

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

УДК 549.731.11 (235.211)

С.А.Ананьев, В.К.Гаранин, С.И.Коноваленко, Г.П.Кудрявцева, И.Понайло

ФИОЛЕТОВАЯ ШПИНЕЛЬ ИЗ ХЛОРИТ-ШПИНЕЛЕВЫХ ПОРОД (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР)

Заоблачные горы Памира издавна считались родиной красной благородной шпинели - бадахшанского лала. Историческая хроника донесла до нас сведения о том, что ее главное месторождение в Бадахшане - Кухилал (Гора лалов) - отрабатывалось уже в IX в. [8,3], а чуть позже знаменитый уроженец Хорезма Ал-Бируни дал и первое научное описание этих труднодоступных копей [1,2].

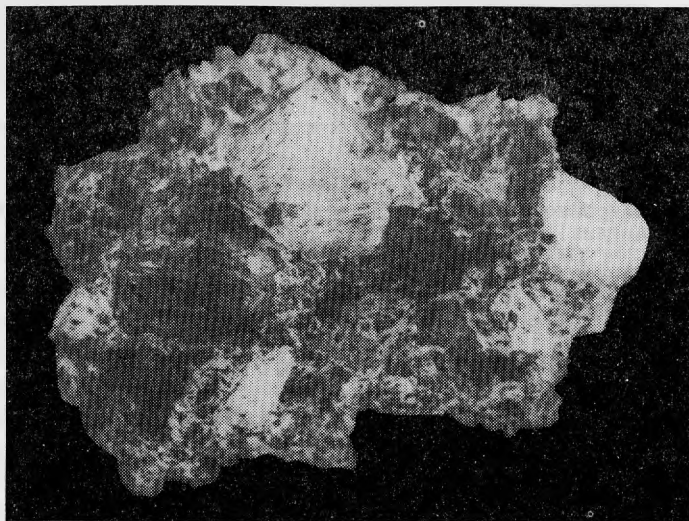
За десять с лишним веков эксплуатации слава памирской шпинели разлетелась по всему миру, а из недр горы, возвышающейся на правом берегу р.Пяндж у кишлака Горон (в настоящее время он называется Кугиляль), были выбраны сотни тысяч тонн породы. О масштабе проведенных здесь работ красноречиво свидетельствуют 453 горные выработки общей протяженностью в несколько километров многоярусными этажами, пронизывающие белый пласт минерализованных мраморов. Сколько разошлось отсюда по базарам и дворцам прекрасной алой шпинели, никто не знает. Только в один не очень удачный для рудника 1894 г., согласно донесению контролировавшего добычу чиновника, за сезон длиною в три месяца было добыто 22 мискаля 20 нухудов, т.е. около 1025 г крупных лалов, и соответственно 399 мискалей 9 нухудов (1837 г) мелких и желтых [4]. Случались и уникальные находки. Последняя сделана совсем недавно, в 1985 г., и, по-видимому, не имеет себе равных не только на Кухилале, но и на других месторождениях мира. Из форстеритовой породы геологами рудника был извлечен хорошо ограниченный октаэдрический кристалл благородной шпинели весом более 5 кг [5].

В Европе о памирской шпинели, скорее всего, узнали лишь после возвращения из путешествия неумолимого венецианского купца Марко Поло. Несомненно, однако, что в самом памирском Бадахшане уже были известны, кроме Кухилала, и другие проявления благородной шпинели. Недаром у местных жителей до сих пор бытует поговорка: "Голова лала в Ямчине, тело - в Сумджине, а ноги - в Кухилале". Упоминаемые здесь речные долины действительно известны сделанными в наше время повторными находками красной шпинели. Найдена она и в других точках Западного Памира - Ямг, Вранг, Ляджвар, Шамбеде [5,7]. Однако гораздо чаще среди архейских мраморов и развитых по ним магнезиальных скарнов встречается не розово-красная шпинель, относимая к лалу, а ее полупрозрачная и непрозрачная разновидность серо-фиолетового цвета.

