

Н. Г. СУМИН

**О ТИПОМОРФНЫХ ШПИНЕЛЯХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ СКАРНОВОГО ТИПА**

В настоящее время хорошо известно, что в связи с особенностями геологической обстановки скарны многих месторождений приобретают специфические черты минералогического состава. К сожалению, этот вопрос мало изучен, хотя его практическое и теоретическое значение исключительно велико. Так, например, по данным Д. С. Коржинского (1935), есть основание предполагать, что такие скарновые минералы, как сперрит и мервинит, возникают в связи с деятельностью метасоматических растворов, генетически связанных с гипабиссальными интрузиями основных габброидных магм, дающих тела интрузивных долеритов и трапов. Наличие в скарнах пумпеллиита как абиссафобного минерала (Коржинский, 1944) указывает на процессы метаморфизма, происходящие на небольших глубинах. Присутствие в скарнах геленита и ксонотлита указывает на контакто-метасоматические процессы изменения основных пород (гора Шерегеш).

Исследование минеральных ассоциаций скарнов в этом направлении даст, несомненно, много интересного материала, который можно было бы использовать как критерий в обосновании генезиса того или другого месторождения.

К числу типоморфных минералов скарнов можно отнести и шпинель благодаря широкому ее распространению и многообразию физико-химических свойств — цвета, формы, состава и т. д.

Среди скарновых месторождений магнетита шпинель не пользовалась широкой известностью. По давно установившимся традициям, наиболее типичными условиями для ее нахождения считали до сих пор контакты глубинных горных пород, как кислых, так и основных, с известняками.

Из контактов основных пород шпинель известна на Южном Урале в Шишимских и Назямских горах. В контактах кислых интрузивов известна голубая шпинель в Слюдянке (Смирнов, 1928). Большое разнообразие ее наблюдается в классических контактах юго-западной Финляндии (Суцинский, 1912), контактах Христиании (Goldschmidt, 1911) и многих других местах. За последнее время известны находки шпинели в железорудных месторождениях, генетически связанных с основными массивами гор Благодать, Кочканар и др. Хотя шпинель встречается в небольших количествах, но имеет сравнительно широкое распространение. Она известна в известняках, роговообманковых породах, гранатовых скарнах, в приконтактных зонах кислых и основных интрузивных пород, в метаморфических породах — гнейсах, амфиболитах и т. п.

Обычный парагенезис шпинели: скарновые минералы — гранат (андрадит), магнетит, хондродит, хлорит и реже скаполит, эпидот, цоизит, клиноцоизит, актинолит, тремолит, роговые обманки, кальцит, везувиян. Чаще всего она встречается с первыми четырьмя минералами.

Цвета шпинели обычно зеленые, синие и буровато-желтые, более редко наблюдаются светлые и черные разновидности. Для контактов кислых интрузий с известняками более характерна шпинель светлая и голубоватого цвета. В рудных месторождениях, особенно в магнетитовых и титано-магнетитовых, среди скарновых и меланократовых пород шпинель обычно зеленого и темнозеленого цвета, реже желтовато-зеленоватого и светлосинего цвета. Совершенно не наблюдается шпинель темного и черного цвета.

Необходимо отметить одно интересное обстоятельство, указывающее на своеобразные генетические особенности шпинели.

Достаточно хорошо известно, что благоприятным условием для образования того или другого минерала является наличие в газах, растворах или магме избыточного количества главных элементов, составляющих эти минералы, и соответствующая геологическая обстановка, когда они могут выделиться в виде мономинеральных агрегатов или значительных скоплений в породе, жиле и т. д. Однако шпинель в этом отношении является своеобразным исключением.

