

И. Т. БАКУМЕНКО

**ЗАКОНОМЕРНЫЕ
КВАРЦ-
ПОЛЕВОШИТОВЫЕ
СРАСТАНИЯ
В ПЕГМАТИТАХ
И ИХ ГЕНЕЗИС**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

И. Т. БАКУМЕНКО

ЗАКОНОМЕРНЫЕ
КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВЫЕ СРАСТАНИЯ
В ПЕГМАТИТАХ И ИХ ГЕНЕЗИС



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Москва 1966

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Глава I. Распространенность кварц-полевошпатовых письменных сростаний	5
Письменные агрегаты в гранофирах	5
Письменные агрегаты в гранитах и гранит-порфирах	8
Глава II. Структурная характеристика письменных кварц-полевошпатовых агрегатов	13
Эпитаксические соотношения в письменных пегматитах	14
Фрагменты к кристалломорфологии минералов	38
Кристалломорфологическая характеристика письменных пегматитов	55
Глава III. Особенности геологического строения отдельных пегматитовых тел, их полей и пегматитоносных районов	109
Глава IV. Стадийность пегматитового процесса	116
Исследование включений минералообразующих сред	116
Схема стадийного развития пегматитов хрусталеносного типа	136
Особенности термолюминесценции кварца	139
Глава V. Генезис и преобразование письменных сростаний	146
Литература	157
Объяснение к таблицам	170
Таблицы	173

Игорь Тимофеевич Бакуменко

**Закономерные кварц-полевошпатовые сростания
в пегматитах и их генезис**

Утверждено к печати Институтом геологии и геофизики СО АН СССР

Редактор издательства *Т. Б. Гришина*

Технические редакторы *Л. И. Матюхина, Л. И. Курциянова*

Сдано в набор 3/VIII 1966 г. Подписано к печати 15/XI—1966 г. Формат 60×90^{1/16}.

Печ. л. 10,75+0,75 л. на меловой бумаге. Уч.-изд. л. 11,3+0,8=12,1. Тираж 1200. Изд. 1496.

Тип. зак. 6330, Т-15704.

Цена 84 к.

Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема генезиса письменных (графических) кварц-полевошпатовых сростаний является ключевой и наиболее спорной в вопросе о происхождении гранитных пегматитов. Этому вопросу посвящены работы многих исследователей (Ферсман, 1915—1940; Wahlstrom, 1939; Никитин, 1955, 1960; Лебедев, 1957; Simpson, 1962, и др.), по-разному подходивших к выяснению условий образования письменных агрегатов.

Отсутствие в достаточной мере разработанных объективных методов генетического и кристаллографического исследования кварц-полевошпатовых закономерных сростаний обуславливает существование до настоящего времени различных точек зрения на природу одних и тех же письменных образований.

Детальные кристалломорфологические и генетические исследования письменных и псевдографических сростаний в хрустальных пегматитах ряда районов показали, что письменные сростания представлены различными по морфологии и генезису образованиями. Решение этой, казалось бы, узкой проблемы их генезиса очень важно для выяснения генезиса пегматитов в целом.

Работа выполнена в лаборатории минералообразующих растворов Института геологии и геофизики Сибирского отделения Академии наук СССР как часть исследований по теме «Генезис камерных пегматитов» (руководитель темы Ю. А. Долгов) под общим научным руководством академика В. С. Соболева. В основу монографии положена кандидатская диссертация автора на материале, собранном в течение полевых сезонов 1959—1963 гг.

(Зерендинский, Баян-Аульский, Бек-тау-Атинский, Джельтауский, Кайбский гранитные плутоны в Казахстане; Адун-Чолон, Борщевочный кряж, Кыринский плутон в Восточном Забайкалье, район Слюдянки в Прибайкалье), а также образцах письменных пегматитов Волыни, Карелии, Урала и Мамско-Чуйского района, полученных от Ю. А. Долгова, Б. М. Шмакина, Ж. М. Федоровой и других товарищей, которым автор выражает свою искреннюю благодарность. Автор признателен также всем, принявшим участие в обсуждении данной работы, и особенно профессору И. И. Шафрановскому, доктору геол.-мин. наук В. П. Петрову, которые взяли на себя труд прочтения работы в рукописи и внесли много ценных замечаний. Автором учтены также замечания, сделанные на защите диссертации. При подготовке диссертации и монографии я неизменно пользовался товарищеской помощью Н. А. Кулик, В. В. Хлестова, Н. Л. Добрецова и сотрудников лаборатории минералообразующих растворов Л. Ш. Базарова, Н. А. Шугуровой, И. В. Моториной, Н. М. Поповой и В. А. Сеиной.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВЫХ ПИСЬМЕННЫХ СРАСТАНИЙ

Письменные кварц-полевошпатовые агрегаты, характеризующиеся закономерным срастанием индивидов кварца и полевого шпата, имеют исключительно широкое распространение. Они известны в метаморфических породах: в гнейсах (продукты анатексиса, фельдшпатизации, окварцевания), в ксенолитах осадочных и метаморфических пород в гранитах (некоторые роговики, кварциты, гнейсы). Закономерные вросстки кварца в полевошпате иногда образуются и при мирмекитизации (Drescher-Kaden, 1948). Значительно шире они встречаются в магматических породах (эффузивных, жильных и интрузивных). Однако наиболее распространены они, безусловно, в пегматитах (табл. I, VIII—X).

Классические микрописьменные агрегаты эвтектоидного характера встречаются в виде обособлений в стекловатых породах, в основной массе частично или полностью раскристаллизованных эффузивных пород кислого состава (в качестве продуктов кристаллизации остаточных расплавов), в продуктах дифференциации магм среднего, основного, реже — щелочного состава, в раскристаллизованных продуктах выплавления кислого материала из сиалических пород. Выплавление эвтектики из гнейсогранитов под воздействием внедрившихся в них диабазов впервые описано А. А. Полкановым (1913). Выплавленный расплав выкристаллизовался в виде прожилков письменного пегматита, внедренных в диабаз. Вкратце рассмотрим лишь особенности письменных срастаний в гранофирах и гранитоидах, а затем перейдем к детальной характеристике письменных пегматитов.

ПИСЬМЕННЫЕ АГРЕГАТЫ В ГРАНОФИРАХ

Небольшие обособления и прожилки графических агрегатов очень распространены в траппах в виде гранофиринов, детальное описание которых имеется в фундаментальной работе Вагера и Дира (Wager, Deer, 1939), в статьях Готца (Hotz, 1953) и др.

Особый интерес представляет находка гранофигов в базальтах гавайских вулканов, например в области Палоло (г. Гонолулу), описанных Куно и др. (Куно, Yamasaki, Iida, Nagashima, 1957). Гранофиры здесь — продукты дифференциации базальта, без ассимиляции сиалической коры, которая здесь отсутствует.

Четко намечается ряд продуктов дифференциации: базальт — кварцевый долерит — долеритовый пегматит — гранофир. Так как более кислые продукты внедрены в более основные, то ассимиляция кислого материала и здесь полностью исключается. Поэтому эволюция в химизме пород полностью связана с процессами фракционной кристаллизации. Находки гранофигов на Гавайях свидетельствуют о возможности происхождения гранитных магм из толеитовых непосредственно при фракционной кристаллизации.

Нами исследованы гранофиры из дифференцированного траппового Анакитского массива (коллекция В. В. Ревердатто), гранофиры в гибридных породах в среднем течении р. Горбичин (бассейн р. Хантайки; коллекция В. В. Золотухина) и рассмотрены гранофиры в Тувинских траппах (А. С. Кривенко).

Анакитский интрузив, как известно, хорошо дифференцирован, причем решающая роль принадлежит процессам кристаллизационной дифференциации (Соболев, 1936; Ревердатто, 1963). Дифференциация определяет последовательность кристаллизации пород от троктолитовых долеритов через габбро-долериты, кварцевые габбро-долериты, долеритовые пегматиты до гранофигов. Гибридные продукты (шонкиниты, долериты) имеют резко подчиненное значение (связь с ассимиляцией роговиков и т. д.), но они тесно ассоциируют с долерит-пегматитами и гранофирами. По данным В. В. Ревердатто, по мере постепенной дифференциации кристаллизовавшейся магмы (вверх по разрезу) возрастает содержание кремнезема, железа и щелочей, а также количество письменного мезостазиса вплоть до образования гранофигов.

Гранофиры представлены секущими прожилками и небольшими шлировидными выделениями. В микрописьменной основной массе гранофира включены вкрапленники геденбергита нередко с каймой диопсида и вкрапленники олигоклаза. Кварцевые вроски в микрописьменных прорастаниях представлены типичными индукционными ихтиоглиптами с характерными клиновидными сечениями и удлиненной червеобразной формой. Нередко они обуславливают типичное секториальное строение письменных агрегатов (приурочены к пирамидкам роста включающего полевого шпата и ориентированы по нормалям к граням полевого шпата, образующим эти пирамиды роста). Эвтектический одновременный рост таких агрегатов несомненен. Аналогичное секториальное строение имеют и другие магматические гранофиры, например из траппов Тувы.

Влияние процессов ассимиляции сиалического материала на морфологию письменных сростаний в гранофирах нами исследовано на примере гибридных пород р. Горбиачин, описанных В. В. Золотухиным и Б. В. Олейниковым (1963). В. В. Золотухин предоставил в наше распоряжение образцы этих пород.

В отличие от гранофилов Анакитского массива, в которых преобладает К, в гибридных диорит-пегматитах района р. Горбиачин содержания окиси К и Na примерно равны. Диорит-пегматиты обогащены кальцием. Происхождение их, по данным В. В. Золотухина и Б. В. Олейникова (1963), связано с ассимиляцией боковых пород предварительно подвергшимся дифференциации¹ верхним слоем расплава, который уже сам по себе более обогащен кремнекислотой и летучими по сравнению с остальной частью магмы. На месте внедрения расплав продолжал ассимилировать кремнекислоту. Поэтому ранние минералы вступили в реакцию с более поздними. В шлифах видно замещение плагиоклаза ортоклазом, дающим каемки, и дальнейший совместный рост кварц-полевошпатового агрегата. Развитие письменного агрегата продолжалось и в постмагматическую стадию.

Как правило, чем интенсивнее проявлены процессы гибридности (обилие ксенолитов кислых пород и т. д.), связанные с ассимиляцией кислого материала, тем в большей степени развиты гранофиры, причем наряду с индукционными вростками кварца в письменных сростаниях появляются скелетные и амебовидные вростки, особенно в перерабатываемых богатых кварцем ксенолитах и на контакте с ними: письменные сростания могут даже давать переходы к антиграфическим агрегатам (их называют также обратно-графическими), т. е. в этом случае явно имеют место процессы кварцевого метасоматоза.

Еще один из интересных примеров развития микрописьменных агрегатов в гранофирах — верхнепалеозойские траппы Кузбасса. По данным В. А. Кутолина (1964), обилие гранофилов в последних обусловлено значительной ролью глубинной дифференциации и значительными масштабами ассимиляции сиалического материала с последующей дифференциацией контаминированной магмы. Ассимиляции способствовали большие мощности верхних структурных ярусов, поэтому ксенолиты кислых пород при внедрении магмы подвергались почти полной переработке, в то время как контактовая переработка вмещающих пород незначительна. Эти процессы весьма четко иллюстрирует В. А. Кутолин на примере Сырхашевского ситла, в котором количество микропегматитов увеличивается к центральной части пластового тела, количество оливина — к нижней, а минералов, содержащих летучие (биотит и амфибол), в верхней части тела.

¹ Как известно, для недифференцированных долеритовых расплавов существует предел для ассимиляции кислого материала.

Закономерные кварц-полевошпатовые срастания как продукты дифференциации расплава известны также и в более зрелых (богатых калием!) породах. Они детально изучены М. И. Розиновым в дифференцированной дайке трахиандезитов в посленижнемелового субвулканического комплекса, описанного И. В. Беловым (1965). Дайка приурочена к юго-западу наложенной Гусиноозерской депрессии в З. Забайкалье. По данным М. И. Розина, дайка хорошо дифференцирована. Ее контактовые зоны сложены трахиандезитами. Внутренние зоны и линзы в трахиандезитах сложены кавернозными сиенитодиоритами-сиенитами (ларвикитами). Дальнейший продукт дифференциации — сиениты с кварц-полевошпатовыми **обособлениями**.

Морфологически кварц-полевошпатовые (санидиновые) срастания аналогичны мелкокротковым классическим письменным агрегатам в пегматитах.

Таким образом, для большинства гранофиоров доказывается их образование при кристаллизационной дифференциации (Соболев, 1936, и др.), но значительную роль в возникновении гранофиоров играют также процессы ассимиляции кислых пород, которые могут значительно увеличить общий объем гранофиоров: при отсутствии явления ассимиляции объем гранофиоров составляет лишь небольшую часть общего объема материнских пород. Секториальное строение эвтектоидных микрописьменных агрегатов может затушевываться процессами более позднего окварцевания.

ПИСЬМЕННЫЕ АГРЕГАТЫ В ГРАНИТАХ И ГРАНИТ-ПОРФИРАХ

Не менее широко кварц-полевошпатовые письменные агрегаты известны в породах кислого состава. Такие агрегаты широко распространены в основной массе эффузивных и жильных пород, т. е. в остаточных продуктах кристаллизации магм кислого состава. Основная масса таких пород нередко нацело сложена письменными агрегатами, в которые погружены вкрапленники полевых шпатов, кварца и биотита, вследствие чего породы имеют типичную гранофировую структуру.

Подробнее остановимся лишь на характеристике некоторых письменных агрегатов в жильных гранит-порфирах и гранитах (на примере образцов из Голодной степи — Казахстан).

Детальное петрографическое описание жильных пород **каледонских** и **герцинских** интрузивных комплексов Голодной степи дано С. В. Ефремовой (1962). Ею выделено два этапа жильных пород. К первому этапу отнесены жильные граниты и аплиты, ко второму — гранит-порфиры, диорит-порфиры, спессартиты, габбро-порфириты, габбро-диабазы.

В этом районе микрографические прорастания встречаются в образованиях обоих этапов. В породах пластовых и крутопа-

дающих даек жильных гранитов первого этапа (Джельтау, Каиб) в микросрастании находятся микроклин-пертит и кварц, хотя в участках без микрографических прорастаний наряду с микроклином развит ортоклаз и даже анортотоклаз. Наблюдавшиеся нами микрографические агрегаты располагаются в основной массе жильных гранитов между агрегатами с микрогранитной структурой.

Наряду с индукционными вростками классической формы (с клиновидными сечениями в разрезах, нормальных удлинению вростка) встречаются ихтиоглипты неправильной формы, то округлые, то амебовидные, причем в некоторых случаях имеет место явно вторичное развитие кварца по межзерновым зонам и трещинам в полевоом шпате. Этот процесс иногда приводит к образованию антиграфических структур, в которых округлые зерна — реликты полевого шпата играют роль «вкрапленников» в кварце. Интересной особенностью минералов в участках с микрографическими срастаниями является замещение биотита мусковитом, а также повышенное количество газоповязанных включений в кварце, отмеченное Л. В. Дмитриевым.

Для кварц-микроклиновых агрегатов в жильных гранитах процессы окварцевания полевого шпата настолько типичны, что С. В. Ефремова делает вывод о наложенном метасоматическом происхождении всех микрографических агрегатов в жильных гранитах. С такой абсолютизацией односторонних наблюдений согласиться нельзя: встречаются хорошо развитые, явно индукционные, нередко секториальные образования, в которых одновременный рост кварца и полевого шпата не вызывает сомнения.

Вместе с тем ряд факторов свидетельствует о разновременности роста кварца и полевого шпата в некоторых разновидностях письменных срастаний. В частности, об интенсивном окварцевании полевого шпата, которое приводит к образованию явно вторичных закономерных кварц-полевошпатовых срастаний, свидетельствуют следующие наблюдения, послужившие основой для вывода С. В. Ефремовой о позднемагматическом происхождении кварц-полевошпатовых прорастаний.

1. Развитие закономерных кварц-полевошпатовых агрегатов с одинаковой ориентировкой кварцевых вростков неправильной формы в *разных* зернах полевого шпата (не только микроклина, но и плагиоклаза).

2. Развитие кварцевых вростков вдоль контактов между зернами полевых шпатов и по трещинкам, проникающим непосредственно в зерна полевого шпата, более интенсивны и вторичные постмагматические преобразования минералов в участках с письменными агрегатами (мусковитизация биотита, серицитизация плагиоклаза, вторичные включения в кварце и т. д.).

Среди жильных тел второго этапа, изучавшихся нами в этих же массивах (Джельтау, Каиб), микрографические срастания

обычны для основной массы некоторых гранит-порфиров. Наряду с микрографическими агрегатами в базе гранит-порфиров распространены микрофельзитовые и микрогранитные агрегаты. Вкрапленники, погруженные в микрографическую основную массу, представлены обычно кварцем, микроклином и плагиоклазом № 10—15, реже ортоклазом и биотитом. Ихтиоглипты кварца неправильной формы (угловато-изометричные, амебовидные), вросшие в полевой шпат, нередко теряют закономерную ориентировку и характер вростков, и микрографические агрегаты постепенно переходят (через структурно-промежуточные разновидности) в фельзитовые и микрогранитные агрегаты основной массы.

В морфологическом отношении интересны радиальные и секториальные кварц-полевошпатовые письменные агрегаты, слагающие каймы обрастания вокруг вкрапленников кварца и полевого шпата. Аналогичные каймы могут слагаться и агрегатами с фельзитовой структурой.

Каймы письменного агрегата вокруг вкрапленников кварца имеют радиальное строение благодаря радиальному нарастанию на поверхность вкрапленника удлиненных зерен полевого шпата с включенными в них письменными вростками кварца. Вростки также имеют радиальное относительно поверхности вкрапленника удлинение. Ориентировка их в пределах каждого зерна письменного полевого шпата одинакова и отличается от ориентировки вкрапленника кварца. В срезах, нормальных удлинению вростков, наблюдаются типичные для индукционных ихтиоглиптов клиновидные сечения.

Письменные агрегаты, нарастающие на вкрапленники полевого шпата в виде «рубашки», которая в шлифах имеет вид каймы, морфологически идентичны классическим письменным агрегатам в гранофирах. Кайма полевого шпата с письменными вростками имеет монокристаллическое строение и наследует ориентировку полевошпатового вкрапленника. Письменные вростки кварца имеют кристаллографически одинаковую ориентировку. Под кристаллографически одинаковой ориентировкой здесь понимается ориентировка кристаллографических осей минерала. При этом внешние контуры, удлинение вростка (т. е. геометрическая или морфологическая ориентировка минерала) могут не соответствовать его кристаллографическим осям. В частности, в описываемом случае *морфологически* ориентировка вростков, приуроченных к разным пирамидам нарастания полевого шпата, неодинакова. Вростки вытянуты приблизительно нормально к граням пирамид нарастания полевого шпата. Каждая из «стай» вростков кварца, приуроченных к разным пирамидам нарастания полевого шпата, характеризуется удлиненными червеобразными вростками с типичными индукционными поперечными сечениями. В обоих случаях совместный рост индивидов письменного агрегата не вызывает сомнений.

В материнских гранитных массивах, с которыми связаны исследованные нами пегматиты (Каиб, Джелтау, Бек-Тау-ата и др.), также нередко встречаются письменные кварц-полевошпатовые сростания, особенно в мелкозернистых порфиroidных гранитах фации эндоконтактов. Наряду с письменной основной массой, сходной с таковой в жильных гранитах и гранит-порфирах, но отличающейся от них большими размерами индивидов, порфиroidных гранитах встречаются своеобразные кварцевые «короны» на вкрапленниках микроклина. Они подобны секториальным образованиям в жильных породах: востки кварца, имея одинаковую кристаллографическую ориентировку, геометрически ориентированы нормально к граням пирамид роста полевого шпата, к которым они приурочены. Количество таких востков в единице объема письменного агрегата в гранитах, в отличие от письменных сростаний в жильных гранитах и особенно в гранит-порфирах, резко уменьшается, но объемные соотношения между письменным кварцем и полевым шпатом сохраняются те же (за счет увеличения востков); огранка востков — индукционная.

Наряду с индукционными письменными агрегатами — продуктами одновременной кристаллизации кварца и полевого шпата — нами исследованы закономерные кварц-полевошпатовые сростания, связанные с окварцеванием и частичным преобразованием индукционных письменных сростаний. Такие сростания были известны и раньше во многих гранитных массивах. Например, в основной массе рапакиви Волены В. С. Соболевым (1947, стр. 53) описаны вторичные тонкие микропегматитовые сростания в виде своеобразных каемок и жилочек в микроклине. Кварцевые востки врезаются в микроклин, не нарушая его ориентировки. Аналогичные оторочки около зерен микроклина в большом количестве встречены в биотит-амфиболовых гранитах (там же, стр. 57).

Абсолютизируя подобные явления, широко развитые и в других гранитных плутонах, некоторые исследователи неверно переносят метасоматический механизм развития востков (окварцевание) на все письменные сростания.

С процессами фельдшпатизации связана другая группа письменных и псевдописьменных сростаний. Этот процесс изучен нами на примере гранитоидов Енисейского кряжа. Кварц-полевошпатовые продукты фельдшпатизации представляют собой псевдографические агрегаты в тех случаях, когда по зернам кварца развиваются неодинаково ориентированные идиоморфные зерна — метакристаллы полевого шпата (табл. II, а), в промежутках между которыми сохраняются одинаково ориентированные реликты кварца угловатой формы. В метакристаллах также сохраняются реликты кварца с той же ориентировкой.

В случаях же, когда полевой шпат развивается по кварцу с сохранением одинаковой ориентировки, образуются графические агрегаты. Рассматриваемый в табл. II, б письменный агрегат

представляет собой закономерно ориентированные «вросстки» — реликты кварца. На начальных стадиях образования такого рода вторичных письменных агрегатов при коррозии первоначально единого зерна кварца образуются разобщенные прожилки полевого шпата, отходящего от какого-нибудь одного зерна полевого шпата, и наследующие его ориентировку. Это зерно служит как бы затравкой. При дальнейшем развитии процесса первоначально единое зерно кварца полностью разбивается на отдельные, несвязанные друг с другом, но одинаково ориентированные реликты, разобщенные полевым шпатом.

Иногда фельдшпатизация затрагивает несколько крупных зерен кварца, имеющих различную ориентировку. В этом случае соседние реликтовые вросстки кварца в полевошпатовой массе, примыкающие к этим зернам, также имеют соответственно неодинаковую ориентировку. Таким образом, в моноблочный полевой шпат оказываются включенными закономерно ориентированные вросстки — реликты кварца.

Родственные структуры в гранитах наблюдал и Ф. К. Дрешер-Каден (Drescher-Kaden, 1948). Как в разобщенных полевым шпатом одинаково ориентированных нефельдшпатизированных крупных зернах, так и в реликтовых вростках кварца им отмечены цепи трещинок и включений, которых нет в полевом шпате. Во всех зернах кварца эти трещинки и включения имеют одинаковую ориентировку, что указывает на их связь с первоначально единым зерном кварца. Во всех этих продуктах фельдшпатизации соотношения между индивидами не являются эпитактическими, в отличие от соотношений кварца и полевого шпата в гранофировых или классических письменных сростаниях. Письменные вторичные сростания лишь внешне очень сходны с классическими микрографическими сростаниями, но в отличие от последних ни в одном сечении не дают формы «иероглифов», которые бы закономерно повторялись для нескольких вростков, подобно тому, как это характерно для гранофиров или пегматитов (табл. Iб, в).

Для нас наибольший интерес и в генетическом, и в кристалломорфологическом отношении представляют письменные сростания в гранитных пегматитах. Именно они вызвали оживленную полемику в литературе и служат объектом постоянного внимания исследователей пегматитов, ибо являются своеобразным ключом к познанию генезиса пегматитов. Причину этих споров можно видеть в недостаточной изученности морфологических и генетических разновидностей различных закономерных кварц-полевошпатовых агрегатов, условно объединяемых в письменные сростания. При исследовании в этом направлении нами был использован в основном материал из хрусталеносных пегматитов и промежуточных хрусталеносно-редкометалльных пегматитов и, кроме того, образцы из слюдоносных пегматитов. Результаты приводятся в следующих главах монографии.

**СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ПИСЬМЕННЫХ КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВЫХ АГРЕГАТОВ**

Первое, что обращает внимание на письменные пегматиты,— это своеобразие их рисунка. По причудливости форм кварцевых вростков они превосходят другие симплектитовые (закономерные и незакономерные, по Левинсон-Лессингу) образования. Собственно письменные агрегаты относятся к группе закономерных сростаний («импликационных», по Циркелю, Zirkel, 1893). Термины «графический» и «письменный» иногда употребляются как синонимы термина «импликационный», однако в настоящей работе они используются лишь для обозначения закономерных, чаще всего эпитаксических, кварц-полевошпатовых прорастаний. Термин же «импликационный» сохраняет более общее, групповое значение. «Письменными» иногда неверно называют вообще любые прорастания с затайливым рисунком, однако в таких агрегатах ориентировка вростков может оказаться незакономерной, и, следовательно, сростания будут относиться к пойкилитовым (по Вильямсу).

Поэтому неизученные причудливые агрегаты лучше относить просто к симплектитовым, объединяющим как импликационные, так и пойкилитовые.

В структурном отношении письменные прорастания весьма неоднородны. Различия проявляются как во внешних морфологических признаках, которые обнаруживаются уже при визуальных наблюдениях, так и во внутренних взаимоотношениях кристаллических структур кварца и полевого шпата.

Для объяснения структурных соотношений в письменных пегматитах выдвинуты противоречащие друг другу гипотезы, которые, с одной стороны, отражают различия во взглядах на генезис этих образований, а с другой — структурные различия, действительно имеющие место. Однако нередко генезис даже одного и того же объекта трактуется по-разному.

Именно такова ситуация в подходе к наиболее распространенному и ключевому в генетическом отношении типу письменных агрегатов — классическим графическим пегматитам. Последние хорошо известны благодаря своеобразию кварцевых вростков с характерной индукционной штриховкой на их поверхности (табл. I, 2). Для объяснения их морфологии в гипотезах А. Е. Ферсмана и В. Д. Никитина были предложены две наиболее правдоподобные модели. Обе модели будут подробно рассмотрены ниже, здесь необходимо лишь отметить, что ферсмановская модель в свое время получила всеобщее признание, но в последнее время модель Никитина также поддерживается в ряде гипотез, хотя авторы их иногда исходят из иных, чем Никитин, генетических представлений (Ф. К. Дрешер-Каден, В. И. Лебедев и др.).

Представления об иных механизмах возникновения классических письменных пегматитов не подкрепляются точными измерениями и поэтому не выходят за рамки общих рассуждений.

Очевидно, что базой для дискуссий и сравнения письменных пегматитов могут служить лишь математически строгие и сопоставимые данные. Поэтому для подтверждений или убедительной критики любых моделей, а в особенности ферсмановской, необходимо, чтобы в кристалломорфологических построениях были учтены, отражены и взаимосвязаны два момента:

1) внутренние структурные соотношения в сростании, т. е. была бы дана взаимная ориентировка кристаллографических осей кварца и полевого шпата;

2) внешние, кристалломорфологические, структурные соотношения т. е. охарактеризована форма вростков, строение блоков полевого шпата, описаны положение и ориентировка вростков относительно форм роста полевого шпата, а для классических (индукционных) письменных пегматитов также обязательно дана характеристика угловых взаимоотношений ребер штриховки.

Первый момент является более общим и менее дискуссионным, так как все разновидности письменных пегматитов характеризуются закономерным сростанием кварца и полевого шпата, и почти всегда признается эпитаксическая природа классических закономерных прорастаний. Морфологическая характеристика письменных пегматитов — вопрос более сложный, и на нем необходимо остановиться гораздо подробнее.

ЭПИТАКСИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ В ПИСЬМЕННЫХ ПЕГМАТИТАХ

Общие вопросы эпитаксии

Решающим критерием для отнесения любого агрегата кварц-полевошпатовых прорастаний к типу письменных является наличие закономерных, обычно эпитаксических соотношений во

взаимной ориентировке кварца и полевого шпата. Подобные соотношения между индивидами различных минералов очень широко распространены в природе (Ферсман, 1915; Франк-Каменецкий, 1954, 1964; Mügge, 1903; Kalb, 1916; Gottfried, Herlinger, 1928, и др.). Морфологически среди них различаются эпитаксические нарастания одних минералов на другие и эпитаксические взаимные прорастания (табл. I, III).

В случае прорастаний индивиды одного из минералов могут оказаться включенными в другом минерале. В структурном отношении эпитаксические включения играют роль гетерогенных примесей и, как показал В. А. Франк-Каменецкий (1964), во многом подобны изоморфным гомогенным примесям в кристаллах. Особенно четко это родство проявляется в структурно-промежуточных смешаннослойных кристаллах, например слоистых силикатах.

Все прочие закономерные соотношения индивидов, не обусловленные их структурным родством, а вызванные другими причинами (механическими, гравитационными, направлением потоков минералообразующих растворов и проч.), следует относить к неэпитаксическим.

Закономерные эпитаксические взаимные ориентировки отдельных индивидов возникают как при одновременном росте — совместный свободный рост индивидов, структуры распада (табл. III, а, б), структура перекристаллизации (табл. III, а, б), — так и при последовательном развитии индивидов — нарастание одного минерала на другой, замещение более ранних минералов более поздними (табл. III, в, г). Поэтому доказательство эпитаксической природы письменных пегматитов еще не является доказательством одновременной кристаллизации индивидов в агрегате. Для решения этого вопроса необходимы дополнительные кристалломорфологические исследования. Однако выявление эпитаксической природы письменных пегматитов в целом и закономерностей в каждом частном случае также представляет несомненный интерес, так как сужает круг возможных генетических построений.

Удивительное постоянство в ориентировке кварцевых вростков, несмотря на их разобщенность в некоторых участках блоков письменного пегматита — при многообразии законов срastания, — не может быть случайным. В будущем знание этих законов, подкрепленное экспериментальным исследованием, позволит рассматривать ориентировку вростков в срastаниях как надежный показатель РТ-условий минералообразования.

К сожалению, полное определение законов срastания в письменных пегматитах — операция весьма трудоемкая, и пока на копленного материала явно недостаточно для сопоставления различных типов пегматитов по этому признаку. Экспериментальные работы по синтезу письменных агрегатов, за исключением

опытов Шлемера (Schloemer, 1962), вообще отсутствуют. Поэтому назрела необходимость в постановке экспериментов с целью выявления связи между типом ориентировок и условиями, благоприятными для их возникновения.

Общие экспериментальные и теоретические исследования явлений эпитаксии

Возможность или невозможность возникновения самопроизвольных (не вызванных ориентирующим влиянием уже имеющихся закономерных вростков) эпитаксических соотношений определяется степенью структурного сходства взаимодействующих кристаллических решеток. Как показал Л. Руайе (Royer, 1928), разность параметров (или кратных им значений) у срастающихся сеток не должна превышать 15—20%.

Повторная экспериментальная проверка и подтверждение закона пределов Л. Руайе проводились многократно. Исследуя характер этого закона, К. П. Янулов (1948) сделал вывод о линейной зависимости между степенью соизмеримости плоских сеток срастающихся минералов (определяемой разностью их параметров) и количеством ориентированных кристаллов (в процентах от общего числа образующихся). По его данным, эпитаксическое нарастание галогенидов на слюде прекращается, если разность параметров превышает 18%. При меньших значениях процент ориентированных нарастаний линейно увеличивается.

В опытах не учитывалось, что часть кристаллов успевает осесть из верхних слоев капли в неориентированном положении. Д. Е. Овсиенко (1953) и И. Е. Каменцев (1956), проводя опыты в условиях, исключающих такое выпадение, показали, что количество ориентированных кристаллов зависит от условий эксперимента и скачкообразно изменяется вблизи значения, допустимого законом пределов. Они подтвердили, что вероятность выделения зародышей кристаллов при наличии подложки выше, чем без нее. Сходство параметров решеток подложки и кристаллизующегося вещества повышает эту вероятность и уменьшает необходимую для появления зародышей степень пересыщения раствора. Аналогичные выводы сделали Клебер (Kleber, 1961) и другие экспериментаторы, проводившие опыты с другими соединениями.

Сопоставление этих работ для нас интересно в следующем отношении. Так как рост классических письменных пегматитов происходит в условиях, когда не исключается возможность зародышевания и выпадения кристаллов кварца непосредственно из минералообразующей среды, а не только на подложке, то полная закономерная ориентировка практически всех вростков может достигаться лишь при высокой степени сходства в строении кристаллических структур обоих минералов, хотя бы по некоторым направлениям. Как известно, кварц и полевошпатовый шпат

имеют ряд общих структурных черт (псевдокубический мотив), обусловленных построением их каркасов из вязы кремне- (алюмо-) кислородных тетраэдров близких размеров (Соболев, 1949; Франк-Каменецкий, Шафрановский, 1960). Наличие очень близкой к кварцу структурной полевошпатовой подложки при определенных условиях должно благоприятствовать зародышеванию кварца непосредственно на ней.

Предельная разница в параметрах решеток Δa_{max} , еще допускающая эпитаксические взаимодействия между минералами, согласно теории П. Д. Данкова (1949), определяется: а) прямой связью с величиной параметров решетки и величиной свободной поверхностной энергии и б) обратной связью с коэффициентами упругости прирастающего кристалла. Эта теория не учитывала влияния на величину Δa_{max} многих других факторов: характера подложки, количества дислокаций на подложке, характера растворителя, степени пересыщенности минералообразующих сред, температурных условий и т. д. Эти стороны учтены в других теориях.

Влияние характера подложки на возможный механизм эпитаксического зародышевания кристаллов и место механизмов Франка-Ван-дер Мерве, Странского — Крастанова и Фольмера — Вебера с термодинамических позиций рассмотрено Бауэром (Бауер, 1958). Им же было показано, что в макромасштабах отложение вещества возможно лишь при пересыщении минералообразующих сред.

Четко установленная связь между разностью параметров решеток и явлениями пересыщения и переохлаждения, которые вызывают зародышевание с возможностями ориентированного роста кристаллов, учтена в созданной в последние годы кинетической теории эпитаксии (Близнаков, Каишев, Клебер).

Существенное значение для развития эпитаксических, в частности письменных, агрегатов имеют и другие факторы. Например, на влияние такой структурной особенности, свойственной кристаллическим решеткам обеих фаз, как наличие двумерных слоев, сходных и по составу, и по структуре, указал В. А. Франк-Каменецкий (1964). Эта мысль полностью подтверждается нашими замерами ориентировок в классических письменных кварц-полевошпатовых сростаниях. Замеры показали, что почти всегда в этих сростаниях имеет место совпадение некоторых важных рядов в кристаллических решетках кварца и полевого шпата (например, трапецоэдрической зоны кварца с [001] и [010] полевого шпата, осей L_2 кварца и [010] полевого шпата и т. д.), о чем подробно сказано ниже. Поэтому и для кварц-микромолитовых письменных пегматитов также характерна «закономерность сростания, связанная с общностью рядов кислородной укладки», отмеченная В. А. Франк-Каменецким (1954) для кварц-олигоклазовых эпитаксических сростаний.

О границах развития эпитаксических письменных агрегатов

Так как параметры решеток минералов по-разному реагируют на изменения давлений и температур, а также на вариации в составе минерала, то максимальное соответствие параметров, которыми обусловлены закономерные соотношения, имеет место только при определенных термодинамических условиях. При прочих условиях закономерные соотношения будут отсутствовать.

Для многих эпитаксических агрегатов экспериментально доказано существование критической температурной точки, ниже которой эпитаксические соотношения не возникают (Neuhaus, 1950—1951; Brandstätter-Kuhnert, 1958). Теоретическое обоснование таких критических температур дано Г. Близнаковым. При температурах выше критической точки максимально допустимая разность параметров может возрасти настолько, что станет возможным (при одних и тех же РТ-условиях) возникновение нескольких различных ориентировок. Это возможно в письменных пегматитах; обычно при этом разные ориентировки кварца приурочены к разным пирамидам роста полевого шпата.

Рассмотрим возможность появления эпитаксических взаимоотношений между кварцем и полевым шпатом в различных температурных областях.

Для наиболее высокотемпературных генераций кварца и полевого шпата в магматических образованиях письменные сростания нехарактерны. В кислых породах (интрузивных, жильных и эффузивных), основная масса которых имеет письменную структуру, нередко встречаются разобщенные или незакономерно сростшиеся вкрапленники кварца и полевого шпата. Во многих случаях более раннее магматическое происхождение их по сравнению с основной массой бесспорно (структурные особенности и наличие магматических включений). Вкрапленники кварца и полевого шпата здесь могли кристаллизоваться совместно или последовательно. В обоих случаях, если бы эпитаксический рост в этих условиях был бы возможным, энергетическое преимущество несомненно имело бы зарождение одного минерала на подложке другого. Однако, по-видимому, при этих высоких температурах отсутствует тесное структурное подобие минералов, и энергетически более выгодным оказывается раздельный рост кварца и полевого шпата.

Не составляют исключения и те средние и даже основные породы, дифференциаты и гибридные разновидности которых в базе содержат письменные агрегаты (гранофиры и пр.).

Таким образом, в изверженных породах появление письменных агрегатов приурочено лишь к заключительным стадиям собственно магматического процесса. Аналогичные соотношения

наблюдаются в структурно сходных порфириовидно-графических пегматитах. Классические пегматитовые письменные агрегаты также образуются обычно лишь после кристаллизации более ранних аплитовидных и пегматоидно-гранитных агрегатов.

Следовательно, при образовании эпитаксических кварц-полевошпатовых сростаний имеется верхний температурный предел, выше которого их развитие невозможно. Этот предел можно рассматривать как верхнюю критическую точку. При понижении температуры ниже верхней критической точки, очевидно, существуют условия, благоприятные для образования эпитаксических сростаний. Эпитаксическое зародышевание кварца на структурной полевошпатовой подложке и наблюдается в собственно письменных прорастаниях в пегматитах и некоторых других породах. Здесь нередко энергетически эффективным оказывается не только осаждение кремнезема на уже растущие кварцевые вростки, но и одновременное новообразование вростков (табл. VIII, д).

Рассмотрим возможности появления эпитаксических сростаний при понижении температуры. Для продуктов заключительных этапов пегматитообразования самопроизвольное зарождение эпитаксических агрегатов не характерно. Очень четко это проявляется при развитии высоко- и низкотемпературных кварц-полевошпатовых друз в полостях пегматитов. При сравнительно высоких температурах минералообразования нередко наблюдается закономерное эпитаксическое нарастание кварца непосредственно на полевой шпат даже в тех случаях, когда в нем отсутствуют более ранние эпитаксические письменные вростки кварца.

При более низких температурах эпитаксическое нарастание кварца на полевой шпат наблюдается в полостях лишь при наличии уже имеющегося закономерного письменного агрегата в качестве подложки (табл. IV). Если же стенки полостей сложены пегматоидными или прочими незакономерными агрегатами, кварц наследует их ориентировку. В этом случае энергетически более выгодными оказываются процессы роста на уже готовых затравках кварца, а не на структурной полевошпатовой подложке.

Собственно письменные классические прорастания самостоятельно также могут развиваться при весьма низких температурах, например, в переохлажденных расплавах — стеклах, при избытке летучих, но только в случаях, если предварительно не произошла раскристаллизация стекла с образованием незакономерно ориентированных лейст, т. е. готовые кварцевые затравки отсутствуют. Экспериментально такие микрографические структуры в искусственных стеклах были получены Шлемером даже при температурах 450 и 300° С.

Появление вторичных эпитаксических письменных агрегатов с индукционными поверхностями зерен за счет перекристалли-

зации (или метасоматоза) более мелкозернистых агрегатов в этой же низкотемпературной области оказывается уже невозможным из-за наличия неориентированных затравок и слишком низкой температуры. Могут появиться лишь псевдописьменные образования за счет поспайного и трещинного замещения кварцем блоков полевого шпата, закономерные соотношения в которых не являются эпитаксическими. Встречающиеся изредка в явно низкотемпературных гидротермальных кварцах из занорышей закономерные включения низкотемпературного полевого шпата имеют неэпитаксическую природу. «Законы» ориентировки их обусловлены в основном гравитационными силами и заключаются в параллельности граней включенного полевого шпата граням кварца, пирамидами роста которых они захвачены. Закономерные эпитаксические соотношения между низкотемпературными новообразованиями и кварца и полевого шпата в диагенезированных осадочных и слабометаморфизованных породах также неизвестны.

Таким образом, самопроизвольное образование эпитаксических прорастаний ниже определенной температуры также оказывается невозможным. Этот температурный рубеж можно назвать нижней критической точкой.

Следовательно, особенностью письменных пегматитов является возникновение их в интервале РТ-условий, ограниченном двумя критическими точками (вернее, областями) — верхней и нижней, за пределами которых эпитаксические взаимоотношения кварца и полевого шпата не наблюдаются. Это связано с большими различиями в термическом поведении кварца и полевого шпата. В теоретических и экспериментальных работах упоминаний о возможности верхней критической точки автор не встречал, однако ее существование легко объяснимо и связано с теми же объективными факторами, которыми обусловлена нижняя критическая точка.

Законы срастания кварца с полевым шпатом в письменных пегматитах

Впервые на некоторые чисто внешние морфологические закономерности в ориентировке кварцевых вростков в полевом шпате обратил внимание Хаттон (Hutton, 1788). Он отметил, что в исследованных им образцах уплощение кварцевых вростков параллельно плоскости (001) уплощенного полевого шпата. Кристаллографические, структурные — внутренние — закономерности для срастающихся минералов впервые отмечены Г. Розе (Rose, 1837). Во время путешествия на Урал он собрал интересную коллекцию письменных пегматитов с друзовыми кварцевыми головками. Одновременное отражение от одноименных граней у соседних кристалликов кварца позволило показать, что

Кварцевые головки, а следовательно, и вростики, на которые они нарастают в той же ориентировке, взаимно параллельны, хотя сами друг с другом не соприкасаются. Наши данные полностью подтверждают это наблюдение. Как указывалось выше, друзовые образования, развивающиеся по эпитаксическим агрегатам, наследуют их ориентировку; если же в подложке взаимоотношение минералов незакономерное, они также обычно наследуются при образовании на них друз. Исследования друзового материала из других регионов (Breithaupt, 1939; Rath, 1870) прибавили к законам Розе новые законы срастания кварца с полевым шпатом; изучение друзовых срастаний из Кенигсгайна, проведенное Войчахом (Woitschach, 1881), довело их число до 7. Новые, но столь же строгие соотношения были установлены А. Хегбомом (Högbon, 1897); П. Саберским (Saberski, 1891); Ф. Валлераном (Wallerant, 1902, 1909).

Всеми этими исследователями законы срастания уподоблялись двойниковым в смысле строгости взаимоотношений решеток срастающихся минералов.

Дальнейшее изучение закономерностей кварц-полевошпатовых срастаний и обобщение накопленных данных было проведено А. Е. Ферсманом (1915). Он показал значительную распространенность группы законов, для которой характерно совпадение трапецеэдрической зоны кварца с зоной [001] полевого шпата, и даже считал, что эти законы всегда преобладают над другими во всех письменных пегматитах. Позже эти законы стали называть законами Ферсмана.

Абсолютизация законов Ферсмана привела к тому, что многие исследователи, находя иные ориентировки в письменных срастаниях, стали вообще оспаривать наличие в них строгой закономерности (Wahlstrom 1939; Drescher-Kaden 1948), а заодно и правильность кристаллографических построений Ферсмана. Впрочем, еще Мюгге (Mügge, 1904) считал, что строгие соотношения в срастаниях являются лишь правилом, но не закономерностью, подобной двойниковой. Такого же взгляда придерживались В. Бреггер (Broegger, 1886), Хинтце (Hintze, 1904), Норденшильд (Nordenskjöld, 1910), а позже Уолстром (Wahlstrom, 1939) и его последователи. При этом не учитывалось, что полевой шпат и кварц письменных пегматитов нередко оказывались дроблеными и перекристаллизованными до начала друзового нарастания и друзовые головки наследовали уже это, отклоненное от первоначального, положение, чем и объясняются отклонения их ориентировки от строгой закономерной. Между тем измерения велись преимущественно как раз на друзовом материале. Это положение было подчеркнуто В. Д. Никитиным (1958). Рентгенографическое изучение письменных срастаний, не подвергшихся дроблению, также подтверждает наличие строгой закономерности (Heritsch, 1953₂). Кроме того, при кристаллооптических

наблюдениях видно, что вросстки кварца в некатаклазированных образцах угасают строго одновременно. Это относится и к тем случаям, когда в пределах блока полевого шпата наблюдаются не одна, а две или даже три различно ориентированные группы вросстков — ихтиоглипты каждой группы гаснут одновременно.

Друзовые образования позволяют производить полное определение кристаллографических элементов кварца относительно полевого шпата. В собственно письменных пегматитах обычно (на федоровском столике) определяется лишь положение главной оси кварца (оптической оси) и осей полевого шпата. Однако при одном и том же положении L_3 кварца возможно несколько вариантов расположения его двойных осей. Это делает результаты замеров неоднозначными и не позволяет сравнивать данные различных авторов (фиг. 1а, б). Если же такое сравнение по недостаточным в сущности данным производится, то это приводит к грубым ошибкам. Действительно, вблизи выхода L_3 при ориентировке кварца по закону Розе (фиг. 2, д, точка R) с отклонением всего на несколько градусов, часто в пределах точности измерения, находятся выходы L_3 при ориентировке по другим законам (фиг. 2, д, точка Б; фиг. 2г, точка В₁Б₁), и различить эти законы срastания без дополнительных данных о положении двойных осей невозможно.

Ниже будут рассмотрены некоторые типы закономерностей кварц-полевошпатовых срastаний с учетом полных определений, полученных гониометрическим способом или на федоровском столике по специально разработанной для этого случая методике.

Наши исследования, а также анализ имеющихся в литературе данных по закономерностям срastаний показали, что трапецоэдрические законы А. Е. Ферсмана в целом для пегматитов не являются самыми распространенными, что наряду с ними не менее часто встречаются иные, равноценные ферсмановским трапецоэдрическим, типы ориентировок. Все срastания, относимые к этим типам, подобно срastаниям по ферсмановским законам, характеризуются совпадением какой-то определенной оси кварца с осью полевого шпата.

Помимо первого типа трапецоэдрических срastаний (ферсмановского), нами выделяется второй тип трапецоэдрических срastаний, характеризующийся совпадением трапецоэдрической зоны кварца с осью [010] полевого шпата. Третий тип срastаний отличается от остальных совпадением L_3 кварца и оси [010] полевого шпата. Ориентировки по законам четвертого типа объединены по признаку параллельности нормалей к грани призм кварца с осью [010] полевого шпата. Устойчивость каждой конкретной ориентировки внутри данного типа определяется добавочным совпадением каких-либо граней или зон кварца и полевого шпата.

В пятый тип сростаний условно объединены все прочие виды сростаний. Для дальнейшего их расчленения пока недостаточно материала. Ориентировки, группирующиеся в выделенные здесь типы, распространены так же широко, как и ориентировки по ферсмановским законам.

Описание выделенных типов ориентировок начнем с классического типа, впервые выделенного А. Е. Ферсманом (1915).

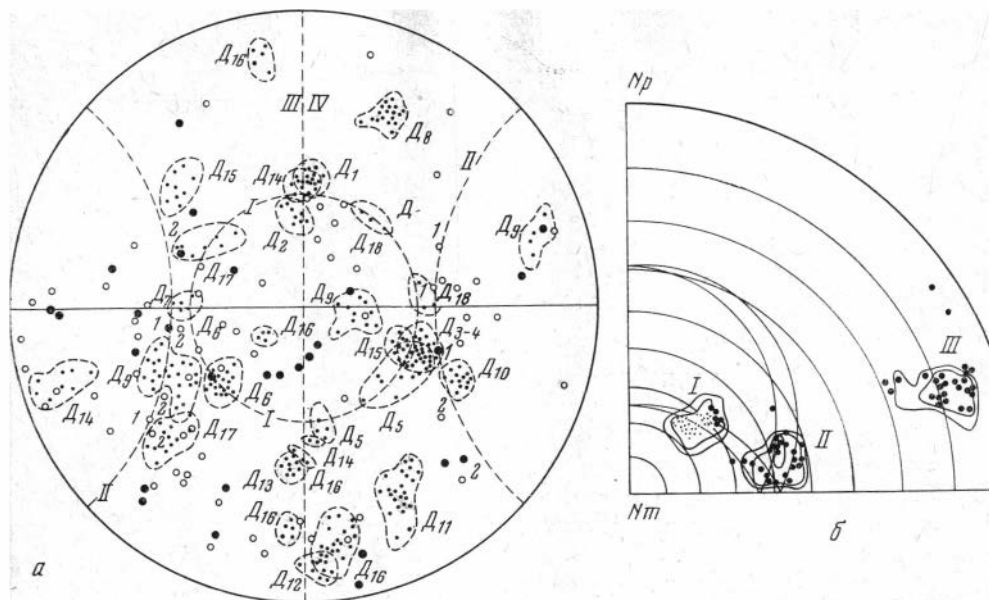
Ферсмановские трапецоэдрические законы (первый тип)

Общим для всех трапецоэдрических законов Ферсмана является параллельность трапецоэдрического ребра кварца $[1\bar{2}13]$ с призматическим ребром ортоклаза (или псевдопризматическим ребром микроклина) $[001]$. Трапецоэдрическое ребро $[1\bar{2}13]$ пересекается с осью L_3 кварца под углом $42^\circ 16'$. Поэтому на проекции кварца, смещенной с проекцией полевого шпата (в обычной кристаллографической установке), для всех законов Ферсмана выход L_3 будет находиться на так называемом «Ферсмановском круге», проведенном под углом 42° от $[001]$ полевого шпата. Все ориентировки с выходами L_3 кварца в правые квадранты, как известно, называются правыми, остальные — левыми; ориентировки с выходами L_3 кварца в верхние квадранты — положительные, с выходами L_3 в нижние — отрицательные (фиг. 2, а). Нами эти законы устанавливались как на друзовом материале (гонометрически), так и на классических собственно письменных сростаниях (замеры на федоровском столике, съемка лауэграмм).

Устойчивые, наиболее распространенные, ориентировки в этом типе, как известно, соответствуют ферсмановским законам А, В, С, D, E и закону Розе (R по Ферсману).

Закон А (может быть правым и левым). Помимо общей для всех законов Ферсмана закономерности, для него характерна параллельность призмы кварца $[10\bar{1}0]$ с (100) полевого шпата, что является одним из наиболее распространенных среди трапецоэдрических законов сростания. Ориентировка по этому закону наблюдалась нами в образцах из Зерендинского плутона, Адун-Чолона (Забайкалье) и в пегматитах Мамско-Чуйского района (табл. VIII, г). Особенно эффективна она в друзовых нарастаниях на Адун-Чолонских письменных пегматитах.

Судя по частным замерам положения оптической оси кварца на федоровском столике, ориентировка по закону А наблюдалась также Л. А. Косым (1938) — в пегматитах Карелии (Сорокский район) и Ф. К. Дрешер-Каденом (Drescher-Kaden, 1948) в пегматитах Оденвальда и Ашаффенбурга (фиг. 1, а), поля D_7 , D_6 , D_{18} . Рентгенометрически закон А установлен Херичем для пегматитов Кристал, Пик, Колорадо, США (Heritsch, 1953, 2).

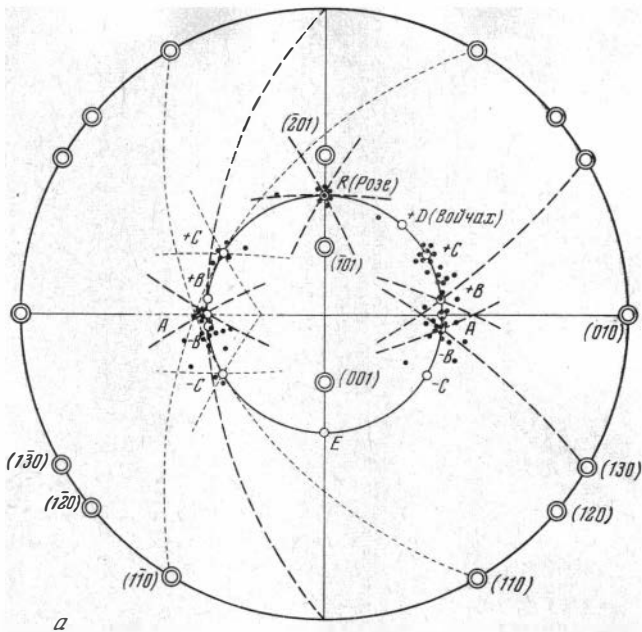


Фиг. 1. Особенности срастания

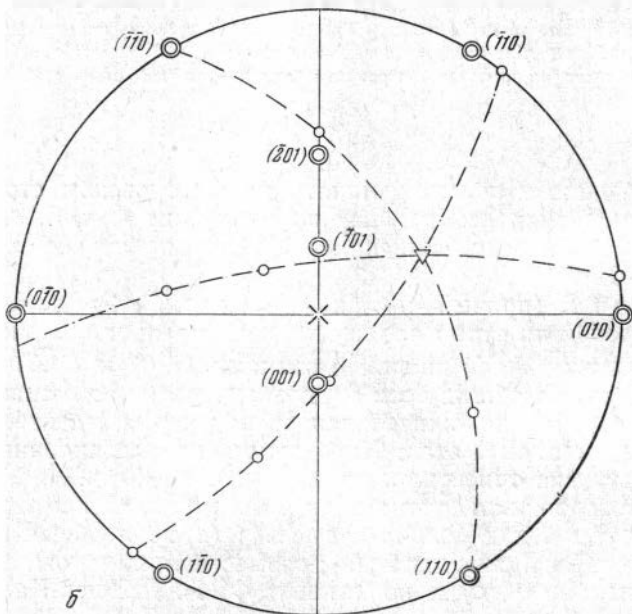
а — неоднозначное (частное) определение законов кварц-полевошпатовых срастаний. *ки* — замеры Э. Уолстрома. Замеры на гониометре: черные кружки — замеры Э. Уолзаконов второго типа, III—IV — линия (вертикальный диаметр) законов третьего и из одних образцов; *б* — неоднозначное определение закона срастания (только по выхолоде (четыре дуги); *в* — стереографическая проекция, показывающая положение кружки — проекции плоскостей уплощения ихтиоглиптов; двойные кружки — полюса (201) , $(10\bar{1})$, (010) .

Так как правая и левая ориентировки по закону А практически равноценны, то количество вrostков, ориентированных вправо и влево, может быть почти одинаковым. Если на такой письменной «подложке» возникают друзы кварца, то они имеют вид своеобразных двойниковых решеток. Такое двойникование называется Ферсманом принудительным. Оно наблюдалось нами в Зерендинских пегматитах и в образцах из Адун-Чолона. Для Адун-Чолона принудительные двойники описывались также ранее (Ферсман, 1940; Григорьев, Шафрановский, 1947) и отмечены для пегматитов Вольни (Шафрановский, Осадчев, 1950).

