Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института, том XXIX, вып. 2, 1953 г.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ МУСКОВИТА В ПЕГМАТИТОВЫХ ЖИЛАХ

Доц. В. Д. НИКИТИН

1. Краткий обзор состояния изученности вопроса

По вопросам генезиса пегматитов, в том числе и процессам возникновения в них крупных кристаллов мусковита, как известно, существует много работ. Несмотря на это, различные исследователи до самого последнего времени имеют очень противоречивые мнения по целому ряду важнейших закономерностей слюдообразования.

Поэтому противоречивы и представления о закономерностях пространственного размещения мусковита в пегматитовых телах, о характере распространения ослюденения на глубину и пр. Отсутствие определенного решения этих главных в практическом отношении вопросов в ряде случаев затрудняет правильный выбор приемов при перспективной оценке жил, разведке и эксплуатации месторождений мусковита.

Напомним, что в настоящее время имеются следующие представления о генезисе крупных кристаллов мусковита.

1. Многие исследователи полагают, что мусковит образовался в процессе кристаллизации пегматитового расплава по типу кристаллизации замкнутой системы. Недавно представления этих исследователей хорошо резюмировал П. Н. Марков: «Образование крупных кристаллов мусковита в пегматитах происходило в общем процессе последовательного застывания пегматитового расплава, как остаточной части магматического (гранитного) очага соответствующего состава в условиях определенного температурного интервала. При общем одновременном внедрении массы пегматита и последовательном его застывании с постепенным понижением температуры (до 800, 700, 600° и т. д.) в остаточном расплаве увеличивается количество подвижных компонентов (H, OH, P, F и др.). При определенной температуре (650—450°), давлении и достаточном времени застывания эти компоненты обусловливают рост больших кристаллов, характерных для так называемых пегматоидных структур. Именно этот процесс застывания остаточного расплава и ведет к кристаллизации крупных минералов мусковита в парагенезисе с кварцем (темным, дымчатым) и калиевым полевым шпатом. Подобные взгляды высказаны в работах В. А. Обручева, П. Ниггли, И. Фогта, А. Е. Ферсмана, В. Линдгрена, В. Гольдшмидта и др.» [12].

Мусковитовые пегматиты А. Е. Ферсман относил по своей известной классификации к «третьему типу» (шерлово-мусковитовых) гранитных пегматитов чистой линии [17, стр. 169] и главное накопление мусковита

из остаточного расплава полагал в периоде геофазы *D* — кристаллизации пегматоидного пегматита.

В соответствии со своим представлением о кристаллизации мусковита из расплава А. Е. Ферсман предполагал, что образование мусковита происходило в спокойных и выдержанных условиях так же, как и вообще всех ранних стадий кристаллизации пегматита. Допуская мысль о возможном нарушении этой плавной и спокойной кристаллизации, А. Е. Ферсман в своей классической монографии много раз подчеркивал, что такие нарушения являются исключением: «Однако ход процесса застывания идет в общем спокойно и за исключением геофаз *F* и *G* не дает резких скачков и повторных наложений, столь типичных, например, для рудных жил. В этом сказывается, конечно, влияние тех больших глубин, в которых «идет относительно равномерное» застывание остаточных гранитных масс» [17, стр. 430]. «Прежде всего бросается в глаза, что наибольшая величина кристаллов свойственна геофазам *D* — *E* и отчасти *F* и *G*, т. е. всему флюидному полю, в котором кристаллизация идет очень спокойно, не происходит перемешивания или отщепления газовой фазы, когда стенки уже значительно нагреты и не вызывают особых токов к поверхностям охлаждения» [17, стр. 81].

Остаточный расплав, обогащенный летучими компонентами, из которого кристаллизовался мусковит, по мысли А. Е. Ферсмана, накапливался в верхних частях жил (летучие компоненты устремляются вверх): «Для слюдяных пегматитов характерно одно явление, подмеченное в слюдяных копях Индии и описанное по наблюдениям копей Канского района в Сибири (А. Ферсман, 1917). Поскольку их образование связано с границами геофаз *C* и *D*, в них еще заметно некоторое обогащение кровли летучими компонентами... Поэтому обычно наибольшие скопления мусковита приурочены к кровле жил, а в нижних частях иногда наблюдается обогащение биотитом геофаз *C*» [17, стр. 172] (подчеркнуто нами, В. Н.).

Наряду с этим основным способом образования крупнокристаллического мусковита А. Е. Ферсман допускал также возникновение мусковита метасоматическим путем, но приписывал ему подчиненное значение (возникновение главным образом таких разновидностей, как зеленоватые мелколистоватые мусковиты и мелкочешуйчатые жильбертиты).

Особенно подчеркнем, что в согласии со своими представлениями о генезисе мусковита эта группа исследователей резко ограничивает перспективность промышленной ценности жил. Во всей, зачастую, огромной массе пегматита поиски мусковита направляются лишь в участки жил, имеющие пегматоидное сложение, и возможность промышленной концентрации слюды ограничивается только верхней частью жил.

Из изложенных представлений А. Е. Ферсмана вытекает также и другой вывод, оказывающий большое влияние на выявление поисковых признаков слюдоносных пегматитов. Если мусковит, по мысли А. Е. Ферсмана, кристаллизовался из подвижного расплава, то на характере образования и расположения кристаллов слюды в пегматитовом теле ни в какой мере, конечно, не могут сказываться тектонические условия формирования жил. По этой же причине вообще весь процесс формирования пегматитовых тел, по А. Е. Ферсману, не ставится в какую-либо зависимость от тектонических факторов. Не случайно в своей известной монографии [17] А. Е. Ферсман, подробно излагая представления о генезисе пегматитов, почти не говорит о влиянии тектонических факторов на процесс генезиса. Он рассматривает их только как причины, обусловливающие возникновение полостей, занимаемых затем пегматитовым расплавом и в исключительных случаях вызывающих повторные внед-

рения новых порций пегматитового расплава в уже раскристаллизированные твердые массы пегматитовых тел.

Эти представления А. Е. Ферсмана на долгие годы отвлекли внимание большинства исследователей слюдоносных пегматитов от необходимости изучения и учета для выявления поисковых признаков, тектонических условий формирования пегматитов — тектонической жизни самих жил в течение длительного процесса их образования, а также и толщи пород, их заключающих.

Так, например, во всех слюдоносных районах из громадного числа имеющихся на их площади пегматитовых жил практический интерес представляют лишь некоторые. Само собой понятно, насколько важно установить закономерности распределения (по площади всего района) действительно слюдоносных жил среди бесслюдных.

С позиций теории А. Е. Ферсмана наличие слюдоносных жил среди бесслюдных объясняется в основном тем, что в одних случаях пегматитовый расплав был богат летучими компонентами и в этих жилах из него кристаллизовался мусковит, а в других — был беден ими (бесслюдные жилы). Эта специализация расплава, по мысли А. Е. Ферсмана, создавалась в период отделения пегматитового расплава, образовавшего жилы, от гранитных интрузий. Но такие интрузии в главных слюдоносных районах залегают, как известно, на недоступных наблюдениям глубинах, поэтому вообще невозможно проследить пути какой-либо специализации расплава, образовавшего те или иные пегматитовые жилы, расположенные в одном пегматитовом поле. Следовательно, предвидеть характер распределения слюдоносных жил среди близко к ним расположенных бесслюдных пегматитов вообще невозможно, если руководствоваться при этом теорией А. Е. Ферсмана. Вместо обоснованного предвидения и соответствующего направления поисков слюдоносных жил исследователям представляется возможность лишь пассивно констатировать особенности пегматитов уже после того, как жилы найдены и выявлен их минеральный состав. Только после этого исследователи в действительности могут высказывать свои предположения о «специализации» того расплава, который образовал данную жилу.

Так ли это? Действительно ли невозможно выявить реально ощутимые причины, обусловливающие закономерность распределения слюдоносных жил среди бесслюдных? Ниже будет показано, что это утверждение несправедливо, что одним из важных факторов, влияющих на процесс слюдообразования в жилах, является как раз тот, от изучения которого отвлекала внимание теория А. Е. Ферсмана,— фактор влияния тектонических напряжений, имевших место в период формирования пегматитовых жил.

2. Вторая группа исследователей полагает, что в пегматитовых жилах имеется два основных типа крупнокристаллического мусковита. Каждый тип образован своим способом и имеет свои закономерности размещения в жилах.

Мусковит первого типа, по мнению исследователей, возникал синтенетично с образованием крупно- и гигантокристаллического пегматита пегматоидной структуры. Мусковит кристаллизовался здесь из остаточного расплава, обогащенного летучими компонентами и кремнеземом в основном после образования полевых шпатов и до кристаллизации крупных обособлений кварца (А. Н. Лабунцов, П. К. Григорьев, Н. В. Петровская, К. А. Власов, П. Н. Марков, П. А. Борисов, В. П. Петров и многие другие) [1].

[1] Список упоминаемых работ приведен в предыдущей статье автора [16].

Некоторые исследователи в это представление вносят небольшие вариации. К. А. Власов и А. А. Беус, например, полагают, что мусковит возникает здесь и за счет взаимодействия уже затвердевшей части жил с тем же остаточным расплавом.

Такое понимание генезиса первого типа мусковита, как видим, тождественно представлениям А. Е. Ферсмана. Следовательно, и практические рекомендации их для поисков мусковита этого типа остаются теми же, что и у А. Е. Ферсмана.

К. А. Власов и А. А. Беус прямо пишут о приуроченности таких минералов, как слюда, к верхним частям пегматитов и обеднении жил с глубиной [5, 6].

Образование мусковита второго типа относится ими к результатам метасоматических превращений полевых шпатов в кварц и мусковит в уже твердых частях жил (возникновение так называемого кварц-мусковитового комплекса замещения). Мыслится, что этот процесс происходит с полевыми шпатами под влиянием растворов, обособляющихся внутри самих пегматитовых тел в процессе их последовательной кристаллизации (Н. В. Петровская, П. А. Борисов, К. А. Власов, П. Н. Марков и др.) Полагают, что кварц-мусковитовый комплекс возникает в различных местах жил за счет переработки пегматитовых пород разных структур.

Представления этой группы исследователей несколько расширяют перспективы жил за счет того, что находки кварц-мусковитового комплекса предполагаются возможными не только в связи с участками, обладающими пегматоидной структурой, но и в других местах жил. Однако распространение этого комплекса на глубину жил опять-таки предполагается в некоторой степени ограниченным (накопление метасоматирующих растворов внутри замкнутого, постепенно кристаллизующегося пегматитового тела, естественно, тяготеет к верхней части жил [6][1]. Напомним, что в пегматитах некоторых районов кварц-мусковитовый комплекс не имеет широкого распространения. В этом случае основное внимание поисковиков направляется опять только на пегматоидные участки жил.

Кроме двух основных типов крупнокристаллического мусковита, геологами этой группы выделяется еще несколько генераций слюды (две Н. В. Петровской, четыре В. П. Петровым и пр.). Но они не имеют практической ценности или обладают ею в небольшой степени.

3. Третья группа исследователей полагает, что все типы крупнокристаллического мусковита образуются в пегматитах только типичным метасоматическим способом. Кристаллы мусковита разрастаются в уже твердом теле жилы под влиянием растворов, разлагающих полевые шпаты. При этом слюдяные кристаллы совместно с обособлениями кварца развиваются или прямо на месте разлагающихся (гидролизующихся) полевых шпатов, либо компоненты слюды перемещаются и откладываются в иных местах жил. В зависимости от способа образования слюды различается несколько характерных ее типов.

Об источнике растворов, вызывающих образование мусковита, у этих исследователей существуют различные представления. Одни полагают, что растворы накапливаются в междугранулярных тончайших полостях при общем затвердевании основной массы жил (А. Н. Заварицкий [9]). Другие видят источник растворов и в более глубоких

[1] У некоторых исследователей этой группы есть указания на вероятность продолжения этого типа оруденения и на глубину жил (Н. В. Петровская, П. Н. Марков). Но эти указания не вяжутся с их общими представлениями о генезисе пегматитов, как кристаллизации замкнутой системы.

частях магматических очагов, считая, что растворы поднимались оттуда по трещиноватым местам пегматитов и их подводящих проводников (Д. С. Коржинский [10], В. Д. Никитин [13, 14, 15, 16]).

Возникновение одного типа крупных кристаллов слюды, находящегося в кварц-мусковитовом комплексе, исследователи этой группы представляют, как совместное и одновременное накопление слюды и кварца, происходящее на месте разложения полевых шпатов.

Процесс образования мусковита второго типа, встречающегося в участках жил, обладающих пегматоидной структурой, различными исследователями этой группы понимается по-разному.

Д. С. Коржинский [10] полагает, что кристаллы мусковита в крупно- и гигантозернистом пегматите пегматоидной структуры образуются совместно с перекристаллизацией, укрупнением обособлений полевых шпатов и кварца. Это представление ориентирует поиски такого мусковита в жилах на ограниченные участки, обладающие пегматоидным сложением.

Ряд явлений, как указывалось ранее [14, 15, 16], свидетельствует о том, что и в этих участках кристаллы мусковита возникают метасоматическим способом в уже вполне сформированном крупно- и гигантокристаллическом кварц-полевошпатовом пегматите, а не сингенетично с ним. Крупные кристаллы мусковита этого типа встречаются также за пределами этих участков, иногда не в связи с ними, и располагаются в породах пегматита самых разнообразных структур. В связи с таким представлением о генезисе мусковита предлагаются и другие практические рекомендации по перспективной оценке жил и направлению поисковых и разведочных работ.

Полагаем, что все типы крупнокристаллического мусковита в пегматитовых жилах могут быть образованы на любой глубине, так как место накопления его в данной жиле обусловлено главным образом степенью трещиноватости этих участков пегматита в период поднятия с глубин постмагматических растворов. [1]

Мусковит того типа, который встречается в участках пегматита пегматоидной структуры, следует искать и в других местах жил, где имелась трещиноватость в период образования слюды. Зоны и гнезда пегматита пегматоидной структуры являются при этом только средой, в основном наиболее благоприятной и податливой для возникновения трещиноватости. Однако эта особенность в конкретных жилах является только широко распространенным явлением, но не правилом, и трещиноватость в жилах, а следовательно, и крупные кристаллы мусковита располагаются иногда и в иных породах, а участки жил пегматоидной структуры остаются пустыми.

Это представление о генезисе мусковита расширяет перспективы слюдоносности пегматитовых жил, ориентирует проведение поисков и разведки не только в верхних частях жил, но и на их глубине, и предполагает (в некоторых случаях) возможность нахождения крупных кристаллов мусковита не только в участках пегматоидной структуры и кварц-мусковитового комплекса, но и в породах жил иных структур [14, 16].

Этими представлениями внимание исследователей, занятых выявлением поисковых признаков слюдоносных пегматитов, ориентируется на тщательный анализ и выявление тектонических условий, в которых

[1] Влияние всех других факторов на слюдообразование в жилах (химический состав полевых шпатов жил, характер вмещающих и подстилающих пород, характер тектонической деформации жил и пр.) изложено в ранее опубликованных наших работах [14, 16].

протекает весь процесс формирования пегматитов и образования в них слюды. Именно этими условиями определяется возможность поступления в жилы постмагматических растворов, вызывающих образование мусковита в пегматитовых телах.

Опыт сибирских и карельских геологов за последние годы показывает, что в ряде мест сейчас уже намечается такая пространственная приуроченность слюдоносных жил к определенным, наиболее благоприятным в отношении тектонических условий участкам, зонам и свитам пород специфического литологического состава.

Растворы, перед тем как попасть в жилу, просачиваются с глубин по зонам тектонической трещиноватости — вновь оживленным проводникам первично интрузивного материала пегматитовых тел. Растворы при этом неизбежно испытывают влияние пород, расположенных на пути подхода к жилам. Состав растворов, попадающих в жилу, зависит от химического состава этих пород. Особенно сильно это влияние сказывается на первых стадиях процесса формирования пегматитов, протекающих при высоких температурах, когда активность взаимообмена компонентами между растворам и породами, понятно, очень высока.

Таким образом, особенности химического состава толщ пород, подстилающих пегматитовые жилы, надо считать также важным поисковым признаком [14, 16].

Существование столь противоречивых мнений об основных закономерностях образования и размещения в жилах крупнокристаллического мусковита объясняется ограниченностью выявленных до сих пор явлений.

В связи с этим нельзя не отметить, что если по общим вопросам генезиса слюды и обсуждению возможности того или иного процесса ее образования имеется огромное количество работ, то исследований, посвященных детальной характеристике самих кристаллов мусковита и выявлению реальных признаков, способствующих выбору наиболее верного решения этих вопросов, крайне мало.

2. Принципы выделения различных генераций крупнокристаллических слюд в пегматитовых жилах

Форма нахождения крупных кристаллов слюды в пегматитах очень многообразна.

Места в жиле, где они расположены, структура пород, их вмещающих, морфологические особенности кристаллов, парагенетические ассоциации минералов со слюдою и другие признаки — бывают самыми различными.

Слюда встречается и вблизи зальбандов и в срединной части жил. Кристаллы ее бывают расположены в породах пегматита всех структурных разновидностей: гранитных и аплитовых, сегрегационных [16], пегматоидных, а также гнездах, блоках и зонах мономинеральных полевых шпатов и кварца. Во всех этих породах мы находим разобщенные друг от друга кристаллы и их сростки и даже отдельные гнезда и зоны кристаллических агрегатов слюды. В одной и той же жиле иногда имеется мусковит разных оттенков окраски или содержащий различные включения и находящийся в тесной ассоциации с разнообразными минералами.

Многообразие форм кристаллов слюды уже давно наталкивало исследователей на мысль о том, что слюда в пегматитовых жилах, повидимому, образовывалась в течение нескольких стадий общего процесса формирования жил, что в пегматитах имеется несколько генераций

слюды. Правильное установление генераций слюды имеет важное практическое значение. Распределив все разнообразные формы нахождения слюды по нескольким генерациям, мы получим возможность разобраться и в закономерностях расположения в жилах слюды каждой из генераций и тем самым выявить их поисковые признаки.

Однако выделение различных генераций крупнокристаллических слюд связано с большими трудностями. Среди многообразия особенностей кристаллов слюды нужно правильно выбрать действительно устойчивые и определяющие признаки для каждой генерации. Если этот выбор будет произведен ошибочно, в основу выделения генераций будут взяты не характерные, а второстепенные и изменчивые признаки, закономерности распределения слюды в жилах останутся невыясненными или, что еще хуже, будет дана ошибочная трактовка их.

Многие исследователи, подметив, что кристаллы слюды, расположенные в разных структурных зонах пегматита, обладают различной формой, брали в качестве такого, определяющего генерацию признака, место нахождения слюды в жиле, структурные особенности пород, заключающих слюду. Так, в частности, поступали и те геологи, которые заранее руководствовались тем, что слюда образовалась прямо из пегматитового расплава или возникала в местах взаимодействия части расплава, оставшейся в жиле еще жидкой с уже затвердевшими боковыми стенками. Принимая это положение, им приходилось слюду, расположенную в каждой из структурных зон пегматита, выделять в особую возрастную генерацию (слюда сингенетична со структурной зоной пегматита).

