

КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ В РАЙОНЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРАСНОКАМЕНСКОЙ ГРУППЫ

(Восточный Саян)

Г. В. ШУБИН

(Представлено профессором А. М. Кузьминым)

В геологическом строении района, в пределах которого расположены изучавшиеся месторождения, принимают участие породы нижнего и среднего кембрия, представленные метаморфизованными известняками, амфиболо-кварц-полевошпатовыми сланцами, кварцевыми песчаниками, алевритами, кварцевыми кератофирами и их туфами. Все эти породы прорваны и частично ассимилированы гранитоидной интрузией, краевые части которой приобрели в результате ассимиляции боковых пород гибридный облик и сложены гранодиоритами, кварцевыми диоритами, диоритами и габбро-диоритами.

Тектоническое строение района определяется синклинальной складкой второго порядка, осложненной мелкими складками третьего и четвертого порядков.

При становлении гранитоидной интрузии вмещающие породы подверглись глубоким изменениям с образованием вокруг интрузивного тела контактового ореола шириной около 300—400 м.

Эти глубокие изменения вмещающих пород, затронувшие и апикальные части интрузивных образований, имели в основном метасоматический характер и выразились в окварцевании, биотитизации, амфиболизации, мусковитизации и пироксенизации.

При окварцевании амфиболо-кварцево-полевошпатовых сланцев последние в зоне контактового ореола теряют свою сланцеватую текстуру и переходят в плотные, с характерным раковистым изломом породы.

Окварцованные породы состоят из тонкозернистого с мостовой структурой агрегата кварца, сильно серицитизированного полевого шпата и тонкой сыпи амфибола и магнетита.

Что касается кварцевых кератофиров, то в зоне контактового ореола они участками также подвергаются окварцеванию, серитизации, амфиболизации, хлоритизации, эпидотизации и пропилитизации. Только что указанные изменения генетически связаны с гидротермальной фазой постмагматических процессов и контактовым метаморфизмом гранитоидной интрузии. Измененные кварцевые кератофиры по внешнему виду выглядят довольно разнообразно: от слабо измененных, сохранивших

свои основные особенности, до пород массивных, плотных, роговиково-подобных.

Окварцеванию также подвергаются и мраморы. В первично чистых мраморах содержится не более одного процента кварца, в измененных же содержание кварца достигает 40—50 процентов. В известняках, превращенных в кварц-карбонатные образования, тонкозернистые агрегаты кварца распределяются более или менее равномерно.

Материалы по скважинам месторождения Рудный Каскад показывают, что окварцеванию подвергаются не только вмещающие, но и интрузивные породы. В этих последних под микроскопом можно отчетливо проследить, как минералы интрузивных пород в различной степени подвергаются замещению кварцевым агрегатом. При этом постепенно начинают исчезать темноцветные компоненты, полевые шпаты, и на месте их развивается обильный кварц, представленный более или менее изометричными зернами, образующими агрегаты с мостовой структурой. В результате подобных изменений из породы, как показывают исследования, выносятся такие элементы, как железо, магний, алюминий, калий и натрий; порода обогащается кремнеземом, и все это приводит в конечном итоге к образованию кварцитоподобных пород.

Что касается процессов биотитизации, амфиболизации и мусковитизации, то, как правило, они накладываются на окварцевание и обуславливают возникновение темных метасоматических роговиков.

Процессы пироксенизации являются более поздними и в свою очередь развиваются в темных роговиках и кварц-карбонатных породах и приводят к образованию светлых метасоматических роговиков. Появлением пироксена открывается развитие новых типов метасоматических образований, объединяющихся под общим названием — скарны.

Все разнообразие перечисленных метасоматических пород, возникших в зоне контактового ореола гранитоидной интрузии и на месте самой интрузии, можно разбить на основании минералого-структурных и текстурных особенностей на две группы:

1. Метасоматические роговики. Для них характерно плотное сложение и роговиковая структура.

2. Собственно скарны — продукт метасоматического замещения роговиков, осадочных и изверженных пород при участии горячих растворов, поступавших из глубоких частей интрузивных масс и привносивших часть или часто все необходимые элементы для образования новых минералов.

В настоящее время материалы, поступающие со скарновых месторождений района юго-западной Сибири, все более и более показывают, что все процессы, происходящие на указанных месторождениях, можно разделить на три строго разделяющиеся по времени этапа: а) формирование метасоматических контактовых роговиков, б) собственно-скарновый этап, в) этап рудоотложения.

В этом отношении довольно интересным является материал, собранный нами в районе железорудных месторождений Краснокаменской группы.

В данной статье мы соответственно остановимся на анализе как ранних метасоматических процессов (формирование метасоматических роговиков), так и более поздних — собственно скарновых образований, с частичной характеристикой и процессов рудообразования.

Метасоматические роговики

Метасоматические роговики по характеру окраски можно разделить на два типа: а) темные роговики, б) светлые роговики. В первой части

этого раздела мы в основном остановимся на описании тех темных роговиков, которые образуются на месте интрузивных пород.

Темные роговики в своем распространении тесно связаны с интрузивными породами. В поле эти роговики иногда не отличимы от интрузивных пород, и лишь микроскоп дает возможность выделить их, причем, как правило, интрузивные породы обычно в той или иной степени окварцованы. Под микроскопом можно отчетливо проследить, как происходившее в начале окварцевание интрузии превращает ее в типичные окварцованные (ороговикованные) породы типа кварцитов. Часто среди мелкозернистой массы роговиков встречаются более крупнозернистые участки — реликты структуры первоначальной породы. Минералогический состав темных роговиков характеризуется наличием кварца, полевого шпата, биотита, мусковита, реже — амфибола, магнетита, сфена и апатита.

Биотит образует мелкие зеленовато-бурые, бурые листочки с хорошо выраженным плеохроизмом от желтовато-бурого до светло-желтого или светло-зеленого. Кроме биотита, можно встретить небольшие скопления зеленой роговой обманки с константами: $CNg = 23^\circ$, $2V = (-) 72^\circ$; плеохроизм по Ng — зеленый, Nm — зеленовато-желтый, Np — светло-зеленоватый. В основной кварц-полевошпатовой массе часто можно наблюдать реликтовые плагиоклазы, характерные для интрузивных пород района, апатит, магнетит и чрезвычайно обильный сфен, который иногда образует тонкие жилки, хорошо различимые макроскопически.

Все вышеперечисленные основные минералы образуют специфические прожилки и «полосы», придающие кварцитам, на месте которых они развиваются, пятнистую и полосчатую текстуру. Как правило, в местах биотитовой минерализации структура роговиков становится мелкозернистой со струйчатым распределением кварца и чешуек биотита, реже мусковита, между которыми реликты обломков кварцитов также вытягиваются в направлении струйчатости.

