Записки
Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова,
т. XXXIII, вып. 2, 1958 г.

СТРОЕНИЕ И ГЕНЕЗИС ПИСЬМЕННЫХ ГРАНИТОВ В ПЕГМАТИТОВЫХ ЖИЛАХ

В. Д. Никитин

Письменные граниты своеобразием своей структуры давно привлекали внимание исследователей. Известно, что эти породы по своему химическому и минеральному составу подобны обычным гранитам, но весь кварц в них заключен внутри кристаллов полевых шпатов в форме многочисленных правильно ориентированных включений. Последние часто напоминают рисунок древних письмен. Эта особенность структуры пород и определила их название: руниты, еврейский камень, графические пегматиты, пегматит и наиболее принятое в нашей литературе — письменные граниты.

Письменные граниты входят в состав различных геологических образований. Они известны в дайках кислых магматических пород, в апикальных частях гранитных массивов, в составе толщ глубоко метаморфизованных пород типа гнейсов и других. Наиболее эффектные и крупнозернистые образцы письменных гранитов находятся в пегматитовых жилах. Именно здесь они изучались подробно, и их первые описания насчитывают уже более чем полуторавековую давность. С тех пор изучению письменных гранитов и особенно обсуждению генезиса этих пород было посвящено большое количество работ.

Выводы исследователей о природе письменных гранитов, полученные в результате анализа пегматитовых жил, распространялись затем на природу вообще всех подобных пород, встречаемых и в других геологических комплексах. Наличие в породах письменных гранитов расценивалось, как ключ, как надежный индикатор для расшифровки генезиса того комплекса пород, в котором обнаруживались такие образования. Этим, в частности, и вызывался особый интерес исследователей к описываемым породам.

1. Состояние изученности строения и генезиса письменных гранитов

Несмотря на наличие обширной литературы, в которой в той или иной мере затрагиваются особенности строения и природы письменных гранитов, к настоящему времени накоплен сравнительно небольшой объем фактических данных, характеризующих эти породы. Внимание исследователей длительное время было приковано главным образом к изучению взаимной ориентировки кристаллических структур кварца и полевого шпата в этих породах.

Напомним вкратце установленные к настоящему времени фактические особенности строения письменных гранитов и главные идеи о природе этих пород.

В современной дискуссии о генезисе письменных гранитов взгляды ученых разделились на три основные группы.

Первая группа исследователей отстаивает представление о возникновении письменных гранитов в результате одновременной кристаллизации кварца и полевых шпатов из магматического расплава. Это представление как логическое следствие вытекало из общей старой идеи о возникновении пегматитовых жил в целом путем кристаллизации специфической «пегматитовой магмы».

В качестве фактического подтверждения этих взглядов привлекались явления закономерной ориентировки кварца и полевого шпата, впервые описанные Г. Розе [39]. Позднее эта особенность пород была уточнена А. Брейтхауптом [28], Г. Ратом [38], Г. Войчахом [45]. Г. Войчах установил наличие нескольких закономерных положений кварцевых включений и на основании этого впервые высказал предположение о взаимном ориентирующем влиянии этих двух одновременно кристаллизующихся минералов. Эта мысль затем была развита в идею о том, что закономерное срастание кварца и полевого шпата вызывается ориентирующим влиянием кристаллической структуры шпата на зарождающиеся кварцевые кристаллы (пример эпитаксии) с совмещением у обоих минералов равных или близких параметров их кристаллических структур.

Позже и многие другие исследователи обнаружили в письменных гранитах пегматитовых жил различных районов мира наличие еще ряда позиций ориентировки включений кварца (Ф. Валлеран, А. Хегбом, А. Е. Ферсман, Н. Горностаев, Л. Косой и другие)[1].

Отмеченное всеми постоянство составов письменных гранитов подробно рассмотрено И. Х. Фогтом [41—43]. Этой особенностью И. Х. Фогт обосновывает мысль о кристаллизации письменных гранитов по типу эвтектики.

Полную сводку перечисленных фактических особенностей письменных гранитов и теоретических представлений о природе этих пород выполнил, как известно, А. Е. Ферсман [24]. На рис. 1 приведена стереографическая проекция, показывающая главные закономерности ориентировки оси симметрии кварца внутри кристаллов полевых шпатов. Эти законы в литературе давно называются законами А. Е. Ферсмана.

Обобщив существующие данные, А. Е. Ферсман сформулировал свой общеизвестный закон «кристаллографической индукции» для одновременно кристаллизующихся веществ. Согласно этому закону удлиненные включения кварца, названные А. Е. Ферсманом «ихтиоглиптами» (вследствие рыбообразной формы), должны ориентироваться удлинением по нормалям к поверхности нараставших важнейших граней полевых шпатов. Считалось, что система («стая») однозначно ориентированных ихтиоглиптов выполняет в кристалле полевого шпата объем, составляемый пирамидой нарастания соответствующей его грани. Поэтому предполагалось, что в целом кристалле полевого шпата ихтиоглипты должны образовать радиально лучистый рисунок венца с центром в месте зарождения кристалла.

В качестве еще одного доказательства справедливости идеи о кристаллизации письменных гранитов из расплава исследователи приводили факты находок в этих породах крупных зонарных кристаллов полевых шпатов. Срединная часть таких кристаллов заключает ихтиоглипты. Их-

[1] Обзор литературы приведен в статье А. Е. Ферсмана [24] и особенно полно в работе Ф. К. Дрешер-Кадена [31].

тиоглипты кварца не доходят до периферии кристаллов полевых шпатов, а обрываются у одной общей плоской поверхности, примерно перпендикулярной удлинению ихтиоглипт. Хорошие фотографии и зарисовки этих явлений приведены в работах И. Х. Фогта [41, 42], который полагал, что такие явления следует объяснять изменением режима кристаллизации пород. Вначале происходила совместная кристаллизация кварца и полевых шпатов по типу эвтектики, что приводило к возникновению письменных гранитов. Затем кристаллизация кварца прекращалась, ихтиоглипты обрывались и нарастала зона мономинерального полевого шпата. Эти соображения И. Х. Фогта, как известно, использованы и А. Е. Ферсманом в сводных работах по пегматитам [25].

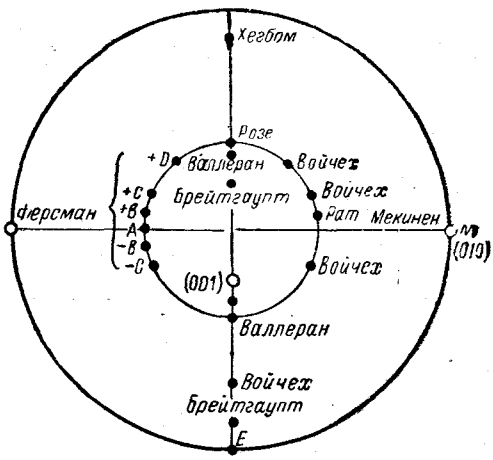


Рис. 1. Законы ориентировки ихтиоглиптов кварца по отношению к граням полевого шпата. Черные точки — граммостереографические проекции G_3 кварца; кружки — гномостереографические проекции граней (001) и (010) полевого шпата

Итак, фактическим обоснованием генетических представлений этой группы исследователей служат следующие явления:

1) закономерная взаимная ориентированность кристаллических структур кварца и полевых шпатов (эпитаксическое срастание);

2) наблюдавшаяся в некоторых случаях ориентированность удлиненных ихтиоглиптов кварца примерно, как это считалось по нормалям к граням полевых шпатов;

3) постоянство составов письменных гранитов;

4) обрыв ихтиоглиптов кварца у определенных плоскостей, не доходя до периферии кристаллов полевых шпатов;

5) рисунок структуры письменных гранитов напоминает структуру сплавов, отвечающих по составу эвтектическим смесям.

В пегматитовых жилах встречались и иные явления: иная ориентированность удлиненных ихтиоглиптов, трубчатая форма ихтиоглиптов и др. Эти явления не согласовывались с генетическими представлениями исследователей. О них упоминалось лишь вскользь, попутно, они не анализировались, на них делались ссылки общего характера, что такие, мол, явления обусловлены какими-то местными, частными условиями кристаллизации письменных гранитов. Такие ссылки делались, например, А. Е. Ферсманом при упоминании о наличии в одной и той же пирамиде нарастания грани полевого шпата ихтиоглиптов кварца, ориентированных по нескольким направлениям [25].

Вторая группа исследователей отстаивает представление о письменных гранитах как о породах, возникших благодаря частичному замещению кварцем кристаллов полевых шпатов. Предполагается, что крупные, уже вполне сформированные кристаллы полевых шпатов были разбиты системой трещин. По ним проникали растворы, вызвавшие частичное растворение шпата и отложение в этих местах многочисленных ихтиоглиптов кварца.

Эти взгляды на генезис письменных гранитов логически вытекали из

другой общей идеи о природе пегматитовых тел в целом — о важнейшей роли в процессах формирования пегматитов, принадлежащей метасоматическим явлениям.

В качестве главного фактического аргумента в защиту своих генетических представлений исследователи привлекали явления отсутствия определенной закономерности во взаимной ориентированности кристаллических структур полевых шпатов и кварца в письменных гранитах.

На необязательное наличие в письменных гранитах эпитаксии между полевыми шпатами и кварцем указывали давно и исследователи, разделявшие общее представление о возникновении этих пород из расплава. Например, в 1890 г. В. Бреггер [29], в 1903 г. О. Мюгге [37], а позднее и многие другие сообщали, что в изученных ими образцах письменных гранитов наблюдались как закономерно ориентированные включения кварца, так и ихтиоглипты произвольного положения.

В двадцатых и начале тридцатых годов нашего столетия многие американские исследователи пегматитовых жил (В. Т. Шаллер [40], К. К. Ландес [36] и др.) особое внимание обращали на приуроченность ихтиоглиптов кварца к трещинам спайности полевых шпатов и на изменчивость состава письменных гранитов. О непостоянстве состава письменных гранитов сообщали также А. Бигден [30], Д. Бастин [27], Н. Бунтин [4] и др.

Особенно тщательные исследования письменных гранитов с целью доказательства отсутствия эпитаксии между полевыми шпатами и кварцем были выполнены Э. Э. Уолстромом в 1939 г. [44] и Ф. К. Дрешер-Каденом в 1942 г. [31]. Оба автора выполняли исследования одним и тем же методическим приемом. Они определяли ориентированность кварца в ихтиоглиптах главным образом установлением положения оптических осей кварца в шлифах письменных гранитов на столике Е. С. Федорова [1].

Ошибочность такого пути анализа письменных гранитов будет показана ниже.

Результаты измерений Е. Е. Уолстрома и Ф. К. Дрешер-Кадена приведены на рис. 2 и 3, где ясно видно отсутствие закономерности в ориентированности кварцевых вростков по отношению к вмещающему их полевому шпату.

Обращалось внимание также на то, что ихтиоглипты кварца якобы рассекают выделения пертитов в полевых шпатах. В этом видели доказательство того, что ихтиоглипты кварца проникли в тело полевого шпата уже после распада твердого раствора и обособления пертитов. Такие соображения присущи многим исследователям этой группы. В работе Ф. К. Дрешер-Кадена [31] приведены и фотографии, как будто доказывающие их справедливость. Ниже будет показана ошибочность этих представлений.

В противоположность явлениям обрыва ихтиоглиптов по плоскостям, не доходя до периферии кристалла полевых шпатов, описанных И. Х. Фогтом, были обнаружены обрывы и вовсе не по плоскостям, а по неправильному прихотливо изгибающемуся контуру. Об этом упоминается во многих работах, фотографии таких явлений приведены Э. Э. Уолстромом [44]. В некоторых образцах были обнаружены ихтиоглипты, переходящие из одного кристалла полевого шпата в другой (рис. 4). Это явление так же, как и наблюдавшаяся иногда трубчатая форма ихтиоглиптов, служило доказательством метасоматического образования кварца [9, 31].

[1] Е. Е. Уолстром производил также, по примеру А. Е. Ферсмана, определение положения тройных осей симметрии кварца у головок кристаллов кварца, наросших на поверхности кристаллов полевых шпатов. Однако таких измерений было сделано им немного (рис. 2).

Итак, вторая группа исследователей в доказательство своих генетических представлений приводила следующие явления:

1) отсутствие строгой эпитаксии между кварцем и полевым шпатом;

2) приуроченность ихтиоглиптов иногда к трещинам спайности полевых шпатов;

3) непостоянство составов письменных гранитов;

4) обрыв ихтиоглиптов в теле кристаллов полевых шпатов по произвольному контуру;

5) кажущееся пересечение пертитов ихтиоглиптами кварца.

Сравним фактический материал, привлекаемый исследователями двух первых групп. Он крайне противоречив. Факты, используемые одной группой ученых, опровергают справедливость генетических представлений другой группы. Не свидетельствует ли это о том, что исследователи односторонне учитывают только одно из качеств явления, опуская и

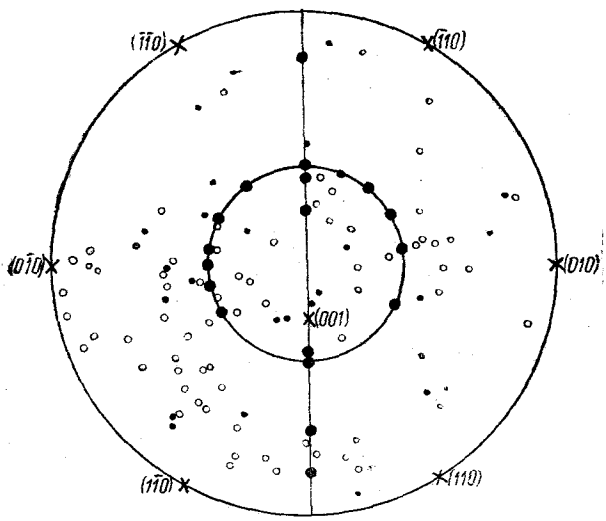


Рис. 2. Сводка измерений ориентировки кварца в письменных гранитах, произведенных Э. Э. Уолстромом. Гномостереографические проекции граней полевого шпата помечены крестиками; черные крупные кружки — «законы Ферсмана»; черные точки — граммостереографические проекции измеренных положений g_3 кварца; колечки — проекции оптических осей кварца

отодвигая в тень иные его особенности? Не наводит ли, вместе с тем, рассмотренная противоречивость фактов на мысль о том, что особенности письменных гранитов изменчивы, что интересующие нас породы не являются раз навсегда созданными и постоянными, а преобразуются во времени? В зависимости от пути преобразования пород в различных отдельных случаях мы и встречаем наиболее ярко проявленными те или иные особенности их строения.

Третья группа исследователей защищает представление о письменных гранитах пегматитовых тел как о породах, возникших в процессе перекристаллизации исходных обычных кристаллических зернистых пород (аплитов, гранитов, метаморфических пород и др.).