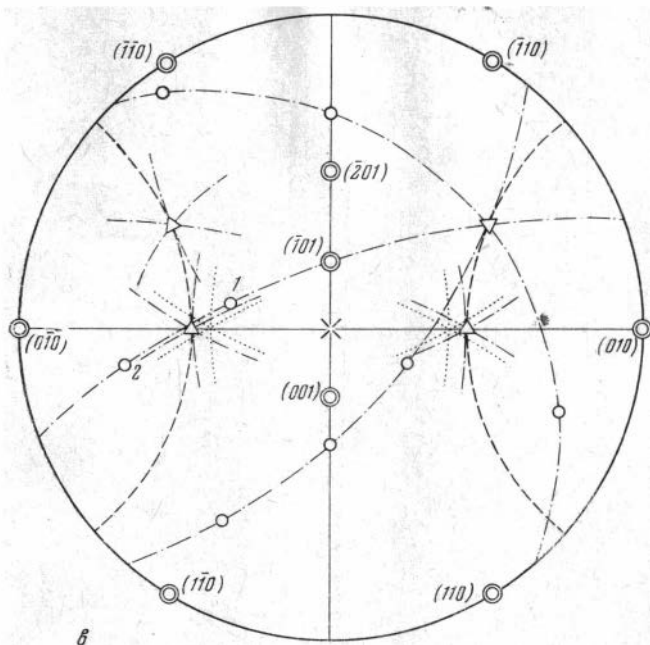
Ориентировка по закону А установлена нами для очень своеобразных, ранее не описанных, скелетно-индукционных кварцевых вrostков в классическом письменном пегматите из Мамско-Чуйского района (образец М. Ю. Фишкина). В ориентированных шлифах, наряду с сечениями реберно-индукционных форм вrostков, встречаются сечения гранно-индукционных форм, которые позволили провести полное определение их ориентировки



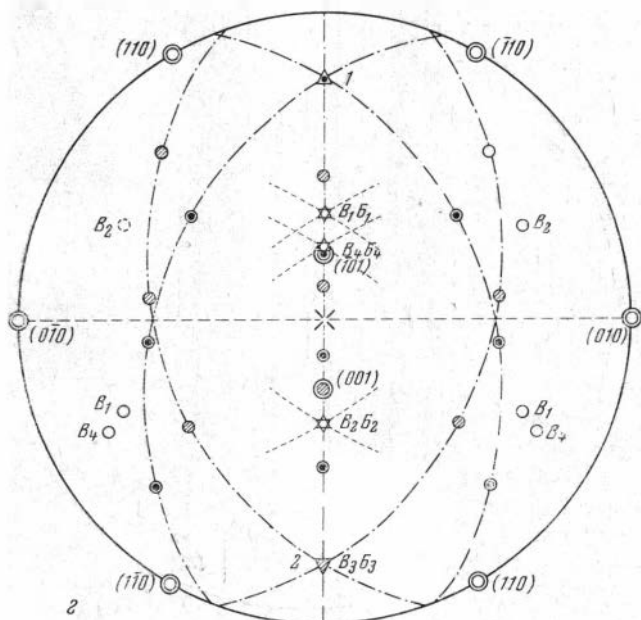
Фиг. 2а



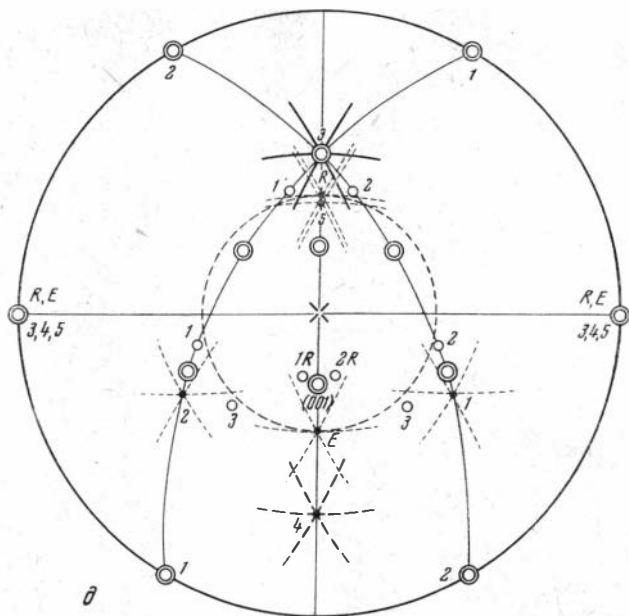
Фиг. 2б



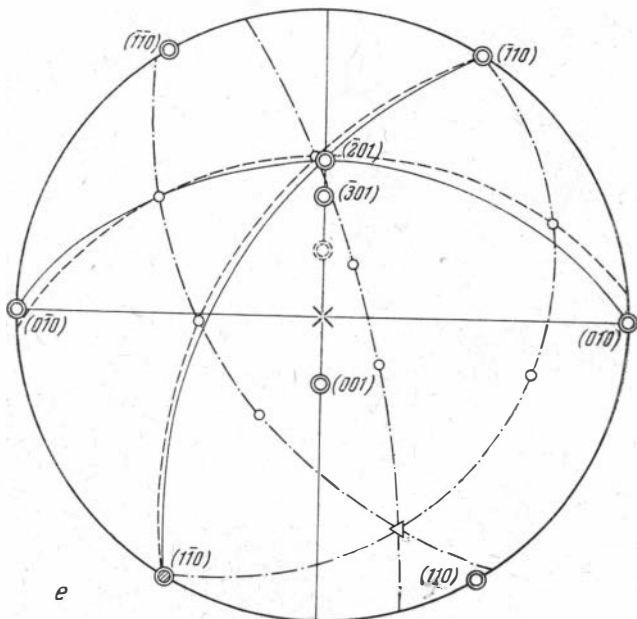
Фиг. 2а



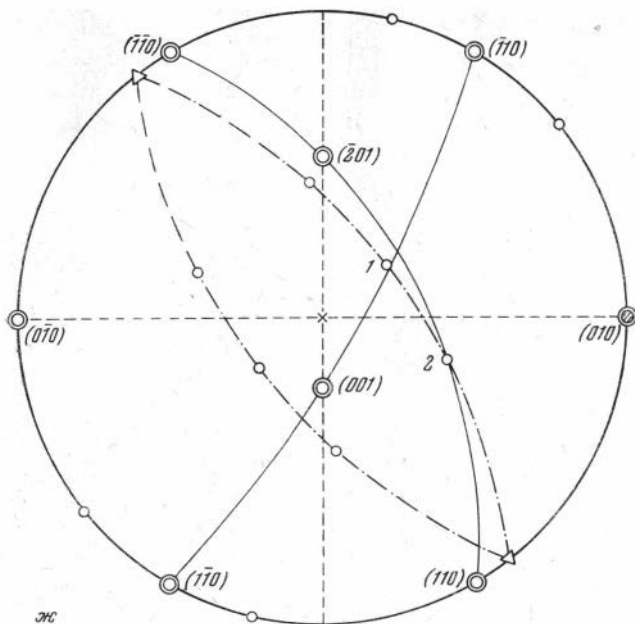
Фиг. 2б



Фиг. 2д



Фиг. 2е



Фиг. 2ж

Фиг. 2. Закономерные кварц-полевошпатовые сростания

a — трапецеэдрические законы сростания первого типа (законы Ферсмана.) Точки — положения вертикальных осей кварца, по данным А. Е. Ферсмана; *б* — закон «+» (правый) (Мурзинский закон); *в* — трапецеэдрические законы сростания второго типа; *г* — законы сростания третьего типа; *д* — законы сростания четвертого типа; *е* — стереографическая проекция сростания по одному из законов пятого типа. Мурзинка (Урал), Образец изображен на табл. IV, *д*; *ж* — стереографическая проекция сростания по одному из законов пятого типа. Ново-Романовка (Зерендинский плутон, Казахстан). Образец изображен на табл. IV, *в*

Закон С (правый «+» и «—», левый «+» и «—»). Для закона С характерно совпадение призматических граней кварца с гранями (110) и (110) полевого шпата. Примером ориентировки по закону С является друзовое сростание из крупнейшего пегматитового тела в Зерендинском плутоне (Северный Казахстан), изображенное на табл. IV, *а*. Для наиболее крупных головок кварца, нарастающих на грань (001) микроклина, здесь наблюдается совпадение граней призмы с (110) полевого шпата, что соответствует правой «+» С ориентировке (фиг. 2б). Грани призмы более мелких кристалликов, нарастающих на грань (010) того же кристалла в той же ориентировке, пересекаясь с (010) микроклина, дают ребро, параллельное оси [001] полевого шпата. Один из таких кристалликов кварца был выбит; в основании

обнажившейся индукционной воронки остался лишь корень ихтиоглипта; характерно, что все индукционные ребра, видимые в воронке, во-первых, параллельны плоскости (010) полевого шпата и, кроме того, параллельны граням кварца, пересекаемым этой плоскостью.

Этот закон был назван Ферсманом «Мурзинским» в связи с большим распространением таких ориентировок на Урале; Л. А. Косым (1938) аналогичные сростания встречались в пегматитах Карелии, Дрешер-Каденом — в образцах письменных пегматитов из Мурзинки, Южаковой, Шайтанки (Урал), Гейдельберга и Кимито (Финляндия) (фиг. 1, а, поля $D_3, D_4, D_{15}, D_5, D_{17}$). Некоторые замеры Уолстрема (Wahlstrom, 1939) (фиг. 1, а) также, по-видимому, соответствуют закону С.

Закон D. Известны правые и левые положительные и отрицательные разновидности. Характерно совпадение дипирамидальной грани кварца $[11\bar{2}1]$ с гранями (010)—(0 $\bar{1}$ 0) полевого шпата; правая положительная ориентировка известна под названием закона Войчаха. Ориентировки по этому закону нами не наблюдались. Херитч (Heritsch, 1953₂) отмечал этот закон для рентгенографически изученных собственно письменных пегматитов из Норвегии (Фодспор, Эвье, Зетередаль) и США (Кристал Пик, Колорадо). Ориентировку по закону D, возможно, имеют сростания в образцах из Финляндии (рис. 1, а, поля D_3, D_5, D_6, D_{17}).

Закон Розе. Существуют только положительные ориентировки, отрицательные — крайне редкие — известны под названием закона «Е». Закон Розе характеризуется совпадением призматических граней кварца с (010) полевого шпата. Очень широко распространен в исследованных нами пегматитах Савватеева (Борщевочный кряж, Забайкалье) и в образцах из Ильмен. Схема этой ориентировки дана на фиг. 7, б, а стереографическая проекция — на фиг. 2а. Для собственно письменных сростаний она установлена также рентгенометрически Херитчем (Бавария) и может быть предположена (по выходу оптической оси кварца) для пегматитов Оденвальда и Бавено (Дрешер-Каден, фиг. 1, а, поля D_1 и D_{14}).

Охарактеризованные трапецоэдрические законы имеют широкое распространение, но, как это отмечал и сам А. Е. Ферсман (1915), «ими не исключается возможность и некоторых других закономерностей *меньшего* распространения и обычно *меньшей*¹ правильности». Последнее утверждение, однако, не совсем верно — в некоторых месторождениях преобладают именно иные, а не ферсмановские ориентировки, в некоторых последние отсутствуют вовсе; по строгости же они не уступают ферсмановским. Перейдем к их рассмотрению.

¹ Курсив наш.

Трапецоэдрические законы не ферсмановского типа (второй тип)

В отличие от общей закономерности трапецоэдрических законов Ферсмана, во втором типе сростаний трапецоэдрическая зона кварца совпадает с [010] полевого шпата. Главные оси кварца в законах этого типа совпадают с поверхностью конуса, осью вращения которого является ребро [010]; L_3 кварца на стереографической проекции проектируется на дуги, проведенные под углом $42^\circ 16'$ от выхода [010] (на фиг. 2, в эти дуги даны пунктиром). Полюса граней призм и ромбоэдров кварца, принадлежащие трапецоэдрической зоне, ложатся на вертикальный диаметр проекции полевого шпата. При индукции граней этой зоны гранями горизонтального пояса [010] возникают индукционные ребра, параллельные оси этого пояса.

Один из вариантов сростаний по закону II типа приведен на табл. IV, б (образец из пегматитов Воьлини). Образец представляет собой друзовое сростание — два кристалла мориона нарастают на кристалл микроклина. Кристалл (на фотографии справа) нарастает на (010) полевого шпата и соответствует правому трапецоэдрическому закону второго типа. Устойчивость этой ориентировки определяется, помимо общей для всего типа закономерности, параллельностью граней ромбоэдра кварца с гранью пинакоида $x(\bar{1}01)$ полевого шпата, а также близостью (практически совпадением) граней призмы «1» с зоной $(\bar{1}10 - \bar{2}01 - \bar{1}10)$ и ромбоэдра «2» с зоной $(0\bar{1}0 - 001 - 010)$ (см. фиг. 2в) Левый (табл. IV, б) кристаллик ориентирован по левому закону того же типа; он обладает слегка искривленными гранями призмы, поэтому закономерность ориентировки несколько менее отчетлива.

К трапецоэдрическим законам второго типа относится ориентировка, при которой, помимо совпадения трапецоэдрического ребра кварца с [010] полевого шпата, имеет место совпадение грани призмы кварца с пинакоидом (100) полевого шпата. Эта ориентировка близка к закону «А» Ферсмана и может быть названа законом «А второго типа». Возможны правая и левая разновидности закона «А второго типа».

Подобно тому как при нарастании друзового кварца на письменный пегматит возможно возникновение принудительных двойников с комбинированием ориентировок ферсмановского типа по схеме «А правый + А левый», возможно образование решетчатых принудительных двойников, ориентированных по закону «А второго типа» с соблюдением той же схемы. Угол между осями L_3 кварца, биссектрисой которого является [001], в таком двойнике в первом случае должен быть равен $84^\circ 34'$; в случае сростаний по законам «А второго типа» — $95^\circ 26'$. На фиг. 2, в ориентировки по законам «А» Ферсмана показаны пунктиром, по

трапецеэдрическим законам «А второго типа» — штрихпунктиром.

Нередко, однако, наблюдаются решетчатые двойники с углом между L_3 индивидов, близким к 90° , что свидетельствует о комбинировании в сростании кристаллов, один из которых ориентирован по правому закону «А» Ферсмана, а второй — по левому «А второго типа» либо наоборот.

Такие комбинированные решетчатые двойниковые системы дымчатого кварца были встречены нами в крупнейшем пегматитовом теле Зерендинского плутона (Сев. Казахстан), а также известны в пегматитах Волены (Шафрановский, Осадчев, 1950) и Адун-Чолона (Григорьев, Шафрановский, 1947). Впервые они наблюдались А. Е. Ферсманом, однако были отнесены им исключительно к комбинации по схеме «правый А + левый А», а отклонения угла от теоретической величины рассматривались как случайные.

Выше отмечалось, что на стереографической проекции выходы осей L_3 в сростаниях по законам второго типа образуют дуги двух малых кругов, отстоящие на $42^\circ 16'$ от выхода $[010]$ полевого шпата в отличие от Ферсмановского круга, осью которого является $[001]$ (фиг. 2а, 2в). Любопытно, что на дуги с выходами L_3 по закону II типа ложатся главные оси кварца в замерах Уолстрема (Wahlstrom, 1939) — точки 1, фиг. 1, а. К ним близки замеры, обозначенные цифрой 2. Часть этих ориентировок определена им гониометрически. К законам второго типа, судя по замерам, должны относиться также ориентировки, отмеченные на фиг. 1, а индексами D_9 , D_7 , D_{10} , D_{3-4} , D_{18} , по Дрешер-Кадену.

Законы сростания, определяющиеся совпадением L_2 кварца и оси $[010]$ полевого шпата (третий тип)

Весьма распространены законы сростания, характеризующиеся совпадением L_2 кварца с осью $[010]$ полевого шпата. На совмещенной стереографической проекции кварца и полевого шпата, ориентированных по законам третьего типа, выходы L_3 кварца и полюса граней ромбоэдров и призма данного пояса L_2 ложатся на вертикальный диаметр проекции. Законы этого типа, найденные нами, а также известные по литературным источникам, изображены на стереографической проекции фиг. 2г.

При нарастании друзовых головок кварца на грань (010) полевого шпата в ориентировке по любому из законов третьего типа хорошо видно, что призматические ребра оказываются параллельными грани (010) полевого шпата, а все грани призмы — либо перпендикулярными, либо симметрично наклоненными к (010) . Если же головки кварца приурочены к граням

y ($\bar{2}01$), x ($\bar{1}01$) и P (001) полевого шпата, то о принадлежности к этим законам можно судить также и на основании следующего признака: грани призмы и ромбоэдров пояса L_2 кварца, совпадающего с $[010]$, пересекаются с указанными выше гранями полевого шпата по ребру $[010]$. На гранях ($\bar{2}01$) и ($\bar{1}01$) это направление является следом спайности по (001) и легко находится даже в плохо ограненных кристаллах полевого шпата и их обломках.

В уже описывавшемся выше образце из Зерендинского плутона (табл. IV, a), наряду с нарастаниями кристаллов кварца, ориентированных по мурзинскому закону, имеются две системы кристалликов, ориентированных по законам третьего типа. Эти кристаллики обозначены на рисунке цифрами 2 и 3. Система 3 представляет собой серию узких полосок кварца, нарастающих на (010) полевого шпата. Призматические ребра кварца отклонены от ребра $[100]$ полевого шпата на 12° . Так как здесь имеет место совпадение L_2 кварца с $[010]$ полевого шпата, такое отклонение свидетельствует о параллельности ромбоэдра кварца с пинакоидом x ($\bar{1}01$) микроклина (фиг. 2г). На стереографической проекции (см. фиг. 2г) индексом 1 обозначен выход главной оси кварца, двойными жирными кружками обозначены полюса граней призмы и ромбоэдров. Дуги поясов, проходящих через эти грани и L_3 , нанесены штрихпунктиром. Закон срастания положительный.

По другому закону этого же типа ориентированы кристаллики системы 2 (табл. IV, a), которые нарастают на (010) параллельно сдвоенного кристалла микроклина. Закономерность ориентировки этих кристалликов, помимо совпадения L_2 кварца с $[010]$ микроклина, заключается в параллельности грани ромбоэдра кварца с базопинакоидом (001) полевого шпата. На стереографической проекции (фиг. 2г) положение граней и выход L_3 кварца (индекс 2) в этой ориентировке показаны заштрихованными кружками и треугольником. Эта ориентировка является весьма распространенной. Ранее она отмечалась еще А. Брейтгауптом и Ф. Валлераном. Закон срастания — отрицательный.

Ориентировка срастаний, схема которой дана на фиг. 2г (индекс $B_4 B_4$), отличается от только что описанной лишь тем, что L_3 кварца повернута в сторону положительных законов срастания. По воспоминаниям Ф. Виронбова (Rosenbusch, Wülfing, 1905), впервые это соотношение было обнаружено А. Брейтгауптом. На схеме А. Е. Ферсмана закон фигурирует под названием «закона Валлерана».

К третьему типу относится еще один «закон Валлерана», ранее также открытый А. Брейтгауптом. Схема его дана на фиг. 2г (индекс $B_2 B_2$). Устойчивость ориентировки по этому закону, помимо совпадения осей L_2 кварца и $[010]$ полевого шпата,

определяется параллельностью граней ромбоэдра кварца и (100) полевого шпата. Закон срastания — отрицательный.

Известен родственный положительный аналог этого закона — «закон Брейтгаупта», — для которого также характерна параллельность граней ромбоэдра и (100). Схема его приведена на фиг. 2г (индекс B_1B_1). Данные Брейтгаупта подтверждаются замерами Валлера (Rosenbusch, Wülfing, 1905).

Законы срastания, определяющиеся параллельностью граней призмы кварца и пинакоида (010) полевого шпата (четвертый тип)

Так же как для законов третьего типа, выходы L_3 кварца располагаются на вертикальном диаметре совмещенной проекции также и при ориентировках по законам четвертого типа, для которых характерна параллельность грани призмы кварца с (010) полевого шпата. Эти законы легко распознаются по следующим признакам. При нарастании головок кварца на грани (001), (201), (101), (110) и (110) полевого шпата линия пересечения этой призматической грани с перечисленными гранями полевого шпата параллельна следам спайности (010). При нарастании кварца на грань (010) наблюдается одновременный отблеск от граней призмы кварца и (010) микроклина.

Рассмотрим один из наиболее распространенных законов четвертого типа. Срastания по нему характеризуются, помимо общего признака параллельности призмы кварца с (010) полевого шпата — собственным признаком, — совпадением главной оси кварца с нормалью к грани (201). Эта ориентировка изучена нами на примере классических письменных прорастаний из пегматитов р. Талой (Прибайкалье). В случае, когда вrostки удлинены нормально к (201), а ребра штриховки на них параллельны (201), вrostки имеют шестиугольную (либо карандашевидную, либо уплощенную) удлиненно-таблитчатую форму. В срезах, параллельных (201), стороны шестиугольников образуют угол в 120° . Так как штриховка развита очень слабо, форма вrostков фактически соответствует собственно призматической огранке кварца¹. В случае, когда штриховка параллельна (101) поле-

¹ Следует подчеркнуть, что такая же призматическая огранка и совпадение удлинения вrostков с главной осью кварца возможны при некоторых других законах срastания, например в случаях закона Мекинена [при нарастании кварца на (010) полевого шпата] и закона «Бавено-правый», открытого Дрешер-Каденом (1948) [при нарастании кварца на (130) полевого шпата]. Это послужило поводом для того, чтобы отвергнуть индукционную модель ихтиоглиптов и ошибочно связывать форму вrostков с собственной огранкой кварца при его метасоматическом происхождении.

вого шпата, удлинение вrostков отклоняется от нормали к грани x ($\bar{1}01$) в сторону нормали к грани y ($\bar{2}01$) полевого шпата, а следовательно, в направлении, параллельном L_3 кварца. В сечении, нормальном удлинению вrostков, которое и в этом случае имеет шестиугольную форму, наблюдается одинаковое для всех вrostков отклонение от 120° — соотношений, но рисунок характеризуется симметричностью относительно плоскости (010) (см. табл. I, a и фиг. 2*д*, индекс 3).

Охарактеризованный на этих примерах закон срастания впервые описан Войчахом совместно с другими законами, не относящимися к четвертому типу, в том числе двумя симметричными ориентировками, при которых L_3 кварца лежит в плоскости (201), а призма кварца параллельна либо грани T (110), либо грани l ($\bar{1}10$) полевого шпата (фиг. 2*д*, индексы 1 и 2). Недавно эти три ориентировки были заново и, по-видимому, независимо (ссылки на работу Войчаха отсутствуют) открыты Б. В. Чесноковым (1963).

Головки мориона, нарастающие на крупный кристалл микроклина, который изображен на снимке (табл. IV, z), также ориентированы по одному из законов четвертого типа. Устойчивость этой ориентировки определяется параллельностью граней призмы и призматических ребер кварца, соответственно, второму пинакoidу (010) и грани x (101) микроклина. Схема срастания по данному закону приведена на проекции (фиг. 2*д*, индекс 4). Закон относится к группе отрицательных.

К четвертому типу относятся также уже охарактеризованные выше законы Розе и Е, которые одновременно являются и трапецоэдрическими законами А. Е. Ферсмана. Схема их приведена на фиг. 2*д* (индексы R и E). Повторять их описание нет необходимости.

При недостаточной тщательной работе, а также при исследовании материала, подвергнувшегося перекристаллизации, дроблению и т. д., закон Розе трудно отличить от одного из открытых Войчахом законов, который также относится к четвертому типу. Схема его изображена на проекции фиг. 2, $д$, выход главной оси кварца обозначен индексом 5, так же как полюса призматических граней, которые совпадают с (010) полевого шпата. Последний характеризуется совпадением граней призмы и дипирамиды (1121) кварца — соответственно с гранями (010) и (001) полевого шпата. Закон относится к группе положительных.

Пример срастаний по законам третьего и четвертого типов еще раз убедительно показывает, что для определения закона срастания кварца с полевым шпатом недостаточно выяснить положение L_3 кварца относительно кристаллографических элементов полевого шпата, ибо вблизи одной и той же точки на совмещенной проекции могут находиться выходы L_3 при совершенно

различных кристаллографических соотношениях срастающихся минералов. Например, нельзя гарантировать отнесение ориентировок в сростаниях, проекция которых представлена на фиг. 1, а (замеры Дрешер-Кадена — $D_1, D_{14}, D_2, D_5, D_{16}, D_{13}, D_{12}$ и замеры Уолстрома), ни к законам третьего, ни к законам четвертого типа, хотя выходы L_3 кварца и находятся вблизи вертикального диаметра. Единственное, что иллюстрирует массовые замеры такого рода, это неуниверсальность трапецоэдрических законов Ферсмана. Оперировать же ими для сопоставлений нельзя.

Прочие эпитаксические ориентировки (пятый тип)

Пятый тип условно объединяет все прочие законы сростания, обнаруженные нами и известные по литературным источникам. До накопления дополнительного материала расчленять этот тип нецелесообразно. Рассмотрим несколько законов, описываемых нами впервые.

В образце из Мурзинки (Урал) на кристалл микроклина с хорошо развитыми гранями $(001), (0\bar{1}0), (201)$ и (302) (?) и с очень узкой полоской $(1\bar{1}0)$ закономерно нарастают кристаллики дымчатого кварца (табл. IV, д). Ромбоэдрическая грань кварца параллельна с $(\bar{1}\bar{1}0)$ полевого шпата. Другая ромбоэдрическая грань отклоняется от плоскости $(\bar{2}01)$ всего на $2-3^\circ$, так что зона $(\bar{1}\bar{1}0) - (20\bar{1}) - (\bar{1}\bar{1}0)$ полевого шпата оказывается сближенной с одной из трапецоэдрических зон кварца, а зона $(0\bar{1}0) - (\bar{2}01) - (010)$ близка к другой трапецоэдрической зоне кварца. На совмещенной проекции (фиг. 2е) эти зоны показаны дугами (пунктир).

Образец, изображенный на табл. IV, в (Ново-Романовка, Зерендинский плутон, Казахстан), представляет собой кристалл микроклина, на гранях которого $(001), (110)$ и (010) выросли головки дымчатого кварца, имеющие эпитаксическую ориентировку. Закономерность сростания определяется совпадением ромбоэдрической грани кварца со вторым пинакоидом (010) микроклина и осей L_2 кварца и $[001]$ полевого шпата. При такой ориентировке полюс призма кварца (индекс 1, фиг. 2ж) лежит вблизи зоны $(\bar{1}\bar{1}0) - (001) - (\bar{1}\bar{1}0)$ полевого шпата, а полюс ромбоэдра (индекс 2) — практически в зоне $(110) - (021) - (1\bar{1}\bar{1}) - (20\bar{1}) - (1\bar{1}\bar{1})$.

Все описанные выше законы сростания характеризуются простейшими эпитаксическими соотношениями — совпадением (параллельностью) грани и ребра одного минерала с гранью и ребром другого минерала. Однако, по нашим данным, существуют и более сложные эпитаксические соотношения, при которых устой-

чивость (жесткость) ориентировки определяется параллельностью нескольких ребер (рядов кристаллической решетки) одного минерала с несколькими гранями (плоскими сетками) другого минерала.

Такого рода соотношения найдены в собственно письменных сростаниях из пегматитов Зерендинского плутона. Взаимоотношения кварца и микроклина в них изображены на стереографической проекции (фиг. 8, б). Жесткость этих сростаний определяется параллельностью 1) оси трапецоэдрической зоны (т. з.), 2) оси второго порядка, т. е. горизонтальной зоны (г. з.) и 3) призматической зоны кварца соответственно трем граням микроклина: (201) , $(1\bar{1}0)$ и $(\bar{1}\bar{1}1)$.

В заключение остановимся на некоторых законах, известных по литературным данным.

Закон Горностаева (Горностаев, 1925) определяется совпадением одной из ромбоэдрических граней кварца с гранью (110) , $(\bar{1}20)$, (011) , (203) , $(\bar{1}\bar{1}1)$ или $(\bar{1}21)$ полевого шпата, прочие ромбоэдрические грани близки к перечисленным граням полевого шпата.

Все прочие «законы» — неоднозначны, так как дают представление лишь о положении главной оси кварца относительно граней полевого шпата.

Закон Косога (1938) определяется совпадением призматической зоны кварца (т. е. L_3) с зоной $(001) — (\bar{1}\bar{1}1)$ полевого шпата. Установлен на материале из пегматитовых жил Сорокского района (Карелия).

Закон Мекинена-Криста-Зандера характеризуется совпадением призматической зоны кварца с зоной $(100) — (001) — (201)$ полевого шпата.

Закон Бавено (правый), установленный Ф. К. Дрешер-Каденом, заключается в совпадении L_3 кварца с нормалью к (130) полевого шпата.

Еще более неопределенны прочие законы сростаний, установленные Уолстромом (Wahlstrom, 1939), Дрешер-Каденом (Drescher-Kaden, 1948), Э. Я. Гурьевой (1957) и Симпсоном (Simpson, 1962).

Таким образом, результаты исследования эпитаксических соотношений в кварц-полевошпатовых письменных пегматитах¹ полностью подтверждают предположение Г. Войчаха (Woit-schach, 1881) о том, что эпитаксическое соответствие заключается в «стремлении обоих веществ привести к совпадению наибольшее количество элементов кристаллов (осей, плоскостей, ребер,

¹ Приведенные законы нами изучены исключительно на примере кварц-микроклиновых образований, однако эпитаксические соотношения характерны и для кварц-плаггиоклазовых (Гурьева, 1957; Франк-Каменецкий, 1954; Ферсман, 1940, и др.).

углов)». Максимальное структурное подобие этих элементов в кристаллических решетках кварца и полевого шпата имеет место лишь во вполне определенном интервале температур, ограниченном верхней и нижней критическими точками.

Увязать закономерности, определяющие взаимные ориентировки минералов в эпитаксических сростаниях с термодинамическими условиями, в которых они возможны, на базе сопоставления природного и экспериментально полученного материала — задача будущих исследований в этом направлении.

Охарактеризовав внутренние эпитаксические соотношения в кварц-микроклиновых сростаниях, рассмотрим внешние кристалломорфологические соотношения в этих исключительно сложных образованиях.

ФРАГМЕНТЫ К КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИИ МИНЕРАЛОВ

По кристалломорфологическим критериям письменные пегматиты, т. е. кварц-полевошпатовые сростания с эпитаксическими соотношениями индивидов, можно расчленить на несколько разновидностей. Ниже приводятся классификация и характеристика этих разновидностей, а в заключительных разделах доказывается, что они различны не только морфологически, но и генетически. По сути дела в категорию письменных пегматитов вследствие исторически сложившегося принятия формального признака (эпитаксичность соотношений) попали совершенно разнородные — и морфологически, и генетически — образования. Наша задача показать эти различия.

С этой целью, помимо решения генетических вопросов, нами проведено кристалломорфологическое изучение письменных пегматитов, а для этого разобраны также некоторые теоретические вопросы кристалломорфологии минералов, ибо кристаллографически строгое описание морфологии реальных кристаллов невозможно без эталонных «идеальных» моделей. Поэтому подробной характеристике морфологических разновидностей письменных пегматитов следует предпослать несколько фрагментов к общей кристалломорфологии минералов.

Сначала остановимся на описании более простых форм роста с собственной огранкой и затем перейдем к характеристике более сложных форм совместного роста (индукционных форм или форм соприкосновения). При исследовании различных разновидностей письменных пегматитов пришлось встретиться как с теми, так и с другими формами.

О формах кристаллов с собственной огранкой

Знакомство с идеализированными моделями, характеризующими собственную огранку, не только облегчает изучение «обычных» хорошо ограненных кристаллов, но дает ключ к пониманию мор-

фологии скелетных кристаллов, например востков кварца в «скелетной графике», и намечает новые пути в подходе к кристалломорфологии индукционных образований. Зная идеализированные формы, легко ориентироваться в морфологии реальных кристаллических тел.

Можно различать три типа форм классического роста кристаллов с собственной огранкой и три типа соответствующих им моделей: обыкновенный (плоскогранный) рост, скелетный и антискелетный рост¹. Наиболее обычен первый тип роста. Кристаллы обыкновенного роста встречаются зачастую в морфологически чистом виде. Кристаллы скелетного и антискелетного роста обычно несут на своей поверхности в различной степени развитые элементы обыкновенного роста. С формами антискелетного роста (в понимании О. М. Аншелеса) при исследовании морфологических особенностей письменных гранитов приходится сталкиваться очень редко. Поэтому остановимся лишь на характеристике моделей обыкновенного и скелетного роста.

Формы кристаллов с собственной огранкой могут быть строго охарактеризованы расширенными понятиями о простых формах кристаллов (Шафрановский, 1960) и простых формах роста (Бакуменко, 1962).

Расширенное понятие о простых формах

Плоскогранные формы, или формы обыкновенного роста, как правило, весьма просты. Формы скелетного роста необычайно сложны. Однако внешняя огранка и тех, и других может быть охарактеризована с помощью простых гранных, реберных и вершинных форм. Простая гранная (реберная, вершинная) форма идеально развитого кристалла представляет собой совокупность граней (ребер, вершин), выходящих одна из другой с помощью элементов симметрии, присущих кристаллу (Шафрановский, 1960).

Идеальные кристаллы обыкновенного роста характеризуются плоскогранностью, и для их описания достаточно известных геометрически различных 47 простых гранных форм, каждая из которых может быть как положительной, так и отрицательной. По предложению И. И. Шафрановского (1959), в понятие о простых гранных формах помимо выпуклых многогранников были введены их разновидности с входящими углами. Для характеристики более тонких различий (степени симметричности и др.) геометрически одинаковых простых форм, по предложению Т. Б. Бокия (1940), введены 146 кристаллографически различных простых форм. Структурные различия отражены в 1403 структурно-различных простых формах (Шафрановский, 1948, 1957).

¹ Формы дислокационного роста нами не рассматриваются.

Помимо гранных форм, в работе используется понятие о вершинных формах, так называемых вершинниках, которые соответствуют плоским и пространственным — точечникам, по П. Ниггли (1949), и понятие о реберных формах, или реберниках (Михеев, Шафрановский, 1955, 1957; Шафрановский, Генделев, 1958; Генделев, 1959; Шафрановский, 1960). Номенклатура реберных и вершинных форм аналогична наименованию гранных форм. Если вершины (или ребра) изобразить на стереографической проекции точками, то получим их проекции, сходные с проекциями простых гранных форм. Симметрично сходные гранные и объемные реберные и вершинные формы получили одинаковые названия. Плоским реберным и вершинным формам и некоторым объемным реберным формам даны новые названия. Например, нарастания более темного циркона вдоль ребер призмы и дипирамиды кристаллов акцессорного светлого циркона хорошо описываются призматическими и дипирамидальными реберниками.

Формы, геометрически аналогичные формам монокристаллов, встречаются и в различных закономерных сростках. Их также характеризуют, используя простые формы, для чего введено понятие об антисимметрии, двуцветной (черно-белой) и многоцветной (цветной) симметрии (Шубников, 1951; Curien et Le Corre, 1958; Curien and Donnay, 1959).

Понятие о простых формах роста

Помимо статического подхода к морфологии кристаллов (изучение лишь их внешней огранки), необходимо учитывать динамические особенности роста кристаллов, их онтогению (термин Григорьева, 1961) на основании исследования деталей внутреннего строения кристаллов (зональность, секториальность, соотношение граней и пирамид нарастания в процессе роста кристаллов и т. п.). В связи с этим нами предложено понятие о *простых формах роста*, которое отражает историю развития простых форм, наблюдаемых на поверхности кристалла, т. е. их положения в процессе роста кристалла (Бакуменко, 1962, 1963).

С этой точки зрения каждая простая форма роста представляет собой след исходных простых форм, которые при разрастании многогранника (реберника, точечника) испытывают радиальную трансляцию (перенос) всех подобных симметрично связанных частей. Эта операция напоминает операцию К в симметрии подобия А. В. Шубникова (1960).

Любая гранная, реберная или вершинная простая форма как бы венчает, замыкает производную простую форму роста (фиг. 3, а, б, в). Простые формы, дающие при операции радиального переноса соответствующие им простые формы роста, нами названы образующими. Направление перемещения образующих граней (ребер, вершин) можно назвать направляющими линиями.

Гранные формы роста

Простая гранная форма роста представляет собой комплекс связанных элементами симметрии эквивалентных пирамид нарастания кристалла, которые отражают совокупность положений образующей простой гранной формы, радиально перемещаемой в пространстве по направляющим линиям (фиг. 3, а). Тот факт, что кристаллы сложены пирамидами роста соответствующих им граней, т. е. имеют секториальное строение, отметили еще Бекке (Becke, 1894) и М. А. Толстопятов (1916). Так как соответствующие разным простым гранным формам пирамиды роста кристаллографически и физически различны, в процессе роста они ведут себя неодинаково: имеют различную скорость роста, по-разному реагируют на изменения условий минералообразования. Нередко они имеют различную степень насыщения посторонними примесями, включениями и прочими дефектами, а также характеризуются неоднородной окраской, твердостью, тепловыми свойствами и т. д. Это и приводит к секториальности строения кристаллов.

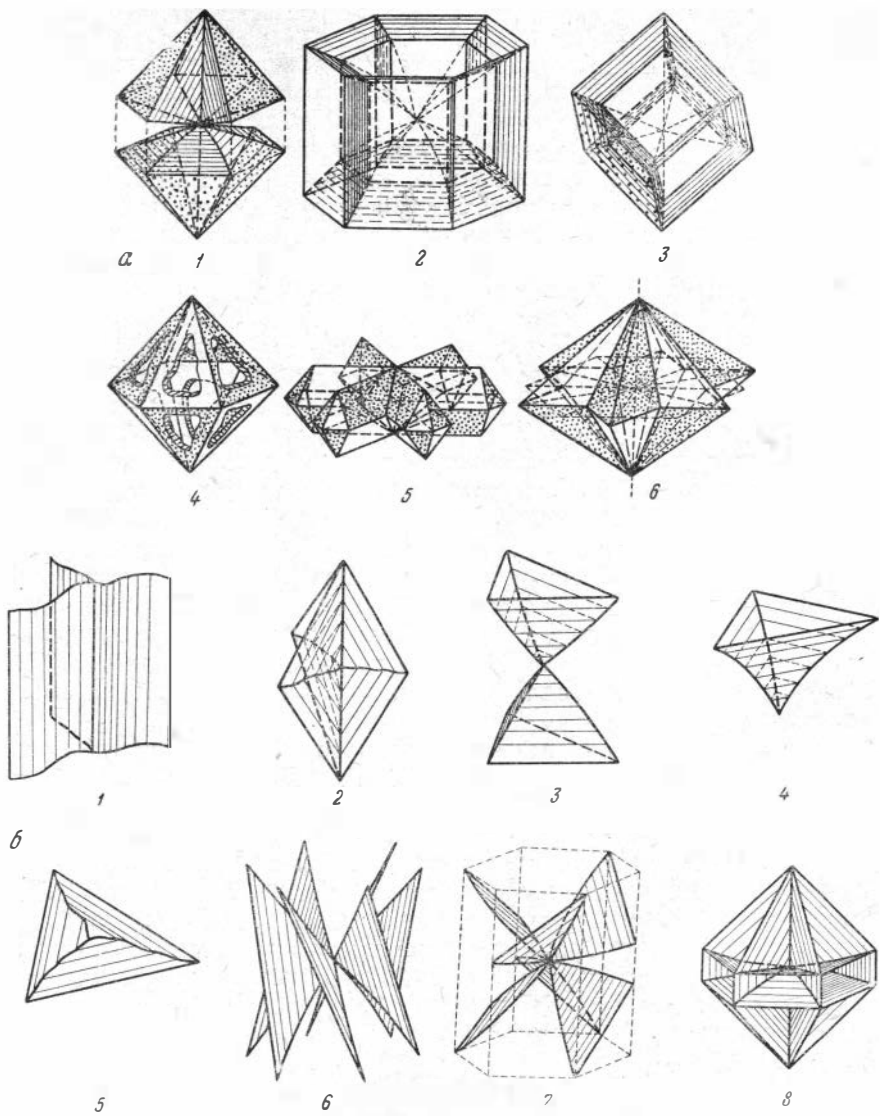
Так как каждая пирамида нарастания в процессе роста кристалла сама по себе также чувствительна к изменениям в режиме окружающей среды, то слагающее ее вещество также неоднородно, что обуславливает зональность кристалла. Секториальность и зональность в одних случаях выступают четко, в других — для их выявления необходимо применить специальные методы.

Особенности зонально-секториального строения кристаллов хорошо изложены в работах Г. Г. Леммлейна (1948) и Д. П. Григорьева (1961), и для наших целей нет необходимости в более детальном их рассмотрении.

В заключение остановимся на символикe. Напомним, что символ комплекса пирамид нарастания, соответствующий простой гранной форме роста, заключается в специальные скобки. Например, простая гранная форма роста, соответствующая положительному (большому) ромбоэдру кварца, обозначается значками $\langle R \rangle$ или $\langle 10\bar{1}1 \rangle$.

Реберные формы роста

Гранные формы роста разграничиваются реберными формами роста. Последние строго характеризуются понятием о простых реберных формах роста. Простая реберная форма роста представляет собой комплекс связанных элементами симметрии эквивалентных линейных поверхностей, которые отображают совокупность положений образующих простых реберных форм — реберников, перемещаемых в пространстве по направляющим линиям (фиг. 3, б).

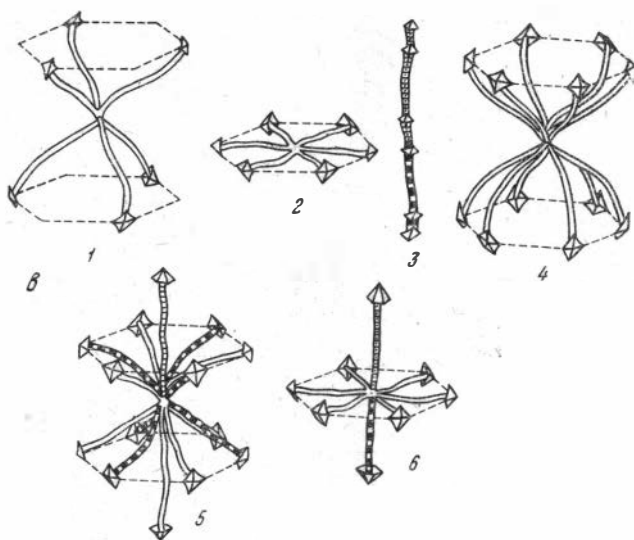


Фиг. 3. Гранные, реберные и вершинные формы роста

a — гранные формы роста: 1 — пирамиды роста ромбоэдра, 2 — футлярообразная гексагональная призма, 3 — коробчатый ромбоэдр, 4 — комбинация двух коробчатых ромбоэдров с недоразвитыми гранями, 5 — комбинация гранных ромбоэдров типа В. О (или гранной дипирамиды типа В.О). В горизонтальном сечении этой формы роста образуются разорванные пучки, 6 — комбинации гранных ромбоэдров типа ВО (или гранной дипирамиды типа ВО). В горизонтальном сечении этой формы образуется звезда; *b* — реберные формы роста: 1 — пучковая реберная тригональная призма, 2 — пучковая реберная тригональная дипирамида, 3 — реберная тригональная дипирамида «типа песочных часов», 4 — реберная воронкообразная тригональная пирамида, 5 — реберный «плеченный» тригональный моноэдр (или пинакоид), 6 — реберный турбинообразный гексагон, 7 — реберный турбинообразный трапецоэд, 8 — комбинация нескольких простых форм роста;

Каждая из линейных поверхностей (лопастей) реберных форм роста может быть плоской или криволинейной. Лопасты будут представлены плоскими линейными поверхностями, если в процессе роста кристалла каждое образующее ребро реберника перемещалось от центра кристалла по какой-то направляющей прямой линии. Если направляющая линия будет криволинейной, то и лопасть будет криволинейной поверхностью.

Реберные формы роста имеют относительно самостоятельное развитие лишь при скелетном росте. Говорить о разрастании самих реберных форм роста можно лишь условно, т. е. с геометрической точки зрения. Фактически развитие реберных форм роста в скелетных кристаллах объясняется преобладанием радиального роста граней над тангенциальным. Теоретическая мощность (толщина) каждой из лопастей очень мала и определяется размером частиц, слагающих образующее ребро, т. е. конкретный ряд сетки кристаллической решетки. Однако наблюдаемые реберные формы роста всегда имеют значительно бóльшую мощность за счет их комбинации с недоразвитыми гранными формами роста.



Фиг. 3. (Окончание)

в — вершинные формы роста; 1 — вершинный ромбоэдр с ромбоэдрическим вершинником на окончаниях ветвей; 2 — вершинный гексагон (с гексагональным вершинником); 3 — вершинный пинакоид (с пинакоидальным вершинником); 4 — вершинная гексагональная дипирамида с дипирамидальным вершинником на окончаниях ветвей; 5 — комбинация двух вершинных ромбоэдров с вершинным пинакоидом; ветви заканчиваются двумя ромбоэдрическими вершинами и одним пинакоидальным вершинником; 6 — комбинация вершинного гексагона и пинакоида; ветви их заканчиваются пинакоидальным вершинником и вершинником-гексагоном

В нескелетных кристаллах реберные формы роста макроскопически обычно не заметны, и их положение находится по границам пирамид роста. Лишь в редких случаях положение лопастей реберных форм роста четко определяется из-за отсутствия в этих областях окраски (в цветных кристаллах) или по приуроченности к ним первичных включений.

Реберные формы роста весьма своеобразны и заслуживают более подробной характеристики. Рассмотрим их на примере кристаллов средних сингоний, в которых можно различать три группы таких форм. Если вертикальное или наклонное образующее ребро образующего реберника находится в плоскости, параллельной главной оси, то получим пучковую реберную форму роста (фиг. 3, б), геометрически подобную в частном случае плоскогранности ее лопастей гранным пучковым формам И. И. Шафрановского. Если образующее ребро горизонтально, то получим воронкообразную реберную форму роста или форму типа песочных часов (фиг. 3, б). В частном случае плоскогранности их плоскостей они подобны воронкообразным гранным формам типа песочных часов И. И. Шафрановского. Сюда же относятся уплощенные реберные формы роста, названные нами пленочными реберными моноэдрами и пинакоидами. Простой реберной формой роста общего положения для кристаллов средних сингоний являются формы с наклонными образующими ребрами, лежащими в радиальных наклонных (относительно главной оси) плоскостях. При радиальной трансляции таких реберников образуется комплекс радиальных наклонных «лопастей», напоминающих лопатки турбин. Поэтому простая реберная форма роста общего положения названа нами турбинообразной формой роста (фиг. 3, б).

Пучковые реберные формы роста весьма характерны для скелетных кристаллов, но встречаются и в обычных кристаллах. Когда вещество кристаллов, разрастающихся по вертикальным ребрам, однотипно веществу кристалла-основания, образуются положительные пучковые формы роста скелетных кристаллов. Но встречаются и нарастания инородного вещества на нескелетных кристаллах. Такого рода нарастания иногда оказываются залеченными в них в виде фантомов. Подобным же образом могут залечиваться, например, газовые или жидкие включения. В этих случаях кристалл образует как бы негативные реберные пучковые формы роста.

Реберные формы роста типа песочных часов и воронкообразные формы образуются в аналогичных случаях при захвате инородного вещества горизонтальными ребрами кристалла или при их собственном разрастании.

Воронкообразные формы характерны для кристаллов примитивных и планальных видов симметрии средних сингоний. Они могут вырождаться в реберные пленочные моноэдры. Для кри-

сталлов остальных видов средних сингоний характерны реберные формы роста типа песочных часов. Они могут вырождаться в реберные пленочные пинакоиды.

Менее известны реберные турбинообразные формы роста. Такие формы роста образуются либо при разрастании вещества скелета по наклонным ребрам (положительные формы), либо при захвате инородных частиц по таким же ребрам с образованием турбинообразной полости (отрицательные формы). Количество физически различных турбинообразных форм для данного вида симметрии зависит от количества возможных физически различных образующих ребер (т. е. от количества различных комбинаций пересечения граней одной-двух простых гранных форм). Однако все эти формы, поскольку они являются формами общего положения, будут называться одинаково в соответствии с видом симметрии кристалла: для примитивных видов — турбинообразными пирамидами, для аксиальных — турбинообразными трапецоэдрами, для центральных — турбинообразными дипирамидами (ромбоэдрами для тригональной сингонии) и т. д. (фиг. 3, б)¹.

Таким образом, все разновидности реберных форм роста относятся либо к разряду положительных, либо отрицательных. На реальных объектах, например скелетных кристаллах, реберные формы роста обычно представлены комбинацией несколько простых реберных форм роста с гранными формами роста.

Для символического обозначения простой реберной формы роста можно воспользоваться символом образующего ребра, поставленным в скобки форм роста $\langle \rangle$. Этот способ не всегда удобен, так как иногда могут возникнуть разные формы с одинаковым символом образующего ребра (если ребра относятся к одной зоне). Поэтому проще реберные формы роста обозначать символом, который показывает, на пересечении каких граней находятся образующие ребра. Например, реберные пучковые ромбоэдры можно обозначить как $\langle (10\bar{1}1) : (01\bar{1}1) \rangle$ или $\langle R - r \rangle$.

¹ Для реберных форм роста, направляющие прямые которых лежат в одной плоскости, предлагаются такие названия: для примитивных видов — турбинообразные тетрагоны, тригоны, гексагоны; для аксиальных и центральных — турбинообразные двоенные тетрагоны, тригоны, гексагоны; для планальных — турбинообразные дитетрагоны, дитригоны, дигексагоны; для планаксиальных — турбинообразные двоенные дитетрагоны, дигексагоны и недвоенные дитригоны; для инверсионно-примитивных — турбинообразные тетрагонально-тетраэдрические тетрагоны и гексагональные двоенные тригоны; для инверсионно-планальных — турбинообразные тетрагонально-скаленоэдрические тетрагоны и двоенные гексагональные дитригоны.

Вершинные формы роста

Реберные формы роста разграничиваются вершинными формами роста (фиг. 3, в). Вершинные формы роста реальных кристаллов удобно характеризовать понятием о простых вершинных формах роста.

Простая вершинная форма роста представляет собой комплекс связанных элементами симметрии эквивалентных линий (ветвей), которые отображают совокупность положений всех точек образующей простой вершинной формы, радиально перемещаемой в пространстве по направляющим линиям.

Каждая из ветвей вершинной формы роста может быть прямолинейной или криволинейной. Прямолинейные ветви разрастаются лишь при сохраняющемся в процессе роста кристаллов соотношении скоростей роста трех или более смежных граней, на пересечении которых находятся точки образующего «вершинника». Вершинная форма роста с прямолинейными ветвями геометрически подобна реберным пучкам И. И. Шафрановского. Однако в общем случае ветви вершинных форм роста искривлены, что связано с неодинаковой реакцией физически различных граней на изменяющиеся условия минералообразования.

Вершинные формы роста могут легко фиксироваться макроскопически лишь в скелетных кристаллах. В обычных кристаллах они представляют лишь теоретический интерес. Но даже в наиболее четких случаях вершинные формы роста встречаются только в комбинации с недоразвитыми гранными и реберными формами роста. Такие скелетные кристаллы кварца якорьобразного облика с очень слабо развитыми гранными и реберными формами роста и феноменально резко развитыми вершинными формами роста наблюдаются, например, в пегматитах района горы Бек-Тау-Ата (Сев. Прибалхашье, Казахстан). Здесь они встречаются в виде вростков в полевом шпате скелетно-графических агрегатов. Аналогичные вершинные формы роста встречаются в виде негативных образований.

Например, трубчатые «усики», отходящие от вершин некоторых газовой-жидких включений в кварце, берилле, топазе, представляют собой негативные вершинные формы роста. Таковы же так называемые цветы Тиндаля — негативные снежинки во льду.

Вершинным формам роста можно давать названия, аналогичные названиям соответствующих им вершинников или точечников. Например, ромбоэдрическому вершиннику — вершинный ромбоэдр. В приведенном примере «якорь» состоит из двух вершинных ромбоэдров и одного вершинного пинакоида (фиг. 3, в).

Символически вершинные формы роста можно обозначать значками символов трех граней, на пересечении которых находятся точки образующего вершинника. Подобно другим формам

роста, символы берутся в скобки форм роста. Например, изображенный на фиг. 3, в вершинный ромбоэдр можно обозначить символами $\langle m_1 : m_2 : R \rangle$ или $\langle (\bar{1}10) : (1\bar{0}10) : (10\bar{1}1) \rangle$.

Об индукционных формах кристаллов

Совместный одновременный рост соприкасающихся индивидов в зависимости от соотношения поверхностно-энергетических характеристик взаимодействующих поверхностей может привести к следующим результатам: 1) поверхность соприкосновения индивидов полностью подчинится огранке одного из индивидов или 2) возникшая пограничная поверхность будет компромиссной, индукционной, т. е. будет отражать взаимное влияние соседних индивидов на ее форму.

Последний случай более общий, так как частично включает в себя и первый, например, когда образующиеся поверхности будут представлены совокупностью граней, свойственных то первому, то второму индивиду.

Морфологию идиоморфных индивидов с собственной огранкой, подчиняющей себе огранку соседних зерен, вполне можно описать моделями, которые аналогичны формам свободного роста (даны выше) вне зависимости от генезиса таких агрегатов. Поэтому ниже остановимся лишь на характеристике собственно индукционных форм.

Общая характеристика индукционных форм

В современной литературе принято называть индукционными формы соприкосновения и нарастания, которые возникают при одновременном росте индивидов. Поверхности столкновения образуются, согласно В. Г. Лазаренкову (1958), при взаимодействии (столкновении) двух тангенциальных слоев, принадлежащих соседним индивидам. Поверхности нарастания возникают при нарастании тангенциальных слоев одного индивида на другой.

Индукционные формы возникают при одновременном росте соприкасающихся кристаллов в любых средах — в магме, гидротермальных и пневматолитовых растворах, а также при явлениях перекристаллизации и метасоматоза, сопровождающихся одновременной кристаллизацией нескольких индивидов.

Основные понятия, которыми обычно оперируют при морфологической характеристике индукционных образований, введены А. Е. Ферсманом (1915), И. И. Шафрановским и Д. П. Григорьевым (1948). Таких понятий четыре: псевдогрань, псевдорребро, индукционная грань, индукционное ребро.

Псевдогрань — поверхность соприкосновения, которая образуется при передвижении ребра, получающегося на пересечении граней соприкасающихся кристаллов, растущих совместно. Поэтому число псевдограней определяется количеством пар соприкасающихся пирамид роста соседних индивидов. Так как каждая из пирамид роста одного индивида может взаимодействовать с несколькими пирамидами роста другого индивида, то число псевдограней, наблюдаемых на отдельных индивидах, может быть значительным.

Строение псевдограней в известной степени напоминает строение реберных форм роста, которые по сути являются, в соответствии с данным выше определением, формами взаимодействия соседних пирамид роста одного индивида. По аналогии псевдогрань можно определить как поверхность разграничения двух взаимодействующих пирамид роста соседних индивидов.

Псевдограницы разграничиваются псевдоредрами. Последние морфологически подобны вершинным формам роста монокристаллов, которые также являются граничными линиями: разграничивают реберные формы роста.

Индукционные грани — это серия плоских поверхностей на псевдогранях, соответствующих: а) граням данного кристалла, б) отпечаткам граней соприкасающегося кристалла и в) промежуточным граням.

Наличие этих граней легко устанавливается гониометрическим путем как при исследовании поверхностей соприкосновения сростков естественных кристаллов (Франк-Каменецкий, 1948; Трейбус, 1957, и др.), так и при исследовании специально синтезированных кристаллов в произвольной или закономерной ориентировке (Дойникова, 1948; Мокиевский, Шафрановский, 1957; Лазаренков, 1958; Дементьева, 1963).

Индукционные грани разграничиваются индукционными ребрами. Помимо индукционных граней, на псевдогранях иногда появляются более сложные образования: бугорки роста, бороздки и негативные выемки, ограненные полости от включений и другие осложнения. В настоящее время они практически не изучены. Отдельные псевдограницы усложняются мелкими граньками регенерации.

