

Л. Н. Россовский

**ПЕГМАТИТЫ В МАГНЕЗИТОВЫХ МРАМОРАХ
ИЗ РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНОЙ ШПИНЕЛИ
КУГИ-ЛЯЛЬ НА ЮГО-ЗАПАДНОМ ПАМИРЕ**

Пегматиты, описываемые в настоящей статье, расположены в пределах известного месторождения благородной шпинели Куги-Ляль, на левом берегу р. Куги-Ляль в 1 км выше по течению реки от одноименного кишлака.

Впервые об этих пегматитах очень кратко упомянул А. Н. Лабунов (1930). В дальнейшем они изучались автором и геологами Памирской экспедиции А. Н. Шостацким и Л. С. Зильберфарбом в 1958—1959 гг.

Вмещающими пегматиты породами являются сильно минерализованные форстеритом и другими магнезиальными силикатами магнезитовые мраморы. Внешне они выглядят как плотные серые мелко- и среднекристаллические породы. В шлифах видно, что порода состоит из агрегата зерен магнезита с неровными контурами. Размер зерен — 0,2—3 мм.

Структура породы гранобластовая. Химический анализ (аналитик В. И. Шаповалова) вмещающих пород на участке развития пегматитов дал следующие результаты: SiO_2 — 5,79%; TiO_2 — 0,05%; Al_2O_3 — 0,61%; Fe_2O_3 — 0,13; FeO — 0,46%; CaO — 0,65%; MgO — 47,54%; MnO — 0,00; P_2O_5 — 0,20%; S — 0,01%; П. п. — 43,46%; сумма — 98,80%. Как видно из результатов анализа, состав породы близок к чистому магнезиту.

Пегматиты залегают в виде серии грубо параллельных четковидных жил и линз. Магнезитовые мраморы на участке распространения пегматитов интенсивно перемяты и трещиноваты, поэтому элементы залегания пегматитовых тел очень сильно колеблются. Преобладают жилы с простиранием на СВ (70—80°) и падением от вертикального до юго-восточного, с углом падения до 30°. Длина жил по простиранию варьирует от 2 до 20 м, мощность — от 2 см до 2,5 м; размер линз от 8×20 см до 0,8×3 м.

Внутреннее строение пегматитовых тел в основном массивное, местами зональное.

Основная масса пегматитовых образований сложена олигоклазовым пегматитом неяснографической и графической структуры. Зональность встречается редко и выражается в закономерной смене от зальбандов жил к их центру пегматита графической, неяснографической и пегматоидной структуры. Участки пегматитов, имеющие пегматоидную структуру, сложены идиоморфными блоками олигоклаза и микроклина, между которыми заключены резко ксеноморфные выделения кварца. Размер блоков полевых шпатов в упомянутых выше структурных разновидностях пегматита колеблется от 5 до 25 см в поперечнике. В некоторых жилах встречаются небольшие занорыши размером от 3 до 10 см.

На контакте пегматитов с вмещающими породами обязательно присутствуют контактовые оторочки, всегда имеющие зональное строение (рис. 1). По направлению от пегматита к вмещающей породе наблюдаются следующие зоны: флогопитовая (флогопита — 80—100%, иногда до 20% кордиерита); тальковая (талька — 95—100%; тремолита до 5%); шинель-флогопит-энстатитовая (энстатита — 60—70%, флогопита — 10—20%, шинели 5—10%, форстерита — до 5%), тремолитовая (тремолита —

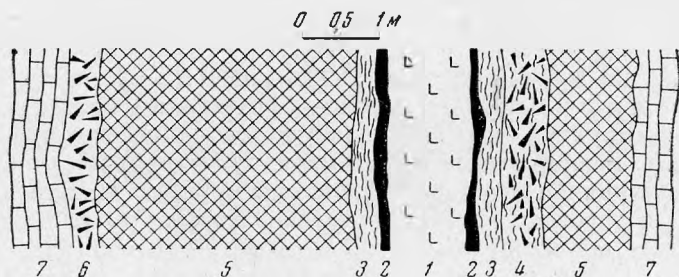


Рис. 1. Строение контактовых оторочек вокруг пегматитов
1 — олигоклазовый пегматит графической и неяснографической структуры; 2 — флогопитовая зона; 3 — тальковая зона; 4 — тальковая зона с тремолитом; 5 — шинель-флогопит — энстатитовая зона; 6 — тремолитовая зона; 7 — магнетитовый мрамор

95—100%, талька и флогопита — до 5%). Часто тремолитовая зона располагается между пегматитом и тальком вместо флогопитовой зоны. В последнем случае наблюдается исключительно интенсивное замещение пегматитового тела тремолитом вплоть до полного преобразования пегматита в мономинеральную тремолитовую породу, вокруг которой развиты упомянутые выше контактовые оторочки.

Мощность контактовых оторочек варьирует от 0,7 до 5 м; мощность отдельных зон в оторочках — от 0,05 до 3 м. Наиболее мощной обычно являются шинель-флогопит-энстатитовая зона.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПЕГМАТИТОВ

В рассматриваемых пегматитах выделяются две группы минералов.

Минералы, слагающие собственно пегматитовые тела. Главные породообразующие минералы — олигоклаз, микроклин, кварц; типоморфные минералы — дравит, кордиерит, андалузит, ильменорутил, магноколумбит; минералы занорышей — горный хрусталь, апатит, мусковит; вторичные минералы — тальк по кордиериту, мусковит по андалузиту, серицит по плагиноклазу.

Минералы контактовых оторочек: флогопит, тальк, энстатит, шинель, форстерит, тремолит.

Ниже приводится краткое описание минералов; основное внимание уделяется типоморфным минералам, обусловившим необычный облик пегматитов.