О возможности в некоторых случаях такого пути возникновения письменных гранитов в пегматитовых жилах упоминал В. Т. Шаллер [40]. Д. С. Коржинский, изучивший пегматиты Мамского района, предполагал, что типичные письменные граниты этих жил возникли путем кристаллизации расплава. Вместе с тем им как будто впервые были описаны явления, свидетельствующие о процессах преобразования письменных гранитов, превращении их в породы неясногра фической («апографической») [1] структуры и далее — в гигантокристаллические породы пегматоидной структуры [13].

[1] Термин, предложенный Д. С. Коржинским [13].

Позднее Н. М. Успенский описал очень своеобразные радиально-лучистые и скорлуповатые формы письменных гранитов в пегматитах Золотой горы [23]. Письменные граниты с таким специфическим рисунком не известны в обычных широко распространенных пегматитах. Н. М. Успенский полагал, что эти граниты возникли благодаря перекристаллизации исходных аплитовых пород.

В 1939 г. А. Н. Заварицкий высказал предположение, что вообще письменные граниты пегматитовых тел могут возникнуть в процессе перекристаллизации исходных обычных зернистых магматических или ме-

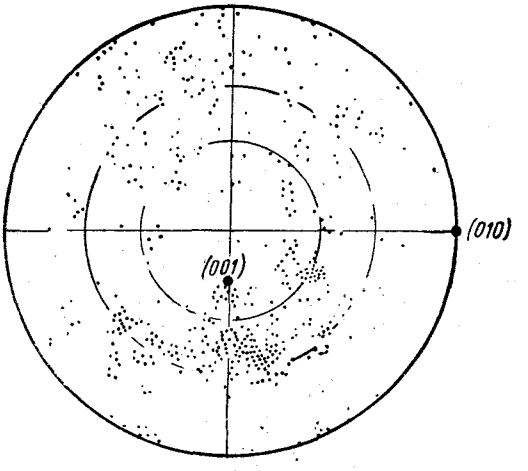


Рис. 3. Сводка измерений в шлифах письменных гранитов положения оптических осей кварца в ихтиоглиптах по отношению к граням полевого шпата (по Ф. К. Дрешер-Кадену)

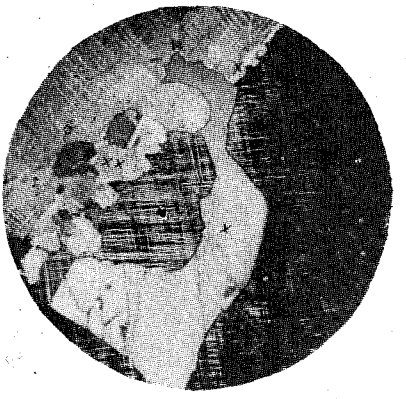


Рис. 4. Ихтиоглипт кварца (×) расположен внутри двух соприкасающихся кристаллов микроклина. В микроклине видны мелкие замещающие его зерна альбита (××). Увеличение 20

таморфических пород [10]. К обсуждению этой гипотезы он вновь вернулся в своей известной статье, специально посвященной генезису пегматитов [11] и в монографии по описанию магматических горных пород [12].

Нами неоднократно отмечались явления, имеющие место в пегматитовых жилах и свидетельствующие о том, что типичные письменные граниты не возникают сразу в той форме, в какой мы их наблюдаем теперь, а претерпевают ряд последовательных видоизменений [15, 16, 19]. Идею Д. С. Коржинского об эволюции письменных гранитов в породы иных структур следует распространить и на сами письменные граниты. Распо-

ложение удлиненных ихтиоглиптов кварца в кристаллах полевых шпатов, вопреки представлениям А. Е. Ферсмана, в большинстве случаев в обычных слюдоносных и керамических пегматитах совсем не согласуется с распределением их по пирамидам нарастания граней шпата. В некоторых пегматитах были обнаружены цепи порфиробласт письменных гранитов в аплитовых и гранитных породах жил, а внутри таких порфиробласт — реликты аплитов и гранитов. Все эти факты привлекались нами в качестве доказательств предположения о возникновении письменных гранитов вследствие процессов преобразования (перекристаллизации) [1] исходных обычных зернистых пород и постепенного развития разнообразных форм письменных гранитов, изменения рисунка, их структуры и прочих особенностей их сложения.

В последние годы внимание геологов, ведущих дискуссию о генезисе письменных гранитов, сосредоточивалось по-прежнему главным образом на решении вопроса: есть или нет эпитаксия между полевыми шпатами и включенным в них кварцем? Анализ же форм ихтиоглиптов и закономерностей пространственного распределения самих тел ихтиоглиптов в кристаллах шпатов остается в тени. Наличие эпитаксии между кварцем и полевым шпатом продолжает рассматриваться многими в качестве критерия, достаточного для однозначного отнесения письменных гранитов к продуктам одновременной кристаллизации этих двух минералов из расплава или растворов. Не довольствуясь прежними методиками анализа взаимного положения этих минералов в гранитах, исследователи пытаются привлечь метод съемок лауэграмм рентгеновскими лучами [35]. Однако наличие эпитаксии между кварцем и полевым шпатом совсем еще не свидетельствует однозначно о возникновении письменных гранитов только благодаря одновременной кристаллизации этих минералов из расплава. Эпитаксическое срастание кварца и полевого шпата могло возникнуть с равным основанием в результате процессов совместной их перекристаллизации или при замещении шпата кварцем. На это обстоятельство приходилось обращать особое внимание раньше. О том же писал А. Н. Заварицкий [12]. Этот вопрос затрагивался в статье Д. П. Григорьева и И. И. Шафрановского [6].

Следует иметь в виду, что точное определение взаимной ориентированности кристаллических структур полевых шпатов и кварца в шлифах письменных гранитов вообще очень затруднено. Эти породы обычно несут ясные признаки деформаций, имевших место после создания письменных гранитов. Об этом свидетельствуют замутненность кристаллов полевых шпатов, неоднородность их двойникового сложения, волнистое погасание кварца ихтиоглиптов, а часто и общая грануляция кварца, вначале бывшего монокристальным. Эти явления наглядно видны на рис. 5, 6. Подобные факты хорошо описаны в работах Ф. К. Дрешер-Каден [31, 32]. Понятно, что в таких случаях оптические оси кварца теряют свою первоначальную ориентировку. Этими причинами, по-видимому, и объясняется сильное и незакономерное рассеивание выходов оптических осей кварца в ихтиоглиптах, обнаруженное Э. Э. Уолстромом и Ф. К. Дрешер-Каденом (рис. 2, 3).

Методика анализа закономерностей эпитаксии кварца и полевого шпата в письменных гранитах путем измерения на гониометре головок кварцевых кристаллов, наросших на концах ихтиоглиптов, также далеко не всегда может дать точные данные. Головки кварца могли нарасти уже после деформации письменных гранитов. В Музее Ленинградского гор-

[1] Причины явлений преобразования горных пород пегматитовых жил обсуждались в предыдущих статьях [16, 19]. Обзор литературы по вопросам перекристаллизации приведен в работе Д. П. Григорьева [7].

ного института имеется образец письменного гранита из коллекции Е. И. Нефедова. Порода разбита трещинами, а на стенках трещин, на поверхности обломанных ихтиоглиптов, наблюдаются наросшие головки кристаллов кварца. В жилах встречаются брекчированные блоки письменных гранитов, а на поверхности их отдельных кусков видны наросшие на концах ихтиоглиптов кристаллы кварца. Во всех этих случаях отчетливо устанавливается, что кристаллы кварца нарастали на концах ихтиоглиптов уже после интенсивной деформации письменных гранитов — позднее их раскалывания и брекчирования. Первичная ориентировка ихтиоглиптов кварца может измениться вследствие деформации письменных гранитов; соответственно по-иному окажутся ориентированными и головки нараставшего позднее кварца. По-видимому, в какой-то мере



Рис. 5. Разрушение ихтиоглиптов кварца, вызванное деформацией письменных гранитов. Кварц обладает волнистым погасанием. Николи скрещены. Увеличение 20



Рис. 6. Грануляция ихтиоглиптов кварца, вызванная значительной деформацией письменных гранитов. Увеличение 20

этой причиной объясняются разнообразные отклонения головок кварца от их единого положения, замеченные А. Е. Ферсманом и особенно подчеркнутые Э. Э. Уолстромом.

Поэтому представляется, что ключ к разгадке природы письменных гранитов целесообразно искать не столько в решении вопроса о наличии или отсутствии эпитаксии между составляющими минералами, сколько в тщательном анализе особенностей распределения самих кварцевых тел [1] в кристаллах полевых шпатов, изучении формы этих тел и выявлении всей эволюции структур письменных гранитов, фактических свидетельств истории их развития.

Детали особенностей строения письменных гранитов, встречаемых в гранофирах, метаморфических горных породах и иных геологических комплексах, изучены мало. При суждении о природе этих пород, как указано выше, геологи опираются главным образом на аналогию с письменными гранитами пегматитовых жил. Поэтому литература о перечисленных породах здесь не рассматривается.

2. Изменение состава и строения письменных гранитов

Изучение строения письменных гранитов производилось нами в слюдоносных и керамических пегматитах обычного и широкораспространенного типа. Эти жилы, как известно, почти не имеют пустот и зано-

[1] Внешняя общая форма ихтиоглиптов при деформации письменных гранитов изменяется в гораздо меньшей степени, чем их внутреннее строение (явление грануляции кварца).

рышей. Текстуры их разнообразны; правильно- и обратнозональные, асимметрично- и полизональные, участково- и ячеистозональные[1]. Эти текстуры создаются чередованием пегматитовых пород, обладающих различными структурами и составом. Среди них большая роль в сложении жил принадлежит письменным гранитам. Встречаются жилы, в которых интересующие нас породы преобладают над всеми другими, а иногда слагают почти весь объем пегматитовых тел. Это создает весьма благоприятные условия для наблюдения всего разнообразия особенностей письменных гранитов.

Приглядываясь к отдельным крупным блокам письменных гранитов (а они порой достигают нескольких квадратных метров), контуры кото-



Рис. 7. Зарисовка глыбы микроклинового письменного гранита. Микроклин представлен монокристаллом. Видно превращение мелких ихтиоглиптов кварца в крупные, приуроченные к петлеобразным зонам. Масштаб 1 : 8

рых легко устанавливаются по отблеску спайности полевого шпата, часто можно обнаружить, что рисунок письменной структуры не является однообразным во всем объеме отдельного блока. Встречаются блоки с мелко- и тонкографическим рисунком письменной структуры, а на этом фоне имеются параллельные или пересекающиеся петлеобразные зоны, обладающие крупнографическим рисунком. Эти явления очень типичны и наблюдаются во всех жилах (рис. 7—9). Часто подобные зоны с укрупненными ихтиоглиптами переходят через несколько соседних блоков письменных гранитов [15], что убедительно свидетельствует о более позднем возникновении зон, сложенных крупнографическим письменным гранитом.

Полевой шпат в таких зонах составляет один общий монокристалл со всем блоком письменного гранита (контроль по отблеску спайности шпата). Контур зон, сложенных крупнографическим письменным гранитом, самый разнообразный — от прямолинейных до весьма извилистых и лапчатых форм. Эти два признака заставляют отбросить мысль

[1] Описание текстур этих жил и принятая при этом терминология изложены в предыдущих статьях автора [16, 19].

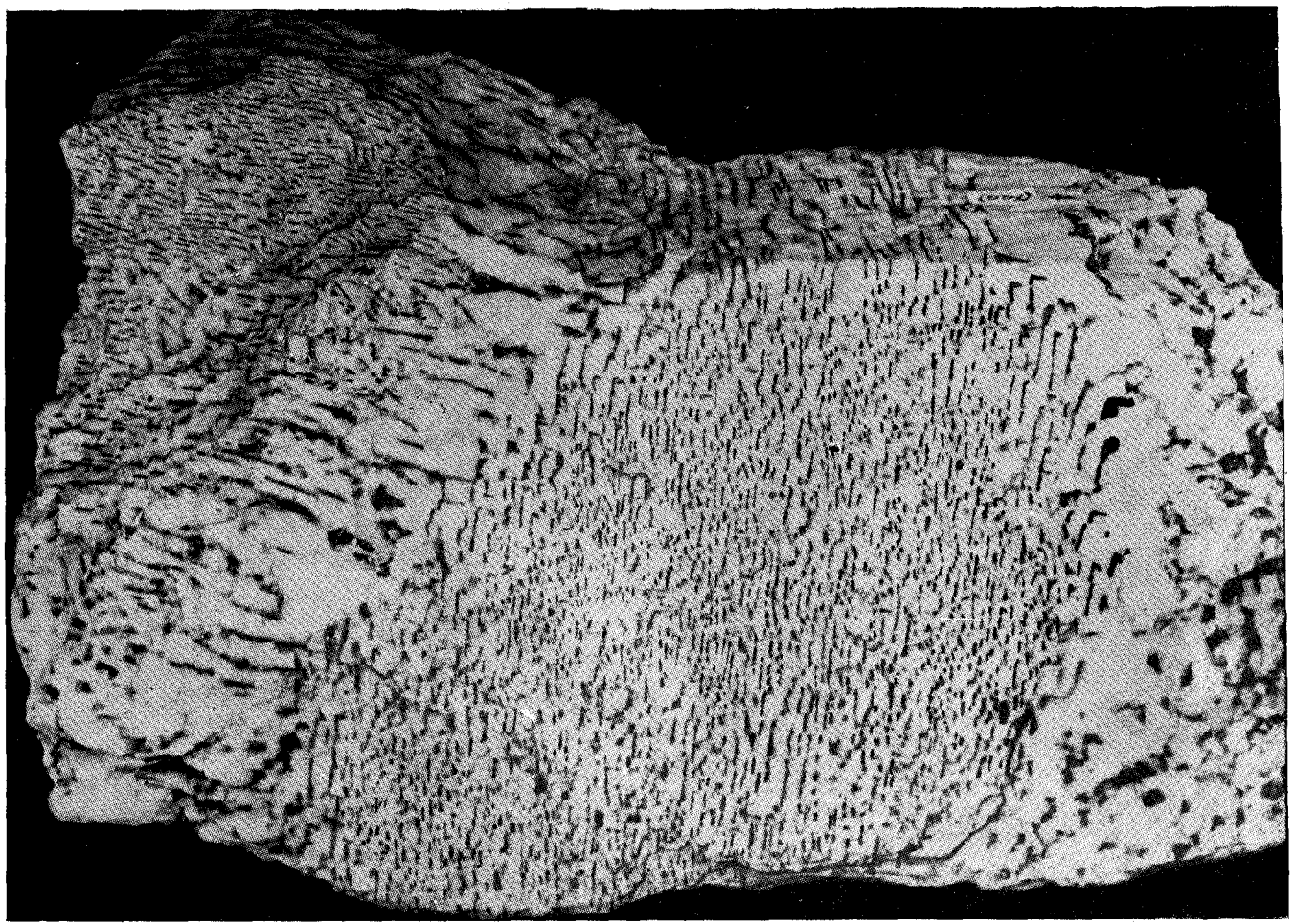


Рис. 8. Глыба микроклинового письменного гранита. Микроклин представлен монокристаллом. Превращение мелких ихтиоглиптов кварца в крупные, приуроченные к определенным зонам, как бы пересекающим глыбу. Масштаб 1 : 2