Еще более сложные формы возникают при взаимодействии сферолитов, «почек» и мозаичных, например расщепляющихся, кристаллов. Однако для характеристики письменных пегматитов все эти осложнения значения не имеют.

Обычно, в том числе и у вростков кварца в классических письменных пегматитах, псевдограницы представлены волнистыми параллельно-линейными (цилиндрическими) поверхностями высших порядков (поверхностями столкновения), иногда осложненными собственными гранями одного из кристаллов и их отпечатками (поверхностями нарастания).

В простейших случаях псевдограницы слагаются поверхностями с четко выраженными ступенчатыми индукционными граньками. В закономерных мономинеральных сростках последние приурочены к наиболее важным зонам кристаллов. Для не закономерных сростков это правило не обязательно (для поверхностей столкновения).

При гониометрии псевдограницы дают световые пятна (в виде цепочек с отдельными сгущениями), соответствующие наиболее четким индукционным гранькам (поверхностям нарастания) и промежуточным гранькам (поверхностям столкновения), причем наблюдаются плоскости как с простыми, так и со сложными символами¹. В опубликованных работах, посвященных индукционным образованиям, имеется достаточно обширная гониометрическая характеристика индукционных поверхностей. К сожалению, из описаний не всегда ясно, какие конкретно псевдограницы изучались в каждом отдельном случае и каким из них соответствуют приводимые на стереографических проекциях точки полюсов индукционных гранек. В результате остается неясным и взаимоотношение индукционных ребер и гранек в пределах одной псевдограницы; например, не ясно, параллельны ли индукционные ребра.

Для характеристики классических письменных структур как раз соотношения индукционных ребер в пределах псевдограней представляют собой особый интерес. Наши наблюдения подтверждают выдвинутую А. Е. Ферсманом (1915) предположку, что псевдограницы классических ихтиоглифтов в письменных границах всегда имеют поверхности с параллельной штриховкой, т. е. являются линейными, а следовательно, и цилиндрическими (высших порядков, см. табл. I, 2).

В друзовых агрегатах различных минералов встречаются и более сложные поверхности псевдограней с пересекающимися и черепице-перекрывающимися индукционными граньками, хотя преобладают параллельно-ступенчатые формы.

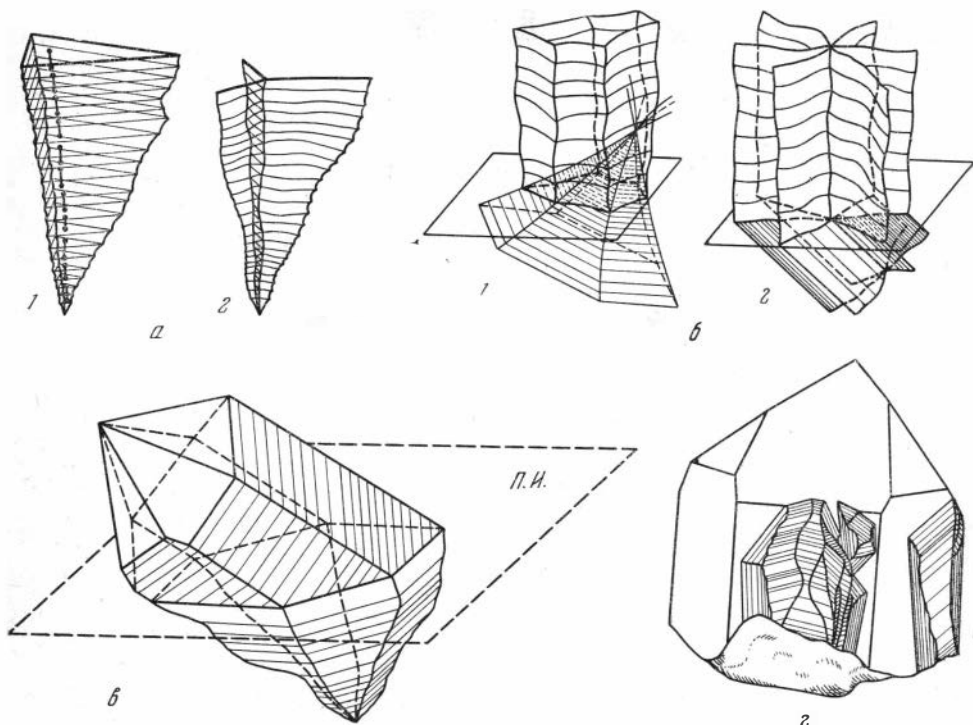
Таким образом, в пределах одной псевдограницы нами выделяются два типа индукционных ребер:

а) ребра, соответствующие линиям пересечения граней соседних индивидов, т. е. собственно индукционные ребра;

б) ребра, разграничивающие индукционные граньки, соответствующие граням (либо отпечаткам граней) одного и того же индивида, т. е. вицинальные индукционные ребра.

Видиальные индукционные ребра часто практически отсутствуют, особенно если отдельные индукционные граньки очень узки и выражены нечетко. Обычно наблюдаемая на псевдогранях четкая параллельная штриховка обусловлена развитием

¹ Интересные объективные данные безусловно можно получить при фотогониометрии (см. Мокиевский, Джафаров, 1963; Шафрановский, Мокиевский, 1964).



Фиг. 4. Формы индукции

а — индукционная огранка первого типа. Плоскостная штриховка на псевдогранях параллельна плоскости индукции: 1 — футлярообразная гранноиндукционная форма, 2 — пучковая реберно-индукционная форма; *б* — реберно-индукционные формы, образующиеся при взаимодействии реберных форм роста включений с пирамидой роста грани индукции минерала-хозяина: 1 — футлярообразные реберно-индукционные формы, 2 — пучковые реберно-индукционные формы; *в* — строение классического индукционного востка (вторая группа). Письменный ихтиоглипт с отходящей от него головкой кварца, П. И. — плоскость индукции; 2 — индукционная огранка второго типа. Полиплоскостная индукционная штриховка на гранях обусловлена взаимной индукцией пирамид роста этих граней с пирамидами роста граней соседних индивидов

собственно индукционных ребер. Такова индукционная штриховка на псевдогранях классических ихтиоглиптов.

Собственно индукционные ребра всегда прямолинейны, так как образуются при взаимодействии граничных форм роста соседних индивидов (фиг. 4, *а*, *б*). Визуальные индукционные ребра, как правило, прямолинейны, но могут быть и изогнутыми.

При взаимодействии реберных форм роста одного индивида с пирамидами роста другого индивида, например, при соприкосновении скелетного и неске­летного кристаллов, образуются гомологи индукционных ребер — криволинейные индукционные ребра

(фиг. 4, а, позиции 2). Гомологи индукционных гранек здесь представлены узкими кривоугольными поверхностями.

Еще более сложные формы возникают при взаимодействии только реберных форм роста разных индивидов, однако этот случай для нас малоинтересен. Такого рода формы наблюдаются на контактах скелетных индивидов («зубов») каменной соли.

Легко показать, что формы соприкосновения, возникающие при взаимодействии одной пирамиды роста данного индивида с несколькими пирамидами роста контактирующего индивида, отличаются от форм соприкосновения, возникающих при взаимодействии сразу нескольких пирамид роста обоих индивидов. Важнейшее отличие заключается в геометрических особенностях ориентировки главных систем индукционных штрихов на образующихся при этом псевдогранях. Огранку форм соприкосновения, характерных для первого и второго случаев, назовем индукционной огранкой первого и второго типов.

Индукционная огранка первого типа характерна для индукционных контактовых поверхностей с вростками различных минералов, приуроченных к конкретным пирамидам роста минерала-хозяина. Вростки характеризуются удлиненными формами и штриховкой, параллельной лишь одной плоскости — грани индукции минерала-хозяина. Поэтому взаимодействие первого типа может быть названо плоскостной индукцией, а штриховка — плоскостной штриховкой. Плоскостная штриховка сохраняется и при переходе вростка из одной пирамиды роста минерала-хозяина в другую: вместе со сменой плоскости индукции происходит смена плоскостной штриховки, а на границе перехода наблюдается коленчатый изгиб вростка.

Подчеркнем, что вростки минералов любого другого происхождения, т. е. не испытавшие плоскостной индукции поверхностью гранью минерала-хозяина, имеют другой тип огранки: а) либо индукционную огранку второго типа, б) либо обладают собственной огранкой, в) либо имеют сложную форму, которая характерна, например, для метасоматических вростков-прожилков.

Индукционная огранка второго типа обычна для контактирующих поверхностей совместно росших индивидов в некоторых зернистых и блоковых агрегатах и особенно четко выражена в друзовых сростках. Индукционные поверхности на таких индивидах характеризуются более сложной штриховкой и представляют собой комбинацию индукционных поверхностей первого типа. Так как во втором типе огранки нет такой единой плоскости, которой бы были параллельны все индукционные штрихи, а есть несколько таких плоскостей, штриховка второго типа названа нами *полиплоскостной* (фиг. 4, з). Число таких плоскостей на каждом индивиде зависит от количества взаимодействовавших пирамид роста данного индивида. Картина штриховки еще

более усложняется при появлении вицинальных индукционных ребер.

На основании исследования индукционных форм второго типа даже по незональным кристаллам можно следить за особенностями их роста. Например, для кристалла хрустала (фиг. 4, *з*) по изменению плоскостей индукции видно, что формы взаимодействия соседних индивидов с призмой данного кристалла к центру его сменяются формами взаимодействия с ромбоэдрами. Следовательно, скорость роста граней призмы этих индивидов была значительно меньше скорости роста граней ромбоэдра рассматриваемого кристалла.

Формы плоскостной индукции

На общей характеристике форм плоскостной индукции, с которыми связана огранка кварцевых вrostков в классических (индукционных) письменных срastаниях, остановимся подробнее.

Наряду с широко известными формами взаимодействия¹ грани вrostка с пирамидой нарастания минерала-хозяина изредка возникают также ранее не описывавшиеся поверхности взаимодействия реберных форм роста скелетного вrostка с захватывающей его пирамидой нарастания минерала-хозяина. Первые названы нами гранно-индукционными формами, а вторые — реберно-индукционными формами (фиг. 4, *а*). Они сложены комплексом псевдограней — реберно-индукционных либо гранно-индукционных.

Гранно-индукционные формы вrostков

При захвате кристаллических включений пирамидой нарастания минерала-хозяина происходит либо закономерная, либо произвольная ориентировка вrostков, что обусловлено степенью структурного сходства обеих кристаллических решеток при данных условиях роста. Совместный рост сопровождается плоскостной взаимной индукцией.

На контакте грани минерала-хозяина с гранями минерала-вrostка образуются индукционные ребра, которые в процессе роста обоих минералов перемещаются и образуют псевдограницы гранно-индукционных форм вrostка (фиг. 4, *в*). Количество псевдограней соответствует числу граней вrostка, взаимодействовавших с минералом-хозяином. Вследствие такого механизма воз-

¹ Анализ возможных соотношений векторов роста контактирующих кристаллов приводит к 12 случаям взаимоотношений между ними (Мокиевский, 1963). Три осознанных случая ранее были рассмотрены Д. П. Григорьевым (1961). В этих работах четко отражены взаимоотношения неиндукционных и собственно индукционных форм.

никновения псевдограней¹ все индукционные ребра, фиксирующиеся на отдельных псевдогранях, строго параллельны друг другу, а в комплексе (на всех псевдогранях) — параллельны грани индукции, т. е. параллельны образующей грани пирамиды нарастания, захватившей восток. Так как индукционные граньки на псевдогранях всегда находятся в зонах собственно индукционных ребер, то поверхность каждой псевдограни является линейной поверхностью, а следовательно, цилиндрической поверхностью высших порядков. Цилиндрическая природа поверхности отмечалась А. Е. Ферсманом, однако он не уточнил, что это линейная поверхность высших порядков; это, по-видимому, и вызвало некоторые возражения.

Внутренние поверхности полых востков, полости которых заполнены веществом минерала-хозяина, обычно также представлены гранно-индукционными псевдогранями, хотя иногда усложняются формами разъедания и т. д. Индукционные ребра внешних псевдограней востка и внутренних полых каналов взаимно параллельны, если с гранью индуктора взаимодействовали одинаково ориентированные грани востка, и не параллельны, если взаимодействовали разные грани. Полые востки развиваются при индукции коробчатых и футлярообразных гранных форм роста.

Все собственно индукционные формы могут усложняться формами собственной огранки взаимодействующих кристаллов и, кроме того, на поверхности востков помимо индукционной штриховки могут появиться ребра собственной огранки, характерной для обычных кристаллов. Однако для индукционных письменных пегматитов это явление не типично. Принципиальное значение имеет тот факт, что настоящая плоскостная индукционная штриховка на поверхности востков, в отличие от полос скольжения и механических борозд, обязательно параллельна грани пирамиды роста вмещающего минерала, к которой этот восток приурочен. Наличие плоскостной штриховки является критерием одновременности роста обоих минералов.

Реберно-индукционные формы востков

Гранно-индукционные псевдограни разграничиваются псевдорезами. Если осевую линию востка соединить с псевдорезами некоторыми поверхностями, которые расчлениют тело востка на индукционные сектора, каждый из которых отвечает своей псевдогранью, то поверхности, разграничивающие эти индукционные сектора, и будут реберно-индукционными формами. Последние потенциально имеются в любом востке с индукционной огранкой, однако могут наблюдаться лишь в случаях, когда восток

¹ Этот механизм возникновения псевдограней был намечен В. Бреггером (Broegger, 1890), поддержан и развит А. Е. Ферсманом (1915, 1940).

имеет хорошо выраженное зональное строение. Самостоятельно реберно-индукционные формы развиваются лишь при индукции гранью минерала-хозяина в ростков со скелетным строением: при разрастании в ростка должно резко преобладать развитие реберных форм роста над гранными формами роста. Как правило, однако, реберно-индукционные формы комбинируются с гранно-индукционными, причем первые как бы оконтуриваются вторыми.

Теоретически возможны следующие разновидности реберно-индукционных плоскостных форм. При взаимодействии поверхности индуктирующей грани (грани индукции) с пучковыми и турбинообразными разновидностями реберных форм роста индуктируемого кристалла на их пересечении образуется пучок линий. Все они будут лежать в плоскости грани индукции. При одновременном росте индивидов этот пучок линий будет перемещаться (транслироваться), что приведет к развитию пучковых реберно-индукционных псевдограней (фиг. 4, б, позиция 2). Морфологически пучковые реберно-индукционные формы отличаются от пучковых реберных форм роста тем, что слагающие их лопасти представлены не линейными, а плоскостными поверхностями, т. е. образующие их линии параллельны не какой-то линии, а плоскости.

При взаимодействии поверхности индуктирующей грани с реберными формами роста типа песочных часов (или воронок), которые развиваются на в ростке, на их пересечении с гранью индукции в общем случае возникнет криволинейный как бы многоугольник. При стабильных условиях роста этот многоугольник может быть прямолинейным; ребра его являются гомологами обычных индукционных ребер и при совместном росте минералов, транслируясь, дают футлярообразную форму с реберно-индукционными псевдогранями (фиг. 4, б, позиция 1). Эти формы появляются лишь в комбинации с гранно-индукционными формами в виде второго пояса в полых в ростках.

Реберно-индукционные псевдограницы как пучковых, так и футлярообразных форм, не являются линейными, а следовательно, цилиндрическими поверхностями, хотя остаются плоскостными поверхностями. Гомологи индукционных ребер на них не являются прямолинейными и взаимно параллельными, но остаются параллельными грани индукции. Поэтому, хотя штриховка на псевдогранях здесь и не является линейной, она остается плоскостной. Обнаружение такой штриховки на поверхности в ростков также является критерием одновременности роста обоих минералов.

Рассмотренные проблемы — вполне достаточная база для того, чтобы к кристалломорфологии различных разновидностей письменных пегматитов подойти математически строго. Кроме того, изложенный материал, по нашему мнению, имеет самостоятельный интерес и может быть использован, например, при характеристике любых скелетных и индукционных образований.

КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПИСЬМЕННЫХ ПЕГМАТИТОВ

Кристаллографические особенности письменных пегматитов определяются особенностями строения и взаимоотношения блоков (зерен) полевого шпата с заключенными в них кварцевыми вростками.

Группы (или так называемые стаи) одинаково ориентированных ихтиоглиптов в блоках полевого шпата у однотипных письменных пегматитов характеризуются морфологически сходными чертами. Однако морфология вростков зависит не только от взаимной ориентировки срастающихся минералов, но и от ряда других факторов: условий роста минералов, механизма их роста и т. д. Поэтому формы ихтиоглиптов очень разнообразны, хотя по характеру огранки они могут быть сведены к четырем типам, описываемым ниже.

По этой же причине варьируют и формы блоков (зерен) полевого шпата (преимущественно микроклина), а следовательно, и другие структурные особенности пород с письменными агрегатами.

Ниже описываются встреченные нами в пегматитах разновидности агрегатов с письменными срастаниями.

Структурно-морфологические разновидности письменных кварц-полевошпатовых агрегатов в пегматитах

Породы с письменными срастаниями либо нацело представлены последними, либо содержат наряду с письменными блоками агрегаты с иной структурой. Агрегаты, нацело состоящие из письменных срастаний, объединяются нами в тип структурно-однородных собственно письменных (графических) пегматитов. Сложные агрегаты, в которых развиты неоднотипные в структурном отношении письменные срастания, либо помимо письменных содержатся агрегаты с иной структурой, нами объединяются в тип структурно-неоднородных агрегатов с письменными срастаниями.

Облик структурно-однородных собственно письменных срастаний определяется формой и соотношением блоков полевого шпата и особенно формой кварцевых ихтиоглиптов. Блоки (зерна) письменного полевого шпата обычно изометричны, реже имеют удлиненные очертания. Полевой шпат представлен микроклин-пертитом, ортоклаз-пертитом и очень редко — кислым плагиоклазом. Ихтиоглипты кварца имеют исключительно непостоянную огранку. Встречаются и изометричные, и столбчатые, и пластинчатые, и нитевидные, и трубчатые, и ветвистые, и целая гамма промежуточных в морфологическом отношении вростков.

В XIX и начале XX в. при исследовании письменных пегматитов к собственно письменным срастаниям относились лишь те срастания, кварцевые вростки которых имели на псевдогранях индукционную штриховку. Позже были обнаружены другие кварц-полевошпатовые срастания с закономерной ориентировкой кварцевых вростков в блоках полевого шпата. Последний признак, легко фиксирующийся при кристаллооптических исследованиях, стал определяющим при отнесении кварц-полевошпатового агрегата к категории «письменного». Пренебрежительное отношение к морфологии вростков в дальнейшем привело к смешению морфологически различных разновидностей письменных срастаний, а как следствие — к путанице и противоречиям, встречающимся в литературе, посвященной этому вопросу. Поэтому морфологии кварцевых вростков в данной главе уделено главное внимание.

Все известные формы вростков кварца нами подразделяются на четыре морфологических типа, в соответствии с чем различаются четыре морфологических типа ихтиоглиптов:

- 1) ихтиоглипты с собственной, свойственной кварцу, огранкой;
- 2) ихтиоглипты с плоскостной индукционной огранкой;
- 3) ихтиоглипты с чуждой кварцу огранкой, которая либо соответствует граням полевого шпата, либо чужда и ему;
- 4) ихтиоглипты с комбинированной огранкой (собственной, индукционной и частично чуждой кварцу).

Собственная, свойственная нескелетному и скелетному кварцу, огранка характерна для ихтиоглиптов в письменных пегматитах со скелетно-графической¹ структурой. Изредка скелетные кварцевые вростки в полево шпате встречаются в обогащенных кварцем, гибридных гранофирах и некоторых других породах. Однако наиболее четко выраженные скелетно-графические агрегаты встречаются лишь в пегматитах. Морфологические особенности кварцевых вростков определяются комбинированием гранных, реберных и вершинных форм роста при резком преобладании одной из названных форм. При преобладании гранных форм роста кварцевые ихтиоглипты приобретают характер пегматоидных обособлений с обычной для нескелетных кристаллов кварца огранкой.

Индукционная огранка кварцевых вростков характерна для наиболее распространенных разновидностей письменных пегматитов, но хорошо известна для агрегатов базиса почти всех гранофилов, а также некоторых эффузивных и жильных пород кислого состава. Письменные пегматиты с индукционными кварцевыми вростками подразделяются на две разновидности: классические (обыкновенные) и лучисто-венчиковые.

¹ Для разновидностей письменных пегматитов, упоминавшихся в литературе, по возможности, сохранены прежние названия (А. Е. Ферсман, Г. Н. Бунтин, Б. Д. Эфрос и др.).

К классической графике относятся разновидности, ихтиоглипты которых обладают четкой плоскостной индукционной штриховкой и характерными клиновидными поперечными сечениями (табл. 1); по форме они изометричные, пластинчатые, карандашевидные, нередко полые, трубчатые. Псевдограницы вростков обычно не соответствуют сеткам кварца с простыми символами. Блоки (или зерна) полевого шпата имеют изометричную форму.

К лучисто-венчиковой графике относятся разновидности с удлиненными (нитевидными, пластинчатыми, реже трубчатыми) ихтиоглиптами, сгруппированными в виде венчиков в удлиненных зернах полевого шпата. Зерна полевого шпата и включенные в них ихтиоглипты удлинены приблизительно одинаково, что придает агрегату лучистый облик.

Дальнейшее морфологическое расчленение этих агрегатов можно производить по преобладанию гранно-индукционных или реберно-индукционных форм роста; последние самостоятельно развиваются лишь в скелетно-индукционных разновидностях классических письменных пегматитов.

Чуждая кварцу огранка ихтиоглиптов наблюдается лишь в специфических, имеющих небольшое распространение, письменных и псевдописьменных агрегатах. Этот тип сростаний выделен нами под названием прожилково-кварцевых письменных пегматитов¹. «Вростки» кварца представлены прожилками кварца или зонками окварцевания. Количественные соотношения между кварцем и полевым шпатом настолько изменчивы, что прожилково-кварцевые графические агрегаты могут давать переходы к антиграфическим (обратно-графическим) агрегатам. С прочими письменными сростаниями их объединяют лишь унаследованные эпитаксические и неэпитаксические, но закономерные соотношения решеток кварца и полевого шпата. Поверхность таких «вростков — прожилков» не обязательно соответствует граням [например, (010), (001) и др.] полевого шпата.

Комбинированная огранка (собственная с элементами индукционной и чуждой кварцу) характерна для кварцевых обособлений в пегматоидно-графических пегматитах. Эта разновидность кварц-полевошпатовых агрегатов макроскопически близка к пегматоидным агрегатам и отличается от них закономерной ориентировкой индивидов. По форме и размерам индивидов кварца большинство пегматоидно-графических агрегатов занимает промежуточное положение между скелетно-графическими и пегматоидными агрегатами.

Классификация охарактеризованных разновидностей собственно письменных агрегатов, различающихся в основном по типу огранки ихтиоглиптов, приведена в схеме 1.

¹ Прожилково-полевошпатовые письменные сростания нами встречены лишь в гранитах, поэтому в классификацию письменных пегматитов не включены.

Разновидности структурно-однородных собственно письменных сростаний в пегматитах



Структурно-неоднородные агрегаты с письменными сростаниями подразделяются на две группы, отличные как по характеру индивидов или их агрегатов, играющих роль порфириовидных обособлений, так и по характеру основной массы.

Для радиально-графических пегматитов (первая группа) характерны порфириовидные шаровидные обособления письменных агрегатов с радиальным расположением ихтиоглиптов. Радиальные обособления представлены либо моноблочным шпатом с секториально ориентированными кварцевыми вrostками, либо шаровидным агрегатом радиально расходящихся блоков письменного пегматита. Радиальные обособления погружены в «основную массу», имеющую классическую письменную, либо неяснографическую, либо гранитную структуру. В отдельных разновидностях количество основной массы очень мало, и радиальные обособления контактируют непосредственно друг другом. Эти разновидности дают переходы к классическим письменным пегматитам.

Порфириовидно-графические пегматиты (вторая группа) в структурном отношении являются макроаналогами гранофириов. Подобно последним, в порфириовидно-графических пегматитах основную массу слагают агрегаты с классической письменной структурой, в которую погружены вкрапленники полевого шпата

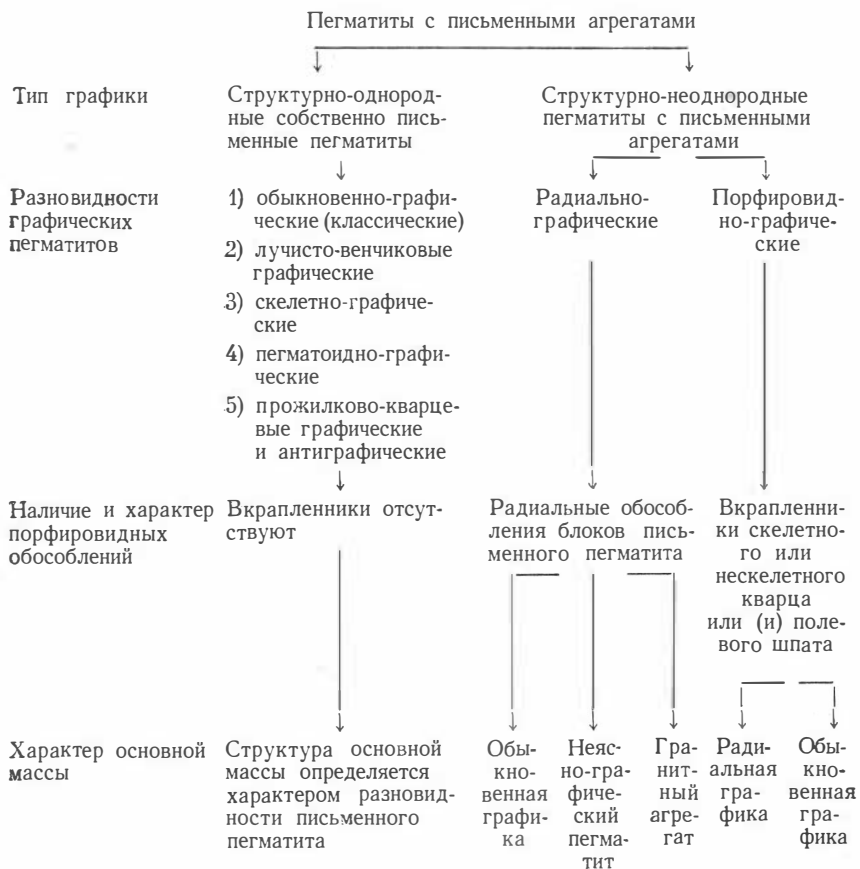
или кварца. Вкрапленники могут иметь как скелетное, так и нескелетное строение.

Скелетные порфиroidные вкрапленники в порфиroidно-графических агрегатах отличаются от скелетных ихтиоглиптов в скелетно-графических агрегатах незаконномерной (по отношению к письменным блокам полевого шпата) ориентировкой.

Классификация структурных разновидностей структурно-однородных и структурно-неоднородных агрегатов с письменными сростаниями, которые встречаются в исследованном типе хрусталеносных и редкометально-хрусталеносных пегматитов, приведена в схеме 2.

Схема 2

Структурные разновидности пегматитов с письменными агрегатами



Собственно-графические сростания

Рассмотрим сначала скелетно-графические сростания, которые кристаллографически проще классических письменных сростаний. Затем охарактеризуем классические и прочие собственно-письменные агрегаты, вростки которых имеют индукционную огранку, и завершим описание разновидностями закономерных кварц-полевошпатовых сростаний для кварцевых обособлений, в которых характерна комбинированная вообще чуждая кварцу огранка.

Скелетно-графические сростания

Для скелетно-графических агрегатов характерны закономерно ориентированные вростки скелетного кварца в полево шпате (микроклине, реже в альбите)¹ (табл. V—VII). Скелетными, следуя за В. А. Мокиевским и С. Н. Семенюк (1952), мы считаем «монокристалльные образования, являющиеся остовом кристалла». Сростки, имеющие древовидную форму и немонакристалльное строение, надо относить к «дендритам», а сложные графические агрегаты с дендритным кварцем называть *дендритной графической*². Дендриты образуются при сростании вростков скелетного кварца из разных «стай» (так называл А. Е. Ферсман группы одинаково ориентированных ихтиоглиптов).

В ориентированных сечениях скелетные ихтиоглипты дают снежинкообразные, крестообразные моховидные и елочковидные формы. Несмотря на кажущуюся их морфологическую сложность, огранка таких вростков является собственной и очень просто описывается при помощи простых гранных, реберных и вершинных форм роста.

Идеализированные формы скелетного α - и β -кварца

Описание вростков скелетного кварца в данной работе базируется на использовании понятия о простых формах роста. Наиболее характерны для скелетного кварца реберные формы роста, сочетающиеся с сериями коробчатых и футлярообразных гранных форм роста. Гораздо реже в ограничении вростка преобладают вершинные формы роста.

О выводе простых форм роста скелетного кварца. Все виды простых форм роста скелетного кварца выводятся из соответствующих простых форм нескелетных кристаллов действием эле-

¹ В аналогичных агрегатах, исследованных Д. В. Рундквистом (1964), преобладает плагиноклаз; им исследованы другие типы пегматитов.

² Графикой условимся называть агрегаты с графической структурой. Этот термин широко распространен у геологов-пегматитчиков и, по нашему мнению, он вполне удачен.

ментов симметрии подобия А. В. Шубникова (1960) (операция К) на исходную простую гранную, реберную или вершинную форму.

Закрытые гранные формы в скелетном кварце (ромбоэдры, дипирамиды) при этом образуют совокупность последовательно оконтуривающих друг друга коробочек, а открытые (призмы) — совокупность футлярообразных форм, представляющих собой серию зон гранных форм роста. При трансляции простых реберных форм образуются открытые пучковые, турбинообразные, пленочные и типа песочных часов реберные формы роста. Аналогично выводятся вершинные формы роста.

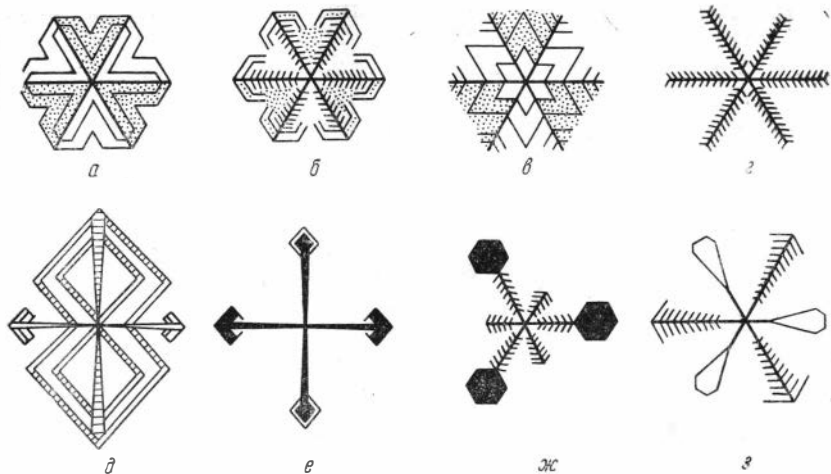
Развитие простых форм роста базируется на трансляции простых форм. Остановимся на выводе последних. Вывод всех видов гранных форм общеизвестен. Вывод геометрических видов простых реберных форм β -кварца (тригонально-аксиальный вид симметрии) приведен в работе В. И. Михеева и И. И. Шафрановского (1957). Нами эти формы были выведены упрощенным комбинационным способом, который подробно освещен в статье «„Скелетная графика” в пегматитах» (Бакуменко, 1963, стр. 171—175).

При изучении ихтиоглиптов встречены ромбоэдры (дипирамиды в α -кварце), дающие в комбинации дипирамидальные формы с входящими углами. В чистом виде они изображены на фиг. 3, а. Сечения их представлены на фиг. 5. Если входящий угол образуют одноименные грани ($R-R$ или $r-r$), в горизонтальном сечении получают разорванные пучки (фиг. 5, а, б). Если входящий угол образуют разноименные грани ($R-r$), в горизонтальном сечении получается звезда (фиг. 5, в, г). При разрастании субиндивидов вблизи выходов оси L_3 образуются ромбоэдры типа песочных часов в β -кварце или дипирамиды типа песочных часов в α -кварце (рис. 5, д, е).

О классификации форм скелетного кварца. Согласно классификации И. И. Шафрановского и В. А. Мокиевского (1956), различаются три типа скелетных образований: двумерные плоские односторонние, двумерные плоские двусторонние и трехмерные. По-видимому, следует выделить также одномерные образования (с очень малым поперечным сечением) типа игл. Обычно они комбинируются с гранными и реберными пучковыми формами скелетного роста и этим отличаются от игольчатых нескелетных кристаллов. В комбинации с гранными ромбоэдрами волнистые иглы характерны для «моховидных» скелетных ихтиоглиптов (табл. VI, а).

Двумерные плоские односторонние скелеты могут развиваться при нарастании одного минерала на другой из пленочной среды. Они не были встречены в описываемых образцах и поэтому далее не упоминаются.

Двумерные плоские двусторонние скелетные образования в ихтиоглиптах кварца свойственны комбинациям с объемными



Фиг. 5. Характерные сечения гранных форм скелетного кварца

- a* — гранные формы роста скелетных ихтиоглиптов в горизонтальном сечении образуют гексагональные разорванные пучки. Идеальный случай;
б — то же. Идеализированный реальный случай;
в — гранные формы роста скелетных ихтиоглиптов в горизонтальном сечении образуют дигексагональную звезду. Идеальный случай;
г — то же. Идеализированный реальный случай;
д — гранные формы роста скелетных ихтиоглиптов в вертикальном сечении образуют гексагональную дипирамиду «типа песочных часов». Идеальный случай;
е — то же. Идеализированный реальный случай;
ж — горизонтальные сечения тригональных скелетных ихтиоглиптов. Реберные пучковые ромбоэдры $R : r$ и $R : r_1$ развиты неодинаково. Идеализированный реальный случай;
з — горизонтальные сечения тригональных скелетных ихтиоглиптов. Реберный пучковый ромбоэдр $R : r$ раздваивается на два турбинообразных трапецоэдра $S : r$ и $S : R$ в связи с разрастанием тригональной дипирамиды S

формами. Двусторонние плоские формы являются «пленочными». Для центральных частей скелетных ихтиоглиптов очень характерен пленочный реберный пинакоид (0001), появляющийся в случае отсутствия гранной призмы (см. фиг. 6, табл. VII, б, в). При одинаковом развитии гексагональной дипирамиды или большого и малого гранных ромбоэдров в горизонтальном сечении образуется гексагон, ребра которого являются как бы образующими пленочного пинакоида. На периферии скелетов кварца иногда появляется призма, и двумерный пленочный пинакоид перерастает в β -кварце в два трехмерных реберных ромбоэдра (или дипирамиду в α -кварце) типа ОП (по классификации И. И. Шафрановского)¹.

¹ Классификация гранных форм по типам горизонтальных и вертикальных сечений имеется в работах И. И. Шафрановского (1960 и др.).

Наиболее типичны для наших образцов трехмерные скелетные образования, которые можно расчленять на классы внутренних и внешних (Шафрановский, Мокиевский, 1956).

По нашему мнению, внутренним скелетом рационально называть такую форму, которая образуется при росте ребер и вершин монокристалла из центра вдоль «направляющих». Это определение объединяет лишь скелетные образования, не включая антискелетные формы роста (в понимании О. М. Аншелеса), и учитывает возможность появления дендритовидных монокристалльных скелетов с изогнутыми линиями — ветвями.

Дендритовидные формы роста встречаются в комбинации с реберными формами в связи с появлением на периферии ихтиоглиптов дипирамиды $\langle 1\bar{1}\bar{2}1 \rangle$ или $\langle \bar{2}111 \rangle$ и разрастанием призмы $\langle 10\bar{1}0 \rangle$. Формам внутреннего скелета соответствует большинство вершинных и реберных форм роста.

Внешние скелетные образования представлены формами, охватывающими поверхность кристалла, но не заполняющими их внутренней части (Шафрановский, Мокиевский, 1956). Формы внешнего скелета сопоставимы с отдельными зонами гранных форм роста. Промежутки между зонами скелета заполнены посторонним твердым, жидким или газообразным веществом (в нашем случае полевым шпатом). К внешнему скелету, по-видимому, следует отнести также те реберные формы роста, которые разрастаются лишь на периферии кристалла (а не из центра).

Классы расчленяются на семейства гранных, реберных и вершинных форм роста. Семейства скелетных форм в свою очередь могут быть двух родов: закрытые (замкнутые) и открытые (незамкнутые, разорванные). Закрытые формы со всех сторон оконтуривают ядерную часть скелета, образуя систему коробчатых форм. Открытые — оконтуривают тело не со всех сторон, образуя систему трубок, воронок и разорванных коробок.

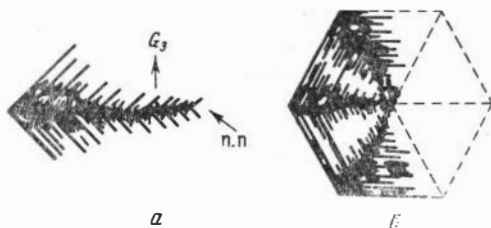
Реальные скелетные ихтиоглипты

Ихтиоглипты скелетной графики, в отличие от идеальных моделей, обычно имеют неодинаково развитые эквивалентные элементы простых форм роста (одноименные пирамиды нарастания, поверхности реберных и линии вершинных форм роста). Ихтиоглипты одной стани могут соприкасаться друг с другом и срастаться в системы субиндивидов.

Для скелетно-графических агрегатов характерны два типа ихтиоглиптов: 1) асимметричные недоразвитые (см. фиг. 6) и 2) более или менее симметричные хорошо развитые кристаллы, которые подразделяются на одноглавые (табл. VI) и двуглавые (табл. VII)¹.

¹ Имеется в виду строение ихтиоглиптов в целом, а не их случайные сечения.

Асимметричные ихтиоглипты имеют однобоко развитый внутренний и внешний скелет. Последний во встреченных случаях представлен серией коробчатых пирамид роста ромбоэдров. Основная форма внутреннего скелета — пленочный пинакоид (0001). Нередко наблюдается резкое нарастание отходящих от пленочного пинакоида гранных форм и конусов нарастания аксессуарий пинакоида. Срастание их на поверхности пленочного пинакоида приводит к его разрастанию в гранный пинакоид



Фиг. 6. Характерные сечения асимметричных скелетных ихтиоглиптов
 а — вертикальное сечение; б — горизонтальное сечение; п.п. — пленочный пинакоид

$\langle 0001 \rangle$. Другие реберные формы внутреннего скелета представлены пучковыми ромбоэдрами, поверхности которых часто прерываются. В этих местах гранные ромбоэдры внешнего скелета также не соприкасаются друг с другом.

Ихтиоглипты с асимметричным строением в вертикальном сечении (параллельном главной кристаллографической оси) напоминают скелет рыб (фиг. 6, а): от «позвоночника» — пленочного или гранного пинакоида с отросточками конусов нарастания аксессуарий — отходят грани ромбоэдра. В вертикальном сечении асимметричные ихтиоглипты всегда имеют отрицательное удлинение. В дальнейшем «под вертикальным сечением» скелетных ихтиоглиптов мы всегда будем подразумевать сечение, параллельное главной оси, а под «горизонтальным» — перпендикулярное ей.

В горизонтальном сечении (вне ядерной зоны пинакоида) ихтиоглипты имеют форму «снежинок» с односторонне развитыми простыми, разорванными, а также прерывистыми (см. фиг. 6, б) реберными гексагональными пучками. Гранные ромбоэдры внешнего скелета дают серию коробчатых форм, развитых только с одной стороны. Асимметричные скелетные ихтиоглипты характерны для наиболее грубозернистых разновидностей скелетной графика.

Симметричным ихтиоглиптам свойственно симметричное относительно главной оси строение. Двуглавые ихтиоглипты имеют

габитус, близкий к изометричному, одноглавые — удлинённый. Для симметричных ихтиоглиптов характерны очень хорошо развитый внутренний и хорошо развитый (особенно на периферии) внешний скелеты. Внутренний скелет представлен вершинным пинакоидом (монограммием) $\approx [0001]$, реберными пучковыми ромбоэдрами с образующими ребрами $R:r_1$ и $R:r$ в случае β -кварца (или реберной пучковой дипирамидой в α -кварце) и реберным пленочным пинакоидом (0001). Изредка на периферии ихтиоглипта пинакоид перерастает в два реберных ромбоэдра типа песочных часов. Внешний скелет обычно представлен гранными ромбоэдрами $\langle R \rangle$ и $\langle r \rangle$ (гексагональной дипирамидой в α -кварце), реже — призмой $\langle m \rangle$, очень редко — тригональной дипирамидой $\langle S \rangle$.

а) Одноглавые симметричные ихтиоглипты в вертикальном сечении имеют вид мха и елочек, включенных в полевой шпат.

Для «моховидных» ихтиоглиптов (табл. VI, а) характерен резко выраженный вершинный пинакоид $\approx [0001]$ с сериями отросточков гранных ромбоэдров, образующих систему направленных головок. Головки ориентированы в сторону ядра пегматитов. Вершинный пинакоид змееобразно изгибается. Ромбоэдры отходят от вершинника на 1—2 мм и обрываются. Имеются письменные агрегаты с вростками, форма которых имеет среднее строение между моховидными скелетными ихтиоглиптами и удлиненными индукционными вростками лучисто-венчиковой и классической графики.

Морфологически моховидные ихтиоглипты сходны со скелетным кварцем в некоторых разновидностях гранитоидов с ритмично-зональным строением¹, которые списаны В. С. Кормилициным и М. М. Мануйловой (1957), В. С. Дмитриевским и Н. П. Буковшиной (1957, 1958), М. М. Повилайтис (1961₁, 1961₂) и др. Однако в отличие от них кварц включен в блоки микроклина, а не в кварц-полевошпатовый агрегат. Кроме того, кристаллографическая ориентировка моховидного кварца имеет эпитаكتическую природу, а не обусловлена законами геометрического отбора. Наконец, данная разновидность ихтиоглиптов распределяется в породе равномерно, а не группируется в зонки, обогащенные кварцем, что характерно для ритмично-зональных агрегатов. Подчеркиваем, что асимметричные и двуглавые симметричные скелетные ихтиоглипты, в отличие от моховидных, распределены в скелетной графике неравномерно (есть участки, обедненные и обогащенные кварцем).

Елочковидные ихтиоглипты (табл. VI, б, в) встречаются реже моховидных. В вертикальном сечении они напоминают асимметричные ихтиоглипты, от которых легко отличаются по следующим

¹ В ритмично-зональных агрегатах чередуются зонки ориентированного роста, нарастающего на зонки обычной породы, причем головки кварца направлены в сторону перемещения фронта кристаллизации.

признакам: 1) в срезах, параллельных тройной оси в поляризованном свете, имеют положительное удлинение; 2) главной формой их внутреннего скелета являются монограммий $\{0001\}$ и два пучковых ромбоэдра, а не пленочный пинакоид; 3) если ихтиоглипт обнажается в полости и образует головку, то тройная ось головки ориентирована, как и монограммий.

б) Двуглавые симметричные и близкие к симметричным ихтиоглипты в вертикальном сечении имеют вид крестов с ответвлениями, образованными гранными формами (табл. VII).

Главные гранные формы представлены системой коробчатых ромбоэдров или гексагональных дипирамид (в высокотемпературных разновидностях) и реже футлярообразных призм. Очень редко по сравнению с призмой на периферии ихтиоглиптов (причем только в низкотемпературных разновидностях) развивается гранная тригональная дипирамида (фиг. 5, з). Одновременно разрастаются производные реберные турбинообразные формы роста. В горизонтальном сечении, в точках появления граней дипирамиды, луч, представляющий собой след пучкового реберного ромбоэдра $R:r$ (или $R:r_1$), симметрично раздваивается на два луча — следы от турбинообразных трапецоэдров $S:R$ и $S:r$.

В некоторых разновидностях ихтиоглиптов встречены вогнутые гранные формы. На периферии кристаллов наблюдаются слабо развитые ромбоэдры, дающие в сечении гексагональный разорванный пучок (см. фиг. 5, а, б). Непосредственно от реберных пучковых призм иногда ответвляются гранные ромбоэдры, дающие в сечении дигексагональную звезду (см. фиг. 5, в, г). Эти формы с дигексагональным и разорванным гексагональным сечением связаны с ромбоэдрами в низкотемпературных модификациях кварца и с гексагональной дипирамидой — в высокотемпературных (табл. V, а, б). При срастании нескольких двуглавых ихтиоглиптов в параллельной ориентировке образуются гранные формы роста типа песочных часов (фиг. 5, д).

Среди скелетно-графических пегматитов наиболее распространены разновидности с двуглавыми симметричными ихтиоглиптами. Последние дают четыре габитусных разновидностей.

1. Ихтиоглипт имеет хорошо развитые: вершинный пинакоид $\approx\{0001\}$, реберные пучковые ромбоэдры и удовлетворительно-пленочный пинакоид $\{0001\}$. Гранные формы развиты слабо (табл. VII, а).

2. Реберные и вершинные формы, а также гранные формы на периферии вроска хорошо развиты. Мощность «стенок» всех форм очень мала (табл. VII, б, в).

3. Реберные и особенно гранные формы развиты хорошо и равномерно, местами они срастаются, и здесь ихтиоглипты имеют нескелетное строение. Мощность стенок всех форм велика. Эта разновидность дает переходные формы к пегматоидной графике (табл. VII, г).

4. Исключительно своеобразна графика, ихтиоглипты которой внутри сложены существенно формами внутреннего скелета, а на периферии — футлярообразными призмами и коробчатыми ромбоэдрами, которые полностью срастаются, давая нескелетные оболочки. Если разбить такой ихтиоглипт, то обнаружится, что внутри он имеет скелетное строение (табл. VII, *д*). Такую разновидность графики следует называть *псевдопегматитовой*.

Все эти разновидности четко различаются по формам вертикальных сечений. В горизонтальном сечении все вростки имеют форму снежинок (см. табл. V).

Поскольку в низкотемпературных модификациях кварца пучковые ромбоэдры $R:r$ и $R:r_1$ физически неравноценны, в горизонтальном сечении нередко три луча (следы одного пучкового ромбоэдра) развиты лучше, чем три луча другого ромбоэдра (фиг. 5, *ж*).

Двуглавые ихтиоглипты могут быть одиночными и частично сросшимися в систему субиндивидов (табл. VII, *б*, *в*). Группы таких сросшихся субиндивидов часто приурочены к определенным капиллярным трещинам, имеющим плоскую форму (нет извилистости, характерной для ритмичнозональных агрегатов!). В этих же трещинах могут развиваться и одиночные ихтиоглипты, отделенные от сросшихся субиндивидов полевым шпатом (см. табл. VII, *б*, *в*). Образования такого типа, приуроченные к капиллярным трещинкам, В. Д. Никитин называет цепочками.

Ориентировка ихтиоглиптов в цепочке определяется тем, что к плоскости трещины приурочены пленочные пинакоиды (0001), от которых отходят вершинные, реберные и гранные формы роста, внедряющиеся в породу. Все ихтиоглипты-цепочки имеют одинаковую кристаллографическую ориентировку. Трещины, к которым приурочены цепочки ихтиоглиптов, могут быть взаимно параллельными (табл. VII, *б*) и непараллельными (табл. VII, *в*). Ихтиоглипты, расположенные между параллельными цепочками, имеют такую же ориентировку, как и в цепочках. Следовательно, параллельные цепочки находятся в области одной стай ихтиоглиптов. Цепочки ихтиоглиптов, приуроченные к непараллельным трещинам, находятся в областях разных стай. Эта особенность может быть использована при детальном картировании и изучении пегматитовых тел.

Классические графические срастания

Для классических наиболее распространенных в природе письменных срастаний характерны закономерно вросшие в полевой шпат кварцевые ихтиоглипты с четкой плоскостной индукционной органкой (см. табл. I, *г*). При этом на каждой из псевдограней присутствует лишь одна система параллельных штрихов, а

весь комплекс штрихов на всех псевдогранях данного востка параллелен лишь одной плоскости. Такая характерная огранка востков исключает произвольно относить к классическим письменным агрегатам прочие разновидности закономерных кварц-полевошпатовых сростаний.

Морфологически ихтиоглипты классических графических пегматитов имеют очень простое строение. Преобладают удлиненные востки (сплошные и полые)¹ с клиновидными сечениями в срезах, параллельных так называемой плоскости индукции (см. табл. I а — в), встречаются также изометричные и пластинчатые востки (табл. I, д).

Кристаллографические формы востков очень сложны. Гранно-индукционные псевдогранни, образующие поверхность обычных классических ихтиоглиптов, известны по описанию А. Е. Ферсмана. Нами изучены реберно-индукционные формы, ранее никем не рассматривавшиеся. Обычно они, комбинируясь с гранно-индукционными, ограняют поверхность скелетно-индукционных классических ихтиоглиптов.

Однако более подробному описанию кристалломорфологических особенностей классических письменных сростаний следует предпослать детальное выяснение механизма формирования ихтиоглипта (независимо от условий генезиса классических пегматитов, которые пока умышленно оставим в стороне), так как именно механизм образования позволяет понять причину возникновения востков той или иной формы. Для этого необходимо, прежде всего, рассмотреть и сопоставить наиболее обоснованные морфологические построения — модели классического ихтиоглипта.

О моделях классического ихтиоглипта, по А. Е. Ферсману, В. Д. Никитину и П. С. Вадило

Модель А. Е. Ферсмана

Наиболее детально морфологические особенности классических письменных пегматитов были разобраны А. Е. Ферсманом (1915). Позже появилось множество других публикаций, в которых построения А. Е. Ферсмана либо поддерживались (Бабаев, 1960; Чесноков, 1963, и др.), либо отвергались и заменялись новыми моделями (Никитин, 1958, 1960; Вадило, 1950, и др.).

В модели классического индукционного ихтиоглипта, предложенной А. Е. Ферсманом (1915, 1940), отражены как внеш-

¹ Обращаем внимание на весьма распространенный, но неправильный взгляд относительно принадлежности полых футлярообразных индукционных ихтиоглиптов к скелетным образованиям. Такое мнение встречается даже в работах, верно и строго отражающих строение индукционных письменных пегматитов, не говоря уже о менее строгих описаниях.

ние, так и внутренние соотношения индивидов письменного сростания, ибо, согласно А. Е. Ферсману, морфология вростка определяется взаимной ориентировкой кристаллографических осей кварца и полевого шпата и связана с индукцией определенной (индуцирующей) пирамидой роста полевого шпата; конкретных (индуцируемых) граней кварца (это видно на фиг. 4, в).

Особенно тщательно изучены формы ихтиоглиптов, непосредственно перерастающих из классических письменных сростаний в друзовые головки кварца, выступающие над плоской гранью полевого шпата с сохранением ориентировки кварца. Ферсман обратил внимание на то, что индукционные ребра, образующие штриховку на отпрепарированных псевдогранях кварцевых вростков, строго параллельны этой грани полевого шпата, названной гранью индукции. Удлинение вростков приблизительно нормально к грани, штриховка же на каждой из псевдограней представлена совокупностью параллельных индукционных ребер, которые возникают на пересечении грани индукции полевого шпата и граней кварцевой головки. Многоугольник, образуемый индукционными ребрами в плоскости индукции, Ферсман назвал иероглифом. При трансляции иероглифа в направлении разрастания индуцирующей пирамиды роста полевого шпата и формируется тело ихтиоглипта, ограниченное псевдогранями: каждая из псевдограней соответствует определенному ребру иероглифа. Таким образом, по А. Е. Ферсману (1915), «...явление кристаллографической индукции заключается в наложении одним кристаллическим телом (индуктором) штриховки на другое, одновременно растущее тело», а сама «...штриховка является не чем иным, как совокупностью перемещенных параллельно самим себе ребер между возможной гранью индуцируемого тела и растущей в данном направлении гранью индуктора». Эти наблюдения были распространены на все индукционные письменные пегматиты. Модель А. Е. Ферсмана позволяет заранее (зная взаимную ориентировку кварца и полевого шпата и приуроченность ихтиоглипта к конкретной пирамиде роста полевого шпата) предсказать возможную форму «иероглифа», ориентировку индукционных ребер и ряд других морфологических особенностей «идеального» вростка (например, фиг. 7, б) и сравнить их с морфологическими особенностями реальных ихтиоглиптов, обладающих гранно-индукционной огранкой. По нашим наблюдениям, с моделью Ферсмана хорошо согласуются.

1. Замеры угловых соотношений между индукционными ребрами на соседних псевдогранях (на методиках замеров этих соотношений подробно остановимся ниже).

2. Отсутствие вертикальной (параллельной псевдорребрам) или перекрещивающейся штриховки и плоскостной характер штриховки.

3. Линейный (цилиндрический высших порядков) характер гранно-индукционных псевдограней в абсолютном большинстве индукционных ихтиоглиптов (исключение составляют лишь скелетно-индукционные вrostки).

4. Приуроченность классических ихтиоглиптов к конкретным пирамидам роста полевого шпата (что подробно рассматривается при характеристике классических письменных пегматитов).

5. Различия в форме ихтиоглиптов, приуроченных к одной пирамиде роста полевого шпата, но срастающихся с ним по разным законам и сходство срастающихся по одному закону.

Некоторые усложнения в строении вrostков появляются при плоскостной индукции кристаллов кварца с субиндивидуальным строением. Такого рода индукция субиндивидов связана: 1) со срастанием и дальнейшим совместным ростом одинаково ориентированных соседних ихтиоглиптов и 2) с параллельным ростом так называемых многоглавых индукционных вrostков. Морфология таких субиндивидуально-индукционных вrostков поэтому также хорошо описывается моделью А. Е. Ферсмана.

Не описываются моделью Ферсмана (в ее первоначальном виде) скелетно-индукционные вrostки. Например, вrostки образца из Мамско-Чуйского района (табл. VIII, 2), несмотря на то что они характеризуются плоскостной штриховкой и эпитактическими соотношениями, соответствующими закону «А» Ферсмана, не могут быть описаны только гранно-индукционной моделью Ферсмана по следующей причине: стдельные реберно-индукционные псевдограни их не являются цилиндрическими поверхностями, штрихи на них не прямолинейны и иероглифы реберно-индукционных ихтиоглиптов поэтому не представляют собой прямолинейных фигур. Однако наблюдаемые здесь γ -образные формы получаются также при плоскостной индукции гранью полевого шпата реберных и гранных форм роста скелетного кварца, т. е. полностью соответствуют сути ферсмановской модели. Подобно тому, как в обычных скелетных кварцах встречаются гранные и реберные формы роста, в скелетно-индукционных кварцах присутствуют гранно-индукционные и реберно-индукционные формы (табл. VIII, 2). Подробное описание их будет дано ниже.

Иногда как возражение против модели Ферсмана выдвигается, например, Дрешер-Каденом сложность, зазубренность внутренней поверхности полевых ихтиоглиптов, внешняя огранка которых хорошо соответствует цилиндрическому и линейным поверхностям. Такие полые, (трубчатые) замкнутые и незамкнутые вrostки встречаются весьма часто наряду со сплошными. Усложнение внутренней поверхности полых вrostков может быть связано с рядом причин: частично оно обусловлено появлением *индукционных субиндивидов* и *реберно-индукционных форм*, частично возникает при замещении альбитом внешних и

особенно внутренних зон полых ихтиоглиптов. В первом случае образование формы внутренней поверхности вростка, как было изложено (стр. 53), вполне соответствует индукционной модели, во втором случае усложнение — результат более позднего, наложенного процесса (метасоматоза), и говорить о соответствии или несоответствии с моделью Ферсмана возникающей таким образом формы просто не имеет смысла.

