

Памятка
для изучающего учебное пособие к разделу курса
«Генетическая минералогия. 1 часть» -
«Онтогения и филогения»

Учебное пособие содержит:

2. Программу курса
3. Презентацию 001 «Вводная к курсу генетическая минералогия»
4. Презентации 002 - 014 «Онтогения. Рост кристаллов»
5. Презентации 015 - 019 «Онтогения. Растворение кристаллов»
6. Презентации 020 - 024 «Онтогения агрегатов»
7. Презентацию 025 «Филогения минеральных агрегатов»
8. Списки литературы по онтогении и филогении.
9. Вопросы к разделу.

Для сдачи экзамена по курсу «Генетическая минералогия. 1 часть» по разделу достаточно изучить основное содержание презентаций и основную литературу.

Для тех, кто хочет знать более глубоко, и для специалистов, которым будет интересно данное пособие, предназначено всё его содержание.

С уважением

дгмн, профессор кафедры минералогии МГУ
Э.М. Спиридонов

Э.М. Спиридонов

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ. Часть 1 - ГМ-1.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИНЕРАЛОГЕНЕЗА

ВВЕДЕНИЕ

Место минералогии в системе наук о Земле. Предмет науки. Генетическая минералогия - закономерное продолжение описательной. Особенности генетической минералогии. Установление генезиса минерала - бесконечный процесс познания сущности его признаков.

Раздел I. ОНТОГЕНИЯ МИНЕРАЛОВ. ИНДИВИДЫ

Из чего состоят кристаллы: зоны роста, пирамиды роста, секторы роста. Критические зародыши - кристаллиты. Затравки.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЗАРОЖДЕНИЯ И РОСТА КРИСТАЛЛОВ

1. Классификация физико-химических систем. Метастабильные, лабильные и "замороженные" неравновесные системы. Типы физико-химических превращений. Среды кристаллизации. Особенности воды как растворителя.

2. Движущая сила кристаллизации. Зарождение кристаллов. Процессы зарождения кристаллов: самопроизвольное из пересыщенных сред, гетерогенное на готовых зародышах или затравках, при участии живых организмов или в них самих. Понятие об отравленных поверхностях кристаллов. Эпитаксия, факторы, влияющие на эпитаксию. Эпитаксические и автоэпитаксические сростания. Кристаллы - скипетры, - люстры, - шапки, - гантели. Особенности эпитаксических сростаний халцедон - кварц и кварцин - кварц. Присыпки.

3. Анатомия индивида. Реальные поверхности растущих кристаллов: слои роста, вицинали роста, спирали и террасы роста, штриховки роста. Поверхность кристаллов и её взаимодействие с флюидами. Адсорбция частиц из раствора, формула де Бура. Массоперенос при кристаллизации. Кинетика кристаллизации.

4. Механизмы роста кристаллов: нормальный, послойный при двумерном зародышеобразовании, дислокационный (спиральный), за счёт трёхмерных зародышей. Роль подвижности среды кристаллизации (вращения кристаллов) при нормальном механизме роста. Нодулярные и орбикулярные текстуры: (оливин – хромшпинелиды в гипербазитах, оливин – ильменит в кимберлитах, овоиды К-Na полевого шпата в гранитах = рапакиви). Вицинали, слои роста, спирали роста. Рост

трубчатых кристаллов минералов с несоразмерными структурами: хризотил-асбест, цилиндрит. Связь формы кристаллов с их структурой. Отталкивание и захват твёрдых фаз и флюидных включений кристаллами. Формирование сингенетических трубчатых включений в кристаллах.

5. Диффузионный и кинетический режимы кристаллизации. Свободный рост кристаллов при постоянных условиях. Анатомия индивида - источник генетической информации. Закон Бекке. Пирамиды роста, сектора роста. Причины связи морфологии и окраски кристаллов топаза. Эволюция форм кристаллов кальцита, апатита, барита, турмалина, фенакита, виллемита, диаспора.

6. Рост кристаллов при переменных условиях. Зональность и методы её выявления и наблюдения. Реальные скорости роста кристаллов. Штриховки роста на кристаллах – индикаторы изменений условий роста.

7. Кристаллы - двойники роста и причины их образования. Соотношения размеров одновременно выросших монокристаллов и кристаллов - двойников. Причины их различия. Скелетные кристаллы - вершинники и рёберники. Кристаллы - пойкилиты, сложной формы.

8. Нитевидные кристаллы, особенности их поверхности, структуры и свойств. Механизмы их роста. Кристаллизационное давление. Нитевидные геликоидальные кристаллы, в том числе кристаллы - "пружины". Нитевидные кристаллы, возникающие при механической щепке минералов, - эффект М.Н. Малеева. Вклад минералогии в изучение проблем силикоза.

9. Расщеплённые кристаллы. Типы расщепления в зависимости от соотношения линейной скорости роста и угловой скорости расщепления. Сферокристаллы. Кристаллы – «розы», «улитки»... Причины и механизмы расщепления (гетерометрия пирамид роста...) – совместное действие эффектов А.А. Штернберга – Ю.О. Пунина и П.А. Ребиндера. Дендриты = расщеплённые скелетные кристаллы.

10. Норма и патология минеральных индивидов. Потеря возможности самовоспроизводства совершенной огранки кристаллов. Патогенные факторы. Диффузионные эффекты. Адсорбционные эффекты. Абсорбционные эффекты. Явления отравления поверхности растущего кристалла. Перестройки, приводящие к поликристаллическим имитациям. Развитие процессов патогенного роста кристаллов. Фарфоровидные, перламутровые кристаллы. Скрученные, кривогранные, обелисковидные кристаллы.

11. Рост кристаллов в стесненных условиях. Метакристаллы, метасомы, порфиробласты, пойкилобласты. Признаки метакристаллов макроскопические и микроскопические. Особенности порфиробластов синкинематических и посткинематических.

12. Формирование состава кристаллов. Два типа осцилляционной зональности

кристаллов: при росте в замкнутом резервуаре или с подпиткой новыми порциями маточной среды.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАСТВОРЕНИЯ И УНИЧТОЖЕНИЯ ИНДИВИДОВ

13. Дефекты в кристаллах. Тепловой беспорядок в кристаллах. Беспорядок в кристаллах, вызванный нарушениями стехиометрии. Беспорядок в кристаллах, обусловленный посторонними примесями. Взаимодействие дефектов в кристаллах. Протяженные дефекты и дислокации. Отожжённые протяженные дефекты в кристаллах флогопита - векторы их роста. Явления переноса в кристаллах с дефектами. Дефекты и кинетика твердофазных реакций.

14. Изменения индивидов. Механические деформации пластические и хрупкие. Хрупкие деформации разрыва. Будинаж кристаллов (турмалин, рутил, изумруд). Механические двойники, их признаки. Отличие двойников роста и двойников механических. Кинкбенды.

15. Явления растворения кристаллов. Фигуры травления.

16. Псевдоморфозы, зооморфозы, фитоморфозы. Псевдоморфозы превращения - параморфозы. Псевдоморфозы замещения, их классификация. Закон В. Линдгрена.

17. Регенерация кристаллов.

Раздел II. ОНТОГЕНИЯ МИНЕРАЛОВ. АГРЕГАТЫ

18. Минеральные агрегаты. Связи индивид - агрегат. Стадии роста агрегатов кристаллов. Друзы. Ортотропизм роста кристаллов и его причина - геометрический отбор. Когда появляются зоны геометрического отбора, о чём свидетельствует их наличие. Параллельно-шестоватые агрегаты 1 и 2 типа по Д.П. Григорьеву.

19. Агрегаты нитевидных кристаллов. Расщеплённые агрегаты нитевидных кристаллов. Антолиты.

20. Типы поверхностей зёрен в минеральных агрегатах. Первичные поверхности роста: идиоморфная, ксеноморфная, индукционная (совместного одновременного роста). Элементы строения индукционной поверхности. Индукционные поверхности совместного роста кристалл - кристалл, кристалл - сферолит, сферолит – сферолит при непрерывном росте и при росте с остановками.

21. Иные типы поверхностей зёрен в минеральных агрегатах: в агрегатах нитевидных кристаллов; грануломорфные; поверхности растворения, дробления, реоморфные.

22. Границы и форма зёрен в минеральных агрегатах. Движение границ зёрен. Полигонизация. Перекристаллизация и рекристаллизация. Законы рекристаллизации.

23. Структуры минеральных агрегатов равновесные и неравновесные.
24. Гравитационные текстуры минеральных агрегатов. Минералогические уровни и отвесы. Текстуры седиментации, оползания, обрушения и роста; карнизы, отстойники, сталактиты и сталагмиты, кристаллититы.
25. Специфические структуры минеральных агрегатов: эвтектические, глобулярные, нодулярные, фрамбоидальные, стебельчатые.

Раздел III. ФИЛОГЕНИЯ МИНЕРАЛОВ

26. Выявление пространственно-временных взаимоотношений между минералами. Генерации и зарождения.
27. Иерархия процессов минералообразования и их продуктов. Эпохи, этапы, стадии минерализации.
28. Парагенезы минералов. Парагенез – сонахождение, обусловленное сопроисхождением.
29. Сингенез, диагенез, эпигенез минеральных агрегатов и их циклы. Графическое представление схем минералообразования.

Цветущий
лук.
Улуг-Танзек,
Тува



Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. Индивиды

Рост кристаллов

**008. Специфические
формы кристаллов –
скелетные**

Скелетные кристаллы

Кристаллы - скелеты, дендриты, пойкилиты. Скелет - остов однородного реального кристалла, который вырос не плоскими гранями, а рёберными и вершинными формами. В одних случаях кристалл с самого начала растёт в виде скелета, в других - скелетный рост начинается после стадии нормального полно гранного роста. При зарастании промежутков между рёбрами и вершинами скелетного кристалла образуется обычный плоско гранный кристалл. Типичные скелетные формы характерны для продуктов кристаллизации из газовой фазы при вулканической деятельности, подземных пожарах, кристаллизации расплавов при сильном переохлаждении и/или пересыщении...

В описании скелетных кристаллов в первую очередь указывают направление преимущественного роста вершин или ребер, во вторую очередь - собственную форму в их огранке, в третью очередь - это двумерные или трёхмерные образования.

Вершинники и рёберники. При росте вершинного скелета от первичных ветвей могут отходить ветви второго, затем третьего... порядка; в результате образуется объёмная решётчатая постройка. Рёберные формы скелетных кристаллов - в том числе полые, воронкообразные кристаллы, футлярообразные.

В условиях пульсационного изменения скорости роста образуются

Скелетные кристаллы

скелетные кристаллы с ритмичными колебаниями размеров отдельных элементов индивида. Часто возникают скелеты, состоящие из сросшихся вершинами отдельных субиндивидов, причём расстояние между ними, иначе трансляция, зависит от длительности пульсации скорости роста (вершинники магнетита, снежинки...). Многие вершинники и рёберники на концах имеют утолщения, свидетельствующие о постепенном замедлении скорости роста.

Конкретная форма скелетных кристаллов зависит от пересыщения раствора; при повышенных пересыщениях возникают рёберники, при больших - вершинники. При очень больших пересыщениях рост скелетных кристаллов идет иррациональными поверхностями, ветви скелетов часто клиновидные, кинжалообразные; в направлении \perp к вектору роста ветвей скелета плоские грани вообще отсутствуют. При снижении пересыщения появляется ступенчатая поверхность, образованная плоскими гранями с рациональными символами.

Как плоскогранные кристаллы превращаются в скелетные? При возникновении высокого градиента пересыщения вдоль поверхности грани практически прекращается работа вициналей в средних частях граней, сильно активизируется работа вициналей вблизи ребер. В вязкой среде скелетные кристаллы появляются и при малых значениях пересыщения

Скелетные кристаллы

(переохлаждение $\sim 0,1^{\circ}\text{C}$). В условиях направленного движения раствора средняя часть грани может долго на зарастать, в результате формируется кристалл в форме воронки, трубчатый или футлярообразный. Чем больше анизотропия скоростей роста граней, встречающих поток и параллельных питающему потоку, тем более вытянут этот реберный скелет (воронка). При направлении питающего потока под углом к удлинению кристалла образуется воронкообразный индивид с боковой щелью. Футляровидные коробчатые кристаллы возникают и в случае конвекции раствора вокруг кристалла, лежащего на твёрдом основании, при этом сначала образуется пластина, лежащая на дне; затем на её верхней грани возникает углубление и начинается преимущественный рост вверх вдоль направления поднимающихся конвекционных потоков. При снижении пересыщения происходит закрытие воронки и образуется пустотелый кристалл. Футляровидные и полые кристаллы растут и из газовой среды, т.е. скелетный рост происходит не только из вязких сред.

На форму скелетных кристаллов оказывает влияние и химический состав среды, т.е. процесс идет и при смешанном лимите скорости роста с преобладанием диффузионного лимита (**диффузионного голодания**). Скелетные кристаллы серы в осадочных толщах появляются из-за присутствия в растворах поверхностно-активных веществ (нефть и её

Скелетные кристаллы

производные). Аналогичным образом растут скелетные кристаллы кварца с включениями битумоидов, известные в Донбассе, Карпатах и т.д.

Появление скелетных кристаллов серы, селена, сфалерита, галенита в возгонах обусловлено очень быстрым их ростом в условиях большого переохлаждения газовой фазы. Антискелетные кристаллы.

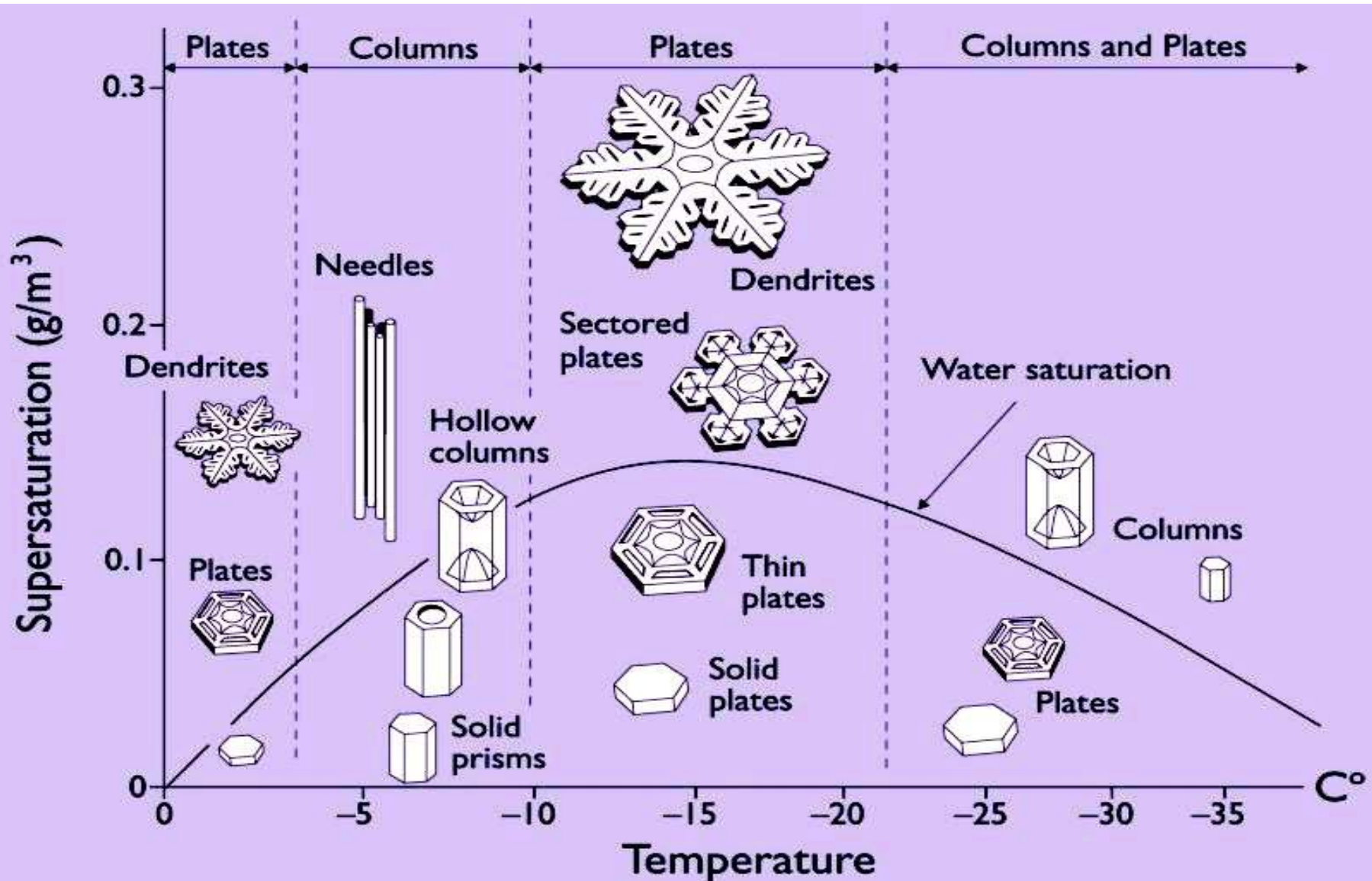
Д е н д р и т ы (древовидные, водорослеподобные) - ветвящиеся и расходящиеся в стороны кристаллические образования. Дендриты разберём позже, при изучении явлений расщепления кристаллов во время их роста.

П о й к и л и т ы (по-гречески - испещренный камень) - кристаллы с массой включений других минералов, захваченных при их росте. Типичные пойкилиты - порфиروبласты в метаморфических породах.

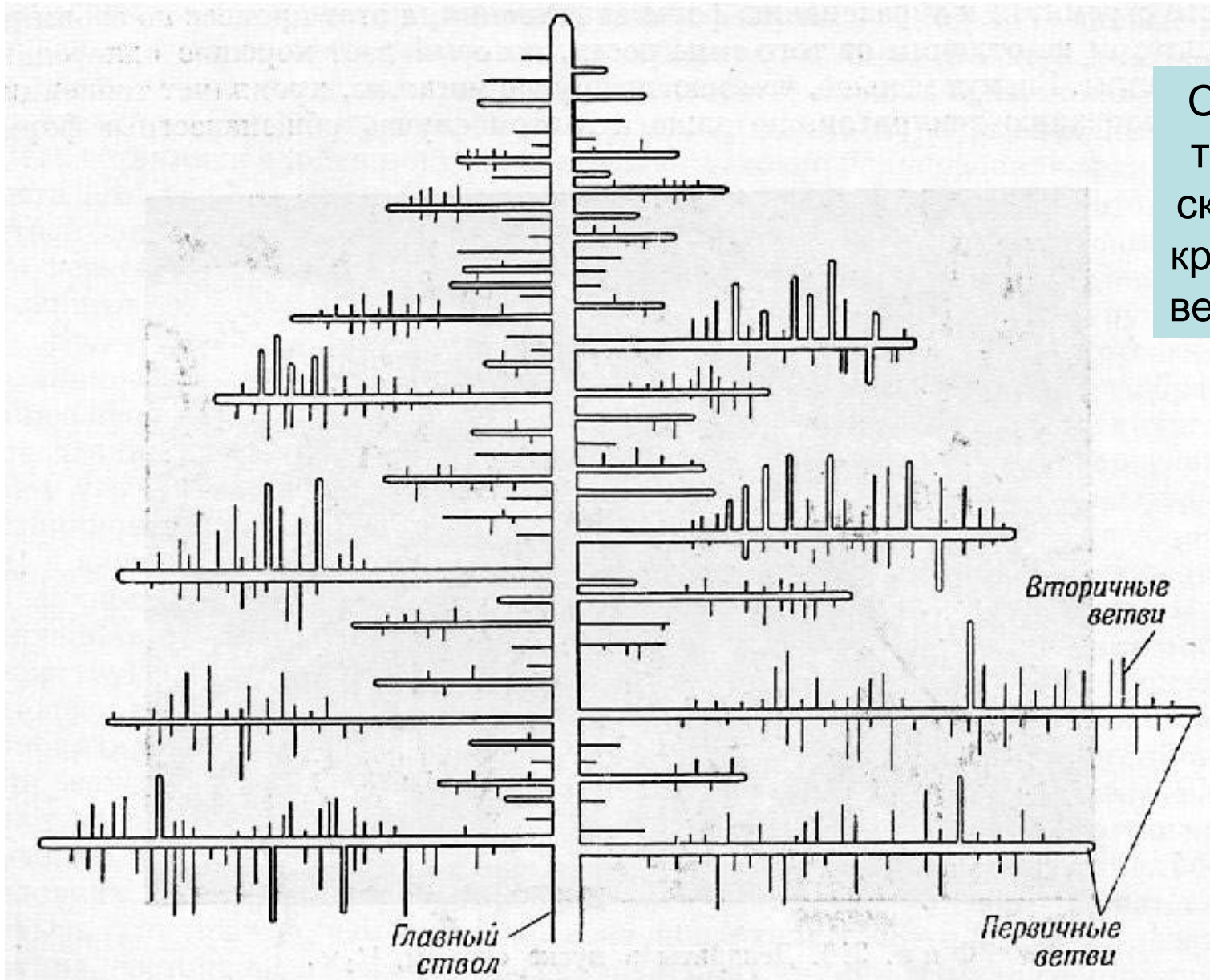
К р и с т а л л ы п р и ч у д л и в о й ф о р м ы. В ряде случаев один кристалл заполняет связанную сеть переплетающихся прожилков и т.п. форм. Распространены уплощенные, вплоть до листоватых, кристаллы пирита, выросшие на плоскостях отдельности кварц-серицитовых сланцев...

Скелетные кристаллы

Как видно, достаточно малого пересыщения – всего 0.1 грамма водяного пара на кубометр воздуха, чтобы начали расти скелетные кристаллы льда



Скелетные кристаллы



Строение
типичного
скелетного
кристалла –
вершинника

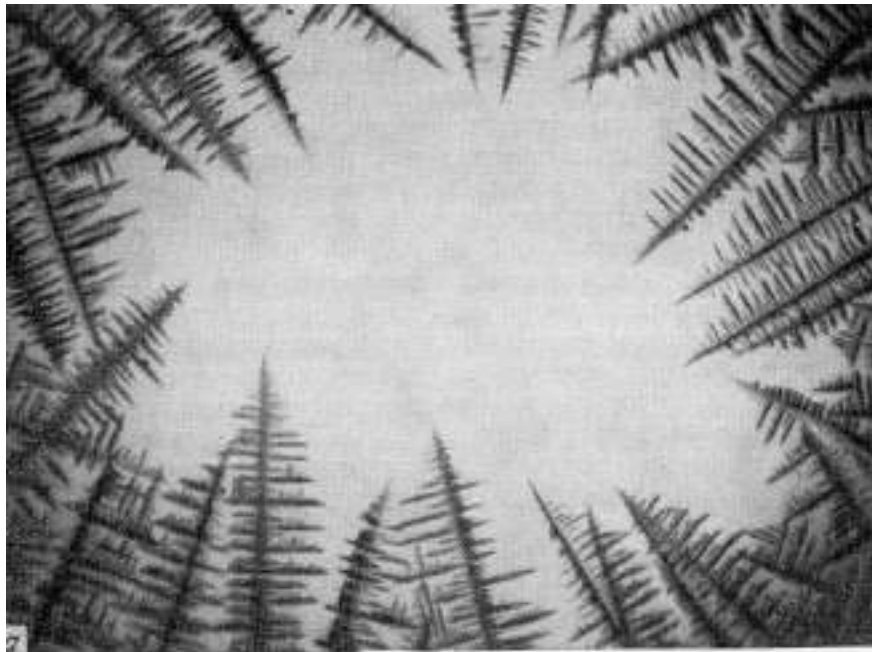
Скелетные кристаллы

Нашатырь NH_4Cl

20 мм



Вершинник. Возгоны на лаве Везувия



Кристаллы – скелетные вершинники.

Вверху начало роста в
высыхающей капле раствора,
внизу – завершение роста.