Таким образом, полосчатость, струйчатость и замещение вещества кварцитов являются более поздними образованиями, и это последнее указывает на происходившие при формировании темных роговиков метасоматические процессы.

В результате подобного замещения кварцитов мы имеем новые образования, среди которых можно выделить, в зависимости от количественного состава того или иного минерала, следующие разновидности: а) кварц-полевошпатовые роговики, б) кварц-биотитовые, в) биотитовые роговики, г) мусковито-кварц-полевошпатовые роговики.

По-видимому, рассмотренные выше минералы отлагались горячими растворами в трещинах и катаклазированных участках, возникших после образования кварцитов. Местами катаклиз выражается настолько отчетливо, что можно встретить характерные брекчиевидные текстуры (рис. 1). На фотографии хорошо видны неправильной формы обломки кварцитов, сцементированные биотитом, роговой обманкой и реже магнетитом. Иногда в этих участках в виде маломощных жилок появляется и хлорит.

Магматические растворы, просачиваясь через толщу кварцитов, выделяли биотит, мусковит, реже амфибол. При этом выделение этих минералов контролировалось не только структурными элементами, но и определенной физико-химической обстановкой. Так, развитие биотита происходит только в кварцитах, образовавшихся на месте интрузии, и нигде мы не видели явления проникновения биотитовой минерализации в кварц-карбонатные породы. В этой же обстановке происходит отложение роговой обманки и развитие мусковита.

Светлые роговики обычно залегают среди известняков (в зонах развития кварц-карбонатных пород), часто в виде жилособразных тел, иногда с извилистыми очертаниями, причем в некоторых случаях прослеживаются постепенные переходы от светлых роговиков к вмещающим их кварц-карбонатным породам. Светлые роговики легко отличаются макроскопически от других метаморфизованных пород контактовой зоны.

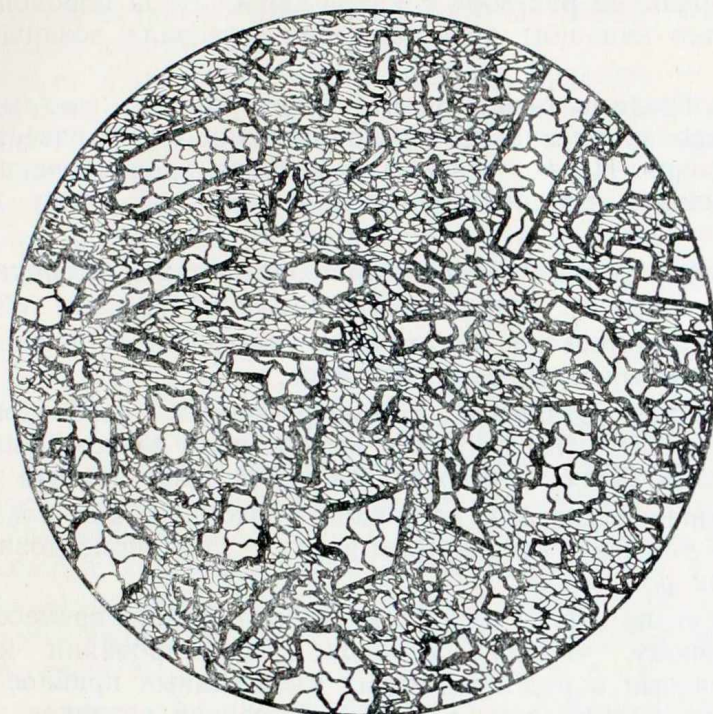


Рис. 1.

Роговики обладают характерным раковистым (фарфоровидным) изломом и большой твердостью. Никаких реликтовых структур в светлых роговиках обнаружить не удалось. Под микроскопом они обнаруживают довольно однообразную картину типичных роговиков, отличающихся, однако, между собой по крупности зерна. Минералогический состав этих роговиков характеризуется наличием кварца, карбоната, пироксена. Последний, судя по шлифам, образует густую сыпь мелких, более или менее изометричных белых и светло-зеленоватых зерен в основном кварц-карбонатном базисе. Местами можно наблюдать призматические индивиды размером до 0,025 см с хорошо выраженной спайностью.

Результаты исследования пироксена в иммерсионных жидкостях и на универсальном столике приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ шлифа	Ng	Nm	Np	Ng—Np	CNg	2V	Угол спайности	Содержание	По Tröger, y
152	1,722	1,700	1,692	0,030	44	60	—	60%	Салит
161	1,696	—	1,672	0,024	41	58	86	96%	Диопсид
151	1,722	1,700	1,692	0,030	40	56	—	59%	Салит

Кроме этих разностей пироксена, в пироксеновых роговиках можно встретить и другой пироксен типа геденбергита, который образует совершенно самостоятельные жилки, связанные с более поздним, собственно скарновым этапом. Его константы: $N_g = 1,740$, $N_m = 1,723$, $N_p = 1,715$, $N_g - N_p = 0,025$, $CN_g = 48^\circ$, $2V = 65^\circ$, содержание $CaFeSi_2O_6 = 72\%$. По Tröger'у, данный пироксен отвечает ферросалиту.

Образование пироксена светлых роговиков происходило в результате обменной реакции раствора с кварц-карбонатной породой, где обстановка (наличие кальция) явно благоприятствовала возникновению пироксена.

Здесь необходимо отметить, что формированию светлых роговиков предшествовало дробление не только вмещающих их известняков, но и темных роговиков. На это указывают явления проникновения диопсидовой минерализации в темные роговики в виде небольших жилок, апофиз и т. п.

В результате темные роговики приобретают характерную пятнистую и полосчатую текстуру, свойственную метасоматическим образованиям.

Данные обстоятельства несомненно указывают на разновременность образования темных и светлых роговиков.

Существенным отличием рассматриваемых роговиков является тот признак, что светлые роговики играют роль вмещающих пород для скарново-рудных залежей, чего нельзя сказать про темные роговики.

Скарнирование светлых роговиков проходило, как показывают наблюдения, по тем же тектоническим зонам, что и диопсидовая минерализация светлых роговиков.

Анализируя продукты ранних метасоматических процессов, мы приходим к выводу, что: 1) в период формирования кварцитов и кварц-карбонатных пород происходил интенсивный привнос Si и менее K, Na; 2) при формировании темных роговиков активное участие принимали Mg, K и менее Fe, Al; 3) при формировании светлых метасоматических роговиков происходил привнос преимущественно Mg; 4) характерной чертой метасоматических роговиков является их структура (полосчато-роговиковая, микрогранобластовая мозаичная), текстура, минералогический состав и форма залегания, что отчетливо отличает их от других метасоматических образований; 5) контакты между вышеописанными типами метасоматических образований довольно отчетливы, что резко подчеркивается не только их пространственным и временным положением и генетическими особенностями, но также минералогическим составом и соответствующими текстурами.

