

ПРИРОДА НЕСОВЕРШЕНСТВА КРИСТАЛЛОВ

1. СИНГЕНЕТИЧЕСКИЕ НЕСОВЕРШЕНСТВА КРИСТАЛЛОВ

А. М. КУЗЬМИН

Введение

Среди кристаллов различают совершенные (идеальные) и несовершенные (реальные) кристаллы. К совершенным или идеальным кристаллам относятся кристаллы, которые во всех отношениях внешне являются геометрически правильными*), а составляющие их вещества — атомы, ионы, комплексы и их группы — распределены в массе кристалла относительно друг друга строго пространственно закономерно, т. е. идеальные кристаллы во всей своей массе пространственно физически и геометрически построены однородно. Идеальным кристаллам свойственна и идеальная пространственная решетка**).

К несовершенным, или как часто говорят, к реальным многогранникам относятся кристаллы, которые по внешней форме геометрически нельзя признать совершенными, они к тому же несут различного рода дефекты, нарушающие их физическую однородность. Внутренняя неоднородность подобных кристаллов сказывается часто как на внешней их форме, так и на их физических свойствах. Подобные кристаллы часто явно или скрыто блоковые (мозаичные), и их пространственная решетка также оказывается мозаичной. Поэтому вполне естественно, что свойства реальных кристаллов, обладающих дефектами решетки, радикально отличаются от свойств идеальных кристаллов.

Совершенные кристаллы в природных и лабораторных условиях встречаются исключительно редко. По А. В. Шубникову идеальная форма одна из возможных форм кристаллов данного вещества [23], а Ван Бюрен утверждает, что подобных кристаллов не существует [1]. К тому же внешне совершенные кристаллы по форме не всегда являются физически однородными. Преобладающая часть кристаллов — реальные кристаллы, с которыми приходится иметь дело в практике, несут, как правило, различного рода как внешние, так и внутренние несовершенства.

Несовершенства реальных кристаллов тесно связаны с условиями формирования самих кристаллов и условиями их существования в последующей жизни. Иначе говоря, нарушения однородности строения кристаллов зависят от физико-химических условий, т. е. от температуры, давления и состава среды, которые на стадии кристаллизации не остаются строго постоянными, особенно это касается среды и ее темпе-

*) Для физически однородного во всех отношениях кристалла необязательна внешняя идеальная форма.

**) По Берналу [2].

ратуры. На примере становления магмы можно конкретно представить себе весь ход процесса образования минералов, который сопровождается неуклонным падением температуры в пределах 1500—50°, давления и постоянным и последовательным изменением состава среды, начиная с образования магматических пород и кончая низкотемпературными гидротермальными отложениями кристаллов минерального вещества. Да и давление на всем протяжении не остается постоянным.

После формирования кристаллов физико-химическая обстановка для их последующей жизни, как правило, также изменяется в различной степени, а сами кристаллы, как говорят, стареют, что соответственным образом сказывается на них, как в виде изменения кристаллической решетки, физических свойств, так и в появлении в них различных форм дефектов, как следствие деформаций, возникающих в кристалле в силу различных причин.

Итак, в период формирования реального кристалла в нем возникает ряд различного рода дефектов в виде вакансий в узлах решетки, захвата чуждых ионов, размеры которых не соответствуют размерам ионов хозяина, и захвата инородных кристаллов. В течение последующей жизни кристалл подвергается различным видам деформации, изменениям их состава и перестройке кристаллической структуры, что в общем можно рассматривать как его дислокации.

Термин «дислокация» кристаллов введен в науку о кристалле, в физику твердого тела металлофизиками, изучающими пластические свойства металлов и сплавов, подвергающихся деформациям. При этом считалось, что, например, пластичности металлов благоприятствуют дислокации, имеющиеся в металлических кристаллах.

По Бюргеру дислокациями называют структурные дефекты в кристаллических решетках, которые возникают в них во время роста кристалла, и дислокации создаются в кристалле в результате пластической деформации [3]. К ним относятся точечные дислокации, вакансии в узлах решетки, захваченные при росте кристалла атомы и ионы, которые размещаются в ячейках между узлами решетки, если их размеры малы, и, наконец, сюда же относятся линейные и винтовые дислокации [1, 3, 4, 16 и др.]. В результате деформации кристалла в нем появляются линейные дислокации, как следствие скольжений. Спиральные дислокации в кристаллах возникают в результате его роста. Не вдаваясь в детали, что понимается под дислокациями, рассмотрению которых посвящена огромная литература [8], мы с своей стороны предлагаем понятие «дислокация» применительно к нашему объекту рассмотрения расширить и к дислокациям относить все те нарушения однородности кристаллов, которые возникают в нем как в период его формирования, так и позднее, в период его существования под влиянием различных физических, химических и физико-химических причин. На теории дислокации кристаллов считаю нужным остановиться после того, как будет изложен обширный фактический материал по изучению дефектов природных кристаллов.

На основании только что сказанного следует несовершенства и появляющиеся в кристаллах дислокации по времени их возникновения разделить на две группы: сингенетические и эпигенетические [12].

К сингенетическим несовершенствам и дислокациям следует относить такие виды несовершенств и дислокаций, которые образуются в кристаллах одновременно с его ростом и на всем протяжении периода его формирования.

К эпигенетическим несовершенствам и дислокациям относятся такие нарушения однородности, которые возникают и развиваются в кристаллах после их формирования или после того, как они стали частью

среды, которая вследствие изменения физико-химических условий испытывает на себе различного рода деформации. При этом имеет место усиление и наложения на сингенетические нарушения и дислокации эпигенетических деформаций.

Говоря о несовершенствах природных кристаллов, автор данной работы хотел бы ниже показать на ряде примеров, как эти несовершенства образуются на стадии создания самого кристалла, каким деформациям он подвергается в период своей жизни после сформирования, и в заключение кратко остановиться на том, как природа использует дефекты минералов в своей лаборатории.

Предлагаемый вниманию читателей материал будет изложен в четырех главах отдельными статьями. В первой из них: I. Сингенетические несовершенства кристаллов. II. Эпигенетические несовершенства кристаллов при полиморфных превращениях. III. Эпигенетические несовершенства при пластических деформациях. IV. Эпигенетические несовершенства при обезвоживании кристаллов (опубликована в «Материалах по минералогии, петрографии и полезным ископаемым Западной Сибири и Красноярского края» [28]).

I. Сингенетические несовершенства кристаллов

Со времени Т. Ловица [17, 18] было известно, что наиболее правильные кристаллы получаются из слабопересыщенных растворов. Позже же Франкенгейм, О. Леман, а затем В. Г. Вульф [5], занимались выяснением условий роста кристаллов и на основании теоретических и экспериментальных исследований нашли, что при кристаллизации вокруг растущего кристалла создается кристаллизационный дворик [5], в пределах которого вследствие высокого пересыщения раствора образуются кристаллиты, часть их адсорбируется растущим кристаллом на своей поверхности, другая часть всплывает. При этом естественно ожидать, что величина кристаллитов относительно своих соседей может быть неодинакового размера, а адсорбируемые кристаллом кристаллиты не укладываются на его поверхности плотно и ровным слоем. А. В. Шубников [23], опираясь на эксперименты, утверждает, что степень совершенства кристаллов определяется всецело величиной агрегатов-молекул (субмикронных), которые, отличаясь друг от друга в своих размерах хотя бы на весьма малую величину и откладываясь параллельно, не могут образовать идеально ровного слоя даже на первоначально плоской грани и не могут уложиться на ней плотно, без промежутков. Следующий слой таких же неодинаковых по размерам «субмикронных» вызовет еще большие нарушения в упаковке грани и т. д. В подобно построенных реальных кристаллах всегда будут иметь место пустоты между идеально уложенными различными по величине субмикронами, а наложение более поздних слоев субмикронных на предыдущие приводит к захоронению пустот с оставшимся в них маточным раствором в форме пузырьков в полости с геометрическими стенками (отрицательные кристаллы) или в виде различной формы свилей.

Только что сказанное позволяет просто и естественно представить себе реальный кристалл как мозаичный, такой же мозаичный в этом случае должна быть и его пространственная решетка, которая поэтому резко отличается от решетки, свойственной идеальному кристаллу.

К этому виду несовершенств нужно отнести явление скупивания, которым М. В. Ерофеев впервые попытался объяснить образование крупных кристаллов турмалина [11].

В распоряжении автора имеется из друзовых образований несколько сростков, состоящих из трех кристаллов галенита в форме кубиков

с притуплением вершин трехгранных углов гранями октаэдра (рис. 1).

Три кристалла сростка в общем относительно друг друга расположены пространственно параллельно. Каждый из кристаллов в свою очередь состоит из большого числа более мелких кристаллов 2-го порядка в форме кубиков с гранями октаэдра. Поскольку в их укладке нет строгой пространственной параллельности, постольку они достаточно хорошо различимы. Сами кристаллы галенита 2-го порядка в свою очередь