Рассматривая парагенетический комплекс минералов шпинели в скарновых образованиях, прежде всего обращает на себя внимание бедность алюминием минералов, входящих в этот комплекс. Наиболее богатые им минералы — гранаты, как, например, гроссуляр, альмандин, в скарнах, как правило, не встречаются. Чаще всего распространены гранаты типа андрадита и редко андрадито-гроссулярового состава. А другие алюмосодержащие минералы, как правило, не образуются. Что касается присутствующих в скарнах пироксенов и амфиболов, то они также чаще всего относятся к группе диопсида или лучистых афиболов, где алюминий часто отсутствует. Эти данные давали возможность предполагать, что при образовании скарнов алюминий выносится эманациями из магмы, правда, в небольших количествах и преимущественно в самые ранние стадии скарнообразования (Кузнецов, 1927; Spurr, 1912). Оказывается, что эти условия (бедность алюминием) благоприятны для образования магнезиально-цинковой шпинели.

Что касается такого элемента, как магний, часто обнаруживаемого в составе скарновых минералов, то привнес его вряд ли может достигать значительных размеров, поскольку существует мнение (Schnedeman, 1938), что даже замещенные породы при этом процессе теряют Mg, а не приобретают его. Это обстоятельство заставляет думать, что наличие большого количества в некоторых скарновых месторождениях магнийсодержащих минералов есть следствие метасоматического изменения пород основного комплекса. Кретшмер (Kretschmer, 1911) указывает, что все рогово-обманковые плагиоклазовые породы контакта связаны между собой постепенными переходами, являясь не чем иным, как метаморфизованными габровыми породами.

Несмотря на широкую известность и довольно значительную распространенность шпинели, генезис ее до сих пор является неясным. Одни исследователи предполагают, что шпинель образуется в контактах кислых пород с известняками, при наличии в последних магния и алюминия. Такими породами могут являться доломитизированные известняки с прослоями глинистого материала, что часто встречается среди осадочных пород. При контактах их с интрузивными породами создается благоприятная обстановка для образования шпинели.

Другие (Сущинский, 1912) объясняют появление шпинели тем, что контактовые породы, в частности известняки, воспринимают во время контактово-метаморфических процессов составные части, необходимые для образования шпинели из эрутивита, подобно образованию хлорита и хондродита. Это подтверждается тем обстоятельством, что в контактах Финляндии часто наблюдались химически чистые известняки недоломитизированные и немергелистые, однако шпинель в них находилась в значительных количествах.

Некоторые склонны думать, что шпинель образуется в результате кристаллизации магмы, очень бедной кремнеземом, богатой MgO и содержащей Al_2O_3 или Fe_2O_3 . Поскольку во многих перидотитах щелочные металлы отсутствуют и полевые шпаты не могут образовываться, то имеющаяся Al_2O_3 кристаллизуется в виде шпинели и корунда.

Шпинель, как редко встречающийся минерал скарных образований, мало обращала внимание исследователей, а ее скромные скопления нередко пропускались последними, особенно в железорудных месторождениях, где она встречается в парагенезисе со скарновыми, а чаще с рудными минералами черного цвета.

Принято считать, что шпинель типа плеонаста обычно встречается в породах, богатых железом, в парагенезисе с магнетитом при одновременном с ним образовании, а также с хлоритом и хондродитом. Однако для железорудных месторождений типа горы Благодать на Урале и Шерегеша в Западной Сибири мы встречаем своеобразную магниезально-цинковую шпинель, аналогично образующуюся в контактах основных пород на Южном Урале в Прасковье-Евгеньевской копи, Шишимских и Назямских горах.

Шпинель своеобразного зеленого цвета в Прасковье-Евгеньевской копи на Урале была обнаружена Барбогг-де-Марни в 1833 г. и описана Г. Розе (Rose, 1840). Последний на основании своеобразия химического состава выделил ее под названием «хлоршпинели» с химической формулой $MgO \cdot (Al, Fe)_2O_3$. Эта формула хлоршпинели известна во всех справочниках как русских, так и иностранных.

Хлоршпинель встречается в виде хорошо образованных октаэдров (111), в комбинации с ромбическим додекаэдром (110), величиной от 1 до 5 мм. Часто наблюдаются двойники по характерному шпинелевому закону, образующие дендритоподобные сростки.

По данным Г. Розе, хлоршпинель отличается от цейлонита тем, что в ней алюминий изоморфно замещается окислом железа, содержание которого непостоянно (9—15%), а также присутствием в ней до 0,6% окислов меди. В цейлоните железо находится в виде закиси и изоморфно замещает магний.