Фотографии акад. А.В. Шубникова

Скелетные кристаллы

Нашатырь



Вершинник 100x90x25 мм. Возгоны подземного угольного пожара.
Рават. Таджикистан

Галит



Вершинник, покрытый рёберниками. 80 мм.
Из эвапоритовой толщи.
Загрос, южный Иран

Скелетные кристаллы льда



Классические вершинники

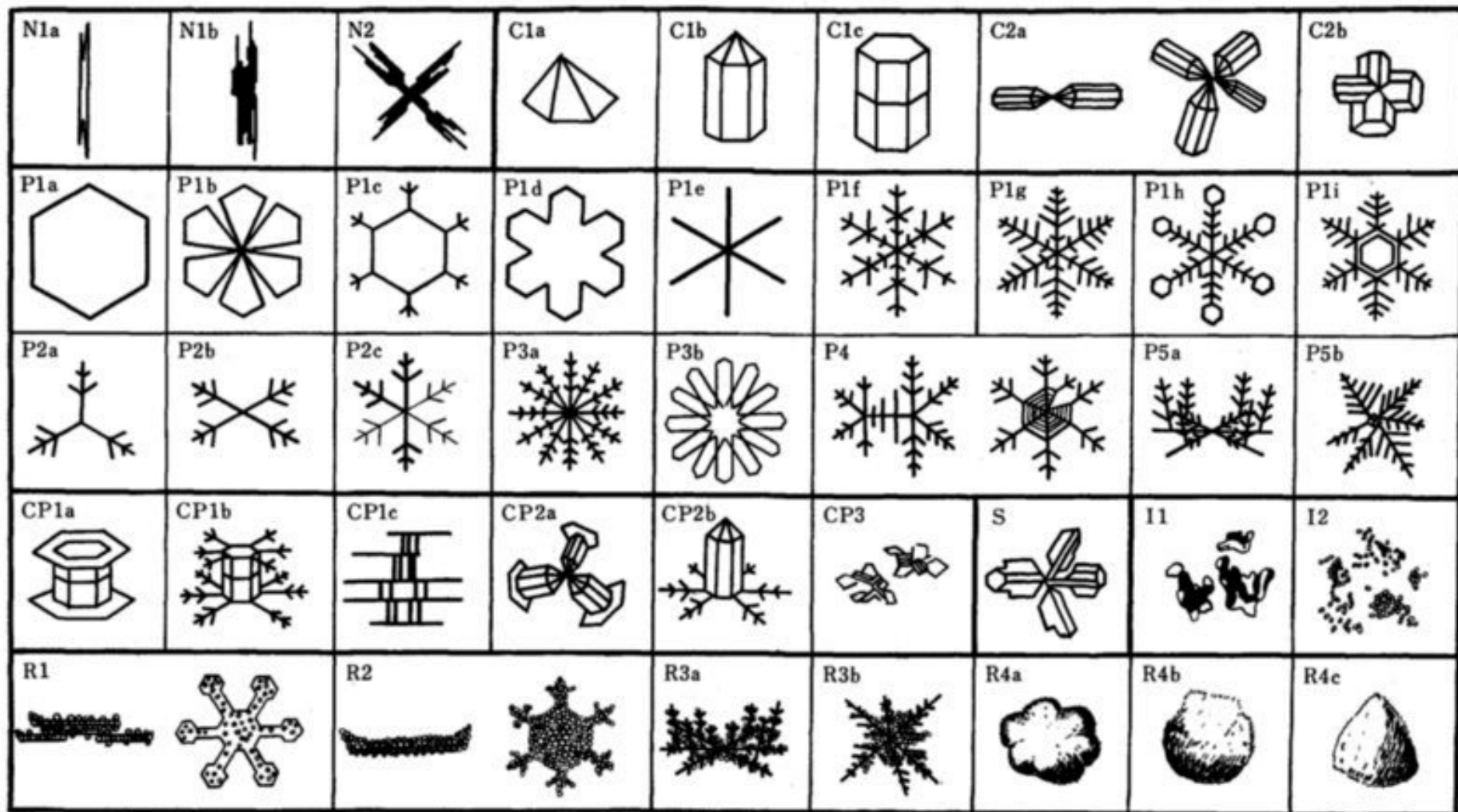
Скелетные кристаллы Галенит

Скелетный
вершинник,
выросший
в трещине
в известняках.

Германия



Скелетные кристаллы льда



Основные типы скелетных кристаллов льда.

Что такое снежинки? Это скелетные кристаллы льда, в основном вершинники

Скелетные кристаллы льда - снежинки

На этих кристаллах прекрасно читается история их роста, в основном обусловленная вариациями степени пересыщения и переохлаждения



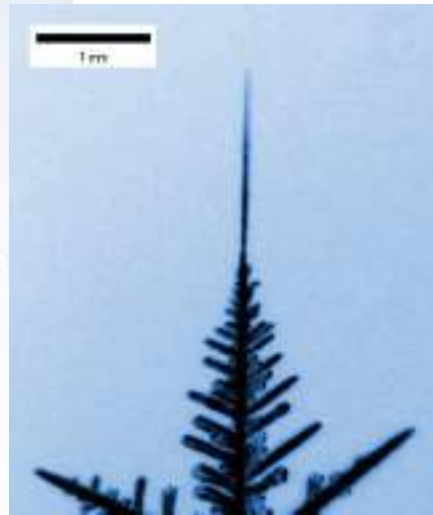
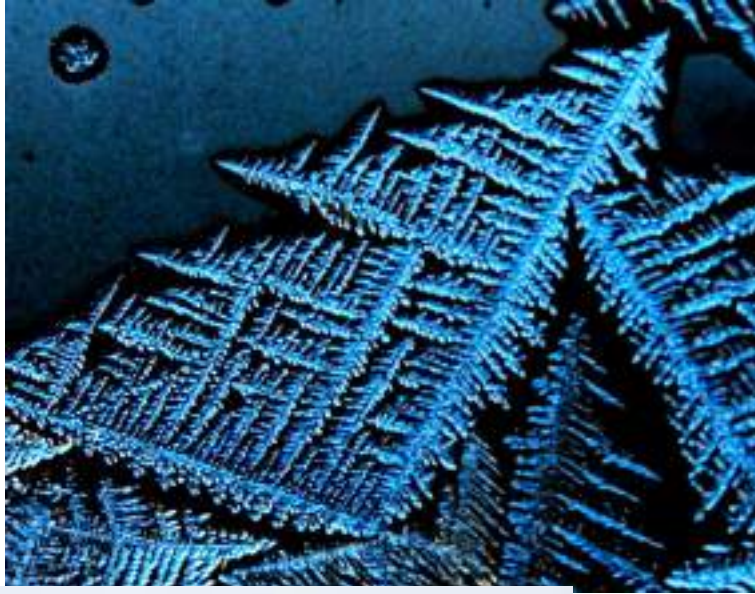
Скелетные кристаллы льда - снежинки

На этих кристаллах прекрасно читается история их роста, в основном обусловленная вариациями степени пересыщения и переохлаждения



Скелетные кристаллы льда

На этих кристаллах прекрасно читается история их роста, в основном обусловленная вариациями степени пересыщения и переохлаждения



Скелетные кристаллы льда

На этих кристаллах прекрасно читается история их роста, в основном обусловленная вариациями степени пересыщения и переохлаждения



Скелетные кристаллы льда

9 марта 2017 г. С-Петербург
Фото Е.В. Путинцевой



Скелетные кристаллы льда

9 марта 2017 г. С-Петербург
Фото Е.В. Путинцевой

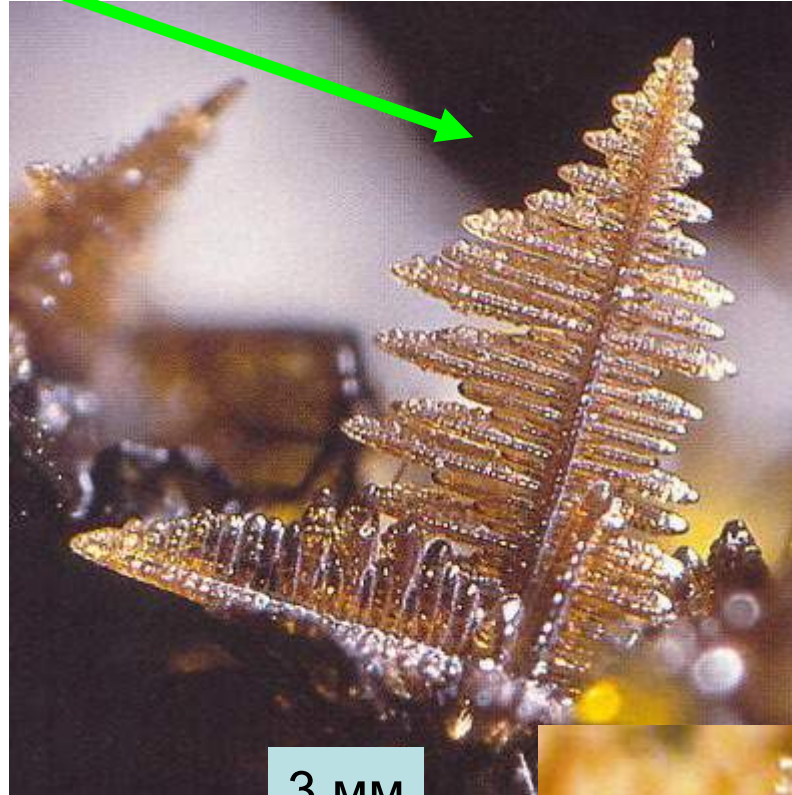


Скелетные кристаллы

Перовскит CaTiO_3

- титанит (сфен) CaTiSiO_5

2 мм



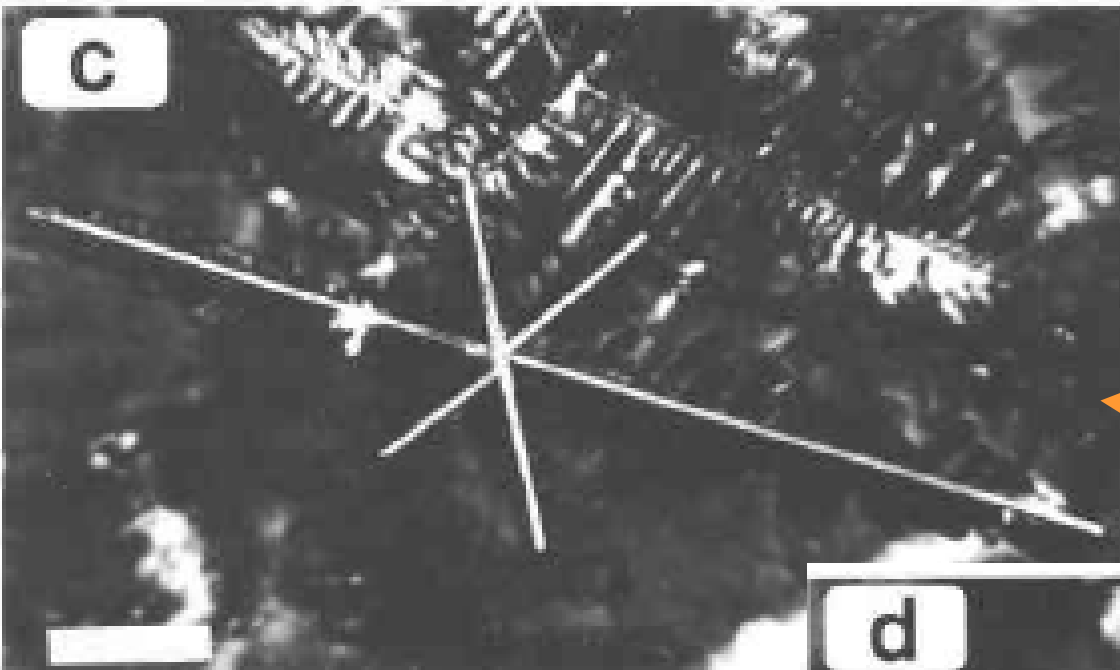
3 мм



Graulai, Эйфель, Германия

Скелетные кристаллы

β - кварц SiO_2



Линейка 100 микрон

Стекло

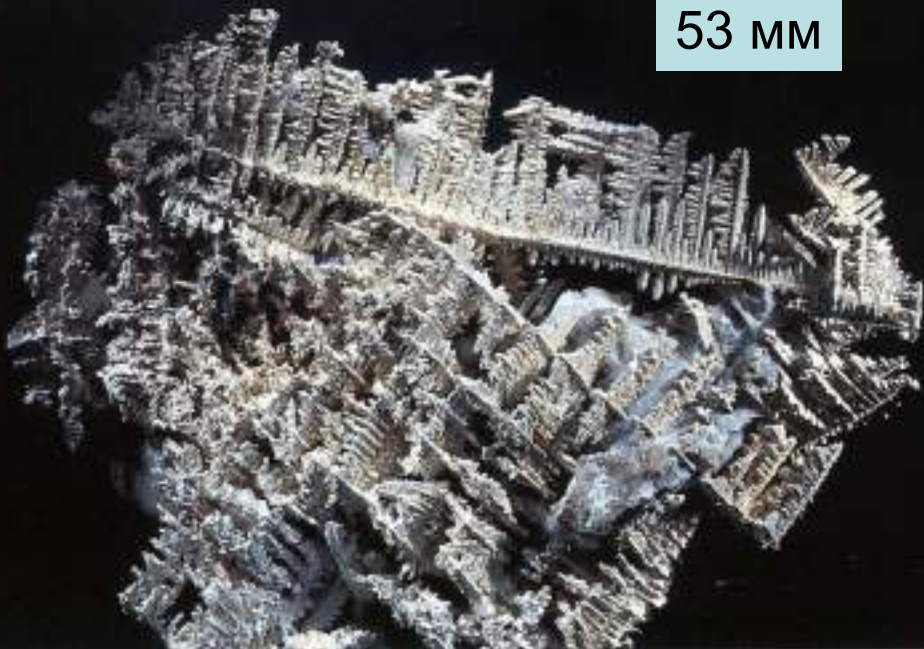


Swanson S.E., Fenn P.M.
Amer. Mineral. 1986.
Vol. 71. P. 331-342.

Скелетные кристаллы

Самородное серебро. U-Ag-Vi-Ni-Co формация Германии

53 мм



В
отраж.
свете.
Urberg

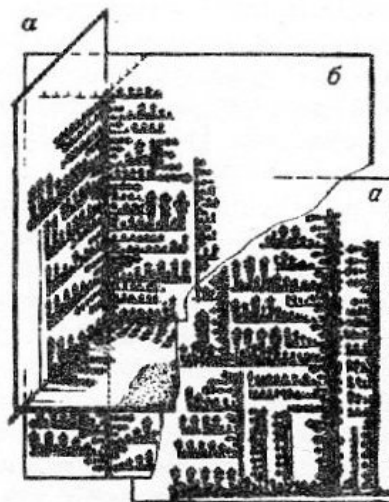


В раммельсбергите.
Яхимов, Чехия

На барите. Wittichen



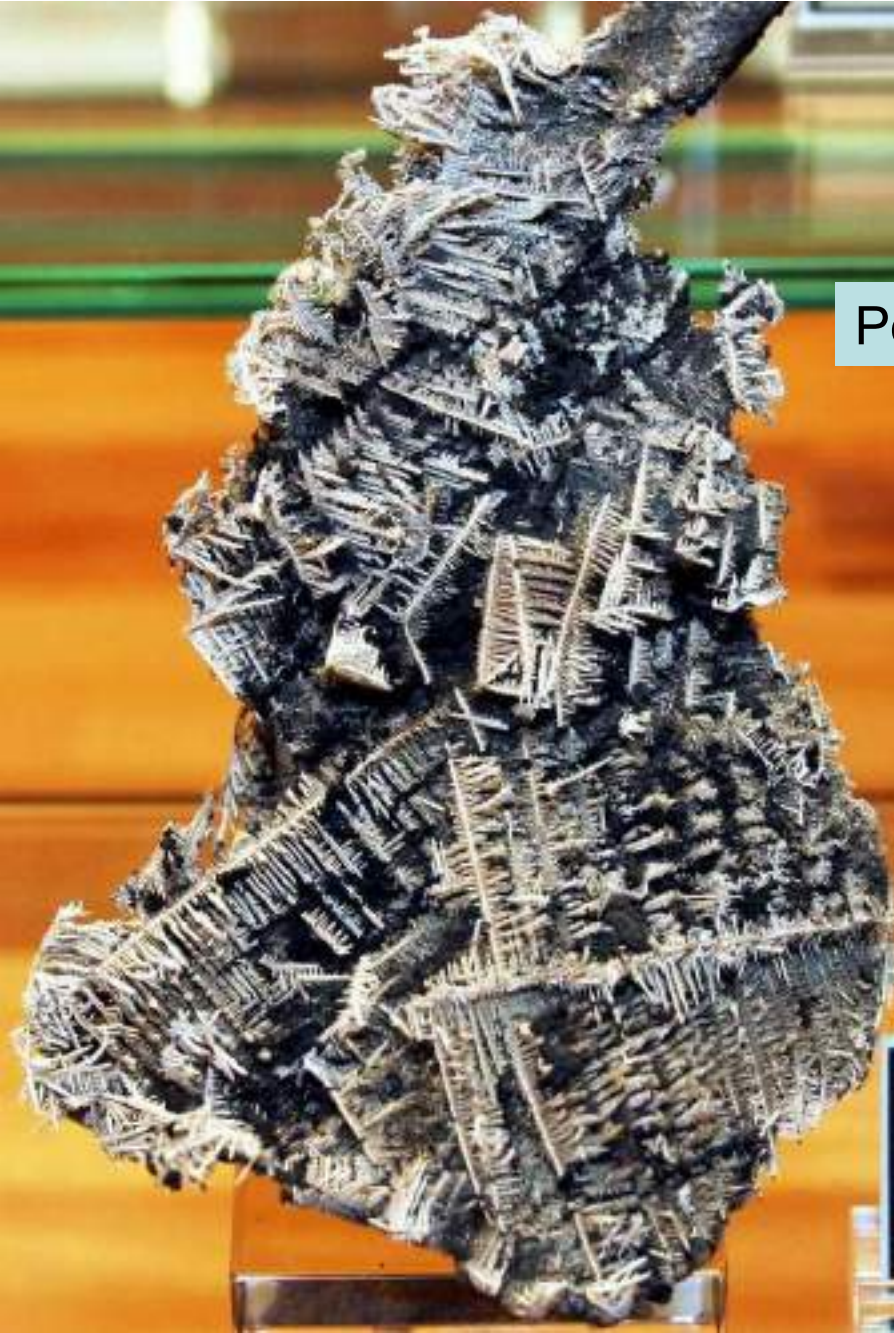
58 мм



Скелетные кристаллы

Самородное серебро.
U-Ag-Vi-Ni-Co формация
Германии

Pohla, Рудные горы, Саксония



70x50 мм. Потоси, Боливия

Скелетные кристаллы

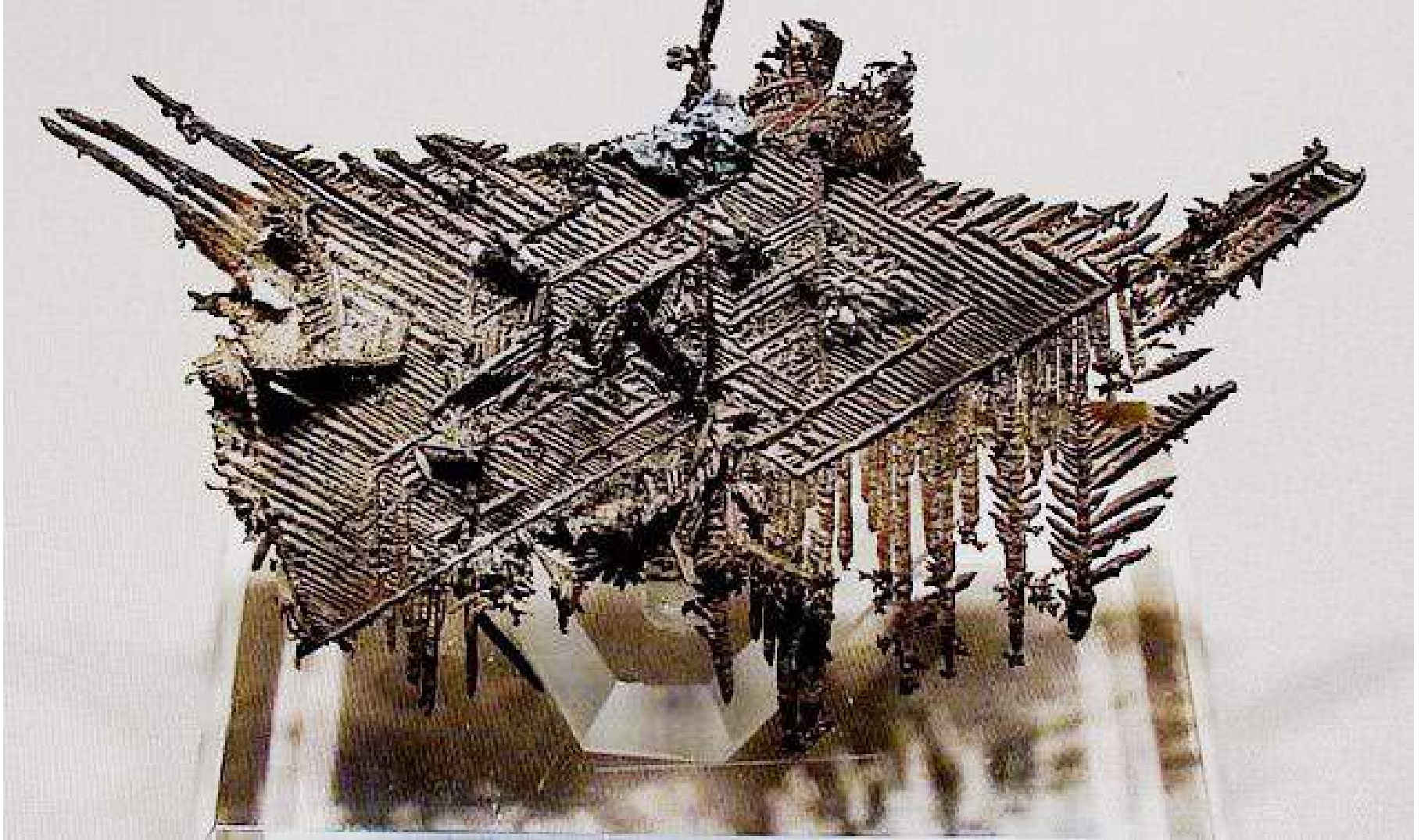
Самородное серебро. U-Ag-Vi-Ni-Co формация Германии