Таким образом, можно поддержать модель Ферсмана, если принять более общее ее толкование и учитывать явления плоскостной индукции полевым шпатом гранных и реберных форм роста кварца, а также явления индукции субиндивидов. Кроме того, следует учесть распространение не только трапецоэдрических, но и других законов срастания. Что касается форм, возникающих в процессе вторичного преобразования вростков (альбитизации, перекристаллизации и т. д.), то на их объяснение модель Ферсмана и не претендует.

Вместе с тем, многие авторы пытались объяснить морфологические особенности вростков именно путем особых механизмов роста кварца в процессе метасоматоза (окварцевания) и перекристаллизации кварц-полевошпатовых агрегатов. Из этих построений наиболее обоснована и популярна гипотеза В. Д. Никитина.

Модель В. Д. Никитина

Возникновение индукционной огранки ихтиоглиптов В. Д. Никитин объясняет не индукционным, а трансляционным механизмом.

Исследуя ориентировку плоскостей уплощения некоторых пластинчатых ихтиоглиптов, В. Д. Никитин (1958, 1960) обнаружил, что обычно эти плоскости близки к главным граням полевого шпата (см. фиг. 1, в). Эта особенность была связана им с преимущественным развитием «плоских ихтиоглиптов вдоль определенных плоскостей нарушения сплошности кристаллов полевого шпата», т. е. с развитием ихтиоглиптов по некоторым плоскостям скольжения (трансляций), параллельным важнейшим граням полевого шпата. Форма более сложных ихтиоглиптов, по В. Д. Никитину, «определяется попеременной параллельностью их не двум, а трем, реже, — четырем определенным плоским сеткам полевого шпата». На пересечении этих плоскостей появляется штриховка, а за счет их комбинации псевдограниц могут несколько отклоняться от положения, строго параллельного граням полевого шпата. Все это, по мнению В. Д. Никитина, противоречит построениям А. Е. Ферсмана.

Известно, однако, что псевдограницы не являются плоскими поверхностями: они испытывают некоторые отклонения от положения, нормального к плоскости штриховки, иногда на десятки градусов (табл. VIII, б). На колебания в ориентировке псевдограней

указывает и В. Д. Никитин (1958, 1960). Однако на сводной стереографической проекции (см. фиг. 1, *в* с нанесенными данными его замеров) такие значительные отклонения не отражены. По-видимому, они связывались с осложнениями при добавочных трансляциях (скольжениях) и не наносились на проекцию, где отмечались лишь замеры, соответствующие не осложненным случаям. Вследствие этого сводная проекция не может претендовать на достаточную полноту в отражении реальных ориентировок псевдограней. В процессе аналогичных замеров нами отмечались ориентировки псевдограней, на десятки градусов отклоняющихся от положения главных граней полевого шпата.

Кроме того, в трансляционной модели, в отличие от индукционной, полностью игнорируется взаимная ориентировка кристаллографических осей кварца и полевого шпата; указывается лишь, что соотношения индивидов эпитактичны. Не учитывается также приуроченность групп вростков к разным пирамидам роста полевого шпата и отвергается влияние этого фактора на форму и геометрическую ориентировку вростков. Это не позволяет произвести расчеты, чтобы выяснить, насколько данные В. Д. Никитина противоречат индукционной модели А. Е. Ферсмана, ибо последняя в принципе не исключает параллельности отдельных псевдограней ихтиоглиптов с гранями полевого шпата. Наши данные также свидетельствуют о субпараллельности отдельных наиболее четких псевдограней на ихтиоглиптах с некоторыми гранями полевого шпата, особенно (010) и (100).

Так как близость (или совпадение) псевдограней ихтиоглиптов с гранями полевого шпата является одним из важнейших кажущихся противоречий с моделью Ферсмана, то мы считаем необходимым детально разобрать этот вопрос и показать, что *все* ориентировки псевдограней уплощенных вростков, определенные В. Д. Никитиным, можно объяснить и моделью А. Е. Ферсмана (учитывая, конечно, что существуют не только ферсмановские законы срастания). Данные В. Д. Никитина для наглядности перенесены на проекцию фиг. 1, *в*, на которую нами нанесены также выходы главных плоскостей индукции полевого шпата.

Анализируя эти данные с позиции индукционной модели, учтем следующие моменты: положение индукционного ребра, находящегося в данной плоскости индукции, на проекции удобно определять точкой — выходом нормали к нему. При индукции этого ребра образуется псевдогрань, полюс которой ложится либо в эту же точку (если ребро транслируется строго по нормали к плоскости индукции), либо вблизи нее (если ребро транслируется не строго по нормали к плоскостям индукции). Таким образом, полюса псевдограней ложатся либо на дугу плоскости индукции, либо вблизи нее, в то время как ребра иероглифа изображаются точками, во всех случаях лежащими на дуге плоскости индукции.

Рассмотрение замеров Никитина начнем с ориентировок псевдограней ихтиоглиптов, проекции которых ложатся вблизи выхода грани (001) полевого шпата (несколько ниже ее). В соответствии с моделью А. Е. Ферсмана, эти замеры могли бы соответствовать псевдограням, образующимся при индукции по $(\bar{2}01)$ всех граней кварца, которые пересекаются с $(\bar{2}01)$ по ребру [010] полевого шпата. Таковы грани кварца, полюса которых находятся на вертикальном диаметре (например, при трапецеэдрических законах срastания «А» первого и второго типа — фиг. 2, а, в, законах третьего типа — фиг. 2, г и т. д.). Некоторое отклонение псевдограней от нормали к $(\bar{2}01)$ можно связать с естественными колебаниями псевдогрani вокруг ребра [010] (ведь псевдогрani являются линейными цилиндрическими, а не строго плоскими поверхностями). Псевдогрani, уплощенные в плоскости, близкой к (001) полевого шпата, могут быть получены также при индукции гранью (010) полевого шпата граней кварца, полюса которых находятся на дуге (010) — (001) — (010). Таковы грани, расположенные вблизи (001), например, при срastаниях в ориентировках (фиг. 2, б) или совпадающих с (001) (фиг. 2, г). Однако, судя по вертикальному отклонению точек, более вероятно индукция по (201). Возможны и другие варианты, которые в соответствии с моделью Ферсмана могут привести к образованию псевдограней, параллельных (001).

Уплощенные поверхности, которым на проекции соответствуют точки, лежащие вблизи $(\bar{1}\bar{2}0)$, $(\bar{1}\bar{1}1)$, (023), (110) и (120) полевого шпата при определенных законах срastания¹, могут быть связаны с индукцией по $(\bar{1}\bar{2}0)$ и $(\bar{1}\bar{1}0)$; вблизи (021) — с индукцией по $(\bar{1}\bar{1}0)$; вблизи (021), $(\bar{1}\bar{2}0)$, $(\bar{1}\bar{1}1)$, и $(\bar{1}\bar{2}0)$ — с индукцией по (110), ибо полюса плоскостей уплощения (т. е. полюса псевдограней) лежат вблизи дуг перечисленных граней индукции полевого шпата (на фиг. 1, в наряду с замерами Никитина показаны также дуги важнейших граней индукции). Примечательно, что в замерах Никитина суммарно преобладают точки, лежащие вблизи менее важных граней полевого шпата $(\bar{1}\bar{2}0)$, $(\bar{1}\bar{2}0)$ и (120) по сравнению с более важными $(\bar{1}\bar{1}0)$ и (110). Точки, соответствующие $(\bar{1}\bar{1}0)$ и $(\bar{1}\bar{1}0)$, вообще отсутствуют, хотя, как известно, в плоскости их нередко появляется спайность или отдельность (т. е. трансляции, скольжения по ним более вероятны). Между тем эта особенность хорошо объяснима с позиций модели Ферсмана, и ее можно связать, например, с индукцией ребра, параллельного [001], гранями типа $\{1\bar{1}0\}$ и $\{110\}$, ибо нормали к получаемым при этом псевдограням лягут вблизи граней типа $\{120\}$ и $\{\bar{1}\bar{2}0\}$.

¹ Имеются в виду законы срastания, дающие в плоскостях индукции ребра, нормали к которым выходят вблизи точек, замеренных В. Д. Никитиным.

Псевдограницы ихтиоглиптов, плоскости уплощения которых близки к граням (010) и $(\bar{0}\bar{1}0)$ полевого шпата, могут быть объяснены индукцией ребра, параллельного (010) , гранями (001) или (201) . Такие варианты возможны при индукции грани призмы кварца, параллельной (010) полевого шпата при срастаниях по законам четвертого типа.

Псевдограницы, близкие к (100) и $(\bar{1}00)$ полевого шпата, могут возникнуть при индукции гранью (010) индукционного вертикального ребра $[001]$. Это ребро возникает, например, при индукции по (010) граней трапецеэдрической зоны кварца в случае срастаний по законам А. Е. Ферсмана.

Псевдограницы ихтиоглиптов, плоскости уплощения которых близки к граням (201) ¹ и $(\bar{3}02)$ ², можно рассматривать как результат индукции по (010) индукционных ребер, нормали к которым лежат вблизи полюсов этих граней.

Среди фиксированных Никитиных замеров (фиг. 1, в) бросается в глаза группа замеров, которую нельзя связать ни с трансляциями по $(\bar{2}01)$, ибо она находится значительно выше полюса (201) , ни с комплексной трансляцией по $(\bar{2}01)$ и другим граням поясов $(\bar{2}01) - (100)$ или $(\bar{2}01) - (110)$, ибо замеры не ложатся на дуги этих поясов. В то же время с позиции модели Ферсмана эти замеры можно объяснить, например, индукцией грани кварца, лежащей вблизи $(\bar{2}01)$ (см. фиг. 2, б), гранью (001) полевого шпата. Псевдогрань с такой ориентировкой может возникнуть и вследствие индукции по (010) грани ромбоэдра кварца. Проекция последней лежит выше полюса $(\bar{2}01)$ (при ориентировке индивидов, изображенной на фиг. 2, в); во всех случаях следует учитывать естественное колебание положения псевдограней в ростке, т. е. отклонения их от нормали к плоскости индукции. Возможно множество других вариантов (законов срастания), которые приведут к этим же результатам и в то же время будут согласовываться с моделью Ферсмана.

Таким образом, все замеры В. Д. Никитина могут быть обоснованы индукционным механизмом роста письменных пегматитов, выдвинутым А. Е. Ферсманом. Было бы только странно, если бы при замерах все проекции нормалей к псевдограням ложились только вблизи полюсов важнейших граней полевого шпата. Однако нетрудно показать, что это не так. Об этом свидетельствуют проведенные нами замеры ориентировок псевдо-

¹ Точки этих замеров расположены на вертикальном диаметре проекции между гранями (001) и (100) полевого шпата.

² В статье В. Д. Никитина (1960) грань $(\bar{3}02)$ ошибочно обозначена символом $(\bar{4}02)$. Эти точки замеров расположены на вертикальном диаметре проекции между гранями (101) и (201) .

граней в специально изготовленных ориентированных шлифах (фиг. 8, б, в). К этому же выводу приводят наблюдения естественных колебаний псевдограней вокруг оси индукционных ребер, причем, как уже отмечалось выше, отклонения от положения, нормального к плоскости индукции, могут достигать нескольких десятков градусов (табл. VIII, б). Поэтому такая кучность в ориентировках псевдограней вблизи граней полевого шпата, какая изображена на проекции фиг. 1, в, обусловлена лишь неполнотой замеров. Правда, и значительные отклонения плоскостей уплощения вростков от важнейших граней полевого шпата можно было бы объяснить, по В. Д. Никитину, с помощью комплексных трансляций по нескольким направлениям скольжения. Однако морфологические особенности реальных ихтиоглиптов в большинстве случаев исключают такое комплексное скольжение. Дело в том, что псевдограницы ихтиоглиптов в абсолютном большинстве случаев имеют линейную (цилиндрическую) форму, т. е. на них наблюдается лишь одна система четких параллельных друг другу индукционных ребер. Замеры ориентировки этих ребер показали, что любое индукционное ребро на любой псевдогранице данного вростка всегда параллельно важным граням полевого шпата, особенно (201), (001) и (010), но не обязательно соответствует важным зонам полевого шпата. Но как следствие модели В. Д. Никитина, на псевдогранях с одной параллельной системой штрихов ось этой системы должна быть строго параллельна с зоной полевого шпата, которая находится на пересечении граней скольжения (трансляций).

Некоторые другие особенности штриховки на вростках также не объясняются трансляционной моделью. Например, согласно этой модели, система штрихов на псевдогранях параллельна линиям пересекающихся плоскостей скольжения. С этих позиций нельзя объяснить, почему на ихтиоглиптах возникает не вертикальная штриховка, параллельная псевдорам, разграничивающим соседние псевдограницы, а горизонтальная (хотя, по В. Д. Никитину, каждая псевдогрань уплощена в направлении наилучших скольжений и при взаимодействии их должна бы возникать вертикальная штриховка).

Необъяснимо также, почему эти максимальные скольжения, соответствующие данной псевдогранице, совершенно не проявляются на соседних псевдогранях того же вростка, где, судя по штриховке, скольжения происходили по каким-то другим, а следовательно менее благоприятным, направлениям (ибо отсутствуют штрихи, параллельные соседним псевдограням). Тем более не ясна причина таких избирательных скольжений при развитии на вростке сразу нескольких псевдограней, когда ни одно из главных направлений скольжения, соответствующих каждой из них, не взаимодействует ни с какой из плоскостей скольжения соседних псевдограней, т. е. необъяснимо в этом случае возник-

новение именно плоскостной штриховки, появление которой хорошо объясняется индукционной моделью А. Е. Ферсмана.

Во многих случаях псевдограни значительно отклоняются от положения граней полевого шпата, а также положений, промежуточных между двумя гранями (т. е. полюса псевдограней отклоняются от полюсов и дуг, принадлежащих зонам важнейших граней полевого шпата). Эти случаи объясняются В. Д. Никитиным как трансляция по трем и более направлениям. Но вследствие того, что каждая пара трансляций должна дать свою систему штрихов, на таких сложных псевдогранях, во-первых, должна возникнуть система пересекающихся штрихов и, во-вторых, весьма вероятно появление псевдограней, поверхность которых будет нелинейна, причем такие псевдограни должны быть достаточно распространенными. Однако оба следствия не подтверждаются фактическим материалом.

Наконец, с позиций трансляционной модели не объясняется еще одна деталь в строении вростков. Действительно, плоскости скольжения в любом кристалле могут взаимодействовать, пересекаться и опереться другими плоскостями скольжения, а не только разбивать минерал на параллельную сеть или конусовидные и призматические полигоны. Следовательно, в срезах ихтиоглиптов, параллельных штриховке, вростки должны давать сечения не только в виде линий, треугольников и выпуклых (замкнутых и незамкнутых) многоугольников, но, как правило, также в виде пересекающихся и расходящихся линий, образующих пучковый крестообразный или решетчатый рисунок сечения. Но такие сечения не характерны для классических письменных пегматитов. Они встречаются лишь в специфических разновидностях с реберно-индукционными формами (табл. VIII, з), а также в редких случаях при срастании соседних ихтиоглиптов.

Не подтверждаются, как уже отмечалось, и следствия из трансляционной модели об отсутствии: 1) приуроченности вростков к конкретным пирамидам роста полевого шпата и 2) связи между такой приуроченностью и формой вростков. Хотя в классических письменных пегматитах обычно секториальное строение полевошпатовых моноблоков выражено слабо, все же встречаются образцы с типичным секториальным строением (табл. VIII, д, е), причем форма и ориентировка ихтиоглиптов в каждом из секторов различны, даже если кристаллографически они ориентированы одинаково.

Таким образом, даже если не вдаваться в генетические построения, детали строения и расположения вростков кварца в блоках полевого шпата в наиболее широко распространенных *классических* письменных пегматитах, по нашим наблюдениям, противоречат трансляционной модели.

Все перечисленные несоответствия отсутствуют в индукционной модели А. Е. Ферсмана: 1) если ее дополнить представления-

ми о реберно-индукционных и субиндивидуальных гранно-индукционных формах, учесть широкое распространение, помимо трапецоэдрических, также и других законов срastания, 2) сохранив при этом основную идею об индукционном взаимодействии поверхностей кварца с индукционной гранью полевого шпата. Замеры же В. Д. Никитина хорошо согласуются с моделью ихтиоглипта, предложенной А. Е. Ферсманом.

Модель П. С. Вадило

П. С. Вадило считает, что «ни А. Е. Ферсман, ни другие авторы не указывают, почему вrostки кварца в кристаллах полевого шпата письменного гранита имеют описанную, а не какую-нибудь другую форму». Это не соответствует действительности: А. Е. Ферсман очень четко изложил свои взгляды об индукционном взаимодействии совместно растущих индивидов, что позволяет для каждого конкретного закона срastания строить теоретическую форму ихтиоглипта (точнее, форму иероглифа) и сравнить ее с реально наблюдаемой (например, построение для закона Розе, см. фиг. 7). Не менее определены и объяснения В. Д. Никитина. Не соглашаясь с этими построениями, П. С. Вадило (1950) для механизма роста письменных гранитов выдвинул свою оригинальную гипотезу.

Он утверждает, что обычно очертания поперечных срезов ихтиоглиптов подобны сечениям, которые могли бы дать выемки между субиндивидами полевого шпата. На основании такого подобия он предполагает, что морфология кварцевых вrostков — следствие их роста путем выполнения пространства между субиндивидами растущего более быстро многоглавого кристалла полевого шпата.

В более редких случаях, по мнению Вадило, сечения ихтиоглиптов близки к очертаниям поперечного среза ограненного кристалла кварца, т. е. тем нарастаниям на гранях кварца, которые в срезах похожи на сечения вrostков. Этот случай трактуется как вращение скелетного (!? — Б. И.) кварца в блоки полевого шпата, растущего одновременно с ним.

К сожалению, оба утверждения слишком голословны и не подтверждаются никакими расчетами и замерами, хотя одного лишь подобия очертаний реальных вrostков с предложенными моделями явно недостаточно для доказательств их тождественности. Попробуем сопоставить следствия, вытекающие из гипотезы П. С. Вадило, с реальными объектами.

Штриховка на ихтиоглиптах в первом (обычном) случае могла бы представлять отпечатки ребер между гранями субиндивидов и основной гранью полевого шпата, на которой возвышаются субиндивиды. Как и в следствиях гипотезы А. Е. Ферсмана: 1) штриховка на псевдогранях вrostков в этом случае распола-

галась бы параллельно важнейшим граням полевого шпата и 2) кроме того, вrostки могли бы быть вытянутыми нормально к «индуктирующим» граням кристалла полевого шпата, между субиндивидами которого рос кварц.

Однако, в отличие от модели А. Е. Ферсмана, угловые соотношения в поперечном срезе ихтиоглипта должны бы соответствовать угловым соотношениям между гранями субиндивидов полевого шпата. Такая трактовка сближает модели В. Д. Никитина и П. С. Вадило. Как и в модели В. Д. Никитина, механизм развития ихтиоглиптов, предложенный П. С. Вадило, должен приводить к тому, что плоскости псевдограней должны строго совпадать или приближаться к важным граням полевого шпата, ибо поверхности субиндивидов полевого шпата представлены габитусными гранями, а так называемые притупляющие грани имеют подчиненное значение.

Действительно, имеются случаи совпадения направлений отдельных индукционных ребер на поверхности ихтиоглиптов с направлениями ребер полевого шпата, которые могли бы дать субиндивиды. Такие совпадения наиболее обычны при индукции по граням $(\bar{1}10)$, (100) и (010) — для ребра, параллельного $[001]$, а при индукции по (001) и $(\bar{2}01)$ — для ребра, параллельного $[010]$. Реже встречаются и другие совпадения индукционных ребер с ребрами полевого шпата. Однако они легко объяснимы и с позиции ферсмановской модели (см. стр. 20—38 гл. II). В целом же наши замеры (например, см. фиг. 8, б, в), а также графические данные других авторов (Ферсман, 1915, 1940; Чесноков, 1963, и многие другие) явно не согласуются с моделью П. С. Вадило.

Сомнительной также кажется возможность возникновения исключительно плоскостной штриховки на ихтиоглиптах при росте кварца между субиндивидами полевого шпата, когда часто возникают субиндивиды различных размеров и высоты. Поэтому на отдельных псевдогранях ихтиоглиптов следовало бы ожидать появления отпечатков субиндивидов, между которыми рос кварц, в виде системы трапециевидных штрихов, чего на реальных ихтиоглиптах никогда не наблюдается. Отсюда наиболее обычный, по П. С. Вадило, механизм роста письменных пегматитов не может считаться доказанным.

Трактовка второго случая очень туманна. Во-первых, неясно, почему возникновение полых ихтиоглиптов (с «обегающими», кольцеобразными сечениями) приписывается скелетному росту кварца. Ведь для скелетных кристаллов кварца наиболее характерно отложение вещества как бы по ребрам, которое приводит к образованию реберных форм роста. Полые же формы — футлярообразные и коробчатые, — образующиеся при скелетном росте, лишь комбинируются со скелетными реберными формами роста. Развитие собственных (неиндукционных) полых форм

с трубчатыми каналами более характерно для субиндивидуального (многоглавого) роста кварца (Приказчиков, 1959; Немец, 1954; Григорьев, 1954).

Собственно скелетные вростки кварца характерны не для индукционных классических, а для скелетно-графических агрегатов. Обычный скелетный кварц встречается также в виде вкрапленников в порфириовидно-графических агрегатах. В том и в другом случае образование типичного скелетного кварца не связано с его совместным ростом с сингенетичными кристаллами полевого шпата. По-видимому, исключение составляют лишь моховидные ихтиоглипты. Обычные же полые вростки с индукционной штриховкой морфологически ничего общего с таким скелетным кварцем не имеют. Если же термином «скелетный» П. С. Вадило обозначает вообще любые полые внутри сингенетичные с полевым шпатом вростки, растущие на его не усложненной субиндивидами поверхности в виде обтекающих полых наростов, то не ясно, чем этот механизм роста отличается от предложенного Ферсманом. Таким образом, и второй вариант, предлагаемый П. С. Вадило в качестве механизма роста полых вростков в индукционных письменных пегматитах, либо сводится к построениям Ферсмана (если признается индукционный механизм совместного роста минералов), либо является явно ошибочным (если исходить из независимого типичного скелетного роста кварца, совместно с полевым шпатом).

Кристалломорфология классических ихтиоглиптов

Абсолютное большинство кварцевых вростков в классических письменных пегматитах имеет плоскостную гранно-индукционную огранку. Единичные вростки характеризуются плоскостной скелетно-индукционной огранкой, в которой соединены элементы гранно-индукционной и реберно-индукционной огранок. Письменные пегматиты, все вростки которых имеют только скелетно-индукционную огранку, — явление чрезвычайно редкое.

Кристалломорфология гранно-индукционных ихтиоглиптов

В морфологическом отношении можно различать две группы гранно-индукционных кварцевых вростков: индукционные ихтиоглипты, характерные для обычных письменных пегматитов (табл. I, в, г), и отличные от них по форме ихтиоглипты внутри друзового полевого шпата (фиг. 4, в).

Хотя и те, и другие характеризуются эпитаксическими соотношениями с полевым шпатом, плоскостной индукционной штриховкой и однотипным строением иероглифов, для ихтиоглиптов первой группы обычно характерна псевдопризматическая или пирамидальная форма с очень острым углом при вершине. Чаше

ихтиоглипты этой группы имеют формы с многочисленными пережимами и раздувами.

Степень изометричности подобных вrostков различна. Преобладают удлинённые вrostки, но встречаются более или менее изометричные. И те и другие могут быть полыми (футлярообразными) или нацело слагаются кварцем. Футлярообразные вrostки бывают замкнутыми и незамкнутыми. Незамкнутые вrostки также варьируют по форме — от почти пластинчатых, через формы, напоминающие совок, до свернутых в своеобразные спирали. Несмотря на наличие пережимов и раздувов, состав классических письменных пегматитов этой группы остается почти постоянным во всех участках. В местах пережимов вrostки обычно сплошные в местах раздувов — полые, с включенным внутри них полевым шпатом; поэтому количественные соотношения кварца и полевого шпата остаются почти постоянными.

Ихтиоглипты второй группы чаще бывают сплошными, реже — полыми. Характерная для них форма изображена схематически на фиг. 4, в. Такие ихтиоглипты обычно быстро выклиниваются по направлению к центру включающих их друзовых кристаллов полевого шпата, либо соединяются с ихтиоглиптами первой группы, приобретая обычные удлинённые очертания с сохранением ориентировки индукционных штрихов.

В последнем случае мощность периферической зонки с ихтиоглиптами второй группы варьирует вплоть до полного выклинивания (имеются лишь ихтиоглипты первой группы). Для зонк с ихтиоглиптами второй группы характерно обогащение кремнеземом по направлению к периферии кристалла. В друзовом полево́м шпате ихтиоглипты обоих типов могут выклиниваться до момента прекращения роста полевого шпата либо выходить на его поверхность и даже образовывать так называемые головки.

Морфология обоих групп вrostков определяется индукцией граней кварца гранями полевого шпата. Поэтому особый интерес представляет изучение строения продольных сечений и иероглифов ихтиоглиптов.

Продольные сечения гранно-индукционных ихтиоглиптов

Очертания продольных (перпендикулярно плоскости индукции) срезов по ихтиоглиптам первой группы, типичных для собственно письменных пегматитов, и по ихтиоглиптам второй группы, встречающихся в виде выклинивающихся вrostков во внешних каемках друзового полевого шпата, различны.

Первая группа вrostков в продольных срезах характеризуется более или менее субпараллельно ориентированными волнистыми ограничениями. Футлярообразные вrostки в осевых срезах дают раздваивающиеся то расходящиеся, то сближающиеся полоски кварца с включенным между ними кали-шпатом.

В срезах периферической части этих же востков получаются червеобразные полоски кварца.

Для второй группы востков в продольных сечениях характерны ∇ -образные срезы с резко расходящимися волнистыми нижними сторонами треугольника. Вершина треугольника обращена к центру друзовых кристаллов полевого шпата, а основания совпадают с плоскостью поверхностной грани полевого шпата; здесь нередко ихтиоглипты, коленообразно изгибаясь, переходят в кварцевые головки. Последние имеют хорошую собственную, свойственную кварцу, огранку, в отличие от индукционной огранки ихтиоглипта. Когда ихтиоглипты второй группы соединяются с ихтиоглиптами первой группы, в сечении соответственно треугольник переходит в червеобразную полоску.

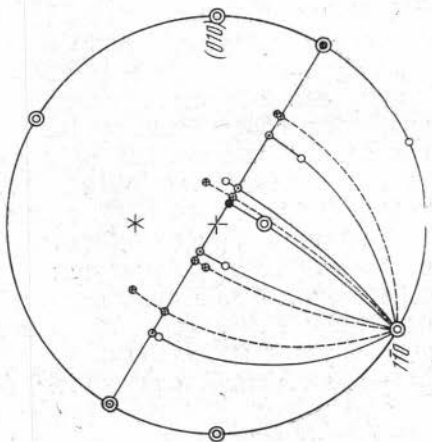
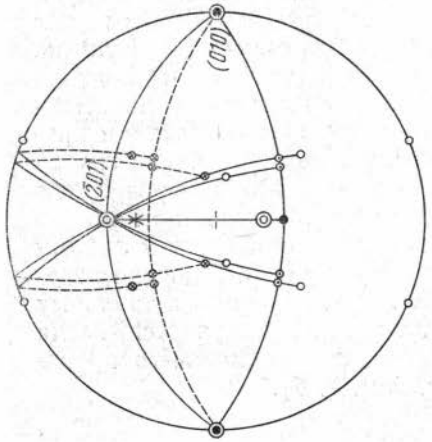
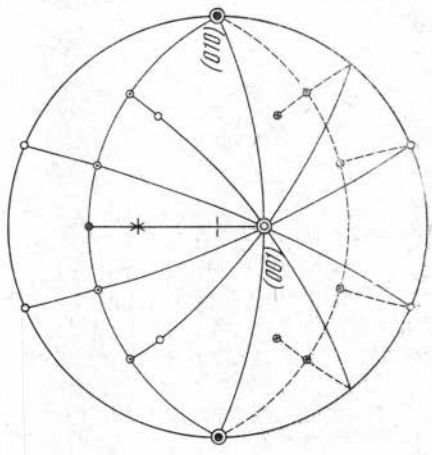
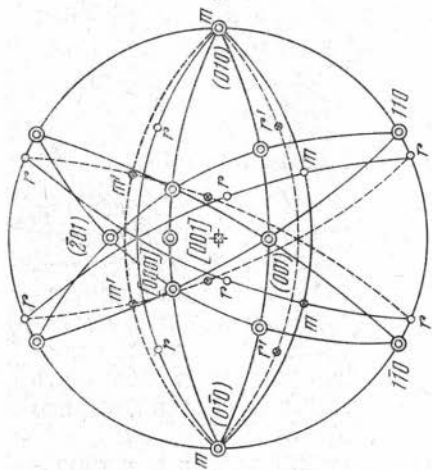
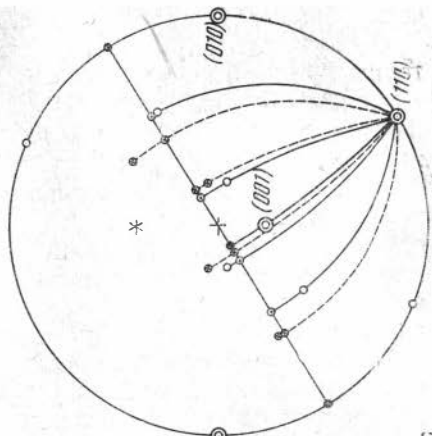
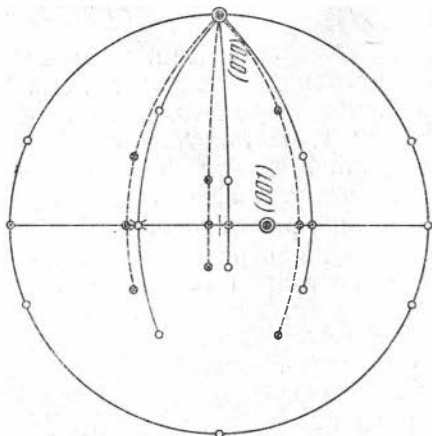
Продольные сечения дают недостаточно сведений о способе образования ихтиоглиптов. Значительно важнее для этой цели поперечные сечения, в которых возможно выяснить соответствие теоретических и реальных угловых соотношений между ребрами иероглифов.

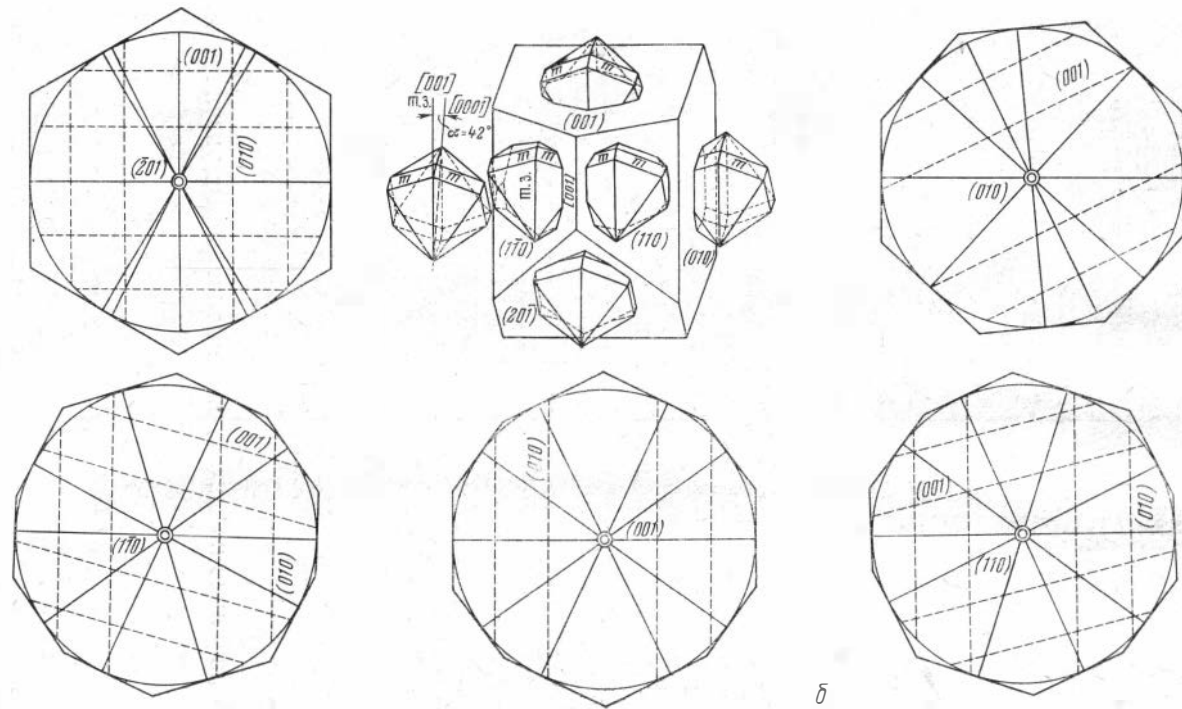
Поперечные сечения гранно-индукционных ихтиоглиптов

Построение «иероглифа» по А. Е. Ферсману

«Иероглифом» А. Е. Ферсман (1915) назвал поперечное сечение ихтиоглипта, параллельное плоскости индукции. Второе определение А. Е. Ферсмана, согласно которому „иероглиф” есть проекция псевдограней кварцевого тела на грань индукции», по нашему мнению, неудачно: псевдограницы иногда значительно отклоняются от положения, нормального к плоскости индукции, и нормали к псевдограням поэтому не всегда ложатся в плоскость индукции. Отсюда интерес представляют лишь сечения, строго параллельные граням индукции.

Построение иероглифа по Ферсману заключается в следующем. Проекция полевого шпата ориентируется так, чтобы полюс плоскости индукции совместился с центром сетки Вульфа. Проекция главных граней кварца ориентируется по отношению к полученной проекции полевого шпата в соответствии с эпитаксическими соотношениями в данном кварц-полевошпатовом прорастании. Индукционные ребра находятся на пересечении граней кварца с плоскостью индукции. Для получения их через полюс грани индукции и полюс граней кварца проводятся линии до пересечения с кругом проекции. Перпендикуляры к этим линиям и определяют ориентировку индукционных ребер. Взаимно пересекаясь, эти ребра дают форму иероглифа. За идеальную форму иероглифа А. Е. Ферсман принял ту, которая получается, когда все полученные индукционные ребра касаются какой-то произвольно выбранной окружности (см. фиг. 7, б).





Фиг. 7. Срастание кварца с полевым шпатом по закону Розе.

а — определение угловых соотношений между индукционными ребрами при срастании по закону Розе, с использованием стереографических проекций; *б* — идеальные формы нероглифов при индукции граней кварца важнейшими пирамидами роста полевого шпата: (201), (110), (001), (110), (010)

Черными кружками на фиг. 7, *а* обозначены следы спайности по (010) и (001) на гранях индукции полевого шпата

Число псевдограней ихтиоглипта, а следовательно, и число индукционных ребер в одном иероглифе могут быть значительными, даже если одновременно индуцируются только грани призмы и гексагональной дипирамиды, а менее важные грани не участвуют в индукции. Однако практически индуцируется еще меньшее число граней, но не менее трех (табл. I, б). Пластинчатые ихтиоглипты (табл. I, д) возникают при индукции не менее чем четырех граней кварца, однако преимущественное развитие получают псевдограницы, которые возникают при индукции двух граней.

*Построение «иероглифа»
по «нормальной» кварц-полевошпатовой проекции*

«Нормальной» кварц-полевошпатовой проекцией является такая проекция, на которой полевой шпат ориентирован в кристаллографической ориентировке (третья ось — вертикально, вторая — направо), а кварц в соответствии с эпитаксическими соотношениями с полевым шпатом. Такая нормальная проекция удобна для теоретического построения формы иероглифа при данной ориентировке на различных плоскостях индукции. Рассмотрим это построение для соотношений кварца и полевого шпата при ориентировке по закону Розе (фиг. 7, а). Для этого следует провести дуги, соответствующие грани индукции (проводятся дуги как в нижней, так и в верхней полусферах). Ориентировку искомым индукционным ребер можно обозначить точками их касания с дугами плоскости индукции. Точки индукционных ребер находятся на пересечении дуги, соответствующей плоскости индукции, с дугами, которые проводятся по меридианам сетки Вульфа через полюса индуцируемых граней кварца и грани индукции полевого шпата. Угловые соотношения между нормальными и индукционными ребрами здесь характеризуются отрезками дуг между точками, изображающими индукционное ребро. Эти точки на фиг. 7, а изображены жирными точками в кружках — для ребер, касающихся верхней полусферы, и крестиками в кружках — для ребер нижней полусферы. Преобразование полученных соотношений в иероглиф дано на фиг. 7, б. На приведенных рисунках операции индукции подвергались лишь те грани кварца, полюса которых не находятся вблизи плоскости индукции.

Обратная задача

Морфология ихтиоглиптов с плоскостной штриховкой в значительной степени отражена формой иероглифа. Последняя зависит от взаимной ориентировки минералов и плоскости индукции полевого шпата. Зная положение граней кварца и плоскости индукции, легко найти положение индукционных ребер, т. е.

линий пересечения граней кварца с плоскостью индукции. Вследствие существования однозначной зависимости между перечисленными факторами имеется возможность решения обратной задачи: зная ориентировку кристаллографических осей полевого шпата, положение главной оси кварца, плоскости индукции и индукционных ребер на псевдогранях, можно найти положение граней кварца (несмотря на то, что они и не развиты). На федоровском столике эта задача не может быть решена никаким другим способом. Именно поэтому в литературе отсутствуют полные замеры соотношений кварца и полевого шпата на федоровском столике и приводятся лишь частные замеры ориентировки главной оси кварца. Но такие замеры нельзя сопоставлять, даже если главные оси кварца относительно осей полевого шпата ориентированы одинаково.

Обратная задача, таким образом, позволяет связать внешние морфологические и внутренние кристаллографические структурные соотношения в классических письменных пегматитах.

Для решения обратной задачи следует изготовить ориентированный шлиф. Плоскость шлифа должна быть параллельна всем видимым индукционным ребрам, а следовательно, плоскости индукции. В этом случае полюс плоскости индукции совпадает с центром стереографической проекции.

Для облегчения определений наименования граней индукции по конфигурации осей Ng , Nm , Np и плоскостей спайности микроклина можно воспользоваться фиг. 8, а. Она же облегчит нахождение квадранта, в котором находится главная ось кварца в преобразованной (нормальной) проекции. Для ортоклаза решение намного проще и не требует специального рассмотрения.

После нахождения положения и наименования плоскости индукции полевого шпата можно найти положение граней кварца по ориентировке индукционных ребер и выходу главной оси.

Предварительно по выходу главной оси кварца определяется геометрическое место точек возможных положений полюсов граней кварца. Эти полюса располагаются на линиях малых кругов, проведенных вокруг главной оси кварца под углом, равным полярному расстоянию данной грани. Полярное расстояние с главной осью кварца для призмы равно 90° , для главных ромбоэдров (и гексагональной дипирамиды) 52° , тригональной дипирамиды 66° , трапецеэдра — 82° . Построение малых кругов разобрано В. С. Соболевым (1954). Практически необходимо лишь построение малых кругов призмы и гексагональной дипирамиды (ромбоэдров).

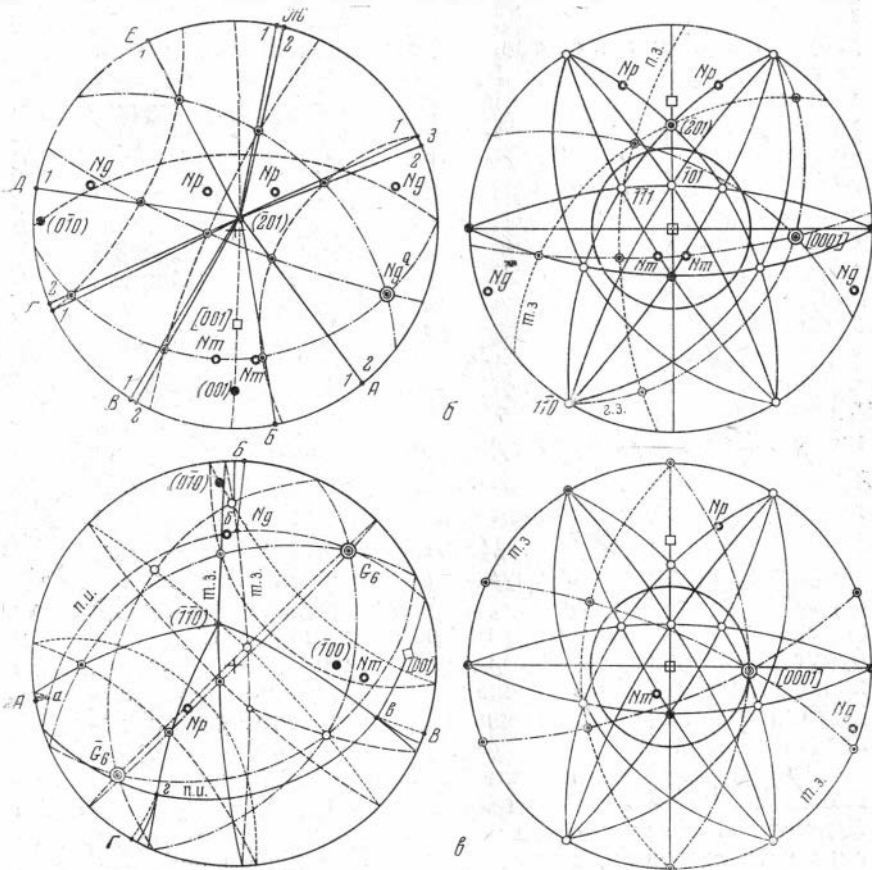
Искомые точки полюсов реальных граней кварца находятся на пересечении малых кругов с вертикальными плоскостями (диаметрами сетки Вульфа), проведенными через полюс плоскости индукции и точки, условно изображающие индукционные ребра (т. е. точки нормалей к ребрам).

только на федоровском столике и путем комбинирования лауэ-съемок и федоровской методики (проведено на образце из Савватеево), дало идентичные результаты. Здесь опишем методику работы на двух примерах.

Первый пример показывает ход определения структурных соотношений при условиях, близких к решению обратной задачи.

Пример 1.

Письменный пегматит в Зерендинском массиве (Северный Казахстан). Плоскость шлифа практически совпадает с плоскостью индукции (фиг. 8, б). Плоскостью индукции является грань (201) полевого шпата. Замерены положения индукционных



Законов кварц-полевошпатовых сростаний

де полюса плоскости индукции в центр проекции; б — структурные соотношения в письменном совпадает плоскость шлифа. NgQ — выход оптической оси кварца; 2 — проекция, зона, п. з. — призматическая зона кварца; ø — структурные соотношения в письменного круга проекции, G6 — выход главной оси кварца, 2 — проекция, приведенная к эдрической зона, л.и. — плоскость индукции

ребер (точки А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З) двух (1 и 2) одинаково ориентированных соседних ихтиоглиптов, N_g кварца, N_g , N_m обеих двойниковых систем и двух плоскостей спайности микроклина (001) и ($\bar{0}10$). На фиг. 8, б нанесли положения всех точек, соответствующих индукционным ребрам (нормальям к ним). Из-за перевернутости в поле зрения микроскопа ребра иероглифа, видимые при замере слева, следует отмечать на стереографической проекции на правом конце диаметра сетки Вульфа.

Две из вертикальных плоскостей, соединяющих точки ребер индукции В и Ж с полюсом индукции ($\bar{2}01$), пересекаются лишь с линией малого круга призмы. Следовательно, индукционные ребра В и Ж могут соответствовать лишь призматическим граням кварца. Ребро А соответствует лишь ромбоэдрической грани (точнее, гексагональной дипирамиде α -кварца). Индукционное ребро Б дает две точки возможного положения граней ромбоэдра, что связано с неточностью замеров. Ребра Д и Е дают двойное решение: они могли бы образоваться за счет ромбоэдрической или призматической грани. Учитывая расположение полученных возможных полюсов граней кварца, находим положение горизонтальных зон кварца, проходящих через N_g (штрих-пунктир), зная, что угол между ними должен точно соответствовать 60° , и на этом основании уточняя положение зон. На линиях пересечения малых кругов и зон граней кварца находим точное положение полюсов граней. Вращением приводим проекцию фиг. 8, б к стандартному «нормальному» виду (фиг. 8, б, позиция 2). Как видно из фигуры 8, б (2 — позиция), ось трапецеэдрической зоны кварца (т. з.) \parallel (параллельна) — грани ($\bar{2}01$) полевого шпата, ось призматической зоны (п. з.) \parallel ($\bar{1}\bar{1}1$), ось горизонтальной зоны (г. з.) \parallel ($\bar{1}\bar{1}0$).

Практически очень трудно получить шлиф строго параллельно плоскости индукции. В этом случае линии, которые мы замеряем как нормали к индукционным ребрам, фактически будут линиями сечения псевдограней с плоскостью шлифа. Это приводит к ошибкам в замерах положения индукционного ребра. Однако при малых отклонениях от плоскости штриховки ошибка незначительна.

Для нахождения положения нормалей к истинным индукционным ребрам эти полученные точки [А, Б, В, Г, на фиг. 8, в (позиция 1)] по диаметрам сетки Вульфа транслируются на дугу плоскости индукции, в результате чего получаем искомые точки истинных нормалей а, б, в, г. Этот случай разобран в примере 2.

Пример 2.

Письменный пегматит из Чуйского месторождения (Мамско-Чуйский район). Плоскость шлифа отклоняется от плоскости индукции ($\bar{1}\bar{1}0$). Отклонение плоскости индукции от плоскости

среза шлифа предварительно определялось на образце по углам между штриховкой и плоскостью среза пластинки, подготовленной для изготовления шлифа. Затем производились обычные замеры нормалей к видимым в шлифе ребрам (А, Б, В, Г, G_6 кварца и др.). Определение оптической индикатрисы и плоскостей спайности полевого шпата в шлифе уточняло положение и наименование плоскости индукции и позволяло находить положение истинных индукционных ребер (нормалей к ним: а, б, в, г). Было учтено, что грани кварца, индуктируемые полевым шпатом, могут находиться как на проекции верхней полусферы, так и на проекции нижней полусферы. Поэтому в необходимых случаях плоскости, нормальные грани индукции, проведены в виде двух дуг — верхней и нижней, соединяющих $(\bar{1}\bar{1}0)$ и (110) с точками а, б, в, г. Таким образом, в отличие от первого примера, линии, идущие к индукционным ребрам от полюса плоскости индукции, проводились не в виде прямых, а в виде дуг (по меридианам сетки Вульфа). Малые круги (пунктир) также построены для нижней и верхней полусфер.

На фиг. 8, v_1 видно, что индукционное ребро *в* может соответствовать лишь призматической грани, лежащей в верхней полусфере. Ребро *б* может соответствовать одновременно нескольким «ромбоэдрическим» (гексагонально-дипирамидальным) и призматическим граням, т. е. индуктируется гранями трапецоэдрической зоны. При этом ось зоны параллельна плоскости индукции. Ребра *а* и *г* могут соответствовать и призме, и «ромбоэдру». С учетом положения зон кварца ребра *а* и *г* соответствуют «ромбоэдрическим» (гексагонально-дипирамидальным) граням.

При помощи операции вращения проекцию фигуры 8, v_1 приводим к стандартному виду (фиг. 8, v_2). Как видно из фиг. 8, v_2 , трапецоэдрическая зона кварца (т. з.) располагается в горизонтальном круге сетки Вульфа, т. е. ее полюс совпадает с осью [001] полевого шпата. Закон срастания очень близок к закону «А» правому А. Е. Ферсмана. Отклонение, по-видимому, обусловлено неточностью метода.

При выборе образцов, предназначенных для полной характеристики срастаний федоровским методом, необходимо учесть следующее:

1. Нужно выбирать срастания с очень четкой огранкой ихтиоглиптов (прямолинейными «иероглифами»). Гранулированные, мозаичные, дробленые ихтиоглипты и вмещающие их зерна-блоки полевого шпата непригодны для замеров.

2. В случае нестрогого совпадения плоскости шлифа с плоскостью индукции точность замеров может резко понизиться.

3. Для однозначности выбора и повышения точности в определении положения истинных граней кварца необходимо исследовать

довать в одном шлифе несколько однотипных ихтиоглиптов с большим числом четких псевдограней.

Трудности, связанные с определением положения истинных граней (а не псевдограней!) кварца, могут быть преодолены помимо решения задачи, обратной ферсмановскому построению (в случаях, когда получается неоднозначное решение), также:

1) путем наблюдения в ихтиоглиптах ориентировки хорошо ограненных негативных газовых или жидких включений;

2) посредством лауэъемки кварца;

3) путем наблюдения фигур искусственного травления кварца плавиковой кислотой;

4) путем изучения не испытанных дробления и перекристаллизации письменных пегматитов с головками кварца, являющимися продолжением ихтиоглиптов.

Все эти методы подтверждают положение А. Е. Ферсмана о соответствии угловых соотношений в реальных «иероглифах» теоретическим. Сопоставление определенных законов срастания кварца и полевого шпата с положением и угловыми соотношениями в «иероглифах» позволяет констатировать однозначную зависимость между законом срастания и морфологией индукционных вростков, что полностью соответствует модели А. Е. Ферсмана.

Кристалломорфология скелетно-индукционных ихтиоглиптов

Поперечные сечения скелетно-индукционных ихтиоглиптов

Формы индукционно-скелетных ихтиоглиптов (табл. VIII, г) обусловлены наложением плоскостей штриховки на индуктируемые гранью полевого шпата гранные и реберные скелетные формы роста кварца. Составление реальных и теоретических поперечных сечений гранно-индукционных форм, которые комбинируются с реберными индукционными формами, в индукционно-скелетных ихтиоглиптах производится путем построения, аналогичного ферсмановскому.

Иероглиф реберно-индукционных форм ихтиоглипта в данном сечении строится путем проведения линий от определенного «центра» этого сечения кварца к вершинам гранного иероглифа. В частном случае, при постоянной относительной скорости разрастания индуктируемых гранных форм роста кварца, получаемые линии реберного иероглифа будут представлены прямыми ребрами. В общем случае линии реберного иероглифа криволинейные (фиг. 4а, позиция 2). Комбинирование гранного и реберного иероглифов в единый скелетный иероглиф проводится путем оконтуривания первым второго. В скелетно-индукционных классических письменных пегматитах гранно-индукционные формы обычно недоразвиты.

Вследствие субиндивидуального роста в реальных объектах в пределах одного иероглифа нередко имеется несколько однотипных ветвей, соответствующих сечениям одноименных реберно-или гранно-индукционных форм.

Индукционно-скелетные письменные структуры, в которых большинство ихтиоглиптов имеет четко выраженные реберно-индукционные формы, исключительно редки. Одни и те же ихтиоглипты в различных поперечных срезах могут иметь и скелетно-индукционное и нескелетно-индукционное (обыкновенное) строение.

В то же время в обыкновенных письменных пегматитах весьма часто встречаются единичные ихтиоглипты, в которых наряду с гранно-индукционными (ферсмановскими) формами имеются ответвления реберно-индукционных форм, причем не только пучковых, но и трубчатых (футлярообразных), подобных изображенному на фиг. 4б (позиция 1).

Продольные сечения скелетно-индукционных ихтиоглиптов

Вследствие усложненного строения скелетно-индукционных ихтиоглиптов их продольные сечения также усложнены. Так как скелетно-индукционные ихтиоглипты обычно имеют удлиненную форму, то в продольных срезах они всегда представлены вытянутыми червеобразными сечениями. Чаще наблюдаются сечения в виде сдвоенных и даже утроенных линий, что обусловлено одновременным рассечением плоскостью шлифа и гранных и реберных индукционных форм роста.

Структурные особенности классических письменных пегматитов

Размер индивидов в письменном агрегате

Уже простой просмотр образцов классических письменных пегматитов из разных пегматитовых тел показывает, что они отличаются не только по рисунку, но по размеру индивидов в сростании, причем размеры индивидов полевого шпата варьируют в более широких пределах, чем размеры кварцевых ихтиоглиптов. Обычно с увеличением блоков полевого шпата увеличиваются и включенные в него ихтиоглипты. Однако в крупных полевошпатовых блоках могут встречаться и очень мелкие ихтиоглипты, поэтому при структурной характеристике необходимо указывать не только размер моноблоков полевого шпата, но и размер ихтиоглиптов.

Моноблоки полевого шпата классических письменных пегматитов более или менее изометричны, поэтому о размерах блоков можно судить по их средним диаметрам. Что касается форм вростков, то они очень изменчивы. Поэтому условимся опреде-

лять «размеры» ихтиоглиптов по их «толщине», т. е. по их диаметру в плоскости индукции, как это предлагается в одночленной классификации Солодова (1962). Нами принята следующая двучленная классификация, учитывающая крупность индивидов обоих минералов, находящихся в сростании (табл. 1).

Таблица 1

Письменная графическая структура в соответствии с размером моноблоков полевого шпата	Размер, см	Письменная графическая структура в соответствии с толщиной ихтиоглиптов	Размер, мм
Микрозернистая	Менее 0,2	Микровростковая	Менее 1
Мелкозернистая	0,2—0,5	Мелковростковая	1—5
Среднезернистая	0,5—2	Средневростковая	5—10
Крупнозернистая	2—5	Крупновростковая	10—20
Мелкоблоковая	5—10	Гигантовростковая	Более 20
Среднеблоковая	10—20		
Крупноблоковая	Более 20		

Например, структура образца, изображенного на табл. I, б, может быть названа «мелкоблоковой крупновростковой графической», а образца из Тулуна (табл. VIII, д) — «среднеблоковой микровростковой до мелковростковой графической». Обращаем внимание на то, что ихтиоглипты в образце из Тулуна видны в продольном сечении, поэтому толщина их замеряется по короткой оси среза.

Для пегматитов хрусталеносного типа наиболее характерны микро- и мелковростковые письменные пегматиты. Пегматиты, расположенные между хрусталеносными и редкометальными, характеризуются в основном средне- и крупновростковыми ихтиоглиптами в письменных сростаниях. В обоих типах наблюдаются отклонения от этих усредненных стандартных размеров. Размер вростков в письменных блоках обычно увеличивается от периферии к центру пегматитовых тел.

Размер блоков письменного полевого шпата в обоих типах пегматитов также увеличивается от мелкозернистых (на периферии зоны с письменными агрегатами) до среднеблоковых — по направлению к ядерным зонам.

О секториальном строении классических письменных пегматитов

А. Е. Ферсман и его сторонники одним из главных аргументов в пользу своих построений выдвинули тезис о секториальном расположении ихтиоглиптов в каждом моноблоке полевого шпата.

Однако противники генетических взглядов Ферсмана отвергают и его кристалломорфологические построения: в частности, ими отрицается полностью или для большинства случаев положение о приуроченности отдельных «стай» ихтиоглиптов к пирамидам роста полевого шпата. Этим самым отрицается индуктирующая (в понимании Ферсмана) роль данных пирамид роста.

Для того чтобы убедиться в правильности оспаривавшегося положения, необходимо было выяснить на фактическом материале два вопроса: 1) определить, существует ли соответствие плоскостей индукции граням полевого шпата, и 2) нормальны ли удлинения ихтиоглиптов к плоскостям индукции.

