

Г. П. САФРОНОВА

О ЗОНАЛЬНОМ МУСКОВИТЕ ИЗ СЕВЕРОКАРЕЛЬСКИХ ПЕГМАТИТОВ

Изучение зональности в кристаллах мусковита помогает уяснить особенности процессов их образования.

Для мусковита принято различать однородную зональность, которая выражается сменой полос одного цвета (обычно коричневого), но разной интенсивности, и неоднородную, когда разные зоны кристаллов более или менее резко отличаются друг от друга по цвету.

Однородная зональность в северокарельских мусковитах имеет вид тонких волосовидных светлых полосок, обрисовывающих части шестиугольников. Кристаллы с зональностью такого типа ранее описаны В. Д. Никитиным (1952, 1953).

Интересные находки зонального мусковита с неоднородной зональностью были сделаны на жиле № 17 месторождения Малиновая Варака и жилах № 9 и 1а месторождения Хетоламбино. Несмотря на то, что пегматиты этих месторождений относятся к разным типам и занимают разное положение в разрезе беломорского комплекса, характер зональности и особенности распределения зональных кристаллов в жилах оказались тождественными.

Зональность кристаллов мусковита в рассмотренных жилах выражается в наличии «ядра» зеленовато-желтого (ж. 17) или зеленого (ж. 9 и 1а) цвета и периферической коричневой каймы. Мусковит с неоднородной зональностью занимает совершенно определенное положение в жильных телах и встречается только в центральных частях жил, где он приурочен к контактам осевых блоков кварца и прилегающих плагиоклазовых или плагиомикроклиновых зон блоковой и грубопегматоидной структуры (фиг. 1). Цепочки зональных кристаллов секут иногда кварц или блок в полевых шпатах вблизи от их контакта с кварцевой осью.

Размеры кристаллов различны: от нескольких сантиметров до 60—70 см в плоскости (001) и до 10—20 см в перпендикулярном направлении. Обычны полуограненные, реже ограненные таблитчатые и клиновидные кристаллы, имеющие в параллельных (001) сечениях форму шестиугольников, которая обусловлена развитием граней форм {010} и {110}.

Наиболее совершенной огранкой обладают кристаллы или их части, контактирующие с кварцем. Кристаллы в плагиоклазе имеют неправильную форму и нередко зазубренные края.

Боковые поверхности кристаллов, соответствующие кристаллографическим граням, часто осложнены множеством ступенек и выступов, но отдельные прямолинейные участки таких неровностей параллельны граням, развитым на кристаллах.

Граница между разноокрашенными зонами резкая и проходит параллельно лучам фигуры удара, что соответствует граням призмы $\{110\}$ и пинаконда $\{010\}$ (фиг. 2, 3). Значительно реже происходит совершенствование формы кристаллов по мере их роста. Так, среди зонального мусковита из жил Хетоламино было встречено несколько ограниченных кристаллов, у которых периферическая коричневая кайма нарастала на зеленое «ядро» неправильной формы.

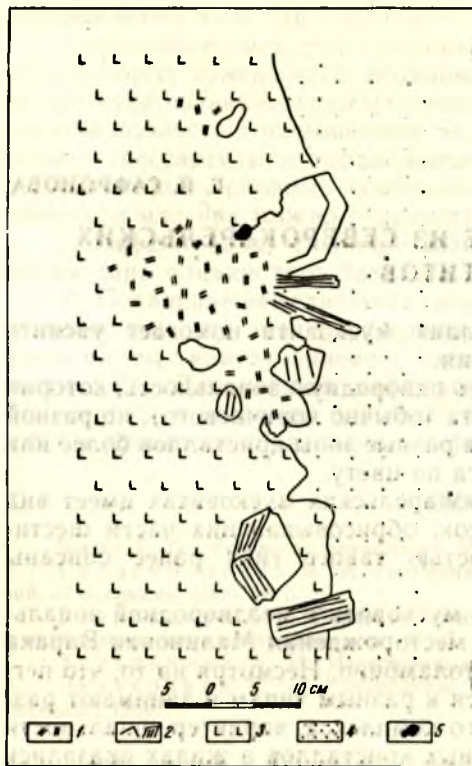
Коричневая кайма обычно обрамляет кристаллы не полностью, а только параллельно развитым граням и обращена, как и эти грани, в сторону кварца (фиг. 4). В кристаллах, заключенных в плагиоклазе и микроклине, внешняя зона или отсутствует совсем или развита слабо, т. е. имеет небольшую ширину (до 1 см), неправильный внешний контур, содержит реликты вмещающих полевых шпатов.

