

# Расщепление кристаллов и родственные явления



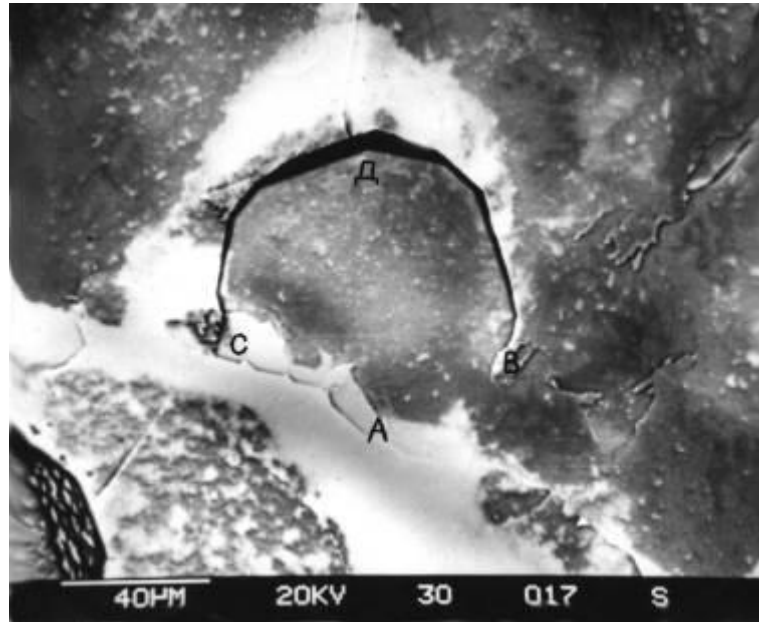
Глава монографии «Генезис минеральных индивидов и агрегатов»  
Н.И.Красновой и Т.Г.Петрова составлена и иллюстрирована  
студентом кафедры минералогии СПбГУ Шуйским А.В.

**Санкт-Петербург  
2006 г.**

**Расщепление есть следствие деформаций в приповерхностных участках кристаллов, возникших за счет неравномерного вхождения примесей (автодеформации), либо деформаций за счет внешних воздействий. Автодеформации вызывают поверхностную рекристаллизацию, частично снимающую напряжения, и несколько разворачивающую микроблок относительно нормальной ориентации основного кристалла.**



**Гематит**  
(фото А. В. Шуйского)

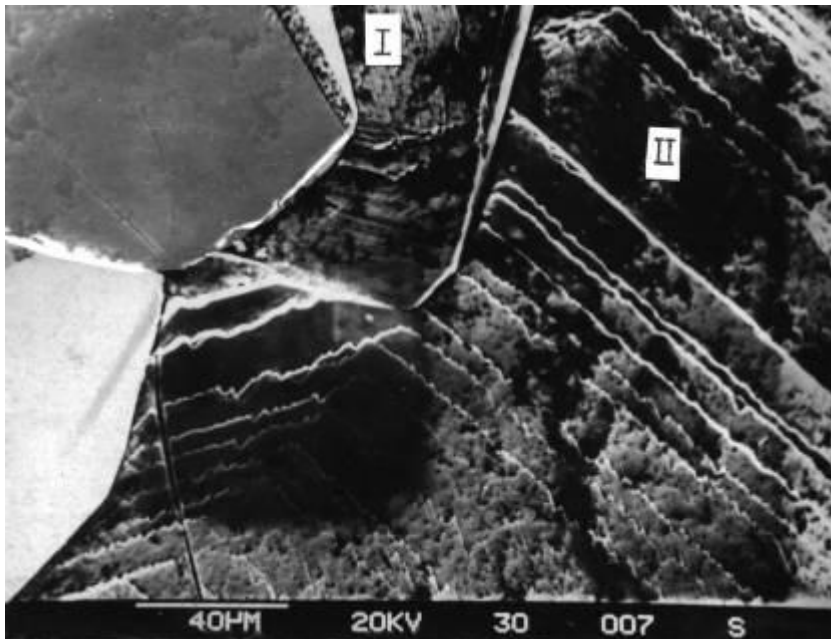


Единичный отщепленный субиндивид на кристалле гематита. АСДВ - контур субиндивида. Растровый электронный микроскоп [из монографии Н.И. Красновой и Т.Г. Петрова]