Цвет кристаллов темнозеленый. Черта желтовато-бурая; стеклянный блеск в изломе, в краях просвечивает. Удельный вес 3,591—3,594; твердость 8. Под микроскопом шпинель редко бесцветная или со слабым зеленоватым оттенком, чаще зеленая с хорошо выраженной шагреновой поверхностью и трещинами, напоминающими спайность по кубу. Нередко в центре зерен шпинели включены зерна перовскита и магнетита.

Показатель преломления определялся значительно позже Л. Л. Шилиным, а затем мною, причем было установлено: $N = 1,782 \pm 0,004$. По оптическим данным эта разновидность была отнесена к группе цейлонита.

Порядок выделения шпинели в рудной жиле устанавливается после магнетита, гематита и перовскита. В щетках на хлоритовом сланце шпинель выделялась вместе с магнетитом, после сфена совместно с листоватым хлоритом, но раньше клиноцоизита.

Позднее П. Еремеев (1869) о хлорошпинели писал: «На юге от Николае-Максимиллиановской копи, именно в Шишимских горах, открыто еще одно новое месторождение минералов, названное Прасковье-Евгеньевской копью. Из числа присланных И. Редикорцевым минералов, кроме небольших кристаллов клинохлора, сфена и диопсида, особенно замечательны прекрасные экземпляры хлорошпинели, выросшие на хлоритовом сланце и представляющие комбинацию правильного октаэдра и ромбического додекаэдра. Последняя форма в некоторых из них является преобладающей и поэтому сообщает кристаллам особенную наружность, вообще не свойственную шпинели. Абсолютная величина трех кристаллов простирается до $1\frac{1}{2}$ линии. Цвет их с поверхности черновато-зеленый в осколках спайности, параллельно граням октаэдра и в мелких кристаллах синеваато-изумрудный. Цвет черты зеленовато-белый. Блеск сильный стеклянный. Перед паяльной трубкой реагирует на медь». Эти материалы подтверждают данные Г. Розе.

При изучении элементов примесей в шпинелях (Сумин, 1950) мною было обращено внимание на спектральный анализ шпинели Прасковье-Евгеньевской копи, который показал довольно интенсивные линии кобальта. Это обстоятельство побудило меня подвергнуть ревизии образцы, хранящиеся в Музее под названием хлорошпинели.

Отобранный чисто минералогический материал предварительно был просмотрен под микроскопом с целью контроля по отсутствию в нем рудных включений и определения показателя преломления. Затем шпинель была подвергнута химическому анализу, который произведен химиком-аналитиком Института геологических наук АН СССР В. А. Молевой. Результаты анализа приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Окислы	Содержание в %	Пересчет на 100 %	Пересчет на молекул. вес	Суммарный молекул. вес RO и R ₂ O ₃
MgO	14,32	14,19	0,352	} 0,621
ZnO	16,90	16,76	0,206	
FeO	4,26	4,23	0,052	
CoO	0,20	0,19	0,003	
MnO	0,60	0,59	0,008	} 0,613
Al ₂ O ₃	60,96	60,43	0,591	
Fe ₂ O ₃	3,64	3,61	0,022	
Сумма	100,88	100,00	—	—

Пересчитав данные анализа на 100% и молекулярный вес, мы получили отношения RO и R₂O₃, по которым формула так называемой хлорошпинели имеет вид (Mg, Zn)O · Al₂O₃.

Таким образом, проверка показала, что хлорошпинель является настоящей магниально-цинковой шпинелью, стоящей в изоморфном ряду в промежутке между обычной магниальной шпинелью и цинковой шпинелью — ганитом.

Сравнивая данные исследования хлорошпинели Г. Розе (1840) с полученными нами результатами, наблюдаем значительное несоответствие между ними, тогда как исследуемый материал по приведенным нами

данным был один и тот же. По данным Г. Розе хлорошпинель является магнезиальной разновидностью с присутствием до 0,6% меди в ней, а по нашим данным, она оказалась типичной магнезиально-цинковой шпинелью с наличием в ней кобальта.