Зеленая и желтовато-зеленая окраска центральных частей кристаллов не везде равномерна: вдоль рубцов ельчатости и включений других минералов часто происходит обесцвечивание. Цвет отдельных участков, имеющих неправильную форму и нерезкие постепенные границы, коричневатозеленый.

Внешняя зона подразделяется на ряд более мелких зон, отличающихся разной интенсивностью коричневой окраски. В чередовании зон для зональных кристаллов из жилы № 17 наблюдается такая последовательность.

Первая зона, начиная от зеленого ядра, обычно хорошо выражена, имеет ширину 0,5—0,7 см и характеризуется постепенным ослаблением окраски к периферическим частям, а вторая зона — резким усилением и затем постепенным ослаблением окраски. Ширина зоны до 1,0 см. Следующее усиление окраски, соответствующее третьей зоне, менее интенсивно, поэтому граница зоны не такая резкая, как в предыдущем случае. Ширина третьей зоны 1,5—1,7 см. Дальше, к краю кристалла, следует темная равномерно окрашенная зона шириной до 3 см, окаймляемая четкой светлой полосой, ширина которой не превышает 1—2 мм. Последняя зона окрашена в светло-коричневый цвет равномерной густоты. В большинстве рассмотренных образцов особенно отчетливо развиты только первые три зоны. Остальные выражены менее ясно или отсутствуют.

Ширина коричневой каймы меняется в разных кристаллах и в одном и том же кристалле параллельно разным граням. Максимальная ширина 7,5 см.



Фиг. 1. Приуроченность зонального мусковита к контактам блоков плагиоклаза и кварца:

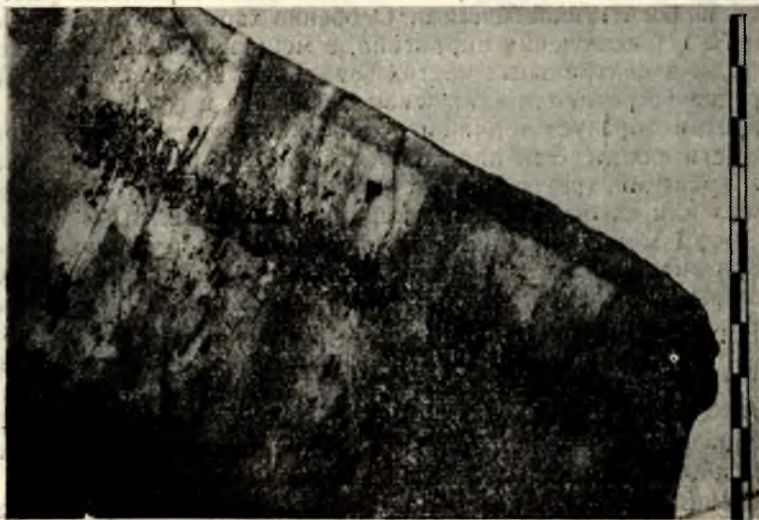
1 — мелкий мусковит; 2 — мусковит; 3 — плагиоклаз; 4 — кварц; 5 — гранат.