Уплощенная область более или менее плавного перехода решетки от ориентации матричного кристалла к ориентации отщепления: «зона сопряжения». Располагаясь в объеме кристалла, она имеет в общем форму треугольника, одна из вершин которого совпадает с местом зарождения отщепления, а противоположная сторона – «линия сопряжения» отщепленного и матричного, кристаллов на общей поверхности (линия АВ) [Ульянова, Пунин, Петров, 1974]

Этот микроблок со своей системой дислокаций и центрами роста способен к самостоятельному развитию, что и приводит к появлению субиндивида – отщепления.

Давления и деформации, развивающиеся в зоне сопряжения, и идущие параллельно процессы рекристаллизации ведут к продолжению процесса расщепления — появлению новых блоков — блоков высших порядков. При этом углы разориентации каждого последующего относительно предыдущего колеблются в пределах  $0,5 - 6^\circ$ . Каждый субиндивид расщепляющегося кристалла характеризуется симметрией, соответствующей симметрии грани, на которой он находится. Он имеет свои центры, от которых расходятся слои роста.



Слои роста в разных субиндивидах (I, II) расщепленного кристалла гематита. Снимок на растровом электронном микроскопе [из монографии Н.И. Красновой и Т.Г. Петрова].



Расщеплённый корунд из пегматитов Ильменских гор (Урал)  
(фото А. В. Шуйского)

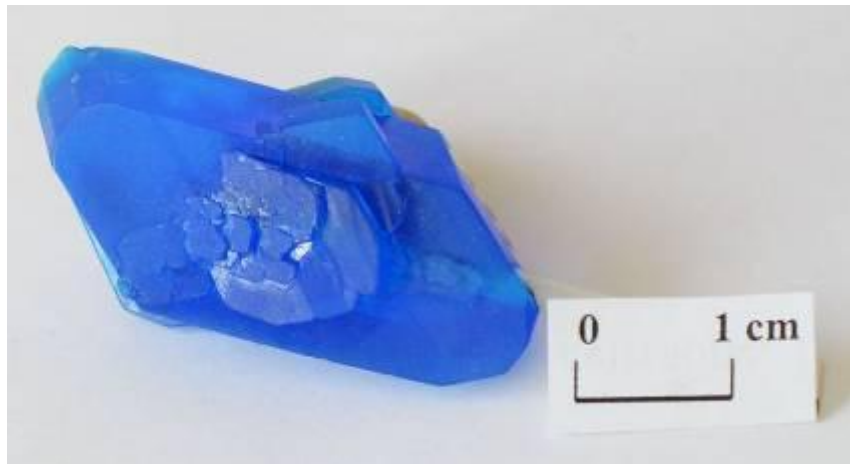
## **С чем же связано образование расщеплений?**

Процесс расщепления возможен лишь при достижении некоторого достаточно большого пересыщения (критического пересыщения расщепления – КПР), различного для разных веществ и разных простых форм одного и того же вещества. Установлено, что иногда совершенно ничтожные добавки примеси в среду кристаллизации снижают КПР.

Часто начало процесса расщепления приурочено к зоне массового образования твердых и газовой-жидких включений, свидетельствующих о резком увеличении пересыщения.

В природе пересыщение, как правило, мало. Причина этого заключается в преобладании малых температурных градиентов и обычном наличии разнообразных кристаллических поверхностей, контактирующих с растворами и играющих роль затравок, что и не допускает возникновения больших пересыщений. Таким образом, ведущим фактором, определяющим высокую встречаемость результатов расщепления, является химизм среды. В тех же случаях, когда большие пересыщения все же возникают (фумаролы, вулканические излияния и выбросы) расщепление проявляется еще более резко, что характерно, например, для полевых шпатов в лапиллях, карбонатов и многих других минералов горячих источников.