Pohla, Рудные горы, Саксония



Скелетные кристаллы

Самородное серебро

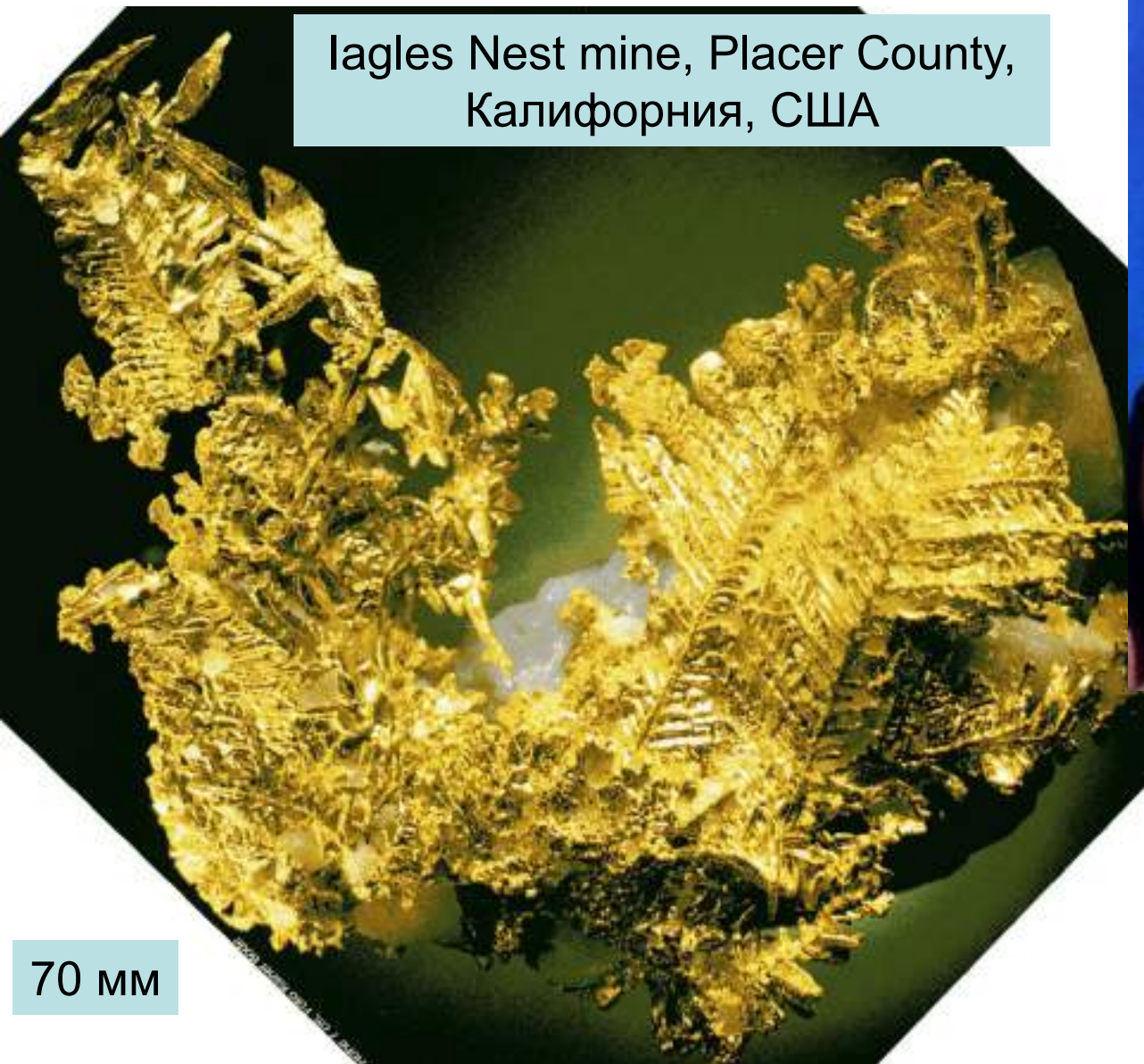


New Nevada mine, Batopilas, Чили

Скелетные кристаллы

Самородное золото

Iagles Nest mine, Placer County,
Калифорния, США



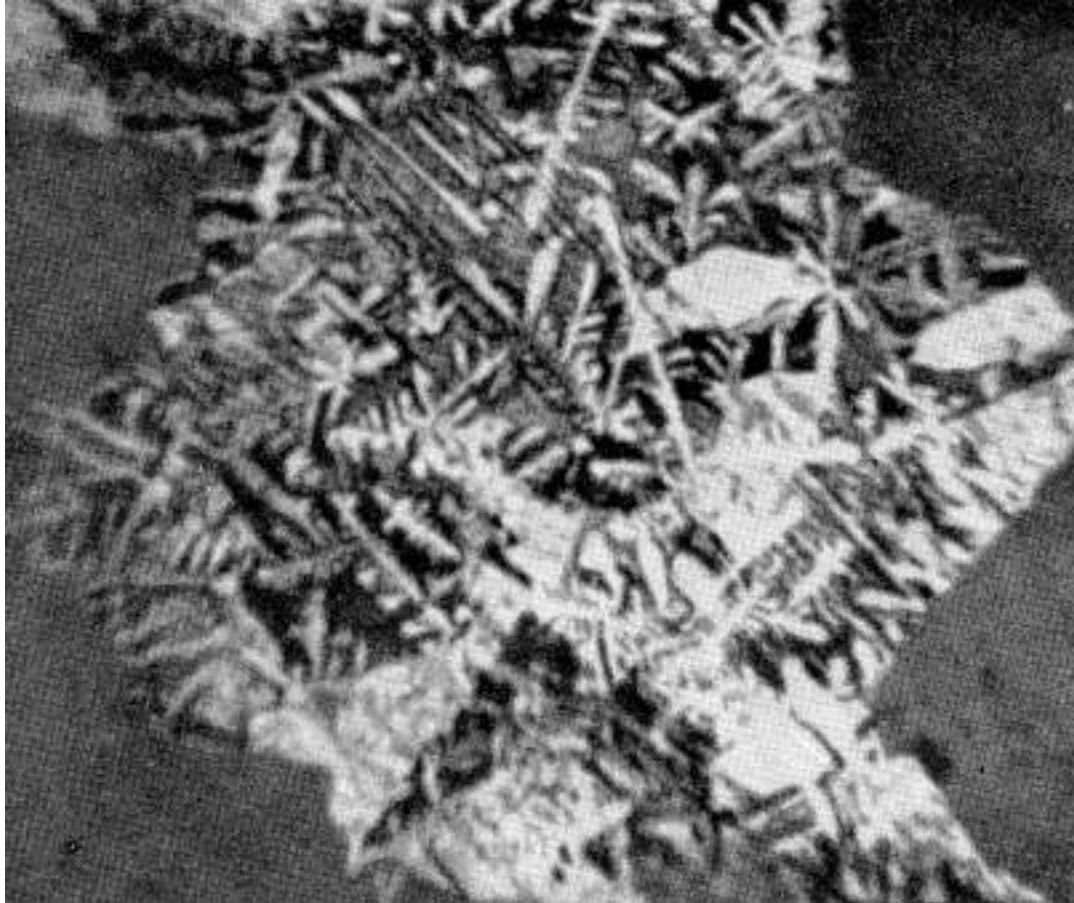
70 мм



Палладистое золото.
120 мм.
Девоншир,
Корнуолл, Англия

Скелетные кристаллы

Самородная платина



Скелетные кристаллы самородной платины - продукт окисления (выветривания) купроплатины (туламинита) среди феррихромита. 5 мм. В отражённом свете. Нижнетагильский массив, Урал.

Скелетные кристаллы

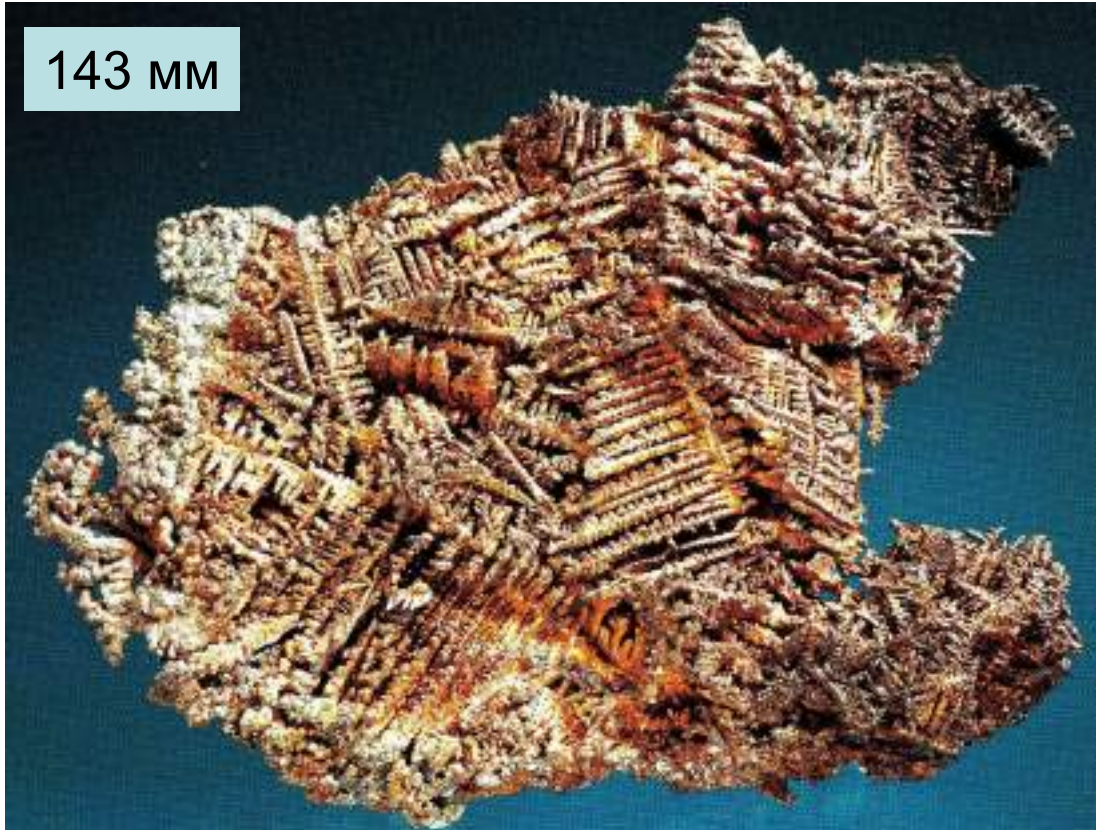
40 мм.
Цумеб,
Намибия

Самородная медь

143 мм

New Cornelia Pit mine, Ajo, Аризона, США

60 мм. С хризokolлой. Аризона
(украшения местных индейцев)



Скелетные кристаллы

Самородная сера –
возгоны подземных угольных пожаров



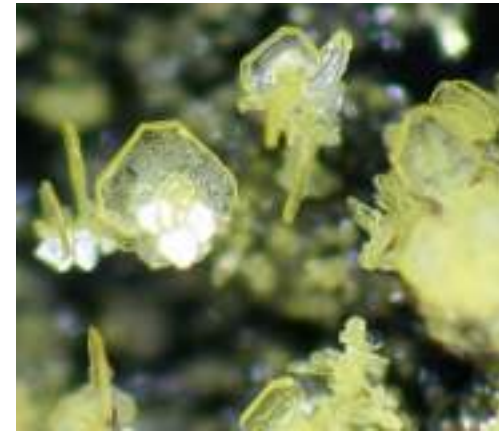
Вершинник



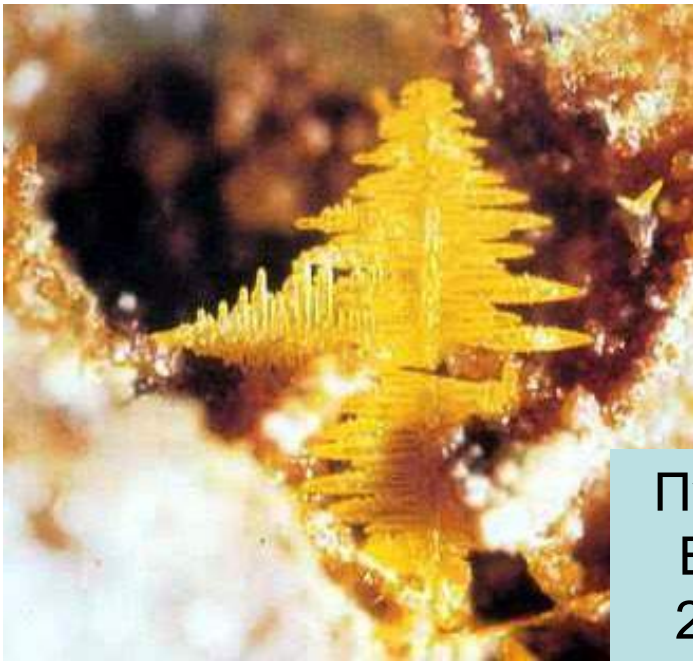
Рёберники
на
вершинники



Рёберники



Скелетные кристаллы минералов коры выветривания



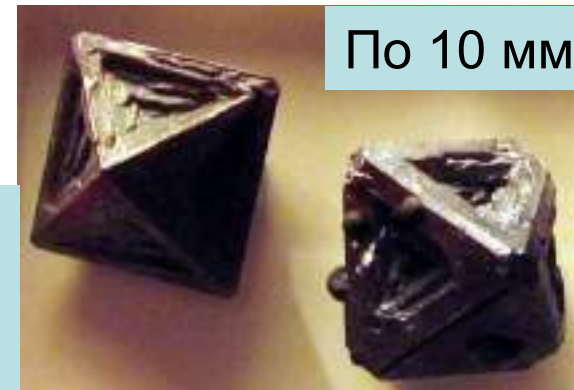
Деклузит-ванадат
Zn-Pb.
Намибия

Пухерит
 BiVO_4 .
2.5 мм



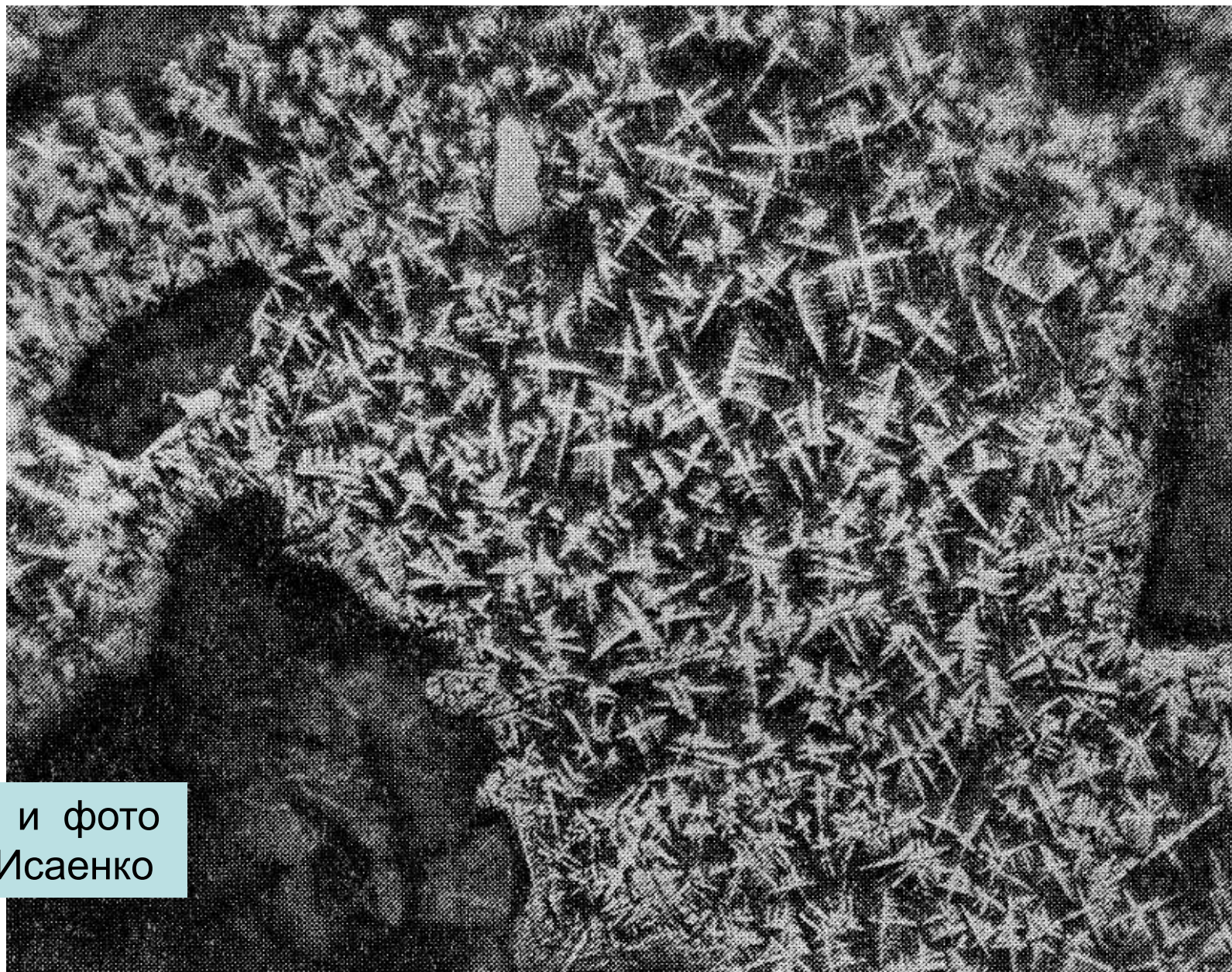
Марказит
50 мм.
Белая пустыня,
Египет

Куприт.
Потеряевский
рудник, Алтай



По 10 мм

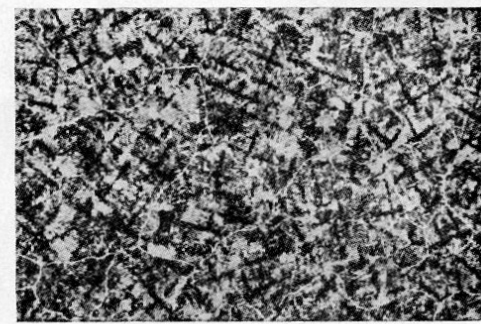
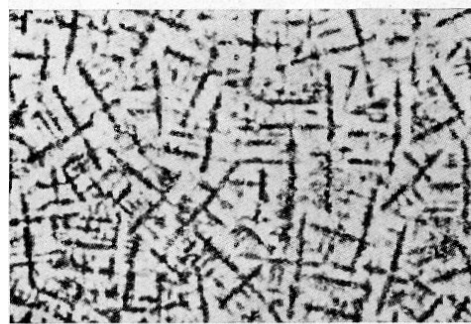
Скелетные кристаллы алтаита $PbTe$