Первый вопрос имеет кардинальное значение для обоснования индукционной модели. Положение плоскостей индукции определялось по ориентировке индукционных штрихов на ихтиоглиптах данной стай. Наши наблюдения полностью подтвердили тезис о том, что в одном блоке полевого шпата можно выделять группы ихтиоглиптов, для которых на всех псевдогранях все штрихи параллельны какой-то одной плоскости. В большинстве случаев этими плоскостями оказались грани (001), (010) и $(\bar{2}01)$, на что ранее указывали А. Е. Ферсман (1940) и Б. В. Чесноков (1963), используя материал из других районов. Параллельность штриховки ихтиоглиптов плоскостям спайности по (001) и (010) можно наблюдать непосредственно в образце. В друзовых письменных пегматитах непосредственно, а в обычных письменных пегматитах после проведения замеров на федоровском столике по методике, описанной выше нами, были обнаружены и другие менее распространенные плоскости индукции: по (110), $(\bar{1}10)$, $(\bar{1}01)$ и симметричным им противоположным граням.

В отдельных случаях, когда полевой шпат имеет плоскости отдельности и ирризации по $(\bar{2}01)$, параллельность индукционной штриховки с этой гранью также бывает видна непосредственно в образце. В некоторых полевых шпатах бывают заметны ирризация и отдельность по плоскостям псевдопризмы — (110) — $(\bar{1}10)$. В этом случае также отпадает необходимость в специальных замерах.

Так как штриховка строго параллельна граням монокристаллов полевого шпата, то по ней можно судить о расположении отдельных его пирамид роста, а в целом — о характере секториального строения конкретного полевошпатового моноблока с вростком кварца.

На табл. VIII, *д, е* благодаря секториальному расположению вростков кварца очень хорошо видно, что моноблоки полевого шпата сложены несколькими пирамидами роста.

В образце из Волини (Ферсмановский шток, табл. VIII, *е*) хорошо видны три сектора с резко обрывающимися вростками

кварца. В зоне полевого шпата, свободной от ихтиоглиптов, заметны следы трещин спайности по P (001), а в зоне с ихтиоглиптами отчетливо видны пертитовые вроски по (100). К наблюдателю образец обращен плоскостью, близкой к грани спайности по M (010). Приуроченные к этой пирамиде роста ихтиоглипты в сечении дают очень четкие поперечные сечения — многоугольники иероглифов (видны внизу образца). Ихтиоглипты резко обрываются по граням ($\bar{2}01$) и (110). Штриховка на вросках, приуроченных к пирамидам роста этих граней, также строго параллельна им. Пирамида роста по ($\bar{2}01$) видна справа, а по (110) — слева (в центральной части образца). Ихтиоглипты, индуцируемые гранью ($\bar{2}01$), сколоты вдоль удлинения, они имеют трубчатую форму и в некоторых виден включенный в них полевой шпат. Широкие ихтиоглипты, индуцируемые гранью (110), не расколоты, а на их поверхности видна индукционная штриховка.

В образце из Тулуна, табл. VIII, *д*, кроме штриховки на ихтиоглиптах, секториальность в строении образца подчеркивается одновременными ритмичными раздувами иероглифов, приуроченных к граням полевого шпата (001), (021) и (010). В конце каждого ритма в месте раздувов ихтиоглипты приобретают трубчатое строение. Каждый новый ритм начинается интенсивным эпитактическим зародышеванием кварца и ростом мелких, постепенно укрупняющихся, ихтиоглиптов. Образец имеет субиндивидуальное строение. Слева сверху видно сечение пирамиды роста грани (001). К ней примыкают пирамиды роста (021) и (010) и снова (021) и (010). Образец пришлифован к плоскости, близкой к (110).

Ритмичность в строении вросков наряду с ориентировкой штрихов на псевдогранях также облегчает определение плоскостей индукции. Можно различать два типа ритмичности — локальную и зональную.

Локальная (осцилляционная) ритмичность в строении вроски охватывает лишь псевдограницы данного ихтиоглипта, приводя к пережигам или раздувам тела вроски; на соседних ихтиоглиптах эти осцилляции могут не проявляться. Общая для всех вросков ритмичность в этом случае отсутствует.

Зональная ритмичность проявляется сразу на всех вросках в пределах одной или нескольких зон кристаллов полевого шпата. Отдельные ритмы могут завершаться полным прекращением роста кварца. По данным В. А. Дворкина-Самарского, свойства полевого шпата, продолжающегося при этом расти, остаются сходными с более ранним и более поздним письменным полевым шпатом других ритмов. Такие зонально-ритмичные структуры весьма редки.

В рядовых образцах секториальность в строении письменных пегматитов нередко выявляется одновременным и окончатель-

ным резким прекращением роста ихтиоглиптов сразу в нескольких пирамидах роста полевого шпата. Плоскости обрыва ихтиоглиптов также соответствуют главнейшим граням полевого шпата (табл. VIII, е). Поверхности «обрыва» ихтиоглиптов, по нашим наблюдениям, нередко покрыты серией индукционных штрихов в виде оконтуривающих друг друга взаимно подобных многоугольников, линии которых параллельны индукционным штрихам на псевдогранях либо представлены плоскими, либо выпуклыми неискривленными поверхностями. Очень важный в генетическом отношении обрыв ихтиоглиптов наблюдал Б. В. Чесноков (1963). Он впервые отметил, что в таких обрывах встречаются головки ихтиоглиптов, погруженные в полевого шпат. А ведь отсутствие таких головок считалось (Дрешер-Каден, 1948) одним из главных аргументов несостоятельности модели Ферсмана.

Все же образцы с типичным секториальным строением относительно редки. Наибольшим распространением пользуются такие письменные пегматиты, в которых основной объем блока полевого шпата представлен лишь одной или двумя пирамидами роста, остальные же угнетены или отсутствуют из-за роста соседних моноблоков полевого шпата с письменными вростками. Однако и в таких образцах ихтиоглипты расположены не беспорядочно, а в строгом соответствии с секторами полевого шпата. Индукционная штриховка здесь также имеет плоскостной характер и строго параллельна важнейшим граням полевого шпата.

Вопрос об удлинении вростков менее сложен. Попытки приписать А. Е. Ферсману представление, будто вростки всегда имеют удлинение, строго нормальное к плоскости индукции, — несостоятельны. Речь шла лишь о тенденции к такой ориентировке.

Согласно нашим наблюдениям, такая тенденция действительно существует. Чаще всего вростки имеют удлинение, близкое к нормальному относительно граней (201), (001) и (010). В частности, ориентировки удлиненных вростков, близкие к нормали (201), отмечались и В. Д. Никитиным. Однако, как указывалось выше, нередко наблюдаются отклонения в разные стороны от «нормального» положения, иногда весьма значительные (табл. VIII, б). Реже встречаются образцы, для которых характерно отклонение осей удлинения всех ихтиоглиптов данной стай в одну сторону от соответствующих плоскостям индукции нормалей.

Обычно к каждой пирамиде роста полевого шпата приурочены ихтиоглипты с одинаковой эпитаксической ориентировкой. В этом случае все они сходны в морфологическом отношении. Все ихтиоглипты в соседних пирамидах роста, имея иную морфологию, чаще сохраняют ту же эпитаксическую ориентировку, хотя могут иметь и другую.

Гораздо реже встречаются случаи, когда к одной и той же пирамиде роста полевого шпата приурочены вростки с различной кристаллографической ориентировкой. Все эти ориентировки эпитактичны, а не случайны, о чем свидетельствует наличие одновременно многих вростков с одинаковым погасанием, причем ихтиоглипты с одинаковой ориентировкой имеют однотипное строение и морфологически отличаются от ихтиоглиптов с другой ориентировкой. Но особенно важно то, что независимо от взаимной ориентировки решеток кварца и полевого шпата штриховка на всех ихтиоглиптах, приуроченных к данной пирамиде роста, строго параллельна плоскости индукции, а удлинение — близко к нормальному.

Таким образом, тезис о строгой параллельности индукционных штриховок на ихтиоглиптах данной стаи определенным граням индукции полевого шпата, согласно нашим наблюдениям, соблюдается для всех классических письменных пегматитов. Этим самым подтверждается фундаментальное положение Ферсмана об одновременной кристаллизации кварца и полевого шпата в классических письменных агрегатах. В пользу этого же положения говорят следующие факты: 1) стаи однотипных ихтиоглиптов приурочены только к конкретным пирамидам роста полевого шпата. Ихтиоглипты этих стай почти никогда не выходят за пределы соответствующих пирамид роста; 2) существует тенденция к ориентированию осей удлинения ихтиоглиптов нормально к плоскостям индукции; 3) в исключительно редких случаях выхода ихтиоглиптов из одной пирамиды роста полевого шпата в другую одновременно происходит изменение плоскости штриховок и появляется коленчатый изгиб кварцевого вростка; 4) ихтиоглипты, находящиеся на контакте двух пирамид роста полевого шпата, характеризуются полиплоскостной штриховкой, т. е. штрихи на псевдогранях обеих половин ихтиоглипта параллельны соответственно двум граням индукции полевого шпата; 5) в случаях резкого обрыва, т. е. одновременного прекращения роста ихтиоглиптов, такой обрыв происходит по плоскостям, строго параллельным граням полевого шпата, исключая случаи, когда полевошпатовая зона формируется при процессах замещения (ранняя микроклинизация).

Особенности строения зерен и блоков полевого шпата в классических письменных агрегатах

В классических письменных пегматитах моноблоки полевого шпата с ихтиоглиптами макроскопически характеризуются более или менее изометрическими очертаниями. Соседние блоки очень крепко спаяны, поэтому разбить образец по контакту моноблоков довольно трудно. Контактная поверхность полиплоскостная индукционная, так как штриховка обусловлена

взаимодействием нескольких по-разному ориентированных блоков полевого шпата.

Внутреннее строение большинства моноблоков характеризуется преобладанием (в объемном отношении) пирамиды роста грани $(\bar{2}01)$ над пирамидами роста других граней. Еще в большей степени это относится к родственной разновидности индукционных письменных пегматитов — лучисто-венчиковой графике. Это обусловлено геометрическим отбором и преобладающим разрастанием кристаллов полевого шпата вдоль оси a , характерным для ранних стадий пегматитового процесса, что ранее отмечалось Г. Н. Вертушковым (1954) и Б. В. Чесноковым (1963). Эта особенность роста полевого шпата иногда сохраняется даже для кристаллов, выросших в занорышах.

На более поздних стадиях кристаллизации собственно письменных пегматитов и особенно в друзовых письменных пегматитах разрастание кристаллов полевого шпата обусловлено геометрическим отбором по оси c , причем такие друзовые кристаллы характеризуются большей полногранностью. Явное преобладание одних пирамид роста над другими в кристаллах второго типа отсутствует. Тенденция в смене первого типа облика полевого шпата вторым отмечалась многими исследователями, но наиболее четко сформулирована Б. В. Чесноковым (1963).

Присутствие в занорышах кристаллов полевого шпата I и II типов свидетельствует о широком интервале условий, при которых может происходить занорышеобразование. Этот вывод, обоснованный кристаллографическими наблюдениями, полностью подтверждается и результатами изучения включений в минералах из занорышей.

В детально исследованных классических письменных пегматитах полевой шпат представлен существенно калиевыми разновидностями, обычно микроклин-пертитом и ортоклаз-пертитом. Первичные кварц-плагиоклазовые письменные пегматиты с индукционными ихтиоглиптами в изучавшихся типах пегматитов (хрусталеносных и промежуточных между хрусталеносными и редкометальными) не встречены.

В пегматитах Борщовочного кряжа нами обнаружены макроскопически видимые вторичные кварц-плагиоклазовые (антипертитовые) закономерные сростания, образовавшиеся при альбитизации микроклин-пертита. Интересно, что кварцевые вrostки, переходя из пертита в антипертитовые зонки, полностью сохраняют свою индукционную огранку. Антипертитовые участки наблюдались также под микроскопом в блоках письменных сростаний из Слюдянки (Прибайкалье) в редкометальных пегматитах.

Кроме того, автор ознакомился с представленной Б. М. Шмакиным (Иркутский филиал СО АН СССР) коллекцией плагиоклазовой графики из мусковитоносных мамских пегмати-

тов. Полевой шпат в этих образцах представлен стекловидным, мозаичным, кислым плагиоклазом белого цвета. В отличие от микроклина, на спайной поверхности (001) плагиоклаза всегда видны двойниковые швы (за счет несовпадения граней (001) при двойниковании по альбитовому закону). В просмотренных образцах штриховка на ихтиоглиптах выражена очень нечетко и письменные агрегаты часто имеют неяснографический облик. Поэтому делать выводы даже об особенностях секториального строения плагиоклазовой графики преждевременно.

Детально изучались обычные микроклин-пертитовые и ортоклаз-пертитовые кварцевые письменные пегматиты. Микроклин-пертиты в письменных пегматитах, как правило, сдвойникованы, ортоклаз-пертиты обычно не сдвойникованы. Участки с моноклинными непертитизированными и несдвойникованными разновидностями калишпатов в исследованных нами образцах встречаются лишь в письменных пегматитах из Ильмен. Макроскопически они представлены пятнами серого, слабо ирризирующего ортоклаза, на фоне серовато-белого микроклина.

Микроклин-пертит — главнейший минерал-хозяин классических письменных вкрастаний в хрусталеносных пегматитах. В различных месторождениях микроклины различаются по характеру двойникования, а также по размерам и морфологии пертитовых вростков. Ортоклаз-пертиты более обычны для редкометалльно-хрусталеносных пегматитов (типа пегматитов Борщевочного кража и Урала, описанных А. Е. Ферсманом).

Пегматиты с лучисто-венчиковой графической структурой

Лучисто-венчиковые графические агрегаты (лучисто-венчиковая графика) являются разновидностью классических письменных агрегатов.

Зерна полевого шпата, включающие кварцевые вростки, в лучисто-венчиковых графических сростаниях имеют субпараллельную ориентировку и удлиненную форму.

Ихтиоглипты в пределах письменного зерна калишпата сгруппированы в систему веерообразно расходящихся венчиков. В сечениях, параллельных удлинению вростков, лучисто-венчиковая графика поэтому напоминает ледяные узоры (на окнах).

В каждое зерно полевого шпата включены кварцевые вростки, индуцируемые лишь одной-двумя гранями индукции. Вростки имеют типичную индукционную плоскостную штриховку.

В сечениях, параллельных индукционной штриховке, и в других срезах, близких к поперечным, ихтиоглипты лучисто-венчиковой графики имеют, наряду с типичными для классических письменных сростаний прямолинейными иероглифами, также и

криволинейные очертания. Однако проявление на поверхности всех вростков исключительно плоскостной штриховки и зависимость направления удлинения вростков от ориентировки включающих их зерен полевых шпатов не оставляют никаких сомнений в одновременном индукционном росте кварца и полевого шпата таких сростаний.

Обычная форма лучисто-венчиковых ихтиоглиптов нитеобразная, тонкоигольчатая, волнистая, реже тонкопластинчатая. Во многих случаях индукционная штриховка проходит не строго нормально к направлению удлинения вростков. Отклонение штриховки от нормального положения совпадает с отклонением осей пирамид роста полевого шпата от идеального положения. Все пирамиды роста полевого шпата здесь скошены. Это объясняется их взаимодействием с соседними зернами полевого шпата в момент роста агрегата. Оставшиеся при геометрическом отборе пирамиды роста могли развиваться лишь в направлении, свободном от других растущих зерен.

Примечательно, что удлинения зерен полевого шпата и заключенных в них кварцевых вростков статистически ориентированы приблизительно нормально к плоскости контакта пегматитовых тел. Особенно четко эта ориентировка видна в небольших шлировых телах, например, в мелких пегматитах Қаибского и Джелтаусского плутонов в Голодной степи. В крупных телах эта ориентировка перестает фиксировать направление внешнего контакта, ибо контакты зон внутри пегматитовых тел не строго параллельны с внешними контактами. Об этом же свидетельствует неравномерная мощность различных зон в пегматитовых телах.

Формирование лучисто-венчиковой графики соответствует стадии отбора и друзового роста (по Д. П. Григорьеву) агрегата зерен полевого шпата с одновременно врастающими в них ихтиоглиптами кварца. Рост агрегата завершается на стадии параллельно-шестоватого роста. Лучисто-венчиковая графика обычно постепенно переходит в обыкновенную графику.

Морфологические соотношения вростков кварца с полевым шпатом, а также между соседними графическими зернами полевых шпатов в лучисто-венчиковых агрегатах, особенно в больших пегматитовых телах, нередко затушевываются вторичными процессами альбитизации, хотя общий лучистый рисунок агрегата при этом сохраняется. Это связано со значительно большей, чем в классических письменных агрегатах, суммарной поверхностью контактов между зернами полевого шпата и другими структурными особенностями лучисто-венчиковой графики, которые повышают проницаемость агрегата для постмагматических растворов.

В заключение главы II дадим краткую характеристику другов разновидностей письменных пегматитов.

Пегматоидно-графические пегматиты

Пегматоидно-графические агрегаты являются переходными от графических (классических и скелетно-графических агрегатов) к пегматоидным неграфическим. Поэтому в одних случаях морфологически они близки к скелетно-графическим сростаниям (промежуточная разновидность таких агрегатов изображена на табл. VII, з). Вростки кварца изометричны, закономерно ориентированы во включающем их полевоом шпате и имеют преимущественно собственную, характерную для кварца огранку. Иногда ихтиоглипты пегматоидной графики разрастаются в кристаллы с хорошо оформленными гранями. Индукционные и чуждые огранке кварца прожилковые и заливообразные формы окварцевания имеют подчиненное значение, хотя в целом огранка вростков является комбинированной.

В других случаях преобладают индукционные формы (полиплоскостная индукция), которые свидетельствуют об одновременном развитии кварца и полевого шпата в таких пегматоидно-графических агрегатах. Индукционные формы также могут усложняться прожилковыми и заливообразными формами (табл. VIII, в). Ихтиоглипты данной разновидности пегматоидно-графических агрегатов в отличие от предыдущей имеют несолько удлиненную, но близкую к изометричной, форму. Интересно, что аналогичная индукционная полиплоскостная штриховка характерна и для некоторых пегматоидных и блоковых агрегатов, что также свидетельствует об одновременном их развитии, хотя некоторые исследователи (Родионов, 1954, и др.) считают, что кварц в «переходных» пегматоидных и блоковых агрегатах всегда развивается позже полевого шпата.

В образования, переходные между графическими и пегматоидными, обычно объединяются агрегаты, среди которых нами различаются скелетно-графические, пегматоидно-графические и близкие к ним прожилково-кварцевые сростания. Термин «переходные пегматиты» введен Н. В. Петровской (1937). Впервые детальные описания сходных агрегатов стали известны по работам исследователей слюдоносных пегматитов — Д. С. Коржинского (1937), предложившего термин «апографический» для обозначения промежуточной послеграфической структурной разновидности кварц-полевошпатовых сростаний, и В. Д. Никитина (1950, 1952), назвавшего их письменными агрегатами II типа или сегрегационными агрегатами.

Эти исследователи считали кварц и полевоый шпат в основном одновременными образованиями, однако учитывали и неоднородный характер таких агрегатов, ибо объединяли продукты перекристаллизации и продукты более позднего кварцевого (или кварц-мусковитового) замещения.

Г. Г. Родионов (1954) отрицает переходный характер этих агрегатов. Особое внимание он обращает на характерные для апографических агрегатов вторичные кварцевые прожилки в полевом шпате и считает, что в таких вторичных агрегатах «ограничения кварца и полевого шпата определяются процессами замещения». Округлые вроски кварца, согласно Родионову, также образуются не при совместном росте кварца и полевого шпата в процессе их сегрегации, а исключительно при развитии окварцевания «на границе вросток кварца графических структур, при этом кварцевые вроски, разрастаясь, теряют правильные ограничения».

В случае, когда кварцевые вроски формируются преимущественно после полевого шпата, они характеризуются чуждой кварцу амебовидной формой, нередко с системами кварцевых прожилков. Часто кварц имеет мозаичное строение. Эти разновидности родственны с рассматриваемыми ниже прожилково-кварцевыми письменными и псевдописьменными сростаниями. Интересно, что в таких агрегатах, сложенных разновозрастными индивидами (более ранним полевым шпатом и более поздним кварцем), нередко присутствуют другие в общем чуждые минералы: гранат, турмалин, слюда (например, в пегматоидно-графических сростаниях из Савватеево, Борщевочный кряж).

Пегматиты с прожилково-кварцевыми письменными структурами

Подобно всем письменным сростаниям, прожилково-кварцевые агрегаты характеризуются закономерно ориентированными «вростками» кварца в моноблочном полевым шпате. Вростки имеют форму прожилков. Этот признак — закономерность ориентировки вросток — позволяет рассматривать закономерные прожилково-кварцевые агрегаты совместно с другими разновидностями письменных агрегатов. Встречаются простые одиночные прожилки, но преобладают разветвляющиеся и сложно переплетающиеся системы, местами переходящие в участки лишь с реликтами полевого шпата (антиграфические агрегаты, табл. XII, б). В отличие от всех других разновидностей письменных структур (за исключением некоторых пегматоидно-графических и скелетно-графических) в описываемых агрегатах, кварц и полевой шпат — одновременные образования. Кварц прожилково-кварцевых псевдописьменных пегматитов является явно более поздним образованием по отношению к полевоому шпату. Он отлагается по неправильным трещинкам в последнем, которые совсем не обязательно соответствуют направлениям спайности, а также развивается непосредственно путем замещения полевого шпата. Такие сростания макроскопически нами наблюдались в образцах из Волинских пегматитов, в

которых они детально (микроскопия) исследованы Л. А. Приказчиковым (1959). К сожалению, в полевых условиях непосредственно в пегматитовых телах Волыни соотношения их с другими структурами нами не наблюдались. По данным Л. А. Приказчикова, они связаны с поспайным окварцеванием блокового полевого шпата (замещение по плоскостям спайности полевого шпата).

Родственные структуры встречены в образце из пегматитовой жилы в Слюдянке (участок «5-я заявка»), сложенном в основном крупноростковыми классическими письменными сростаниями. Тонкопрожилковые вростки кварца по сравнению с классическими здесь развиты в резко подчиненном количестве. Прожилки примыкают к обыкновенным классическим ихтиоглиптам с индукционной штриховкой. Закономерная ориентировка кварца в прожилках обусловлена именно ориентирующим влиянием ихтиоглиптов, играющих роль затравки, т. е. является унаследованной.

Морфология кварцевых вростков-прожилков определяется лишь формой стенок трещин и зон замещения, к которым они приурочены, и чужда кварцу. Индукционная штриховка не наблюдается.

Для пегматитов Забайкалья и Казахстана аналогичные структуры мало характерны, хотя процессы окварцевания в них проявлены очень хорошо. Здесь новообразующиеся кварцевые обособления в полевом шпате имеют незакономерную ориентировку, а поэтому не могут относиться к письменным.

Исследователи, признававшие широкое распространение прожилковых письменных структур, неоправданно преувеличивали их удельный вес среди прочих разновидностей письменных сростаний. Они не учитывали, что, помимо прожилково-кварцевых ихтиоглиптов, жилкообразное строение в некоторых сечениях могут иметь ихтиоглипты других разновидностей письменных пегматитов. Такое строение часто наблюдается в продольных сечениях классических индукционных ихтиоглиптов. На основании этого формального признака некоторые исследователи (Одикадзе, 1965 и др.) переносят механизм метасоматического развития жилок кварца в полевом шпате и на подобные классические письменные сростания. Кроме того, гипотеза метасоматического происхождения классических письменных сростаний базировалась на находках письменных агрегатов с уплощенными вростками, ориентированными точно или приблизительно параллельно плоскости спайности (Drescher-Kaden, Wahlstrom). Внешние морфологические особенности таких ихтиоглиптов (штриховка, угловые соотношения между индукционными ребрами на примыкающих псевдогранях) критически не анализировались. Однако и противники магматического генезиса индукционных письменных сростаний (Никитин, 1958, и др.) путем

несложного анализа показали, что в обычных широко распространенных (классических) письменных агрегатах кварцевые вростки с четкой штриховкой не могли образоваться путем метасоматоза. Нет необходимости еще раз повторять эти доказательства.

Еще раз подчеркнем, что настоящие метасоматические незакономерные прожилково-кварцевые письменные сростания — явление довольно редкое. В морфологическом отношении они не представляют особого интереса, поэтому ограничимся приведенным выше коротким обзором.

Структурно-неоднородные агрегаты с графическими сростаниями

Общая характеристика и подразделение графических сростаний в структурно-неоднородных радиально-графических и порфириовидно-графических агрегатах даны выше. Обе разновидности встречаются совместно с классическими письменными агрегатами в периферических зонах пегматитовых тел.

Пегматиты с радиально-графической структурой

Радиально-графические пегматиты (радиальная графика) характеризуются наличием радиальных шаровидных кварц-полевошпатовых образований, погруженных в агрегаты с гранитной или обыкновенно-графической структурой, а чаще — в агрегаты с неагнографической структурой, переходной от гранитной или аплитовидной к графической (табл. IX, а).

Среди радиально-графических агрегатов встречаются шаровые обособления двух типов. Первые представлены моноблоками полевого шпата с секториальным расположением вростков. Шаровые обособления второго типа представлены радиальными обособлениями нескольких блоков полевого шпата с включенными в них письменными вростками. Вростки в обоих случаях имеют радиальное расположение. Письменные шаровые образования обоих типов (в частности, морфология ихтиоглиптов) характеризуются всеми признаками, типичными для классических письменных пегматитов.

Особый интерес представляет секториальное шаровое образование. В последних каждый сектор (точнее пирамида роста) полевого шпата включает группу однотипных кварцевых вростков, имеющих одинаковую кристаллографическую ориентировку, а поэтому одновременно погасающих в скрещенных николях. Вростки имеют индукционную плоскостную штриховку и удлинены примерно по нормали к грани индукции полевого шпата, которая образует данную пирамиду роста. Примечательно, что строго нормальную к грани индукции ориентировку обычно

имеют лишь кварцевые вроски, расположенные в осевой части пирамиды роста минерала-хозяина. Вроски, расположенные вблизи границ с соседними пирамидами роста, нередко отклоняются в их сторону, что несколько затушевывает проявление секториальности и придает типичный радиальный облик этим письменным обособлениям.

В зависимости от направления среза относительно плоскостей индукции шаровые образования дают различный рисунок сечения. Если срез проходит нормально к плоскости индукции, то мы видим продольные нитеобразные сечения радиально-расходящихся ихтиоглиптов. Срез, проходящий параллельно плоскости индукции, вскрывает поперечные сечения ихтиоглиптов, которые аналогичны главным сечениям классических письменных пегматитов.

Характер срезов зависит и от уровня сечения шаровых образований. Срезы, проходящие вблизи центра шаровых образований, в основном вскрывают продольные сечения ихтиоглиптов, и шаровое образование в сечении имеет типичное радиальное строение. Срезы, затрагивающие периферические зоны шаровых образований, секут большинство пирамид роста полевого шпата под небольшими углами (по отношению к образующим граням пирамид роста). В таких срезах обнажаются сечения вросков, близкие к поперечным, и лишь на периферии среза шарового образования находятся вроски, сечения которых расположены радиально. В срезе агрегат приобретает концентрически-радиальное строение. Структура шаровых образований варьирует от секториальной микрографической до секториальной среднеграфической.

Агрегаты, в которые погружены шаровые образования, характеризуются петельчатой текстурой. Эти агрегаты играют роль основной массы, а шаровые агрегаты — роль порфиоровидных «вкрапленников». В отдельных случаях шаровые образования непосредственно контактируют друг с другом, так что «основная масса» исчезает почти полностью. Зерна кварца основной массы почти всегда более крупные по сравнению с ихтиоглиптами в радиальных обособлениях. Структура основной массы варьирует от письменной до гранитной.

Если основная масса образует письменные агрегаты, то число вросков в каждом зерне полевого шпата небольшое. Форма их угловато-изометричная, чаще образуются неяснографические агрегаты. Зерна кварца и полевого шпата в них соизмеримы по величине.

Нередки переходы к гранитной структуре с изометричными зернами полевого шпата и ксеноморфными зернами кварца. В некоторых разновидностях «основной массы» с гранитной структурой кварц имеет ихтиоглиптоподобную форму, т. е. образуются псевдописьменные (псевдографические) структуры. От

неяснографических они отличаются незакономерной ориентировкой зерен кварца и полевого шпата.

Радиально-графические структуры до некоторой степени родственны порфировидно-графическим и поэтому нередко встречаются промежуточные структуры. В основную массу порфировидных радиально-графических агрегатов наряду с крупными шаровыми образованиями заключены более мелкие вкрапленники, представленные обычным кварцем, реже калишпатом. Такие вкрапленники иногда имеют скелетное строение.

Из соотношений шаровых образований и зерен основной массы в радиально-графических образованиях можно сделать вывод, что начало развития радиальной графики соответствует стадии отдельного роста (по Д. П. Григорьеву, 1961) секториальных зерен полевого шпата с включенным в них кварцем. Радиальные графические обособления полевого шпата практически не проходят стадии геометрического отбора, характерной, например, для лучисто-венчиковой графики. Весь процесс роста секториальных обособлений завершился до или на стадии соприкосновения. Вростки кварца в секториальном полевоом шпате находились в непрерывном взаимодействии с одновременно растущим полевым шпатом.

Порфировидно-графические пегматиты

Порфировидно-графические агрегаты четко отражают двухэтапность (в отдельных случаях — многоэтапность) их возникновения. Они подобны гранофирам и прочим порфировидным агрегатам. В пегматитах порфировидно-графические структуры нередко сочетаются с порфировидно-аплитовидными и переходят друг в друга через структурно-промежуточные неяснографические образования.

В структурном отношении порфировидно-письменные пегматиты можно было бы назвать гранофировыми. Однако трактовка этого термина слишком неоднозначна и противоречива. Нередко, вслед за Розенбушем (1896), термин «гранофировая» употребляется аналогично терминам «микрографическая», «микрорписьменная» или «микропегматитовая». Поэтому безусловно справедливыми были возражения В. Н. Лодочникова (1934), обратившего внимание на смысловое несоответствие такой трактовки значению слова (вторая часть слова указывает на отношение к порфировым или порфировидным структурам). По Лодочникову, термином «гранофировая» можно обозначать лишь структуры порфировых пород с микрографической основной массой.

Структура порфировидных макрографических пород (например порфировидных пегматитов) является «макрогранофировой». Однако, учитывая создавшуюся путаницу, по-видимому, все же лучше употреблять двойной термин «порфировидно-гра-

фическая» или «порфиroidно-письменная», ибо термин «макрогранофировая» всегда будет требовать добавочных разъяснений.

В изученных нами образцах порфиroidно-письменные пегматиты, в которых роль «вкрапленника» с нарастающим вокруг него письменным агрегатом играет кварц, в структурном отношении отличаются от таковых с вкрапленниками полевого шпата.

Последние более распространены и занимают как бы промежуточное положение между порфиroidно-письменными и обычными письменными разновидностями. Появление их связано с тем, что во многих классических письменных пегматитах полевого шпата, начиная кристаллизоваться ранее кварца, с какого-то момента продолжает расти совместно с ним. При этом письменный агрегат может нарастать на ранее выкристаллизовавшееся полевошпатовое ядро, ориентировка которого полностью наследуется «письменным» полевым шпатов.

Подобные же соотношения очень часто встречаются в гранофирах и в гранит-порфирах, где особенно четко можно наблюдать особенности секториального разрастания такого рода агрегатов. Порфиroidно-письменные пегматиты с полевошпатовыми «ядрами» структурно очень близки также и к шаровым секториальным обособлениям в радиально-графических пегматитах.

Еще более явный порфиroidный характер письменных агрегатов выступает в тех случаях, когда в них наблюдаются более ранние вкрапленники кварца. Исключительно четкие собственно порфиroidные письменные структуры выражены в некоторых пегматитовых телах Бектау-Атинского, Баян-Аульского и реже — Каибского и Джельтауского гранитных плутонов. В отличие от письменных пегматитов с полевошпатовыми «ядрами», ориентировка кварцевых вкрапленников не наследуется кварцевыми вросками нарастающего на них письменного агрегата. Кварцевые вкрапленники предствлены хорошо ограниченными кристаллами, в огранке которых значительную роль играет гексагональная призма (табл. IX 2). Нередко такие кристаллы имеют удлиненно-призматический габитус, достигая в длину 10 см и даже более. Кварц вкрапленников не всегда имеет монокристаллическое строение. Минерал нередко разбит на отдельные мозаичные блоки с очень сильным волнистым погасанием, особенно на контакте с письменным агрегатом.

На вкрапленники кварца нарастают удлиненные блоки письменного пегматита. Они имеют пирамидообразную форму. Вершины таких пирамид обращены к кварцевому стержню. В срезе агрегат имеет радиальный облик вследствие геометрического отбора блоков: те из них, которые ориентированы косо, вытеснялись блоками, ориентированными нормально к поверхности кварцевого вкрапленника. Кристаллографическая ориентировка

блоков полевого шпата неодинакова. Эпитаксические вроски кварца в разных блоках соответственно также имеют разную ориентировку, которая во всех случаях неодинакова с ориентировкой кварцевого «стержня». Такого рода порфиroidно-графические «солнца» либо соприкасаются с соседними «солнцами», либо погружены в графическую основную массу.

Реже встречаются аналогичные вкрапленники кварца с аплитовой оторочкой, в свою очередь погруженные в графическую основную массу. Интересно, что иногда аплит не только слагает оторочку, но и проникает по трещинкам непосредственно в порфиroidные кристаллы кварца. Такого рода структуры лишней раз убеждают нас в родственности аплитовых и классических письменных агрегатов.

Очень своеобразные образцы порфиroidных микрографических структур встречаются в пегматитах Баян-Аула. Они интересны тем, что в основную массу классической микрографической структуры погружены типичные скелетные вкрапленники кварца дипирамидального облика с ажурными реберными и гранными формами роста (табл. IX, б). Кварц имеет правильное симметричное строение и аналогичен скелетным кварцам из гранит-порфиров (Варганова, Лозюк, 1958). Ориентировка вкрапленников кварца и кварцевых микрографических вросков различна. Очень большое сходство такие порфиroidные микрографические структуры в пегматитах имеют с гранофиroidными структурами некоторых гранит-порфиров Каибского массива, в которых вкрапленники кварца также обладают чертами скелетных кристаллов.

Все эти образования интересны в том отношении, что наглядно иллюстрируют случаи, когда крупные и хорошо ограненные кристаллы, заключенные в более мелкозернистом агрегате, нельзя относить к так называемым «метакристаллам». Последние также имеют укрупненные размеры и хорошую огранку, но, в отличие от порфиroidных вкрапленников, являются более поздними образованиями по сравнению с агрегатами, в которых они находятся.

Основная масса порфиroidно-графических пегматитовых агрегатов может иметь не только классическую письменную, но и радиально-графическую структуру. Такие агрегаты с вкрапленниками кварца дипирамидального облика (нередко с некоторыми чертами скелетного строения) нами наблюдались в пегматитах Зерендинского плутона.

В заключение отметим, что не обязательно во всех разновидностях порфиroidно-графических структур порфиroidные вкрапленники являются более ранними по сравнению с письменной «основной» массой, находящейся на контакте с ними. Имеются в виду разновидности, переходные к ритмично-зональным (Повилайтис, 1961₁) структурам (текстурам?), в которых

наблюдается несколько генераций «вкрапленников»: более поздние генерации кварца соответствуют более поздним ритмам и образуются после кристаллизации письменных агрегатов более ранних ритмов. Каждый ритм начинается с кристаллизации зонки графического пегматита и завершается резким нарастанием на нее кристаллов порфиroidного кварца. Если таких кристаллов немного, то ритmicность в строении агрегатов заметна плохо, а сами кристаллы имеют вид «вкрапленников». В отличие от обычных вкрапленников, они представлены одноглавыми кристаллами кварца, головки которых ориентированы нормально к фронту кристаллизации и направлены к центру пегматитов.

Если подобных кристаллов много, то они, соприкасаясь, образуют кварцевую зонку, напоминающую «прожилок». В основании зонки обычно присутствует зона геометрического отбора (по Григорьеву, 1961). В этом случае наблюдаются типичные ритmicно-зональные структуры, подобные описанным М. М. Повилайтис (1961₁) и др. Зонки письменного пегматита в этих случаях обычно заменяются микрогранитным агрегатом, изредка с участками микрографического.

Подобные ритmicные текстуры с графическими агрегатами нами встречены в апикальных частях пегматитовых тел в Бектау-Атинском и Баян-Аульском плутонах. Они интересны в том отношении, что однозначно свидетельствуют о направленности кристаллизации агрегатов от периферии к центру пегматитовых тел.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВЫХ ТЕЛ, ИХ ПОЛЕЙ И ПЕГМАТИТОНОСНЫХ РАЙОНОВ

Особенность срastания пегматитов и их полей

Все изученные пегматиты относятся к зонально-дифференцированным. Зональность пегматитовых тел подчеркивается текстурными и структурными особенностями слагающих их агрегатов. Введение генетического признака как обязательного для разграничения так называемых зон от согласных тел замещения и прожилков не всегда целесообразно, ибо генезис соответствующих агрегатов не всегда можно установить в полевой обстановке. Разграничение хрусталеносных пегматитов на *зоны* нами производилось на основании структурно-минералогических признаков.

Количество зон в различных пегматитовых телах может варьировать в широких пределах. По числу зон обычно судят о степени дифференцированности тел (Власов, 1946; 1952). Помимо такого морфологического понимания этого термина, возможен минерало-генетический подход, согласно которому о степени дифференцированности тел следует судить по степени вещественного разделения слагающих их минералов (в основном кварца от полевого шпата). В отношении вещественной дифференциации наиболее дифференцированными будут пегматитовые тела, состоящие всего из двух зон — чисто полевошпатовой (внешней) и чисто кварцевой (внутренней). Лишь на периферии таких тел бывает развита реликтовая маломощная оторочка аплитовидных или графических агрегатов.

Наличие различных структурно-морфологических разновидностей письменных агрегатов, развитых в пегматитах, тесно связано с геологическим строением пегматитовых тел, особенно степенью их структурной (образование зон с различными структурами) и вещественной (разделение кварца и полевого шпата) дифференцированности.

В телах с хорошей структурной дифференциацией объем графических агрегатов, а также число различных структурно-

морфологических разновидностей максимальны. В отдельных телах встречаются все описанные выше разновидности.

В телах с хорошей вещественной дифференциацией классические графические агрегаты либо присутствуют в небольшом количестве, либо отсутствуют полностью. Для них более характерны скелетно-графические, пегматоидно-графические и прожилково-кварцевые графические агрегаты. Классические письменные пегматиты представлены лишь отдельными участками, а также отрицательно-графическими структурами с выщелоченным кварцем.

Кратко рассмотрим зональность тел с хорошей структурной и вещественной дифференциацией.

Обычный порядок расположения зон в изученных структурно-дифференцированных пегматитах при максимально возможном количестве зон следующий (от периферии к центру).

1. Зона агрегатов с аплитовидной структурой.
2. Зона агрегатов с пегматоидно-гранитной структурой.
3. Зона письменного пегматита (радиальная, порфиоровидная, лучисто-венчиковая, классическая графика).
4. Зона скелетно-графических и пегматоидно-графических агрегатов.
 - 5а. Зона полевошпатовых агрегатов, либо (и)
 - 5б. Зона пегматоидных и блоковых кварц-полевошпатовых агрегатов.
 6. Зона кварцевого ядра.
 7. Занорыши и их заполнение.

Зона агрегатов с аплитовидными структурами присутствует в большинстве структурно-дифференцированных пегматитовых тел. Аплитовидные зоны фациальных шлировых пегматитов, располагающихся в материнских гранитах, отличаются от подобных зон в пегматитах, расположенных в иных по составу породах, тем, что в них практически отсутствуют явления обогащения компонентами вмещающих пород. При внедрении пегматитов в породы, отличающиеся по составу от пегматитов, наблюдается обогащение биотитом, турмалином, плагиоклазом, гранатом и т. д. (Борщевочный кряж и другие районы).

Взаимодействие с вмещающими породами в зонах с пегматоидно-гранитными и тем более письменными структурами отражено на составе последних значительно слабее, что связано со сменой полиминеральных агрегатов преимущественно двумя-неральными. Расположенная еще ближе к центру тел зона переходных пегматоидно-графических структур присутствует не во всех пегматитах. При ее отсутствии зона классических графических агрегатов непосредственно контактирует либо с зоной 5а, либо с зоной 5б (объяснение см. в следующей главе). Блоковая зона 5б постепенно обогащается кварцем по направлению к ядерной зоне и переходит в чисто кварцевое ядро. В пегматитах

с гиганто-блоковыми структурами может быть несколько кварцевых «блоков-ядер».

Занорыши могут быть расположены как под кварцевым ядром, так и внутри него и в пределах других зон.

Наряду с прямой зональностью, соответствующей приведенной (см. табл. X, а, б), возможна и обратная зональность. Например, в апофизах-дайках с горизонтальным простиранием, ответвляющихся от главного тела, встречаются участки, где в кровле дайки с гранитом непосредственно контактирует зона письменных сростаний, а за ней следует аплитовидная зона (табл. X, в). Во многих случаях отклонения от прямой зональности связаны с явлениями омоложения и барометрическим режимом (трещинообразование и т. д.).

Мощность аплитовидных, пегматоидно-гранитных и графических зон в основании тел обычно больше, чем в кровле (вертикальная асимметрия зонального внутреннего строения).

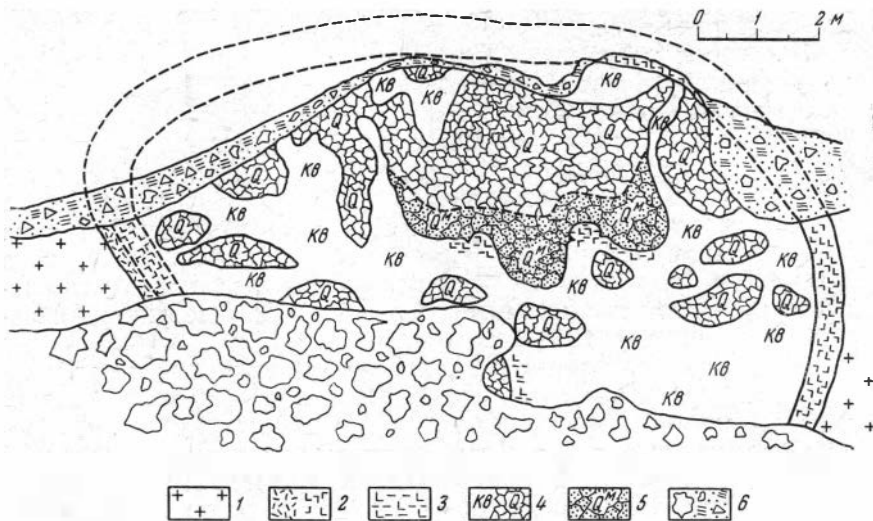
Пегматитовые тела с максимально выраженной вещественной дифференциацией в материнских гранитоидах обычно располагаются в участках с повышенной трещиноватостью, могут иметь всего две зоны: внешнюю — полевошпатовую — и внутреннюю — кварцевую. В таких телах также намечается вертикальная асимметрия: кварцевая зона обычно несколько смещена вверх в апикальные части тела (кварцевая шляпа). Здесь развита относительно маломощная полевошпатовая оторочка, в основании же тел располагается мощная зона полевого шпата, перекристаллизованного и неперекристаллизованного — с пустотами от растворенного кварца (отрицательная графика).

В кварцевой шляпе или отдельных гигантских блоках кварца на контакте с зоной измененного полевого шпата обычно наблюдается морионизация (фиг. 9). Морион нередко образует вдающиеся в полевой шпат хорошо ограненные метакристаллы.

Контакты большинства структурно-дифференцированных пегматитовых тел с вмещающими породами — четкие, но при увеличении степени вещественной дифференциации контактовая зона становится расплывчатой, ибо процессы метасоматоза, выщелачивания и перекристаллизации, приводящие к разделению вещества, захватывают и вмещающие граниты.

Пегматитовые тела, зональность которых обусловлена лишь структурной или вещественной дифференциацией, встречаются довольно редко. Обычно же процессы вещественной дифференциации в той или иной степени всегда развиты в структурно-дифференцированных пегматитах.

Морфологически большинство так называемых хрусталеносных пегматитовых тел имеет округлую караваеобразную форму, реже встречаются линзовидные и дайкообразные тела. Для типа пегматитов, расположенных между хрусталеносными и редкометальными, более характерны жильные и линзовидные тела.



Фиг. 9. Зональность в пегматитовом теле караваяобразной формы с начальной стадией вещественной дифференциации

1 — гранит; 2 — зоны с пегматоидно-гранитной и графической структурами; 3 — калишпат с пустотками от выщелоченных икхноглиптов («отрицательная графика»); 4 — блоки калишпата и кварца; 5 — зона блокового дымчатого кварца и мориона; 6 — отвалы, Кыринский гранитный массив (В. Забайкалье)

Группы пегматитовых тел (пегматитовые поля) в исследованных районах обычно приурочены к апикальным, сводовым участкам гранитных плутонов, с которыми устанавливается непосредственная генетическая связь всех изученных хрусталеносных пегматитов. Пегматиты промежуточного типа чаще приурочены к разрывным нарушениям в кровле плутонов.

Тема монографии не требует более подробных описаний в этом направлении. Детальное геологическое исследование хрусталеносных пегматитов в интересовавших нас гранитоидах Баян-Аульского и Зерендинского районов проведено С. И. Андриановой, Р. Д. Гаврилиным, Г. С. Катковским, М. Ф. Кузиным, И. К. Пацановским, Л. С. Путоловой, Н. И. Сенкевич, О. Е. Чижиком, Б. Д. Эфросом, и др.; Бектау-Атинского — Г. Д. Аэровым, С. П. Горским, И. В. Давиденко и др.; Каибского и Джельтауского районов — Ф. С. Неговеловым, В. Т. Пихтовниковым, В. Т. Семеренко, Р. Х. Файзулиным, С. Ш. Юсуповым; Кыринского и Борщевского — С. М. Бескиным, И. А. Конголиди, В. А. Сусликовым, Х. Христофоровой.

В заключение приведем схематическую геолого-структурную характеристику пегматитоносных массивов. Они также детально изучались большой группой геологов (В. В. Архангельская, Ю. А. Билибин, Н. П. Ермаков, А. Н. Ефимов, В. С. Коптев-

Дворников, Н. Г. Маркова, В. К. Монич, О. С. Полквой, Г. Г. Родионов, И. Е. Сморгков, Н. И. Тихомиров, Г. Н. Щерба и др.).

Баян-Аульский интрузив (Казахстан). Интрузив в плане имеет округлую, несколько вытянутую в северо-восточном направлении, форму. Площадь интрузива составляет 400 км². Интрузив является составной частью Ермен-Чингиз-Тарбагатайской складчатой системы. Массив расположен на юго-западном крыле крупной герцинской синклинали. Возраст массива позднегерцинский. Вмещающими породами являются эффузивно-осадочные породы палеозоя. Район изучался И. Г. Кассиным (1931), Л. М. Афанасьевой, О. П. Оглоблиным (1946), И. А. Севрюгиным (1954), В. К. Моничем (1957).

Массив имеет кольцевое строение. Периферийные участки сложены аляскитовыми гранитами, центральные — среднезернистыми порфиroidными биотитовыми гранитами (Катковский, 1962). Дополнительные интрузии — мелкозернистые аплитовидные граниты — секут обе зоны кольцевого интрузива. Жильные породы представлены гранит-аплитами, пегматитами, гранит-перфирами и диоритовыми лампрофирами.

Зерендинский интрузив (Казахстан) приурочен к ядру сводообразного Кокчетавского поднятия, площадь интрузива около 8500 км². Выделяются три интрузивных комплекса (Гаврилин, 1956; Серых, Ященко, 1963). Первый, наиболее древний комплекс представлен гранодиоритами и кварцевыми диоритами, второй — биотитовыми крупнозернистыми гранитами и, наконец, третий, наиболее молодой — порфиroidными лейкократовыми и аляскитовыми гранитами. Каждый из комплексов сопровождается серией жильных пород, отличающихся определенным составом.

Джельтауский интрузив (Казахстан) — наиболее крупный — около 1500 км², по В. С. Коптеву-Дворникову и О. С. Полквой (1956) — из интрузивов второго девонского комплекса гранитоидов Бет-Пак-Далы. По И. Г. Марковой, Джельтауский массив отделяет Сарытумскую зону разломов от Джалаир-Найманской зоны смятия, выделенной Д. И. Яковлевым. К северу и югу от Джалаир-Найманской зоны располагаются Балхаш-Моингинское и Чуйское поднятия. Джельтауский интрузив расположен на линии разломов, отсекающих его от Джалаир-Наймановской и Сарытумской зон. Главная фаза интрузива представлена лейкократовыми порфиroidными биотитовыми гранитами. Граниты рвут толщу осадочно-вулканических пород кембрия и ордовика, перекрываются покровами и прорываются (по О. С. Полквой) экструзиями кварцевых порфиroidов, относящихся к верхам среднего или низам верхнего девона. Жильные породы представлены жильными гранитами, аплитами, гранит-перфирами, пегматитами.

Каибский массив (Казахстан) площадью в 2250 км², по И. Г. Марковой (1956), относится к раннегерцинским интрузиям

комплекса гранитоидов Бет-Пак-Далы. Интрузив расположен к северо-востоку от Джалаир-Найманской зоны разломов в пределах Буруктавского антиклинория, сложенного отложениями архея и протерозоя. По мнению В. С. Коптева-Дворникова, путями для поднятия магмы Каибского интрузива явились разломы широтного простирания, пересекающие всю ширину антиклинория. По мнению В. С. Коптева-Дворникова, в Каибском массиве отсутствуют явления прототектоники, что свидетельствует о кристаллизации в относительно спокойных условиях после прохождения максимума складчатых движений. Горные породы главной интрузивной фазы — массивные, лейкократовые, биотитовые, слабопорфировидные граниты, местами близкие к аляскитам.

Жильные породы представлены жильными гранитами, пегматитами, гранит-порфирами, плагиогранит-порфирами, диорит-порфиритами, сиенит-порфирами, габбро-диабазами.

Бектау-Атинский массив (Казахстан) поздне-герцинского возраста обнажен на площади 200 км^2 и находится в 40 км севернее коагматичного с ним Восточно-Коунрадского массива (Монич, Зворыгина, Мелихов, 1962). Эндоконтактовые мелкозернистые граниты с участками микрописьменных агрегатов постепенно переходят в порфировидные и неравномернозернистые лейкократовые бедные биотитом граниты главной фазы. По данным Г. Д. Аэрова и др., граниты эндоконтактовой части встречаются и в центральной части выхода интрузива, что свидетельствует о малой глубине эрозионного среза. Как отметил А. Г. Гокоев (1949), кровля Бектау-Атинского массива была менее мощной, чем Коунрадского вследствие повышенного (на $400\text{—}500 \text{ м}$) гипсометрического уровня. Петрохимическая характеристика пород дана в работе В. К. Монич, Е. К. Зворыгиной и В. Д. Мелихова (1962). По данным этих авторов, микроклин (с 52% альбита, из них 30% в форме пертитовых вростков) из гранита равновесен с P_1 6-8. При одинаковом составе Бектау-Атинских и Восточно-Коунрадских гранитов первые характеризуются более высокой активностью Na. Это объясняется воздействием большего количества летучих и меньшей глубиной остывания.

Цаганолуевский комплекс (Забайкалье) выделен Ю. А. Библиным. Гранитные массивы этого комплекса приурочены к краевым разломам юрского геосинклинального прогиба. Размеры интрузивов достигают 1000 км^2 . Контакты интрузивов с вмещающими породами, секущие (Сморчков, 1953). Возраст интрузий устанавливается по взаимоотношениям со вмещающими породами. Граниты Халденского массива прорывают отложения перми; Борщевочного интрузива — немые палеозойские толщи; Цаганолуевский массив прорывает толщу средней юры. Абсолютный возраст, определенный аргоновым методом, составил 142 млн. лет . Состав гранитов меняется от лейкократовых

и меланократовых гранитов до гранодиоритов. Две фазы внедрения гранитов комплекса объясняются высоким содержанием летучих в магме и беспокойной тектонической обстановкой. Большая часть пегматитов обладает секущими контактами. Пегматитовые жилы затронуты процессами альбитизации и грейзенизации.

Кыринский комплекс (Забайкалье) выделен Н. И. Тихомировым (1962). Крупные массивы имеют размер 50×150 км. Внедрение массивов проходило по разломам северо-восточного, широтного и северо-западного простираний. Контакты массивов с вмещающими породами секущие. Район развития пород комплекса расположен в пределах юго-западной части герцинской зоны и юго-западной части зоны юрского прогиба. Е. В. Барташев, Е. А. Беляков, А. Н. Ефимов и другие выделяют три (или четыре) фазы этого комплекса.

Первая фаза, представленная кварцевыми диоритами, диоритами, габбро-диоритами, признается не всеми исследователями. Вторая фаза представлена роговообманково-биотитовыми гранодиоритами, кварцевыми диоритами и диоритами. Породы третьей фазы представлены биотитовыми, роговообманково-биотитовыми гранодиоритами и андезиновыми гранитами. Лейкократовые и биотитовые гранодиориты слагают породы четвертой фации. Жильные породы представлены аплитами, лейкократовыми и биотитовыми гранитами и гранодиоритами (первый этап жильных пород?), лампрофирами, диорит-порфирами и гранодиорит-порфирами (второй этап). Пегматиты пространственно и генетически связаны с аплитами. Контактный метаморфизм песчано-сланцевых пород проявился в образовании роговиков и инъекционных сланцев. Породы кыринского комплекса прорывают и метаморфизуют пермо-карбоновые и верхнепермские породы. Наиболее вероятным временем внедрения пород комплекса является поздняя юра. Абсолютный возраст, определенный Н. И. Полевой и Н. И. Тихомировым, позволяет отнести кыринский комплекс к середине триаса.

В заключение еще раз подчеркнем, что для хрусталеносных пегматитов всегда устанавливается четкая связь с гранитами. Материнские для этих пегматитов граниты обычно имеют субщелочной состав, близкий к аляскитовым гранитам, и отличаются (несколько повышенным количеством щелочей при преобладании К над Na, резко повышенным количеством кремнезема, меньшим количеством кальция, магния и марганца) от гранитов, материнских для редкометалльных и слюдоносных пегматитов (Архангельская, 1964). Щелочная тенденция в составе этих гранитоидов детально разбирается К. Б. Заряновым (1960).

Приведенные данные характеризуют лишь в общих чертах особенности геологического строения пегматитов и пегматитоносных районов. Более детальное освещение этих вопросов лишь отвлекло бы от решения поставленной ниже узкой проблемы, касающейся стадийности пегматитового процесса и генезиса письменных пегматитов.

Г Л А В А IV

СТАДИЙНОСТЬ ПЕГМАТИТОВОГО ПРОЦЕССА (по геологическим и экспериментальным данным)

Генезис различных письменных агрегатов тесно связан с особенностями стадийного развития пегматитового процесса. О стадийности процессов, которые приводят к образованию хрусталеносных пегматитов, в целом можно судить по зональности пегматитовых тел. Однако присутствие согласных жил и тел замещения, слагающих так называемые псевдозоны, может усложнять зональность, и в этом случае последовательность расположения отдельных зон не будет полностью соответствовать времени их формирования, а следовательно, и строго не отражает стадийности процесса.

Отдельные вопросы стадийности и генезиса хрусталеносных пегматитов, рассматриваемые в монографии, разобраны в работах Ю. А. Долгова (1955, 1963, 1964, 1965_{1,2}) и сотрудников лаборатории минералообразующих растворов Института геологии и геофизики СО АН СССР Л. Ш. Базарова (1965) и И. Т. Бакуменко (1963, 1965₂), а также в совместных работах этих авторов.