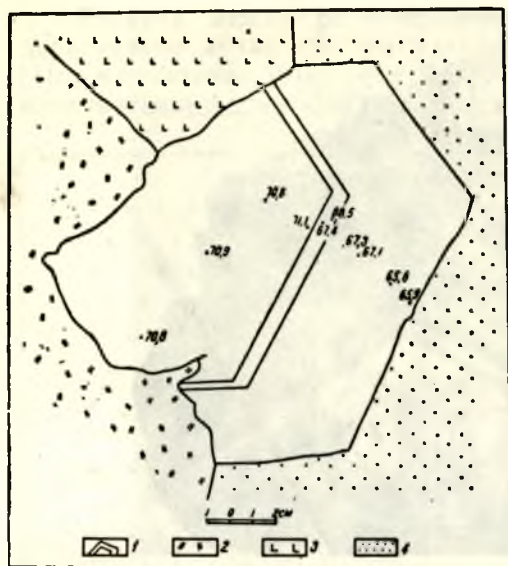
Фиг. 2. Зональный кристалл мусковита. Видно строение внешней зоны (натуральная величина).

Относительные скорости нарастания разных граней менялись по мере роста кристалла. Об этом можно судить по изменению ширины отдельных зон, параллельных разным граням (фиг. 2). Изменение ширины вызвано, по-видимому, наличием индивидуальных условий роста, более или менее благоприятных для отдельных кристаллов и их граней. Одинаковая схема чередования зон и даже их относительная ширина свидетельствуют о существовании одинаковых условий слюдообразования на всем протяжении жилы № 17.

Разноокрашенные части зональных кристаллов резко различаются



Фиг. 3. Зональное расположение включений пирротина в центральной части зонального кристалла мусковита.



Фиг. 4. Ориентировка периферической зоны по отношению к кварцу. На кристалле мусковита обозначены точки замеров и величины углов 2Е: 1 — мусковит; 2 — мелкошуйчатый мусковит; 3 — плагиоклаз; 4 — кварц.

по содержанию включений других минералов. Периферические зоны бедны включениями. Изредка в них можно обнаружить одиночные мелкие (0,1—0,2 мм) прямоугольники и квадратики пирита, уплощенные параллельно спайности мусковита.

Если коричневая зона разбивается по плагиоклазу, то она содержит реликты плагиоклаза в виде очень мелких (сотые и десятые доли миллиметра в поперечнике) неправильных зерен. Иногда такие реликты располагаются на границе разноокрашенных зон.

Вростки кварца неправильной формы встречаются чаще в центральных частях кристаллов и очень редко во внешних зонах. Размеры их до 2—3 мм в поперечнике.

Без приуроченности к разноокрашенным зонам, парал-

лельно плоскостям весьма совершенной спайности помещаются включения кварца в виде тонких (до 1 мм толщины) постепенно вклинивающихся пластинок и кальцита, образующего еще более тонкие пленки и голубоватый налет. Вместе с пластинками кварца в мусковите из жилы 1а ассоциирует халцедон, образующий спутанноволокнистые и радиально-лучистые агрегаты, а также каемки волокнистого строения вокруг зерен кварца.

В противоположность коричневым зонам центральные части кристаллов очень богаты включениями. Особенно характерны (для мусковита из жилы № 17) включения пирротина, в меньшей степени халькопирита и граната, а в центральных частях зональных кристаллов из жил № 9 и 1а изредка встречаются включения магнетита и гематита.

Пирротин образует тончайшие пластинки, уплощенные параллельно спайности слюды. Эти пластинки имеют форму ромбов, параллелограммов, трапеций, треугольников, разного вида шестиугольников, вытянутых лент или скелетообразных дендритов (фиг. 2, 3). Все это разнообразие форм можно получить из пластинки гексагонального контура при недоразвитии одних граней и преимущественном росте других.

Размеры включений колеблются в довольно широких пределах: шестиугольники, изометричные и слегка удлинённые в поперечнике, достигают 3—4 мм, длина вытянутых лейст при их небольшой ширине (0,5—2 мм) — нередко 2,0—3,0 см.

