



Хребет Обручева, Тува. Фото ЭМС

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогенез. Индивиды

Рост кристаллов

**012. Патология минеральных
индивидов - кристаллов**

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Кристалл - система неживая, но самоорганизующаяся и в ходе своего образования имитирующая многие черты развития живого организма. Плодотворным оказалось перенесение многих понятий биологии на минеральные объекты. Одно из следствий онтогенического подхода к изучению минералогенеза - трансформация представлений о дефектах кристаллов, которые теперь рассматриваются как естественные элементы реального "живого" кристалла, органически ему присущие. Появилось понятие сложный индивид. Это расщеплённые, блочные, скелетные кристаллы, сферокристаллы и т.п. Наряду с нарушениями, так сказать, монокристалличности возможны и нарушения, так сказать, монофазности минеральных индивидов, например, в аномально - смешанных кристаллах или OD-кристаллах (Order - Disorder) (монокристаллы K-Na полевого шпата, состоящие из участков ортоклаза и микроклина...).

Такого рода явления, нарушающие известные законы геометрической и физической кристаллографии, известный минералог В.И. Карножицкий в 1896 г. назвал явлениями уродливости - тератологии в минеральном мире. Замечательный кристаллограф и минералог наших дней профессор Питерского (СПб) университета Юрий Олегович Пунин ввел для таких образований понятие "патология кристаллов". Следующая часть раздела дана в основном по материалам Ю.О.Пунина.

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Взгляд кристаллографический. По словам великого кристаллографа Евграфа Степановича Фёдорова «кристаллы блещут симметрией». Так ли уж это верно? Расщеплённые, скрученные кристаллы, сферолиты и дендриты, скелетные, антискелетные, нитевидные кристаллы, двойники... - образования, которые не укладываются в привычные представления о кристаллах. Под стать необычному виду и названия иных из таких уникалов – «железная роза» (расщеплённый гематит), «барботов глаз» (шаровидно-изогнутые мусковит или лепидолит), «железный крест» (двойники пирита), «манчжурский орех» (полициклические двойники плагиоклаза)... Описать эти объекты с помощью обычной кристаллографической симметрии невозможно. Для этого пришлось развивать сложный аппарат обобщённой симметрии – антисимметрии, цветной симметрии, симметрии подобия и т.п. Таким образом, грубые нарушения законов геометрической кристаллографии не редкость в минеральном мире. Рене-Жюст Гаюи, наблюдая причудливые формы кристаллов минералов, писал о «патологии неорганического мира». Шарль Бокль, цитируя Гаюи, добавлял, что «симметрия для кристаллов – то же, что здоровье для животных».

Взгляд онтогенический. Растущий кристалл – система самоорганизующаяся и поэтому имитирующая многие черты живого организма. На аналогиях с биологическими объектами выросло учение

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Д.П. Григорьева об онтогении минералов, т.е. об их индивидуальном развитии. С онтогенических позиций каждый природный кристалл рассматривается как «особь» минерального мира – минеральный индивид, имеющий собственную историю «жизни», - от зарождения до разрушения. Оказалось, что далеко не всегда можно однозначно определить – является ли данное кристаллическое выделение индивидом или агрегатом. С какого момента расщеплённый кристалл перестаёт быть индивидом и становится агрегатом? Куда относить сферолиты, дендриты, сложные двойники...? Появился такой неопределённый термин как «сложный индивид». Всё станет на свои места, если сделать ещё один шаг и признать, что наряду с нормальным развитием индивида возможно и его патологическое развитие, приводящее (как и в случае живых организмов) к разрушению части присущих индивиду признаков. То есть, если последовательно применять онтогенический подход к образованию минералов, то в его рамках понятие патологии минеральных индивидов оказывается вполне естественным.

Взгляд термодинамический. Термодинамические условия минералообразования – T , P , состав питающей среды - достаточно жёстко определяют состав кристаллизующихся минералов. В свою очередь, внешняя форма кристаллов должна задаваться их кристаллической структурой. Но! Кристаллы минералов никогда не имеют

Патология минеральных индивидов - кристаллов

и в принципе не могут иметь ни идеальной формы, ни идеального внутреннего строения. Минералообразование – всегда процесс неравновесный. Законы неравновесной термодинамики гласят, что никакая структура не может строиться без ошибок. Эти ошибки – дефекты кристаллов, искажения его внешней формы, – нормальное свойство реальных кристаллов.