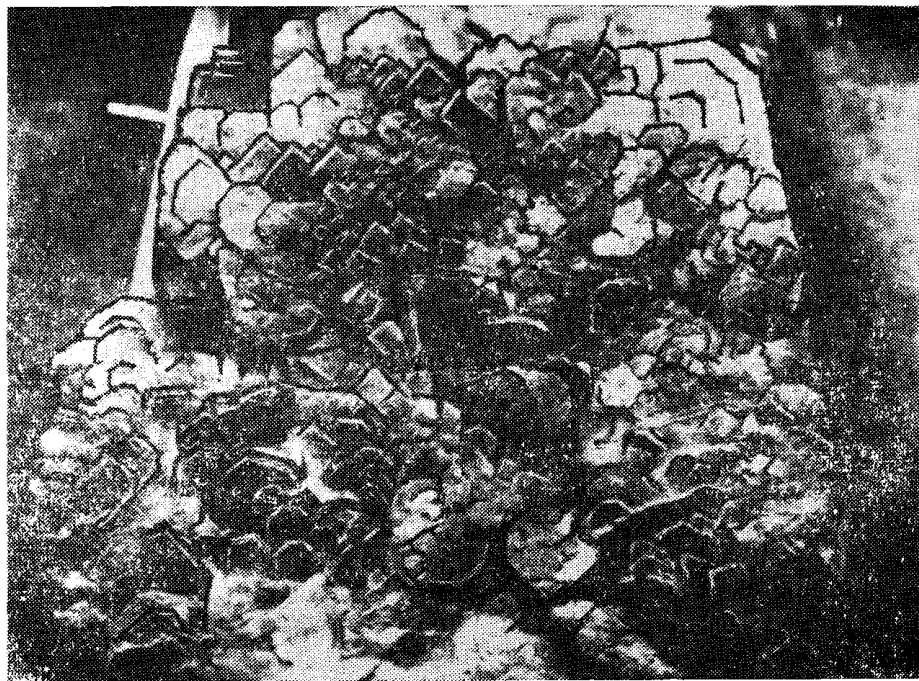


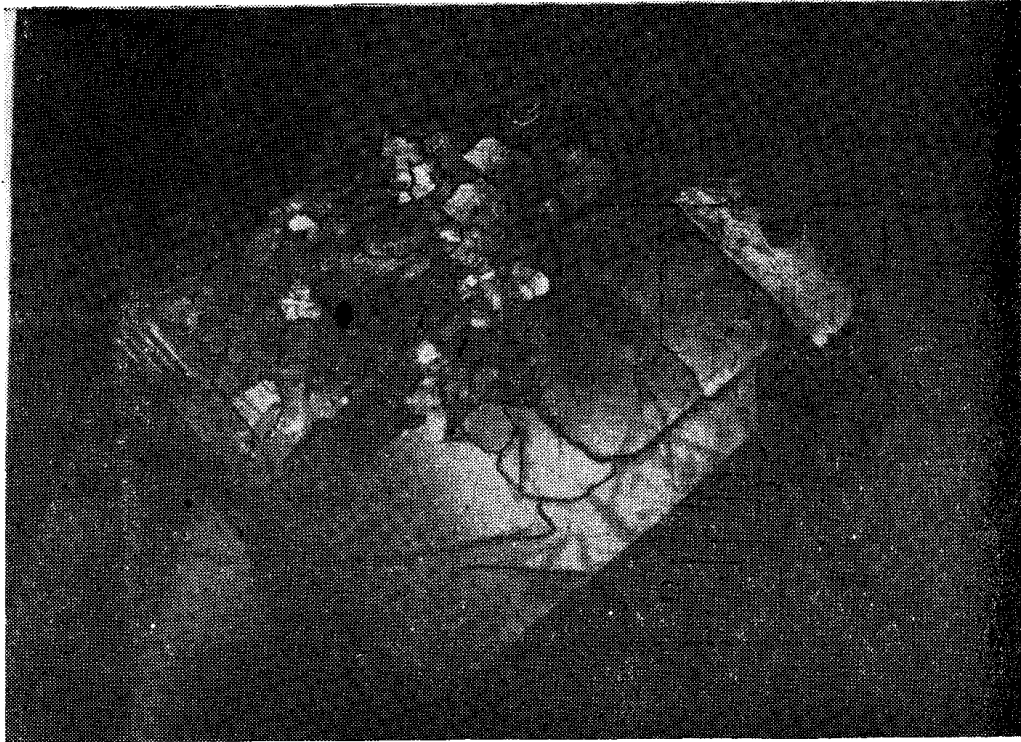
Рис. 1. Поверхность куба кристалла галенита, сложенная кристаллитами нескольких порядков

состоят из еще более мелких кристалликов 3-го порядка, которые хорошо еще различимы в лупу. Последние в свою очередь состоят из еще более мелких различимых под микроскопом блоков-кристаллитов. Эти последние при изучении их на МИМ-8М при увеличениях в 150—300X оказываются состоящими из кристаллов 4-го порядка, а последние иногда даже 5-го порядка.

Рассматривая положение кристаллов галенита 2-го порядка по отношению кристаллов 1-го порядка, отношение кристаллов 3-го порядка с кристаллами 2-го порядка и т. д., как уже было отмечено выше, даже невооруженным глазом хорошо видно, что кристаллы каждого последующего порядка относительно кристалла предыдущего располагаются в нем и относительно кристаллов соответствующего порядка не строго пространственно параллельно и поэтому отчетливо заметны, но общая ориентировка подобного мозаичного кристалла галенита в целом сохраняется.

Другим примером сгущивания могут быть флюориты из Кумберленда (рис. 2). На одной из граней куба хорошо видно, что она состоит из различной величины кристаллов и пластинок с гранями куба и октаэдра, расположенных относительно друг друга не строго пространственно параллельно.

Между только что упомянутыми кристаллами имеются промежутки — щели и пустоты. На поверхности нарастающих кристаллов 2-го



a

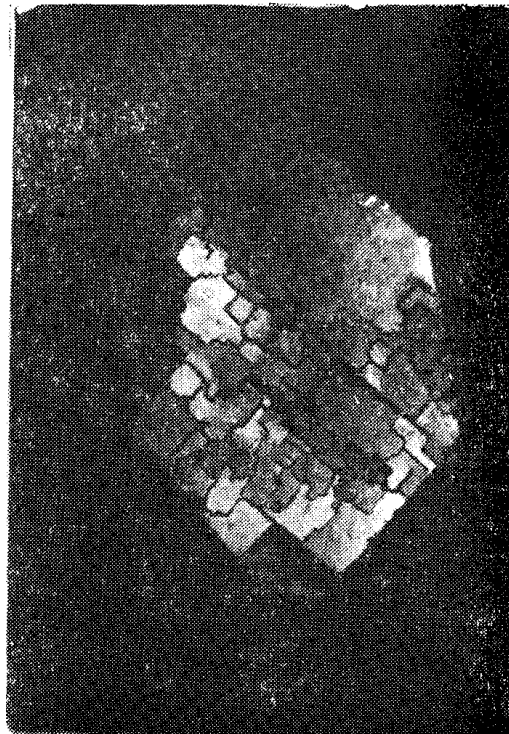


Рис. 2. Поверхность куба кристаллов *a* и *б* флюорита, сложенная кристаллитами нескольких порядков

порядка на грани куба ясно заметно, что и они также являются мозаичными, сложенными более мелкими кристаллами 3-го порядка. На плоскости спайности $\{111\}$, проходящей почти через центр кристалла, хорошо видно в результате получения отблеска, что кристалл и во внутренней части состоит из большого числа блоков, каждый из которых наклонен по отношению своего соседа на очень малый угол, т. е.,

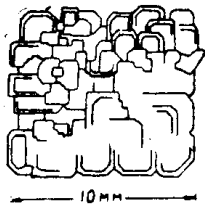
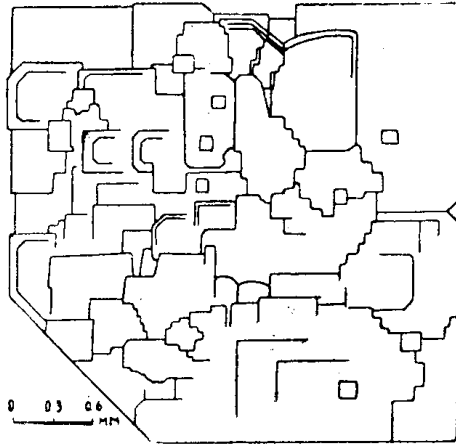


Рис. 3. Зарисовка поверхности куба флюорита, сложенной пластинчатыми кристаллитами нескольких порядков (а); б — деталь строения одного из участков описываемого флюорита

проще говоря, октаэдрическая плоскость каждого блока в данном сечении не лежит в одной плоскости спайности, как это должно быть в монокристалле. На соседней грани куба того же кристалла мозаичное строение не бросается столь резко в глаза по сравнению с описанной выше, так как кубики мозаики мельче, они хотя и заметны, но едва выступают над общей гранью куба. На трех других гранях имеют единичные видимые дефекты, сами грани в целом гладкие и ровные, однако по вициналам также хорошо видно блоковое строение и других граней кристалла. Фиолетовые кристаллы флюорита из Кумберленда часто называются зонарными, каковая особенность хорошо заметна по чередующейся смене зон с различной по интенсивности окраской, зонарное строение, параллельное гладким граням, остается строго параллельным им. На явно мозаичных гранях внешние четко выраженные зоны зонарности в пределах 3 мм заметно повторяют и конфигурацию сложной поверхности куба.

В качестве следующего примера приведем кристаллы пирита из глинистых-мергелистых сланцев ордовика р. Кулюмбе (бассейн р. Н. Тунгуски), собранные Б. В. Олейниковым. Исследованиям подвергались сотни кристаллов от сантиметра и меньше до 5 см в поперечнике. Одной общей чертой для них является их мозаичное строение, которое можно иллюстрировать ниже приведенными рисунками (рис. 4). Рассматриваемые пириты Б. В. Олейникова первоначально представляли собой мелкозернистый агрегат кубических зерен, размер которых не превышал одного миллиметра, чаще меньше. Зерна пирита в агрегате расположены относительно друг друга как угодно беспорядочно. С ростом кристаллов в агрегате и с увеличением подобного агрегата до 0,5—2,5 см в поперечнике какая-то часть зерен его оказывается расположенной пространственно параллельно ориентированной, и эта часть зерен получает преимущественный рост. В результате такого выборочного роста вместо весьма большого числа зерен вырастает несколько сравнительно больших разориентированных кристаллов пирита. Затем и среди последних кристаллы, близкие по ориентировке, получают преимущественный рост и стремятся образовать монокристалл, в то время как рост других с отличной ориентировкой кристаллов пирита хотя и продолжается, но он оказывается более замедленным. Поэтому в от-

дельных случаях кристаллы, не успевшие развиться или медленно растущие, захватываются быстро растущими. На фотографии рис. 4 кубического кристалла пирита с гранями октаэдра хорошо видно его блоковое строение, а в центральной части грани куба отчетливо выступают два кристалла пирита. Один из них более темный на стадии полного зарастания представлен ребром куба и гранью октаэдра; другой, справа от него, в форме большого кубического кристалла, кубические и