Как указывает К. Н. Озеров (1944), теория контактово-метаморфического (метасоматического) происхождения пород подобного типа не только получила достаточно широкое признание, но и была подкреплена трудами многочисленных исследований, большим количеством фактического материала из районов Средней Азии, Кавказа, Закавказья и целым рядом дополнительных выводов и обобщений.

Метасоматические роговики являются широко распространенными образованиями в контактово-метасоматических месторождениях. Об этом указывал А. Н. Заварицкий (1927) для г. Магнитной, где он выделяет так называемые известково-силикатовые роговики, образовавшиеся на месте интрузивных пород в результате метасоматических процессов. На аналогичные явления указывают Е. Ф. Зив (1939), Е. Н. Зыков, Г. А. Иванкин для восточных склонов Кузнецкого Алатау, В. Н. Шугуров для юго-западных склонов Кузнецкого Алатау, Гольдшмидт для окрестностей Христиании, Д. С. Коржинский (1948) для Турьинских скарновых месторождений меди, относя их к высокотемпературной стадии прикон-

тактового метаморфизма, и Л. Гланжо (1955) для железорудного месторождения Заккар.

В заключение остановимся на вопросе о связи и положении стадии метасоматических роговиков по отношению к скарноворудным телам на примере месторождения Рудный Каскад. По этому вопросу можно указать следующее:

1) кварциты, кварц-карбонатные породы, темные и светлые роговики образуются в более раннюю стадию метасоматических образований и предшествуют собственно-скарновой стадии и даже становлению дайковых пород кислого состава;

2) скарновые образования возникают, как правило, на месте светлых метасоматических роговиков, претерпевших различной интенсивности дробление. Подобные явления можно встретить на материалах буквально всех скважин Рудного Каскада;

3) в светлых метасоматических роговиках часто также можно видеть отдельные, небольшие по масштабу, рудные концентрации в виде серии магнетитовых жил без предварительного формирования типичных скарнов.

Скарны

Под скарнами для наших месторождений мы понимаем породы, состоящие из граната (рядаgrossуляр-андрадит), пироксена (ряда диопсид-геденбергит), образовавшиеся в процессе высокотемпературного метасоматоза известняков, роговиков и интрузивных пород, проходившего по тектонически ослабленным зонам, в условиях средних глубин.

В минералогическом отношении скарны крайне небогаты. Наибольшим распространением из них пользуются: гранатовый, пироксеновый, гранато-пироксеновый.

Гранатовый скарн представляет собой тяжелую, плотную, реже друзовую породу бурого, красновато-бурого, зеленовато-желтого, буровато-черного и черного цвета. Часто можно видеть хорошо образованные кристаллы граната в форме ромбододекаэдра и реже комбинации ромбододекаэдра с тетрагонтриоктаэдром. В отношении последующих концентраций магнетитового оруденения этот тип скарна является наиболее важным.

Пироксеновый скарн может быть двух видов: 1) зеленый, зеленовато-черный, грязно-зеленый, сложенный геденбергитом и представляющий из себя плотную мелкозернистую породу; 2) светлый, зеленовато-серый, светло-зеленый, сложенный диопсидом, более крупнозернистый, иногда собранный в радиально-лучистые агрегаты, встречается гораздо чаще геденбергитового скарна.

Гранато-пироксеновый скарн представляет плотную, часто полосчатую породу зеленовато-бурого цвета, состоящую из граната и пироксена.

Пространственное распространение указанных скарнов на месторождении Маргоз, на контакте интрузии с крупным останцем известняка, дает возможность наметить известную закономерность для залежей контактового типа. Эта закономерность заключается в том, что чаще всего гранатовые скарны тяготеют к контакту с вмещающими породами, а пироксеновые скарны — к интрузивным породам.

Что касается закономерного распространения скарнов на таких месторождениях как Одиночное и Рудный Каскад, то здесь путями для «скарнирующих растворов» служили обширные зоны трещиноватости и дробления, приуроченные к различным по генезису породам. В резуль-

тате скарны имеют резкие контакты с вмещающими породами, и состав их не зависит от состава замещаемых пород.

Для рассматриваемых скарновых полей основным геологическим условием их формирования является наличие раздробленных вмещающих пород. Как видно из сказанного выше, для образования скарнов Краснокаменной группы месторождений необходимы были каналы, по которым должен осуществляться привнос соответствующих компонентов, и соответствующие структурные условия, обеспечивающие подготовку среды для миграции элементов, приводящей в конце концов к образованию скарновых минералов.

Несомненно, в связи с этим формы и элементы залегания скарнов будут весьма разнообразны и в основном определяются тектоникой вмещающих их пород, формой и размерами доскарновых зон трещиноватости и дробления. Кстати, как указывает Ф. Н. Шахов (1947), развитие скарнов всегда локально, они возникают там, где имело место движение растворов, и поэтому мы можем говорить о форме скарновых залежей.

На основании имеющегося материала, мы можем предложить следующую классификацию форм скарновых залежей для Краснокаменных месторождений (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

	Контролирующие структуры		Форма залежей скарнов
1	Контакты интрузивных тел с вмещающими породами	Контакты интрузии с останцами кровли и ксенолитами вмещающих пород	Линзы, гнезда, тела неправильной формы
2	Секущие трещины и разломы (во вмещающих и интрузивных породах)	Трещины и зоны дробления	Жилы, линзы

Что касается текстурно-структурных особенностей скарнов, то здесь мы можем указать следующее. Из структур наиболее широко развиты: гранобластовая, гранобластовая с элементами панидиобластовой, пойкилобластовая, зубчатая, гипидиобластовая, гетеробластовая, лепидогранобластовая и структуры замещения. Тектурные разности скарнов представлены следующими типами:

а) массивная текстура, характерная для гранатовых и пироксеновых скарнов;

б) друзовая текстура, характерная в основном для гранатовых скарнов;

в) радиально-лучистая, характерная в основном для пироксеновых скарнов, встречается сравнительно редко;

г) петельчатая текстура, характерная для гранатовых скарнов, образовавшихся в более или менее интенсивных зонах дробления метасоматических роговиков;

д) полосчатые текстуры распространены широко и свойственны для переходных разностей скарнов, а также для скарново-магнетитовых образований.

Довольно интересным и важным в смысле понимания всего хода развития метасоматических процессов является вопрос взаимоотношения скарнов и дайковых пород кислого состава.

В ряде случаев (месторождения Маргоз и Одиночное) дайки аплитов и аплитовидных гранитов секут скарны, следовательно, нужно до-

пустить, что часть скарнов в своем образовании предшествует дайковому комплексу. Однако наряду с этим наблюдаются случаи (месторождение Рудный Каскад), когда аплиты и аплитовидные граниты сами скарнируются, замещаясь такими минералами, как гранат и пироксен, которые часто образуют в аплитах и аплитовидных гранитах небольшой мощности прожилки.