Н. В. Петровская, например, в основном таким образом устанавливает в пегматитах Мамско-Витимского района следующие пять генераций крупнокристаллических слюд [17, стр. 594]:

1) лейсты биотита, образованные в «графическую геофазу» кристаллизации расплава (располагаются в зонах письменного гранита);

2) таблитчатый мусковит и лейсты биотита «эпиграфической геофазы» кристаллизации расплава (находятся в зонах неясно-графического пегматита);

3) мусковит и пластинчатый биотит «пегматоидной геофазы» кристаллизации расплава (заключенные в пегматите пегматоидной структуры);

4) мусковит «пневматолитовой геофазы» (в кварц-мусковитовом комплексе);

5) зеленый мусковит по трещинам.

В. П. Петров насчитывает таким образом до шести генераций.

Можно ли вообще считать определяющими особенностями генерации слюды положение ее кристаллов в жиле, форму ее кристаллов и структуры вмещающих кристаллы пород? Поставив этот вопрос, мы в течение ряда лет специально исследовали многие пегматитовые жилы в различных слюдоносных районах СССР. При этом обнаружилось, что все разновидности крупнокристаллических слюд (за исключением мусковита в кварц-мусковитом комплексе) встречаются в жилах, не будучи всегда приуроченными только лишь к одной какой-либо структурной зоне пегматита. Кристаллы слюды одной и той же генерации очень часто переходят из одной структурной зоны жилы в другую. Такой переход в ряде случаев сопровождается изменением формы кристаллов. Особенно отчетливо эти явления обнаруживаются, когда кристаллы группируются в отдельных участках жилы в виде цепочек или полос в пегматите, в той или иной степени обогащенных ими.

Рассмотрим несколько примеров.

А. Во многих пегматитовых жилах встречается широко распространенный тонколистоватый крупнокристаллический биотит. Форма кристаллов его бывает различна. В породах письменной структуры преобладают лейстовидные кристаллы, часто образующие сростки дендритовидной формы. Наряду с этим здесь изредка встречается тонколистоватый биотит, имеющий в плоскости уплощения изометрические очертания. И те и другие кристаллы чаще бывают небольшой и средней величины. В мономинеральных зонах полевых шпатов, пегматите пегматоидной структуры и кварцевых гнездах преобладает тонколистоватый биотит, не имеющий правильных очертаний, реже встречаются лейстовидные формы. Кристаллы биотита достигают здесь громадных размеров.

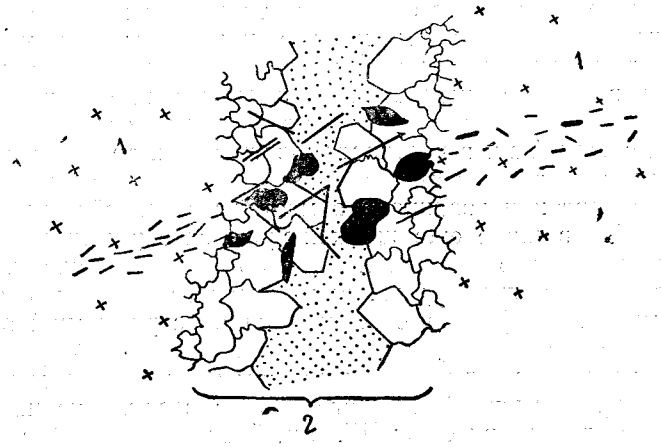


Рис. 1. Зарисовка забоя. Полоса обогащения пегматита биотитом пересекает различные структурные зоны жил. От характера пород изменяется облик располагающихся в них кристаллов биотита:

1 — породы пегматита гранитного сложения, заключающие лейстовидные кристаллы биотита (черное), *2* — гиганто-кристаллические породы пегматита пегматоидного сложения с кварцевой осью по середине, заключающие большие тонкие листы биотита (черное)

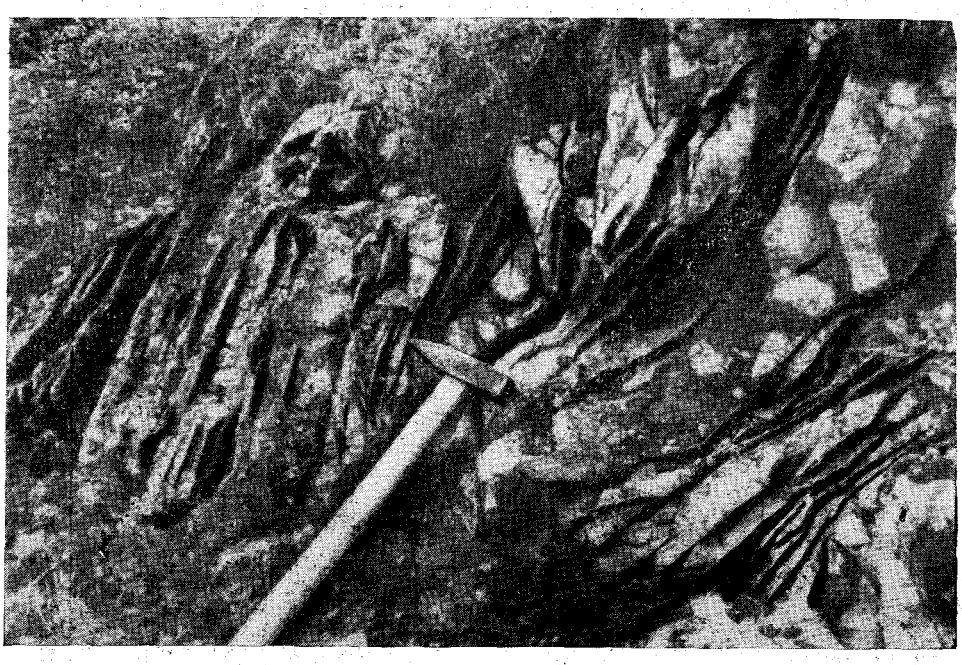
На первый взгляд кажется, что в примере приводятся два специфических типа биотита. Подобные явления и вводили раньше в заблуждение исследователей, давая мысль о сингенетической связи каждого из этих типов биотита с определенной структурной зоной жилы, и служили основанием к отнесению этих биотитов к разным генерациям слюд (например, приведенная выше классификация слюд Н. В. Петровской).

Однако, если приглядеться внимательнее, то почти в каждой жиле можно найти места, в которых отчетливо видны переходы кристаллов биотита из одной структурной зоны пегматита в другую. Особенно наглядно это обнаруживается, когда кристаллы располагаются цепочкой друг за другом, направленной косо или поперек структурных зон. Подобные случаи часто наблюдаются в некоторых жилах всех слюдоносных районов (рис. 1). Формы кристаллов биотита, типичные для различных структурных зон пегматита, приведены на рис. 2, 3, *а, б*. Обратим внимание, что в этих обнажениях в зоне пород пегматоидного сложения кристаллы биотита имеются только в участках, расположенных на продолжении полосы обогащения биотитом письменных гранитов и других соседних пород. Иначе говоря, участки обогащения биотитом во всех соседних структурных зонах определенно и четко ложатся в одну



Рис. 2. Лейстовидные кристаллы биотита (черное) в письменном граните

а



б

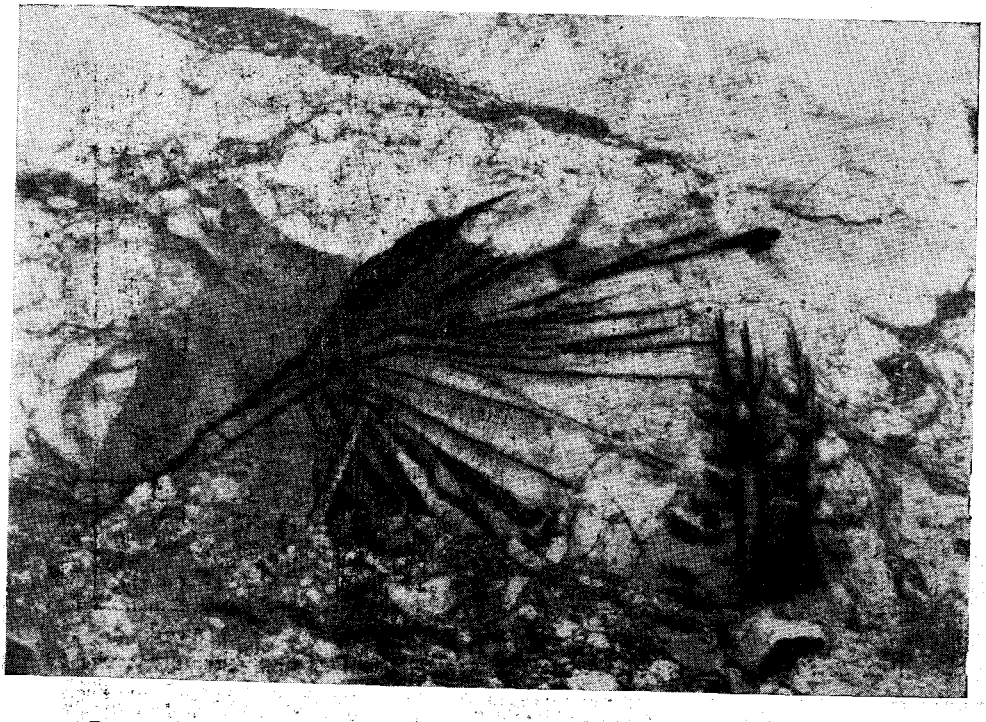


Рис. 3. Тонколистоватые кристаллы биотита в мономинеральном кварце:
а — ориентированы вдоль параллельных трещин; *б* — ориентированы вдоль радиальных трещин

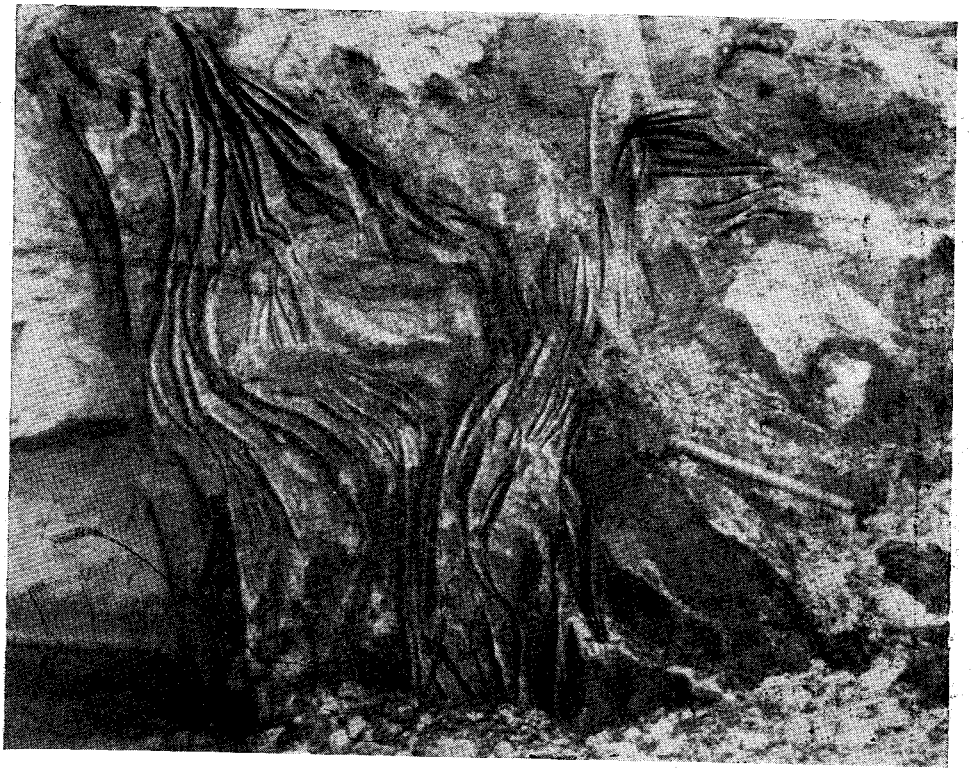


Рис. 4. Тонколистоватые кристаллы биотита, ориентированные вдоль трещин, рассекающих зону пегматита, сложенную гигантокристаллическими полевыми шпатами

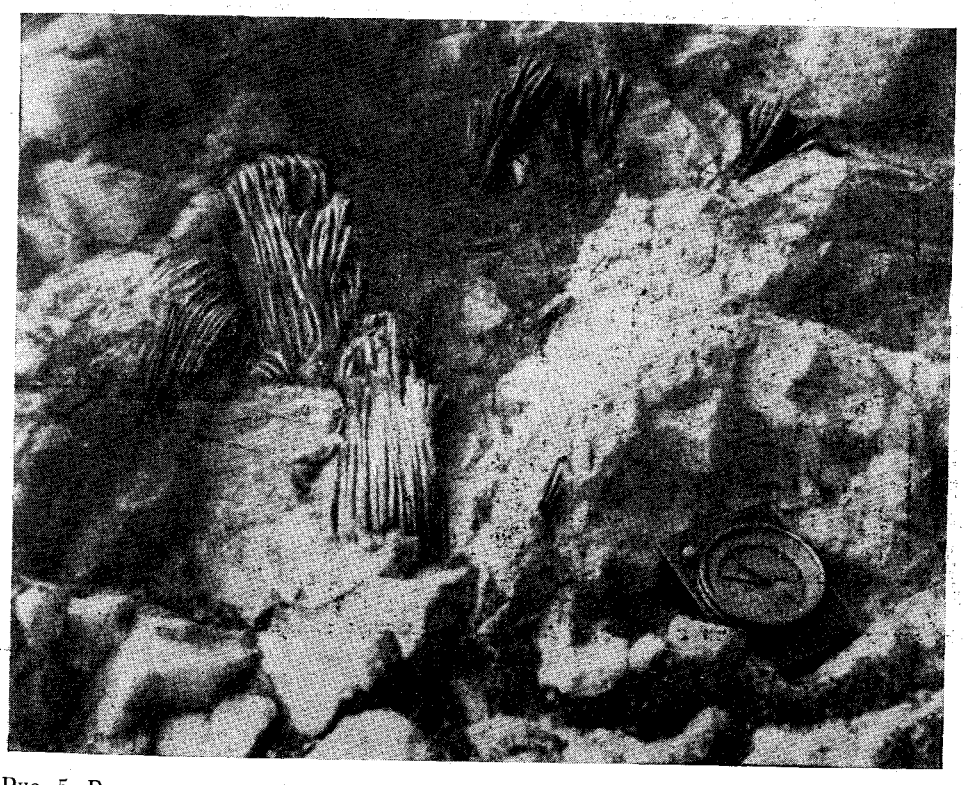


Рис. 5. Расположение и форма кристаллов мусковита второй генерации, характерные для участков жилы пегматоидного сложения

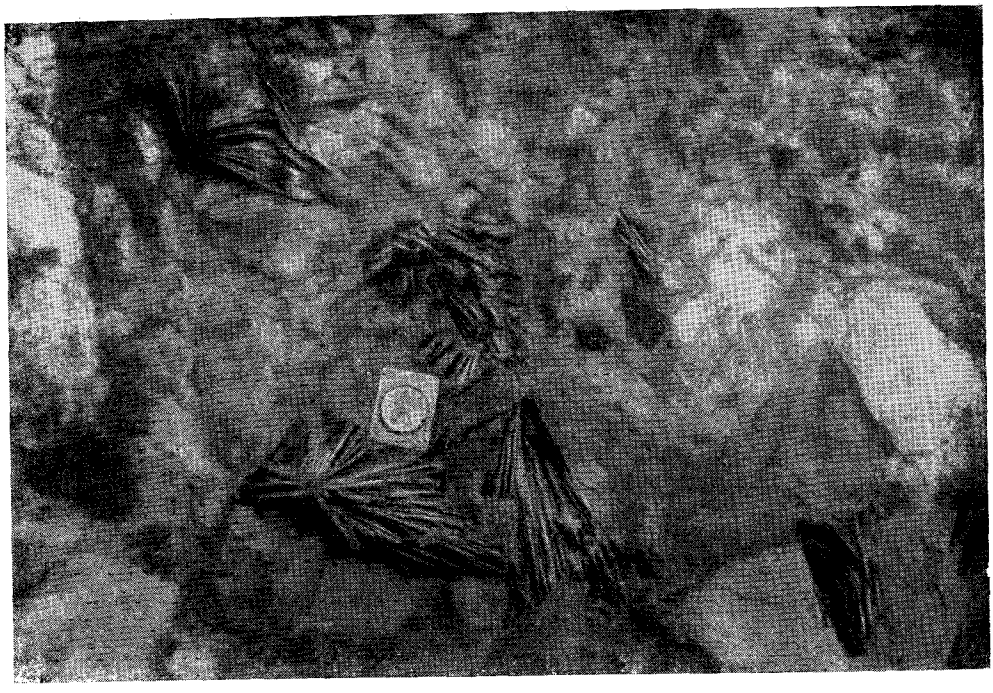


Рис. 6. Характерное расположение кристаллов мусковита второй генерации в участках жил пегматоидного сложения



Рис. 7. Цепочка отдельных кристаллов мусковита и их розетковидных сростков в зоне пегматита, сложенной мономинеральными гигантокристаллическими полевыми шпатами

дую полосу, пересекающую все эти зоны. Отдельные крупные кри-
ллы биотита часто переходят из одного кристалла полевого шпата
1 письменного гранита в другой, иногда они рассекают сразу не-
колько кристаллов полевых шпатов (рис. 4). В некоторых случаях
ная серия лейстовидных или листоватых кристаллов биотита распола-
тся друг за другом вдоль определенной плоскости, протягивающейся
килах на значительные расстояния. В кристаллах биотита, заключен-
х во всех структурных зонах пегматита, встречаются изредка ре-
кты окружающих их минералов. Они чаще имеются в биотите, распо-
женном в письменных гранитах и гранитных породах.

В ряде жил производилось массовое определение элементов зале-
ния лейст и пластинок биотита. Оказалось, что положение их не слу-
йно и произвольно, а главная масса ориентирована в жиле примерно
двух или трех определенных направлениях. Эта особенность располо-
ения кристаллов слюды хорошо видна и на фотографиях, приведенных
рис. 2 и 3. Если учесть, что кристаллы биотита заключены в самых
знообразных породах жилы и все же значительная часть из них
риентирована во всех породах примерно одинаково, то станет очевид-
ым, что единственной причиной такого преобладающего положения
ристаллов является более или менее постоянное расположение трещи-
оватости пород, вдоль которой происходило преимущественное разра-
ание кристаллов.

Как отмечалось выше, форма кристаллов биотита, расположенных
одной и той же обогащенной им полосе, рассекающей пегматит раз-
ичных структур, несколько изменяется в зависимости от характера по-
од, а для определенной структурной зоны жилы является довольно
остоянной или во всяком случае преобладающей. В некоторых, правда,
едких жилах с маломощными структурными зонами представлялась
озможность наблюдать крупные кристаллы биотита, залегающие одной
астью в письменном граните, а другой — в пегматоиде. Форма их
пегматоиде была неправильно листоватая, а часть, расположенная
письменном граните, имела лейстовидный облик.

