Физика кристаллизации. Выпуск 8. Калининский Государственный Университет. Калинин, 1985. Cтр. 113-123.

-113-

УДК 548.5

Г.В.Руссо[[1]](#footnote-1),

С.В.Чебанов

(Ленинградский госуниверситет)

**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИИ В СИСТЕМЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН\***

0.1. Кристалломорфология – обширная область кристаллографии. Основой формирования кристаллографии послужило то, что кристаллы, обладая особой формой, выделены среди других тел. Казалось бы, именно кристаллография является наукой о форме кристаллов, однако внутри нее появилась специальная дисциплина – кристалломорфология, о предмете, задачах и структуре которой не существует единого мнения.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\* Статья рекомендована к печати членом редакционной коллегии Т.Г.Петровым. Статья публикуется в дискуссионном порядке.

-114-

Предмет кристалломорфологии: "экспериментальная кристалломорфология" – исследова­ние динамики формы кристаллов в процессе роста при контроле параметров среды, что является базой для изучения связи между формой и структурой кристаллов [1, 2], решение проблемы взаимосвязи кристаллических форм с внешней кристаллообразующей средой [2], увязывание кристалломорфологических особенностей на поверхности кристаллов с условиями их природного образования [3], создание кристаллогенетических определителей минералов [1]. Особняком стоит учет формы кристаллов при их техническом применении, что может рассматриваться как проблема технической кристалломорфологии. Упомянутые проблемы потенциально перекрывают почти всю кристаллографию.

0.2. При такой неопределенности сферы исследований важна не разработка отдельных проблем, а выявление системы кристалломорфологии. Однако ее изложение в одной статье невозможно, поэтому авторы выбрали четыре вопроса, представляющиеся наиболее важными. Их рассмотрение дает возможность высказать ряд соображений по проблемам кристалломорфологии с тем, чтобы наметить контуры целостной концепции.

1. Форма и фигура кристалла

1.1. Понятие формы в литературе по кристалломорфологии обычно не обсуждается и не определяется, его полагают тривиальным. Под формой интуитивно понимается внешний вид, облик, габитус кристаллов, набор граней, отделяющих кристалл от окружающей среды. "Кристаллам разных веществ... свойствен своеобразный... облик, то есть общий вид, габитус ... определяемый на глаз путем сравнения с общеизвестными образцами. Обычно стремятся сравнить этот общий облик кристаллов с... простой кристаллографической фигурой и говорят:... облик дипирамидальный или ромбоэдрический... . 8 случае невозможности этого прибегают к помощи обыденных понятий" [4].

Из цитаты ясно, что под формой понимается фигура и что используются два способа наименования – по геометрическому соответствию изучаемого кристалла пространственной фигуре и по аналогии (копьевидные, чечевицевидные кристаллы). Поскольку язык аналогий не характерен для науки, остановимся на геометрическом описании форм.

1.2. Е.С.Федоров, считая симметрию геометрическим свойством и применяя учение о симметрии к кристаллам, отождествлял тем самым кристаллы с геометрическими фигурами. Но "уподобление кристаллов геометрическим фигурам... приближение к действительности, ибо... мы не можем для описания реальных форм кристаллов довольствоваться

-115-

тем арсеналом фигур, который дает нам геометрия" [5]. Так противопоставляются геометрические фигуры, которыми оперирует кристаллография и формы кристаллов (по [5] – материальные фигуры) кристалломорфологии.

1.3. Важным итогом исследования фигуры кристалла является его наименование средствами кристаллографической номенклатуры [6], в то время как в кристалломорфологии собственные средства номенклатуры не разработаны, и полученные результаты порой не закрепляются в языке кристаллографии.

2.1. Термины "форма" и "фигура", имея по природе разный смысл, используются сейчас как равнозначные. Понятие "фигура" геометрическое, фигура характеризуется набором отрезков, частей плоскостей, углами между ними и т.д. Фигура – единство фрагментов (отрезков, углов и т.д.), задаваемое жестким законом. Типы огранения, габитусные формы, комбинации простых форм описываются как сочетания геометрических фигур. Рассмотрение в геометрии только "правильных" фигур порождает в кристаллографии различные идеализации, например, простые формы. Идеальные представления в описании кристаллов как физических тел позволяют свернуть информацию путем классифицирования (например, отнесение кристаллов вещества к одной или нескольким – в случае полиморфных модификаций – из 230 групп симметрии), однако сужают представление о разнообразии кристаллов. Так, кубооктаэдр при преобладании соответствующих граней имеет кубический или октаэдрический облик [6].