Здесь отметим лишь основные, на наш взгляд наиболее важные, для понимания места и генезиса письменных агрегатов моменты, вскрытые при геологических наблюдениях (предыдущая глава), при исследовании включений в минералах из пегматитов и по результатам термолюминесцентного анализа кварца из различных зон пегматитовых тел, которые являются основой принятой нами схемы стадийного развития пегматитов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛЮЧЕНИЙ МИНЕРАЛООБРАЗУЮЩИХ СРЕД

Исследование включений минералообразующих сред, законсервированных в пегматитовых минералах, позволило объективно подойти к выявлению агрегатного состояния и химического состава этих сред и наметить рубежи температур и давлений всех стадий минералообразования пегматитового (в широком смысле

слова) процесса. Особый интерес представляло разграничение агрегатов, связанных с собственно магматической деятельностью, на которых не сказалось влияние более поздних процессов перекристаллизации, автотасоматоза и метасоматоза, от агрегатов, связанных с этими постмагматическими преобразованиями. Следующим важным вопросом, который удалось строго обосновать в результате изучения включений,— это место, время и масштабы проявления пневматолитовых и гидротермальных процессов и границы между ними.

Основные термодинамические характеристики минералообразующих растворов были получены при исследовании газово-жидких и жидко-газовых, по Н. П. Ермакову¹, включений. Поэтому до изложения результатов, полученных при изучении этих включений, необходимо дать краткую характеристику первичных и вторичных газовых и жидких включений и детальнее остановиться на некоторых затруднениях при выборе включений, пригодных для определения режима минералообразования.

Особенностей морфологии первичных и вторичных включений

Форма первичных включений

Образование морфологически различных первичных включений зависит от особенностей роста кристалла, которые определяются соотношением скоростей межфазовых процессов (процессов отложения вещества на поверхности кристалла) и диффузионных процессов (конвективной и молекулярной диффузии вещества к кристаллизационному дворику). В целом скорость процесса определяется скоростью медленной стадии его (Трейбус, 1963).

Плоские и уплощенные трубчатые первичные включения захватываются центральными частями граней кристалла, по-видимому, при диффузионном контроле (скелетный рост) и приурочены к отдельным зонам пирамид роста кристалла.

Трубчатые включения захватываются любой точкой пирамиды роста, по-видимому, при контроле роста кристалла межфазовыми процессами (дислокационный антискелетный рост), когда вещество диффундирует к кристаллизационному дворику быстрее, чем отлагается на кристалле. Трубчатые включения обычно ориентированы параллельно главной оси кристалла или

¹ Н. П. Ермаков газово-жидкими называет включения с преобладающей газовой фазой, жидко-газовыми — с преобладающей жидкой фазой. Чтобы не вносить путаницы в терминологию, подчеркиваем, что в монографии мы не пользуемся «обратной» терминологией В. А. Калужного, которая с лингвистической точки зрения, конечно, более правильна.

нормально к пирамидам роста (для кристаллов средних сингоний обычно параллельно к главной оси).

При приблизительно одинаковых скоростях диффузионных и межфазовых процессов залечиваются включения промежуточной формы. Индукционными поверхностями могут захватываться первичные включения неправильной формы.

Включения сохраняют свою первичную форму лишь в тех случаях, когда активность залеченных в кристалле растворов в связи с быстрой сменой режима минералообразования (особенно температуры) падает настолько, что они становятся неспособными переотлагать вещество минерала-хозяина. В противном случае включение приобретает негативную огранку. Соотношение негативных огранок с огранкой кристалла разобрано В. Н. Войцеховским и В. А. Мокиевским (1965).

Форма мнимовторичных и вторичных включений

В зависимости от времени, в течение которого захваченные минералом растворы сохраняли активность, т. е. свойства переносчика вещества, включения либо успевают приобрести негативную огранку минерала-хозяина, либо сохраняют неправильные очертания: лоскутовидные (или плоские у минералов с хорошей спайностью) и дендритовые — на начальных стадиях преобразования. Все мнимовторичные и вторичные включения четко приурочены к поверхностям залеченных трещин.

Общие замечания к исследованию включений

Методика работы с включениями (основы баротермометрии) описана в ряде руководств (Ермаков, 1950; Калюжный, 1960; Лесняк, 1964 и др.). В этом разделе мы остановимся лишь на некоторых предосторожностях, которые нами соблюдались при выборе материала для исследований.

Основной надежностью всех работ с первичными и вторичными включениями минералообразующих сред является предположение о *непроницаемости включений* (Ермаков, 1950). Поэтому при проведении опытов по гомогенизации и замораживанию нами всегда выбирались группы включений, которые позволяют сопоставлять результаты замеров.

Экспериментальная проверка герметичности включений в кварце была проведена Рихтером и Ингерсоном (Richter, Ingerson, 1954) и В. А. Калюжным (1958), которые, вопреки выводам Скиннера (Skinner, 1953), показали полную герметичность относительно бездефектных кристаллов кварца. Утечка растворов возможна лишь по трещинкам и дефект-каналам (Цинзерлинг, 1964). Такие негерметичные включения сразу же обнаруживаются при опытах гомогенизации.

Второе требование при определении нижнего температурного предела условий минералообразования по точкам гомогенизации включений заключается в предположении о *гомогенности захватываемого газового или жидкого раствора*¹.

При кристаллизации минерала ниже критических условий при значениях РТ, равных или близких к условиям двухфазового равновесия, это требование выполняется не всегда и связано с режимом минералообразования.

При более или менее стабильных условиях даже в области двухфазового равновесия газовая фаза достаточно быстро пространственно обособляется от жидкой, так что фактический рост минерала происходит в гомогенной среде.

При осцилляционном же режиме минералообразования в связи с явлениями вскипания жидкого раствора или сжижения газообразного раствора возможен захват гетерогенных аномальных включений (включений с аномальным соотношением фаз). Из такого рода первичных аномальных включений наиболее распространены включения с углекислотой. Аномальные включения легко обнаруживаются по различиям в фазовых соотношениях, что четко фиксируется также по температурам гомогенизации. Однако даже при явлениях вскипания весьма обычен захват не только гетерогенных, но и гомогенных сред.

К первичным аномальным включениям относятся также включения с сингенетичными минералами-спутниками, по Н. П. Ермакову (1950), захватываемыми *до изоляции* включения. При опытах по гомогенизации включений эти твердые фазы гомогенизировать нет необходимости: точкой гомогенизации следует считать точку исчезновения жидкой или газовой фазы. Аномальные включения с минералами-спутниками также легко отличаются от неаномальных включений с минералами-узниками, по Н. П. Ермакову (1950), выпадающими из пересыщенных растворов *после изоляции* включения. Для аномальных включений с минералами-спутниками характерно непостоянство относительных объемов твердых фаз. В большинстве случаев приходится иметь дело не с первичными, а со вторичными и мнимо-вторичными, по Н. П. Ермакову², включениями, тесно связанными с процессами консервации минералообразующей среды в трещинках, пересекающих минерал. Как показал Г. Г. Леммлейн (1951), заключенные в минерале в виде включений растворы при достаточной их активности способны переотлагать вещество на стенках включений, что приводит к расшнуровыванию трещинных полостей на более мелкие обособленные включения.

¹ Если гомогенный раствор захвачен вблизи двухфазовой области, давления и температуры, определяемые по моменту гомогенизации, соответствуют условиям минералообразования. В противном случае необходимо вводить «поправку на давление» (если оно известно!).

² В. Ф. Лесняк (1964) называет их первично-вторичными.

Для термобарометрических работ особое значение имеет момент изоляции включения друг от друга. Если такая изоляция наступит до гетерогенизации раствора внутри расшнуровывающейся полости, то все включения характеризуются одинаковыми фазовыми соотношениями и вполне пригодны для работы. Опыт исследователей минералообразующих растворов свидетельствует о том, что большинство вторичных включений обособлено в гомогенных условиях. Поэтому процессы переформирования стенок включений после их изоляции уже не могли сказываться ни на степени наполнения включений, ни на составе растворов, заключенных в них (за исключением отложения родственного вещества на стенках включения).

Однако в отдельных случаях явления расшнуровывания могут продолжаться после гетерогенизации раствора внутри расшнуровывающейся полости и могут возникнуть вторичные аномальные включения (гетерогенные, комбинированные). Например, вторичные аномальные включения с углекислотой часты в блоковом и сотовидном кварцах из пегматитов.

При гетерогенизации жидких растворов с обособлением газовых пузырьков в расшнуровывающейся полости — трещинке в минерале-хозяине наряду с однотипными жидкими «неаномальными» включениями, в которых до момента герметизации газовые пузырьки отсутствуют, образуются аномальные включения жидкости с захваченной газовой фазой. Последние будут гомогенизироваться в жидкую или газовую фазу (в зависимости от объема захваченной газовой фазы) при температурах, более высоких по сравнению с неаномальными включениями.

В случаях гетерогенизации газообразных растворов возможно образование аномальных вторичных включений с суммарно более плотными газовыми растворами (за счет захвата капелек конденсировавшейся жидкости). Такие аномальные включения также будут гомогенизироваться в газовую фазу при более высоких температурах по сравнению с неаномальными.

При расшнуровывании полостей с рассолами возможно и выпадение твердых фаз до момента полной изоляции и гетерогенизации раствора. В этом случае возникают вторичные включения с аномальным содержанием твердой фазы, что легко обнаруживается либо макроскопически, либо экспериментально при опытах по гомогенизации фаз во включениях. Температура их гомогенизации вследствие повышения суммарной концентрации солей во включениях также более высока, чем у неаномальных (иногда выше 1000°C).

Во вторичные включения могут быть захвачены и ксеногенные твердые фазы (минералы-спутники). Последние будут присутствовать не во всех сингенетических включениях, а только в аномальных.

Аномальные включения, связанные с негерметичностью включений, также легко обнаруживаются: при повторных гомогенизациях жидкие включения гомогенизируются при более высоких температурах, а газовые — при более низких.

Перечисленные явления не могут поколебать теоретических устоев термобарометрического метода. Знакомство с ними позволяет не только правильно подбирать материалы для исследований, но и давать достоверные интерпретации наблюдаемых явлений.

О режиме минералообразования по данным изучения включений в минералах камерных пегматитов

В минералах различных зон камерных пегматитов хрусталеносного и промежуточного типов нами исследованы первичные, мнимовторичные и вторичные включения, свидетельствующие о значительной роли магматических сред и пневматолитовых и гидротермальных растворов в формировании и преобразовании этих минералов. Приводимые ниже цифровые данные получены в основном на материале из Казахстана.

О магматических включениях

В гранитоидах, материнских для исследованных нами пегматитовых тел, а также во внешних зонах пегматитов, где можно было бы ожидать нахождение магматических включений, мы не встретили первичных стекловатых включений с газовым пузырьком, подобных включениям, встречаемым в минералах излившихся и некоторых глубинных пород (например, Эльджуртинских гранитах, по В. Ф. Лесняку, 1965). Это указывает на более стабильный режим остывания и на условия несколько большей глубинности этих гранитоидов, что подтверждается замерами давлений во вторичных газовой-жидких включениях, например в блоковом кварце (см. ниже). Поэтому наши усилия были направлены на отыскание раскристаллизованных магматических включений.

С целью идентификации и ознакомления с раскристаллизованными включениями детально исследовалась морфология стекловатых включений в кварце (табл. XI, а) и полевых шпатах (табл. XI, б) из различных магматических пород и их переходы к раскристаллизованным включениям (Бакуменко, 1965). Стекловатые включения были обнаружены не только в эффузивных породах, но также и в краевых и гипабиссальных фациях интрузивов и некоторых жильных тел.

В стекловатых включениях нередко встречается несколько пузырьков газа, приуроченных обычно к поверхности стекла и частично вдающихся в минерал-хозяин. При нагревании до

1000°С газовые пузырьки могут лишь изменять форму, но не перемещаться внутри включения. Заметное уменьшение пузырьков начинается лишь при температурах, значительно превышающих 1000°. Для нагревания таких включений использовалась специальная термокамера с иридиевой петелькой, позволяющей нагревать препарат до температуры свыше 1500°С, не прибегая к откачке воздуха.

Первичные стекловатые включения имеют негативную форму минерала-хозяина: дипирамидальную для кварца, таблитчатую или удлинненную для кали-натровых полевых шпатов. И в том, и в другом минерале весьма распространены также включения округлых форм. Представление о морфологии стекловатых включений дают приводимые нами фотографии (табл. XI, а, б).

Здесь подчеркнем лишь некоторые особенности раскристаллизации этих включений.

Раскристаллизованные включения в эффузивных породах морфологически и по размерам аналогичны стекловатым и представляют собой зернистые агрегаты продуктов раскристаллизации расплава. Наблюдаются переходы от чисто стекловатых к стекловатым включениям с кристаллитами и к полностью раскристаллизованным включениям. Все они содержат один или несколько газовых пузырьков.

В интрузивных породах раскристаллизованные включения образуются в процессе более медленного остывания. При этом происходят дальнейшее отложение родственного материала на стенках включения и одновременно кристаллизация из изолированной капельки расплава других минеральных зерен, которые мешают ограняться полости включения. Поэтому форма таких кристаллизованных включений менее правильная, чем у эффузивных включений, и содержимое раскристаллизовавшихся включений, в отличие от раскристаллизованных включений в эффузивных минералах, состоит из меньшего числа индивидов.

Помимо стекла или раскристаллизованного материала в магматических включениях нередко содержатся кристаллики сингенетических и более ранних, например, акцессорных минералов, т. е. образуются комбинированные включения с аномальными фазовыми соотношениями.

Включения в кварце из внешних зон пегматитов и вмещающих их гранитов

При исследовании кварца из гранитов и аплитовидных оторочек в пегматитах были обнаружены первичные раскристаллизованные включения с одним или несколькими газовыми пузырьками. Форма таких включений изометричная. Газовые пузырьки, как правило, деформированы и, выходя за пределы раскристаллизованного (кварц-полевошпатового) агрегата, вдаются во вклю-

чающий их кварц. Эти включения гомогенизировать не удалось, но сама их находка свидетельствует о магматическом происхождении как кварца из гранитов, так и кварца из аплитовидных оторочек пегматитов (с гранитной и аплитовидной структурами).

О нижнем температурном пределе кристаллизации гранитов можно судить по температурам гомогенизации вторичных газожидких высокотемпературных включений. По нашим данным, в кварцах из гранитов нередко присутствуют группы включений, гомогенизирующиеся при температурах порядка 700°C и выше. При более детальных исследованиях сотрудниками лаборатории Л. Ш. Базаровым и В. А. Сениной в тех же гранитах Казахстана были встречены также еще более высокотемпературные одиночные включения: гомогенизация наиболее высокотемпературных из них наступает при температурах, превышающих $750\text{--}800^{\circ}\text{C}$.

Сходные результаты получены и для других гранитных массивов (Соболев и др., 1964). Причем такие включения гомогенизируются как в газовую, так и в жидкую фазу.

В единичных, но не самых высокотемпературных включениях имеются кристаллики NaCl . Резкое по сравнению с чистой водой повышение критической точки для растворов, изолированных в данных включениях, связано с растворенными солями: не только хлоридами, но, возможно, и силикатами натрия и калия; в отдельных включениях при комнатной температуре вообще нет твердых фаз, но они гомогенизируются при сверхвысоких температурах.

Находка кристаллизованных включений, свидетельствующая о магматическом происхождении гранитов, хорошо согласуется с геологическими и тектоническими данными о внедренном характере гранитных интрузий с хрусталеносными пегматитами. Наличие высокотемпературных вторичных включений показывает неправомочность объяснения генезиса этих гранитоидов путем гранитизации при низких температурах порядка $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$ и согласуется с минералогическими наблюдениями над метаморфизмом, свидетельствующим о более высоких температурах кристаллизации гранитов (порядка $750\text{--}900^{\circ}\text{C}$), что обусловлено понижением парциального давления H_2O при повышенном общем давлении (Соболев и др., 1964).

В аплитовидных оторочках пегматитов нами не обнаружены включения, которые гомогенизовались бы выше $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$. При детальных исследованиях Л. Ш. Базаровым и В. А. Сениной были обнаружены 780° и более высокотемпературные включения (устное сообщение). Факт кристаллизации аплитовидных оторочек при температуре, превышающей $700\text{--}720^{\circ}\text{C}$, подтверждается наличием вторичных включений в более позднем кварце, гомогенизирующихся при $700\text{--}720^{\circ}\text{C}$, причем имеются серии таких включений.

Итак, наличие высокотемпературных включений и находка кристаллизованных включений в кварце из аплитовидных агрегатов свидетельствуют об их магматическом происхождении, что хорошо согласуется с геологическими данными (Ермаков, 1960; Ферман, 1940; Беус, 1950; Никитин, 1960) о генезисе внешних отрочков пегматитов. Аналогичные данные подтверждают магматическую природу материнских (для данных пегматитов) гранитов.

Включения в индукционных ихтиоглиптах из классических и лучисто-венчиковых письменных пегматитов

При исследовании индукционных (классических и лучисто-венчиковых) письменных агрегатов в кварцевых ихтиоглиптах при больших увеличениях также удалось обнаружить раскристаллизованные первичные включения (Бакуменко, 1965). Включения представлены продуктами раскристаллизации расплава — агрегатом кварца и полевого шпата с одним или несколькими газовыми пузырьками, расположенными либо в самом агрегате, либо во вмещающем кварце (табл. XI, в).

Большая часть кремнезема при раскристаллизации капельки расплава отлагалась на стенках включения. Это отложившееся вещество по показателю преломления четко отличается от полевошпатовых индивидов и несколько отлично от кварца, слагающего тело ихтиоглиптов. Поэтому каемки можно наблюдать по полоске Бекке (при спущенном до предела конденсоре).

В отличие от раскристаллизованных включений в минералах из эффузивов включения из ихтиоглиптов состоят из небольшого числа индивидов, что связывается со значительно более спокойными условиями их кристаллизации. Гомогенизировать эти включения не удалось даже при температурах более 1000°С. Иногда в раскристаллизованных включениях присутствует мусковит, что, по-видимому, связано с более поздним гидролизом полевого шпата во включениях. Раскристаллизованные включения были обнаружены также в кварце мелко- и средневосточных разновидностей собственно письменных пегматитов. В крупноростковых разновидностях они не обнаружены, что можно связать с более стабильными условиями кристаллизации таких агрегатов («самоочистка» минералов).

В заключение отметим, что кристалло-газовые включения, встречающиеся в кварцах любого генезиса, морфологически могут быть сходны с раскристаллизованными. Однако, во-первых, обычно они представлены инородными одиночными кристаллами (флюорит и др.) и, во-вторых, обязательно имеют варьирующие относительные объемы газовых пузырьков (часто вообще без газовых пузырьков).

О температурах кристаллизации агрегатов письменной зоны можно было бы судить по вторичным газовой-жидким включе-

ниям. Однако для классических ихтиоглиптов с четкой индукционной огранкой не характерны серии высокотемпературных вторичных включений. Единичные же включения для таких ответственных выводов использовать опасно. Вторичные включения высокотемпературных растворов, участвовавших в преобразовании пегматитовых минералов, в большом количестве встречаются лишь в более поздних, в частности переходных, зонах пегматитов и особенно в блоковом кварце (температура гомогенизации их иногда выше $700\text{--}720^\circ\text{C}$). Эта температура и будет возможным нижним температурным рубежом формирования всех более ранних зон пегматитовых тел, в том числе и графической зоны. В кварце из письменных пегматитов обычно встречаются вторичные включения лоскутовидной формы, гомогенизирующиеся в жидкую фазу при температурах $100\text{--}300^\circ\text{C}$. Форма включений свидетельствует о том, что залеченные в кварце поздние растворы были малоактивными. Реже встречаются более высокотемпературные, также вторичные жидко-газовые и газво-жидкие включения (обычно с жидкой CO_2) и нередко с хорошей негативной огранкой. Они гомогенизируются при температурах до 500°C и исключительно редко при более высоких температурах. Однако таких включений очень мало. По-видимому, подобные растворы не проникали в заметных количествах во внешние оболочки пегматитов: основная сфера действия их блоковая и ядерная зоны (см. ниже). Поэтому процессы минералообразования более поздних послеграфических стадий, с которыми связаны эти растворы, существенно не преобразовали облика индукционных письменных пегматитов: на ихтиоглиптах сохраняется первичная плоскостная штриховка.

В кварце из более поздних каемок классических письменных пегматитов второй группы, встречающихся в друзовых образованиях из занорышей, обнаружены включения, обычно гомогенизирующиеся (в газовую фазу) при температурах не выше 520°C . Преобладают вторичные низкотемпературные включения (гомогенизация в жидкость). Кристаллизованные включения в этой разновидности письменных пегматитов отсутствуют. Рост кварца и полевого шпата в данных агрегатах связан уже с постмагматическими растворами, отделившимися от расплава летучими и растворенными в них компонентами.

***Включения в кварцевых ростках из скелетно-графических,
пегматоидно-графических
и прожилково-кварцевых письменных агрегатов***

В неиндукционных разновидностях закономерных кварц-полевошпатовых сростаний (скелетно-графических, пегматоидно-графических и прожилково-кварцевых) помимо низкотемпературных

жидко-газовых включений (гомогенизация в жидкость при t до 300°C) в довольно большом количестве встречаются и более высокотемпературные включения. Одна часть из них гомогенизируется в газовую фазу, другая — в жидкую; температуры гомогенизации обычно колеблются в интервале $200\text{—}250^{\circ}\text{C}$ (Бакуменко, 1962), однако имеются и более высокотемпературные включения (обычно не выше 600°). Во многих включениях содержится жидкая CO_2 . Вторичное неэвтектическое происхождение таких вростков не вызывает сомнения в результате кристалломорфологических и геологических наблюдений. Обилие вторичных включений, нередко с хорошей негативной огранкой, свидетельствует об активном характере залеченных растворов и о широком температурном диапазоне процессов вторичного перераспределения кварца, что хорошо согласуется, в частности, с развитием на периферии отдельных двухглавых скелетных вростков форм тригональной модификации кварца (наиболее низкотемпературные зоны вростков, следовательно, кристаллизовались ниже температуры полиморфного превращения кварца, т. е. ниже $t=575\text{—}600^{\circ}\text{C}$). Данные по гомогенизации включений из кварца различных разновидностей вторичных письменных сростаний пока недостаточны для их разграничения по температурам. Пока ограничимся фактическим материалом. Интерпретации и выводы будут даны в заключительных разделах работы.

Так как ряд вторичных преобразований всех письменных сростаний тесно связан с деятельностью минералообразующих растворов на более поздних (постмагматических) стадиях пегматитового процесса, предварительно остановимся на характеристике включений, изолированных на этих стадиях. Особый интерес представляют в связи с этим включения в блоковом и ядерном кварцах.

Включения в кварце из пегматоидной и блоковой зоны пегматитохрусталоносного типа

Кварц из пегматоидной и блоковой зон, в отличие от кварца из более ранних зон, характеризуется резко повышенным количеством газовых и жидких высокотемпературных включений.

Наиболее высокотемпературные заведомо неаномальные и нерасшнурованные включения в пегматоидном и блоковом кварце, обнаруженные нами, гомогенизируются в газовую фазу при температурах около 650°C . Обычно они содержат небольшие кристаллики NaCl . Более высокотемпературные включения, в большом количестве гомогенизирующиеся в газовую фазу при температуре 720° , обнаружены Л. Ш. Базаровым (Соболев и др., 1964).

Еще более неожиданно высокие значения температур были получены Л. Ш. Базаровым и В. А. Сениной во время специально

поставленной детальной работы по отысканию сверхвысокотемпературных включений: в автореферате Л. Ш. Базарова приводятся данные о находках в блоковом кварце первичных включений, гомогенизирующихся при температурах до 780°C как в жидкую, так и в газовую фазу. Однако факт первичности их, по нашему мнению, неочевиден, если рассматривать растворы, заключенные во включениях, как минералообразующую среду для одновременно растущих блоков кварца и полевого шпата.

Помимо высокотемпературных вторичных неаномальных включений в блоковом кварце встречаются очень мелкие явно аномальные вторичные включения, гомогенизирующиеся при еще более высоких температурах (иногда выше 900 и даже 1000°C), которые частично гомогенизируются в жидкую, но преимущественно в газовую фазу. Температуры гомогенизации таких включений дают большой разброс значений и не отражают температур изоляции захваченных растворов.

Повышение температуры гомогенизации этих аномальных включений нами связывается с явлениями захвата в них растворов, гетерогенизирующихся до момента полной изоляции включений, которые обособляются при расшнуровании трещинок в кварце (см. раздел Общие замечания к исследованию включений, стр. 120).

Помимо перечисленных включений, для блокового кварца очень характерны изометричные включения с необычно большим количеством жидкой углекислоты. Они встречаются также в кварце апографических агрегатов и в ядерном кварце. Обычно гомогенизировать их не удается вследствие нарушения герметизации до точки гомогенизации (взрыв). Впервые гомогенизацию таких включений в фазу жидкой углекислоты наблюдал Л. Ш. Базаров ($t_{\text{гом}} = 360^{\circ}$). Сначала исчезал газовый пузырек, затем раствор поглощался жидкой углекислотой.

Для оценки давления во включениях в момент гомогенизации использовалась диаграмма равновесия системы $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$. Для этого определялась суммарная концентрация соли и находилась температура гомогенизации включения. На пересечении изотермической линии двухфазового равновесия в системе $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$, равной температуре гомогенизации (Sourirajan, Kennedy, 1962), с изолинией, соответствующей суммарной концентрации раствора во включении, находилось давление в момент гомогенизации. Во всех этих включениях давление в момент гомогенизации превышает 1000 атм , что при расчете на литостатическое давление соответствует глубинности не менее 4 км .

А. И. Гинзбург и Г. Г. Родионов (1960, 1964), не используя геологические наблюдения В. С. Коптева-Дворникова (1961), изучавшего пегматитоносные гранитоиды в исследованных нами районах, приходят к выводу об образовании хрусталеносных

пегматитов на глубинах порядка 1,5—2 км. Данные, основанные на изучении включений, однако, ближе к цифрам, определенным А. Е. Ферсманом (1940) (диапазон 3—8 км). Впрочем, если исходить из вероятной относительной замкнутости системы на ранних стадиях, включая пегматоидную и начало стадии развития блоковой зоны, давление в камере пегматита может и превысить литостатическое давление вследствие накопления летучих по мере кристаллизации более ранних зон и насыщения летучими расплава. К этому вопросу мы еще вернемся.

В заключение еще раз отметим, что наиболее высокотемпературные неаномальные включения в блоковом кварце представляют собой интерес, ибо ими как бы определяется нижняя граница магматической стадии, т. е. стадии кристаллизации аплитовидных и классических письменных пегматитов (исключая их вторую группу), а также стадии формирования ранней полевошпатовой зоны, которая в одних случаях формируется ранее блоковой зоны, а в других отсутствует, заменяясь блоковым агрегатом.

Включения в кварцевом ядре

Высокотемпературные газОВО-жидкие включения, также гомогенизирующиеся в газовую фазу, обнаружены нами в ядерном кварце. Большое количество их гомогенизируется при температурах 600—650° С. Л. Ш. Базаровым (Соболев и др., 1964) обнаружены еще более высокотемпературные пневматолитовые включения (по его данным первичные), гомогенизирующиеся при температурах порядка 700—710° С, т. е. температура начала формирования ядерного кварца очень близка к температуре блокового кварца.

Более характерными для ядерного кварца являются вторичные жидко-газовые, по Н. П. Ермакову, включения, которые гомогенизируются в жидкую фазу при температурах 300—400° С. Эти гидротермальные растворы были весьма активными (негативная огранка вторичных включений) и, по-видимому, имели некоторое значение при формировании кварцевого ядра. Таким образом, можно предположить, что кварцевое ядро развивалось в значительном интервале температур, причем переносчиками кремнезема наряду с ранними пневматолитовыми растворами были более поздние гидротермальные растворы.

На заключительных этапах стадии формирования блоковой и ядерной зон в высокотемпературных занорышах, наряду с блоковым и ядерным кварцами кристаллизовались сотовидный и сотовый кварц, а также высокотемпературный топаз. Включения в этих минералах представляют не меньший интерес, ибо аналогичные растворы встречаются во вторичных включениях в кварце ранних зон пегматитов.

Стадии развития в пегматите блоковых и особенно ядерных агрегатов характеризуются постепенным повышением кислотности растворов (В. А. Калюжный, В. Н. Труфанов и др.). В отдельных случаях это приводит к кристаллизации топаза — минерала нередкого для пегматитов хрусталеносного типа (например, в некоторых пегматитах Коростеньского, Бектау-Атинского, Баян-Аульского и Борщевочных плутонов)¹.

Наиболее детально изучены занорышевые топазы Волыни Н. П. Ермаковым, Ю. А. Долговым, В. А. Калюжным, Г. Г. Леммлейном, М. М. Ивантишиным.

Базируясь на исследовании многофазных включений, частичная гомогенизация которых наступает до растворения твердых фаз (500° гомогенизация — в жидкость, 700° — растворение твердых фаз), Г. Г. Леммлейн и М. О. Клия даже склонны считать высокотемпературные топазы магматическими, что вряд ли правильно, ибо в общем объеме твердых фаз существенную роль играют не силикаты, а хлориды и фториды.

Обнаруженные нами в топазах Волыни наиболее высокотемпературные первичные включения гомогенизируются в газовую фазу при температуре 570°. Топаз содержит много вторичных и мнимо вторичных включений, гомогенизирующихся в жидкую и газовую фазы при температуре 450—500°, причем очень распространены включения с жидкой CO_2 и включения рапы (многофазные).

Топазы из Волыни дают несколько генераций, причем более низкотемпературные кристаллизуются в гидротермальной области.

Единичные замеры давлений во вторичных плоских включениях с углекислотой соответствуют первым сотням атмосфер (300 атм). Давления определялись нами с привлечением экспериментальных данных по системе $\text{CO}_2\text{—H}_2\text{O}$ (Хитаров, Малинин, 1956, 1958; Kennedy, 1954; Takenouchi, Kennedy, 1964).

Для оценки давления замерялась температура гомогенизации, рассчитывался состав включения (с использованием криометрирования) и по диаграммам двухфазового равновесия (в основном Такеноуши и Кеннеди) на пересечении линии данной концентрации с изотермической (соответствующей температуре гомогенизации) линией фазы, в которую гомогенизируется включение, находилось давление.

Топазы из Баян-Аула, найденные нами лишь в одном теле в виде реликтов в псевдоморфной парагонит-мусковитовой массе,

¹ По В. С. Соболеву (1949), топаз как фторсодержащий силикат со слабым основанием (Al) кристаллизуется лишь в специфических условиях повышенной кислотности: при высокой активности фтора и низкой — сильных оснований.

сингенетичны с другими минералами пегматоидных агрегатов (псевдоморфозы хорошо сохранили форму индукционных поверхностей на замещенных кристаллах топаза).

Наиболее высокотемпературные включения гомогенизируются в жидкую фазу при температуре 495—500° С. Обычно это многофазные включения с большим количеством минералов-узников. Обнаружены и небольшие негативные, по-видимому, первичные включения «сухих» газов, однако пронаблюдать гомогенизацию в них не удалось.

Топазы из Бектау-Аты, изредка также слегка замещенные слюдами, обнаружены в нескольких пегматитовых телах как в блоковой зоне, так и в занорышах.

Наиболее высокотемпературные включения с твердыми фазами гомогенизируются в жидкую фазу при температуре 565—580° С и в газовую фазу при 560° С. Имеются единичные находки аномальных существенно газовых сверхвысокотемпературных включений с одной твердой фазой (более 900°). Для включений в топазах из Баян-Аула и Бектау-Аты, в отличие от Волынских топазов, характерно отсутствие фазы жидкой СО₂. Для топазов из всех перечисленных районов очень характерны многофазовые включения.

При сопоставлении наших данных со сведениями о топазе из грейзенов Вост. Забайкалья, почерпнутыми из работы И. Ф. Григорьева, Е. И. Долмановой (1954), а также из статьи В. А. Корнетовой (1954) видно, что процессы развития и изменения топаза из пегматитов и грейзенов родственны. Кстати, в топазе из грейзенов также были найдены *газовые* первичные включения. По-видимому, родственны и сопутствующие топазообразованию процессы окварцевания в грейзенах и пегматитах.

Резюмируя сказанное, можно сделать вывод о высоких температурах начала кристаллизации топаза. При охлаждении пневматолитовых растворов ниже 600°, особенно в области температур 560—580°, имеет место частичная конденсация газовых растворов с образованием капелек растворов. Сжижение растворов при высоких температурах носит осцилляционный, временный характер (на фоне общего пневматолитового процесса). Осцилляции, возможно, вызываются временными перепадами температур и давлений. При возврате к прежним условиям, сопровождающимся выпариванием конденсата, растворы, попавшие во вторичные трещинки, обогащаются солями, становятся очень активными и легко консервируются в минерале (этим и объясняется кажущееся противоречие, заключающееся в том, что в топазе есть включения, резко обогащенные активными щелочами, и предположением о кристаллизации топаза в условиях с низкой активностью сильных оснований).

Сотовый и сотовидный кварцы представляют собой «сердцевину» зональных кристаллов и обычно окружены более поздними зонами дымчатого кварца (или мориона) и хрустала. Исследования включений в сотовом (сетчатом) и некоторых сотовидных кварцах свидетельствуют и о высокой температуре образования.

В сотовидном кварце из Каиба нами были обнаружены вторичные газовые включения с небольшими кристалликами галита. Общая гомогенизация этих включений наступает при температуре 610°C ¹. Развивающееся во включениях в момент гомогенизации давление, оцениваемое по диаграммам Сурираяна и Кеннеди, составляет не менее 1000 атм. Сотовидные кварцы сингенетичны с ядерным кварцем. Они развиты как в занорышах, так и непосредственно в рыхлой полевошпатовой массе в виде метакристаллов.

Сотовидный облик минерала связан с консервацией в сотовидных (развитых по спайности кварца) трещинах включений довольно низкотемпературных растворов, гомогенизирующихся при $230\text{--}360^{\circ}\text{C}$ в жидкую фазу. Некоторые авторы ошибочно считают подобные кварцы сотовыми.

Настоящие сотовые кварцы детально описаны в пегматитах Волыни (Долгов, 1955, 1957). Автором они обнаружены в пегматитах Золотой горы (Долгов, Бакуменко, 1964), а сотовые включения исследованы также в предоставленных Ю. А. Долговым и Л. Ш. Базаровым образцах из Волыни и Кента (Казахстан). Кроме того, известны находки сотовых кварцев В. Н. Труфанова из Акжайляу (Тарбагатай).

Согласно экспериментам Е. В. Цинзерлинг (1961) и Ю. А. Долгова (1955), возникновение сотовой (развивающейся по иррациональным направлениям) трещиноватости в кварце можно связать лишь с быстрыми охлаждениями кварца из надинверсионной области в послеинверсионную (адиабатический механизм охлаждения в камерах пегматитов при приращении свободных объемов обоснован Ю. А. Долговым)².

Находка сотовых кварцев интересна тем, что она подтверждает данные термометрирования о надинверсионном происхождении не только самого сотового кварца, но и всех более ранних генераций кварца (в аплитовидной, графической, блоковой и ядерной зонах), что не противоречит идее о длительном, в том числе и послеинверсионном, развитии и преобразовании минералов из блоковой и ядерной зон.

¹ Имеются единичные аномальные газовые включения, гомогенизирующиеся при $910\text{--}920^{\circ}\text{C}$.

² Согласно этому механизму, мгновенное приращение к камерам дополнительных свободных объемов (приращение трещин) сопровождается разуплотнением и адиабатическим охлаждением содержащихся в них растворов.

В сотовых трещинах залечены включения малоплотных растворов, гомогенизирующихся в газовую фазу, но всегда при температурах не выше точки инверсии кварца. Наиболее высокотемпературные включения, приуроченные к сотовым трещинам, обнаружены Ю. А. Долговым в волынском кварце (гомогенизация в газ при 570°C — В. С. Соболев и др., 1964). В исследованных нами включениях из сотовых кварцев Волины температуры гомогенизации (тоже в газовую фазу) не превышают 400 — 420°C , но обычно находятся в интервале 270 — 380°C .

Наиболее высокотемпературные газовые включения в кентских образцах, по нашим данным, гомогенизируются при температурах 340 — 410°C , а в золотогорских — при 310 — 320°C (Долгов, Бакуменко, 1964). Давление в момент гомогенизации в этих включениях было не менее 220 — 260 атм. Давление определено с использованием экспериментальных данных по системам H_2O , CO_2 и H_2O — CO_2 (Хитаров, Малинин, 1956; Вукалович, 1958; Kennedy, 1954). При температуре инверсии кварца данные растворы развивают давление, равное 678 — 655 атм (Долгов, Бакуменко, 1964), т. е. «поправка на давление» для газовых включений здесь достаточно велика.

Включения в морионе и дымчатом кварце

Верхний температурный рубеж роста полостных (из занорышей, щелей и т. д.) кристаллов дымчатого кварца и мориона, обычно развивающегося на периферии кристаллов дымчатого кварца, в большинстве случаев ниже температуры полиморфного превращения: сотовые кварцы очень редко представлены морионом и дымчатым кварцем, обычно же последние сами нарастают на сотовые и сотовидные кварцы (Ферсман, 1940).

Включения в кристаллах мориона и дымчатого кварца гомогенизируются при относительно невысоких температурах и имеют довольно крупные размеры. Термометрически они исследованы очень детально (Н. П. Ермаков, Ю. А. Долгов, В. А. Каложный, А. И. Захарченко и др.). Наши данные по замерам температур согласуются с данными перечисленных исследователей. Приведем некоторые данные по замерам температуры гомогенизации включений в полостных кристаллах и метакристаллах дымчатого кварца и мориона.

В газовую фазу наиболее высокотемпературные включения в полостных кристаллах дымчатого кварца гомогенизируются при t 340 — 360° (Золотая гора), 410° (Зеренда), 480°C (Волянь). В кристаллах имеются и более низкотемпературные вторичные и первичные включения.

Для головок метакристаллов мориона характерны включения, также гомогенизирующиеся в газовую фазу при температуре 460 — 480°C (Кыра, Восточное Забайкалье). Эти метакристаллы

развиваются на контакте блокового кварца и полевого шпата. Метакристаллы нарастают на поздний блоковый кварц. Последний в приконтактной зоне с измененным полевым шпатом приобретает дымчатую окраску (фиг. 9). Головки метакристаллов мориона вдаются в рыхлую полевошпатовую массу с сохранившимся пустотками от выщелоченных классических ихтиоглиптов.

Гомогенизация включений в жидкую фазу нами фиксируется в отдельных кристаллах (из полостей) Баян-Аульских дымчатых кварцев при 200—220°, золотогорских до 255°, для каибских при 310—390°, для зерендинских при 330—350°, для кыринских при 400—450°, для кентских при 400—600° С.

Таким образом, в разных кристаллах дымчатого кварца отмечаются как жидкие, так и газовые первичные включения; первые более характерны для внешних зон дымчатых кристаллов.

Однако известны случаи первичного захвата во время роста отдельных кристаллов попеременно то газовых, то жидких растворов. Данное явление не имеет широкого распространения и представляет собой отклонение от общей тенденции к эволюционной смене пневматолитовых растворов гидротермальными в области температур 410—480° С (и при более высоких температурах, если растворы более богаты солями).

Очень наглядными примерами таких отклонений от эволюции являются также вторичные многофазные включения рапы с многими минералами-узниками из кентских дымчатых кварцев, которые гомогенизируются в жидкость при температуре 400—600° и выше, т. е. в области температур, где господствуют еще пневматолитовые процессы. Подобные же включения встречены и в вольтских кварцах. Они аналогичны некоторым вторичным многофазным включениям рапы в топазах. Предполагаемый механизм накопления солей в этих включениях описан выше (стр. 130).

Аналогичным примером вторичных газовых включений в типично гидротермальной области являются некоторые вторичные низкотемпературные (гетерогенные) включения с углекислотой.

Итак, на стадии дымчатых кварцев имеет место инверсия фазового состояния растворов: переход газообразных растворов в жидкообразные.

Включения в более поздних минералах

В кристаллах зеленого турмалина (Савватеево, Борщевочный краж), которые развиваются в агрегатах микроклина с пустотками от выщелоченного пегматоидного кварца, обнаружены включения с жидкой CO_2 (иногда есть и твердые фазы). Включения гомогенизируются в жидкую фазу при температуре, не превышающей 360° С (И. В. Моторина).

Здесь же нами найдены стеклянноподобные адуляры, нарастающие на микроклин-пертит в стадию, предшествующую

росту хрустала. Включения в прозрачном адуляре (жидкость — газ — жидкая CO_2) гомогенизируются в жидкую фазу при температуре 300° . При такой же температуре в силезских пегматитах развиваются стекляннопозрачные альбиты (Соболев, Бакуменко, 1964).

Включения в горном хрустале

Кристаллизация в пегматитах наиболее поздних кварцев — горного хрустала и халцедоновидного кварца идет также в типично гидротермальной области, о чем свидетельствуют первичные включения, гомогенизирующиеся в жидкую фазу, начиная с температур, не превышающих 100°C , и достигая в отдельных пегматитах 420°C . Эти наиболее высокотемпературные включения нами найдены в хрусталах, нарастающих на дымчатые кварцы в зональных кристаллах из Зерендинского массива. Вторичные включения также гомогенизируются в жидкую фазу, но при более низких температурах. Случаи, когда вторичные включения в некоторых хрусталах гомогенизируются при более высоких температурах, исключительно редки.

Наконец, отметим интересные случаи совместной кристаллизации хрустала и низкотемпературного топаза, что свидетельствует о новом повышении кислотности растворов на стадии роста хрустала. Первичные включения в таких низкотемпературных топазах гомогенизируются в жидкую фазу.

С деятельностью низкотемпературных гидротермальных растворов связаны также процессы образования гидрослюд, Fe-монтмориллонита и т. д.

В заключение приводим данные анализа газовой составляющей из одиночных включений (табл. 2), характерных для кварца из разных зон одного из пегматитовых тел Золотой Горы (Восточное Забайкалье). Примененная методика анализа (Шугурова, 1965) основана на последовательном избирательном поглощении приводимых в табл. 2 компонентов. Вода не учитывалась, относительное количество остальных газов пересчитывалось на 100% независимо от их абсолютного количества.

Газовую составляющую раскристаллизованных включений проанализировать не удалось. Во включениях блокового кварца преобладает углекислота. В сотовом кварце в значительном количестве появляются также кислые газы. В морионе снова уменьшается отношение $\text{H}_2\text{S} : \text{CO}_2$ наряду с абсолютным их содержанием. Резко уменьшается количество этих газов характерно для халцедоновидного кварца. Визуальные наблюдения за фазовыми соотношениями во включениях в сопоставлении с данными табл. 2 позволяют сделать заключение о возрастающей роли легколетучих и возрастании температур и давлений в процессах пегматитообразования, по мере приближения к магмати-

Таблица 2

Результаты количественного анализа состава газов во включениях
(по данным волномерметрической методики Ю. А. Долгова— Н. А. Шугуровой)

Наименование породы	V _{пуз.} :V _{вкл.}	H ₂ S и др. кислых газов	CO ₂	NO	O ₂	CO	H ₂	N ₂ +редкие газы (остаток)
Блоковый кварц, Золотая гора	307	0,0	92,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0
	—	0,0	80,3	0,0	0,0	0,0	0,0	19,7
	658	0,0	91,2	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8
	90,8	0,0	89,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1
	48,4	0,0	95,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5
	120	0,0	96,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7
Сотовый кварц, Золотая гора	296	27,5	66,2	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3
	680	20,45	75,7	0,0	0,0	0,0	0,0	3,85
	266	19,0	79,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7
	372	13,45	85,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,05
Морион, Золотая гора	82,2	8,0	89,6	0,0	Не анализировался			2,4
	213	4,0	94,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8
	2,33	6,0	88,0	Не анализировался				6,0
	198	3,08	60,6	0,0	0,0	0,0	0,0	36,32?
Халцедоновый кварц	4	22,4	Не анализировался					
	2,11	15,2	То же					
	1,27	68,3	» »					
	1,29	49,3	» »					

Аналитик Н. А. Шугурова,

ческой стадии. Первые порции легколетучих, отделяющихся от магмы, из которой кристаллизуются внешние зоны пегматитов наиболее богаты CO₂ (помимо воды).

Итак, минералы из разных зон пегматитовых тел характеризуются своими наборами первичных и вторичных включений, начиная от раскристаллизованных и пневматолитовых и кончая гидротермальными. Имеются включения, характерные лишь для минералов конкретных зон и не встречающиеся в других зонах. Разные минералы, формирующиеся в одинаковых условиях, содержат однотипные включения. Помимо специфических (для минералов данной зоны) включений, минералы содержат вторичные включения, характерные для более поздних стадий.

В классических ихтиоглиптах наряду с раскристаллизованными включениями содержатся вторичные включения, характерные для всех более поздних процессов. Лишь разобравшись во всей гамме первичных и вторичных включений и выяснив их место в более поздних процессах пегматитообразования, удалось выявить магматический генезис классических письменных пегматитов первой группы, а следовательно, и родственных им образований. Роль пневматолита и гидротермальных процессов несомненна для вторичных письменных и псевдописьменных сростаний.

СХЕМА СТАДИЙНОГО РАЗВИТИЯ ПЕГМАТИТОВ ХРУСТАЛЕНОСНОГО ТИПА

Резюмируя геологические наблюдения и данные по изучению включений, можно наметить следующую схему стадийного развития пегматитов хрусталеносного типа.

Этап магматической кристаллизации минералов

1. Кристаллизация вмещающих гранитов сменяется стадией магматической кристаллизации зон аплитовидных и пегматоидно-гранитных агрегатов. В отдельных случаях кристаллизации этих зон некоторое значение приобретают процессы ассимиляции. Роль процессов ассимиляции четко видна при внедрении пегматитового расплава в инородные по составу породы (гнейсы, сланцы) и выражается в появлении различных реликтовых полосчатых текстур и в обогащении внешних оторочек такими минералами, как биотит, турмалин и т. д. Когда пегматиты кристаллизуются «на месте», ассимиляция выражена очень слабо (биотит, плагиоклаз с более высоким номером).

2. Наличие высокотемпературных включений в более поздних немагматических ассоциациях свидетельствует о том, что магматические гранитные дифференциаты, из которых кристаллизуются магматические пегматитовые агрегаты, не настолько обогащены летучими, чтобы был повод к разговорам о специфической «водоогненной» магне. Этим самым подтверждается один из тезисов А. Н. Заварицкого (1944, 1947) о неспецифичности пегматитовых расплавов, материнских для агрегатов из внешних зон пегматитов. Однако вопреки Заварицкому, классические письменные пегматиты следует включить в область эвтектической кристаллизации, а не постмагматической сегрегации.

Таким образом, в качестве еще одной стадии магматического этапа можно выделить стадию кристаллизации порфировидно- и радиально-графических, а также лучисто-венчиковых и классических письменных агрегатов первой группы. В основном это стадия котектической кристаллизации минералов.

Этап, связанный с сегрегационной, автометасоматической и метасоматической деятельностью пневматолитовых растворов разной плотности

Этап обусловлен вскипанием расплавов и отделением летучих в виде активных пневматолитовых растворов разной плотности, которые сначала представляют собой водные газовые растворы, обогащенные наиболее легколетучими компонентами — CO_2 , а несколько позже $\Sigma \text{H}_2\text{S}$ (см. табл. 2). Значительную роль играют

также растворимые в газовых растворах хлориды щелочей. Учитывая сверхвысокие температуры гомогенизации включений в блоковых агрегатах, можно предположить, что в газовых растворах содержались также растворимые силикаты щелочей. Этот этап проявляется либо в сегрегации кварц-полевошпатовых агрегатов, а затем окварцевании, либо в развитии раннего микроклина и затем окварцевании, что можно связать с темпом отделения летучих, находящихся в прямой связи с режимом трещинообразования и развития свободных объемов (Долгов, 1962, 1965).

То, что есть два пути в развитии постмагматических процессов, свидетельствует о необязательности лишь эволюционного хода в развитии пегматитового процесса.

Первый путь. При более или менее стабильных условиях пегматитообразования (относительная замкнутость системы) летучие компоненты отделяются постепенно. Отделяющиеся пневматолитовые растворы, практически находясь в равновесии с уже выкристаллизовавшимися агрегатами, вызывают процесс их собирательной перекристаллизации (стадия развития апографических, пегматоидных и блоковых агрегатов).

Второй путь. Так как условия относительной замкнутости системы тесно связаны с процессами трещинообразования, то наиболее высокотемпературные, постмагматические процессы могут пойти и по другой линии. В связи с уходом летучих из пегматитового тела, обусловленным процессами трещинообразования, т. е. в условиях открытой системы, нарушение равновесия отделившихся летучих с равновесными с ними кварцем и полевым шпатом наступит быстрее, чем при стадийном развитии по первому пути. При этом очень интенсивно проявляются либо процессы свободного роста микроклина (в полостях), либо процессы ранней микроклинизации, соответствующие ранней щелочной стадии Д. С. Коржинского (1955), причем можно настаивать на пневматолитовом характере этой стадии (по крайней мере для хрусталеносных пегматитов), хотя растворы и были весьма плотными.

И в том, и в другом случае система становится открытой при последующем развитии процессов раннего окварцевания и формирования кварцевого ядра (стадия раннего окварцевания).

Развитие ядерного кварца можно объяснять с позиции гипотезы адиабатической мобилизации, выдвинутой Ю. А. Долговым (1962, 1964, 1965), согласно которой приращение свободных объемов (трещин) к камере пегматитов (системе трещин, полостей, занорышей и т. д.) ведет к адиабатическим процессам и связанным с ними нарушениям равновесия и процессам перераспределения вещества, в том числе путем сегрегации, аутометасоматоза и метасоматоза.

Процесс раннего окварцевания характерен для всех исследованных тел. В пегматитах с хорошей структурной дифференци-

цией он выражен слабее, чем в пегматитах с хорошо выраженной вещественной дифференциацией, причем в целом для хрустальных пегматитов этот процесс выражен более интенсивно, чем для редкометальных и слюдоносных (Долгов, 1964; Гинзбург, Родионов, 1960).

Формирование ранней полевошпатовой и особенно пегматоидной, блоковой и ядерной зон нельзя рассматривать как одноактные, законченные, последовательно сменяющие друг друга процессы: каждый более поздний процесс в той или иной степени может участвовать в переработке более ранних агрегатов.

Образование полостей происходило в широком интервале температур. Судя по включениям в полостных минералах, процессы полостеобразования могут начинаться при температурах, превышающих 610°C . Эти процессы были сингенетичны высокотемпературному окварцеванию; с ними связано развитие высокотемпературных кварцев, которые в зависимости от режима минералообразования были разбиты системой сотовых трещин (сотовые кварцы) или системой сотовидных трещин (сотовидные кварцы). Эта стадия имеет кислотный характер (топаз; рН включений, по данным В. А. Калюжного, В. Н. Труфанова, окварцевание). Еще более высокотемпературны полости с полевым шпатом, в котором имеются письменные вросстки второй группы.

Специфическое положение занимает стадия роста дымчатого кварца и мориона, которые кристаллизуются как из пневматолитовых, так и гидротермальных растворов.

В этой области температур иногда интенсивно развиваются процессы вещественной дифференциации кварц-полевошпатовых агрегатов на кварц, переотлагающийся в верхние участки пегматитовых тел (кварцевые шляпы), и полевой шпат — в нижние. С последним процессом частично связана низкотемпературная микроклинизация, которая продолжается и на этапе гидротермальной переработки, так же как и дальнейшие процессы вещественной дифференциации.

Со стадией роста дымчатого кварца и мориона связана инверсия кислотного характера более ранних растворов на щелочной, что, по-видимому, связано с осцилляционным или резким сжижением растворов и переходом пегматитового процесса к его третьему гидротермальному этапу, завершающемуся гипергенными процессами.

Этап гидротермальной переработки пегматитов

С этим этапом связан рост в занорышах части дымчатых кварцев, позднего хрусталя, морионов, «низкотемпературных» топазов, цветных турмалинов, прозрачного альбита, адуляра, слюдок. Из метасоматических процессов наиболее широко развиты поздняя микроклинизация и особенно альбитизация.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАРЦА¹

Данные по термолюминесценции кварца из различных зон в пегматитах хрусталеносного и хрусталеносно-редкометалльного типа (работа выполнена на установке В. Б. Василенко совместно с В. С. Лысаковым) хорошо согласуются с намеченной выше схемой стадийности пегматитового процесса.

При обычных (непрецизионных) методах исследования эти кварцы имеют одинаковые свойства. Однако из геологических соображений можно было ожидать, что они физически неодинаковы, но эти различия столь малы, что могут быть замечены лишь другими, более чувствительными методами, в частности, методом термовысвечивания.

Пользуясь этим методом, удалось показать отличия генетически различных кварцев путем сравнения энергий уровней захвата и температур максимумов на кривых термовысвечивания этих кварцев.

Такого рода работа с естественными, предварительно необлученными кварцами проводится впервые.

При разных условиях кристаллизации кварца и тех изменениях, которые он, как и другие минералы, претерпевает за время существования, в нем возникают качественно и количественно различные дефекты, обусловленные захватом атомов примесей (активаторов), наличием пустых узлов и атомов внедрения, развивающихся в междоузлиях кристаллической решетки, внутренних микротрещин и пр. Эти дефекты, согласно зонной теории твердого тела, образуют в запрещенной зоне кристалла центры свечения и электронные уровни захвата — ловушки, способные захватывать и концентрировать электроны.

Последние могут быть освобождены за счет получения энергии от тепловых колебаний решетки.

При нагревании минерала с ростом температуры увеличивается вероятность выхода электронов из ловушки. Получив энергию активации E_t^2 , электроны переходят в зону проводимости, затем они либо сразу, либо после повторных локализаций на уровнях захвата рекомбинируют с центрами свечения. Излучение, возникающее при рекомбинации центров свечения с повторно локализуемыми электронами, представляет собой термолюминесценцию-термовысвечивание кристаллов. Если имеются уровни захвата одной и той же глубины, то по мере повышения температуры интенсивность термовысвечивания увеличивается, проходит через максимум при температуре термолюминесценции — t_{\max} и, ослабевая, падает до нуля. При наличии нескольких уров-

¹ Исследовались только природные рентгенизированные кварцы.

² Энергию термической активации E_t часто называют глубиной ловушки, либо энергией тепловой ионизации уровней (центров) захвата.

ней захвата различной глубины на кривой термовысвечивания наблюдается соответствующее количество максимумов.

