

Г.Н. ТАРНОВСКИЙ, Г.М. КАШАЕВА, В.А. ШИРЯЕВА

**СКОРЗАЛИТ ИЗ ПЕГМАТИТОВ И ГИДРОТЕРМАЛИТОВ СИБИРИ**

Скорзалит, крайний железистый член изоморфного ряда лазулит-скорзалит, в отличие от лазулита встречается в природе довольно редко. С того времени, когда в 1949 г. скорзалит впервые был описан В.Т. Пекора и Ж.Ж. Фахи [1] из пегматитов района Минас Жераис в Бразилии, этот минерал был установлен лишь в нескольких точках земного шара: в пегматитах Калифорнии, Южной Дакоты [2] и Конго [3], а также в кианитовых кварцитах районах Хольсёбергет в Швеции [4].

В 1957 г. на месторождении редкометалльных пегматитов в Сибири одним из авторов (Тарновским) был обнаружен скорзалит. В 1958 г. на другом месторождении пегматитов в этом же районе скорзалит установлен Г.П. Луговским [5].

Скорзалит на месторождении встречается сравнительно, гораздо реже апатита, монтебразита, митридатита и трифилин-литофилиита – наиболее распространенных в пегматитах и гидротермалитах минералов-фосфатов.

Скорзалит обнаружен в составе небольших по мощности (не более 0,3 м) мусковит-кварцевых или существенно кварцевых жил, образовавшихся путем гидротермального замещения пегматитовых жил или являющихся самостоятельными жильными образованиями. Лишь в двух случаях скорзалит найден в призальбандовых зонах сподуменсодержащих пегматитовых жил, сложенных кварц-мусковитовым и кварц-альбитовым замещающими комплексами. Скорзалит в виде мелких зерен, вытянутых в цепочку, был установлен в эндоконтактных частях небольшой мощности (до 15 см) плагиоклаз-кварцевой жилы, почти полностью замещенной парагенетической ассоциацией таких минералов, как кальцит, диопсид, эпидот, цоизит, везувиан и актинолит.

Скорзалит представлен отдельными зернами изометричной формы или зернистым агрегатом и более или менее равномерно рассеян по всей массе гидротермально-метасоматических или гидротермальных жильных образований, но как правило, в зальбандах жил образует цепочечные скопления зерен, вытянутых параллельно к контакту и нередко достигающих по ширине до 0,6 см. В одной из мусковит-кварцевых жил скорзалит в виде агрегата мелких зерен заполнял небольшую трещину (шириной в 0,3 см), секущую жилу под небольшим углом к простиранию последней.

В мусковит-кварцевых и кварцевых жилах скорзалит ассоциируется с андалузитом, силлиманитом, апатитом, монтебразитом, митридатитом, магнетитом, нигеритом, анатазом, ставролитом, хризобериллом, хситеритом, ильменитом, колумбит-танталитом, бериллом, цирколитом, трифилин-литофилиитом и продуктами его изменения – сиклеритом, гетерозитом и пурпуритом. В призальбандовых зонах сподуменсодержащих пегматитовых жил скорзалит ассоциируется с кварцем, мусковитом, альбитом и апатитом.

Наиболее тесно скорзалит ассоциируется с андалузитом, с которым он часто образует сростания, а нередко даже слагает своеобразный скорзалит-андалузитовый агрегат, обладающий под микроскопом структурой архипелага. Периферийные тонкие зоны зерен андалузита зачастую замещены крипточешуйчатым мусковитом; реже андалузит замещен полностью.

В призальбандовых зонах мусковит-кварцевых и кварцевых жил скорзалит наблюдается в тесном сростании с трифилин-литофилиитом, иногда измененным в сиклерит или пурпурит. Нередко трифилин-литофилиит образует тонкие оторочки вокруг зерен скорзалита, а также выполняет тонкие трещинки в нем.

В кварцевых жилах скорзалит часто тесно ассоциируется с монтебразитом. Как показали микроскопические исследования, взаимоотношения этих двух минералов довольно сложные, в отдельных случаях реакционные. Нередко мелкие желвакообразные выделения монтебразита корродируются по периферии агрегатом мелких

зерен скорзалита, а также секутся им по тонким прожилкам. В некоторых шлифах наблюдалось интересное явление: тонкозернистый агрегат скорзалита развит не только по периферии желвачков монтебразита, но также и вдоль тонких двойниковых полос в последнем. Гораздо реже под микроскопом наблюдались сравнительно крупные зерна скорзалита с включениями в центральной части их корродированных реликтов монтебразита.