Пока эти искажения не усиливаются в процессе роста, кристалл способен редуцировать (повторимо воспроизводить) собственную структуру и форму. В этих случаях мы говорим, что рост устойчив и протекает в норме. Когда локальные искажения структуры, ориентации, формы, взаимодействуя друг с другом и/или с питающей средой, порождают новые искажения (положительная обратная связь), то и возникает патология. В результате происходит лавинообразная потеря устойчивости роста с разрушением ряда присущих кристаллам признаков - дальнего порядка, полиэдрической формы, способности к самокопированию своей структуры. Неустойчивый рост часто приводит к формированию сложных надмолекулярных структур – скелетных и сферолитовых образований, двойников, скрученных кристаллов. Отсюда и промежуточное положение многих патологических форм роста между индивидами и агрегатами.

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Итак, с какой стороны ни посмотреть, ясно, что существуют две качественно различные линии развития минерального индивида. Переход с одной линии на другую проявляется с симметричной точки зрения в нарушении кристаллографической симметрии кристалла, с термодинамических позиций – в нарушении устойчивости его роста, с позиций онтогении – в потере определяющих признаков минерального индивида. В этом последнем аспекте вторая линия развития имитирует болезнь организма. Отсюда уместность термина «патология кристаллов».

Ещё раз. Патологическое состояние - это качественное изменение состояния реального кристалла, связанное с нарушением пространственной симметрии на мезо- или макроуровне. Говоря о пространственной симметрии, мы имеем в виду классическую симметрию, так как в рамках обобщенной симметрии могут быть описаны любые объекты. Патологические процессы роста кристаллов - аналог болезни организма - развиваются как результат приспособления кристалла к неблагоприятной среде кристаллизации и вызываются действием какого-либо патогенного фактора или группы таких факторов: неоднородного массо- и/или теплопереноса, наличия сильно адсорбирующихся примесей, гетерогенность среды, внешние деформации... Суть явления - потеря возможности самовоспроизводства кристаллов. Существует определённый порог, когда нормальный рост сменяется патогенным.

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Диффузионные явления: 1) секториальный захват включений; 2) ритмически-зональный захват включений; 3) диффузионные включения по рёбрам; 4) диффузионное торможение слоёв роста – начальная стадия скелетного роста; 5) потеря устойчивости плоскогранного роста, развитие рёберных скелетов – антискелетов; 6) трещины гетерометрии, вызванные неравномерным захватом примесей; 7) искажение внешней симметрии, вызванное неоднородностью массопереноса.

Абсорбционные явления и автодеформации: 1) конституционная зональность (полихромные кристаллы...); 2) начальная стадия расщепления; 3) расщепление на локальных примесных центрах; 4) асимметричное расщепление параллельных граней; 5) асимметричный разворот субиндивидов расщепления; 6) развитие расщепления пластинчатого кристалла с образованием многорёберности (кристаллы – розы...); 7) развитие расщепления столбчатого кристалла – образование сноповидного агрегата (снопы стильбита, турмалина...); 8) развитие расщепления изометричного кристалла – макромозаичность (флюорит...); 9) седловидный изгиб (доломит, сидерит...); 10) скручивание (кварц...);

Патология минеральных индивидов - кристаллов

11) скручивание с расщеплением (стильбит...); 12) изгиб – кручение с расщеплением (гейландит...); 13) двойники срастания (контактные двойники); 14) двойниковые сателлиты на монокристалле.

Адсорбционные явления. Потеря морфологической устойчивости является следствием высокого пересыщения, которое, с одной стороны, активизирует источники ступеней роста (дислокации), располагающиеся в центре граней, с другой – сопровождается адсорбцией примесей на растущих поверхностях (например, изломах ступеней), что препятствует их росту.

1) адсорбционные включения раствора – перламутровость (апофиллит...); 2) массовый захват точечных адсорбционных включений и изменение огранки под действием примеси; 3) многоглавый рост, вызванный примесным отравлением быстро растущих граней; 4) кривогранный рост с выклиниванием; 5) выклинивание и обелисковидный рост; 6) явления морфологической перестройки – регенерационная штриховка, комбинационная штриховка, многорёберный рост, вызванный сменой условий роста. В целом, стоит отметить адсорбционное стимулирование автодеформаций. Изменение огранки кристаллов резко меняет степень искажений – мезоблочность, микроблочность...

