

Э.М. Спиридонов

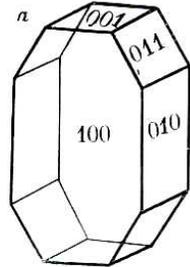
Генетическая минералогия.

Онтогения. Индивиды

Рост кристаллов

005. Механизмы и варианты
роста кристаллов

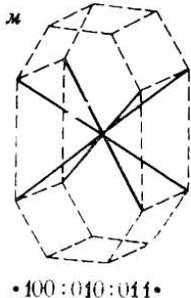
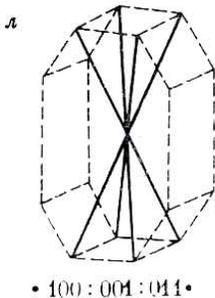
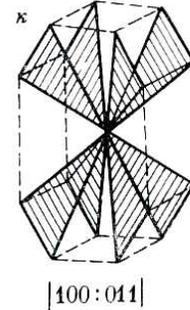
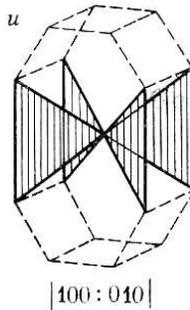
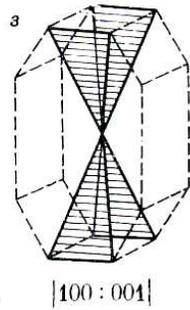
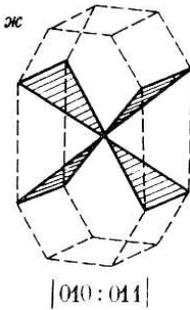
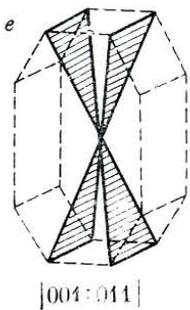
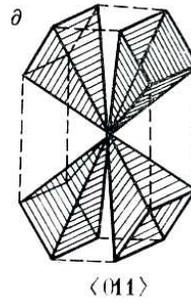
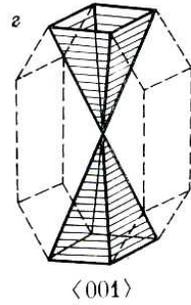
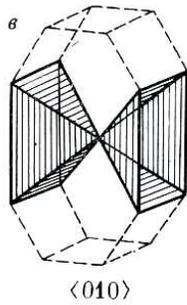
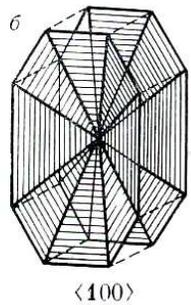
Индивиды. Рост кристаллов. Зарождение



Элементы строения кристаллов

Кристаллы образуют пирамиды роста граней, плоскости роста рёбер, линии роста вершин. Часто кристаллы растут из микроскопического размера зародышей, так называемых критических зародышей, обладающих той же кристаллической структурой, что и макрокристаллы.

Макрокристаллы возникают путём разрастания этих зародышей, при воспроизводстве, редупликации кристаллической структуры данного минерала.



Механизмы роста кристаллов

Их четыре.

1. Нормальный механизм роста, когда поверхность любой ориентации, включая иррациональные, перемещается параллельно самой себе. Результаты нормального роста: округлые поверхности кристаллов, выросшие из расплава; кривые поверхности скелетных и иных кристаллов. При росте кристаллов из расплава в условиях высоких градиентов температуры и при движении расплава нормальный рост обычен. Таковы округлые вкрапленники кварца в кремнекислых вулканитах и в гранитоид – порфирах, овоиды К-На полевого шпата гранитов рапакиви, овоиды оливина и нодули хромшпинелидов в гипербазитах, вкрапленники шаровидные срастания авгита и бронзит - гиперстена в кварцевых габброидах (степнякитах). Любопытная аналогия с округлой формой льдин, образующихся при замерзании вод Байкала в очень ветреную погоду, при интенсивном движении. **Итак, нормальный механизм роста «работает» в подвижной среде.** При этом кривизна поверхности кристалла в целом отвечает кривизне изотермической поверхности. Нормальный механизм роста «работает», когда существуют не сингулярные поверхности с большим числом мест прикрепления частиц. На таких поверхностях частицы могут прикрепляться практически в любом месте, чем обусловлено почти параллельное перемещение поверхности растущего кристалла.

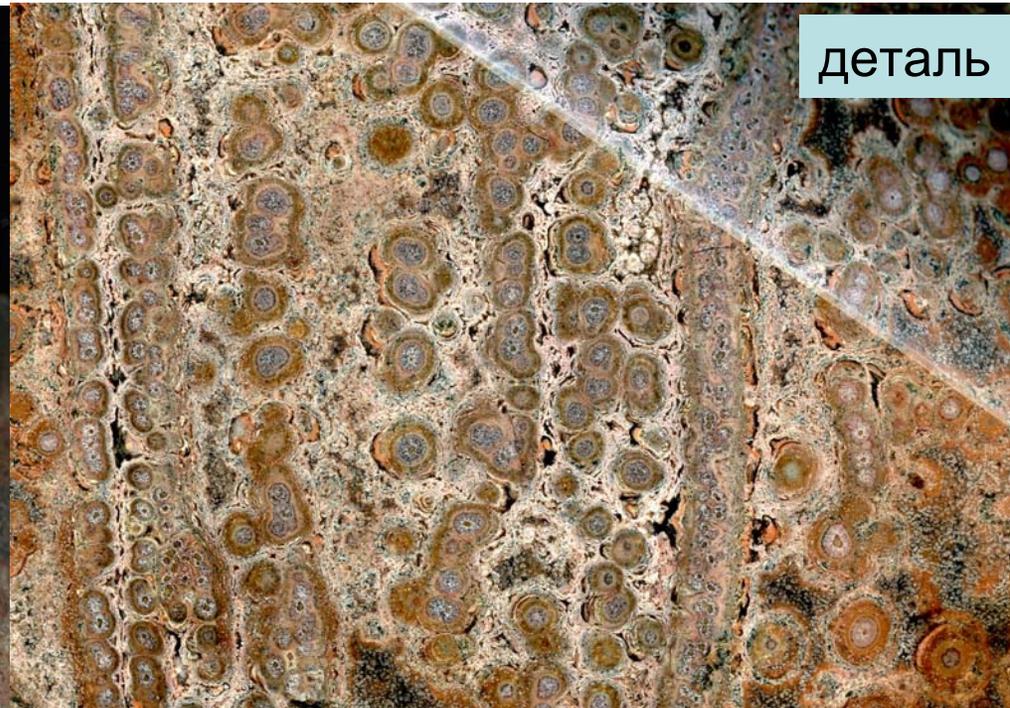
Механизмы роста кристаллов

Нормальный рост



Нормальный рост кристаллов льда на Байкале, обусловленный очень сильным ветром, который заставляет кристаллы льда быстро крутиться

Механизмы роста кристаллов. Нормальный рост

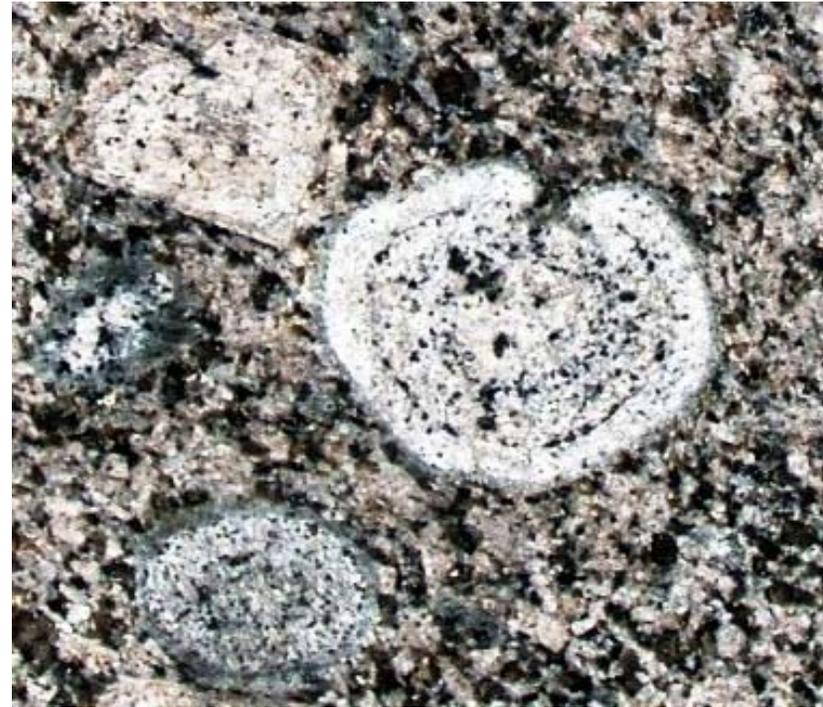


деталь

Рост
кварц-полевошпатовых
сферолитов в процессе
активного движения расплава.
Сферолитовые
гранит-порфиры
153x142 мм. Дайка.
Северный Казахстан

Механизмы роста кристаллов

Нормальный рост

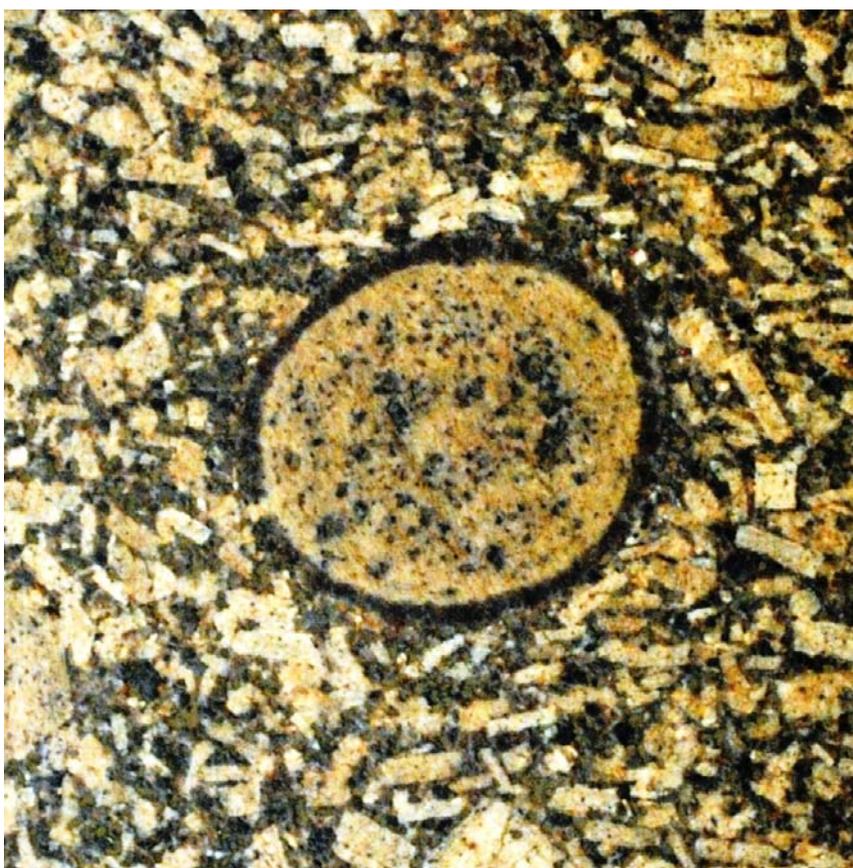


Форма фронта роста кристаллов округлая, что прямо говорит о нормальном механизме роста

Овоиды К-На полевого шпата в гранитах-рапакиви (выборгитах).
Выборгский плутон, юг Балтийского щита

Механизмы роста кристаллов

Нормальный рост



О кристаллизации при движении – вращении в расплаве свидетельствует текстура гранитов-рапакиви (выборгитов).
«Обтекание» овоидов К-На полевого шпата
пластинами К-На полевого шпата

Механизмы роста кристаллов

Нормальный рост



О кристаллизации при движении – вращении в расплаве свидетельствует текстура гранитов-рапакиви, «обтекание» овоидов К-Na полевого шпата пластинами К-Na полевого шпата

Механизмы роста кристаллов

Нормальный рост

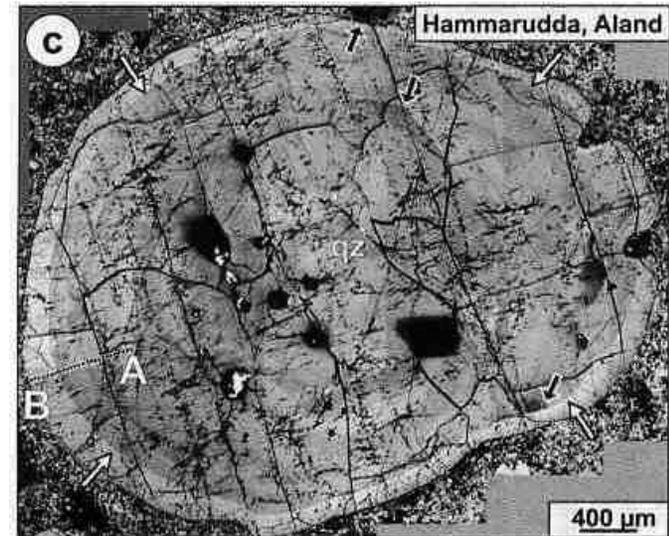


FIG. 8. Scanning-electron-microscope-derived cathodoluminescence images of quartz phenocrysts adjacent to rapakivi feldspars in (a) the Altenberg–Frauenstein microgranite, (b) the Land’s End granite, and (c) the Hammarudda porphyry. Trace-element traverses along the profiles A–B were determined with an electron microprobe. The white arrows mark marginal resorption-induced surfaces overgrown by bright luminescent quartz. Other resorption surfaces are indicated by black arrows. The bright overgrowth in the Altenberg–Frauenstein phenocryst is graphically intergrown with matrix K-feldspar. Key to abbreviations: kfs: potassium feldspar, pl: plagioclase, qz: quartz.

Вкрапленник кварца в гранитах-рапакиви (выборгитах)

Механизмы роста кристаллов.