Наиболее часто в скорзалите встречались включения очень мелких зерен кварца, нередко также включения плохо образованных кристаллов хризоберилла, изометричных зерен трифилин-лигиофилита и тонковолокнистых агрегатов силлиманита. В одном случае в тесном парагенезисе со скорзалитом был установлен флюорит.

В мусковит-кварцевых жилах нередко мусковит замещается скорзалитом. Степень замещения различна: в одних случаях в кристаллах мусковита, наиболее часто вдоль трещин спайности, развиваются тонкие прожилки скорзалита, в других — в агрегатах мелкозернистого скорзалита сохраняются лишь тонкие, веретенообразные реликты мусковита с единой оптической ориентировкой. В последнем случае можно говорить о псевдоморфозах скорзалита по мусковиту.

Морфология выделений скорзалита в пегматитах и гидротермалитах чрезвычайно многообразна. Скорзалит представлен, как правило, зернами округлой, изометричной или более неправильной формы. Нередко образует выделения довольно сложной формы с заливообразными очертаниями, придающими породе структуру архипелага. Под микроскопом установлены двойникованные кристаллы скорзалита (простые и колечатые с углом  $100^\circ$  между сросшимися индивидами). В кварце и андалузите наблюдались жилоподобные выделения скорзалита сложной, ветвящейся формы, придающие породе петельчатую структуру.

В шлифах отмечаются удлиненные зерна скорзалита, обрастающие по периферии агрегатом мелких кристаллов хризоберилла, что придает подобным образованиям сходство с так называемыми "фаршированными" кристаллами. Лишь в одном случае в кварцевой жиле были обнаружены мелкие (размером  $0,5 \times 1,2$  мм) кристаллы скорзалита короткопризматического облика. Периферийные части кристаллов изменены, поверхности граней неровны.

Цвет скорзалита довольно разнообразен. Наиболее часто скорзалит окрашен в васильково-синий, небесно-голубой цвет, реже в желтовато-зеленый, ярко-зеленый, фиолетово-синий, зеленовато-синий, голубовато-белый. Многие зерна скорзалита обладают полихромной окраской и в пределах одного зерна под бинокулярным микроскопом можно наблюдать переходы окраски от синей к зеленой, от голубой к желтовато-зеленой, от голубой к голубовато-белой.

В зернах скорзалита, окрашенных под микроскопом в проходящем свете в бледно-голубой цвет, вдоль тонких трещинок наблюдается усиление окраски; такие же более ярко окрашенные участки прожилковой формы встречались и в зернах, лишенных трещин. Усиление интенсивности окраски скорзалита отмечалось также вокруг включений циртолита, содержащего по данным спектрального анализа U и Th (десятые доли процента).

В тех случаях, когда полосчатые скопления зерен скорзалита приурочиваются к призальбандовым зонам мусковит-кварцевых или кварцевых жил, удается установить постепенное изменение его окраски от синей к зеленой в направлении от центральных частей к зальбандам жил.

Для подавляющего большинства зерен скорзалита под микроскопом характерно полисинтетическое двойниковое строение; наиболее часто присутствуют две системы двойниковых полос, пересекающихся под прямыми или близкими к нему углами и придающих скорзалиту решетчатую структуру. Реже встречаются три системы взаимопересекающихся двойниковых полос или же лишь одна система полос, как это наблюдается у монтебразита. В некоторых случаях двойниковые полосы имеют веретенообразную форму. В зернах скорзалита с решетчатым строением двойниковые полосы одной системы иногда резко обрываются на границе с двойниковыми полосами другой системы. В некоторых зернах скорзалита при пересечении одной системы двойниковых полос системой полос другой ориентировки происходит сдвиг полос первой системы, что придает ей ступенчатый характер.