Колл. и фото
М.П. Исаенко

Алтаит в кальците. Классические вершинники. 4 мм. Кафан, Армения

Скелетные кристаллы когенита Fe_3C

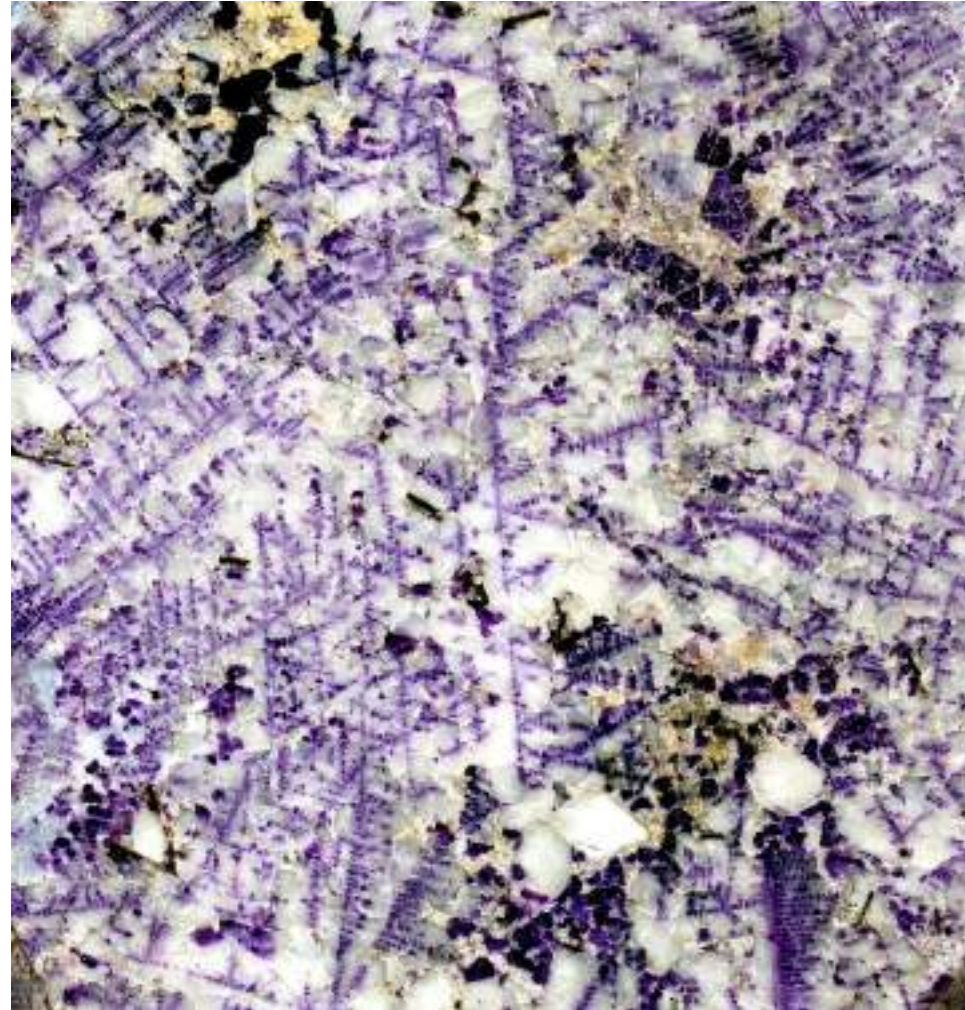


Классические вершинники. В стальной отливке

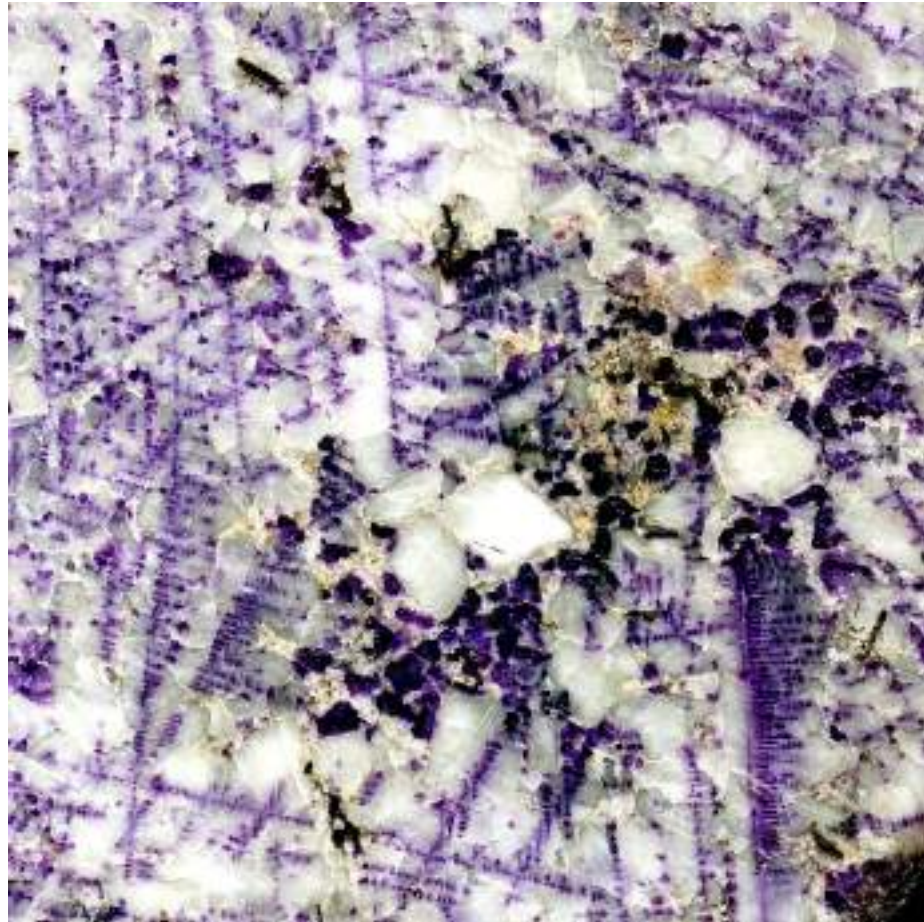
Скелетные кристаллы флюорита CaF_2

в карбонатитах Алайского хребта

46x44 мм

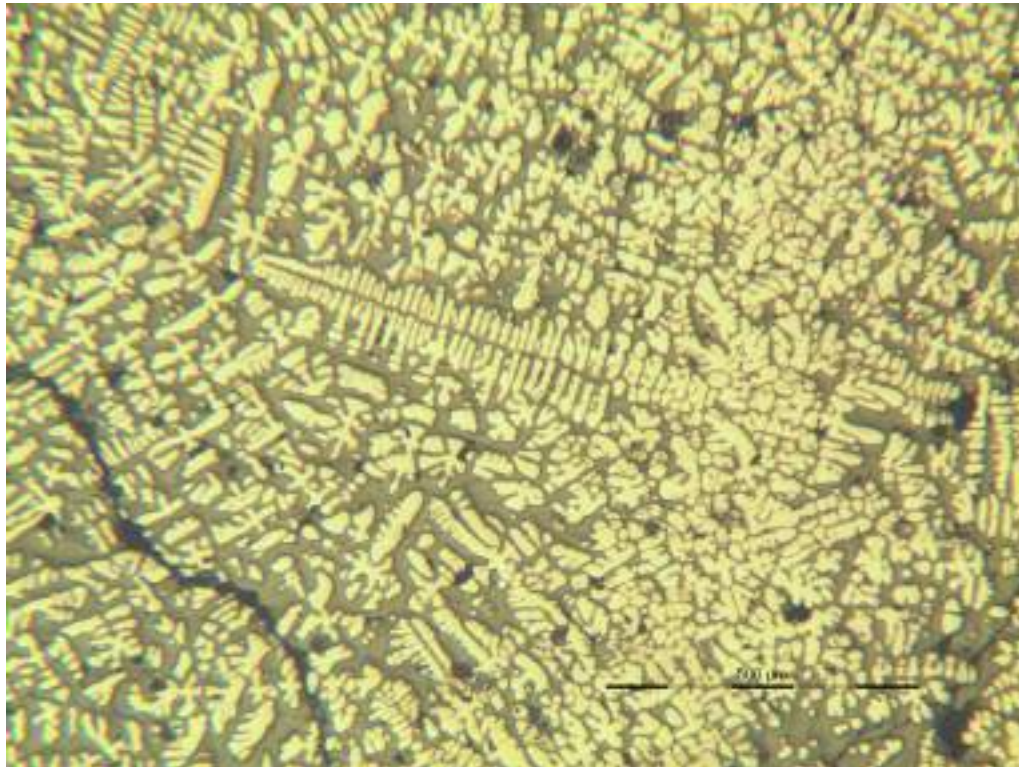


30x30 мм



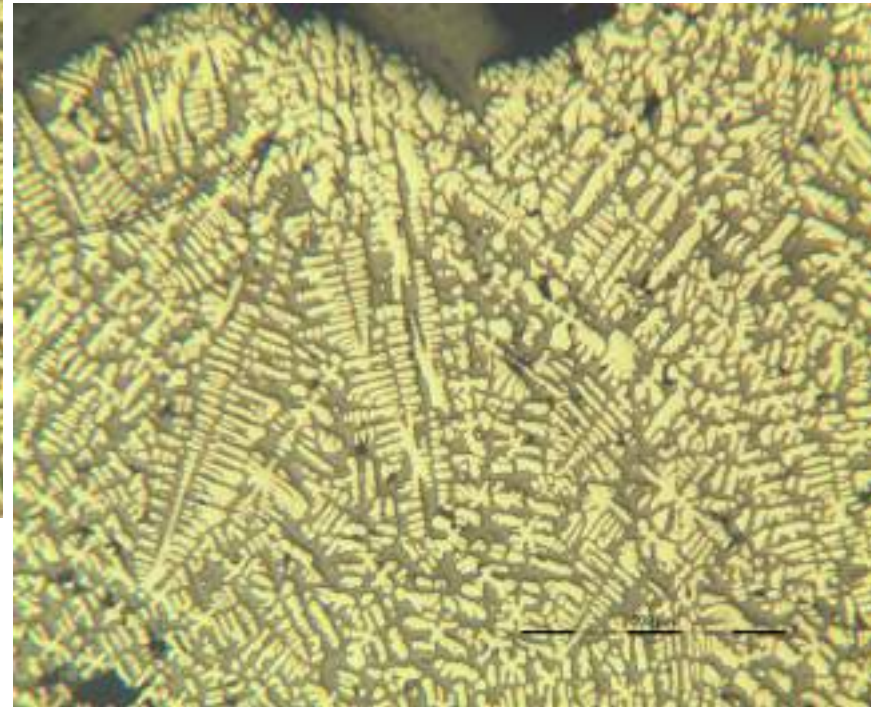
Скелетные кристаллы вюстита FeO

в шлаках древних металлургов (1000 лет до РХ). Болгария



Линейка 0.5 мм

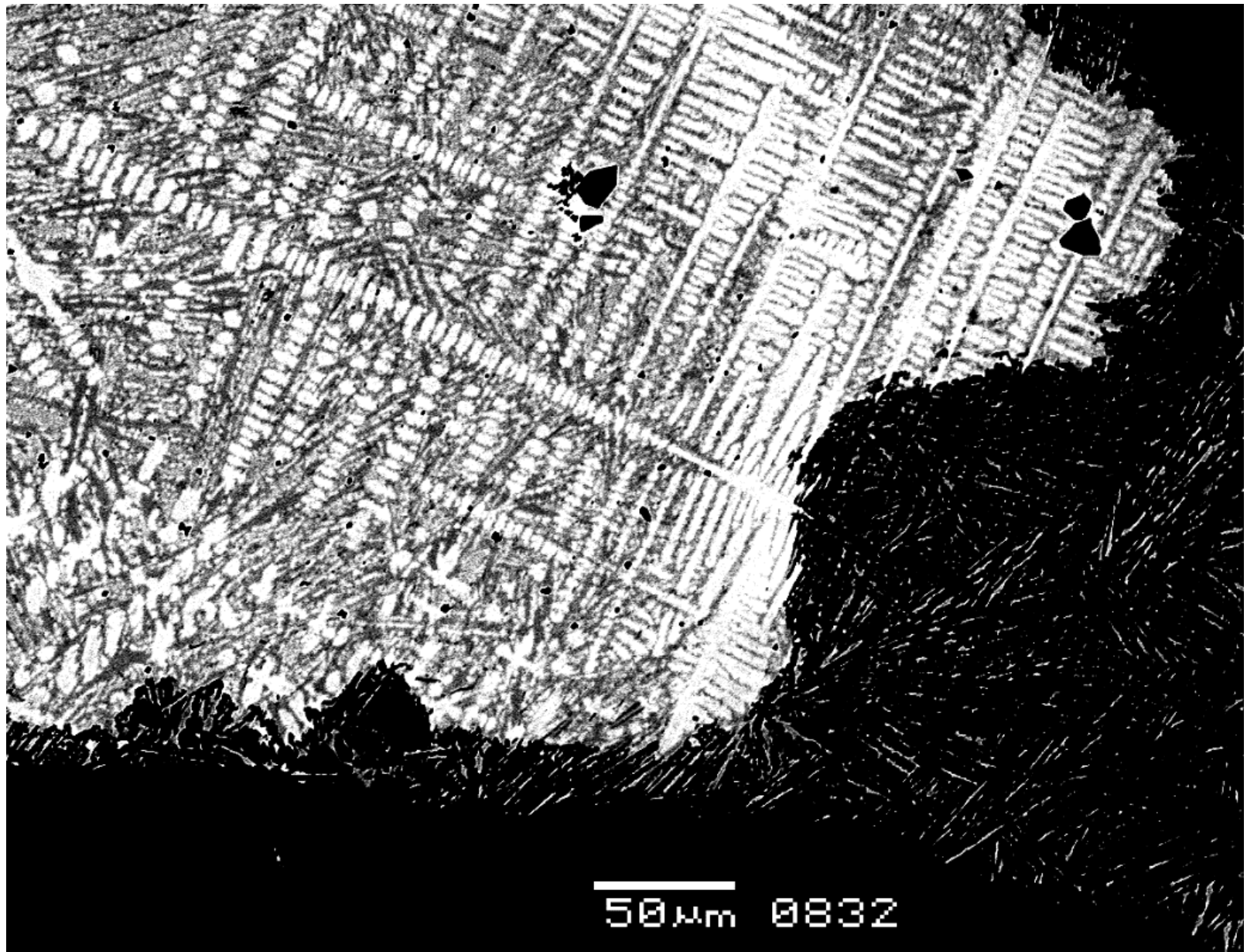
Фото Д.Я. Янакиевой



Фотографии в отражённом свете. При 1 николе

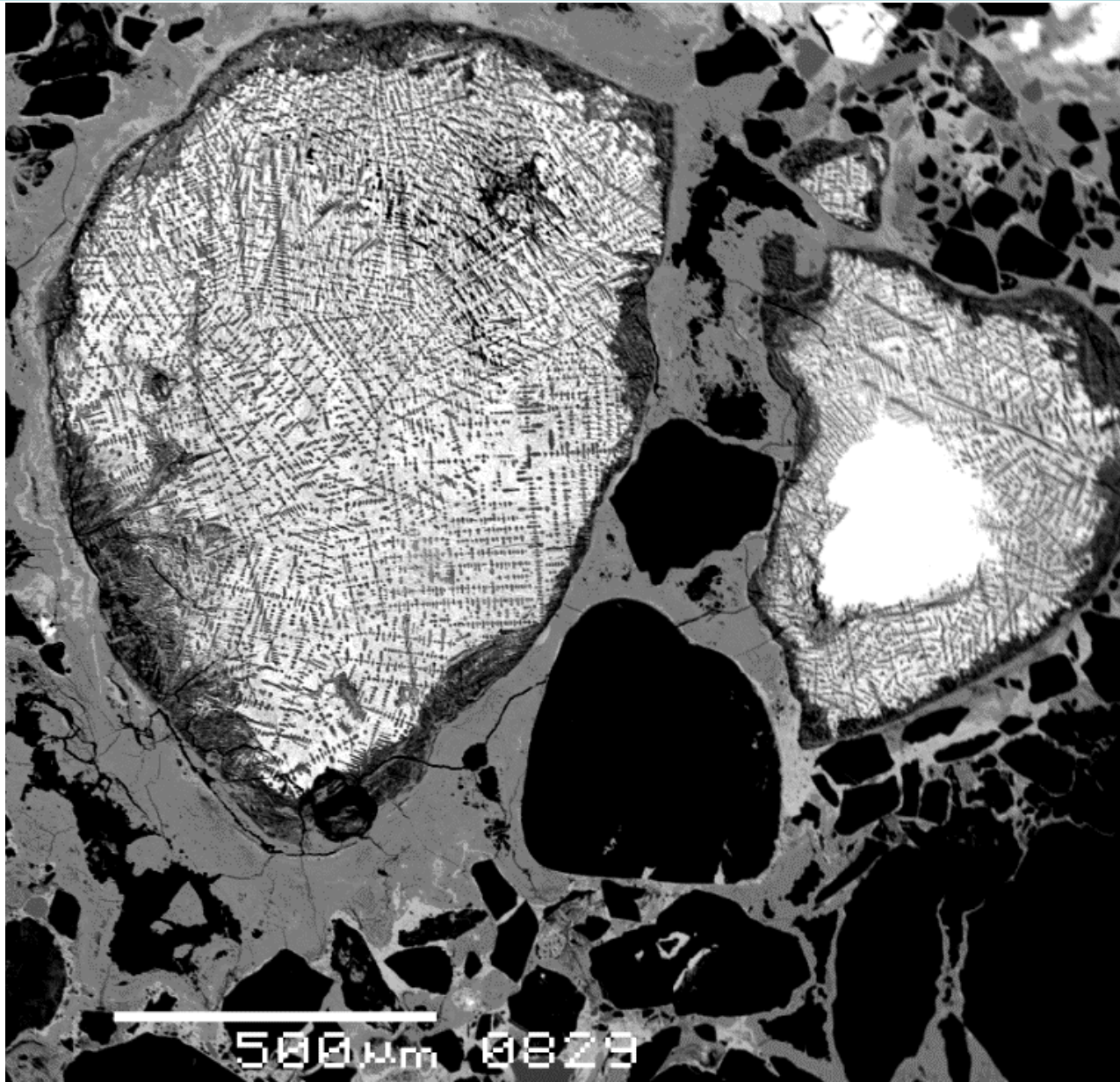
Скелетные кристаллы вюстита FeO

в современных металлургических шлаках



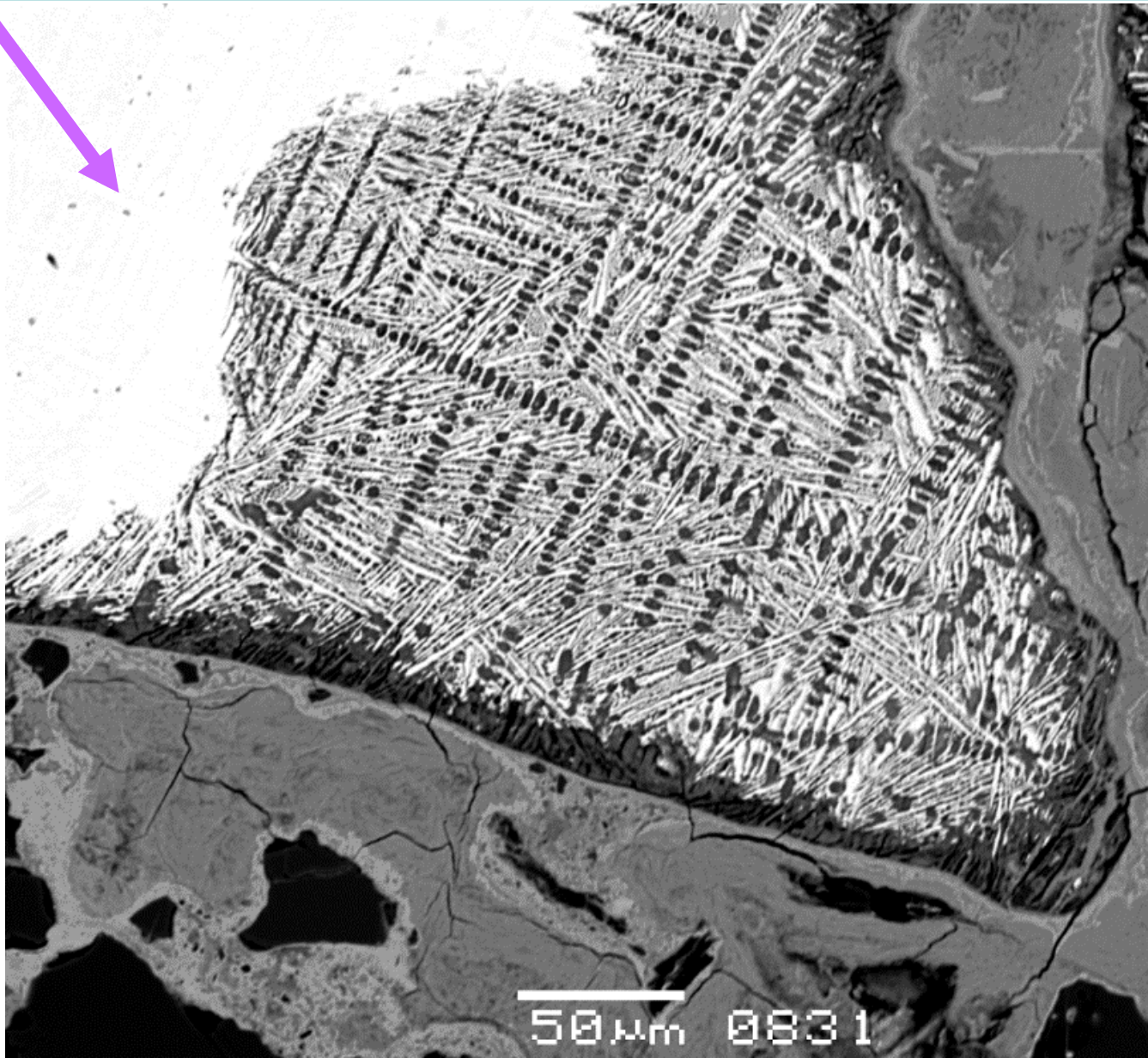
Скелетные кристаллы когенита Fe_3C

в каплях железа в современных металлургических шлаках



Скелетные кристаллы когенита Fe_3C

в каплях железа в современных металлургических шлаках



Скелетные кристаллы титаномагнетита

Коматииты зеленокаменного пояса

Абитиби, Канада



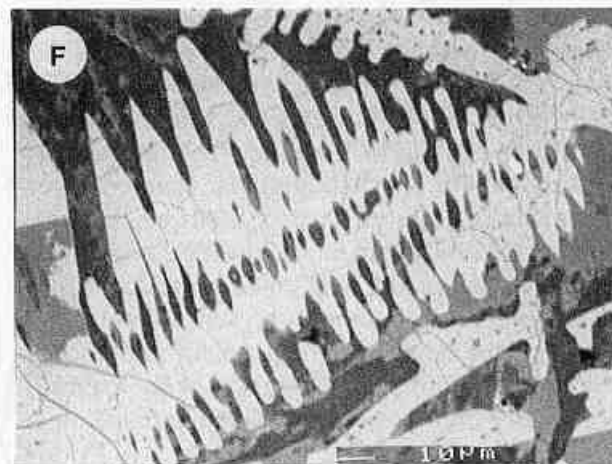
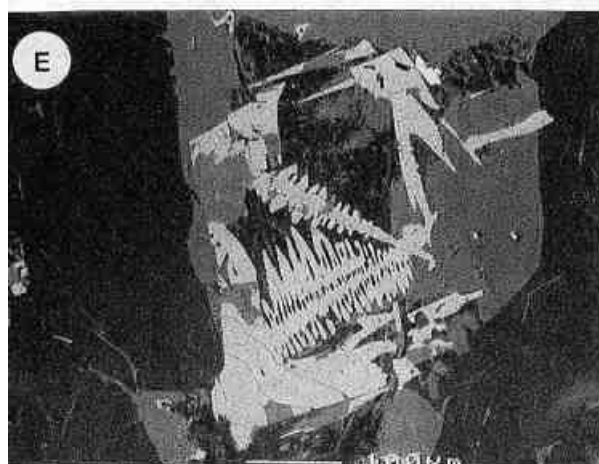
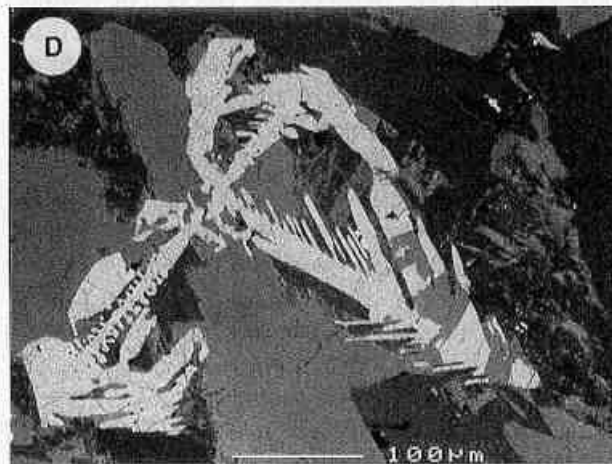
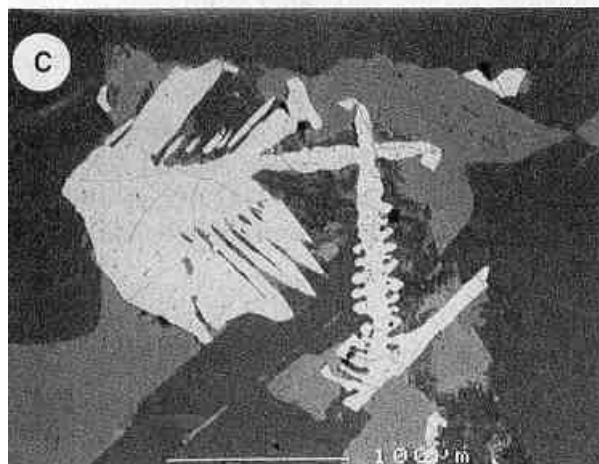
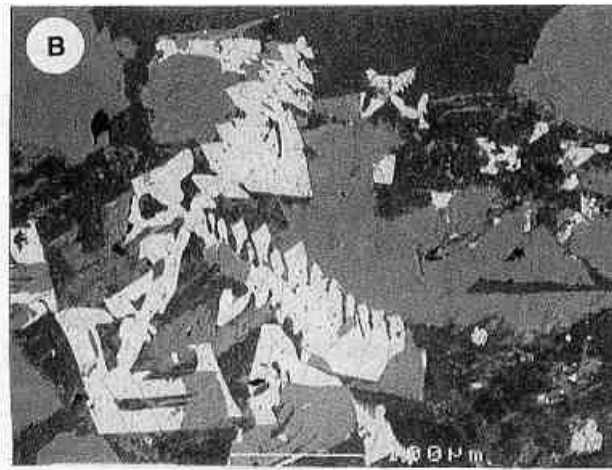
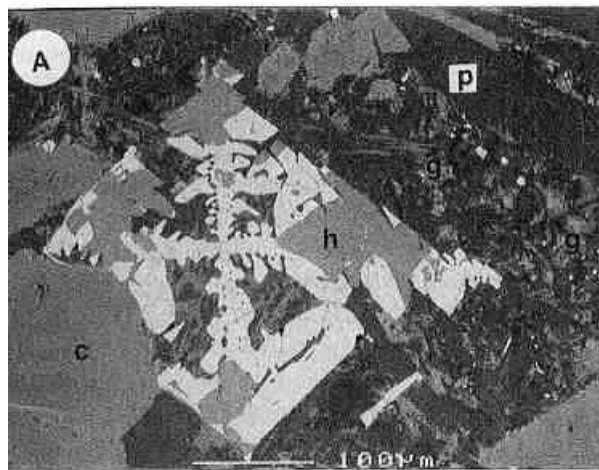
В проходящем свете
при 1 николе.
Фото ЭМС

Скелетные кристаллы. Титаномагнетит В долерито- базальтах.

Квебек, Канада

Кристаллы –
скелетные
вершинники
и рёберники.

Kretz R., 2003
Canad. Mineral.
Vol. 41. P. 1049-1059



Скелетные кристаллы

Шпинель - галаксит

В отражённом свете



Скелетные кристаллы

Шпинель - галаксит

В отражённом свете



Скелетные кристаллы магматического кальцита в ийолитах. Чик-Хем, Сангилен, Тува



в кристаллах
чёрно-
зелёного
клинопироксена
- эгирин-
ферросалита

Фото ЭМС

Скелетные кристаллы магматического кальцита в ийолитах. Чик-Хем, Сангилен, Тува

в кристаллах чёрно-зелёного клинопироксена - эгирин-ферросалита

24x18
мм



Фото
ЭМС

Скелетные кристаллы магматического кальцита в ийолитах. Чик-Хем, Сангилен, Тува

Два поколения скелетных кристаллов кальцита
в кристаллах чёрно-зелёного клинопироксена - эгирин-ферросалита



Фото
ЭМС

25x17
мм

Скелетные кристаллы

Касситерит

Тридимит в продюшинах вулканитов

2 мм



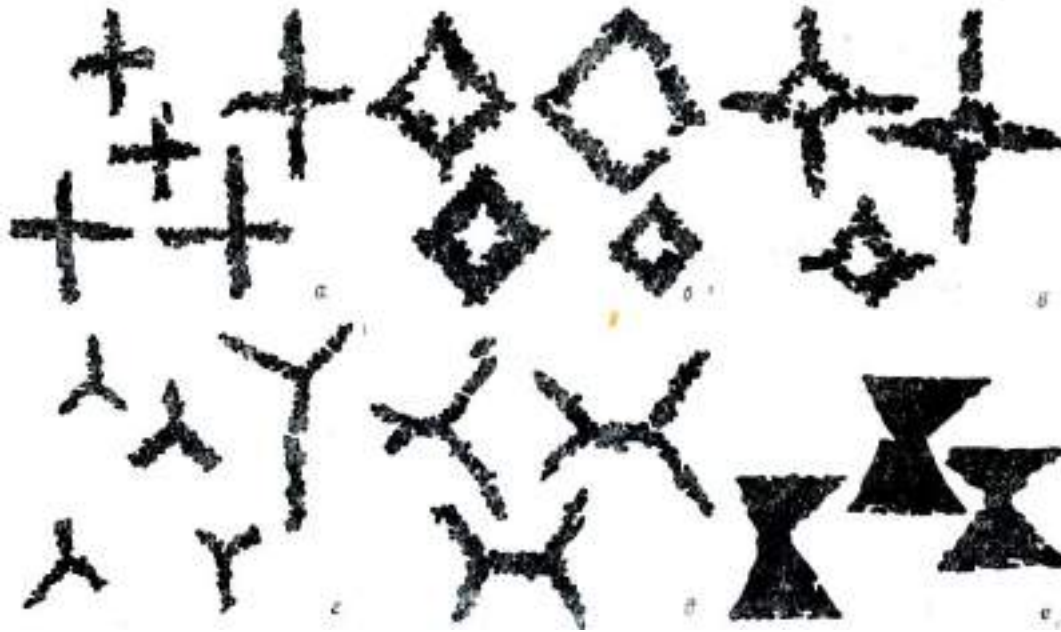
Bellerberg,
Эйфель, Германия



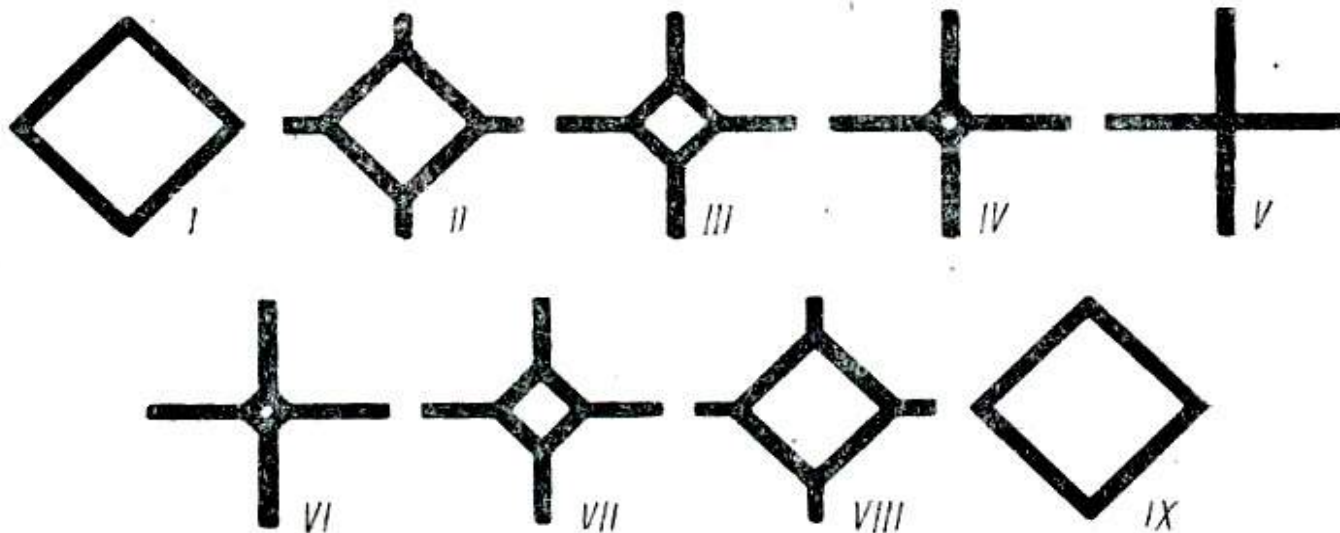
110 мм. Kirengo, Руанда

Скелетные кристаллы.