Минералы, слагающие собственно пегматитовые тела

Главные породообразующие минералы

Олигоклаз является главным породообразующим минералом и слагает пегматит графической, неяснографической и местами пегматоидной структуры. Содержание олигоклаза составляет от 50 до 70% всего

объема пегматитовых тел. Размер кристаллов олигоклаза колеблется от 5 до 25 см в поперечнике. В пегматите графической и неяснографической структуры контуры кристаллов олигоклаза неровные, извилистые; в участках пегматоидной структуры кристаллы олигоклаза имеют призматический облик и являются резко идиоморфными по отношению к кварцу. Цвет минерала белый и зеленовато-белый, местами встречается очень красивый полупрозрачный олигоклаз. В шлифах наблюдаются полисинтетические двойники по альбитовому закону. Многие зерна олигоклаза серицитизированы и подвергнуты катаклазу. Показатели преломления¹: $N_g = 1,547$; $N_m = 1,540$; $N_p = 1,536$, $N_{cp} = 1,539$. Состав олигоклаза, вычисленный по N_{cp} (Марфунин, 1959), равен 15-му номеру.

М и к р о к л и н встречается только в участках пегматоидной и неяснографической структур, в резко подчиненном количестве по отношению к олигоклазу. Размер кристаллов микроклина варьирует от 4—5 до 8—10 см. В участках пегматоидной структуры кристаллы микроклина четко оформлены, в участках неяснографической структуры они имеют неровные контуры. Цвет минерала серый. В шлифах наблюдаются развитие по микроклину альбита в виде пертитов замещения и местами — пелитизация. Показатели преломления следующие: $N_g = 1,525$; $N_m = 1,522$; $N_p = 1,518$. Замеры на федоровском столике дали следующие результаты: $N_m \perp (001) = 15^\circ$; $-2V = 60^\circ$.

К в а р ц встречается в виде графических вростков в олигоклазе; неяснографических вростков в олигоклазе и микроклине, имеющих вытянутую неправильную форму; ксеноморфных выделений между кристаллами олигоклаза и микроклина в участках пегматоидной структуры; сплошных обособлений размером 15×30 см в одной из жил. Цвет кварца серовато-белый.

Типоморфные минералы

Д р а в и т — наиболее широко распространенный типоморфный минерал — содержится в пегматитах в количестве от 5 до 15%. Дравит образует несколько разновидностей.

1. Кристаллы короткостолбчатого габитуса медово-желтого цвета встречаются обособленно от других разновидностей дравита в олигоклазовом пегматите графической и неяснографической структур. Размер кристаллов — от $0,5 \times 0,5$ до 3×3 см. Они хорошо образованы; по измерениям А. Н. Лабунцова (1930), наблюдаются следующие грани: призматические $(10\bar{1}0)$ и $(11\bar{2}0)$, одинаково развитые, пинакоид (0001) и пирамидальные (1011) и (0221) .

2. Дравит, наиболее часто встречающейся разновидности, образует кристаллы призматического и конусовидного габитуса, обладающие большим количеством разнообразных кристаллографических форм. Наиболее крупные кристаллы достигают 30—35 см в длину, при поперечном сечении 3—4 см.

Конусовидные кристаллы дравита длиной 10—15 см и поперечным сечением в 2—3 см нередко прерываются у основания конуса (рис. 2) и на их продолжении растет серия более тонких (0,1—0,5 см в поперечнике) кристаллов призматического габитуса, иногда сросшихся по призме. Цвет кристаллов медово-желтый, коричневый, желтовато-белый. Дравит данной разновидности приурочен к участкам пегматоидной структуры

¹ Показатели преломления минералов, приводимые в настоящей статье, измерены в белом свете в стандартном наборе иммерсионных жидкостей. Жидкости перед употреблением проверены рефрактометром. Точность измерения — $\pm 0,002$.

и встречается в парагенезисе с олигоклазом, ильменорутилом, магноколумбитом, кордиеритом, андалузитом.

3. Прозрачные кристаллы медово-желтого цвета, тонкопризматического и игольчатого габитуса встречаются в занорышах. Длина кристаллов — 0,5—5 см, при диаметре 0,01—0,7 см. Парагенетическая ассоциация: андалузит, мусковит, ильменорутил, магноколумбит.

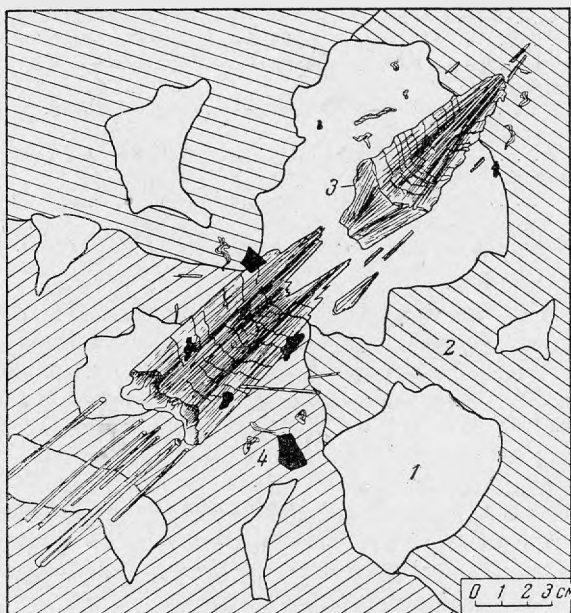


Рис. 2. Конусовидные кристаллы дравита

1 — кварц; 2 — олигоклаз; 3 — конусовидный медово-желтый дравит; 4 — ильменорутил

4. Полихромные прозрачные и полупрозрачные дравиты развиваются по трещинам в виде радиально-лучистых агрегатов кристаллов в пегматите неяснографической и пегматоидной структур, а также в друзах. Габитус кристаллов в основном призматический; нередко наблюдаются пластинчатые кристаллы, Длина кристаллов — 1—8 см. Цвет светло-зеленый и светло-синий; часто встречаются совершенно бесцветные прозрачные кристаллы. Окраска меняется как по длине, так и от осевой к наружной части кристалла. Зональные кристаллы имеют осевую часть желтовато-коричневого цвета, затем следуют зоны голубой и светло-зеленой окраски. Наружная часть кристалла обычно бесцветная. Иногда мелкие бесцветные кристаллики беспорядочно нарастают сверху на светло-зеленые и светло-синие кристаллы.