Такую окраску минерала обуславливает примесь ионов Fe^{2+} , находящихся в тетраэдрических Mg-позициях [7], в то время как для лала обязательно присутствие в решетке шпинели заметных количеств более редкого для пород Памира элемента - хро-

ма (0,5-1,5 мас.% Cr_2O_3). До сих пор фиолетовая шпинель в регионе рассматривалась только как потенциально возможный драгоценный камень, поскольку, несмотря на обилие ее находок, все они относились либо к очень мелким и редким кристаллам в мраморах, либо к более крупным, но сильно трещиноватым и непрозрачным выделениям среди форстеритовых и форстерит-флогопитовых скарнов.

Это положение в корне изменила удивительная находка, сделанная летом 1989 г., когда в долине р.Горон на Юго-Западном Памире (примерно в 30 км к юго-востоку от Кухилала) была обнаружена практически биминеральная хлорит-шпинелевая порода, в которой до половины объема составляла фиолетовая шпинель ювелирного состава в виде прекрасно образованных октаэдрических кристаллов (рис. 1).



Р и с. 1. Октаэдрические кристаллы шпинели в породе. Увел. 2

Новое проявление, как и месторождение Кухилал, приурочено к нижней части докембрийского разреза Ваханской кристаллической толщи, сложенной глубокометаморфизованными породами архейского возраста горанской серии [9]. Последние в районе проявления представлены сильно мигматизированными светло-серыми биотитовыми гнейсами с мощными пластами кальцит-доломитовых, доломитовых и доломит-магнезитовых мраморов. В мраморах повсеместно наблюдаются участки и зоны магнезиальных скарнов форстеритового, энстатитового и флогопитового состава. Скарны подвержены наложенным процессам оталькования и серпентинизации, причем продуктивная шпинелевая минерализация встречается только среди сильно серпентинизированных шпинель-форстеритовых разностей. На контакте с гнездами ювелирной шпинели такие скарны переходят в массивный серпентинит серо-зеленого и черного цвета. Отдельные слабо переработанные желваки серпентинитов (до 10 см в диаметре) обнаруживаются и внутри гнезд. В целом ситуация явно напоминает Кухилал, с той лишь разницей, что гидротермально-измененная разновидность шпинель-форстеритовых скарнов содержит на Гороне в качестве продуктивных зон не рыхлые лизардитовые и лизардит-хризотилловые агрегаты, а довольно вязкую, хотя и пористую массу среднечешуйчатого хлорита.

Т а б л и ц а I

Химический состав (в мас.%) клинохлора и бледно-фиолетовой шпинели

Оксиды	Клинохлор				Шпинель		
	ан. 1	ан. 2	среднее	ан. 3	ан. 4	ан. 5	среднее
SiO ₂	36,75	36,27	36,01	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	0,10	-	0,10	0,10
Al ₂ O ₃	27,30	26,41	26,85	70,96	71,37	71,44	71,26
Cr ₂ O ₃	0,06	-	0,03	-	0,03	-	0,01
FeO	0,45	0,52	0,48	2,45	2,21	2,22	2,29
MgO	36,13	36,67	36,40	26,43	26,39	26,20	26,31
MnO	0,04	0,12	0,08	0,04	-	0,02	0,02
CaO	0,05	-	0,02	-	-	-	-
Na ₂ O	0,23	-	0,11	-	-	-	-
Сумма	100,01	99,99	99,98	99,98	100,00	99,98	92,99

П р и м е ч а н и е. Определение состава минералов выполнено на растровом электронном микроскопе JSM-820 (Япония) с энерго-дисперсионной приставкой AN-10/85S (Англия).

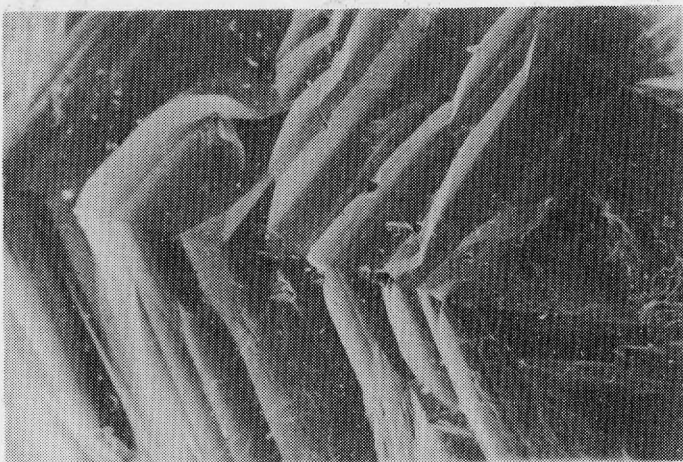
Кристаллохимические формулы шпинели:

- 3 - $(Mg_{0,943}Fe_{0,049}^{2+}Mn_{0,001})_{0,993}(Al_{2,002}Ti_{0,002})_{2,004}O_{3,998}$
- 4 - $(Mg_{0,940}Fe_{0,044}^{2+})_{0,984}(Al_{2,010}Cr_{0,001})_{2,011}O_{4,00}$
- 5 - $(Mg_{0,933}Fe_{0,044}^{2+})_{0,977}(Al_{2,012}Ti_{0,002})_{2,014}O_{3,997}$

По составу хлорит отвечает практически безжелезистому клинохлору (табл. I) с рассчитанной формулой $(Mg_{4,42}Fe_{0,03}^{2+})_{4,45}Al_{1,55}[(Si_{2,91}Al_{1,09})_{4,00}O_{10}]$ $(OH_{7,54}O_{0,46})_{8,00}$. Окраска минерала меняется от серовато-белой до грязно-зеленой, причем в таблитчатых кристалликах из мелких пустот всегда видна зональность в ее распределении. Ядерная часть и наружная кайма табличек светло-серые до бесцветных, а темно-зеленой является только тонкая промежуточная зона.

В шпинель-хлоритовых гнездах, максимальный размер которых 0,2x1 м, хлорит несколько преобладает по объему над шпинелью. Однако по весу шпинель составляет в них 52-54%, а хлорит - 45-47%. На остальные минералы в среднем приходится 1%. Наиболее часто, кроме хлорита и шпинели, встречается оранжевый и медово-желтый клиногумит в виде крупных (до 5 см) сильно трещиноватых желваков. Значительно реже наблюдается железно-черный ильменит в мелких (до 1 мм) толстотаблитчатых кристаллах.

В ряде гнезд отмечена также явно более поздняя по времени формирования минеральная ассоциация, в состав которой входят арагонит, гидроталькит, манассеит. Указанные минералы образуют мелкие друзки, корочки и прожилки в пустотах хлоритового агрегата, т.е. развиты довольно слабо, и крупных сплошных тел, подобных знаменитым магалам Кухилала, на проявлении не формируют. С данным обстоятельством, по-видимому, связано отсутствие следов глубокого растворения на гранях кристаллов ювелирной шпинели Горона. Среди них, в частности, не обнаружено криногранных и округлых индивидов, столь характерных для красной шпинели Кухилала [8]. В продуктивной зоне проявления встречены только плоскогранные кристаллы октаэдрического облика и их двойниковые сростки по шпинелевому закону (рис. 2).



Р и с. 2. Двойниковый шов в кристалле шпинели. Плоскость срастания (III)

Изображения во вторичных электронах. Увел. 30

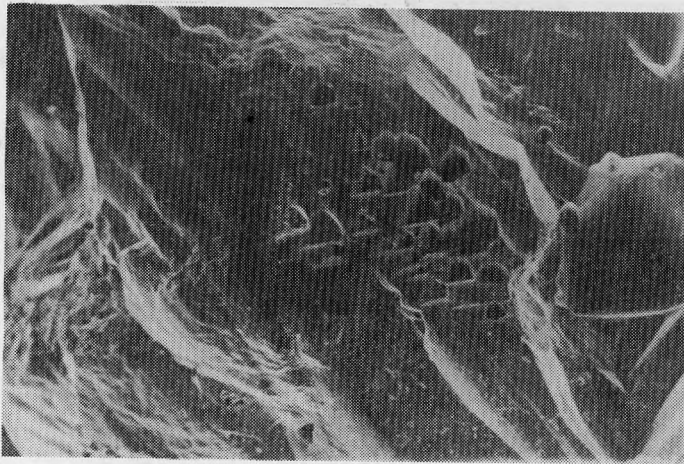
Те и другие часто заметно уплощены по (III) и всегда несут четко выраженные ступенчато-пластинчатые формы роста. Рост октаэдрических граней кристаллов осуществляется как из одного, так и из многих центров (рис. 3). Слабо проявленные формы растворения представлены узкими трубчатыми каналами с треугольным или квадратным устьем (рис. 4), отрицательными треугольными пирамидками и мелкими треугольными углублениями с плоским дном.