Эти явления свидетельствуют о том, что форма кристаллов биотита
пределенным образом зависит от физических особенностей пород, в ко-
орых метасоматическим путем разрастались его кристаллы. Хорошо из-
естно, что наиболее хрупкими породами пегматитовых жил являются
егматоид и соприкасающиеся с ним мономинеральные гигантокристал-
ические полевые шпаты. Поэтому преимущественно именно здесь воз-
икала наиболее интенсивная трещиноватость и создавалась среда бо-
лее благоприятная для равномерного поступления растворов к расту-
щему кристаллу биотита. В более же прочных письменных гранитах,
породах сегрегационной структуры, гранитах и аплитовидных породах
трещиноватость проявлена слабее. Среда там является менее благо-
приятной для роста кристаллов, равномерного подхода растворов ко
всем граням кристалла, и вследствие этого образуются лейсты, а иногда
и их дендритовидные сростки [16, стр. 142].

Кристаллы биотита часто интенсивно деформированы, иногда
смяты в складки. В кристаллах широко распространена полосовая от-
дельность и изредка встречается неясно выраженная ельчатость. Сте-
пень деформированности кристаллов биотита в одной и той же жиле
неодинакова. В большинстве случаев биотит наиболее сильно деформи-
рован в участках пород пегматоидного сложения и в зонах, сложенных
мономинеральными полевыми шпатами.

Описанные вкратце особенности тонколистового биотита с несом-
ненностью свидетельствуют о следующем:

1) тонколистоватый биотит образован позднее создания основных структурных зон пегматита, так как полосы пород, обогащенных биотитом, пересекают все эти зоны и в кристаллах биотита находятся реликты окружающих минералов;

2) кристаллы тонколистоватого биотита, расположенные в различных структурных зонах пегматита, принадлежат к одной генерации, но характеризуются несколько разной формой (лейсты и изометрические пластинки). Форма кристаллов биотита определяется специфическим влиянием среды пород, в которых они разрастались.

Б. В слюдяных пегматитах крупные кристаллы мусковита встречаются в некоторых из участков жил, имеющих пегматоидное сложение (так называемая «пегматоидная слюда»). Большинство из них имеет несколько клиновидную форму, которая ярче выражается, если смотреть параллельно плоскости спайности слюды. Общий облик кристаллов чаще изометрический, реже — таблитчатый. Кристаллы часто обладают видимой зональностью. В пегматите пегматоидной структуры встречаются разобщенные кристаллы или их сростки разной формы. Типичное расположение их видно на рис. 5 и 6. Большая часть мусковита размещена здесь в области соприкосновения крупных обособлений полевых шпатов и слитного кварца. Некоторые кристаллы мусковита находятся между кварцем и полевыми шпатами, вдаваясь в них своими выпуклыми формами, большинство же включено целиком в полевые шпаты или кварц. Во всех без исключения жилах, содержащих мусковит этого типа, при внимательном изучении расположения кристаллов обнаруживается, что часть из них группируется цепочками и зонами, протягивающимися по определенным направлениям от пегматоида вглубь слитного кварца и зон, сложенных полевыми шпатами (рис. 7, 8).

В жилах некоторых районов можно проследить продолжение таких цепей кристаллов в соседние зоны пегматита, обладающего сегрегационной и письменной структурами (рис. 9), и даже в гранитные породы (рис. 10). В ряде жил они располагаются прямо в самом зальбанде.

Общий облик кристаллов мусковита несколько изменяется в зависимости от характера вмещающих их пород, подобно тонколистоватому биотиту. В пегматите пегматоидной структуры и слитном кварце преобладают кристаллы, имеющие изометрический облик и часто клиновидной формы. В письменном граните и пегматите сегрегационной структуры преобладает таблитчатый мусковит, хотя встречаются изометрические и клиновидные формы (рис. 11).

Характер ограничения кристаллов также непостоянен. Во всех породах встречаются вполне и правильно ограненные формы. Чаще они наблюдаются у мусковита, расположенного в пегматите пегматоидной структуры, кварце и зонах, сложенных мономинеральными полевыми шпатами. Иногда здесь же расположенные кристаллы обладают ступенчатыми формами роста и размеры отдельных ступенек бывают очень небольшими (рис. 11 и 12).

Среди множества правильных кристаллов встречаются и такие, у которых ровные грани развиты только с одной стороны, а остальная поверхность имеет впадины и уступы. В таких случаях на первый взгляд складывается впечатление, что эти неправильные кристаллы являются формами подчиненного роста (рост кристалла в этих направлениях прекращался и кристалл принимал здесь не свою форму, а заполнял пространство, ограниченное соседним минералом). К подобным выводам приходили многие исследователи. Они принимали вогнутые неправильные поверхности за отпечатки на кристаллизующемся из расплава мусковита минералов, уже затвердевших ранее. Изучение этих

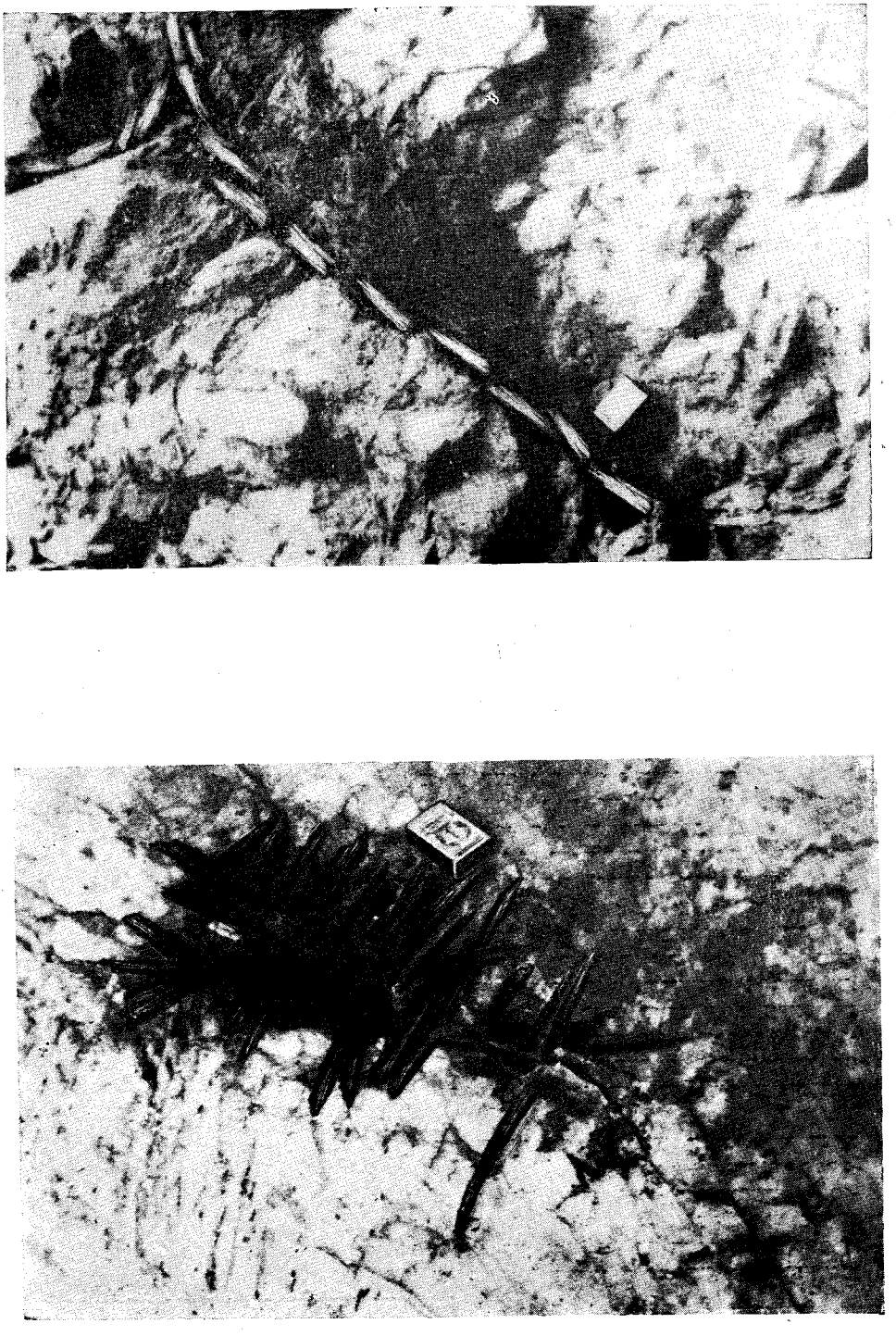


Рис. 8. Цепочка кристаллов мусковита второй генерации в кварцевом гнезде



Рис. 9. Кристаллы мусковита второй генерации расположены в письменном граните



Рис. 10. Кристаллы мусковита второй генерации приурочены к трещинам в крупнокристаллической гранитной породе пегматитовой жилы

поверхностей при помощи бинокулярной лупы с сильным увеличением показало, что они составляются массой отдельных мелких и мельчайших выступов, ограненных так же, как и весь кристалл. Следовательно, поверхности эти являются сложной формой ступенчатого нарастания граней, а не отпечатками соседних минералов якобы преграждавших в этих местах пути для развития кристаллов. Грубый пример подобного явления приведен на рис. 13.

Видимо, кристаллы с такими причудливыми очертаниями возникли в результате неравномерного нарастания граней с разных сторон кристаллов. Часть граней, развивавшихся в более благоприятных условиях, приобрела простую и правильную форму, те же стороны кристаллов, к которым подход кристаллизующегося вещества был затруднен, нарастали медленнее и не равномерно по всей своей поверхности, а путем образования ступенчатых форм роста. В этих местах разрастание кристаллов замедлялось и возникали вогнутые поверхности.

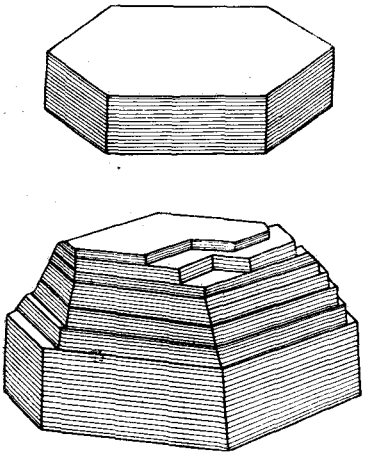


Рис. 11. Некоторые характерные формы кристаллов мусковита второй генерации

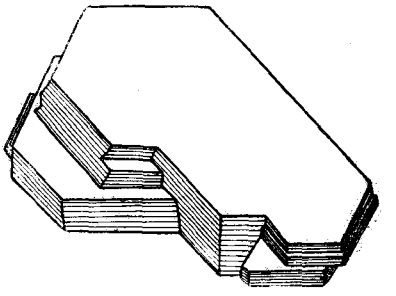


Рис. 12. Ступенчатые формы роста кристаллов мусковита второй генерации

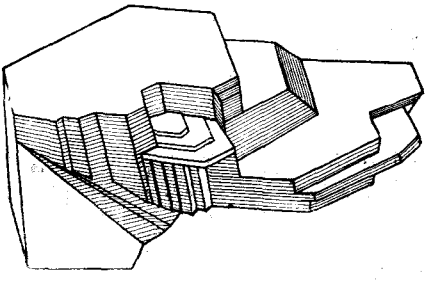


Рис. 13. Вогнутости на поверхности кристаллов мусковита второй генерации, обусловленные неравномерным нарастанием его граней

В различных местах жил часть кристаллов мусковита находится в парагенезисе с гранатом, апатитом, турмалином и некоторыми другими минералами.

В нескольких жилах было произведено массовое определение элементов залегания таблитчатых кристаллов мусковита, расположенных в пегматите пегматоидной структуры, в зонах и гнездах мономинеральных кварца и полевых шпатов и в породах сегрегационной структуры.

Оказалось, что значительное количество их в жилах ориентировано не произвольно, а подобно кристаллам тонколистоватого биотита подчинено нескольким преобладающим направлениям.

В кристаллах мусковита, расположенных во всех породах, встречаются реликты окружающих минералов и разного рода другие включения (подробнее они описаны в следующем разделе работы). Они чаще содержатся в мусковите, заключенном в письменных гранитах, породах сегрегационной структуры и гранитах. Мусковит часто деформирован и тогда обладает ельчатостью и полосовой отдельностью.

Обрисованные вкратце особенности расположения в жилах мусковита этого типа, наличие в некоторых кристаллах реликтов окружающих минералов, форма кристаллов и пр. позволяют сделать лишь один вывод о способе его образования — эта слюда образовалась в жилах типичным метасоматическим способом уже после создания основных структурных зон пегматитов. Об этом же свидетельствует и преобладающая определенная ориентированность в жиле кристаллов, подчиненных определенной системе трещиноватости пород. Такая преимущественная ориентировка кристаллов не находит себе иного объяснения.

Обнаружено также, что в одной и той же жиле форма кристаллов, размеры их и даже некоторые особенности внутреннего строения не являются всегда постоянными, а зависят от влияния той среды, в которой происходило их образование. К разбору последнего обстоятельства мы еще вернемся в следующем разделе статьи.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что признаки слюды по месту нахождения ее в жиле, структурам вмещающих ее пород и по форме ее кристаллов, взятые каждый в отдельности, не могут служить основанием для выделения разных генераций. Установление генераций слюды лишь по некоторым из этих признаков, без учета всей совокупности факторов, обусловливающих различные особенности кристаллов, очень односторонне, носит формальный характер и неизбежно приводит к ошибочным выводам. Это обстоятельство особенно важно, так как ошибочный путь выделения генераций по некоторым взятым отдельно признакам приводит зачастую исследователей к выводам о наличии в пегматитах громадного количества генераций не только слюд, но и других минералов. На самом же деле часть этих генераций является просто разной формой образования минералов, принадлежащих одной и той же генерации, но разраставшихся в различных средах (например, крупные кристаллы шерла в крупнокристаллическом пегматоиде и мелкокристаллический шерл в письменном граните или кристаллы редких минералов, тесно ассоциирующие с тонколистоватым биотитом, и единичные кристаллы тех же минералов, рассеянные в породах пегматита). Смешивание двух явлений — разновременности возникновения минералов и образования разных форм этих минералов в одно время, но в разных средах, — чрезвычайно затрудняет выявление действительного хода процесса формирования пегматитов и закономерностей распределения в них тех или иных минералов. От подобных ошибок при исследовании месторождений рудных жил А. Г. Бетехин предостерегал геологов [4].

В слюдяных пегматитах имеются только три специфические генерации крупнокристаллических слюд [14, 16] [1]. По их взаимным пересечениям устанавливается и последовательность их образования.

[1] Во всех жилах имеются еще одна более ранняя и несколько более поздних генераций слюд, чем эти три, но все они представлены всегда мелкочешуйчатыми, мелколистоватыми формами (мусковит, жильбертит, серицит), не являются интересными в практическом отношении и здесь не рассматриваются.

1. Слюда первой генерации находится всегда в теснейшем парагенезисе с кварцем и образована совместно с ним.

Для нее типична индукционная поверхность соприкосновения с кварцем (рис. 14) и не характерны простые, обычные кристаллографические формы.

Мусковит этой генерации встречается только в пегматитовой породе, обладающей сегрегационной структурой. Парагенезис мусковита прост — слюда, кварц и разъеденные реликты полевых шпатов. Часто реликтов полевых шпатов так мало, что порода состоит почти из одного кварца и мусковита (так называемый кварц-мусковитовый комплекс). Кроме этого, изредка встречаются мелкие единичные кристаллики апатита, граната и турмалина.

Мусковит очень однороден, имеет рубиновую окраску без заметной на глаз зональности. Часто он находится в сложном взаимном прорастании с кварцем. Прочие включения в нем встречаются гораздо реже, чем в слюдах других генераций, присутствующих в жиле, и он менее деформирован.

Наличие индукционных поверхностей раздела между мусковитом и кварцем объективно свидетельствует об одновременности роста этих двух минералов. Встречающиеся здесь разъеденные реликты полевых шпатов указывают на то, что мусковит совместно с кварцем образовался в результате разложения (гидролиза) полевых шпатов. Так как во всех жилах мусковит этого типа встречается только в пегматите сегрегационной структуры и совершенно не известен в иных породах, приходится считать, что возникновение этой слюды и образование в жилах пород сегрегационной структуры были процессами одновременными и сопряженными. Напомним, что пегматитовые породы сегрегационной структуры формировались в жилах путем перекристаллизации письменных гранитов, и гранит-аплитов [16].

Размеры и общая форма кристаллов муковита этой генерации в одной и той же жиле непостоянны. Преобладают изометрические кристаллы, но встречаются и таблитчатые.

Очень разнообразны и формы срастания слюды с кварцем. Широко распространены случаи, когда оба минерала находятся в теснейшем взаимном прорастании и отдельные, со всех сторон окруженные кварцем участочки мусковита, представляющие части единого кристалла, еле соприкасаются друг с другом. Наряду с этим встречаются довольно крупные кристаллы мусковита, срастающиеся с кварцем только по периферии. Следствием этой особенности мусковита является обычно сравнительно невысокий номерной состав сырца, несмотря на то, что общие размеры кристаллов бывают значительными. В связи с большой однородностью слюда прекрасно колется и характерна очень высоким качеством. Процент выхода колотой слюды от общей массы сырца в среднем высок.

2. Слюда второй генерации находится в форме, обрисованной выше при описании примера Б. Облик кристаллов, характер их огранки, включения в них и парагенезис слюды в одной и той же жиле изменяются в зависимости от особенностей вмещающих их пород, от специфики среды, в которой происходило образование кристаллов. Наряду с изменчивостью всех этих черт у мусковита второй генерации имеются и постоянные признаки, отличающие эту слюду от мусковита первой генерации.

а) Кристаллы мусковита всегда ограничены присущими слюде формами независимо от того, в каких породах пегматита они расположены.

Различие состава и прочих особенностей пород при этом сказывается на общем облике кристаллов и характере развития граней — образовании простых или сложных искаженных форм со ступенчатым нарастанием граней. Напомним, что для мусковита первой генерации характерны индукционные формы граней.

б) Кристаллы мусковита встречаются в любых породах пегматита, мусковит же первой генерации расположен только в породах сегрегационной структуры.

в) Кристаллы мусковита во всех породах пегматита образовывались метасоматическим путем, замещая и полевые шпаты и кварц. Слюда же первой генерации возникла совместно с кварцем, приобретая в результате индукционные поверхности соприкосновения с кварцем.

г) Кристаллы мусковита всегда имеют изометрические или таблитчатые облики и сильно вдаются своими формами в глубь окружающих пород. Это свидетельствует о высокой в общем случае интенсивности процесса замещения, о разъедании и замещении пород не только вдоль волосных трещинок, по которым поступали вещества, вызывающие образование слюды, но и в сторону, в глубь пород.