Следовательно, нужно допустить существование скарнов двух возрастов: более ранние скарны образовались до дайковых пород кислого состава, а более поздние — после вторжения дайковых пород. Отметим, что эти два разновозрастных скарна характеризуются соответственно и различным составом. Если для первого скарна характерны салит, диопсид, диопсид-салит и гранат рядаgrossуляр-андрадит, то для второго скарна характерен ферросалит и гранат типа шорломита. Естественно, подобное различие не случайно и отображает определенные изменения, происходившие в общей цепи единого процесса.

Рудообразование

После формирования скарнов произошло сильное дробление, причем накапливающиеся напряжения разрешались в основном по тем же направлениям, что и доскарновые зоны дробления и трещиноватости. Последнее обстоятельство привело в результате к совместному залеганию метасоматических роговиков и скарнов с магнетитом (явление наложения одной минеральной ассоциации на другую). Это дробление привело к тому, что скарны, метасоматические роговики, а местами и интрузивные породы (гранодиориты, кварцевые диориты и аплиты) в отдельных участках оказались легко проницаемыми для рудоносных растворов.

В подтверждение этой мысли чрезвычайно наглядным является погоризонтный план (рис. 2) месторождения Рудный Каскад. Достаточно беглого взгляда на этот план, чтобы представить себе всю картину формирования руд в определенных структурных условиях. Как явствует из плана, все рудные тела приурочиваются к зонам дробления и трещиноватости преимущественно северо-восточного простирания.

Основные формы концентрации магнетита следующие: а) вкрапленность, более или менее равномерно распределенная, б) гнезда и линзы, в) секущие жилы и прожилки.

Со временем образования рудных залежей связаны и явления окорудных изменений, которые выразились в образовании незначительных оторочек вермикулита.

Позднее магнетитовое оруденение на месторождениях сменяется сульфидным, чему также предшествовало широкое развитие трещиноватости. Наиболее распространенными минералами из сульфидов являются пирит и халькопирит, реже встречаются пирротин, сфалерит и галенит.

Развитие окварцованных пород, перекристаллизация известняков, образование метасоматических роговиков, скарнов и руд — все это составляет непрерывно-прерывистый ряд, будучи вызвано одним и тем же действием, т. е. перенесением тепла и вещества из интрузивного тела в более высокие участки земной коры, оказавшиеся в контакте с гранодиоритами.

Парагенетические ассоциации, последовательность минералообразования и вопросы химизма

При анализе минералогического состава скарнов железорудных месторождений мы стремились отразить основные закономерности в последовательности минералообразования, которые отражены нами на рис. 3.