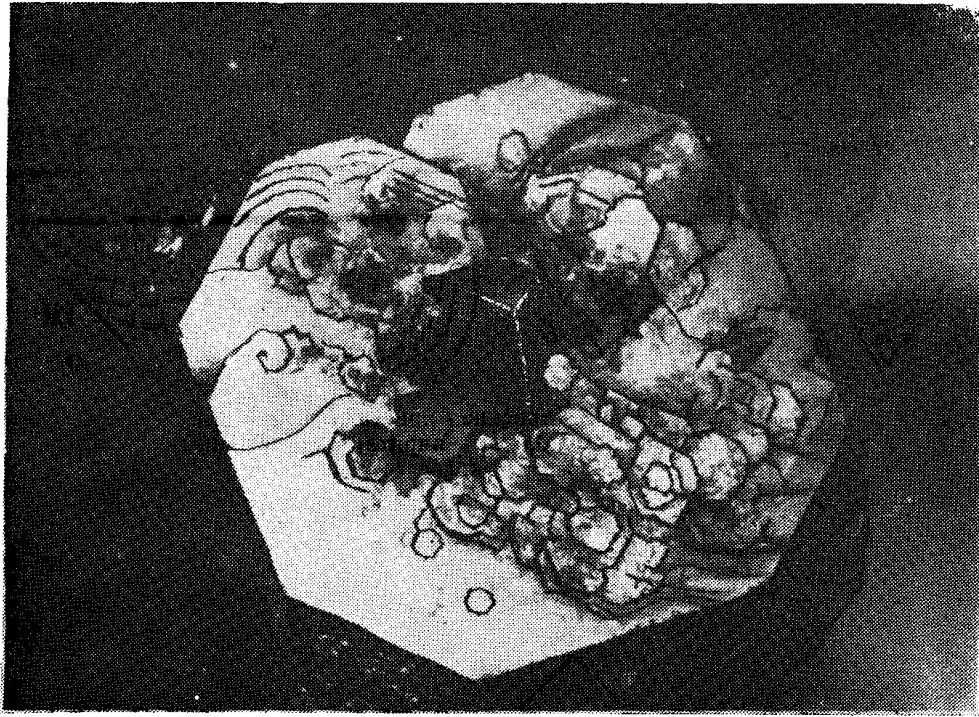


Рис. 4. Кристалл пирита. Поверхность (001) имеет блоковое строение. В центре грани выступают два кристалла, иначе ориентированных

октаэдрические грани которого не точно ориентированы гранями октаэдра и куба большого кристалла. Слева имеется третий кристалл, выступающий трехгранной вершиной кубического кристалла.

Другой особенностью описываемых кристаллов является то, что кристаллы пирита нарастают на грани куба в форме параллельных {100} пластинок (рис. 5), которые ограничены следами грани октаэдра и куба и нередко вытягиваются в направлении [110] и [100]. Подобные пластинки-кристаллы, неодинаковой толщины, накладываются друг на друга, и поэтому естественно между блоками-пластинками имеются каналы и щели, которые перекрываются другими пластинками-блоками. На гранях октаэдра (рис. 5, г, д, е) также хорошо видно, что пириты в своем развитии имеют блоковое строение и что между блоками имеются треугольные и более сложные по форме пустоты. На блоковых гранях октаэдра отчетливо выступает та же особенность, что грань каждого блока слагается гранями микроблоков, и каждый блок и микроблок нарастает путем наложения треугольных пластинок друг на друга. Пространственно параллельное расположение блоков-пластинок на грани куба и октаэдра не всегда оказывается строго ориентированным. Подобное пластинчатое нарастание на грани куба можно видеть и на фотографии (рис. 4). В СЗ части кристалла пластинчатое нарастание является

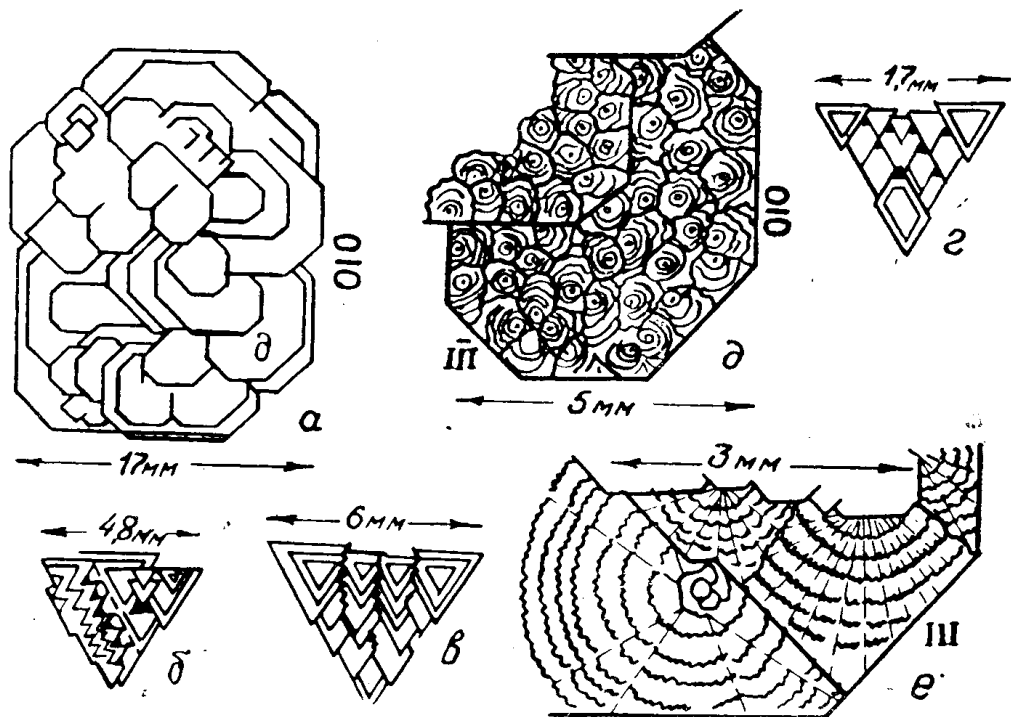


Рис. 5. Блоковое строение кристаллов пирита. *a* — пластинчатые блоки пирита, слагающие грань куба; *b, v, z* — блоковое строение граней октаэдра; *d* — деталь строения поверхности одного из блоков, на которой ясно заметны концентрические слои роста. *e* — деталь, поясняющая характер строения концентрических слоев роста поверхности куба

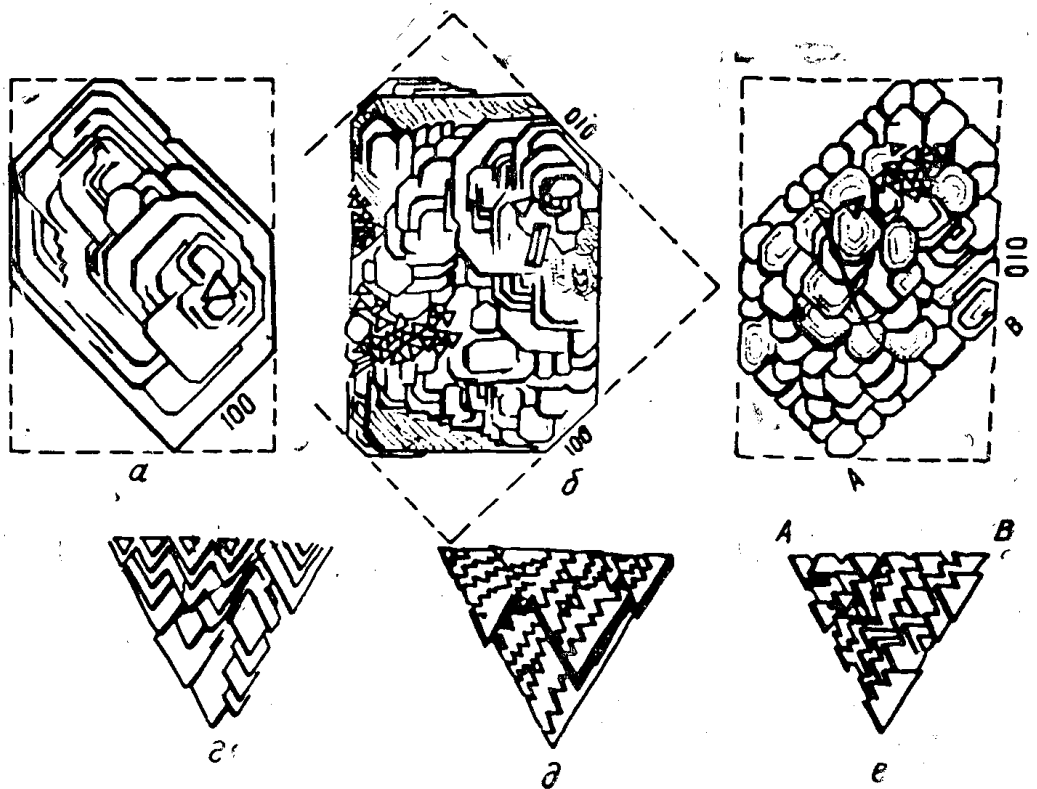


Рис. 6. Блоковое строение кристаллов пирита

очевидным, оно соответственно другим кристаллам нашло отражение и на рис. 6, а; 5, а и других.

Внимательно присматриваясь к поверхности блока кристалла (рис. 4, рис. 6, а), кажущейся с первого взгляда ровной, в действительности эта поверхность при ее изучении с помощью гониометра оказывается имеющей более сложное строение. Так, на рис. 5, д нарастающая пластинка пирита состоит в свою очередь из отдельных более мелких блоков (вициналей). В каждом таком блоке имеется центр его нарастания, который в виде выступа является вершиной очень тупого конуса. В вершине конуса обычно имеется один или несколько микроскопических кристалликов (рис. 5, е). Вокруг центра нарастания на разных расстояниях от него располагаются концентрические кольца-блоки числом от 2 до 7, которые иллюстрируют собой как бы систему плоских конусов, вложенных один в другой. Сложные контуры колец-зубчатость— обусловлены сочетанием следов граней куба и октаэдра. Прямыми линиями показаны границы блоков.

Чтобы закончить рассмотрение особенностей формирования кристаллов пирита приведем еще один пример. Из месторождения Атасуй в Казахстане были получены крупные кристаллы кубического пирита размером до 20 см и более. Особенностью этих кристаллов являлось полное отсутствие типичной для пиритов штриховки по пентагондодекаэдру. Поверхность подобных кристаллов с первого взгляда казалась зеркально ровной. Однако было достаточно более внимательного его изучения, чтоб убедиться в его блоковом строении (рис. 7): каждый блок имеет свои очертания, характер которых определяется взаимозависимыми условиями их роста. Каждый блок на своей поверхности несет очень тонкую штриховку, отвечающую граням октаэдра и в меньшей степени граням куба. Ясно различимая штриховка на поверхности каждого блока (на рис. 7, г она показана выборочно для иллюстрации характера ее проявления) в сущности является границей очень тонких пластинок, наложенных друг на друга и уменьшающихся по площади к центру роста блока.