Это несоответствие данных химических анализов объясняется, с одной стороны, той устаревшей и несовершенной методикой анализа, которая была применена более ста лет назад в определении некоторых элементов, входящих в ее состав, и с другой стороны, цинк вообще не подвергался определению, поскольку шпинель заведомо считалась магнезиально-глиноземистым соединением; таким образом, благодаря аналогичности реакций магния и цинка, полученные Г. Розе результаты по магнию оказались суммарными с цинком.

Что касается ошибочности определения меди в хлорошпинели, то это также вероятно, если принять во внимание методику 1840 г., которая была далеко не совершенной по сравнению с современным электролитическим способом, ставшим известным только с 1864 г.

По общепринятому тогда методу выделения меди в виде окиси (осаждаемая ее из растворов едким кали), находящийся в этом растворе кобальт осаждается этими же реактивами так же, как и медь. Поэтому не случайно, что полученные Г. Розе данные для меди (при близости ее атомных весов с кобальтом) количественно почти соответствуют данным нашего анализа по содержанию кобальта. Повторение ошибки при определении меди в магнезиально-цинковой шпинели П. Еремеевым объясняется тем, что медь им определялась при помощи паяльной трубки, где автором было упущено, что при получении стекла из буры и фосфорной соли в окислительном и восстановительном пламени, при наличии кобальта и железа, о которых он не мог и подозревать, образуются перлы с окраской, совершенно аналогичной перлам меди.

Таким образом, хлорошпинель, являясь особым видом промежуточной шпинели, стоящей между обычной магнезиальной и цинковой шпинелью — ганитом, по парагенетической ассоциации минералов характерна своей приуроченностью к контактам основных габбровых массивов и титано-магнетитовым месторождениям, генетически связанным с основным комплексом пород. Темнозеленый цвет ее, подобный ганиту, и постоянное содержание в ней кобальта являются ее типоморфными особенностями.

В связи с изложенным, мною были проделаны некоторые исследования шпинели, встречающейся в месторождениях железных руд примерно одного и того же генетического типа, но находящихся в различных провинциях.¹

Для исследования были взяты образцы шпинели с железорудных месторождений Урала, входящих в Гороблагодатский комплекс, и из Западной Сибири с месторождений Шальм и Шерегеш. В обоих районах шпинель была обнаружена недавно автором при изучении этих месторождений.

В Гороблагодатской группе месторождений шпинель впервые обнаружена в Надежно-Коммерческом железном руднике в 1946 г., а затем на горе Благодать. На Валуевском и Осокино-Александровском месторождениях шпинель была встречена позже в шлифах.

В Западной Сибири шпинель была описана мною в Шерегешевском, а затем в Шальмском месторождениях. Судя по аналогии генезиса для всех месторождений Кондомской группы, шпинель, очевидно, есть и в Таштагольском месторождении. Что же касается Тельбесской группы, то в литературе указаний на нахождение здесь шпинели до сих пор не было. Однако последними исследованиями Западно-Сибирского филиала АН СССР (группой Г. Л. Поспелова) на глубоких горизонтах месторождения

Темир-Тау были обнаружены породы основного комплекса типа габбро, подвергшиеся метасоматическим процессам, что указывает на аналогию этого месторождения с Горно-Шорской группой месторождений — Шерегешем и проч. Поэтому не исключена возможность находки шпинели и в этих месторождениях.

Из всех указанных выше месторождений шпинель в значительных количествах, достаточных для исследования, была встречена только в Надежно-Коммерческом руднике на Урале и Шерегешевском месторождении в Горной Шории. С целью получения полного представления о парагенетической ассоциации шпинели, свойственной железорудным месторождениям, они и будут описаны более детально.

Надежно-Коммерческое месторождение генетически связано с ксенолитом известняка, имеющего удлинненную форму, вытянутую в меридиональном направлении, и зажатого в габбро-сиенитовом массиве.