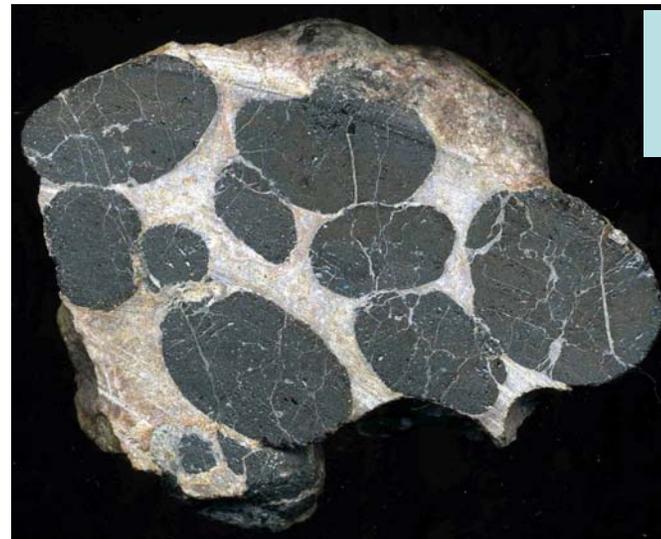
Нормальный рост.

Хромшпинелиды нодулярные в оливиновой матрице

46x42 мм



73x55
мм



Златоустовский
массив, Урал

52x46 мм



Механизмы роста кристаллов.

Нормальный рост.

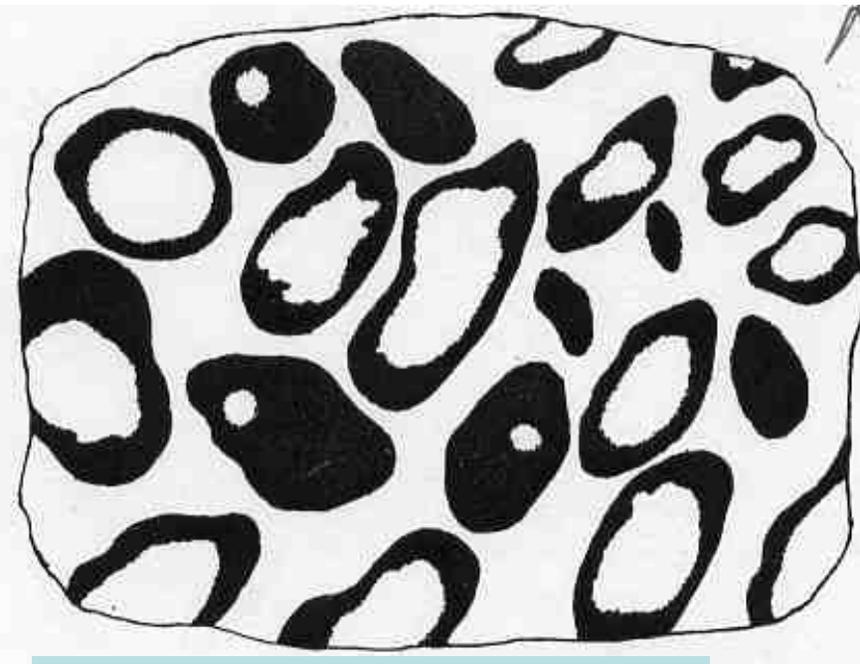
Хромшпинелиды нодулярные в оливиновой матрице



70x57 мм. Хабаровинский массив, Южный Урал

Механизмы роста кристаллов.

Нормальный рост. Хромшпинелиды нодулярные



140 мм. Шорджинское, Севанский пояс, Армения

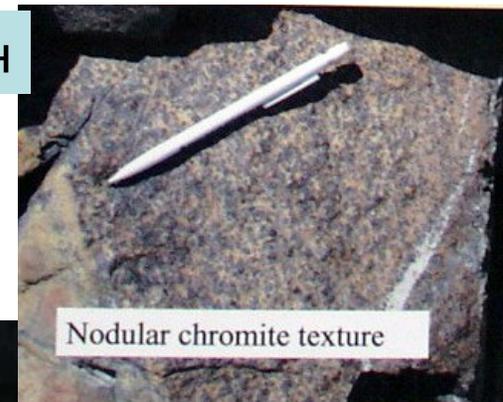


60 мм

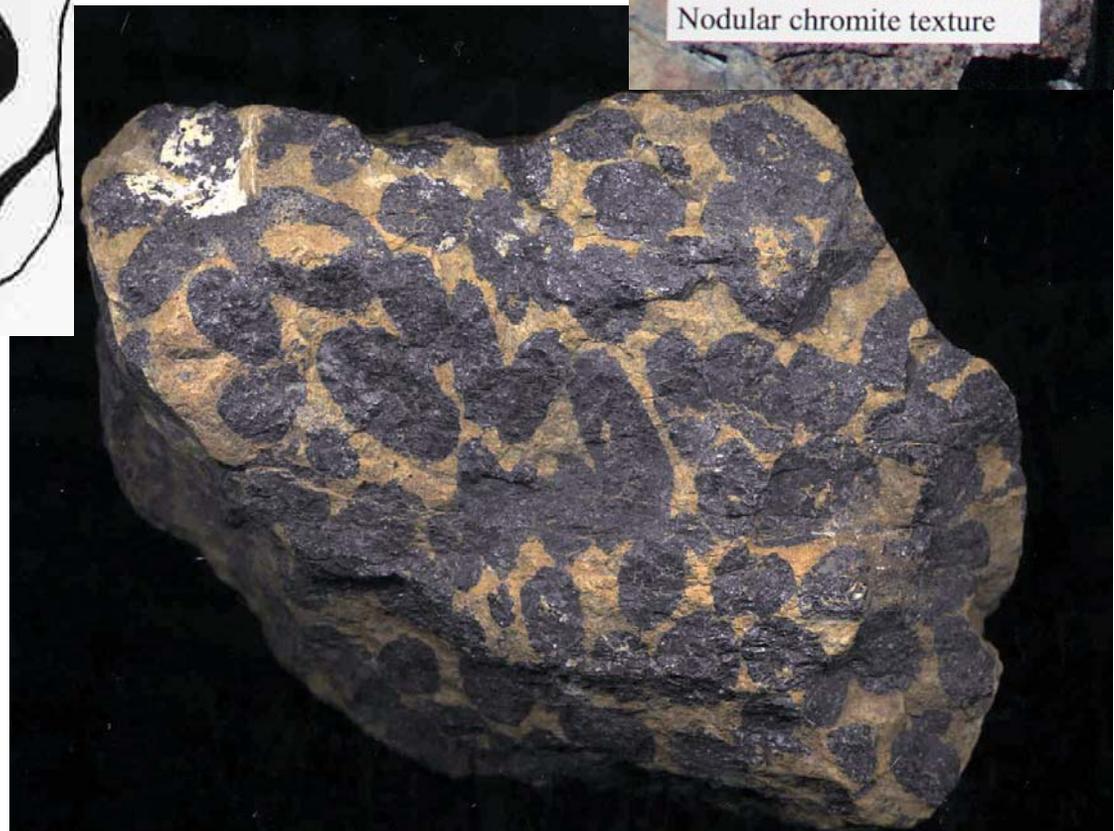
Кипр. Troodos

Оман

Внутри нодулей
- оливин



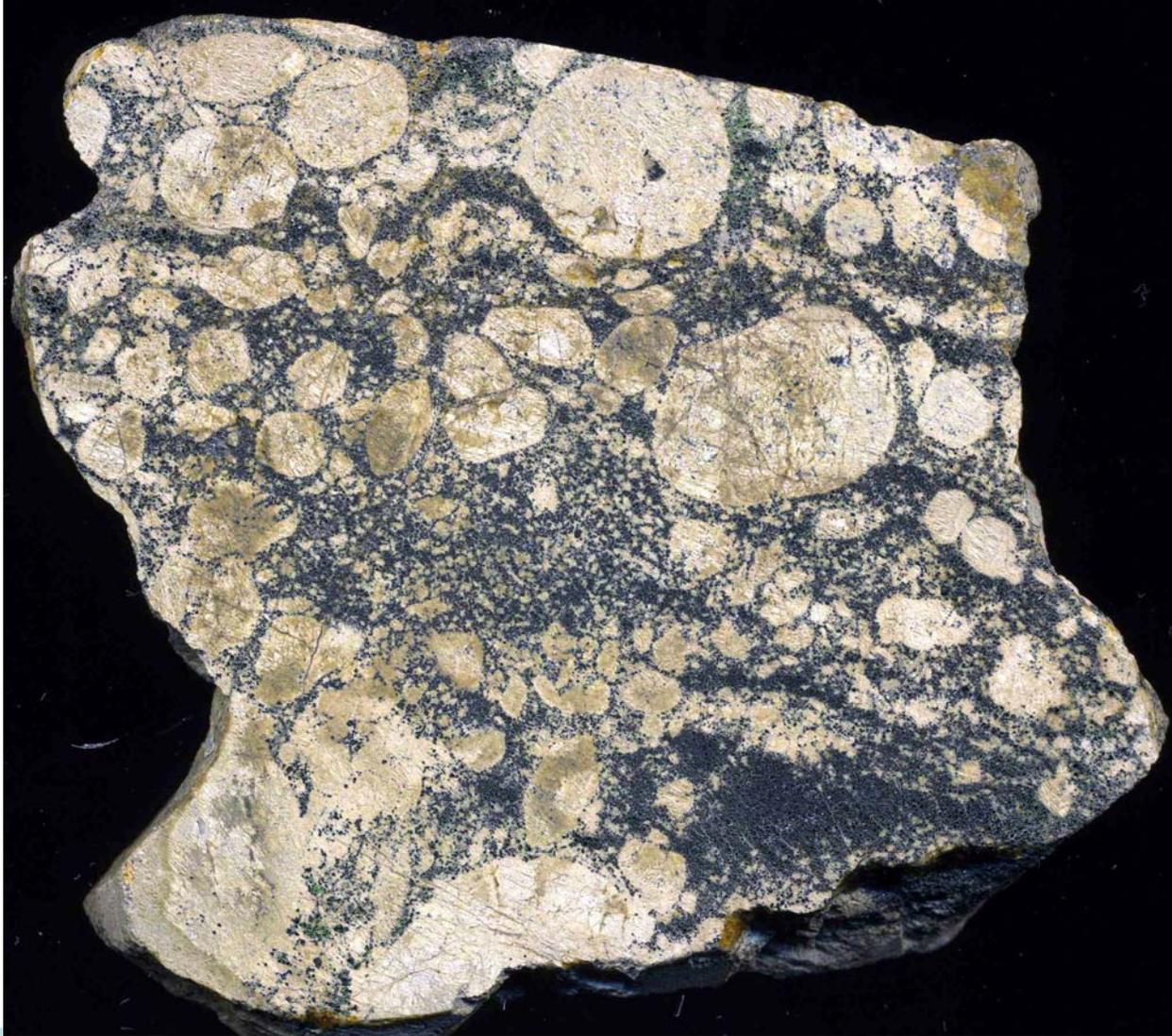
Nodular chromite texture



88x69 мм. Кемпирсайский массив, Ю. Урал

Механизмы роста кристаллов.

Нормальный рост. Оливин – овоиды -
вкрапленники в оливин-хромшпинелидной матрице



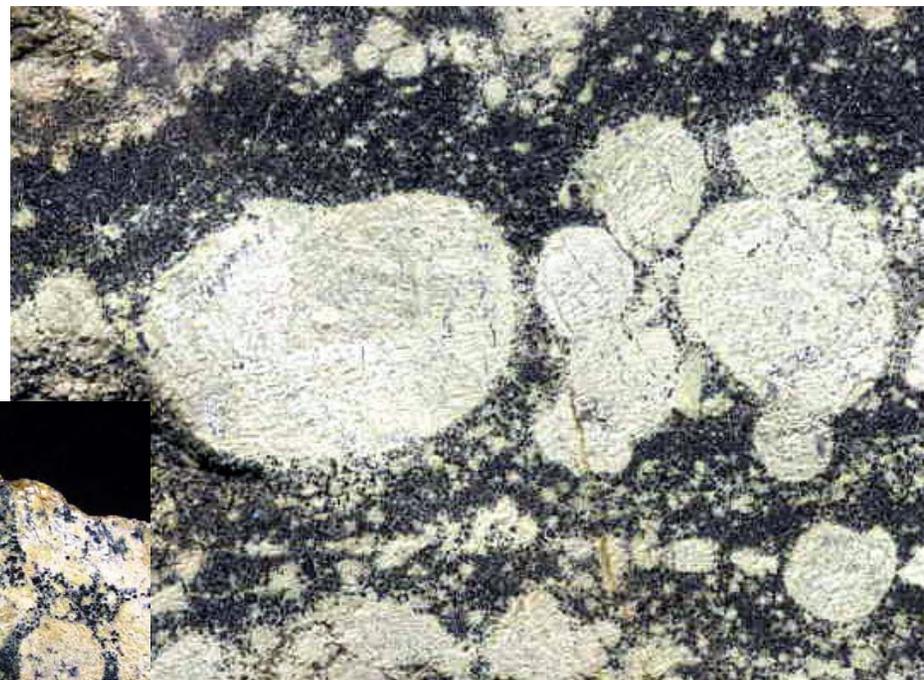
Южный
Урал

Овоиды – орбикулы оливина. 85x74 мм. Хабаровинский массив

Механизмы роста кристаллов.

