.16	0.003	12.00	0.214	0.36	0.006	0.14	1.57	2.71	0.048
MgO	15.76	0.394	2.2	0.20	0.005	0.52	0.013	0.61	0.015	13.31	0.330	5.96	0.148	0.53	0.12	1.87	0.047
CO ₂	32.50	0.739	—	1.02	0.023	1.50	0.034	0.03	0.001	15.08	0.343	0.26	0.006	—	—	3.33	0.075
H ₂ O+прямое опр.	1.39	—	4.2	0.20	—	3.48	—	—	—	6.42	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	0.28	—	0.9	—	—	0.87	—	0.46	—	0.79	—	2.40	—	—	—	0.34	—
Потеря при прокаливании	—	—	—	—	—	—	—	1.43	—	—	—	4.00	—	—	6.75	0.93	—
K ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	—	—	—	—	—
SO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.07	—	0.10	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	—	—
CaCO ₃ +MgCO ₃	67.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CaCO ₃ : MgCO ₃	1.10:1	—	—	—	—	3.33	—	—	—	32.43	—	—	—	—	—	7.06	—
						1:0				1:0.52						1:0.47	

на 4—5 м выше, на глубине 11—12 м, карбонатов почти нет, содержание же SiO_2 (89.3%) несколько даже больше, чем в некарбонатной части предыдущей породы. На глубине 4 м содержание SiO_2 уменьшается за счет появления большого количества Fe_2O_3 ; характерно, что карбонат здесь представлен одним кальцитом.

В Бурановке, где встречаются не только силифицированные бугры, но и участки аналогичных пород под нонтронитами среди выщелоченных и нередко обохренных разностей также отмечается постепенный переход этих пород с 1.15% карбонатов на глубине 7 м в выщелоченные карбонатизированные разности с 9.31% и 11.70% карбонатов на глубине 14—15 м (шурф № 730), причем отношение $\text{CaCO}_3 : \text{MgCO}_3$ равно 1.00 : 2.55 и 1 : 16. Содержание R_2O_3 здесь почти одинаково для обеих разновидностей пород. Химические анализы свидетельствуют о том, что SiO_2 не только замещал карбонаты, но отлагался и помимо карбонатов, за счет замещения или выноса магнезия из серпентинитов, так как обычное количество оснований в породах далеко недостаточно для образования породы с 85—89% SiO_2 (табл. 12—13).

Таблица 13

Химический состав силифицированных серпентинитов Бурановки (неполные анализы)

Глубина в м	Шурф № 730				Шурф № 836			Шурф № 834		Шурф № 201	Шурф № 756
	7	11	14	15	6—7	8—9	17—80	4—5	13—15		7
	Полосчатые разности				Силифицированный серпентинит	Выщелоченный перидотит	Средняя проба	Средняя проба	Выщелоченный	Доломит	
Компоненты	Пористый	Сильно разрушенный, трухлявый	Выщелоченный, распадается на отдельные прослойки	Выщелоченный, вблизи магнезита							
SiO_2	85.43	77.34	52.92	62.16	84.85	77.77	57.47	71.88	86.58	53.25	4.92
R_2O_3	8.77	7.51	7.54	6.94	9.20	11.73	12.62	11.84	8.04	12.04	6.13
CaO	0.61	2.14	1.84	2.02	1.11	1.42	0.95	1.26	1.52	1.18	26.71
MgO	1.59	8.16	22.70	17.88	1.32	2.90	18.13	3.91	1.99	22.00	20.57
CO_2	0.51	0.13	5.80	4.56	0.12	0.20	0.25	0.07	0.33	0.05	41.18
$\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$	1.15	—	11.70	9.31	—	—	—	—	—	—	86.26
$\text{CaCO}_3 : \text{MgCO}_3$	1 : 0.05	—	1 : 2.55	1 : 1.6	—	—	—	—	—	—	1 : 0.81

Среди донских хромитовых месторождений интенсивно развиты силифицированные серпентиниты. Они, по описанию А. Филимоновой (1941), приурочены то к контакту руды с вмещающими породами, залегая на выщелоченных серпентинитах, то располагаются среди рыхлых руд (являющихся здесь аналогом нонтронитизированного горизонта), то за-

хватывают вмещающие серпентиниты всякого бока; однако в большинстве случаев они залегают в форме блоков, включенных в рыхлых хромитовых рудах, на различных уровнях от поверхности, иногда же подстигают рыхлые руды. Состав силифицированных хромитовых руд (I—IV) по сравнению с рыхлыми рудами (V) виден из следующих данных (в %):

	I	II	III	IV	V
SiO ₂	21.88	17.87	31.61	48.99	1.50
Cr ₂ O ₃	Много	Много	Много	Меньше	Много
Al ₂ O ₃	6.05	6.42	7.06	5.45	10.28
Fe ₂ O ₃	6.50	9.50	5.34	7.02	} 12.78
FeO	7.31	17.48	5.62	2.71	
MgO	10.00	12.80	9.10	6.37	11.19
CO ₂	0,26	—	0.52	—	—
H ₂ O ⁺	0.53	0.36	} 1.63	} 2.56	—
H ₂ O ⁻	0.11	0.19			

Высокое содержание Fe₂O₃, Al₂O₃ и MgO связано с хромитом. Силифицированные руды содержат, кроме хромшпинелидов, халцедон, кварц и опал. Наибольшее распространение имеет халцедон; кварц и опал развиты слабее. Халцедон выполняет главную массу интерстиций между зернами хромшпинелидов; кроме того, кварц, халцедон и опал нередко образуют жилки в общей силифицированной массе; халцедон и опал замещают жилки серпентинитов и карбонатов в зоне выщелоченных серпентинитов. Прозрачный кварц выполняет в верхних зонах коры выветривания значительные трещины, образуя щетки мощностью до 20 мм.

Из условий залегания, минерального состава и аналитических данных совершенно определенно вытекает, что карбонат кальция наложен на карбонат магния, иначе говоря, что доломитизация является более поздним процессом, чем образование магнезита; а так как силификация идет частично и по доломиту, то естественно, что в подобных случаях силификация должна быть еще более поздней, иногда получается ряд: магнезит → доломит → кальцит → кремнезем. Отсюда возникла мысль разделить эволюцию силифицированного профиля выветривания на три периода: период образования магнезита, отдельный от него период образования доломита или кальцита и самый молодой период силификации, по возрасту близкому к мелу. Однако доломитизация наблюдается не везде, силификация же имеет место и там, где нет доломитизированных разностей. Даже в пределах одного образца нельзя утверждать, что весь SiO₂ образовался только за счет доломитов, полностью замещенных кремнеземом (подобное полное замещение имеет место только в известняках и доломитах). Кремнезем в силифицированных породах образуется не только путем замещения карбонатов. Содержание SiO₂ до 90% в этих породах вряд ли обусловлено обязательным содержанием в породе 90% карбонатов. В многочисленных анализах, сделанных при изучении магнезитов Халилова, содержание в 10% CaO является редкостью (обычно 2—3% CaO). Нередко доломитизируется только оболочка вокруг выделений магнезита. Ясно, что доломитизация накладывалась на магнезит после его отложения. Все эти процессы не были разделены перерывами на ряд отдельных геологических этапов от триаса до мела, так как силифицированные породы встречаются и под юрскими отложениями. Если подобные этапы и имели место, то до средней юры;

вернее же, что в пределах триаса — средней юры климат становился то несколько более сухим, то более влажным, а в связи с этим получилось и несколько генераций магнезитов и несколько генераций доломита и окремнения. Однако после последней генерации в юре, несомненно, имели место процессы образования кальцита, арагонита и доломита; так последняя генерация доломита — сталактитообразная, порошкообразная или в виде корочек — весьма молодая; относительно молодой возраст имеет также часть арагонита и кальцита.

Подобным же образом и силицификационный процесс протекал не в один прием; ясно, что окремнению отчасти предшествует карбонатизация пород. Это обычно связано с ростом (опусканием) зон: в верхних горизонтах силицифицированные породы растут за счет нижних — карбонатизированных, последние — за счет свежих. Ряд месторождений никельсодержащих железных руд Среднего Урала дает прекрасные примеры того, как вокруг останцев и выступов серпентинитов породы силицифицированы и в свою очередь здесь же сменяются порошковой или глинистой рудой (фиг. 17). Источник SiO_2 в подобных случаях не внешний, а внутренний (интерный), от разложения здесь же находящихся серпентинитов или продуктов их разложения. Освобождающийся при разложении силикатов SiO_2 перемещается в них же или осаждается при встрече с карбонатами или более богатыми электролитами растворами, а также в результате насыщенности растворов и т. п. Если предполагать, что весь процесс кремнения связан только с более поздним его приносом, то остается непонятным, почему SiO_2 серпентинитов должен целиком выноситься, а карбонат при этом целиком оставаться или вновь образовываться, а спустя некоторое время SiO_2 должен снова поступать в кору. Если климат достаточно сух для концентрации и выпадения легко растворимого RCO_3 , то тем более эти условия достаточны для коагуляции SiO_2 .

Звенья системы: магнезит → доломит → кремнезем разобцены не столько во времени, сколько в пространстве — в пределах формирования силицифицированного профиля. В типично аридных областях отложение карбонатов и кремнезема также разобцено пространственно, а не во времени. Имеется несколько генераций выделений кремнезема и карбонатов, когда карбонаты секутся прожилками SiO_2 и обратно. К этим вопросам мы вернемся еще при разборе условий образования силицифицированного профиля.

Силицификация всегда сопровождается умеренным содержанием R_2O_3 , главным образом окислов железа. Укажем на близкие рН начала выпадения Fe_2O_3 (2,3) и SiO_2 (3), чем объясняется их совместное нахождение. Повидимому, явления пептизации гидроокислов железа и их вымывания при силицификации не имеют места. Весьма часто окислы железа выделяются до силицификации, и последующая силицификация импрегнирует обохренные массы серпентинита или охры.

Для силицифицированных пород, находящихся под нонтронитами, характерны их частая изъеденность (песчанистость), более редкое присутствие опала (в отличие от опализованных серпентинитов), обохренность (в отличие от менее обохренных карбонатизированных разностей). Иногда появляется и более молодой опал. Имеются марганцевые корочки. В ноздреватых разностях встречаются включения нонтронита, то свежего, то частично разложенного в охру; естественно, что в подобных случаях нонтронитизация прошла до силицификации, распространившейся на уже выщелоченную и частично нонтронитизированную породу. По химическому составу эти породы (табл. 13, № 730, 834 и 836) ничем не отличаются от силицифицированных пород на буграх. Во многих случаях можно доказать, что это окремнение связано с тре-

щинами и имеет локальный характер; отдельные гнезда и линзы таких пород нередко расположены несколькими горизонтами среди выщелоченных образований, иногда отделенные от них обохренными разностями, и встречаются даже среди нижней части зоны нонтронитизированных пород, с которыми они связаны переходами.

В то время как в опаловом горизонте мы имеем дело преимущественно с процессами окремнения и прокремнения пород, в силифицированных породах преобладают процессы окремнения (т. е. процессы химического воздействия) как кремнеземом внутренним (интерным), так и внешним (привносным). Процессы кремнения происходили не в одну фазу; к одной из наиболее поздних фаз принадлежат прожилки опала, большей частью молочного, секущие силифицированные породы.

Содержание никеля в силифицированных породах связано: 1) с никелевыми силикатами (в ячейках, редкие гнездышки); 2) никельсодержащим халцедоном и опалом (низкое содержание); 3) с гнездами и выделениями нонтронита и галлаузита; 4) с никелем в гидроокислах железа (очень невысокое содержание). Повышенное содержание Ni вообще весьма редкое, приурочено к никелевым силикатам и гнездам нонтронитов.

Силифицированные породы подвергаются дальнейшему разъеданию и замещению гидроокислами железа и частично марганца. SiO_2 переходит в раствор и выносится как боковыми, так и нисходящими токами, это — процессы десилификации. Повидимому, мы имеем нечто подобное в образцах № 512 с глубины 4 м и № 9296 с глубины 7—8 м (дудка 441, табл. 12), где карбонатов весьма мало, мало и окиси магнезия и кальция, зато резко повышено содержание окиси железа.

К первым стадиям десилификационных процессов относится превращение силифицированных пород в мучнистый кремнезем, особенно развивающийся при образовании песчаных охр над силифицированными породами, образующими бедные железом руды в низах железорудных месторождений в Халиловском районе.

В. Месторождения линейного распространения

Кора выветривания линейного распространения весьма развита на Урале, особенно на Среднем. Впервые она была изучена на Южном Урале, на Ново-Аккермановском месторождении, почему этот тип месторождений часто называют „новоаккермановским“. Месторождения линейного распространения отличаются большим разнообразием. Общее в них — это вытянутость месторождений вдоль определенных зон, часто тектонического характера, и в связи с этим большая глубина залегания. Зональность выражена здесь менее резко, чем на месторождениях площадного распространения. В общем мы имеем сверху вниз: 1) зону охр разной мощности, 2) зону разложившихся серпентинитов и 3) свежие серпентиниты. В зоне охр и среди разложившихся серпентинитов встречаются гнезда, глыбы, жилы и прожилки силифицированных и обохренных серпентинитов. Среди разложившихся серпентинитов нонтронитовая зона как таковая отсутствует, хотя слабо нонтронитизированные серпентиниты могут присутствовать. Отмечается и горизонтальная зональность такого же порядка: от свежих пород к разложившимся (иногда слабо нонтронитизированным), обохренным и силифицированным. Мощность зон разложившихся и обохренных серпентинитов не велика — от 40 до 100—200 м; глубина залегания, в среднем 50 м и доходит до 150 м; длина месторождений — от 200—300 м и до 1000—2000 м и до 4 км. Иногда имеются узкие полосы, в несколько десятков и даже несколько метров мощности. Весьма характерна неравномерная разложенность пород,

приуроченная к трещинам и отдельным нарушениям, отчего охристые и разложившиеся серпентиниты внедряются в свежую породу языками (фиг. 18), полосами, вытянутыми клиньями (фиг. 19) и рудными хвостами (фиг. 20).

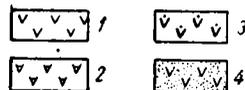
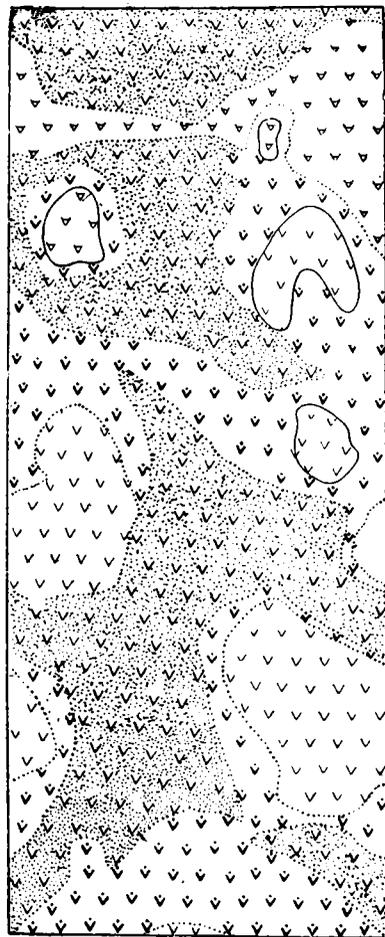
Новоаккермановский тип месторождений отличается присутствием в свежих породах сетчатости, образованной доломитовыми прожилками; в нижних частях разложившихся серпентинитов и в верхних частях свежих, равно как и боковых частях месторождения ближе к свежим породам прослеживаются полосы, образованные прожилками магнезита и керолита. В разложившихся и обожженных частях встречаются прожилки никелевых силикатов, кварца, халцедона, хризопраза (табл. IV—V, фиг. 12—16).

В других месторождениях охристая часть развивается за счет разложившихся серпентинитов настолько сильно, что остающаяся мощность последних бывает незначительной. Прожилков доломита, керолита, никелевых силикатов и карбонатов в этом случае встречается мало или их вовсе нет; структура охры сохраняется; содержание никеля в них низкое; силицифицированные породы присутствуют в виде глыб, включений, иногда обволакивают часть неразложившихся пород или примыкают к стенкам породы; переходная зона к свежим породам очень узкая, резкая. Этот тип образует так называемые „порошковатые“ никелистые руды на Среднем Урале.

В третьем случае интенсивно развиваются силицифицированные, более или менее железистые серпентиниты, цементированные охристо-глинистой массой, которая по своей величине уступает окремненной и железистой части. И здесь карбонатов весьма мало, точно так же мало и индивидуализированных силикатов никеля. В двух последних случаях глинистый минерал присутствует в виде галлуазита, а иногда в виде нонтронита. Случаи второй и третий на Южном Урале пока не обнаружены.

Химические процессы выветривания в новоаккермановском типе

Новоаккермановский тип выветривания, представленный только одним хорошо изученным Ново-Аккермановским месторождением, характеризуется, как указано было выше, сетчатостью серпентинитов, которая образована

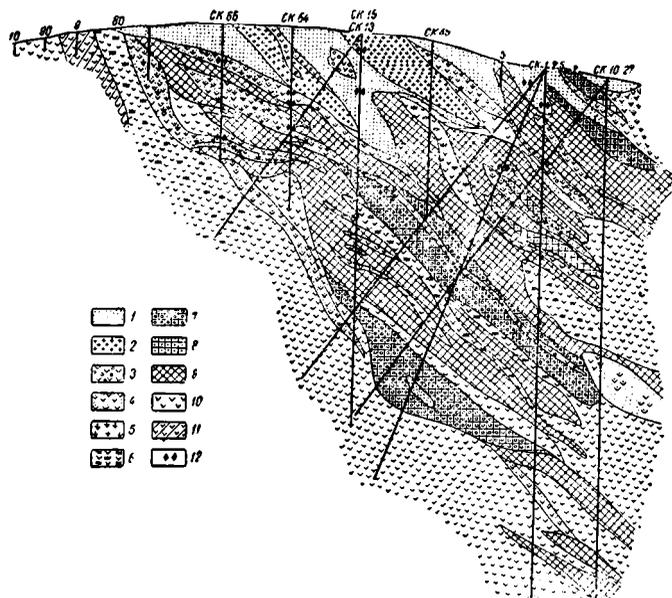


Фиг. 17. Процессы силицификации вокруг остатков серпентинита среди желто-бурой руды. Калининчевское месторождение Верхне-Нейвинского р-на (по Н. М. Аксенову)

Условные обозначения:

1 — свежие серпентиниты, 2 — выщелоченные серпентиниты, 3 — силицифицированные серпентиниты, 4 — охристо-глинистые руды

главным образом прожилками доломита и частично кварца. Западный край тектонической зоны смятия месторождения представлен серпентинитом с магнезитом, восточный край таким же серпентинитом, с крупносетчатыми прожилками доломита. Магнезитовая зона представлена относительно плотной породой с жилами магнезита от 1—2 до 10 см, редко больше; иногда встречаются небольшие гнезда магнезита, образо-



Фиг. 19. Широтный разрез по линии № 9 участка № 2 Н.-Аккермановского месторождения (по К. Н. Трубиной и И. И. Гинзбургу, 1936 г.).

Условные обозначения:

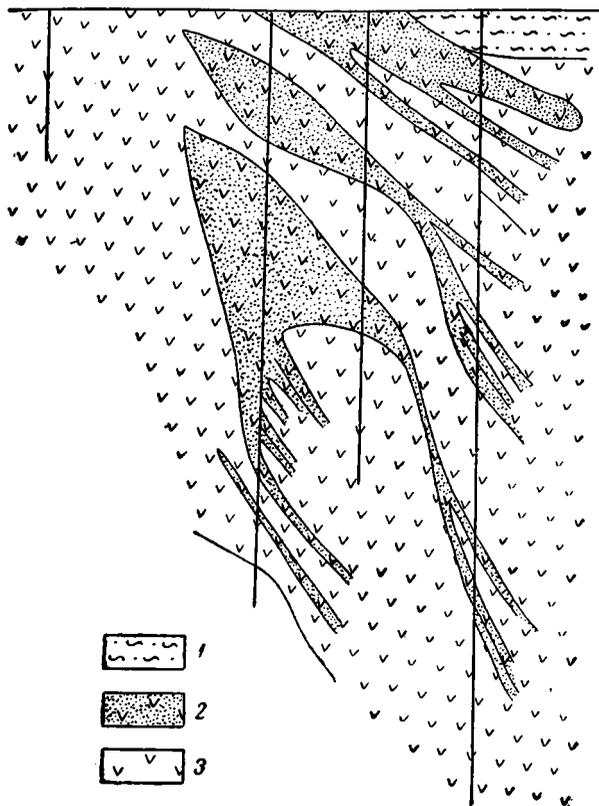
- 1 — сильно разложившиеся серпентиниты, 2 — охристо-кремнистые образования, 3 — сильно разложившиеся обожженные серпентиниты с реликтовой текстурой, 4 — слабо разложившиеся серпентиниты, 5 — серпентиниты с кремнистыми прожилками, 6 — участки керолитизированного серпентинита, 7 — сетчатые обожженные серпентиниты, 8 — сетчатые слабо разложившиеся серпентиниты, 9 — сетчатые серпентиниты с доломитовыми прожилками, 10 — малоизмененные серпентиниты, 11 — серпентиниты с магнезитом, 12 — никелевые силикаты

ванные ответвлениями жил. Зальбанды резкие, но местами заметен метасоматоз стенок жилы, и тогда зальбанды теряют свое прямолинейное очертание. За магнезитовой зоной следуют серпентиниты: керолитизированные и доломитизированные, затем окремненные, разложившиеся, местами слабо нонтронитизированные и обожженные (фиг. 21).

На Ново-Аккермановском месторождении характер процессов выветривания можно проследить как в вертикальном, так и в горизонтальном сечении. Узкая (широтная) полоса коры выветривания позволяет относительно легко составлять поперечные разрезы и изучать отдельные стадии выветривания. За отсутствием данных по выветриванию на различных глубинах мы заменяем глубинный разрез поперечным профилем место-

рождения шириной 130 м, дающий ту же картину постепенного затухания выветривания, что и вертикальный профиль. В основу положены разрезы по штольням № 1 и № 2 (см. стр. 124 и 126).

Из каждой типичной по выветриванию полосы брались пробы в виде блоков около 16 кг весом, которые измельчались и квартовались. В штучных образцах отдельные прожилки или выделения могли бы исказить



Фиг. 20. Рудные хвосты вдоль трещин в разложившемся серпентините. Чусовское месторождение: 1-е гнездо (по А. Л. Кацу)

Условные обозначения:

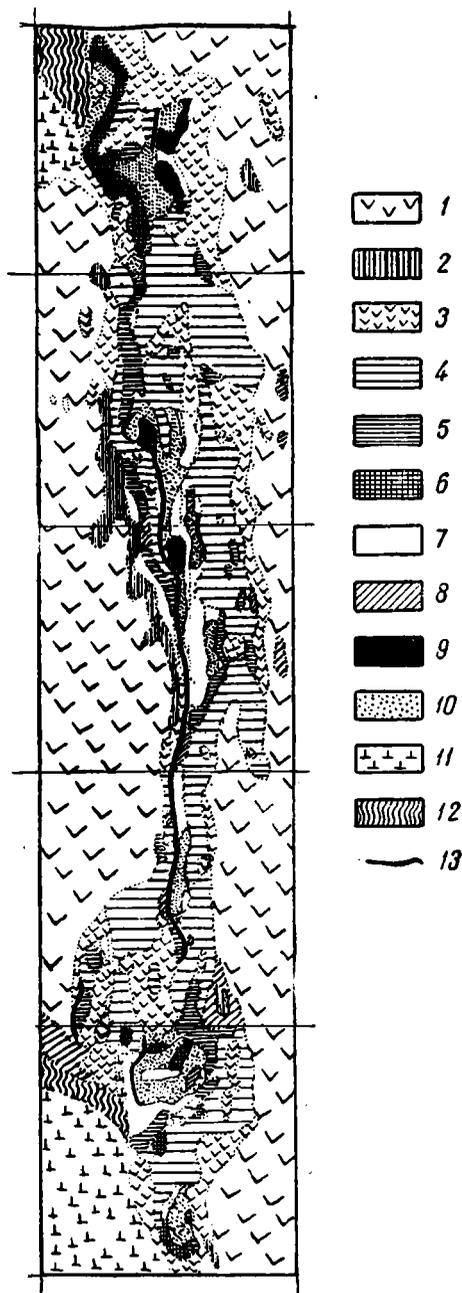
1 — мезо-кайнозойские отложения, 2 — руда, 3 — серпентинит

результат анализа, а бороздовые пробы брались уже рудоуправлением, и у нас была возможность их использовать.

Степень разложения руд аккермановского типа значительно слабее, чем у хаилловского, а объемный вес в общем больше, чем у руд, связанных с площадным типом на южном Урале (табл. 14).

Эти физические качества руд, т. е. выветрелых серпентинитов, отражаются и на их составе (табл. 15).

Поведение карбонатов. Исходя из анализов табл. 15, подсчитаем количество CaCO_3 и MgCO_3 в исследованных образцах, связав CaO и часть MgO с CO_2 (табл. 16.) Как видно, карбонаты большей частью представлены доломитом с избытком кальцита и реже магнезита. В плотных породах количество карбонатов составляет 10% и больше, мелкосет-



Фиг. 21. Геологическая карта Ново-Аккермановского месторождения (по М. К. Луценко)

Условные обозначения:

1 — серпентиниты, 2 — серпентиниты магнетитоносные, 3 — серпентиниты слабо измененные, 4 — серпентиниты сетчатые, 5 — серпентиниты выщелоченные, окварцованные и керолитизированные, 6 — серпентиниты плотные, выщелоченные, 7 — серпентиниты выщелоченные, разрушенные, пестрых окрасок, 8 — серпентиниты выщелоченные, разрушенные, с реликтовой структурой, 9 — серпентиниты нонитронитизированные, 10 — охристо-кремнистые образования, 11 — габбро-амфиболиты, габбро-пегматиты, пироксениты-диаллагиты и друг., 12 — сланцы, 13 — линии тектонического нарушения

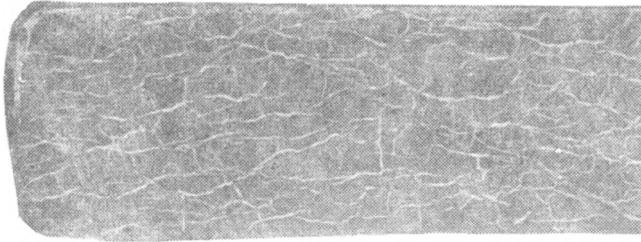
Физические свойства выветрелых серпентинитов аккермановского типа

	Объемный вес			Количество проб
	сырой руды	сухой руды	влажность	
Охристо-кремнистая руда .	1.32—2.19 В средн. 1.76	1.12—1.38 В средн. 1.27	15.48—36.90 В средн. 27.65	45
Сильно обожренная руда .	1.67—2.41 В средн. 1.95	1.35—1.55 В средн. 1.45	18.15—35.55 В средн. 22.55	37
Плотная руда	1.99—2.55 В средн. 2.34	1.78—1.95 В средн. 1.95	10.30—23.05 В средн. 16.61	21

чатые серпентиниты иногда на 28% состоят из карбоната (№ 99 табл. 16). Керолитизированные разности также содержат до 10—11% карбонатов. Сильно карбонатизированные разности пород, естественно, первые подвергаются разложению, менее карбонатизированные — позднее. Выветривание начинается с выноса карбонатов, которые целиком или почти целиком вымываются. Что весьма интересно — это более поздний вынос в глинистых продуктах разложения $MgCO_3$, чем $CaCO_3$, хотя первый более растворим. Приходится констатировать вторичные процессы накопления $MgCO_3$ или предположить, что первоначальные карбонаты содержали больше магния, чем полагается по формуле доломита. В этом отношении характерны краевые части штольни, в которых наблюдается значительный перевес $MgCO_3$ над $CaCO_3$ (№ 100 и 102), повидимому за счет того магнезита, который находится не в виде жил, а в самом серпентините, или в микроскопических прожилках и макроскопически незаметен. Интересно относительное увеличение $CaCO_3$ на западном и восточном крыльях вблизи окремельных пород (№ 90 и 96); возможно, что это связано с вторичными карбонатами, но в восточном боку залежи (№ 100, 101, 102) колебания относительного содержания $CaCO_3$ и $MgCO_3$, несомненно, объясняются влиянием магнезита, выступающего на восток от тектонической полосы непосредственно на поверхность. Следовательно, первое, что приходится констатировать — это вынос карбонатов кальция и магния из зоны разложения. В раздробленной, более или менее брекчированной зоне серпентинита, сцементированной карбонатами, вынос карбонатов ведет к дезинтеграции породы на отдельные куски, что создает благоприятные условия для последующих процессов разложения.

Поведение отдельных окислов в процессе выветривания (табл. 15). Для всех дальнейших сравнений мы исключаем из нашего рассмотрения содержание углекислоты и соответствующих, связанных с ней, количеств извести и окиси магния, а также воду, выделяющуюся при 110°. Если при этом возможна ошибка, она не так велика, чтобы затемнить картину происходящего процесса.

Сравнивая между собой молекулярные количества, относящиеся к слабо или вовсе не затронутым выветриванием образцам (№ 89, 90, 102, 101, 100), мы видим, что состав их чрезвычайно близок. В серпентинитах с прожилками магнезита, доломита и керолита не обнаруживается изменений самой породы, несмотря на то, что образцы взяты из разных концов штольни. Это говорит за то, что в основном заполнение трещин карбонатами шло в свежей породе.



Фиг. 12. Серпентиниты мелкосетчатого строения (частично измененные)



Фиг. 13. Частично измененный перидотитовый серпентинит с баститом с сеткой из доломитовых прожилков



Фиг. 14. Серпентинит с сеткой из кварца, халцедона и кальцита

Изменения химического состава серпентинитов в штольне № 1 (Аккерма-

№ пробы	89			90			91			92		
	Вес., %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес., %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес., %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес., %	% пересчета	Молекулярные количества
SiO ₂	36.34	38.26	0.637	33.38	38.10	0.635	52.39	53.67	0.895	19.13	20.00	0.333
Fe ₂ O ₃	6.87	7.23	0.045	6.76	7.71	0.041	31.13	32.00	0.200	58.80	61.25	0.383
FeO	1.17	1.23	0.016	0.48	0.55	0.076	1.00	1.02	0.015	0.17	0.17	0.003
Al ₂ O ₃	1.07	1.13	0.011	0.15	0.20	0.002	3.85	3.56	0.035	4.29	4.46	0.044
Cr ₂ O ₃	0.37	0.39	0.002	0.34	0.38	0.002	0.81	0.81	0.005	1.55	1.61	0.010
MnO	0.11	0.12	0.001	0.12	0.15	0.002	0.14	0.14	0.005	0.22	0.22	0.003
CaO	1.01	—	—	4.80	—	—	Следы	—	—	Следы	—	—
MgO	37.17	37.87	0.947	35.12	40.09	1.000	3.03	3.11	0.077	2.85	3.00	0.075
H ₂ O ¹⁰⁰	1.30	—	—	0.68	—	—	1.71	—	—	1.65	—	—
H ₂ O ²⁰⁰	0.24	—	0.013	0.16	—	0.001	0.54	—	0.030	2.44	—	0.139
Потери при прокаливании ¹	12.98	13.67	0.76	11.79	13.34	0.741	5.42	5.57	0.310	9.05	9.42	0.523
SO ₂	Следы	—	Следы	Следы	—	Следы	Следы	—	—	0.06	—	—
CO ₂	2.20	—	—	4.40	—	—	0.50	—	—	0.10	—	—

№ 89. Плотный серпентинит из магнетитовой зоны, в 18 м от устья штольни.

№ 90. Керолитизированный серпентинит в 36,3 м от устья штольни.

№ 91. Окремненная охрист. порода, выделоченная с поверхности, в 46,8 м от устья штольни.

№ 92. Охристо-глинистая порода в зоне окремнения в 51,4 м от устья штольни.