5. В тальковой оторочке одной из жил встречены короткостолбчатые плохо образованные кристаллы дравита размером 0,5—1 см. На некоторых кристаллах развиты грани пирамиды (1011). Цвет кристаллов светло-желтый и бутылочно-зеленый.

Показатели преломления прозрачных кристаллов всех разновидностей дравита практически не отличаются и равны: $N_o = 1,637$; $N_e = 1,618$. Только дравит бутылочно-зеленоватого цвета в тальке имеет несколько отличающиеся показатели преломления: $N_o = 1,644$; $N_e = 1,621$.

Результаты химических анализов дравита и пересчет анализов на кристаллохимическую формулу приведены в табл. 1. Спектральным анализом, помимо Si, Al, Ca, Mg, Fe, Mn, K, Na, B, установлены следующие элементы:

Разновидности дравита	Li	Be	Sc	Ga	Nb	Sn	Ag	Pb	Cu	Zr	V	La	Sr
Бесцветный	0,0n	0,0n	—	0,00n	—	0,00n	—	—	0,00n	—	—	—	—
Зеленый	0,0n	0,00n	—	0,00n	—	0,00n	0,00n	0,00n	0,00n	—	—	—	—
Голубой	—	0,00n	—	0,00n	—	0,00n	0,00n	—	0,00n	—	—	0,00n	—
Медово-желтый из друз	—	0,00n	—	0,00n	—	0,00n	0,00n	—	0,00n	0,00n	—	—	0,0n
Медово-желтый конусовидный	—	0,00n	0,00n	0,00n	—	0,00n	0,00n	0,00n	0,00n	—	—	—	—
Светло-желтый из тальковой зоны	—	0,00n	—	0,00n	Сл.	0,00n	0,00n	—	0,00n	—	—	—	—
Бутыльно-зеленый из тальковой зоны	0,0n	0,00n	—	0,00n	0,0n	0,00n	0,00n	0,00n	0,00n	0,00n	0,00n	0,00n	0,0n

0,0n — сотые доли процента; 0,00n — тысячные доли процента; Сл. — следы.

К о р д и е р и т распространен в пегматитах очень неравномерно, тяготея в основном к зальбандам жил. Чаще всего кордиерит встречается в виде выделений неправильной формы и плохо выраженных бочонковидных кристаллов гексагонального облика. Размер кристаллов варьирует от $0,5 \times 0,5$ до 5×5 см. Местами наблюдаются выделения своеобразного кордиерит-дравит-кварцевого минерального агрегата, развивающегося в виде прожилков и явно замещающего олигоклазовый пегматит графической и неяснографической структуры. Соотношения минералов в кордиерит-дравит-кварцевом агрегате примерно равные. Кордиерит в этом минеральном комплексе образует псевдографические сростания с кварцем, напоминающие ихтиоглинты кварца в олигоклазе. При этом вростки кордиерита в кварце гаснут одновременно. Границы зерен кордиерита с олигоклазом извилистые; мыски кордиерита далеко вдаются в олигоклаз, иногда наблюдаются реликты олигоклаза в кордиерите. Цвет кордиерита серый, зеленовато-серый, синеовато-серый; блеск стеклянный, излом раковистый.

Наблюдается хорошо выраженная отдельность по (001). Показатели преломления кордиерита: $N_g = 1,544$; $N_m = 1,538$; $N_p = 1,536$; $N_g - N_p = 0,008$; $-2V = 75^\circ$; 66° ; 56° . Отмечаются колебания $2V$ до 10° даже в одном и том же зерне. В проходящем свете кордиерит бесцветный; двойники в шлифах не наблюдались. Кордиерит интенсивно замещается тальком по плоскостям отдельности и на границах с другими минералами. Замещенный тальком кордиерит приобретает зеленоватый цвет и легко царапается ножом.

В результате пересчета химического анализа (табл. 2) получена следующая формула: $(Na_{0,16}K_{0,05})_{0,21}(Al_{2,86}Fe_{0,05}^{3+})_{2,91}Mg_{1,49}[Si_{4,73}Ti_{0,01}Al_{1,26}O_{18}(OH)_{1,35}$.

Кроме того, спектральным анализом установлены: Be — десятые доли процента; Li, Ga — сотые доли процента; Ge, Ba, Sn, Cu, Pb — тысячные доли процента.

А н д а л у з и т распространен в пегматитовых телах очень неравномерно в количестве от 0 до 20%. Типичная парагенетическая ассоциация — дравит второй и третьей разновидности и кварц. Андалузит образует отдельные крупные кристаллы в полевых шпатах и кварце, а также цепочки мелких кристаллов. Последние совместно с кварцем наблюдаются в виде прожилков в микроклине (рис. 3). Развитие андалузита с кварцем по микроклину, очевидно, происходит по следующей реакции: $2K[AlSi_3O_8] + H_2O \rightarrow 2KOH + Al_2[SiO_5] + SiO_2$ (Ферсман, 1940).

Отдельные, хорошо образованные кристаллы андалузита имеют призматический (110) габитус. Более часто встречаются удлиненные конусовидные кристаллы. Размер кристаллов андалузита колеблется от $0,01 \times 0,1$ до $1,5 \times 8$ см. Цвет минерала коричнево-розовый с серым оттенком. Показатели преломления: $N_g = 1,640$; $N_m = 1,633$; $N_p = 1,627$; $N_g - N_p = 0,013$; $+2V = 84^\circ$. В проходящем свете андалузит сильно плеохроирует пятнами от желтовато-розового цвета по N_g до бесцветного по N_p . В сечениях, близких к (110) хорошо видны два направления спайности,

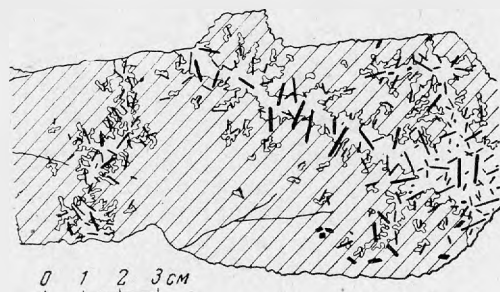


Рис. 3. Кварцево-андалузитовые прожилки в микроклине

угол между которыми равен $84-86^\circ$. Удлинение минерала отрицательное, угасание прямое. Андалузит по периферии кристаллов и по спайности замещается мелкочешуйчатым мусковитом. В некоторых случаях замещение происходит настолько интенсивно, что образуются псевдоморфозы мусковита по андалузиту.