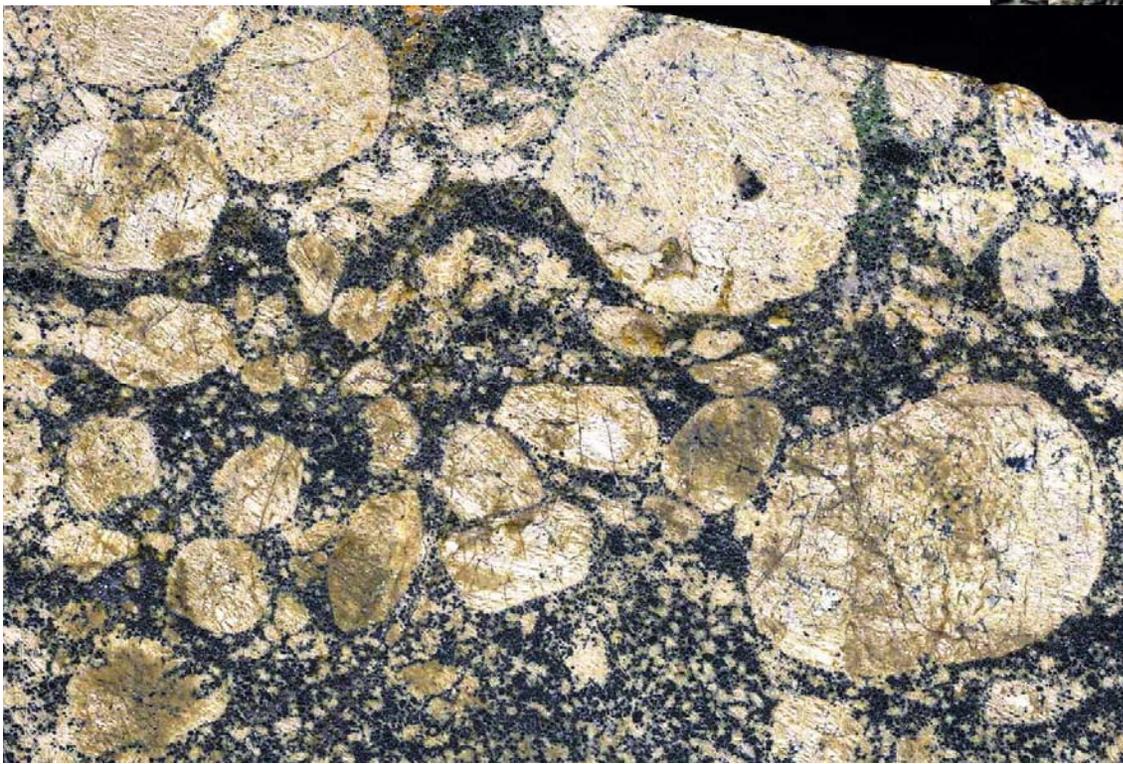
Нормальный рост. Оливин – овоиды -
вкрапленники в оливин-хромшпинелидной матрице

Хабарнинский массив,
Южный Урал



42x30 мм

Овоиды – орбикулы
оливина

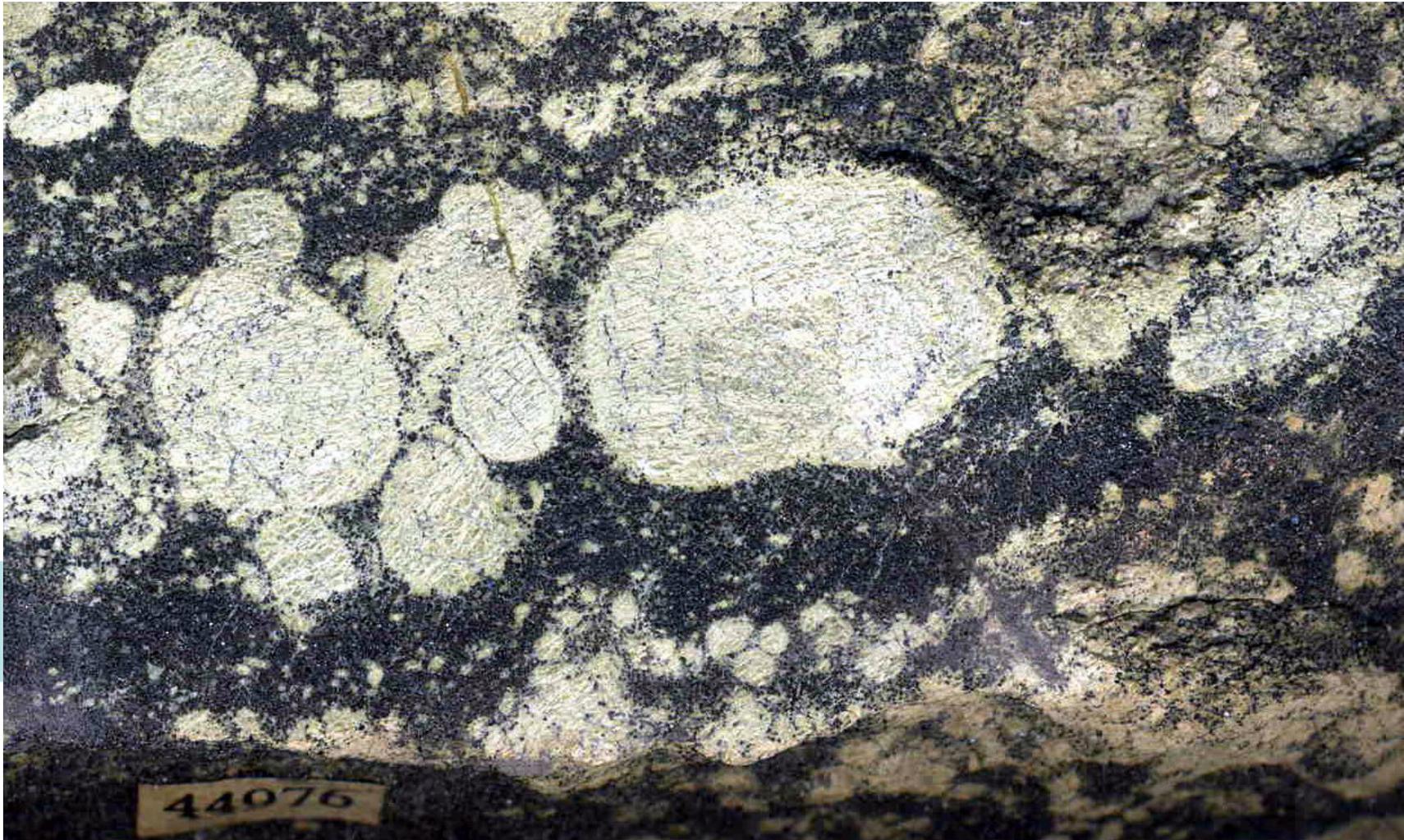


59x34 мм

Механизмы роста кристаллов.

Нормальный рост. Оливин – овоиды -
вкрапленники в оливин-хромшпинелидной матрице

Хабарнинский массив, Южный Урал



50x30
мм

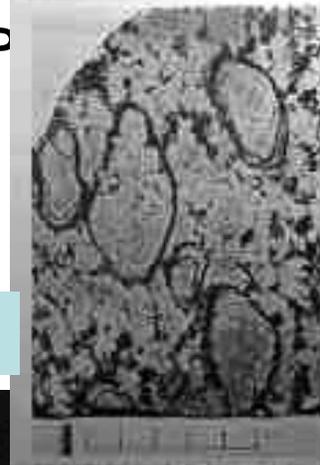
Механизмы роста кристаллов.

Нормальный рост.

Оливин-хромшпинелидные орбикулы



70 мм. Кипр



112x61 мм. Радушa, Скопье,
Македония



MM-55142. 96x78 мм.
Радушa, Скопье, Македония

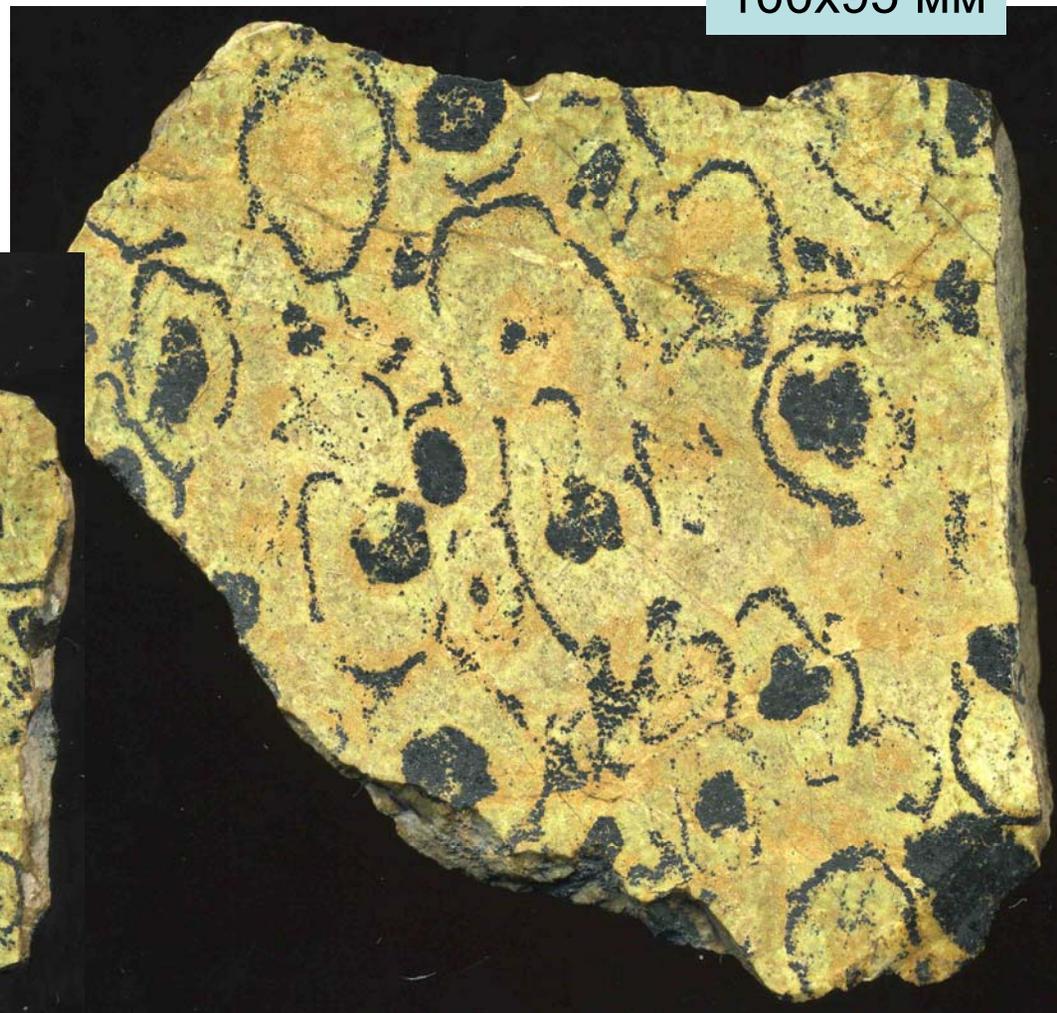
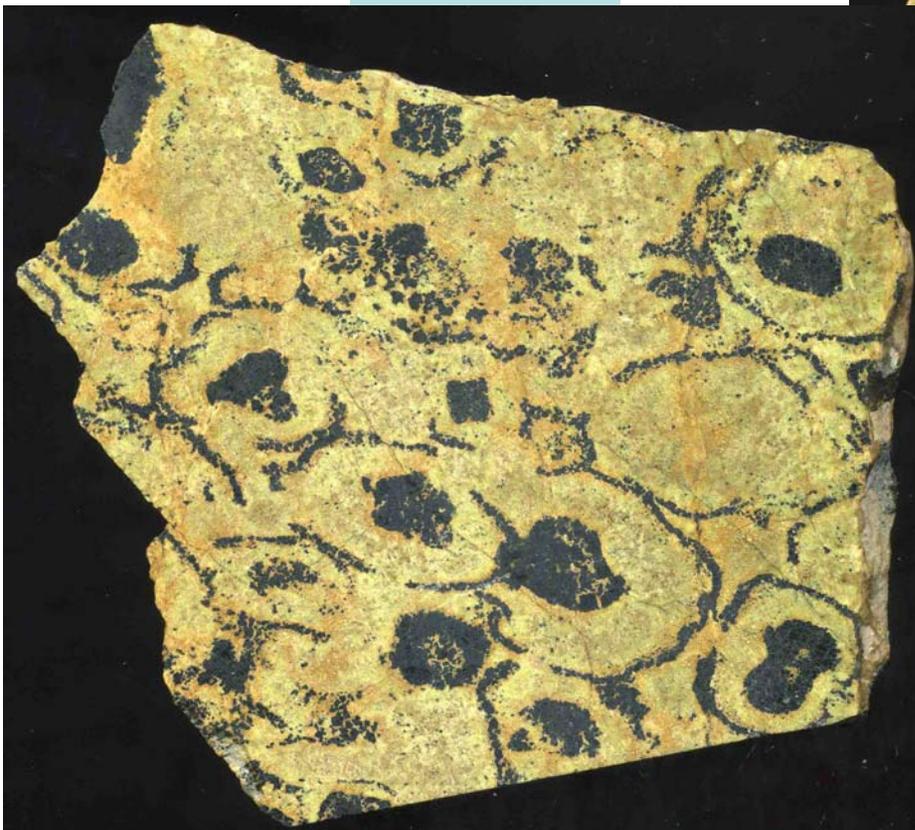
Механизмы роста кристаллов.

Нормальный рост.

Оливин-хромшпинелидные орбикулы:

100x95 мм

87x80 мм

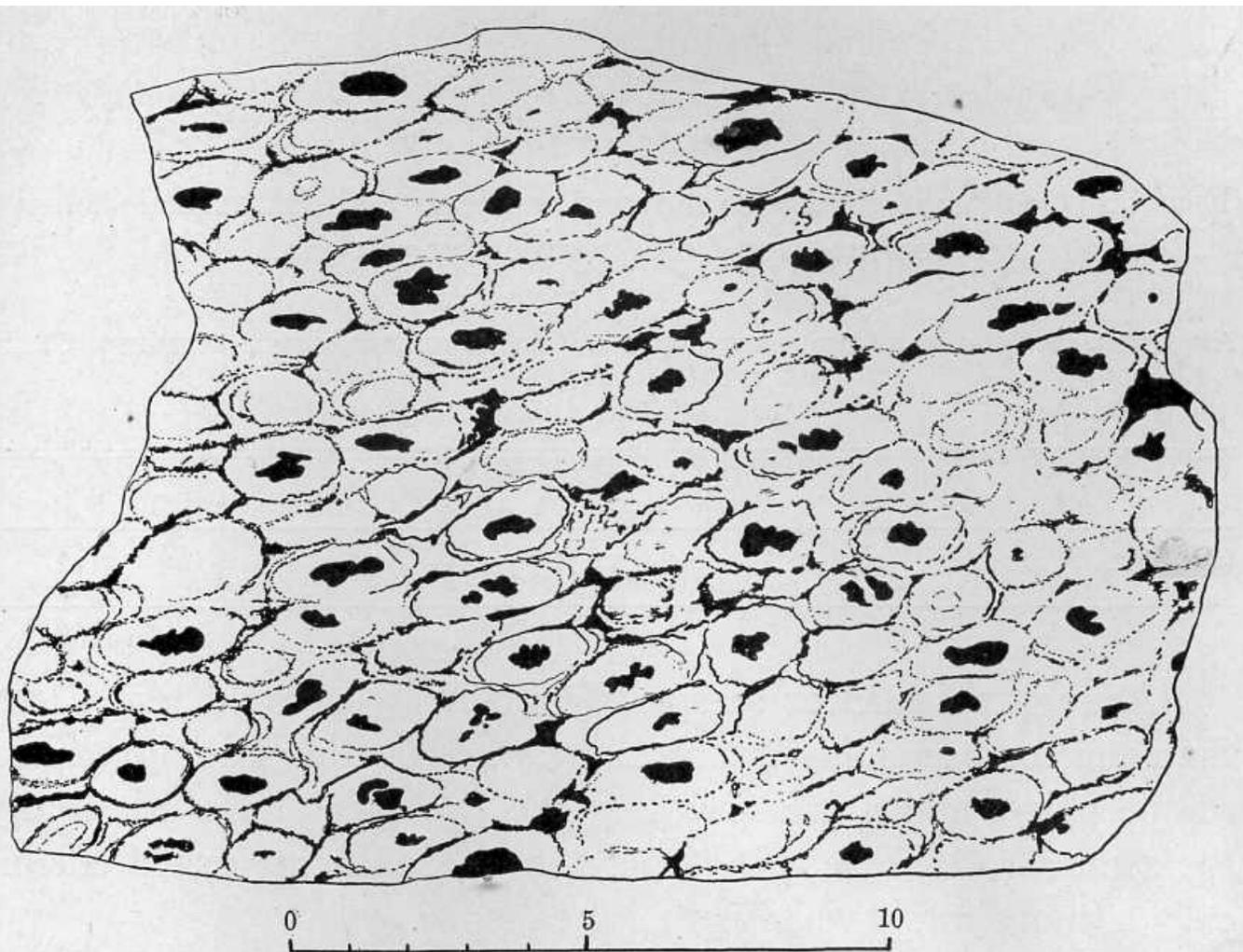


ММ-55142. Радуша, Скопье, Македония

Механизмы роста кристаллов.