**В настоящее время имеется, к сожалению, мало данных, позволяющих выявить примеси, вызывающие расщепление природных кристаллов, образующихся в различных типах месторождений. Поэтому особый интерес представляют сравнительные определения содержания микропримесей в нерасщепленных и расщепленных индивидах одного и того же минерала из разных месторождений. На основании полученных результатов было бы возможно ставить эксперименты по моделированию процесса расщепления исследуемого минерала.**



**Расщепления кристалла медного купороса, выращенного из раствора с добавкой глицерина (фото А. В. Шуйского)**



Для гипса расщепление проявляется примерно в 5 раз интенсивнее в натрийсодержащей среде, чем в фосфорсодержащей системе при равных пересыщениях. Влияние разных концентраций примесей (малых (а), средних (б) и больших (в)) на степень расщепления кристаллов бифталата калия показано на этих фото. [Руссо, 1986 ]

(фото А. В. Шуйского)





Кварц (фото А. В. Шуйского)



Расщепление кварца на грани призмы  
(фото А. В. Шуйского)



Расщепление кварца на грани ромбоэдра  
(фото А. В. Шуйского)



Внешняя зона кристалла барита характеризуется большей степенью расщепления (фото А. В. Шуйского)



Высокая интенсивность расщепления барита. Агрегат типа – «раскрытой книги» (фото А. В. Шуйского)



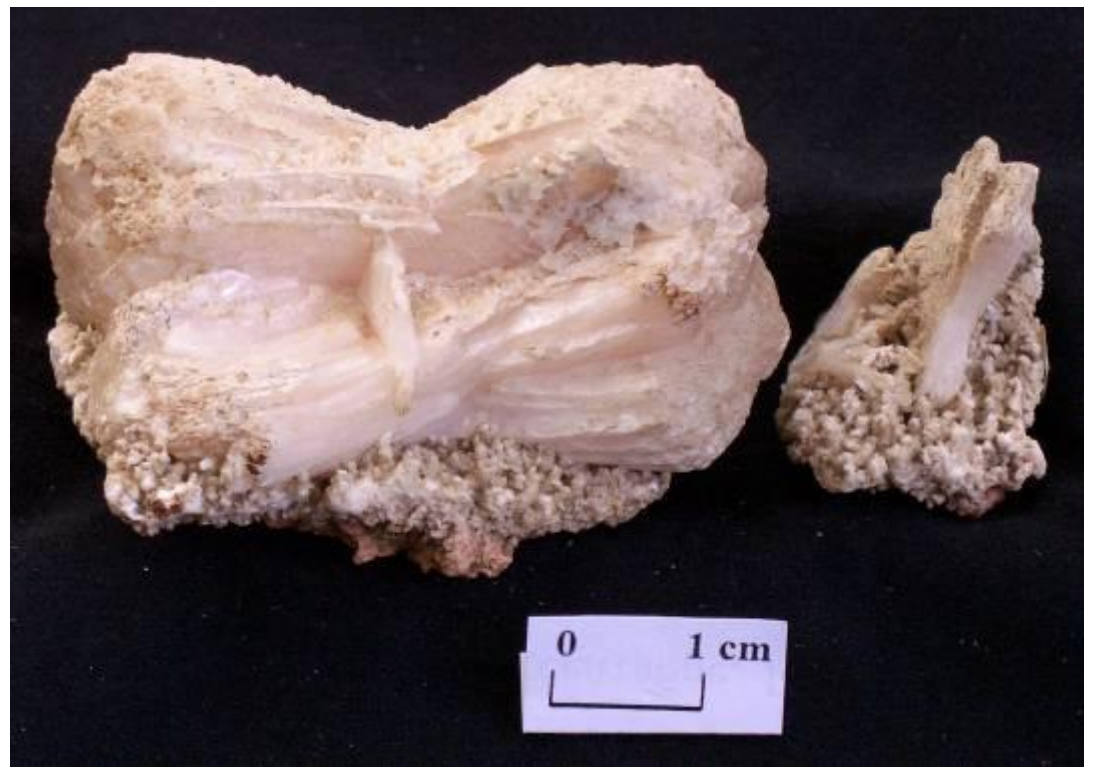
Расщеплённый агрегат ортоклаза  
(фото А. В. Шуйского)

Расщеплённые кристалла  
мусковита и клевеландита  
(альбита) в пегматите  
(фото А. В. Шуйского).