Подсчет химического анализа андалузита (табл. 3) приводит к формуле ¹: $(Al_{2,05}Fe_{0,01}^{3+}Mg_{0,02}Na_{0,07}K_{0,02})_{2,17}[Si_{0,89}O_5]$.

Спектральным анализом установлены Li, Ge, Ga — сотые доли процента; Cu, Pb, Sn, Ni, Ba, Be — тысячные доли процента.

Ильменорутил распространен в пегматитах крайне неравномерно. В среднем его содержание составляет примерно 0,1%. Наибольшее количество ильменорутила приурочено к участкам пегматоидной структуры, где он наблюдается в парагенезисе с олигоклазом, микроклином, кварцем, конусовидным дравитом, андалузитом. В пегматите графической и неяснографической структур ильменорутил встречается спорадически, без всякой закономерности. Ильменорутил образует отдельные кристаллы и сростки кристаллов.

Размер кристаллов варьирует в широких пределах: длина — от 0,1 до 4 см, поперечное сечение — от 0,05 до 2,5 см. Габитус кристаллов короткопризматический, реже встречаются призматические и игольчатые кристаллы. Наиболее часто наблюдается тетрагональная призма (110) в комбинации с тетрагональной дипирамидой (111). Более редкой является тетрагональная дипирамида, повернутая на 90° относительно призмы. В единичных случаях наблюдались коленчатые двойники. Цвет ильменорутила черный, черта черная, блеск полуметаллический, на гранях — алмазный. Излом раковистый, неровный. Спайность макроскопически выражена плохо. Удельный вес, определенный пикнометрически, равен 4,83. В проходящем свете ильменорутил имеет пятнистую окраску вследствие сильного плеохроизма от темного синевато-зеленого цвета по N_p до коричневатого-желтого с зеленоватым оттенком по N_g . Интерферен-

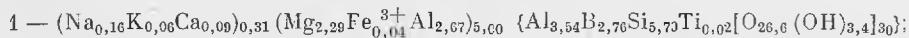
¹ Присутствие K_2O и Na_2O , по-видимому, объясняется тем, что в анализируемый материал попали мельчайшие чешуйки мусковита.

Химический

Компоненты	1					2					
	Желтовато-белый, вторая разновидность					Темно-коричневый, вторая разновидность					
	вес. %	молекулярные количества	атомные количества катионов	атомные количества анионов	число атомов катионов, рассчитанное на O_{26}	вес. %	молекулярные количества	атомные количества катионов	атомные количества анионов	число атомов катионов, рассчитанное на O_{26}	
SiO ₂	38,03	6331	6331	12 662	5,70	38,01	6325	6325	12650	5,86	
TiO ₂	0,13	16	16	32	0,02	0,34	42	42	84	0,04	
Al ₂ O ₃	35,02	3435	6870	10 305	6,19	36,68	3597	7194	10791	6,73	
Fe ₂ O ₃	0,35	22	44	66	0,04	0,81	51	102	153	0,09	
B ₂ O ₃	10,65	1529	3058	4587	2,76	10,72	1539	3078	4617	2,85	
MnO	0,01	1	1	1	0,00	0,02	3	3	3	0,00	
CaO	0,54	96	96	96	0,09	0,12	21	21	21	0,02	
MgO	10,26	2545	2545	2545	2,29	9,28	2302	2302	2302	2,13	
K ₂ O	0,29	31	62	31	0,06	0,29	31	62	31	0,06	
Na ₂ O	0,54	87	174	87	0,16	0,52	84	168	84	0,16	
H ₂ O ⁺	3,40	1889	3778	1889	3,40	3,16	1756	3512	1756	3,25	
H ₂ O ⁻	0,32	—	—	—	—	0,34	—	—	—	—	
Сумма	99,54	—	—	33 301	—	100,29	—	—	32 492	—	
Общий делитель		33 301 : 30 = 1110					32 492 : 30 = 1081				

Аналитик П. Н. Тимакова

Результаты пересчета анализов драгита на формулу $(Na, Ca)(MgAl)_6[Al_3B_3Si_6O_{25}(OH, F)_5]$ (Белова, 1949) дали следующие результаты:



дионная окраска желтовато-бурая, очень высокая. Слайность в шлифах видна отчетливо, погасание относительно слайности прямое.

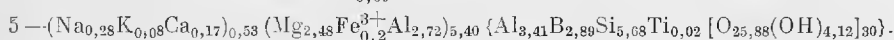
Проведенный в 1957 г. К. П. Януловым в Академии наук Таджикской ССР рентгеноструктурный анализ подтверждает идентичность описываемого минерала ильменорутилам из других месторождений. Рентгеноспектральный анализом установлено содержание TiO₂ > 10%; Nb₂O₅ — 12%; Ta₂O₅ — 5%; Zr — 0,2%; Fe — 4—5%. Данные спектральных анализов: Ti, Nb, Ta, Fe > 1%; Mg, Si — десятые доли процента; Al, Sc, Mn — сотые доли процента; Sn, Be — тысячные доли процента.

Магноколумбит найден в 1958 г. А. Н. Шостацким. В соответствии с высоким содержанием MgO (9%) минерал назван магноколумбитом (Матиас и др., 1962). Магноколумбит распространен в пегматитах спорадически в качестве акцессорного минерала и наблюдается, главным образом, в участках пегматитной структуры вблизи занорышей, в самих занорышах и гораздо реже — в пегматите неяснографический структуры. Характерная парагентическая ассоциация для магноколумбита — ильменорутил, драгит второй и третьей разновидности, иногда андалузит и кордиерит.