Дефектность кристалла – внутреннюю или внешнюю – также описывают геометрически (дислокация определяется как точка или линия, штриховка роста на гранях кристалла классифицируется по геометрическому соотношению с ребрами [7].

3.1. О форме можно говорить как о единстве частей, объединенных смыслом, который сохраняется при видоизменении частей [8, 9]. Различие формы и фигуры проиллюстрируем следующим примером. Д.П.Григорьев писал: "...непосредственно объектами минералогической науки... являются исключительно индивиды" (отдельные кристаллы или зерна). "Виды минералов выступают как понятия производные и отвлеченные, и отображающие только то, что приписано им из качеств, обнаруженных у индивидов" [10]. Индивид можно соотнести с фигурой (его фрагменты – грани, ребра, пирамиды и зоны роста – связаны между собой строго определенно), минеральный вид – с формой (нахождение любого числа кристаллов данного минерала не изменит

-116-

смысла существования минерального вида). Если же вспомнить, что кристалл конкретного вещества (индивид) называют именем минерала, становится понятным, как термин "фигура" замещается в обиходе термином "форма".

3.2. Фигура видима и выступает как эмпирический объект науки, в конкретном месте и времени, форма – безвидна, она существует везде и всегда. Это определяется исследованием научными средствами именно фигуры кристаллов, за которым далеко не всегда следует работа по постижению формы.

4.1. Форму кристаллов характеризуют набором простых форм {hkl} и габитусом как относительным развитием граней разных простых форм [1] , что низводит габитус опять же к фигуре. Пример геометрической Формы – пространственные группы, обладающие собственными наборами элементов симметрии.

5.1. Установив различие фигуры и формы, в качестве иллюстрации остановимся на некоторых кристалломорфологических понятиях.

Идеальный кристалл – форма, отождествляемая с наличием кристаллической решетки. Реальный кристалл – аппроксимация фигуры кристаллической решетки через форму. Идеально ограненный кристалл – геометрическая форма огранения кристалла. Модель идеально ограненного кристалла – фигура той же геометрической формы из произвольного материала. Индивидуальный кристалл в природе – форма, реализованная через фигуру. Дефекты индивидуального кристалла – фигура тонкого строения кристалла. Простая форма – форма фигуры индивида, характерная форма фигуры кристаллического вещества.

Идеальный кристалл и идеально ограненный кристалл – две взаимоисключающие идеализации реальных кристаллов – идеальный кристалл не огранен, а огранение – дефект структуры.

5.2. Реальный дефектный кристалл – центральное представление кристалломорфологии. Будем говорить об идеальном реальном кристалле как о таком, распределение дефектов в котором описывается экстремальным ранговым распределением, удовлетворение которому рассматривается как свидетельство целостности системы [11]. Для такого реального кристалла может существовать несколько фигур кристаллов, различающихся соотношением разнообразных дефектов.

2. Кристаллический индивид

А. Природа индивида. 6.1. Индивид – конкретный экземпляр кристалла, воплощающий на определенном субстрате (веществе) форму и обладающий фигурой и обликом.

В кристалломорфологии (и вообще в геологии) представление об

-117-

индивиде не развито, что создает ряд затруднений.

7.1. Фигура (комплекс фигур) индивида – один из вариантов реализации данной формы. Все фигуры, присущие форме, в одном индивиде реализоваться не могут – индивид лишен возможности обладать всеми фигурами формы, то есть обладает, по сравнению с формой, лишенностью – стерезисом [8]. Пример проявления стерезиса – конкретное огранение кристалла среди всех возможных типов огранения.

8.1. Одновременно реализуется не одна, а несколько форм. Среда кристаллизации также обладает собственной формой (аспект этого -симметрия среды), реализующейся в кристаллических индивидах, содержащихся в ней, (захват включений раствора, примесей).

При росте реального кристалла в его фигуре реализуется еще множество форм – форма магнитного поля Земли, форма механических напряжений, форма времени и др. Поэтому при совместном росте кристаллов разных веществ они могут и не ограняться. Интересный пример взаимодействия форм – различие облика кристаллов КI при кристаллизации из растворов в присутствии кварца, слюды, гипса и других минералов [12].