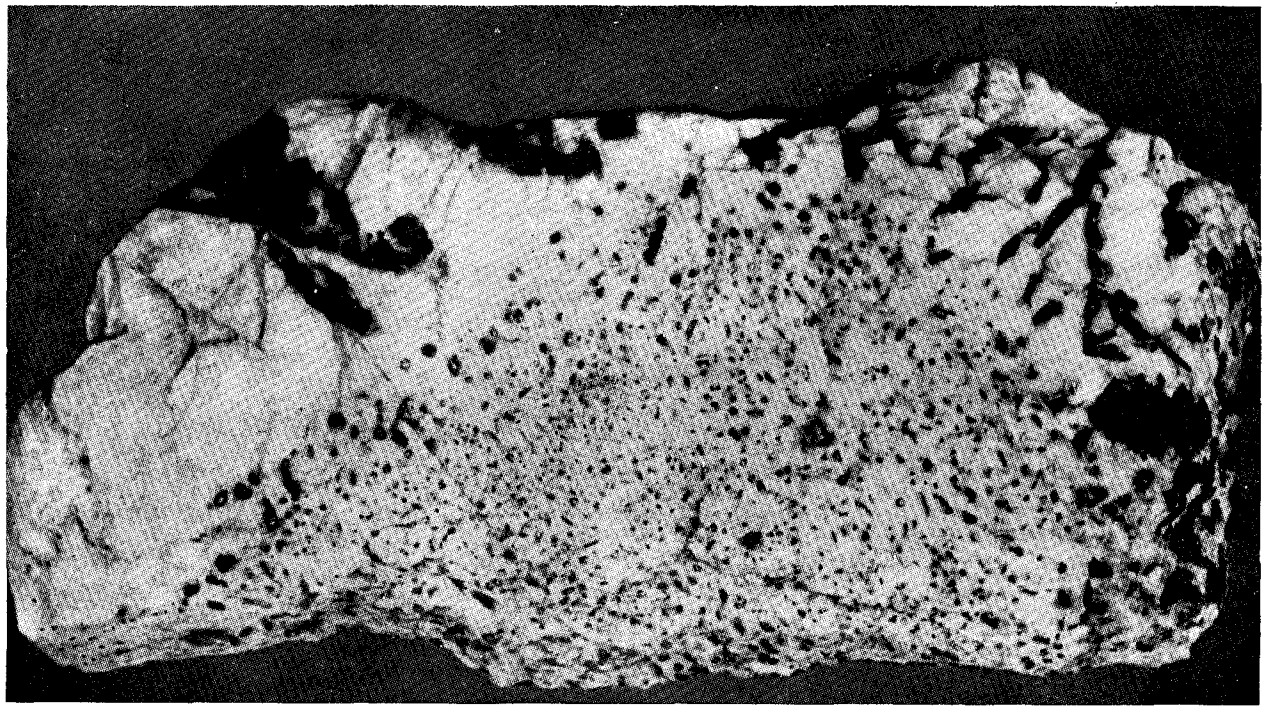


Рис. 10. Кусок монокристалла микроклина, в котором равномерно рассеяны мелкие изометрические зерна кварца (черные), преобразованные в верхней части образца в крупные типичные ихтиоглипты. Натуральная величина

о внедрении материала, составляющего породы крупнографической структуры, в тонкографический письменный гранит. Они свидетельствуют о том, что зоны крупнографического письменного гранита возникли путем преобразования тонкографического письменного гранита.

Во всех этих явлениях взаимного пересечения письменных гранитов, обладающих структурой с разным рисунком, помимо различия размеров, часто наблюдается и различие форм ихтиоглиптов. Например, в массе

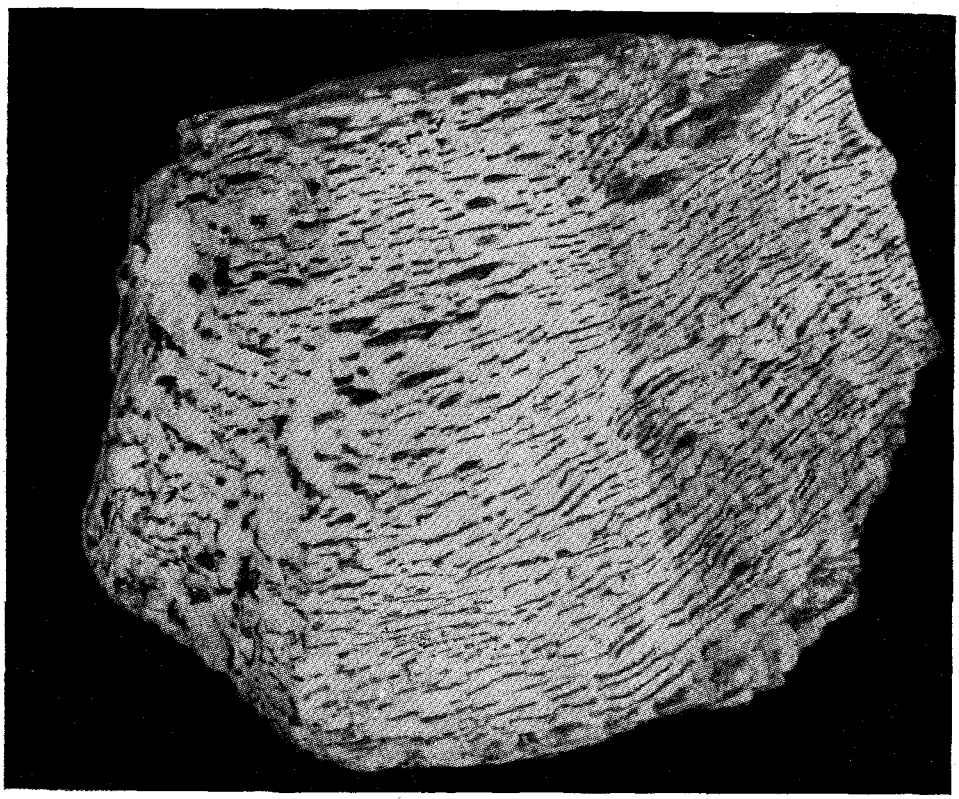


Рис. 9. Микроклиновый письменный гранит. Мелкие пластинчатые ихтиоглипты в зоне, косо пересекающей образец, превращены в крупные ихтиоглипты той же формы и ориентированности. Микроклин во всем образце представлен монокристаллом. Масштаб 1 : 3

письменного гранита с ихтиоглиптами карандашевидной формы заключены зоны с ихтиоглиптами более или менее изометрической формы. Среди пластинчатых ихтиоглиптов наблюдаются зоны карандашевидных или изометрических и т. д.

Прослеживая по признаку пересечения все более и более ранние формы структур письменных гранитов, обнаруживаем их самую раннюю форму. Эти породы встречаются редко. Они очень своеобразны [19]. В кристаллах микроклина таких пород заключено множество мелких изометрических, как бы гороховидных зерен кварца, не обладающих огранкой и не несущих на своей поверхности видимых штрихов. Зерна бывают равномерно рассеяны в микроклине (рис. 10). Изометрическая форма кварцевых зерен хорошо видна на микрофотографии шлифа (рис. 11), изготовленного из образца, снимок которого приведен на рис. 10. Кварцевые зерна не подчинены какой-либо закономерной ориентировке по

отношению к заключающему их микроклину. Положение оптических осей кварца произвольно и различно у разных зерен. В некоторых случаях эта своеобразная порода, обладающая как бы макропойкилитовой структурой, наблюдается в жилах в форме отдельных крупных порфиробласт или цепей порфиробласт, заключенных в гранитных и гранитаплитовых породах пегматитовых тел [19]. Эти факты свидетельствуют о том, что описываемая порода возникла благодаря собирательной перекристаллизации полевых шпатов гранитаплитов. Мелкие кварцевые зерна, входившие ранее в состав гранитаплитов, оказались включенными внутрь разросшихся кристаллов полевых шпатов.

Как показывают наблюдения, в процессе развития и преобразования

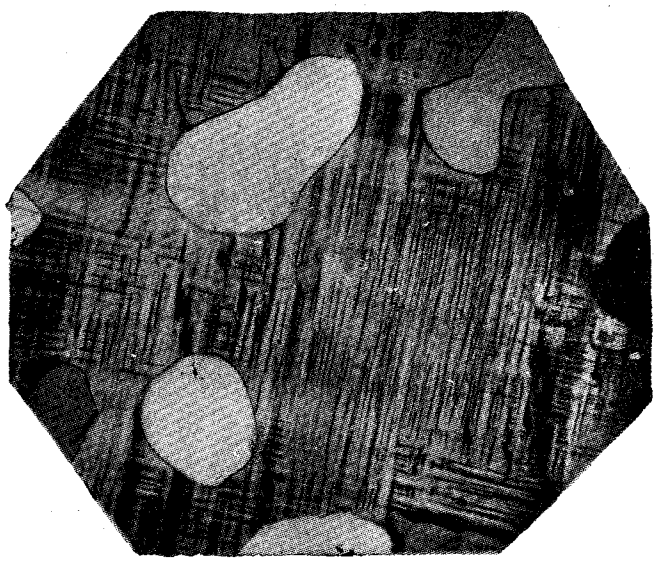


Рис. 11. Кварцевые зерна изометрической формы в микроклине. Николи скрещены. Увеличение 20

письменных гранитов часто изменяется не только структура, но и их состав, количественное соотношение в них между кварцем и полевым шпатом.

Во избежание возможной ошибки и недоразумений, имевших место в работах некоторых исследователей, напомним, что нельзя на основании минерального состава отдельного куска или отдельной части крупного блока письменных гранитов делать заключение о составе всей массы этих пород, слагающих участок пегматитового тела. При преобразовании письменных гранитов вещество кварца перемещается в кристалле полевого шпата. В одном месте кварц исчезает, в другом накапливается в большем, чем прежде, количестве. В некоторых случаях кварц частично оказывается перемещенным вообще за пределы данного кристалла полевого шпата и сконцентрированным на границах соприкосновения полевого шпата с другим соседним кристаллом. Понятно, что при этом количественное соотношение кварца и полевого шпата в разных участках породы различно: в одних участках породы кварца окажется меньше обычного его содержания в письменных гранитах (рис. 12), а в иных — гораздо больше (рис. 13).

Эта особенность письменных гранитов [16, 19] — изменчивость коли-



Рис. 12. Участок письменного гранита с обедненным содержанием кварца (черное), мигрировавшего за его пределы. $^1/_2$ натуральной величины

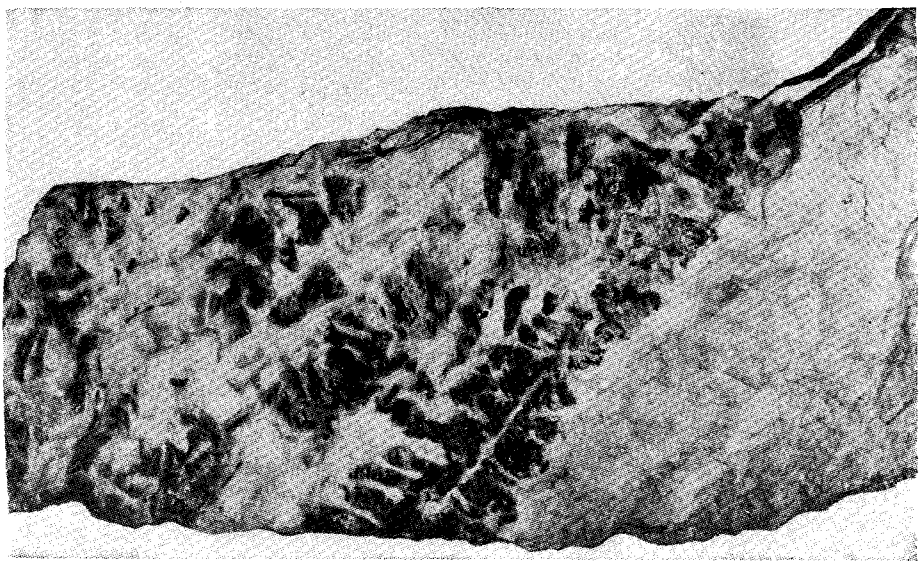


Рис. 13. Участок письменного гранита с повышенным содержанием кварца (черное), сегрегировавшего из другой части породы. Натуральная величина

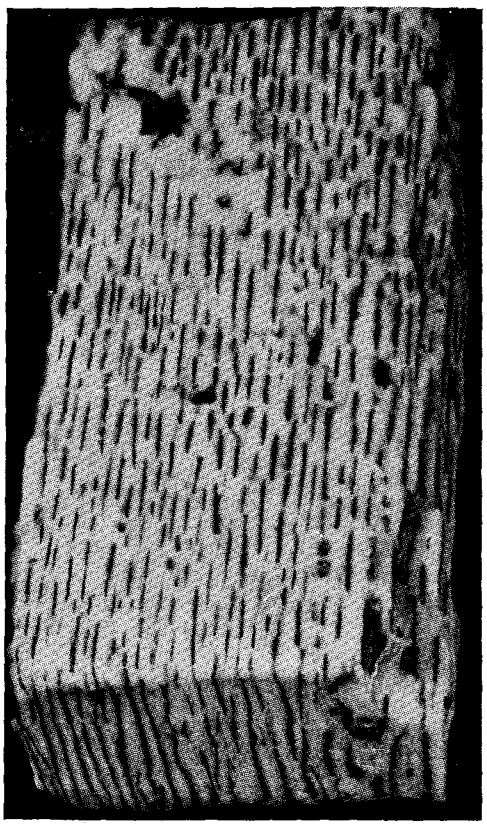


Рис. 14. Микроклиновый письменный гранит с ихтиоглиптами пластинчатой формы. Микроклин во всем образце представлен монокристаллом. К наблюдателю обращена плоскость спайности микроклина по (010); вверх — спайная плоскость по (001). Натуральная величина

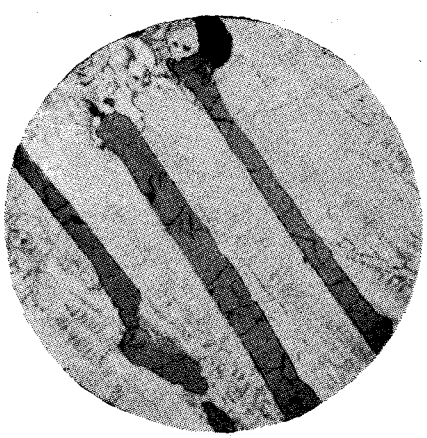


Рис. 15. Поперечное сечение пластинчатых ихтиоглиптов (темносерое). Разрез по (010) микроклина. Николи скрещены. Увеличение 20



Рис. 16. Вариации форм ихтиоглиптов, принадлежащих единой системе. Весь микроклин этого образца монокристалличен. Натуральная величина

чественного соотношения кварца и полевых шпатов в разных участках одной и той же породы — видна на рис. 7.