Размер кристаллов шпинели меняется от 3 до 15 мм. По составу (см. табл. I) она отвечает почти чистой магниальной разновидности с небольшой примесью герцинитового



Р и с. 3. Многоцентровой рост октаэдрической грани шпинели

Изображения поверхности во вторичных электронах. Увел. 30



Р и с. 4. Полые каналы растворения на грани октаэдра
Изображения во вторичных электронах. Увел. 50

минала (4,5-5,0% FeAl_2O_4). Показатель преломления равен $1,723 \pm 0,002$. Рентгенограмма близка к эталонной (табл. 2). Параметр элементарной ячейки $a_0 = 0,8072$ нм. Расчетная плотность $3,634$ г/см³, измеренная - $3,592$ г/см³.

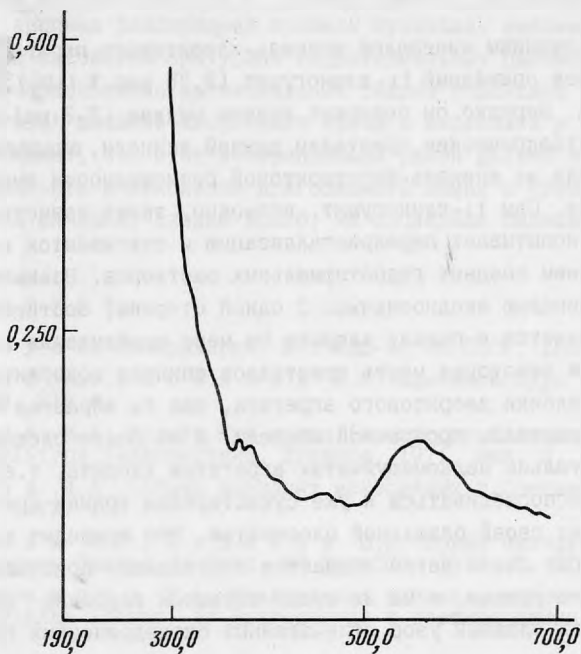
Оптический спектр ювелирной шпинели Горона (рис. 5), снятый на спектрофотометре MPS-2000 японской фирмы "Шимадзу", подобен ранее изученному оптическому спектру обычной фиолетовой шпинели Юго-Западного Памира [7]. Это свидетельствует о том, что ведущую роль в фиолетовой окраске вновь найденных кристаллов также играют ионы Fe^{2+} . Валентность железа подтверждается изучением мёссбауэровского спектра, в котором присутствует только одна нерасщепленная полоса поглощения со значением изомерного сдвига, характерного именно для ионов Fe^{2+} . Из других элементов-хромофоров в шпинели в незначительном количестве присутствуют Mn , Cr и Ti (см. табл. 1). Mn^{2+} обнаруживается и в спектре рентгенолюминесценции по умеренно интенсивной полосе излучения в области 520-540 нм. Вторая, более слабая (в 3,5-4 раза) полоса, в области 790-800 нм, пока не связывается ни с одним из максимумов известных примесных центров. Основная линия в области 520-540

Т а б л и ц а 2

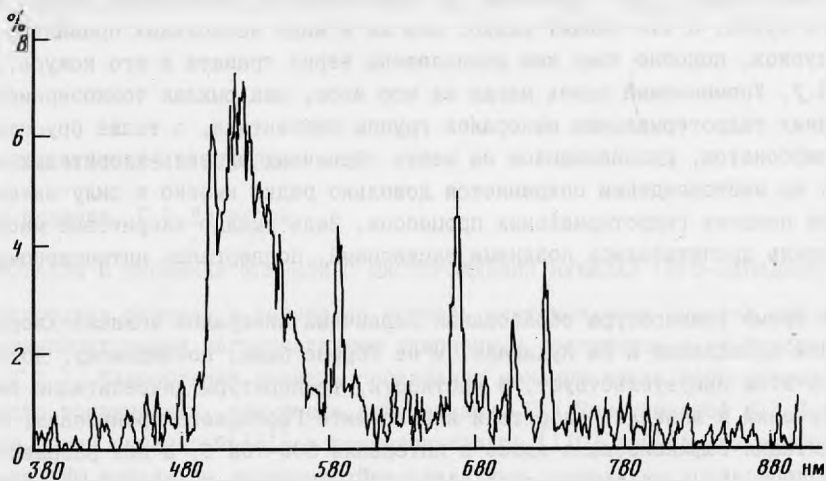
Межплоскостные расстояния (в нм) фиолетовой шпинели Горона