Микроскопические исследования позволяют высказать предположение о присутствии в кварцевых жилах двух генераций скорзалита, вероятно близких по своему

Таблица 1  
Химический состав скорзалита

Окислы	Сибирь		Сибирь, [5], %	Бразилия, [1], %	Швеция, [4], %
	Содержание, %	Содержание в элементар. ячейке К			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,51	2,08	30,06	30,87	28,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0,07	0,54	3,03
SiO <sub>2</sub>	—	—	0,30	—	—
TiO <sub>2</sub>	—	—	0,09	0,23	—
FeO	14,27	0,64	14,63	14,74	18,00
MgO	1,76	0,20	4,60	4,23	1,49
CaO	1,20	0,07	1,26	0,02	—
MnO	0,02	—	—	0,11	0,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	44,32	2,01	44,50	42,90	42,39
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	4,29	1,54	4,80	5,86	5,76
Сумма	99,37		100,31	99,37	99,92

химическому составу. В шлифах наблюдаются относительно крупные зерна скорзалита светло-голубого цвета в проходящем свете, плеохроирующие, обладающие высоким двупреломлением и полисинтетическим двойникованием, которые по периферии обрастаются агрегатом мелких зерен скорзалита, окрашенного в бледно-голубой цвет, но плеохроирующего, с более низким двупреломлением и, как правило, без полисинтетического двойникования.

Интенсивно окрашенные зерна голубого скорзалита плеохроируют от почти бесцветного по *Np* до светло-голубого по *Ng*; зерна зеленого скорзалита от почти бесцветного по *Np* до бледно-зеленого по *Ng*. При измерении показателей преломления голубого и зеленого скорзалита в иммерсионных жидкостях не удалось установить какого-либо различия, в обоих случаях они равны:  $Ng = 1,672 \pm 0,002$ ;  $Np = 1,630 \pm 0,002$ ;  $Ng - Np = 0,042$ . Скорзалит двусосный, отрицательный,  $2V = -62^\circ$ . Удельный вес голубого скорзалита, определенный пикнометрическим методом из навески 0,3 г, равен 3,36.

В лаборатории термографического анализа ИГЕМ была получена кривая нагревания скорзалита, обнаружившая эндотермический эффект при 660 и экзотермический эффект при 825°. Кривая нагревания нашего скорзалита наиболее близка к кривой нагревания скорзалита из Конго [3].

Химический анализ голубого скорзалита был выполнен В.А. Ширяевой из навески 0,6 г (табл. 1). Из табл. 1, в которой приведены все известные в литературе химические анализы скорзалита, видно, что содержание FeO в скорзалите колеблется от 14,27 до 18,00%, а содержание MgO от 1,49 до 4,60%.

Сравнение химического состава описываемого скорзалита с составом скорзалита, приведенным Г.П. Луговским [5], показывает, что при близком содержании FeO (14,27 и 14,53% соответственно) наш скорзалит существенно отличается от скорзалита, описанного Г.П. Луговским по содержанию MgO (1,76 и 4,60% соответственно).

Характерной особенностью химического состава скорзалита из Сибири является относительно высокое содержание CaO, количество которого, по данным двух химических анализов, довольно близко (1,20 и 1,26%). Недостаточное количество имеющихся в литературе химических анализов скорзалита не позволяет нам высказать какие-то предположения о характере вхождения кальция в состав скорзалита. Насколько известно [6], в изоморфном ряду лазулит-скорзалит существует изоморфизм лишь между FeO и MgO. Таким образом, присутствие CaO в скорзалите из Сибири, по всей вероятности, является специфической особенностью состава этого минерала из пегматитов и гидротермалитов данного района.

Пересчет химического анализа скорзалита на пять катионов приводит к формуле:



Таблица 2  
Межплоскостные расстояния скорзалита

Сибирь		Бразилия, [1]		Сибирь		Бразилия	
<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>
4	6,22	6	6,17	2	1,358	—	—
1	5,18	—	—	2	1,342	—	—
5	4,77	6	4,72	2	1,323	—	—
1	4,10	—	—	9	1,279	6	1,277
3	3,61	4	3,60	1	1,264	—	—
10	3,27	10	3,24	3	1,248	—	—
5	3,075	8	3,14	5	1,19	2	1,186
1	2,83	6	3,08	2	1,138	—	—
8	2,568	6	2,55	4	1,129	—	—
2	2,356	3	2,34	5	1,118	2	1,115
7	2,276	6	2,26	2	1,096	—	—
3	2,225	5	2,22	2	1,081	—	—
8	2,017	3	2,05	2	1,020	—	—
			2,01				
8	1,976	5	1,989	3	1,0039	—	—
			1,973				
7	1,82	3	1,828	3	0,9971	—	—
2	1,79	5	1,811	3	0,9891	—	—
			1,787				
5	1,745	—	—	2	0,9803	—	—
5	1,694	3	1,682	2	0,9533	—	—
2	1,666	—	—	2	0,9419	—	—
6	1,627	5	1,622	2	0,9339	—	—
3	1,606	4	1,601	4	0,9144	—	—
9	1,576	6	1,574	—	—	2	0,8318
6	1,541	5	1,541	—	—	2	0,8294
3	1,44	—	—	—	—	2	0,7849
7	1,416	3	1,412	—	—	2	0,7746
3	1,395	2	1,390	—	—	—	—

Примечание. Аналитик Г.М. Кашаева. Нефильтрованное Fe-излучение, камера  $D = 57,3$  мм, Си-фильтр,  $\lambda = 1,5418$  Å.

Спектральным анализом в скорзалите установлены примеси Zn (сотые доли процента), а также следы Be и Ti. Нами ранее отмечалось [7], что некоторые фосфаты, встречающиеся в пегматитах и гидротермалитах месторождения, содержат незначительное количество Zn; эта особенность состава скорзалита подтверждается также и для другого месторождения в этом районе. По данным Г.П. Луговского [5], скорзалит содержит около 0,01% Zn.

Рентгенометрический анализ голубого скорзалита был выполнен Г.М. Кашаевой (табл. 2); здесь же для сравнения приведены рентгенометрические константы скорзалита из Бразилии.

Скорзалит, подобно другим фосфатам под воздействием более поздних гидротермальных растворов, а частично, возможно, и в результате проявления гипергенных процессов подвергается замещению вторичными фосфатами. Наиболее часто тонкие периферийные зоны скорзалита замещены даллитом, обнаруживающим под микроскопом тонковолокнистое строение. (Диагностика даллита подтверждена рентгенометрическим анализом, табл. 3). Подобные тонкие периферийные зоны даллита были установлены также вокруг измененных выделений монтебразита, трифилин-литофилиита и магниотриплита. Выше уже отмечалось обрастание зерен скорзалита тонкими оторочками литофилиита, нередко измененного в сиклерит, а также пересечение зерен скорзалита тонкими прожилками литофилиита; скорзалит при этом, как правило, корродирован.

Установлено замещение скорзалита ксантоксенитом — сравнительно редким фосфатом. Под микроскопом ксантоксенит представлен пластинчатыми кристал-

Таблица 3  
Межплоскостные расстояния ксантоксенита и даллита

Ксантоксенит		Ксантоксенит		Даллит	
<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>
1	6,86	2	2,10	1	4,1
4	6,22	3	2,04	2	3,89
3	5,42	1	2,000	3	3,45
8	4,922	2	1,946	3	3,10
2	4,27	1	1,896	10	2,810
2	4,10	4	1,849	8	2,73
3	3,75	2	1,809	2	2,627
10	3,463	6	1,729	1	2,560
2	3,34	2	1,638	3	2,28
6	3,22	2	1,612	1	2,05
1	3,13	3	1,574	3	1,951
9	3,028	4	1,526	1	1,890
4	2,946	3	1,484	1	1,88
8	2,74	1	1,45	1	1,81
4	2,67	5	1,302	1	1,789
6	2,588	2	1,228	1	1,757
6	2,444	2	1,155	1	1,720
3	2,312	3	1,112		
5	2,216	3	1,10		

Примечание. Аналитик Г.М. Кашаева. Нефильтрованное Fe-излучение, камера  $D = 57,3$  мм.

лами с погасанием, близким к прямому; в проходящем свете бесцветен, дву-преломление низкое, в скрещенных николях обладает шахматной структурой. Показатели преломления:  $N_g = 1,726$ ,  $N_p = 1,706$ . Диагностика минерала подтверждена рентгенометрическим анализом (табл. 3).