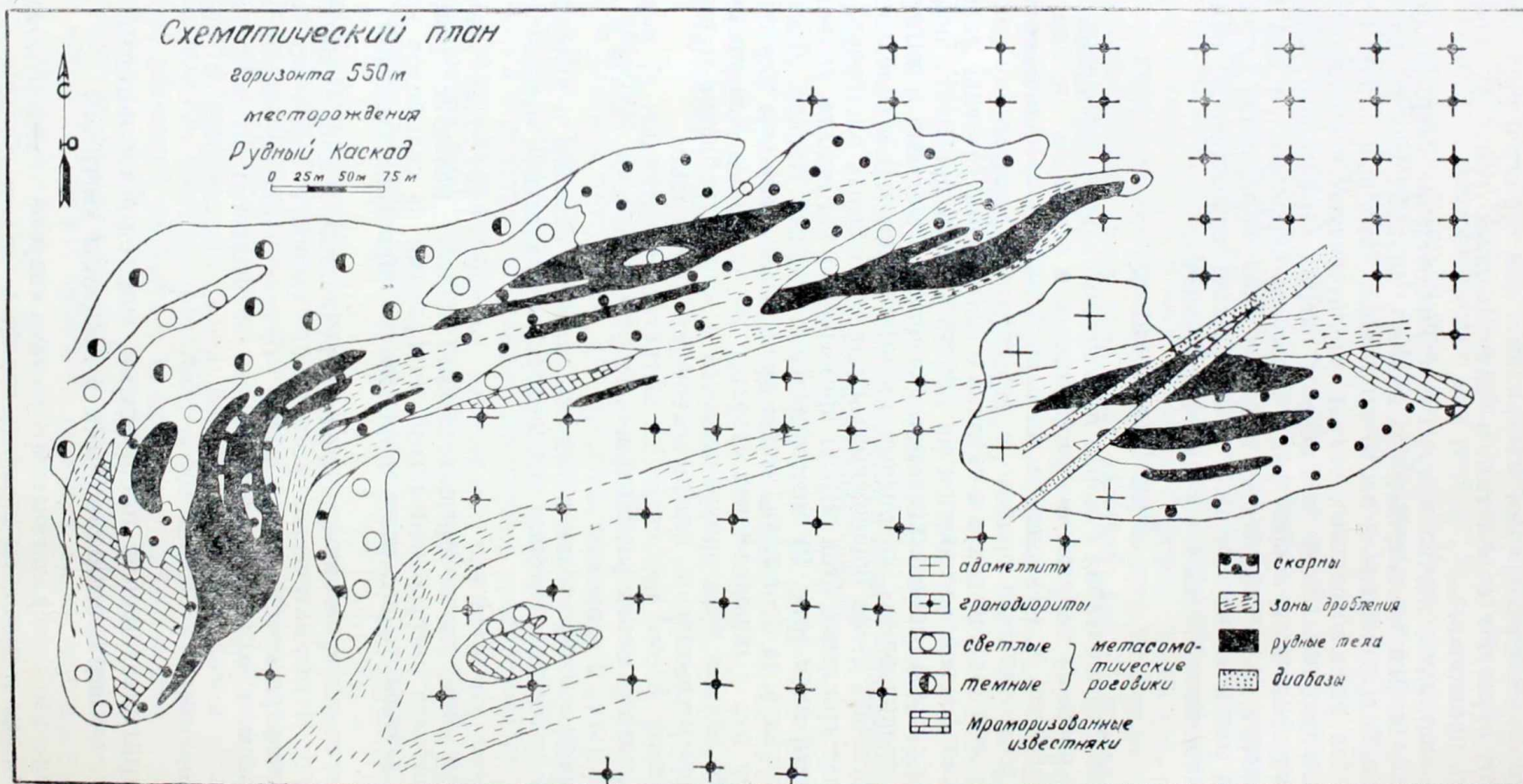


Рис. 2

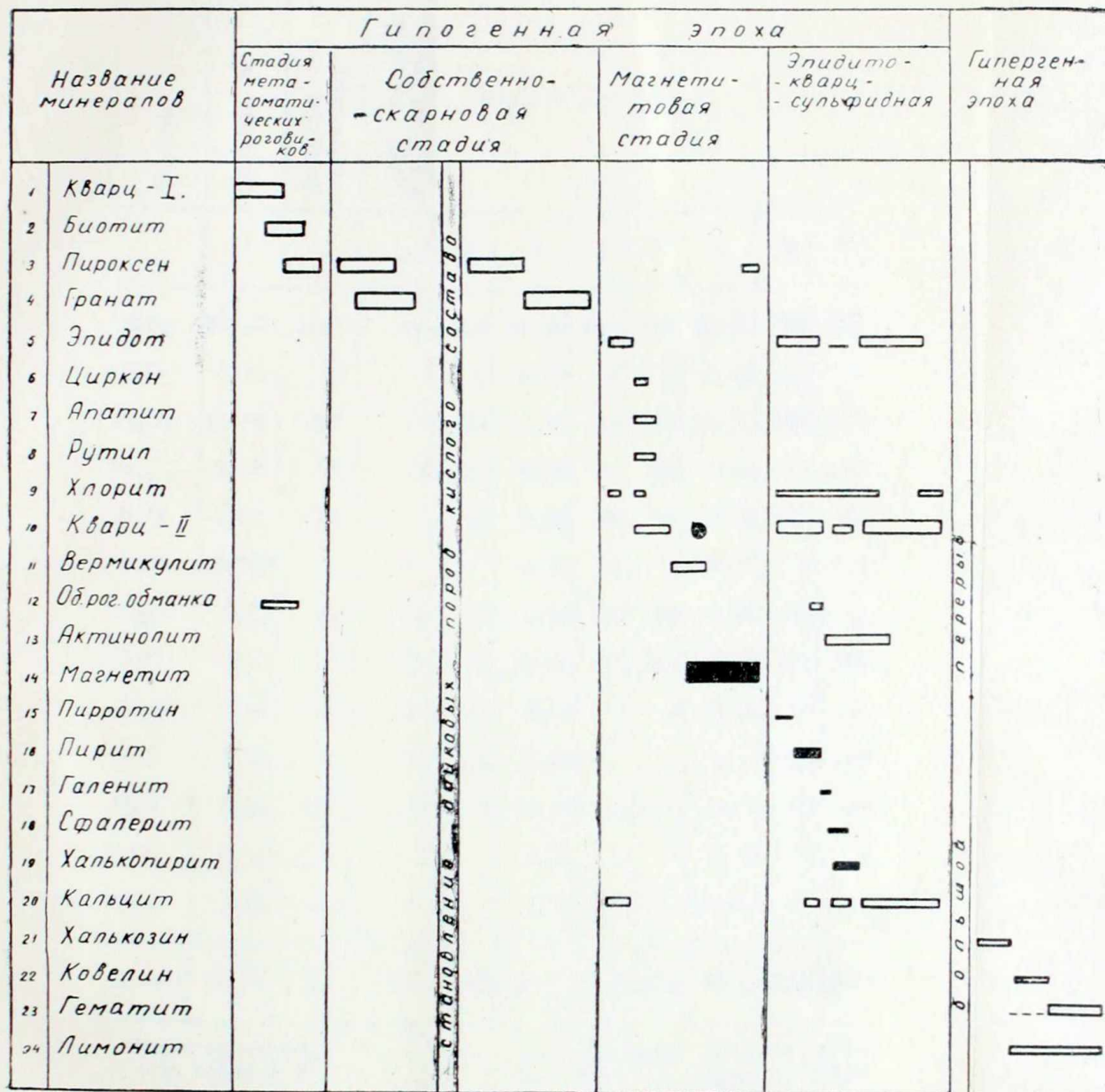


Рис.3. Парагенетическая схема минералообразования на железорудных месторождениях Краснокаменской группы.

Таблица 3

Месторождение									Месторождение									Месторождение									
Окислы	Весовые %	Атомные количества	Колич. электро-положит. ионов в станд. ячейке	Одиночное						Маргоз									Рудный каскад								
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	68,92	1147	614	36,54	609	395	73,80	1129	641	51,22	853	490	38,92	648	394	0,54	9	14	62,76	1045	580	41,00	683	414	50,00	833	493
TiO ₂	0,96	12	6	0,25	4	2	0,48	6	3	1,50	19	11	0,88	11	7	—	—	—	0,84	11	6	0,59	8	5	0,89	11	6
Al ₂ O ₃	13,16	257	139	13,57	265	172	13,32	260	136	16,32	320	184	16,63	327	199	0,12	2	3	14,15	277	154	12,41	244	148	14,70	288	170
Fe ₂ O ₃	2,18	28	15	15,89	200	130	2,11	26	13	5,93	75	43	6,90	86	52	0,39	6	9	3,38	42	23	6,88	86	52	1,36	17	10
FeO	1,00	14	7	1,62	23	15	0,28	4	2	5,57	78	45	2,23	31	19	—	—	—	3,24	45	25	2,88	40	24	9,29	129	76
MnO	0,039	—	—	0,25	3	2	0,048	—	—	0,10	1	1	0,76	8	5	—	—	—	0,066	—	—	0,35	5	3	0,22	3	2
MgO	1,57	39	21	1,73	43	28	0,34	8	4	4,22	105	60	4,47	111	67	4,05	99	14	2,64	66	37	4,38	109	66	3,98	99	59
CaO	3,72	66	35	25,70	459	297	1,12	20	10	9,28	165	94	27,82	496	301	51,11	912	1386	5,41	96	53	29,52	579	351	13,52	241	143
Na ₂ O	4,88	157	84	—	—	—	6,58	212	111	3,26	105	60	—	—	—	—	—	—	2,95	95	55	0,14	5	3	2,65	86	51
K ₂ O	1,10	24	13	—	—	—	0,53	11	6	0,48	9	5	—	—	—	—	—	—	2,80	60	33	0,06	—	—	1,35	29	17
H ₂ O	0,24	27	14	0,25	28	18	0,27	30	16	0,23	29	17	0,37	41	25	0,11	12	18	0,14	16	8	0,20	22	13	0,19	22	13
P ₂ O ₅	0,19	2	1	0,050	—	—	0,064	—	—	0,54	8	4	0,18	2	1	—	—	—	0,23	3	2	0,14	2	1	0,19	2	1
п.п.п.	1,20	—	—	4,68	—	—	1,00	—	—	0,82	—	—	1,64	—	—	43,60	—	—	0,99	—	—	1,56	—	—	не обн.	—	—
Сумма	99,16	1773	949	100,53	2634	1059	99,94	1806	942	99,47	1767	1014	100,80	1761	1070	99,92	1040	1444	99,59	17,56	976	100,31	1783	1080	98,34	1760	1041
Формула диорита- (см. таблицу 5)			1	Формула скарна — II			Формула кв. кератофира— III			Формула габ- бро-диорита — IV			Формула скарна—V			Формула мраморизованного известняка — —VI			Формула гра- нодиорита — VII			Формула скар- на—VIII			Формула мета- соматич. рого- вика —IX		

Это позволяет нам более полно представить себе порядок процесса минералообразования на железорудных месторождениях группы.