В результате метасоматоза как известняки, так и габбро подверглись скарнированию и гранатизации. Сохранившиеся целики известняка окружены желто-зеленым гроссуляр-эпидотовым и бурым гранато-везувиановым скарном, с довольно значительным содержанием в последнем шпинели. Внутри скарна включены незначительные пластообразные залежи магнетита. Известняк сечется крутонадающей дайкой сиенита, мощностью 10—11 м. В контактах с дайкой залегает мелкокристаллический магнетит, легко рассыпающийся на мелкие зерна, обособленные кристаллы, которые на глубине сменяются магнетито-гранатовым скарном. Западный борт месторождения сложен разрушенными сиенитами, превращенными в серую дресву, состоящую из белого каолина и темнобурого хлорита, заменившего темнокветные компоненты исходной породы.

Восточный борт сложен гранато-везувиановым скарном, состоящим из крупных кристаллов граната размером 10—15 см в диаметре, с хорошо выраженной зонарной структурой и довольно большим количеством везувиана в виде сплошных масс или беспорядочных скоплений. В последнем часто наблюдаются кристаллы шпинели с хорошо развитыми гранями октаэдров (111).

В южной части месторождения интрузивные породы замещаются эпидото-гранатовыми скарнами с тулитом, заключающими в себе крупный шпир магнетита.

Шпинель встречается только в восточном борту, в скарне андрадито-гроссулярового состава с везувианом, подстилающим рудное тело. Наиболее крупные скопления шпинели обычно приурочены к почти мономинеральным крупнокристаллическим выделениям везувиана.

Шпинель наблюдается в хорошо образованных октаэдрических кристаллах величиной от 2—3 мм до 1—2 см, с гранями (111), реже с притупленными гранями ромбического додекаэдра (110). Двойники очень редки. Цвет черный в тонких краях, при изломе просвечивает темнозеленым цветом. Твердость 7,5; удельный вес $3,81 \pm 0,002$.

Под микроскопом в проходящем свете шпинель яркозеленого цвета с слабо заметной спайностью. Часто разбита трещинами, которые выполнены вторичными продуктами распада — хлоритом. Показатель преломления $1,780 \pm 0,004$. В скрещенных николях изотропна.

Данные спектрального анализа показали: сильную интенсивность линий Mg, Fe, Al, Zn, Co; слабые Ca, Ti, Ga и Si, и следы линий Cu.

Химический анализ шпинели произведен научным сотрудником Института геологических наук В. А. Молевой. Проба шпинели, предназначенная для химического анализа, была подвергнута предварительной обработке кислотами, чтобы освободить шпинель от механической примеси вторичных

продуктов ее распада — хлорита и серицита, часто находящихся в тесном срастании с последней. Результаты анализа приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Окислы	Содержание в %	Пересчет на 100%	Пересчет на молекул. вес	Суммарный молекулярный вес RO и R ₂ O ₃
SiO ₂	Следы	—	—	—
TiO ₂	»	—	—	—
Al ₂ O ₃	62,52	62,11	0,625	} 0,664
Fe ₂ O ₃	6,31	6,27	0,039	
FeO	7,11	7,07	0,107	} 0,663
MnO	1,53	1,51	0,021	
MgO	20,02	19,89	0,494	
ZnO	2,42	2,41	0,029	
CaO	0,52	0,50	0,009	
CoO	0,25	0,24	0,003	
Сумма	100,68	100,0		

При пересчете полученный анализ приводит к формуле, которая имеет следующий вид: $(Mg, Fe, Mn, Zn)O \cdot (Al, Fe)_2O_3$.

Шпинель Гороблагодатского месторождения была обнаружена мною после того, как она была найдена в Надеждо-Коммерческом руднике при оптическом исследовании скарнов и рудной толщи главного рудного тела. Встречается шпинель в парагенезисе с магнетитом, гранатом, хлоритом и кальцитом — в скарнах и с хлоритом, магнетитом — в рудной толще. Наличие большого количества трещин, напоминающих спайность, является главным отличием ее от изотропного серо-бурого граната.

При массовом просмотре петрографических шлифов среди кальцита была еще в нескольких местах обнаружена шпинель такого же яркозеленого цвета, как и предыдущая. Ее не удалось выделить в количествах, необходимых для химического анализа, но для оптического и спектрального анализов материала оказалось достаточно, чтобы установить некоторые физико-химические и оптические свойства, сравниваемые с анализированной шпинелью из других месторождений.