№ пробы	95			96			97			98		
	Вес., %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес., %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес., %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес., %	% пересчета	Молекулярные количества
SiO ₂	41.94	45.00	0.750	60.03	75.09	1.251	39.85	43.46	0.724	30.02	38.56	0.642
Fe ₂ O ₃	11.25	12.00	0.075	12.72	15.92	0.100	11.46	12.49	0.078	10.89	13.90	0.087
FeO	0.47	0.49	0.007	0.10	0.12	0.003	0.21	0.25	0.003	0.33	0.47	0.006
Al ₂ O ₃	1.91	2.04	0.020	2.28	2.85	0.028	2.64	2.88	0.028	3.49	4.47	0.044
Cr ₂ O ₃	0.48	0.50	0.008	0.39	0.50	0.003	0.56	0.60	0.004	0.39	0.51	0.003
MnO	0.34	0.55	0.005	0.34	0.43	0.011	0.22	0.30	0.004	0.28	0.35	0.005
CaO	Следы	—	—	6.38	—	—	0.64	—	—	6.55	—	—
MgO	27.72	28.89	0.722	5.25	1.73	0.043	26.58	28.46	0.711	28.43	31.60	0.790
H ₂ O ¹⁰⁰	3.35	—	—	1.06	—	—	4.36	—	—	2.42	—	—
H ₂ O ²⁰⁰	0.88	—	0.050	0.41	—	0.023	1.29	—	0.072	0.79	—	0.044
Потери при прокаливании ¹	9.94	10.64	0.591	2.26	2.83	0.157	10.54	11.49	0.638	7.98	10.20	0.57
SO ₂	0.06	—	—	0.04	—	—	0.09	—	—	0.06	—	—
CO ₂	0.35	—	—	8.90	—	—	1.00	—	—	9.30	—	—

I. Данные анализа. II. Перечисленные на 100 без карбонатов и H₂O при +110°C.

III. Молекулярные количества.

№ 95. Темная обожженная с реликтовой структурой, в 79 м от устья штольни.

№ 96. Охристая окремненная порода, в 84 м от устья штольни.

№ 97. Охристая плотная пятнистая порода с обилием прожилков никелевого минерала, в 89.2 м от устья штольни.

¹ Без H₂O при 110° и без CO₂ и SO₃.

новка, участок 2-а) (Аналитики Н. В. Лазарев, В. С. Салтыкова, А. П. Васильев)

93			66			67			94		
Вес, %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес, %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес, %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес, %	% пересчета	Молекулярные количества
I	II	III									
42.00	45.16	0.753	49.28	51.07	0.851	29.82	32.91	0.548	36.81	39.89	0.665
26.07	28.03	0.126	26.77	27.74	0.173	21.12	23.31	0.146	17.35	18.79	0.117
0.14	0.15	0.002	0.14	0.14	—	Нет	—	—	0.21	0.22	0.003
5.15	5.54	0.005	4.90	5.08	0.050	29.90	3.30	0.031	4.48	4.85	0.047
0.96	1.06	0.006	0.83	0.86	—	2.24	2.47	—	0.63	0.66	0.004
0.51	0.55	0.007	0.42	0.45	—	0.47	0.50	—	0.35	0.36	0.004
0.31	—	—	Следы	—	—	Следы	—	—	Следы	Следы	—
8.71	9.36	0.236	6.83	6.67	0.167	21.91	24.18	0.604	22.20	23.75	0.594
5.35	—	2.520	2.52	—	—	5.02	—	—	4.44	—	—
1.97	—	0.110	0.64	—	—	0.28	—	0.016	0.39	—	0.022
9.22	9.92	0.551	7.32	7.58	0.421	12.06	13.31	0.740	10.56	11.44	0.635
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.06	—	—
0.06	—	—	0.50	—	—	Нет	—	—	0.30	—	—

№ 93. Охристая мягкая порода с реликтовой структурой в 57.9 м от устья штольни.

№ 66. Охристо-глинистая порода рудной зоны.

№ 67. Охристо-глинистая порода с реликтовой структурой, забой у расщели 1.

№ 94. Охристая порода с реликтовой структурой в 65.5 м от устья штольни.

99			100			101			102		
Вес, %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес, %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес, %	% пересчета	Молекулярные количества	Вес, %	% пересчета	Молекулярные количества
I	II	III									
30.67	44.45	0.740	34.49	40.96	0.683	34.46	39.30	0.650	35.21	39.80	0.658
7.34	10.63	0.066	6.22	7.38	0.046	8.27	9.42	0.058	7.54	8.40	0.053
0.36	0.52	0.007	0.66	0.78	0.011	0.27	0.31	0.004	0.68	0.77	0.011
1.31	1.88	0.019	1.52	1.80	—	0.33	0.38	0.004	0.22	0.25	0.003
0.28	0.40	0.003	0.29	0.34	—	0.51	0.58	—	0.40	0.45	—
0.11	0.13	0.006	0.11	0.13	—	0.11	0.13	—	0.07	0.03	—
9.18	—	—	3.18	—	—	3.44	—	—	2.69	—	—
27.16	31.60	0.790	34.21	36.15	0.904	34.88	37.00	0.925	35.89	37.58	1.065
3.30	—	—	2.07	—	—	2.16	—	—	1.65	—	—
0.68	—	0.038	0.89	—	0.050	0.38	0.021	—	0.34	—	0.020
6.92	10.00	0.557	10.11	12.10	0.670	11.06	12.59	0.700	10.97	12.38	0.700
0.06	—	—	Следы	—	—	Следы	—	—	Следы	—	—
13.00	—	—	6.10	—	—	5.20	—	—	4.90	—	—

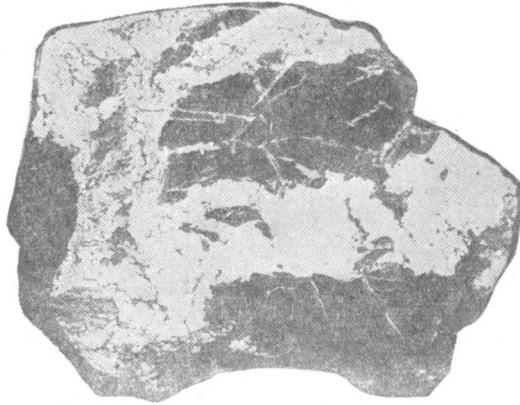
№ 98. Обоженный сетчатый серпентинит.

№ 99. Обоженный сетчатый серпентинит в 99.8 м от устья штольни.

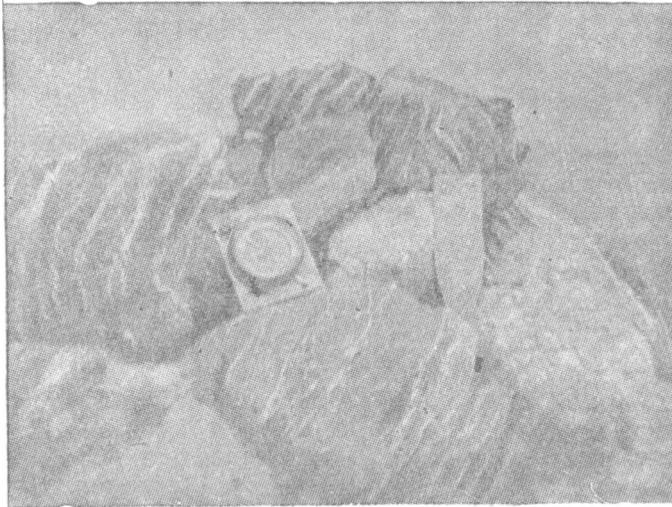
№ 100. Свежий мелкосетчатый серпентинит в 115.8 м от устья штольни.

№ 101. Керолитизированный серпентинит в 125.5 м от устья штольни.

№ 102. Плотный, свежий крупносетчатый серпентинит, забой.



Фиг. 15. Серпентинит с прожилками из магнезита



Фиг. 16. Брекчиевидный тип серпентинита. Обломки плотного серпентинита с цементом из доломита и кварца

Взяв среднее арифметическое из упомянутых 5 анализов, получаем следующий средний состав серпентинита, который в дальнейшем считаем исходным для сравнения степени выветривания серпентинитов на этом участке:

	Средний состав серпентинита в %	Молекулярные количества
SiO ₂ . . .	39.50	0,657
MgO . . .	37.37	0,925
R ₂ O ₃ . . .	9.07 ¹	0.0567 на Fe ₂ O ₃
Fe ₂ O ₃ . . .	8.08	0.050
Al ₂ O ₃ . . .	0.75	0.070
FeO . . .	0.73	0.010
H ₂ O ⁺ . . .	12.58	0.786

Окисление FeO. Образцы № 102, 101 и 100 уже представляют собой несколько затронутые выветриванием породы, как это видно по содержанию MgO, уменьшающемуся по мере продвижения от забоя к 115.8 м. В этой стадии почти свежих пород большое содержание Fe₂O₃ по сравнению с FeO также указывает, что разложение началось и сказалось в окислении FeO.

№ образцов	89	90	101	102
Расстояние от устья штольни в м .	18	36.3	125.5	Забой
Fe ₂ O ₃ :FeO	6.8:1	14.0:1	30:1	11:1

Если даже учесть количество Fe₂O₃, связанное в магнетит и хромит, все же отношение Fe₂O₃:FeO останется повышенным. Основная причина ясна: силикат железа, изоморфно примешанный к силикату магния, быстро окисляется, еще до того, как начинается разложение силиката магния.

Окисление FeO сопровождается гидратацией рудных зерен, отчего порода несколько буреет, хотя серпентинит сам остается почти свежим.

Состав выветрелых пород. Переходя к рассмотрению более разрушенных зон, мы можем разделить их на следующие группы:

А. Промежуточные продукты разложения

1. Плотные обохренные, частично разложенные серпентиниты.
2. Охристо-глинистые сильно разложенные серпентиниты с реликтовой структурой.

Б. Конечные продукты разложения

1. Охры.
2. Кремнисто-охристые и охристо-кремнистые породы.

Характер процесса выветривания хорошо представлен коэффициентами выветривания, приведенными в табл. 17.

Плотные обохренные, слабо разложенные серпентиниты представлены образцами № 99, 98, 97. Все они более или менее разложены, выщелочены, несколько обохрены. Коэффициент выщелачивания (SiO₂:MgO) растет в них от свежего серпентинита к № 99—98. За медленное роста в образце № 97 показывает, что здесь мы имеем несколько меньшее содержание SiO₂ или большее MgO.

Очень показателен коэффициент сиферритизации SiO₂:Fe₂O₃. В № 98 и 97 он в 1,42 раза меньше, чем в свежем серпентините, главным образом за счет роста Fe₂O₃, как то следует из коэффициента ферритизации:

¹ R₂O₃ = Fe₂O₃ + FeO.

Содержание карбонатов в образцах штольни № 1

№ образца	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	Описание образцов
Расстояние от устья штольни в м	18	36.3	46.8	51.4	Рас-сечка	65.5	79.0	84.0	89.2	—	99.8	115.8	125.5	Забой	
Описание образцов	Плотный из магнезито-вой зоны	Кероалит-зональный	Са, 0.96	Са, 0.19	Са, 0.55 Са, 0.69	Са, 0.58 Са, 0.67	окристо-глинистые серпентиниты разной плотности	окремлен-ный, охро-стичный	Плотный окристый	сетчатый обокристый	Мелко-сетчатый обокристый	Кероалит-зональный	Плотный свежий сетчатый	Свежий крупносетчатый	
CaCO ₃	1.81	8.57	0.96	0.19	0.55	0.58	Са, 0.67	11.39	1.14	11.70	16.44	5.68	6.14	4.80	
MgCO ₃	2.70	6.9	0.96	0.19	0.69	0.67	Са, 0.67	6.33	0.96	7.97	11.71	6.92	4.80	5.38	
CaCO ₃ + MgCO ₃ . MgCO ₃ : CaCO ₃ .	4.51 1.5:1	15.54 0.81:1	0.96	0.19	1.24 1.25:1	0.58	0.67	17.72 0.55:1	2.10 0.84:1	19.67 0.68	28.15 0.71:1	12.60 1.22:1	10.94 0.78:1	10.18 1.12:1	

количество Fe₂O₃ в № 97 увеличивалось почти на ту же величину — в 1,6 раза.

Так как вода в серпентините связана с магнием, то отношение воды, выделяемой при температуре, выше 200°, к MgO должно, с одной стороны, характеризовать процесс исчезновения Mg серпентинита, а с другой — процесс накопления водных силикатов магния и полуторных окислов. В образце № 99 преобладают первые процессы, но уже с образца № 97 начинают развиваться процессы новообразования водных магнезиальных силикатов и гидратов Fe₂O₃. Отношение между выносом окиси магния и накоплением окислов железа непосредственно характеризуется коэффициентом Fe₂O₃:MgO. Для подобных процессов он крайне показателен. Так, образец № 97 наполовину разложен по сравнению со свежим.

Характерно большое количество карбонатов в образце № 99 (28.15%, из них 80% доломита и 20% кальцита), уменьшение этого количества в образце № 98 (19.67%, из них 90% доломита) и резкое снижение в № 97 до 2.1% (табл. 16 и 17).

Следующая группа — окристые выщелоченные серпентиниты с реликтовой структурой (№ 95, 94, 67) крайне интересны. Вязкая глинистая масса желтого и бурого цвета сохраняет желтовато-зеленые зерна бастита. Руда получает пятнистый характер. Отношение SiO₂:MgO продолжает увеличиваться, т. е. вынос MgO продолжается, но в образце № 67 содержание SiO₂ падает и поэтому коэффициент снижается, может быть, как следствие

Коэффициенты выветривания

более сильного разложения (увеличенное содержание Fe_2O_3). Отношение $SiO_2:Fe_2O_3$ продолжает падать, за исключением образца № 95, где оно остается близким к образцу № 97 в предыдущей группе (вообще № 97 и 95 по всем коэффициентам близки друг к другу). Характерно, что по сравнению с первичной породой коэффициент сиферритизации $SiO_2:Fe_2O_3$ в № 97 увеличивается в 3.5 раза, в то время как в группе плотных разложенных пород он достигает только увеличения в 1.4 раза. Продолжается рост коэффициента гидратации $H_2O:MgO$ (опять-таки за исключением образца № 95) и коэффициента $Fe_2O_3:MgO$, который увеличивается в четыре-пять раз по сравнению с первичной породой в (№ 94 и 67).

Рост Fe_2O_3 продолжается только частично за счет нонтронитизации, так как этот процесс здесь слабо развит. Интересно совпадение степени разложения у образцов № 95 и 97, из которых № 95 находится в 5 м к западу от охристой, кремневой породы № 96, а образец № 97 в 5 м к востоку от нее; разложение по обеим сторонам сильно кремневой породы № 96 шло одинаково интенсивно.

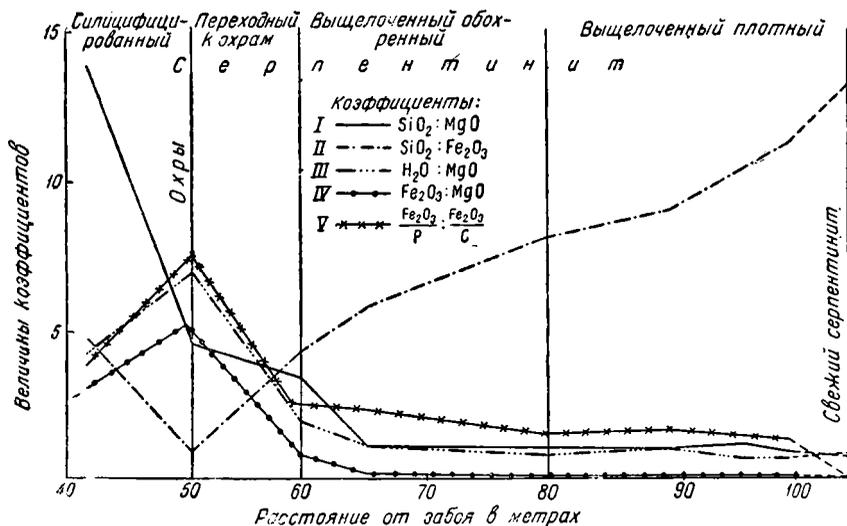
В отличие от образцов № 98 и 99 мы имеем в рассматриваемой группе почти полное выщелачивание карбонатов, и чем интенсивнее продвигается процесс разложения, тем выщелачивание больше (№ 67 содержит следы карбонатов, № 95—0.67% магнезита, № 94—0.58% магнезита).

В группе, переходной к охрам и в группе охр (№ 93, 66, 92) мы имеем резкое снижение содержания MgO и SiO_2 . Так как вынос MgO все же опережает вынос SiO_2 , коэффициенты выщелачивания возрастают. Аналогичные соотношения наблюдаются и для коэффициентов $SiO_2:Fe_2O_3$, которые в № 93

№ образца	Свежий серпентинит	Выщелоченный плотный			Выщелоченный, охристый с сохранением структуры		То же, переходные к конечным продуктам		Охры	Смалцифицированные	
		99	98	97	95	94	93	66		91	96
Рассстояние от устья штольни в м		99.8		89.2	79	65.5	Расщелка	57.9	51.4	41.8	89.0
Коэффициенты: выщелачивания $SiO_2:MgO$ сиферритизации $SiO_2:Fe_2O_3$ гидратации $H_2O:MgO$ разложения $Fe_2O_3:MgO$ ферритизации Fe_2O_3 в руде: Fe_2O_3 в породе	0.71 13.10 0.762 0.055 0.05	0.93 11.10 0.70 0.09 1.30	1.22 8.90 0.73 0.09 1.50	1.01 8.90 0.96 0.10 1.60	1.02 9.90 0.83 1.10 1.50	1.14 5.70 1.09 0.20 2.3	0.92 3.79 1.23 0.25 2.8	3.35 4.2 1.92 0.80 2.50	4.45 0.90 7.00 5.10 7.50	13.80 4.70 4.20 3.00 3.80	18.0 12.5 2.28 1.44 1.96

и 66 оказались даже выше, чем в № 67. Если в образцах глинистых и мягких пород с реликтовой структурой № 93 и 66 трудно предполагать наличие свободного кремнезема и вероятнее присутствие водных силикатов железа, то, наоборот, в образцах окремнелых пород № 91 и 96 мы, несомненно, должны считаться с выносом кремнезема. Образование охры характеризуется резким падением коэффициента $\text{SiO}_2 : \text{Fe}_2\text{O}_3$, т. е. выносом кремнезема, несомненно, связанным с разложением образовавшихся водных силикатов железа образцов типа № 93 и 66, нонtronитов, имеющих здесь временное существование. Естественно, что коэффициенты ферритизации и разложения достигают здесь максимальных величин.

В охристых породах растет количество воды, выделяющейся при прокаливании; характерно большое количество воды, выделяемой при температуре от 100 до 200° и уменьшение количества гигроскопической воды. Это связано с образованием железистых минералов. CaCO_3 здесь отсут-



Фиг. 22. Коэффициенты выветривания в ново-Аккермановском профиле

ствует, сульфаты также. Охра образовалась не путем вытеснения окислами железа карбонатизированных серпентинитов, вынос карбонатов закончился значительно раньше уже в образцах № 95, 94 и 67.

Для окремнелых разностей характерно присутствие окислов железа (31.13% в образце № 91 и 15.62% в образце № 96) и разное отношение к карбонатам: образец № 96 содержит 18.83% карбонатов (из них 90% доломита и 10% кальцита), образец № 91—1% магнетита. Отметим, что в обоих образцах имеется вода, выделяющаяся при температуре выше 200°; ее особенно много в № 91 (4.89%) и немного в № 96—0.8%. Как анализы, так и коэффициенты выветривания показывают, что силицифицированы две разные породы: сильно карбонатизированная в образце № 96 и сильно обохренная в образце № 91.

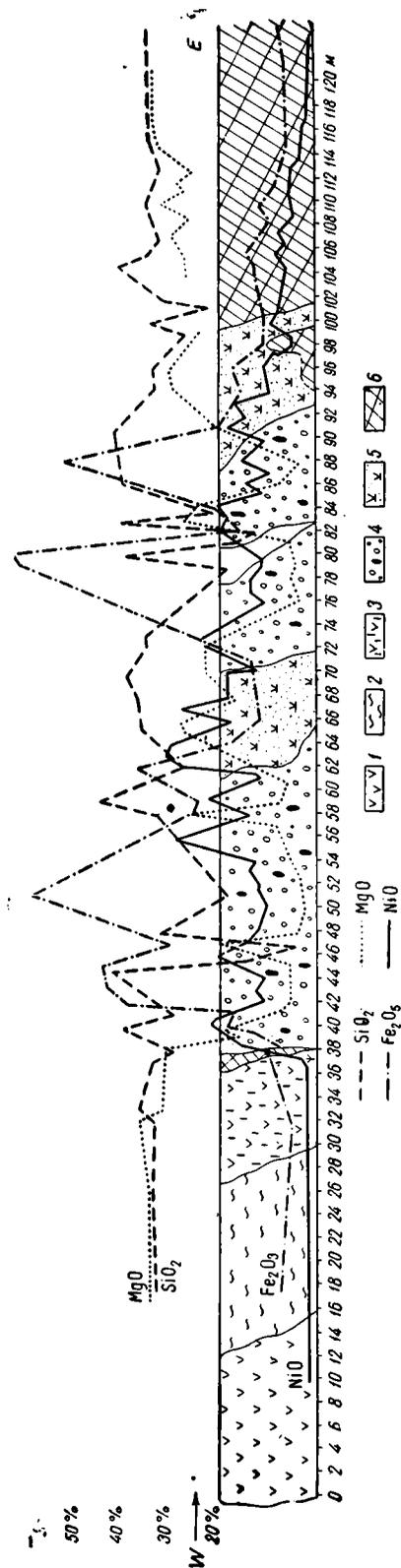
Все вышесказанное иллюстрируется графиком на фиг. 22 (вкрест простирания месторождения). Для более детальной характеристики процесса выветривания разберем поведение отдельных элементов, используя для этой цели многочисленные анализы пород вдоль штольни № 1. На приведенном схематическом разрезе фиг. 23 северной стенки штольни № 1, прорезывающей всю толщу разложенных пород, нами нанесено на ординате содержание NiO , SiO_2 , MgO и Fe_2O_3 , а на

абсциссе — расстояние от устья штольни. Окислы MgO , SiO_2 и Fe_2O_3 нанесены в одном масштабе, а NiO — в другом.

Прежде всего здесь обращает на себя внимание то, что по краям штольни в свежих породах эти кривые идут параллельно абсциссе. Переходя к обожренным серпентинитам, кривая SiO_2 несколько падает, держась на уровне 32—28%; Fe_2O_3 соответственно повышается и компенсирует падение SiO_2 . В зоне побуревших сетчатых серпентинитов начинается уже подъем кривой SiO_2 ; в восточной части она быстро поднимается на отрезке 102—86 м. Если в пределах 98—94 м и 78—60 м Fe_2O_3 и SiO_2 идут как бы параллельно друг другу, то дальше они направляются в противоположные стороны. SiO_2 лишь изредка падает до 6—7%, обыкновенно его бывает здесь не меньше 20%, максимальное же количество его даже в плотных кремневых породах редко поднимается выше 60%.

Случай, когда кривые окислов MgO и SiO_2 не противоположны друг другу, а идут более или менее параллельно, имеют место или в присутствии неразложившегося серпентинита, или в случае новообразования водных магнезиальных силикатов.

Пики взаимно противоположны у кривых Fe_2O_3 и SiO_2 и особенно Fe_2O_3 и MgO : максимуму одной кривой соответствует минимум другой. Кривая Fe_2O_3 нередко поднимается вместе с SiO_2 , хотя и не так резко. Это имеет место в тех случаях, когда кремневые породы образуются из разло-



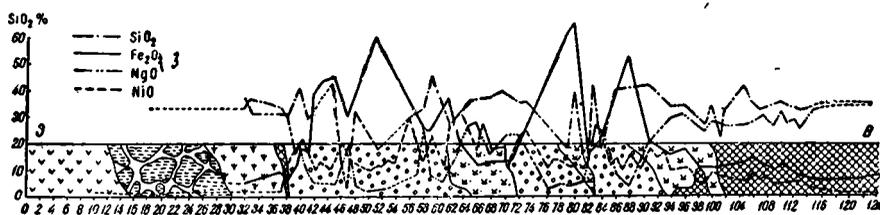
Фиг. 23. Северная стенка штольни № 1. Ново-Аккермановское месторождение

Условные обозначения:

1 — плотный серпентинит, 2 — серпентинит с магнезитом, 3 — серпентинит с керолитом и магнезиальными силикатами, 4 — охристо-кремнистые образования, 5 — серпентинит с кварцевыми включениями, 6 — сетчатый серпентинит

женных в окру пород, в которых MgO интенсивно выщелочен, т. е. когда имеется максимальная пористость. В этом случае происходит скорее „прокремнение“. Прокремнение связано большей частью с краевыми частями охристо-кремнистой зоны или с участками, где были развиты трещины, т. е. с условиями максимальной миграции вод, способствовавшими максимальному выщелачиванию и одновременно внесению SiO_2 . Противоположно направленные пики MgO и Fe_2O_3 при переходе от плотной породы к охристо-кремнистой зоне чрезвычайно ярко выраживаются и характерны для обоих краев штольни. Максимальное содержание Fe_2O_3 доходит до 62%, т. е. почти до той величины, до которой доходит и SiO_2 .

Распределение элементов вдоль штольни № 2 (фиг. 26). Геохимический профиль по штольне № 2 несколько иной. Значительное окремнение отмечается, как и в штольне № 1, в западном контакте охристой кремнистой зоны и карбонатизированных и керолитизированных серпентинитов, но у самого контакта имеется сильно охристая полоса, являющаяся, может быть, результатом позднейшей десилицификации. Отношение между окислами магния и железа остается обычным; взаимно противоположно направлены кривые MgO и Fe_2O_3 , причем кривая MgO резко падает у контактов с охристо-кремнистыми породами. Это дока-



Фиг. 24. Северная стенка штольни № 2. Ново-Акермановское месторождение

зывает интенсивное и длительное действие токов грунтовых вод у этих контактов и подтверждает тектонический (сбросовый) характер последних. На кривой отмечается одновременный вынос окислов кремнезема и окиси магния в западной охристо-кремнистой зоне при параллельном резком увеличении окиси железа. Характерно почти полное исчезновение окиси кальция в охристо-кремнистых зонах.

Параллелизм между MgO и NiO отмечается лишь в восточной полосе охристо-кремнистой зоны, в остальных же случаях, особенно среди сетчатых серпентинитов, линия окиси никеля идет параллельно линии окиси железа. То же, хотя менее резко, наблюдается и на отдельных участках восточной охристо-кремнистой зоны. В первом случае никель связывается с магнезиальными силикатами, и параллелизм его с Fe_2O_3 свидетельствует, что более побуревшие участки были теми, где были больше развиты прожилки с никелевыми силикатами, иначе говоря, побурение шло в участках, наиболее ослабленных в связи с присутствием прожилков (с карбонатами); второй случай свидетельствует о том же процессе, но выраженном еще в большей степени, когда не только гидратация минералов окислов железа, но и само разложение приурочено к этим участкам. Однако здесь же одновременно отмечаются случаи новой концентрации никеля в виде образования в соседстве с контактами никельсодержащих минералов.

Некоторые выводы. Как приведенные диаграммы, так и полевые наблюдения показывают, что основные прожилки с никелевыми силика-

тами даже в охристо-кремнистых полосах образовались до обохривания пород и что конечное разложение пород произошло позднее. Отсюда следует, что процесс охристого выветривания на многих участках охристо-кремнистой зоны наложен на остаточные корни более ранних и более глубоких участков выветривания.

Таким образом, для Аккермановского месторождения характерно: 1) более слабое развитие процессов выветривания, чем в Халиловском или Кемпирсайском районах, с слабым развитием процессов нонtronитизации (см. сравнение коэффициентов выветривания, стр. 82), и 2) молодой характер процессов наложения охристой зоны на корни более древнего выветривания, иначе говоря, возобновление процессов выветривания, которые доуглубились уже в послелюрское время, может быть, до четвертичного включительно.

Поведение никеля. Отмеченный выше параллелизм Ni и Mg не случаен. Вывод, что никель связан с водными силикатами магния, опирается на непосредственные наблюдения никелевых руд в видимых прожилках и на микроскопическое изучение. В тех случаях, когда кривая MgO идет параллельно кривой SiO₂, кривая никеля направлена также параллельно им. Наблюдающиеся случаи расхождения кривых окислов NiO и MgO объясняются высоким содержанием неразложившейся части серпентинита в породе.

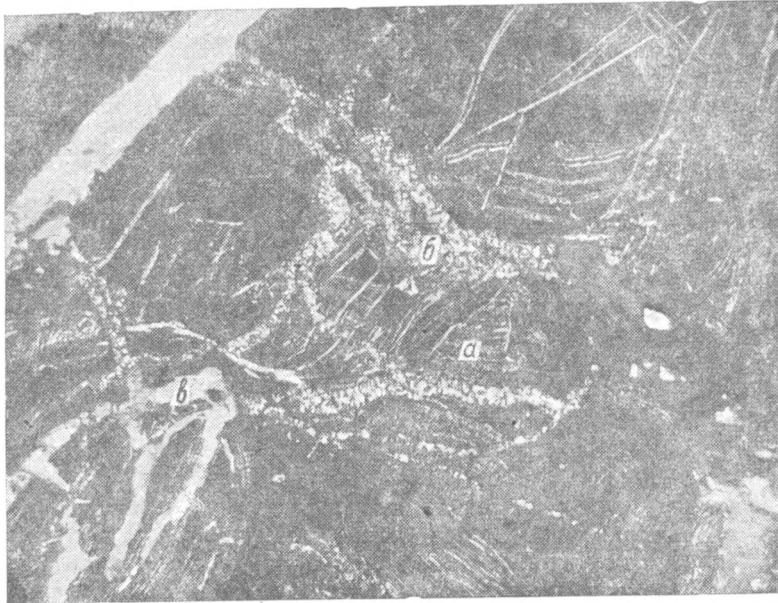
Нельзя не отметить повышения кривой никеля у контакта или вблизи контакта с тектоническими трещинами, иногда вблизи более плотных пород, т. е. в зонах максимальной циркуляции вод. Никель концентрируется почти во всех продуктах выветривания, его концентрация слабее только в кремнелых разностях и отсутствует в магнезитовой зоне.

Приуроченность самого никелевого месторождения к сетчатому серпентиниту не случайна. Она связана не только с тектоническими разломами и подвижками и присутствием трещин, но и с присутствием карбонатной сетчатости. Последняя создает крайне благоприятные условия для выпадения никелевых соединений. Вокруг выщелачиваемых карбонатных прожилков создается щелочная среда, щелочной ореол, необходимый как для выпадения ионов никеля, так и для их фиксации ионами кремнекислоты. Никель является или поглощенным комплексом в халцедоне и кварце, или он вытесняет магний в магниевых силикатах. Никель концентрируется главным образом в результате коагуляции с золями SiO₂ и MgO в соответствующие силикаты, но он же находится также и в виде продуктов адсорбции или в виде коагеля Ni(OH)₂ с гидроокислами железа и с кремнеземом (табл. V, фиг. 17, 18).

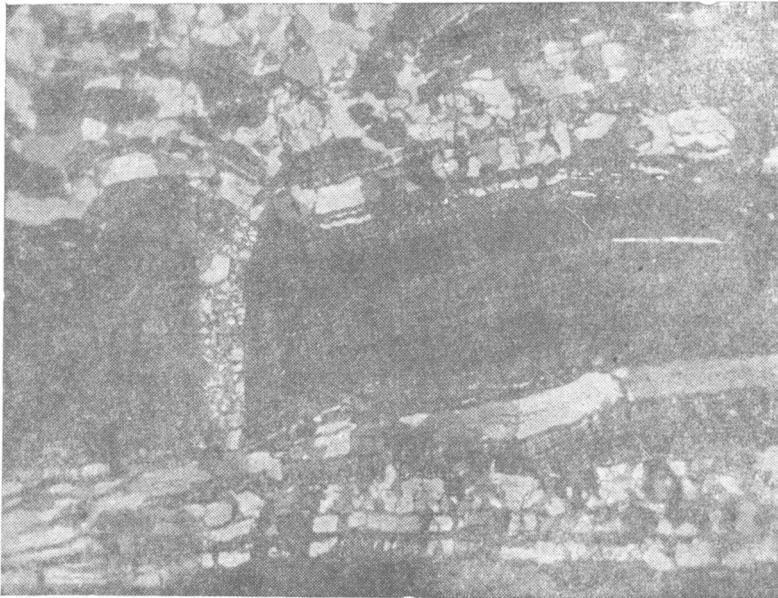
Образование никелевых силикатов и продуктов адсорбции никеля происходило неоднократно. Для Аккермановского района характерны никельсодержащие магнезиальные силикаты (никелевые керолиты) и никелевые силикаты.