Взаимоотношения минералов, отложенных в той или иной эпохе минералообразования, показывают, что эти минералы отлагались не всегда строго последовательно, а чаще накладывались друг на друга во времени, образуя ряд генераций.

При определении относительного возраста двух минералов принималось во внимание только пересечение жилками и ясная коррозия одного минерала другим; в некоторых случаях—включения одного минерала в другом.

Анализируя приведенную схему минералообразования, мы видим, что в начале гипогенной эпохи происходило отложение алюмосиликатов, причем на стадии скарнирования произошло становление и дайковых пород. К концу гипогенной эпохи состав минералообразующих растворов резко меняется и происходит отложение большого числа разнообразных минералов и в том числе магнетита, являющегося основным полезным ископаемым.

Ассоциации минералов, отложившихся после собственно скарновой стадии, позволяют выделить вслед за ней еще две стадии: магнети-

Таблица 4

Месторождение	Формулы пород	
	Формула диорита — I	$K_{13} Na_{84} Ca_{35} Mg_{21} Mn_0 Fe_{15} Al_{139} Ti_6 Si_{614}$ $P_1 O_{1586} OH_{14}$
Месторождение одиночное	Формула скарна — II	$K_0 Na_0 Ca_{297} Mg_{28} Mn_2 Fe_{15}^{2+} Fe_{130}^{3+} Al_{172} Ti_2$ $Si_{395} P_0 O_{1582} OH_{18}$
	Формула кварцевого кератофира — III	$K_6 Na_{111} Ca_{10} Mg_4 Mn_0 Fe_2^{2+} Fe_{13}^{3+} Al_{136} Ti_3 Si_{641}$ $P_0 O_{1584} OH_{16}$
Месторождение Маргоз	Формула габбро-диорита—IV	$K_5 Na_{60} Ca_{94} Mg_{60} Mn_1 Fe_{45}^{2+} Fe_{43}^{3+} Al_{184} Ti_{11} Si_{490}$ $P_4 O_{1583} OH_{17}$
	Формула скарна — V	$K_0 Na_0 Ca_{301} Mg_{67} Mn_5 Fe_{19}^{2+} Fe_{52}^{3+} Al_{139} Ti_7 Si$ $P_1 O_{1575} OH_{25}$
	Формула мраморизованного известняка — VI	$K_0 Na_0 Ca_{1386} Mg_{14} Mn_0 Fe_0^{2+} Fe_3^{3+} Al_3 Ti_0 Si_{14}$ $P_0 O_{1582} OH_{18}$
Месторождение Рудный Каскад	Формула гранодиорита — VII	$K_{33} Na_{55} Ca_{53} Mg_{37} Mn_0 Fe_{25}^{2+} Fe_{23}^{3+} Al_{154} Ti_6 Si_{580}$ $P_2 O_{1592} OH_8$
	Формула скарна — VIII	$K_0 Na_3 Ca_{351} Mg_{66} Mn_3 Fe_{24}^{2+} Fe_{52}^{3+} Al_{148} Ti_5 Si_{414}$ $P_1 O_{1587} OH_{13}$
	Формула метасоматического роговика — IX	$K_{17} Na_{51} Ca_{143} Mg_{59} Mn_2 Fe_{76}^{2+} Fe_{10}^{3+} Al_{170} Ti_6 Si_{493}$ $P_1 O_{1587} OH_{13}$

товую и эпидото-кварц-сульфидную. Все характерные парагенетические ассоциации минералов на различных стадиях отражены нами на рис. 3.

В заключение необходимо остановиться на важнейшем вопросе: о тех изменениях, которые происходят при образовании скарна на второй собственно скарновой стадии, и попытаться дать качественную, а где возможно и количественную характеристику этих изменений. Для этой цели мы воспользовались методом пересчета химических анализов Т. Барта для количественного учета движения веществ при процессах метасоматоза.

Химические анализы интрузивных пород, скарнов и пород, на месте которых образуются скарны, приведены нами в таблице 3.

Имея формулы всех пород, участвовавших в процессах контактового метасоматоза (табл. 4), мы можем представить себе картину привно-

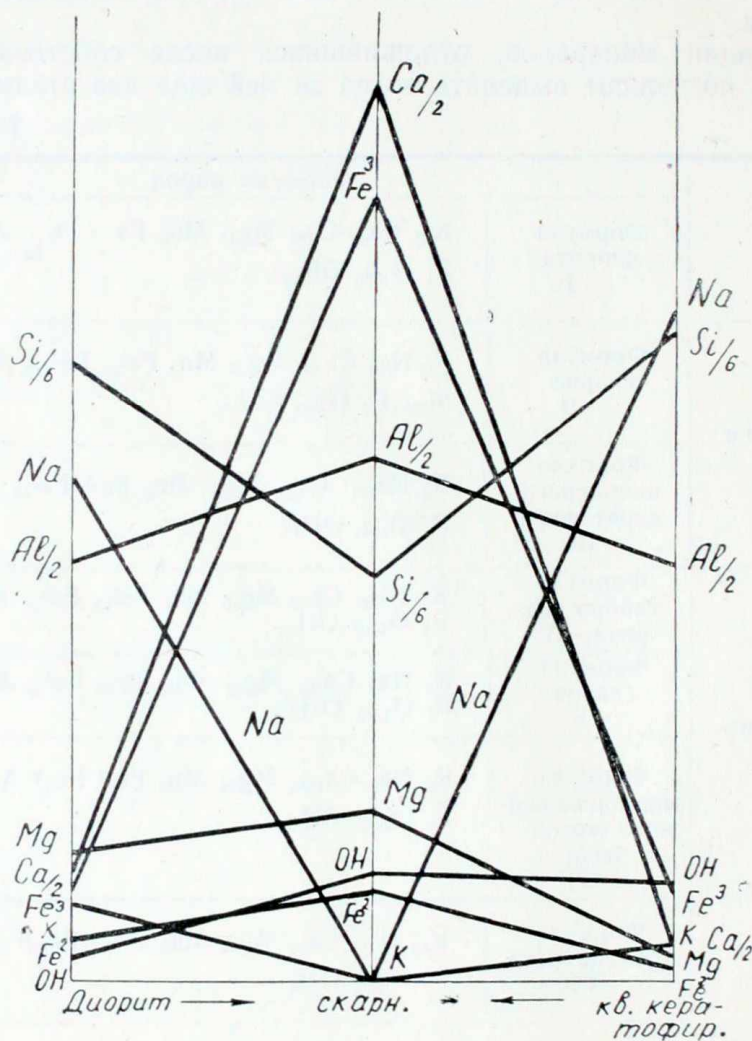


Рис. 4. Ход изменения состава пород при контактовом метаморфизме на месторождении Одиночном

са и выноса элементов для каждого месторождения группы, что наглядно можно представить в виде графиков (рис. 4, 5, 6).