Центральная зона апофиллита почти не расщеплена, по сравнению с сильно расщеплённой внешней (фото А. В. Шуйского)



Сноповидный агрегат расщеплённых кристаллов десмина (фото А. В. Шуйского)



Агрегат расщеплённых кристаллов десмина  
(фото А. В. Шуйского)



Расщеплённые индивиды лепидолита, агрегат типа «барботов глаз» (фото А. В. Шуйского)



Агрегат сильно расщеплённых кристаллов мусковита (1) в гранитном пегматите.

Ильмены

(фото А. В. Шуйского)

Расщеплённые сферолитовые индивиды хлорита

(фото А. В. Шуйского)







Расщепления кальцита на гранях тупого ромбоэдра (фото А. В. Шуйского)



Расщеплённые скаленоэдрические кристаллы кальцита (фото А. В. Шуйского)



Расщеплённые призматические кристаллы кальцита (фото А. В. Шуйского)



Расщеплённые ромбоэдрические кристаллы кальцита  
(фото А. В. Шуйского)



Интенсивное расщепление скаленоэдрических кристаллов кальцита  
(фото А. В. Шуйского)



Седловидные расщеплённые  
кристаллы доломита  
(фото А. В. Шуйского)

**Исследования образцов седловидного доломита с помощью сканирующего электронного микроскопа показали наличие в них серии обогащенных магнием клиньев толщиной 5—20 мкм и длиной 300 мкм. Предполагается, что эти клинья образовались вследствие быстрого роста кристаллов доломита, а геометрия клиньев благоприятствовала развитию слоев роста преимущественно вблизи ребер, а не в центральных частях граней [Searl, 1989].**



Расщепление  
эгирина второй  
генерации более  
интенсивно чем  
первой.

Мурунский массив.  
Якутия

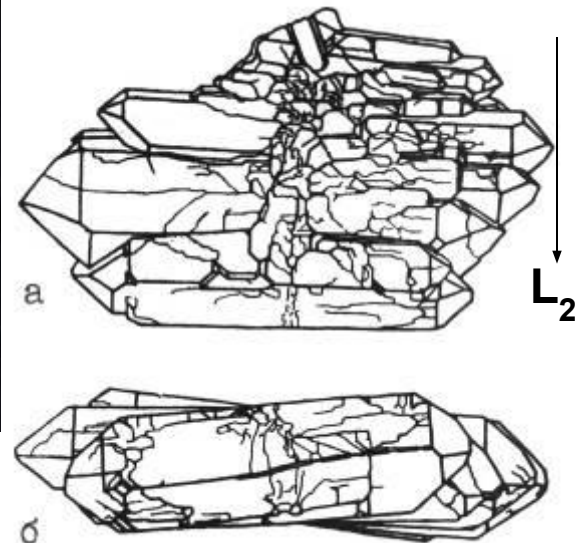
(фото А. В. Шуйского)



Диопсид (фото А. В. Шуйского)



**При малой интенсивности расщепления размеры матричного кристалла и отщеплённого субиндивида со временем нивелируются и образуются многоглавые, блочные кристаллы. Блочность проявляется либо макроскопически в виде протяженных ступеней, имеющих ограниченные торцы, либо под микроскопом по мозаичному угасанию разных блоков. Границы между блоками могут быть представлены при малых углах разориентации дислокационными стенками, либо при больших индукционными поверхностями.**



Рост блочных кристаллов иногда сопровождается их скручиванием. Скрученные кристаллы кварца обычно редки на месторождениях, и лишь на некоторых «болезнь» скручивания как бы поражает почти все кристаллы в жиле. По мнению Г.Г. Леммлейна, важной особенностью габитуса этих скрученных индивидов является их уплощенность по призме и вытянутость вдоль одной из осей второго порядка, причем скорости роста вдоль осей  $a$  и осей  $c$  довольно близки друг к другу [Леммлейн, 1973]. Очень важным является наблюдение за характером нарастания этих кристаллов на стенки жил: они прирастают обычно к висячему контакту своим концом одной из осей  $a$ . Дальнейшее нарастание идет лишь в положительном направлении оси  $a$ , которая в скрученных индивидах располагается субвертикально (рис.). В этой особенности роста индивидов несомненно проявляется полярность направления двойной оси  $a$ .