В месторождениях Валуевском и Осокино-Александровском шпинель отмечалась только оптически, в шлифах пород вмещающей толщи среди гранатовых скарнов. Она изотропна, яркозеленого цвета со слабо заметной спайностью, выраженной ориентированными трещинами в зернах. Показатель преломления близок к гранату, но немного меньше последнего.

Из железорудных месторождений Западной Сибири заслуживает внимания шпинель Шерегешевского месторождения в Горной Шории. Это месторождение входит в Кондомскую группу железорудных месторождений и находится вблизи контакта крупного штока графитной интрузии, залегающей в пределах его контактового ореола.

Вмещающими породами являются в основном зеленокаменная толща и частично ороговикованные альбитофиры, их туфы, мраморы и ороговикованные сиениты. Скарны рассеяются рядом даек, мелких жил аплитов и аплит-пегматита. Месторождение делится на три рудных участка, расположенных одно от другого на расстоянии не более одного километра.

Макроскопически шпинель была обнаружена в зоне контакта гранитов с известняками, в виде черных, просвечивающих в краях темнозеленым цветом, очень мелких октаэдров. Небольшие скопления шпинели на этом участке приурочены также к карбонатизированным гранатовым скарнам второго рудного участка, а в главном участке — к скарнированной зеленокаменной толще. В последних она очень часто наблюдалась под микроскопом.

В парагенезисе с шпинелью встречаются: кальцит, гранат андрадито-гроссулярового состава, везувиан, эгидот, роговая обманка, магнетит и марганцево-сажистые минералы типа вада.

Оптически шпинель изотропна. В проходящем свете яркозеленого цвета с явно намечающейся спайностью. Показатель преломления $1,776 \pm 0,002$; твердость 7,5; удельный вес 3,68. Спектральный анализ показал сильные линии — Mg, Fe, Al, Mn, Zn и Co, со значительно меньшей интенсивностью линий второстепенных элементов — Cr, Cu, Ca, Ti, Si и Ga.

Химический анализ шпинели из образцов II рудного участка, выполненный В. А. Соковой, приводится в табл. 3.

Таблица 3

Оксиды	Содержание в %	Пересчет на 100%	Пересчет на молекул. вес	Суммарный молекул. вес RO и R ₂ O ₃
SiO ₂	Следы	—	—	—
TiO ₂	»	—	—	—
Al ₂ O ₃	68,08	62,79	0,633	0,666
Fe ₂ O ₃	5,18	5,15	0,033	—
FeO	6,45	6,41	0,089	—
MnO	1,75	1,74	0,024	—
MgO	21,01	20,92	0,518	—
ZnO	2,41	2,39	0,028	0,668
CaO	0,34	0,33	0,005	—
CoO	0,28	0,27	0,004	—
Сумма	100,50	100,00	—	—

Приведенные данные анализа позволяют принять следующую формулу шпинели: (Mg, Fe, Mn, Zn)O · (Al, Fe)₂O₃ с содержанием кобальта.

Сравнивая полученные данные химического анализа с таковыми же для шпинели Надеждо-Коммерческого рудника, мы наблюдаем почти полную их аналогию.

Шпинель подобного типа часто наблюдается в рудном теле Шерегешевского месторождения среди роговообманковых пород (меланократовое габбро) в парагенезисе с гранатом, магнетитом и хлоритом.

В Шалымском месторождении шпинель наблюдается только в шлифах двух типов — белая и зеленая, причем первая разновидность встречается значительно реже, чем последняя.

Характерно отметить, что белая шпинель обычно встречалась среди сплошного гранатового скарна, образовавшегося за счет сиенитов, а зеленая разновидность — среди скарнированных порфириров и хлорито-карбонатных пород в парагенезисе с магнетитом, гранатом и хлоритом.

К сожалению, незначительное количество шпинели в Гороблагодатском, Валуевском, Осокино-Александровском и Шалымском железорудных

месторождениях не позволило ее выделить для количественного химического анализа. Несмотря на это, для некоторых из перечисленных выше месторождений мне все же удалось получить данные, которые для сравнения сведены в табл. 4.