В проходящем свете большинство пластинок пирротина кажутся черными, непрозрачными, лишь наиболее тонкие просвечивают серым и темно-серым цветом. В этом случае по изменению густоты окраски видно, что включения нарастают послойно. Цвет включений в отраженном свете кремовый.

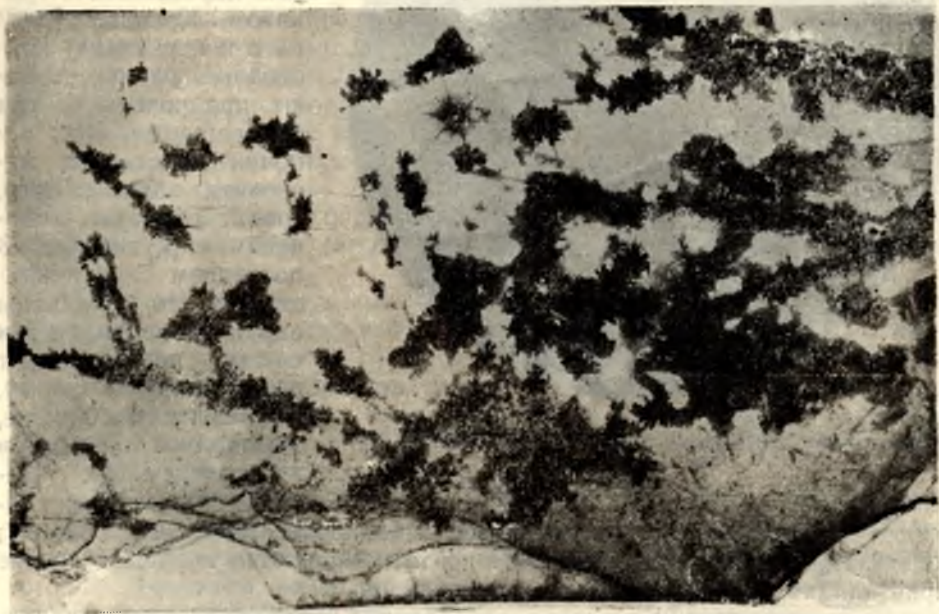
Для включений пирротина очень характерно наличие трещин отдельности, напоминающих трещины усыхания. В вытянутых лейстах они

проходят обычно перпендикулярно удлинению, а в пластинках более изометричного контура очерчивают гексагоны, стороны которых перпендикулярны и очень редко параллельны сторонам пластинок.

Ориентировка включений на плоскостях (001) мусковита закономерная: стороны изометричных пластинок и удлинение лейст и дендритов ориентированы по лучам фигуры давления, значительно реже удара, т. е. включения вытянуты перпендикулярно зональности и огранке.

По площади кристаллов мусковита включения распределены неравномерно. Наиболее густо они концентрируются в нескольких зонах, параллельных зональности (фиг. 2, 3). Концентрация включений в таких зонах бывает настолько густой, что мусковит становится непрозрачным, черным. Ширина зон, обогащенных включениями, в крупных кристаллах достигает 3 см. Число зон обычно не больше трех.

В ряде работ о включениях в мусковите (Карский, Луговской, 1956; Лашев, 1948; Никитин, 1953; Frondel, Ashby, 1937) аналогичные включения, судя по описаниям и фотографиям, определены как магнетит. Но включения магнетита, которые распространены в слюдах месторождения Хетоламбино, обладают очень сильной магнитностью и имеют совершенно иной облик (см. ниже). Магнитность описываемых включений значительно слабее. Кремевый цвет в отраженном свете также говорит в пользу пирротина. Отсутствие явлений анизотропии при рассмотрении включений пирротина в отраженном свете в скрещенных николях можно объяснить их ориентировкой. На основании формы включений и расположения трещин отдельности можно заключить, что они уплощены по (0001). Боковые грани соответствуют граням наиболее часто встречающейся у пирротина формы {1010}. Трещины отдельности, перпендикулярные сторонам пластинок, проходят по {1120}. Такая отдельность, как указывает Дэна (1951), иногда выражена у пирротина. Менее развитые трещины, параллельные сторонам пластин, могут быть следами спайности по {1010}.