С глубиной количество никеля уменьшается и приближается к нормальному содержанию в серпентините, но в силу чрезвычайной трещиноватости серпентинитов Аккермановского месторождения растворы, содержащие никель, проникают гораздо глубже, чем в районах никелевых месторождений типа Халиловского, и концентрация его здесь доходит до больших глубин (до 60 м), чем в Халилове.

Отношение никеля к кобальту. Отношение Ni:Co колеблется в Аккермановке в широких пределах. Для серпентинитов оно составляет от 22:1 до 28:1, те же соотношения остаются и для плотных выщелоченных серпентинитов, бедных никелем; для более богатых никелем продуктов разложения отношение это доходит до 190:1; для охристых мягких пород с реликтовой структурой оно составляет от 30:1 до 97:1; для охр



Фиг. 17. Никелевый минерал гарнирит (а), сечется халцедоном (б) и кварцем (в)



Фиг. 18. Послойное чередование кварца с никелевым минералом гарниритом. Халцедон пересекает гарнирит

мы имеем близкие к нормальным отношения, так же как и для окремнелых пород. Особо значительных концентраций кобальта не наблюдается, а в ряде случаев, особенно в центральных зонах, замечается даже обеднение им. В отличие от никеля кобальт не мигрирует или мигрирует весьма слабо, он концентрируется в верхних горизонтах, будучи часто адсорбирован окислами марганца. Хотя отношение никеля к кобальту в центральных зонах увеличивается, все же абсолютное количество кобальта возрастает всего в 2-3 раза, в то время как содержание никеля возрастает во много раз больше.

Миграция марганца. Одновременно в тех же верхних и наружных зонах происходит увеличение окислов марганца. Оно связано преимущественно с охристыми и выщелоченными серпентинитами, сохранившими реликтовую структуру, с переходными к охрам породами, охрами и окремнелыми серпентинитами. В верхних горизонтах марганца больше, чем в нижних. Он выделяется вдоль стенок трещин, по плоскостям скольжения, на кремнистых образованиях, в ослабленной, доступной проникновению воды и воздуха зоне, вдоль контакта окремнелых пород с охристыми.

Специфические условия месторождения. Кроме охристого и охристо-кремнистого типа в южных участках и в нескольких пунктах 2 участка месторождения, встречаются контонитизированные серпентиниты. Поэтому нельзя рассматривать Аккермановское месторождение (1 и 2 участков) как нечто самостоятельное и независимое от всей остальной коры выветривания района. Надо только обратить внимание на те специфические условия, которые выветривание встретило на отдельных участках месторождения.

Эти специфические условия заключались: 1) в чрезвычайно развитой зоне трещиноватости с многочисленными подвижками, созданными благодаря тектоническим процессам, 2) в наличии карбонатной сетчатости в зоне подвижек, обусловившей здесь щелочную среду. Благодаря первому условию грунтовые воды получили возможность проникать на значительную глубину, уровень грунтовых вод в районе развития тектонических нарушений опускался и одновременно возрастала глубина развития коры выветривания. Максимальная разница уровней от наивысшей точки до ручья Разбойки, дренирующего северные участки месторождения, составляет 50 м, но так как уровень разложения спускается значительно ниже, до 150 м и больше, то естественно предположить, что, кроме уровня ручья Разбойки, имеется или имелся в прошлом уровень дренирования более низкий. В настоящее время этим более низким уровнем может служить уровень р. Урала, который лежит на 20 м ниже наиболее глубокой части зоны разложения в Ново-Аkkerмановском месторождении. Там, где трещины более крутые, охристо-кремнистый горизонт опускается глубже; там же, где они становятся более пологими, этот горизонт выполаживается и принимает ямообразную или карманообразную форму. Крутых трещин больше всего вблизи ручья Разбойки; соответственно глубина разложения здесь наибольшая. К северу от 2-го участка и к западу от 1-го трещины становятся более пологими, глубина разложения уменьшается, и на юге в 5-м участке мы уже встречаемся с контонитами. Наличие карбонатной сетчатости углубляет подобие карстовой формы выветривания. В отдельных случаях наблюдаются явления оседания охристо-кремнистых зон.

Наряду с основными тектоническими подвижками, существовавшими до образования коры выветривания, подвижки имели место и после формирования самого месторождения: на охристо-кремнистых продуктах разрушения отмечаются прекрасные плоскости скольжения; на участках, где

развиты кремневые глыбы, охры принимают полосчатое строение, параллельное контуру кремневых глыб, к которым они были прижаты последующим давлением. Это говорит о возможности мезозойских или более поздних тектонических подвижек. После этого процесс выветривания мог, понятно, возобновиться.

Позднейшие процессы. Более поздние процессы могли наложиться на более ранние. К подобным позднейшим процессам мы относим: 1) обохривание выщелоченных серпентинитов, 2) образование кальцитовых корок, 3) образование магнезиальных коллоидных пленок, 4) адсорбцию никеля магнезиальными пленками, 5) образование марганцевых пленок и продуктов адсорбции кобальта, 6) образование корок халцедона.

Образование месторождения. В новоаккермановском типе на характерных участках не наблюдается типичного халиловского профиля коры выветривания (охры, нонtronиты, выщелоченные породы со всеми подгруппами). Лишь местами на склонах и более пониженных участках, где трещины выполаживаются, аккермановский тип выветривания сходит на-нет и заменяется халиловским; в подобных случаях мы отмечаем кору выветривания, содержащую нонtronиты.

Аккермановская полоса, вызванная тектоническими причинами, существовала еще в доюрскую эпоху, когда высота ее была больше современной. Обилие трещин и смятых зон облегчало приток воды и возможность глубокого ее просачивания. Между „зонами насыщения“ и почвенными горизонтами развивалась мощная промежуточная „зона аэрации“, по сих пор сохранившаяся и прекрасно выраженная на приложенных профилях. Лишь кое-где были небольшие участки подвешенных вод, образовавшихся на отдельных участках слабо разложенных серпентинитов, но их существование было временным. Нонtronит, как длительный промежуточный продукт между выщелоченными серпентинитами и охристыми горизонтами, или совсем не образовался, или его существование было кратковременным, или он оказался представленным слабо нонtronитизированными разностями; нонtronит быстро распадался на кремнезем и гидроокислы железа. Этим объясняется то странное на первый взгляд явление, что даже выщелоченные серпентиниты, представленные охристо-глинистыми продуктами с реликтовой структурой, или плотные выщелоченные серпентиниты при том же содержании MgO , что и в халиловских породах, отличаются относительно небольшим содержанием SiO_2 . Основными отличительными чертами Ново-Аккермановского месторождения, таким образом, являются:

- 1) отсутствие хорошо выраженной нонtronитовой зоны;
- 2) интенсивное развитие окремненных пород;
- 3) присутствие мощной зоны охр с промышленным оруденением;
- 4) значительное количество никельсодержащих халцедонов, вторичных силикатов магния и никелевых силикатов, почти исключительно гарниеритов;
- 5) отсутствие горизонтальной зональности, взамен которой развивается вертикальная вдоль тектонической зоны;
- 6) существование в породе карбонатной сетчатости.

Рудой служат не только охры, но и значительная часть разложенных серпентинитов, содержащих прожилки никелевых минералов.

В зависимости от того, имелись ли слепые или узкие трещины, или более широкие водопроводящие, зависело рН образующихся растворов; в первом случае, при застойной воде, растворы были щелочными и концентрированными, во втором случае — более кислыми и богатыми кислородом. Стенки трещин, попеременно увлажняемые, постепенно

окорковывались кремнеземом, гидросиликатами Ni и Mg, гидроокислами железа и в конце концов закупоривались.

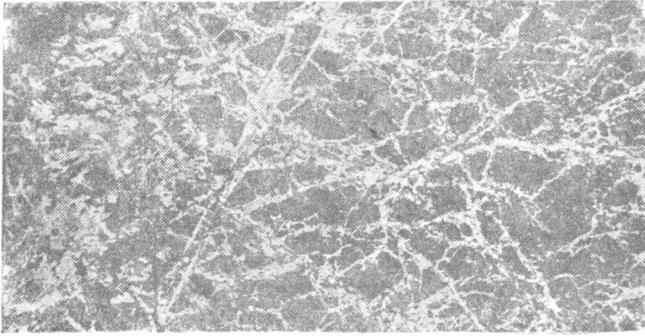
При наличии зоны истечения большой приток воды и более слабое испарение ее в трещинах естественно создавали после выщелачивания карбонатов длительную кислую среду, увеличивавшуюся в своей интенсивности по мере выноса оснований. В этих условиях водные силикаты железа или вовсе не могли возникать, или они имели переходящее существование, или развивались слабо, и зона их развития должна была быть ограниченной; выветривание преимущественно шло в направлении образования обохренных серпентинитов с обильным выделением SiO_2 вдоль трещин. Разложение вдоль многочисленных трещин в зоне смятия и вымывание карбонатов увеличивало трещиноватость и пористость пород. В зоне трещиноватости создавался, таким образом, особый гидрологический режим, но как только трещиноватость ослаблялась или прекращалась, или вертикальные и крутые трещины заменялись более пологими, наступал обычный режим грунтовых вод, свойственный всему району, и образовывался нонтронитовый профиль, который и наблюдается в южной части месторождения (где трещиноватость выполаживается) и в отдельных точках центрального (2-го) участка.

В то время как в верхней или в центральной частях трещин развивалась охристая зона, ниже или по бокам, где основания еще не были вынесены и не были вымыты карбонаты, господствовала щелочная среда, рН которой увеличивалось с глубиной или по мере удаления от оси трещин. При рН 6, 5—7 и до 9, 5 выпадали силикаты никеля, начиная с рН 9 — водные силикаты магния (керолит, сепиолит).

При образовании охр осбождалось большое количество SiO_2 : на каждую частицу MgO — 0,66 SiO_2 , на каждую частицу Fe_2O_3 — 4 части SiO_2 . Миграционная способность SiO_2 ниже, чем магния; SiO_2 выпадал в виде золя или замещал карбонаты прожилков. Минералы SiO_2 выпадали в верхних частях или вблизи стенок трещин, минералы магния — глубже и дальше от этих стенок. В зависимости от того, были ли трещины слепые, узкие или широкие, и как быстро они разрабатывались, находились концентрация растворов и рН. Минералообразующими являлись, понятно, щелочные и концентрированные воды слепых или узких трещин, которые могли по мере разработки их водами многократно раскисляться. Засушливость или влажность климата, естественно, влияли на гидрогеологический режим в трещинах и соответственно на минералообразование в них. Кремнезем вытеснял не только карбонаты, но и силикаты.

При большом числе крутопадающих водопроводящих трещин SiO_2 концентрировался не по горизонтальной поверхности, а в виде отдельных глыб, более или менее наклоненных к горизонту или даже крутых, соответственно путям водопроводящих каналов. Горизонт, до которого развиты крупные глыбы кремня, довольно мощен. Ниже более узкие и тонкие трещинки в слабо разложившей породе уже не давали возможности образоваться крупным глыбам кремня. Окремненные участки преимущественно сосредоточились в области наибольшего развития тектонических нарушений в висячем боку месторождения.

Для Ново-Аккермановки характерно отсутствие хорошо выраженных выделений опала, развитого в виде отдельного горизонта в халидовском типе выветривания. Здесь SiO_2 концентрировалась в виде халцедона и кварца, заполняющих трещины. С глубиной кремнистые образования переходят в кварцевые прожилки среди менее разложивших пород. Замена коллоидной формы SiO_2 в виде опала в нонтронитовом профиле формами криптокристаллического кварца объясняется теми же факторами, которые вызывают образование аналогичных кремневых или квар-



Фиг. 19. Кварц по серпентиниту с сохранением сетчатого строения. $\times 45$, Николи +



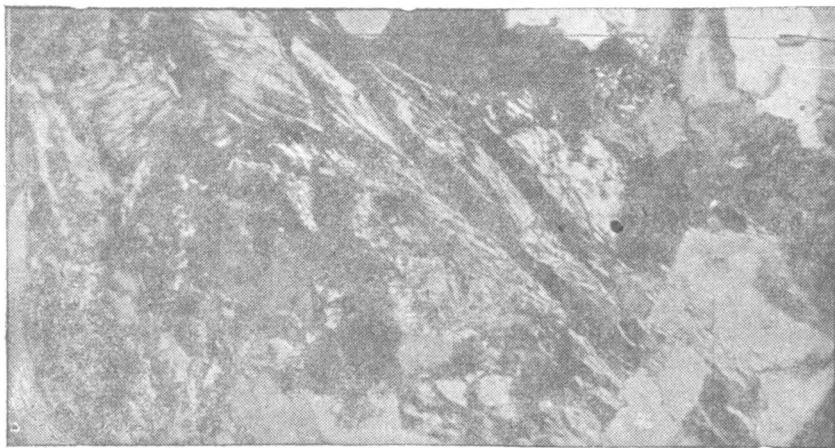
Фиг. 20. Кварц по сепиолиту с сохранением волокнистого строения. $\times 45$, Николи +



Фиг. 21. Халцедон по волокнистому минералу (хризотил-асбесту) $\times 45$. Николи +



Фиг. 22. Никелевый силикат сечет кварц и халцедон. 1. Никелевый силикат. 2. Кварц. $\times 75$, Николи +



Фиг. 23. Никелевые силикаты волокнистого строения замещают халцедон как с периферии, так и в центральных частях. 1 — никелевый силикат, 2 — халцедон. $\times 75$, Николи +

цевых жил и стяжений в никелевых месторождениях, связанных с известняками. Давно уже отмечено, что щелочная среда ведет к образованию халцедона, кварца, кремневых глыб, кислая — опала.

Вместе с остатками SiO_2 вдоль трещинок мигрировали вниз и магний содержащие растворы, образовавшие водные силикаты магния: керолит и сепиолит. Выпадение минералов системы $\text{SiO}_2 + \text{MgO}$, соединение SiO_2 с MgO доломитовых прожилков, замещение и вытеснение кремнеземом доломитовых и хризотиловых прожилков являлись здесь весьма обычными процессами (табл. VII, фиг. 19—21). Развитие водных силикатов магния, в особенности под охристо-кремнистой зоной и в лежащем боку, является характерной чертой Аккермановского месторождения, так же как и некоторых месторождений Среднего Урала. Оно связано с сетчатостью самого серпентинита.

SiO_2 выпадало значительно раньше гарниерита; в более глубоких частях происходило или 1) одновременное выпадение кремнезема и никелевых силикатов, или 2) чередование их, или в отдельных случаях 3) последующий приток никелевых растворов в высохший или еще гелеобразный кремнезем (табл. VI, фиг. 17, 18 и табл. VII, фиг. 22, 23).

Периоды интенсивной миграции водных растворов повторялись многократно.

Формирование Аккермановского месторождения, начавшееся в доюрскую эпоху, продолжалось и после юрского периода. Мы уже указали на тектонические движения, имевшие место и после того, как основная часть аккермановской залежи образовалась. Формирование месторождения продолжалось и в четвертичную эпоху после смыва юрских и меловых отложений. Миграция никеля, кобальта, марганца, кремнезема, магния совершается и по настоящее время. Возобновившийся процесс носит все черты выветривания грунтовыми водами с развитой зоной аэрации. Зона насыщения находится вероятнее всего на уровне р. Урала. Мелководный ручей Разбойка является дренирующим, но не насыщающим уровнем.

Керолитизация на других месторождениях. Интенсивная керолитизация, даже более развитая, чем на Ново-Аkkerмановском месторождении, встречается на Северо-Кротовском и на Кротовском месторождениях Верхне-Уфалейского района. И здесь процессы керолитизации приурочены к ливейному типу коры выветривания, связанной с дизъюнктивной трещиноватостью; вместо прожилков доломита присутствуют глыбы мраморов, более или менее сильно окремненных и впоследствии превращенных в муку (маршаллит). Керолит приурочен к выступам мраморов, он встречается в виде гнезд, пятен и прожилков, обогащен никелем, переходит в гарниерит. В районе д. Липовки (Режевский район) также, встречен в большом количестве керолит. Серпентинит находится здесь в контактах с мраморами и прорезан жилами пегматитов. В малом количестве керолит обнаруживается на многих месторождениях Халиловского и Кемпирсайского серпентинитового массива на Южном Урале и на Елизаветинском месторождении на Среднем Урале.

Г. Сравнение профилей площадного выветривания (нонтронитового) и линейного (новоаккермановского) типов

Сравнивая профили выветривания площадного (нонтронитового, халиловского) и линейного (новоаккермановского) типов, мы можем отметить следующие различия.

Зона охр мощно развита в новоаккермановском, значительно слабее — в халиловском типе. Охры последнего типа менее железисты, и их коэффи-

коэффициент ферритизации (Fe_2O_3 в охре: Fe_2O_3 в породе) обычно не превышает величины 3,0, в то время как в новоаккермановском типе он доходит до 7,5, так что конечный продукт представляет здесь порошковатые железные руды. В охре Ново-Аккермановского месторождения содержание NiO достигает промышленных количеств, и эта охра (№ 92) служит хорошей никелевой рудой; в Халиловском — охра содержит никель ниже кондиции. Коэффициент оруденения (NiO в руде: NiO в породе) для первого до 9-10, для второго до 2,5. Коэффициенты разложения и гидратации в новоаккермановском типе выше, а сиферритизации ниже. Все это указывает на более глубокое разложение породы.

В переходной группе к охрам в охристо-глинистой породе с сохранившейся первичной структурой (№ 93 и 66, стр. 123) в новоаккермановском типе коэффициент выщелачивания (SiO_2 : MgO) ниже, чем в соответствующих группах халиловского профиля, что можно объяснить более слабым выносом магнезия и большей миграционной способностью SiO_2 . Действительно, в халиловском типе SiO_2 связывается с Fe_2O_3 в нонтронит, и поэтому вынос SiO_2 здесь слабее, чем в новоаккермановском типе, где Fe_2O_3 освобождается от SiO_2 уже на ранних стадиях разложения, а MgO лишь частично связывается с SiO_2 в магнезиевые силикаты. Коэффициент сиферритизации SiO_2 : Fe_2O_3 в породах переходной группы к охрам близок к таковому в нонтронитизированных разностях площадного типа, абсолютное количество Fe_2O_3 также весьма близко, но SiO_2 , как мы только что указали, распределено иначе.

Коэффициент разложения Fe_2O_3 : MgO обычно меньше в новоаккермановском типе в связи с меньшей подвижностью MgO . По той же причине запаздывает здесь и коэффициент гидратации. Меньшая же подвижность MgO связана не только с новообразованием водных магнезиевых силикатов, но и с более слабым разложением серпентинита.

В новоаккермановском типе следует остановиться не только на мощной зоне охры, но и на еще более мощной зоне в той или иной мере обохренных разложенных карбонатизированных серпентинитов, содержащих магнезиевые и никелевые силикаты. MgO — SiO_2 в Ново-Аккермановском месторождении в этой зоне ведут себя несколько иначе, чем в Айдербаке: количество освобождающегося SiO_2 здесь больше, чем в Айдербаке, а количество освобождающегося MgO — меньше. Но освобождающийся кремнезем не выносится целиком из зоны выветривания, он мигрирует вдоль трещин, вытесняет карбонаты прожилков, отлагается в виде халцедона или кварца в порах и трещинах и только частично связывается с NiO и MgO . В халиловском типе SiO_2 связывается с Fe_2O_3 и только в зоне охры освобождается от окиси железа.

Образование гидроокислов железа (обохривание) в новоаккермановском типе захватывает недостаточно еще выщелоченные серпентиниты с большим содержанием MgO , в то время как в халиловском типе обохривание наступает позже после фазы образования нонтронитов. Кроме того, обилие прожилков доломита, глубокие зоны разложения, застойный характер вод в слепых трещинах, создают сильно щелочную среду, способствующую коагуляции SiO_2 и MgO в виде силикатов магнезия. Мы не упомянули вторичных процессов выделения кремнезема силикатов никеля, карбонатов и их влияние друг на друга, которое особенно резко проявляется на Ново-Аккермановском месторождении. Выделение SiO_2 происходит в несколько приемов, оно прерывается выделением карбонатов, отчего мы имеем замещение карбонатами кремнезема и, наоборот, разведение кварцем и халцедоном карбонатов, а также цементирование гидроокислов железа кремнеземом и наоборот разведение кремнезема гидроксидами железа (и марганца). Прожилки

кварца и халцедона секут прожилки никелевых силикатов и карбонатов и в свою очередь секутся карбонатами. Даже на обохренных породах образуются карбонаты как одна из последних генераций. В такой сильной степени выраженная частая смена растворов, богатых SiO_2 и CO_2 не встречается ни на Айдербаке, ни на других месторождениях площадного типа.

Несколько сходным с Ново-Аккермановским месторождением является на Среднем Урале Анатолийское, Н.-Тагильского района, где также развиты процессы обохривания, силицификации, образование силикатов никеля и магния и где первичная карбонатная сетчатость отсутствует.

Следует отметить своеобразный тип, образующийся при выветривании серпентинитов под покровом отложений габбро. Продукты выветривания габбро, в том числе карбонаты, мигрируют в серпентинит, отчего, когда начинается выветривание последних, создаются условия, несколько напоминающие обстановку Ново-Аккермановского месторождения, например, усиливается образование никелевых силикатов. Выделения же SiO_2 не происходит или оно имеет слабое развитие, так как обохривание при закрытом типе коры ограниченное.

Однако не следует полагать, что все месторождения линейного типа подобны Ново-Аккермановскому. На Среднем Урале встречаются месторождения линейного типа, где обохривание породы часто охватывает почти всю зону выщелоченных серпентинитов, где карбонаты давно вымыты, а магниевые силикаты развиты слабо, но где силицифицированные части, как более стойкие, хорошо развились и полностью сохранились.

2. Профиль коры выветривания на пироксенитовых и актинолитовых породах

Продукты разложения пироксенитов и актинолитовых пород играют немаловажную роль в строении рудоносной толщи некоторых никелевых месторождений. В большинстве силикатно-никелевых месторождений (Шелектинское, Бурановское и др.) они образуют многочисленные, но небольшие по мощности и по простираюнию тела жиллообразной, штюкверкообразной, гнездовидной и неправильной формы, быстро выклинивающиеся на глубину. Такие разобщенные тела то круто, то полого, но чаще горизонтально залегающие среди ультрабазитов, прослеживаются цепочками в выработках на значительную глубину (фиг. 25).

При выветривании рассматриваемые породы образуют следующий профиль (сверху вниз).

1. Горизонт охр в виде рыхлой, сильно марающей массы красно-желтой или чаще желтой окраски.

2. Горизонт сильно измененных хлоритизированных и нонтронитизированных пород, вверху почти нацело разрушенных. Сложены главным образом из хлоритов, галлуазита и незначительного количества нонтронита. В нижней части, где еще улавливаются слабые признаки первичной текстуры, сохранились реликтовые зерна первичных минералов, причем наблюдается повышенное количество хлорита, нонтронит, галлуазит, карбонаты.

3. На неизмененных породах залегают слабо разложенные (выщелоченные) породы, степень разложения которых убывает сверху вниз. Этот горизонт соответствует зоне выщелоченных ультрабазитов. В составе слабо выщелоченных пород, помимо минералов, характерных для неизмененных пород, установлено присутствие нонтронита, развивающегося главным образом по темноцветным минералам кальцита и бурых гидрокислов железа.

Минералогическая характеристика зон профиля выветривания пироксенитов и количественные изменения в их минералогическом составе приводятся в табл. 18 и на схеме фиг. 26.

Из табл. 18 видно, что минералы неизменных пород постепенно разрушаются и в верхних зонах уже почти полностью отсутствуют. Исключения составляют наиболее стойкие к выветриванию хлориты, сохраняющиеся на всем профиле выветривания, но и они в результате выветривания изменяют свой химический состав.

Таблица 18

Минералогическая характеристика профиля выветривания пироксенитов и актинолитовых пород

Средняя мощность	Наименование зон		Минеральный состав зон
0,5—1 м	Охры		Группа гидроокислов железа, хлориты типа пеннина и клинохлора, галлуазит, продукты разложения хлоритов, минералы SiO_2 .
10—15 м	Сильно разложенные породы	не сохранившие текстуры исходной породы	Первичные минералы присутствуют в виде отдельных реликтовых зерен, за исключением хлоритов (пеннин, клинохлор), которые доминируют. Много галлуазита, бурых гидроокислов железа и нонтронита, а также продуктов разложения хлоритов. Количество карбонатов уменьшается.
		со слабо сохранившейся текстурой исходной породы	Остаются реликты первичных минералов в небольшом количестве, увеличивается количество хлорита, галлуазита, бурых гидроокислов железа, ватем имеется халцедон, небольшое количество арагонита и нонтронит.
5—8 м	Слабо разложенные (выщелоченные) породы с сохранившейся первичной структурой породы		Первичные минералы, слабо выветрелые; появляется нонтронит, галлуазит, бурые окислы железа, карбонаты, халцедон; наблюдается относительное увеличение хлорита.
	Неизменные породы		Преобладают первичные минералы, как моноклинный и ромбический пироксены, серпентин, актинолит, геденбергит, тремолит, пеннин, клинохлор, плагиоклаз, рудные зерна и др.

Разложение пород (их минералов) начинается в местах, наиболее доступных для проникновения грунтовых вод (на стыках зерен, по трещинкам спайности и динамическим трещинам), постепенно захватывая все зерна.

Для пород охарактеризованного профиля (за исключением охр) были сделаны валовые химические анализы, помещенные в табл. 19.

Следует отметить, что образец неизменной породы, взятый на Шелектинском месторождении, по своим минералогическим и химическим

качествам стоит ближе всего к слабо метаморфизованному (актинолитизированному) пироксениту, в то время как два других образца, из Бурановского месторождения, могут быть отнесены к сильно метаморфизованным (актинолитизированным) пироксенитам.

Пересчет анализов на коэффициенты выветривания (табл. 20) наглядно показывает характер разложения пироксенитов и актинолитовых пород в отдельных горизонтах профиля.

Таблица 19

Химический состав пород профиля выветривания пироксенитов

Компоненты	Неизмененные породы, Образец № 2214 (Шелекта)		Слабо разложенные породы (Бурановка)		Сильно разложенные породы (Бурановка)	
	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества
SiO ₂	47.64	0.794	40.50	0.675	41.38	0.689
TiO ₂	0.92	0.011	0.40	0.005	0.40	0.005
Fe ₂ O ₃	1.60	0.010	8.56	0.054	12.48	0.078
Al ₂ O ₃	8.88	0.087	5.94	0.058	16.16	0.159
Cr ₂ O ₃	0.06	—	—	—	—	—
FeO	5.62	0.078	2.16	0.031	0.00	—
MnO	0.24	0.003	0.17	0.003	0.17	0.003
MgO	20.44	0.507	24.64	0.611	8.82	0.218
CaO	10.88	0.180	5.60	0.100	0.56	0.010
CoO	Следы	—	0.01	—	0.02	—
K ₂ O	0.20	0.002	0.72	0.007	0.13	0.001
Na ₂ O	1.51	0.024	0.26	0.004	0.46	0.007
Cl	0.18	0.006	—	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	0.07	—	0.06	—
S	0.00	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	2.27	0.126	7.52	0.417	6.32	0.351
H ₂ O ⁺	0.36	0.020	2.62	0.145	10.78	0.599

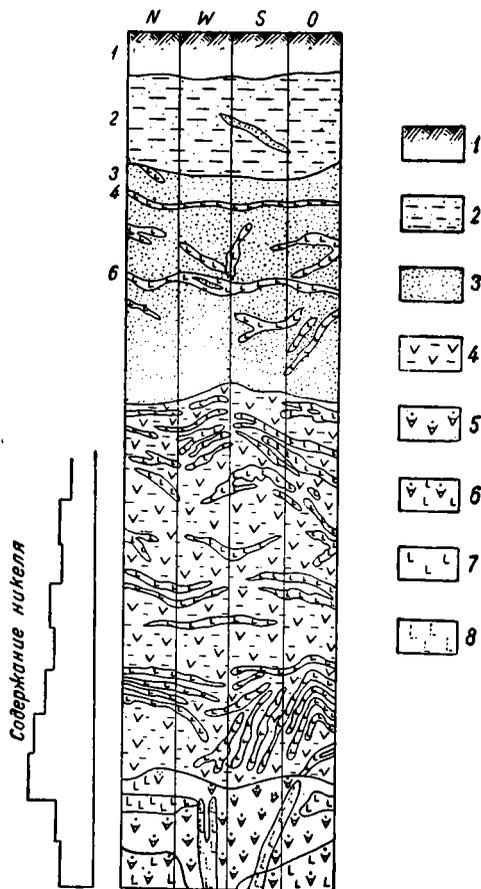
Таблица 20

Коэффициенты выветривания пород пироксенитового профиля

Коэффициенты	Неизмененные породы (Шелекта)	Слабо разложенные породы (Бурановка)	Сильно разложенные породы (Бурановка)
Выщелачивания SiO ₂ : (RO + R ₂ O)	1.11	0.93	2.92
Спалитивации SiO ₂ : Al ₂ O ₃ . . .	9.12	11.64	4.33
Гидратации H ₂ O ⁺ : (RO + R ₂ O) .	0.18	0.59	1.49
Окисления Fe ₂ O ₃ : FeO	0.13	1.74	Очень большой
Оруденения Ni (в руде): Ni (в породе)	—	1	3.7

Как при всяком выветривании основных пород, оно сопровождается выносом кальция и магния, накоплением полуторных окислов железа и алюминия, а также и никеля, и увеличением конституционной воды. Выветривание начинается с перехода закиси железа в окись; по мере разложения (выветривания) породы окисление резко увеличивается и достигает в верхних горизонтах очень больших величин. Коэффициентом гидратации отображено поведение воды в этих породах при их постепенном выветривании. В неизмененных породах величина гидратации очень незначительна, но уже в зоне слабо разложенных пород она увеличивается почти в 4 раза, а в верхней зоне — более чем в 10 раз. Одновременно с окислением и гидратацией начинается процесс выщелачивания, выражающийся в выносе CaO , MgO и щелочей. В табл. 19 эти окислы в промежуточном столбце дают уменьшение по той лишь причине, что мы имеем в различной степени метаморфизованные пироксениты неоднородного состава по кальцию, магнию и алюминию.