д) Часто встречаются двойниковые сростки слюды, подчиненные главным образом слюдяному закону двойникования. Во многих жилах мусковит этой генерации деформирован сильнее, чем первый, поэтому чаще обладает ельчатостью и содержит включения магнетита, гематита и некоторых других минералов.

е) Кристаллы обладают микрозональностью [15], а зачастую и зональностью, видимой на глаз.

Мусковит этой генерации в промышленном количестве концентрируется в различных жилах и даже в одной и той же жиле в разных местах. Преобладают пегматиты, в которых главная масса мусковита приурочена к участкам пегматоидного сложения, встречаясь, однако, в небольшом количестве и в иных породах. Известны жилы, в которых мусковит расположен в равной мере во всех породах. В некоторых пегматитах этот мусковит находится главным образом в породах сегрегационной структуры, а участки пегматоидного сложения почти или совсем не содержат его. В ряде жил на уровне одних горизонтов мусковит концентрируется преимущественно в участках пегматоидного сложения, а на других — в породах сегрегационной и иных структур. Причины, вызывающие различия в закономерностях концентрации мусковита, были освещены в предыдущих работах [16].

Размер кристаллов изменяется в широких пределах. Наиболее крупные встречаются в участках жил пегматоидного сложения. В некоторых случаях они достигают уникальных размеров. Номерной состав слюды-сырца этой генерации выше, чем мусковита первой генерации. Однако процент выхода колотой слюды из сырца в разных жилах очень непостоянен, так как в некоторых случаях, как указывалось выше, кристаллы деформированы и поэтому обладают ельчатостью, полосовой отдельностью, «задиристостью» при щипке и содержат различного рода включения (особенно разнообразные окислы и гидроокислы железа). Интенсивность такого пострудного видоизменения кристаллов различна в разных слюдоносных районах, в разных жилах одного и того же района, а иногда даже и в различных участках одной жилы. Это и приводит к сильным колебаниям процента выхода качественной колотой слюды из всей массы сырца, извлекаемого из жил.

3. Третья генерация крупнокристаллических слюд включает кристаллы тонколистоватой или дендритовидной формы. Характер распределения их в жилах и в зависимости от этого специфические особен-

ности облика кристаллов и их размеров были обрисованы в примере А. В большей части месторождений мусковита эта генерация слюд представлена биотитом. В тех жилах, в которых имеется и мусковит третьей генерации, практическая ценность его сильно уступает ценности предыдущих двух генераций мусковита.

Для слюд третьей генерации характерен метасоматический способ образования (ими замещаются и полевые шпаты, и кварц). Кристаллы слюды листоваты, реже пластинчатого облика. Они разрастаются главным образом вдоль трещин в породах пегматита и очень слабо вдаются своими формами в глубь пород, вследствие чего приобретают тонколистоватые формы. Разрастание кристаллов преимущественно только вдоль трещин свидетельствует о слабой интенсивности процессов разъедания пород и замещения их слюдою. За вероятность подобного вывода говорит и широкое распространение лейстовидной и дендритовидной форм кристаллов. Эти особенности слюды третьей генерации отличают ее от мусковита второй генерации. План ориентированности кристаллов и распределение их в жилах у слюды третьей генерации иногда бывают такими же, как у мусковита второй генерации, но в большинстве случаев эти закономерности у слюд разных генераций различны.

Тонколистоватые кристаллы мусковита третьей генерации часто сильно деформированы и включают реликты окружающих минералов.

Химические составы мусковитов всех трех генераций не постоянны. Они изменяются у слюды, принадлежащей к определенной генерации даже в одной и той же жиле, в зависимости от местных особенностей среды минералообразования. При этом колебания составов такие, что не всегда позволяют подметить какую-либо ясно выраженную закономерность изменения основного химического состава мусковита от одной генерации к другой. Однако вопрос этот мало изучен и требует большой и систематической аналитической работы. Анализы мусковита, приведенные в литературе, использовать для этой цели трудно, так как во многих случаях они не сопровождаются точным описанием типа исследованной слюды и условий ее залегания в жилах. Пока подмечается только одна постоянная закономерность, охватывающая изменение содержания в мусковитах редких элементов. Мусковиты более поздних генераций содержат больше редких элементов. В некоторых случаях устанавливается также, что в более поздних генерациях возрастает содержание железа и магния.

3. Особенности процессов формирования кристаллов мусковита

Существующие в настоящее время взгляды на генезис крупнокристаллических слюд содержат особенно резкие разногласия в понимании процессов образования так называемого пегматоидного мусковита — мусковита, располагающегося в крупно- и гигантозернистых пегматоидных участках жил.

В предыдущем разделе было показано, что кристаллы мусковита этой генерации (второй генерации по терминологии автора) находятся не только в участках жил пегматоидного сложения, но и во всех других породах, слагающих жилы. Все особенности условий залегания кристаллов, всесторонняя огранка их и наличие в кристаллах реликтов окружающих пород дают возможность сделать вывод о том, что мусковит этот создавался метасоматическим путем в уже твердых, вполне оформленных породах пегматитовых тел.

Если этот вывод справедлив, если кристаллы мусковита действительно разрастались метасоматическим путем в уже твердых породах пегматитовых тел, то неизбежно приходится задаться вопросом —

Ленинградский

каковы же были условия среды в период разрастания кристаллов? Были ли это действительно весьма устойчивые и постоянные условия спокойной кристаллизации, как это представляли себе А. Е. Ферсман и другие исследователи (высказывания их приведены в начале статьи), или среда метасоматической кристаллизации мусковита в период роста кристаллов была изменчива и на нее оказывала влияние тектоническая жизнь твердых пород жилы — пород, никогда, как известно, не находящихся в земной коре в покое сколько-нибудь длительное время?

Для более полного решения этих вопросов было изучено большое количество кристаллов мусковита второй генерации, собранных автором, а часть любезно переданных ему П. П. Боровиковым, А. В. Скропышевым, П. В. Пашовкиным, В. В. Климочкиным, А. И. Заколдаевым и Б. И. Ревновым.

А. Реликтовые включения. Во многих кристаллах мусковита обнаружены включения пород. Состав этих включений был всегда тождественным составу пород, окружающих кристаллы. Если мусковит был извлечен из гранитной массы пегматитовой жилы, то и внутренние включения в слюде оказывались теми же гранитами. В случае нахождения мусковита внутри гигантских кристаллов полевых шпатов включения в слюде состояли из тех же полевых шпатов. При этом ориентированность плоскостей спайности во включениях и в самом окружающем слюду полевом шпате всегда бывала совершенно тождественной. То же явление обнаруживается в случае залегания мусковита внутри кварцевых зон и в пегматоидных участках. Включения в мусковите состоят здесь из кварца, и при специальной проверке обнаруживается, что кварц в них ориентирован так же, как кварц, окружающий со всех сторон кристаллы слюды. Все эти включения на своей поверхности несут отпечатки ступенчатых форм роста мусковита и свидетельствуют о том, что включения действительно являются реликтами тех пород, которые замещались кристаллами мусковита при их разрастании. Фотография кристалла мусковита второй генерации, заключающего реликты окружающих пород, приведена на рис. 15.

Б. Особенности процессов роста кристаллов мусковита. Они легко выявляются путем изучения зональности кристаллов.

Видимая на глаз зональность чаще наблюдается в мусковите коричневой окраски (так называемый рубиновый мусковит). Лучше всего рассматривать ее в пластинках, выбитых по спайности. Пластинка должна иметь толщину 2—3 *мм*, в очень тонких пластинках зональность почти незаметна, пластинки же большей толщины становятся мало прозрачными.

Зональность кристаллов выражается сменой полос с более и менее густой совершенно однородной коричневатой окраской, обрисовывающей правильные шестигранные очертания разраставшихся кристаллов (рис. 16—20).

Толщина однородно окрашенных зон в кристаллах колеблется в широких пределах. Зачастую в одном и том же кристалле имеются зоны в 1 и 25 *мм* шириной. В некоторых кристаллах насчитывается до 150 зон.

Какой-либо закономерности в смене зон различной ширины не обнаруживается. Более широкие зоны имеются и ближе к центру зарождения кристаллов и ближе к их периферии. Границы зон в некоторых случаях не резки, и окраска мусковита изменяется постепенно, хотя и быстро. Наряду с этим некоторые темноокрашенные зоны имеют очень резкие границы с внутренней стороны, и цвет их постепенно бледнеет в сторону периферии кристаллов.

Коричневая окраска мусковита, как известно, вызывается изоморфным замещением алюминия железом; показатель преломления муско-



Рис. 14. Характер индукционной поверхности соприкосновения кварца и мусковита (×) первой генерации. На кварце видны индукционные грани



Рис. 15. Реликты кварца в кристалле мусковита второй генерации

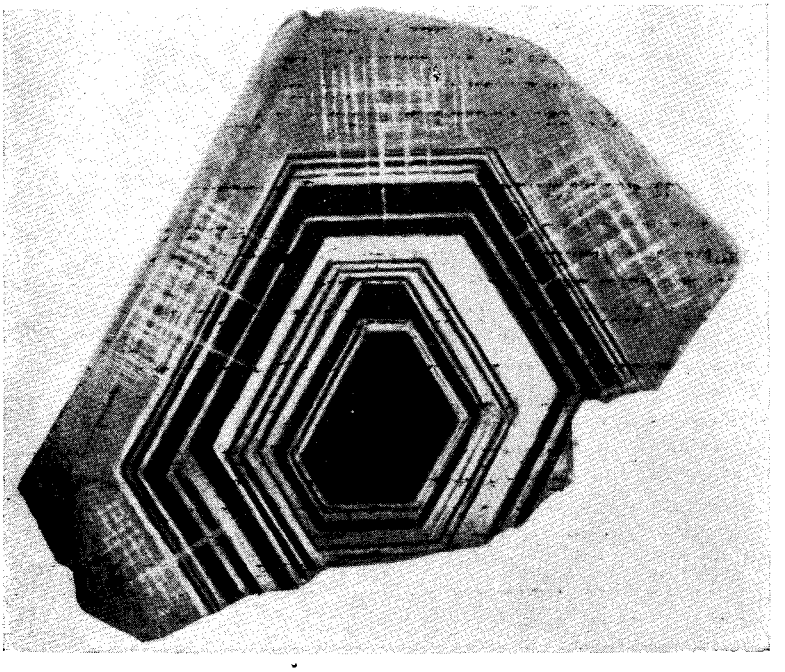


Рис. 16. Зональность в кристалле мусковита второй генерации. Наблюдается многократное изменение скоростей нарастания различных граней. Вершины двугранных углов между гранями перемещались по ломаным линиям. Видно образование рубцов давления, ориентированных по нормалям к граням.
Образец А. И. Заколдаева

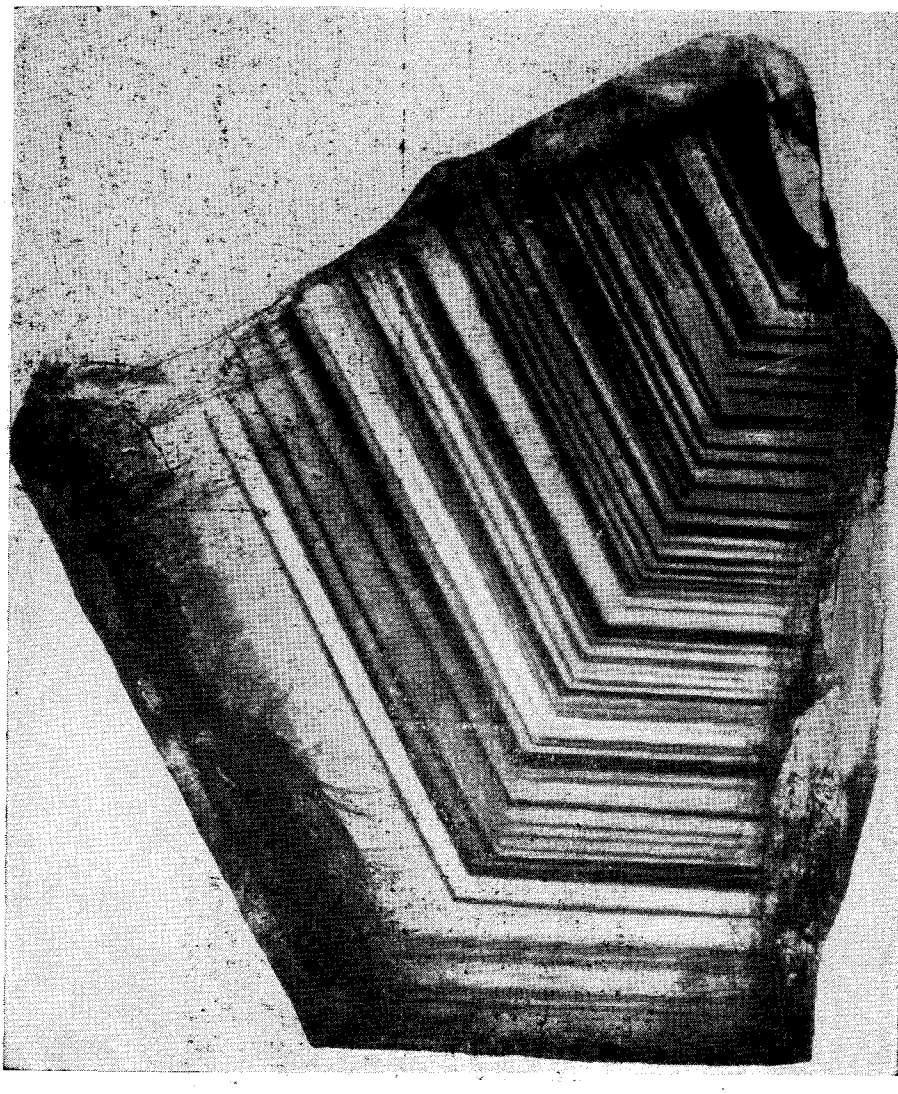


Рис. 17. Часть кристалла мусковита второй генерации ограничена рубцами давления. Обе грани являются гранями призмы. Нарастание граней происходило неравномерно. Вершина двугранного угла между гранями перемещалась по ломаной линии. Образец П. В. Пашовкина

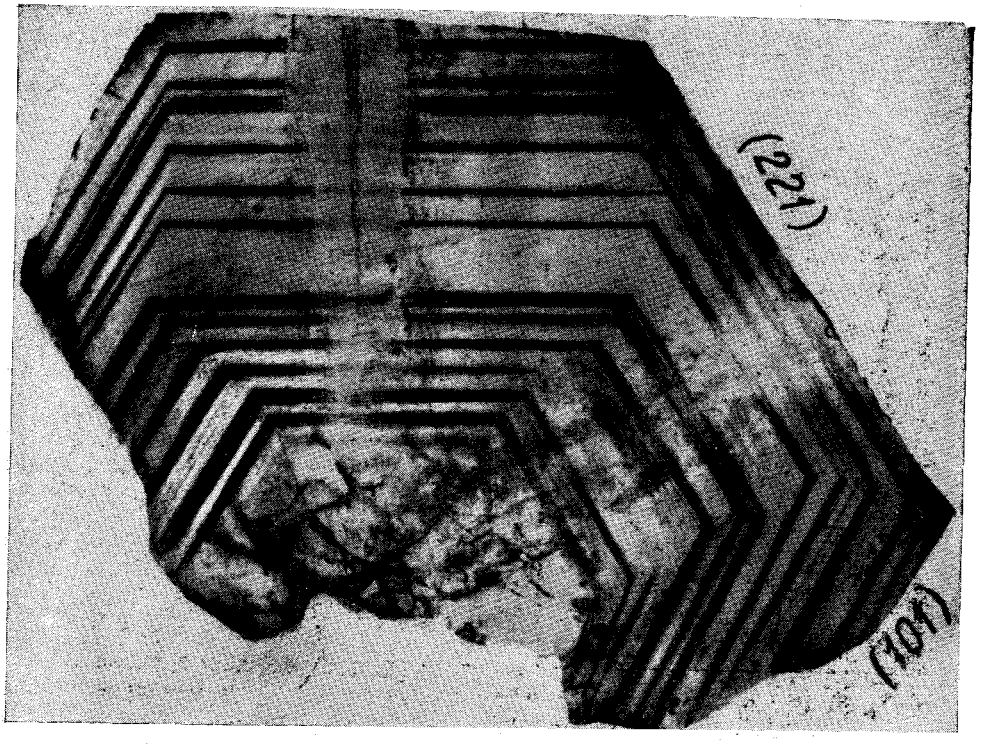


Рис. 18. Зональный кристалл мусковита второй генерации. Наблюдается многократное изменение скоростей нарастания граней, сказавшееся в перемещении вершин двугранных углов по сильно ломаным линиям. Кристалл несколько деформирован. В нем образованы рубцы давления, вдоль которых исчезает зональность и возникают включения окислов железа

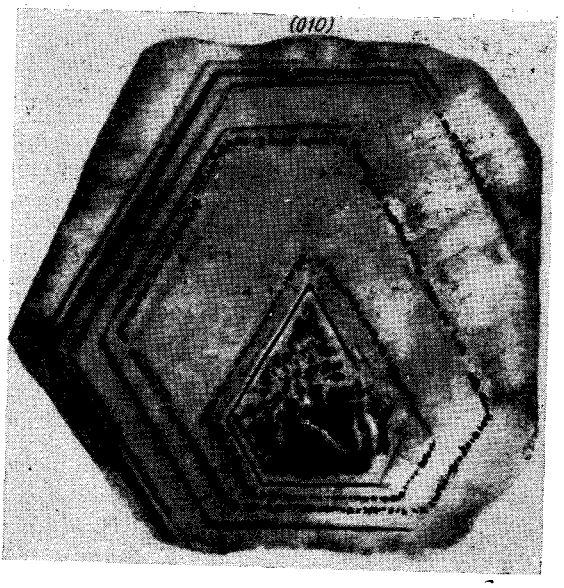


Рис. 19. Зональный кристалл мусковита второй генерации. Видно изменение облика кристалла в разные периоды роста. Имеется несколько зон, обогащенных мелкими первичными включениями магнетита. По разным направлениям кристалл нарастал с сильно различными скоростями. Образец В. В. Климочкина

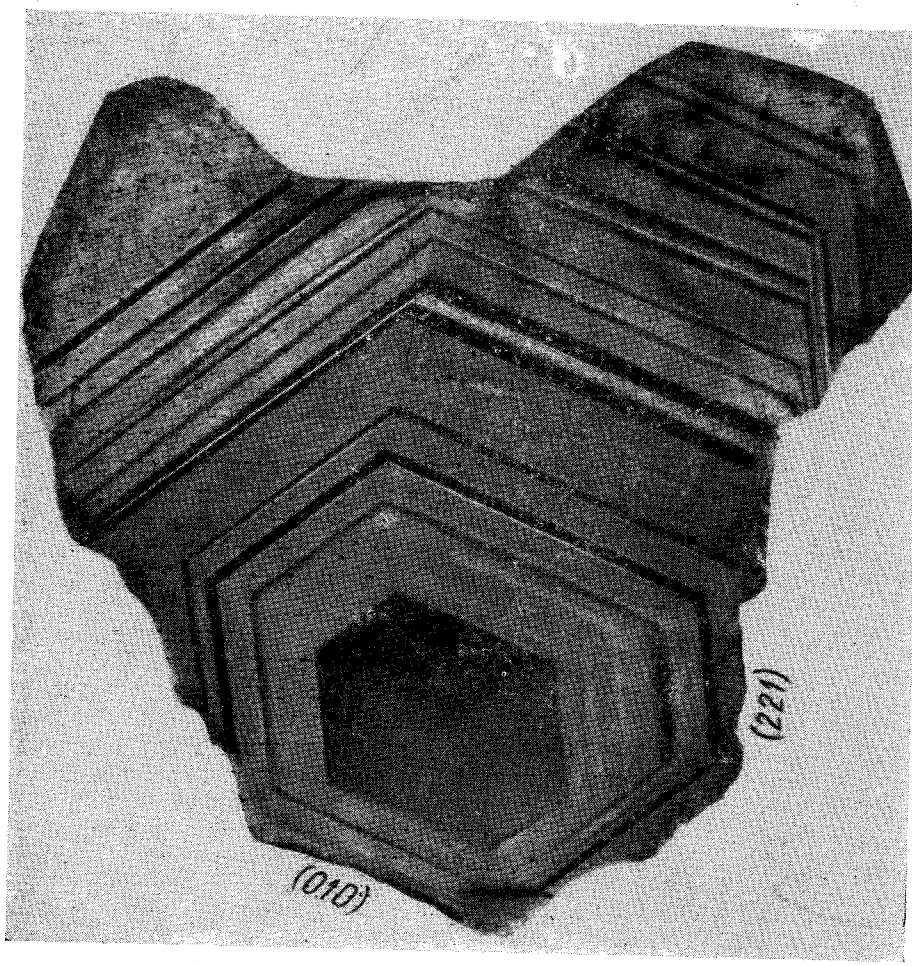


Рис. 20. Зональный кристалл мусковита второй генерации. До известного периода кристалл разрастался во все стороны, затем по нескольким направлениям рост замедлился и кристалл приобрел неправильные внешние очертания

вита возрастает пропорционально его содержанию. В нашем случае показатель преломления мусковита в зонах густоокрашенных всегда несколько выше, чем в светлоокрашенных.