Описанные примеры кристаллов лишней раз подтверждают мысль, что блоковое строение есть один из способов в природе образовывать крупные кристаллы. Пириты Б. В. Олейникова показывают стремление природы строить монокристаллы, идя в ряде случаев от агрегатов через поликристаллы. Изученные пириты из многих других месторождений в большей своей части свидетельствуют о том, что их кристаллы не отличаются однородностью не только во внешнем своем проявлении, но и во внутреннем своем строении.

Проф. А. В. Лаврским в 20-х годах при кристаллизации К-и NH_4 -квасцов в присутствии буры были получены кристаллы кубической формы. Особенностью этих кристаллов было то, что грани куба были сложены кубиками с ребрами в 0,1—0,05 мм (рис. 8). Кубики на грани (100) укладывались в общем пространственно в ряды. В каждом из них кубики были различной величины, по этой причине общие грани куба не были идеально гладкими, а ребра линейно ровными. Кубики то прикладывались друг к другу плотно, то чаще между ними были промежутки в тысячные доли миллиметра. Каждую грань можно было бы уподобить городу, застроенному кубиками разной величины. Промежутки между ними — улицы, ширина которых определяется как расположением кубиков, так и их размерами; улицы то переходят из одного ряда в другой, то они при своем продолжении упираются в кубик соседнего ряда, то огибают кубики, если это возможно. В этом городе местами имеются площади, свободные от кубиков; размер площадей отвечает размерам то одного, то двух или даже трех кубиков. Улицы, как ка-

налы, в этом городе уходят в подстилающий слой кубиков; здесь они или частично выклиниваются в форме тупиков, или прослеживаются на некотором протяжении внутрь кристалла, то, наконец, ветвятся и выклиниваются. В более нижних слоях кубиков имеются и свои улицы, и свои тупики. Все это вместе взя-

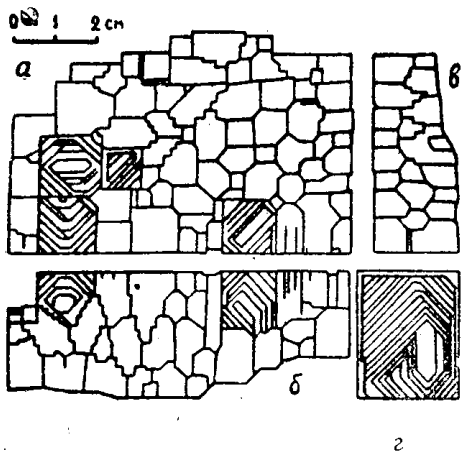


Рис. 7. Крупный кристалл пирита с зеркальной поверхностью. Заметны на его (001), (100) и (010) микропластинчатое строение и соответствующая штриховка по (111) и (100)

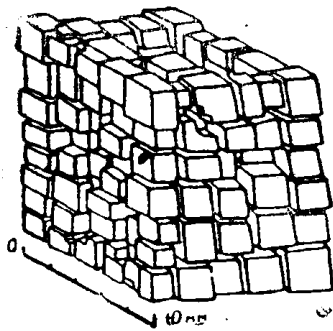


Рис. 8. Зарисовка кубического кристалла квасцов с ясно выраженным блоковым строением

тое дает ясное представление о том, что вся подобная постройка слагается кубиками различной величины, и в такой постройке трудно ожидать, чтоб слагающие ее кубики расположить относительно друг друга сколько-нибудь строго пространственно параллельно. Грань октаэдра, развивавшаяся на некоторых кристаллах, покрыта мелкими выступами трехгранных вершин кубиков.

Только что описанные кристаллы А. В. Лаврского представляли собой в сущности модели идей Гаюи [6]. Таким образом, кристаллы А. В. Лаврского являются аналогичными образованиями флюориту, галениту, пириту и другим минералам, описанным выше. Они представляли собой сравнительно грубую мозаику строения кристалла, но вместе с тем они могут быть естественным прототипом микромозаичного строения кристаллических тел. Кстати сказать, модель двумерных монокристаллов в виде скоплений одинаковых по размерам пузырьков Брегга и Най [25], предложенная данными учеными для понимания самих дислокаций в деформации атомных и ионных построек, скорее всего является моделью молекулярно-мозаичных построек типа галенита, флюорита, квасцов, о которых говорилось выше.

Приведем еще пример, который наглядным образом показывает, как зарождаются мозаичные кристаллы. Нередко в известняках в метасоматических условиях образования скарнов возникают зародыши гранатов гроссуляр-андрадитового ряда (рис. 9). Первоначально на некоторой стадии формирования кристалла появляются зародыши граната размером в 0,5—1,5 мм в диаметре в виде отдельных зерен, беспорядочно расположенных относительно друг друга, но с явной тенденцией общей кристаллографической их ориентировкой (рис. 9, а); некоторые зерна из них явно имеют блоковое строение и сложно-зубчатые очертания, но вместе с тем имеются также зернышки в форме {110}. Затем число зерен и размеры ранее образованных кристаллитов увеличиваются, но зерна остаются еще изолированными. Однако в их относительном положении намечается упорядочивание с тенденцией заложения грани будущего кристалла в форме {110}. Судя по отражению света от

поверхности зерен, последние оказываются заметно пространственно разориентированными. На одном из следующих этапов (рис. 9, б) имеет место образование кристалла, ясно мозаичного строения. На его грани $\{110\}$ блоки преимущественно срастаются вдоль ребер и островами внутри грани. Позже на сплошной поверхности (рис. 9, в) полностью сформировавшегося кристалла граната на грани $\{110\}$ можно наблюдать блоки нескольких порядков.

Блоковое строение не менее четко выражено и на кристаллах кварца. Особенно для изучения блокового строения пригодны кристаллы горного хрусталя, аметиста, дымчатого кварца, цитрина и мориона, на призматических и ромбоэдрических гранях, которых можно различать как макро-, так и микроблоки. Макроблоки хорошо различаются при визуальном изучении поверхности кристаллов и сравнительно легко распознаются при отражении света от грани. Микроблоки кварца для своего изучения

требуют применения гониометра, микроскопа и обязательного травления плавиковой кислотой. Одним из характерных моментов для кристаллов кварца является наличие часто встречающейся штриховки роста или индукционной штриховки, перпендикулярной к ребру гексагональной призмы. Каждый макроблок, имеющийся в строении призматической

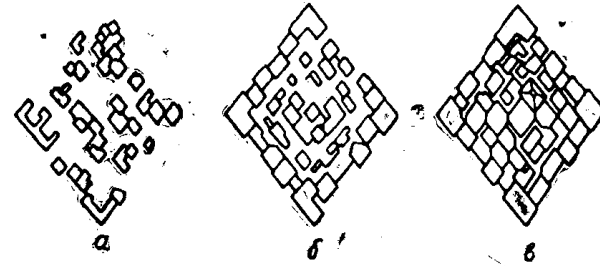


Рис. 9. Формирование метакристалла граната (андродита) в зернистом мраморе. а — появление зародышей — кристаллитов, б и в — последовательное оформление грани $\{110\}$ граната.

требуется применения гониометра, микроскопа и обязательного травления плавиковой кислотой. Одним из характерных моментов для кристаллов кварца является наличие часто встречающейся штриховки роста или индукционной штриховки, перпендикулярной к ребру гексагональной призмы. Каждый макроблок, имеющийся в строении призматической

грани, несет штриховку, которая по протяжению не переходит с одного блока на другой: она обрывается на границе блоков. Эта особенность очень легко позволяет выделить отдельные элементы блокового строения поверхности кристалла. Изучение характера штриховки на грани в пределах блока с помощью лупы и микроскопа позволяет говорить с некоторой уверенностью о блоках второго порядка. О их существовании говорит некоторая волнистость особенно счень тонкой штриховки.

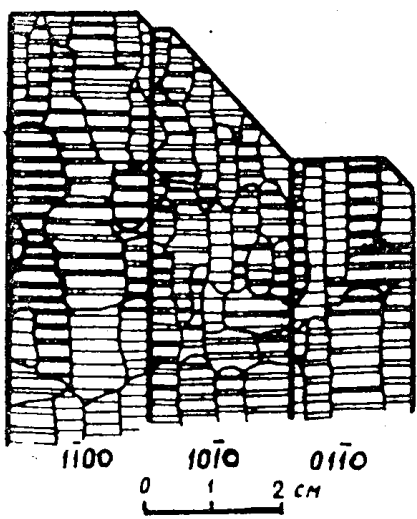


Рис. 10. Блоковое строение граней (1100) , (1010) и (0110) кристалла горного хрусталя.

Рис. 10 дает ясное представление о блоковом строении призматических граней. Подобное блоковое строение кристаллов возникает, с одной стороны, путем нароста отдельных кристаллитов на грани кристалла во многих точках. Такие кристаллиты, разрастаясь вместе с хозяином, сливаются в один об-

щий кристалл с ясными изометричными контурами блоков. В других блоковое строение обуславливается путем роста отдельных шестиков кристаллов вдоль ребер и граней призмы, начиная от основания. При этом строгая ориентировка этих шестиков отсутствует. Поэтому по штриховке шестики, сливаясь в плоскости призмы, достаточно хорошо замет-

ны, и заметна их граница. Далее рост шестиков идет прерывисто, а зародыш кристалла, появляющийся на головке шестика, в своей ориентировке несколько отличается от ориентировки кристалла, который он должен был бы продолжать в своем росте. Поэтому, естественно, на рис. 10 показана между шестиками горизонтальная граница наряду с вертикальной. В результате подобного роста кристаллов получают псевдомонокристаллы. В прозрачных кристаллах на границе нестрого ориентированных блоков остаются «пустые» промежутки, которые, хорошо заметны при отражении света от поверхности двух соседних блоков.