8.2. Поскольку в любом образце кристаллического материала реализуется несколько форм, встает вопрос о выделении индивида, присущего каждой из них. Для этого важно уяснить, что индивид – тело, в котором сохраняется смысловое единство частей данной формы [13]. Так, в образце, которым является двойник гипса, реализованы одновременно форма, присущая гипсу как минералу, раскрывающая его кристаллическую структуру, и форма, свойственная двойникованию, связанная со смыслом образования закономерно разориентированных структур. Для минералога основной является форма гипса, разориентированные фрагменты двойника – индивиды, а сдвойникованность выступает как типоморфная особенность кристаллов определенного месторождения [14]. Для кристаллографа основной естественно считать форму двойникования, и тогда весь двойник – индивид, а его части – субиндивиды.

8.3. Выделение индивида определяется тем, какая форма исследуется. При изучении одной формы то, что является индивидом для другой, может выступать как часть, и наоборот.

Для расшифровки конкретной формы необходимо уяснить, индивид какой формы исследуется. Смещение форм, игнорирование их тонких различий – источник ошибок и необоснованных выводов. Так, цель моделирования процессов роста кристаллов – изучение возникновения форм

-118-

кристаллов в природных условиях. Описание формы фазового кристаллообразующего пространства по набору параметров как элементов его фигуры наталкивается на непредсказуемость результатов при одновременном изменении ряда параметров, что ограничивает использование результатов моделирования для интерпретации природного материала. Поэтому, чем "чище" поставлен опыт, чем больше параметров зафиксировано, тем более узкие области кристаллообразующего пространства изучаются, и чем ближе мы к пониманию формы кристаллов в условиях данного опыта, тем дальше от понимания формы данного минерала в природных условиях.

9.1. Все попытки введения строгих определений индивида, каждое из которых лишь частично раскрывает интуитивное представление об индивиде, оказались неконструктивными, поскольку при переходе к конкретному материалу обнаруживается их неполноценность.

Б. Характеристики индивида. 10.1. Если индивиды выделены, возникает вопрос об их границах. Положение в кристаллографии обычно более выгодно – границы воплощены и фигурах – гранях кристаллов, изучение которых – предмет кристаллографии.

11.1. 3 кристаллографии не разработано представление об индивиде и субиндивиде. Разориентированные части расщепленного кристалла называют субиндивидами [15], а разориентированные (но закономерно) части двойников – индивидами [16], параллельные сростки кристаллов рассматривают то как один индивид [17], то как их совокупность [18].

11.2. Для установления форм важно выделить индивиды одного уровня – целостные фрагменты реальности, части которых сходны по строению и могут быть сопоставлены друг с другом и названы одним термином, то есть гомологичны.

Гомология В.И.Михеева [19] - частный случай гомологии (гомология форм фигур), а элементы гомологичности выступают как мероны.

12.1. Индивид обладает фигурой, окрашенной смыслом формы – габитусом. Такую фигуру трудно описать в геометрических терминах (например, для кристаллов NН4Сl, полученных из чистых водных растворов), однако ее особенности легко передаются через метафоры – скелетные кристаллы и др. Габитус выступает как обобщенная характеристика индивида.

-119-

3. Полиморфизм

13.1. Степень проявления в индивиде каждой из множества форм, реализуемых в нем, различается от индивида к индивиду, что определяет многообразие фигур кристаллов данного типа (минерала, двойника, кристаллообразующего пространства) – полиморфизм.

Частный случай такого полиморфизма – полиморфизм форм фигур кристаллов данного минерала, рассматриваемый в кристаллохимии.

Так, для гипса в [20] приводятся 179 изображений кристаллов, а кристаллы галита в природе почти всегда куб. Кристаллизуя галит в лаборатории, можно в одном опыте получить кубы, пластины и иглы разных размеров.

13.2. Искать какую-либо конкретную причину разнообразия бесперспективно. Напротив, есть основания принять полиморфизм как фундаментальное свойство реализации формы в фигурах и при необходимости выяснять, чем определяется его большее или меньшее ограничение.

13.3. С другой стороны, каждая фигура может быть результатом реализации разных форм (октаэдры дают магнетит, шпинель, золото, алмаз и т.д.; существуют пять кубов различной симметрии [5]). Таким образом, между формой и фигурой существуют много-многозначные соответствия. Однако при кристалломорфологических исследованиях, отталкиваясь от ограниченного числа наблюдений, стремятся опознать форму по фигуре на основании отдельных признаков.

Ориентация на однозначность соответствий, например, создание определителя "Царство кристаллов" [21], имеет лишь ограниченную ценность, на что указывал Е.С.Федоров: "Понятие о типическом многограннике (лежащее в основе определителя) не есть понятие вполне определенное и относится... к весьма различным формам" [22].