Чем более плоскую форму имеют кристаллы, тем легче они расщепляются и тем легче образуют ростовые двойники.

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Зависимость кристаллографических форм от симметрии питающей среды

Характеристика питающей среды	Симметрия среды	Внешняя симметрия кристалла	Истинные формы в идеальном развитии	Ложные формы
Равномерный и всесторонний приток питающего вещества ко всем граням кристалла.	$C \infty L_{\infty} \infty P$ (симметрия шара).	Все элементы идеальной симметрии кристалла.	Все истинные формы.	Нет.
Поступание питающих потоков по радиусам круговых сечений цилиндра или эллипсоида вращения, описанного вокруг неподвижного кристалла.	$CL_{\infty} \infty L_2 \infty P\Pi$ (симметрия цилиндра).	$CL_n n L_2 n P\Pi$ и случаи более низкой симметрии.	Все формы за исключением кубических.	Формы всех сингоний, за исключением кубической, а также ди- <i>n</i> -гональных дипирамид, призм, пирамид, скаленоэдров и трапецоэдров, ромбических дипирамид и тетраэдров.
Рост неподвижного кристалла во вращающейся среде или вращающегося кристалла в неподвижной среде.	$CL_{\infty}\Pi$ (симметрия вращающегося цилиндра).	$CL_n\Pi$ и более низкая симметрия.	<i>n</i> -гональные дипирамиды, пирамиды и призмы, ромбоэдры, тетрагональные тетраэдры, ромбические призмы, пинакоиды, моноэдры.	Формы всех сингоний, за исключением кубической, а также ди- <i>n</i> -гональных дипирамид, пирамид, призм, скаленоэдров, трапецоэдров, ромбических дипирамид и пирамид.
Рост неподвижного кристалла в гравитационном поле с нисходящими или восходящими потоками.	$L_{\infty} \infty P$ (симметрия конуса).	$L_n n P$ и более низкая симметрия.	Ди- <i>n</i> -гональные и <i>n</i> -гональные пирамиды и призмы, ромбические пирамиды и призмы, диэдры, пинакоиды и моноэдры.	<i>n</i> -гональные пирамиды и призмы, ромбические пирамиды и призмы, пинакоиды, диэдры, моноэдры.
Неравномерное поступание потока по трем взаимно перпендикулярным направлениям.	$C3L_23P$ (симметрия «кирпичика»).	$C3L_23P$ и более низкая симметрия.	Ромбические дипирамиды, тетраэдры, пирамиды, призмы, пинакоиды, диэдры, моноэдры.	Ромбические дипирамиды, тетраэдры, пирамиды, призмы, пинакоиды, диэдры, моноэдры.
Одностороннее поступание потоков для кристалла, лежащего на дне или прикрепленного к стенке породы.	P (симметрия «стрелы»).	P или —.	Диэдры, пинакоиды, моноэдры.	Диэдры, пинакоиды, моноэдры.
Отсутствие симметрии в питающей среде.	—	—	Моноэдры.	Моноэдры.