Сфалерит



Тельца распада в халькопирите



Скелетные кристаллы



Рёберники пирита. Угольное месторождение Боровичи,
Новгородская область

Скелетные кристаллы

Fig. 112.

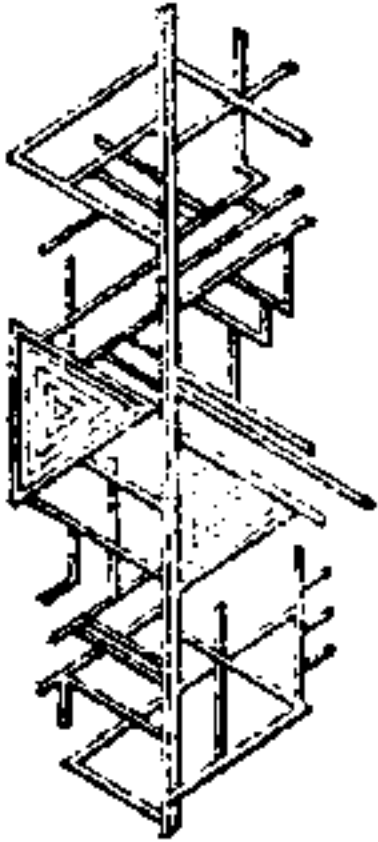


Fig. 113.

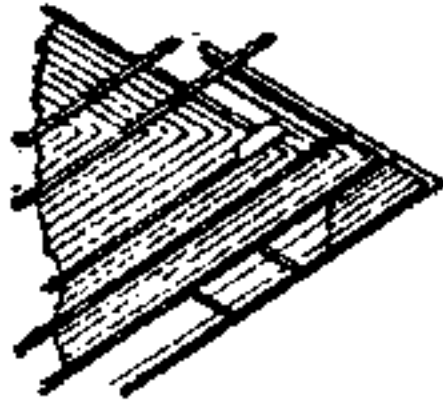
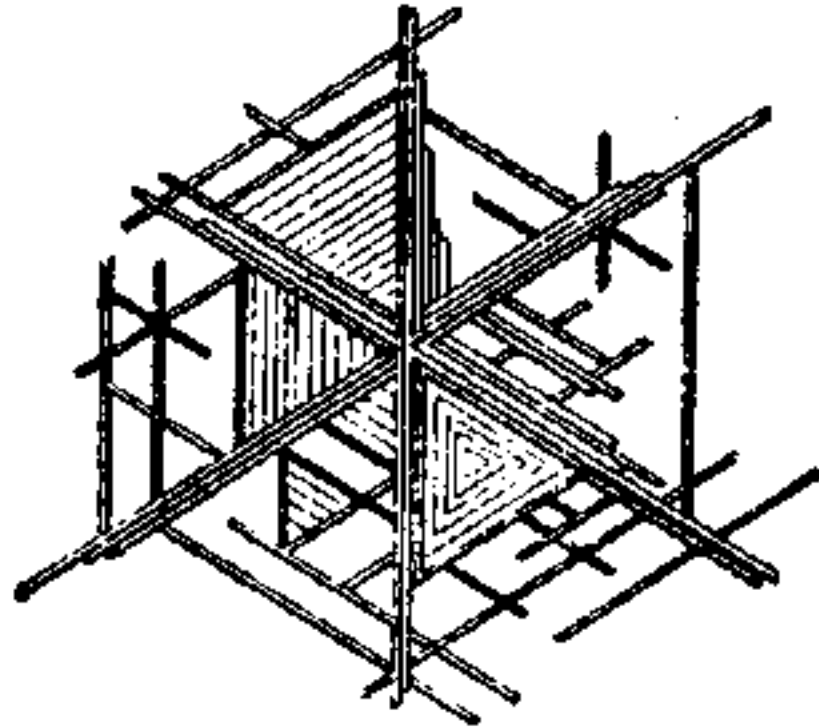


Fig. 114.



Рёберники халькопирита

Скелетные кристаллы. Самородное серебро

Fig. 26.

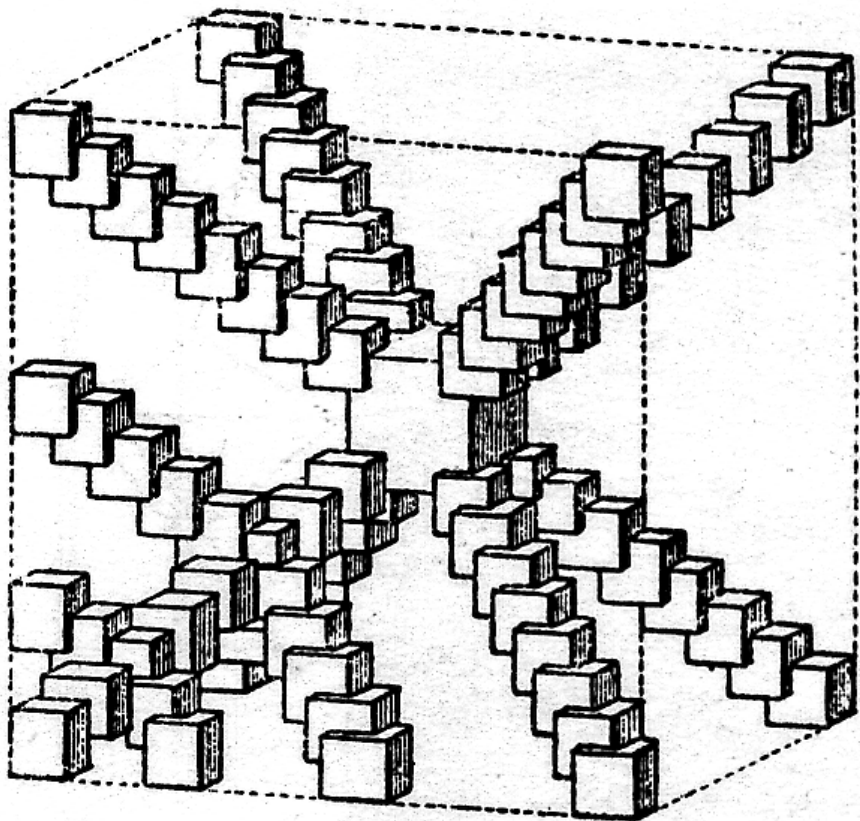
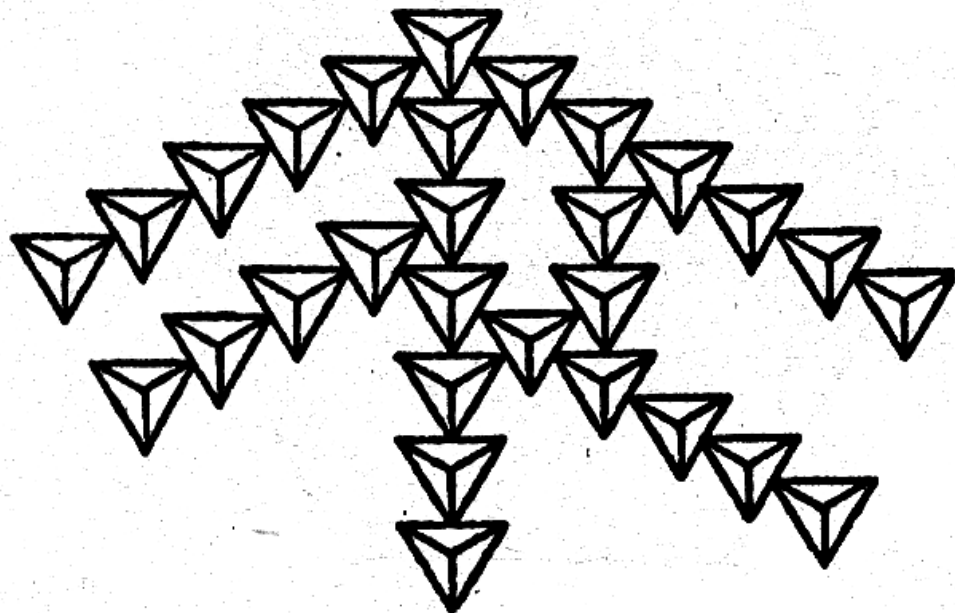
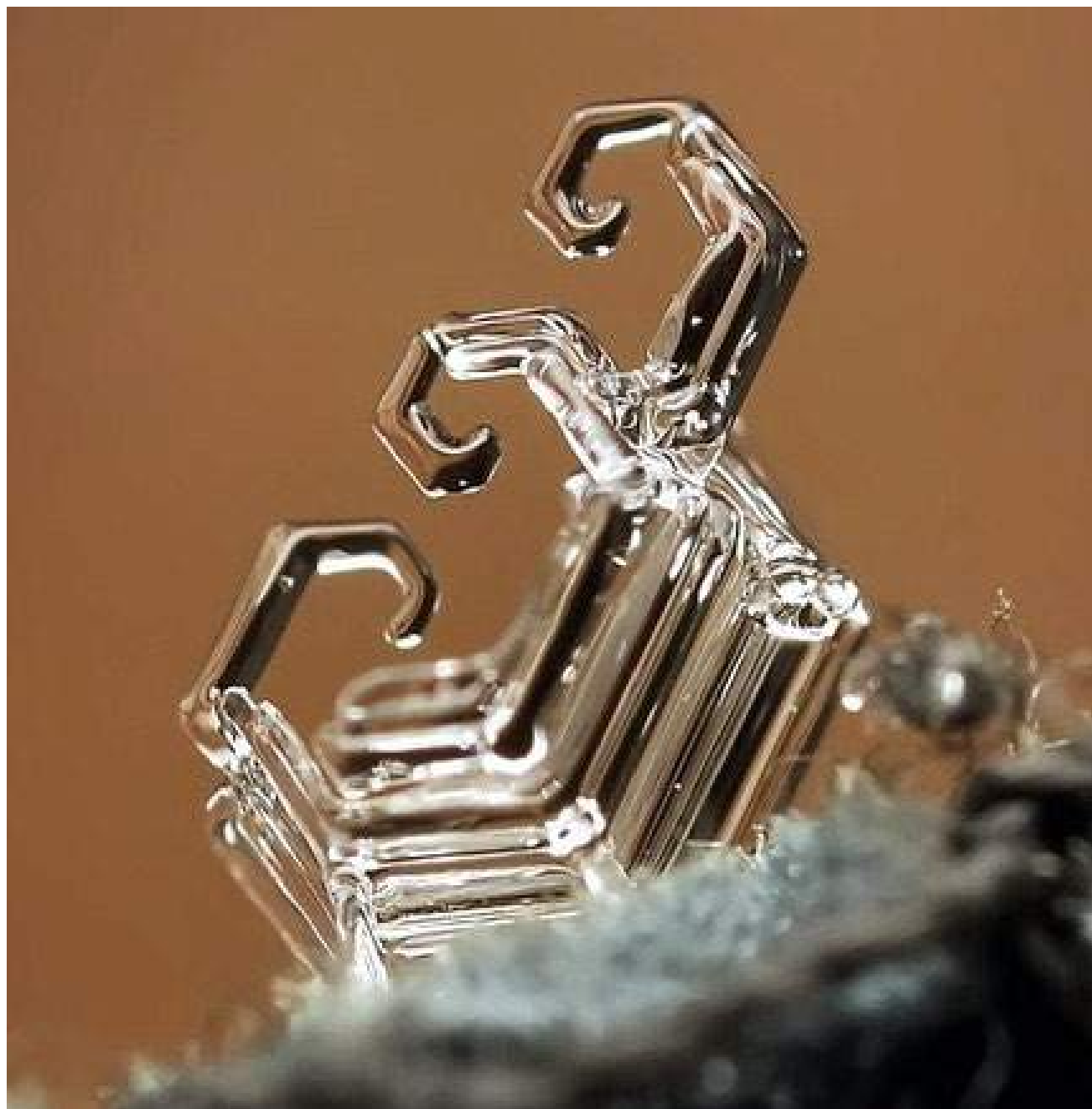


Fig. 45.



Скелетные кристаллы льда

Классический
рёберник
с выclinкой.
Причина –
диффузное
голодание
в конце
процесса
кристаллизации



Скелетные кристаллы рутила в эклогитах Максютковского комплекса, Южный Урал

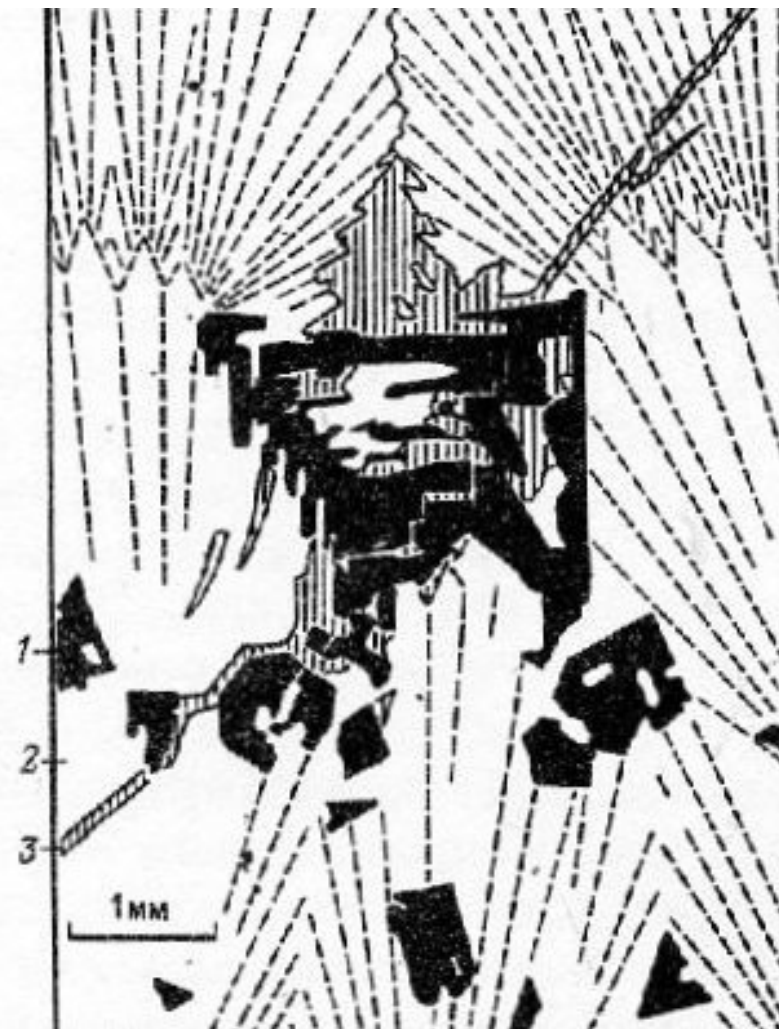


В агрегатах омфацита. При 1 николе.
Освещение обычное

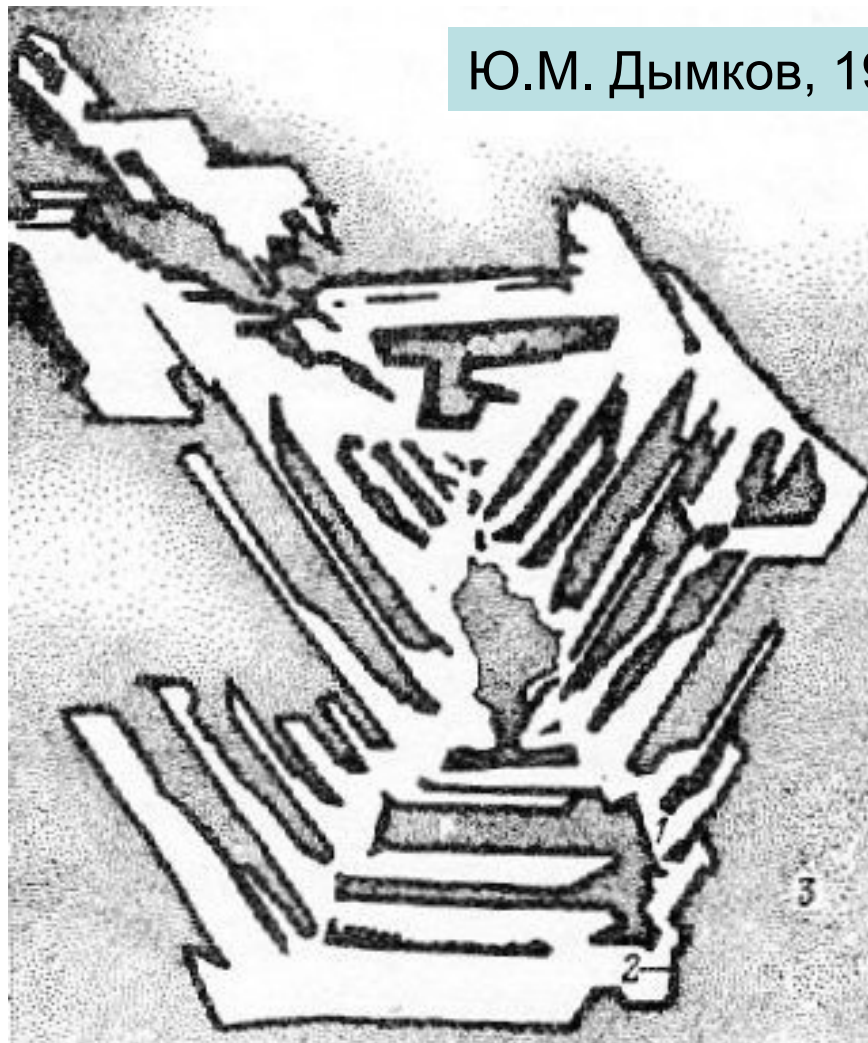


При 1 николе.
Освещение интенсивное. Фото ЭМС

Скелетные кристаллы



Рёберники галенита (чёрный)
в кальците (2).
Поздний доломит (3).
Пршибрам, Чехия



Ю.М. Дымков, 1985

Рёберник висмута
с оторочкой сафлорита (2)
в мышьяке (3).
Пршибрам, Чехия

Скелетные кристаллы

Сфалерит



1.5
MM

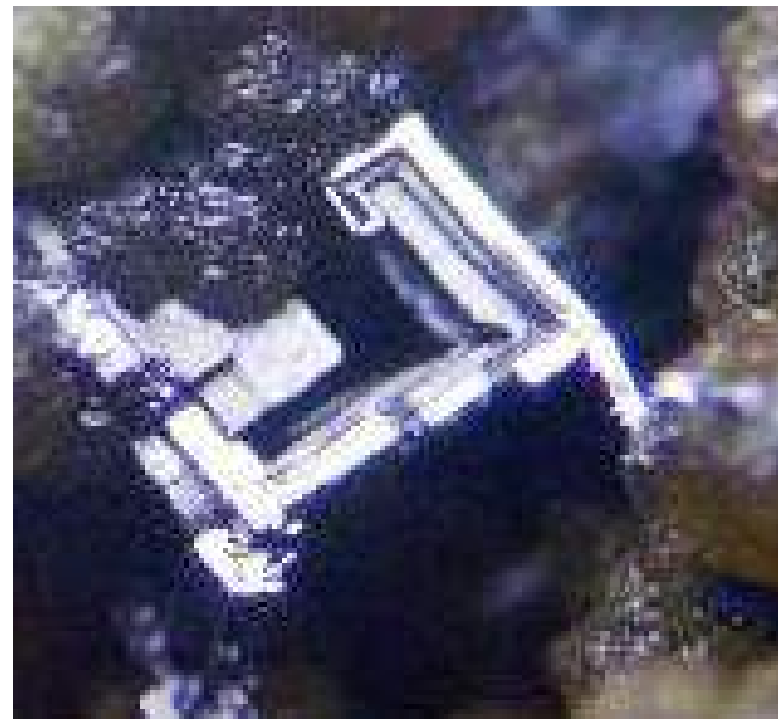
The image is a scanning electron micrograph (SEM) showing several elongated, tubular crystals of sphalerite. The crystals are light gray against a dark background. One crystal in the center-right is broken, revealing a hollow interior. The crystals vary in length and orientation, some appearing as thin rods and others as thicker, more complex structures. A scale bar in the bottom left corner indicates a length of 1.5 mm.