Разъединяя целый кристалл на ряд пластинок и фиксируя характер зонального строения в каждой из них, мы получаем возможность установить по ним распределение зональности во всем объеме кристалла. Примеры, показывающие расположение зональности во всем объеме кристаллов, приведены на рис. 21.

В кристаллах, кроме видимой на глаз зональности [15], имеется чрезвычайно тонкая «микрозональность». Если кристалл вывести из фокуса зрения, поднять над столиком микроскопа и придать ему небольшой наклон, микрозональность обнаружится в виде тончайших ярких световых полосок (рис. 22). Множество этих полосок обнаруживается в каждой из однородно окрашенной на глаз зоне зональных кристаллов. Они появляются и в кристаллах, кажущихся совершенно незональными. Оказалось, что все кристаллы мусковита второй генерации, взятые из самых разнообразных районов, обладают таким более или менее ясно выраженным микрозональным сложением. Появление световых полосок обусловливается определенной неоднородностью кристаллов вдоль этих линий [15].

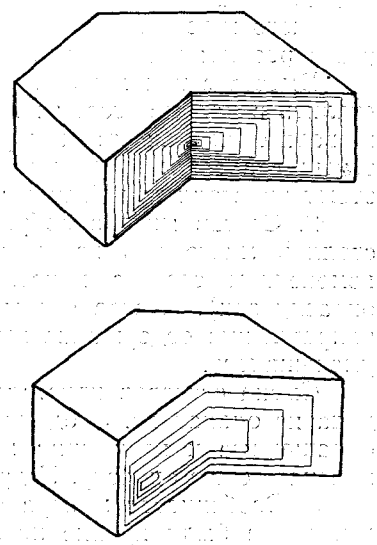


Рис. 21. Схематизированная картина расположения зональности во всем объеме кристаллов

Ширина зонок кристалла между этими световыми полосками колеблется в широких пределах. В одном и том же кристалле она меняется от 2—3 *мм* и более — до сотых долей миллиметра. Зонки различной ширины чередуются в кристаллах незакономерно и независимо от их близости к периферии кристалла или его центру. Отметим лишь, что в области, окружающей самый центр кристалла, микрозональность вообще не улавливается.

Фотография пластинки, выколотой из кристалла, на глаз кажущегося совершенно однородным, но на самом деле являющегося микрозональным, приведена на рис. 23. Под микроскопом на поверхности пластинки были прочерчены иглой некоторые из множества микрозонок, затем они обведены тушью.

Рассматривая особенности зонального и микрозонального строения кристаллов, можно установить ряд характерных черт процессов их образования.

1. Кристаллы от места своего зарождения разрастались во все стороны (рис. 16, 21 и 23). Поэтому отвергается предположение (А. Е. Ферсмана, П. К. Григорьева, В. П. Петрова и др.) о том, что эти кристаллы мусковита в пегматоидных участках жил кристаллизовались из богатого кремнеземом расплава на уже затвердевших, сложенных полевыми шпатами, боковых частях пегматитов. Если бы это предположение было справедливо, рисунок зональности в кристаллах передавал бы их односторонний рост от полевых шпатов в глубь кварцевых пород.

Всестороннее нарастание кристаллов возможно, как известно, в различных по физическому состоянию средах: в свободно взвешенном

состоянии в подвижной среде или метасоматическим путем внутри твердых веществ. Кристаллы мусковита, как мы видели, зачастую располагаются цепочками друг за другом и цепочки переходят из одной структурной зоны пегматита в другую. Кристаллы слюды содержат реликты окружающих пород. Эти особенности кристаллов свидетельствуют о метасоматическом способе их всестороннего разрастания. О том же говорит характер зональности кристаллов мусковита, расположенных почти рядом друг с другом, но обладающих совершенно различными рисунками зональности. В одних кристаллах имеется много зон, в других — лишь несколько Порядок смены зон, обладающих большей или меньшей шириной, в разных кристаллах совершенно различен. Каким же образом из одного и того же расплава могли возникнуть рядом кристаллы, столь резко различающиеся по характеру зональности?

Вместе с тем мы обнаруживаем, что кристаллы очень часто разрастались в разные стороны не в равной мере. Иногда вначале они наращивали свои грани равномерно со всех сторон, а затем нарастание некоторых граней замедлялось, а других — продолжалось попрежнему, поэтому кристалл приобретал неправильную внешнюю форму (рис. 20, 23).

2. Состав минералообразующей среды в период разрастания кристаллов много раз изменялся. Это подтверждается соответствующим изменением состава кристаллов в его различных зонах (разные тона окраски зон). Состав среды изменялся не постепенно и односторонне направленно: содержание железа много раз то увеличивалось, то снова уменьшалось.

Смена составов кристаллов в различные периоды их роста происходила не одинаково. У одних зон внутренние границы резки, а границы, обращенные к периферии кристаллов, расплывчаты и зона постепенно изменяет свою окраску. У других зон наблюдается обратная картина.

3. Особенности минералообразующей среды, режим кристаллизации мусковита были крайне непостоянными. Об этом свидетельствуют следующие данные:

1) В кристаллах встречаются отдельные зонки, обогащенные первичными включениями: а) зоны с мельчайшими зернышками магнетита (рис. 24); б) зональное включение реликтов полностью не замещенных пород, окружающих кристалл (рис. 25). Первое свидетельствует о временном резком повышении концентрации железа в минералообразующей среде, вызвавшем выпадение свободных окислов железа. Второе указывает о таком же резком временном снижении метасоматирующей способности растущего кристалла мусковита, не заместившего полностью кварц в этот период своего роста.

2) Грани всех кристаллов и каждого в отдельности нарастали в различные периоды с изменяющимися скоростями. Более быстрый рост наблюдался то у одних, то у других граней. Эта особенность роста хорошо видна на приведенных рисунках зональных и микрозональных кристаллов и легко обнаруживается путем прослеживания перемещения вершин двугранных углов. Они перемещаются всегда не по прямым, что отвечает равномерному нарастанию граней, а по сильно изломанным линиям с резким изменением направления перемещения. Особенно большие колебания в соотношении скоростей нарастания наблюдаются у граней, принадлежащих различным формам (рис. 16, 18, 19). Такое же резкое колебание в соотношениях скоростей нарастания у разных граней одного и того же кристалла обнаруживается и по явлению микрозональности (рис. 22).

4. В некоторых случаях кристаллы в период своего роста подвергались столь сильным тектоническим усилиям, что срединная часть их ока-

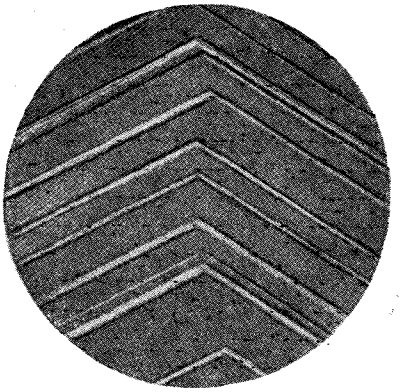


Рис. 22. Микрозональность в однородном на глаз кристалле мусковита второй генерации. Вершина двугранного угла перемещалась в течение роста кристалла по ломаной линии. Следовательно, соотношение скорости нарастания двух граней много раз изменялось. × 20

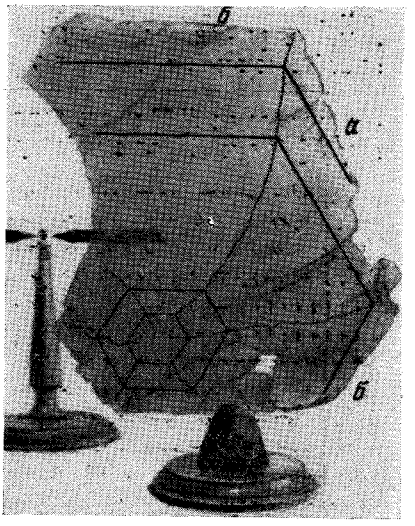


Рис. 23. Кристалл мусковита второй генерации не обладает видимой на глаз зональностью. Путем выявления микрозональности на кристалл нанесены пунктиром линии перемещения вершин двугранных углов, а сплошными тушевыми линиями прочерчено несколько из бесчисленного множества микрозон: *а* — грань (*010*); *б* — грань (*221*). Кристалл разрастался вначале во все стороны, затем по некоторым направлениям рост сильно замедлился

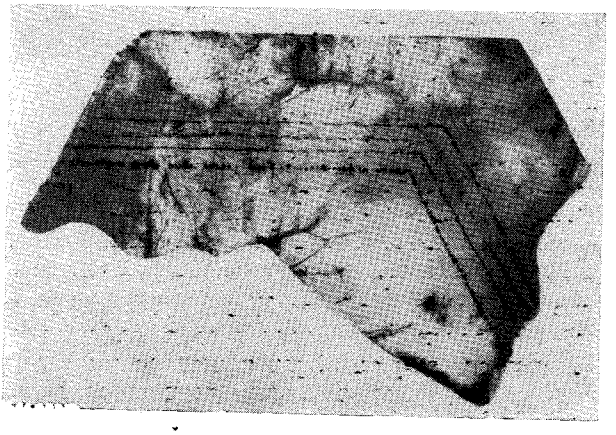
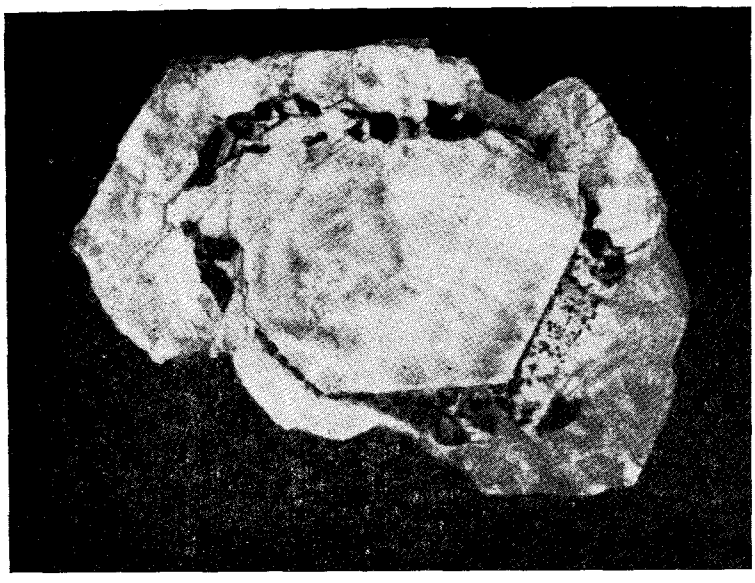


Рис. 24. Первичные включения магнетита в кристалле мусковита второй генерации

а



б

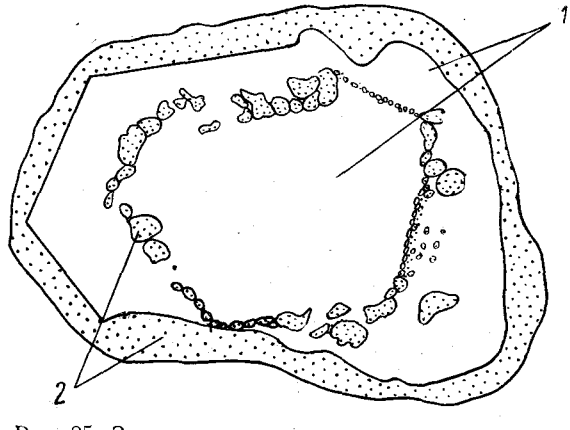


Рис. 25. Зональное расположение реликтов кварца в кристалле мусковита второй генерации:
а — фотография; *б* — зарисовка; *1* — мусковит, *2* — кварц

залась размятой, обогащенной различными включениями, проникавшими в слюду по рубцам давления, а периферическая их зона, наросшая после проявления тектонических усилий, совершенно однородна (рис. 26 и 27).

Таким образом, особенности внутреннего строения кристаллов мусковита второй генерации наглядно свидетельствуют о том, что условия кристаллизации слюды были в действительности далекими от тех, какими представлялись они А. Е. Ферсману. Минералообразующая среда была изменчива, кристаллы зачастую росли в неспокойной тектонической обстановке, происходила многократная пульсация растворов, состав которых с течением времени много раз изменялся. Эти изменения в условиях минералообразующей среды являются понятным следствием того, что твердые породы пегматитовых тел, в которых метасоматическим путем разрастались кристаллы мусковита, должны были, естественно, очень чутко реагировать на возникавшие тектонические напряжения. Тектоническими напряжениями обусловливалась и пульсация минералообразующего раствора [13, 15, 16]. Наличие в кристаллах множества зон и микрозонок свидетельствует о многократности возникновения этих напряжений.

Однако известно, что в целом ряде месторождений имеются крупные кристаллы мусковита с зональным строением, но без ясно заметных следов деформации. На первый взгляд это обстоятельство противоречит нашим выводам об условиях кристаллизации слюды. Возникает естественный вопрос, каким же образом в неспокойной обстановке метасоматического роста кристаллов они не приобрели ясных следов деформации? Но этого кажущегося противоречия в действительности нет.

Сохранность кристаллов мусковита в период их роста в таких случаях обусловливается только тем, что слюда, как известно, обладает высокой гибкостью. Вследствие этого сравнительно слабые тектонические напряжения, много раз возникавшие в жилах, будучи достаточными для того, чтобы вызвать растрескивание очень хрупких полевых шпатов и кварца, вмещающих слюду, и пульсацию через них растворов, не сказывались еще заметно на гибких кристаллах мусковита. И только уже более интенсивные напряжения, сопровождающиеся некоторым перемещением отдельных глыб в жилах, вызывали деформацию и самой слюды. В связи с этим напомним широко распространенные явления, подтверждающие наши соображения. Хорошие, вполне сохранные кристаллы мусковита зачастую располагаются в сильно деформированном кварце. Кварц этот обладает облачным погасанием, местами в нем наблюдается даже грануляция и он бывает разбит густой сетью сильно замутненных полос. В этих случаях мы наглядно убеждаемся в том, что тектонические напряжения, сильно размявшие кварц, не сказались заметно на кристаллах мусковита.

Охарактеризованные особенности процессов образования мусковита противоречат предположениям К. А. Власова, считающего, что кристаллы мусковита возникают в результате воздействия остаточного богатого кремнеземом расплава (который, по мысли К. А. Власова, в конце процесса кристаллизации пегматитового расплава застывает в виде кварцевых гнезд и зон) на уже твердые окружающие части жил. Мы видели, что мусковит метасоматически разрастается в уже твердых кварцевых гнездах и зонах. Кристаллы слюды мы находим в любых частях жил, в том числе иногда и в самом низу их, при выклинивании. Где же располагался этот остаточный расплав К. А. Власова, если в любом месте жилы мусковит образовывался в уже твердых породах жил, в том числе и во всех гнездах и зонах мономинерального кварца и пегматоида?

Приходится сделать вывод о том, что растворы, вызывавшие возникновение мусковита, проникали в уже вполне твердую массу жил извне. Это были пульсирующие постмагматические растворы, поднимающиеся с глубин. Лишнее доказательство справедливости такого предположения мы видим в том, что в мусковите спектральным анализом всегда обнаруживается присутствие таких редких элементов, которых совсем нет в кварцево-полевошпатовых породах жил. Следовательно, эти элементы являются вновь привнесенными постмагматическими растворами. Кроме того, известны находки крупных кристаллов мусковита прямо в гнейсах на путях подхода этих растворов к пегматитовым телам.

После своего образования в дальнейшем ходе процесса формирования пегматитовых тел кристаллы мусковита подвергались различного рода изменениям, зачастую приводящим к снижению технических качеств слюды, возникновению в них дефектов.

4. Причины возникновения дефектов в кристаллах мусковита

Характеристике дефектов, встречающихся в кристаллах мусковита и снижающих техническую ценность слюды, посвящено, как известно, много работ. Хорошая и полная сводка знаний в этой области произведена недавно Е. К. Лашевым [11]. Однако в понимании процессов возникновения дефектов до сих пор существуют некоторые неточности.

Достоверное выяснение причин, вызывающих наличие дефектов, важно в практическом отношении. Если причины известны, то можно установить и конкретные условия возникновения дефектов слюды и, следовательно, установить соответствующие поисковые признаки мусковита, лишенного этих дефектов.