Скрученный кристалл кварца из месторождений Сура на Приполярном Урале. По Леммлейну Г.Г. [1973].

$a$  - одна из осей  $a$  вертикальна,  $b$  - одна из осей  $a$  перпендикулярна чертежу. Ось  $c$  располагается горизонтально [из монографии Н.И. Красновой и Т.Г. Петрова].

**Каждый субиндивид повернут относительно предыдущего по оси второго порядка на малый угол (не более  $6^\circ$ ), что приводит к тому, что шаг винта на всей поверхности при неизменной толщине кристалла остается довольно постоянным, а между шагом винта и толщиной кристалла имеется прямая корреляция: чем толще и крупнее кристалл, тем больше шаг винта.**

М.А. Кузьминой с соавторами [1987, 1991] при изучении гамма-облученных пластин, вырезанных их кристаллов кварца перпендикулярно и параллельно оси скручивания, было выявлено отчетливое строение, отражающее два этапа роста (рис. 1). Выполненная по распределению дымчатой окраски реконструкция морфологии кристаллов первого этапа роста выявила их необычную и нехарактерную для кварца огранку (рис. 2). Эти кристаллы имеют столбчатый габитус с удлинением в положительном направлении оси  $a$  —  $[1120]$  и сложены в основном секторами роста граней головки. Головка характеризуется наличием хорошо развитых граней трапецеэдров  $x \{5161\}$ ,  $y \{2131\}$  и других, а также ромбоэдров  $R \{1011\}$  и  $r \{0111\}$ .

Распределение радиационной окраски и секториальности в сечении кварца, перпендикулярном к  $li$  - оси скручивания. I - центральная затравочная часть кристалла; II - часть, нарастающая одновременно со скручиванием. Сектора роста  $R (1011)$ ,  $r (0111)$ ,  $m (1010)$ ,  $x \{5161\}$ ,  $y \{2131\}$ ,  $z \{4151\}$ . Степень окраски: 1 - темно-дымчатая, 2 - светло-дымчатая, 3 - бесцветная.

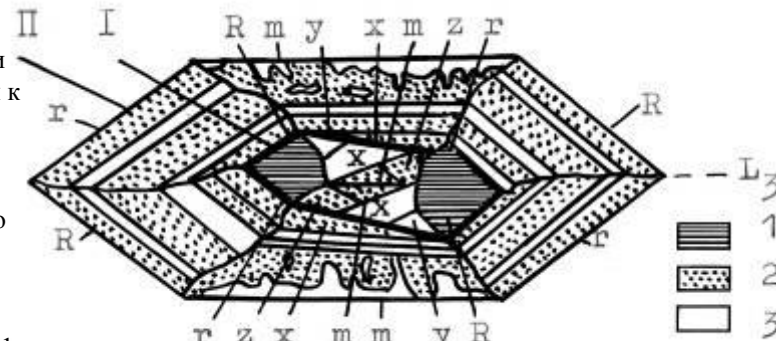


Рис.1

Реконструированная огранка одного из скрученных кварцев на первой стадии роста. Обозначения граней простых форм те же, что и выше. Грань  $w - \{19.3.16.2\}$ .