Иное дело оценивать состав всей породы в целом. Узкоместные вариации количественного соотношения минералов при этом компенсируют друг друга, и всегда обнаруживается устойчивое постоянство. Составы письменных гранитов близки к составу исходных гранитных или гранит-аплитовых пород.

Таким образом, изменьчивость и постоянство составов письменных гранитов нельзя противопоставлять. Эти качества одинаково присущи нашим породам и являются следствием развития и изменения их строения.

3. Закономерности распределения тел ихтиоглиптов в кристаллах полевых шпатов

В пегматитах распределение ихтиоглиптов в кристаллах микроклина противоречит идее о приуроченности каждой системы однозначно ориентированных ихтиоглиптов к определенным пирамидам нарастания граней микроклина [15, 16, 19]. Весь объем кристалла (все пирамиды нарастания его граней) часто заключает одинаково ориентированные ихтиоглипты. Иногда же в разных участках кристалла микроклина две, три и более систем ихтиоглиптов ориентированы различно, вне всякой зависимости от положения их в той или иной пирамиде нарастания граней микроклина. Эти самые обычные и распространенные явления, которые может наблюдать любой исследователь, присмотревшись к рисунку письменных гранитов в их естественных обнажениях, заставляют отказаться от идеи определяющего влияния на положение ихтиоглиптов «закона кристаллографической индукции» А. Е. Ферсмана.

В чем же заключаются действительные причины, обусловившие расположение ихтиоглиптов? Какая особенность природного процесса рождения пород записана этими замечательными каменными письменами?

Попытаемся решить этот вопрос, сосредоточив внимание на анализе закономерности распределения тел ихтиоглиптов внутри кристаллов микроклина.

Ни у кого не вызывает сомнения, что на расположение ихтиоглиптов каким-то образом влияет заключающий их полевой шпат. В письменных гранитах какого типа структур яснее видно это влияние? Когда ихтиоглипты имеют форму коротких многогранников или изометрические очертания, трудно объективно уловить сущность этого влияния на создание данных форм и данного положения включений кварца. Что при этом сказывается сильнее — преобладающий ли рост включений кварца в том или ином определенном направлении, зависящем от особенностей кристаллизации самого кварца, или подчиненность его микроклину? Отсутствие ясных критериев при решении этого вопроса открывает широкие возможности для различных предположений. Примером этого служит известная гипотеза А. Е. Ферсмана [24], что положение тела ихтиоглипта обусловливается передвижением нарастающей грани микроклина; ихтиоглипт ориентируется по нормали к этой грани. Гораздо яснее и нагляднее зависимость положения ихтиоглиптов вскрывается в письменных гранитах, где ихтиоглипты обладают формой пластин или досок (рис. 14). Правильная пластинчатая форма ихтиоглиптов видна и в шлифах этой породы (рис. 15).

Справедливы ли закономерности ориентировки таких ихтиоглиптов для письменных гранитов с иными формами кварцевых включений? Да, справедливы — в единой системе («стае») параллельных ихтиоглиптов видны переходные формы от пластинчатых к карандашевидным и иным (рис. 16).

Для получения более точных данных о положении пластинчатых ихтиоглиптов в кристаллах микроклина исследование производилось следующим путем. В куске письменного гранита, микроклин которого монокристалличен, устанавливалось положение (010) и (001) микроклина. Знак, соответствующей плоскости, выяснялся с помощью определения положения оптической индикатрисы в микроклине в ориентирован-

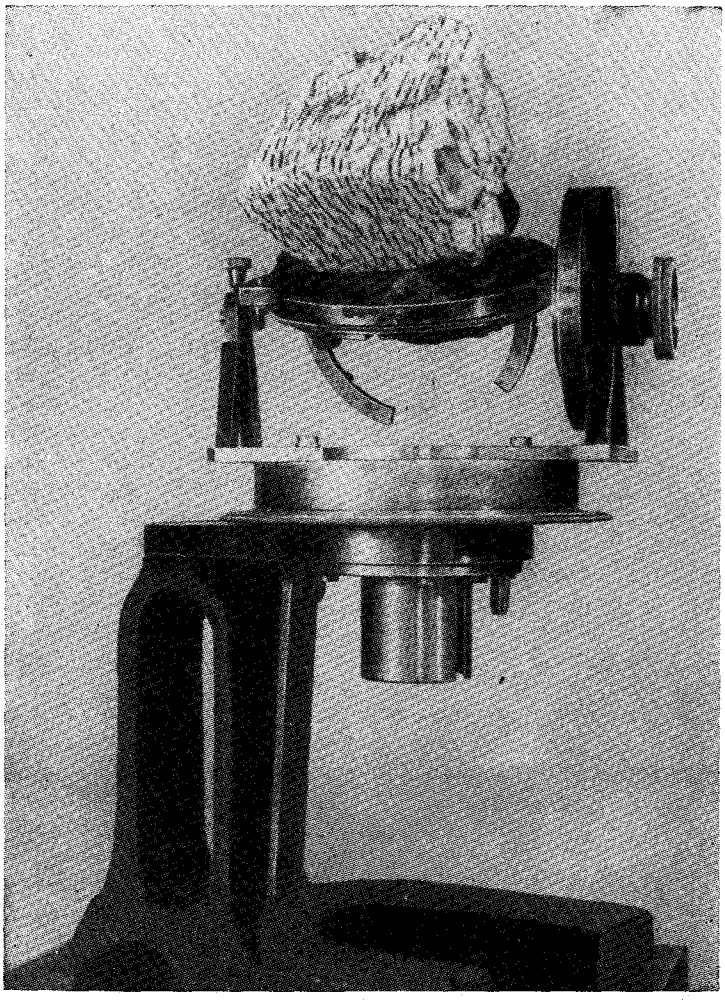


Рис. 17. Установка для определения положения пластинчатых ихтиоглиптов в кристаллах полевого шпата

ных шлифах, вырезанных из данного образца. Затем образец пластилином укреплялся на столике Федорова, помещенном на станине, имеющей горизонтальный лимб (рис. 17). При наблюдении отблесков от плоскости (010) и вращении столика Федорова вокруг оси *M* плоскость (010) устанавливалась перпендикулярно оси *У* столика Федорова. Затем вращением оси *У* плоскость (001) микроклина приводилась в горизонтальное положение. Правильность ее установки проверялась наблюдением отблеска от этой плоскости и сохранением его при вращении всего столика Федорова на станине вокруг вертикальной оси. После этого образец по-

ворачивался на 26° к наблюдателю вокруг оси *У*. В таком положении микроклин получал правильную установку: ребро [001] оказывалось вертикальным, плоскость спайности (010) — направо от наблюдателя, а плоскость (001) — наклоненной на 26° от горизонта к наблюдателю. Затем определялось положение пластинок кварца. Для этого использовались лимбы станины и оси столика Федорова. Точность измерения положения ихтиоглиптов описанным приемом составляла один-полтора градуса. Измерения всегда производились несколько раз повторно и расхождения в отсчетах не превышали указанной величины.

Таким способом было определено положение пластинчатых ихтио-

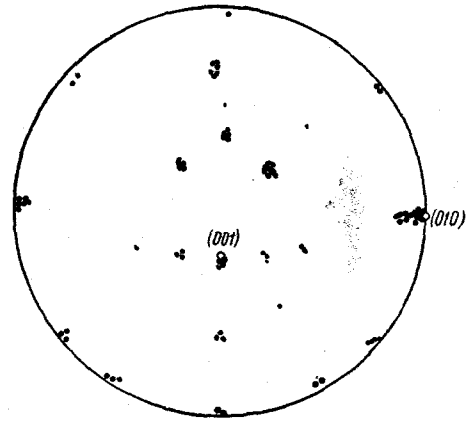


Рис. 18. Сводная стереографическая проекция, показывающая положение пластинчатых и досковидных ихтиоглиптов в кристаллах микроклина. Точки и кружки — гномостереографические проекции соответственно — плоскостей уплощения ихтиоглиптов и плоскостей спайности микроклина

глиптов в ста образцах письменных гранитов из пегматитовых жил Карелии, Урала и Мамского района. Кроме личных коллекций, автор использовал образцы из собрания Горного музея Ленинградского горного института и кафедры минералогии Ленинградского университета.

Результаты определения положения пластинчатых ихтиоглиптов в кристаллах микроклина представлены на сводной стереографической проекции рис. 18. Положение плоских ихтиоглиптов в кристаллах микроклина, как видно на рисунке, подчинено определенным позициям. Закономерности распределения становятся ясными, если эту сводную проекцию совместить с проекцией некоторых граней полевого шпата. На рис. 19 отчетливо видно, что ихтиоглипты оказываются уплощенными в плоскостях, примерно параллельных некоторым граням полевого шпата, а следовательно, параллельных важным плоским сеткам кристаллической структуры шпата [1].

Вместе с тем обнаруживается и некоторое отклонение плоских ихтиоглиптов от точного совпадения с плоскими сетками структуры шпата. На проекции видно, что отклонения не произвольны, а обладают некоторой закономерностью. Например, нормали к плоским ихтиоглиптам, почти параллельным грани (201) микроклина, отклоняются в сторону третьей кристаллографической оси шпата. Нормали к плоским ихтиоглиптам, расположенным почти в плоскости третьего пинакоида, отклоняются в сторону ребра [100] микроклина и т. д.

Причина этих отклонений станет ясной из следующего. Как показало определение, плоские досковидные ихтиоглипты в образцах, подобных

[1] В литературе давно имелись отдельные указания о близком совпадении некоторых плоских ихтиоглиптов с определенными плоскостями полевых шпатов (Г. Розе, Г. Войчах и др.).

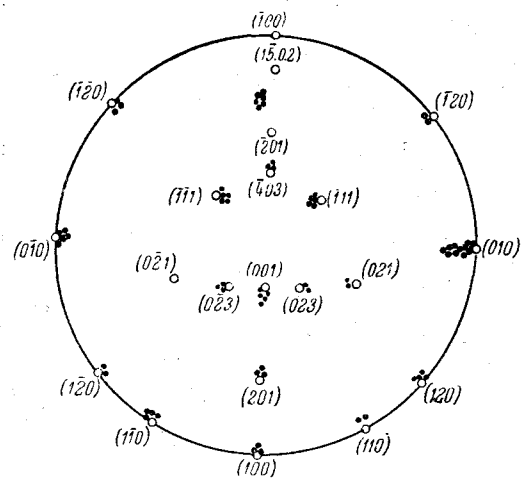


Рис. 19. Гномостереографическая проекция плоскостей уплощения ихтиоглиптов (точки) и некоторых граней полевого шпата (кружки)

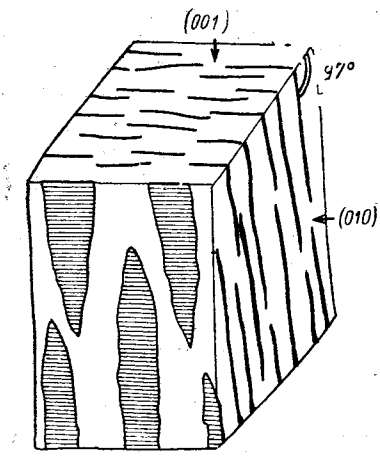


Рис. 20. Схема строения письменного гранита с ихтиоглиптами пластинчатой формы, фотография которого приведена на рис. 14

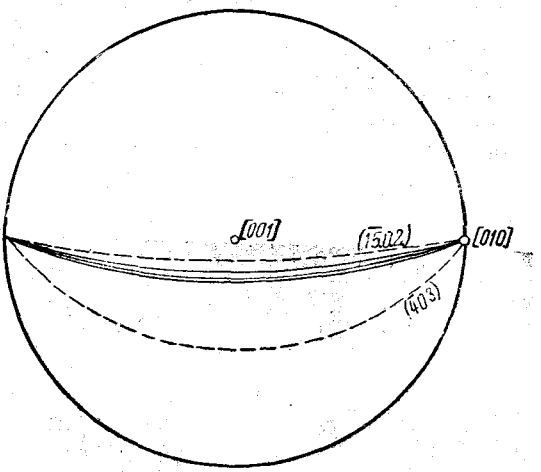


Рис. 21. Граммостереографическая проекция плоскостей уплощения ихтиоглиптов, почти параллельных плоскости (1̄5.0.2) микроклина. Сплошные дуги — проекция плоскостей уплощения ихтиоглиптов; пунктирные — проекция граней шпата

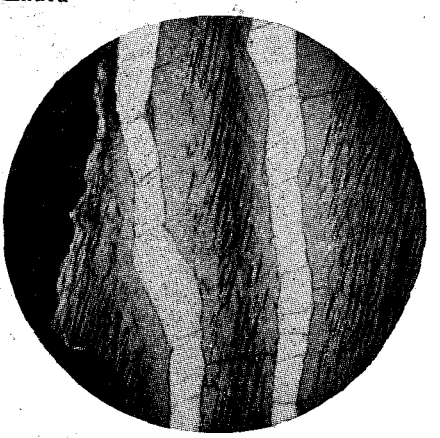


Рис. 22. Поперечное сечение плоских ихтиоглиптов, ориентированных почти параллельно плоскости (1̄5.0.2) микроклина. Видна коленчатость ихтиоглиптов. Шлиф ориентирован параллельно (010) микроклина. Николи скрещены. Увеличение 20

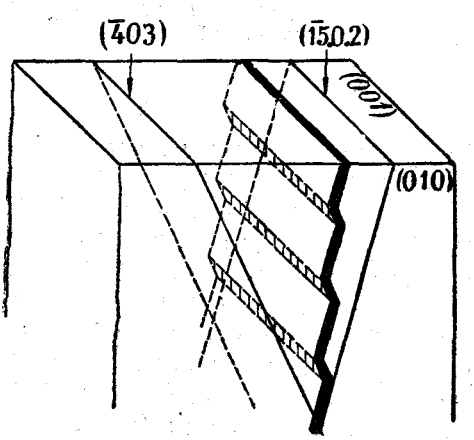


Рис. 23. Схема показывает, что особенность формы плоских ихтиоглиптов, ориентированных почти параллельно плоскости (1̄5.0.2) микроклина, определяется системой пересекающихся плоскостей двух направлений — (1̄5.0.2) и (4̄03)

изображенному на рис. 14 (схема строения его приведена на рис. 20), несколько отклоняются от точной параллельности плоскости ($\bar{1}5.0.2$) микроклина и склонены в сторону плоскости ($\bar{4}03$) этого минерала (рис. 21). В шлифах, вырезанных из этих образцов поперек ихтиоглиптов (шлиф параллелен спайности по (010) микроклина), видно, что эти ихтиоглипты ограничены ломаными плоскостями (рис. 22). Поперечный разрез их имеет зигзагообразный вид. Ихтиоглипт оказывается поочередно уплощенным в двух плоскостях, одной из которых является плоскость $\bar{1}5.0.2$).