Одним из примеров отрицательного влияния на выявление поисковых признаков ошибочных представлений о причинах возникновения дефектов слюды может служить недавнее высказывание Н. М. Успенского об образовании в кристаллах мусковита поперечной отдельности, сильно портящей качество слюды. По мысли Н. М. Успенского,[1] она возникает в кристаллах в период их образования, вследствие того, что мусковит, замещая полевые шпаты, наследует их спайность. Эту отдельность Н. М. Успенский называет «псевдоспайностью» и отвергает возможность образования ее под влиянием тектонических причин. На самом же деле эта отдельность, как будет показано ниже, всегда является следствием пострудной деформации кристаллов слюды.

Своим представлением Н. М. Успенский дезориентирует практических работников, отвлекая их от необходимости тщательного анализа и учета воздействия пострудных тектонических напряжений на жилу в целом, ее отдельные участки и кристаллы мусковита, в них находящиеся.

Выяснив условия образования кристаллов мусковита, теперь легче определить и причины, порождающие возникновение в них дефектов.

Все наиболее распространенные дефекты кристаллов мусковита, как мы полагаем, могут быть отнесены к следующим нескольким группам.

1. Дефекты, возникающие в период роста кристаллов.

1) Реликтовые включения кварца, полевых шпатов или разнообразных кварцево-полевошпатовых пород, окружающих кристаллы слюды. Они были охарактеризованы выше. Форма их разнообразна:

[1] Успенский Н. М., О псевдоспайности слюды, Записки Всесоюзного минералогического общества, 1950, № 4.



Рис. 26. Зональный кристалл мусковита второй генерации. Срединная часть кристалла несколько деформирована и в полостях нарушения однородности расположены обильные мелкие включения окислов железа. Наросшая затем периферическая зона однородна

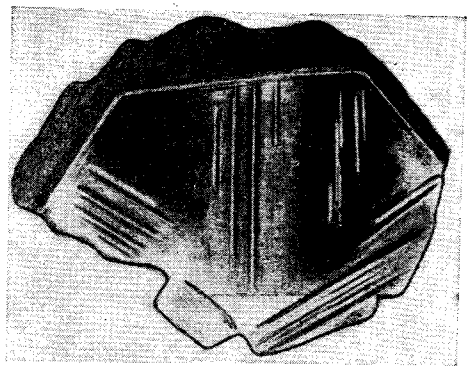


Рис. 27. Зональный кристалл мусковита второй генерации. Срединная часть кристалла деформирована и вдоль рубцов давления мусковит приобрел неоднородную окраску. Наросшая затем периферическая зона однородна

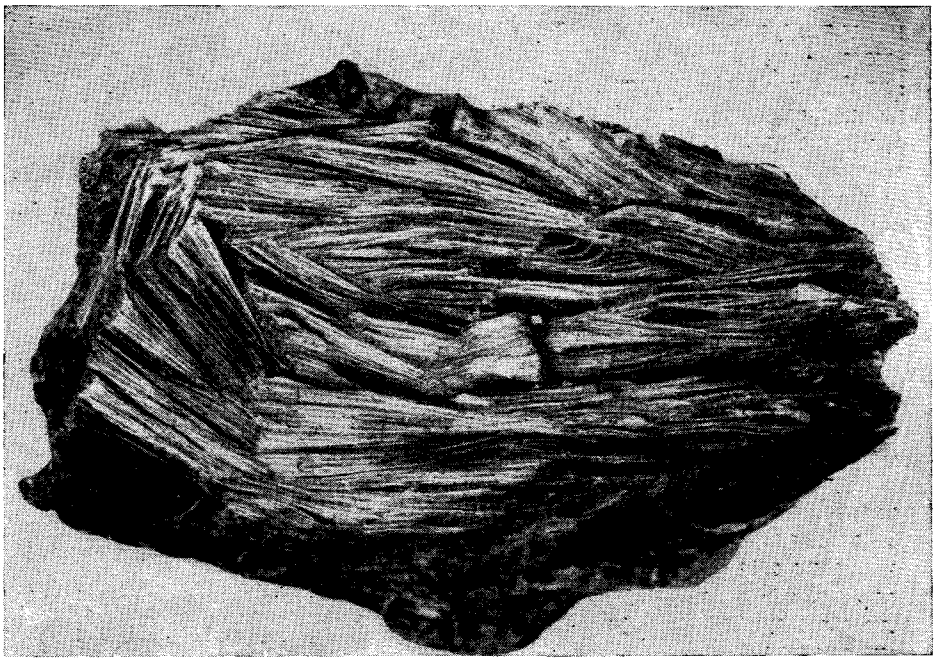


Рис. 28. Неправильное срастание нескольких кристаллов мусковита второй генерации

встречаются включения изометрической формы и наряду с этим широко распространены очень своеобразные тонкопластинчатые реликты, расположенные параллельно плоскостям спайности слюды.

2) Первичные мелкие и мельчайшие включения магнетита, расположенные в зонах нарастания кристаллов мусковита. Встречаются редко.

3) Задиристость при щипке кристаллов, обусловленная в некоторых случаях совместной кристаллизацией многих или нескольких кристаллов мусковита, находящихся в сложном взаимном срастании (рис. 28).

2. Дефекты, образующиеся в результате пострудной деформации кристаллов.

1) Закономерно ориентированная деформация кристаллов в связи с особенностями кристаллической структуры мусковита. Дефекты этой группы распространены очень широко. Встречается два типа таких дефектов. Первый тип отличается наличием в кристаллах системы прямолинейных трещин, плоскости которых расположены почти перпендикулярно к безопинакоиду. Из-за этого кристаллы распадаются иногда на множество отдельных брусков или полос. Это явление называют также «ленточной» или «полосовой» отдельностью в кристаллах и «псевдоспайностью». Полосовая отдельность ориентирована параллельно фигурам давления и удара, тем прямолинейным трещинам, которые возникают в пластинках мусковита, если по ним давить или ударять заостренным твердым предметом. При этом трещины образуются по определенным направлениям по нормалям ко второму пинакоиду и граням призмы или параллельно им. Это давно подмеченное явление до сих пор не находило себе строгого объяснения и исследователи ограничивались лишь ссылками общего характера на особенности структуры слюды. Какими именно особенностями? Почему, например, трещины фигуры удара, ориентированные параллельно второму пинакоиду, всегда возникают легче, чем по двум другим направлениям и бывают длиннее? Быть может, именно вследствие такой общности и неконкретности понимания причин этого явления у исследователей до сих пор еще нет и согласованного названия этой трещиноватости мусковита. Некоторые характеризуют ее как отдельность, иные как явление скольжения или проявления свойств спайности, а Н. М. Успенский, как уже говорилось, считает даже, что «...она не является результатом внутренних свойств кристаллов слюды», а наследуется от замещенных слюдою полевых шпатов.

Действительная причина возникновения в мусковите закономерно ориентированной трещиноватости легко обнаруживается путем анализа особенностей строения кристаллической структуры мусковита в плоскости безопинакоида. На рис. 29*а* приведена проекция на плоскость третьего пинакоида одного пакета общей слоистой структуры мусковита, построенная по направлению оси *с*. Проекция составлена по данным рентгенометрических исследований Джексона [18] с учетом моделей Н. В. Белова [1—3]. На ней отчетливо видно, что плоские сетки, ориентированные по трем определенным направлениям параллельно двум граням призмы и второго пинакоида, чередуются друг с другом не с одинаковыми интервалами. Они расположены пачками, состоящими из нескольких тесно сближенных сеток, разделенными через определенные периоды значительными промежутками. Силы связи между сетками в этих промежутках из-за удаленности их друг от друга должны быть слабее, чем внутри пачек тесно сближенных сеток. Поэтому в этих местах ослабленных связей и должна раскалываться слюда при ударах.

Направления таких расколов слюды на проекции показаны стрелками. Эти направления вполне соответствуют ориентированности трещин фигуры удара и одного из видов полосовой отдельности в природных кристаллах мусковита.

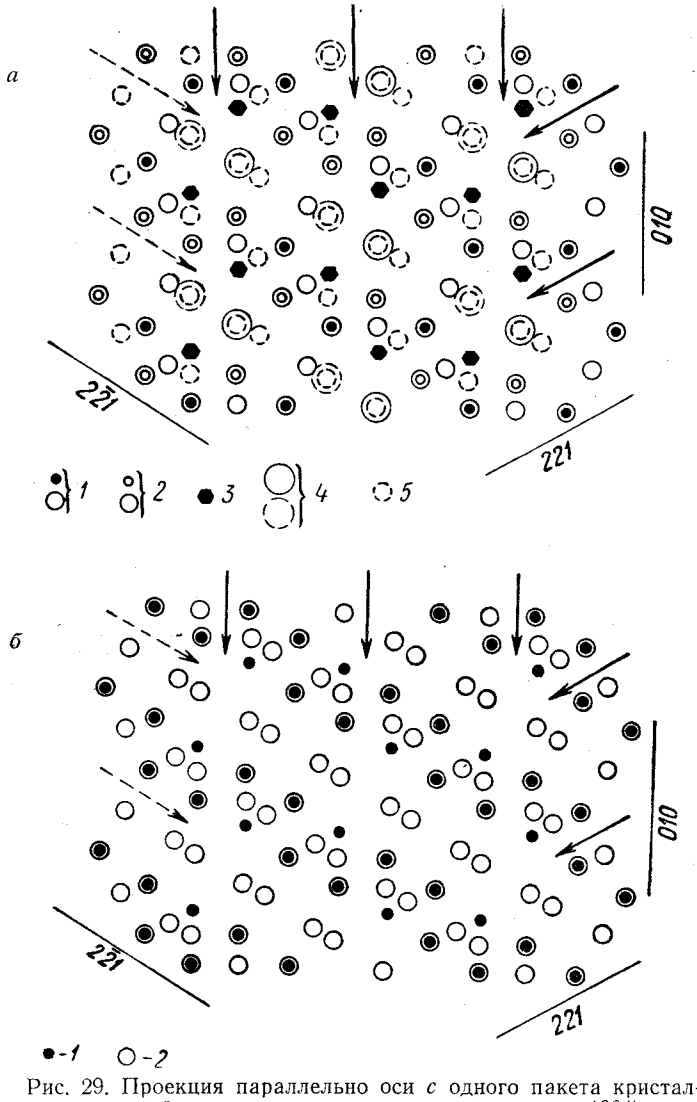


Рис. 29. Проекция параллельно оси *c* одного пакета кристаллической структуры мусковита на плоскость (*001*):

а: *1* — кремний и кислород верхнего слоя кремнекислородных тетраедров; *2* — кремний и кислород нижнего слоя кремнекислородных тетраедров; *3* — алюминий; *4* — калий верхнего и нижнего слоев; *5* — гидроксил
б: *1* — ионы положительного заряда; *2* — отрицательно заряженные ионы

Почему раскол кристаллов по направлениям, параллельным грани (*010*), происходит легче, чем по граням призмы, объясняет рис. 29*б*, где приведена та же проекция, что и на рис. 29*а*, но показаны знаки зарядов ионов.

Как видно, в широких промежутках между пачками плоских сеток, расположенных параллельно (*010*) и одной из граней призмы (*221*), с обеих сторон имеются сетки, укомплектованные примерно в равных

количествах положительно и отрицательно заряженными ионами. Поэтому удаленность их друг от друга в этих промежутках должна очень заметно сказываться на ослаблении силы связи между ними. В широких же промежутках между плоскими сетками, параллельными другой грани призмы (показаны пунктирными стрелками), расположены сетки, составленные с одной стороны почти целиком только анионами, а с другой — с преобладанием ионов положительного заряда. Вследствие наличия здесь такой резкой полярности сеток, несмотря на удаленность их друг от друга, сила связи между ними будет прочна. В силу этих причин в том пакете, проекция которого изображена на рис. 29*б*, из трех возможных направлений спайности в действительности имеются лишь два, показанных сплошными стрелками.

В следующем нижележащем пакете характер плоских сеток в широких промежутках, параллельных грани (*010*), сохраняется тот же. Следовательно, по этим направлениям и в этом пакете будет иметься спайность. Характер же плоских сеток в промежутках, параллельных граням призмы, изменяется. В этом пакете резко полярные сетки располагаются по тем направлениям, по которым в первом пакете были ориентированы неполярные сетки. А неполярные сетки второго пакета оказываются параллельными полярным сеткам первого пакета.

В еще ниже расположенном пакете свойства спайности будут тождественны первому пакету. Иначе говоря, свойства спайности по плоскостям, параллельным грани (*010*), присущи каждому пакету, а по плоскостям, параллельным каждой из двух граней призмы, свойства спайности чередуются через один пакет, перемежаясь с пакетами, в которых по одной из граней призмы спайность отсутствует. Поэтому спайность по (*010*) и проявляется гораздо лучше, чем по призме. Схема расположения плоскостей спайности в последовательной серии пакетов изображена на рис. 30.

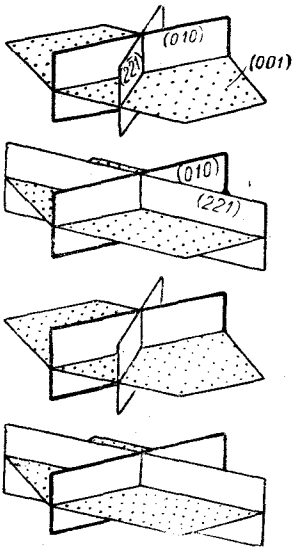


Рис. 30. Ориентированность плоскостей спайности в чередующихся пакетах общей кристаллической структуры мусковита. Плоскости спайности, параллельные грани (*010*), имеются в каждом пакете. Спайность же по плоскостям, параллельным каждой из граней призмы, имеется лишь через один пакет

Таким образом, возникновение в слюде трещин фигуры удара и закономерно ориентированной «полосовой отдельности» в природных кристаллах является следствием проявления свойств спайности мусковита по трем определенным направлениям.

Известно, что раскалывание кристаллов любых веществ по плоскостям спайности происходит всегда только под влиянием определенных усилий, приложенных к кристаллам, т. е. при их некоторой деформации. Поэтому и возникновение в кристаллах мусковита «полосовой отдельности» является результатом определенной пострудной деформации. Интенсивность такой деформации у различных кристаллов, расположенных в одной и той же жиле, может быть и бывает в действительности различной. В одних случаях она проявляется сильнее, в других — еле заметно, а может и совсем отсутствовать.

Второй тип дефектов отличается наличием в кристаллах системы закономерно ориентированных параллельных прямолинейных рубцов

и мельчайших флексурообразных изгибов, часто переходящих в прямолинейные трещины. Иногда в одном кристалле имеются рубцы, расположенные по двум и трем направлениям. В этих случаях возникает своеобразный ельчатый рисунок рубцов, которые всегда оказываются расположенными по нормалям к грани (*010*) и граням призмы. По своей форме и ориентировке они вполне тождественны фигурам давления, возникающим в слюде, если на пластинки ее надавить округленным твердым предметом. Характер этих рубцов в природных кристаллах мусковита хорошо виден на рис. 17, 18, 27 и 31.

Возникновение рубцов давления, как известно [11], вызвано явлениями скольжения в кристаллах мусковита по определенным направлениям. Наличие рубцов давления часто приводит к тому, что в этих местах кристаллы плохо расщепляются, в них обнаруживается «задиристость» при расколке слюды.

Появление этих двух типов дефектов обусловливается главным образом влиянием пострудной тектоники. Только в редких случаях они возникают, как говорилось ранее, в период роста кристаллов и вызываются также тектоническими напряжениями.

2) Незакономерно ориентированная деформация кристаллов. Кристаллы слюды бывают изогнуты, в них возникают беспорядочно ориентированные складочки или образуются местные отслоения по плоскостям спайности. Размеры таких деформированных участков иногда бывают очень малыми. Эти дефекты приводят к общей неровности спайных пластинок слюды, а иногда и к явлению «задиристости» при щипке.

3. Дефекты кристаллов мусковита, возникающие в результате их пострудной деформации и последующего видоизменения вещества слюды вдоль любого нарушения сплошности. Эта группа дефектов распространена также очень широко. Нарушение первичной однородности кристаллов происходит прежде всего по направлениям рубцов давления и удара. Кроме того, при деформации кристаллов реализуется та неоднородность их строения, которая вызывается наличием в них тончайших пленок посторонних веществ, обусловливающих микрозональность кристаллов [15]. В результате всего этого в кристаллах образуется закономерно ориентированная сеть перекрещивающихся полос нарушения их сплошности. Полосы бывают очень грубы и протягиваются без перерыва на значительную длину. Иногда же они проявлены слабо, почти незаметно на-глаз, и имеют малое протяжение. Известное распространение, как указывалось, имеют и незакономерно ориентированные нарушения сплошности кристаллов.

В местах этих нарушений сплошности внутри кристаллов и создаются условия, благоприятные для процессов видоизменения слюды. Течению процессов способствуют вещества, проникающие сюда и из окружающей кристаллы среды (H_2O, O_2 и др.). Форма видоизмененных участков мусковита и образованных здесь включений определяется в значительной степени характером нарушений сплошности кристаллов слюды.

Наиболее широко распространены следующие типы этих дефектов.