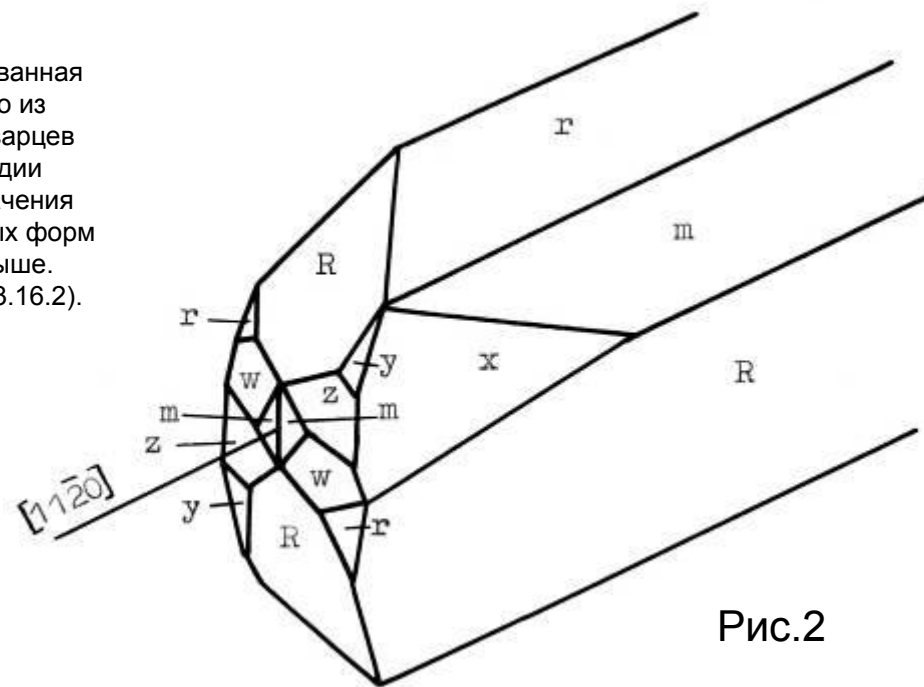


Рис.2



**Напряжения, существующие между субиндивидом и матричным кристаллом, порождают новые акты рекристаллизации и зарождения новых блоков, что может приводить к формированию сферолитов. Итак, расщепление кристаллов и сферолитообразование идет при росте из сред, содержащих примеси, входящие в кристалл и порождающие напряжения и далее рекристаллизацию. При разных для различных граней лимитирующих процессах формируются открытые сферолиты и дендриты.**

**Процесс расщепления кристаллов происходит в режиме, близком кинетическому. При переходе к диффузионному режиму кристаллизации в условиях больших пересыщений наблюдается смена форм растущих индивидов от плоскогранных и расщепленных к дендритам и скелетным кристаллам [Пунин, Ульянова, 1976].**

**Кузьмина М.А., Пунин Ю.О., Каменцев И.Е.** Особенности внешней и внутренней морфологии скрученных кристаллов кварца. - Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1987, ч. 116, в. 4, с. 445-453.

**Кузьмина М.А., Мошкин С.В., Пунин Ю.О.** Скручивание кристаллов в процессе их роста. - В кн.: Физика кристаллизации. Тверь, Изд. ТГУ, 1991, в. 14, с. 24-35.

**Леммлейн Г.Г.** Морфология и генезис кристаллов. М., Наука, 1973, 328 с.

**Пунин Ю.О., Ульянова Т.П.** Расщепление кристаллов и условия кристаллообразования. - В кн.: Проблемы генетической информации в минералогии. Сыктывкар, 1976, с. 65-66.

**Руссо Г.В.** Формирование закономерных сростаний гипса. Автореф. канд. дис. Л., ЛГУ, 1986. 16 с.

**Ульянова Т.П., Пунин Ю.О., Петров Т.Г.** Закономерности образования вторичных субиндивидов при расщеплении кристаллов. - Учен. зап. ЛГУ. Серия геол. наук, 1974, N378, в. 15. Кристаллография и кристаллохимия N 3, с. 193-201.

**Searl A.** Saddle dolomite: a new view of its nature and original. - Mineral. Mag., 1989, 53, N 5, p. 547-555.

# Вопросы на проверку

1. Дайте определение расщепления.
2. Какие главные факторы появления расщепления?
3. К каким участкам кристалла оно наиболее приурочено?
4. Каковы углы отклонения дочернего отщепления от материнского кристалла?
5. При каком режиме кристаллизации происходит процесс расщепления?