К. М. Мелкова и Ж. Лхамсурэн [19] приводят всем хорошо известные сведения и тем самым напоминают о взглядах на формирование больших кристаллов кварца путем срастания и нарастания кристаллов меньших размеров, а приведенные ими иллюстрации убеждают в сказанном. Далее авторы указывают, что подобное блоковое строение приводит к тому, что в кристаллах кварца возникают пустоты, щели и трубчатые каналы с треугольной, прямоугольной, овальной и неправильной — угловатой формой в сечении, признаки выхода которых можно найти на гранях ромбоэдра [19]. К этому следует добавить, что так называемые вицинальные сферические выпуклые треугольники со следами роста представляют собой завершение роста призматического блока общей плоскости $\{1011\}$. К границам подобных фигур как раз и приурочиваются выходы пор и каналов.

А. В. Шубников [24] приводит ряд фотографий поверхности травления кристаллов кварца плавиковой кислотой, из которых ясно видно их блоковое строение.

Таким образом, на примерах формирования «крупных» кристаллов кварца можно с полным основанием полагать, что и «мелкие» кристаллы кварца слагаются в целом кристаллитами, которые в общем срастаются не столь идеально пространственно параллельно. Это последнее обстоятельство делает вполне понятным наличие в кварце пор и пустот, которые в различной степени оказываются выполненными газоводными включениями. Последнее, распределяясь в ряде случаев параллельно граням кристалла, обуславливают возникновение в них зонарного строения.

Кристалл цинковой обманки из Дарасунского месторождения размером до 6 см в поперечнике, шарообразной формы с большим числом граней, случайно подвергся всестороннему сжатию, вследствие чего он распался на большое число блоков размерами от 10 до 5 мм и меньше в поперечнике и раскололся по спайности. Поверхность каждого блока несла контактную штриховку роста. Другими словами, кристалл сфалерита имел явно грубомозаичное (блоковое) строение. Зародыши блоков будущего кристалла так же, как и в случае зарождения граната, первоначально относительно друг друга располагались беспорядочно, но в общем кристаллографически они были пространственно ориентированы, и благодаря этому при своем росте каждого блока в отдельности и мог сформироваться столь крупным единым кристаллом.

Блоковое строение относительно крупных кристаллов можно наблюдать как на природных кристаллах, так и на кристаллах, получаемых в лабораторных условиях. Например, подобное строение можно видеть на кристаллах хромпика — $K_2Cr_2O_7$, плоская поверхность которых частью слагается уплощенными призматическими несколько разориентированными кристалликами. Точно такими же блоками-кристаллитами слагается масса всего кристалла хромпика, который, как это хорошо видно в изломе, переполнен макро- и микропорами. Изучение поверхности крупных кристаллов сахара размером до $2,0 \times 1,6 \times 1,2$ см

до травления и после травления также оказываются построенными из блоков (рис. 11).

Кристаллы галоидов натрия и калия, выращенные из насыщенных водных растворов в присутствии этилового спирта, в форме тонких пластинок и длинных призм в 2×2 мм в поперечнике часто оказывались сложенными различной величины кубиками не всегда идеально ориентировочными. Блочное строение описываемых кристаллов особенно

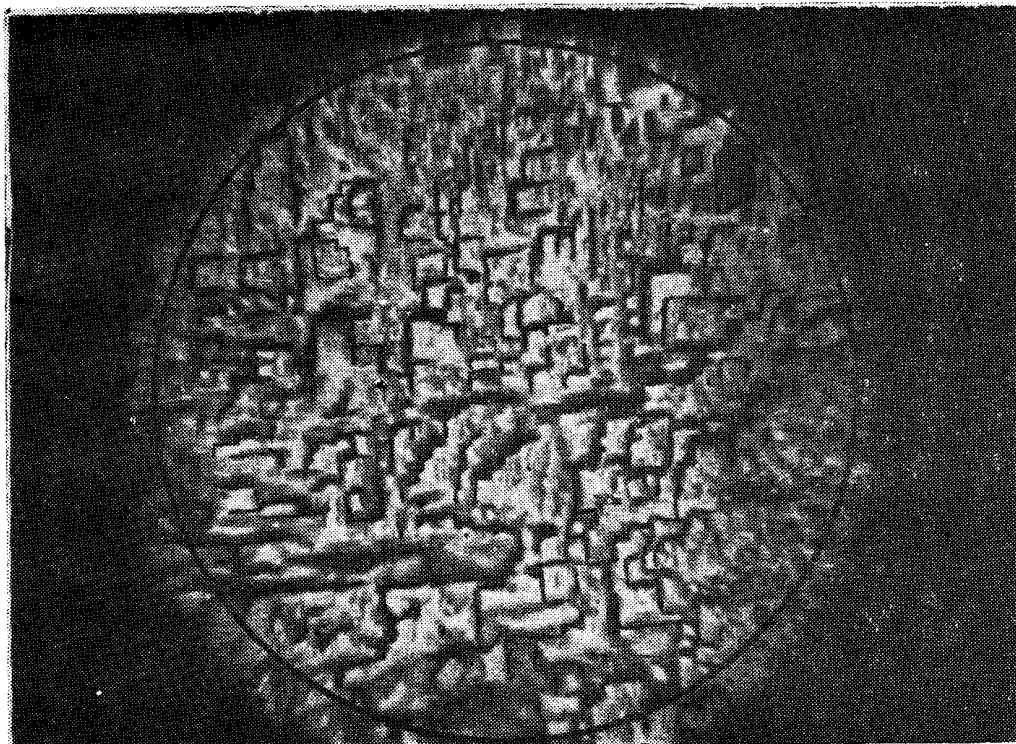


Рис. 11. Блочное строение кристаллов сахара

хорошо видно на их поверхности (рис. 12, 13), которая, как и в случае кубических кристаллов квасцов А. В. Лаврского, складывается пластинками с ясно квадратными очертаниями. Подобные пластинки то тесно соприкасаются между собой, и в их поле на контакте отдельных пластинок сохранились в форме продолговатых или сферических очертаний пустотки, то между пластинками имеются незанятые солью промежутки, которые на поверхности образуют сложную прямоугольную сеть каналов.

Подобная скульптурная поверхность одного слоя роста кристалла перекрывается таким же другим скульптурным слоем, а этот последний в свою очередь перекрывается третьим, четвертым и т. д. При этом происходит то, что каждый откладывающийся слой на поверхности кристалла «захлопывает» все дефекты поверхности предыдущего слоя с остатками в них маточного раствора. Сами дефекты в данном случае имеют форму отрицательных кубиков, призм и различного рода свилей, причем все подобные образования располагаются только в плоскости роста кристалла. Отдельные каналы поверхности сообщаются щелями с каналами ниже расположенной предыдущей поверхности роста.

Таким образом, изучение кристаллов галоидов наглядно показывает нам, что блоковая структура свойственна не только поверхностной

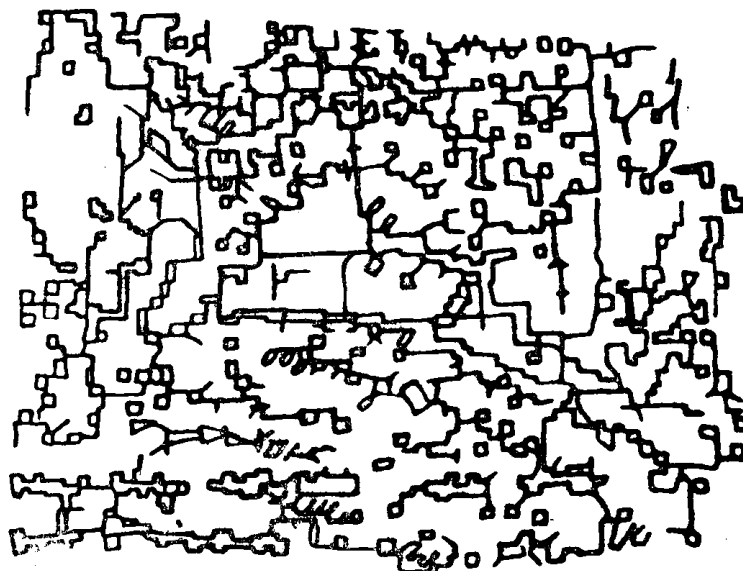


Рис. 12. Блочное строение грани {100} призматических кристаллов хлористых солей калия и натрия. Увеличение 200X



Рис. 13. Блочное строение спайной плоскости каменной соли. Угольная реплика, оттененная хромом. Электронное увеличение 6000 X

части их, но она также обязательна и для внутреннего строения кристаллической постройки, каковое явление очень просто и естественно объясняет появление в кристаллах многих дефектов.

А. Е. Ферсман в своем труде «Кристаллография алмаза» приводит много примеров того, что природные алмазы представляют собой срастания большого числа кристаллитов. Так, грань куба [22, фиг. 140 и 141] покрыта четырехугольными ямками травления, детали строения которых иллюстрируются зарисовками картины, различной под микроскопом. Эти ямки растворения представляют собой отрицательные октаэдрические кристаллы (рис. 14) [22, фиг. 153, 155]. На рис. 15 А. Е. Ферсман [22, фиг. 43] схематически показал, что в частном случае

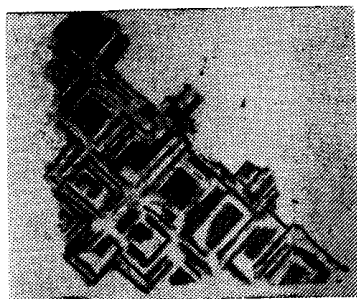


Рис. 14. Ямки между тетраэдрическими блоками кристаллов алмаза

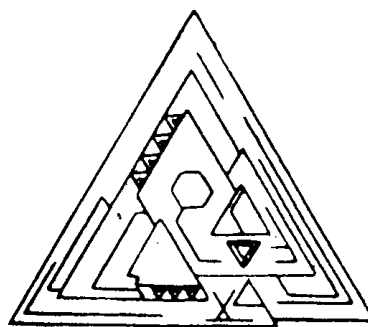


Рис. 15. Нарастание «октаэдрических» граней алмаза пластинчатыми кристаллитами

октаэдрическая грань представляет собой совокупность треугольных граней, различной величины, наложенных друг на друга. На рис. 16 [22, фиг. 37] изображен поликристалл, на котором намечаются грани $\{100\}$, $\{110\}$, $\{111\}$. Однако в целом кристалл алмаза представляет собой совокупность сросшихся и выросших в огромном числе разориентированных пластинок $\{111\}$ различных размеров. В силу таких причин грани $\{111\}$ слагаются заметно разориентированными пластинками. Грань $\{110\}$ — ребристая, обусловленная выступами одной из сторон пластинок по октаэдру. Грани $\{100\}$ — ямчатые, обусловленные выходами вершин треугольных пластинок. Поэтому, естественно, подобного строения кристалл является в достаточной мере пористым и пространственно физически и геометрически неоднородным.