Полые трубчатые кристаллы
из возгонов подземного угольного
пожара. Рават. Таджикистан

Скелетные кристаллы

Галенит

0.4 мм

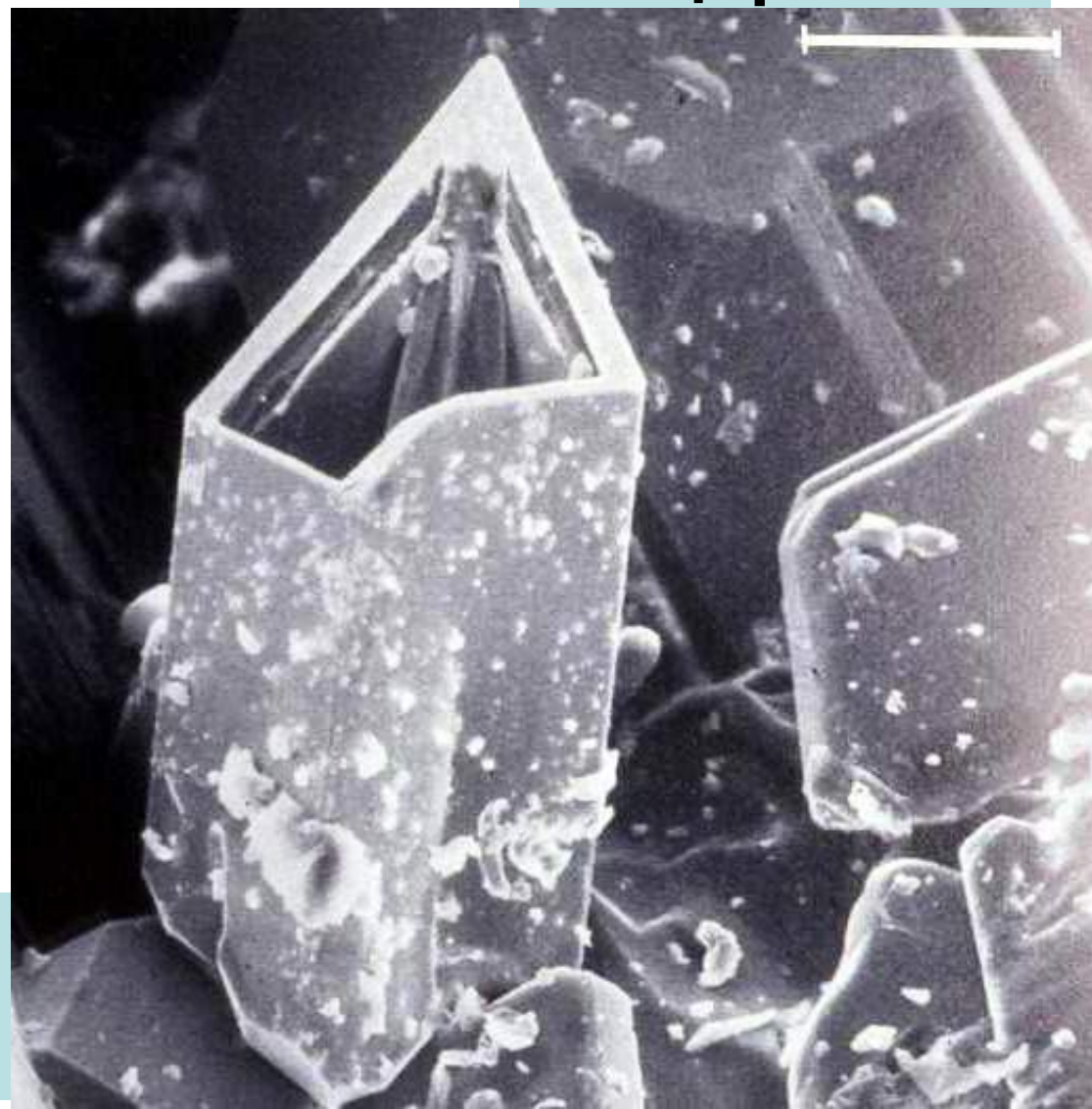


San Giovanni mine,
Сардиния, Италия

Рёберник из возгонов
подземного
угольного пожара.
Рават, Таджикистан

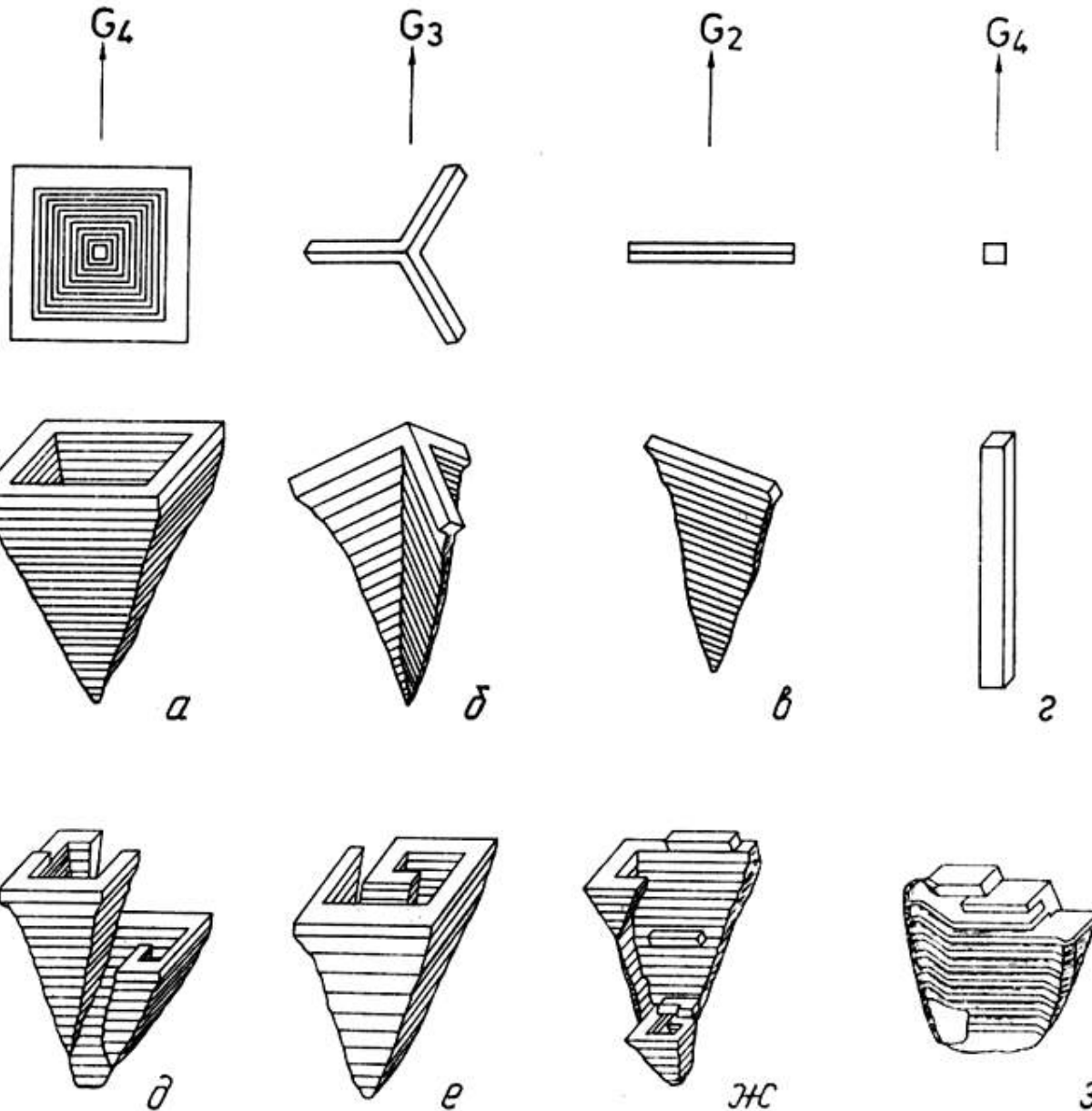


в продушинах четвертичных трахитов. Эйфель, Германия.
Линейка 10 микрон



Чем больше анизотропия скоростей роста граней, встречающих поток и \parallel потоку, тем более вытянут реберный скелет. При направлении потока под углом к удлинению образуется воронкообразный индивид с боковой щелью

Скелетные кристаллы галенита



Маданское
рудное поле.
Родопы.
Южная
Болгария

Бонев И., Горова М.,
1972

Скелетные полые кристаллы

Псевдобрукит Fe_2TiO_5



1.5 мм



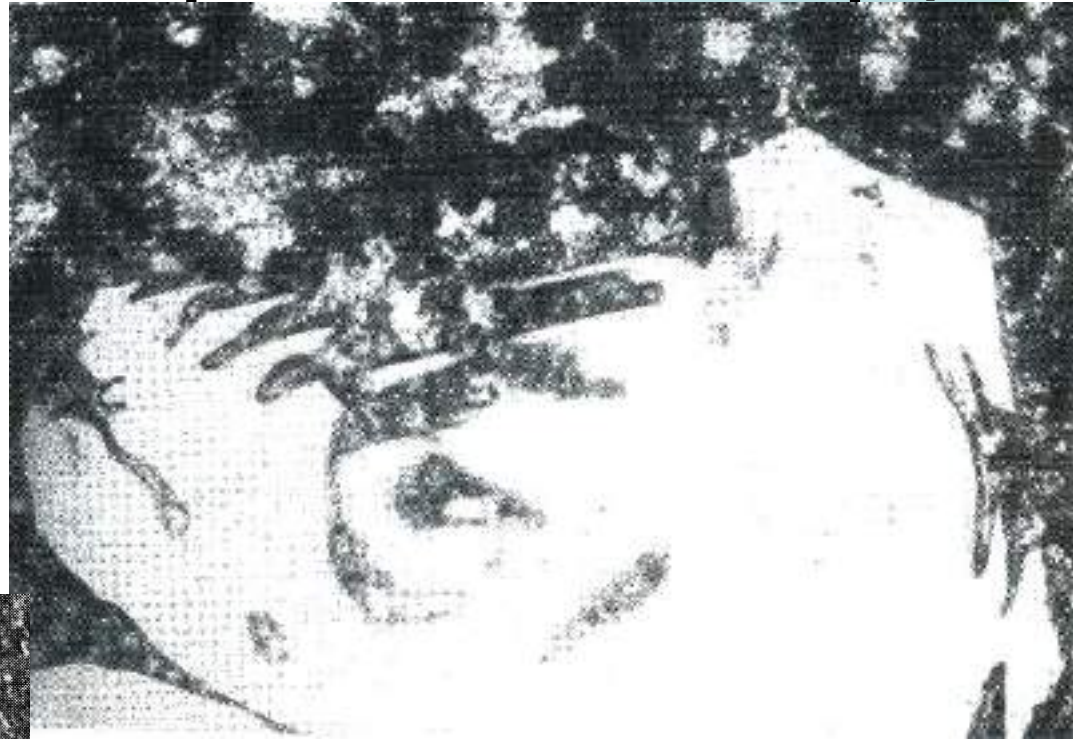
2 мм

в продушинах четвертичных трахитов. Emmelberg, Эйфель, Германия

Скелетные кристаллы

Кварц

Вкрапленник в риолитах.
Шлиф при 1 николе



Вкрапленник в гранит-порфирах.
Каибский плутон,
Центральный Казахстан.
Шлиф при 1 николе.
Поле зрения 2 мм.



Скелетные кристаллы

Кварц



165x110 мм.
Альпийские жилы.
Биннталь, Швейцария



Гранитные
пегматиты
.Бразилии.
Музей «Земля и
люди». София

Скелетные кристаллы кварца

Гранитные пегматиты
.Бразилии.
Музей «Земля и люди». София.



Скелетные кристаллы авгита

Долериты Микчинды.
Трапповая формация
Восточно-Сибирской платформы



152x83 мм

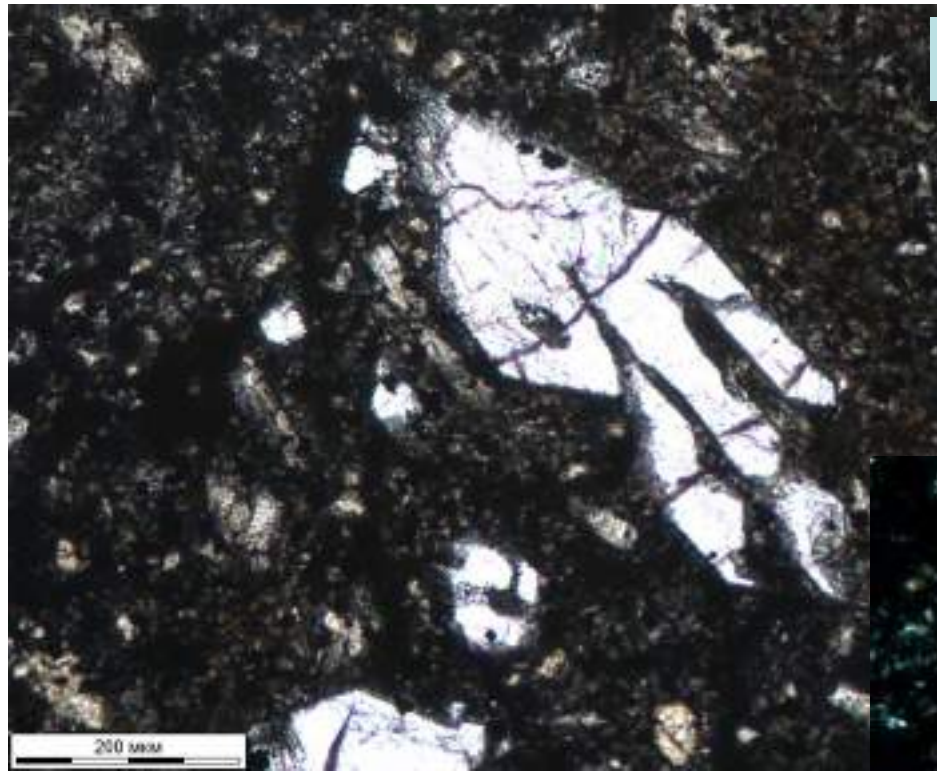


92x59 мм

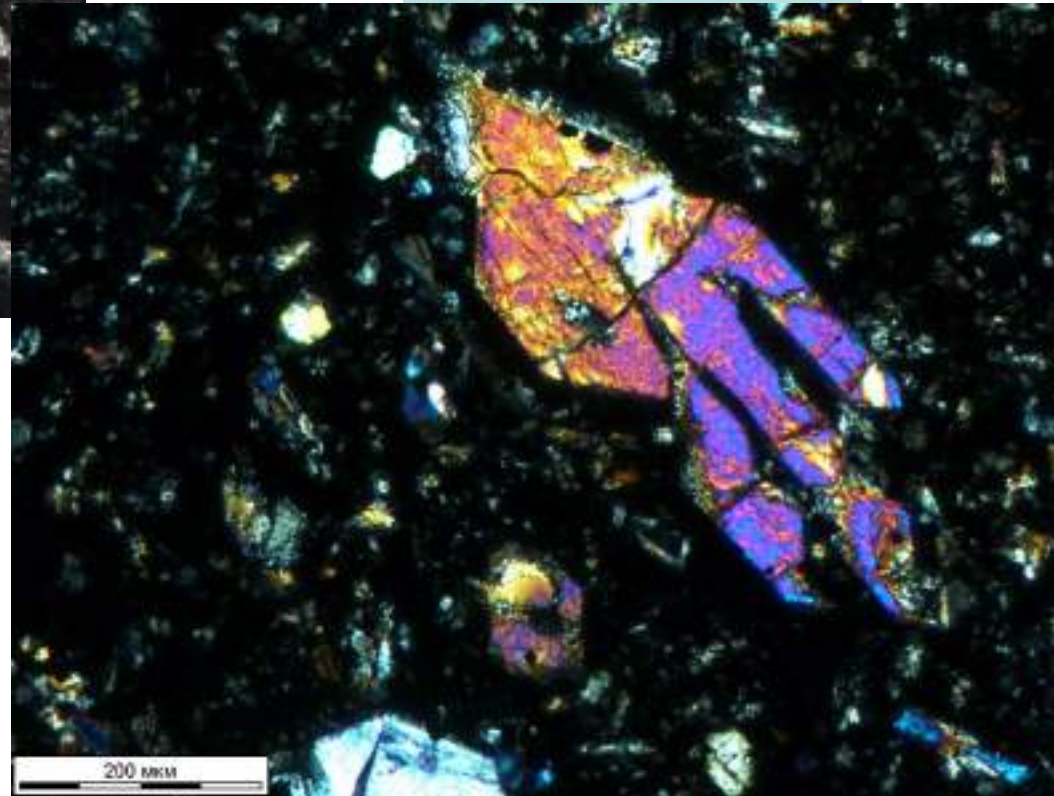
Колл. Д.И.
Наумова
Фото ЭМС

Скелетные кристаллы оливина - форстерита

Шлиф. При 1 николе



Шлиф. Николи х



Колл. Н.М. Пржевальского,
каф. петрографии
Геологического факультета
С-Петербургского ун-та.