Фиг. 5. Характер развития включений магнетита и их ориентировка относительно лучей фигуры удара (ув. 3).

По времени образования включения пирротина следует отнести, вероятно, к мнимопервичным, по терминологии В. Д. Никитина.

Халькопирит образует мелкие вроски во включениях пирротина или окружает их узкой каймой. В проходящем свете халькопирит, как правило, непрозрачен и кажется черным, но наиболее тонкие пластинки просвечивают индигово-синим цветом. В отраженном свете включения халькопирита имеют типичный желтый цвет.

В центральных частях некоторых кристаллов из жилы № 1а были встречены включения в виде лапчатых пятен, лейст, сложных дендритов с ветвями, расходящимися под углом 60° (фиг. 5). Лейсты и дендриты вытянуты параллельно лучам фигур удара или давления. Цвет их в зависимости от толщины включений меняется от черного до коричневого (различной густоты). Длина вытянутых включений в крупных кристаллах достигает 10 см, ширина — не более 2—3 мм. Включения настолько тонки, что выделить их в чистом виде не удастся, но и вместе с тонкими пленками мусковита они притягиваются к магнитной стрелке и удерживаются на ней. Такая сильная магнитность и серый в отраженном свете цвет включений указывает на то, что они представляют собою магнетит, хотя Фрондель и Ашби (Frondel, Ashby, 1937) очень похожие включения (судя по фотографиям) определяют как гематит.

Гематит в слюдах Хетоламбино обычно присутствует вместе с магнетитом и образует такие же, как и магнетит, выделения. Гематит отличается отсутствием магнитности. Цвет его красно-коричневый или

оранжевый в проходящем свете и серовато-белый в отраженном.

Для зонального мусковита очень характерен парагенезис с гранатом. Крупные (2—3 см в поперечнике) кристаллы граната бывают приурочены к тем же трещинам, что и цепочки кристаллов мусковита. Кроме того, гранат образует включения в мусковите. В последнем случае кристаллы его уплощены параллельно спайности слюды, реже — имеют изометричную форму. Размеры их небольшие, обычно не больше 0,5 см в поперечнике. Нередко гранат распола-



Фиг. 6. Включения граната на границе разноокрашенных зон (ув. 50).

гается по зонам роста, параллельным зональности мусковита (фиг. 6); на границе разноокрашенных зон иногда помещаются наиболее мелкие кристаллики (0,2—0,5 мм в поперечнике, фиг. 3).

Величины углов 2Е внешних и внутренних частей кристаллов довольно резко отличаются друг от друга и очень близки в соответствующих зонах разных кристаллов из одной и той же жилы.

Измерение угла $2E$ производилось методом коноскопии на поляризационном микроскопе МП-3 с Федоровским столиком. Для измерения $2E$ от исследуемого кристалла слюды отщеплялась одна или несколько пластинок толщиной 0,3—0,5 мм. Пластинки обводились карандашом на бумаге, а затем разрезались на части таких размеров, чтобы они помещались на Федоровском столике. Очертания отдельных частей и полученные величины вписывались в первоначальные контуры пластин. Для каждой точки $2E$ определялось 4 раза, из них 2 раза после поворота плоскости оптических осей на 180° вокруг оси «п» столика.

Окончательная величина $2E$ для каждой точки получалась как среднее арифметическое этих замеров. Средняя арифметическая погрешность для подавляющего большинства определений не превышала $\pm 0,1^\circ$, т. е. $\pm 6'$.