Таблица 4

Месторождение	Цвет	Твердость	Уд. вес	Показатель преломления	Данные спектрального анализа (интенсивность линий)						
					Co	Zn	Fe	Mn	Ni	Cu	V
Гора Благодать . . .	Зеленый	7,5	3,80	1,778	Сильн.	Сильн.	Сильн.	Сильн.	Слаб.	Слаб.	—
Надеждо-Коммерческий рудник . . .	То же	7,5	3,81	1,780	»	»	»	Выше средн.	Оч. слаб.	Следы	—
Валуевское	» »	—	—	1,77	—	—	—	—	—	—	—
Осокино-Александровское .	» »	—	—	1,77	—	—	—	—	—	—	—
Шерегешевское . . .	» »	7,5	3,78	1,778	Сильн.	Сильн.	Сильн.	Сильн.	Слаб.	Средн.	Слаб.
Шалымское	» »	—	—	1,76	—	—	—	—	—	—	—

Сравнивая данные исследования, мы должны отметить поразительное сходство шпинелей по цвету, твердости, удельному весу, оптическим данным и качественному спектральному анализу. Это сходство вряд ли может быть случайным. Хотя эти две группы месторождений территориально разобщены и стоят на значительном расстоянии друг от друга, однако во всем чувствуется связь их с аналогичным генетическим процессом. Главным общим признаком является их зависимость от своеобразного скарнового процесса и генетическая связь их с породами основных массивов.

Если эта шпинель является характерной для определенного комплекса месторождений, то, несомненно, она может также служить одним из критериев, определяющих некоторые черты их генезиса.

Интересно отметить еще одно обстоятельство, являющееся не менее характерным для нашей шпинели, — это геологические условия ее нахождения.

В месторождениях горы Благодать и Надеждо-Коммерческом руднике она явно приурочена к подстилающим скарнам. В Шерегеше, вследствие неясности структуры рудных полей, трудно пока судить о закономерности в ее распространении, но одно несомненно, что она была обнаружена в породах подстилающих рудное тело.

На Валуевском и Осокино-Александровском месторождениях, ввиду незначительного количества наблюдаемой там шпинели, казалось бы, трудно установить связь ее с определенным горизонтом, однако, может быть случайно, шпинель была обнаружена в подстилающих породах и в старых отвалах рудника.

Все эти, хотя и немногочисленные факты говорят за то, что шпинель приурочена в месторождениях скарнового типа к подстилающим породам, что требует, несомненно, подтверждения в наблюдениях на других подобных же месторождениях.

По своему химическому составу шпинель железорудных месторождений есть, очевидно, одна из разновидностей магнезиально-цинковой шпинели, характерной своим распространением в контактовых зонах основных пород. В табл. 5 приводится сравнение химического состава шпинели из различных месторождений (в %).

Таблица 5

Оксиды	Южный Урал	Надеждо-Коммерческий рудник	Шерегешевское месторождение	Финляндия
	I	II	III	IV
SiO ₂	Следы	Следы	Следы	—
TiO ₂	—	»	»	—
Al ₂ O ₃	60,96	62,52	63,08	67,19
Fe ₂ O ₃	3,64	6,31	5,18	—
FeO	4,26	7,11	6,45	11,75
MnO	0,60	1,53	1,75	—
MgO	14,32	20,02	21,01	18,79
ZnO	16,90	2,42	2,41	1,38
CaO	Следы	0,52	0,34	0,42
CoO	0,20	0,25	0,28	—
Сумма	100,88	100,68	100,50	100,16

Интересно отметить, что шпинели приведенных месторождений генетически связаны с общими процессами образования магнетита и титано-магнетита. I анализ относится к шпинели месторождений ярко выраженного основного типа (Куса и Копань), находящихся в самом габброидном массиве; II анализ — к шпинели Надеждо-Коммерческого железного рудника, находящегося в некотором удалении от основного массива, в породах сиенитового состава, но генетически связанного с габбро-сиенитовой интрузией; III анализ — к шпинели Шерегешевского месторождения, хотя и находящегося в непосредственном контакте с кислыми интрузиями, но заключенного в зеленокаменную толщу и генетически связанного с основной интрузией, не вскрытой еще на поверхности, и, наконец, IV — старый анализ шпинели из небольшого месторождения магнетита Финляндии, относящегося до сих пор к контактам гранита с известняками с большим развитием выходов роговообманковых пород, природа которых долгое время оставалась неясной. Однако, по данным Кретчера (1911), они возникли в результате метасоматического изменения основных пород.