Фото Э.М. Спиридонова

Вкрапленник в стекловатых пикритах. Озеро Долей-Нор, СВ Монголия

Скелетные кристаллы

Оливин - форстерит



Вкрапленник в
стекловатых базальтах.
Чукотка



В стекловатых коматиитах

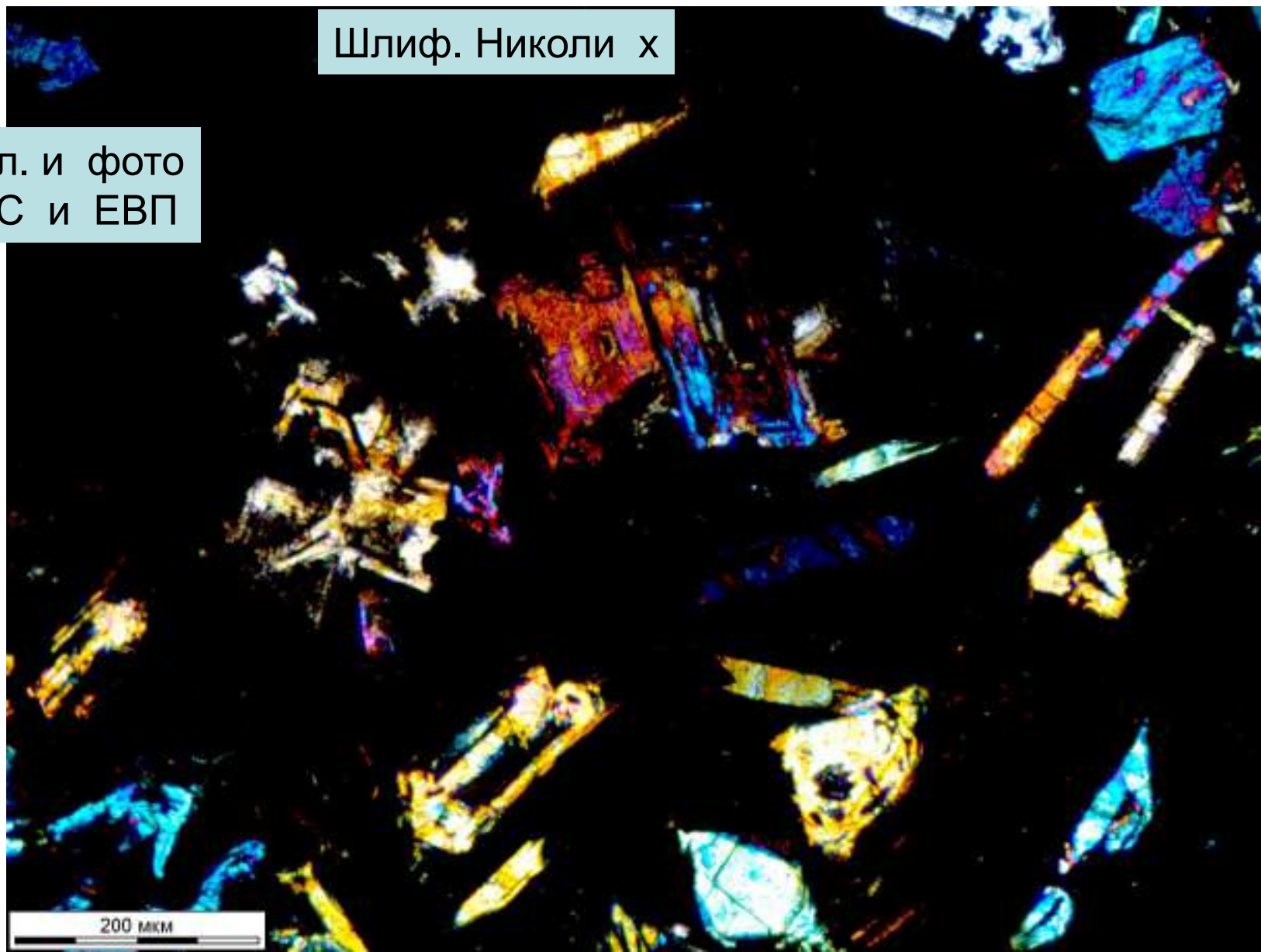


Скелетные кристаллы оливина - фаялита

Шлак Карабашского медеплавильного завода

Шлиф. Николи х

Колл. и фото
ЭМС и ЕВП



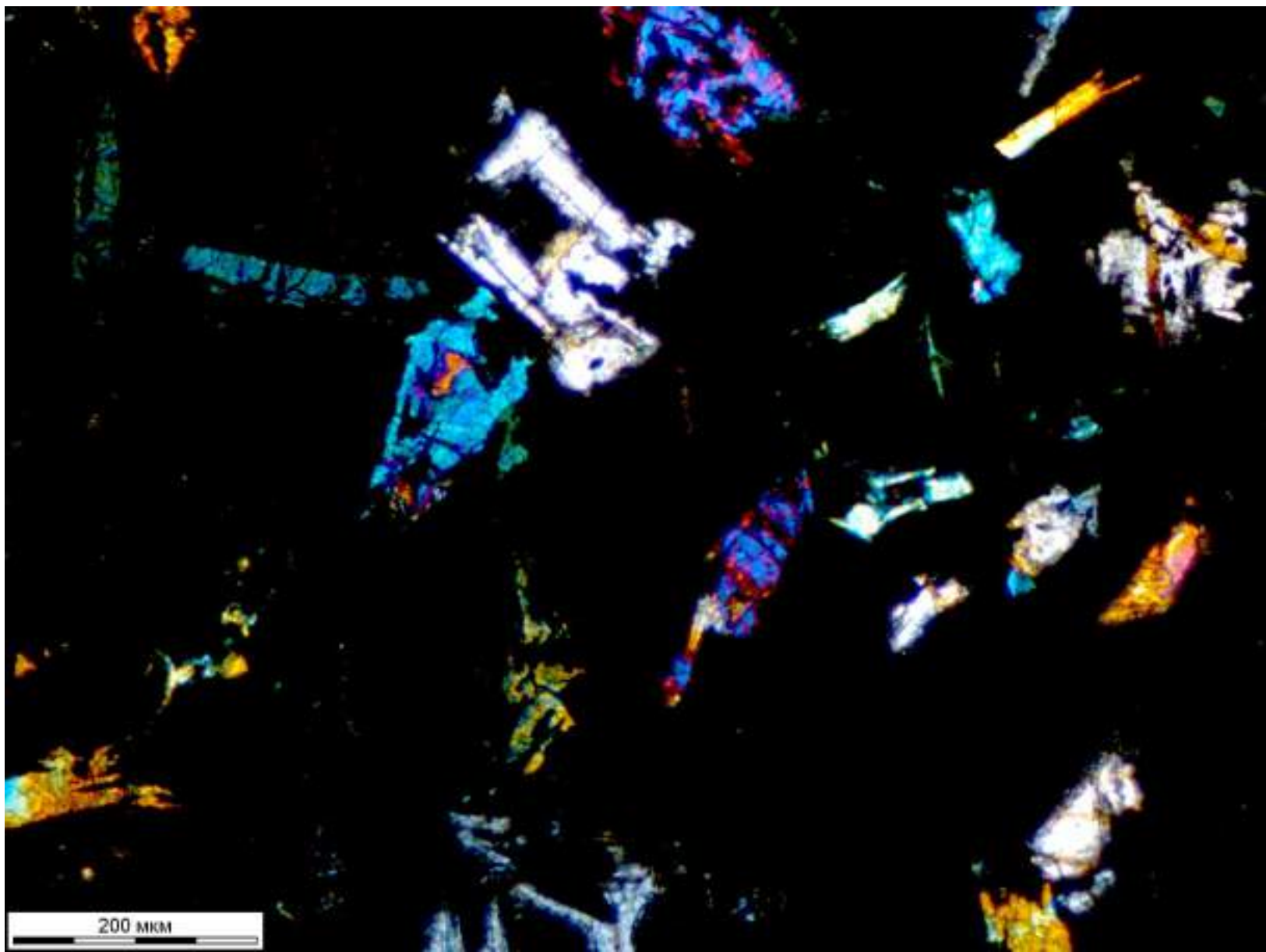
200 мкм

Скелетные кристаллы оливина - фаялита

Шлак Карабашского медеплавильного завода

Шлиф.
Николи х

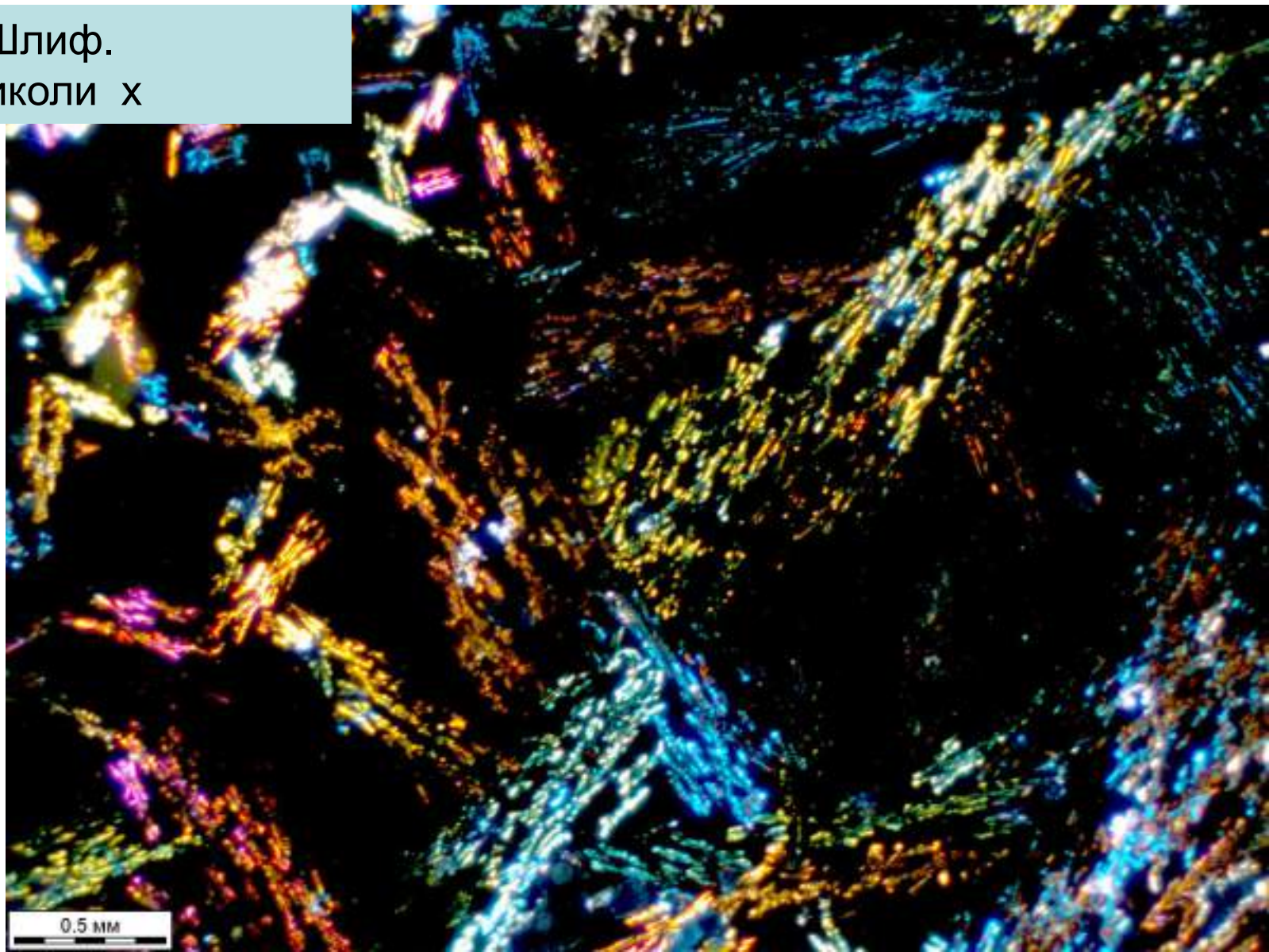
Колл. и
фото
ЭМС
и ЕВП



Скелетные кристаллы оливина - фаялита

Шлак Карабашского медеплавильного завода

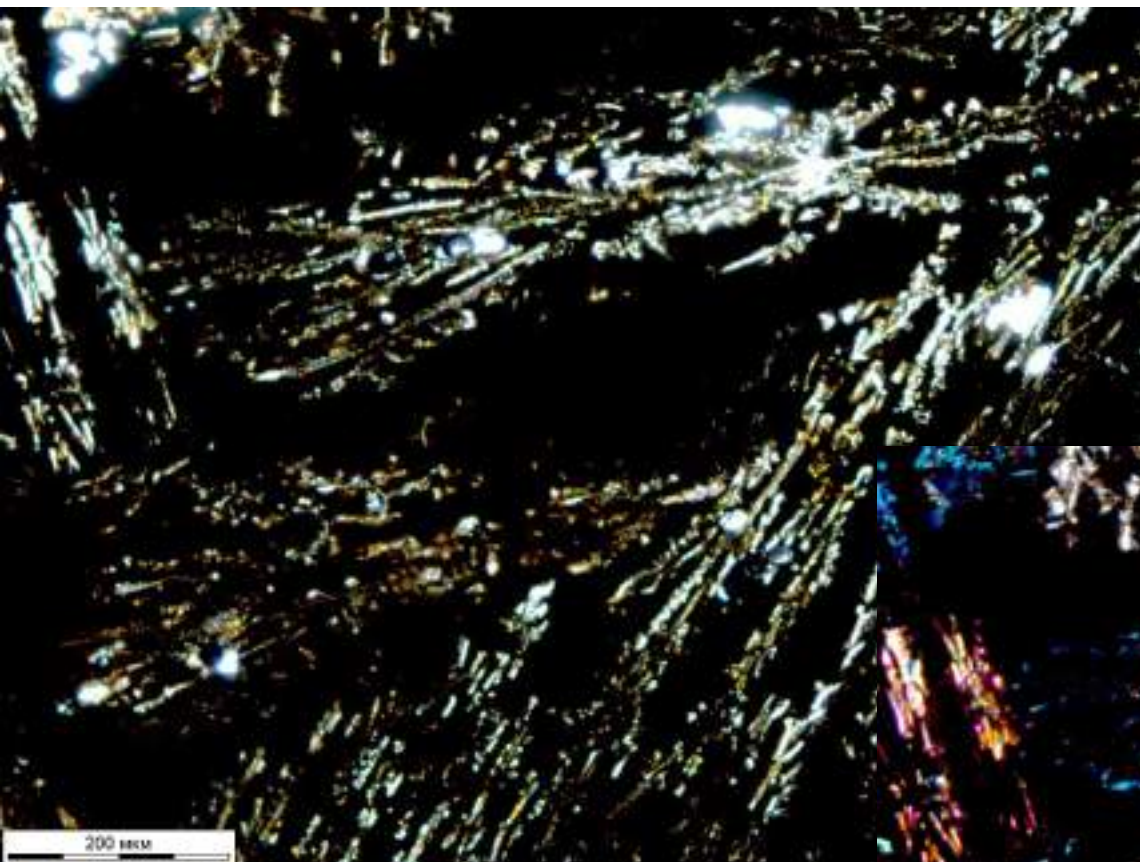
Шлиф.
Николи х



Колл. и
фото
ЭМС
и ЕВП

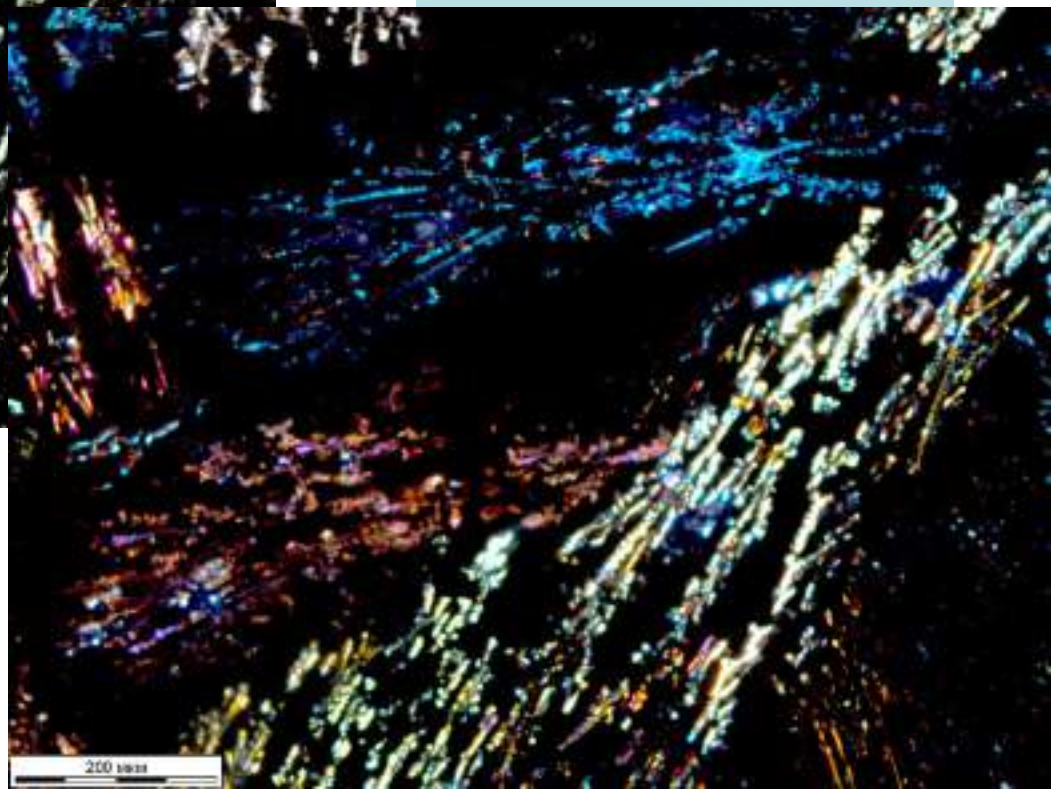
Скелетные кристаллы оливина - фаялита

Шлак Карабашского медеплавильного завода



Шлиф при 1 николе

Шлиф.
Николи х

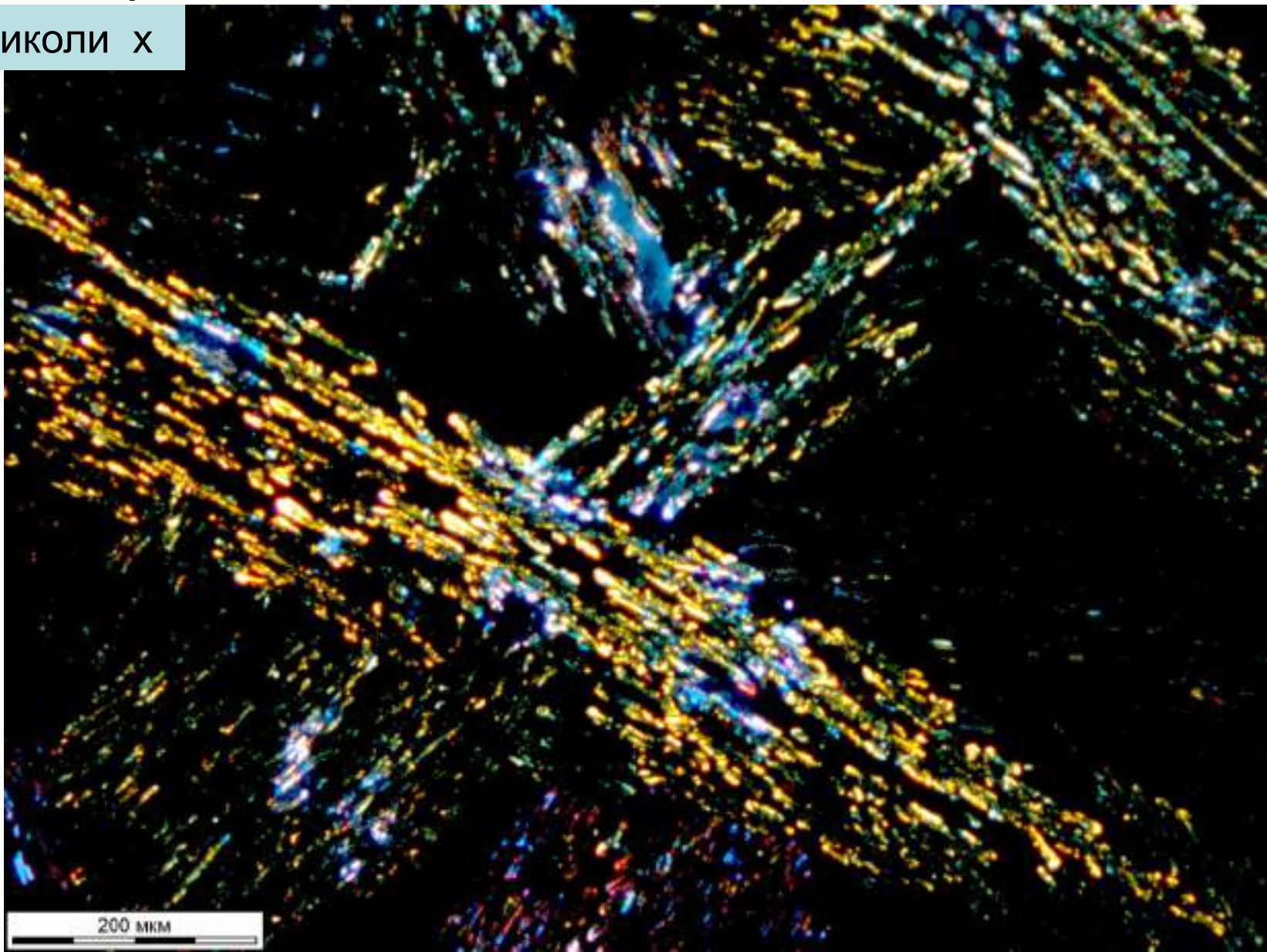


Колл. и
фото
Э.М. Спиридонова
и Е.В. Путинцевой

Скелетные кристаллы оливина - фаялита

Шлак Карабашского медеплавильного завода

Шлиф. Николи х

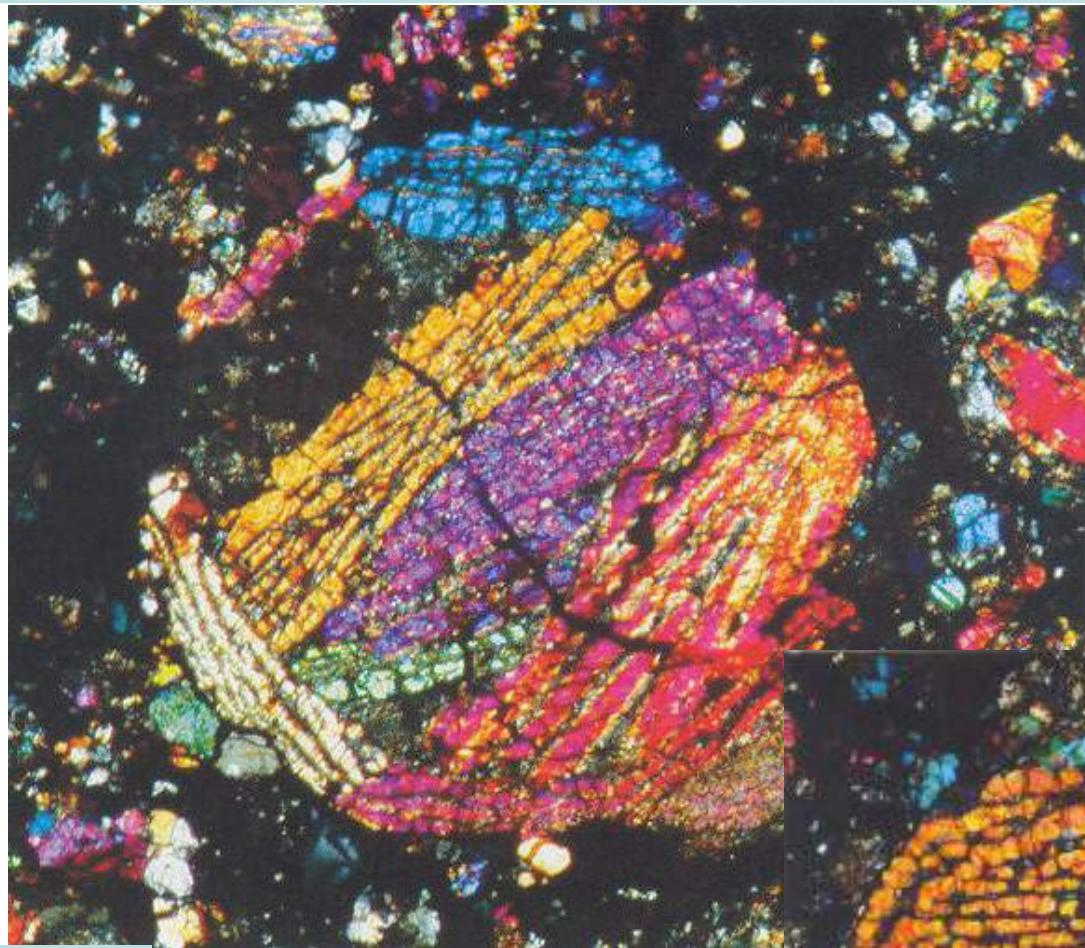


Колл. и
фото
ЭМС
и ЕВП

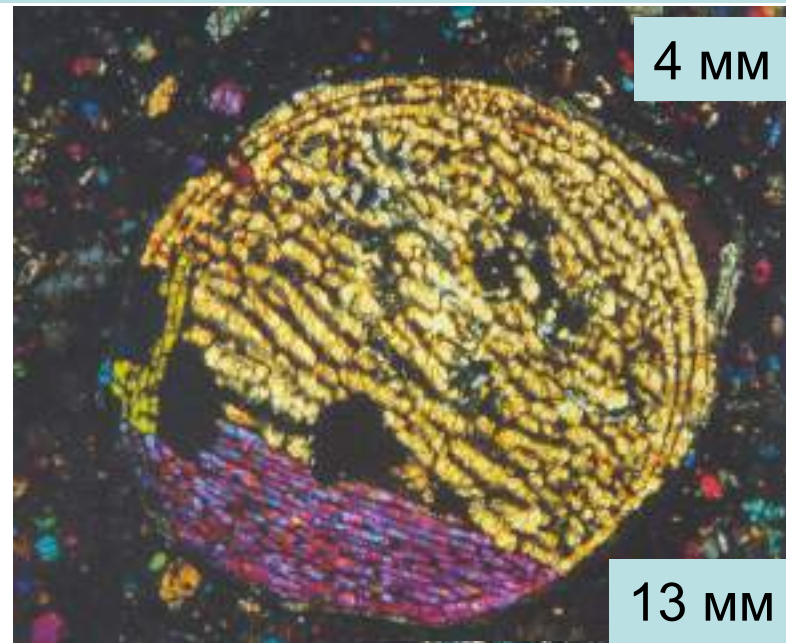
200 мкм

Скелетные кристаллы

Оливиновые хондры. Хондрит NWA 778. Алжир



3 мм



4 мм

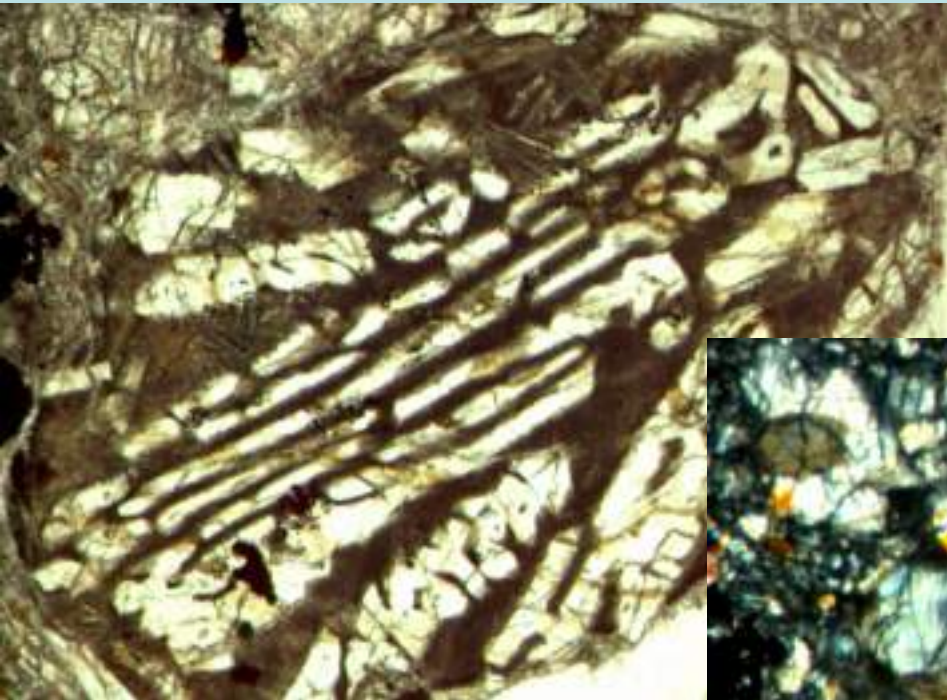
13 мм



4 мм

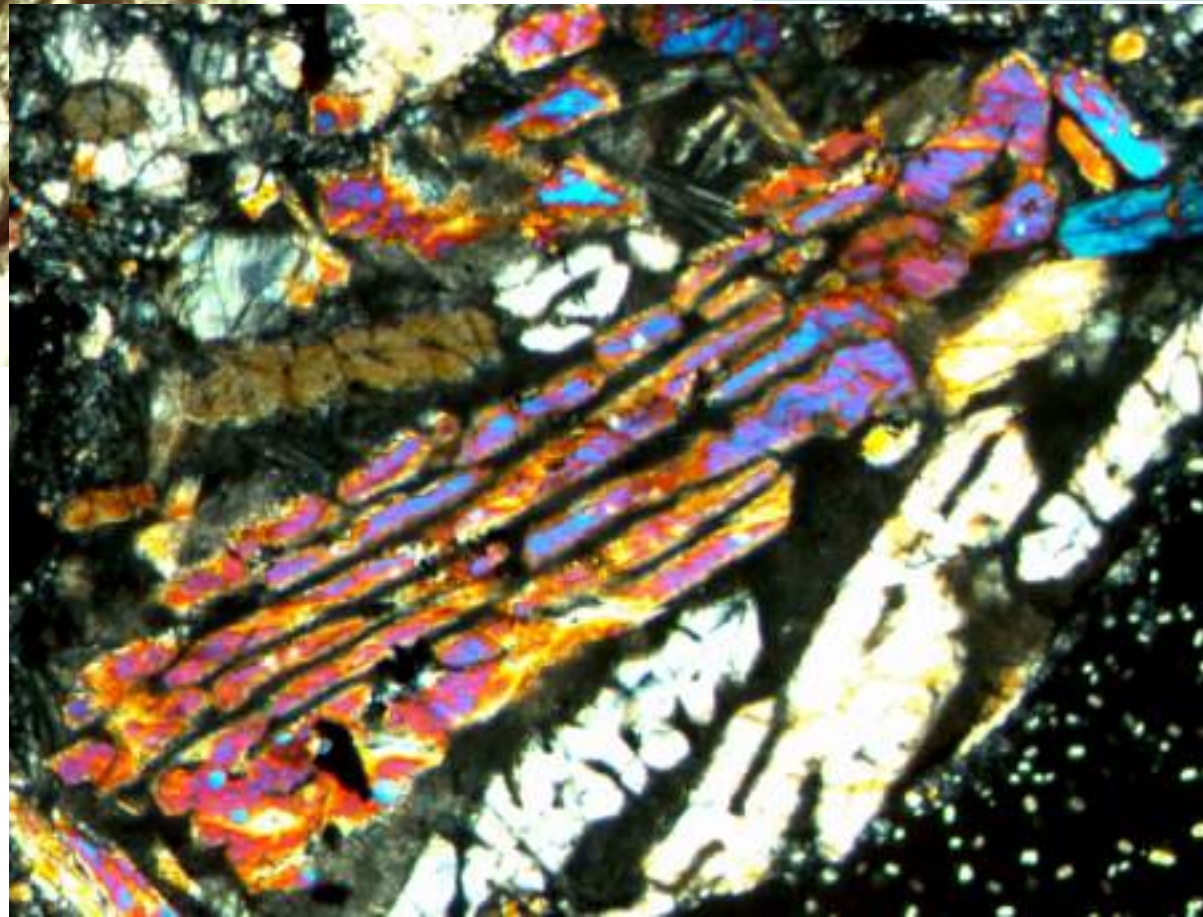
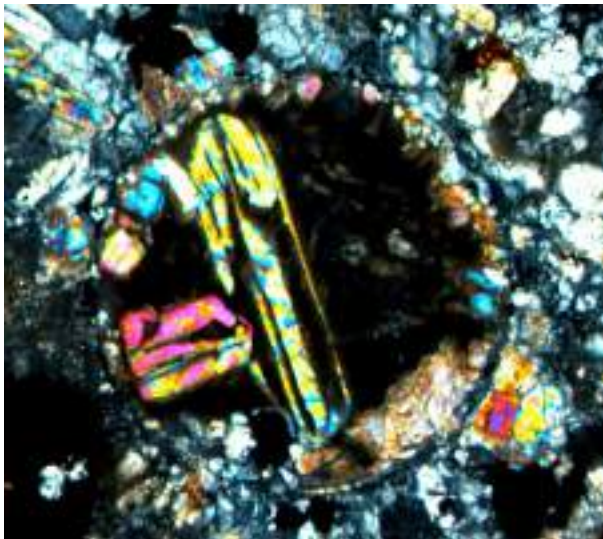


Скелетные кристаллы Оливиновые хондры



Шлиф при 1 николе

Шлиф. Николи х



Скелетные кристаллы

Самородное золото

120 мм



Round Mountain mine, Невада, США



74
MM



Скелетные кристаллы

Самородное золото



Кристаллы до 25 мм.
Eldorado Creeck,
Юкон, Канада

25x19x15 мм



Zapata field, Santa Elena,
Венесуела



24 мм.
Колорадо, США

Скелетные кристаллы

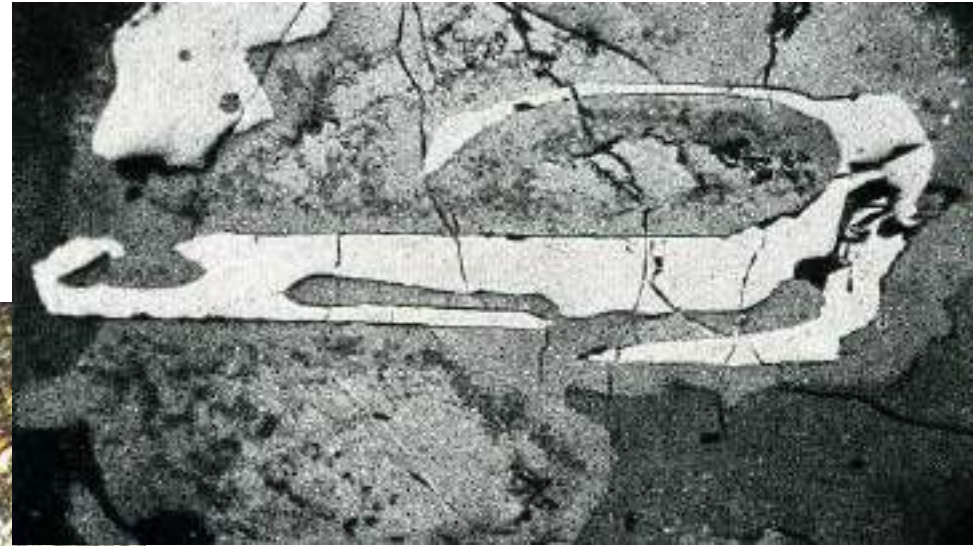


Самый крупный кристалл
золота Бразилии.