На основании массовых определений величины $2E$ более чем в 50 кристаллах удалось установить, что зональные мусковиты разных месторождений имеют свои абсолютные значения $2E$, но характер относительных изменений $2E$ для разноокрашенных частей оказался одинаковым во всех рассмотренных образцах.

Для центральных частей зонального мусковита из жилы № 17 $2E$ по площади пластин меняется мало даже для крупных кристаллов (больше 10 см в поперечнике).

Крайние значения $2E$ равны 70 — $71,8^\circ$ (по определению в 24 образцах). Максимальные расхождения величины $2E$ в отдельных кристаллах редко превосходят $0,5^\circ$, достигая в единичных случаях $1,8^\circ$. Увеличение $2E$ происходит в направлении развитых граней.

Во внешней коричневой зоне $2E$ редко скачком уменьшается до 66 — 68° . При этом в темноокрашенной части первой зоны $2E$ равно $67,2$ — $67,8^\circ$, в светлоокрашенной части этой же зоны увеличивается до $68,5^\circ$, а в следующей темной зоне происходит новое уменьшение до $67,3$ — $67,4^\circ$. Дальше к краям кристаллов $2E$ уменьшается до $65,6^\circ$.

Величина $2E$ в центральных частях зональных кристаллов из жил № 9 и 1а колеблется в пределах $66,5$ — $70,9^\circ$ (по замерам в 20 кристаллах).

Относительно малые $2E$ (66 — 67°) встречаются редко, преимущественно в мелком непромышленном мусковите (до 5 см в поперечнике). Для крупных кристаллов обычно большие $2E$ — 68 — 70° .

Во внешней зоне $2E$ уменьшается до $55,8$ — $62,2^\circ$.

Для получения химической характеристики зонального мусковита в химико-аналитической лаборатории Карельского филиала АН СССР были выполнены 7 полных силикатных анализов разноокрашенных частей зональных кристаллов (аналитики В. А. Доильницына и Н. Д. Малькова).

Сопоставление результатов анализов (табл. 1) показывает, что все анализированные образцы имеют близкий химический состав. Мусковиты Хетоламбино отличаются от мусковитов Малиновой Вараки большим содержанием окисного железа. Кроме того, в слюдах обоих месторождений улавливаются общие закономерности в распределении некоторых окислов: в краевых зонах зональных кристаллов повышенное содержание TiO_2 , в центральных частях больше MgO и Al_2O_3 .

Участок центральной части зонального кристалла, обогащенный включениями пирротина, имеет лишь незначительно повышенное содержание окислов железа (анал. 5, табл. 1) по сравнению с участком того же кристалла, не содержащим включений (анал. 4, табл. 1). Это указывает на отсутствие при их образовании существенного привноса железа.

Данные 76 спектральных анализов, выполненных в лаборатории

Таблица 1

Результаты химических анализов зонального мусковита

Окислы	Анализируемые участки кристаллов						
	край (анализ 1)	центр без включений (анализ 2)	край (анализ 3)	центр без включе- ний (ана- лиз 4)	центр с включе- ниями (ана- лиз 5)	край (ана- лиз 6)	центр (ана- лиз 7)
SiO ₂	46,13	45,82	45,72	45,48	45,38	44,77	44,34
TiO ₂	0,33	0,09	0,30	0,12	0,10	0,19	0,14
Al ₂ O ₃	33,36	34,65	34,21	34,25	34,79	32,45	34,31
Fe ₂ O ₃	1,72	1,94	2,06	2,24	2,30	3,72	3,52
FeO	1,27	1,85	1,00	1,42	1,63	1,71	1,61
MnO	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06
CaO	0,20	0,20	0,41	0,23	0,34	0,23	0,15
MgO	1,40	0,37	1,38	0,74	0,81	1,91	0,91
K ₂ O	9,91	8,77	9,10	9,34	9,29	9,69	10,06
Na ₂ O	0,96	1,80	0,85	0,60	0,68	0,79	0,38
п.п.п.	4,69	4,37	4,85	4,74	4,82	4,62	4,68
H ₂ O	0,46	0,45	0,10	0,11	0,15	0,26	0,23
Сумма	100,45	100,35	100,02	99,94	100,34	100,37	100,39

Примечание. Анализы 1—5 из жилы № 17 (Малиновая Варака), анализы 6—7 из жилы № 1а (Хетоламино).