Нормальный рост.

Оливин-хромшпинелидные орбикулы



Итак, наличие нодулярных и орбикулярных текстур в хромитовых рудах – свидетельство магматического происхождения таких руд

FIG. 1. Tracing from a polished slab of orbicular chromite, Octopus claim, Siskiyou County, Calif. The scale is in centimeters.

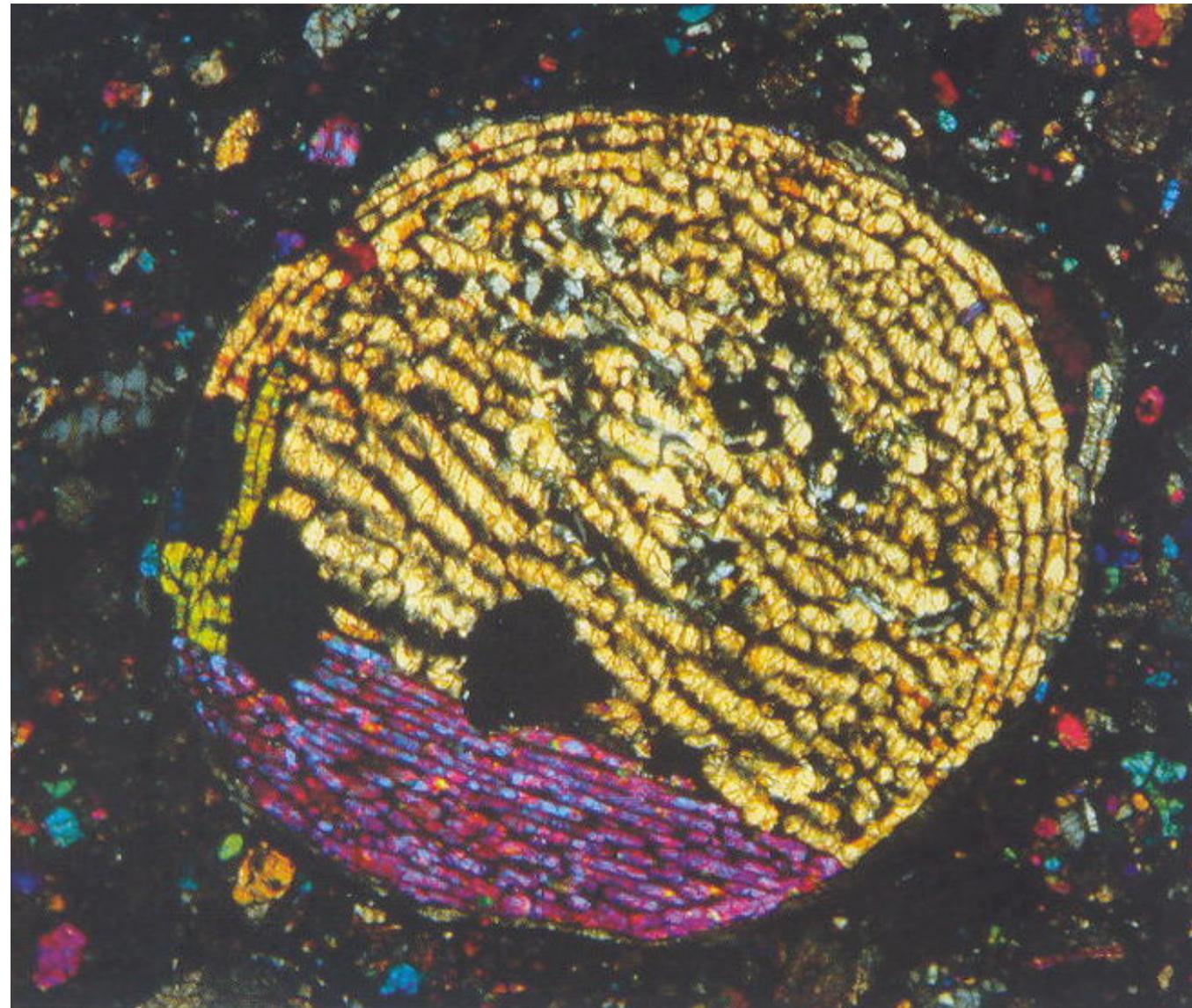
Механизмы роста кристаллов.

Нормальный рост

Хондра
оливиновая
4 мм.
NWA 778.
Алжир

Внешняя
часть
этой хондры
возникла
по
механизму
нормального
роста

Итак, ранняя
стадия
образования
хондритов –
магматическая



Механизмы роста кристаллов

При малой скорости роста, когда у частиц есть время на выбор мест с тах энергией связи, происходит постепенная ликвидация таких мест прикрепления и поверхность из гладко кривой превращается сначала в микро ступенчатую, затем - в макро ступенчатую и наконец замещается плоскими сингулярными гранями с высокой ретикулярной плотностью и рациональными индексами.

2. Послойный механизм роста при двумерном зародышеобразовании

Вы уже знаете, что энергии адсорбции собственных частиц на плоской кристаллической поверхности сильно различаются. В состоянии насыщения при определенных температуре и концентрации вещества в среде количество ионов (молекул), присоединяющихся к поверхности за единицу времени = поток на грань или скорость адсорбции и количество ионов (молекул), отрывающихся = поток от грани или скорость десорбции примерно равны. Поскольку вблизи от вершин и ребер энергия адсорбции выше, чем на гладкой поверхности грани, в этих местах частицы будут находиться дольше, плотность их там выше. Сохраняя температуру,

Механизмы роста кристаллов.

2. Послойный рост при двумерном зародышеобразовании

создадим и будем увеличивать пересыщение. При постоянной температуре сохраняется скорость десорбции. Рост концентрации усилит поток частиц на грань, будет возрастать количество адсорбированных частиц, но роста, т.е. "вечной" фиксации частиц на грани не будет. Для устойчивого увеличения размера островков - зародышей слоя необходимо, чтобы такой двумерный зародыш достиг критического размера (подобно трёхмерному зародышу кристалла), которому отвечает определенная кривизна торца слоя - ступени. Естественно, что зарождение слоя более вероятно в местах наибольшего скопления частиц, т.е. вблизи вершин и ребер кристалла.

Далее слой будет распространяться по грани, причем на изломах его торца - ступени частицы будут адсорбироваться наиболее прочно, следовательно, надолго. Когда слой перекроет всю грань, ступень исчезнет и потребуется некоторое время, пока сочетание тепловых и концентрационных флуктуаций не породит новый закритический двумерный зародыш, который обеспечит возможность перекрытия грани новым слоем. Существование двумерных зародышей и рост грани моноатомными слоями вещества было экспериментально доказано

Механизмы роста кристаллов.

2. Послойный рост при двумерном зародышеобразовании

советским исследователем Каишевым в 1966 г. при изучении без дислокационных граней кристаллов серебра. Данная теория удовлетворительно объясняет возникновение граней = плоских поверхностей с высокой плотностью частиц на них и прямолинейных рёбер.

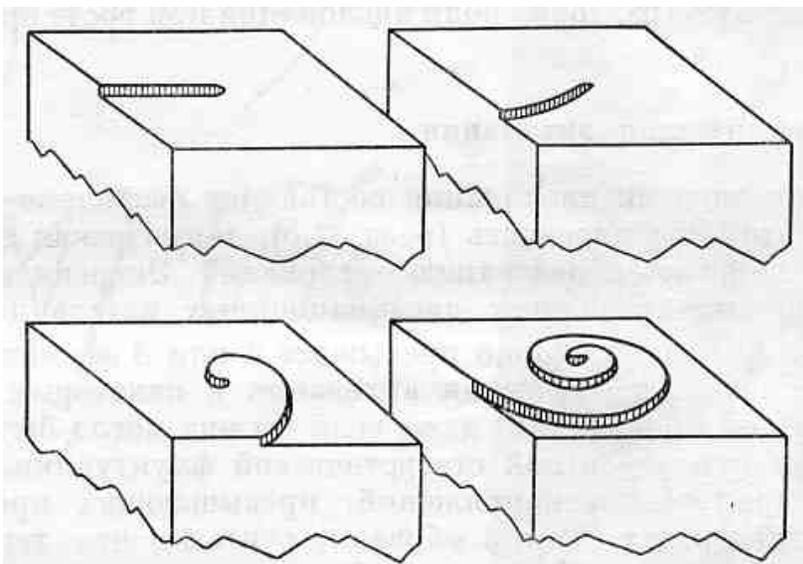
Однако, есть противоречия между теорией и реальностью. При толщине нарастающего слоя = размеру атомов или молекул грань должна выглядеть идеально гладкой, ступени на ней - субмикроскопические. На самом деле, на гранях часто развит грубый рельеф и весьма часто развиты бугорки роста – **вицинали**. Далее, заметные скорости роста по механизму послойного роста при двумерном зародышеобразовании возможны только при пересыщении >25-50%, тогда как реальные кристаллы растут и при пересыщении 0,1%. И еще - скорости роста реальных кристаллов гораздо выше теоретических скоростей роста идеальных кристаллов, согласно рассмотренной модели. Все эти противоречия были разрешены теорией дислокационного механизма роста кристаллов.

Механизмы роста кристаллов.

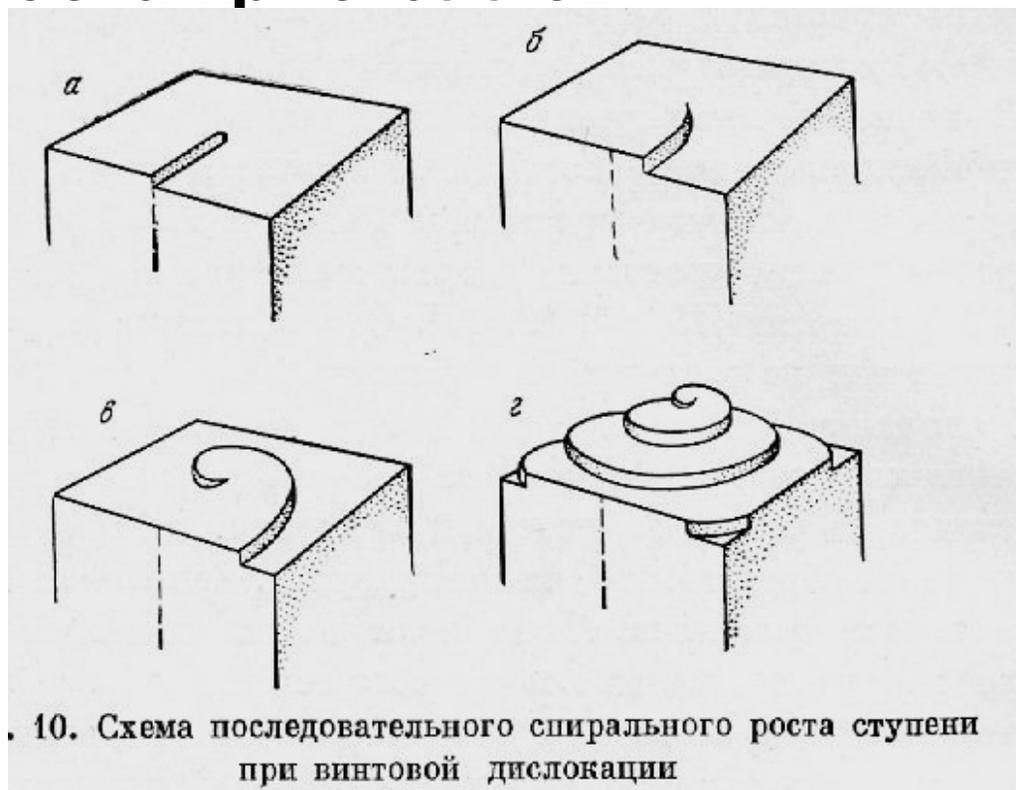
3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов

В начале 30-х годов XX века Тейлор, Орован и Полани объяснили тот факт, что прочность реальных кристаллов на несколько порядков ниже теоретической прочности тем, что в реальных кристаллах присутствуют дефекты линейного типа = дислокации. В 1939 г. Бюргерс ввел понятие о винтовых дислокациях. В 1949 г. Франк использовал представление о винтовых дислокациях для объяснения процессов роста кристаллов; наличие у выхода винтовой дислокации на грань незарастающей ступени обеспечивает возможность роста кристалла без двумерного зародышеобразования. Бартон, Кабрера и Франк в 1951 г. доказали дислокационный механизм роста, что создало совершенно новый облик кристаллогении (иначе кристаллологии) - науки о росте и растворении кристаллов. Удалось объяснить высокие скорости роста и растворения граней и их рельеф, многие морфологические особенности в объёме кристаллов, их дефектность, физические свойства и многое другое.

3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов



Ф и г. 34. Спиральное закручивание ступеньки на поверхности растущего кристалла, обусловленное присоединением атомов к краю ступеньки, возникающей в месте пересечения винтовой дислокации с поверхностью кристалла.