По критериям, предложенным В. В. Антоновым-Романовским (1946) и И. Б. Лущиком (1955), для определения соотношений между вероятностями рекомбинации A_p и захвата A_z нами для исследуемых природных β -кварцев и параморфоз по α -кварцу было предварительно доказано, что для них выполняется соотношение $A_z \gg A_p$. Это позволило пользоваться при расчете энергией уровней захвата формулами, предложенными Урбахом (1) и Лущиком (2).

$$E_t = \frac{2kT_{\max}^2 \cdot I_{\max}}{L_{\max}}, \quad (1)$$

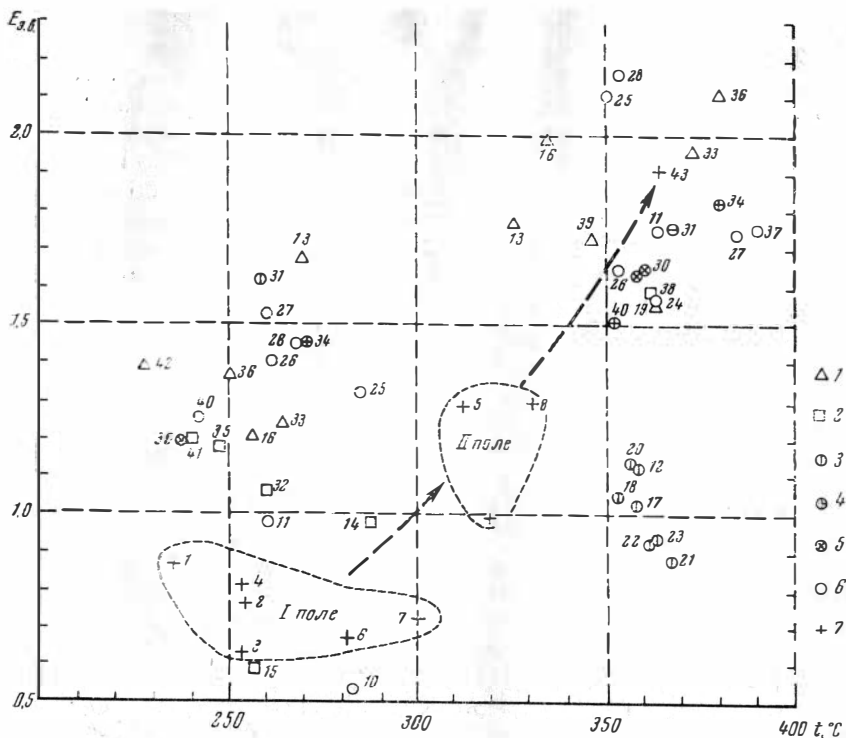
где T_{\max} — температура максимума термовысвечивания в $^{\circ}\text{K}$;
 L_{\max} — площадь, лежащая вправо от T_{\max} ;
 I_{\max} — интенсивность максимума термовысвечивания;
 k — постоянная Больцмана.

$$E_t = \frac{2kT_{\max}^2}{\delta_{\max}}, \quad (2)$$

где $\delta_{\max} = T_2 - T_{\max}$ — полуширина пика термовысвечивания. Здесь T_2 — температура на ниспадающей ветви кривой в точке $I_2 = 0,5 I_{\max}$. Ошибка в определении энергии составляла в среднем 0,05 эв.

Полученные результаты¹ изображены на графике (фиг. 10) и сведены в табл. 3. Они позволяют отметить, что для исследованных кварцев характерны один или два уровня захвата, различающиеся по глубине. Энергия ловушек, которая соответствует первому «низкотемпературному» пику на кривых термовысвечивания, для образцов с двумя пиками всегда имеет меньшее значение, по сравнению с энергией ловушек, определяющих второй «высокотемпературный» пик. Значение t_{\max} термовысвечивания первых пиков для всех образцов в целом колеблется в большем интервале температур по сравнению с t_{\max} вторых пиков. Приведенные результаты также позволяют заключить, что все магматические кварцы (зерна из вмещающих гранитов, ихтиоглипты в графических агрегатах и порфиривидные вкрапленники кварца в порфиривидно-графических агрегатах) по особенностям термолюминесценции отличаются от всех кварцев из внутренних зон пегматитов (блоки из пегматоидной, блоковой и ядерной зон, кристаллы из занорышей). Таким образом, все кварцы из пегматитов можно разделить на две группы. Все упомянутые

¹ Для проведения эксперимента отбирались мономинеральные пробы кварца фракции 0,4—0,56 мм, свободные от инородных кристаллических включений. Термовысвечивание кварца исследовалось в интервале температур от 20 до 400 $^{\circ}$ С. Свечение регистрировалось фотоумножителем ФЭУ-19 при равномерном нагреве пробы.



Фиг. 10. Зависимость рассчитанных значений E_t в. и t_{\max} с максимумом термо-
высвечивания исследованных кварцев

1 — хрустали; 2 — морион и дымчатый кварц, 3, 4, 5, 6 — сотовые, сотовидные, ядерные
и блоковые кварцы; 7 — кварц из гранита, письменного пегматита и кварцевого порфира

магматические кварцы (I группа) характеризуются лишь одним низкотемпературным максимумом. Для всех прочих — сегрегационных, метасоматических, занорышевых кварцев (II группа) нет каких-либо стандартных признаков: кривые термовысвечивания их имеют либо низкотемпературные, либо высокотемпературные максимумы, либо оба максимума совместно.

Как видно из фиг. 10, значения E_t и t_{\max} кварцев I группы в значительной степени обособлены от значений E_t и t_{\max} кварцев II группы и располагаются вблизи диагонали, отделяющей значения первого и второго максимумов кварцев II группы¹. Такое разделение кварцев по термолуминесценции хорошо согласуется с данными

¹ При более поздних деталях исследования, не вошедших в данную работу, обнаружено, что контуры областей с точками I и II кварца на диаграмме E_t-t_{\max} могут частично перекрываться.

о генетическом различии кварцев I и II групп. Остановимся несколько подробнее на особенностях их термовывесчивания.

I тип кварцев. Для исследования термолюминесценции магматических кварцев отбирались образцы, в которых кварц не подвергался заметным вторичным преобразованиям (за исключением инверсионного перехода). Сравнивая значения E_t и t_{\max} кварцев I группы, которые отобраны из жильных (внедренных) небольших по размерам пегматитовых тел — образцы из Золотой Горы (Забайкалье), Бектау-Аты (Северное Прибалхашье) и Ильмен (Урал) и из шлировых (фациальных) пегматитов (все прочие образцы), видим, что в жильных телах эти значения выше. По-видимому, при кристаллизации кварца при высоких температурах в условиях повышенной скорости охлаждения в кварце возникает большое количество дефектов, соответствующих более глубоким уровням захвата, чем у кварцев, кристаллизующихся в более стабильных условиях. На фиг. 10 группа точек, соответствующих кварцам из шлировых тел, объединена в I поле, а из жильных тел — во II поле. Кварц из гранита принадлежит полю I, что подтверждает высказанное выше предположение (о роли скорости кристаллизации).

В этой связи интересны вкрапленники заведомо магматического еще более высокотемпературного (по сравнению со всеми прочими кварцами первого типа) кварца из эффузивов Кавказа (во вкрапленниках есть первичные и вторичные стекловатые включения, табл. XI, а). Кварц из эффузивов, подобно остальным магматическим кварцам, также характеризуется лишь одним максимумом термовывесчивания ($E_t = 1,91$; $t_{\max} = 364^\circ\text{C}$). Точки E_t и t_{\max} эффузивного кварца еще более смещены по диагонали вправо и вверх от группы точек I и II и располагаются уже среди высокотемпературных максимумов кварцев II типа, что, по-видимому, связано с еще большей возможностью для образования дефектов при быстром остывании лавы.

В целом для пегматитовых магматических кварцев I типа характерен более широкий интервал t_{\max} (от 235 до 330°C) по сравнению с первым максимумом немагматических кварцев II типа (227 — 287°C).

II тип кварцев. Исследовались постмагматические кварцы из блоковой и ядерной зон, а также образцы зонального кварца (как занорышевые, так и метакристаллы).

В формировании индивидов кварца II типа, как доказано выше, участвовали и пневматолитовые, и гидротермальные растворы. Устойчивый переход пневматолитовых растворов в гидротермальные, а также химическая инверсия растворов (от кислых к щелочным и снова к кислым) имели место на стадии роста дымчатого кварца. Поэтому по характеру так называемой кислотности минералообразующих сред доморионовые кварцы — блоковый, ядерный, сотовый и сотовидный — близки к послеморионовым хрустальным «рубашкам».

Особенности термовысечивания кварца из пегматитов

№ п/п	Место взятия и разновидность кварца	$t^{\circ}_{\text{тах низ}}$	$E_{\text{низ}}$	$t_{\text{тах выс}}$	$E_{\text{выс}}$
1	Савватеево (Боршевичный кряж), кварц из графического пегматита	235	0,87		
2	То же	254	0,76		
3	» »	253	0,63		
4	Слюдянка (Прибайкалье), кварц из графического пегматита	253	0,81		
5	Ильмены (Урал), кварц из графического пегматита	312	1,28		
6	Джельтау (Голодная степь), кварц из гранита	281	0,67		
7	Бектау-Ата (Прибалхашье), порфировидный вкрапленник кварца в порфировидно-графическом агрегате	300	0,72		
8	Бектау-Ата (Прибалхашье), кварц из графического пегматита	330	1,29		
9	Золотая гора (Боршевичный кряж), кварц из графического пегматита	320	0,98		
10	Бектау-Ата (Прибалхашье); основание зонального кристалла из занорыша (сотовый кварц)	284	0,54		
11	Золотая гора (Боршевичный кряж), блоковый кварц	260	0,98	384	1,74
12	То же, сотовый кварц			358	1,12
13	» » халцедоновидный кварц	269	1,68	325	1,76
14	Джельтау (Голодная степь), дымчатый кварц	287	0,96		
15	Бектау-Ата (Прибалхашье), дымчатый кварц	256	0,59		
16	То же, хрусталь	256	1,20	334	1,98
17	Волянь, желтый сотовый кварц			358	1,02
18	Волянь, дымчатый сотовый кварц			353	1,04
19	Волянь, хрусталь			363	1,55
20	Волянь, дымчатый сотовый кварц			357	1,13
21	Волянь, белый сотовый кварц			367	0,87
22	Волянь, желтый сотовый кварц			362	0,92
23	Волянь, дымчатый сотовый кварц			363	0,93
24	Кыра (Забайкалье), темно-серый блоковый кварц			363	1,56
25	Зеренда (Казахстан), блоковый кварц	284	1,32	350	2,10
26	Кыра (Забайкалье), дымчатый блоковый кварц	261	1,41	353	1,64
27	То же	260	1,53	385	1,73
28	Зеренда (Казахстан), блоковый кварц	267	1,44	353	2,16
29	Волянь, ядерный кварц			358	1,63
30	Зеренда (Казахстан), ядерный кварц	237	1,18	360	1,64

Таблица 3 (окончание)

№ п/п	Место взятия и разновидность кварца	t° _{max низ}	$E_{низ}$	t° _{max выс}	$E_{выс}$
31	Каиб (Голодная степь), сотовидный кварц	258	1,62	367	1,75
32	То же, дымчатый кварц	260	1,06	>400°	
33	» » хрусталь	264	1,24	373	1,95
34	» » сотовидный кварц	270	1,45	380	1,82
35	» » дымчатый кварц	247	1,18	>400°	
36	» » хрусталь	250	1,37	380	2,00
37	Зеренда (Казахстан), блоковый кварц			390	1,74
38	То же, дымчатый кварц			362	1,58
39	» » хрусталь			346	1,72
40	» » сотовидный кварц	242	1,25	352	1,50
41	» » дымчатый кварц	240	1,20	>400°	
42	» » хрусталь	227	1,39		
43	Кавказ, вкрапленник α -кварца из эффузивов			364	1,91

С перечисленными процессами нами связываются особенности и различия в термолюминесценции кварцев II типа. В частности, при исследовании термолюминесценции зональных кристаллов кварца (сравниваются зоны одного кристалла, а не разных) обнаруживается, что первые пики наружной низкотемпературной зоны (хрустальной рубашки) и внутренней высокотемпературной зоны (сотовый, ядерный, блоковый кварц), как правило, имеют более высокие значения E_t , чем промежуточная между ними зона дымчатого кварца (см. обр. 31—32—33; 34—35—36; 40—41—42).

Вторые пики термолюминесценции дымчатого кварца и мориона, как правило, смещены в область повышенных температур, обычно выше 400°С (исключения редки)¹. Кварцы более ранние (блоковые ядерные, сотовидные и сотовые) и более поздние (хрусталь, халцедоновидный кварц) имеют пики в пределах от 325 до 391°С. Таким образом, термолюминесценция их также отражает отмеченную выше инверсию кислотности минералообразующих растворов, имеющую место на стадии роста дымчатых кварцев и морионов. Уже после завершения этой работы с целью выявления различий низкотемпературных кварцев II типа (послеморионовых) от высокотемпературных (доморионовых) дополнительно исследовались низкотемпературные хрустали из Борщевочного кряжа и Голодной степи. Намного четче

¹ Такими исключениями являются обр. 38 с $t_{max} = 362^{\circ}$ и еще один образец, изученный уже после составления сводной диаграммы ($t_{max} = 373^{\circ}$). Смещение второго максимума за 400° отмечалось для всех прочих исследованных морионов, которые не были включены в таблицу, ибо кривые термовысвечивания их позволяли рассчитать E_t .

чем по данным фиг. 10, наметилась такая тенденция: максимумы первых и вторых пиков низкотемпературных хрусталей несколько смещены в область более низких температур по сравнению с максимумами этих пиков высокотемпературных «доморионов» кварцев.

Уже указывалось, что для большинства кварцев II типа рядом с первым низкотемпературным пиком характерен пространственно четко обособленный второй пик. Из исследованных кварцев II типа лишены второго пика лишь некоторые одиночные зональные кварцы, свободно (не метасоматически) росшие в занорышах пегматитов. Этими исключениями являются образцы дымчатого кварца 14, 15, 41, хрусталя 42 и сотовидного кварца из основания зональных кристаллов 10. Все же остальные кварцы, в том числе и аналогичные по зональности «метакристаллы», имеют второй пик.

Блоковые, ядерные, сотовые и сотовидные кварцы имеют либо оба пика, либо один — высокотемпературный. Уменьшение глубины уровней захвата первого пика, иногда до его полного исчезновения, нами связывается со вторичными термическими и механическими воздействиями; известно, что различные воздействия сказываются сильнее на низкотемпературных пиках по сравнению с более высокотемпературными пиками. Для сотовых кварцев из Кента (Казахстан) первые пики лишь намечаются, однако они соответствуют дефектам с очень малыми E_f (в табл. 3 эти новые данные еще отсутствуют). Полное исчезновение первого пика в сотовых золотогорских и волынских кварцах (на фиг. 10 они четко обособлены в отдельную группу с $E_f=0,87-1,13$ и $t_{max}=353-356^\circ\text{C}$) можно связать с очень резким полиморфным переходом в связи с мгновенными локальными адиабатическими охлаждениями содержимого занорышей (в закалочном режиме) и последующим отжигом при возврате к еще высоким температурам вмещающих пород (Долгов, 1955; Долгов, Бакуменко, 1964).

Аналогичное полное исчезновение первого пика наблюдается и у некоторых других кварцев, подвергшихся природной термической обработке, фиксируемой по вторичным включениям.

Для ряда кварцев, отобранных из пегматитовых тел, подвергшихся позднему дроблению, также характерно полное исчезновение первого пика.

Приведенные данные по термовысвечиванию кварца хорошо иллюстрируют и подтверждают намечаемую схему стадийности процессов пегматитообразования.

**ГЕНЕЗИС И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ
ПИСЬМЕННЫХ СРАСТАНИЙ**

Предыдущие главы дают фактический материал для всестороннего обобщения данных, касающихся в первую очередь генезиса письменных срастаний, механизм образования которых уже частично рассматривался при характеристике их структурно-морфологических разновидностей. В данной главе по сути остается лишь резюмировать приведенные данные, попутно останавливаясь на построениях других авторов.

По способу образования нами выделяются магматические, сегрегационные и метасоматические кварц-полевошпатовые письменные срастания. Подчеркиваем, что, давая такое расчленение письменных срастаний, мы отнюдь не шли по пути примирения различных гипотез, в частности, гипотезы А. Е. Ферсмана (1915) (индукционный эвтектоидный рост письменного агрегата) с гипотезами А. Н. Заварицкого (1947) (индукционное взаимодействие кварца и полевого шпата в процессе сегрегации их в письменный агрегат), В. Д. Никитина (1958) (перекристаллизация кварц-полевошпатового агрегата с переориентированием и изоляцией кварцевых вrostков в дефектах полевого шпата, которые возникают при трансляционном скольжении) и Уолстрома, Дрешер-Кадена и др. (метасоматическое развитие кварцевых вrostков).

Решение нами вопроса о генезисе конкретных письменных срастаний заключается не в признании тезиса, что они «могут кристаллизоваться и так, и так», а в отрицании этого тезиса и утверждении другого положения, согласно которому морфологически различные разновидности закономерных кварц-полевошпатовых срастаний, условно объединяемых в категорию письменных пегматитов по этому признаку, являются и генетически различными.

Магматические письменные сростания

Все письменные агрегаты с вростками, имеющими индукционную огранку (в обычной первой группе классических, табл. I; лучисто-венчиковых, табл. VII, б и родственных им радиальных, табл. IX, а и порфиroidно-графических агрегатах, табл. IX, б, в, г), несомненно являются продуктами магматической кристаллизации, причем сами индукционные агрегаты являются продуктами эвтектической кристаллизации. Как магматические образования они характеризуются относительным постоянством состава, наличием раскристаллизованных магматических включений (табл. XI, в), сходством термолюминесцентных характеристик индукционных ихтиоглиптов и более ранних кварцевых вкрапленников и «ритмичных обособлений» с кварцем из гранитов (фиг. 10).

К числу этих признаков, по нашему мнению, не следует относить внешнее сходство структуры письменных пегматитов со структурой эвтектоидных сплавов, ибо это сходство ни о чем не говорит: на эти же структуры очень похожи и некоторые явно немагматические индукционные прорастания, как, например, закономерные вростки кварца, начинающие расти на периферии кристаллов друзового полевого шпата (так называемые письменные сростания II группы), симплектитовые кварц-турмалиновые и кварц-гранатовые прорастания, а также ряд микроструктур распада.

Неудачно и сравнение формы ихтиоглиптов в классических письменных сростаниях с формой дендритных металлических кристаллов в сплавах (здесь вообще сходство случайно, ибо форма этих кристаллов не индукционная, а собственно-скелетная).

В этих разновидностях письменных пегматитов содержится очень мало высокотемпературных газовой-жидких включений, характерных для более поздних постмагматических агрегатов (в том числе и вторичных письменных), которые подверглись интенсивной постмагматической переработке, что необъяснимо, если рассматривать классические и родственные им письменные пегматиты в качестве продукта такой переработки. Это также скорее говорит о том, что они сохранились в первозданном виде и не подвергались высокой пневматолитовой переработке. В пользу этого же говорит и исчезновение плоскостной индукционной огранки вростков при явлениях сегрегации и «кварцевого» метасоматоза.

В пользу магматического происхождения обычных (I типа) индукционных и родственных им письменных пегматитов косвенно свидетельствует также высокая температура пневматолитовых процессов, при которых начинается развитие более позднего блокового кварца (заведомо выше 720°C), ибо даже при относительно небольшом количестве летучих, согласно последним

экспериментальным данным В. Луса, Р. Джанса и О. Таттла (Luth, Jahns, Tuttle, 1964) и других исследователей, плавление пород гранитного состава может наступить при более низких температурах. Аналогичные результаты по плавлению гранитов получены Н. И. Хитаровым, Е. Б. Лебедевым и А. А. Кадиь (1963).

Ключевым, безусловно, является вопрос о генезисе классических письменных агрегатов. От его решения зависит трактовка генезиса порфиroidно-графических (в том числе псевдопорфирировых ритмично-зональных), радиально-графических и лучисто-венчиковых графических агрегатов.

В главе II нами показано, что классические письменные агрегаты с плоскостной индукционной штриховкой на поверхности ихтиоглиптов являются продуктами одновременной кристаллизации кварца и полевого шпата, следовательно, гипотеза метасоматического происхождения кварца в классических письменных агрегатах отпадает (Ф. К. Дрешер-Каден, Е. Уолстром и др.). Эта гипотеза связана с ошибочным мнением о том, что пластинчатые формы востков являются прожилковыми, т. е. внедренными в полевои шпат (Hutton, 1788; Högbom, 1899; Одикадзе, 1965). С другой стороны, к классическим ихтиоглиптам могут приключаться настоящие более поздние кварцевые прожилки (табл. XII, б). При беглом осмотре кажется, что структуры постепенно сменяют одна другую. На основании этих наблюдений также делаются ошибочные выводы о метасоматическом происхождении индукционных агрегатов.

В главе II нами показано, что индукционная модель хорошо увязывается с морфологией реальных ихтиоглиптов, а следствия трансляционной модели в общем случае не подтверждаются на реальных объектах (характер индукционной штриховки, секториальное расположение востков и т. д.).

Трансляционная модель также не объясняет и направленного характера роста письменных агрегатов от периферии к центру пегматитовых тел, который сохраняется для всех пегматитовых тел. Это явление не должно наблюдаться, если развитие кварцевых востков и включающего их полевого шпата связывать с гипотетическими дефектами (плоскостями скольжения) в сегрегирующихся блоках полевого шпата с раздробленными зернами кварца. Кроме того, вряд ли возможен процесс, при котором происходило бы полное растворение всех зерен кварца, имеющих неэпитаксиальную ориентировку, и одновременное разрастание зерен в новой, исключительно эпитаксиальной ориентировке, ибо рост на любых готовых затравках (при отсутствии резких пересыщений) энергетически выгоднее, чем новое зарождение. Поэтому гипотеза сегрегационного генезиса классических письменных пегматитов также не может быть принята.

Последний тезис о невозможности полного растворения не-

ориентированных зерен кварца не позволяет принять и гипотезу А. Н. Заварицкого, который предполагал, что ферсмановский механизм роста индукционных письменных сростаний возможен также и при перекристаллизации первичных магматических аплитовидных пород (путем индукции порфиробластами полевого шпата ориентированных зерен кварца), тем более, что аплитовидные оторочки пегматитов по составу отличаются от классических письменных пегматитов.

Морфологические особенности классических письменных сростаний (особенно их секториальное строение, формы плоскостной индукции и т. д.) противоречат и гипотезе В. И. Лебедева (1957) о генезисе части графических агрегатов в пегматитах путем распада гипотетических алюмотетрасиликатов и последующих явлений перекристаллизации и замещения (можно привести возражения, аналогичные возражениям к трансляционной модели).

Все эти затруднения разрешаются, если принять гипотезу эвтектической кристаллизации с некоторыми оговорками. Пегматитовая магма эвтектического состава, по мнению А. Е. Ферсмана (1940) и большинства его последователей, представляет собой специфический, остаточный резко обогащенный водой водоогненный силикатный расплав-раствор. Представление о повышенном содержании воды в пегматитовом расплаве в первую очередь связано с наличием в пегматитах большого количества водных минералов, а также с обилием газовых и жидких включений. Принимая замкнутость пегматитовой системы, естественно сделать вывод о том, что все эти летучие содержались непосредственно в исходном пегматитовом расплаве. Поэтому распространилось и представление об относительно невысоких температурах процесса пегматитообразования.

Однако результаты термометрических замеров убеждают нас в том, что сфера деятельности магматических процессов находится выше 700° . Следовательно, расплав, из которого кристаллизовались классические письменные сростания в пегматитах хрусталеносного типа, по количеству летучих (особенно воды) мало чем отличался от других остаточных кислых расплавов (специфичность пегматитовых расплавов относительно редких и прочих элементов, характерная для редкоментальных и других типов пегматитов, здесь не рассматривается).

Подобно индукционным письменным сростаниям в пегматитах, из таких неспецифичных расплавов кристаллизовались классические микрописьменные прорастания в эффузивных и жильных породах. Микрописьменные прорастания встречаются и в пегматитах. Более крупные размеры вростков в обычных для пегматитов письменных сростаниях обусловлены скорее не специфичностью расплава, а режимом кристаллизации. Например, в апофизах пегматитовых тел чаще встречаются микровростковые агрегаты, чем в самих телах, где режим более стабилен.

Эвтектическая кристаллизация классических письменных пегматитов ограничена процессами вскипания расплавов. Вследствие нарушения равновесия в системе (из-за частичного ухода и перераспределения летучих) нарушается режим зародышевания и начинают кристаллизоваться двуминеральные, а иногда и одноминеральные агрегаты с иными структурами, причем помимо магматических процессов здесь значительную, а иногда решающую роль могут играть пневматолитовые процессы.

Итак, все индукционные и родственные им письменные пегматиты являются магматическими продуктами. Единственным исключением являются своеобразные сростания, названные нами классическими письменными пегматитами II группы, хотя вроски кварца в них также имеют индукционную огранку (фиг. 4, в). Этим и ограничивается их сходство с обычными классическими письменными пегматитами. Такие сростания имеют ничтожное распространение. Морфологически они представляют собой как бы корни друзовых головок кварца, обычно мориона (фиг. 4, в). Индукция вростков гранями полевого шпата связана со свободным одновременным ростом их в занорышах, заполненных пневматолитовыми, а позже гидротермальными растворами. Подобные вростки встречаются лишь в виде каемок на друзовых хорошо ограненных кристаллах полевого шпата из занорышей. Объемное количество кварца к периферии этих кристаллов полевого шпата обычно увеличивается.

Помимо классических, лучисто-венчиковых, порфиroidных и радиальных письменных пегматитов магматическое происхождение имеют также ритмично-зональные (Повилайтис, 1961, 2) образования, состоящие из двух чередующихся зон, первой — письменного пегматита (иногда микрогранита) и второй — зоны с псевдопорфиroidными выделениями одноглавых кристаллов кварца, головки которого направлены по направлению фронта кристаллизации. Эта разновидность дает переходы к скелетно-псевдографическим агрегатам с одноглавыми скелетными моховидными ихтиоглиптами. Интересно, что головки скелетных гранных дипирамид моховидных ихтиоглиптов также ориентированы в направлении фронта кристаллизации, а сами ихтиоглипты местами теряют скелетное и приобретают типичное индукционное строение (табл. VI, а).

Преобразование первичных письменных сростаний. Признаки магматического происхождения «индукционных» и родственных им письменных пегматитов не исключает возможностей для их образования; это противоречило бы реальным наблюдениям.

Одним из таких процессов является процесс упорядочивания и распада полевых шпатов, который не сказывается на форме кварцевых вростков. Ни в одном из пегматитовых тел не обнаружены полевые шпаты типа санидина, весьма обычные для

микрографических агрегатов в эффузивных и некоторых субвулканических образованиях (см. главу I). В лучшем случае процесс упорядочивания останавливается на стадии, соответствующей ортоклазу, но обычно калиевые полевые шпаты в пегматитах представлены микроклином, нередко максимальным. Очень редко встречаются и непертитизированные разновидности полевых шпатов. Обычно же в фазе калишпата содержится фаза альбит-олигоклаза (по данным дифрактометрии полевых шпатов). Встречаются пертиты перекристаллизации, но более обычные пертиты сегрегации, по классификации С. А. Руденко (1954).

Весьма распространены также процессы дробления и перекристаллизации письменного агрегата. Кварцевые вроски при этом разбиваются на отдельные мозаичные блоки, однако сохраняют свою внешнюю огранку.

Форма классических вросков сохраняется и при некоторых метасоматических процессах, например, при контактовом окварцевании микроклина: развивающийся агрегат кварца нарастает на поверхность ихтиоглиптов в виде своеобразной рубашки (табл. XII, а). Однако макроскопически на таких вросках индукционная огранка уже не видна.

К изменению первичной формы ихтиоглиптов ведут процессы ранней и поздней микроклинизации, но обычно письменный агрегат в этом случае уничтожается. Замещение, как правило, идет единым фронтом и кварц-полевошпатовый агрегат сразу заменяется ранним микроклином; в отдельных случаях сначала образуются отрицательно графические структуры с пустотами от выщелоченного кварца и лишь позже пустоты залечиваются поздним микроклином. Процесс выщелачивания кварца развивается и по некоторым вторичным письменным сростаниям (табл. XII, б).

Процессы альбитизации в одних случаях затрагивают лишь калишпат (пертиты замещения, табл. III, в, вплоть до образования антипертитов, табл. III, г). В антипертит-кварцевых графических сростаниях форма вросков может полностью сохраняться. В других случаях альбитизация захватывает и кварцевые вроски, причем в обоих случаях процесс интенсивнее идет внутри полых вросков, чем на периферии.

Все исследованные нами кварц-микроклиновые классические письменные сростания из пегматитов разных типов (редкоземельных, слюдоносных, редкометалльных, хрусталеносных) морфологически идентичны. В этой связи представляется совершенно бездоказательным мнение о развитии кварц-микроклиновых классических письменных агрегатов с индукционной огранкой индивидов (в частности, в мамских слюдоносных пегматитах) обязательно путем микроклинизации первичных кварц-плагио-клазовых письменных сростаний (Карпов, 1963; Завалишин, Карпов, 1963).

Остановимся на этом вопросе детальнее. Пересчитывая составы плагио-микроклиновых пегматитов (как известно, они отличаются от экспериментально полученных составов для области котектики) на гипотетический исходный плагиоклазовый состав (исходя из принципа постоянства объема), И. К. Карпов (1963) получил значения составов, близкие к кварц-плагиоклазовой эвтектике, а отсюда делает вывод о замещении микроклином кварц-плагиоклазового агрегата. Кварцу в этом процессе отводится роль «вполне подвижного минерала» — регулятора объема. Последующая перекристаллизация кварцевых вростков по схеме В. Д. Никитина, по мнению И. К. Карпова, приводит к появлению письменной структуры. Ссылка на несоответствие состава кварц-микроклиновых письменных пегматитов составу котектики в системе альбит-ортоклаз-кварц-вода и кажущееся соответствие результатов пересчета составу гипотетической плагиоклаз-кварцевой эвтектики недостаточны для подтверждения этой мысли, ибо в природных расплавах помимо воды присутствуют и другие летучие (например, фтор), что расширяет поле устойчивости кварца, а следовательно, смещает котектическую кривую к линии полевых шпатов (Wyllie, Tuttle, 1961).

Сегрегационно-метасоматические письменные ростания

Сегрегационно-метасоматические (переходные) письменные пегматиты представлены скелетно-графическими и пегматоидно-графическими агрегатами.

Прежде всего рассмотрим проблему генезиса скелетно-графических пегматитов, решавшуюся разными исследователями по-разному.

А. Е. Ферсман (1940) хотя и подчеркивал необходимость «различать первичные и вторичные письменные структуры», считал, что «ельчатые» кварцевые вростки в письменных пегматитах представляют собой пример сбрасывания избыточного кремнезема при кристаллизации из расплава. В пегматитах такое происхождение, по нашим данным, действительно имеют некоторые скелетные кварцы. Таковы, например, 1) скелетные порфиновые вкрапленники в аплитах и порфировидно-графических агрегатах, 2) псевдопорфиновые ритмичные выделения однонаправленного (одноглавого) скелетного кварца в некоторых ритмично-зональных текстурах (описание их см. выше), а также 3) одноглавые моховидные скелетные ихтиоглипты в скелетной графике. Эти ихтиоглипты вырастают в полевой шпат при одновременном, совместно с ним, росте, а потому по мере роста местами кристаллизуются в виде обычных индукционных ихтиоглиптов (табл. VI, а).

Однако для всех прочих более распространенных разновидностей скелетно-графических агрегатов имеются веские доказательства их постмагматического происхождения (Дмитриев, 1958; Бакуменко, 1962; Рундквист, 1963). Согласно нашим наблюдениям, с представлениями о магматическом происхождении кварца в большинстве скелетно-графических агрегатов не согласуются следующие факты.

1. На периферии отдельных скелетных ихтиоглиптов появляются типичные скелетные формы тригональной модификации кварца (фиг. 5, з), в то время как, по данным термометрии, магматическая стадия завершилась при температурах, значительно более высоких по сравнению с температурой инверсии кварца.

2. Ихтиоглипты нередко приурочены к залеченным трещинам в полевоом шпате, располагаясь в них цепочками (табл. VIIб, в). По этим трещинам развиваются пленочные пинакоиды симметричных и асимметричных ихтиоглиптов. Преимущественное развитие асимметричных ихтиоглиптов вдоль этих трещин приводит к образованию форм с отрицательным удлинением (фиг. 6), что не характерно для магматических вкрапленников скелетных кварцев.

3. Состав агрегата со скелетной графикой не выдержан. Имеются участки, обогащенные кварцем и резко обедненные им. При наличии в пегматите самостоятельной зоны со скелетной графикой наблюдается обогащение агрегата кварцем по мере приближения к ядерным зонам пегматитового тела. Такое обогащение кварцем характерно для многих типичных метасоматических образований.

4. Распределение вростков в полевоом шпате неравномерное, но никакой приуроченности их к формам роста (пирамидам роста) полевого шпата не наблюдается.

5. Кварц скелетной графики характеризуется наличием большого количества высокотемпературных включений, которые редко встречаются в магматических письменных агрегатах, не подвергшихся вторичным преобразованиям. Эти включения обычны и для скелетных агрегатов, в которых количественное отношение кварца к полевоому шпату является «субэвтектическим». Агрегаты с таким составом также характеризуются признаками 2 и 4. Они встречаются в виде шлировидных обособлений скелетной графики во внешних зонах пегматитов.

6. Отдельные изолированные группы шлиров со скелетной графикой, приуроченные к зонам с другими структурами, имеют цепочечное расположение, нередко несогласное с границами зон.

7. Линзы, жилки и изолированные шлиры со скелетной графикой встречаются как в магматических зонах с аплитовидной и классической графической структурами, так и в пневматолиговых зонах с пегматоидными и блоковыми структурами.

Поэтому происхождение большинства скелетно-графических агрегатов можно рассматривать лишь как результат наложения постмагматических метаморфических и метасоматических процессов на ранее образовавшиеся структурные разновидности пегматитов.

Дальнейшее преобразование скелетно-графических агрегатов может привести к образованию одной из разновидностей пегматоидно-графических агрегатов. Последняя обычна для внутренних частей зон со скелетной графикой и приурочена к контакту с пегматоидной зоной. При развитии пегматоидно-графических агрегатов из скелетно-графических значительную роль играли процессы окварцевания. Переходная между ними разновидность изображена на табл. VII, г.

Еще более четко процессы окварцевания выражены в разновидностях пегматоидно-графических агрегатов, переходных к прожилково-кварцевым агрегатам.

Преобразование индукционных письменных сростаний в пегматоидно-графические может идти как путем сегрегации, так и с привнесом кремнезема. Сегрегационные пегматоидно-графические агрегаты характеризуются более или менее изометричными вростками с комбинированной (индукционной, собственной) огранкой. Границы с полевым шпатом четкие. При развитии процессов окварцевания форма вростков усложняется: появляются чуждые кварцу прожилковые ответвления, заметно возрастает относительное количество кварца, местами образуются метасоматические антиграфические агрегаты, рассматриваемые ниже.

Роль метаморфических и метасоматических процессов в формировании сегрегационно-метасоматических структур определяется геологическими условиями формирования пегматитов. Процессы чистой сегрегации (пневматолитовыми растворами) преобладают в тех случаях, когда развитие раннего микроклина и кварца совмещено во времени. В этом случае наблюдается постепенный переход от первичных, чаще всего классических, письменных агрегатов к пегматоидным через промежуточную зону переходных вторичных скелетно- и пегматоидно-графических агрегатов. В этом отношении наши данные совпадают с наблюдениями В. Д. Никитина и противоречат взглядам сторонников исключительно метасоматического происхождения вторичных графических агрегатов в переходной зоне (Родионов, 1951).

В противном случае в формировании скелетно- и пегматоидно-графических агрегатов значительную роль играют метасоматические процессы, которые могут идти в широком интервале температур, достигая и весьма низких, т. е. параллельно с развитием не только блокового и ядерного (также сотового и сотовидного) кварца, но даже дымчатого кварца.

В заключение остановимся на механизме образования вторичных письменных агрегатов. Механизм собирательной пере-

кристаллизации мелкозернистых первичных агрегатов в более крупнозернистые — скелетно- и пегматоидно-графические — ранее рассматривался нами исходя из правила Оствальда-Фрейндлиха, согласно которому концентрация насыщения для кристаллов с небольшим радиусом больше, чем для крупных кристаллов, что приводит к росту крупных зерен за счет мелких.

Однако этот механизм действует лишь при перекристаллизации субмикроскопических агрегатов, а перекристаллизация агрегатов с индивидуальными макроскопическими размерами скорее обусловлена другой причиной. Сейчас выяснено, что в одних и тех же условиях быстрее растут зерна, имеющие более микродефектное строение, и что скорость растворения кристаллов с разной степенью дефектности не равна скорости их роста (Пунин, 1965). При микроосцилляционном режиме условий минералообразования (чередование недосыщения и пересыщения) начинается разрастание более дефектных зерен за счет менее дефектных. Частные же морфологические особенности агрегатов, — например, скелетная или комбинированная огранка вростков — могут быть связаны с соотношением величин кристаллизационного давления, которое развивают растущие поверхности кварца и полевого шпата в конкретных условиях роста (степень насыщения, состав растворов и т. д.).

Метасоматические письменные сростания

Исключительно метасоматическими (в том числе аутометасоматическими) являются прожилково-кварцевые письменные и псевдописьменные сростания. Для изученных автором пегматитов Казахстана и Забайкалья (в отличие от волынских) эти сростания малохарактерны. Хотя отдельные кварцевые прожилки и наблюдаются в блоках микроклина, однако редко этот процесс выражен настолько четко, чтобы имело смысл рассматривать эти агрегаты как письменные.

Интенсивное и четкое поспайное развитие агрегатов этого типа по блокам полевого шпата описано Л. А. Приказчиковым (1962) для пегматитов Волыни. Гораздо чаще прожилковые агрегаты образуются по классическим письменным пегматитам (табл. XII, б).

С интенсивным развитием окварцевания связаны и обратнографические или антиграфические агрегаты, характеризующиеся наличием вростков-реликтов полевого шпата в блоках вторичного кварца. Замещению с образованием этой разновидности агрегатов может подвергаться как письменный агрегат, так и блоки полевого шпата (Бунтин, 1936; Приказчиков, 1962). Морфологические отличия метасоматических графических агрегатов от первично-магматических агрегатов в классических письменных пегматитах приведены выше.

Таким образом, никакие универсальные схемы генезиса письменных пегматитов в целом не являются правильными. Письменные пегматиты объединяют полигенные, но не конвергентные образования. Это различие многими исследователями до сих пор не учитывалось должным образом и приводило к недостаточно обоснованным выводам. Единственное исключение (в смысле конвергентности) — скелетные вкрапленники в порфиривидно-графических агрегатах (табл. IX, б) и двуглавые скелетные ихтиоглипты в скелетно-графических агрегатах (табл. VIIб, в). Но и они четко различаются по структурным признакам, отмеченным выше. Следовательно, кристалломорфологические наблюдения, подкрепленные комплексом геологических и экспериментальных данных (исследование включений и т. д.), позволяют объективно решать вопросы генезиса письменных пегматитов.

ЛИТЕРАТУРА

- Абдуллаев Х. М., Гинзбург А. И. К вопросу о классификации гранитных пегматитов.— Советская геология, 1962, № 1.
- Антонов-Романовский В. В. О рекомбинационной флуоресценции.— Изв. АН СССР, 1946, 10.
- Архангельская В. В. Особенности условий образования и состава пегматитоносных гранитоидов СССР.— Труды Всес. ин-та минер. сырья, вып. 22, 1964.
- Бабаев К. Л. Генетические особенности гранитных пегматитов Средней Азии.— Междунар. геол. конгр., 21-я сессия. Докл. сов. геологов. Изд-во АН СССР, 1960.
- Бабаев К. Л. Гранитные пегматиты Средней Азии.— Труды САИГиМС, вып. 1, 1961.
- Базаров Л. Ш. Изменения физико-химических условий при формировании флюоритоносных пегматитов.— Тезисы докладов II Всес. совещ. по геотермобарометрии, Новосибирск, 1965.
- Базаров Л. Ш., Бакуменко И. Т., Долгов Ю. А. Критические явления в процессах эндогенного рудообразования.— Тезисы докладов II Всес. совещ. по геотермобарометрии, Новосибирск, 1965.
- Базаров Л. Ш., Добрецова И. Л., Юсупов С. Ш. Характер распределения фтора вокруг камерного пегматита в гранитах.— Докл. АН СССР, 1964, т. 157, № 5.
- Бакуменко И. Т. О формах скелетного роста на примере кварца из пегматитов.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1962, ч. 91, вып. 6.
- Бакуменко И. Т. «Скелетная графика» в пегматитах.— Труды ИГиГ СО АН СССР. Сб. «Материалы по генетич. и экспер. минер.», вып. 15, т. 1, 1963.
- Бакуменко И. Т. О первичных включениях в магматических минералах и начальных экспериментах с ними.— Сб. «Минералогическая термометрия и барометрия». Изд-во «Наука», 1965.
- Бакуменко И. Т. О процессах образования высокотемпературных зон пегматитов.— Тезисы докладов II Всес. совещ. по геотермобарометрии, Новосибирск, 1965.
- Бакуменко И. Т. О методах исследования структурных соотношений в «индукционных» письменных пегматитах.— Зап. Всес. мин. об-ва, ч. 95, вып. 4, 1966.
- Бакуменко И. Т., Долгов Ю. А. О низкотемпературном микроклине.— Сб. «Материалы по генетич. и экспер. минер.». Тр. ИГиГ СО АН СССР, т. 4, 1966.

- Бакуменко И. Т., Долгов Ю. А., Базаров Л. Ш. Метод определения давления во включениях с помощью совместного применения гомогенизации и криометрии.— Тезисы докладов II Всес. совещ. по геотермометрии. Новосибирск, 1965.
- Белов И. В. Трахибазальтовая формация Прибайкалья. Изд-во АН СССР, 1963.
- Бескин С. М. О возможном механизме формирования зональных пегматовых тел с мнуроловыми пустотами.— Труды ВНИИП, т. V, 1961.
- Бетехтин А. Г. О текстурах и структурах руд.— Пробл. советской геологии, 1934, № 9, 1935, № 3.
- Бетехтин А. Г. Классификация структур и текстур руд.— Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 1 и 2.
- Беус А. А. О природе аплитовой зоны гранитных пегматитов.— Труды Мин. музея АН СССР, вып. 2, 1950.
- Беус А. А. О зональности гранитных пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1951, № 6.
- Беус А. А. К вопросу о происхождении зональности гранитных пегматитов.— Докл. АН СССР, новая серия, 1954, т. 95.
- Бокый Г. Б. Число физических различных простых форм кристаллов.— Труды лабор. крист. АН СССР, 1940, № 2.
- Брешенков Б. К. Об α - и β -кварце в изверженных породах.— Труды ВНИИП, т. IV, вып. 2, 1960.
- Бунтин Г. Н. О структурах замещения из Чупинских пегматовых жил.— Уч. зап. ЛГУ, 1936, вып. 2.
- Вадило П. С. Этюды по минералогической кристаллографии. Обегашущие вrostки вицинали.— Мин. сб. Львов. геол. об-ва, 1950, № 4.
- Вендланд К. Н. Микроскопическое исследование пегматитов Мамско-Витимского плодоносного района.— Труды ВГРО, вып. 221, 1932.
- Вертушков Г. Н. Морфология друзы кристаллов кварца и полевого шпата из пегматитовой жилы Адуйского месторождения на Урале.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1954, ч. 83, вып. 4.
- Вертушков Г. Н. Дендритные кристаллы микроклинов в микрографическом сростании с кварцем из Режевского района на Урале.— Труды Горно-геол. ин-та Уральск. фил. АН СССР, вып. 42, 1959.
- Власенко А. К. Об аплитовых оторочках пегматитовых жил и условиях их образования.— Докл. АН СССР, 1955, т. 104, № 2.
- Власов К. А. Текстурно-генетическая классификация гранитных пегматитов.— Докл. АН СССР, новая серия, 1946, т. LIII, № 9.
- Власов К. А. Текстурно-парагенетическая классификация гранитных пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 2.
- Власов К. А. Генезис редкометалльных пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1955, № 5.
- Власов К. А. Принципы классификации гранитных пегматитов и их текстурно-парагенетические типы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1961, № 1.
- Войцеховский В. Н., Мокиевский В. А. Некоторые вопросы взаимосвязи роста и растворения кристаллов.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1965, ч. 94, вып. 1.
- Воронцов Н. Н., Дмитриев С. Д. О некоторых особенностях размещения пегматитов и кварцевых жил с пьезооптическими минералами в Центральном Казахстане.— Труды ВНИИП, т. IV, вып. 1, 1960.
- Вукалович М. П. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М.— Берлин, 1958.
- Гаврилин Р. Д. Некоторые особенности оптических свойств калиевых полевых шпатов гранитоидов.— Советская геология, 1956, сб. 51.
- Генделев С. Ш. Что такое реберная форма?— Зап. Всес. мин. об-ва, серия II, 1959, ч. 88, вып. 1.
- Геологическое строение Центрального и Южного Казахстана.— Материалы ВСЕГЕИ, новая серия, вып. 41, 1961.

- Геология СССР. Восточный Казахстан, ч. 1, геологическое описание, 1947.
- Гинабург А. И. Структуры минеральных агрегатов сложных пегматитов щитового типа.— Труды мин. музея, вып. 1, 1949.
- Гинабург А. И. О влиянии внешнего давления на ход пегматитового процесса.— Труды Всес. ин-та минер. сырья, вып. 22, 1964.
- Гинабург А. И. О влиянии внешнего давления на ход пегматитового процесса.— В кн. «Вопросы геологии и генезиса пегматитов». Сб. «Геол. месторожд. редких элементов», вып. 22, 1964.
- Гинабург А. И., Родионов Г. Г. О глубинах образования гранитных пегматитов.— Геол. рудн. месторожд., 1960, № 1.
- Горностаев Н. Н. О новых законах полевошпат-кварцевого прорастания.— Изв. Томск. техн. ин-та, 1925, 46.
- Григорьев Д. П. К вопросу о различении первичных и вторичных жидких включений в минералах.— Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1948, № 2.
- Григорьев Д. П., Шафрановский И. И. Эпитаксическое нарастание кварца на полевой шпат.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1947, ч. 75, вып. 4.
- Григорьев Д. П. Некоторые явления генезиса минералов в жилах.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1954, ч. 83, вып. 3.
- Григорьев Д. П. Онтогенез минералов. Изд-во Львовск. ун-та, 1961.
- Григорьев И. Ф., Доломанова Е. И. Топаз из месторождений касситерит-кварцевой формации Забайкалья и его метасоматические изменения.— Труды мин. музея АН СССР, вып. 6, 1954.
- Гурьева Э. Я. О некоторых графических сростаниях кварца с полевыми шпатами в пегматитах Мамского района.— Труды Ин-та геол. рудн. месторожд., петр. минер. и геохимии, вып. 10, 1957.
- Давиденко И. В. О щелочности — кислотности пегматитового процесса.— Сб. «Минеральное сырье», вып. 7, 1963.
- Давиденко И. В. Двуполевошпатовый геотермометр Барта и температуры образования гранитных пегматитов.— Тезисы докладов II Всес. совещ. по геотермобарометрии. Новосибирск, 1965.
- Данков П. Д. Механизм фазовых превращений с точки зрения принципа ориентационного и размерного соответствия.— Изв. сектора физ.-хим. anal. Ин-т общ. и неорг. химии АН СССР, 1949, т. XVI, вып. 1.
- Дворкин-Самарский В. А. Мамские гранитные пегматиты и их слюдоносность.— Труды ВСФ АН СССР, вып. 16, 1961.
- Дворкин-Самарский В. А. О закономерностях изменения угла $2V$ полевых шпатов пегматитов.— БКНИИ СО АН СССР. Улан-Удэ, 1961.
- Дембо Т. М. О происхождении кварцевых вростков графических пегматитов.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1949, вып. 1.
- Деметьева Г. И. Об индукционных поверхностях на кристаллах.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 92, вып. 4.
- Джавахишвили Ш. И. О генезисе микропегматитов в гранитоидах Локского массива.— Сообщ. АН Груз. ССР, 1964, т. 15, № 3.
- Дмитриев Л. В. Петрохимические особенности дифференциации и гибридыма гранитоидов Бет-Пак-Дала (Ц. Казахстан).— Сб. «Магматизм и связь с ним полезных ископаемых». Госгеолтехиздат, 1960.
- Дмитриев Л. В. Петрохимические особенности дифференциации и гибридыма интрузивной фазы Кавбского гранитного массива.— Геохимия, 1961, № 3.
- Дмитриев Л. В. Петрографическое описание горных пород Среднечундинских массивов.— Труды Ин-та геол. рудн. месторожд., петр. мин. и геохимия, 1962, вып. 54.
- Дмитриев С. Д. Структуры гранитных пегматитов Прибалхашья и некоторые особенности их формирования.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1958, вып. 2.
- Дмитриев С. Д. Гранитные пегматиты Центрального Казахстана.— Материалы Всес. н.-и. геол. ин-та, 1960, вып. 29.

- Дмитриев С. Д., Майоров А. Н. Об одном типе гранитных пегматитов Центрального Казахстана.—Инф. сб. Всес. геол. ин-та, № 4, 1956.
- Дмитриевский В. С., Буковшина Н. П. О зональном строении кварца из гранитных пегматитов блоковой текстуры.—Труды Воронежск. ун-та, т. 58, 1957.
- Дмитриевский В. С., Буковшина Н. П. О складчатых жилках кварца в гранит-порфирах.—Труды Воронежск. ун-та, т. 48, 1958.
- Дойникова Л. А. Поверхности соприкосновения кристаллов алюмокалевых квасцов с другими телами.—Зап. Всес. мин. об-ва, 1948, ч. 77, вып. 3.
- Долгов Ю. А. Особенности генезиса высокотемпературных кварцев.—Мин. сб. Львов. геол. об-ва, 1955, № 9.
- Долгов Ю. А. Включения сетчатых кварцев в пегматитах Волини и данные термозвукового анализа.—Труды ВНИИП, т. 1, вып. 2, 1957.
- Долгов Ю. А. Термодинамические особенности генезиса камерных пегматитов.—Сб. материалов по генетич. и эксперим. минерал.—Труды ИГиГ СО АН СССР, вып. 15, 1962.
- Долгов Ю. А. Вопросы генезиса пегматитов по материалам изучения флюидов в минералах.—Докл. сов. геол. на междунар. геол. конгр., 22-я сессия, 1964.
- Долгов Ю. А. Минералообразование в камерных пегматитах.—Зап. Всес. мин. об-ва, 1965, ч. 94, вып. 1.
- Долгов Ю. А. Эволюция и флуктуация термодинамических параметров в эндогенном минералообразовании.—Тезисы докладов II Всес. совещ. по геотермобарометрии. Новосибирск, 1965.
- Долгов Ю. А., Бакуменко И. Т. О высокотемпературном пневматолитовом кварце Золотой горы.—Докл. АН СССР, 1964, т. 159, № 5.
- Долгов Ю. А., Шугурова Н. А. Состав газов из индивидуальных включений различных минералов.—Тезисы докл. II Всес. совещ. по геотермобарометрии. Новосибирск, 1965.
- Долливо-Добровольский В. В. Курс кристаллографии. ОНТИ, Л.—М., 1937.
- Евзикова Н. З. О пегматитах основных пород и механизме возникновения в них письменной структуры.—Зап. Всес. мин. об-ва, 1955, вып. 3.
- Ермаков Н. П. Критерии познания генезиса минералов и среда рудообразования.—Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1949, № 3, прил. 1.
- Ермаков Н. П. Исследования минералообразующих растворов. Изд-во Харьк. ун-та, 1950.
- Ермаков Н. П. Гранитные пегматиты, силекситы и кварцолиты Казахстана.—Междунар. геол. конгр., 21-я сессия. Докл. сов. геологов, пробл. 17. Изд-во АН СССР, 1960.
- Ермаков Н. П. Термометрия глубинных процессов рудообразования.—Сб. «Минералогическая термометрия и барометрия». Изд-во «Наука», 1965.
- Ермаков Н. П., Калюжный В. А., Мязь Н. И. Результаты минералотермических исследований некоторых кристаллов мориона с Волини.—Труды ВНИИП, т. 1, 1957.
- Ефремова С. В. Особенности жильных пород Бет-Пак-Далы и сев.-зап. Прибалхашья.—Бюлл. МОИП, отд. геол., 1959, т. 34, № 6.
- Ефремова С. В. Петрографическое описание жильных пород каледонских и герцинских интрузивных комплексов Бет-Пак-Дала.—Тр. Ин-та геол. рудн. месторожд., петр., мин. и геохимии, вып. 54, 1962.
- Жуков М. А. Основные черты геологического строения и металлогении района Каибского гранитного массива.—Сб. научн. трудов Казахст. горно-металлург. ин-та, № 20, 1959.
- Завалишин М. А., Карпов И. К. О метасоматической природе микроклиновой графики мамских пегматитов.—Зап. Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 92, вып. 6.

- Заварицкий А. Н. Описательная петрография. Литографир. изд-во Кубуч. Л., 1929.
- Заварицкий А. Н. Основной вопрос физической химии процесса образования пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1944, № 5.
- Заварицкий А. Н. О пегматитах как образованиях, промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами.— Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 1. См. также сб. «Оси. проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях», 1959.
- Зырянов К. Б. К вопросу о химизме щелочных гранитов и значении повышенной щелочности в гранитоидах для хрусталеобразования.— Труды ВНИИП, т. 4, вып. 1, 1960.
- Захарченко А. И., Венедиктов С. Н., Соколов Я. Н. Особенности характера и генезиса пегматитов с кристаллами пьезооптического кварца.— Советская геология, 1958, № 8.
- Захарченко А. И. О зарождении и стадиях развития письменного гранита на примере внутригранитных уплощенных пегматитов.— Инф. сб. ВСЕГЕИ, 1960, № 37.
- Захарченко А. И. О физико-химических условиях и процессах формирования гранитных пегматитов.— Геохимия, 1964, № 11.
- Захарченко А. И., Соколов Я. Н. Хрусталеносные и флюоритоносные пегматиты и их основные генетические типы.— Бюлл. ВСЕГЕИ, 1960, вып. 2.
- Зиновьев Г. Д. Коунрадский гранитный массив.— Сб. «Гранитные интрузии Казахстана». Изд-во АН Каз. ССР, 1948.
- Золотухин В. В., Олейников Б. В. О кислых гибридных породах с р. Горбичин (Сибирская платформа).— В кн. «Материалы по генетич. и эксперим. минералогии», т. 1. Труды ИГиГ СО АН СССР, вып. 15, 1963.
- Зотов П. П. О последовательности внедрения и возрасте интрузивных пород Коунрадского района.— Докл. АН СССР, 1957, т. 115, № 6.
- Ивенсен Ю. П. Особенности геологии и вещественного состава гранитных пегматитов.— Междунар. геол. конгр., 21-я сессия, докл. сов. геол., 1960.
- Ингерсон Э. Методы геологической термометрии.— В сб. «Проблемы рудных месторождений». М.—Л., 1958.
- Иодер Х. С., Стюарт Д. Б., Смит Дж. Р. Тройные полевые шпаты. Сб. «Вопросы теор. и эксп. петрологии». ИЛ, 1963.
- Казанли Д. Н. Геофизические данные при анализе металлогении и построении прогнозов в Казахстане.— В кн. «Материалы научн. сессии по металлогенич. и прогнозным картам». Изд-во АН Каз. ССР, 1958.
- Калинин П. В. О пегматитах Слюдянского района в Южном Прибайкалье.— В кн. «Труды геологоразвед. ин-та им. С. Орджоникидзе», 1957, т. 31.
- Калужный В. А. Жидкие включения в минералах как геологический барометр.— Мин. сб. Львовск. об-ва, 1955, № 9.
- Калужный В. А. К вопросу о герметичности жидких включений.— Труды ВНИИП, 1958, т. 11, вып. 2.
- Калужный В. А. Методы вивчення багатофазових включень у мінералах.— Вид. АН УССР, Київ, 1960.
- Калужный В. А., Колтун Л. И. Некоторые данные о давлениях и температуре при образовании минералов Нагольного кряжа (Донбасс). Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1953, № 7.
- Каменцев И. Е. К вопросу об ориентированной кристаллизации иодистого и бромистого калия на мусковите.— Кристаллография, 1956, т. 1, вып. 2.
- Камерон Е., Жанс П., Мак-Нейр, Пейдж В. Внутреннее строение гранитных пегматитов. ИЛ, 1951.
- Карпинский А. П. Письменный гранит без кварца.— Зап. мин. об-во, 1902, 39.