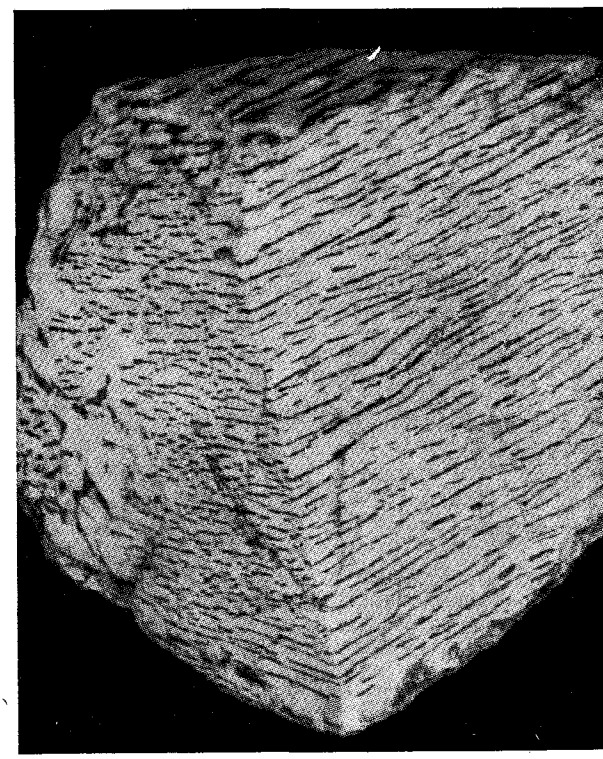


Рис. 24. Микроклиновый письменный гранит с ихтиоглиптами плоской формы. Микроклин всего образца представлен монокристаллом. Второй пинакоид микроклина обращен вправо от наблюдателя, третий — вверх. $^1/_3$ натуральной величины

Это устанавливается и на микрофотографии шлифа по признаку параллельности отдельных участков контура ихтиоглипта — направлению удлинения пертитов. Пертиты приурочены к плоскости полевого шпата ($\bar{1}5.\ 0.\ 2.$). Другой плоскостью, определяющей изгибы контура ихтиоглиптов, является плоскость ($\bar{4}03$). Ихтиоглипт параллелен то одной, то другой плоскости. Большая часть его контура совпадает с плоскостью ($\bar{1}5.\ 0.\ 2.$). Эта особенность формы ихтиоглипта пояснена схемой рис. 23. Соотношения размеров участков ихтиоглипта, совпадающих с каждой из этих двух плоскостей, бывают различны. Если размеры участков, совпадающих с плоскостями ($\bar{4}03$), малы или такие участки отсутствуют, то общее уплощение ихтиоглипта очень близко или точно параллельно пло-

скости (15. 0. 2). При увеличении размеров участков ихтиоглипта, совпадающих с плоскостью (403), все тело ихтиоглипта отклоняется в сторону этой плоскости.

Во втором случае исследовались письменные граниты, в которых плоские ихтиоглипты расположены почти параллельно плоскостям микроклина (001) (рис. 24). Сводная проекция измерения положения плоских ихтиоглиптов приведена на рис. 25. Отчетливо видно некоторое

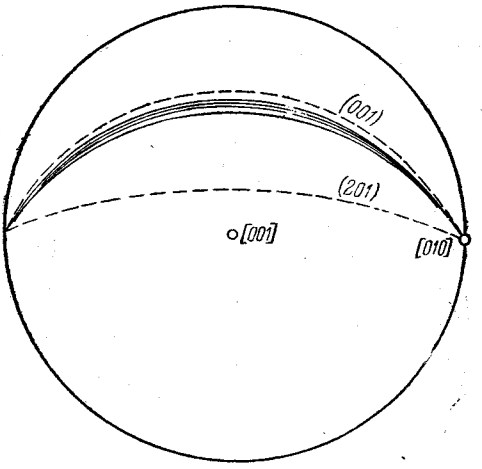


Рис. 25. Граммостереографическая проекция плоскостей уплощения ихтиоглиптов, почти параллельных плоскости (001) микроклина. Сплошные дуги — проекция плоскостей уплощения ихтиоглиптов, пунктирные — проекции граней микроклина



Рис. 26. Поперечное сечение ихтиоглиптов, ориентированных почти параллельно плоскости (001) микроклина. Шлиф ориентирован параллельно (010) микроклину. Видны трещины спайности микроклина по (001). Николи скрещены. Увеличение 20

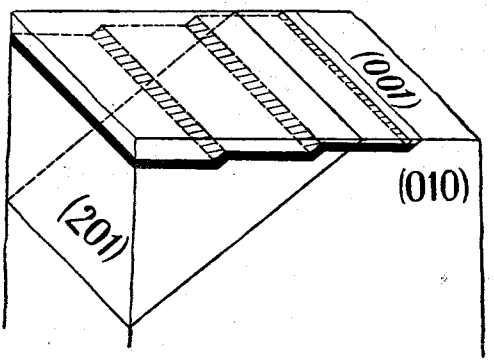


Рис. 27. Схема показывает, что особенность формы плоских ихтиоглиптов, ориентированных почти параллельно плоскости (001) микроклина, определяется системой пересекающихся плоскостей двух направлений— (001) и (201)

отклонение ихтиоглиптов в одну сторону от плоскости (001). На микрофотографии ориентированного шлифа, вырезанного поперек ихтиоглиптов (рис. 26), видна та же ступенчатость формы ихтиоглиптов, что и в первом случае. Ихтиоглипт оказывается параллельным то плоскости (001), то плоскости другого определенного направления. Измерения по-

казали, что этой второй плоскостью является плоскость (201). Схема, поясняющая особенности формы ихтиоглиптов этого типа, приведена на рис. 27, где видны все особенности строения письменных гранитов, обнаруженные и в первом примере.

Подобным изучением эти особенности были подтверждены и для всех других групп плоских ихтиоглиптов разного расположения. Добавим, что встречаются случаи, когда форма ихтиоглиптов определяется попеременной параллельностью их не двум, а трем и реже, четырем определенным плоским сеткам полевого шпата. Эта ступенчатость формы ихтиоглиптов выражается в наличии на их поверхности той так называемой «индукционной штриховки», видимой на глаз или в лупу, которая ранее уже многократно отмечалась в литературе, но объяснялась иной причиной.

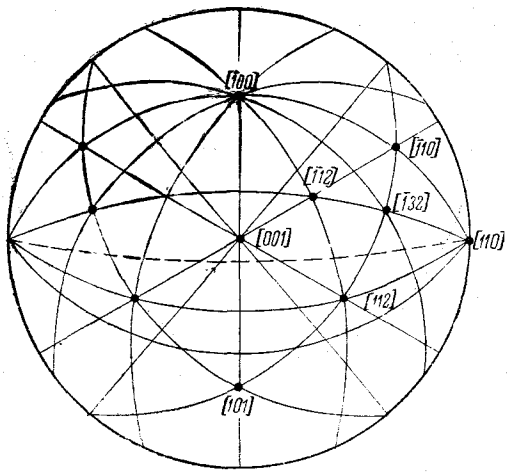


Рис. 28. Сводная граммостереографическая проекция всех плоских сеток микроклина, вдоль которых расположены плоские ихтиоглипты

Итак, более детальное изучение всех образцов обнаруживает, что видимое отклонение тел плоских ихтиоглиптов от точной параллельности определенным плоским сеткам кристаллической структуры микроклина (рис. 18) не является следствием их произвольного положения, а вызывается просто сложностью ступенчатой формы ихтиоглиптов. Каждая из таких ступенек оказывается параллельной одной из плоских сеток микроклина.

На рис. 28 приведена сводная граммостереографическая проекция положения всех этих сеток. Обращает внимание, что большинство сеток параллельно ребрам элементарной ячейки микроклина или ее диагоналям. Эта особенность будет привлечена для обсуждения несколько ниже.

Закономерность расположения плоских ихтиоглиптов в кристаллах микроклина наглядно видна на рис. 29.

Приведенные факты свидетельствуют о полной независимости этих закономерностей от наличия в кристаллах микроклина тех или иных пирамид нарастания граней этого минерала, от якобы индуцирующего влияния этих граней на рост, форму и расположение ихтиоглиптов.

В процессе изменения письменных гранитов эти ясные и определенные закономерности, как говорилось выше, затушевываются. Сказывается влияние тенденции кварца к созданию собственной огранки. На пути к этому встречаем все постепенно изменяющиеся формы ихтиоглиптов. Это легко проследить по поперечным сечениям ихтиоглиптов. Вначале на поверхности плоских ихтиоглиптов возникают отдельные выступы (рис. 30), затем образуются подковообразные формы (рис. 31), трубчатые ихтиоглипты и, наконец, монолитные ограненные ихтиоглипты с изометрическими очертаниями в поперечном сечении. Тем большее значение, полагаем, приобретает дальнейшее изучение описанных пород с плоскими ихтиоглиптами. Ранее в литературе им уделяли мало внимания.

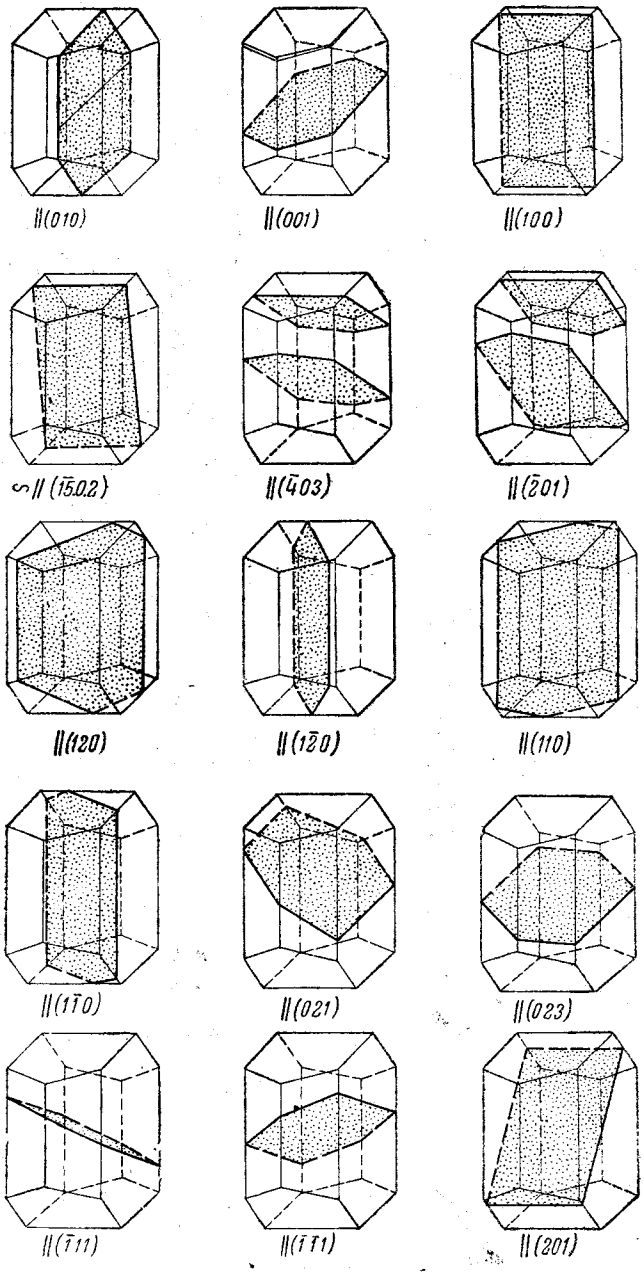


Рис. 29. Закономерность расположения плоскостей уплощения ихтиоглиптов (крапленные плоскости) в кристаллах микроклина

4. Генезис письменных гранитов в пегматитовых жилах

При решении вопроса о генезисе письменных гранитов необходимо оценить, насколько их фактические особенности согласуются с тремя приведенными трактовками процессов образования письменных гранитов.

Идее об образовании письменных гранитов путем одновременной кристаллизации кварца и полевых шпатов из расплава или раствора противоречат: 1) ясные явления изменения и развития структур письменных гранитов, протекающие уже в твердых породах; 2) обрисованные закономерности положения ихтиоглиптов внутри кристаллов полевых шпатов, отсутствие зависимости этих закономерностей от расположения пирамид нарастания граней шпата; 3) геологические особенности залегания письменных гранитов в пегматитовых жилах среди пород, обладающих иным строением [15, 16, 18, 19].

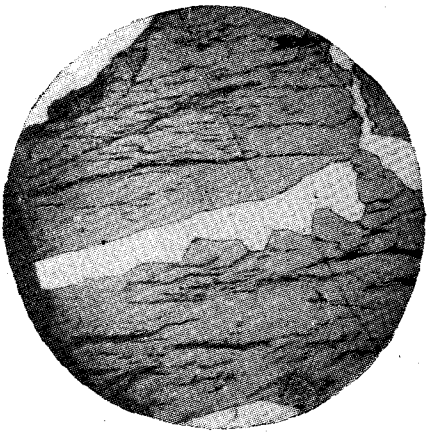


Рис. 30. Поперечное сечение плоского ихтиоглипта с выступами на его поверхности. Увеличение 20



Рис. 31. Ихтиоглипт с подковообразным поперечным сечением. Увеличение 20

Эта идея не только не согласуется с природными особенностями письменных гранитов, она вообще противоречит современной теории кристаллизации расплавов, отвечающих эвтектическим смесям. Сходство рисунка структур некоторых образцов письменных гранитов и сплавов эвтектической кристаллизации является чисто внешним и отдаленным. А. А. Бочвар — основоположник современной теории кристаллизации эвтектических смесей, своими точными опытами показал [3], что тип структуры образующегося сплава закономерно зависит от условий кристаллизации. В случае медленной кристаллизации, благодаря диффузии в массе расплава, успевает выравниваться его состав. Возникают разобщенные кристаллические зародыши, которые медленно и и равномерно разрастаются во все стороны, вплоть до соприкосновения друг с другом. Никакой типичной эвтектической структуры не возникает. Образуется сплав с обыкновенной зернистой структурой, вполне тождественной структурам глубинных магматических горных пород. Сплавы с типичной эвтектической структурой возникают только при необходимом для этого условии — при очень быстрой кристаллизации и известном переохлаждении расплава. В этих условиях в расплаве возникает много центров зарождения кристаллических фаз. Возможность роста крупных кристаллов исключена. Линейная скорость

кристаллизации очень велика и превышает скорость диффузии компонентов в расплаве. Благодаря этому вокруг растущего кристаллика одного из компонентов («ведущей» кристаллической фазы) расплав сильно обогащается другими компонентами. Это вызывает зарождение здесь и быстрый рост кристаллической фазы и другого компонента («ведомой» кристаллической фазы). Все кристаллические фазы эвтектической смеси кристаллизуются в тесном контакте друг с другом. Возникает тесное переплетение между собою кристаллических образований, что и обусловливает своеобразный рисунок типичных структур эвтектической кристаллизации. В зависимости от степени переохлаждения расплава и скорости кристаллизации возникают сплавы с полигональным, дендритовидным и сферолитовым рисунком их структуры. Итак, для образования сплавов с типичной структурой эвтектической кристаллизации необходимы условия: 1) быстрой кристаллизации; 2) превышения линейной скорости кристаллизации над скоростью диффузии в расплаве; 3) массового зарождения центров кристаллизации. В этих условиях совершенно исключена возможность роста крупных кристаллов. Идея образования письменных гранитов из так называемого пегматитового расплава предусматривает как раз диаметрально противоположные условия. Исследователи, защищающие эту идею, предполагают, что кристаллизация письменных гранитов происходила очень медленно и длительный период времени. Ими мыслится, что наличие в пегматитовом расплаве летучих компонентов снижает вязкость этого расплава и повышает скорость диффузии в нем компонентов. Предполагается, что возникают редкие центры кристаллизации полевых шпатов и благодаря облегченной диффузии компонентов в расплаве вырастают кристаллы гигантских размеров. Все это коренным образом противоречит самой сущности процессов формирования сплавов с типичной эвтектической структурой. Идея геологов об образовании письменных гранитов из пегматитового расплава ошибочна в своей физико-химической основе.