Т а б л и ц а 1

состав драгита

3					4					5				
Прозрачный медово-желтый, третья разновидность					Голубой и светло-зеленый полихромный, четвертая разновидность					Бутильно-зеленый из тальковой зоны контактовых оторочек, пятая разновидность				
вс. %	молекулярные количества	атомные количества катионов	атомные количества анионов	число атомов катионов, рассчитанное на O ₃₀	вс. %	молекулярные количества	атомные количества катионов	атомные количества анионов	число атомов катионов, рассчитанное на O ₃₀	вс. %	молекулярные количества	атомные количества катионов	атомные количества анионов	число атомов катионов, рассчитанное на O ₃₀
37,17	6185	6185	12 370	5,63	38,39	6388	6388	12 776	5,86	36,87	6133	6133	12 266	5,68
0,26	32	32	64	0,03	0,06	7	7	14	0,00	0,18	22	22	44	0,02
38,12	3738	7476	11 214	6,86	35,76	3507	7014	10 521	6,43	33,73	3309	6618	9927	6,13
1,42	89	178	267	0,16	0,84	52	104	156	0,09	1,75	109	218	327	0,20
11,07	1589	3178	4767	2,99	11,14	1599	3198	4797	2,93	10,86	1559	3118	4677	2,89
0,03	4	4	4	0,00	0,02	3	3	3	0,00	0,01	1	1	1	0,00
Следы	—	—	—	—	0,24	43	43	43	0,04	1,01	180	180	180	0,17
8,73	2165	2165	2165	1,99	9,84	2441	2441	2441	2,24	10,78	2674	2674	2674	2,48
0,20	21	42	21	0,04	0,29	31	62	31	0,06	0,40	42	84	42	0,08
0,50	81	162	81	0,15	0,58	94	188	94	0,18	0,95	153	306	153	0,28
3,12	1733	3466	1733	3,18	3,38	1878	3756	1878	3,45	4,01	2228	4456	2228	4,12
0,22	—	—	—	—	0,40	—	—	—	—	0,32	—	—	—	—
100,84	—	—	32 686	—	100,94	—	—	32 754	—	100,87	—	—	32 519	—
	32 686 : 30 = 1089					32 754 : 30 = 1091					32 519 : 30 = 1084			



Магноколумбит встречается большей частью в виде сростаний с ильменорутилом. На поверхностях сростания кристаллов магноколумбита и ильменорутила всегда присутствует индукционная штриховка. Более редко магноколумбит образует самостоятельные выделения и развивается по трещинкам в породообразующих минералах в виде цепочек зерен с зубренными контурами. Кристаллы магноколумбита имеют изометричную форму и обычно плохо образованы. Размер выделений минерала колеблется от 0,5 до 2 см. Кроме того, в одной из жил была встречена другая морфологическая разновидность магноколумбита в виде хорошо образованных кристаллов игольчатого облика размером до 0,2 × 1,5 см. Поверхность игольчатых кристаллов гладкая.

Цвет магноколумбита коричневаточерный, черта бурая, блеск полуметаллический с матовым оттенком. Излом зернистый, неровный. Удельный вес, измеренный В. В. Матюсом, равен 5,17 (у игольчатой разновидности удельный вес 5,27).

В проходящем свете магноколумбит имеет коричневатую и красно-коричневую окраску. Минерал отчетливо плеохроитрует от коричнево-желтого (по Np) до коричнево-красного (по Ng) цвета. Окраска при

Таблица 2

Химический состав кордиерита

Компоненты	Вес. %	Молекулярные количества	Атомные количества катионов	Атомные количества кислорода	Число атомов катионов, рассчитанное на O ₁₈
SiO ₂	47,44	7895	7895	15 790	4,73
TiO ₂	0,06	8	8	16	0,01
Al ₂ O ₃	35,01	3434	6868	10 302	4,12
Fe ₂ O ₃ *	0,63	39	78	117	0,05
MnO	0,05	7	7	7	0,00
CaO	Следы	—	—	—	—
MgO	13,94	2485	2485	2485	1,49
K ₂ O	0,40	42	84	42	0,05
Na ₂ O	0,85	137	274	137	0,16
H ₂ O ⁺	2,02	1122	2244	1122	1,35
H ₂ O ⁻	0,32	—	—	—	—
Сумма	100,72	—	—	30 018	—

Общий делитель: 30 018 : 18 = 1668

Аналитик Р. Н. Тимакова

* В химическом анализе кордиерита и всех других минералов, кроме магноклумбита и энстатита, определялось только общее железо (Fe₂O₃ + FeO).

Таблица 3

Химический состав андалузита

Компоненты	Вес. %	Молекулярные количества	Атомные количества катионов	Атомные количества кислорода	Число катионов, рассчитанное на O ₅
SiO ₂	32,78	5455	5455	10 910	0,89
TiO ₂	0,11	15	15	30	0,00
Al ₂ O ₃	63,55	6233	12 466	18 699	2,05
Fe ₂ O ₃	0,30	18	36	54	0,01
MnO	0,05	7	7	7	0,00
MgO	0,46	114	114	114	0,02
CaO	Следы	—	—	—	—
Na ₂ O	1,42	229	458	229	0,07
K ₂ O	0,57	60	120	60	0,02
П. п. п.	0,48	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	0,24	—	—	—	—
Сумма	99,96	—	—	30 314	—

Общий делитель: 30 314 : 5 = 6063

Аналитик Р. Н. Тимакова

Т а б л и ц а 4

Химический состав магноколумбита

Компоненты	Вес. %	Молекулярное количество	Атомные количества кислорода	Атомные количества катионов	Число катионов, рассчитанное на O ₆				
Nb ₂ O ₅	70,59	2656	13 280	5312	1,69				
Ta ₂ O ₅	10,46	237	1185	474	0,15				
TiO ₂	4,61	577	1154	577	0,18				
SiO ₂	0,46	77	154	77	0,03				
WO ₃	0,86	37	111	37	0,01				
Al ₂ O ₃	1,12	110	330	220	0,07				
Fe ₂ O ₃	0,30	19	57	38	0,01				
FeO	2,21	308	308	308	0,10				
MgO	9,00	2232	2232	2232	0,71				
MnO	0,17	24	24	24	0,01				
H ₂ O±	}								
Σ TR ₂ O ₃						Не обнаружены			
CaO									
С у м м а	99,77%	—	18 835	—	—				

Общий делитель: 18835 : 6 = 3139

Аналитик Т. И. Столярова (ВИМС)

плеохроизме неровная, пятнистая. Интерференционная окраска минерала очень высокая, но вполне различимая — красная, зеленая, синяя. Показатели преломления, измеренные В. В. Матиасом в твердых сплавах, равны: $Ng' = 2,40 \pm 0,05$ и $Np' = 2,33 \pm 0,05$; $-2V \approx 80^\circ$. В шлифах у магноколумбита наблюдаются две системы почти перпендикулярной спайности: одна из них выражена более четко, другая — менее. Относительно более четкой спайности угасание минерала прямое и удлинение отрицательное. Иногда встречаются двойники. Граница между двойниками ровная, четкая. Угол между погасанием одного двойника и другого равен 25° .