В некоторых случаях зерна скорзалита почти полностью замещены бурым, изотропным, ближе не определенным минералом. При этом мелкие сложной, изъеденной формы реликты скорзалита обладают более яркой окраской в сравнении с окраской неизмененного скорзалита.

В андалузитсодержащих кварцевых жилах скорзалит тесно ассоциируется с тонковолокнистым силлиманитом и нередко частично замещается последним.

Скорзалит нашего месторождения генетически совершенно не связан с пегматитами и поэтому не является "типичным контактным минералом пегматитов", как это указывает Г.П. Луговской [5].

Как показали наши наблюдения, скорзалит является типичным второстепенным породообразующим минералом определенной части поздних гидротермальных жильных образований мусковит-кварцевого или существенно кварцевого состава, характеризующихся присутствием ряда высокоглиноземистых минералов: андалузита, силлиманита, ставролита, нигерита, хризоберилла и монтебразита.

Необходимым условием для образования скорзалита в поздних гидротермальных жильных образованиях, кроме высокоглиноземистости минералообразующих растворов, является также присутствие в составе последних соединений фосфора. На месторождении широко распространены позднегидротермальные жильные образования небольшой мощности (до 12 см) существенно кварцевого состава, содержащие в качестве породообразующих минералов андалузит и силлиманит, а среди аксессуарных — ставролит, нигерит и хризоберилл и характеризующиеся полным отсутствием фосфатов. Скорзалит присутствует лишь в составе некоторых жильных тел подобного рода, в процессе формирования которых минералообразующие растворы содержали значительные количества соединений фосфора.

Высокоглиноземистые минералы: скорзалит, андалузит, силлиманит, ставролит, нигерит и хризоберилл, встречающиеся в пегматитах, несомненно свидетельствуют о наложении на пегматитовые тела поздних гидротермальных и гидротермально-

метасоматических процессов, которые развиваются, как правило, в приальбандовых частях.

Наличие в составе скорзалитсодержащих жильных пород таких минералов, как андалузит, силлиманит, монтебразит (нагромонтебразит), мусковит, хлорит, нигерит, лёллингит, хризоберилл, берилл, анатаз, ильменит, касситерит, колумбит-танталит, циртолит, магниотриплит, трифилин-лититофилит, апатит и флюорит, встречающихся совместно со скорзалитом, свидетельствует о весьма сложном составе высокоглиноземистых минералообразующих гидротермальных растворов, в которых присутствовали элементы: K, Na, Li, Ca, Mg, Fe, Zn, Be, Mn, Al, Si, Ti, Zr, Sn, Th, U, Nb, Ta, As, P, S, F.

Редкость нахождения скорзалита в природе объясняется спецификой его химического состава. В высокоглиноземистых фосфорсодержащих жильных гидротермальных породах определяющим условием для образования скорзалита является относительно высокая концентрация  $Fe^{2+}$  при незначительном содержании Mg и почти полном отсутствии Ca.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *W.T. Pecora, J.J. Fahey.* The Corrego Frio Pegmatite, Minas Gerais: Scorzalite and souzalite, two new phosphate minerals. — Amer. Miner., 1949, vol. 34.
2. *W.T. Pecora, J.J. Fahey.* Scorzalite from South Dakota a new occurrence. — Amer. Miner., 1949, vol. 34.
3. *J. Thoreau, S. Bastien.* Lazulite et scorzalite du Congo belge et du Ruanda. — Bull. de la classe des sci. l'Acad. Belgiq. Bruxelles, 5-e ser., 1954, vol. 40.
4. *A. Heuriques.* An iron-rich scorzalite from Haollsjöberget Sweden. — Ark. f. Miner. Och geol., 1957, Bd. 2, N. 2.
5. *Г.П. Луговской.* О скорцалите из пегматитов Сибири. — Зап. Всес. минералогического общества, 1965, ч. 94, вып. 2.
6. *W.T. Pecora, J.J. Fahey.* The lazulite-scorzalite isomorphous series. — Amer. Miner., 1950, vol. 35.
7. *Г.Н. Тарновский, В.А. Ширяева.* Ганит из редкоментальных пегматитов Восточной Сибири. — В кн.: Минералы и минеральные ассоциации Восточной Сибири. Иркутск, 1977.