

## **МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРИСТАЛЛОВ В МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И ПРАКТИКЕ**

*Попов В.А.*

Институт минералогии УрО РАН, Миасс; popov@ilmeny.ac.ru

Форма наряду с химическим составом и структурой является атрибутом кристалла. Кристаллы и зёрна минералов могут появиться вследствие двух процессов, принципиально различных по механизму движения поверхностей индивидов: кристаллизации (роста) и перекристаллизации. В процессе кристаллизации индивиды увеличиваются в размере путём движения собственных (идиоморфных) поверхностей, в кристалле создаётся ростовая анатомическая картина, которая описывается семью законами анатомии [1, 2]. В процессе кристаллизации форма обладает созидательной функцией, т. е. грани разных простых форм создают внутри кристалла физически и химически различные элементы анатомии. Поэтому рост кристаллов можно рассматривать как непрерывную диссимметризацию пространства. Это и есть реальный механизм разделения (сепарации) атомов элементов и изотопов в процессе роста.

В процессе перекристаллизации происходит движение границ у всесторонне плотно соприкасающихся индивидов. У полиэдров перекристаллизации не бывает идиоморфных поверхностей, они всегда некристаллографичны, "границы" плавно изогнуты, анатомическая картина однородна. Перекристаллизация в отличие от кристаллизации создаёт принципиально другой тип индивидов по форме и анатомии. Перекристаллизация бывает только в агрегатах.

Перекристаллизация всегда начинается с рекристаллизации - появления новых центров роста в участках максимально деформированной матрицы. Движение границы у этих центров роста сначала идёт по направлениям максимальных деформаций в матрице, образуются сложные по форме зёрна. Когда эти зёрна достигнут границами друг друга, начинается укрупнение их (собственно перекристаллизация) за счёт движения границ в сторону меньшего радиуса кривизны поверхности. По наблюдениям природных объектов (гранулированный кварц, мраморы и др.), полиэдров перекристаллизации крупнее 8-10 мм не обнаружено. Нередко в перекристаллизованных бывших гигантозернистых объектах остаются реликты недеформированной матрицы, которые кажутся особо крупными полиэдрами перекристаллизации. Однако в этих реликтах остаётся и реликтовая ростовая анатомия (зоны роста, двойники,

включения и т.д.), что позволяет их отличать от полиэдров перекристаллизации.

Весьма информативна скульптура на гранях разных простых форм. На одной и той же грани она бывает очень разнообразна (в пределах симметрии грани) и повествует об относительной скорости роста с соседними гранями, об изменении формы кристалла, об изменении механизма роста, о явлениях растворения, о ростовой симметрии кристалла. Например, на кристаллах "моноклинного" пирротина скульптура соответствует гексагональной сингонии, на кристаллах ставролита и арсенопирита - ромбической сингонии, на высокотемпературных кристаллах плагиоклазов - моноклинной сингонии, на ранних кристаллах перовскита - кубической сингонии, и т.д. Если рентгеновские данные отражают состояние решётки минерала в условиях проведения анализа, то форма и скульптура граней говорят о симметрии кристалла во время роста.

Внешняя и захороненная (в анатомической картине) форма кристаллов - основа всех генетических интерпретаций в минералогии. Состав кристаллов информативен только в морфологическом выражении - зональность и секториальность в ростовой анатомии, тела (области) диффузии и распада во вторичной анатомии. Современные теории типоморфизма минералов, парагенетического анализа минералов, моделирования "абсолютного" возраста минеральных систем созданы без необходимого морфологического анализа и требуют существенной доработки или даже пересмотра. Особое внимание следует уделить изотопной секториальности кристаллов [4]. Именно изотопная секториальность кристаллов позволяет говорить о различии электронной структуры разных изотопов одного элемента. Отсюда следует реальный механизм разделения (сепарации) изотопов в процессах кристаллизации.

В процессе кристаллизации на минеральных индивидах может возникнуть три типа поверхностей: идиоморфная (собственная), ксеноморфная (отпечатковая) и индукционная (компромиссная). Диагностика индукционной поверхности в минеральных агрегатах чрезвычайно важна при морфологическом анализе - единственный точный признак совместного одновременного роста минералов. Поскольку идиоморфная поверхность далеко не всегда плоскогранная, могут расти индивиды в виде скелетов, антискелетов, сферокристаллов, перистых образований, с грубыми буграми роста и т. п., то индукционная поверхность лишь в частных случаях относится к типу цилиндрических (закон кристаллографической индукции Ферсмана), в общем случае возникают более сложные компромиссные поверхности [2].

В минералогии давно известны многочисленные случаи эпитаксии разных минералов. В последнее время с помощью морфологического анализа в природных объектах установлено множество случаев синтаксии разных минералов, в том числе: двух полевых шпатов

(калишпат + плагиоклаз), двух хлоритов (клинохлор + лейхтенбергит), двух слюд (биотит + мусковит), двух амфиболов (моноклинных, ромбических, моноклинного с ромбическим), биотита с амфиболом и с пироксеном (макроскопические биопириболы) и т.д. Эти ориентированные сростания встречаются от макроуровня до наноуровня, подтверждением чему являются электронные снимки биопириболов. Кристаллографические законы в наносростках биопириболов и в макробиопириболах одинаковы. В наносростках границы влияют на рентгеновскую картину и, соответственно, на моделирование структуры "супериндивидов" биопириболов, а в макросростках - нет.

Морфологическими наблюдениями установлена совместная одновременная кристаллизация многих полиморфов: кальцит + арагонит, пирит + марказит, рутил + брукит, силлиманит + кианит, графит + алмаз и др. [3]. Принято считать, что один из минералов каждой пары рос в метастабильных условиях. Однако, наличие классических индукционных поверхностей у сростков кристаллов с блестящими гранями заставляет иначе интерпретировать подобные сростки. С одной стороны, необходимо признать некоторое перекрытие "полей устойчивости" минералов этих пар. С другой стороны, в среде должны существовать одновременно разные типы строительных частиц, которые идут на строительство разных полиморфов.

Можно полагать, что относительная скорость роста граней разных простых форм на кристаллах определяется количественными соотношениями разных строительных частиц в среде. Множественность габитусов кристаллов как-то коррелируется с множественностью типов строительных частиц, в том числе - с различием изотопного состава. Представление о множественности типов строительных частиц в природных средах удобно использовать для объяснения формы кристаллов, секториальности кристаллов, синтаксии минералов с близкими составами и структурами, сростаний полиморфов и для основы создания новой теории роста кристаллов.

1. Григорьев Д. П. О законах анатомии кристаллов // Кристаллография, 1971. Т. 16. Вып. 6. С. 1226-1229.

2. Попов В. А. Практическая кристалломорфология минералов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 190 с.

3. Попов В. А., Попова В. И. Парагенезисы форм кристаллов минералов. Миасс: УрО РАН, 1996. 103 с.

4. Попова В. И. Нейтронно-активационная радиография минералов. Миасс: УрО РАН, 1995. 188 с.