Из сопоставления данных химических анализов шпинели с генезисом месторождений напрашивается следующее.

Типичная магнезиально-цинковая шпинель, очевидно, обязана своим происхождением основному комплексу пород с титано-магнетитовыми месторождениями. Уменьшение в шпинели цинка за счет увеличения Mg свидетельствует об образовании ее на некотором удалении от основного массива и характерно для магнетитовых месторождений. Чистая магнезиальная шпинель и чистые ганиты характерны, очевидно, для пегматитовых образований кислых пород.

Что касается остальных шпинелей плеонаста (цейлонита) и др., то они также, очевидно, являются типоморфными особями своеобразного генезиса. К сожалению, они совершенно почти не изучены и не установлена их связь с месторождениями того или другого типа.

Из всего вышезложенного можно сделать следующие выводы.

1. Шпинель, благодаря широкому распространению и многообразию физико-химических свойств ее — цвету, форме, составу, наличию элементов примесей и т. п., может являться типоморфным минералом скарновых месторождений.

2. Являясь постоянным спутником в железорудных месторождениях скарнового типа, шпинель обладает характерными особенностями состава, с содержанием в ней цинка и кобальта и присущим для нее яркозеленым или темнозеленым цветом.

3. Характерными элементами примеси ее являются Ni и Co и непостоянными — V и Cr; что касается присутствия в ней элементов Co и Zn, то последние входят в состав шпинели не в виде свободных элементов, изоморфно, замещающих родственные и близкие им по ионному радиусу элементы, а, более вероятно, в виде изоморфных минеральных компонентов $\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. В чистом виде подобные соединения неизвестны в природе, однако синтетически они получены (Дилакторский, 1939) и кристаллизуются в кубической сингонии, как и природные кристаллы шпинели.

ЛИТЕРАТУРА

- Дилакторский Н. Л. О синтезе некоторых минералов из группы шпинелей. З. М. О., XVIII, № 1, 1939.
- Еремеев А. Замечательные экземпляры ильменорутила, титанистого железняка и шпинели из Уральских гор. Зап. Мин. общ., т. IV, 1869.
- Коржинский Д. М. Термодинамика и геология некоторых метаморфических реакций с выделением газовой фазы. Зап. Мин. общ., ч. 64, в. 1, 1935.
- Коржинский Д. С. Абиссафобный минерал пумпеллит в породах горы Благодарити и р. Турьи и о факторе энергии превращения. Изв. АН СССР, № 5, 1944.
- Кузнецов Ю. А. Скарны Ольховско-Чибижевских контактов в Миусинском уезде. Изв. Томск. гос. унив., т. 79, в. 1, 1927.
- Сумин Н. Г. Об элементах-примесях в шпинелях. Тр. Мин. музея АН СССР, II, 1950.
- Сушинский П. П. Материалы по изучению контактов глубинных горных пород с известняками в юго-зап. Финляндии. СПб., 1912.
- Doelter C. Handbuch der Mineralchemie, III, 2, 1926.
- Goldschmidt V. Die Kontaktmetamorphose in Kristiania Gebiet. Kristiania, 1911.
- Kretschmer. Das Metamorphe Diorit und Gabbromassive in der Umgebung von Zöptau (Mähren). Jahrb. Geol. Reichsanstalt. Jahrg. 61, 1911.
- Rose H. Pogg. Ann., 56, 1840.
- Schneidemann O. Notes Chemistry of Ore Solutions. Ec. Geol., 8, 1938.
- Spurr I., Gawey G. a. Fenner C. Study of Contact Metamorphic Ore Deposits the Dolores Mine at Mathaella S. L. P. Mexico. Ec. Geol., VII, 1912.