Приводимые валовые химические анализы (табл. 19) позволяют утверждать, что в первых стадиях выветривания вынос CaO и MgO идет в пропорциональных количествах, но с усилением процесса выветривания вынос CaO начинает сильно преобладать и окись магния накапливается в более трудно разлагаемых хлоритах, в то время как CaO выносится из легко разлагающихся известково-натровых полевых шпатов. Это подтверждается расчетом молекулярных отношений — отношение $\text{MgO} : \text{CaO}$ в свежей породе равно 2,8, в сильно разложенных же породах достигает 22. Естественно, что одновременно происходит вынос щелочей, хотя в приводимых валовых анализах это обнаруживается не очень резко. Абсолютное количество высокотемпературной воды в новообразованных продуктах останавливается в своем росте, и дальнейшее увеличение гидратации идет преимущественно за счет низкотемпературной воды, благодаря образованию сильно адсорбирующих воду минералов. Поведение глинозема, выраженное коэффициентом сиалитизации, объясняется образованием глиноземсодержащих продуктов выветривания; количество



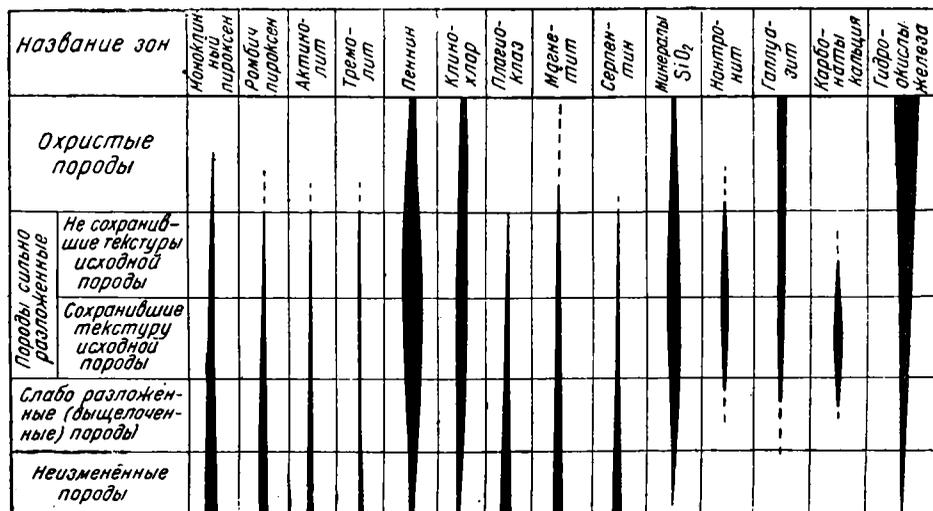
Фиг. 25. Бурановское месторождение. Шурф 1625 (по А. Л. Кацу)

Условные обозначения:

1 — почвенный слой, 2 — обокренные суглинки, 3 — охра бурого цвета с прожилками хлорита, 4 — нонтронитизированные серпентиниты обокренные, 5 — выщелоченный полуразрушенный серпентинит, 6 — выщелоченный опализованный серпентинит с пироксенитом, 7 — прожилки хлоритизированного серпентинита, 8 — прожилки измененного пироксенита

Al_2O_3 в процентном отношении увеличивается при близком процентном содержании SiO_2 . Оруденение закономерно возрастает, снизу вверх.

Некоторое своеобразие в продуктах выветривания зависит здесь от стойкости отдельных минеральных компонентов. Порода содержит в основном амфибол (много), актинолит, хлорит (много), соскюритизированные полевые шпаты (очень мало), роговую обманку. Эти минералы равно относятся к выветриванию, в связи с чем, естественно, наблюдается временное усиление концентрации того или иного минерала в отдельных частях профиля. Так, выделенные из сильно разложившихся пород фракции амфибола и актинолита (представлявшие, естественно,



Фиг. 26. Схема изменения минерального состава зон профиля выветривания пироксенитов

более свежие разности, так как разложившиеся в глину части в эту фракцию не входили) показывают слабые изменения в своем составе. В амфиболах, кроме ясного окисления FeO и небольшого уменьшения CaO , незаметно никаких изменений, в хлорите же отмечаются весьма глубокие изменения, захватившие FeO , MgO , CaO , Al_2O_3 и NiO . Больше всего разлагается пеннин. В качестве одного из продуктов разложения темноцветных минералов появляются нонтронит типа феррибейделлита состава: $0.7 RO : R_2O : 3.11 SiO_2 : 2H_2O^+ + 3.11 H_2O^-$ (см. стр. 106, табл. 28); кроме того, в продуктах разложения обнаружен галлуазит, который мог образоваться как за счет темноцветных минералов или хлорита, так и за счет разложения отдельных зерен плагноклаза. Следует отметить, что минералов кремнезема в выветрелых образцах встречается значительно меньше, чем в плотных, слабо выветрелых, карбонаты же отмечаются часто в виде арагонита. Гидраты окислов железа образуются как за счет гидратации рудных зерен, так главным образом за счет окисления FeO непосредственно в минералах и за счет разложения новообразовавшихся водных силикатов железа. В изученных образцах наиболее интенсивным изменениям подвергся хлорит, в продукте разложения которого отмечается усиление содержания Al_2O_3 , уменьшение MgO и исчезновение CaO ; в других минералах, кроме увеличения Fe_2O_3 за счет окисления закиси

железа, особых изменений на данной стадии их разложения не отмечается. Схема выветривания отдельных минералов в пироксенитовых породах дана в табл. 21.

Таблица 21

Схема выветривания минералов пироксенитовых пород

Первичные минералы	Новообразования в коре выветривания
Моноклинный пироксен	Галлуазит, карбонаты, гидроокислы железа.
Ромбический пироксен	Нонтронит, гидроокислы железа, карбонаты и минералы SiO_2
Актинолит	Нонтронит, галлуазит, карбонаты, гидроокислы железа и минералы SiO_2
Геденбергит	Нонтронит, карбонаты, минералы SiO_2 , гидроокислы железа.
Тремолит	Нонтронит, карбонаты, минералы SiO_2 , гидроокислы железа.
Плагиоклаз	Галлуазит, каолин
Пеннин	Хлориты, обогащенные никелем, гидроокислы железа и карбонаты, галлуазит (?)
Клинохлор	Устойчив в гипергенной зоне, иногда гидроокислы железа.

3. Профиль коры выветривания на породах семейства габбро

Породы семейства габбро в районах развития силикатно-никелевых месторождений на Южном Урале встречаются довольно часто. Несмотря на то, что среди них имеется много разновидностей (габбро, габбро-диабазы, габбро-амфиболиты, диабазы), все они при выветривании дают близкие по минеральному составу продукты разложения.

В общем виде профиль выветривания габброидных пород следующий (сверху вниз):

1. Зона охрупоченных продуктов выветривания, соответствующая зоне охр ультрабазитового профиля.

2. Зона сильно разложенных пород, потерявших полностью первоначальную структуру. Зона хорошо расчленяется на две подзоны:

а) Вверху подзона сильно разложенных продуктов выветривания (галлуазитово-хлоритовая), не сохранившая текстуры первичной породы. В ней наблюдается большое количество бурых гидроокислов железа, интенсивно окрашивающих минералы в бурый тон. Соответствует верхней части нонтронитизированной и нижней части охристой зоны ультрабазитов.

б) Внизу подзона пород, сильно разложенных, но сохранивших текстуру первичной породы. Соответствует нижней части зоны нонтронитизированных ультрабазитов.

3) Зона пород измененных (выщелоченных), но сохранивших структуру исходной породы. Соответствует зоне выщелоченных ультрабазитов.

4. Зона неизменных пород, соответствующая одноименной зоне ультрабазитов.

Мощность всего профиля выветривания, не включая неизменных пород, равна 20—30 м.

Характеристику процессов выветривания на габброидных породах приводим в отдельности для: 1) габбро, 2) габбро-диабазов и 3) габбро-амфиболитов.

А. Выветривание габбро

Габбро и его кора выветривания пользуются большим распространением на Кемпирсайском, Хабарнинском и других массивах Южного Урала. В Бурановском месторождении Кемпирсайского массива габбро имеет полосчатое строение с неравномерным линейным расположением цветных компонентов. В основном порода состоит из плагиоклаза (типа лабрадор-битовнит), моноклинного и ромбического пироксена и роговой обманки. Образцы с глубины 40 м вполне свежи; на глубине 30—35 м заметно уже ясное разложение породы.

Для характеристики профиля выветривания габбро проанализированы четыре образца с Бурановского месторождения, взятые на различных глубинах (табл. 22).

Верхний метр, затронутый современными восстановительными почвенными процессами, отличается увеличенным содержанием карбонатов, накоплением CaO , несколько уменьшенным содержанием Fe_2O_3 за счет FeO и более высокой концентрацией марганца. Если откинуть этот метр, то в остальных анализах мы имеем типичную картину выветривания с обохренной зоной в верхних горизонтах. Одновременно в этих же горизонтах отмечается появление большого количества глинистого вещества. Уже на 17-м метре выветривание габбро сказывается довольно сильно, о чем можно судить по количеству Fe_2O_3 , H_2O^+ и H_2O^- . Аналогично пироксенитам, при выветривании габбро наблюдается интенсивное выщелачивание MgO и CaO , особенно вынос MgO в первой стадии выветривания. Накопление Al_2O_3 связано с образованием минералов типа каолинита или галлуазита.

Коэффициенты выветривания, приведенные в табл. 23, полностью подтверждают сделанные выше выводы. Выщелачивание особенно интенсивно идет до глубины 2 м и замедляется в верхнем горизонте, причем в самом начале вынос CaO идет несколько интенсивнее, чем MgO , в дальнейшем же усиливается вынос MgO . Коэффициент сиалтизации растет до глубины 9 м, коэффициент гидратации, равно как и коэффициент окисления — до 2 м. Увеличение NiO в почвенном горизонте не имеет связи с профилем выветривания и, если не является чисто случайным, то связано с биогенными процессами.

Образование глин уже ясно выражено на 9-м метре, дальше оно резко замедляется, окисление же железа продолжается, хотя на 2-м метре уже отражаются результаты восстановления железа почвенными процессами. Накопления кремнезема, как в пироксенитах, не происходит. Общая качественная и количественная характеристика минерального состава габбро в профиле выветривания дана в табл. 24 и на фиг. 27.

Б. Выветривание габбро-диабазов

Выветривание габбро-диабазов носит обычный для этой группы характер: по мере выветривания пород усиливается их трещиноватость

Химический состав пород профиля выветривания на меланократовом габбро месторождения Бурановка (шахта № 520)

Аналитик Г. В. Переверзев

Компоненты	Образец № 905 из зоны слабо измененных и обожженных пород, глубина 17 м		Образец № 907 из сильно измененных пород, глубина 9 м		Образец № 909 из сильно измененных обожженных пород, глубина 2 м		Образец № 910 из почвенного слоя, глубина 1 м	
	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества
SiO ₂	40.30	0.671	37.04	0.616	33.40	0.556	32.42	0.540
TiO ₂	0.13	0.001	0.35	0.004	0.22	0.003	0.26	0.003
Fe ₂ O ₃	6.30	0.040	21.21	0.133	27.69	0.175	26.33	0.165
Al ₂ O ₃	13.53	0.132	15.77	0.155	16.55	0.163	16.57	0.163
Cr ₂ O ₃	1.09	0.007	0.93	0.006	1.45	0.009	1.53	0.010
FeO	0.60	0.008	0.13	0.002	0.16	0.002	0.59	0.008
MnO	0.32	0.004	0.36	0.005	0.21	0.003	0.78	0.011
MgO	17.02	0.425	3.65	0.091	2.12	0.053	1.22	0.030
CaO	3.42	0.061	0.16	0.003	0.85	0.015	1.64	0.029
CO ₂	0.00	—	0.00	—	0.13	0.003	0.97	0.022
H ₂ O ⁺	7.35	0.408	7.72	0.428	7.71	0.428	8.15	0.453
H ₂ O ⁻	8.47	0.469	10.50	0.583	9.68	0.536	8.86	0.492
CoO	0.016	—	0.046	—	0.027	—	0.17	—

Молекулярное отношение окислов	RO	R ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O
Образец № 905	0.7	0.26	1	0.61
„ № 907	0.15	0.47	1	0.69
„ № 909	0.12	0.61	1	0.77
„ № 910	0.11	0.61	1	0.84

Таблица 23

Коэффициенты выветривания пород профиля габбро в Бурановке

Коэффициенты	Мол. отношения	Глубина 17 м	Глубина 9 м	Глубина 2 м	Глубина 1 м
Выщелачивания	SiO ₂ : (RO + R ₂ O)	1.37	5.90	7.31	7.4
Силитизации	SiO ₂ : Al ₂ O ₃	5.07	3.97	3.41	3.41
Гидратации	H ₂ O ⁺ : (RO + R ₂ O)	0.83	4.0	5.30	2.08
Окисления	Fe ₂ O ₃ : FeO	5.00	66.5	8.75	20.6
Оруденения	Ni (в руде) : Ni (в породе)	1.00	1.43	1.14	2.0

Минералогическая характеристика профиля выветривания габбро

Мощность	Наименование зон		Минеральный состав зоны
0.5—2 м	Охристые породы		Бурые гидроокислы железа преобладают. Из вторичных минералов сохраняются галлуазит, каолинит. Первичные минералы отсутствуют, за исключением несколько выветрелого хлорита.
10—20 м	Породы сильно разложенные	не сохранившие текстуры исходной породы	Первичные минералы, за исключением хлорита, представлены редкими реликтами. К вторичным прибавляется монтмориллонит. Наблюдается резкое увеличение гидроокислов железа.
		сохранившие текстуру первичной породы	Остаются реликты первичных минералов, наблюдается значительное обогащение галлуазитом, каолином и хлоритом. Появляется нонтронит и монтмориллонит. Порода значительно обожрена.
5—10 м	Зона неизменных (выщелоченных) пород, сохранивших структуру первичной породы		Первичные минералы слабо разложены. Появляется галлуазит, порода относительно обогащается хлоритом. Наблюдается появление нонтронита за счет выветривания темноцветных минералов. В трещинах породы появляются карбонаты кальция. Бурые окислы железа слабо развиты. Небольшое количество галлуазита, каолина.
Неизменные породы			Пироксен, роговая обманка, актинолит, титанит, апатит, хлорит, серицит, эпидот, цоизит, магнетит и др.

и обожренность по трещинам, а в верхних зонах происходит увеличение содержания хлорита и появление во все возрастающих количествах глинистых минералов (главным образом галлуазита, а иногда и монтмориллонита), развивающихся по темноцветным компонентам и по плагиоклазу; реликты их среди новообразовавшихся продуктов указывают на источник происхождения последних. Химические процессы изменения пород на примере разложения габбро-диабазов Шелектинского месторождения представлены в табл. 25. Характер выветривания обычный: очень сильное увеличение содержания Fe_2O_3 за счет окисления FeO , увеличение Al_2O_3 и H_2O , вынос щелочей и щелочных земель, незначительный первоначально рост содержания TiO_2 , который в охристой зоне сменяется резким уменьшением. В охристой зоне отмечается также вынос MnO . Соотношение $CaO : MgO$, равное в свежей породе 1.6 в конечном продукте разложения, составляет 0.4; CaO выносится не только раньше, но и интенсивнее, чем MgO (см. стр. 106). Увеличивается кверху количество гидроокислов железа, что связано с продолжающимся интенсивным разложением темноцветных составляющих и возможных промежуточных минералов, как, например, нонтронита. Количество Cr_2O_3 не меняется;

Химический состав пород профиля выветривания габбро-диабазов Шелекты (шахта № 142)

Компоненты	Слабо разложенный габбро-диабаз Образец № 2188, глубина 13.5 м		Сильно разложенный каолинизированный габбро-диабаз Образец № 2190, глубина 8—9 м		Сильно разложенный, ожеженный и каоли- низированный габбро- диабаз. Образец № 2189, глубина 1—2 м	
	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества
SiO ₂	50.56	0.842	46.30	0.771	39.68	0.660
TiO ₂	1.24	0.015	1.43	0.018	0.19	0.003
Fe ₂ O ₃	5.71	0.036	15.64	0.098	19.12	0.120
FeO	7.20	0.100	0.42	0.006	0.84	0.012
Al ₂ O ₃	14.60	0.143	15.46	0.151	23.64	0.231
MnO	0.15	0.002	0.14	0.002	0.06	0.008
MgO	5.38	0.133	3.77	0.094	1.38	0.034
C	8.80	0.157	1.27	0.022	0.80	0.014
Cr ₂ O ₃	0.05	—	0.08	—	0.05	—
H ₂ O ⁺	2.20	0.122	7.28	0.404	10.00	0.551
H ₂ O ⁻	1.20	0.067	7.25	0.403	3.42	0.190
CaO	0.00	—	0.02	—	0.00	—
P ₂ O ₅	0.11	0.001	0.11	0.001	0.12	0.001
NaCl + KCl	—	—	0.44	—	1.30	—
Na ₂ O	2.63	0.042	—	—	—	—
K ₂ O	0.41	0.004	—	—	—	—
отеря при прокали- вании	3.31	—	14.58	—	14.37	—

содержание NiO в горизонтах с сохранившейся структурой несколько увеличивается, но затем в верхних горизонтах охр падает. Не наблюдается и накопления кобальта. Повидимому, часть Fe₂O₃, TiO₂, MnO (и, возможно, CaO) восстанавливается почвенными горизонтами и выносятся.

Коэффициенты выветривания наглядно показывают характер процессов (табл. 26).

Таблица 26

Коэффициенты выветривания пород профиля габбро-диабазы в Шелекте

Коэффициенты	Глубина 13.5 м	Глубина 8—9 м	Глубина 1—2 м
Выщелачивания SiO ₂ : (RO + R ₂ O) . . .	2.50	6.12	11.6
Сиадитизации SiO ₂ : Al ₂ O ₃	5.88	5.10	1.85
Гидратации H ₂ O ⁺ : (RO + R ₂ O)	0.36	3.20	9.66
Окисления Fe ₂ O ₃ : FeO	0.36	16.33	10.00
Оруденения Ni (в руде) : Ni (в породе) .	1.00	4.00	0.5

В состав габбро-диабазов Шелекты входят: лабрадор, частично сосюритизированный, пироксен, роговая обманка, актинолит, хлорит. Выветривание начинается с разложения плагиоклаза; в то время когда плагиоклазы уже разрушены, пироксен и роговые обманки еще сохраняются, чем и объясняются упомянутые отношения CaO и MgO в продуктах разложения. Среди габбро-диабазов встречаются жилки зеленого

МОНТМОРИЛЛОНИТА; по тонким прожилкам и плоскостям отдельности выделяются марганцевые окислы с очень небольшим содержанием кобальта.

Изменение минерального состава габбро-диабазов в профиле сведено в табл. 27 и фиг. 28

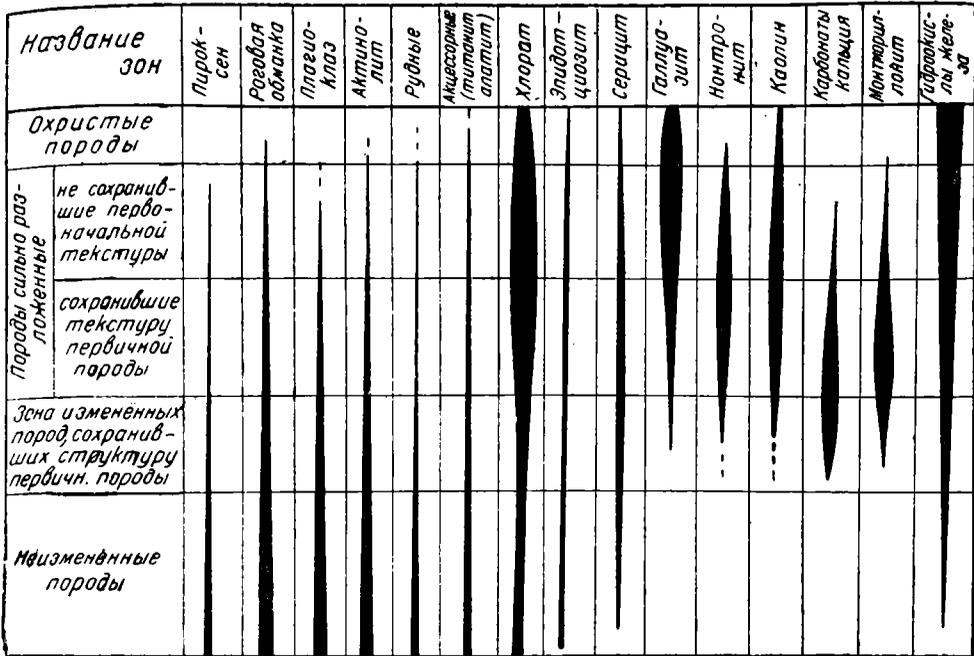
Таблица 27

Минералогическая характеристика профиля выветривания габбро-диабазов

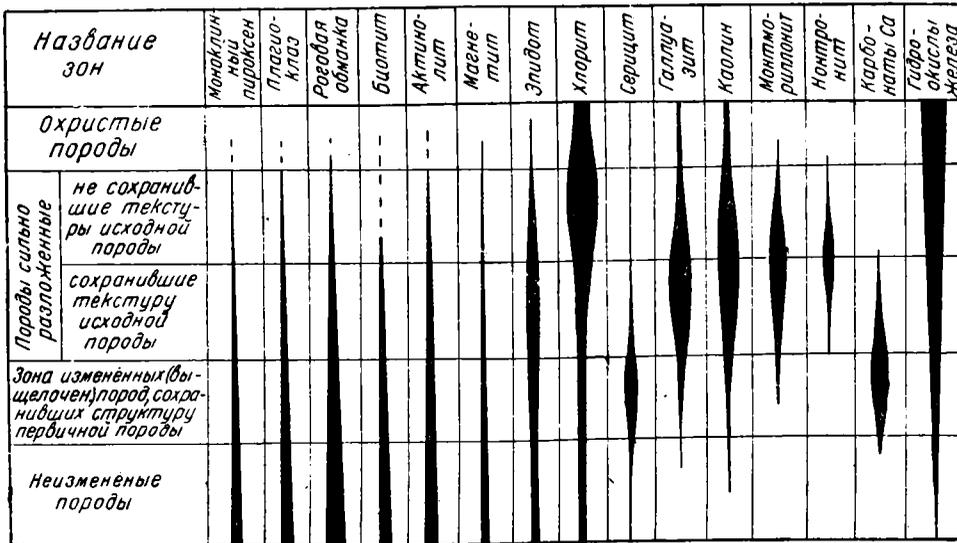
Наименование зон		Минеральный состав зон
Охристые породы		Бурые гидроокислы железа преобладают, много хлорита, галлуазита и ожезненного монтмориллонита, каолинит.
Породы сильно разложившиеся	не сохранившие текстуры исходной породы	Первичных минералов почти нет; преобладают галлуазит, хлорит, монтмориллонит и бурые гидроокислы железа; нонтронит в тех же количествах, что и в нижележащем горизонте.
	сохранившие текстуру первичной породы	Остаются реликты первичных минералов, увеличивается количество хлорита, монтмориллонита. Галлуазит преобладает. Появляется нонтронит и каолинит. Бурые гидроокислы железа присутствуют в небольшом количестве.
Зона пород измененных, (выщелоченных), но сохранивших структуру первичной породы		Большое количество первичных минералов, относительно устойчивых к выветриванию в этой зоне. Появляются галлуазит и монтмориллонит и относительно увеличивается количество хлорита. Бурые гидроокислы железа имеют слабое развитие.
Неизменные породы		Моноклинный пироксен, плагиоклаз, роговая обманка, биотит, хлорит, актинолит, серицит, магнетит, эпидот и др.

В. Выветривание габбро-амфиболитов

Характер выветривания габбро-амфиболитов тот же, что и у габбро-диабазов. Продукты выветривания их сильно развиты на Западно-Кемпирсайском месторождении, где на глубине 27 м местами еще не были достигнуты плотные неизменные породы. Среди разложенных пород здесь можно различать два типа: нормально разложенные и силицифицированные. Свежие габбро-амфиболиты состоят из зеленой и бесцветной роговой обманки, моноклинного пироксена, плагиоклаза типа лабрадор-битовнита, зеленой шпинели, зерен апатита, листочков серицита и хлорита. Плагиоклазы часто сильно сосюритизированы. Роговая обманка испещрена сложной сеткой трещин, по которым развивается хлорит. При выветривании лейкократовая часть породы дает преимущественно галлуазит и каолинит (накрит), а меланократовая — нонтронит, хлорит и окислы железа (табл. 32). Соответственно при выветривании западно-кемпирсайских габбро-амфиболитов получаются разные продукты, в зависимости от того, какая минеральная составная часть преобладает в породе —



Фиг. 27. Схема изменения минерального состава зон профиля выветривания габбро



Фиг. 28. Схема изменения минерального состава зон профиля выветривания габбро-диабазов

Химический состав габбро-амфиболитов и продуктов их выветривания

Компоненты	I Мало измененный габбро-амфиболит. Образец № 3372		II Габбро-амфиболит средней разложенности. Шурф № 3, образец № 3125		III Сильно разложенный габбро-амфиболит (зеленые продукты). Дудка № 8, глубина 2—3 м		IV Плагиоклаз, выделенный из мало измененных амфиболитов. Образец № 3372		V Галлуазит из габбро-амфиболита средней разложенности. Шурф № 3, образец № 3125, фр. В		VI Накрит, выделенный из габбро-амфиболита средней разложенности. Дудка № 313, образ. № 3111		VII Роговая обманка, выделенная из габбро-амфиболита. Образец № 33722, фр. Е		VIII Актинолит из габбро-амфиболита средней разложенности. Шурф № 3, образец № 3125, фр. А		X Нонтронит, развитый по габбро-амфиболитам			
	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества	вес, %	молекулярные количества
SiO ₂	37.25	0.621	44.50	0.741	35.64	0.594	42.03	0.702	42.62	0.710	42.96	0.716	46.46	0.774	48.85	0.814	42.42	0.707		
TiO ₂	0.09	0.001	0.13	0.002	0.12	0.001	—	—	0.00	—	—	—	0.00	—	0.00	—	Нет	—		
Fe ₂ O ₃	4.30	0.027	3.64	0.023	19.53	0.122	0.35	0.002	0.54	0.003	1.60	0.010	2.21	0.014	4.84	0.030	15.35	0.096		
Al ₂ O ₃	20.89	0.205	23.70	0.232	14.04	0.137	37.06	0.363	39.52	0.387	38.56	0.378	15.16	0.148	11.49	0.113	9.54	0.093		
C ₂ O ₃	0.04	0.000	0.31	0.002	1.87	0.012	—	—	Сл.	—	0.00	—	0.22	0.001	0.24	0.002	0.60	0.004		
FeO	2.18	0.030	2.28	0.033	1.03	0.014	—	—	0.14	0.002	—	—	2.17	0.030	1.77	0.024	0.41	0.006		
MnO	0.09	0.001	0.15	0.002	0.66	0.009	—	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	Нет	—		
MgO	14.01	0.347	7.41	0.183	9.35	0.232	0.48	0.012	0.98	0.024	0.29	0.007	23.14	0.574	18.03	0.447	5.27	0.130		
CaO	14.60	0.260	5.50	0.098	1.23	0.022	18.05	0.322	0.05	0.001	0.61	0.011	8.20	0.146	12.00	0.214	Нет	—		
CoO	0.00	—	0.00	—	0.08	0.001	—	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	Нет	—		
NiO	0.06	0.001	0.27	0.003	1.75	0.023	—	—	0.16	0.002	0.10	0.001	0.19	0.003	0.20	0.003	1.84	0.024		
K ₂ O	0.16	0.002	—	—	—	—	0.19	0.002	—	—	—	—	0.24	0.003	0.28	0.003	Нет	—		
Na ₂ O	0.58	0.010	—	—	—	—	0.23	0.003	—	—	—	—	0.79	0.012	1.44	0.023	0.32	0.005		
Cl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
P ₂ O ₅	—	—	0.10	0.001	0.06	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
SO ₃	—	—	0.50	0.006	0.25	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
H ₂ O ⁺	6.25	0.345	7.45	0.414	5.72	0.318	2.00	0.111	12.17	0.676	13.76	0.764	1.18	0.066	0.61	0.034	6.48	0.360		
H ₂ O ⁻¹⁰⁰	0.10	0.006	4.20	0.233	8.98	0.499	0.20	0.011	4.08	0.227	2.74	0.152	0.24	0.013	0.31	0.017	17.04	0.947		
H ₂ O ⁻²⁰⁰	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.85	0.047	—	—	—	—	3.28	0.182		
	100.60		100.14		100.31		100.65		100.26		99.77		100.20		100.06		99.27			

меланократовая или лейкократовая. В полосчатых и дифференцированных габбро-амфиболитах на разных участках преобладают разные продукты.

В продуктах темноцветных участков породы (табл. 28—VII, VIII и IX), помимо железистых минералов — нонтронита и гидроокислов железа, в большом количестве имеются MgO и низкотемпературная вода, происходят также небольшое накопление никеля, в связи с образованием из актинолитов и ромбических пироксенов никельсодержащего нонтронита (феррибейделлита), а из хлоритов (пеннинов) — их никелевых разновидностей. Никель концентрируется, следовательно, в нонтронитах и немного в хлоритах и других продуктах разложения. Разложение лейкократовой части (табл. 28 — IV, V и VI), сопровождающееся образованием галлуазита и каолинита, ведет в связи с этим к увеличению содержания высокотемпературной воды и к некоторой концентрации никеля в минералах глинозема. Cr_2O_3 , повидимому, вообще не накапливается в новообразованных минералах, нет или почти нет его также и в хлоритах; TiO_2 , повидимому, разделяет судьбу Al_2O_3 , — оба накапливаются в глинистых продуктах разложения. Марганец не концентрируется в новообразованных минералах, а образует самостоятельные минералы (вады и псиломеланы) или выпадает вместе с гидроокислами железа. Кобальт также не входит в другие минералы, а разделяет судьбу MnO и частично Fe_2O_3 .

Ход процесса выветривания габбро-амфиболитов иллюстрируется анализами табл. 28 и коэффициентами выветривания табл. 29.

Характерен коэффициент окисления, показывающий, что в зеленых продуктах выветривания $Fe_2O_3:FeO$ увеличивается почти в 10 раз по сравнению со свежей породой, в то время как $SiO_2:(RO + R_2O)$ и коэффициент гидратации увеличиваются всего в 2 раза, а коэффициент сиалитизации $SiO_2:Al_2O_3$ в 1,5 раза. Таким образом, процесс накопления Fe_2O_3 в виде гидроокислов и водных силикатов железа преобладает над процессом сиалитизации. Причины неравномерной направленности процесса вскрываются при разборе анализов меланократовой части (табл. 28 — VII, VIII и IX), с одной стороны, и лейкократовой (IV, V и VI) — с другой. Первые дают следующие коэффициенты выветривания (табл. 30).

Роговая обманка из среднеразложенной части, кроме коэффициента окисления, не показывает значительных изменений в своем составе, нонтронит же свидетельствует о глубоком изменении, происшедшем с роговой обманкой. Таким образом, мы имеем подтверждение того, что процесс выветривания в цветных минералах действительно идет преимущественно за счет нонтронитизации. Однако сравнение коэффициентов оруденения и выщелачивания (табл. 29, 30) показывает, что, кроме нонтронитизации, должны быть еще и другие причины роста этих коэффициентов. Таковой является образование никелевых хлоритов и гидроокислов железа, как это видно из следующих молекулярных отношений основных элементов в свежем хлорите и в частично разложенном.

	MgO	H_2O^+	NiO	MgO : NiO
Свежий хлорит	0.773	0.598	0.05	0.157
Частично разложенный . . .	0.546	0.794	0.68	0.008

При относительно небольшом уменьшении содержания MgO при выветривании хлоритов и таком же небольшом увеличении количества H_2O содержание NiO увеличилось в никелевом хлорите по сравнению с нормальным содержанием более чем в 30 раз.

Совсем иную картину дает выветривание лейкократовой части (табл. 28—IV, V и VI и табл. 31).

Ни в одном из наших анализов коэффициент выщелачивания не достигал такой величины, как при выветривании плагиоклаза; в то время как

Таблица 29

**Коэффициенты выветривания пород
габбро-амфиболитового профиля**

Коэффициенты	Слабо раз- ложенный габбро- амфиболит. Обр. № 3372	Средне раз- ложенный габбро- амфиболит Шурф № 3, обр. № 3125	Сильно раз- ложенный габбро- амфиболит, глав- ным образом темноцветной части
	I	II	III
Выщелачивания $\text{SiO}_2 : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$	1.0	2.6	2.1
Сиаитизации $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$	3.0	3.2	4.3
Гидратации $\text{H}_2\text{O} : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$	0.55	1.4	1.1
Окисления $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{FeO}$	0.9	0.7	8.7
Оруденения Ni (в руде) : Ni (в породе)	1.0	4.5	29.2

Таблица 30

**Коэффициенты выветривания меланократовой части
габбро-амфиболитов**

Коэффициенты	Роговая обмен- ка из свежей породы	Роговая обмен- ка из средне- разложной породы	Нонгронит
Выщелачивания $\text{SiO}_2 : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$.	1.05	1.2	4.4
Сиаитизации $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$	5.23	7.2	7.6
Гидратации $\text{H}_2\text{O} : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$. . .	0.09	0.05	2.25
Окисления $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$	0.5	1.25	16.0
Оруденения Ni (в разложной по- роде) : Ni (в свежей породе)	1.0	1.0	9.7

коэффициент сиаитизации $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ совсем не изменялся, коэффициент гидратации увеличился в 8—13 раз. Весь процесс свелся к выщелачиванию $\text{RO} + \text{R}_2\text{O}$ и гидратации полученных продуктов.