В природе, как известно, имеются примеры кристаллизации магматических горных пород, когда условия их застывания и структуры образующихся при этом горных пород близки случаям, изученным А. А. Бочваром. К таким примерам можно отнести кристаллизацию апикальных зон приповерхностных гранитных массивов и застывание даек кислых магматических пород, формировавшихся в верхних ярусах земной коры. В этих примерах действительно происходило переохлаждение расплава, диффузия в нем была затруднена, кристаллизация шла быстро. Для образовавшихся здесь пород типичны гранофировые и микрографические структуры. Однако условия формирования этих пород противоположны тем, в которых образовывались пегматитовые жилы.

Коснемся еще одного явления, противоречащего идее образования письменных гранитов из «пегматитового расплава». К настоящему времени В. В. Якубовой [26], Н. П. Ермаковым (устное сообщение) и другими исследователями изучены многочисленные примеры пузырьков, включенных внутри ихтиоглиптов. Описаны двух- и трехфазовые включения. Но нигде в них не был обнаружен полевой шпат. Почему же во включениях нет полевого шпата, если он действительно составлял на три четверти массу того «пегматитового расплава», в котором происходила кристаллизация ихтиоглиптов?

Идея об образовании письменных гранитов путем замещения кварцем полевого шпата, имея в виду законы положения плоских ихтиоглиптов, на первый взгляд представляется заманчивой. Однако ей противоречит факт постоянства валового состава пород и явления изменения письменных структур.

Увязать явления преобразования структур письменных гранитов и закономерности положения ихтиоглиптов, по-видимому, можно только, допустив мысль о преимущественном развитии плоских ихтиоглиптов вдоль определенных плоскостей нарушений сплошности кристаллов полевых шпатов, происходивших в течение общего длительного процесса преобразования пород. Такими плоскостями нарушения сплошности полевых шпатов (рис. 19 и 29) в большинстве случаев являются не плоскости хорошо выраженной спайности, параллельные второму и третьему пинакоидам, а иные направления. На первый взгляд эта особенность заставляет сомневаться в справедливости предположения о нарушении сплошности шпатов по этим направлениям. Однако известно, что в кри-

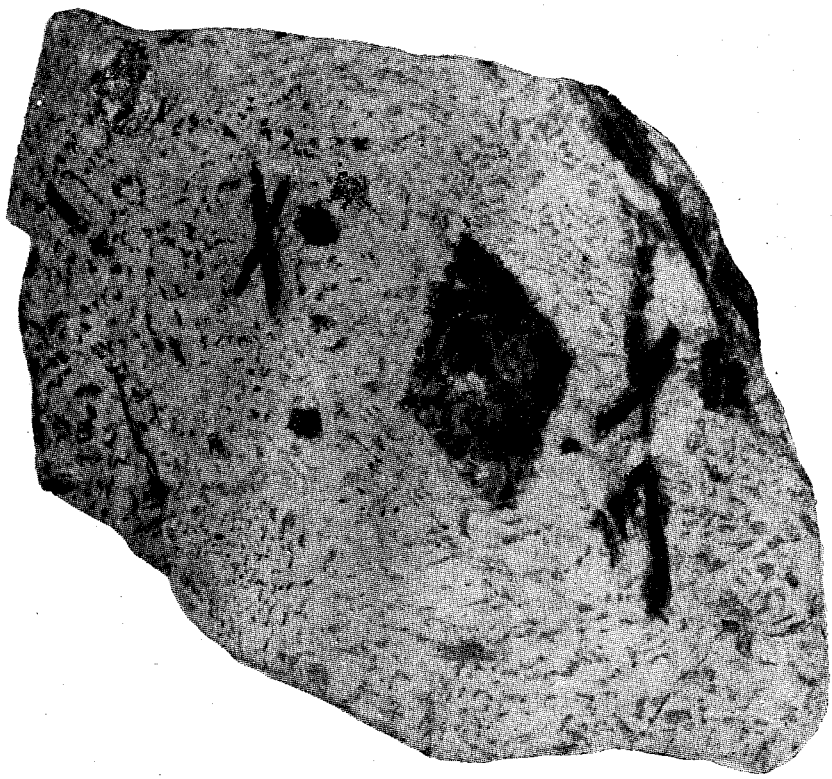


Рис. 32. Мелкие листоватые кристаллы биотита (черное) в микроклиновом письменном граните. Натуральная величина

сталлических веществах, кроме спайных плоскостей, имеются еще плоскости нарушения сплошности кристаллов, возникающие в связи с явлениями скольжения, которые обнаруживаются при воздействии на кристаллы давления [5]. Эти плоскости ориентированы в кристаллах иначе, чем спайные плоскости. В условиях формирования пегматитовых жил естественно ожидать деформации кристаллов полевых шпатов под влиянием именно давления. Есть и еще одно, правда, косвенное соображение, подкрепляющее высказанную мысль. Известно, что при наличии плоскостей скольжения в кристаллических веществах эти плоскости оказываются параллельными ребрам элементарной ячейки кристаллических структур веществ или ее диагоналям. В нашем случае, как говорилось выше, мы встречаемся с совершенно аналогичным явлением (рис. 28).

Достоверность предположения о возможном наличии в полевых шпатах плоскостей скольжения, приводящих далее к соответствующему нарушению их сплошности, можно еще раз проверить фактами. Если эта мысль справедлива, то к этим плоскостям нарушения полевых шпатов должны бы быть приурочены другие минералы, образующиеся в шпатах метасоматическим путем. Внутри блоков письменных гранитов часто имеются возникшие таким путем мелкие листоватые кристаллы биотита и мусковита[1] (рис. 32). В нескольких образцах таких пород было произведено определение положения листков слюд в кристаллах микроклина (тем же способом, который применялся при изучении ихтиоглиптов). Рис. 33, где приведены результаты измерений, наглядно подтверждает справедливость обсуждаемой мысли (ср. с рис. 18).

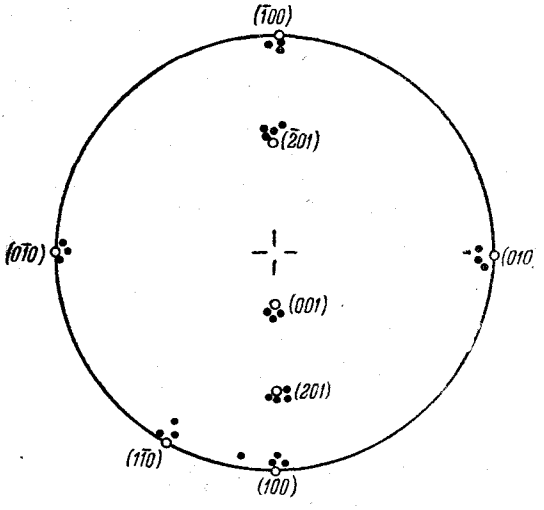


Рис. 33. Сводная гномостереографическая проекция, показывающая ориентировку листков биотита (черные точки) в кристалле микроклина. Символами обозначены проекции соответствующих граней микроклина

Подобные явления обнаруживаются и в крупных кристаллах полевого шпата, не содержащих включений кварца. На рис. 34 отчетливо видно, что множество мелких листочков мусковита расположено внутри кристалла полевого шпата, будучи закономерно ориентировано в двух направлениях, не совпадающих с плоскостями спайности полевого шпата. Плоскость (010) полевого шпата направлена к наблюдателю, плоскость (001) вертикальна; листочки мусковита лежат в плоскостях (110) и ($\bar{4}03$).

В свете изложенного следовало бы пересмотреть и представления о развитии процессов образования пертитов (пертитов распада твердого раствора). Большинство современных исследователей предполагает, что перемещение вещества при возникновении пертитов распада твердых растворов происходило путем диффузии ионов щелочных металлов сквозь кристаллическую структуру микроклина, независимо от нарушения ее сплошности. Это предположение обстоятельно было рассмотрено в последние годы в ряде работ С. А. Руденко [20, 21] и др. Полное тождество ориентированности пластинок альбита в пертитах и плоских ихтио-

[1] Доказательства метасоматического пути образования кристаллов слюд в письменных гранитах см. в предшествующих работах В. Д. Никитина [17, 18, 19].



Рис. 34. Кусок крупного кристалла полевого шпата. Плоскость (010) обращена к наблюдателю (001) — вертикальна. Листочки мусковита закономерно расположены в плоскостях (110) и $(\bar{4}03)$ полевого шпата. Увеличение в 2 раза. Образец из коллекции Ю. Е. Рыцк.

глиптов противоречит этим представлениям. Оно свидетельствует о приуроченности альбита к густой сети плоскостей тех нарушений сплошности микроклина, в системе которых располагаются и плоские ихтиоглипты. Встречается еще одно явление, подкрепляющее высказанное соображение. В пегматитовых жилах попадаются образцы микроклин-пертитов пятнистого строения, которое создается тем, что на фоне обычного замутненного микроклина наблюдаются участки почти прозрачного полевого шпата. В первом видны обильные, хорошо сформированные пертиты. В прозрачном же микроклине (не деформированном) пертитов нет. Зоны замутненного микроклин-пертита располагаются во всем кристалле микроклина по сетке, параллельной плоскостям, помеченным на рис. 29 — по тем же плоскостям, к которым бывают приурочены и плоские ихтиоглипты. Предположение о вероятном возникновении в кристаллах микроклина закономерно ориентированных трещин, отличных от плоскостей обычной спайности полевых шпатов, кстати, уже давно высказывалось в литературе. Например, Х. Эберт предполагал, что именно к таким трещинам приурочиваются обособления пертитов [33]. Однако эта справедливая мысль позднее оказалась утерянной.

В связи с затронутыми явлениями образования нарушения сплошности полевых шпатов по плоскостям, возникшим в связи с явлениями скольжения, коснемся общей причины возникновения так называемой отдельности и в других минералах. Не является ли отдельность минералов плоскостями нарушения их сплошности, возникшими при скольжении благодаря воздействию на минералы тектонического давления. Об этом свидетельствует и известное наличие друз кристаллов разнообразных минералов, в свободных головках которых нет отдельности, а в стесненных корневых частях кристаллов отдельность выражена очень ясно. Напомним, что уже ощущалась неудовлетворенность исследователей распространенным объяснением Н. В. Белова [1] причин отдельности минералов Справедливая критика этих представлений была произведена В. С. Соболевым [22]. В рядовой практике минералогических и петрографических исследований фиксируется ориентированность разнообразных продуктов изменения минералов только в тех случаях, когда они бывают приуроченными к плоскостям спайности минералов или двойниковым швам. Анализ же возможного расположения таких продуктов в плоскостях нарушения сплошности минералов, возникающих благодаря скольжению, обычно выпадает из внимания. Между тем был период после блестящих исследований В. И. Вернадского, специально посвященных изучению явлений скольжения в минералах и возникающих при этом нарушений сплошности [5], когда минералоги тщательно анализировали эти факты. С течением времени эти факты в значительной степени отошли в область интересов физиков и металловедов.

Допустив, что плоские ихтиоглипты приурочены к системе плоскостей нарушения сплошности кристаллов микроклина, легко понять и причины разнообразия положения ихтиоглиптов внутри этих кристаллов. Если тектоническое давление вызвало нарушение сплошности микроклина по единой параллельной системе плоскостей, то все ихтиоглипты во всем кристалле располагались параллельно друг другу. Если же в разных участках кристалла микроклина возникали трещины различной ориентировки (на периферии или в центральной части кристалла), ихтиоглипты приобретали соответственно различное положение (рис. 7, 8, 35).

В тех случаях, когда две или несколько систем соответствующих плоскостей нарушения встречаются внутри кристаллов микроклина и бывают расположены под углом друг к другу, создается впечатление, что такие кристаллы обладают как бы зональным сложением. Это впечатле-

ние усиливается еще и тем, что размеры ихтиоглиптов и их форма в каждой из систем плоскостей нарушения сплошности микроклина бывают заметно различными. Наличие таких «зональных» кристаллов ранее служило для некоторых исследователей доказательством возникновения кристаллов якобы из расплава. Предполагалось, что такие кристаллы

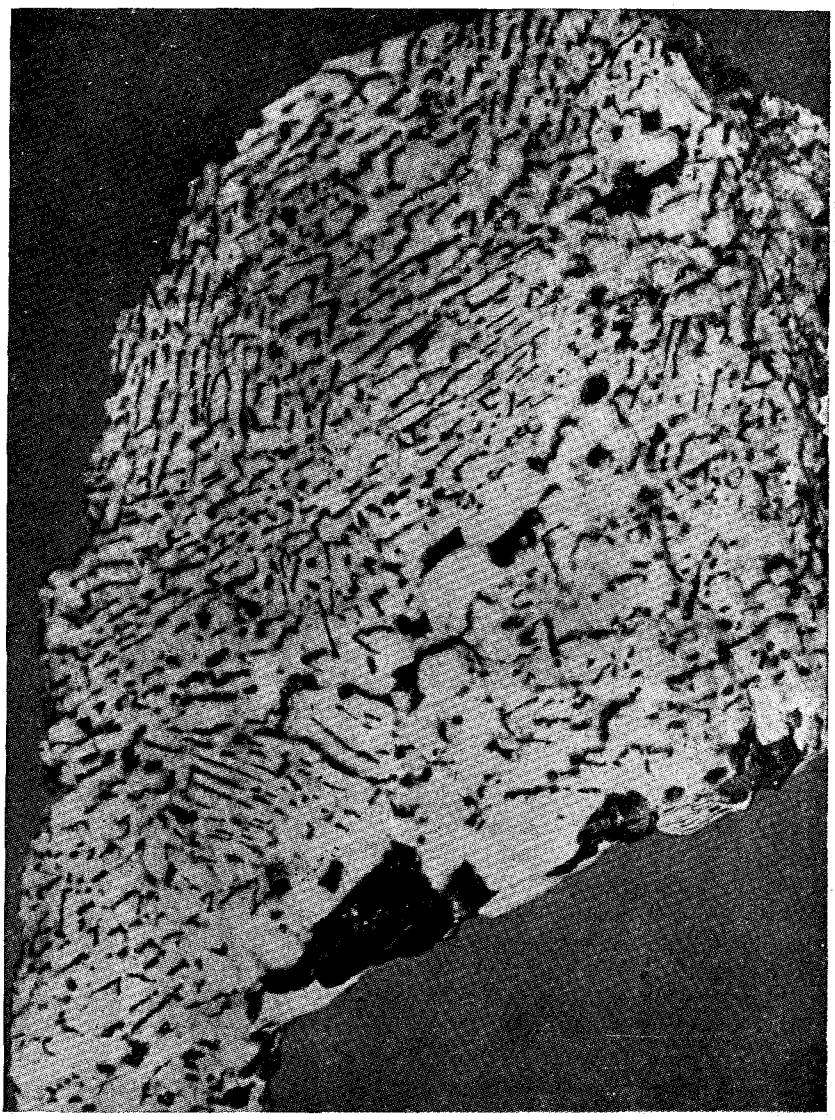


Рис. 35. Кусок микроклинового письменного гранита. Микроклин во всем образце представлен монокристаллом. Видно несколько различно ориентированных «стай» ихтиоглиптов. $^1/_2$ натуральной величины

указывают на изменение режима кристаллизации. С подобным как бы «зональным» строением блоков письменных гранитов из Мамских пегматитовых жил любезно ознакомил автора Г. Г. Родионов.