В магноколумбите довольно много включений ильменорутила, которые хорошо отличаются от магноколумбита по синевато-зеленым оттенкам плеохроизма. Включения ильменорутила имеют изометричную форму и располагаются в магноколумбите незакономерно. Размер включений — 0,05—0,1 мм. В ряде случаев наблюдались графические вросстки магноколумбита в ильменорутиле. Вросстки имеют угловатые неправильные контуры и гаснут одновременно. Размер вроссток — до 1 мм. Во вростках магноколумбита наблюдается подобие граней роста, окрашенных в более темный красно-коричневый цвет, чем остальной минерал. Не исключено, что графические вросстки магноколумбита в ильменорутиле — продукт распада твердого раствора. В результате пересчета В. В. Матиасом химического анализа магноколумбита (табл. 4) получена формула: $(Mg_{0,71}Fe_{0,10}^{2+}Al_{0,07}Fe_{0,01}^{3+}Mn_{0,01})_{0,80}(Nb_{1,69}Ta_{0,15}Ti_{0,18}W_{0,01}Si_{0,03})_{2,06}O_6$. Спектральным анализом установлено присутствие Ca ~ 0,1%; Zr, Y, Yb ~ 0,01%; Ni, V, Cu, Sn, Ga — 0,001%.

¹ Si в эту группу В. В. Матиасом включен вследствие того, что проанализированный материал не содержал механических включений кварца или других кремнийсодержащих минералов.

Минералы занорышей

Занорыши встречаются в пегматитах довольно редко и приурочены к участкам пегматоидной структуры. В одних занорышах встречаются только кристаллы олигоклаза и хорошо ограненные кристаллы горного хрусталя короткостолбчатого габитуса. Другие занорыши минерализованы более интенсивно; в них наблюдаются следы выщелачивания и, наряду с кристаллами горного хрусталя и олигоклаза, встречаются тонкопризматические и игольчатые прозрачные медово-желтые, светло-желтые, светло-голубые, светло-зеленые и бесцветные кристаллы дравита, андалузита, ильменорутила, магноколумбита, апатита, мусковита. Последние два минерала за пределами занорышей не встречаются.

Апатит образует хорошо ограненные кристаллы, в которых развиты гексагональная призма (1010) и пинакoid (0001). Размер кристаллов — от $0,5 \times 1$ до $1,5 \times 3,5$ см. Более редко апатит наблюдается в занорышах в виде сплошных выделений неправильной формы, размером до 7 см. Цвет апатита серовато-зеленый. Минерал одноосный, отрицательный. Показатели преломления: $N_o = 1,637$; $N_e = 1,642$. Спектральный анализ апатита показал: Ca, P $> 1\%$; Si, Al, Mg, Mn — 1—0,5%; Y, Yt, Yb, La, Ce, Na, Sr — десятые доли процента; Co — сотые доли процента; Ba, Cu, Pb, Ag, Be, Ga, Ti — тысячные доли процента.

Мусковит встречается в виде прозрачных, белых, хорошо оформленных тонколистватых кристаллов псевдогексагонального облика. Размер кристаллов — от 0,5 до 1,5 см по базопинакoidу. Мусковит нарастает на породообразующие минералы стенок занорышей. Нередко кристаллы мусковита протыкаются тонкими игольчатыми кристаллами медово-желтого дравита. Показатель преломления $N_m = 1,596$; $-2V \approx 40-50^\circ$.

Спектральным анализом мусковита установлены: Si, Al, K $> 1\%$; Na, Mg — около 1%; Fe — десятые доли процента; Ti, Nb, Ba — сотые доли процента; Mn, Cu, Ag, Sn, Ga, Be, Sc — тысячные доли процента.

Минералы контактовых оторочек

Флоγοпит слагает почти мономинеральную зону (см. рис. 1) непосредственно на контакте с пегматитом, а также встречается в других зонах контактовых оторочек и в самих пегматитовых телах, большей частью вблизи их контакта. Кристаллы флогопита имеют поперечный размер от $1,0 \times 1,5$ до 5×8 см и толщину до 1,5 см. Цвет флогопита коричневый и светло-коричневый. Показатель преломления $N_m = 1,589$; $-2V \approx 10-15^\circ$; $r < v$.

Тальк образует в основном тальковую зону (см. рис. 1), состоящую из мелкочешуйчатого, сильно перемятого талька. Отдельные чешуи и агрегаты талька нередко встречаются и в других зонах. Цвет талька белый, желтовато-белый, грязно-серый. Показатель преломления: $N_m = 1,577$; $-2V \approx 10-20^\circ$; $r > v$.

Энстатит — главный породообразующий минерал шпинель-флогопит-энстатитовой зоны, где его содержание составляет 60—70%. Для энстатит-шпинель-флогопитовой породы характерны необычайная вязкость и плотность. Энстатит образует призматические и таблитчатые кристаллы длиной до 10 см. Наиболее характерны агрегаты сросшихся без всякой закономерности кристаллов, с неровными контурами. Хорошо образованных кристаллов не встречено.