Патология минеральных индивидов - кристаллов

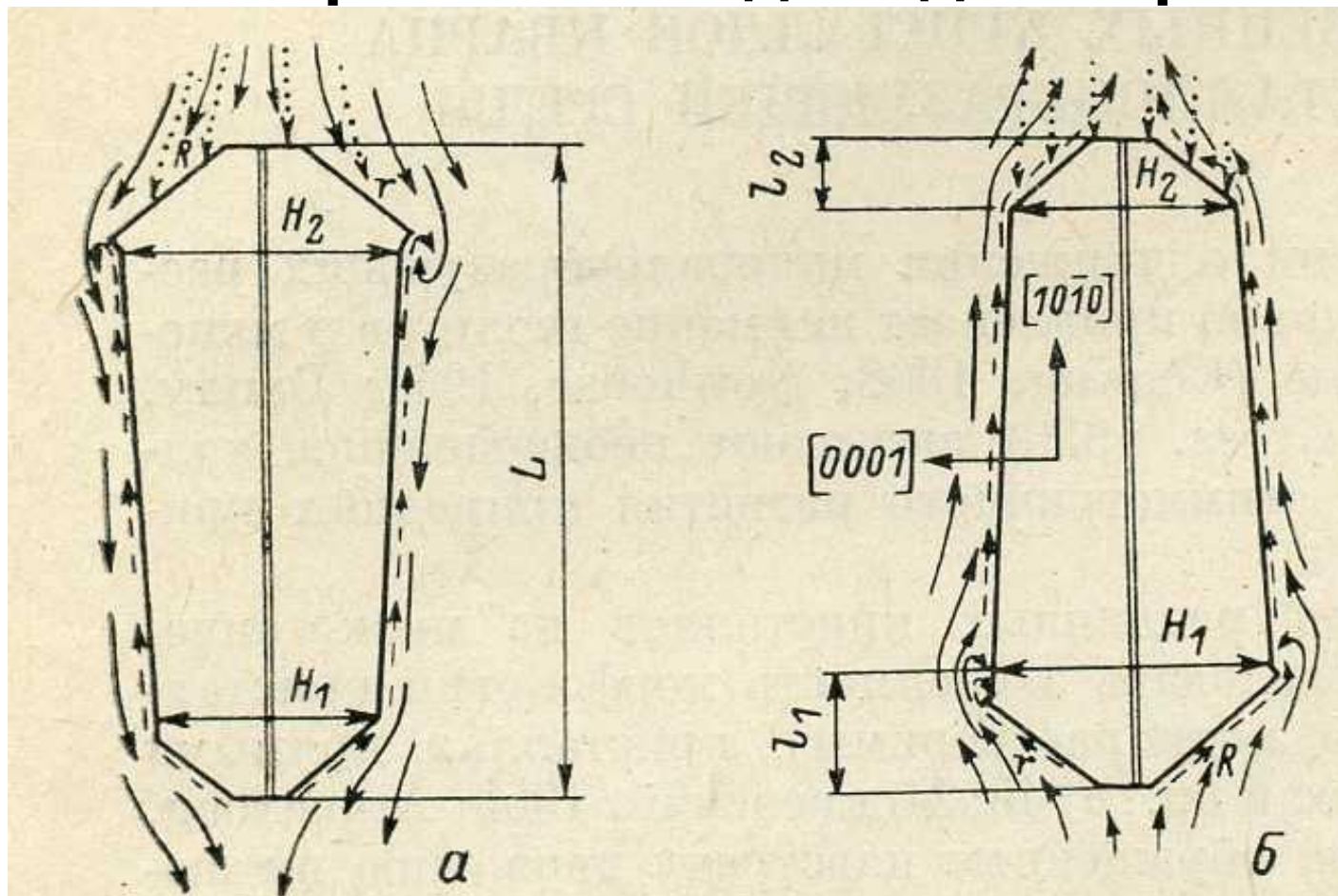


Рис. 1. Сечения кристаллов кварца, растущих в нисходящем (а) и восходящем (б) конвекционных потоках.

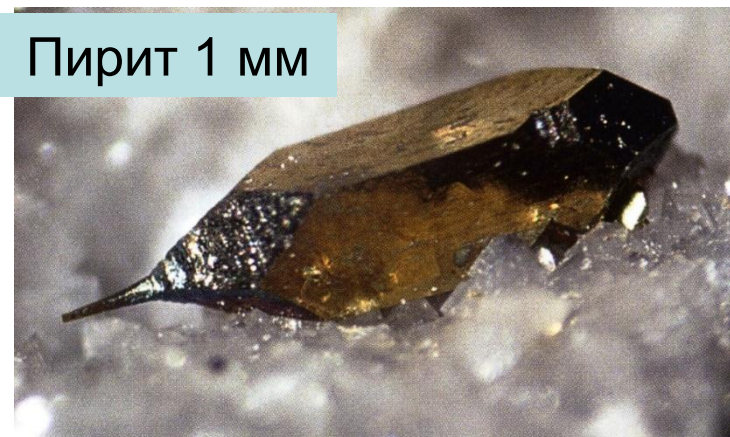
Сплошные стрелки — направление движения среды; штриховые — концентрационные струи; **точечные** — осадочные присыпки.