10. Схема последовательного спирального роста ступени при винтовой дислокации

На выходе винтовой дислокации на грань кристалла прямолинейная ступень превращается в спиральную, далее возникает конусообразное возвышение, образованное одной ступенью спиральной формы, затем - спиральные холмы. Такие спирали развиты на кристаллах самых различных минералов, выросших в любых обстановках. Форма площадок спиралей роста при больших пересыщениях (при быстрой скорости роста) близка к круговой, при малых пересыщениях (при меньшей

3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов

скорости роста) – полигональная. Морфология нарастаний определяется симметрией соответствующей грани кристалла. Расстояние между витками спиралей зависит и от угла выхода дислокации на грань кристалла. При увеличении пересыщения угол конуса роста становится более крутым; высота ступеней в таких спиралях большая. При расстояниях между торцами (витками) спирали $<$ длины света поверхности выглядят гладкими, а при постоянстве этих расстояний - плоскими.

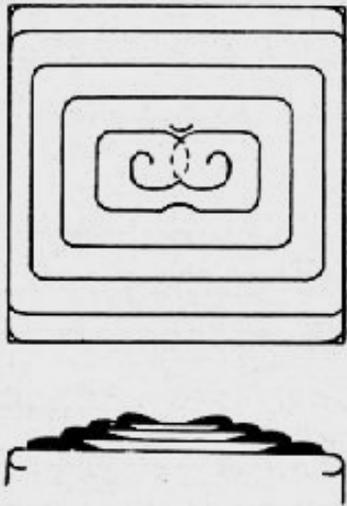
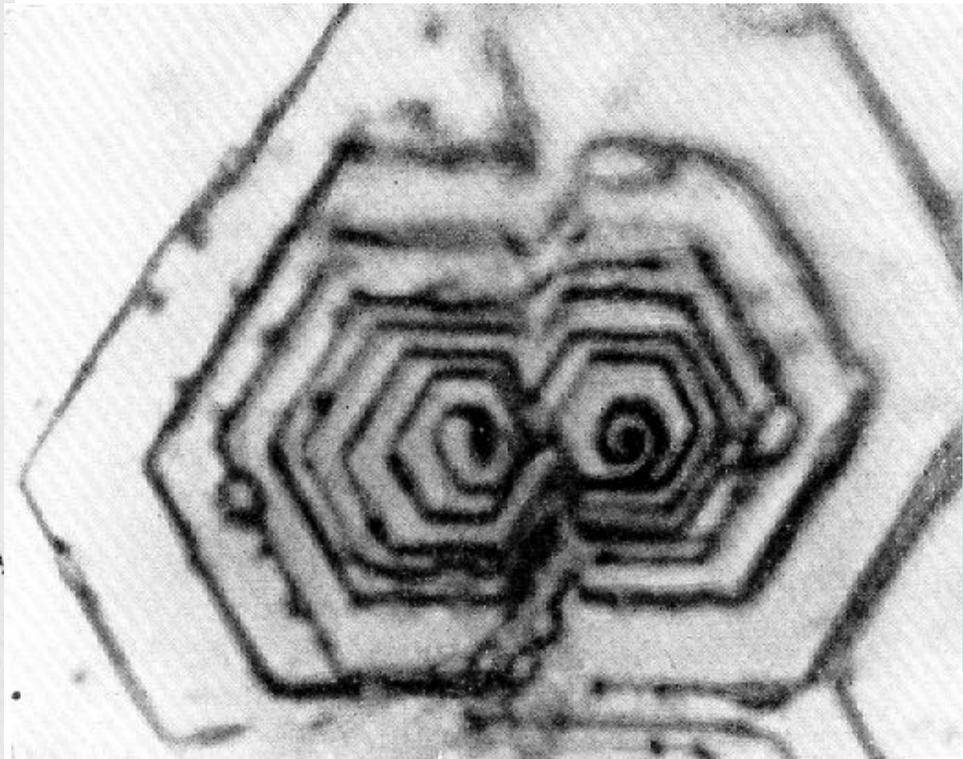


Рис. 11. Схема слияния двух разноименных винтовых дислокаций в замкнутую террасу



Слияние двух террас роста с разно направленными винтовыми дислокациями.

Металлический цинк

3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов

Такие нарастания - псевдограницы = вициналы в течении десятилетий были предметом острых дискуссий. На грани кристалла выходит множество дислокаций от 10 до 10000 на 1 см^2 , но они существенно различаются по способности генерировать ступени роста. Существует зависимость активности определенного центра роста, отвечающего выходу на грань дислокации, от пересыщения.

При относительно стабильных условиях на поверхности грани остается лишь несколько конусов роста (вициналей) или даже один, идет конкуренция - борьба за "питание" и за "пространство" между различными дислокациями и порожденными ими вицинальными холмиками - конусами роста. При любом изменении пересыщения на поверхности активизируется множество мелких центров роста, из которых при постепенной стабилизации условий сохраняется несколько новых, ранее не "работавших" конусов. Особенности развития конусов роста на поверхности грани определяются взаимным расположением соседних дислокаций и направлением их векторов Бюргерса. При значительном удалении друг от друга выходов дислокаций спирали роста сначала развиваются независимо, затем могут слиться. Чем больше вектор Бюргерса, тем толще генерируемый дислокацией слой роста, тем

3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов

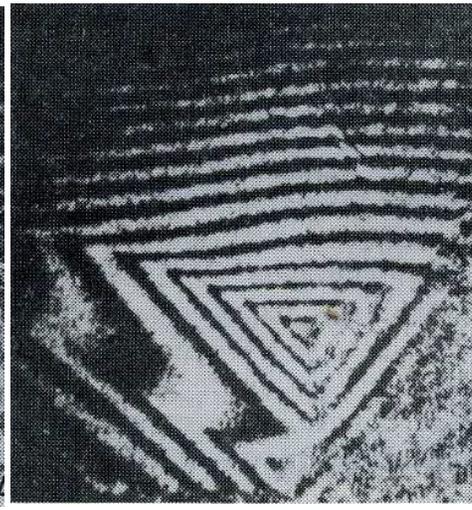
вероятнее перекрытие слоев роста других дислокаций и подавление их серии слоев. При одинаковом знаке векторов Бюргерса двух соседних дислокаций на расстоянии $< d$ критического зародыша - эти дефекты объединяются; при разных знаках вектора Бюргерса - возникают замкнутые петли.



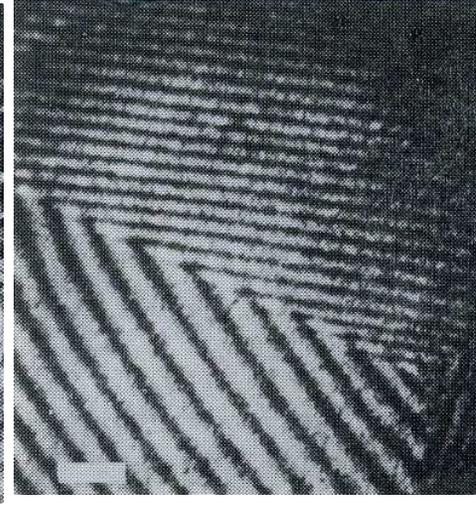
Начало



Через 10 минут



Через 22 минуты



Через 45 минут

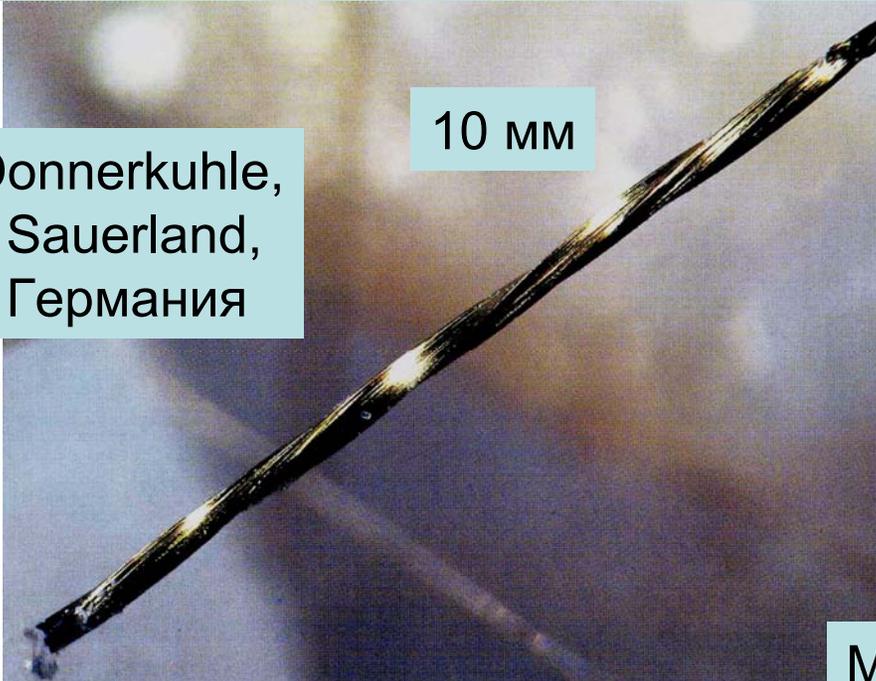
Конкуренция вициналей на поверхности растущего кристалла соли

3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов

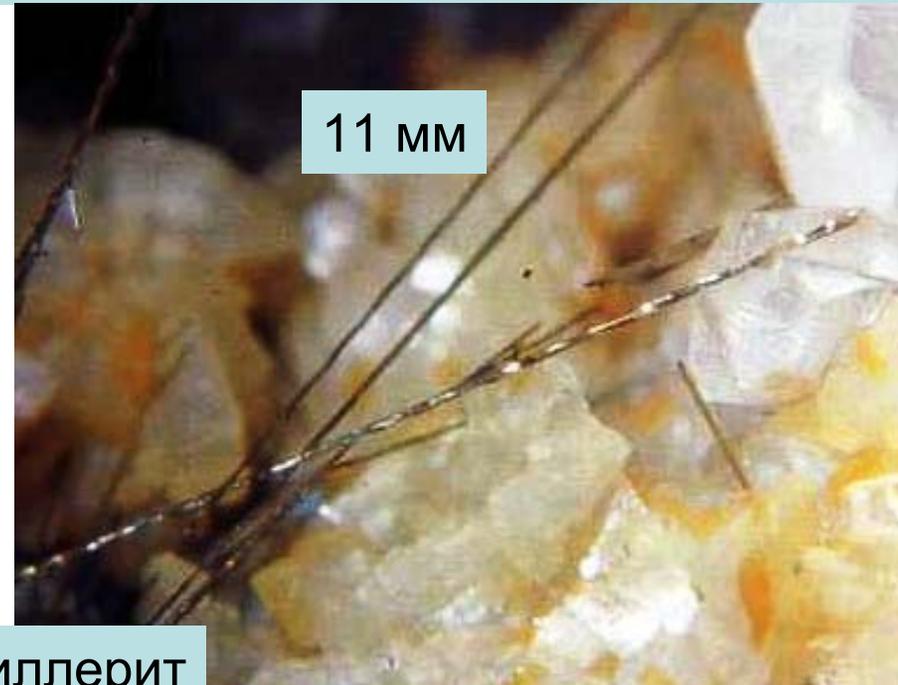
Спиральный (геликоидальный) рост - это фактически рост на винтовой дислокации. Это механизм роста нитевидных кристаллов как искусственных, так и природных. Для нитевидных кристаллов минералов со "слабой" структурой установлено периодическое осевое закручивание решетки, вызванное действием осевой винтовой дислокации, что выражено на кристаллах гипса, миллерита, джемсонита, малахита и др. Когда толщина волокон = нитевидных кристаллов предельно малая, то закручивается и решётка разновидности кварца – халцедона.

Donnerkuhle,
Sauerland,
Германия

10 мм



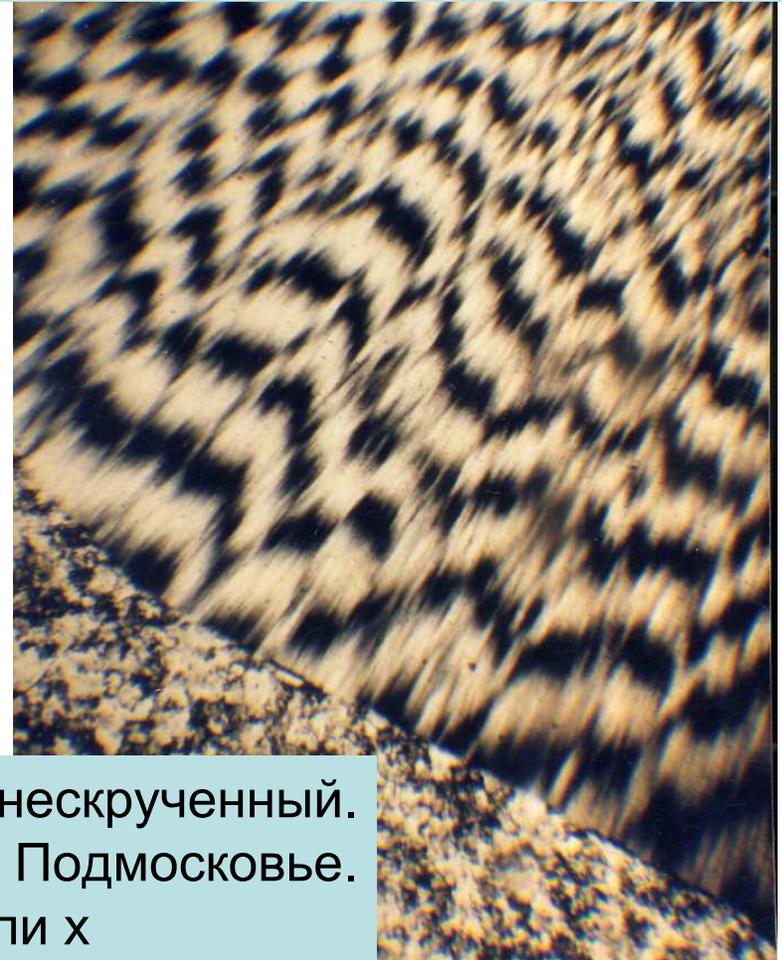
11 мм



Миллерит

3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов

Наличие спирально закрученных волокон халцедона... в слагаемых этими минералами сферолитах и сферолитовых корках - однозначный признак того, что данные сферолиты - продукты кристаллизации, а не колломорфные образования.