спектрального анализа Карельского филиала АН СССР аналитиком Г. Ф. Карельской, выявили присутствие многих рассеянных элементов в зональном мусковите.

Во всех анализируемых образцах обнаружены Be, Ga; в подавляющем большинстве образцов присутствуют Sn, Nb, V, Ba, Cr; реже встречаются Sc, Cu, Co, N и очень редко Zr, Pb¹. Все указанные элементы содержатся в ничтожных количествах (от десятитысячных и менее до тысячных долей процента).

В периферических коричневых зонах содержание Be, Sn, V, Cr, Ba увеличивается (насколько об этом можно судить по данным полуколичественного анализа).

Рассмотрев особенности зонального мусковита с неоднородной зональностью, можно сделать следующие выводы:

1. Наличие зональных кристаллов свидетельствует о неоднократных изменениях физико-химических условий кристаллизации мусковита. Изменения эти происходят то постепенно, то резко, скачком. Так, например, в первые этапы роста имело место медленное, постепенное и незначительное изменение условий минералообразования. В результате образовались лишённые зонального строения желто-зеленые и зеленые части кристаллов, для которых характерно незначительное по мере роста увеличение угла 2E. Затем условия резко изменились. Начался рост коричневой периферической каймы. Обстановка стала менее стабильной. Неоднократно происходят изменения то быстрые, то медленные, чему соответствуют то

¹ К сожалению, применявшаяся аппаратура не позволила вести наблюдения над содержанием таких элементов, как Rb, Cs.

резкие, то постепенные усиления и ослабления окраски в более мелких зонах, на которые делится внешняя зона.

Наличие в составе многих жил (в том числе и относящихся к пегматитам разных типов) кристаллов мусковита с одинаковым характером зональности говорит о том, что в возникновении зональности нашли свое отражение общие закономерности процессов пегматитообразования.

Случаи расположения зональных кристаллов цепочками, секущими кварцевые блоки и реже — выделения плагиоклаза или микроклина, указывают на более позднее образование зонального мусковита по сравнению с блоковым кварцем, плагиоклазом и микроклином.

Рост зонального мусковита осуществлялся, по-видимому, в таких физико-химических условиях, когда наиболее подвижным был кварц, поэтому правильные грани развиты у кристаллов мусковита, контактирующих с кварцем. Замещение плагиоклаза происходит, но медленнее; в результате форма кристаллов, развивающихся по плагиоклазу, обычно неправильная; мусковит содержит реликты плагиоклаза.

ЛИТЕРАТУРА

Дэна Д. Д., Дэна Э. С. и др. Система минералогии, т. 1, полутом 1. М., Изд-во иностр. лит., 1951.

Карский Ю. Е., Луговской Г. П. Методика изучения и характеристика включений в мусковите Мамско-Чуйского района. «Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та асбесто-цементных изделий», вып. 5, 1956.

Лашев Е. К. Слюда. М., Промстройиздат, 1948.

Никитин В. Д. Зональность и микрозональность в мусковите. «Зап. Всесоюз. минералог. о-ва», ч. 81, 1952, вып. 2.

Никитин В. Д. Особенности образования кристаллов мусковита в пегматитовых жилах. «Зап. Ленингр. горн. ин-та», т. 29, 1953, вып. 2.

Fron del C. and Ash by. Oriented inclusions of magnetite and hematite in muscovite. The American Mineralogist, 1937, vol. 22, № 2