1) Наличие в мусковите сети листоватых включений магнетита, гематита и гидроокислов железа. В противоположность широко распространенному мнению полагаем, что во многих случаях они образуются, повидимому, без заметного привноса в эти места новых порций окислов железа из окружающей кристаллы среды. Главная масса окислов железа обособляется здесь на месте, внутри кристаллов слюды, освобождаясь из состава самого мусковита. Это происходит частично в результате перехода некоторых количеств двухвалентного железа, содержащегося

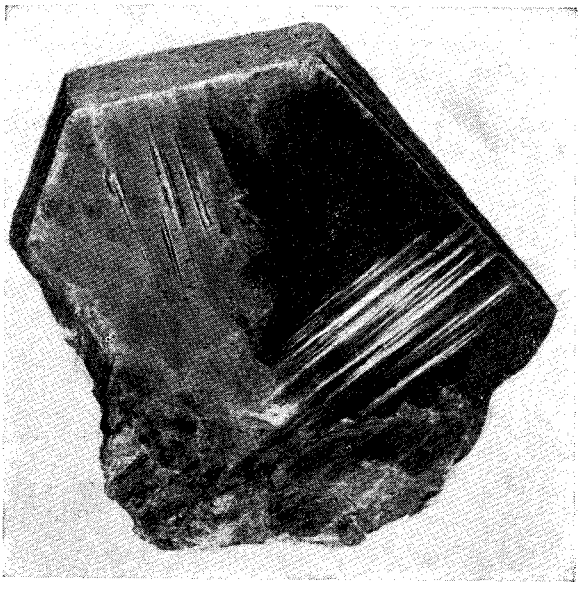


Рис. 31. Деформированный кристалл мусковита. Возникли закономерно ориентированные рубцы давления

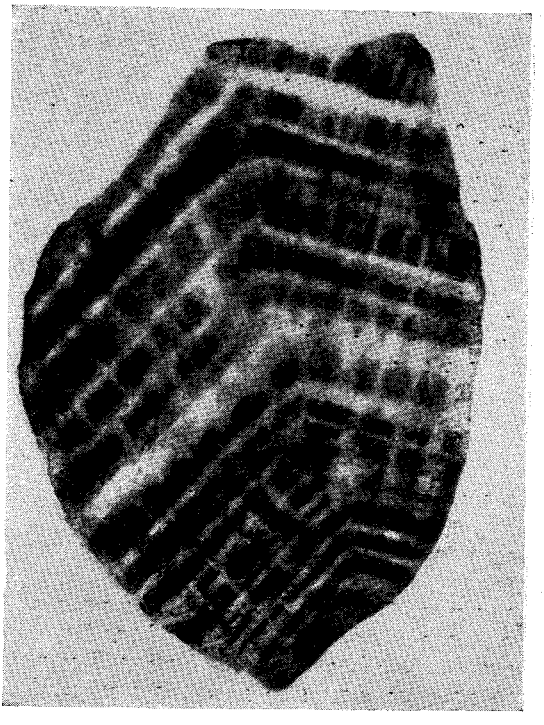


Рис. 32. Слепка деформированный зональный кристалл мусковита. В нем возникло много слабо проявленных закономерно ориентированных рубцов давления. Вдоль нарушений однородности кристалла происходит изменение окраски слюды. Мусковит приобретает пятнистую окраску

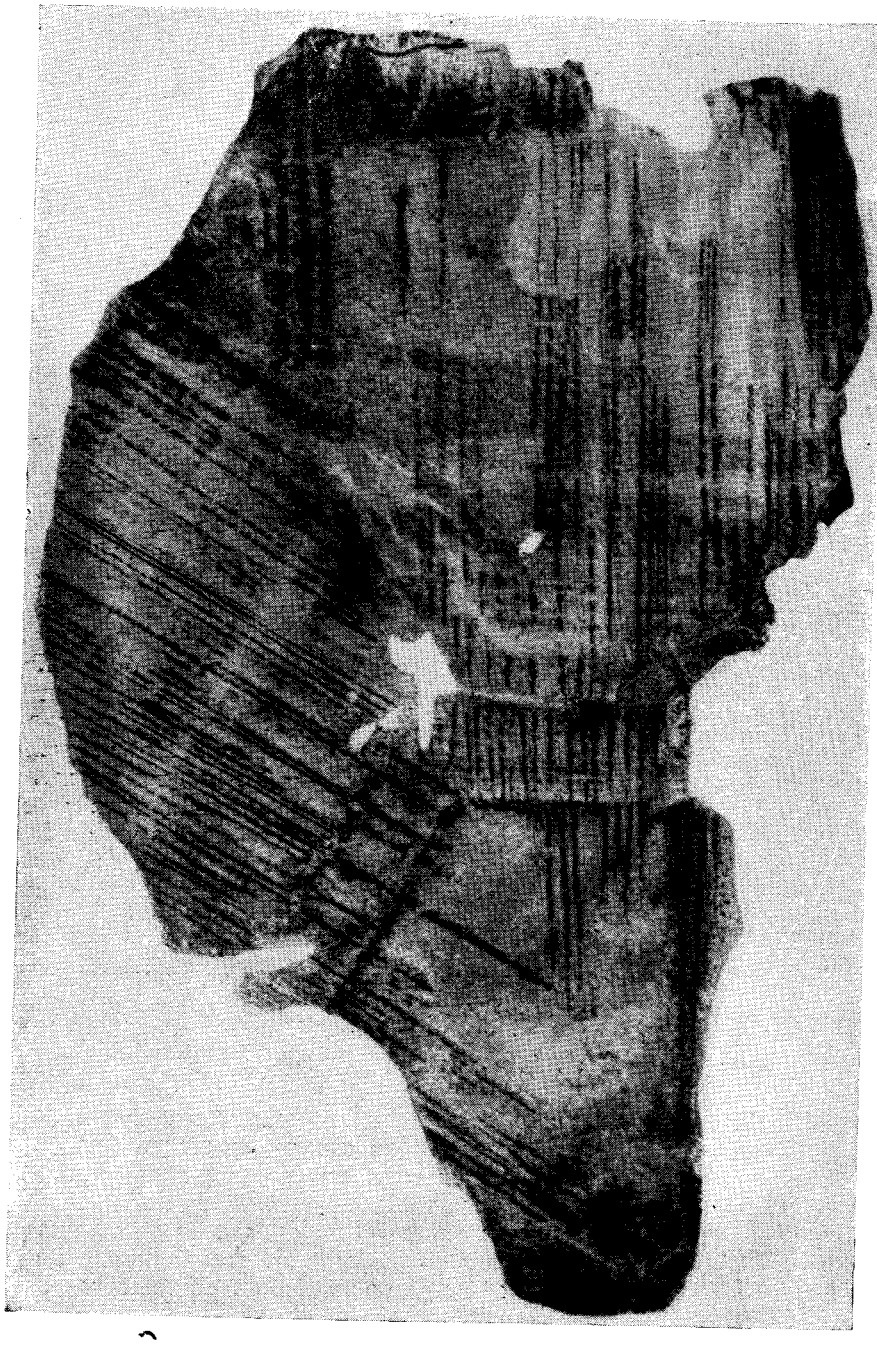


Рис. 33. Слегка деформированный кристалл мусковита. Вдоль нарушений сплошности кристалла, ориентированных по рубцам давления и микрозонам, происходит видоизменение слюды. Она в этих местах обесцвечивается, и здесь образуются мельчайшие включения окислов железа

в мусковите, в трехвалентное. При таком переходе часть железа оказывается избыточной (по условию компенсации электровалентных связей в слюде), и оно обособляется в виде свободных окислов.

Возможно и другое объяснение этого явления. Известно, что мусковит принадлежит к типу диоктаэдрических слюд, в кристаллической структуре которых из каждых трех октаэдрических пустот ионами алюминия (и изоморфно замещающего его железа) занято только две. Однако наряду с этим основным мотивом в структуре мусковита имеется в небольшой мере и триоктаэдрический мотив (в котором все три октаэдрические пустоты заняты ионами (Al, Fe$^{\cdot\cdot}$, Fe$^{\cdot\cdot}$ Mg).[1] В зонах нарушения сплошности мусковита при благоприятных условиях происходит видоизменение структуры слюды, сопровождающееся сокращением триоктаэдрического мотива и освобождением в результате этого свободных окислов железа.

Образование включений окислов железа в мусковите часто сопровождается обесцвечиванием слюды в этих участках. Это явление также подтверждает предположение о том, что основная масса окислов возникает путем освобождения из состава самой слюды.

Процесс последовательного освобождения окислов железа внутри кристаллов мусковита иллюстрируется рис. 32—34.

Форма этих включений бывает разнообразной. Преобладают дендритовидные образования, широко распространены также одиночные пластинки и листочки. Все они всегда резко уплощены параллельно плоскостям (*001*) мусковита.

Особо отметим, что включения окислов железа оказываются иногда расположенными по сети линий. Одно направление этих линий совпадает с зонами нарастания кристалла мусковита (рубцы фигуры удара и нарушения сплошности слюды параллельно микрозонам). Другая система линий появляется как бы в результате движения нарастающих граней: на самом же деле она располагается вдоль рубцов давления (рис. 33 и 34). На первый взгляд в таких случаях может сложиться впечатление, что эти включения являются первичными, так как удовлетворяют принятым на этот счет в литературе признакам (Г. Г. Лемлейн, Н. П. Ермаков, Д. П. Григорьев). Однако на самом деле они являются вторичными. Подобные совпадения полостей нарушения сплошности кристаллов и образования в них включений с элементами роста кристаллов целесообразно именовать мнимо-первичными включениями и считать это понятие дополнением к уже существующим и охватывающим другие виды включений в минералах [7, 8].

В нашем случае истинно-первичные включения от мнимо-первичных легко отличаются еще и по своей форме. Первичные включения магнетита всегда имеют более или менее изометрическую форму, вторичные — резко уплощенную, почти листоватую и всегда подчиненную тонким полостям отслаивания мусковита по (*001*).

Очень часто включения окислов железа наблюдаются в виде сетки перекрещивающихся полос (рис. 35). Такое расположение включений обусловливается наличием в слюде соответствующей сетки полостей нарушения сплошности кристаллов мусковита. Сетка включений всегда бывает ориентирована закономерно и строго параллельно рубцам фигур давления и удара.

Наряду с описанными, включения окислов железа в мусковите возникают также за счет привноса вещества из окружающей кристаллы

[1] Чем, повидимому, и обусловливается наличие, правда, достаточно ограниченного изоморфного ряда между мусковитом и биотитом.

среды. Можно наблюдать, что по периферии кристаллы мусковита бывают разбиты разнообразными нарушениями сплошности и вдоль них иногда располагаются обильные включения гематита и особенно гидроокислов железа.

2) Наличие в мусковите пятнистой окраски зачастую в форме закономерно ориентированной сетки светлых или замутненных полосок.

Процессы возникновения этих дефектов аналогичны только что охарактеризованным, о чем мы уже имели случай писать [15]. Напомним, что иногда эти дефекты образуются и в период роста кристаллов мусковита.

4. Дефекты кристаллов мусковита, возникающие вследствие наличия внутри кристаллов других разнообразных минералов, образованных метасоматическим путем. Такими минералами бывают гранат, апатит, турмалин, силлиманит, биотит и некоторые другие. Кристаллы этих минералов чаще ориентированы своим удлинением параллельно плоскостям спайности слюды и почти всегда сильно уплощены в этих плоскостях. Они встречаются в виде одиночных кристаллов и в форме радиально-лучистых друз замещения (турмалин, силлиманит). Частая приуроченность уплощенных форм этих минералов к плоскостям спайности слюды объясняется тем, что вдоль этого направления (вдоль значительных промежутков между пакетами кремнекислородных тетраэдров) слюда, естественно, легче поддавалась процессам разъедания и замещения ее другими минералами.

Особенно широко распространено замещение мусковита биотитом. Уже давно было подмечено, что в слюдяных пегматитовых жилах мусковит очень часто находится в теснейшем срастании с биотитом. Контуры срастающихся слюд бывают очень прихотливыми. При этом плоскости спайности обеих слюд вполне или почти вполне совпадают. Часто встречаются пластинчатые большие кристаллы биотита, в которых заключены отдельные участки мусковита. В большинстве случаев эти участки мусковита бывают неправильной формы или образуют как бы сеть извилистых прожилок в биотите. Иногда в биотите встречаются правильные шестигранники или ромбы мусковита.

Наряду с этим, так же часто и в тех же жилах наблюдаются обратные соотношения этих двух минералов. Внутри кристаллов мусковита бывают заключены отдельные участки биотита в форме пятен и извилистых или прямолинейных полос, а иногда в виде правильных шестигранников и ромбов.

В некоторых случаях встречаются совсем своеобразные взаимоотношения мусковита и биотита. Один из таких примеров приведен на рис. 36. На нем видно, что в пластинке крупного кристалла мусковита имеется ромбовидный участок, состоящий из биотита, внутри которого расположен ромб мусковита.

Охарактеризованные соотношения слюд на первый взгляд позволяют двояко решить вопрос о возрастной последовательности их образования. Подавляющая масса исследователей пегматитов, принимая взгляды А. Е. Ферсмана, считает, что биотит замещался мусковитом. Однако более детальное их изучение показывает, что почти всегда биотит образовывался позднее мусковита и замещал его [15]. Особенно показательны в этом отношении следующие три широко распространенные явления.

1) В подавляющем большинстве случаев от общей поверхности разграничения этих двух слюд внутрь мусковита отходят многочисленные очень тонкие отростки биотита (рис. 37). Главная масса их бывает

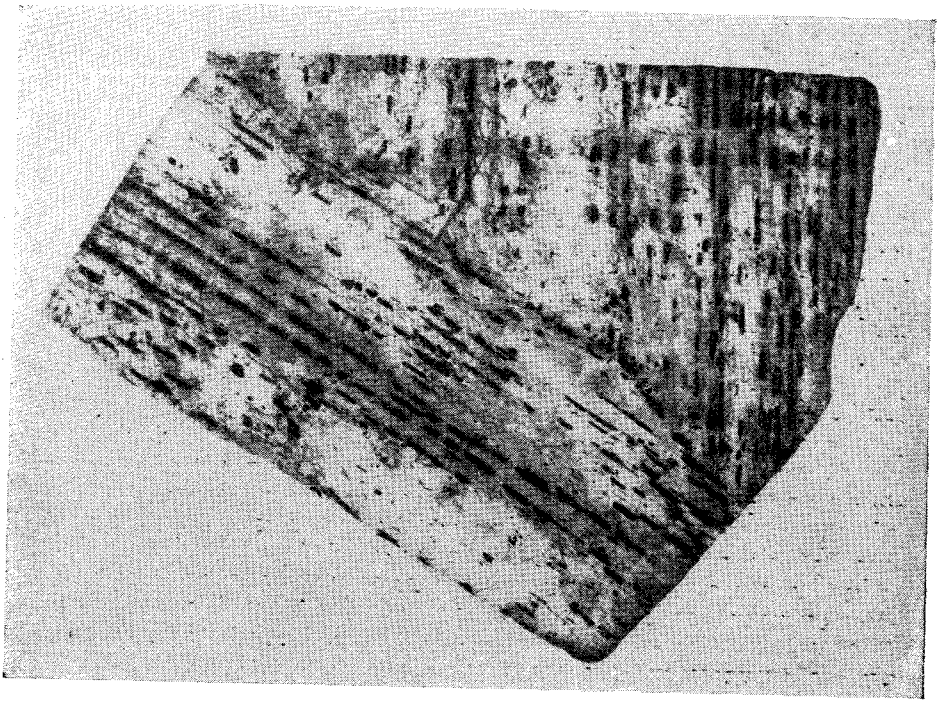


Рис. 34. Кристалл мусковита с включениями окислов железа. Видно то же явление, что и на рис. 33, но здесь видоизменение слюды произошло более интенсивно. Она вся обесцвечена и содержит массу мелких включений окислов железа

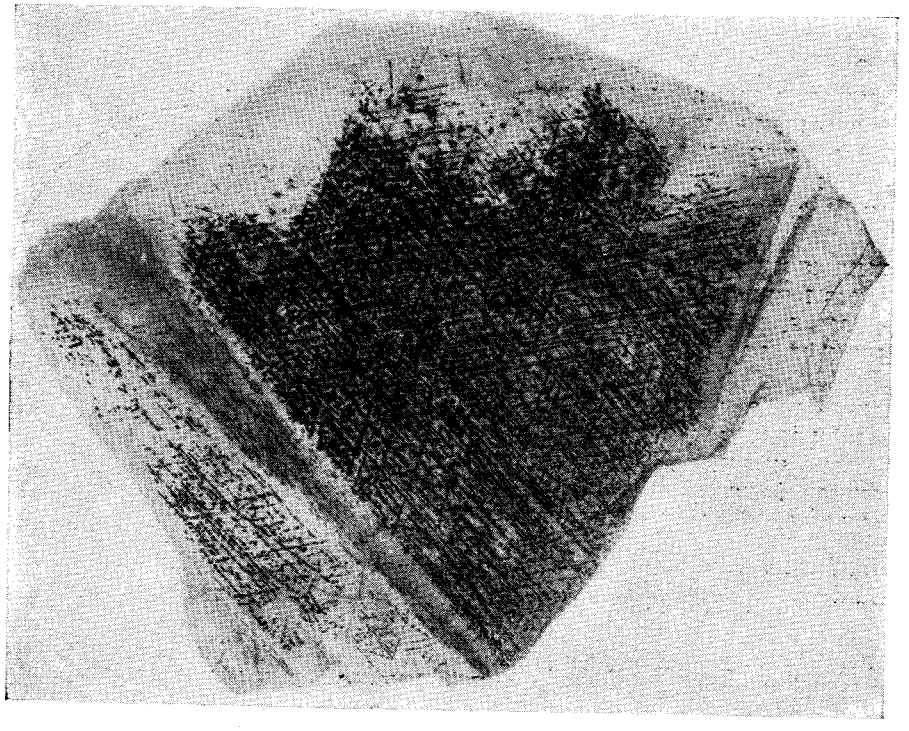


Рис. 35. Включения окислов железа в кристалле мусковита. Они ориентированы вдоль линий некоторого нарушения сплошности слюды. Вдоль двух систем очень грубых рубцов давления эти включения почти полностью выщелочены

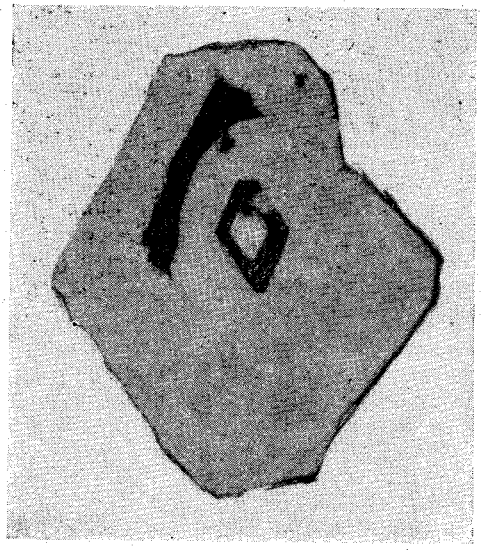


Рис. 36. Одна из своеобразных форм включения биотита (черное) в кристалле мусковита

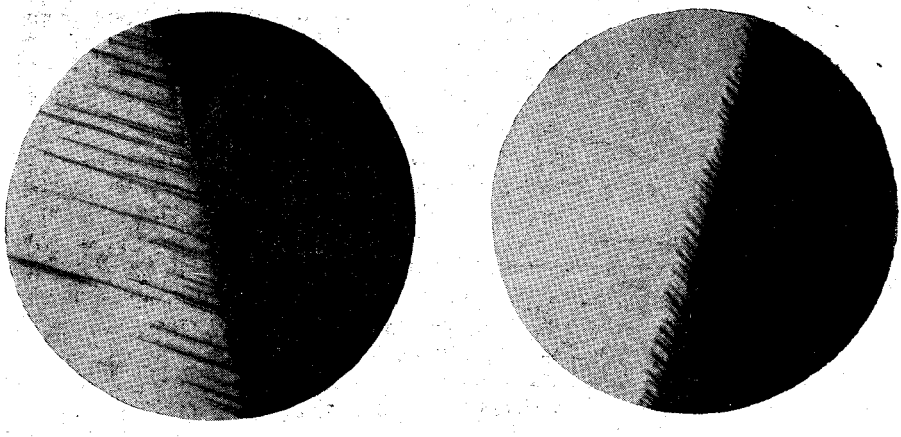


Рис. 37. Соприкосновение мусковита (белое) и биотита (черное). От биотита внутрь мусковита отходит масса тонких отростков. × 20

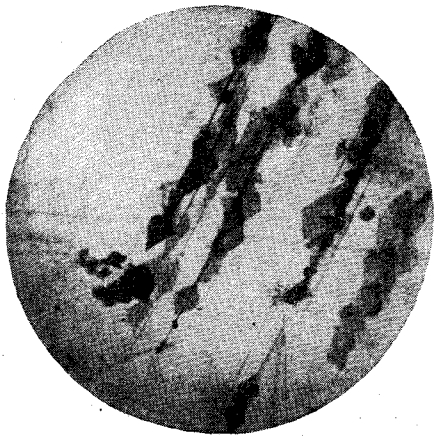


Рис. 38. Дендритовидные закономерно ориентированные включения биотита (темное) в мусковите. × 80