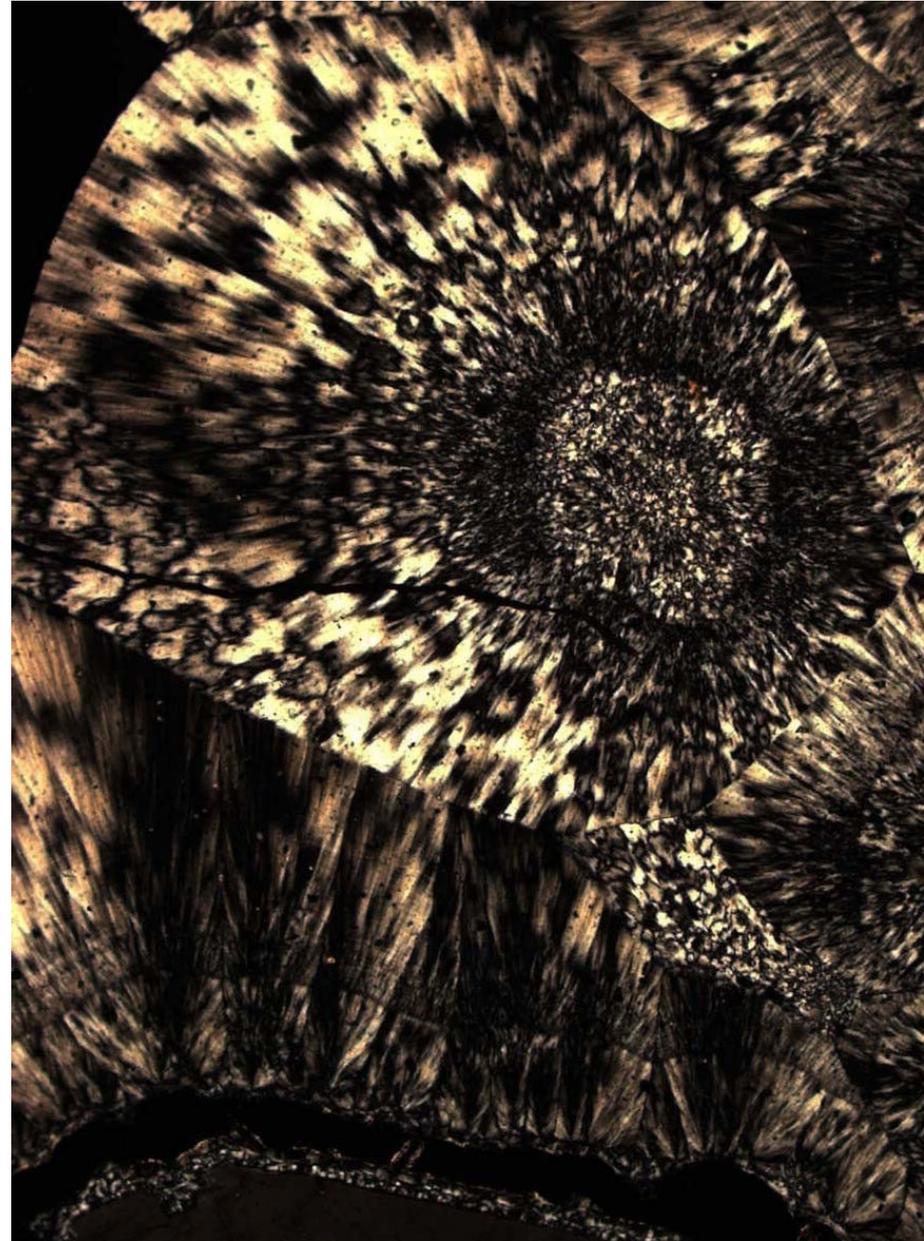


Халцедон скрученный и нескрученный.
Агаты Голутвино, южное Подмосковье.
Шлифы, николи х

3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов

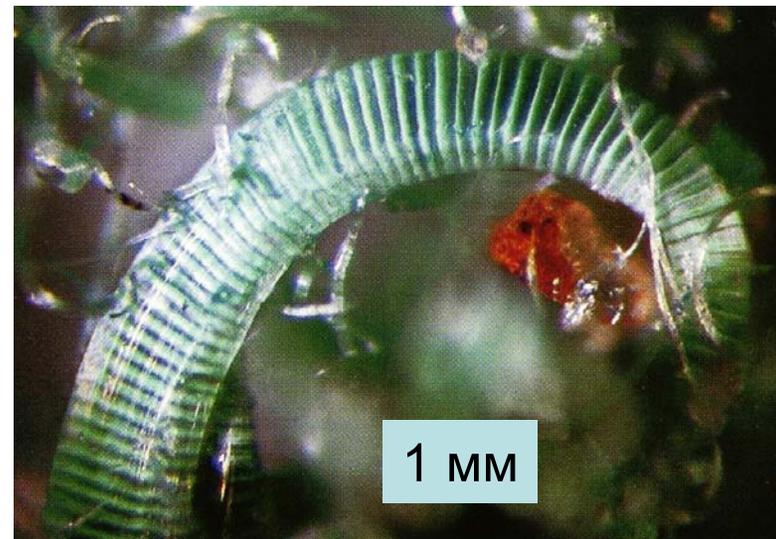
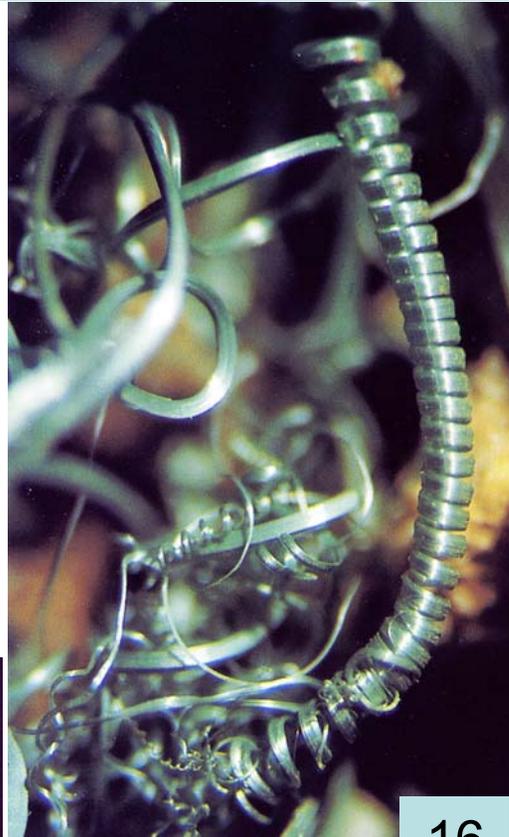
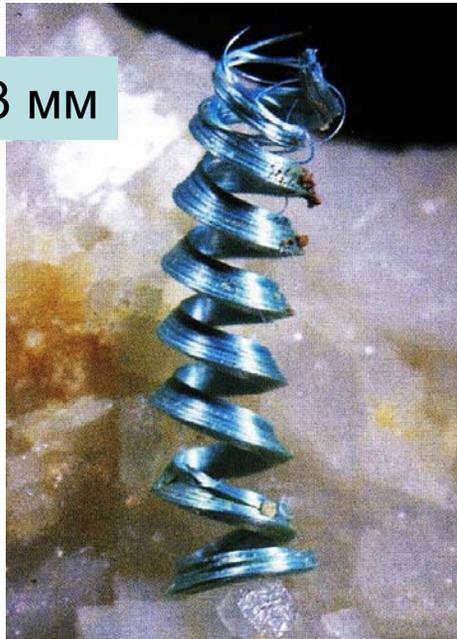
Наличие спирально закрученных волокон халцедона... в слагаемых этими минералами сферолитах и сферолитовых корках - однозначный признак того, что данные сферолиты - продукты кристаллизации, а не колломорфные образования.

Халцедон скрученный.
Агаты.
Ермаковское, Забайкалье.
Шлиф, николи х



3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов

Скрученные локоны малахита. Schwaz-Brixlegg, Тироль, Австрия



3. Послойный рост при дислокационном механизме роста кристаллов

Наличие скульптуры спиралей на поверхности граней кристалла - однозначное свидетельство, что это поверхности роста.

4. Рост за счёт трёхмерных зародышей

Несмотря на обширную минералогическую литературу, описывающую этот механизм роста, экспериментальные данные, прямо свидетельствующие о значимости данного механизма роста макрокристаллов, не получены. Возникновение трёхмерных зародышей бесспорно, когда появляются мелкие новые так называемые "паразитические" кристаллы. При этом кроме появления случайных сростков в двойниковом положении у растущих макрокристаллов каких-либо иных особенностей не возникает. При очень больших интенсивностях зародышеобразования, например, при добавлении спирта в водный раствор соли, кристалл покрывается коркой неориентированных кристалликов и рост макрокристалла под слоем конкурентов вскоре прекращается. Таким образом, происходит рост не "за счёт", а при некотором кратковременном "участии" трёхмерных зародышей.

Связь формы кристаллов с их структурой

В целом, данная проблема сложная и слабо разработана. Связь структуры с габитусом, как и связь структуры с конкретными простыми формами, неоднозначна. Хотя кристаллы кубической сингонии (гранаты..) чаще всего имеют изометричный облик. Более или менее изометричные структуры приводят к образованию квазиизометричных кристаллов (полевые шпаты). Минералы со слоистой структурой обычно образуют уплощенные кристаллы (графит, тальк, слюды, хлориты). Но те же слюды и хлориты часто образуют столбчатые, пирамидальные и даже игольчатые кристаллы, вытянутые \perp к плоскости слоистости. Цепочечные и ленточные структуры в общем способствуют появлению удлиненных столбчатых и игольчатых кристаллов (пироксены, амфиболы). В целом, та или иная форма кристалла позволяет предполагать ту или иную степень изометричности структуры, но не более.

Мощное влияние среды кристаллизации может изометричную структуру заставить дать игольчатый кристалл, а анизометричную - изометричный кристалл.

Принцип Бравэ, высказанный в 1851 г., - скорости роста различных граней кристалла зависят от их ретикулярной плотности, **кристаллы при своем росте покрываются самими медленно растущими гранями (это справедливо)** – продолжение принцип Бравэ – кристаллы покрываются

Связь формы кристаллов с их структурой

гранями с максимальной ретикулярной плотностью (а вот это далеко не всегда). Экспериментально показано, что принцип Бравэ подтверждается для кристаллов, выращенных из чистого однокомпонентного газа. Для кристаллов, выросших в более сложных системах, данный принцип выдерживается плохо. Настоящий парадокс - огранка кристаллов кварца: наибольшая ретикулярная плотность в его структуре у плоскости (0001), но грани базопинакоида отсутствуют на кристаллах кварца.

Принцип Доннея - Харкера, высказанный в 1937 г., - габитусная ранжировка граней зависит не только от их ретикулярной плотности, но и от элементов симметрии \perp к их плоскостям. Данный метод позволил по специальным таблицам и по интенсивностям отражений на рентгенограммах кристаллов определять морфологическую значимость граней. Удалось получить относительно близкую к действительности последовательность появления простых форм у кристаллов кварца, серы.

Следующий этап развития этих представлений - теория Хартмана, высказанная в 1955 г., - ближе других подошла к связи формообразования с процессами адсорбции. Согласно этой теории грани кристалла делятся в зависимости от их расположения по отношению к векторам наиболее сильных связей в структуре (ABC- векторы). Грани, в которых лежат два вектора наиболее сильных связей, - гладкие грани F (flat); грани, в которых

Связь формы кристаллов с их структурой

лежит один вектор, - ступенчатые грани S (stepped); грани не параллельные ни одному из векторов - это неровные шероховатые грани K (kinked). Присоединение частиц из среды питания происходит прежде всего к шероховатым K граням (они быстро растут и исчезают); затем к S граням. Медленнее всего растут F грани, которыми и покрывается кристалл. Так, у кварца грань [0001] - шероховатая, она быстро сорбирует частицы и зарастает; грани призмы отвечают F граням, растут медленно и характерны для кристаллов кварца.

Трудность применения теории Хартмана в отсутствии чётких критериев для выделения векторов ABC. Кроме того, введение поверхностно-активных веществ-примесей может превратить атомно-гладкую поверхность в шероховатую и наоборот...

Есть и иные теоретические подходы...

Но, ни одна из известных теорий не дает и не может дать точного метода расчёта структурных характеристик кристалла, строго отвечающих последовательности встречаемости граней в природных условиях.

Варианты роста кристаллов

Варианты роста кристаллов по степени свободы их формирования - отсутствию препятствий для поступления питания к их поверхности и для увеличения их размера. Варианты или группы таких условий роста : 1) рост кристаллов, взвешенных в магме или ином растворе, в т. ч. в газовом (снежинки); 2) рост кристаллов, зарождающихся на стенке жилы или на иной подложке или плавающих на поверхности рассола; 3) рост кристаллов в пористой твёрдой среде в присутствии раствора - метасоматический рост, перекристаллизация с укрупнением зерна; или без участия растворов - рекристаллизация при снятии напряжения в кристаллах.

Первая группа - это случаи всестороннего беспрепятственного поступления питания ко всей поверхности кристалла - можно говорить о вполне свободном или просто о **свободном росте кристаллов**. Эти условия способствуют развитию плоских граней, одинаковому развитию всех граней одной кристаллографической формы, так что форма кристаллов в наибольшей степени приближается к идеальной. Секториальность и зональность в таких кристаллах, как и иные проявления дефектности, в максимальной степени симметричны. В свободно растущих кристаллах, способных вращаться в среде питания, отсутствуют проявления асимметрии верх - низ гравитационного поля. Кристаллы свободного роста выделяются совершенством формы и качеством граней.