Изменения минерального состава габбро-амфиболитов в профиле по вертикали сведены в табл. 32 и на фиг. 29.

Таблица 31

Коэффициенты выветривания лейкократовой части габбро-амфиболитов

Коэффициенты	Плагио- клаз	Галлу- азит	Накрит
Выщелачивания $\text{SiO}_2 : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$. .	2.1	26.3	37.7
Силитизации $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$	1.9	1.8	1.9
Гидратации $\text{H}_2\text{O} : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$. . .	0.32	25.0	40.2
Оруденения Ni (в разложенной породе); Ni (в свежей породе) . . .	—	—	—
Окисления $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{FeO}$	—	—	—

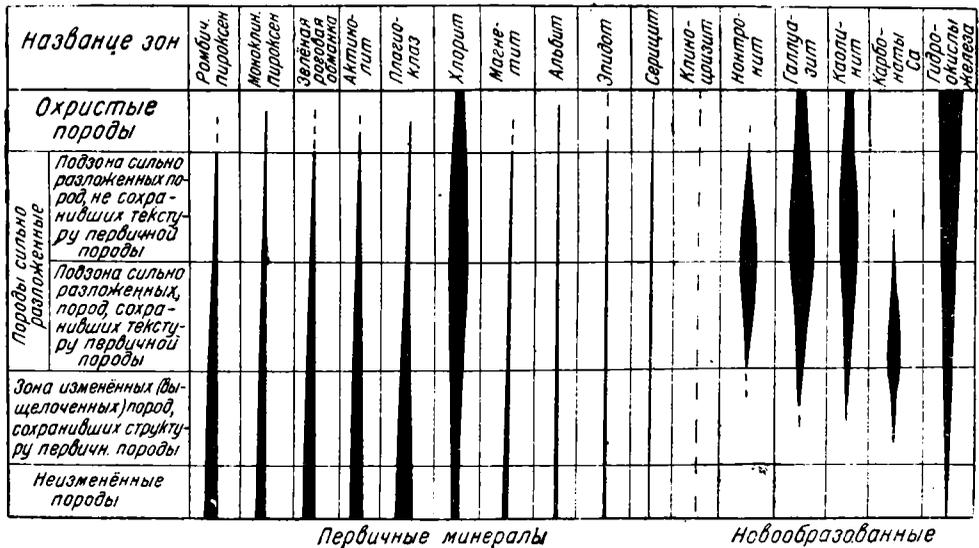
Таблица 32

Изменения минерального состава габбро-амфиболитов

Наименование зон	Минеральный состав зон
Охристые породы	Бурые гидроокислы железа доминируют. Встречается галлуазит, каолинит и хлорит. Небольшое количество нонтронита в нижней части зоны.
Породы сильно разложенные, потерявшие частично или полностью текстуру первичной породы	Количество реликтов первичных минералов резко уменьшается, доминируют новообразованные минералы коры выветривания. Относительно большое увеличение хлорита.
	Реликты первичных минералов сохраняются, количество галлуазита и хлорита резко увеличивается, появляется большое количество каолинита, нонтронита. Наблюдается резкое увеличение содержания гидроокислов железа; количество карбонатов уменьшается.
Зона измененных пород, сохранивших первичную структуру (выщелоченных)	Первичные минералы, довольно свежие, появляется галлуазит, каолинит, наблюдается обогащение хлоритом. Пироксен частично нонтронитизирован. Встречаются карбонаты кальция (кальцит, реже арагонит); обожривание породы слабое.
Неизмененные породы	Моноклинный пироксен, ромбический пироксен, роговая обманка, актинолит, плагиоклаз, серицит, альбит, эпидот, клиноцоизит, хлорит, магнетит, небольшое количество бурых окислов железа.

Схема выветривания главных минералов представляется нам в следующем виде:

Моноклинный пироксен	Карбонаты Ca и Mg Галлуазит Минералы кремнезема Бурые гидроокислы железа Монтмориллонит Бейделлит
Ромбический пироксен	Нонтронит → бурые окислы железа Минералы кремнезема Карбонаты Бурые гидроокислы железа
Активолит	Галлуазит Карбонаты Ca и Mg Бурые гидроокислы железа Нонтронит → бурые гидроокислы железа Минералы кремнезема Монтмориллонит Бейделлит
Плагиоклаз	Галлуазит Каолин Монтмориллонит Бейделлит
Хлорит	Никелевый хлорит → бурые гидроокислы железа Галлуазит Бурые гидроокислы железа



Фиг. 29. Схема изменения минерального состава габбро-амфиболитов

Какие из указанных минералов образуются, зависит от того, в какой части профиля выветривания очутился тот или иной минерал, в каких условиях шло выветривание и имели ли место последующие процессы наложения (в частности это относится к минералам глин).

Выветривание габбро-амфиболитов в направлении получения окремненных и обохренно-окремненных продуктов не имеет широкого распространения, но все же кое-где встречается, например, на Западно-Кемпир-

Общая минералогическая характеристика зон профиля выветривания пород семейства габбро

Наименование зон	Минеральный состав зон				
	Габбро-амфиболиты	Габбро	Габбро-диабазы	Диабазы	
Охристые породы	Бурые окислы железа доминируют. Галлуазит, хлорит.	Бурые окислы железа доминируют. Из вторичных минералов сохраняются хлорит, галлуазит, каолинит.	Бурые окислы железа доминируют. Много хлорита, галлуазита, ожелезненного монтмориллонита и каолинит.	Бурые окислы железа доминируют. Галлуазит, хлорит, каолинит.	
Породы слабо разложены, потерявшие частично или полностью структуру первичной породы.	Подзона сильно разложённых разностей, не сохранившая текстуры исходной породы	Первичные минералы отсутствуют. Преобладают галлуазит, хлорит, каолинит.	Первичные минералы отсутствуют. К вторичным прибавляется еще монтмориллонит и резко увеличивается количество бурых окислов железа.	Первичных минералов почти нет. Доминируют галлуазит, хлорит, монтмориллонит и бурые окислы железа. Остается нонтронит в тех же количествах.	Первичных минералов много. Много галлуазита, хлорита, нонтронита, каолинита, монтмориллонита, а также бурых окислов железа.
	Подзона сильно разложённых разностей сохранившая текстуру первичной породы	Реликты первичных минералов сохраняются, количество галлуазита и хлорита резко увеличивается, появляются каолинит, нонтронит. Резкое увеличение содержания бурых окислов железа.	Остаются реликты первичных минералов; значительное обогащение галлуазитом и относительное хлоритом. Появляется каолинит, нонтронит, иногда монтмориллонит, бурые окислы железа.	Остаются реликты первичных минералов, увеличивается количество хлорита, монтмориллонита, галлуазита. Появляются нонтронит, каолинит, бурые окислы железа.	Реликты первичных минералов остаются. Много галлуазита, хлорита и бурых окислов железа.
Зона измененных пород, сохранивших первичную структуру (выщелоченных)	Первичные минералы слабо выветрели. Появление галлуазита, обогащение хлоритом, начало нонтронитизации. Значительное количество бурых окислов железа, карбоната Са, появляется местами горизонт арагонита.	Первичные минералы слабо разложены. Появляется галлуазит. Наблюдается относительное обогащение хлоритом. Слабая нонтронитизация темновыцветных минералов. Бурые окислы железа. Карбонаты Са.	Первичные минералы, слабо выветрелые, сохраняются. Появляются галлуазит, монтмориллонит и относительно увеличивается количество хлорита и бурых окислов железа; карбонаты Са.	Первичные минералы слабо разложены. Появляются галлуазит, нонтронит. Относительно увеличивается количество хлорита, появляются бурые окислы железа и карбонаты.	
Неизмененные породы	Моноклинный пироксен, роговая обманка, плагиоклаз, серицит, альбит, эпидот, клинодоизит, хлорит, магнетит, бурые окислы железа.	Пироксен, роговая обманка, актинолит, титанит, апатит, хлорит, серицит, эпидот, доизит, магнетит.	Моноклинный пироксен, плагиоклаз, роговая обманка, биотит, хлорит, актинолит, серицит, магнетит, эпидот.	Пироксен, актинолит, плагиоклаз, тремолит, хлорит, эпидот, серицит, магнетит, титанит и др.	

сайском месторождении, где силицифицированные габбро-амфиболиты залегают в виде небольших нашлапок на нонtronитизированных и хлоритизированных габбро-амфиболитах. В отличие от силицифицированных гипобазитов они отличаются отсутствием ячеистости.

Г. Общая минералогическая характеристика профиля выветривания пород семейства габбро

Как видно из таблицы 33, минеральный состав отдельных разностей пород семейства габбро в различных зонах профиля выветривания близок между собой. Процессы преобразования первичных минералов протекают постепенно, и только в галлуазито-каолинитово-хлоритовой подзоне первичные минералы более длительно представлены отдельными реликтовыми зернами. Дольше других первичных минералов сохраняется часть хлоритов, как наиболее трудно поддающихся выветриванию, отчего относительное количество хлорита в верхних зонах резко увеличивается.

4. Выветривание кварцитовых, яшмовых, кварцито-глинистых и кварцито-серицитовых сланцев

Кора выветривания на кремнистых, кварцитовых, хлорито-кварцитовых, кварцито-серицитовых и яшмовых породах пользуется на Южном Урале большим развитием, поскольку этими породами метаморфической свиты М (кембрий, силур и девон) слагаются значительные полосы возвышенных частей территории. Там, где они непосредственно выходят на поверхность, они подвержены процессам выветривания; продукты выветривания этих пород находятся также под защитным покровом мезо-кайнозойских отложений. Промышленным значением пользуются на Южном Урале марганцевые месторождения на головах яшмовых сланцев, где в результате выноса SiO_2 (десилицификации) происходит обогащение пород марганцевыми окислами, в свежих породах неравномерно распределенными в виде родонита, родохрозита, пиемонтита, марганцевого граната и пр. в прожилках, включениях и в распыленном состоянии. На этих породах образуются марганцевые шляпы, с глубиной переходящие в бедные марганцевые первичные руды. Эти руды лишены никеля и кобальта или содержат их в весьма незначительном количестве.

Выветривание кремнистых пород обычно начинается с их растрескивания, затем прогрессивно усиливающегося под влиянием натяжений, возникающих в связи с гидратацией и последующей дегидратацией этих пород. По образующимся трещинкам развивается действие агрессивных вод, причем вынос SiO_2 связан преимущественно с щелочными водами, способствующими одновременно коагуляции гидроокислов марганца.

Кора выветривания на описываемых породах была изучена только вблизи Ново-Аккермановского месторождения, где в связи со строительством рудника и поселка произведены были весьма серьезные горные работы. Здесь, наряду с интрузивными породами, выветриванию подверглись кремнистые яшмовые сланцы и опоквидные породы.

Выветривание кремнистых силурийских сланцев в районе Аккермановки. Древние метаморфические кремнистые сланцы и продукты их выветривания распространены в районе довольно широко. Представлены эти сланцы плотной светлосерой разностью с массой кварцевых жил и прожилков. В состав их входят в преобладающем количестве кварц нескольких генераций, в подчиненном — хлорит, альбит, эпидот, серицит, цоизит, халцедон, кальцит и гидроокислы железа. Под микроскопом порода обнаруживает тонкозернистое сложение, благодаря

чему различается слабопросвечивающая основная масса с большим количеством более крупного кварца, распределенного полосами, согласно со сланцеватостью. Кора выветривания достигает десятка и больше метров и представлена рыхлой песчанистой желтоватой массой с большим количеством кусочков кварца.

Кремнистые сланцы легко дезинтегрируются, чему способствует их сильная рассланцованность (впитывание воды по сланцеватости). Растрескивание по сланцеватости сопровождается выделением мучнистого кремнезема. С другой стороны, наблюдается и ожелезнение за счет гидратации рудного вещества, скопляющегося в форме прожилков с отдельными утолщениями в виде узлов по сланцеватости и окрашивающего породу в бурый цвет. По фракциям минералы продуктов выветривания распределяются следующим образом:

Крупная фракция	Средняя	Мелкая
Кварц, халцедон	Чешуйчатые минералы, хлорит, серицит	Глины в виде коллоидных веществ, кремнезем мучнистый

Коллоидный минерал имеет средний показатель преломления 1.550, ближе всего подходящий к метагаллаузиту.

Кора выветривания на кремнистых и яшмовидных сланцах девона. Породы в свежем состоянии напоминают яшмы своей пестрой окраской и сложением. Цвет их разнообразен: преобладает сургучно-красный, желто-бурый, грязнобелый и др. Они имеют глыбовое сложение, при раскалывании делятся на неправильные обломки с занозистыми краями. Под микроскопом порода представлена в основном кремнисто-глинистым веществом, с преобладанием кремнистого вещества над глинистым. Имеется разность, содержащая до 92% SiO_2 и состоящая почти из одного халцедона, пропитанного глинистыми частицами, которые почти не действуют на поляризованный свет. Нередко в породе наблюдаются округлые обособления из халцедона или глинистого вещества с каемкой халцедона, по форме напоминающие тельца радиолярий. Несмотря на плотное состояние породы, в ней почти всегда заметна гидратация рудного вещества, которым, за исключением округлых обособлений бывших радиолярий, порода окрашивается в бурый цвет.

Процесс разложения пород начинается с растрескивания, десилицификации и ожелезнения. Окрашивание породы бурыми оксидами железа иногда бывает настолько интенсивным, что она макроскопически уподобляется ожелезненным силицифицированным серпентинитам, отличить их можно только под микроскопом по отсутствию зерен хромита и петельчатого строения. При более сильном выветривании порода растрескивается на мелкие остроугольные обломки, а затем превращается сначала в рыхлую кремнисто-глинистую массу с остатками частиц кремня, а при полном разложении в рыхлую глинистую пластичную массу листовато-чешуйчатого строения, с жирным маслянистым блеском, иногда сильно ожелезненную и омарганцованную. При смачивании она быстро распадается на тонкие частицы, приобретающие вязкость и запах сырого кирпича.

В минеральный состав продуктов выветривания кремнистых сланцев входят халцедон, кварц, глинистые минералы со средним показателем преломления 1.550—1.570, гидроокислы железа и карбонат. Глинистый минерал с показателем преломления n_m 1.570 зеленоватого цвета, похожий на бейделлит, в породе не широко распространен. Светлый глинистый минерал с показателем преломления $n_m = 1.550$ и немного выше составляет вместе с мучнистым кремнеземом (халцедоном) основную массу породы. По своим свойствам он напоминает метагаллаузит.

Опоковидные породы, радиоляриты и продукты их разложения. Опоковидные породы в Аккермановском районе менее распространены; они имеют светлую окраску, чаще молочно-белую, матовый блеск, слоисто-плитчатое строение, благодаря которому при расколе дают весьма гладкую поверхность. Под микроскопом различается глинистое вещество и халцедон с редкими чешуйками „слюдки“. Порода сдавлена и рассланцевана, распределение слюдки согласуется со сланцеватостью. В ней более часты, чем в предыдущей породе, включения халцедона округлой формы, напоминающие скелеты радиолярий. Рудных минералов немного, иногда они отсутствуют вовсе. По составу опоковидные породы отличаются от кремнистых сланцев только тем, что содержат больше глинистого вещества. Процесс разложения одинаков.

К этой же группе пород относятся и радиоляриты. Они характеризуются разнообразной окраской: розовой, фиолетовой, зеленой, голубоватой и т. д., тонкоплитчатым строением, меньшей устойчивостью к процессу разложения, сопровождающемуся одновременно с обесцвечиванием породы также и ее десилицификацией. Под микроскопом плотная порода состоит из глинистого вещества, тонких частиц халцедона и кварца и в изобилии из округлых образований бывших телец радиолярий. Порода имеет сланцеватое и псевдо-брекчиевидное сложение, обусловленное оконтуриванием отдельных участков глинистого вещества гидроокислами железа. Разложившаяся масса состоит из глинистых минералов типа галлуазита вместе с тонкими частицами халцедона, кварца и гидроокислов железа.

Минералого-химический состав. Для изучения минералого-химического состава сланцев и продуктов их выветривания нами произведены были анализы типичных образцов плотной кремнистой разновидности (№ 133), глинисто-кремнистых сланцев, происшедших за счет радиоляритов (№ 322 и 130), и кремнистых сланцев (№ 126). Породы обрабатывались по методу, предложенному П. А. Земляченским (обработка в 10% HCl), после предварительного прокалывания до красного цвета тигля. Результаты анализов приводятся в табл. 34.

Из приведенных данных видно, что нерастворимый остаток почти целиком состоит из SiO_2 , фильтрат представляет собой смесь главным образом гидроокислов железа и глин, так как количество CaO и MgO невелико. Обращает на себя внимание высокое содержание SiO_2 по сравнению с Al_2O_3 (столбец А). Несомненно, что при обработке 5% содой часть кремнезема (мучнистая) могла перейти в раствор. Но высокое отношение $\text{H}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3$, даже если учесть содержание H_2O в виде $\frac{4}{3} \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, говорят уже за то, что мы имеем в № 133 и 126 богатую водой глину. С чем связаны CaO и MgO , сказать очень трудно. Микроскопическое исследование показывает в плотной разновидности присутствие кальцита, эпидота, циннита; в радиоляритовой — редкие чешуйки точнее неопределимой слюдки. Повидимому, основная масса растворившейся части представлена (кроме кварца и халцедона) глинистыми минералами: галлуазитами и бейделлитом.

Действительно, предположим, что CaO и MgO связаны в метасиликат типа RSiO_3 (столбец В); тогда отношение остающейся части $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{H}_2\text{O}$, выраженное в молекулярных количествах, составит (столбец Б) : $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{H}_2\text{O}$.

	А		Б	В
	$\text{RO} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$		$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : \text{H}_2\text{O} + \text{RSiO}_3$	
133	1.25	1 : 6.70	1 : 5.45	2.9 + 2.5
126	0.8	1 : 5.55	1 : 4.75	3.8 + 1.6
322	0.7	1 : 3.20	1 : 2.50	1.85 + 1.4
130	1.10	1 : 3.50	1 : 2.40	2.40 + 2.20

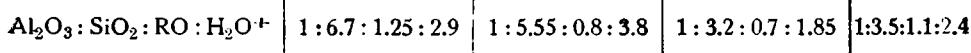
Мы имеем значительное сходство состава фильтратов как в более глинистых (образец №126), так и в плотных кремнистых (образец № 133) породах между собой. Если в глинистой массе, образованной за счет радиоляритов и опоковидных пород (образцы № 322, 130), отношение отдельных окислов близко к тем, какие имеются для смеси галлуазита и бейделлита, т. е. $Al_2O_3 : SiO_2 = 1:2,0 - 2,5$, то в кремнистых плотных и разложенных породах они более близки к отношению $Al_2O_3 : SiO_2$ в монтмориллоните, равному 1:5—1:4. Так как в обоих случаях часть SiO_2 не связана в силикат, то трудно сказать, имеем ли мы здесь в действительности соответствующие минералы глин, оптическому исследова-

Таблица 34

Химический состав сланцев и продуктов их выветривания

Разность №	Плотная 133			Глинисто-кремнистая 126			Радиоляритовая 322			Опоковидная 130		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Нерастворимый остаток в %	78.59			67.50			37.99			41.22		
В том числе SiO_2	76.09			63.37			34.96			58.80		
Перешло в раствор, %	21.40			32.48			62.01			44.20		
Растворилось SiO_2^*	10.50	51.00	0.849	14.06	46.97	0.783	25.07	42.73	0.712	44.20	0.737	
Al_2O_3	2.68	13.01	0.127	4.32	14.43	0.141	13.48	22.88	0.224	21.28	0.209	
Fe_2O_3	3.17	15.40	0.096	7.20	24.06	0.150	11.83	20.15	0.126	9.12	0.057	
TiO_2	0.08	0.39	0.005	—	—	—	—	—	—	—	—	
FeO	1.35	6.56	0.090	—	—	—	—	—	—	3.63	0.050	
CaO	0.45	2.18	0.039	0.30	1.00	0.018	0.72	1.23	0.022	1.67	0.030	
MgO	0.98	4.76	0.118	1.20	4.01	0.099	3.25	5.54	0.137	6.14	0.152	
H_2O^+	1.38	6.70	0.372	2.85	9.52	0.528	4.39	7.48	0.415	9.21	0.511	
H_2O^-	1.90	—	—	3.16	—	—	3.27	—	—	4.77	—	
	22.49	—	—	33.09	—	—	67.01					

A — данные анализа; B — пересчет на 100%; C — молекулярные количества.



нию которых мешала их слабая индивидуализация. По среднему показателю преломления, который колебался от 1.550 до 1.555, и по внешнему виду минерал имеет сходство с метагаллуазитом. Высокое отношение $Al_2O_3 : SiO_2$ и $Al_2O_3 : H_2O$ (столбец B) говорят за возможность существования галлуазита как преобладающего минерала в образцах № 322 и 130.

Для проверки образец № 322, после обработки его HCl, был подвергнут термическому анализу. Установленные эндотермические остановки при 105° и 545° принадлежат как к галлуазиту, так и бейделлиту; эндотермическая остановка при 840° относится, вероятно, к бейделлиту, примесь которого к галлуазиту вероятна; небольшая экзотермическая остановка при 1020° относится к галлуазиту. Таким образом, мы имеем здесь смесь двух минералов: подчиненного бейделлита и основного метагаллуазита. Если оптика указывает на возможность присутствия метагаллуазита, то химические анализы и кривые нагрева говорят о вероятном присутствии других разностей минералов глин типа бейделлита или монтмориллонита.

* HCl и 5% Na_2CO_3 .

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ**1. Кора выветривания площадного распространения**

Площадная кора на Среднем Урале гораздо более распространена, чем это казалось несколько лет тому назад. В горной части Урала площадная кора полностью смыта, но она сохранилась на больших участках равнинной части восточного склона. Однако здесь она носит несколько иной характер, чем на Южном Урале. Она более сложна в связи 1) с сильно развитыми последующими процессами наложения на первичную кору, 2) с тектоническим строением самих серпентинитовых массивов, 3) с более интенсивным гидротермальным воздействием на основные породы последующих интрузий и 4) с частыми контактами серпентинитов с известняками и свитой метаморфических и эффузивных пород.

До сих пор площадная кора на Среднем Урале слабо изучена, даже для ультраосновных пород. Она представлена здесь несколькими типами. Для всех их характерна исключительно сильная обохренность и значительное развитие силицифицированных пород. Нами наблюдались следующие четыре типа (разрезы их даются сверху вниз):

Первый тип

1. Охры или глинистые охры по серпентиниту.
2. Дезинтегрированные серпентиниты и соответствующие тальково-карбонатные породы.
3. Плотные серпентиниты.

Второй тип

1. Охры или глинистые охры по серпентиниту.
2. Обохренные нонtronитизированные серпентиниты и железистые галлуазитовые глины вместе с участками силицифицированных пород.
3. Дезинтегрированные серпентиниты, иногда сверху выщелоченные.
4. Плотные серпентиниты.

Третий тип

1. Охры (порошковатые руды с участками силицифицированных пород).
2. Выщелоченные и карбонатизированные серпентиниты небольшой мощности.
3. Плотные серпентиниты.

Четвертый тип

Этот тип отличается от первого и второго тем, что под дезинтегрированными или нонтронитизированными серпентинитами с железистыми галлуазитовыми глинами находятся карстовые отложения и известняки, встречается среди подземных карстов и может быть отнесен как к контактному типу площадному, так и к линейному, в зависимости от того, какие элементы строения коры являются более характерными.

В пределах одного и того же месторождения на разных участках встречаются разные типы в зависимости от геологических условий. Между отдельными типами имеются и переходы. Весьма часты и постепенны переходы пород одной зоны в породы другой, особенно нонтронитизированных серпентинитов в охристые глины по серпентиниту, а также последних в дезинтегрированные серпентиниты и обратно, так что строгая горизонтальная выдержанность, как в нонтронитовом профиле, здесь наблюдается редко. Силицифицированные породы встречаются почти во всех зонах, но иногда бывают приурочены к верхним или нижним, или средним, или боковым частям коры.

Охры и охристые глины представляют собой порошокватые породы желтого, грязнобурого, бурого и реже красно-бурого цвета. Они нередко заходят глубокими карманами и языками в более глубокие зоны профиля выветривания. Мощность охр весьма различна. Обычно она составляет несколько метров, но в месторождениях порошокватых железных руд достигает нескольких десятков метров. Кроме минералов гидроокислов железа и марганца, они содержат кварц и халцедон и в небольшом количестве реликты первичных минералов: талька, хлорита, иногда серпентина, хризотила и серпофита, рудных минералов (магнетит, хромит) и типичные минералы коры (немного галлуазита, гидроокиси никеля и силикатного никеля в виде гарниерита и непуита). Они полностью сохраняют структуру первичной породы. Более чистые разности отличаются своим небольшим объемным весом. Содержание Fe_2O_3 составляет 40—45% и возрастает до 50—70% и выше, количество SiO_2 падает до 7—4% и ниже. Что касается никеля, то обычно „охры“, или „остаточные порошокватые руды“ содержат его в пределах 0,5—0,8%, и лишь в более редких случаях (повидимому, в более глинистых разностях) содержание никеля достигает 1% и больше.

Содержание кобальта бывает повышенным по сравнению с нижележащими горизонтами.

Следует различать „охры“, или „порошковатые руды“, и „глинистые охры“, или „глинистые руды“. Основное отличие заключается в содержании глинозема, которое в глинистых разностях превышает 10%. Глинозем обычно связан в галлуазит; кроме того, часть окислов железа также может быть связана в силикат типа ферригаллуазита, реже ферримонтмориллонита.

Охристые глины по серпентиниту представляют собой переходный продукт от охр к глинам, образовавшийся гидроокислами железа и минералами глин. В отличие от порошокватых руд они имеют больший объемный вес, более пластичны, разминаются в руках, не рассыпаются. Из окислов железа присутствуют как гидрогетит, так и гетит и гидрогематит. Глинистая часть представлена галлуазитом, одним или в смеси с ферригаллуазитом, монтмориллонитом и ферримонтмориллонитом (нонтронитом). Всегда имеется примесь кварца. Кроме того, присутствуют реликты первичных минералов: хромшпинелиды, магнетит, остатки серпентина, талька, хлорита и трудно выветривающихся минералов. Никель находится в виде никельсодержащих галлуазитов и в нонтронитах, а так-

же в виде силикатов никеля и $\text{NiO} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Содержание никеля достигает промышленных концентраций. Естественно, что охристые глины по серпентинитам отличаются повышенным содержанием глинозема (6—11%) и высокой железистостью (20—30% и больше металлического железа) при относительно невысоком содержании окиси магния (обычно меньше 10%). Охристые глины дают все переходы, с одной стороны, к охрам, с другой — к нонтронитизированным серпентинитам, особенно к обохренным их разновидностям. Рассматриваемые породы называют также „глинами по серпентиниту“, иногда „глинистыми охрами“ и даже „глинистыми железными рудами“ в случае высокого содержания в них Fe_2O_3 (выше 30—40%). Количество галлуазита, весьма изменчивое, доходит до 33%.

Нонтронитизированные серпентиниты отличаются от южноуральских меньшей степенью нонтронитизации при чрезвычайно сильной обохренности. Это не столько нонтронитовые глины, сколько затронутые нонтронитизацией серпентиниты, сильно обохренные или частично смешанные с глиноземистыми и железистыми галлуазитами. Нонтронитизированные серпентиниты особенно часто бывают приурочены к рассланцованным разностям, часто к серпофитовым, где они лучше сохраняются от последующего разложения, но встречаются они и среди обычных серпентинитов.

Нонтронитизированные серпентиниты или непосредственно переходят в охры, или образуют еще одну переходную стадию — галлуазитовую и ферригаллуазитовую. Мощность нонтронитизированных серпентинитов варьирует в пределах от нескольких десятков сантиметров до 28 м. Нередко они отличаются значительной омарганцованностью и тогда вместо буровато-зеленого цвета приобретают черный. Руды этого типа представляют собой рыхлую, иногда чешуйчатую массу, мелко листоватую, агрегативного сложения, иногда глинистую и комковатую (в случае присутствия окислов железа и марганца). Кроме чешуек и мелких листочков зеленого нонтронита, присутствуют остатки неразложившегося антигорита, хризотила, серпофита, хлорита, талька, зерна кварца и халцедона, рудные минералы (магнетит, рутил, хромшпинелид). Обычно нонтронитизированные серпентиниты содержат промышленное количество никеля, образуя более богатые никелем участки. Содержание Fe_2O_3 колеблется в них от 35 до 58% против 25—35% в южноуральских нонтронитах; затронутые нонтронитизацией разности с 10—20% MgO содержат до 22—24% Fe_2O_3 , при еще большем содержании MgO количество Fe_2O_3 доходит до 13% и т. д.

Дезинтегрированные серпентиниты, мало развитые на Южном Урале, широко распространены на Среднем. В них преимущественно сказываются физические процессы расчленения породы на отдельные острореберные куски разных размеров. Закись железа в них почти целиком окислена, вынесены карбонаты и частично окись магния. Изредка эти породы, кроме обохривания, бывают слабо окремнены. В минералогическом составе преобладают реликты первичных пород, из новообразований присутствуют минералы кварца и окислов железа. Никель находится адсорбированным как минералами серпентинитовой группы, так и в новообразующемся в небольшом количестве нонтроните. Содержание никеля обычно небольшое, но в отдельных случаях достигает кондиционных норм. Характерными чертами химического состава являются высокое содержание MgO (20—35%), отсутствие карбонатов, относительно высокое содержание Fe_2O_3 (10—20%),

Выщелоченные серпентиниты макроскопически отличаются от дезинтегрированных большими размерами кусков, большей монолитностью, меньшей щербчатостью при более легком объемном весе. Они

обычно менее железисты и часто содержат вторичные карбонаты (выщелоченные карбонатизированные серпентиниты). Цвет их серый или серовато-зеленый, иногда бурый. Всегда обильны реликты первичных минералов. Имеются переходы к дезинтегрированным разностям. Выщелоченные серпентиниты иногда называют более общим именем: „разложенные серпентиниты“. Если они содержат много железа, их называют „обохренными выщелоченными серпентинитами“. Нередко выщелоченные серпентиниты бывают в большой или меньшей степени окремнены, и тогда они содержат вторичный кварц и халцедон.

На некоторых месторождениях (Елизаветинском, Липовском) в нижних горизонтах коры встречаются гнезда, жилы и коры магнезита, изредка доломит. Иногда наблюдаются и опалы, далее керолит и никелевая его разность, а также палыгорскиты. Обычное содержание MgO около 20%, но в нонтронитизированных разностях оно опускается до 10%, а в так называемых „слабо выщелоченных серпентинитах“ подымается до 30—35%. Этот тип серпентинитов почти всегда бывает в большей или меньшей степени затронут нонтронитизацией. От серпентинитов Южного Урала выщелоченные серпентиниты на Среднем Урале отличаются своей меньшей мощностью, отсутствием или слабым развитием карбонатизации, отсутствием типичных для Южного Урала горизонтов опала, арагонита, доломита, магнезита (последние, если и сохраняются иногда, то в небольших количествах).

Нередко, особенно в случаях развития дезинтегрированных серпентинитов, выщелоченные серпентиниты отсутствуют полностью и на плотных породах непосредственно залегают дезинтегрированные разности; только редко оба типа пород встречаются в одном разрезе.

Силифицированные породы. Следует отличать силифицированные серпентиниты от силифицированных известняков, хотя это и макроскопически и микроскопически не всегда возможно. Силифицированные серпентиниты содержат остатки хромшпинелида и магнетита, тогда как силифицированные известняки лишены их. В последних зато иногда неплохо выражена остаточная слоистость, отсутствующая у первых. При выветривании они дают некоторую ребристость, большие ячейки; этот тип А. П. Карпинский назвал „черепοобразным“.