Большое число кристаллов, приведенных в атласе [22], находятся в сложно-двойниковом срастании и слагаются из 48, 24 и 12 индивидуальных блоков.

Хорошо известны кристаллы доломита, сидерита, родохрозита в виде искривленных ромбоэдров, напоминающих собой раковины ринхопелл. Подобные кристаллы оказываются состоящими из более мелких разной величины ромбоэдрических кристалликов, которые по отношению своих соседей не укладываются в плотные ряды в плоскости ромбоэдра, но которые относительно друг друга несколько смещены в одном направлении, что и обуславливает, как бы закономерное изгибание ромбоэдрических кристаллов. Меньшего размера кристаллики указанных ромбоэдров в свою очередь слагаются еще более мелкими кристаллитами-субмикронами, которые также не имеют строгой пространственно-параллельной ориентировки, вследствие чего их можно различать.

Кстати, таким же образом ведут себя и кристаллы многих цеолитов.

Подобную картину достаточно четко можно наблюдать на гейландите в пластинчатых кристаллах; как бы не расщеплялись кристаллы здесь-мина, все же они стремятся получить коллективную форму мозаичного кристалла.

Мозаичное строение кристаллов очень характерно и весьма часто встречается среди минералов типа гранатов, турмалинов, ортоклазов, альбито-клевеландитов, цеолитов, доломитов, сидеритов, арагонитов, церуситов, баритов, гипса, магнетита, тремолита, актинолита, авгита и

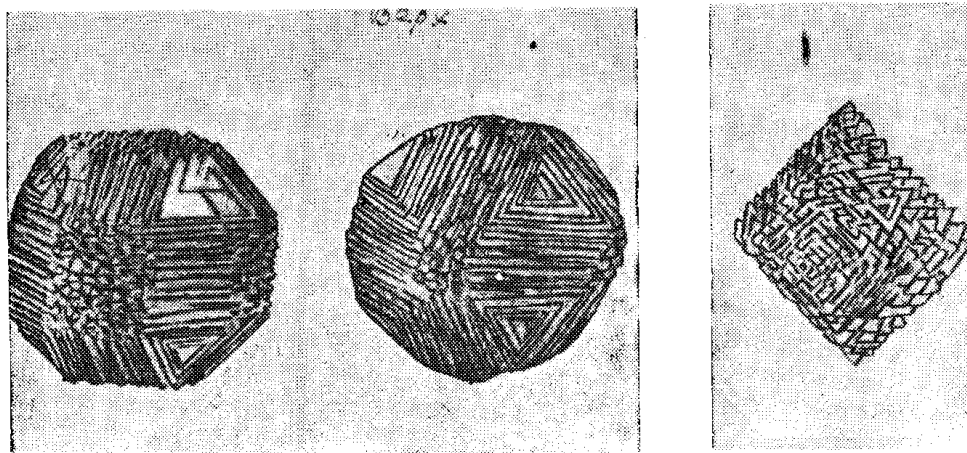


Рис. 16. Пластинчатые блоки тетраэдров $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$ и $\{111\}$, нарастая, обуславливают появление, в одном случае, а — ямчатых граней куба, ребристых $\{110\}$ и пластинчатых граней $\{111\}$, в другом, б — октаэдрических кристаллов алмаза

многих других минеральных образований. Следует полагать: макро- и микромозаичные строения кристаллов являются весьма широко распространенной их особенностью; она вместе с тем, как это впервые показал М. В. Ерофеев [11], представляет собой способ формирования реальных кристаллов больших и любых малых размеров, каковое обстоятельство ставит под сомнение существование в природе, лабораториях и заводах монокристаллов с единой свойственной им пространственной решеткой, как многими это принимается. В мозаично построенных кристаллах решетка также является мозаично построенной. В мозаичном кристалле элементарные частицы, составляющие его, к тому же сплошь и рядом не располагаются строго параллельно; на границах мозаик имеется ряд дефектов как точечного, так и линейного и более сложного характера.

Следующей группой минералов, несовершенства которой создаются во время кристаллизации, будет группа зонарных кристаллов. Зонарность роста является основной особенностью любого кристалла. Если физико-химические условия роста в течение формирования кристалла остаются одни и те же, то зональное строение кристалла трудно выявить, хотя теоретически оно само собой разумеется. Если же в течение роста кристалла химический раствор несколько меняется, колеблется температура кристаллизации, а стало быть не остается постоянной и концентрация раствора, питающего кристаллы, то все это вместе взятое сказывается в том, что химический состав откладывающихся зон заметно различный; одна зона по сравнению с другой, предыдущей, отложилась из раствора различной насыщенности, и каждая из них несет, естественно, различное количество дефектов. Наконец колебание в насыщенности раствора может привести к временному прекращению рос-

та и даже частичному растворению сформировавшейся поверхности кристалла, на которую затем с увеличением пересыщения начнет откладываться следующая зона роста. Часто на поверхность зоны со следами растворения откладываются кристаллы другого состава, например, в зональных ортоклазах на поверхности таких зон можно встретить чешуйки биотита, призмы роговой обманки и зерна кварца.

Из сказанного следует, что зональность является обязательным свойством кристаллов, но в каждом конкретном случае она проявляется по-разному.

Обратимся к некоторым фактам.

Прекрасным примером зонарности являются зонарные плагиоклазы. Последние, как известно, представляют собой твердый раствор веществ, отвечающих составу альбита $Ab - NaAlSi_3O_8$ и анортита $An - CaAl_2Si_2O_8$; общий состав в данном случае можно выразить формулой $nCaAl_2Si_2O_8(100-n)NaAlSi_3O_8^*$. Зонарные кристаллы плагиоклаза бывают двоякого рода [14]. В одних случаях зонарность изменяется постепенно от плагиоклаза более высокого номера к плагиоклазу с меньшим содержанием анортитовой молекулы, например, от № 62 к № 37, или от № 37 к № 20—18. Границы между зонами, как правило, выражены не резко, изменение химического состава от зоны к зоне совершается постепенно, плавно, а поэтому оптические свойства изменяются от номера к номеру постепенно, закономерно, без сколько-нибудь заметных скачков. Однако при медленном вращении предметного столика поляризационного микроскопа и в данном случае можно наблюдать хотя и слабо выраженные границы между зонами.

В другом случае зонарное строение плагиоклаза явно проявляется скачкообразно [14]. Это так называемая повторяющаяся (рекуррентная) зонарность. Так, например, в одном из многочисленных случаев внутренняя часть зерна плагиоклаза по оптическим свойствам отвечает № 37 (рис. 17); снаружи она охватывается зонарным поясом, внутренняя зона которого отвечает плагиоклазу № 52, а наружная — № 42. Переход от № 52 к № 42, как можно судить по оптическим свойствам, постепенный, что тесно связано с постепенным изменением состава зон плагиоклаза в пределах самого пояса. На этот последний накладывается следующий пояс зон, внутренняя часть которого слагается зоной плагиоклаза № 52, а наружная часть — № 37 и т. д. В общем схема описываемой зонарности может быть выражена следующей формулой: ядро № 37 | № 52 — № 37 | № 48 — № 37 | № 42 — № 33 | № 37 — № 27. Из только что сказанного следует, что при переходе от № 37 к № 52, от № 42 к № 52, от № 37 к № 42 и т. д. явно проявляется скачок, который обусловлен резкой схемой состава, что достаточно четко проявляется в оптических свойствах двух соседних зон соседних поясов.

Из рассмотрения табл. 1 средних геометрических констант кристаллов плагиоклаза [26] следует, что в зональных кристаллах в пределах зонального пояса размеры пространственной решетки изменяются посте-

*) n — число в % выражает содержание анортитовой молекулы в данном плагиоклазе: $nAn(100-n)Ab$.

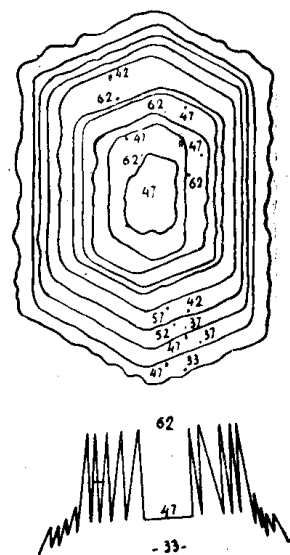


Рис. 17. Зонарный плагиоклаз

пенно в пределах нескольких минут. На самом деле в пределах поясов № 52—№ 42, № 52—№ 37 и др. угловые константы изменяются не более, чем на 7—8 минут в среднем¹⁾, но этого вполне достаточно, чтоб соответственным образом магла сказаться на оптических свойствах, например, на погасании в поляризованном свете и на конкретизации самого зонального пояса.

Таблица I

№ % % в плагио- клазе	Угловые константы плагиоклазов			Углы между основными гранями кристаллов плагиоклаза		
	$\angle \alpha$	$\angle \beta$	$\angle \gamma$	(001) : (010)	(100) : (001)	(100) : (010)
0	94°31,5'	116°38,5'	87°0,7'	86°26'	63°29'	91°05'
10	93°42'	116°32'	88°59,6'	86°22'	63°28'	89°41'
20	93°31'	116°26'	89°32'	86°18'	63°33'	88°47'
30	93°28'	116°20'	89°47'	86°15'	63°38'	88°31'
40	93°27'	116°15'	89°58'	86°11'	63°42'	88°20'
50	93°27'	116°10'	90°06'	86°07'	63°45'	88°11'
60	93°26'	116°06'	90°15'	86°03'	63°50'	88°02'
70	93°25'	116°03'	90°25'	85°59'	63°54'	87°51'
80	93°22'	115°59'	90°41'	85°56'	63°55'	87°36'
90	93°16'	115°56'	91°02'	85°52'	63°57'	87°15'
100	93°05'	115°54'	91°34'	85°48'	63°57'	86°45'

Переход от одного зонального пояса к другому всегда резко выражен и имеет скачкообразный характер, что является следствием резкой ступени перехода от зоны № 37 к зоне № 52, от № 42 к № 52, от № 37 к № 48 и т. д.