14.1. Один из путей избавления от полиморфизма – приписывание значимости понятию равновесной формы кристалла. 3 контексте рассматриваемого подхода равновесная форма – одна из фигур реализации формы, возникающая в специфических условиях, когда всеми силами устраняется влияние формы среды. Однако идея устранения влияния среды бессмысленна, так как кристалл существует только в среде, а его неотъемлемое свойство – наличие граней как границ.

15.1. Изучение полиморфизма – основной путь научного постижения Формы. Степень полиморфизма – ее фундаментальная характеристика. Однако описание полиморфизма наталкивается на ряд трудностей – неразработанность соответствующих разделов математической статистики

-120-

(распределение о неопределенными центральными моментами, трактовка природы вероятности), трудоемкость (необходимость выборок, сопоставимых с генеральной совокупностью). При удовлетворительной полноте изучения полиморфизма изменчивость индивидов кристаллов может быть описана одним рядом – рефреном, разные фрагменты которого будут характеризовать кристаллы конкретного вещества.

16.1. При недостатке данных о разнообразии фигур конкретной формы в морфологии возможно использование экспертных оценок [23]. Один из немногих примеров – работа по кристалломорфологии касситерита [24], результаты которой применяются на практике. Если рассматривать выводы Н.З.Евзиковой как полученные экспертным методом, то упреки в статистической недостоверности результатов [25] несостоятельны – статистика работает при избытке материала, когда по выборке нужно судить о всей совокупности, экспертные же оценки необходимы при недостатке сведений.

4. Кристаллодинамическое время

17.1. Фигуры кристалла и пространства кристаллизации меняются с ростом кристаллов. Для каждого индивида выделяют значимые черты его изменения, свойственные совокупности индивидов. Тогда форма роста кристаллов данного типа – устойчивая траектория в фазовом пространстве признаков. При этом кристаллогенсзис выступает как морфологическая дисциплина.

18.1. Структура преобразований форм кристалла может быть нелинейной (рост может сменяться растворением). Независимость преобразования разных блоков расщепленного кристалла свидетельствует о том, что блоки существуют в разных индивидуальных временах. Поэтому можно говорить о нелинейности кристаллодинамического времени. Поскольку мы лишь в некоторых случаях умеем работать с нелинейным временем, то при реконструкции процессов минералообразования история заменяется генезисом, где нелинейное время разлагается на линейные отрезки.

В заключение остановимся на положении предлагаемой версии кристалломорфологии в ряду кристаллографических дисциплин.

В разные периоды развития кристаллографии и кристалломорфологии отношение к изложенным представлениям было различным [6]\*.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Далее цитируется [6], поэтому указываются только страницы.

-121-

Так, у Роме де Лиля (1783 г.) внимание сосредоточено на изучении геометрической формы правильных кристаллов: "...кристалл может быть усеченным в своих вершинах... Такие кристаллы... принадлежат к тому же роду.., что и кристаллы без усечений. Усечения... следует относить к случайным явлениям" (с.13). Такой подход оказывается основным для становления кристаллографии и ориентирует ее на строгость.

Другое направление развития кристалломорфологии оформилось значительно позднее. Так, П.В.Еремеев, занимаясь детальным исследованием особенностей строения кристаллов и работая с большим материалом, стремился к выявлению новых граней, что вызывало критику Е.С.Федорова, как лидера первого направления, которым высказывалось мнение о случайности появления таких граней (с.19-21). Строение реальных кристаллов интересовало и М.А.Толстопятова[[2]](#footnote-2), ставившего вопрос о правомерности отождествления формы кристаллов с геометрической фигурой: "Имеется ли основание... отступление кристалла от геометрической формы... считать за уродство..."(с.23). Ярко выраженный интерес к морфологии реальных кристаллов был у А.Е.Ферсмана: "Приобретает огромное значение учет ряда мельчайших примесей, деталей строения и формы и особенно весь тот комплекс морфологических особенностей, которые в последнее время господства теорий над точным фактом недостаточно наблюдались, неполно описывались и даже совершенно не учитывались" (с.9).

В 60-е годы в работах Д.П.Григорьева [26] в связи с задачами выяснения генезиса был возрожден интерес к тонкой морфологии.

Кристалломорфология связана с морфологией других фазовых состояний (жидкости). Поскольку морфология жидкости не разработана, о гомогенном зарождении и сейчас можно сказать словами Н.Стенова: "Как зарождается кристалл, нам неясно..." (по[6], с.10).