Силифицированные серпентиниты большей частью расположены в зонах дробления. Часто встречаются участки или зоны в разной степени ожелезненных и обохренных силифицированных пород, вплоть до образования в них прожилков, жеод и конкреций минералов гидроокислов железа и полного замещения ими кремнезема.

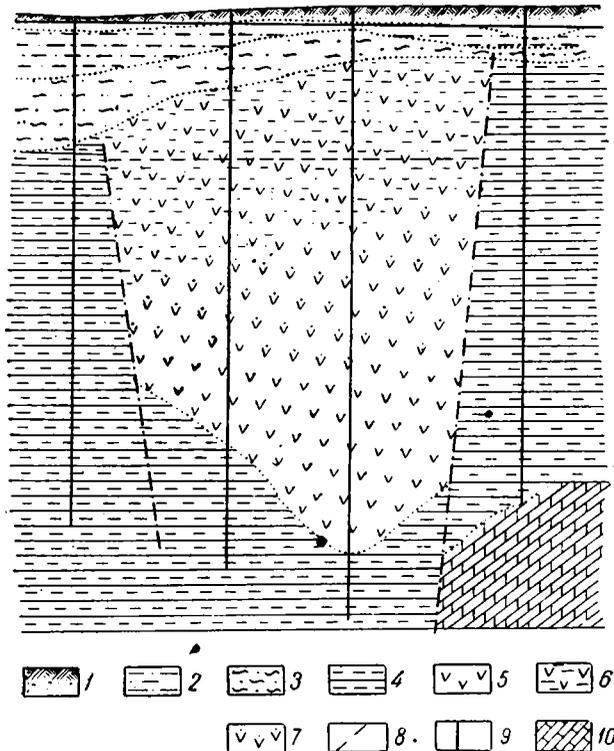
Разложенные талько-карбонатные породы дают сланцеватые и слоистые глины желтого, розового, малинового, красного и других цветов, причем карбонат выщелачивается, а закись железа и пирит окисляются. Из минералов остается очень устойчивый тальк; иногда кварц выполняет пустоты от выщелачивания карбонатов, образуя скелеты. Нередко в зонах смятия отмечается ожелезнение.

Разложенные микрооритовые и хлорито-альбитовые породы дают зеленые ферригаллуазитовые глины, а биотитсодержащие бурые нонтронитоподобные массы, плагиопорфириты каолинизируются или наравне с хлорит-альбитовыми порфирами дают ферригаллуазиты и обогащаются хлоритами.

Хлоритовые, тальково-хлоритовые, амфиболовые (тремолитовые) породы при выветривании мало изменяются. Пеннинные разности хлоритов и железистые разлагаются легче, чем клинохлоровые, а биотитовые переходят в нонтронитоподобные массы.

2. Кора выветривания линейного распространения среднеуральского типа

Кора выветривания линейного распространения пользуется на Среднем Урале широким развитием. Она бывает связана с 1) зонами смятия и брекчирования, 2) рассланцованными породами, 3) тектоническими трещинами, 4) контактами с известняками и эффузивно-сланцевой толщей,



Фиг. 30. Кора выветривания серпентинитов в сброшенной части Южно-Покровского месторождения Режевского района (по А. Л. Кацу)

Условные обозначения:

1 — почва, 2 — красно-бурые суглинки, 3 — глинисто-песчаные отложения, меловые, 4 — разложившиеся сланцы, 5 — серпентиниты, 6 — серпентиниты ионитизированные, 7 — серпентиниты дезинтегрированные, 8 — линии сбросов, 9 — пробуренные скважины, 10 — известняки

5) надвигами, 6) узкими вытянутыми малоэнергичными полосами ультраосновных пород. Особенно интенсивное разложение происходит в тектонически нарушенных зонах (фиг. 30) и среди пород, обладающих в целом (мраморы) или в части (тальково-карбонатные породы) большей растворимостью или разлагаемостью (породы, содержащие сульфиды).

Кора выветривания состоит из сильно охристой зоны, с большим

или меньшим количеством силицифицированных пород. Охристо-кремнистая зона обычно достигает значительной мощности, до нескольких десятков метров, при простираии от нескольких сот метров до нескольких километров.

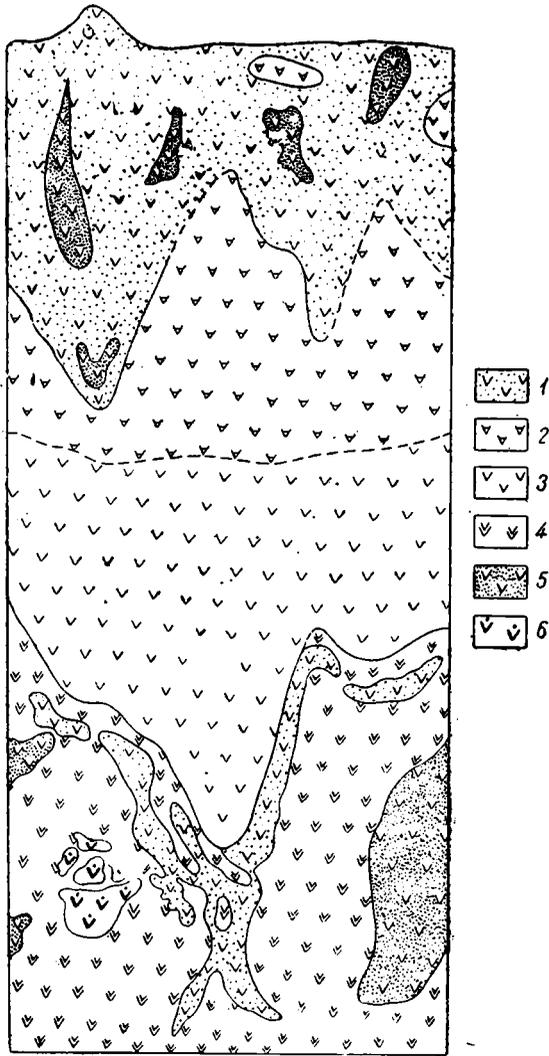
В типичных случаях, вне контактов с известняками элювиальные продукты выветривания выполняют как бы узкую, длинную, нередко глубокую щель или клинообразной формы ров разной глубины с более или менее крутыми стенками и ямообразными углублениями. Стенки и дно рва или щели состоят из разложенных или силицифицированных пород.

Охристые породы опускаются в щель или ров отдельными языками (фиг. 31), иногда резко отделяясь от контактирующих с ними разложенных пород боковых стенок, ксенолитов или выступов дна. Силицификационные процессы в этом случае идут и вокруг отдельных ксенолитов или выступов и зальбандов. На глубине, наряду с разложенными серпентинитами бурого цвета, отмечаются, хотя сравнительно редко, карбонатизированные разности серого или пепельно-серого цвета. На месторождениях линейного распространения имеются значительно меньше, чем у месторождений новоаккермановского типа, выделений арагонита, доломита и магнезита, которые хотя и встречаются во многих месторождениях, но лишь как отдельные случайные находки. Керолит здесь не имеет той зональности, которая наблюдается на Ново-Аккермановском месторождении, и часто бывает связан с контактными зонами известняков и амфиболитовыми разностями пород.

Чрезвычайно развиты силицифицированные разности, местами полностью вытесняющие охристые разности и разложенные серпентиниты. Вдоль трещин иногда отмечается присутствие галлуазита и даже нонтронит. Столь резкой разницы между морфологией площадного и линейного распространения коры выветривания, как на Южном, для Среднего Урала не наблюдается, отчего переходы одного типа в другой здесь более часты.

Зоны смятия, оталькования и хлоритизации являются участками, где особенно сильно развиты инфильтрационные процессы ожелезнения, омарганцования и окремнения. Гидротермальные процессы, особенно интенсивные среди подобных пород и контактов, вносят в серпентиниты сульфиды железа, меди, никеля и кобальта. При выветривании они дают сернокислые растворы, местами усиливающие разложение пород и вносящие свои элементы. Контакты известняков и сланцев с серпентинитами носят на Среднем Урале весьма часто тектонический характер и потому испытывают влияние двух групп геохимических процессов: связанных с описанными только что тектоническими зонами и обусловленных присутствием карбонатных пород и минералов с образованием щелочной среды. В результате здесь особенно усиливаются процессы кремнения, выпадения галлуазитов и никелевых силикатов, а иногда и образования керолита (фиг. 32.).

Тектоническому воздействию подвергаются не только интрузивные породы и свиты метаморфических пород, но и включенные в последние известняки и мраморы, которые бывают брекчированы, раздроблены, иногда вматы в соседние породы. Совершенно естественно, что в эти части легче проникают грунтовые воды и выщелачивание карбонатов здесь происходит интенсивнее. Отсюда развитие вдоль подобных тектонических контактов, в особенности на участках с максимальным проявлением тектонического воздействия, процессов карстования карбонатных пород и образование коры выветривания карстового типа и часто месторождений никеля (фиг. 33 и 34).



Фиг. 31. Карманообразное выветривание. Калиничевское месторождение (по Н. М. Аксенову)

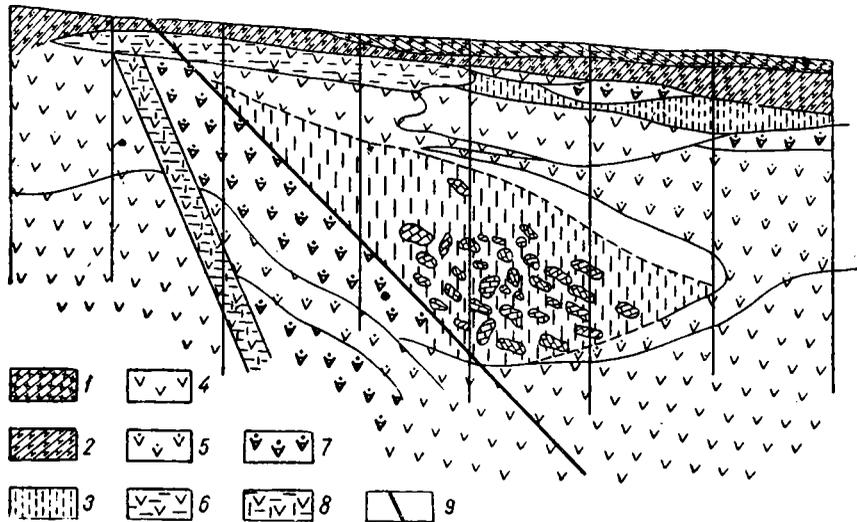
Условные обозначения:

1 — желто-бурая охра по серпентиниту, 2 — серпентиниты выщелоченные, 3 — серпентиниты, 4 — серпентинит пепельно-серый, рассыпчатый (выщелоченный), 5 — красно-бурая руда, 6 — силицированный серпентинит

3. Кора выветривания на известняках и мраморах

Этот тип коры выветривания на Среднем Урале пользуется особенно широким развитием. Ввиду того что известняки здесь вытянуты большей частью в полосы меридионального направления, кора выветривания вдоль известняков или мраморов также приобретает линейное распространение.

Среди двух основных типов карста — открытые карсты, образующиеся на поверхности, заполнены принесенными с боков течением воды поро-



Фиг. 32. Керолитизированные породы на контакте известняков и серпентинитов. Кротовское месторождение (по С. Д. Дмитриеву)

Условные обозначения:

- 1 — делювиальная глина, 2 — делювий, 3 — керолит, 4 — серпентинит плотный, 5 — серпентинит дезинтегрированный, 6 — серпентинит нонтропитизированный, 7 — серпентинит выщелоченный силицифицированный, 8 — серпентинит нонтропитизированный керолитизированный, 9 — тектоническая линия

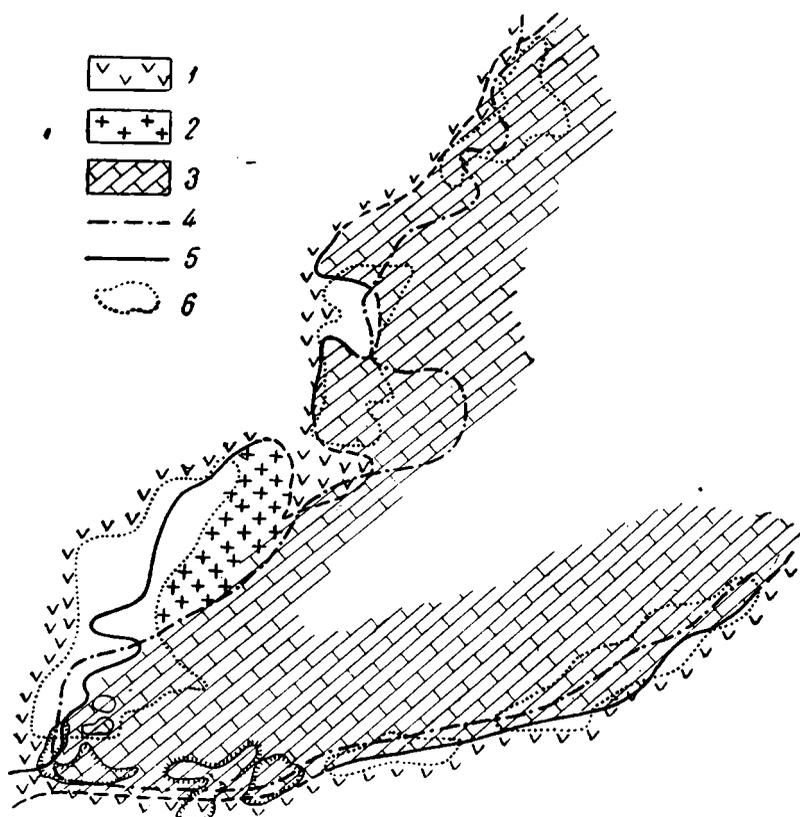
дами, а подземные карсты, возникшие под покровом плотных пород, заполнены материалами обрушившейся кровли; литологический состав последних будет отличаться большей однородностью.

Нерастворимый остаток мраморов среди материалов, заполняющих карсты, не имеет большого значения ввиду относительной чистоты известняка или мрамора, в которых содержание „нерастворимого остатка“ редко превышает 2—1%.

Так, в мраморе Тюленевского рудника (Верхне-Уфалейский район) установлено: Al_2O_3 — 0.71%, Fe_2O_3 — 0.18%, нерастворимого в 10% HCl остатка — 0.53%; в известняках Нижне-Сергинского завода содержится (по Б. М. Федорову): SiO_2 — 0.33—0.92%, K_2O_3 — 0.44%, Al_2O_3 — 0.82—1.29%; Fe_2O_3 — 0.12—0.66%.

Таким образом, можно считать, что на Среднем Урале собственные материалы известняков, остающиеся после их выщелачивания (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 и др.), должны составить всего лишь 1—3% всей массы материала, заполняющего карсты.

К аналогичному выводу в настоящее время пришли и в Западной Европе: „terra rossa“ принимает слабое участие в карстовом заполнении,¹ основной материал которого образуется при открытом карсте из материалов с ближайших участков, примыкающих к карсту, а также из принесенного течением воды с более далекого расстояния, а при подземном карсте — из материалов его кровли и стенок, может быть, с небольшим перемещением материала в пределах подземного карста подземным током воды.



Фиг. 33. Геологическая карта Капарулинских месторождений Режевского района (по данным Режевской геолого-развед. партии).

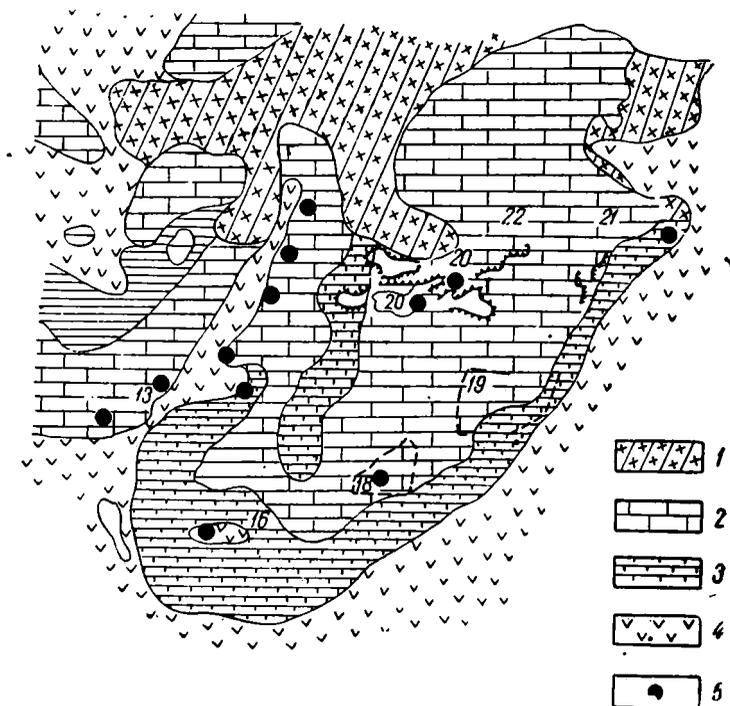
Условные обозначения:

- 1 — серпентиниты, 2 — порфириты, 3 — известняки и сланцы, 4 — граница меловых отложений, 5 — тектонические контакты, 6 — контуры рудных залежей

Отсюда следует, что карстовые заполнения могут быть самого разнообразного состава. В открытом карсте это породы стенок карста и материал, принесенный извне механическим и химическим путем (фиг. 35), в подземном карсте (фиг. 36 и 37) — материал кровли (грубый и принесенный подземными водами (тонкий), а также химические осадки из вод, просачивающихся сверху. В зависимости от размеров кусков и частиц пород, заполняющих карст, можно различать валуны, щебенку, песок, псаммиты, алевриты, алевро-пелиты.

¹ Понятно, глинистые известняки при выщелачивании могут дать значительный элювиальный материал, выполняющий карст, но этот тип известняков в районе развития никелевых месторождений не встречается, и мы его исключаем из нашего рассмотрения.

В ряде случаев карст по мере размыва горизонтов кровли превращается в открытый и, наоборот, открытый карст по мере заполнения рыхлыми материалами получает приток воды не только сверху „вертикальный“, но и боковой и продолжает развиваться как подземный. Несортированность материала, отсутствие хорошо выраженной слоистости или нарушенная слоистость характеризуют карстовые заполнения. Оседание пород приводит к своеобразной карстовой тектонике. Колебания уровня истечения воды на протяжении ряда геологических периодов, связанные



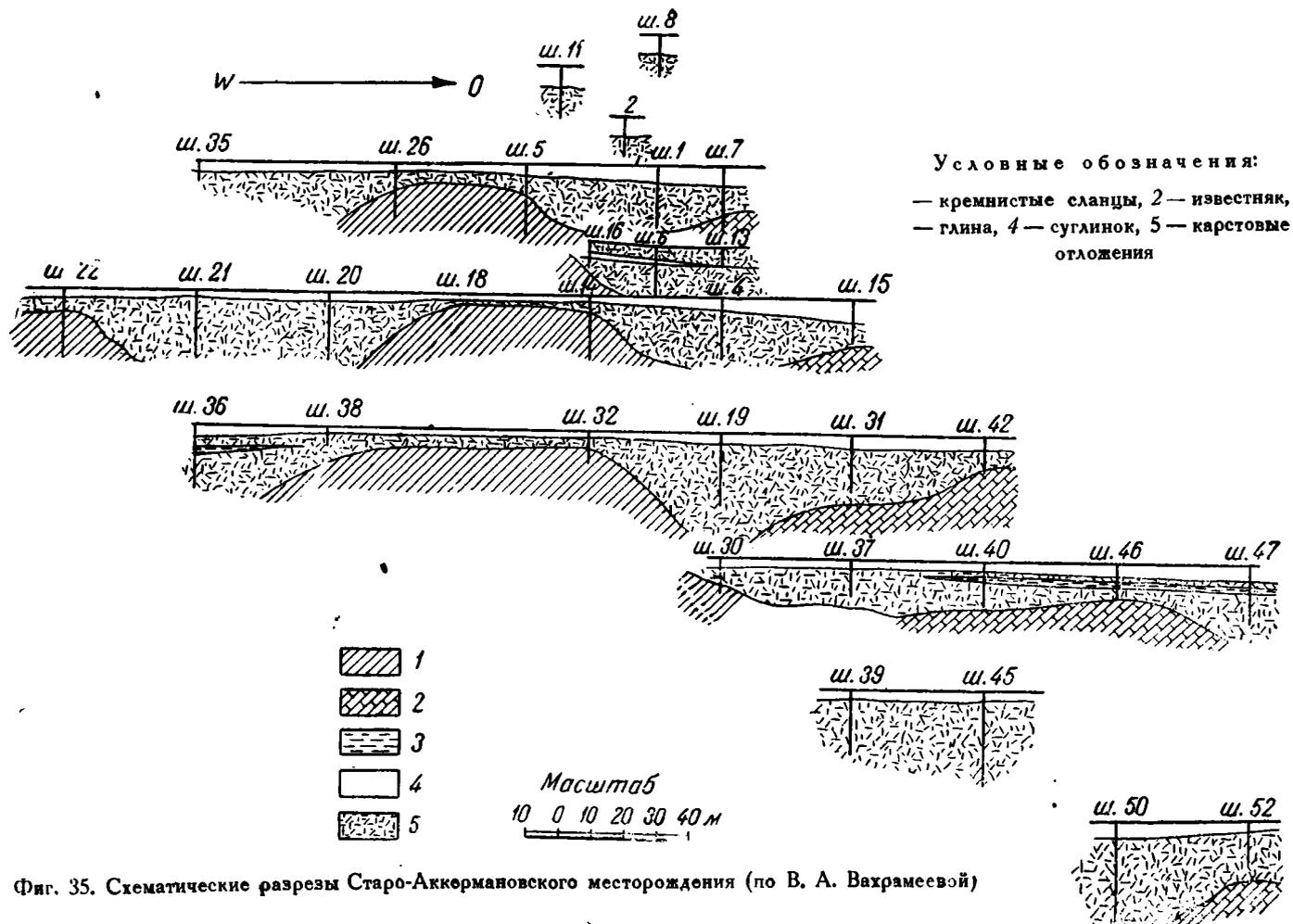
Фиг. 34. Распространение никелевого оруденения в пределах Покровского рудного поля Режевского района (по данным Режевской геолого-развед. партии)

Условные обозначения:

1 — аллювиальные и другие рыхлые отложения, 2 — известняки, 3 — туфосланцевая толща и известняки, 4 — серпентиниты, 5 — никелевые месторождения (промышленные)

с изменениями базиса эрозии, вызывают то затухание процессов карстообразования, то их оживление. Основное карстообразование — домеловое. В верхнетретичное и четвертичное время процесс возобновился. В настоящее время мы имеем дело большей частью с мертвыми карстами, прекратившими свой рост, или с оживающими, так как во многих случаях наблюдается оседание даже четвертичных пород.

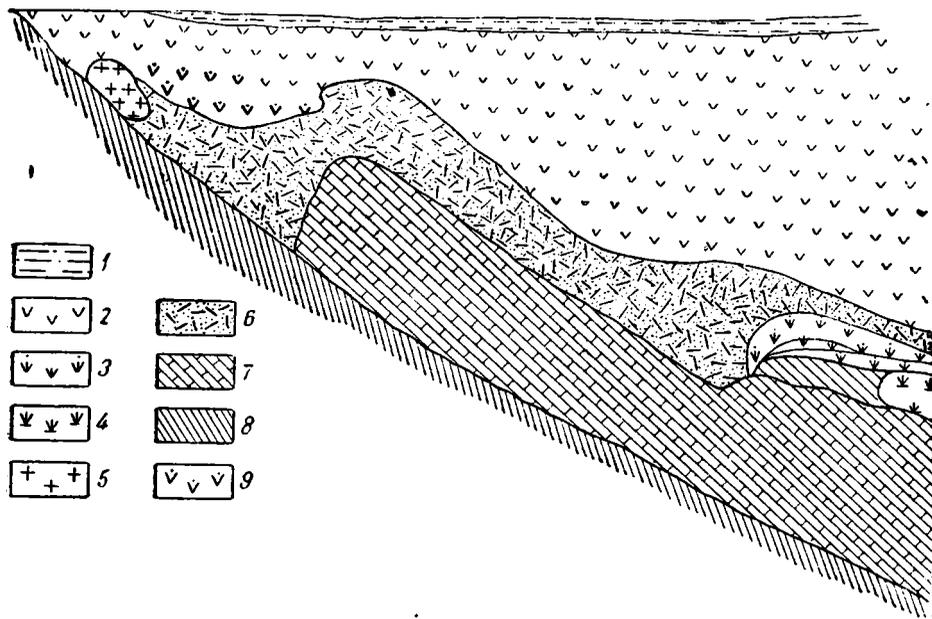
Так как карсты, связанные с основными породами, развиты преимущественно на контакте этих пород с известняками, то практически целесообразно различать карсты с крутыми контактами — щелевидные (глубокие карстообразные углубления разной протяженности) и карсты с пологими контактами, отличающиеся меньшей глубиной и более площадным характером. Форма оруденелого карста на первых стадиях его развития определяется строением и физическими



Фиг. 35. Схематические разрезы Старо-Аккормаевского месторождения (по В. А. Вахрамеевой)

свойствами контактирующих пород. Присутствие разложенных сланцев дает более широкий ореол оруденения (фиг. 38), чем контакт с серпентинитами, особенно плотными, когда оруденение носит более щелевидный характер (фиг. 39); трещиноватость создает ответвления и т. д. Кроме того, следует отличать карсты, связанные блочными структурами коренных пород, развивающимися на разных уровнях, иногда на большой глубине и близ поверхности даже в пределах одного небольшого участка. Имеются случаи сброшенных карстов, когда после образования карстов они, в результате сброса целиком или частично, опускаются (Глубокая Черемшанка).

Заслуживают внимания карсты сравнительно неглубокие, среди узких полос сланцев, находящихся в контакте с серпентинитами, с одной



Фиг. 36. Пологий контакт известняков и серпентинитов. Крестовское месторождение В.Уфалейского района (по данным В.Уфал. геолого-развед. партии)

Условные обозначения:

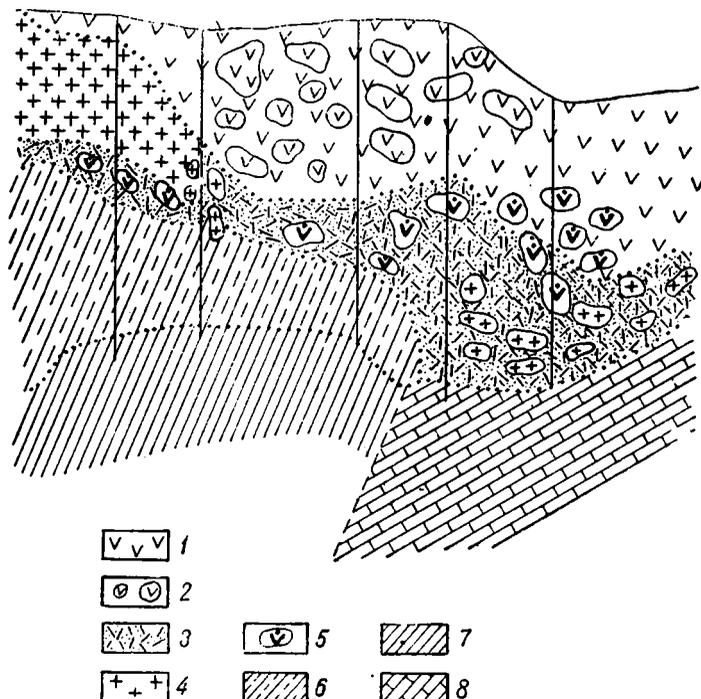
1—красно-бурая глина, 2—серпентиниты, 3—серпентиниты карбонатизированные, 4—серпентиниты тальково-карбонатные, 5—жильная порода, 6—карстовые алевриты, 7—мрамор, 8—сланцы, 9—серпентиниты силифицированные

стороны, и известняками—с другой. При незначительной мощности сланцев они являются часто промышленно рудоносными, хотя и не очень богатыми никелем. Особенно показательны случаи, когда среди подобных сланцев (углисто-глинистых, углисто-кремнистых и туффонидных) залегают пачки и линзы известняков (Режевский район). Когда узкая полоса серпентинитов, с одной стороны, находится в тектоническом контакте со сланцами, а с другой—с известняками, наблюдается по одну сторону обычное оруденение линейного типа (весьма глубокое) с образованием „охр по серпентиниту“ и „глинистых железных руд“, а по другую—карст, заполненный карстовыми алевритами (Н. Ивановское месторождение Полевского района).

Рост отдельных карстов вдоль линейных тектонических контактов приводил иногда к их слиянию в карстовые долины. По ним

могло в дальнейшем итти развитие речной сети, с преобразованием карстовых долин в эрозионные. Последние на Среднем и Южном Урале заполнены „беликами“ — щебневидными и галечниковыми кремневыми известняками, кварцем, каолином и песком, часть материала которого является перемытым элювием или делювием, а часть принесенной, т.е. аллювием и пролювием.

Материал, заполняющий карст, может быть самой разнообразной величины и формы. Он может состоять из угловато-окатанных кусков, валунов и угловатых глыб, бесформенных масс, перетертых кусков, смятых и брекчированных масс обломков пород и жильных заполнений, иногда даже сцементированных окислами железа, марганца и кремнезема.



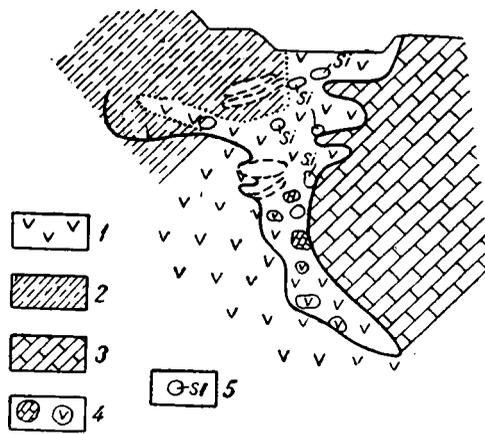
Фиг. 37. Подземный карст. Крестовское месторождение (по данным В.-Уфалейской геолого-развед. партии).

Условные обозначения:

1 — серпентинит, 2 — серпентинит брекчированный, 3 — карстовый алевроит, 4 — метаморфизованный ортофир, 5 — окристо-кремнистые образования, 6 — сланцы выветрелые, 7 — сланцы, 8 — известняки

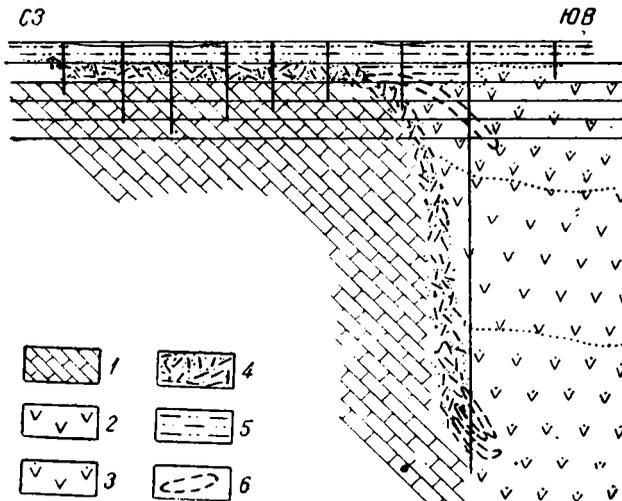
В пределах небольшого участка могут встретиться самые разнообразные формы. Если карст размыт последующими меловыми водами, то он может состоять также из местного материала, не сортированного, куда могут войти отдельные хорошо окатанные зерна кварца, особенно в верхних частях перемытых карстовых отложений. Несортированность материала по величине и по форме является характерной чертой карстовых заполнений. В карстовых же эрозионных долинах встречается хорошо окатанный галечниковый материал твердых пород.