Поэтому надо полагать, что на границе двух соседних зональных поясов, соприкасающихся между собой, пограничные зоны имеют заметные несоответствия в размерах ячеек решетки, что соответственным образом сказывается, например, на оптических свойствах. Эта граница между поясами зон является между тем местом, вдоль которого позже плагиоклазы легче всего подвергаются последующим различным изменениям: например, серицитизации, хлоритизации, эпидотизации. В случае резко выраженной рекуррентной зональности плагиоклаза часто можно наблюдать, что поверхность предыдущего зонального пояса в различной степени подвергается растворению, и на этой растворенной неровной поверхности откладывается следующий пояс зон. По этой причине часто граница между зональными поясами выглядит подчеркнуто резко вследствие того, что в пограничных областях двух соседних зон имеются некоторые структурные и физические несогласия.

Примеров зонального строения кристаллов из царства минералов можно привести много. Так, например, зонарное строение очень часто встречается среди гранатов, которые к тому же нередко оказываются секториально-зональными образованиями. Магнетиты из метасоматических месторождений железа, как правило, являются зонарными, причем зонарность может быть простой, когда одна зона нарастает на другую, и может быть сложной, когда на простую обычную зону нарастает зона

¹⁾ Средняя величина колебания угловой константы между двумя соседними номерами n и $n + 1$ плагиоклазов для $\angle \alpha$ равна 0,26', $\angle \beta = 0,45'$ и $\angle \gamma = 1,47'$.

типично инкрустационная, а на эту последнюю откладываются зоны простые, а на них в свою очередь нарастают инкрустационные и т. д. [30].

В магнетите как с простыми зонами, так и с инкрустационными, легко различаются зоны первого порядка, а в зонах первого порядка различимы очень тонкие зоны второго порядка. В зонах первого порядка магнетита очень часто обращает на себя внимание следующая особенность: внутренняя часть зон в хорошо полированных и протравленных шлифах выглядит плотной, а наружная часть — пористой и содержащей реликты замещаемой породы.

У некоторых кристаллов радиоактивного касситерита толщина зон колеблется в пределах 0,25—0,0005 мм; среди них отчетливо выделяются зоны первого от 0,30 до 0,05 мм и тоньше и второго порядка от 0,02 до 0,005 мм и тоньше, внутренняя часть этого зонального кристалла находится в метамиктном состоянии, в отдельных участках ее сохранились обрывки с зональным строением.

О поликристаллическом и неоднородном строении кристаллов мусковита и флогопита приводятся ряд литературных сведений [7, 9, 20, 21].

Так, Н. М. Успенский и В. Д. Никитин описывают крупные зонарные кристаллы, коричневой и красной окраски, известные как «рубиновый мусковит», которым свойственна зонарность, заметная в пластинах в 2—3 мм толщины. Кроме зонарности, оба автора приводят данные о том, что относительно крупные кристаллы мусковита имеют сетчато-полосчатое строение, каковое обстоятельство иллюстрируется достаточно четкими фотографиями. Само сетчато-полосчатое строение представляет собой сочетание зонарной полосчатости и пересекающей ее полосчатости параллельной $\{010\}$ и $\{221\}$. По В. Д. Никитину зонарность в рубиновых слюдах благодаря смене окраски выражена четко, число зон в отдельных случаях достигает 150. Ширина зон первого порядка колеблется в широких пределах от 1 до 25 мм. Границы зон в пластинах в 2—3 мм толщины выражены ясно. В пределах окрашенных зон интенсивность меняется как при переходе от зоны к зоне, так и в пределах каждой зоны. В последнем случае относительно густо окрашенной оказывается внутренняя часть зоны, и внутренняя граница ее выражена резко. По направлению к внешнему краю зоны интенсивность окраски понижается. Сама бурая окраска В. Д. Никитиным объясняется замещением части алюминия железом. Поэтому более внутренняя часть зоны имеет показатель преломления более высокий, чем показатель преломления внешней ее части. Судя по окраске зон и содержанию в них железа, количество последнего менялось медленно и закономерно в пределах зон и скачками от зоны к зоне.

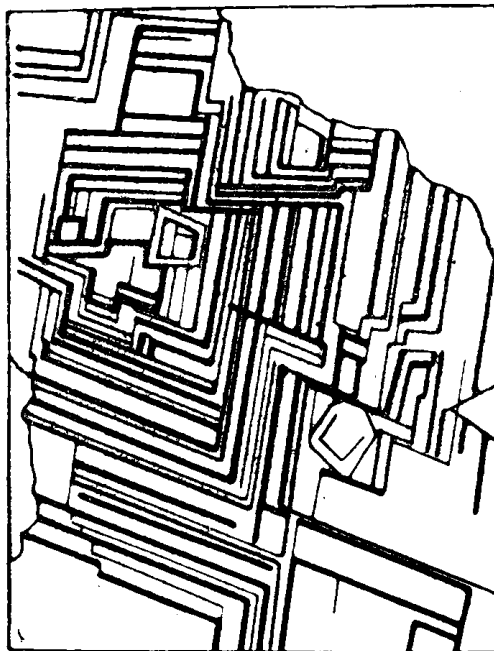


Рис. 18. Зонарный магнетит.

И. Я. Дядькина (третий автор), которая уделила достаточно внимания морфологии и генезису мусковита из Слюдяногорского месторождения (Средний Урал) и показала, что крупные кристаллы данной слюды образовывались в результате сложного процесса калиевого метасоматоза на стадии гранитизации пород на месте амфиболовых гнейсов. Подобные преобразования начались с биотизации амфибола и образования слюдистого гнейса с мелкочешуйчатым биотитом, а продолжающийся процесс привноса калия и алюминия привел к выносу железа и магния и образованию мелкочешуйчатого мусковитового гнейса. Этот же процесс далее приводит, с одной стороны, к нарастанию отдельных чешуек с образованием зон, с другой, приводит к срастанию мелких чешуек слюды и образованию крупных, которые окружаются поясом мелкочешуйчатого агрегата. И. Я. Дядькина, описывая крупные пластинки слюды, отмечает, что в их массе имеются и различно ориентированные чешуйки мусковита, т. е. образование крупных пластинок слюды происходит по тому же плану, как и крупных кристаллов пирита, кварца, турмалина, граната и многих других минералов путем возникновения сначала отдельных кристаллов одинаково пространственно ориентированных, затем при продолжающемся их росте они принимают видимый характер монокристалла.

Зональное строение известно для кальцитов, баритов, галенитов, смальтинов, пиритов, блеклых руд, ортоклазов корундов, гематитов, ниоксенов, квасцов, для кристаллов хлористого натрия, хлористого калия, для флюоритов, турмалинов, дистенов и многих других минералов.

Наконец, приведен пример перекристаллизации в твердом состоянии с образованием сложной кристаллической постройки с поликристаллическим характером сложения. Я имею в виду всем хорошо известную каменную соль. Например, спайные куски ее из Артемовского месторождения в Донбассе.

Будучи протравленными, спайные куски NaCl толщиной не более одного сантиметра при рассматривании их под микроскопом при малых увеличениях часто оказываются состоящими из различной величины блоков, конфигурация которых то неправильная, то правильно кубическая. В этом последнем случае спайный кусок каменной соли оказывается состоящим из ряда параллельно-расположенных кубиков кристаллов, более или менее одинаковых или различных по величине. Иногда при травлении на кубических формах можно различать, кроме грани (100), грани (210) и (110). Размеры блоков колеблются от 1—0,8 мм до 0,1—0,05—0,01 мм и даже 0,001 мм. На некоторых протравленных кристаллах очень мелкие кристаллики NaCl в форме кубиков образуют параллельные ряды и паркетную укладку из кубиков размером 0,01—0,005 мм и меньше (рис. 19 и 20).

К несовершенствам кристаллов нужно отнести включения, которые в нем образуются в период формирования кристалла. Можно привести большое число подобных примеров из области магматических образований, в которых при кристаллизации одного из образующихся минералов происходит захват другого. Например, в кристаллах основного плагиоклаза нередко содержатся иголки рутила; кристаллы олигоклаза можно встречать вкрапленными в ортоклаз; кварц нередко захватывается ортоклазом; зерна апатита, циркона нередко встречаются вкрапленными в биотит и роговую обманку. В гидротермальных образованиях также нередки случаи вкрапления в халькопирите станнина, цинковой обманки, обратно в цинковую обманку пирротина, халькопирита, станнина, в пирите — зерна халькопирита, в галените — вкрапленный аргентит, в магнетите — ильменит, в ильмените — гематит, в титанавгите — зерна плагиоклаза. Классическим примером закономерного рас-



Рис. 19. Блоковое строение кристаллов каменной соли. Увеличение 150 X

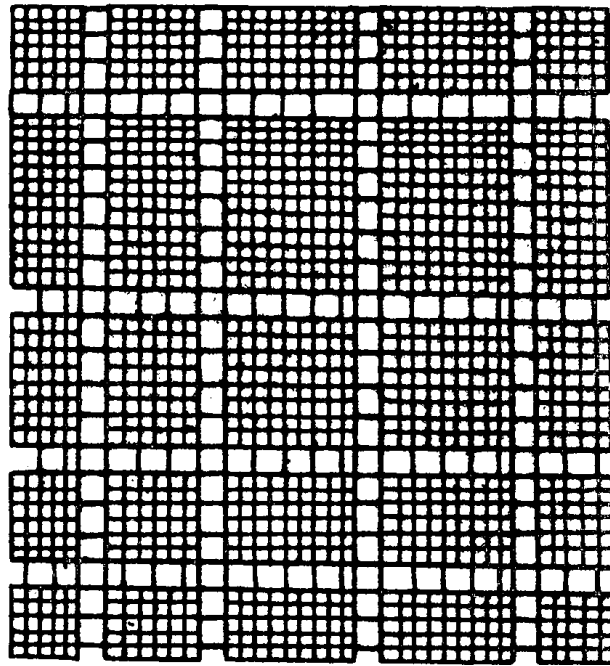


Рис. 20. Блоково-паркетное строение кристаллов. Увеличение 200 X

пределения углистого (графитистого) пигмента являются андалузиты, известные как хнастолиты.