Варианты роста кристаллов

Кристаллы свободного роста. Барит



38 мм. El Creek, Дакота, США



Buk-Clifs, Grand-Jakchen,
Mesa, Колорадо, США

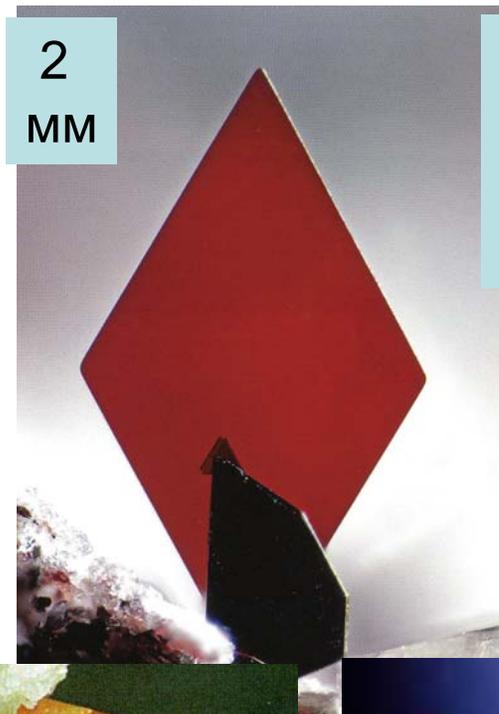


Варианты роста кристаллов

Кристаллы свободного роста



Пирит



2
мм

Гематит.
Bellerberg,
Эйфель,
Германия

Кальцит.
Egglemont,
Корнуолл,
Англия

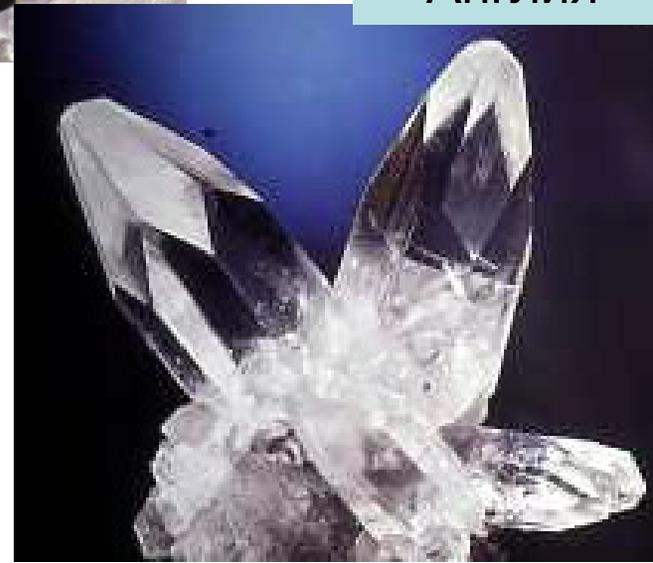


Гематит



6
мм

Сфалерит



Варианты роста кристаллов

68
мм



Кристаллы свободного роста

Аметист



Rio Grande
do Sul,
Бразилия

Азурит на корке смитсонита. Цумеб, Намибия

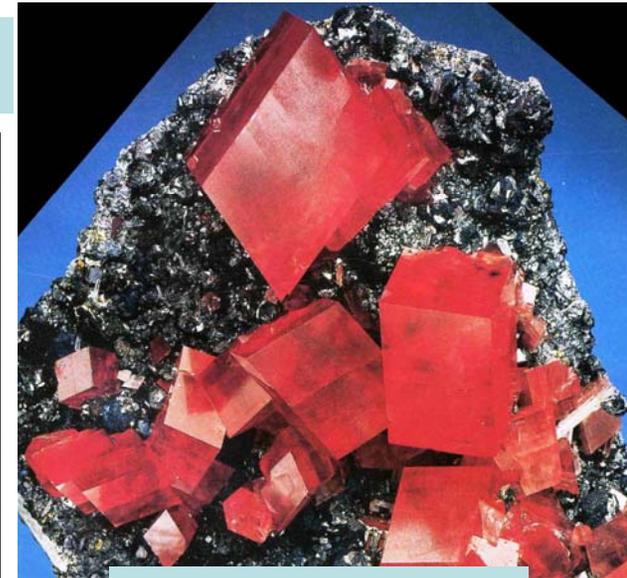
Варианты роста кристаллов

Кристаллы свободного роста

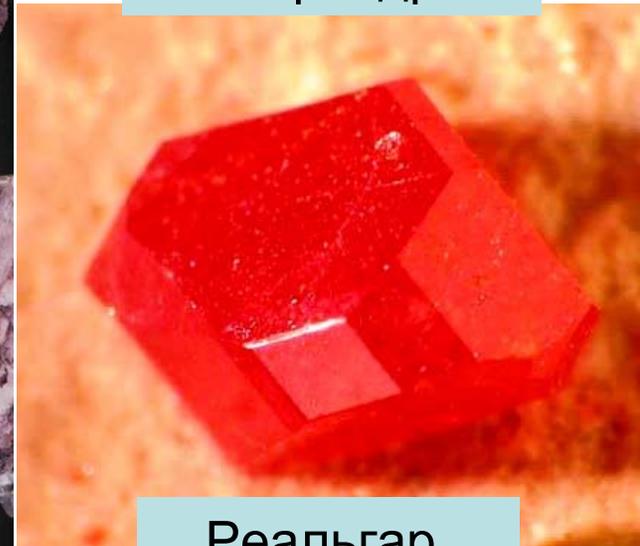


Церуссит.
Kombat mine,
Намибия

75 мм



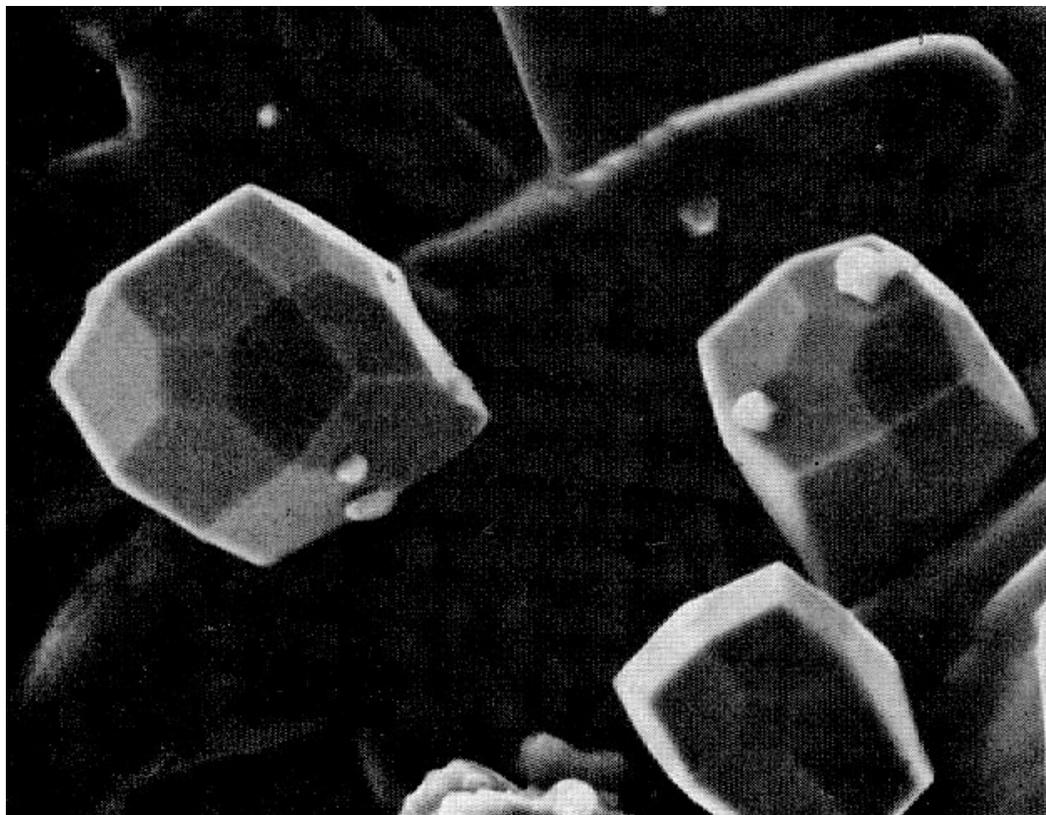
Родохрозит
на тетраэдрите



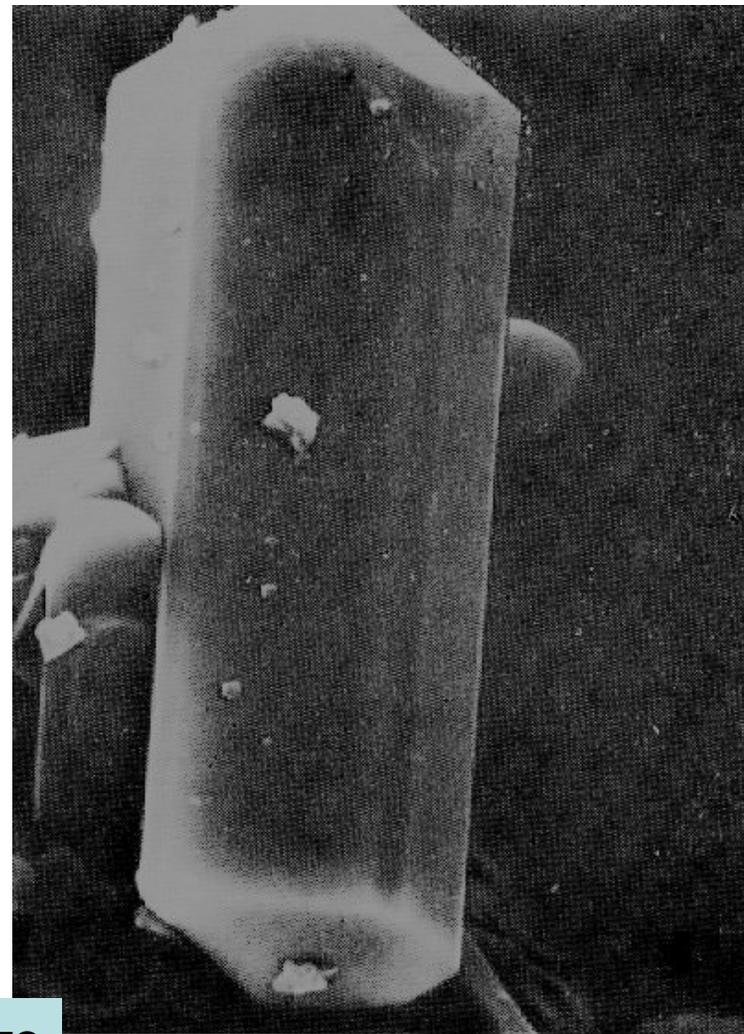
Реальгар.
Южный Китай

Варианты роста кристаллов

Кристаллы свободного роста в продушинах морских базальтов Луны



Кристаллы железа



Кристалл безводного
хлор-фторапатита

~12 мкм

Варианты роста кристаллов

С момента появления постоянного контакта кристалла с иными - при оседании индивидов на дно или при всплывании, при их агрегации - условия вполне свободного роста исчезают. Включаются новые факторы, присущие ограниченно свободному росту. Поэтому обычно свободный рост, если он имел место, реализуется лишь на начальных стадиях формирования кристалла.

Вторая группа. При соприкосновении кристаллов друг с другом они срастаются, конкурируя в борьбе за питание, свобода поступления вещества к ним ограничивается. Рост становится полусвободным или ограниченно свободным. Сюда входят и случаи одностороннего поступления вещества к поверхности кристалла, в частности питание и рост одной грани. Такие условия обычны при росте кристаллов на границе раздела жидкость - газ, твёрдое - газ, твёрдое - жидкость. В этих условиях обычно наличие твёрдых препятствий росту кристалла. Если нерастущая часть кристалла охвачена твёрдыми поверхностями - в корневой части друз, в кристаллических корках, то эта часть нередко деформируется под действием кристаллизационного давления или при тектонических деформациях субстрата. При этом деформации корневой части кристалла могут передаваться в свободно растущую головку кристалла. Симметрия кристаллов, растущих в таких условиях, понижена: хорошо ограниченной

Варианты роста кристаллов

головке противостоит клиновидная корневая часть; выпуклая нижняя часть "лодочек" галита и вогнутая ступенчатая верхняя, обращенная в воздух.
Односторонний рост кристалла - однозначный признак такого роста.

Для генетических построений важно установить агрегатное состояние среды кристаллизации. Если среда подвижная, то гравитационное поле проявляется в оседании твёрдых частиц – присыпок на верхние грани кристаллов. Это ведёт к повышению дефектности обращенных кверху частей кристаллов по сравнению с нижними. Итак, наличие присыпок и асимметричное распределение дефектности в кристаллах по признаку верх - низ - однозначное свидетельство, что данные прикрепленные кристаллы выросли в подвижной среде питания.

Третья группа - метасоматический рост ... будет рассмотрена позже.

Какие свойства наиболее приемлемы для выявления периодов стабильных условий в развитии кристаллов?

- 1) Постоянство соотношений роста разных граней, что проявлено прямолинейностью границ секторов роста.
- 2) Постоянство химического состава кристалла внутри сектора роста, отсутствие зональности.

Эволюция форм кристаллов минералов

В меняющихся условиях форма кристаллов обычно эволюционирует. Главный фактор - изменение химизма среды, степень пересыщения, присутствие поверхностно-активных веществ. В системе флюорит – галит– вода при уменьшении пересыщения октаэдры флюорита сменяются кубами; в системе флюорит - LiCl - вода при уменьшении пересыщения кубы флюорита сменяются его октаэдрами. В природных зональных кристаллах флюорита в большинстве случаев наблюдается смена октаэдров кубами, что согласуется с результатами по синтетической системе с NaCl. В целом, единой универсальной эволюции морфологии кристаллов как функции температуры, давления, пересыщения... не существует; т. к. прежде всего необходим учёт химизма среды.

Важна в ряде случаев и форма кристалла-затравки, особенно если ее размер достаточно велик. Габитус и комбинация форм кристалла на данном этапе роста в значительной степени определяются габитусом и комбинацией форм, которые кристалл получил в ходе своего предшествующего развития. Чем крупнее уже выросший кристалл, тем труднее он приспособляется к новым изменившимся условиям роста. Многие наблюдаемые формы кристаллов минералов есть результат перехода от одной огранки к другой при изменении условий роста.

Эволюция форм кристаллов минералов

Тем не менее, в природных условиях существуют некие более или менее общие тренды изменения габитусных форм кристаллов определенных минералов в различных их месторождениях. Для апатита характерен тренд от игольчатых кристаллов в высокотемпературных габбро, к длиннопризматическим в кварцевых диоритах, призматическим в гранитах и скарнах, уплощенным по оси с до пластинчатым в кварцевых жилах. Для кальцита характерен тренд от пластинчатых (папиршпат) относительно высокотемпературных к ромбоэдрическим, далее к призматическим и скаленоэдрическим. Для флюорита обычна эволюция форм от октаэдра $[111]$ к кубу $[100]$, далее к ромбододекаэдру $[110]$ и более редким формам. Для барита ранее других развивается комбинация пинакоида $[001]$ и призмы $[101]$; затем призма $[210]$, она заменяется призмой $[203]$; затем появляется призма $[102]$, которая сменяется более острой призмой $[103]$ и далее наиболее острой призмой $[104]$. Но ! Для многих минералов (диаспор, фенакит, турмалин, виллемит, алмаз...) характерен тренд от примерно изометричных форм кристаллов к уплощенным или вытянутым и далее к длиннопризматическим и палочковидным, по существу близким к скелетным. Причина - понижение температуры кристаллизации, рост степени пересыщения, а главное - диффузное голодание.