Цвет минерала серый. Блеск стеклянный. Спайность по призме (110) совершенная. Показатели преломления: $N_g = 1,670 \pm 0,004$; $N_p =$

$= 1,658 \pm 0,004$; $Ng - Np = 0,010$ (измерено компенсатором Берека); $Ng = C$; $+2V = 60^\circ$ (измерено на федоровском столике); $r > v$ (неясная). В проходящем свете минерал бесцветный. Угол между спайностями, измеренный на федоровском столике, равен 88° (возможно в шлифы попали не совсем удачные разрезы энстатита).

Удлинение минерала положительное, угасание прямое. Довольно часто наблюдаются отклонения от прямого угасания до $3-4^\circ$.

Химический анализ энстатита (табл. 5) показывает повышенное содержание Al_2O_3 , равное 5,27%. Очевидно, в данном случае алюминий входит в состав радикала, частично замещая кремний. Пересчет химического анализа на шесть атомов кислорода приводит к формуле $(Mg_{1,89}Fe_{0,05}Al_{0,05})_{1,99}(Si_{1,84}Al_{0,16})_2[O_{5,94}(OH)_{0,06}]_6$.

Таблица 5

Химический состав энстатита

Компоненты	Вес. %	Молекулярные количества	Атомные количества катионов	Атомные количества кислорода	Число атомов катионов, рассчитанное на O_6
SiO_2	53,95	8978	8978	17 956	1,84
TiO_2	0,15	19	19	38	0,00
Al_2O_3	5,27	517	1034	1551	0,21
Fe_2O_3	0,07	4	8	12	0,00
FeO	1,85	257	257	257	0,05
MnO	0,09	13	13	13	0,00
CaO	0,23	41	41	41	0,00
MgO	37,16	9216	9216	9216	1,89
K_2O	0,10	11	22	11	0,00
Na_2O	0,07	11	22	11	0,00
H_2O^+	0,30	167	334	167	0,06
П. п. п.	0,33	—	—	—	—
H_2O^-	0,14	—	—	—	—
SO_3	0,04	—	—	—	—
P_2O_5	0,04	—	—	—	—
Сумма	99,72	—	—	29 273	—

Общий делитель: $29\,273 : 6 = 4879$

Аналитик Л. Ф. Миронова

Спектральным анализом, дополнительно к данным химического анализа, установлены: Be — десятые доли процента; Zn — сотые доли процента; Ni , Co , Cu — тысячные доли процента.

Следует отметить, что в связи с повышенным содержанием Al_2O_3 необходимо произвести рентгеноструктурное изучение минерала.

Шпинель присутствует в количестве 5—10% в шпинель-флогопит-энстатитовой зоне, образуя плохо оформленные кристаллы и зерна неправильной формы размером до 3 см. Цвет шпинели серый и темно-серый, реже наблюдается прозрачная, слегка розоватая шпинель. В шлифах видно, что зерна шпинели находятся чаще всего между выделениями энстатита и форстерита. Более редко шпинель встречается в виде включений в энстатите и форстерите. Рельеф шпинели очень высокий, с хо-

рошо выраженной шагреневой поверхностью. Минерал изотропный, со слабыми явлениями анизотропии, которые выражаются в том, что отдельные участки зерен шпинели имеют серую интерференционную окраску.

Форстерит в виде зерен неправильной формы и зернистых агрегатов присутствует в количестве до 5% в шпинель-флогопит-энстатитовой зоне. Размер выделений форстерита — 0,01–2 см. Цвет светло-зеленый. Показатели преломления: $N_g = 1,668$; $N_m = 1,657$; $N_p = 1,642$; $N_g - N_p = 0,026$; $\pm 2V = 90^\circ$. Микроскопическое изучение показывает, что спайность у форстерита выражена плохо, относительно спайности минерал имеет прямое угасание. В проходящем свете форстерит бесцветный.

Тремолит образует мономинеральную тремолитовую зону (см. рис. 4), состоящую из сноповидных агрегатов кристаллов. Отдельные

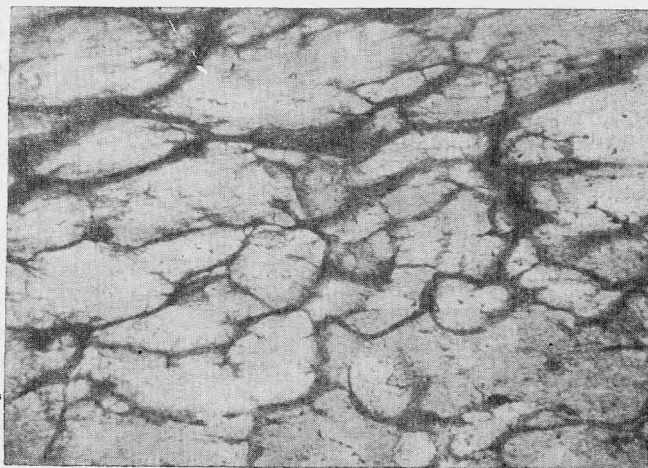


Рис. 4. Прожилки из мельчайших кристалликов тремолита в пегматите. Без анализатора, увел. 24

кристаллы тремолита белого и желтовато-белого цвета достигают 10 см в длину. Когда тремолитовая зона находится непосредственно на контакте с пегматитовым телом, тремолит интенсивно замещает породообразующие минералы пегматита. Вначале тремолит развивается между зернами породообразующих минералов, напоминая при этом корневую систему растений (рис. 4). Затем из трещин в первую очередь тремолит замещает олигоклаз, далее — флогопит, кордиерит, микроклин и кварц. Кристаллы дравита обычно только обволакиваются мелкокристаллическим тремолитовым агрегатом и замещаются лишь в случае наиболее интенсивного развития тремолита. В шлифах видно, что тремолитовый агрегат состоит из множества сросшихся мельчайших игольчатых кристалликов тремолита, толщиной не более 0,001 мм. В проходящем свете тремолит бесцветный. Показатели преломления: $N_g = 1,637$; $N_p = 1,619$; $N_g - N_p = 0,018$; $cN_g = 13-15^\circ$; $-2V \approx 70-80^\circ$.