Кристаллы гипса, кальцита, развиваясь в массе песка, оказываются переполненными включениями песчинок. Кристаллы кальцита, формируясь в песчаниках, становятся пойкилитовыми. В данном случае на плоскости спайности кальцита хорошо заметны беспорядочно включенные зерна песчинок кварца. При развитии кальцита одновременно имеет место частичное растворение поверхности зерен захватываемого минерала. Если приведем коэффициенты линейного расширения для кварца $\perp c = 13,24 \cdot 10^{-6}$ и $\parallel c = 6,99 \cdot 10^{-6}$ и для кальцита $\perp c = -5,75 \cdot 10^{-6}$ и $\parallel c = 25,57 \cdot 10^{-6}$, то для нас ясно, что на границе зерен кварца и кальцита при температурных изменениях создаются напряжения разного значения, которые усиливаются на эпигенетической стадии существования пойкилитовых образований.

Как видно из сказанного выше, природа несовершенства кристаллических построек, образующихся на стадии сингенетического формирования кристаллов, чрезвычайно многообразны, также многообразны дефекты их, характер которых зависит от физико-химической обстановки и характера самого несовершенства. Эти несовершенства сказываются на плотности кристаллов. Так, изучение микротвердости кристаллов на примере циркона показало, что она колеблется в пределах от 750 до 2800 кг/кв мм [10]. Приведенные данные указывают, что плотность укладки кристаллов в плоскости грани не является идеальной. В тех случаях, как это имело место на кристаллах А. В. Лаврского, (рис. 8), если кристаллиты в кристаллической постройке укладываются возможно плотно, то твердость в данном случае наиболее высокая; если же между кристаллитами в укладке имеются дефекты: не строгая параллельность, щели различной формы, пустоты, то, естественно, твердость в этих точках будет ниже средней.

При особом методе кристаллизации можно получить кристаллы, например, галоидов натрия и калия с большим числом пор. Такие кристаллы имеют пониженную плотность. Например, хлористый натрий вместо объемного веса, равного $2,165 \text{ г/см}^3$, может иметь от 2 до $1,8 \text{ г/см}^3$, хлористый калий вместо $1,99 \text{ г/см}^3$ имеет $1,90-1,8$, объемный вес бромистого калия равен $2,52 \text{ г/см}^3$ вместо $2,75$. Подобные кристаллы в силу этой особенности утрачивают прозрачность и приобретают перламутровый блеск.

Итак, на предыдущих страницах рассмотрен большой и разнообразный материал по сингенетическим несовершенствам кристаллов некоторых соединений, образующихся в процессе их роста. Из рассмотренных примеров следует, что основным элементом строения кристаллов является макро- и микрокристаллиты (субмикроны) нескольких порядков. Последние, будучи разными по величине, не укладываются на грани, а стало быть и в массе кристалла пространственно строго параллельно и одинаково плотно. Это обстоятельство, как следует из выше-рассмотренных примеров, приводит к образованию в различной степени выраженных макро- и микро мозаичных кристаллов, которые несут дефекты как в сплошности кристаллической постройки, так и в общей их однородности.

Таким образом, природа несовершенства кристаллов на стадии их формирования в процессе роста определяется несовершенством укладки кристаллитов в массе кристаллов в целом и, в частности, несовершенством укладки кристаллитов на гранях растущего многогранника.

На границах кристаллитов возникают дефекты, различные как по форме, так и по величине. Среди них наиболее часты поры, которые располагаются между отдельными кристаллитами и особенно охотно вдоль

граней, вдоль границ между зонами, которые несут достаточно большое число пустоток. Рядом с этим отдельные пустотки вытягиваются в одном направлении и являются по существу линейными дефектами — линейными дислокациями.

Далее имеются в кристаллах двумерные дефекты в виде щелей между кристаллитами, между рядами кристаллитов. Линейные и точечные дефекты, сливаясь, образуют простые каналы, свили или сети каналов. Дефекты одного слоя кристаллитов, соединяясь с дефектами слоев, расположенных ниже и выше, образуют сложную сеть-лабиринт в объеме.

О наличии точечных и линейных дислокаций судят по дефектам, выявляемым травлением поверхности кристалла. Выход линейных дислокаций на поверхность кристалла регистрируется появлением ямок травления, имеющих вид отрицательных пирамидок, обращенных своей вершиной внутрь кристалла. Как показывают наши эксперименты подобные ямки возникают охотно на контакте четырех кристаллитов в точке выхода четырех ребер, образующих в сущности линейную дислокацию. Подобная дислокация может ограничиться одним слоем кристаллитов, или ее можно продолжить вдоль параллельных ребер, близко соприкасающихся между собой. Кстати, следует отметить, что ямки четырехгранных пирамидок отрицательного знака в начале нашего столетия впервые были зарегистрированы как ямки травления А. Е. Ферсманом на кристаллах алмаза на стенках каждого из четырех макрокристаллитов из 24 или на стенках каждого из 8 кристаллитов из 48 [22, фиг. 159, 166, рис. 82, 59 и др.].

Одним из любопытных моментов мозаичных кристаллов является стремление при продолжающемся росте к упорядочиванию микрокристаллитов, к переходу от макромозаичных к микромозаичным кристаллам. Подобные явления можно, например, наблюдать на полихромных турмалинах из Завитой, когда несколько шестоватых кристаллов в своих дистальных частях стремятся стать монокристаллом, подобным образом ведут параллельно шестоватые кристаллы кварца, поликристаллические кристаллы флюорита, гипса, гранатов, пиритов и многие другие минералы. Поэтому, естественно, многие реальные кристаллы, которые часто называются монокристаллами, в действительности являются поликристаллами, сложенными недостаточно упорядоченными в пространстве кристаллитами.

Наконец, пористость кристаллов, выраженная в различной степени, обеспечивает потерю газоводных включений и повторное заполнение ими пор. Это обстоятельство играет в жизни кристаллов огромную роль в метасоматических процессах преобразования минерального вещества и появлении на месте одного минерала другого с иным составом.

Все несовершенства кристаллов, примеры которых были приведены в достаточном количестве, возникают в кристаллах в период их формирования, и эти несовершенства со всеми их дефектами в той или иной степени проявляет себя на эпигенетических стадиях существования созданной на сингенетическом этапе кристаллической постройки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ван-Бюрен. Дефекты в кристаллах. ИЛ., М., 1962.
2. Д. Д. Бернал. Порядок и беспорядок и их отражение в дифракции. Физика минералов. Изд. Мир, М., 1964.
3. Дж. М. Бюргерс, В. Г. Бюргерс. Дислокации в кристаллах. Сб. Реология, теория и приложения. Под редак. Ф. Эйриха ИЛ., М., 1962.
4. А. Варма. Рост кристаллов и дислокации. ИЛ., М., 1958.

5. Г. В. Вульф. К вопросу о скорости роста и растворения кристаллических граней. Варшава, 1895.
6. Р. Ж. Гаюи. Структура кристаллов. Изд. АН СССР, М., 1962.
7. Д. П. Григорьев. Онтогенез минералов. Изд. Львов. универ. 1961.
8. Дислокации в кристаллах. Библиограф. указатель. Изд. АН СССР, М., 1960.
9. И. Я. Дядькина. Об особенностях морфологии и свойств кристаллов мусковита Слюдяногорского месторождения (Средний Урал). Зап. В. Минер. Общ., ч. ХСШ, вып. 6, 1964.
10. В. А. Ермолаев, А. М. Кузьмин. Микротвердость кристаллов естественного циркона ($ZrSiO_4$). Изв. Высш. учеб. заведений, Физика, 1, 1964.
11. М. В. Ерофеев. Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалина. Зап. Минер. общ. часть 6, 1871.
12. А. М. Кузьмин. Плоскости спайности и скольжения у каменной соли (О некоторых дислокациях кристаллов NaCl).
13. А. М. Кузьмин. Дислокации гипса. Изв. Томск. политехн. института, т. 127, вып. 1, 1964.
14. А. М. Кузьмин. Гипсометрический закон и его значение на стадии кристаллизационной дифференциации магмы Изв. Томск. политехн. инст., т. 121, 1963.
15. В. Н. Сергеев, А. М. Кузьмин. О дислокациях в кристаллах магнетита из Дашкесанского железорудного месторождения и их роль в мартитизации. Изв. Томск. политехн. инст., т. 135, 1965.
16. А. Х. Котреля. Дислокации и пластические течения в кристаллах, Металлургиздат, М., 1958.
17. Т. Е. Ловиц. Изложение новых наблюдений над кристаллизацией солей, а также нового изображения, касающегося образования солями правильных кристаллов. Т. Е. Ловиц. Избранные труды. Изд. АН СССР, М., 1955.
18. Т. Е. Ловиц. Опыт изъяснения различных явлений, которые бывают во время кристаллообразования солей. Избранные труды. Изд. АН СССР, М., 1955.
19. К. М. Мелкова, Ж. Лхамсирэн. К формированию кристаллов кварца из параллельных сростков. Зап. В. Минер. Общ., ХСП, вып. 6, 1963.
20. В. Д. Никитин. Зональность и микрозональность в мусковите. Зап. В. Минер. Общ., ч. 81, вып. 2, 1952.
21. Н. М. Успенский. О псевдоспайности слюды. Зап. В. Минер. Общ., ч. XXXIX, 1950.
22. А. Е. Ферсман. Кристаллография алмаза. Изд. АН СССР, М., 1955.
23. А. В. Шубников. Как растут кристаллы. Изд. АН СССР, М., 1935.
24. А. В. Шубников. Кварц и его применение. Изд. АН СССР, М., 1940.
25. Wragg H. H. Nye J. F. Proc. Roy. Soc. Ser. A, p. 474, 1947.
26. Niggli P. Lehrbuch der Mineralogie. I. Zweite Aufl. 1926.
27. А. М. Кузьмин. Природа несовершенства кристаллов. — Юбил. сборник «50-летие Сов. власти. Вып. «Геология и География». Изд. Томск. ГУнив. 1969.
28. А. М. Кузьмин. Эпигенетические несовершенства кристаллов: при их обезвоживании. — Матер. по минер., петрогр., полезн. ископ. Зап. Сибири и Красноярского края. Изд. Томск. Г. У-та 1965.
29. В. Н. Сергеев, А. М. Кузьмин. Внутреннее строение и генезис минеральных индивидов на примере магнетита. Минералогический сборник № 20, вып. 4, 1966.