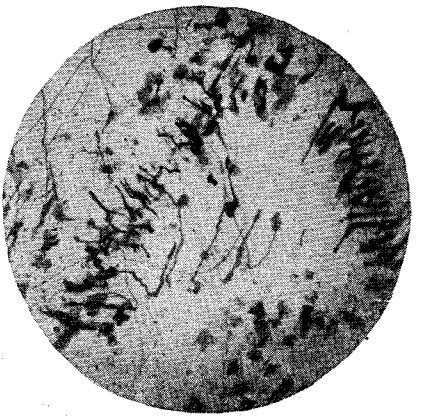


Рис. 39. Дендритовидные включения биотита (темное) в мусковите, ориентированные по рубцам давления

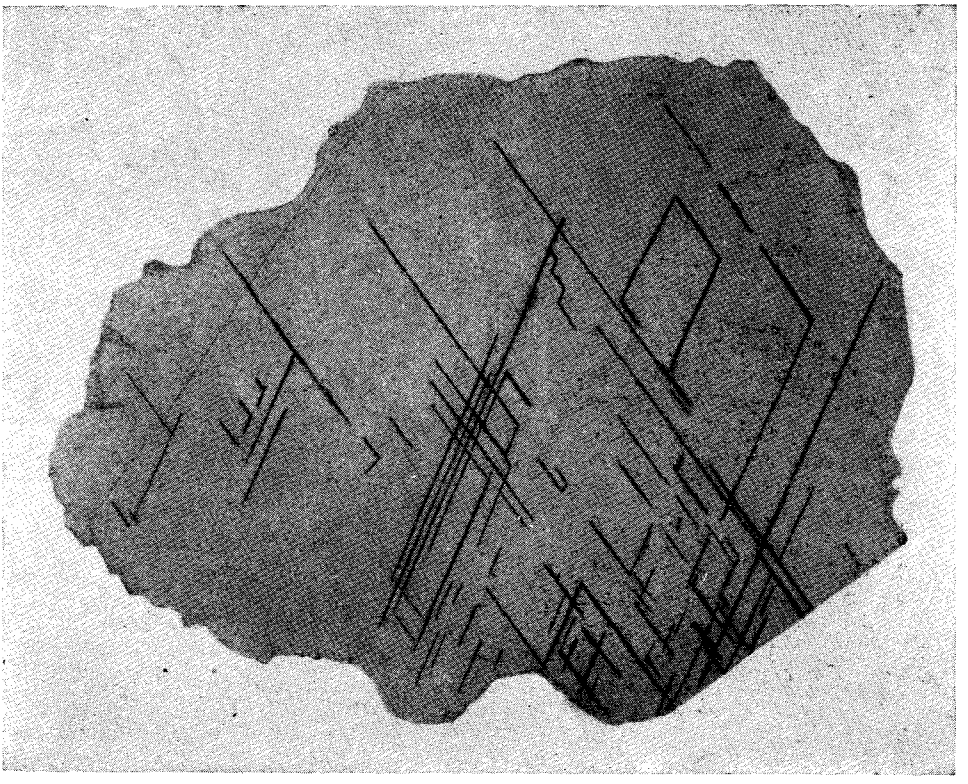


Рис. 40. Сетчатый характер закономерно ориентированных включений биотита (черное) в мусковите. Образец А. И. Заколдаева

ориентирована одинаково, располагаясь вдоль закономерно ориентированных нарушений сплошности кристаллов мусковита — по направлениям рубцов давления и микрозон. Иногда эти отростки бывают значительного размера и составляются массой мелких правильных кристалликов биотита, находящихся в однозначной ориентировке, представляя по существу своеобразный дендритовидный сросток (рис. 38).

2) В кристаллах мусковита часто содержатся мелкие и мельчайшие включения биотита. В большинстве случаев они имеют форму шестигранников, ромбов или лейст и иногда образуют своеобразные дендритовидные сростки.

Встречаются также как бы правильные сетки тонких лейст биотита (рис. 39 и 40). При этом своим удлинением лейсты и дендриты пластинок биотита ориентированы в мусковите всегда вдоль рубцов давления, микрозон, швов соприкосновения нескольких сросшихся вместе кристаллов мусковита или вообще вдоль любого другого нарушения их сплошности. Следовательно, кристаллы мусковита были созданы, деформированы и уже после этого в местах нарушения сплошности их возникли дендриты биотита.

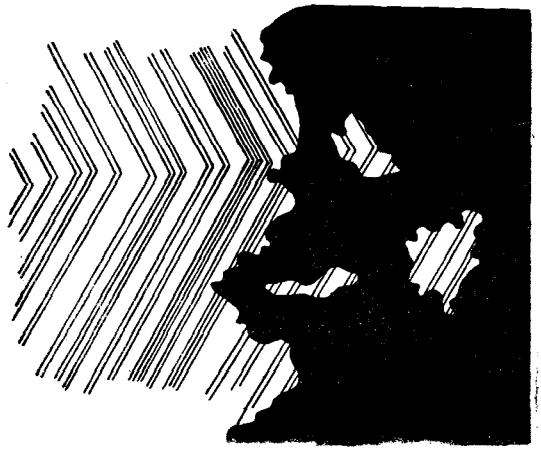


Рис. 41. Реликты мусковита в биотите. Рисунок микрозональности в них общий

3) Отдельные разобщенные участки мусковита, заключенные внутри биотита, обладают одним общим рисунком микрозональности (рис. 41). Это наглядно свидетельствует о том, что биотит замещал один крупный кристалл мусковита, от которого остались лишь разрозненные реликты.

Реликты мусковита в биотите, как уже говорилось, бывают самой разнообразной формы. Иногда они имеют вид как бы прожилок мусковита в биотите. Эта особенность и послужила в свое время основанием для ошибочного вывода о том, что мусковит якобы проедает, замещает биотит.

Во всех без исключения случаях замещение мусковита биотитом сильнее развивается вдоль плоскостей спайности по (*001*) и биотит проникает в мусковит в разных плоскостях на различные расстояния. Поэтому в поперечном к (*001*) разрезе контур разграничения слюд имеет очень извилистые очертания.

Ориентировка атомных структур биотита и мусковита в основном бывает тождественной. Это обусловливается, повидимому, эпитаксическим прирастанием зародышей биотитовых кристаллов к мусковиту. Но в некоторых случаях в их взаимной ориентированности какой-либо закономерности не обнаруживается.

Интенсивность замещения кристаллов мусковита биотитом проявляется в разных местах в одной и той же жиле неравномерно. Автор уже имел случай (1950 г.) обратить внимание на то, что в ряде мусковитоносных жил главная масса биотита образуется таким путем в верхних частях их и в местах выклинивания по простиранию. Причины, вызывающие это явление, обусловливаются специфичностью создававшихся здесь условий.

Напомним, что биотит этот принадлежит к третьей генер крупнокристаллических слюд. Как упоминалось выше, ряд особенно образования кристаллов слюды этой генерации свидетельствует о сл активности растворов, вызывавших ее образование.[1] Кровля жил жила для них экраном. Поэтому вблизи нее, естественно, повыша активность их воздействия. Кроме того, в этих местах и на выкли нии жил были более благоприятные условия для взаимного об компонентами между пегматитом и вмещающими породами. При в жилу всегда мигрируют железо и магний, а из жил во вмещак породы — щелочи [16]. Следовательно, в растворах, воздействующи мусковит и кварцево-полевошпатовые породы жил, повышается кон трация железа и магния, что и способствует замещению муско биотитом.

Описанное явление не есть повсеместная закономерность. Од для некоторых районов эту особенность в соотношениях слюд всегда иметь в виду. И если среди участка, сложенного прс тивными (в смысле влияния на характер слюдообразования в жи породами[2], имеется ряд жил, содержащих мусковит, а среди них встречаем жилы, заключающие в основном биотит третьей генера внутри которого наблюдаются реликты мусковита, всегда нужно даться вопросом — не являются ли такие жилы просто верхним ср пегматита, а ниже, по падению их будет располагаться мусковито ная, основная часть пегматита.

В нескольких случаях эта особенность проверялась практич и подтвердилась.

Выводы

1. Все крупнокристаллические разновидности слюд в пегматитс телах образовывались метасоматическим путем в уже твердых кварц полевошпатовых породах пегматитов. Они возникали в жилах влиянием постмагматических растворов, которые поднимались из бинных магматических масс, просачивались и пропаривали трещин тые зоны и участки пегматитов. Общий ход процессов формирова слюдяных пегматитов и периоды образования в них крупнокристалл ских генераций мусковита показаны на схеме.

2. Пегматитовые тела имеют только три генерации крупнокрис лических слюд. Каждая из них характеризуется совокупностью специ ческих особенностей.

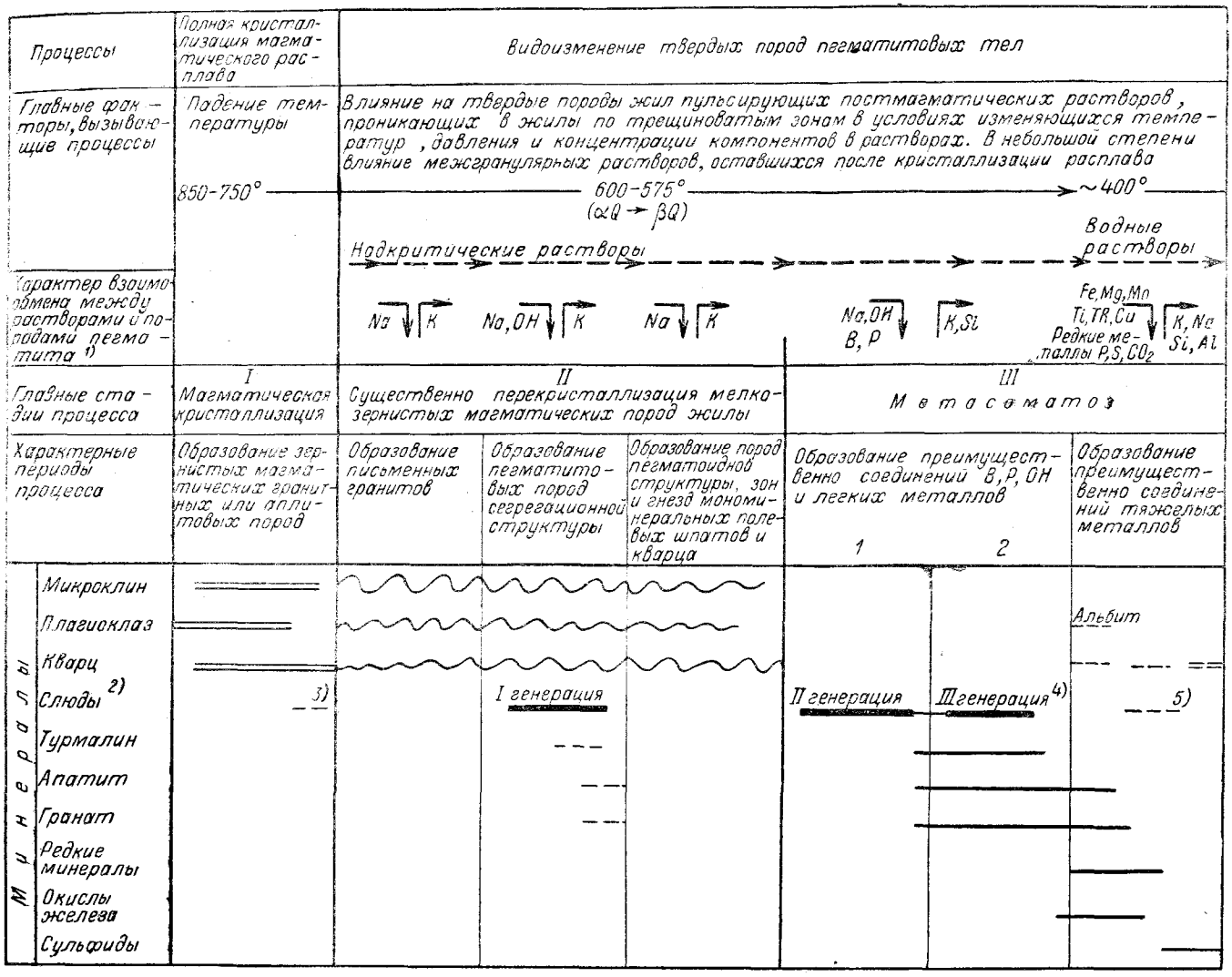
3. Закономерности распределения кристаллов слюды в пегмат вых телах в значительной мере определяются тектоническими фа рами[3], характером деформации пегматитов, особенностями их трещи ватости в те периоды, когда образовывались слюды всех генера В зависимости от этого промышленно ценные скопления мусковита гут располагаться на любой их глубине. При этом мусковит первой г рации находится только в пегматите сегрегационной структуры. Бо крупные кристаллы мусковита второй генерации в большинстве кон трируются в участках пегматоидного крупно- и гигантокристаллическ

---

[1] В отличие от высокой активности минералообразующей среды, при возни вении первых двух генераций крупнокристаллических слюд, к которым принадле главная масса мусковита, представляющего практический интерес.

[2] Факторы, обусловливающие слюдообразование в жилах, изложены в пр дущих работах автора [14, 16].

[3] Эти факторы находятся в зависимости от структуры рудного поля, фо пегматитовых тел, их текстурных особенностей и тектонических напряжений, во кавших в период формирования пегматитов [14, 16].



Процесс формирования слюдяных пегматитов и периоды образования в них крупнокристаллических генераций слюд:

[1] Характер взаимообмена зависит от состава подстилающих жилу пород и состава пегматита [14, 16]
[2] Состав слюд зависит от химических особенностей подстилающих жилу пород [14, 16]
[3] Ранняя генерация мелколистоватых и чешуйчатых слюд
[4] Чаще биотит, чем мусковит
[5] Поздняя генерация мелколистовых и чашуйчатых слюд (жильбертит, серицит)

сложения, но иногда располагаются и в других породах пегматитовых жил.

4. Форма и размер кристаллов слюд второй и третьей генераций не являются постоянными. Они изменяются в зависимости от особенностей среды их метасоматического образования — характера и трещиноватости пород, внутри которых происходил их рост.

5. Кристаллы мусковита второй генерации (представляющей главную промышленную ценность в очень многих жилах различных районов СССР) разрастались в изменчивой среде минералообразования, зачастую в неспокойной тектонической обстановке, при многократной пульсации постмагматических растворов, состав которых с течением времени много раз изменялся.

6. Разнообразные дефекты, снижающие технические качества кристаллов мусковита, возникают в них в различные периоды процесса формирования пегматитов. Дефекты, образующиеся в кристаллах во время их роста, распространены не широко. Основная масса дефектов является пострудной и представлена несколькими типами: 1) образующиеся в результате пострудной деформации; 2) возникающие в результате пострудной деформации и последующего видоизменения вещества слюды вдоль нарушений сплошности кристаллов; 3) образующиеся из-за присутствия в мусковите других минералов, возникших в нем метасоматическим путем.

7. Одним из широко распространенных дефектов мусковита является частичное замещение его кристаллов биотитом. Интенсивность этих процессов замещения мусковита неодинакова в разных местах жилы. Во многих жилах наиболее сильное замещение развивается в верхних частях пегматитов и при их выклинивании по простиранию. В некоторых слюдоносных районах этот признак следует иметь в виду при перспективной оценке жил.

8. Кристаллы мусковита в пегматитах возникают и видоизменяются, находясь все время в твердых породах жил, чутко реагирующих на возникающие в жилах тектонические напряжения. Только при нарушениях сплошности пород пегматитов в них могут проникнуть постмагматические растворы, вызывающие образование слюды. Поэтому совершенно особое, очень важное значение приобретает необходимость детальнейшего и обстоятельного изучения всех тектонических факторов, влияющих на ход процесса формирования пегматитовых тел. Именно ими определяются закономерности пространственного распределения слюдоносных жил среди бесслюдных пегматитов на площадях, в равной мере сложенных продуктивными породами (при условии примерного тождества составов полевошпатовой части и тех и других жил). Этими же факторами обусловливается закономерность распределения кристаллов мусковита в самих пегматитах. Возникновение главной массы технических дефектов в кристаллах происходит, как мы видели, также при содействии тектонических напряжений.

* * *

Пользуемся случаем выразить признательность В. А. Николаеву, И. И. Шафрановскому, С. А. Руденко, В. И. Михееву, В. А. Мокеевскому и Н. Н. Стулову за всесторонний обмен мнениями и советами, а также геологам, любезно передавшим автору ряд образцов, и студентам Ленинградского горного института — Ю. Е. Рыцк, принимавшему участие в исследованиях, и Е. В. Сендек, изготовившему некоторые чертежи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Н. В. О двойниковых законах у слюд и слюдоподобных минералов. Минералогический сборник Львовского геологического общества, 1949, № 3.

2. Белов Н. В. Очерки по структурной минералогии. Минералогический сборник Львовского геологического общества, 1950, № 4.

3. Белов Н. В. Очерки по структурной минералогии. Минералогический сборник Львовского геологического общества, 1951, № 5.

4. Бетехин А. Г. О генерациях рудных минералов. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1949, № 3.

5. Беус А. А. О зональности гранитных пегматитов. Известия АН СССР, 1951, № 6.

6. Власов К. А. К вопросу о генезисе пегматитов. Доклады АН СССР, 1951, т. 78, № 2.

7. Григорьев Д. П. К вопросу о различении первичных и вторичных жидких включений в минералах. Минералогический сборник Львовского геологического общества, 1948, № 2.

8. Ермаков Н. П. Исследования минералообразующих растворов. Изд. Львовского государственного университета, 1950.

9. Заварицкий А. Н. О пегматитах, как образованиях промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1947, № 1.

10. Коржинский Д. С. Петрологический анализ флогопитовых и мусковитовых месторождений Восточной Сибири. Сборник «Слюды СССР», ОНТИ, 1937.

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

12. Марков П. Н., Лашев Е. К. Слюда. Госгеолиздат, 1948.

13. Никитин В. Д. Основные черты генезиса пегматитов Южной Карелии. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1949, № 3.

14. Никитин В. Д. К генезису мусковитоносных пегматитов Северной Карелии. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1950, № 4.

15. Никитин В. Д. Зональность и микрозональность в мусковите. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1950, № 4.

16. Никитин В. Д. Процессы перекристаллизации и метасоматоза в пегматитовых жилах. Записки Ленинградского горного института, 1952, т. XXVII, вып. 2.

17. Ферсман А. Е. Пегматиты. Изд. АН СССР, 1940.

18. Iackson W. W. and West S. The Crystal structure of Muscovite. Zeitschr f. Krist., 1930, № 76.

Поступило 15. XI. 1952 г.