При расчете химического анализа тремолита (табл. 6) оказалось, что $\frac{0,0H}{24} = 1194 < \frac{Y+Z}{13} = 1227$. Это неравенство, по И. Д. Борнеман-Старинкевич (1960), свидетельствует о том, что вся вода входит в структуру

Таблица 6

Химический состав тремолита

Компоненты	Вес. %	Молекулярные количества	Атомные количества кислорода	Атомные количества катионов	Сумма Y + Z	Число атомов катионов, рассчитанных на O ₂₄
SiO ₂	49,37	8216	16 432	8216	15 847	6,88
TiO ₂	0,20	25	50	25		0,02
Al ₂ O ₃	8,32	816	2448	1632		1,36
Fe ₂ O ₃	0,51	32	96	64		0,05
MnO	0,41	58	58	58		0,05
MgO	23,00	5952	5952	5952		4,98
CaO	12,83	2287	2287	2287	—	1,91
K ₂ O	0,47	49	49	98	—	0,08
Na ₂ O	1,88	303	303	606	—	0,51
H ₂ O ⁺	1,77	984	984	1968	—	1,69
H ₂ O ⁻	0,34					
Сумма	99,57		28 659			

Общий делитель 28 659:24=1194

Аналитик Р. Н. Тимакова

в виде иона гидроксила (ОН)⁻ и что часть Mg(Mn) находится не в группе Y, а в группе X. Поэтому расчет произведен на основе $\frac{O,OH}{24}$ и часть Mg отнесена в группу X. В результате расчета получена формула $(Ca_{1,91}Na_{0,51}K_{0,08}Mg_{0,34})_{2,84}(Mg_{4,64}Mn_{0,05}Fe^{2+}_{0,05}Al_{0,26})_5[(Si_{6,88}Ti_{0,02}Al_{1,1})_5O_{22}] \times [(OH)_{1,7}O_{0,3}]_2$.

На основании парагенетических и возрастных взаимоотношений минералов в рассматриваемых пегматитах и контактовых оторочках можно отметить следующие четыре периода минералообразования (рис. 5).



Рис. 5. Схема образования минералов в пегматитах и контактовых оторочках

1. Кристаллизация пегматита из пегматитового расплава-раствора, в течение которой образуется существенно олигоклазовый пегматит графической, неяснографической и пегматоидной структуры (геофазы *C — D*, по А. Е. Ферсману).

2. Метасоматическое образование минералов (примерно соответствует геофазам *E — F — G*). В течение данного периода особенно заметно скаывается ассимиляция магния из вмещающих пород и происходит образование типоморфных минералов — дравита, кордиерита, андалузита, магноколумбита и большей части ильменорутила. Метасоматическое образование этих минералов доказывается тем, что они замещают породообразующие минералы (кордиерит замещает олигоклаз, андалузит с кварцем — микроклин и т. д.), развиваются по трещинам среди породообразующих минералов в виде цепочечных выделений (дравит, андалузит, кордиерит, магноколумбит), образуют несвойственные им кристаллографические формы (конусовидные и пластинчатые кристаллы дравита).

3. Образование минералов в занорышах. Данный период минералообразования по существу завершает предыдущий этап. Вначале периода происходит частичное растворение породообразующих минералов (о чем свидетельствуют следы выщелачивания полевых шпатов и кварца на стенках пустот), а затем начинается рост минералов внутри занорышей в условиях свободной среды (геофазы *G и H*). Образование минералов в занорышах, по-видимому, завершает формирование пегматитов из пегматитового расплава-раствора.

4. Биметасоматическое преобразование пегматитов на контакте с магнетитовыми мраморами.

По нашему мнению, возникновение мощных и своеобразных контактовых оторочек вокруг пегматитов, вероятно, не связано непосредственно с деятельностью пегматитового расплава-раствора. Первичные контактовые оторочки — результат взаимодействия пегматитового расплава-раствора с вмещающими породами, — по-видимому, затухеваны более поздними биметасоматическими процессами (Коржинский, 1947).

Формирование контактовых оторочек вокруг пегматитовых тел можно, вероятнее всего, связывать с деятельностью гидротермальных растворов, за счет которых образовались уникальные шпинель-форстеритовые метасоматические жилы месторождения Куги-Ляль, широко развитые вблизи описанных пегматитов.

Упомянутые гидротермы в одних случаях, очевидно, локализовались непосредственно в зонах дробления магнетитовых мраморов в виде ярких шпинель-форстеритовых метасоматических жил; в других случаях, проникая по контакту пегматитов с магнетитовыми мраморами, гидротермы обусловили обменные реакции: пегматит \rightleftharpoons вмещающие породы. В результате этого процесса пегматиты подверглись биметасоматическому преобразованию и вокруг пегматитовых тел возникли контактовые оторочки зонального строения.

Биметасоматическое преобразование пегматитовых тел протекало в различной степени интенсивно. Как уже упоминалось выше, отдельные пегматитовые тела подверглись полному биметасоматическому преобразованию и по простиранию постепенно переходят в тремолитовые жилы, окруженные флогопитовой, тальковой и шпинель-флогопит-энстатитовой зонами.

ЛИТЕРАТУРА

- Белова Е. Н. Структура турмалина. Автореферат диссертации. Ин-т кристаллографии АН СССР, 1949.
- Борнеман-Старынкевич И. Д. Химические формулы минералов. III. Амфиболы. — Записки Всес. минер. об-ва, ч. 79, вып. 2, 1960.
- Коржинский Д. С. Биметасоматические флогопитовые и лазуритовые месторождения архея Прибайкалья. — Труды Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 29, 1947.
- Лабунцов А. Н. Геолого-минералогические исследования на Западном Памире и в провинции Бадахшан в Афганистане в 1928 г. Труды Памирской экспедиции, вып. IV. Минералогия, 1930.
- Матиас В. В., Россовский Л. Н., Шостацкий А. Н., Кумскова Н. М. О новом минерале магноколумбите. — Докл. АН СССР, 148, № 2, 1963.
- Марфуни А. С. Эмпирическое уравнение зависимости среднего светопреломления плагиоклазов от состава. — Записки Всес. Минер. об-ва, ч. 88, вып. 3, 1959.
- Ферсман А. Е. Пегматиты. Изд-во АН СССР, 1940.