Эволюция форм кристаллов минералов

При смене форм на поверхности кристаллов развиваются ростовые штриховки, которые являются микрогранями новой формы. Они весьма характерны для кристаллов пирита: штриховка на гранях куба обычно отвечает микрограням пентагондодэкаэдра (пиритоэдра); штриховка на гранях пиритоэдра обычно отвечает микрограням куба, реже октаэдра...

Принцип Кюри

Знаменитый французский физик Пьер Кюри сформулировал в 1894 г.: объект сохраняет лишь те элементы симметрии, которые совпадают с элементами симметрии окружающей (питающей) среды. В случае равномерного питания со всех сторон - симметрия среды = симметрии шара, кристалл сохраняет все присущие этому минералу элементы симметрии. Кристалл вырастает в виде правильного многогранника, соответствующего истинным простым формам. Если кристалл растет на горизонтальной поверхности в спокойных условиях, то вокруг него создаются расположенные вертикально концентрационные потоки. В этом случае среда имеет симметрию конуса. Такие кристаллы сохраняют только одну ось симметрии n порядка и соответствующее число плоскостей симметрии, если эти элементы симметрии кристалла совпадут с таковыми среды. При случайной ориентировке зародыша на горизонтальной поверхности вырастает кристалл вообще без элементов

Эволюция форм кристаллов минералов

симметрии. При росте кристаллов в движущемся потоке, который имеет единственную плоскость симметрии, разрастание кристаллов идет навстречу потоку. Если плоскость симметрии кристалла - затравки совпадает с плоскостью симметрии потока, то она сохраняется и в выросшей части кристалла. В случае несовпадения плоскостей симметрии выросший кристалл будет вообще лишен видимой симметрии. Влияние симметрии среды зависит от типа движения, от характера завихрений. Если скорость потока мала и вихри не отрываются от растущего кристалла, задние грани слабо оmyваются и голодают, в них образуются включения. Если скорость движения очень велика, то вихри быстро сносятся с поверхности растущего кристалла, пересыщение в объёме вихря мало меняется, все грани растут равномерно. Время стационарного состояния вихрей прямо зависит от вязкости раствора и обратно пропорционально размеру кристалла и скорости потока. Во всех случаях, кроме изометрической среды питания, образующиеся кристаллы будут обладать ложными габитусными формами, т.е. искаженной внешней симметрией. По асимметрично выросшим кристаллам можно определять направление движения питающего потока. В крутопадающих жилах кристаллы кварца асимметричны (действие силы тяжести), тогда как в пологих жилах их облик симметричный. Итак, по форме кристаллов кварца в россыпи можно прогнозировать характер залегания жил.

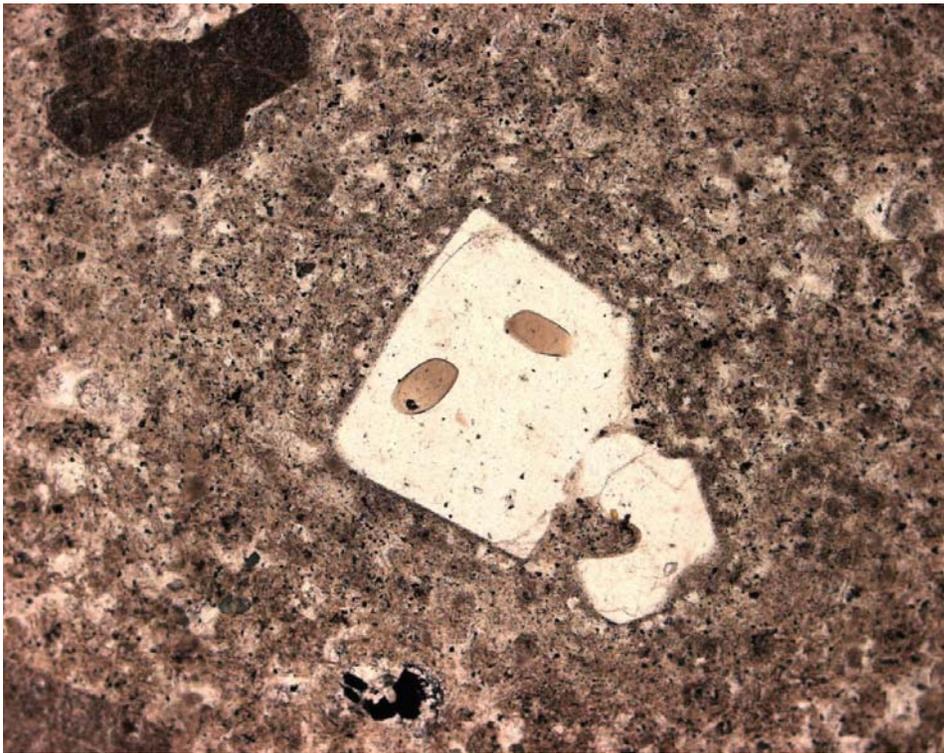
Явления захвата включений

Выросшие кристаллы практически всегда содержат то или иное количество включений маточной среды. В магматических породах это расплавные включения (стекловатые или раскристаллизованные), реже газовые и многофазные включения. В гидротермальных и гипергенных образованиях это газово-жидкие, жидкие, твёрдые и многофазные включения. На основе исследования включений в минералах руд и горных пород возникла особая наука – термобарогеохимия, поскольку изучение включений позволяет определить температуры и давления образования минералов и минеральных агрегатов и состав – химизм маточной среды. Для этого необходим поиск первичных = сингенетических включений. Это включения, возникшие в процессе роста, приуроченные к определённым секторам роста кристаллов. Нередко они удлинены в направлении максимального вектора роста кристалла. Нередки случаи, когда растущий кристалл содержит посторонний кристалл, под которым пузырёк маточной среды; при дальнейшем росте кристалл толкает посторонний кристалл и под ним возникает трубчатое включение маточной среды. Это истинно, «железно» первичные - сингенетические включения среды кристаллизации. Поэтому их следует специально искать.

При длительном поддержании высоких температур и когда вещество стенок включений имеет достаточно большую растворимость, происходит огранение включений - возникают "отрицательные кристаллы".

Явления захвата включений

Первичные расплавные включения



При 1 николе



Николи х

Включения вулканического стекла кремнекислого состава по зоне роста во вкрапленнике кварца. Риодациты мелового возраста.
Запад Горного Крыма, Балаклава

Явления захвата включений

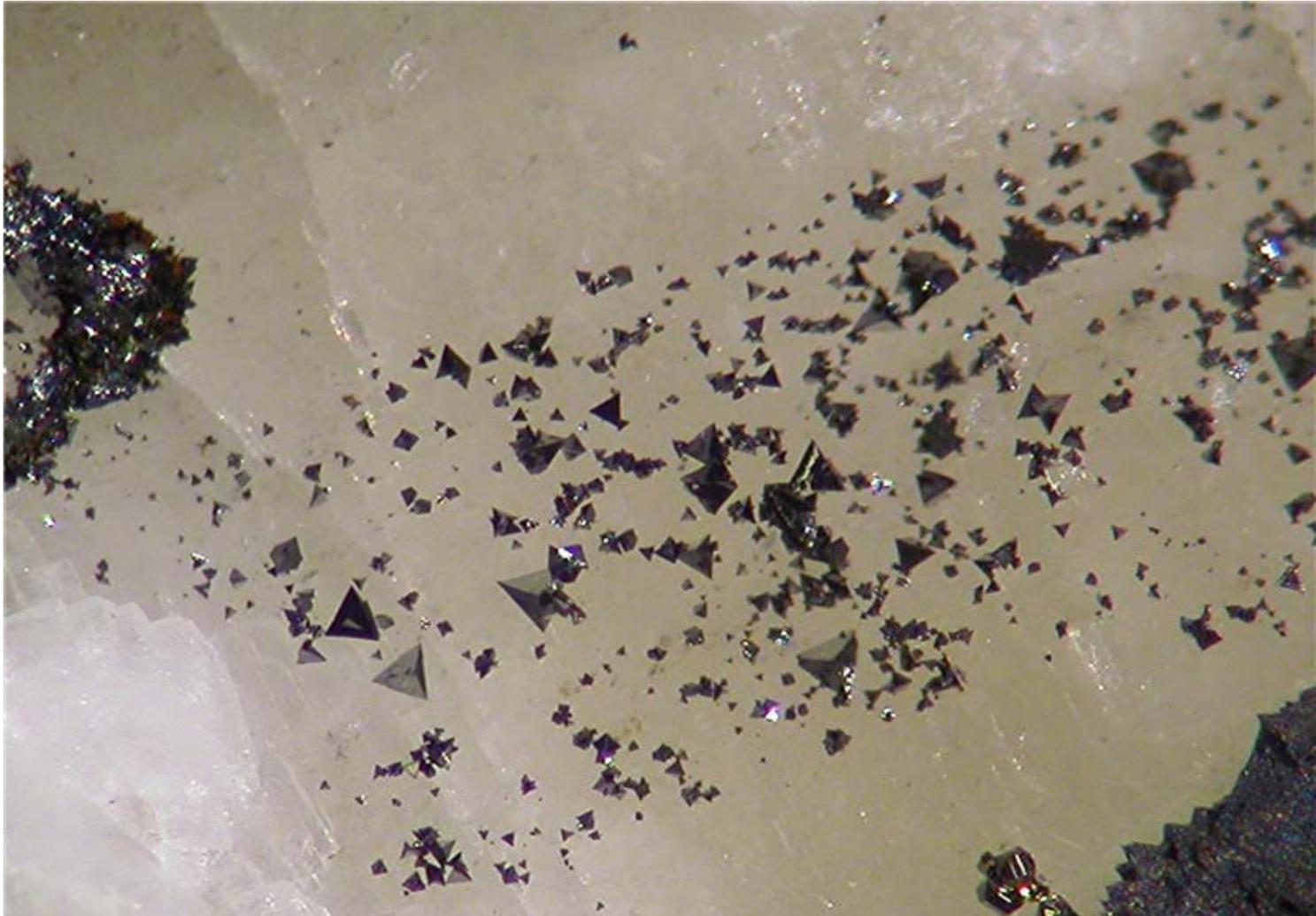
Первичные расплавные включения



Включения вулканического стекла кремнекислого состава и расстеклованные включения во вкрапленнике кварца. Риодациты мелового возраста. Запад Горного Крыма, Балаклава

Явления захвата включений

Протогенетичные включения – включения идиоморфных кристаллов в более молодом кристалле

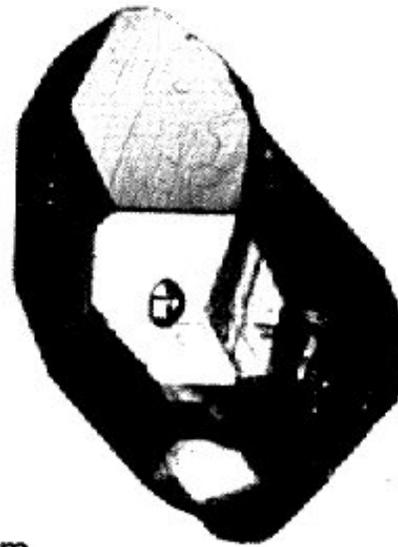


Кристаллы тетраэдрита в гидротермальном жильном кварце

Явления захвата включений

Первичные = сингенетичные включения
в виде «отрицательных» кристаллов

Включения до 6 мм
в кристалле кварца 40 мм.
Goboboseb Mountains, Намибия

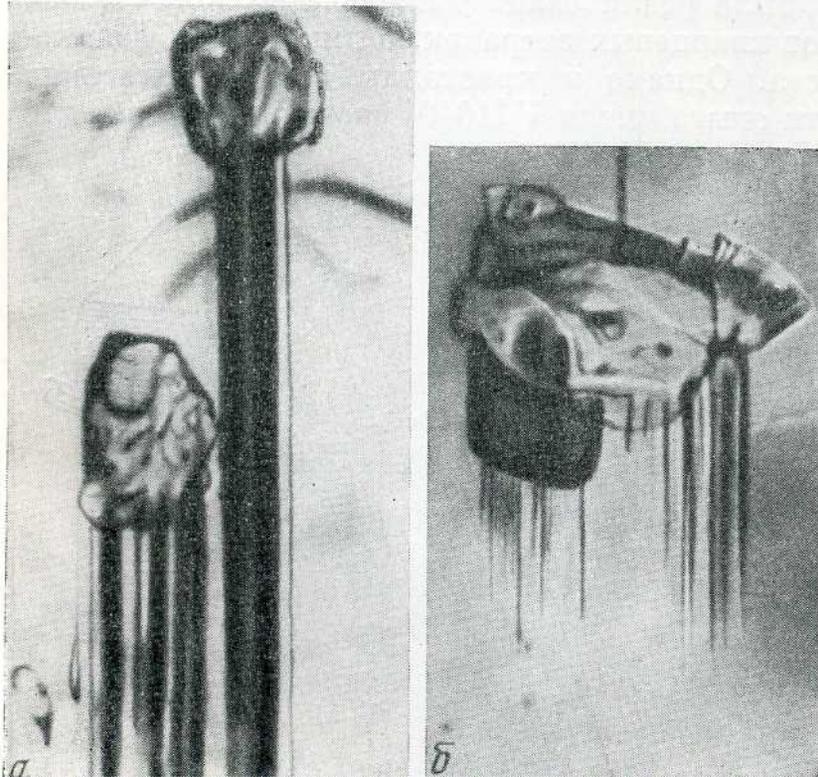


1 cm

Включение
в горном хрустале
в форме
отрицательного
кристалла
кварца.
Herkimer,
Нью-Йорк, США

Явления захвата включений

Первичные = сингенетичные трубчатые включения



в кристалле турмалина под
посторонними включениями



в кристалле
аквамарина
под
включениями
мусковита



В кристалле аметиста под включением гётита

Явления захвата включений

Первичные = сингенетичные трубчатые включения



Следы роста под включениями
рутила в кристаллах сапфира.
Камбоджа