Размеры заполняющего карст материала самые разнообразные: от десятков кубометров до кубических сантиметров и меньше. Большие глыбы представлены большей частью силицифицированными серпенти-



Фиг. 38. Н.-Черемшанское месторождение. Разрез II (по М. П. Смирновой)

Условные обозначения:
 1 — серпентиниты, 2 — разложившиеся хлоритовые сланцы, 3 — контур кондиционных руд, 4 — валуны разных пород, 5 — валуны окремненных пород



Фиг. 39. Большая залежь Крестовского месторождения (поперечный геологический разрез) (по М. П. Смирновой)

Условные обозначения:
 1 — мрамор, 2 — серпентинит, 3 — дезинтегрированный серпентинит, 4 — карстовые алевроиты, 5 — бурая глина и суглинки, 6 — контуры рудных тел

нитами и известняками, иногда в той или иной степени ожелезненными. Они нередко имеют грубо округлую форму, связанную с последующим выветриванием или скалыванием выступающих острых кусков при смятии, оползании и обрушении. Иногда появляются целые участки силифицированных глыб и валунов.

Правильная слоистость карстовых отложений отсутствует, но грубая, крайне прихотливая, изменяющаяся от участка к участку, имеется. Карстовая тектоника и связанные с ней оседания пород могут вызвать представление о грубой слоистости. Следует указать, что отдельные части карста даже в пределах одного месторождения могут быть разного возраста и разного происхождения: одни могут быть заполнены остатками элювия, другие остатками делювия, третьи — меловыми отложениями, верхнетретичными и четвертичными.

Породы, заполняющие карст, могут оставаться погребенными в том виде, в каком они были принесены или могут подвергнуться в дальнейшем процессам разложения (выветривания) или цементации; в этих случаях мы будем иметь кору, образующуюся в самом карсте. Изменения в составе карстовых заполнений зависят от литологических особенностей последних. Наиболее частой составной частью карстовых заполнений являются: остатки разложенного или свежего серпентинита, силифицированные разности серпентинита, известняков и мраморов, тальк, хлорит, глины, щебенка углисто-кремнистых сланцев, эффузивной зеленокаменной и углисто-кремнистые породы в карсте отличаются прочностью, но местами, в отдельных гнездах, они рассыпаются и превращаются в песчаный материал; неразложенные или слабо разложенные интрузивные породы в отдельных участках размягчаются и дают глинистые продукты; тальковые породы, содержащие брейнерит, обохриваются; остальные породы этого типа не изменяются значительно, они теряют лишь свою плотность; карбонаты вымываются; амфиболы сохраняются более длительное время; то же относится и к хлоритовым разностям.

Очень сильно развита инфильтрация как механической мути, так и химически растворенных веществ или веществ, находящихся в золеобразном состоянии. Механическая муть состоит из глинистых минералов, гидроокислов железа, листочков талька, хлорита. Они заполняют пустоты среди щебневого или валунного материала карста и проникают до самого дна его. Химически растворенные вещества и псевдорастворы золь представлены соединениями кремнезема, окислов железа, марганца, никеля, кобальта.

Кремнезем выпадает в виде прожилков кварца и халцедона среди рыхлой массы карстовых заполнений; он залечивает трещины, заполняет пустоты, нарастает на первичный кварц, замещает прожилки карбонатов, известняки и мраморы, пропитывает пористые породы (охры), внедряется среди чешуек тальковых и тальково-хлоритовых пород. В результате силификации отдельных участков серпентинитов, обохренных и карбонатизированных пород и известняков образуются глыбы и валуны окремненных пород, иногда сгруженные в огромные массы, иногда принимающие жиллообразный характер. При разрушении пород или выщелачивании они остаются в виде разнообразного элювиального материала. Однако „кремнистые коры“ типа австралийских или африканских не встречаются.

Гидроокислы железа в никелевых месторождениях выпадают в верхних частях карстовых заполнений и не доходят или почти не доходят до известняков. Таким образом возникают „висячие“ залежи охр

и железных руд. Только когда гидроокислы железа не инфильтрованы, а образуются на месте разложения железосодержащих силикатов карстовых заполнений, обожрение и ожелезнение может опуститься до известняков. Инфильтрованные же гидроокислы железа среди никелевых месторождений достигают известнякового основания только в краевых частях карстов, где известняки близко подходят к поверхности, в связи с чем краевые части карста часто более ожелезнены, чем центральные. Ожелезнение особенно сильно сказывается среди щебенчатых пород, кремнистых глыб, тектонически смятых зон, где концентрация железных руд достигает промышленных размеров.

Марганец лишь частично разделяет судьбу гидроокислов железа, выпадая в значительной части в верхних горизонтах. Небольшая часть марганца доходит до известнякового ложа и осаждается здесь в виде маломощного (3—5 см) горизонта. Инфильтрация марганцовых растворов продолжается и после осаждения железорудных растворов, и марганец отлагается и концентрируется в трещинках, в полостях и т. п. не только мезозойских, но и верхнетретичных и четвертичных отложений. На Среднем Урале длительная и поздняя миграция является для марганца весьма характерным и важным процессом. Вследствие многократной повторяемости миграции марганца последний глубоко проникает в карстовые заполнения.

Кобальт сопутствует марганцу и разделяет его судьбу. Он встречается обычно в верхних горизонтах охр или глинистых охр, в более омарганцованных участках. Кобальтовые минералы вместе с марганцовыми принадлежат к наиболее молодым образованиям, но одновременно представлены, хотя и реже и более старыми.

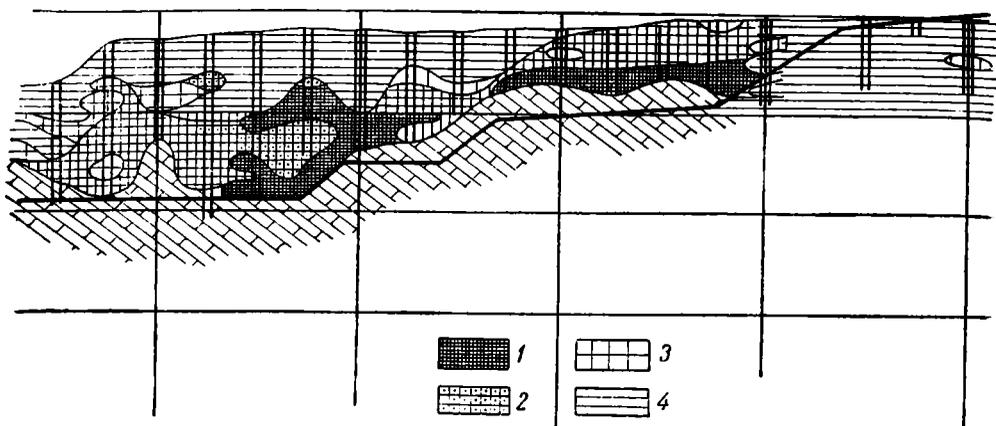
В настоящий момент можно определенно говорить о миграции глинозема и его выпадении, как самостоятельно в связи с образованием бокситов, так и вместе с кремнеземом в виде галлуазитовых глин. Миграция глинозема происходила не только в мезозое, когда она имела максимальное развитие, но продолжалась и в последующее время. Карстовые заполнения содержат прослойки гнезда и линзы галлуазитовых глин, особенно ближе к известнякам.

Характерной особенностью карстовых заполнений в районе развития гипербазитов является частое присутствие никелевых силикатов в виде самостоятельных выделений или в виде коагелей с галлуазитами, т. е. никелевых галлуазитов. Вместе с никелевыми силикатами выпадает гидрат закиси никеля ($NiO \cdot H_2O$), иногда в смеси с гидроокислами железа. Никелевые силикаты приурочены к дну и к стенкам карстов или к ячейкам в глыбах кремнистых пород, обычно встречаясь над корочкой марганцовых окислов, покрывающих мраморы. Если мраморы выщелачиваются и вытаивают, никелевые силикаты и галлуазиты оказываются, залегающими выше, однако, в этом случае их залегание в результате оседания нередко бывает нарушенным (фиг. 40, 41, 42).

Среди тальково-карбонатных пород встречаются блоки неизмененных или менее оталькованных серпентинитов, а в плоскостях надвигов наблюдаются вмятия в тальково-карбонатные породы блоков серпентинита и мраморов. Попадают также глыбы кремнистых тальково-карбонатных пород. Все это в некоторых случаях создает крайне благоприятные условия для осаждения и концентрации никелевых силикатов.

Нельзя не указать на случаи вытеснения магния серпентинитов и даже порфиритового щебня никелем и образования минералов типа непуйта, или же щебня хлорит (пеннин)-содержащих пород с образованием никелевых хлоритов.

В результате всех этих процессов карстовые заполнения дают по своему механическому составу карстовые псаммиты, алевроиты, пелиты и т. п.

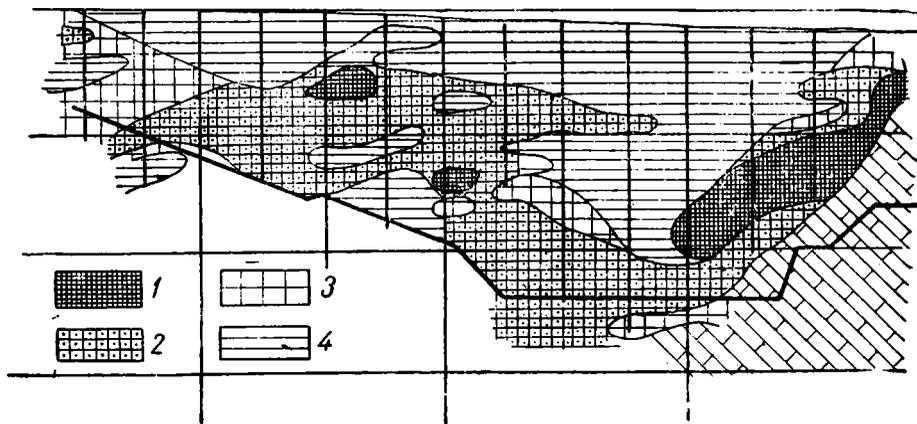


Фиг. 40. Нормальное распределение руд с разным содержанием никеля в уфалейском типе никелевых месторождений

Условные обозначения:

1 — рудная толща, богатая содержанием никеля, 2 — рудная толща с кондиционным содержанием Ni, 3 — рудная толща с содержанием Ni ниже кондиционного, 4 — пустая порода

Не следует, однако, полагать, что на дне карстовых заполнений, независимо от того, граничат ли они с серпентинитами, или нет, всегда имеются никелевые силикаты. Разведочная практика последних лет уста-



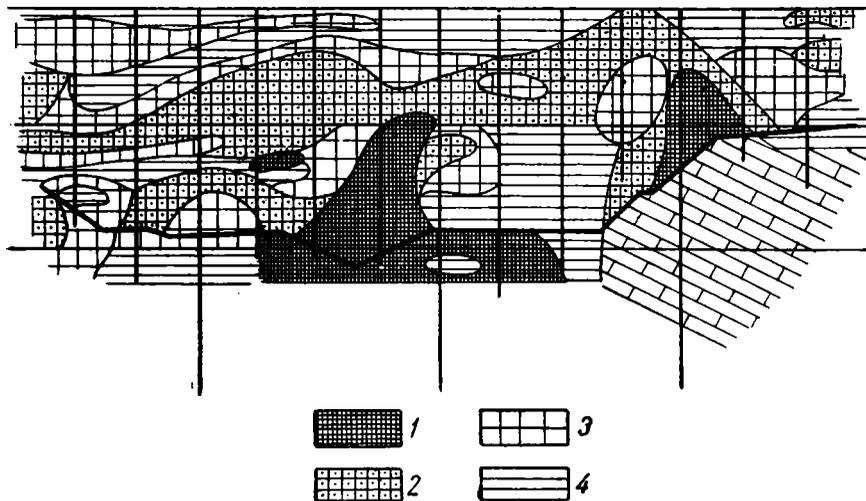
Фиг. 41. Сложное распределение руд на том же месторождении

Условные обозначения:

1 — богатые руды, 2 — кондиционные руды, 3 — ниже кондиционного, 4 — пустая порода

новила для всех районов случаи пустых или бедных карстовых алевроитов псаммитов, пелитов и т. п. Это имеет место, 1) когда подогоразлегающие серпентиниты подстилают известняки, 2) когда между серпентинитами и известняками залегает мощная свита сланцев, 3) когда на контакте с известняками или вблизи его встречаются пачки сланцев и других пород,

в результате чего получается разубоживание карстовых заполнений пустыми породами; 4) когда мощная толща серпентинитов, не успевшая разложиться до контакта с известняками, впоследствии подвергается дезинтеграции в результате образования подземного карста под влиянием бокового притока грунтовых вод, т. е. когда карст значительно моложе вышележащей коры выветривания; 5) когда образование карста связано с восходящими напорными водами, питающимися с водосборного бассейна, где отсутствуют серпентиниты.



Фиг. 42. Распределение руд с разным содержанием никеля в опустившемся карсте на том же месторождении

Условные обозначения:

1 — богатые руды, 2 — кондиционные руды, 3 — ниже кондиционного, 4 — пустая порода

Наряду с карстами, в составе которых принимает участие элювий кровли или делювий и пролювий стенок карста, имеются случаи открытых карстов, заполненных наряду с делюзием также и аллювиальным материалом: глинами, песками и гальками, принесенными со стороны, нередко с принесенными растительными остатками (угольным мусором).

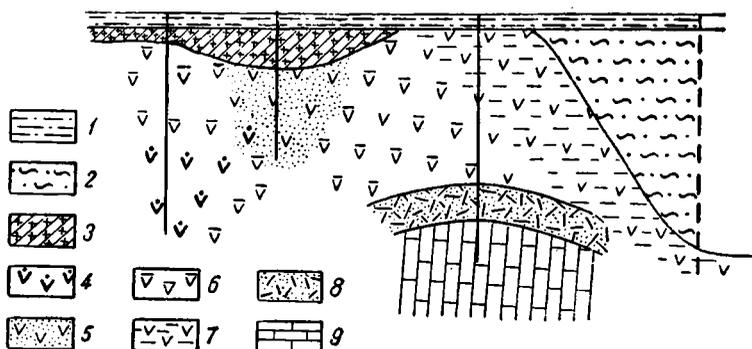
На дне открытых карстов развиваются иногда своеобразные геохимические процессы, в замкнутых воронках карста образуются черные и серые илы и концентрируются сульфиды железа и никеля, образуя своеобразные месторождения осадочных сульфидов никеля (Айдырлинское месторождение).

4. Примеры профилей коры выветривания на Среднем Урале

Приводим несколько примеров изученных нами профилей коры выветривания на никелевых месторождениях Среднего Урала.

А. Западно-Капарулинское месторождение (Режевский район).

На Капарулинском месторождении древняя кора выветривания серпентинитов представлена разностями дезинтегрированных, выщелоченных, нонтронитизированных, силицифицированных, обожженных и ожеженных пород. Порфириты превращены в аналогичные дезинтегрированные и глинистые разности. Известняки образуют окремненные породы. Глубина разложения пород самая разнообразная. Степень разложения уменьшается по мере углубления, по мере приближения к известнякам порода становится более рыхлой и разложенной, образуя на контакте с известняками глинистую, песчаную или щебенчатую (из-за слабо разложенных силицифицированных и ожеженных пород) массу карстового алеврита.



Фиг. 43. Размыв коры выветривания. 3-е Капарулинское месторождение Режевского района (разрез 1)

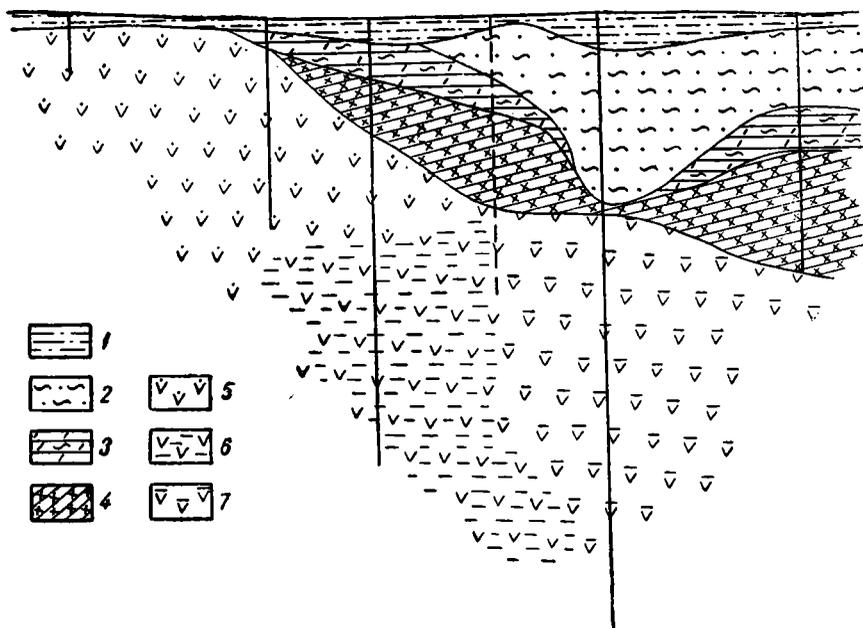
Условные обозначения:

1 — суглинки верхнетретичные, 2 — глинисто-песчаная толща меловая, 3 — делювиальная кора выветривания, 4 — силицифицированный серпентинит, 5 — охры по серпентиниту, 6 — глины по серпентиниту, 7 — серпентинит нонтронитизированный, 8 — карстовые алевриты, 9 — известняки

Развитие нонтронитизированных серпентинитов является интересной особенностью продуктов разложения серпентинитов на этом месторождении. В большинстве случаев породы здесь слабо нонтронитизированы, хотя и обладают глинистым сложением и зеленым цветом, но имеются и сильно нонтронитизированные разности. Нонтронитизированные серпентиниты отличаются зеленовато-бурым, шоколадным и бурым цветом. Омарганцованные разности обычно более темные. При обожрении нонтронитизированных серпентинитов они окрашиваются в бурые цвета. Почти всегда в нонтронитизированных серпентинитах наблюдается повышенное содержание никеля. Между нонтронитизированными и ожеженными глинистыми разностями продуктов разложения серпентинитов имеются все переходы. Часто встречаются оталькованные разности серпентинитов и продукты их разложения, имеются также хлоритизированные разности, продукты которых представлены зелеными глинами.

Характерно для Капарулинского месторождения интенсивное развитие делювиальных продуктов коры выветривания, приуроченных главным образом к склону плотных или дезинтегрированных серпентинитов или к их более интенсивно разложенным частям. Состав делювиальных продуктов чрезвычайно разнообразен: чем ближе они находятся к коренным

породам или к продуктам их разложения, тем более они отражают состав этих пород, от которых их не всегда легко отличить; по мере удаления от коренных пород к ним примешивается все больше посторонних материалов из меловых отложений, которые затем начинают преобладать. Делювиальные продукты представлены не только отложениями склонов, но иногда и продуктами небольшого промыва древней коры выветривания, отложившимися на первичной коре или на карстовых алевритах (фиг. 43 и 44). Отложение делювия происходило несколько раз, но особенно интенсивно оно развивалось в эпоху отложения меловых глин и песков. Перед на-



Фиг. 44. Размыв коры выветривания, 3-е Капарулинское месторождение Ржевского района (разрез 2)

Условные обозначения:

1 — красно-бурые суглинки верхнетретичные, 2 — песчано-глинистые отложения верхнемеловые, 3 — глины верхнемеловые, 4 — делювий коры выветривания, 5 — серпентиниты дезинтегрированные, 6 — серпентиниты нонтронитизированные, 7 — глины по серпентиниту

ступлением мела происходил довольно значительный размыв древней коры выветривания, причем продукты размыва отлагались на размытой коре, на песках и на карстовых алевритах, образуя постель, на которой отлагались меловые отложения. Мощность делювиальных отложений составляет 6—8 м, а в скважине № 234 достигает 16 м.

Профиль коры выветривания, с которой связано оруденение, представлен следующими типами (сверху вниз).

Тип 1

- А. Глины по серпентинитам.
- Б. Дезинтегрированные серпентиниты.
- В. Плотные серпентиниты.

Тип 2

- А. Железистые глины (обохренные) по серпентинитам.
- Б. Нонtronитизированные серпентиниты.
- В. Глины по серпентинитам.
- Г. Глины и силицифицированные серпентиниты (горизонты В и Г иногда сливаются, иногда отсутствуют в отдельности или совместно).
- Д. Дезинтегрированные серпентиниты (присутствуют не всегда).
- Е. Карстовые алевриты.
- Ж. Известняки.

Тип 3

- А. Глины по серпентинитам.
- Б. Глины по ожелезненным серпентинитам.
- В. Глины и силицифицированные серпентиниты.
- Г. Плотные серпентиниты.

Тип 4

- А. Охристые глины.
- Б. Нонtronитизированные серпентиниты.
- В. Выщелоченные и дезинтегрированные серпентиниты.
- Г. Плотные серпентиниты.

Наиболее распространены среди рудных залежей профили первого и второго типа, более редки профили типов 3 и 4.

Мощность отдельных горизонтов разнообразна. На одном из профилей типа 2 (скв. № 25/140) охристые глины по серпентинитам имеют мощность 3 м, те же глины с нонtronитизированными серпентинитами — 28 м, глины по серпентинитам вместе с силицифицированными серпентинитами — 41 м, карстовые алевриты — 6 м, что дает всего 78 м. Мощность одних дезинтегрированных серпентинитов в одном случае доходила до 88 м (скв. № 84/111).

Переходы одних пород в другие постепенные и весьма часты, особенно переход нонtronитизированных серпентинитов в глины по серпентиниту и последних в дезинтегрированные серпентиниты.

Карстовые алевриты иногда представлены остаточной корой, обогащенной силицифицированными и ожелезненными породами. Хотя карстовые алевриты обычно отделяют продукты разложения серпентинитов от известняков, однако, имеются случаи, когда с известняками непосредственно граничат дезинтегрированные серпентиниты или нонtronитизированные, а карстовый алеврит отсутствует.

Анализы на 5 компонентов (табл. 35) дают картину химического состава руд основных типов и изменения их по вертикали сверху вниз.

Дудка 133 дает характеристику делювиальных глин и частично дезинтегрированных и оталькованных серпентинитов. Делювиальная глина (8.8—10 м) здесь отличается повышенным содержанием железа (25—37% Fe) и никеля (1.0—1.01%). Породы на глубине 8.8—10 м довольно глинисты (около 20% глины). Значительное содержание магния на 11—14 м объясняется присутствием талька и серпентинита. В связи с появлением плотного серпентинита на 13—14.5 м ожелезнение и содержание никеля уменьшаются (табл. 35).

Скважина и дудка 25140 характеризуют основную рудную массу: глины по серпентиниту и нонtronитизированные серпентиниты.

Глины и нонтрониты отличаются здесь, как и делювиальные глины, значительным ожелезнением (30—40% Fe), относительной глинистостью (18—20% галлуазита), небольшой песчаностью (12—20% SiO₂), и небольшим содержанием магниевых силикатов (1—8%) (табл. 35).

Дудка № 233 дает представление о переходной зоне к дезинтегрированным серпентинитам и о составе последних. Глина, как и предыдущие глины по серпентиниту, отличается сильной ожелезненностью (45% Fe). Это скорее всего железная руда с небольшим количеством глины (около 10%) и песка (не более 12%). Переход к дезинтегрированным серпентинитам весьма резкий. Последние отличаются относительно невысокой выщелоченностью и поэтому большим содержанием магния, может быть в силу большого содержания стойкого к выветриванию талька. Ожелезнение находится в начальной стадии и пока не сказалось на качестве руды. Содержание никеля в дезинтегрированных серпентинитах, в отличие от обычно наблюдаемого в этих породах, в образцах из этой дудки повышенное, повидимому, вследствие инфильтрации никеля и адсорбции его слабо разложившим серпентинитом. Количество никеля уменьшается, по мере того как порода становится менее разложившейся, понижается содержание Fe₂O₃ и увеличивается содержание MgO (табл. 35).

Никель, кроме нонтронита, гидроокислов Fe и Mn, связан еще с хризопразом и гарниеритом, которые, однако, присутствуют редко и в единичных зернах.

Интересен факт присутствия асболана, с которым связан кобальт. Делювиальная глина образована местным материалом: сланцами и разрушенным порфиритом. Сохранение плагиоклаза и других цветных минералов позволяет предположить четвертичный возраст этой делювиальной глины.

Б. Южно-Покровское месторождение

Ультраосновные породы Южно-Покровского месторождения дают всю гамму переходных продуктов, характеризующих постепенные стадии изменения от плотных разностей до охр в разных условиях залегания. В такой же последовательности наблюдаются и изменения тальковых, карбонатизированных, хлоритизированных и других разностей серпентинитов. Резкой границы между отдельными разновидностями продуктов выветривания серпентинитов провести нельзя, так как переходы между ними обычно постепенные.

Дезинтегрированные серпентиниты. Отличием их от выщелоченных серпентинитов Южного Урала служит отсутствие ноздреватопористой и сетчатой текстуры и мелких жилок карбонатов. В верхних частях профиля коры выветривания они часто окремнены и местами ожелезнены. Часть дезинтегрированных серпентинитов, особенно окремненные и ожелезненные разности их, являются рудоносными.

Выщелоченные, окремненные и ожелезненные серпентиниты встречаются редко. Они образуют небольшие блоки, иногда среди дезинтегрированных разностей, но чаще среди нонтронитизированных и охристых серпентинитов. По внешнему виду это плотные, желто-бурые и бурые породы, часто сетчато-пористого и сетчато-ячеистого строения. В таких разновидностях можно встретить охру, выполняющую поры и пустоты в породе, причем нередко рыхлая часть ее преобладает над кремнисто-железистым цементом. Как показывает текстура, породы этого типа образовались за счет сильно брекчированных серпентинитов. Обычно промежутки между крупными глыбами кремнисто-железистых пород выполнены рыхлой, часто окремненной бордово-красной

Химический состав основных типов пород профиля выветривания 3-го Капарулинского месторождения в %

Выработка и глубина в м	Наименование пород	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Дудка 133						
8.8—10	Делювиальная бурая глина с марганцовистыми включениями и обломками выщелоченного серпентинита	22.40	54.40	8.20	0.58	—
11—12	Та же глина; книзу оталькованные серпентиниты	30.52	36.50	2.70	0.58	10.52
13—14.5	Плотные, трещиноватые, оталькованные серпентиниты	41.60	11.65	1.07	—	29.58
Скважина и дудка 25/140						
6—7						
7—8	Обохренные глины по серпентиниту	33.08	47.88	4.76	0.52	
8—9						
9—10						
10—11	То же	28.84	48.58	6.14	0.97	1.31
11—12						
12—13						
13—14	То же	29.36	47.19	7.33	0.78	1.44
14—15						
15—16						
16—17	То же и обохренный нонтронитизированный серпентинит с 17 до 18 м	28.28	44.27	8.09	0.65	3.27
17—18						
18—19	Обохренный нонтронитизированный серпентинит	28.20	41.77	5.71	0.71	0.21
19—20						
20—21						
21—22	То же , .	24.28	55.38	6.02	0.52	0.42
22—23						
23—24						
24—25	Обохренный нонтронитизированный серпентинит	21.60	57.74	5.34	0.20	0.58
25—26						
26—27						
27—28	То же	34.32	35.39	11.01	0.78	0.36
28—29						
29—30						
Дудка 233						
6.4—8	Глина по серпентиниту (глина бурая с обломками серпентинита и окварцованного серпентинита)	18.00	65.65	4.35	—	0.60
9—10	То же, внизу дезинтегрированный омарганцованный серпентинит с прожилками кварца	34.08	27.89	3.03	—	20.45
11—12	Дезинтегрированный оталькованный серпентинит с прожилками кварца	37.60	18.87	1.13	—	26.60
13—14.5	То же	38.00	14.57	1.71	—	29.27

и желто-бурой охрой. Среди таких пород как правило, встречается максимальное количество пленок и тонких корочек никелевой зелени (гарниерита и непюита), в то время как породы, не отличающиеся присутствием большого количества охр, большей частью являются безрудными. Под микроскопом рассматриваемые выщелоченные разности серпентинитов оказываются сложенными из мелких изометрических зерен кварца, халцедона, рудных зерен (хромшпинелида и магнетита), хризотильных шнуров и антигоритовых чешуек.

Нонтронитизированные серпентиниты пользуются значительным распространением и достигают в ряде мест мощности 8 м. В большинстве случаев они залегают над дезинтегрированными серпентинитами, но небольшие блоки их нередко можно встретить как среди охр, так и среди дезинтегрированных серпентинитов.

Охры и глинистые охры, развитые по серпентиниту, представляют конечную стадию разложения серпентинитов. На Южной залежи они получили наиболее широкое распространение среди продуктов выветривания последних. Обычно они залегают над нонтронитами, иногда можно встретить их среди дезинтегрированных серпентинитов, чаще же они перекрывают их. Большой мощности эти породы достигают в местах, тектонически нарушенных.

Как уже отмечалось выше, среди охр и глинистых охр можно встретить останцы (блоки) дезинтегрированных серпентинитов, мелкие, неправильной формы тела нонтронитов и большое количество кусков ноздреватых кремнисто-железистых серпентинитов. Вообще при наличии постепенных переходов провести резкую границу между охрами и нижележащими породами трудно. По внешнему виду охры и глинистые охры мало чем отличаются друг от друга; отличие обнаруживается в их химическом составе (главным образом в содержании глинозема и окислов железа). Глинистые охры и охры представляют собой желто-бурые, бурые и вишнево-красные, сильно пачкающие рыхлые породы. Под микроскопом видно, что они состоят главным образом из гетита, гидрогетита и лимонита. Кроме них, встречаются кварц и халцедон, а в окремнелых разностях чешуйки талька, хлорита и небольшое количество остаточного хризотила. Глинистые минералы типа галлуазита и ферригаллуазита обильно представлены в глинистой охре, в то время как в охре они встречаются редко.

Карстовые отложения пользуются очень широким распространением, хотя в этом и уступают нонтронитизированным и охристым разностям серпентинитов. Почти вся площадь известняков подверглась значительному растворению с образованием глубоких и мелких карстовых полостей, впоследствии заполненных рыхлыми образованиями кроющихся и окружающих пород.

Карстовые алевролиты по своему составу разбиваются на следующие два типа:

1) карстовые руды, существенно содержащие щебенку туфосланцевых пород,

2) карстовые руды, существенно содержащие кору выветривания серпентинитов.

Минералогически состав пород первого типа довольно сложен и определяется основной массой рыхлых карстовых отложений и щебенкой плотных пород, заключенных в этом цементе. Цемент обычно состоит из тонкодисперсной глинисто-галлуазитовой массы, содержащей большое количество мелких угловатых кусков кварца и колломорфных глинистых образований — кремнистых роголек, которые часто обволакиваются тонкой пленкой никелевой зелени. Щебенка карста здесь представлена преимуще-

щественно кусками эффузивных пород различной степени разложенности реже кремнисто-глинистых и глинистых сланцев. Руды этого типа вблизи известняков значительно омарганцованы и представляют интерес с точки зрения содержания в них кобальта.

Породы второго типа представляют собой несколько смещенную в карстовые полости кору выветривания серпентинитов (делювирированную), сцементированную тонкодисперсной галлуазитовой глиной. Минеральный состав этой руды весьма непостоянен и находится в полной зависимости от тех разностей продуктов выветривания, которые залегают над известняками до момента карстования. Здесь мы можем встретить рудные участки, содержащие преимущественно несколько ожелезненные нонтрониты, иногда охры и дезинтегрированные серпентиниты. В наиболее глубоких частях карста встречается смесь всех разновидностей продуктов выветривания серпентинитов.

Характерно уменьшение содержания серпентинита по мере разложения породы; нонтронит появляется в отдельных горизонтах, а затем он уменьшается в карстовых алевритах весьма мало, зато количество кварца увеличивается книзу; последний вместе с гетитом и гидрогетитом находится не только в виде реликтов, но является новообразованием. Фосфор присутствует в виде фосфата кальция, возможно также магнезия или глинозема. Хром концентрируется в виде остаточного хромшпинелида и хромового нонтронита.