- Карпов И. К. Изучение количественно-минералогического состава мамских пегматитов и генезис кварцевых вростков в микроклине.— Геология и геофизика, 1963, № 2.
- Катковский Г. С. Зависимость морфологии пегматитов от тектоники Баян-Аульского интрузива.— Труды ВНИИП, т. 7, 1962.
- Клевцов П. В. К вопросу о плотностях растворов в системе $H_2O-NaCl-KCl$.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1959, вып. 88, № 1.
- Клевцов П. В., Леммлейн Г. Г. Определение условий образования кварца с Южного Урала по жидким включениям CO_2 и водного раствора солей.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1958, № 2.
- Клевцов П. В., Леммлейн Г. Г. Определение минимального давления образования кварца на примере кристаллов с Памира.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1959, вып. 88, № 6.
- Коптев-Дворников В. С., Полквой О. С. Интрузивные комплексы гранитоидов палеозоя Бет-Пак-Далы.— Советская геология, 1956, сб. 51.
- Коптев-Дворников В. С., Руб М. Г., Дмитриев Л. В., Негрей Е. В. Закономерности формирования гранитных интрузий. Сб. геохим. редких элем. в связи с пробл. петрогенезиса. АН СССР, 1959.
- Коптев-Дворников В. С. О геологических условиях развития явлений дифференциации в гранитных интрузивах формации малых глубин.— Советская геология, 1961, № 1.
- Коржинский Д. С. Петрологический анализ флогопитовых и мусковитовых месторождений Восточной Сибири.— Сб. «Слюды СССР». Изд-во ЦНИГРИ, 1937.
- Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов.— В сб. «Осн. пробл. в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд-во АН СССР, 1955.
- Коржинский Д. С. Зависимость активности компонентов от кислотности раствора и последовательность реакций при послемагматических процессах.— Геохимия, 1956, № 7.
- Кормилицын В. С., Мануйлова М. М. Ритмично-полосчатые кварцевые порфиры горы Бугдаи (Юго-Восточное Забайкалье).— Зап. Всес. мин. об-ва, 1957, ч. 86, № 3.
- Корнетова В. А. Псевдоморфозы слюды по топазу в пегматитах Восточного Забайкалья.— Труды Мин. музея АН СССР, 1954, вып. 6.
- Косой Л. А. Срастание кварца и полевых шпатов из пегматитовых жил Карелии.— Докл. АН, 1938, т. 19, № 4.
- Кузнецов В. И. К изучению гранитных пегматитов Калбы.— Научн. Зап. Львов. политехн. ин-та, серия геол.-развед., 1956, вып. 46, № 2.
- Кузнецов Ю. А. Магматические формации и некоторые общие вопросы геологии.— Геология и геофизика, 1963, № 5.
- Кутюлин В. А. Петрология траппов Кузбасса.— Межд. геол. конгр. 22-я сессия. Докл. сов. геологов. Базальты плато. Изд-во «Наука», 1964.
- Лазаренков В. Г. Исследование индукционных граней в связи с условиями роста кристаллов.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1958, ч. 87, вып. 3.
- Лебедев В. И. О генезисе письменных структур в пегматитах.— Уч. зап. Ленингр. гос. ун-та, № 215, серия геол., геохимия, 1957.
- Леммлейн Г. Г. Секториальное строение кристаллов. Изд-во АН СССР, 1948.
- Леммлейн Г. Г. Процесс залечивания трещин в кристаллах и преобразование формы полостей вторичных жидких включений.— Докл. АН СССР, 1951, т. 78, № 4.
- Леммлейн Г. Г. К теории залечивания трещин в кристалле и о равновесной форме отрицательного кристалла.— Докл. АН СССР, 1953, т. 89, № 2.
- Леммлейн Г. Г., Клевцов П. В. Физико-химический анализ жидких включений в кварце, содержащих кристаллики галита и сильвина.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1955, вып. 84, № 1.

- Леммлейн Г. Г., Клевцов П. В. Влияние концентрации на температуру гомогенизации систем, состоящих из водных растворов солей.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1956, вып. 85, № 3.
- Лесняк В. Ф. Основы анализа физико-химических свойств минералообразующих растворов по включениям в минералах. Изд-во Львовск. ун-та, 1964.
- Лодочников В. Н. Еще о некоторых структурах.— Геол. вестн., 1926—1927, т. V, № 1—3.
- Лодочников В. Н. Об импликационных структурах.— Геол. вестн., 1928, т. VI, № 1—13.
- Лушник И. Б. К теории термического высвечивания.— Докл. АН СССР, 1955, т. 101, № 4.
- Малинин С. Д. Система H_2O-CO_2 при высоких температурах и давлениях.— Геохимия, 1959, № 3.
- Маркова Н. Г. О возрасте и положении в структуре интрузий Бет-Пак-Далы.— Советская геология, 1956, сб. 51.
- Марфуни А. С. Полевые шпаты — фазовые взаимоотношения, оптические свойства, геологические распределения.— Труды Ин-та геол. рудн. месторожд., петрографии, минер. и геохимии. Изд-во АН СССР, 1962, вып. 78.
- Масгутов Р. В. Об одном случае пегматитообразования.— Труды Ин-та геол. наук АН Каз. ССР, 1961, 4.
- Михеев В. И., Шафрановский И. И. Реберные формы кристаллов. Сообщ. первое.— Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1955, № 9.
- Михеев В. И., Шафрановский И. И. Реберные формы кристаллов. Сообщ. второе. Сб. «Кристаллография», вып. 5. Изд-во Ленингр. горн. ин-та, 1956.
- Михеев В. И., Шафрановский И. И. Реберные формы и штриховки на кристаллах.— Кристаллография, 1957, т. 2, вып. 1.
- Мокиевский В. А. Некоторые замечания по книге Д. П. Григорьева «Онтогенез минералов».— Зап. Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 92, вып. 4.
- Мокиевский В. А., Джафаров Ч. Д. Перспективы фотогонометрического исследования кристаллов со сложной поверхностью.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 92, вып. 1.
- Мокиевский В. А., Семенюк С. Н. Скелетный рост кристаллов в вязкой среде.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1952, ч. 85, № 2.
- Мокиевский В. А., Шафрановский И. И. Симметрия, антисимметрия и псевдосимметрия индукционных поверхностей.— Кристаллография, 1957, т. II, вып. 1.
- Монич В. К. Петрология гранитных интрузий Баян-Аульского района в Центральном Казахстане. Изд-во АН Каз. ССР, 1957.
- Монич В. К., Зворыгина Е. К. К петрографии среднегерцинских интрузий Коунрадского района.— Изв. АН Каз. ССР, серия геол., 1957, вып. 4(29).
- Монич В. К., Зворыгина Е. К., Мелихов В. Д. Щелочные полевые шпаты из гранитов Восточно-Коунрадского и Бектауатинского массивов.— Изв. АН Каз. ССР, серия геол., 1962, вып. 3.
- Геологическое строение Центрального и Южного Казахстана. Под ред. Д. В. Наливкина. Материалы ВСЕГЕИ, новая серия. Л., 1961, вып. 41.
- Немец Д. Параллельные сростки кристаллов кварца из пегматитов близ д. Дольные Боры в Моравии (Чехословакия).— Зап. Всес. мин. об-ва, 1954, ч. 83, вып. 3.
- Нингль П. Стереохимия. ИЛ, 1949.
- Никитин В. Д. К генезису слюдяных пегматитов в Карелии.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1950, № 4.
- Никитин В. Д. Процессы перекристаллизации и метасоматоза в слюдоносных и керамических пегматитах.— Зап. Ленингр. горн. ин-та, 1952, вып. 2.
- Никитин В. Д. К теории генезиса пегматитов.— Зап. Ленингр. горн. ин-та, 1955, т. 30, вып. 2.

- Никитин В. Д. Строение и генезис письменных гранитов в пегматитовых жилах.— Зап. Ленингр. горн. ин-та, 1958, вып. 2.
- Никитин В. Д. Современное состояние учения о процессах и условиях формирования пегматитов.— Зап. Ленингр. горн. ин-та, 1959, № 40.
- Никитин В. Д. Условия формирования редкометалльных и слюдоносных пегматитов.— Докл. сов. геологов. Пробл. 17. Минералогия и генезис пегматитов, 1960.
- Овсиенко Д. Е. Кинетика кристаллизации водных растворов NaCl—NaBr на поверхности галенита.— Вопр. физики металлов и металловедения, 1953, № 4.
- Одикадзе Г. Л. Некоторые особенности генезиса кварцевых вростков в письменных структурах пегматитов (на примере жилы Дзиркульского массива).— Зап. Всес. мин. об-ва, 1965, II серия, ч. 94, вып. 1.
- Петровская Н. В. Гиганто-магматитовый тип пегматитов Мамско-Витимского слюдоносного района.— ОНТИ — НКТП СССР. М., 1937.
- Повилайтис М. М. О ритмичной зональности некоторых гранитоидных тел.— Изв. АН СССР, серия геол., № 2, 1961.
- Повилайтис М. М. Новые данные о гранитоидных телах с ритмично-зональным строением.— Геол. рудн. мест., № 5, 1961.
- Полканов А. А. О контактовом взаимодействии диабазы и гнейсо-гранита на Кольском полуострове.— Труды Санкт-Петербург. об-ва естеств., т. 44, № 4—6, 1913.
- Полковой О. С. Геология Джельтаусского гранитного массива (Казахстан, пустыня Бет-Пак-Дала).— Труды Ин-та геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохимии АН СССР, вып. 5. Изд-во АН СССР, 1957.
- Полковой О. С. Петрографические особенности разновозрастных девонских массивов пустыни Бет-Пак-Дала.— Бюлл. об-ва испыт. природы, отд. геол., 1958, ч. 33, № 3.
- Половинкина Ю. И., Егорова Е. Н., Аникеева Н. Ф., Комарова А. Е. Структуры горных пород. Т. 1. Магматические породы. Госгеол-издат, 1948.
- Польковский В. С., Ройзенман Ф. М., Максарева Т. С., Фокеев В. М. К методике определения давления по включениям в кварце.— Труды МГРИ, т. 39, 1963.
- Приказчиков Л. А. О трубчатых каналах в кристаллах мориона из пегматитов Волины.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1958, ч. 88, II серия.
- Приказчиков Л. А. О поспайном замещении полевого шпата.— Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1962, № 16.
- Пунин Ю. О. Перекристаллизация с укрупнением зерна в водном растворе.— Зап. Всес. мин. об-ва, серия 2, 1964, ч. 93, вып. 3.
- Пунин Ю. О. К вопросу механизма перекристаллизации.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1965, ч. 94, вып. 4.
- Ревердатто В. В. Петрология Анакитского дифференцированного траппового массива и его структура.— Геология и геофизика, 1963, № 10.
- Родионов Г. Г. О так называемых апографических пегматитах.— Труды Ин-та по проекту и научн.-исслед. раб. слюд. пром., вып. 1, 1951.
- Родионов Г. Г. Происхождение форм пегматитовых жил.— Труды Всес. научн.-исслед. ин-та асбоцем. Изд-во ВНИИ Асбестцемент, вып. 5, 1956.
- Родионов Г. Г. Типы слюдоносных пегматитовых жил и их промышленная оценка.— Труды Всес. ин-та минер. сырья, новая серия, вып. 4, Госгеол-техиздат, 1959.
- Родионов Г. Г. Типы пегматитовых поясов и их особенности.— Труды Всес. ин-та минер. сырья, вып. 22, 1964.
- Родионов Г. Г. Классификация пегматитов и особенности процесса пегматитообразования.— Труды Всес. ин-та минер. сырья, вып. 22, 1964.
- Родионов Г. Г., Давиденко И. В. Некоторые геохимические особенности процессов образования пегматитов разных формаций.— Труды Всес. ин-та минер. сырья, вып. 22, 1964.
- Розенбуш Г. Описательная петрография, 1934.

- Руденко С. А. Морфолого-генетическая классификация пертитовых сростаний.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1954, вып. 1.
- Рундквист Д. В. Происхождение ельчатых графических структур пегматитов.— Труды Всес. научн.-исследов. геол. ин-та, минер. сб. 3, т. 96, 1963.
- Серебряков В. А. О происхождении мирмекитов.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 92, вып. 1.
- Серых В. И., Ященко Н. Я. О порфиробластовых гранитах Зерендинского массива (Северный Казахстан).— Изв. АН СССР, серия геол., 1963, № 9.
- Смит Ф. Г. Геологическая термометрия по включениям в минералах. ИЛ, 1956.
- Сморчков И. Е. Гранитоидные породы западной части Борщевочного хребта.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, серия петр., вып. 148, № 44, 1953.
- Соболев В. С. Петрология траппов Сибирской платформы.— Труды Арктич. ин-та, т. 43, 1936.
- Соболев В. С. Петрология восточной части сложного Коростеньского плутона.— Уч. зап. Львовск. гос. ун-та, т. 6, серия геол., 1947, вып. 5.
- Соболев В. С. Введение в минералогию силикатов. Изд-во Львовск. гос. ун-та, 1949.
- Соболев В. С. Генетическое значение понятий структуры и текстуры.— Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1950, № 4.
- Соболев В. С. Физико-химические условия минералообразования в земной коре и мантии.— Геология и геофизика, 1964, № 1.
- Соболев В. С. Федоровский метод. Изд-во «Недра», 1964.
- Соболев В. С., Бакуменко И. Т. О температуре кристаллизации прозрачного альбита из месторождения Стшегом в Силезии.— Бюлл. Польской АН, серия геол. и географ. наук, 1964, т. 12, № 2.
- Соболев В. С., Долгов Ю. А., Базаров Л. Ш., Бакуменко И. Т., Щербакова З. В. Высокотемпературные включения в минералах пегматитов и гранитов.— Докл. АН СССР, 1964, т. 157, № 2.
- Сokolov Ю. М. Связь слюдоносности пегматитовых жил Мамского района с региональным метаморфизмом.— Сб. «Некоторые вопросы геологии Азиатской части СССР». Изд-во АН СССР, 1959.
- Солодов Н. А. Внутреннее строение и геохимия редкометалльных гранитных пегматитов. Изд-во АН СССР, 1962.
- Старицкий Ю. Г. Определение понятий «структура» и «текстура».— Зап. Всес. мин. об-ва, 1954, ч. 83, № 3.
- Тернер Ф., Ферхуген Дж. Петрология изверженных и метаморфических пород. ИЛ, 1961.
- Тихомиров Н. И. и др. Интрузивные комплексы Забайкалья. Изд-во «Недра», 1964.
- Толстопятов М. А. К вопросу о кристаллогенезисе (криптопирамида). СПб., 1916.
- Трейбус Е. Б. Индукционные грани на кристаллах граната из пегматитовой жилы Северной Карелии.— Сб. науч. работ студентов Ленингр. горн. ин-та, 1957, вып. 2.
- Трейбус Е. Б. О роли диффузии при кристаллизации из растворов.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1963, ч. 92, вып. 1.
- Успенский Н. М. О генезисе пегматитов Золотой горы.— Советская геология, 1945, сб. 4.
- Ферсман А. Е. Случай закономерного сростания турмалина и полевого шпата из Мурзинки.— Зап. Урал. общ. любителей естеств., 1915, 35.
- Ферсман А. Е. Письменная структура пегматитов и причины ее возникновения.— Изв. АН, серия 6, 1915.
- Ферсман А. Е. Элементы разграничения двух одновременно кристаллизующихся веществ.— Докл. АН, серия А, 1922.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, т. 1. Изд-во АН СССР, 1940.
- Франк-Каменецкий В. А. Строение поверхностей сростания кристаллов барита.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1948, ч. 77, вып. 3.

- Франк-Каменецкий В. А. Случай закономерного сростания кварца и олигоклаза в мусковите.— Уч. зап. Ленингр. ун-та, серия геол. наук, 1954, № 178, вып. 4.
- Франк-Каменецкий В. А. Природа структурных примесей в минералах. Изд-во Ленингр. ун-та, 1964.
- Франк-Каменецкий В. А., Шафрановский И. И. По поводу «кубических» кварцев.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1960, ч. 89, вып. 4.
- Хесс Ф. Пегматиты Западных Штатов. Сб. «Геол. рудн. месторожд. Зап. Штатов США», ИЛ, 1937.
- Хитаров Н. И., Калинин С. Д. Экспериментальная характеристика части системы H_2O-CO_2 . Геохимия, 1956, № 3.
- Хитаров Н. И., Калинин С. Д. О равновесных фазовых отношениях в системе H_2O-CO_2 .— Геохимия, 1958, № 7.
- Хитаров Н. И., Лебедев Е. Б., Кадик А. А. Растворимость воды в расплаве гранитного состава при давлениях до 7000 атм.— Геохимия, 1963, № 10.
- Цинзерлинг Е. В. Искусственное двойникование кварца, 1961.
- Цинзерлинг Е. В. О каналах в кварце.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1964, II серия, ч. 93, вып. 3.
- Чернышкова Л. П. Геологические особенности пегматитов Волыни, их морфология и внутреннее строение.— Труды ВНИИП, т. I, вып. I, 1957.
- Чесноков Б. В. К вопросу о строении письменных гранитов.— Зап. Всес. мин. об-ва, II серия, 1963, ч. 92, вып. 3.
- Чирвинский П. Н. Фациальные химико-минералогические различия в составе крупнозернистых и графических гранит-пегматитовых пород и гранит-аплитов.— В кн. «Вопросы геологии Азии», т. II, Изд-во АН СССР, 1955.
- Шаллер В. Т. Пегматиты.— Сб. «Геол. рудн. месторожд. Зап. шт. США». ИЛ, 1937.
- Шафрановский И. И. Формы кристаллов.— Труды Ин-та кристаллогр. АН СССР, вып. 4, 1948.
- Шафрановский И. И. Внешняя симметрия реальных кристаллов и симметрия питающей среды.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1954, ч. 83, вып. 3.
- Шафрановский И. И. Кристаллы минералов, ч. I. Изд-во Ленингр. горн. ин-та — Ленингр. гос. ун-та, 1957.
- Шафрановский И. И. Геометрические разновидности гранных форм для кристаллов низших и средних сингоний.— Кристаллография, 1959, т. IV, вып. 3.
- Шафрановский И. И. Лекции по кристалломорфологии минералов. Изд-во Львовск. ун-та, 1960.
- Шафрановский И. И., Григорьев Д. П. О поверхностях соприкосновения кристаллических индивидов.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1948, вып. 3.
- Шафрановский И. И., Генделев С. Ш. Вершинные, реберные и гранные формы кристаллов.— Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1958, № 12.
- Шафрановский И. И., Мокиевский В. А. Некоторые проблемы современной кристалломорфологии минералов.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1964, ч. 93, вып. 5.
- Шафрановский И. И., Мокиевский В. А. Условия роста, геометрия и симметрия скелетных кристаллов.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1956, II серия, ч. 85, вып. 2.
- Шафрановский И. И., Осадчев Б. Я. О закономерном сростании кристаллов кварца из тектонической брекчии Волыни.— Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1950, № 4.
- Шахов Ф. Н. К вопросу о происхождении гранитных магм.— Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1956, № 10.
- Шубников А. В. Симметрия и антисимметрия конечных фигур. Изд-во АН СССР, 1951.

- Шубников А. В. Симметрия подобия.— Кристаллография, 1960, т. 5, вып. 4.
- Шугурова Н. А. О методе ультрамикрoхимического газового анализа индивидуальных включений в минералах. Тезисы докл. II Всес. совещ. по геотермометрии. Новосибирск, 1965.
- Эфрос Б. Д. Месторождение оптического флюорита.— Зап. Всес. мин. об-ва, 1960, ч. 89, вып. 2.
- Якубова В. В. Опыт изучения включений в минералах пегматитов Мурзинки, Урал.— Труды Мин. музея АН СССР, 1955, вып. 7.
- Янулов К. П. О законе предела эпитактических сростаний.— Докл. АН СССР, 1948, № 62.
- Bauer E. Phänomenologische Theorie der Kristallabscheidung an Oberflächen. I.— Z. Kristallogr., 1958, Bd. 110, H. 5/6.
- Becke F. Der Aufbau der Kristalle aus Anwachskegeln.— Jahrb. Naturwiss. «Lotos», 1894, No 14 (2).
- Brandstätter-Kuhnert M. Untersuchungen über den Einfluß Temperatur auf die orientierte Kristallabscheidung organischen Stoffe.— Z. Kristallogr., 1958, Bd. 110, H. 1.
- Breithaupt A. Ueber regelmäßige Verwachsungen von Kristallen zweier und dreier Mineralspezies.— Neues Jahrb. Mineral., 1839.
- Broegger W. C. Die Minerale der Syenitpegmatite der Südnorwegischen Augit und Nephelinsyenite.— Geol. fören. i Stockholm. förhandl., 1886, Bd. 5; Z. Kristallogr., 1890, Bd. 16.
- Bygden A. Ueber das quantitative Verhältniss zwischen Feldspat und Quarz in Schrifgraniten.— Bull. Geol. Inst., Upsala, 1906, Bd. 7.
- Carmichael J. S. E., MacKenzie. Feldspar-liquid Equilibria in pantellerites: An experimental study.— Amer. J. Sci., 1963, v. 261.
- Christa E. Ueber Regelungerscheinungen in Schrifgranit.— Verhandl. Phys., Med. Ges. Würzburg, N. F., 1927.
- Curien H. et Corre V. Notations des macles a l'aide du symbolisme des groupes de couleurs de Choubnikov.— Bull. Soc. franc. mineral. et cristallogr., 1958, t. 8, No 4—6.
- Curien H. a. Donnay J. D. T. The symmetry of the complete twin.— Amer. Mineralogist, 1959, v. 44, No 9—10.
- Drescher-Kaden F. K. Die Feldspat-Quarz-Reaktionsgefüge der Granite und Gneise und ihre genetische Bedeutung.— Min. und Petr. in Einzeldarstellungen. I; 1948.
- Gackel E. Die strukturelle Bedingtheit und Kinematik des schrifgranitischen Kristallwachstums. Inaug. Diss., 1931.
- Goranson R. W. Silicate—water systems.— Amer. J. Sci., 1938, v. 25A.
- Gottfried C. und Herlinger E. Über gesetzmässige Verwachsungen.— Festschrift v. Goldschmidt, 1928.
- Heinrich E. Zoning in pegmatite districts.— Amer. Mineralogist, 1953, No 7, 8.
- Heritsch H. Die Verteilung von Rechts- und Linksquarzen in Schrifgraniten.— Tschermaks mineral. und petrogr. Mitt., 3. Folge, 1953, Bd. III, H. 2.
- Heritsch H. Röntgenuntersuchungen an Schrifgraniten.— Tschermaks mineral. und petrogr. Mitt., 3. Folge, 1953, Bd. III, H. 2.
- Hintze C. Handbuch der Mineralogie, Bd. 1—2. 1904.
- Högbom A. Ueber einige Mineralverwachsungen.— Bull. Geol. Inst., Upsala, 1897, 3, No 6.
- Hötz P. E. Petrology of granophyre in diabase near Dillsburg, Pennsylvania.— Bull. Geol. Soc. America, 1953, v. 64.
- Hutton J. Theory of the earth. Roy. Soc. Edinburgh, 1788.
- Jahns R. H. and Burnham C. W. Experimental studies of pegmatite genesis. Melting and crystallization of granite and pegmatite.— Bull. Geol. Soc. America, 1958, v. 69.
- Johnes J. B. and Taylor W. H. The structure of orthoclase.— Acta crystallogr., 1961, 14, pt. 5.
- Kalb G. Zwei Falle gesezmässigen Verwachsungen verschiedenartigen Minerale.— Cbl. Mineral., 1916.

- Kennedy G. C. Pressure-volume-temperature relations in CO_2 at elevated temperatures and pressures.—*Amer. J. Sci.*, 1954, v. 252, No 4.
- Kennedy G. C., Wasserburg G. J., Heard H. C. and Newton R. C. The upper three-phase region in the system $\text{SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$.—*Amer. J. Sci.*, 1962, v. 260.
- Kleber W. Einige Ergebnisse experimenteller und theoretischer Untersuchungen über orientierte Aufwachsungen von Kristallen.—*Ber. Geol. Ges.*, 1961, 6, No 1.
- Kuno H., Yamasaki K., Jida Ch. and Nagashima K. Differentiation of Hawaiian magmas.—*Japan J. Geol. and Geogr.*, 1957, v. 28, No 4.
- Landes K. K. Colorado pegmatites.—*Amer. Mineralogist*, 1935, v. 20.
- Lapparent J. Sur le granite graphique.—*Bul. Soc. mineral. Fr.*, 1917, 90.
- Luth W. S., Jahns R. H. and Tuttle O. F. The granite system at pressures of 4 to 10 kilobars.—*J. Geophys. Res.*, 1964, v. 69, No 4.
- Morey G. N. and Fournier O. R. Decomposition of microclin, albite and nephelin in hot water.—*Amer. Mineralogist*, 1961, v. 46.
- Mügge O. Die regelmässigen Verwachsungen von Mineralien verschiedener Art.—*Neues Jahrb. Mineral.*, 1903, Bd. 16; *Z. Kristallogr.*, 1906, Bd. 41.
- Neuhäus A. Orientierte Substanzabscheidung (Epitaxie) (Partiellisomorphe Systeme XII).—*Fortschr. Mineral.*, 1950/1951, 29—30, 2.
- Nordenskjöld J. Der Pegmatit von Itterby.—*Bull. Geol. Inst. Univ. Upsala*, 1910, Bd. 9.
- Orville P. M. Alkali ion exchange between vapor and feldspar phases.—*Amer. J. Sci.*, 1963.
- Rath G. Geognostisch-mineralogische Fragmente aus Italien, Teil 3. Die Insel Elba.—*Z. Dtsch. geol. Ges.*, 1870, Bd. 22.
- Richter D. H. and Ingerson E. Some considerations regarding liquid inclusions as geologic thermometers.—*Econ. Geol.*, 1954, v. 49, No 7.
- Roedder E. Studies of fluid inclusions. II. Freezing data and their interpretation.—*Econ. Geol. And Bull. Soc. Econ. Geol.*, 1963, v. 58, No 2.
- Rose G. Reise nach dem Ural, 1, 1837.
- Rosenbusch H. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralen, Bd. 1, 2. Stuttgart, 1^a, 1904, 1905.
- Royer L. Recherches expérimentales sur l'épitaixie en orientation mutuelle des cristaux des espèces différentes.—*Bull. Soc. franç. mineral.*, 51, 1928.
- Sabersky P. Mineralogisch-petrographische Untersuchung argentinischer Pegmatite mit besonderer Berücksichtigung der Struktur der in ihnen auftretenden Mikrokline.—*Neues Jahrb. Mineral.*, 1891, Bd. 7.
- Schaller W. Origin of graphic granite.—*Amer. Mineralogist*, 1926, v. 11.
- Schloemer H. Hydrothermal-synthetische gemeinsame Kristallisation von Orthoklas und Quarz. I.—*Radex Rundschau*, 1962, H. 3, 11; *Radex Rundschau*, H. 4.
- Simpson D. R. Graphic granite from the Ramona pegmatite district, California.—*Amer. Mineralogist*, 1962, v. 47, No 9—10.
- Skinner B. J. Some consideration regarding liquid inclusions as geologic thermometers.—*Econ. Geol.*, 1953, v. 48, No 7.
- Sourirajan S. and Kennedy G. C. The system $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ at elevated temperatures and pressures.—*Amer. J. Sci.*, 1962, v. 260, No 2.
- Takenouchi S. and Kennedy G. C. The binary system $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ at high temperatures and pressures.—*Amer. J. Sci.*, 1964, v. 262, No 9.
- Takenouchi S. and Kennedy G. C. The solubility of carbon dioxide in NaCl solutions at high temperatures and pressures.—*Amer. J. Sci.*, 1965, v. 263.
- Tuttle O. F. and Bowen N. L. Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$.—*Geol. Soc. Amer. Menr.*, 1958, No 74.
- Wager L. R. and Deer W. A. Geological investigations in East Greenland, pt. 3. The petrology of the Skaergaard intrusion, Kangerdlugssuag, East Greenland.—*Medd. Gronland*, 1939, 105, No 4.

- Wahlstrom E. E. Graphic granite.— Amer. Mineralogist, 1939, v. 24, No 11.
- Wallerant F. Über der Gruppierungen von Kristallen verschiedener Art.— Compt. rend., 1902, Bt. 135. Ref.: Z. Kristallogr., 1904, Bd. 39.
- Wallerant F. Kristallographie. Paris, 1909.
- Wiebe R. and Gaddy V. L. The solubility of carbon dioxide in water at various temperatures from 12 to 40° and at pressures to 500 atm. Critical phenomena.— Amer. Chem. Soc. J., 1940, v. 62.
- Woitschach. Das Granitgebirge von Königshain in der Oberlausitz.— Abhandl. naturforsch. Ges. Görlitz, 1881, Bd. 17. Ref. Z.: Kristallogr., Bd. 7.
- Wyllie P. J. and Tuttle O. F. Experimental investigation of silicate systems containing two volatile components. II. The effects of NH₃ and HF in addition to H₂O on the melting temperatures of albite and granite.— Amer. J. Sci., 1961, v. 259, No 2.
- Zirkel F. Lehrbuch der Petrographie. II Auflage. 1893.

ОБЪЯСНЕНИЕ К ТАБЛИЦАМ

Т а б л и ц а I. Классические письменные пегматиты

a — сростание по закону Войчаха-Чеснокова. Индукция по грани $(\bar{1}01)$. Сечение параллельно плоскости индукции, р. Талая, Прибайкалье; *b* — поперечное сечение ихтиоглиптов, видна форма «иероглифов», Савватеево, Борщевочный кряж; *v* — сечение параллельно плоскости индукции (001) . Ильмены, Урал; *z* — продольный скол. Видна индукционная штриховка, Ильмены, Урал; *∂* — поперечный срез, Ихтиоглипты имеют пластинчатую форму, Савватеево, Борщевочный кряж

Т а б л и ц а II. Вторичные письменные и псевдописьменные агрегаты в гранитоидах Енисейского кряжа

a — антиграфический псевдописьменный агрегат. В моноблоке кварца (белое), являющегося реликтом единого зерна, включены идиоморфные «вростки-метасомы» полевого шпата (серые лейсты). Они имеют незаконномерную относительно кварца ориентировку; *b* — вторичный прожилково-полевошпатовый письменный агрегат в граните из Енисейского кряжа. Разобщенные прожилками полевого шпата «вростки» кварца (белые) являются реликтами первоначально единого зерна. Полевой шпат в прожилках принимает ориентировку крупного идиоморфного кристалла полевого шпата (серое в центре)

Т а б л и ц а III. Различные типы пертитов в ортоклаз-пертите. Слюдянка, Прибайкалье

a — пертиты распада. Хорошо видно их отсутствие в зонах развития прожилковых пертитов сегрегации; *b* — участки пертитов распада (мелкие вростки); прожилки сегрегационных и обособления пертитов замещения; *v* — пертиты замещения (белое); *z* — антипертиты замещения (серое) в ортоклазе

Т а б л и ц а IV. Закономерные кварц-полевошпатовые сростания

a — Зерендинский массив (Сев. Казахстан). 1 — нарастание дымчатого кварца на микроклин в ориентировке, соответствующей мурзинскому закону, 2 и 3 — сростания по законам, определяющимся совпадением L_2 кварца и оси $[010]$ полевого шпата; *b* — Вольнь, ферсмановское тело. Сростание морюна и микроклина по трапецоэдрическому закону второго типа. Параллельно ориентированы: трапецоэдрическая зона кварца с $[010]$ микроклина (пунктир) и грань ромбоэдра с гранью микроклина (стрелочки); *v* — Зерендинский массив (Казахстан). Сростание дымчатого кварца и микроклина по закону, определяющемуся совпадением L_2 кварца и

оси [001] полевого шпата (пунктир). Устойчивость ориентировки определяется параллельностью ромбоэдра кварца с гранью М (010) микроклина (на фотографии видны лишь ребра этих граней, они указаны стрелочками); *г* — Борщевочный кряж. Эпитаксиальное нарастание морнона на кристалл микроклина. Закон срастания четвертого типа (Нерчинский краеведческий музей); *д* — Мурзинка, Урал. Закономерное нарастание дымчатого кварца на кристалл микроклина по одному из законов пятого типа

Таблица V. Скелетно-симметричные ихтиоглипты в горизонтальном сечении («снежинки»)

а — «снежинка», у которой гранные формы роста в сечении образуют разорванный пучок (слева); *б* — «снежинка», от пучковых реберных форм роста которой отходят гранные формы роста, образующие в сечении дигексагональную звезду (основание левой нижней ветви). Сравните с идеальными формами (фиг. 5); *в* — группа «снежинок» кварца в скелетной графике; образец сошлифован в плоскости, перпендикулярной к главной оси кварцев, Баян-Аул, Казахстан

Таблица VI. Одноглавые скелетные ихтиоглипты

а — «моховидная» графика. Пегматиты Каибского массива (Голодная степь); *б* — вертикальное сечение «елочковидного» симметричного одноглавого скелетного ихтиоглипта. Пегматиты Зерендинского массива (Сев. Казахстан); *в* — вертикальное сечение одноглавого симметричного скелетного ихтиоглипта. «Елочковидный» росток сечется трещиной полостью, стенки которой покрыты гребенчатым кварцем, ориентированным одинаково со скелетным кварцем (Зерендинский массив, Казахстан)

Таблица VII. Вертикальные сечения двуглавых симметричных скелетных ихтиоглиптов

а — ихтиоглипты со слабо развитыми гранными формами роста; *б* — ихтиоглипты приурочены к параллельной системе трещинок и образуют несколько систем «цепочек». В нижней части фотографии видна лучисто-венчиковая графика; *в* — ихтиоглипты приурочены к непараллельным трещинкам и образуют две системы «цепочек»; *г* — ихтиоглипты из разновидности письменных пегматитов промежуточных между скелетно-графическими и пегматондно-графическими. В верхней части фотографии видно, что ихтиоглипты утрачивают скелетное строение; *д* — скелетный ихтиоглипт с футлярнообразной несkeletalной оболочкой (псевдопегматондная графика)

Таблица VIII. Особенности строения классических письменных пегматитов

а — сечение параллельно с плоскостью индукции. Ихтиоглипты имеют пластинчатую форму. Аркинский Утес, р. Газимур (междуречье Шилки и Аргуни, Вост. Забайкалье); *б* — сечение нормально плоскости индукции. Видно, что ориентировка осей удлинения не остается постоянной. Тот же образец; *в* — «переходная» зона с пегматондно-графической структурой на контакте классического письменного пегматита и полевошпатовой зоны; *г* — классические скелетно-индукционные кварцо-микроклиновые пегматиты. Мамско-Чуйский район; *д* — секториальное ритмичное строение классического письменного агрегата. Тулун (Борщевочный кряж, Вост. Забайкалье); *е* — резкое нарастание микроклина на письменный пегматит с секториальным строением. Виден «обрыв» ихтиоглиптов по граням индукции. Ферсмановский шток, Воыны, Украина

Таблица IX. Пегматиты с письменными агрегатами

а — радиально-графический пегматит (Баян-Аул, Казахстан). Полевой шпат шаровидных письменных индукционных образований имеет моноблочное секториальное строение. Основная масса обладает неяснографической струк-

турой; *б* — порфировидно-графический микрописьменный агрегат со скелетными вкрапленниками кварца (указаны стрелками). Баян-Аул, Казахстан; *в* — порфировидно-графический агрегат (Бек-Тау-Ата, Казахстан). Радиальное нарастание блоков классических письменных сростаний на вкрапленники кварца. Видно поперечное сечение вкрапленников; *г* — в сколе образца обнажена поверхность вкрапленников кварца с хорошо развитыми призматическими гранями

Таблица X. Контактные зоны пегматитов

а — прямая зональность в эндоконтакте. Выклинивание зоны с аплитовидной структурой и непосредственный контакт письменного пегматита с гранитами (слева); *б* — прямая зональность в эндоконтакте пегматитового тела. Смена структур от гранитной через аплитовидную к неясно-графической и классической микрографической (Зерендинский плутон. Сев. Казахстан); *в* — обратная зональность в эндоконтакте пегматитового тела. Смена структур от гранитной (вверху) через лучисто-венчиковую к аплитовидной и мелкозернисто-гранитной

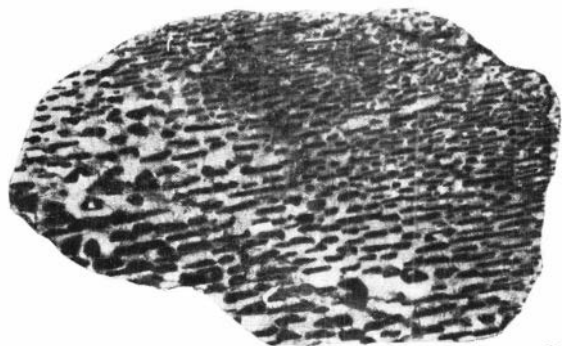
Таблица XI. Включения в минералах

а — стекловатое включение дипирамидальной формы из эффузивного кварца. Закавказье; *б* — стекловатые включения на границе зон в кали-натровом полевом шпате кварцевых порфиров Береговского холмогорья (Закарпатье); *в* — раскристаллизованное включение в ихтиоглипте из классических письменных пегматитов Зерендинского гранитного плутона. Казахстан; *г* — существенно газовое высокотемпературное включение в апорците; *д* — высокотемпературное газовое включение в блоковом кварце; *е* — включение, дважды гомогенизовавшееся ($T_{\text{гом}}^1 = 30^\circ \text{C}$, $T_{\text{гом}}^2 = 340^\circ \text{C}$) в фазу жидкой углекислоты. Видны газовый пузырек, жидкая углекислота и раствор; *ж* — включение рапы в кварце из занорыща. Видны минералы-узники, газовый пузырек и насыщенный водный раствор; *з* — включение с кристалликом галита во флюорите из Баян-Аула

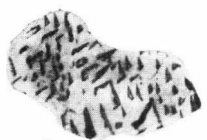
Таблица XII. Преобразования первичных и вторичных письменных пегматитов

а — развитие метасоматического кварца на контакте ихтиоглиптов кварца с полевым шпатом. Ихтиоглипты имеют мозаичное строение. Темные участки имеют их первичную ориентировку. Николь +; *б* — развитие прожилково-кварцевых (в центре) и антиграфических (слева) письменных агрегатов по классическому письменному пегматиту (реликты его видны справа): Дзельтау, Казахстан; *в* — явления выщелачивания. Зона с выщелоченным кварцем отделена от скелетной графики зоной перекристаллизации, для которой характерна псевдографическая структура: *г* — структуры выщелачивания, перекристаллизации и метасоматоза: 1 — зона выщелачивания кварца, 2 — зона выщелачивания кварца и частичной перекристаллизации полевого шпата, 3 — зона неизмененного письменного пегматита, 4 — зона окварцевания. Реликты выщелоченного скелетного кварца (5) послужили затравкой для роста кристалла дымчатого кварца (6), который, разрастаясь в пустотке, сохранил ориентировку скелетного кварца. Кыра, Вост Забайкалье

ТАБЛИЦА I



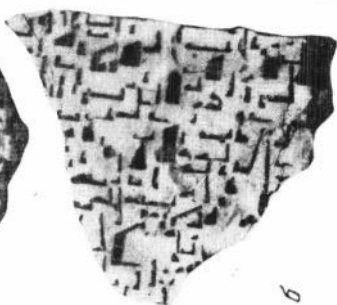
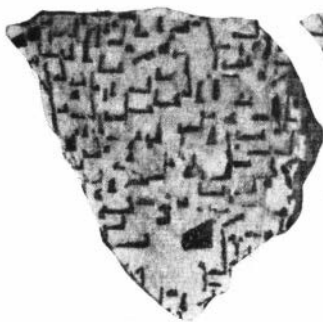
8



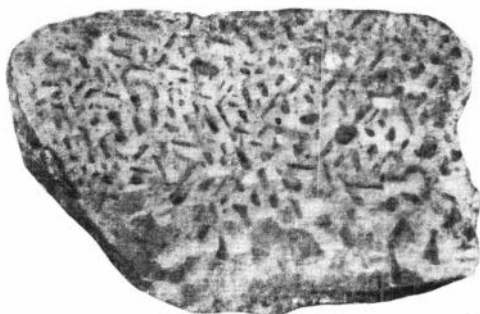
8



8

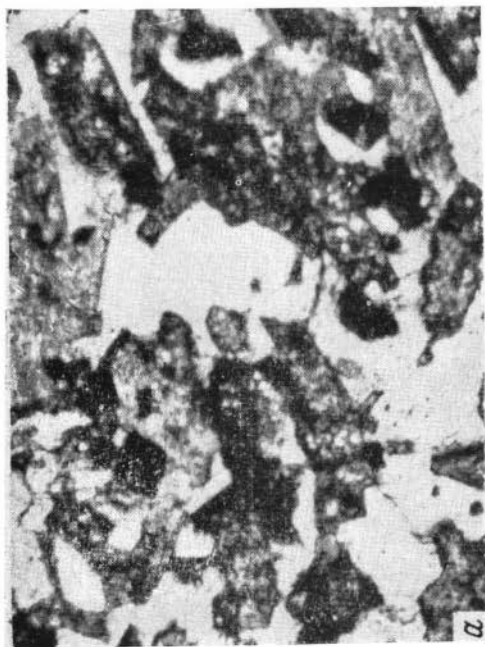


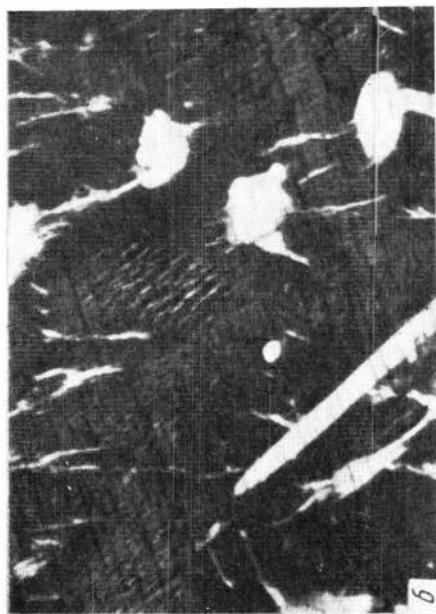
6



2

ТАБЛИЦА II





6



8

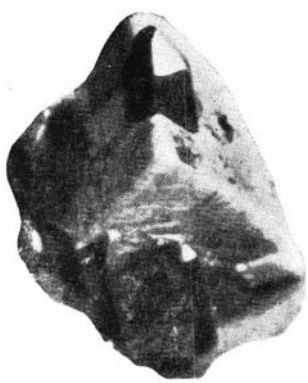
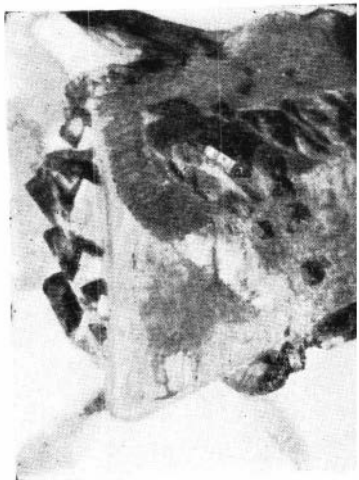
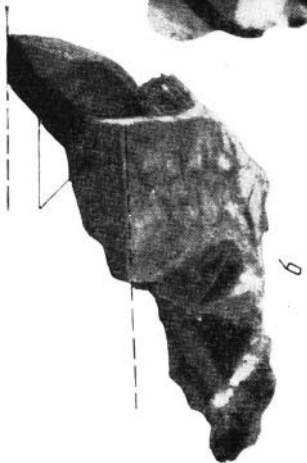
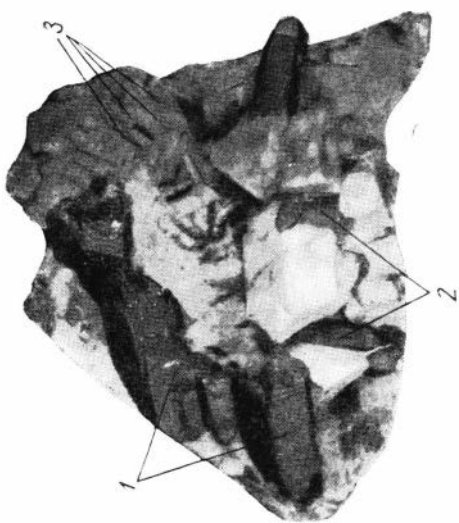


9



10

ТАБЛИЦА IV



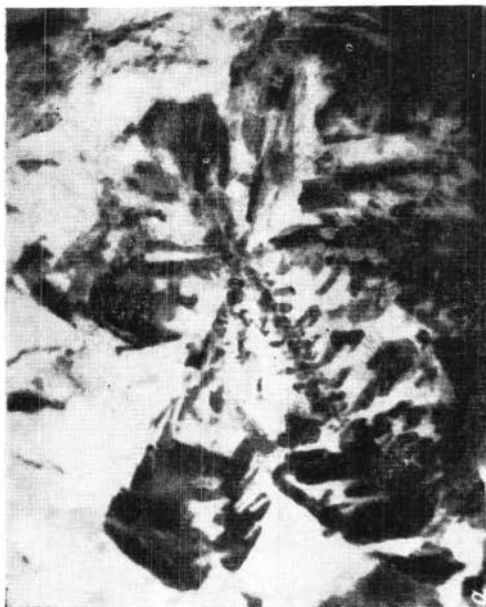
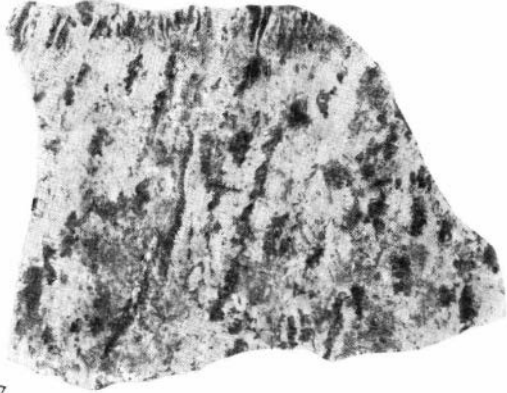


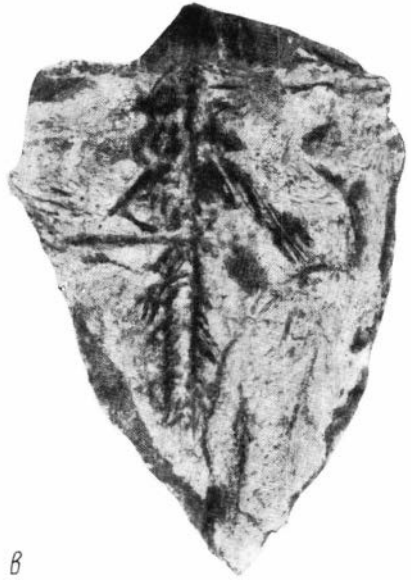
ТАБЛИЦА VI



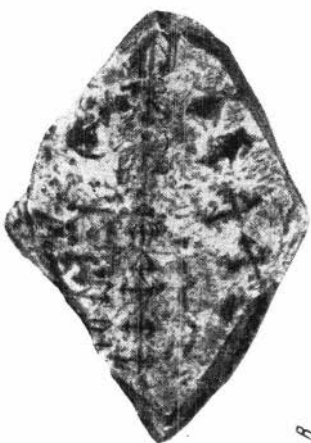
a



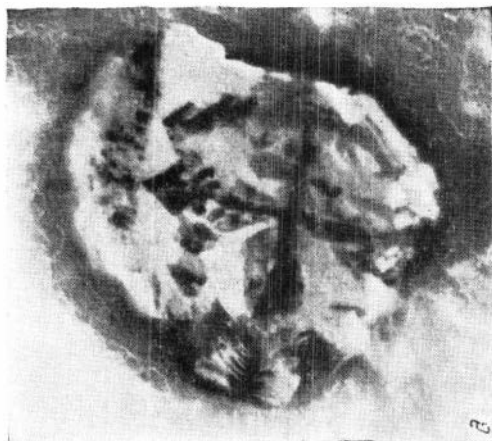
b



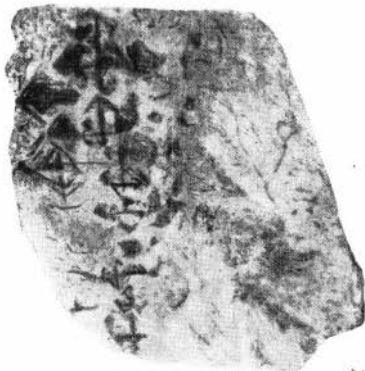
b



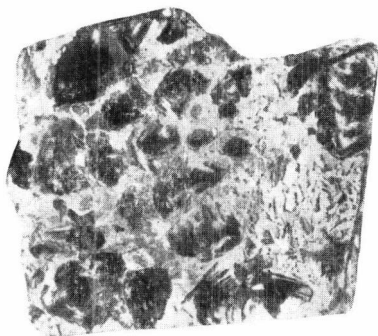
8



5



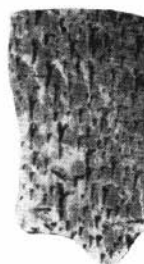
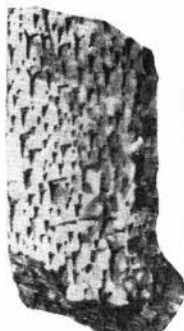
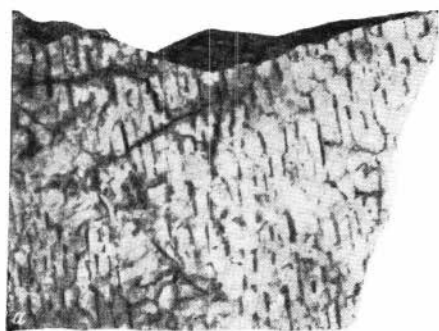
6



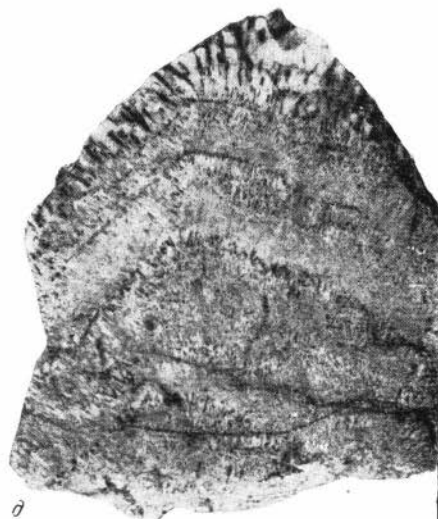
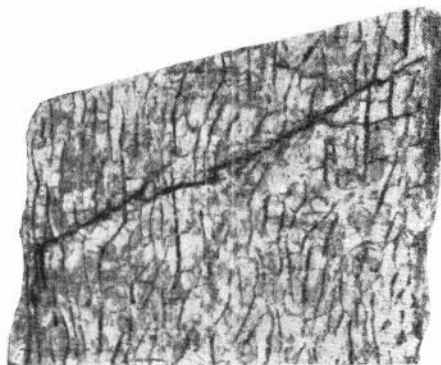
2



7



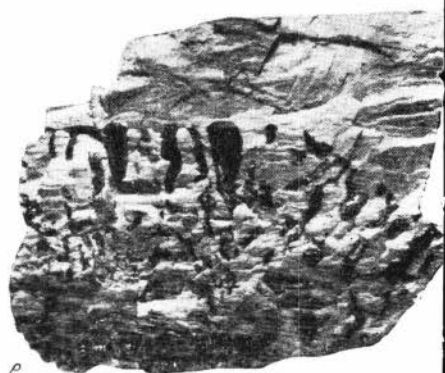
2



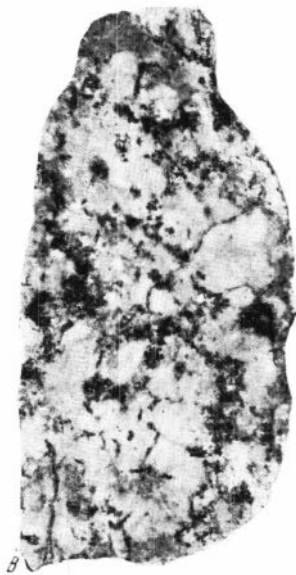
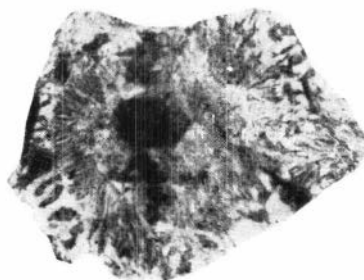
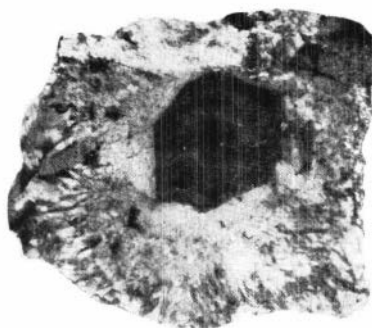
д



в



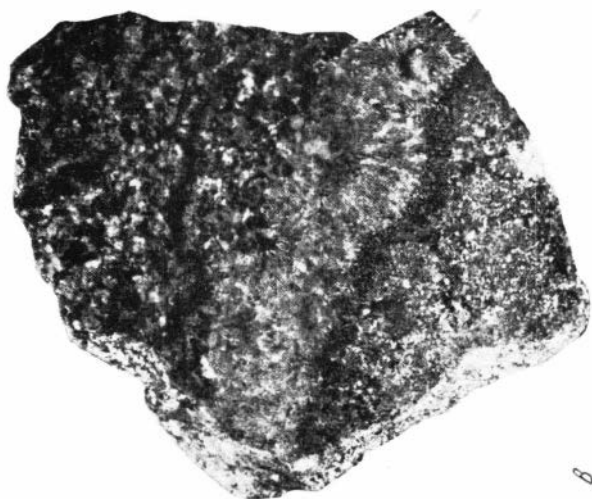
е



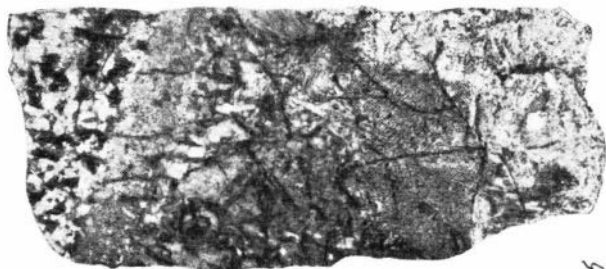
в

2

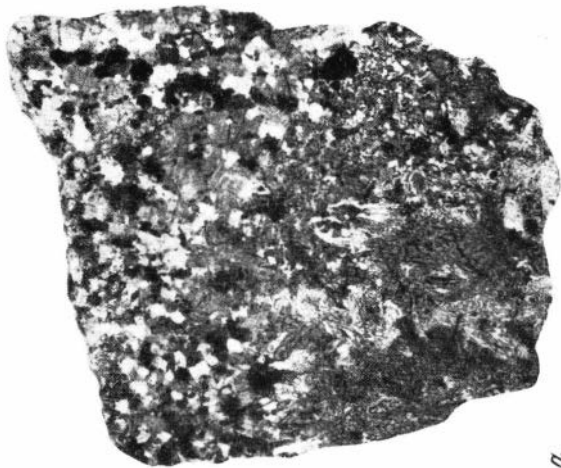
ТАБЛИЦА X



8



6



7