Выяснение взаимоотношений кристалломорфологии с другими морфологическими дисциплинами существенно для унификации терминологии, но в еще большей мере – для увязывания различных исследований в единую морфологическую картину.

Предмет кристалломорфологии изложен выше как организованное единство, соотнесенное с другими разделами кристаллографии и общими проблемами морфологии (более подробное изложение категорий общей морфологии и их соотношение с кристалломорфологней см. [13]).

-122-

ЛИТЕРАТУРА

1 Глазов А.И. Проблемы и некоторые практические аспекты исследования формы кристаллов. – ЗВМО, 1979, ч.108, № 4, с.422-436.

2 Шафрановский И.И., Евзикова Н.З. Пути развития и новый этап минералогической кристаллографии. – ЗВМО, 1976, Ч.105, № 5, с.529-542.

3 Шафрановский И.И, Мокиевский В.А. Некоторые проблемы кристалломорфологии минералов. – ЗВМО, 1964, ч.93, № 5, с.583-590.

4 Курс минералогии / Под ред. А.К.Болдырева. М. Л.: Главн. ред. геол.-развед. лит-ры, 1936.

5 Шубников А.В. Перспективы развития учения о симметрии. – В кн.: Кристаллография. М.: Изд. лит-ры по черн, и цветн. металлургии, 1951, с.33-47.

6 Шафрановский И.И. Лекции по кристалломорфологии. М.: Высшая школа, 1968.

7 Генделев С.Ю. Морфологическая классификация штриховки роста на кристаллах. – ЗВМО, 1961, ч.90, № 6, с.629-636.

8 Аристотель Сочинения: В 4-х томах. М.: Мысль, 1976, т.1; 1978, т.2.

9 Гете И.В. Избранные сочинения по естествознанию. – М.: АН СССР, 1957.

10 Григорьев Д.П. Минералы и виды минералов. – ЗВМО, 1980, ч.109, № 2, с.159-164.

11 Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982.

12 3емятченский П.А. Контактные явления при кристаллизации. – Изв.Импер. АН, 1914, с.541-554 (отдельный оттиск).

13 Чебанов С.В. Представления о форме в естествознании и основания общей морфологии. Orgaanilise vormi teoria, /Теория

органической формы/. Тарту, 1984, с.25-40.

14 Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. Л.: Наука, 1977.

15 Пунин Ю.О. Расщепление кристаллов. – ЗВМО, 1981, ч.110, № 6, с.666-686.

16 Мокиевский В.А. Морфология кристаллов. Л.: Недра, 1983.

17 Вазбуцкий Г.А. Что такое субиндивиды. – ЗВМО, 1955, ч.84, № 2, с.228-237.

-123-

18 Жабин А.Г. Морфология и генезис параллельно-шестоватых агрегатов минералов. – ЗВМО, 1958, ч.8З, № 5, с.515-589.

19 Михеев В.И. Гомология кристаллов. Л.: Госоптехиздат, 1961, с.7-31.

20 Goldschmidt V. Atlas der Krystallformen. – Heidelberg, 1918, Bd.4.

21 Федоров Е.С. Das Krystallreich – Зап.Российской АН, физ.-мат.отд,, 1920, сер. VIII, т.36, с.1-1050.

22 Федоров Е.С. Основания морфологии и систематики многогранников. – Зап.Импер. СПб. минер. об-ва, 1895, ч.30, сер.2, с.241-341.

23 Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980.

24 Евзикова Н.З. Практический аспект кристалломорфологии касситерита. – ЗВМО, 1972, ч.101, № 2, с.237-249.

25 Глазов А.И., Гликин А.Э. О некоторых методических аспектах изучения формы кристаллов. – ЗВМО, 1983, ч.112, № 3, с.372-376.

26 Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогения минералов. М.: Наука, 1975. – 339 с.

1. Интервью с Галиной Владимировной Руссо: https://vera-eskom.ru/2017/11/vtoroy-zakon/ [↑](#footnote-ref-1)
2. Примечание для сайта С.В.Чебанова. М.А.Толстопятов – минералог, профессор Московского университета (https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BB%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B2,\_%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B8%D0%BB\_%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87), отец Анатолия Михайловича Толстопятова (https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80\_(%D0%A2%D0%BE%D0%BB%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BF%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B2)), епископа Александра, преподавателя гимназии Н.Н. Зворской, учившего .М.В.Яцкевич (Чебанову) - см. Яцкевич (Чебанова) Мария Викторовна (https://bioherm.ru/яцкевич-чебанова-мария-викторовна/). [↑](#footnote-ref-2)