Выяснив действительную закономерность положения тел ихтиоглиптов, коснемся вопроса согласования этой закономерности с явлениями эпитаксии между полевыми шпатами и кварцем.

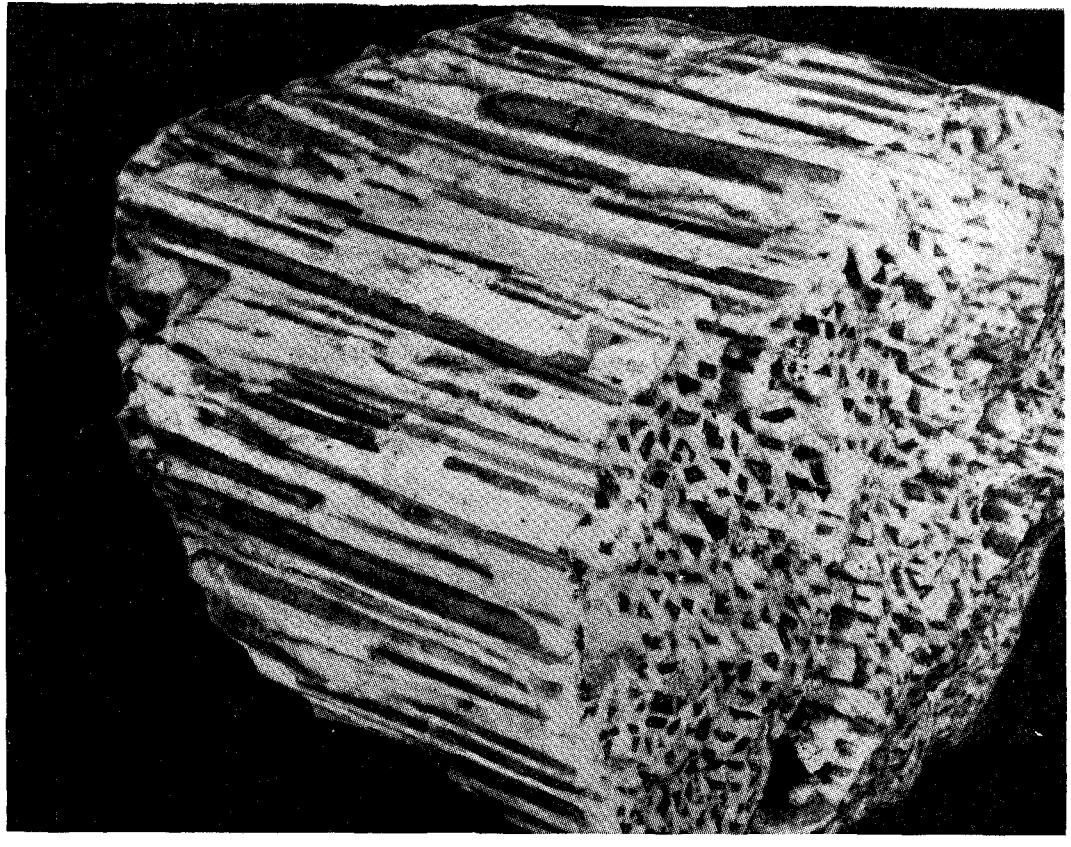


Рис. 37. Письменный гранит с карандашевидными, шестоватыми ихтиоглиптами. $^1/_2$ натуральной величины.

Эти закономерности не противоречат друг другу. Особенности строения письменных гранитов свидетельствуют о том, что формирование ихтиоглиптов происходило в твердых кристаллах полевого шпата. Плоские сетки кристаллической структуры микроклина, вдоль которых возникали плоскости нарушения сплошности кристаллов для разных направлений нарушений, обладают различным узором распределения ионов. Закон эпитаксии между микроклином и кварцем, понятно, определяется типом узора ионов на плоскости соприкосновения микроклина с формирующимся кварцем. Поэтому для ихтиоглиптов разного положения следует ожидать в общем случае и разных закономерностей эпитаксии. Фактические явления, как известно, подтверждают это предположение (рис. 36). Рассмотренные факты подтверждают положение А. Н. Заварицкого о возможности явлений эпитаксии между минералами в процессе перекристаллизации [11].

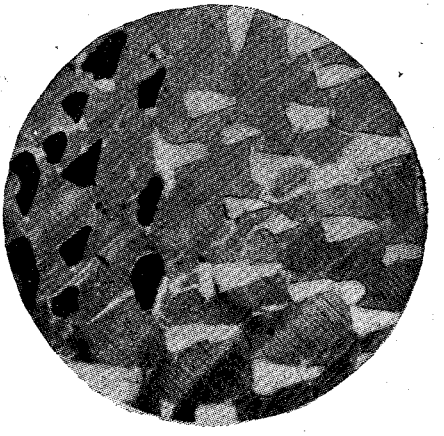


Рис. 36. Микроклиновый письменный гранит. Для каждой из двух систем ихтиоглиптов разного положения присущи свои закономерности эпитаксии между кварцем и микроклином. Николи скрещены. Увеличение 20

Влияние закономерностей разрывов сплошности кристаллов микроклина и эпитаксии на положение ихтиоглиптов наглядно обнаруживается и на примере формирования письменных гранитов с ихтиоглиптами карандашевидной, шестоватой формы (рис. 37). Исследованию было подвергнуто более трех десятков образцов горных пород, обладающих такой структурой. Стереографическая проекция, передающая сводку определений положений шестоватых ихтиоглиптов в этих образцах, приведена на рис. 38. Просмотр шлифов, изготовленных из этих образцов показал, что ориентировка оптических осей кварца (иначе G_3 кварца) у однородно погасающих монокристальных ихтиоглиптов близко отвечает закону эпитаксии Розе (на рис. 38 помечено черным треугольником). На стереографической проекции видно, что направления удлинения ихтиоглиптов не совпадают с ориентировкой G_3 кварца, а отклоняются в сторону [100] микроклина. Направление [100] в микроклине, как уже обсуждалось выше, является линиями пересечений многих плоскостей нарушения сплошности кристалла (иначе говоря — направлением наибольшего разрыхления микроклина, наиболее густой сети трещин в нем). Поэтому оно будет наиболее благоприятным для разрастания ихтиоглиптов. Итак, истинное положение ихтиоглиптов определяется двумя условиями: 1) стремлением ихтиоглиптов разрастаться вдоль тройных осей кварца, положение которых в микроклине обуславливается эпитаксией; 2) физической возможностью роста ихтиоглиптов вдоль наиболее разрыхленных направлений в микроклине (в нашем случае — вдоль [100]). Тут сказывается еще и наличие в микроклине разрывов сплошности по плос-

костям ($\bar{2}01$) и ($\bar{4}03$), определяющим ступенчатые изгибы тела ихтиоглиптов (рис. 39). В разных образцах, даже в различных частях одного и того же образца, условия нарушения сплошности микроклина варьируют. Благодаря этому создаются те вариации в положении шестоватых ихтиоглиптов, которые видны на рис. 38.

Остается решить еще один вопрос о природе письменных гранитов. В какой период формировались ихтиоглипты — до явления распада полевошпатового твердого раствора и обособления пертитов или, как полагали В. Т. Шаллер, Э. Э. Уолстром, Ф. К. Дрешер-Каден и многие другие, после этого?

При первом просмотре шлифов письменных гранитов, как упомина-

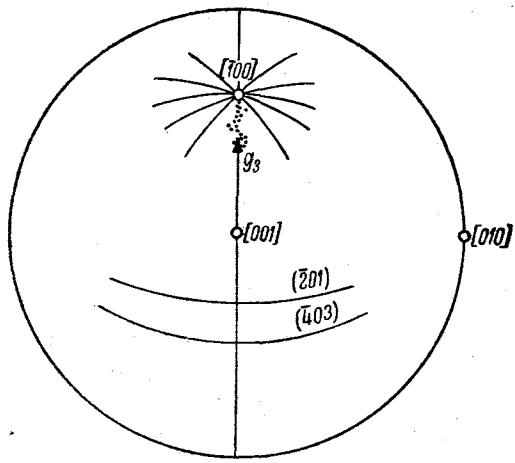


Рис. 38. Сводка определений удлинения шестоватых ихтиоглиптов. Черный треугольник и точки — граммостереографические проекции соответственно G_3 кварца и направлений удлинения ихтиоглиптов; дуги больших кругов — проекции плоскостей нарушения сплошности микроклина

лось выше, исследователь может встретить ихтиоглипты, как бы пересекающие пертиты. Такие явления использовались в качестве доказательства более позднего проникновения ихтиоглиптов в тело уже созданного микроклин-пертита. Однако в письменных гранитах широко распространены совсем иные явления. В довольно широких зонах микроклина, огибающих ихтиоглипты, нет пертитов распада твердых растворов. Обильные мелкие альбитовые выделения расположены на известном удалении от ихтиоглиптов (рис. 40). Зона микроклина, окружающая ихтиоглипты, освобождена от альбита; альбит из этой зоны оказывается переотложенным в непосредственный контакт между шпатом и ихтиоглиптом. Эти явления, по-видимому, можно пояснить только следующим образом. Обособление пертитов и эволюция их форм и размеров внутри твердых кристаллов микроклина возможны только при условии миграции вещества [15, 21]. При наличии ихтиоглиптов в контакте между ними и микроклином создаются, естественно, особенно благоприятные условия для миграции. Благодаря этому в процессе эволюции пертитов здесь и концентрируется альбит. Зона микроклина, окружающая ихтиоглипты, очищается от мелких альбитовых выделений. Следовательно, ихтиоглипты уже существовали в тот период, когда развивались процессы формирования пертитов. Случаи, при которых ихтиоглипты как бы пересекают

поперек альбитовые пластинки пертитов, не противоречат сказанному и объясняются тем, что тонкие трещинки в микроклине, вокруг и вдоль которых сформировались пластинки альбита, просто не рассекли тело ихтиоглипта. Доказательством этого предположения служат факты, в ко-

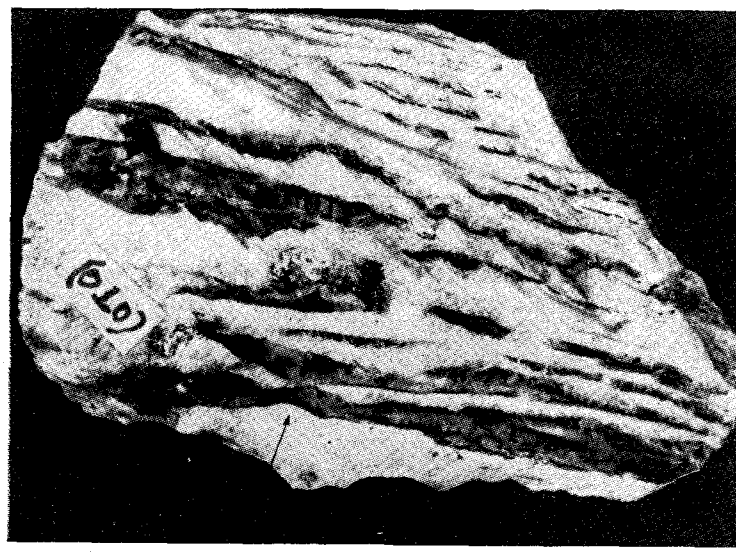


Рис. 39. Ступенчатый изгиб шестоватого ихтиоглипта

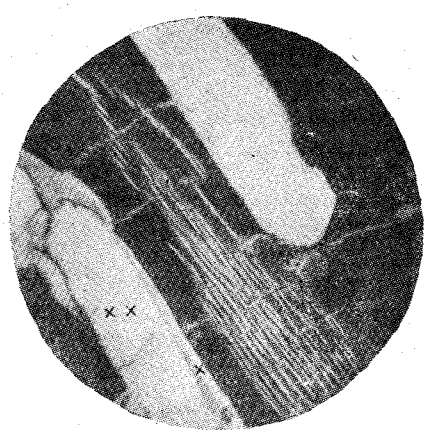


Рис. 40. Микроклиновый письменный гранит. Видно очищение микроклина вокруг ихтиоглиптов от пертитов и сегрегация альбита (×) в самом контакте между *ихтиоглиптами* (××) и микроклином. Пертиты распада твердого раствора — мелкие белые штрихи. Николи скрещены. Увеличение 24



Рис. 41. Альбит пертита и каймы вокруг ихтиоглипта составляет одно целое. Увеличение 16

торых от пластинок альбита отходят альбитовые полоски, распространяющиеся в обе стороны от пластинок вдоль контакта между телом ихтиоглипта и микроклином (рис. 41). Следовательно, когда развивались процессы формирования пертитов, ихтиоглипты уже существовали.

В ихтиоглиптах кварца иногда встречаются включения мелких кристаллов гранатов, апатита, слюд и других минералов. Некоторые исследователи (например, Ф. К. Дрешер-Каден [31, 32]) используют эти явления в качестве доказательства того, что перечисленные минералы возникли раньше ихтиоглиптов и кварц захватил их внутрь себя при позднейшем образовании ихтиоглиптов. Это ошибочное мнение. Кристаллы всех перечисленных минералов были в действительности образованы позднее письменных гранитов и развивались в породах метасоматическим путем [16, 17, 18, 19]. Сказанное подтверждается наличием внутри кристаллов минералов реликтов кварца и полевого шпата и иногда цепочным расположением кристаллов, приуроченных к волосным трещинам, рассекающим уже сформированные письменные граниты.

Итак, рассмотренные особенности строения письменных гранитов и явления эволюции структур этих пород позволяют наметить следующую последовательность процессов их преобразования.

1. Вначале разрастаются порфиробласты микроклина в массе исходных зернистых пород пегматитовых тел типа гранитов или гранитаплитов. Мелкие зерна кварца, входившие ранее в состав исходных пород, захватываются внутрь крупных порфиробластов микроклина. Возникают своеобразные породы с макропойкилитовой структурой (рис. 10, 11).