Анализируя вышеприведенные формулы пород и диаграммы, мы приходим к выводу, что:

1) при формировании скарнов на месторождении Одиночном происходил привнос Ca, Mg, Mn, Fe и Al;

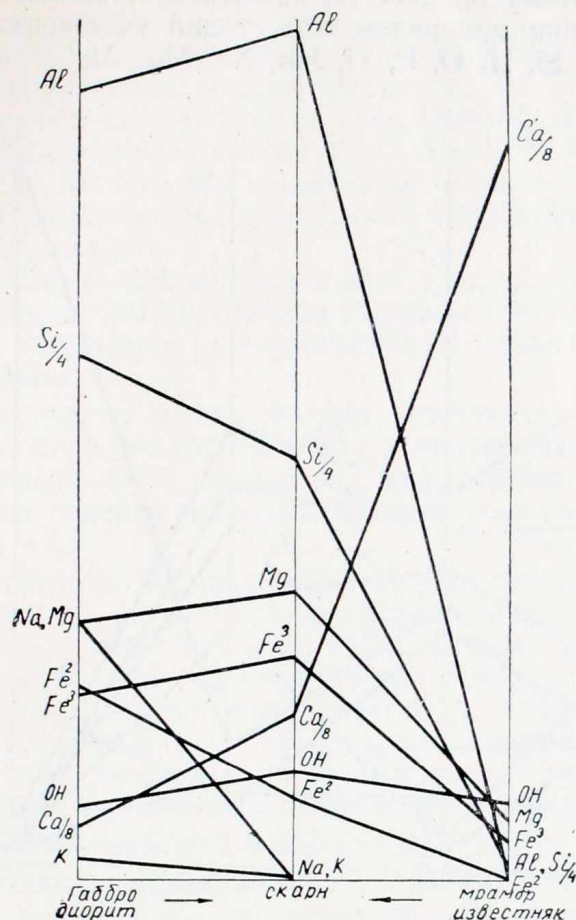


Рис. 5. Ход изменения состава пород при контактовом метаморфизме на месторождении Маргоз.

2) при формировании скарнов месторождения Маргоз привносились Mg, Mn, Fe, Al, Si и крайне незначительно Ca;

3) при формировании скарнов на месторождении Рудный Каскад происходил привнос Ca, Mg, Mn и Fe.

Вероятно, следует допустить, что привнос Si, Al для месторождения Рудный Каскад и Si для месторождения Одиночного более или менее покрывает вынос.

Таким образом, значительной подвижностью обладают не только Fe, H₂O, CO₂ и Mg, как считает Д. С. Коржинский (1948), но и Ca, Al и Si.

Кроме перечисленных компонентов, в составе скарнов обнаружены следующие элементы: Ge, Cu, Pb, As, Ga, Ni, Ti, Mo, Co, Zn, Na, Be, Sn, Zr.

Характеристика привноса и выноса в течение последующих, за скарновой, стадиях минерализации на основании имеющихся материалов может быть сделана пока в самых общих чертах и только с качественной

стороны. Состав минеральных ассоциаций магнетитовой и эпидото-кварц-сульфидной стадий говорит о привносе и накоплении F, Cl, Zr, Ga, Ba, Mo, Co, Zn, Cs, Nb, V, Be, Ge, Cu, Ni, Pb, Sn, As, а также S. Перечисленные элементы не входят в состав пород, на месте которых образовались скарны, и поэтому привнос их не вызывает сомнений. Кроме этого, при формировании минералов этих стадий участвовали и такие элементы, как Ca, Fe, Si, H, O, P, Ti, Mn, Na, Mg, Al.

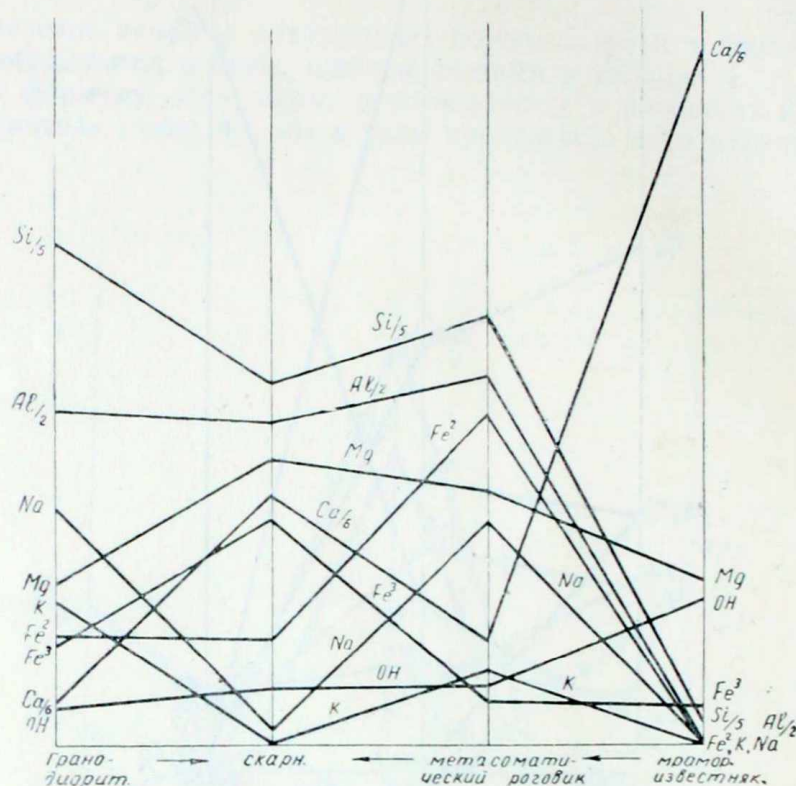


Рис. 6. Ход изменения пород при контактовом метаморфизме на месторождении Рудный Каскад.

Из вышеизложенного следует, что материал, привнесённый в зону контактового метаморфизма, характеризуется довольно большим разнообразием (табл. 5).

Таблица 5

Ряды	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды
1	H									Be				O	F		2
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Ce		K	Ca		Ti	V		Mn	Fe Co Ni	4
5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se						Zr	Nb	Mo			6
7				Sn						Ba							8
9				Pb													10

Как видно из таблицы, преобладают элементы верхнего и левого нижнего полей. Такие литофильные элементы, как Si, Al, Ca, Mn, Mg и другие, играют весьма большую роль, будучи широко распространены в качестве составных частей главнейших скарнообразующих минералов и большинства минералов магнетитовой и эпидото-кварц-сульфидной стадий.