I	$d_{\text{изм}}$	$d_{\text{выч}}$	hkl	I	$d_{\text{изм}}$	$d_{\text{выч}}$	hkl
4	0,464	0,466	III	10	0,1429	0,1427	440
5	0,284	0,285	220	7	0,1231	0,1231	533
9	0,2430	0,2433	3II	6	0,1166	0,1165	444
8	0,2016	0,2018	400	4	0,1130	0,1130	7II; 55I
4	0,1648	0,1648	422	6	0,1079	0,1079	462
7	0,1553	0,1553	5II; 333	9	0,1051	0,1051	73I; 553

Примечание. $D = 57,3$ мм, FeK_α ; внутренний стандарт - NaCl . Аналитик Е.П.Петухов.



Р и с. 5. Оптический спектр поглощения фиолетовой шпинели р. Горон в видимой области, полученный на спектрофотометре MPS -2000



Р и с. 6. Спектр катодолуминесценции фиолетовой шпинели р. Горон, полученный на оптическом микроспектрофотометре

ним проявляется и в спектре катодolumинесценции шпинели, обладающей зеленым свечением (рис. 6).

Судя по взаимоотношениям минералов шпинель-хлоритового парагенезиса, наиболее ранним из них является оранжевый Ti-клиногумит (3,35 мас.% TiO_2), тяготеющий к краевым частям гнезд. Нередко он содержит внутри мелкие (2-3 мм) мутно-фиолетовые гладкогранные октаэдрические кристаллы ранней шпинели, аналогичной по составу и свойствам шпинели из шпинель-форстеритовой разновидности вмещающих зону магнезиальных скарнов. Сам Ti-клиногумит, возможно, также заимствуется из скарнов, однако он явно испытывает перекристаллизацию и стягивается в крупные желваки уже под воздействием поздних гидротермальных растворов. Взаимоотношения клинохлора с ювелирной шпинелью неоднозначны. С одной стороны, соотношение хлорита и шпинели в гнездах меняется в пользу хлорита по мере приближения к контакту с вмещающими скарнами и некоторая часть кристаллов шпинели содержит внутри глубоко погруженные в нее столбики хлоритового агрегата, как бы обрастая их, с другой - обычно и одиночные кристаллы прозрачной шпинели и их более сложные сростки резко идиоморфны относительно мелкочешуйчатых агрегатов хлорита, т.е. листочки последнего вынуждены приспособляться к уже существующим граням кристаллов шпинели, ориентируясь вдоль них своей базальной плоскостью. Это приводит к тому, что шпинель-хлоритовый агрегат очень легко поддается обогащению. Кристаллы шпинели легко извлекаются из него руками, а на их месте остаются глубокие "ограниченные" гнезда, несущие на стенках сложный узор отпечатанных октаэдрических граней.

Данное обстоятельство не кажется удивительным, поскольку давно известно, что и на Кухилалском месторождении наиболее богатые ювелирной шпинелью участки также легко разбираются руками. Еще знаменитый Ал-Бируни писал: "И этот лал находят в оболочке из белого камня, похожего на горный снег; название оболочки вместе с тем, что находится в ней, - магал. Он бывает различных размеров: находят куски величиной от ореха до дыни, но никогда не упоминали, чтобы он был больше трех ратлей. Когда сдерут с него оболочку, то показывается драгоценный камень или в виде одного куска, а это бывает редко, или же в виде нескольких правильно расположенных кусков, подобно тому как расположены зерна граната в его коже..." [1, с. 76]. Упоминаемый здесь магал не что иное, как рыхлая тонкозернистая смесь поздних гидротермальных минералов группы серпентина, а также брусита, манассеита и карбонатов, развивающихся на месте первичных шпинель-хлоритовых гнезд. Сам хлорит на месторождении сохраняется довольно редко именно в силу интенсивного развития поздних гидротермальных процессов. Ведь рыхлые хлоритовые массы в первую очередь пропитывались поздними растворами, подвергаясь интенсивному замещению.