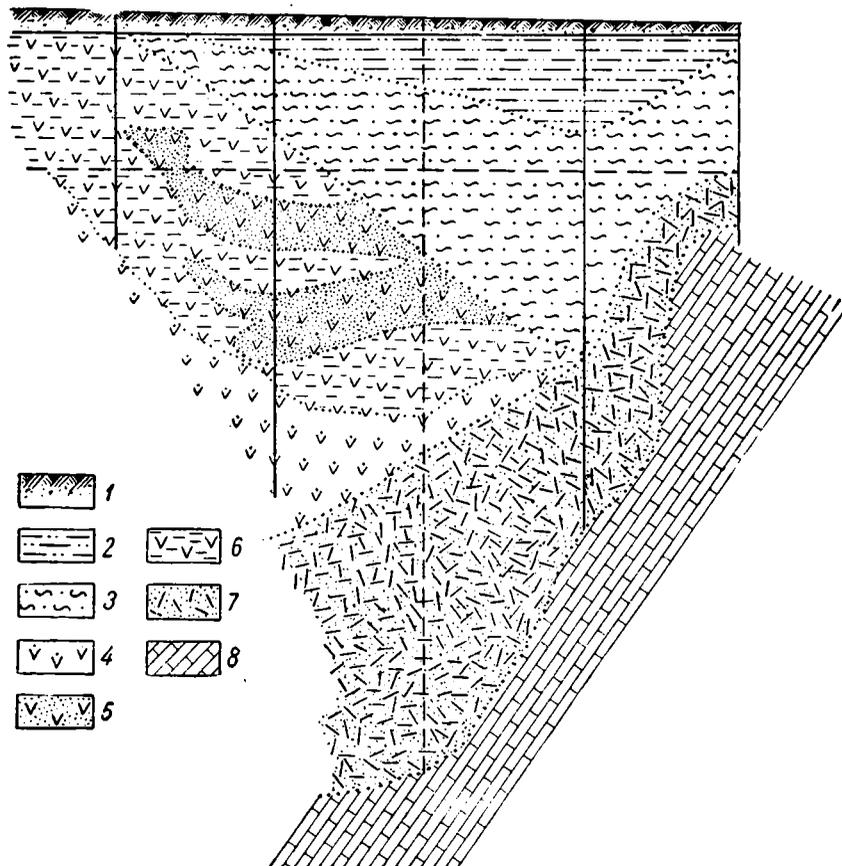
Химический состав основных типов пород и руд (за исключением охр по серпентиниту и глинистых), согласно обычным анализам на пять компонентов, произведенным лабораторией Режевского никелевого завода, представлен в табл. 36.

Приводимые в таблице анализы характеризуют нонтронитизированные серпентиниты (скв. 226, глубина 47—62 м; скв. 244, глубина 21—25 м, скв. 248, глубина 26—46 м); дезинтегрированные (скв. 214, глубина 10—27 м, скв. 232, глубина 6—14); карстовые алевриты (скв. 226, глубина 62—65 м, скв. 258, глубина 55—71).

Нонтронитизированные серпентиниты содержат свыше 32% Fe_2O_3 . Взамен отсутствующего нормального зеленого южноуральского типа здесь имеются выщелоченные серпентиниты, затронутые нонтронитизацией, в которых Fe_2O_3 всего 24—25% и меньше, зато осталось еще MgO от 20—10% до 1—1.3%; имеются сильно омарганцованные разности, которые должны содержать повышенные количества кобальта.

Как и в Капарулинском месторождении, обращает на себя внимание повышенное содержание глинозема, достигающее до 12—14% и даже 17%, вместо нормальных 3—5%. С хлоритами здесь может быть связана лишь незначительная часть глинозема, судя по низкому, обычно, содержанию в этих породах окиси магнезии и отсутствию пропорциональности между содержанием магнезии и глинозема. Мы склонны объяснить повышенное содержание глинозема позднейшим образованием галлуазитовых глин в уже выветрелом серпентините, может быть, даже путем привноса глинозема извне. Хотя здесь верхние горизонты никелевых руд, вероятно, одновременны или близки по времени образования бокситоносным горизонтам Режевского района, а источники глинозема или глин весьма многочисленны (так как сланцы, туфогенные породы и диабазы окружают серпентиниты и внедряются в них), не исключено все же, что часть глинозема иллювирирована в виде глин сквозь толщу рыхлой коры в суспендированном состоянии. Если глинозем соединить с кремнеземом в галлуазит, а остаток кремнезема в нонтронит типа $Fe_2O_3 : SiO_2 = 1 : 4$ (такое полное отсутствие свободного кремнезема мало вероятно), то грубый подсчет даст, например, для скважины № 248 на глубине

26—27 м около 42% галлуазита, 14—15% нонтронита и 33% гидрогетита, а для скважины № 226 на глубине 47—49 м около 33% галлуазита, 13% нонтронита и 47—48% гидрогетита. Таким образом, при указанных исходных положениях мы имеем преимущественно глинистые гидрогетиты с нонтронитом. Несомненно, имеется немного хлоритов и других минералов, которые в какой-то степени могут изменить этот приближенный подсчет.



Фиг. 45. Рудный карст (висячие руды). Южно-Покровское месторождение Режевского района (по А. Л. Кацу).

Условные обозначения:

- 1 — почвенный слой, 2 — суглинки третичные, 3 — песчано-глинистые отложения, меловые, 4 — серпентинит дезинтегрированный, 5 — охры по серпентиниту, 6 — серпентинит нонтронитизированный, 7 — карстовый алеврит, 8 — известняк.

Дезинтегрированные серпентиниты хорошо представлены анализами скв. № 214-бис; здесь содержание MgO достигает 25%, Fe_2O_3 14—15%, а SiO_2 38—44%. Аналогичен этим пробам анализ дезинтегрированных серпентинитов скв. № 232 (10—14 м глубины 23.43 MgO , 15.06 Fe_2O_3 и 43.36% SiO_2). Большие колебания в содержании никеля объясняются как неравномерной сорбцией никелевых растворов выщелоченными серпентинитами, так и неравномерным отложением тонкодисперсных никелевых силикатов в волосных трещинах этих пород.

Карстовые алевриты отражают в себе состав исходных материалов, из которых они сложены: карстовый алеврит скв. № 226 (глубина 62—65 м) по своему ничем не отличается от выщележащих нонтро-

Химический состав основных типов пород профиля выветривания Ю.-Покровской залежи в ‰

Скв. №	Глубина (м)	Описание пород	Компоненты					
			SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	
226	47—49	Сильно железенные, нонtronитизированные, омарганцованные серпентиниты	} 21.40	46.74	14.10	0.40	2.32	
	49—51							То же
	51—58							То же
	62—65	Карстовый алеврит с щебенкой бурого железняка, местами омарганцованный	26.72	48.43	12.97	0.60	1.30	
232	6—8	Обохренный серпентинит с обломками выщелоченного	} 40.00	22.52	8.44	0.52	12.09	
	8—10							То же, с 9 м железенный, слабо нонtronитизированный, местами омарганцованный серпентинит, выщелоченный и дезинтегрированный
	10—13							То же, что с 9 м
	13—14							То же, что с 9 м
244	19—21	Глины с щебенкой разложенных сланцев, жирные, несколько оталькованные, с окремненными валунами, и (с 20.50 м) темнoбурые глины с включениями выщележащих серых глин	} 46.20	29.99	11.21	0.24	4.59	
	21—23							Глины темнoбурые, до черных, омарганцованные, имеется нонtronит
	23—25	Та же порода, что на 21—23 м, остатки неразложенных выщелоченных и нонtronитизированных серпентинитов	} 38.88	22.52	4.98	0.08	18.80	
	25—27	Та же порода, что на 23—25 м, сильно обохрена, куски выщелоченного и окремненного серпентинита						
	27—29	Та же порода, что на 25—27 м	} 43.16	24.07	6.49	0.01	10.10	
	29—31	" " " " сильно омарганцована						
	31—33	" " " " " "	} 44.00	36.60	5.32	0.52	3.54	
	33—35	" " " " " "						
	35—37	" " " " " "	} 31.40	46.74	8.22	0.92	1.49	
	37—39	" " " " " "						
	39—41	" " " " " "	} 38.48	40.97	7.39	0.88	2.07	
	41—43	" " " " много кусков выщелоченного нонtronитизированного серпентинита						

258	55.48—57.00	Алеврит с гнездами нонтронита по серпентиниту до 56 м. Книзу сильно омарганцованные карстовые алевриты с обломками сильно выветрелых нонтронитизированных серпентинитов, перемежающихся с галлузитовой глиной. Налеты никелевой зелени. . .	43.36	19.85	18.55	0.76	9.84
	59.88—62.38	Та же порода. Никелевой зелени нет. Имеется щебенка дезинтегрированных серпентинитов	40.20	35.62	1.00	2.80	0.05
	62.38—65.38	Та же порода, с 63 м много тонкодисперсной глины. Сильное омарганцование					
	65.38—68.30	Та же порода, с 66 м преобладание глины	37.80	27.87	0.56	2.62	0.03
68.30—71.50	Та же порода, на 70—71.50 м сильное омарганцование						
214-бис	10—21	Ободренный, сильно разрушенный дезинтегрированный серпентинит	43.92	14.92	5.68	0.20	24.65
	21—23	Та же порода					
	23—25	Та же порода	38.28	15.76	6.92	0.20	25.46
	25—27	Та же порода, с 25 м дезинтегрированный серпентинит с обломками плотного, местами омарганцован					
248	26—28	Сильно ободренный и нонтронитизированный серпентинит, с обломками бурого железняка	23.80	40.12	17.28	1.04	2.65
	28—30	Та же порода					
	30—32	Та же порода Глины по серпентиниту, с 33 м желтые и желтовато-зеленые, с щебенкой серпентинита и включениями никелевых силикатов . . .	31.36	35.34	13.58	0.05	5.65
	34—36	Та же порода					
	36—38	Та же порода	51.35	17.60	12.23	1.36	5.60
	38—40	Та же порода, с 38.90 м темнобурый. Иногда зелено-бурый и черный нонтронитизированный серпентинит, сильно ожезненный . . .					
	40—42	Та же порода	23.76	43.64	17.04	0.08	4.99
	42—44	Та же порода					
44—46	Та же порода	46.40	18.30	9.38	1.80	9.82	
	Та же порода						

нитизированных серпентинитов; алевриты скв. № 258 являются менее глинистыми и менее железистыми; верхние их горизонты характеризуются значительным содержанием MgO — 9.84% и Al_2O_3 — 18.55%, ниже — заливанием железистой глиной. Значительной силицификации алевритов в пробах, подвергшихся анализу, не наблюдается. Карстовые алевриты являются на этом месторождении весьма часто пустыми, руды находятся выше и залегают среди коренных разложившихся серпентинитов, среди охронитизированных разностей серпентинитов, образуются так называемые „висячие“ руды (фиг. 45); в подобных случаях карстование и образование карстовых алевритов происходили не одновременно с образованием коры, а позднее, путем подземного карстирования боковыми притоками вод, или раньше, до развития процесса выветривания, которые не успели в достаточной степени развить свою деятельность до известняков.

Полные химические анализы нескольких образцов Южно-Покровской залежи дали избыточное, против CaO , количество P_2O_5 , которое можно связать с MgO или Al_2O_3 (минералы типа эвансита, вавелита); отсутствие FeO не позволяет связать избыток P_2O_5 в виванит.

Выветривание пород туфо-сланцевой толщи. Отношение к процессам древнего выветривания этих пород, в виде щебенки входящих в состав некоторых карстовых руд, благодаря их разнохарактерному минеральному составу и различиям в структурах не может быть одинаковым. Не касаясь здесь разнообразных эффузивных пород, остановимся вкратце на выветривании сланцев.

Выветривание сланцев сводится главным образом к их физическому изменению (дезинтеграции) с образованием очень небольшого количества новых минералов зоны гипергенеза. Дезинтеграция сланцев выражается в их разрыхлении, увеличении гигроскопической воды и образовании главным образом галлуазитовой глины.

Выветривание глинистых сланцев сопровождается значительным привнесом гидроокислов железа, которые окрашивают породу в желтые, желтовато-бурые и бурые тона. Большая часть обломков полевых шпатов почти полностью разрушена и перешла в каолин и глинистые минералы. Биотит в разрушенных глинистых сланцах также почти полностью изменен; вокруг обесцвеченных его листочков наблюдаются бурые среды гидроокислов железа. Кварц, благодаря устойчивости к выветриванию, концентрируется и образует небольшие скопления в обожженной глине. Наряду с кварцем в этой глине наблюдается обогащение другими остаточными, устойчивыми к выветриванию минералами, как серицит, хлорит.

Выветривание углисто-глинистых сланцев выражается главным образом в их физической дезинтеграции, увеличении количества глинистых частиц за счет разрушения обломков полевых шпатов и относительном обогащении кварцем. Большая часть сланцев вследствие привноса, а также внутрiformационного перемещения окислов железа обогащается ими, окрашиваясь при этом в темнобурые цвета. Рудные минералы полностью изменены в водные окислы железа.

Кремнисто-углистые сланцы, развитые на Южно-Покровской залежи, также подверглись интенсивным физическим и слабым химическим изменениям. Наблюдается их дезинтеграция (разрыхление), увеличение гигроскопической воды, окисление рудных зерен с переходом в гематит и водные окислы железа. Такие минеральные составляющие как эпидот, серицит, хлорит и др. оказались довольно устойчивыми в гипергенной зоне. В связи с подобной дезинтеграцией и перегруппировкой минералов мы наблюдаем в выветрелых разностях кремнисто-углистых сланцев относительное обогащение кварцем, зерна которого образуют небольшие скопления в разрыхленной массе породы.

Кора выветривания в пределах Уфалейского никеленосного района менее развита, чем в Режевском районе, и вообще породы здесь разложены слабее, нонтронитизированные серпентиниты менее развиты, площадная кора уступает место линейной коре, развитой на ультраосновных породах, тектонически сильно нарушенных надвигами, сбросами, трещинами и зонами смятия.

Силифицированные серпентиниты и тальково-карбонатные породы пользуются большим развитием в зоне надвигов (Шелеинское месторождение) и в тектонических зонах смятия серпентинитов (Ново-Черемшанское месторождение, Тюленевское). Среди амфиболовых разностей и на контактах с мраморами развиваются керолиты, местами полностью замещающие мраморы (Кротовское месторождение). Примером хорошо развитой трещинной коры с блочной структурой могут служить месторождения Новое Гнездо и Больничная Залесь южной группы Верхне-Уфалейских никелевых месторождений, также Чусовские Гнезда северной группы.

Для общей характеристики процесса выветривания приводим химический состав средних проб на разных глубинах скважины № 72 по месторождению Новое Гнездо (аналитические данные Уфалейской геолого-разведочной партии) (‰):

	Глубина в м.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO
Охра по серпентиниту	3.0—7.0	4.68	32.63	9.57	2.08
" " " "	1.10—13	17.64	60.61	11.47	6.54
Выщелоченные серпентиниты . .	48.0—51	28.52	28.10	11.10	9.84
" " " "	51.0—53	29.40	26.18	10.78	24.38

При почти постоянном содержании Al₂O₃ происходит сильная концентрация Fe₂O₃, выщелачивание MgO, вынос SiO₂. Характерен рост содержания кобальта и никеля.

Представление о выщелоченных и окремненных серпентинитах дают следующие два анализа, характерные для этого типа пород (‰):

№ скважины	Глубина в м	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO
164	7.17—8.16	57.16	19.57	8.99	6.87
24	24.0—25.0	40.88	14.43	7.93	28.38

Сравнивая между собой пробы скважин 164 и 24, мы отмечаем, что при почти одном и том же содержании Al₂O₃ и Fe₂O₃ в скважине № 164 MgO почти весь выщелочен; в скважине № 24 его осталось процентов 70, несмотря на то, что в скважине № 164 содержание SiO₂ крайне высокое. Порода здесь сильно силифицирована.

Разную степень нонтронитизации серпентинитов можно усмотреть из следующих аналитических данных по некоторым скважинам (‰)

№ скважины	Глубина в м	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO
150	2.50—5.70	39.36	12.35	14.57	22.96
150	11.75—16.61	44.96	15.77	20.27	6.57
199	31.12—33.20	39.92	9.29	6.59	32.46
87	10.00—16.14	37.56	13.54	7.90	39.50

В скважине 150 нонтронитизирована богатая глиноземом порода типа амфиболовых серпентинитов. Нонтронитизация сказывается в позеленении серпентина под микроскопом. Количество Fe₂O₃ показывает, что

нонтронитизация весьма слаба, находится в начальной стадии. На глубине 11.75—16.67 м порода более выщелочена, чем вблизи поверхности 2.60—5.70 м. Мы имеем здесь разложение вдоль трещин или смятой зоны. Пробы остальных двух скважин весьма характерны в отношении MgO , выщелачивание которой только еще началось.

Сравнивая пробы с образцами нонтронитизированных пород Режевского района, мы отмечаем резкое различие в степени нонтронитизации и обожрения нонтронитизированных пород. В приведенных образцах мы имеем начальные стадии первого из этих процессов, в породах Режевского района — конечные стадии второго процесса.

Г. Чусовское месторождение (Первое Гнездо)

В пределах этого месторождения интенсивно развитая тектоника, наличие сбросов, зон интенсивного дробления, смятия и милонитизации способствовали развитию процессов древнего выветривания. Достаточно указать, что в зонах сбросов наблюдается выветривание на глубину свыше 150 м. Наибольший интерес здесь бесспорно представляют продукты выветривания ультрабазитов.

Ультрабазиты при своем выветривании образуют всю гамму продуктов, характеризующих постепенные стадии изменения от плотных разностей до охр, а именно: дезинтегрированные, выщелоченные, кремнистые и железистые, нонтронитизированные и обожренные разности. В такой же последовательности происходит разложение и термально-измененных разностей ультрабазитов: тальковых, тальково-карбонатных и амфиболовых серпентинитов.

Дезинтегрированные ультрабазиты получили на месторождении широкое распространение. Обычно это пестроокрашенные, чаще серовато-зеленовато-бурые, сильно выветрелые разрыхленные породы, содержащие то более, то менее крупные блоки плотного неизмененного серпентинита. Разложение породы сказывается в небольшом выносе кальция и магния и обогащении гидроокислами железа. По своей химической характеристике они близки к выщелоченным серпентинитам халиловского типа, отличаясь от них меньшей разложенностью и отсутствием поздреватовой, пористой и сетчатой структуры. В дезинтегрированных серпентинитах, помимо окисления магнетита, обычно наблюдается интенсивное окремнение и часто ожелезнение всей породы. Часть этих пород благодаря обменной (с оставшимся магнием) адсорбции никеля является рудоносной.

Выщелоченные разности ультрабазитов на первом Чусовском месторождении встречаются в виде небольших неправильных тел, залегающих непосредственно на плотных ультрабазитах. По своему строению и составу они близки к выщелоченным ультрабазитам Южного Урала. От дезинтегрированных разностей они отличаются наличием карбонатно-халцедоновой сетки. Ожелезнения и окисления магнетита, столь характерного для дезинтегрированного серпентинита, здесь не наблюдается.

Окремненные и железистые разности в пределах разведанной части месторождения встречаются довольно часто, составляя не менее 5% общей массы продуктов выветривания. Приурочены они преимущественно к тектонически нарушенным зонам, благодаря чему мы имеем здесь обычно крутопадающие жиллообразные или линзообразные тела от тонких, в несколько сантиметров проводников до тел в 2—3 м мощностью, которые перемежаются с окристыми серпентинитами. В глубину они нередко прослеживаются на несколько десятков метров. По внешнему виду это плотные, темносерые, часто пористые

образования, имеющие темную, иногда серовато-желтую окраску, сетчато-пористого или сетчато-ячеистого сложения, с сохранившимися кое-где реликтивными участками неизмененного серпентинита. В сетчато-пористых и сетчато-ячеистых разностях можно встретить охристые образования, выполняющие пустоты в породе. В зависимости от степени ожелезнения и окремнения преобладают то охристые, то железистые, то кремнисто-серпентинитовый цемент. Текстура этих пород говорит за то, что они образовались за счет сильно брекчирированных ультраосновных пород.

Нонтронитизированные ультрабазиты встречаются в виде небольших гнезд и неправильных тел среди охр, а иногда образуют тонкие прожилки, шпирь и тела неправильной формы среди дезинтегрированных и выщелоченных серпентинитов. По внешнему виду нонтронит мало чем отличается от нонтронитов Южного Урала. Обычно он имеет форму чешуек или небольших листочков, жирных наощупь. Нонтронитовая масса во влажном виде сохраняет текстурные особенности серпентинита, в сухом виде — рассыпается. Цвет зеленый, до темноватозеленого. Под микроскопом чистые, не подвергшиеся ожелезнению чешуйки нонтронита, характеризуются светлозеленовато-желтым цветом, ожелезненные же чешуйки отличаются более густыми буровато-зелеными тонами. Показатель преломления чешуек чистых разностей нонтронита колеблется по n_g в пределах от 1.557 до 1.558; ожелезненные разности имеют несколько повышенный показатель преломления. В общей массе продуктов выветривания нонтрониты составляют меньше 1%.

Охры по серпентинитам пользуются наиболее широким распространением среди продуктов выветривания не только ультрабазитов (не менее 60%), но и всех вообще пород.

Выветривание кремнисто-углистых сланцев. Эти породы на первом Чусовском месторождении также подверглись физико-химическим изменениям, выражающимся в сильном разрыхлении породы и в увеличении содержания гигроскопической воды, окислении магнетита и переходе его в гидрогематит и лимонит. Такие минеральные составляющие, как эпидот, серицит и др., оказались довольно устойчивыми.

Выветривание и карстование мраморов. Процесс выветривания мраморов выражается в растворении мрамора и образовании в нем различных карстовых пустот, ям, труб и т. п., заполненных тонкодисперсными глинистыми образованиями, выпавшими из водных растворов (галлуазиты, ферригаллуазиты, никелевые силикаты), и продуктами выветривания окружающих и перекрывающих мраморы пород (карстовые алевролиты и пелиты).

Наблюдается характерная закономерность: в участках, где мраморы перекрыты амфиболитами, кластическим материалом карста является щелбенка амфиболитов, но там, где наблюдается контакт двух пород, кластический материал представлен обеими породами. Посторонний кластический материал на первом Чусовском месторождении отсутствует. Все это указывает на то, что в пределах данного месторождения существовал тип подземного карста.

Нередко среди рыхлых карстовых образований можно встретить останцы в виде столбов мрамора и, наоборот, щелевидные пустоты в мраморах, выполненные алевролитом. Это свидетельствует о выборочном характере выщелачивания мраморов, шедшего преимущественно по трещиноватой зоне. Участки мраморов, подвергшихся окремнению, оказываются в процессе выщелачивания весьма устойчивыми. Благодаря такому выборочному выветриванию часто наблюдаются крупные блоки мрамора среди рыхлых карстовых отложений. В отличие от других месторождений

карстовые образования на первом Чусовском гнезде не всегда являются хорошей рудой на никель. Это зависит не только от условий образования карста и от характера заполняющего материала, но и от направления этих пустот, в которых протекали минерализованные воды: в тех местах, где карст служил водосборной точкой, образовались богатые никелем карстовые алевриты; там, где воды отходили в сторсну, рыхлые образования обогащались никелем незначительно.

Выветривание амфиболитов. Метаморфизованные, сильно рассланцованные амфиболиты на первом Чусовском месторождении встречены на контакте мраморов и серпентинитов. Эти породы, подобно другим, подверглись сильному выветриванию, превратившему их в рыхлую породу глиноподобного сложения, зеленовато-серого, иногда буроватого цвета, в составе которой, помимо реликтов минералов, как альбит, амфибол, кварц и ряда других, встречаются минералы, образование которых связано с выветриванием. К образованиям последнего типа следует отнести каолинит и галлуазит, развивающиеся главным образом за счет полевых шпатов и отчасти амфиболов. Каолинит образует микрочешуйчатые, иногда агрегативные микрзернистые скопления. Нередко среди них можно встретить реликтовые зерна плагиоклаза. Галлуазит, аналогично каолиниту, образует агрегаты мелких чешуек, главные массы которых приурочены к трещинам в актинолите, или к табличкам плагиоклаза. Большая часть галлуазита представлена аморфным глиноподобным минералом беловато-желтого цвета. Значительным развитием среди новообразований пользуется нонтронит, развивающийся по роговой обманке (с реликтовыми зернами пироксена), и монтмориллонит.

Продукты выветривания амфиболитов не всегда никеленосны. Рудными являются только те участки их, где имеется много нонтронита и галлуазита, т. е. участки амфиболитов, богатых, темноцветной частью.

В этой части нашей работы мы указали на типы древней коры выветривания на Урале, ограничиваясь почти только одними ультрабазиитами, мы дали характеристику типов, описали текстуру и структуру выветрелых пород, минералогический и химический состав профилей выветривания на разных породах и в разных районах.

Во второй части нашей работы мы, на основании здесь изложенного материала и нового, который мы приведем в дальнейшем, разберем время, условия образования древних кор, геохимию процессов формирования профилей и процессов, приводивших к концентрации отдельных элементов в рудные месторождения.

Третья часть будет посвящена результатам исследования минералов древней коры выветривания на ультрабазиитах.

ЛИТЕРАТУРА

- Бетехтин А. Г. и Кашин С. А. Минералогия халиловских месторождений хромистого железняка на Южном Урале. Сб. Хромиты, т. 1. Изд. Акад. Наук, 1937.
- Гассель О. Кристаллохимия. ОНТИ, 1936.
- Гинзбург И. И. Геохимия коры выветривания на серпентинитах Южного Урала. Изв. Акад. Наук, 1938, № 1.
- Гинзбург И. И. и Савельев И. И. Образование никельсиликатных руд на Южном Урале. Изв. Акад. Наук, 1939, № 6.
- Егорова Е. Н. О никеленосности оливина. Зап. Мин. общ., 2 сер., 1938, 67, вып. 2, 262—272.
- Кац А. Л. Сравнительная характеристика продуктов выветривания и роль хлоритов в образовании обогащенных никелем участков на Шелектинском месторождении. Тр. Инст. геол. наук Акад. Наук, 1941, вып. 41.
- Кашин С. А. и Федоров В. А. Хромитовые месторождения Хабарнинского массива. Сб. Хромиты, т. 2, Изд. Акад. Наук, 1940.
- Корин И. Э. Халиловское месторождение никеля и условия его образования. Изв. Акад. Наук, 1939, № 6.
- Логинов В. П., Павлов Н. В. и Соколов Г. А. Хромитоносность Кемпирсайского ультраосновного массива на Южном Урале. Сб. Хромиты, т. 2, Изд. Акад. Наук, 1940.
- Полынов Б. Б. Кора выветривания, ч. 1, Изд. Акад. Наук, 1934.
- Савельев И. И. Роль микрорельефа в образовании никелевых месторождений силикатных руд на Южном Урале. Тр. Инст. геол. наук Акад. Наук, 1941, вып. 41.
- Соколов Г. А., Логинов В. П., Павлов Н. В. и др. Хромитоносность Урала (Рукопись, фонд Инст. геол. наук, 1941).
- Ульянов Д. Г., Грицаенко Г. С., Крутов Г. А. и др. Месторождения силикатно-никелевых руд Орско-Халиловского района. Тр. Всесоюз. инст. мин., сырья, 1937, № 118.
- Филимонова А. А. и Кофанов Д. Н. Древнее выветривание Южно-Кемпирсайских хромитовых месторождений „Гигант“ и „Спорное“. Тр. Инст. геол. наук Акад. Наук, 1941, сер. рудная, № 4.
- Цибульчик М. А. Актюбинское никелевое месторождение. Нар. хоз. Казахст., 1937, № 3—4.
- Vogt J. H. L. Nickel in igneous rocks. Econ. Geol., 1923, 18, № 4.
-

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	1
Глава I. Образование зон и профилей в древней коре. <i>И. И. Гинзбург</i>	3
Глава II. Типы древней коры выветривания. <i>И. И. Гинзбург</i>	6
1. Типы коры	6
2. Характеристика отдельных типов коры выветривания применительно к ультраосновным породам и никелевым месторождениям Урала	7
3. Кора выветривания, связанная с позднейшей химической переработкой остаточной коры или с инфильтрационными процессами	14
4. Химико-минералогические типы никелевых руд	18
Глава III. Краткая характеристика ультраосновных пород Урала и содержание в них никеля. <i>И. И. Савельев, А. Л. Кац, И. И. Гинзбург</i>	20
1. Ультраосновные массивы Южного Урала	20
2. Ультраосновные массивы Среднего Урала	23
3. Химический состав ультраосновных пород	24
4. Форма вхождения никеля	29
Глава IV. Кора выветривания на Южном Урале	32
I. Кора выветривания на серпентинитах	32
А. Нонтронитовая кора площадного распространения хааловско-кемпирсайского типа <i>И. З. Корин</i>	32
Физическая характеристика процессов выветривания.	38
Химическая характеристика процессов выветривания. <i>И. И. Гинзбург</i>	42
Б. Силицифицированная кора выветривания. <i>И. З. Корин</i>	56
Химическая характеристика профиля силицифицированной коры выветривания. <i>И. И. Гинзбург</i>	62
В. Месторождения линейного распространения. <i>И. И. Гинзбург</i>	68
Химические процессы выветривания в новоаккермановском типе. <i>И. И. Гинзбург</i>	69
Г. Сравнение профилей площадного выветривания (нонтронитового) и линейного (новоаккермановского) типа. <i>И. И. Гинзбург</i>	92
2. Профиль коры выветривания на пироксенитовых и актинолитовых породах <i>А. Л. Кац</i>	94
3. Профиль коры выветривания на породах семейства габбро. <i>А. Л. Кац</i>	99
А. Выветривание габбро. <i>А. Л. Кац</i>	100
Б. Выветривание габбро-диабазов. <i>А. Л. Кац</i>	100
В. Выветривание габбро-амфиболитов. <i>А. Л. Кац, В. Ф. Попков, И. И. Гинзбург</i>	104
Г. Общая минералогическая характеристика профиля выветривания пород семейства габбро. <i>А. Л. Кац</i> и <i>В. Ф. Попков</i>	112
4. Выветривание кварцитовых, яшмовых, кварцито-глинистых и кварцито-серпентитовых сланцев. <i>К. Н. Трубина</i> и <i>И. И. Гинзбург</i>	112
Глава V. Кора выветривания на Среднем Урале	116
1. Кора выветривания площадного распространения. <i>И. И. Гинзбург</i>	116
2. Кора выветривания линейного распространения среднеуральского типа. <i>И. И. Гинзбург</i>	120
3. Кора выветривания на известняках и мраморах. <i>И. И. Гинзбург</i>	123
4. Примеры профилей коры выветривания на Среднем Урале.	133
А. Западно-Капарулинское месторождение <i>И. И. Гинзбург</i>	134
Б. Южно-Покровское месторождение. <i>А. Л. Кац</i>	137
В. Верхне-Уфалейский район. <i>И. И. Гинзбург</i>	145
Г. Чусовское месторождение <i>А. Л. Кац</i>	146

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР*

*

Редактор издательства *С. Т. Попова*
Технический редактор *Е. И. Симкина*
Корректор *Ф. М. Снецирева*

*

РИСО АН СССР № 2109. А-05754. Зак. № 212.
Подписано к печати 15/VI 1946 г. Формат
бумаги 70X108¹/₁₆. Печ. л. 9¹/₂. Уч.-изд. л. 15,75.
Тираж 1500 экз.

1-я типография Издательства Академии Наук
СССР. Ленинград, В. О., 9 линия, 12.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
37	13 ст.	(генерит)	(гарнерит)
49	7 ст.	$\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Al}_2\text{O}_3$
53	14 „	$\text{SiO}_2 (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$	$\text{SiO}_2 : (\text{RO} + \text{R}_2\text{O}_3)$
63	2 ст.	$\approx 1,1 \cdot 10 : 1;$	$\approx 1 \cdot 10 : 1;$
78	Подпись фиг. 15 относится к фиг. 16 и наоборот		
85	17 ст.	(табл. V, фиг. 17, 18)	(табл. VI, фиг. 17, 18)
126	2 ст.	— кремнистые сланцы	1 — кремнистые сланцы
„		— глина	3 — глина

Труды ИГН, вып. 80

Цена 12 руб. 50 к.