Из халькофильных, сидерофильных и атмофильных элементов наибольшим распространением пользуются S, Cu, Zn, Fe и Mg, остальные элементы играют весьма небольшую роль, являясь в большинстве случаев редкими. Сюда относятся: Be, F, Cl, Ti, V, Zr, Nb, Ba, Ge, Ga, Se, Sn, Pb, P, As, Co, Ni, Mo. Эти элементы в тех или иных количествах входят в состав разнообразных минералов, отвечающих тем или иным стадиям минерализации.

Весь вышеизложенный материал дает нам те необходимые сведения, на основании которых мы можем говорить о контактово-метасоматическом генезисе скарновых месторождений. В связи с этим необходимо отметить следующее.

При формировании месторождения Одиночного постмагматические растворы поднимались по зоне разлома в кварцевых кератофирах, имеющей определенный объем свободного пространства. Подобная обстановка обусловила линейно-вытянутое в плане тело скарново-рудных образований.

При формировании месторождения Маргоз постмагматические растворы поднимались по зоне контакта останца известняка с интрузией. Контактная зона в данном случае представляла благоприятное место для раздробления во время приспособления пород к их новому положению, и к разнице температур между магмой и осадочными породами, а перекристаллизация осадочных пород и их взаимное приспособление могло и еще более способствовать раздроблению. В плане форма скарново-рудных полей в полной мере соответствует форме контакта и характеризуется наличием раздувов, пережимов и апофиз.

При формировании месторождения Рудный Каскад постмагматические растворы поднимались по серии трещин и зон дробления как в останцах кровли и ксенолитах, так и в интрузивных породах, реже по зоне контакта последних. В зависимости от морфологии вмещающих структурных элементов образуются жилообразные и гнездообразные скарново-рудные тела.

Все эти обстоятельства указывают на то, что по своему характеру и механизму движения постмагматических растворов, данные месторождения «в сущности не отличаются от механизма формирования более низкотемпературных гидротермальных месторождений» (Ф. И. Вольфсон, 1952).

Еще Л. С. Грейтон и Е. Ф. Зив подчеркивали, что пора открыто считать контактово-метаморфические (скарновые) месторождения, которые образуются на небольшой глубине, отдельным членом гидротермальной группы.

Здесь следует также указать, что теория биметасоматоза мало пригодна для объяснения вышеприведенных фактических данных, и сам Д. С. Коржинский не может отрицать, что «обычно наиболее ценными оказываются контактово-инфильтрационные скарны, связанные с наиболее мощным воздействием послемагматических растворов в трещинных зонах» (Д. С. Коржинский, 1953).

Таким образом, образование метасоматических скарновых месторождений — это в значительной мере проблема образования скарнирующих растворов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольфсон Ф. И.—Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М., изд. АН СССР, 1952.
 2. Гланжо Л.—Железные руды Алжира, «Железорудные месторождения мира», т. I, 1953.
 3. Грейтон Л. С.—Природа рудообразующего флюида, 1946.
 4. Заварицкий А. Н.—Гора Магнитная и ее месторождения железных руд. «Тр. Геолкома», вып. 122, 1927.
 5. Зив Е. Ф.—Шеелитоносность скарнов восточного склона Кузнецкого Алатау, «Тр. Всесоюзн. исслед. ин-та мин. сырья», вып. 145, 1939.
 6. Коржинский Д. С.—Петрология Турьинских скарновых месторождений меди, «Тр. Ин-та геол. наук АН СССР», вып. 68, сер. рудн. м-ний, № 10, 1948.
 7. Коржинский Д. С.—Очерк метасоматических процессов. Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. Изд. АН СССР, 1953.
 8. Озеров К. Н.—Очередные вопросы петрологии вторичных кварцитов, «Изв. Каз. ФАН», сер. геол., вып. 2—3, 1944.
 9. Четвериков С. Д.—Руководство к петрохимическим пересчетам, 1955.
 10. Шахов Ф. Н.—К теории контактовых месторождений, «Тр. Горно-геол. ин-та, ЗСФ АН СССР», вып. I, 1947.
-

ИСПРАВЛЕНИЯ И ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
4	25 сверху	Leptimnadia	Leptolimnadia
6	8 снизу	„сахаровидные“	„сахаровидные“,
„	6 „	минерала	минералов
„	2 „	серые	серые,
7	13 „	Коллоидальные	Аутигенные
12	28 „	„чертинской свиты“	„чергинской свиты“
17	10 „	камбрийскими	кембрийскими
18	27 сверху	мерглей	мергелей
„	29 „	<i>Hlaenidae</i>	<i>llaenidae</i>
21	19 „	кембрию	докембрию
23	16 снизу	1957	1958
26	26 „	поддерживается	подтверждается
28	4 „	Slatkovska	slatkovska
29	5 „	1957	1958
33	14 „	Bulalasis	Bulaiaspis
39	20 „	выше описанных	вышеописанных
41	23 сверху	бласто-псаммитовой	бластопсаммитовой
48	14 снизу	дайки Рудное	дайки. Рудное
56	20 „	минералогии	минерагении
66	Рис. 10	серпцита	серицита
67	6 снизу	теллурида, золота	теллурида золота
76	27 „	раздроблены	раздроблены
77	23 „	эпидото-кварцево-полевошпа- товые	эпидото-кварцево-полево- шпатовые
83	14 сверху	плагигранитной	плагиигранитной
„	7 снизу	Елисеева Н. А.	Елисеев Н. А.
88	2 „	неравномерно зернистая	неравномернозернистая
110	25 сверху	природы	породы
112	7 снизу	А. К. Яхонтова	Л. К. Яхонтова
116	8 „	Ro	RO
122	26 „	$N-(\bar{3}04); r-(\bar{1}0\bar{1});$	$N-(\bar{3}04); r-(\bar{1}0\bar{1});$
„	24 „	$m-110)$	$m-(110)$
123	1 сверху	(304)	($\bar{3}04$)
„	15 „	(302)	($\bar{3}02$)
129	8 „	Болдырев А. К.	Коллектив авторов, под ред. А. К. Болдырева
133	Таблица 1	Содержание	Содержание $Ca Mg Si_2 O_6$
160	26 снизу	поверхностных водоемов	поверхностные водоемы
170	12 снизу	(i_2)	(i_2)
201	1 сверху	Этой	этой
226	9 „	1 пог. м	1 пог. см

В статье С. А. Строителява „Исследование кристаллизации эпсомита и мирабилита“ по техническим причинам фигурные скобки заменены на квадратные, например: [100] вместо {100} и т. д.