В то же время температура образования первичных минералов шпинель-хлоритовой продуктивной ассоциации и на Кухилале, и на Гороне была, по-видимому, достаточно высокой. Об этом свидетельствуют, в частности, температуры декрепитации газожидких включений в шпинели, хлорите и клиногумите Горонского проявления. Массовая декрепитация зафиксирована здесь в интервале 500-700°C, а пик разрывов приходится на 600°C. Близкая температура (640-700°C) определена ранее методом гомогенизации газожидких включений в шпинели магнезиальных скарнов Юго-Западного Памира [8].

Поздние гидротермальные процессы, температурные параметры которых, судя по пределам устойчивости манассеита, не превышали 200°C, вряд ли могли вызвать заметную регенерацию с облагораживанием кристаллов шпинели, но явно приводили к

ее интенсивному растворению [6]. Таким образом, ювелирная фиолетовая шпинель Горона, как и красная благородная шпинель Кухилала, несомненно является продуктом воздействия высокотемпературных гидротермальных растворов неясной пока природы на ранее образованные магнезиальные скарны горанской серии.

Находка богатых шпинель-хлоритовых гнезд в верховьях р.Горон на Юго-Западном Памире подтверждает, что этот интереснейший район далеко не исчерпал свои потенциальные возможности в отношении драгоценного камня и прекрасные фиолетовые кристаллы ювелирной шпинели, скорее всего, не последняя ожившая легенда этих высоких гор.

Л и т е р а т у р а

1. А л - Б и р у н и. Минералогия. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 517 с.
2. Б а р а т о в Р.Б., Н о в и к о в В.П. Каменное чудо Таджикистана. Душанбе: Ирфон, 1988. 216 с.
3. Б у б н о в а М.А. Рудник Кух-и-лал (к истории бадахшанских лалов) // Материальная культура Таджикистана. Душанбе, 1971. Вып. 2. С. 120-142.
4. Б у б н о в а М.А. Добыча полезных ископаемых в Средней Азии в XVI-XIX вв. М.: Наука, 1975. 112 с.
5. Б у д а н о в а К.Т., Б у д а н о в В.И. Новые находки благородной шпинели на Юго-Западном Памире // Докл. АН ТаджССР. 1978. Т. 21, № 6. С. 43-45.
6. К о л е с н и к о в а Т.А. Благородная шпинель, клиногумит и манассеит месторождения Кухилал (Памир) // Драгоценные и цветные камни. М.: Наука, 1980. С. 181-199.
7. Л и ц а р е в М.А., П л а т о н о в А.Н., Т а р а н М.Н., П о л ь ш и н Э.В. Фиолетовая шпинель Юго-Западного Памира // Там же. С. 199-210.
8. М о р о з о в С.А., Г у р е в и ч Я.А. О физико-химических условиях образования месторождения благородной шпинели Кухилал на Памире // Докл. АН ТаджССР. 1973. Т. 16, № 3. С. 47-50.
9. Х о р е в а Б.Я., И с к а н д е р о в а И.Д., Ш е р г и н а Ю.П. Возраст субстрата метаморфических серий Юго-Западного Памира по данным свинцово-изохронного метода // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1971. № 8. С. 40-46.

УДК 548.545:549.091 (575.32)

В.Н.Калачев, Г.И.Дорохова

КРИСТАЛЛЫ И ДВОЙНИКИ ШПИНЕЛИ С МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУХИЛАЛ (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР)

Благородная розовая и сиреневая шпинель месторождения Кухилал связана с высокотемпературными магнезиальными скарнами и содержится в их форстеритовых зонах [2]. Благородная шпинель составляет меньшую часть всей шпинели, которая часто трещиновата, замутнена включениями. Т.А.Колесниковой [3] описаны простые формы октаэдра {III} и ромбододекаэдра {II0} шпинели из этого месторождения. Мы хотели бы дополнить уже известные результаты исследований по морфологии шпинели, что может быть полезным как для понимания условий образования шпинели, так и для характеристики шпинели как ювелирного сырья.

Шпинель, заключенная в форстерите, имеет преимущественно октаэдрическую огранку, а находящаяся в гнездах пирротина - ромбододекаэдрическую в комбинации с октаэдром (рис. 1, а-в). Редко встречаются кристаллы (около 3% от общего числа), имеющие, помимо указанных простых форм, отдельные грани тетрагон-