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Кристаллы с выклиниванием



Вюртцит



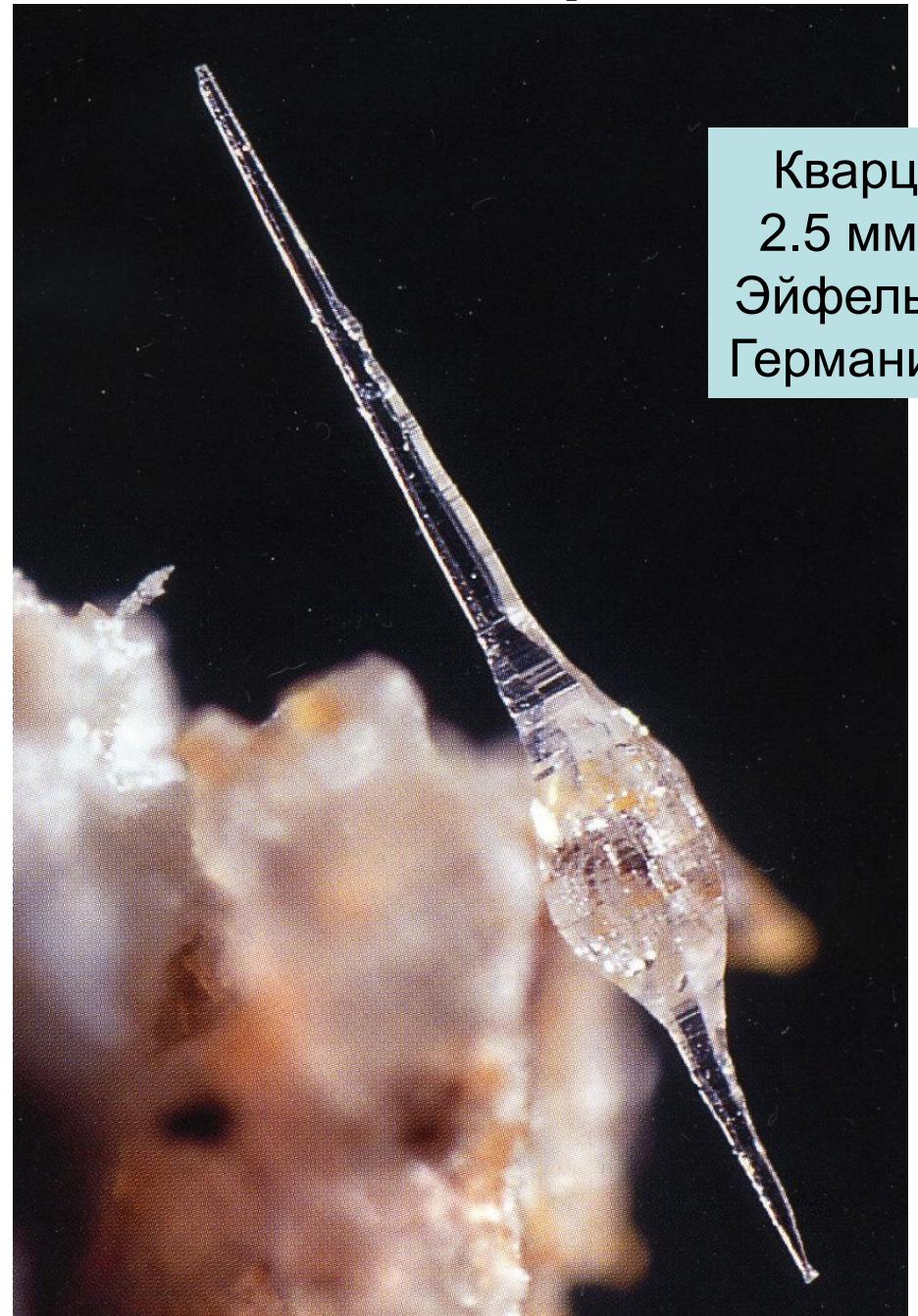
Пирит 1 мм



Миметизит 31 мм. Цумеб

Патология минеральных индивидов - кристаллов

**Кристаллы с
выклиниванием**



Кварц
2.5 мм.
Эйфель,
Германия

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Кристаллы с выклиниванием. Кварц



Corinto mine. Минас Жераис, Бразилия

Патология минеральных индивидов - кристаллов



**Кристаллы с
выклиниванием.
Лёд**

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Кристаллы - обелиски



Кальцит



Кварц. Непал

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Кристаллы - фантастической формы



Корнуэллит 0.4 мм.
Шахта Klara, Германия



Карелия