2. Под влиянием тектонического давления порфиробласты микроклина испытывают деформацию. Благодаря явлениям скольжения и отчасти раскалывания по плоскостям спайности в шпатах возникает густая сеть плоскостных нарушений сплошности. Кварц дробится, гранулируется. По системе нарушений сплошности внутрь порфиробластов микроклина проникают постмагматические растворы [16, 19]. Они обеспечивают среду, благоприятную для растворения, перемещения и переотложения веществ. Часть мельчайших зерен кварца оказывается удовлетворяющей законам эпитаксии с микроклином, главная же масса его находится в произвольном положении. Растворимость последних, естественно, оказывается большей по сравнению с зернами кварца произвольного положения. Развиваются явления собирательной перекристаллизации. Кварц, находящийся в произвольном положении, растворяется; зерна его, удовлетворяющие законам эпитаксии, разрастаются. Это сопровождается соответствующим переотложением вещества полевого шпата. Рост кварцевых зерен происходит, преимущественно вдоль трещинок нарушения сплошности микроклина. Возникают типичные письменные граниты с плоскими досковидными ихтиоглиптами (рис. 14, 15, 17, 24).

3. В дальнейшем развитии процессов собирательной перекристаллизации новые тектонические давления подновляют прежние системы нарушения сплошности микроклина или вызывают возникновение новых систем. В первом случае происходит дальнейшее укрупнение рисунка той же структуры (рис. 8 и 9). Ихтиоглипты обнаруживают тенденцию к приобретению все более изометрических очертаний (рис. 16). Они сохраняют прежнюю закономерность эпитаксической ориентировки и проходят через серию промежуточных форм (рис. 30, 31). Если ориентированность новой системы нарушений сплошности микроклина не совпадает с прежней, то происходит рост крупных ихтиоглиптов, тела которых расположены иначе (рис. 7).

4. При дальнейшем развитии процессов преобразования пород вещество кварца все более сегрегирует. Оно накапливается или в некоторых местах внутри кристаллов микроклина, или мигрируют вообще за пределы полевого шпата в область стыков разных кристаллов микроклина [15, 16, 19]. Часть создающихся при этом обособлений кварца уже не находится в эпитаксии с микроклином. Ихтиоглипты, расположенные на

стыке двух соседних кристаллов микроклина, оказываются залегающими одновременно в обоих этих кристаллах — возникают явления, которые ранее использовались в качестве доказательства метасоматического пути образования ихтиоглиптов. Полевой шпат все более очищается от мелких ихтиоглиптов, ранее расположенных равномерно по всей породе. Соотношения в количестве кварца и микроклина в отдельных участках породы изменяется в неограниченных пределах[1]. Валовой состав всей породы в целом сохраняется. В зависимости от типа нарушения сплошности кристаллов микроклина — тех каналов, по которым происходила миграция веществ — возникают разнообразные формы контуров участков микроклина, очищенного от ихтиоглиптов. Иногда наблюдается обрыв ихтиоглиптов по контуру почти ровной поверхности (почти плоскости). Это те примеры, которые вызвали, как говорилось выше, особый интерес И. Х. Фогта. Во многих же других случаях очищенные от ихтиоглиптов участки полевого шпата имеют лапчатые очертания или контур, очень прихотливо изгибающийся. Такие примеры привлекли в свое время пристальное внимание Э. Э. Уолстрома. Однако оба эти типа контуров нельзя противопоставлять друг другу. Образование их обязано единой генетической причине, и различие форм является следствием только разного вида систем нарушения сплошности микроклина — разного рисунка каналов, послуживших путями перемещения мигрировавшего из этих участков вещества кварца.

Изложенное представление о природе письменных гранитов, помимо новых фактов, не сообщающихся в литературе, учитывает также и все те явления, которые уже обсуждались ранее. Однако прежде разнообразные вариации особенностей строения интересующих нас пород не находились в органической связи друг с другом, больше того, они противопоставлялись друг другу в генетических представлениях разных групп ученых. Различные и на первый взгляд кажущиеся противоречивыми качества письменных гранитов едва ли могут быть увязанными между собою теми, кто пренебрегает идеей о развитии и преобразовании пород и фактами, свидетельствующими об этом.

Рассмотренное генетическое представление, по-видимому, справедливо только для тех письменных гранитов, фактические особенности которых тождественны описанным в предлагаемой статье. В пегматитовых жилах Адун-Чолона, в некоторых жилах Волыни, Мурзинки и других районов встречаются письменные граниты иного строения. Очень интересные породы из таких жил с радиальнолучистым расположением ихтиоглиптов описаны Н. М. Успенским [23]. Возможно, что в этих случаях породы формировались таким путем, когда рост порфиробласт полевого шпата не опережал процесса собирательной перекристаллизации кварца. Стадия возникновения пород с макропойкилитовой структурой выпадала. Полевой шпат и кварц вовлекались в процессы собирательной перекристаллизации одновременно. Благодаря этому тела ихтиоглиптов вытягивались в направлении нарастания граней кристаллов полевого шпата. Возникал радиальнолучистый рисунок структуры пород. Н. М. Успенский приводит ряд фактов, свидетельствующих, что такие породы образовывались в жилах путем переработки гранит-аплита [23]. В гранофирах часто встречаются микропись менные структуры с венцовым, радиальнолучистым рисунком расположения удлиненных тел кварца. В этих случаях породы образовались, по-видимому, путем одновременной кристаллизации кварца и шпата из расплава. Однако все эти примеры еще недостаточно изучены. Не хватает знания деталей строения этих пород, чтобы

[1] Такие структуры, отличные от типичных письменных, целесообразно называть «сегрегационными» [16].

можно было проследить всю последовательность явлений их формирования.

Выводы

1. Существующие гипотезы о возникновении письменных гранитов в обычных слюдоносных и керамических пегматитах путем кристаллизации расплава и путем замещения кварцем полевых шпатов противоречат реальным особенностям строения этих пород.

2. Решению вопросов о генезисе письменных гранитов способствует анализ расположения тел ихтиоглиптов кварца во всем объеме кристаллов микроклина. Выявление только одних закономерностей эпитаксии между этими минералами еще не дает ключа к расшифровке природы письменных гранитов.

3. Отчетливо наблюдаются явления, свидетельствующие о преобразовании — изменении во времени структуры письменных гранитов, форм и размеров ихтиоглиптов и минерального состава пород в различных участках.

4. Закономерности положения тел ихтиоглиптов яснее всего выявляются анализом расположения ихтиоглиптов пластинчатой формы. Они расположены вдоль закономерных плоскостей нарушения сплошности кристаллов микроклина. Приуроченность ихтиоглиптов попеременно к двум или нескольким таким плоскостям обусловливает коленчатую форму их поверхности (ранее считалось «индукционной штриховкой ихтиоглиптов»).

5. Формирование всех видов письменных гранитов происходило, прежде чем развивались процессы распада твердых растворов полевых шпатов и возникали пертиты.

6. Типичные письменные граниты в обычных, широко распространенных слюдоносных и керамических пегматитах возникли в процессе преобразования и перекристаллизации пород, находящихся в твердом состоянии. Эти процессы развивались под влиянием постмагматических растворов, проникавших в породы по плоскостям нарушения их сплошности.

7. Природа письменных гранитов с радиальнолучистым расположением ихтиоглиптов, встречаемых в редких особых типах пегматитов, не ясна. Необходимо дальнейшее детальное изучение этих пород.

В заключение автор выражает признательность Д. С. Коржинскому, В. А. Николаеву, И. И. Шафрановскому, С. М. Курбатову, В. И. Михееву, Л. Л. Солодовниковой, В. Ф. Барабанову и С. А. Руденко за широкий обмен мнениями с автором по затрагиваемым в статье вопросам. Автор благодарен группе студентов Ленинградского горного института В. Молчанову, Г. Беляеву, Н. Заломиной, М. Сироткиной, В. Кальм, Чуваровой и аспиранту Ю. Е. Рыцку, помогшим при производстве анализа положения ихтиоглиптов в письменных гранитах и в оформлении чертежей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Н. В. Некоторые элементарные свойства минералов в свете их тонкой структуры. Зап. Мин. об-ва, 1945, № 2, стр. 80—88.
2. Болдырев А. К. О морфологии, генезисе и классификации пертитов и других полевошпатовых срастаний. Труды ВНИГРИ, 1934, вып. 12, стр. 46.
3. Бочвар А. А. Исследование механизма и кинетики кристаллизации сплавов эвтектического типа. ОНТИ, 1935.
4. Бунтин Г. Н. О структурах замещения в Чупинских пегматитах. Зап. ЛГУ, серия геологоразв., 1936, вып. 2, стр. 21—26.
5. Вернадский В. И. Явления скольжения кристаллического вещества. Уч. Зап. МГУ, вып. 13, стр. 1—182.
6. Григорьев Д. П. и Шафрановский И. И. Эпитаксическое нарастание кварца на полевой шпат. Зап. Мин. об-ва, 1946, № 4, стр. 265—272.

7. Григорьев Д. П. Перекристаллизация минералов. Зап. Всесоюзн. мин. об-ва, 1956, № 2, стр. 147—150.
8. Горностаев Н. О новом законе срастание кварца и полевых шпатов. Зап. Томского технологич. ин-та, 1924, т. 46, вып. 1 стр. 1—7.
9. Дембо Т. М. Об эпигенетическом происхождении кварцевых вростков графических пегматитов Степняковского района (Северный Казахстан). Зап. Всесоюзн. Мин. об-ва, 1949, № 1, стр. 46—51.
10. Заварицкий А. Н. Геологический и петрографический очерк Ильменского минералогического заповедника и его копей. Изд. Гл. упр. по заповедн., 1939, стр. 3—8.
11. Заварицкий А. Н. О пегматитах как образованиях промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами. Зап. Всесоюзн. мин. об-ва, 1947, № 1, стр. 36—50.
12. Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. Изд. АН СССР, 1955.
13. Коржинский Д. С. Петрологический анализ флогопитовых и мусковитовых месторождений Восточной Сибири. Сб. Слюды СССР. Изд. ЦНИГРИ, 1937, стр. 93—114.
14. Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов. Сб. Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. Изд. АН СССР, 1953, стр. 332—452.
15. Никитин В. Д. Основные черты генезиса пегматитов Южной Карелии, Зап. Всесоюзн. мин. об-ва, 1949, № 3, стр. 207—226.
16. Никитин В. Д. Процессы перекристаллизации и метасоматоза в слюдоносных и керамических пегматитах. Зап. ЛГИ, 1952, т. XXVII, вып. 2, стр. 107—157.
17. Никитин В. Д. Особенности образования кристаллов мусковита в пегматитовых жилах. Зап. ЛГИ, 1953, т. XXIX, вып. 2, стр. 3—32.
18. Никитин В. Д. Особенности процессов формирования минералов при метасоматических явлениях. Кристаллография (Труды Федоровской сессии 1953 г.), 1955, вып. 4, стр. 47—68.
19. Никитин В. Д. К теории генезиса пегматитов. Зап. ЛГИ, 1955, т. XXX, вып. 2, стр. 44—117.
20. Руденко С. А. К вопросу о морфологии пертитовых срастаний полевых шпатов. Зап. Всесоюзн. мин. об-ва, 1949, № 4, стр. 267—269.
21. Руденко С. А. Полевые шпаты керамических пегматитов Южной Карелии. Зап. ЛГИ, 1952, т. XXVII, вып. 2, стр. 159—196.
22. Соболев В. С. Введение в минералогию силикатов. Изд. Львовского ун-та, 1949.
23. Успенский Н. М. О генезисе пегматитов Золотой горы. Советская геология, 1945, № 4, стр. 93.
24. Ферсман А. Е. Письменная структура пегматитов и причины ее возникновения. Изв. АН, 1915, серия 6, т. IX, № 12, стр. 1211—1228.
25. Ферсман А. Е. Пегматиты. Изд. АН СССР, 1946.
26. Якубова В. В. Опыт изучения включений в минералах пегматитов Мурзинки (Урал). Тр. Минералогич. Музея АН СССР, 1955, вып. 7, стр. 132—151.
27. Bastin E. S. Geology of the pegmatites and associated rocks of Maine. U. S. Geol. Survey Bull., 1911, № 445, p. 1—152.
28. Briethaupt A. Über regelmäßige Verwachsungen von Kristallen zweier und dreier Mineral — Species. N. Jahrb. f. Min. 1839, H. I, S. 89.
29. Bröegger W. C. Die Minerale der Syenitpegmatite der südnordwegischen Augit- und Nephelinsyenite. Zeit. f. Krist. u. Min., 1890, Bd. 16, S. 3—658.
30. Bygden A. Über das quantitative Verhältnis zwischen Feldspat-Quartz in Schriftgraniten. Bull. Geol. Inst. Uppsala, 1904, v. VII, p. 1—18.
31. Drescher-Kaden F. K. Beiträge zur Kenntnis der Migmatit- und Assimilations bildungen sowie der synantetischen Reaktionsformen. Chemie der Erde. Jena, 1942. Bd. 14, № 3, S. 157—238.
32. Drescher-Kaden F. K. Die Feldspat — Quarz — Reaktionsgefüge der Granite und Gneise. Mineralogie und Petrographie in Einzeldarstellungen, 1948, Bd. 1, S. 259.
33. Ebert H. Die Art der Verwachsung bei einigen granitischen Pertitfeldspaten. Fortschritte der Min., Krist. u. Petr., 1931, v. 16, p. 65—66.
34. Gäckel E. Die structurelle Bedintheit und Kinematik des schriftgranitischen Kristallwachstums, 1931.
35. Heritsh H. Weitere Röntgenuntersuchungen an Schriftgraniten. Tschermaks min. u. petrogr. Mitt., 1953, Bd. III, H. 2, S. 126—141.
36. Landes K. K. Paragenesis of the granite pegmatites of Central Maine. American Min., 1925, № 11, p. 355—412.
37. Mügge O. Die regelmäßigen Verwachsungen von Mineralen verschiedener Art. N. Jahrb. f. Min. 1903, № 16, S. 335—475.
38. Rath G. Geognostisch — mineralogische Fragmente aus Italien. Zeit. Deutsch. Geol. Gesells. 1870, № 22, S. 591—733.

39. Rose G. Reise nach dem Ural. Bd. 1, 1837.
40. Schaller W. T. Pegmatites. Ore deposits of the Western States (Lindgreen Volume). New York, 1933, p. 144—151.
41. Vogt J. H. L. Die Theorie der Silikatschmelzlösungen. Ber. d. V. Int. Congr. f. Angew. Chemie, 1903, Bd. 2, S. 70—90.
42. Vogt J. H. L. The physical chemistry of the magmatic differentiation of igneous rocks Skifter Utgitt av Det Norske Videnskaps — Akademie i Oslo. I. Mat. Naturw. Klasse, 1930, № 3, S. 1—242.
43. Vogt J. M. L. Die Genesis der Granite physikochemisch gedenktet, Zeit. Deutsch, Geol. Gesells. 1931, Bd. 83, S. 193—214.
44. Wahlstrom E. E. Graphic granite. Am. Min. 1939, № 11, p. 681—698.
45. Woitschach G. Das Granitgebirge von Königschain in der Ober-Lausitz. Abh. Naturf. Ges. Görlitz 1881, № 17. S. 141—197.