Alta Floresta,
Mato Grosso

Скелетные кристаллы

Ильменит



Ильменит (белый)
в габбро-норитах. 4 мм.
Восточная Нубия,
Египет.

Фотография в
отражённом свете



Ильменит (чёрный) в габбро-долеритах.
Талнахский интрузив, Норильский регион.
Шлиф при 1 никеле. Фото ЭМС

Скелетные кристаллы льда



воронкообразные



Классические
рёберники

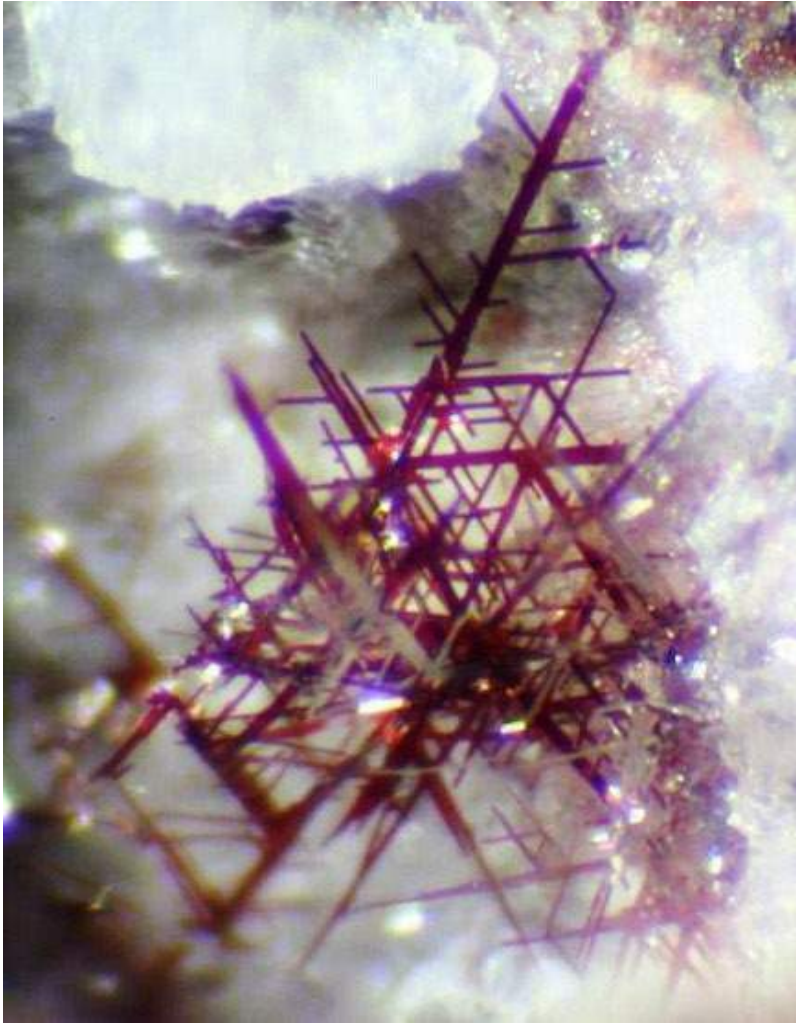
Скелетные кристаллы

Магнетит



Возгоны в продушинах молодых щелочных вулканитов комплекса Лаахер. Эйфель. Германия

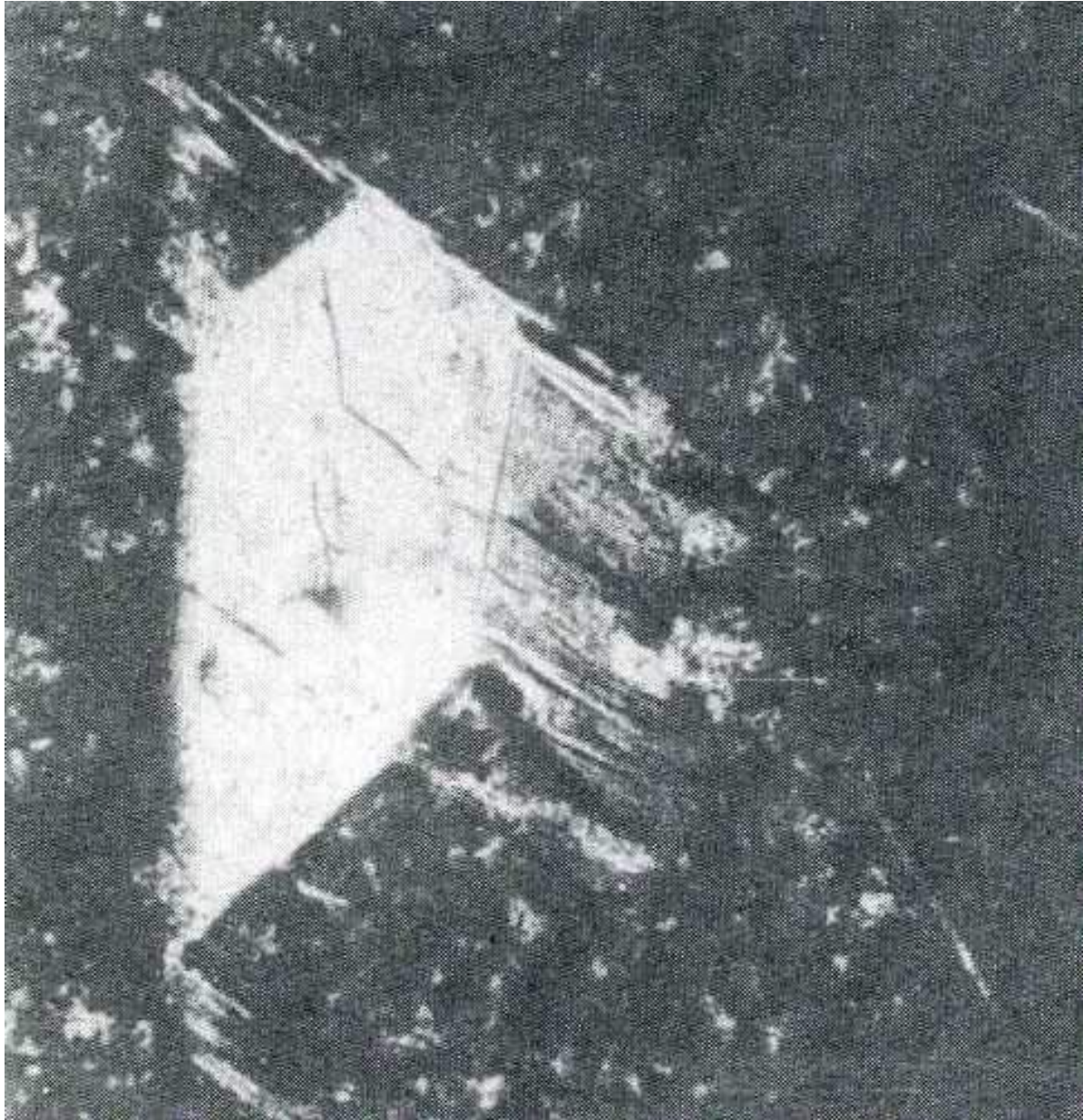
Скелетные кристаллы Гематит



2 мм. Emmelberg, Эйфель, Германия

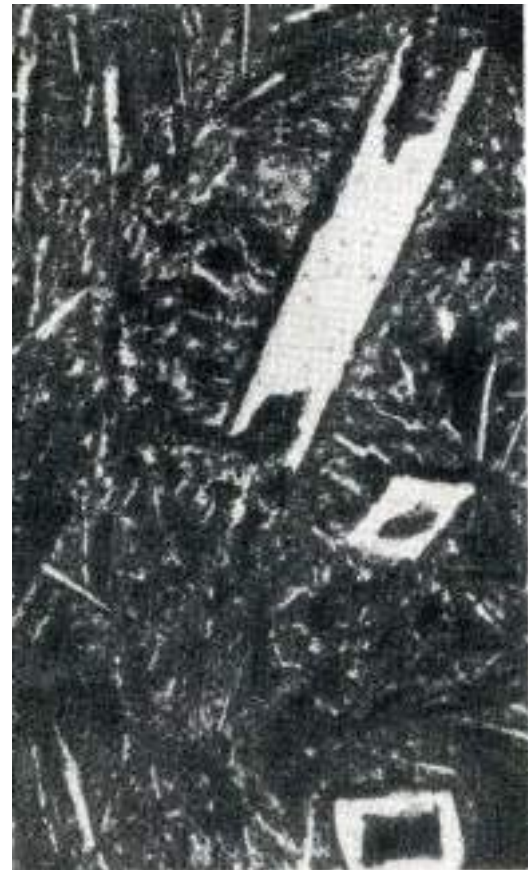
Итак, минералы любого химического состава и с любой кристаллической структурой могут вырасти в виде скелетных кристаллов. Определяющее значение имеют условия кристаллизации, прежде всего, высокие степени пересыщения и/или переохлаждения, диффузное голодание

Скелетные кристаллы Полевые шпаты

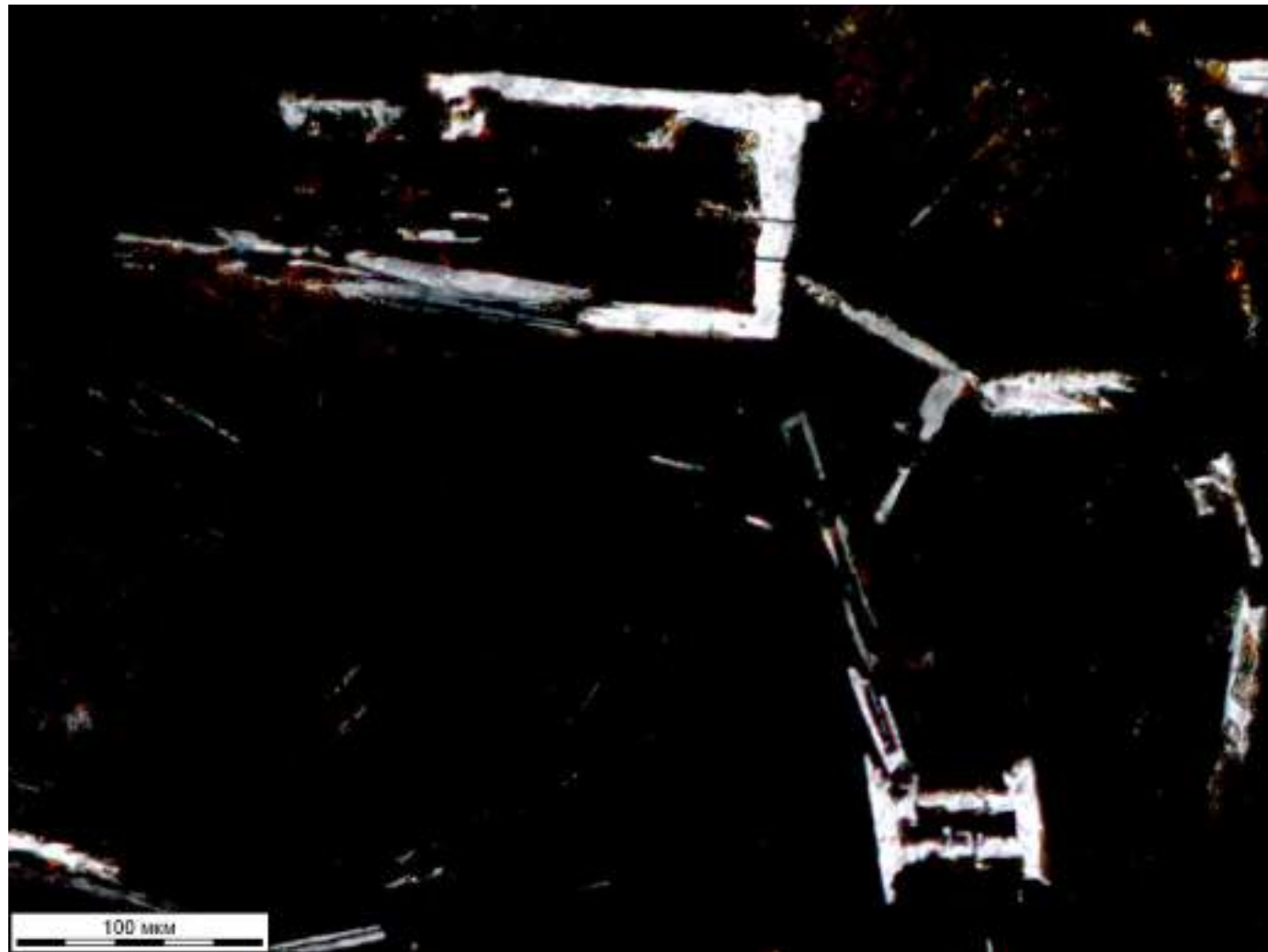


Вкрапленник
К-Na полевого шпата
в риолитах.
Две стадии роста:
1. полногранный
кристалл,
2. скелетный
кристалл

Скелетные кристаллы Полевые шпаты



Плагиоклаз в
базальтах
Монголии



Плагиоклаз
в кремнекислом вулканическом стекле

Скелетные кристаллы

Кварц

65 мм. Брандберг, Намибия



Альпийские жилы.
Циллерталь, Швейцария



Сон-трава.
Анемоны.
Южный
Урал



Мачки.
Улуг-Танзек.
Тува

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. Индивиды

Рост кристаллов

**009. Специфические
формы кристаллов –
нитевидные (усы, вискеры)**

Нитевидные кристаллы

Нитевидные кристаллы, усы, вискеры - кристаллы с d обычно < 25 микрон и с отношением длины к толщине более 1000. Прочность нитевидных кристаллов в n - n 100 раз больше прочности соответствующих крупнокристаллических образований и приближается к теоретической, рассчитанной на основе сил межатомных взаимодействий. Нитевидные кристаллы обнаруживают ряд особенностей в фазовых переходах и химических превращениях, магнитных и оптических свойствах, реальной структуре поверхности кристаллов и в объёме кристаллов. Растут усы из пара, раствора, расплава, в гелях, в твёрдой фазе. Самый яркий пример природных усов - асбесты хризотилловые. Распространены в виде усов: самородные - медь, серебро, золото, висмут, сера; сульфиды - миллерит, галенит, киноварь, антимонит, висмутин, джемсонит, буланжерит, пирит, марказит...; галоиды - галит, сильвин, нашатырь, карналлит, флюорит...; оксиды - лёд, куприт, магнетит, гематит, гётит, халцедон, тридимит, рутил, касситерит, брусит - немалит...; карбонаты - арагонит, кальцит, сидерит, родохрозит, малахит...; бораты - людвижит...; сульфаты - ангидрит, гипс-селенит, мелантерит, целестин, алунит, ярозит...; силикаты - силлиманит, сфен, астрофиллит, палыгорскит (исключительно нитевидные кристаллы, образующие не тканый материал - "горную кожу"), турмалин (до войлокоподобных масс, асбестовидных скоплений и "горной кожи"),

Нитевидные кристаллы

топаз, разнообразные амфиболы обычные (тремолит-актинолит, куммингтонит, жедрит) и щелочные (родусит, высокожелезистые с Fe^{2+} - "соколиный глаз" и с Fe^{3+} - "тигровый глаз"), родонит, флогопит, хлориты, серпентин; цеолиты - эрионит (подобный шерсти)... Итак, нитевидная форма наблюдается независимо от состава минералов, их кристаллической структуры, фазового состояния минералообразующей среды. В большинстве месторождений совместно развиты кристаллы нитевидные, длиннопризматические и иной формы. Нитевидные кристаллы обычно поздние и низкотемпературные образования.

Механизмы роста нитевидных кристаллов. Их четыре.

1. Рост кристаллов путем осаждения вещества около выхода винтовой дислокации. Пересыщение, необходимое для роста в этом месте, меньше, чем пересыщение, необходимое для образования двумерных зародышей на боковых гранях кристалла. Реальность дислокационного механизма роста нитевидных кристаллов доказана различными способами и изящно демонстрируется опытами Матеи и Сорби. Исходя из предположения, что нитевидные кристаллы растут на выходах осевых винтовых дислокаций и основываясь на наблюдениях по спиральному росту чистого парафина, эти исследователи покрыли внутренность чашки Петри расплавленным парафином, затем налили в

Нитевидные кристаллы

неё раствор галита, предоставив возможность растворителю испаряться вплоть до появления кристаллов. На поверхности основания выросших кристаллов галита отпечатались негативные формы спиралей роста кристаллов парафина. Перевернув некоторые из выросших кристаллов галита основанием вверх, Матеи и Сорби наблюдали на них рост нитевидных кристаллов - усов, тогда как на неперевернутых усы не вырастали. Таким же способом были получены нитевидные кристаллы сильвина и других растворимых галоидов. Питание при этом идёт сверху, нередко из газовой фазы по механизмам Г - Т, Г – Ж - Т.

Дислокационный механизм роста доказан наблюдениями за особенностями их роста, которые укладываются в дислокационные механизмы модели роста - это рост в областях малых пересыщений, быстрый осевой рост с постоянным поперечным сечением, зависимость скорости роста от диаметра нитевидного кристалла. Дислокационный механизм роста доказан и прямым изучением реальной структуры выросших нитевидных кристаллов. Боковая поверхность кристаллов - усов имеет высокую степень совершенства, видимые ступени роста отсутствуют. Осевое закручивание решетки, вызванное действием осевой (винтовой) дислокации, достоверно доказано для нитевидных геликоидальных кристаллов миллерита, халцедона...

Нитевидные кристаллы

2. Кристаллизация на пористом субстрате. Известна исключительная приуроченность волокнистого галита и гипса-селенита к глинистым породам. Глинистые породы сложены в основном минералами группы каолинита и близкими к ним; обычная форма их кристаллов – плоские гексагоны микронного размера. Опыты Шмидта в начале XX века показали, что можно вырастить нитевидные кристаллы на пористой подложке; при этом, диаметр растущего кристалла определяется диаметром поры, а кристалл растёт как правило основанием. Это установлено периодическим окрашиванием раствора. Механизм роста следующий: на поверхности возникает зародыш, размеры которого определяются размером поры, которую можно рассматривать как микроскопический кристаллизатор. Рост как правило происходит основанием. Необходимая механическая работа по выталкиванию кристалла из поры совершается за счет кристаллизационного давления. Нитевидный кристалл галита с сечением n микрон может развиваться при своем росте давление достаточное, чтобы выталкивать вес своего собственного кристалла длиной до 80 см. Кристаллизационное давление является функцией пересыщения. Так, для квасцов при степени пересыщения 1,4 давление $P=30-40$ кг/см², что приближается к прочности бетона на разрыв.

Нитевидные кристаллы



52733?

Хризотил-асбест

Chrysotile

$Mg_3SiO_5(OH)_4$

Китай, пров. Хэнань, м-ние Синань

Троцкий Г.А. 1954

Нитевидные кристаллы. Хризотил - асбест



Баженовское,
Средний Урал

Нитевидные кристаллы. Хризотил - асбест

МАГНЕТИТ



12012

ХРИЗОТИЛ - АЗБЕСТ

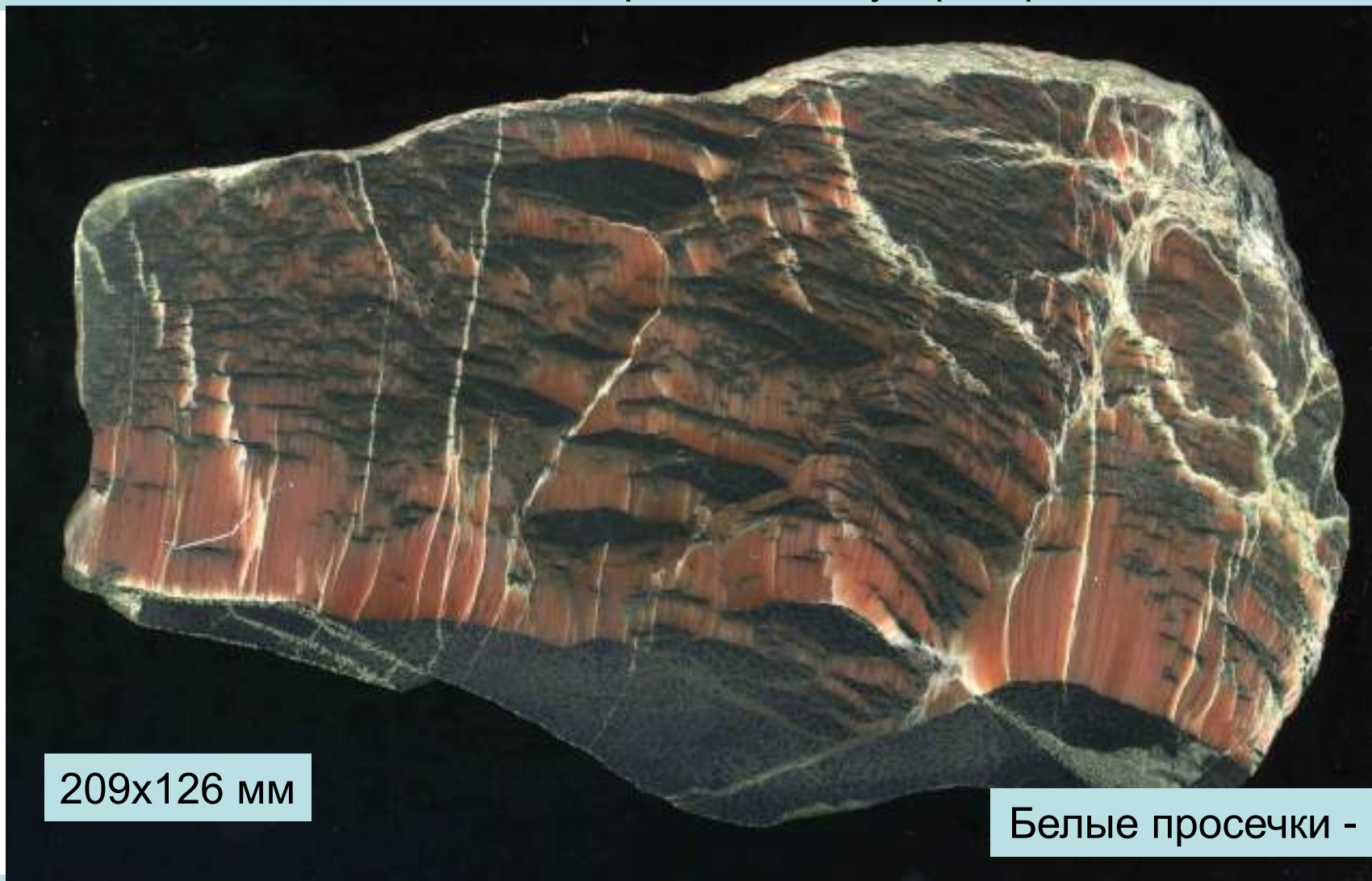
CHRYBOTIL - ASBESTOS

Shabani, Zimbabwe

HM3X

Нитевидные кристаллы

Если кристаллизация усов происходит в объёме пород, то за счёт силы кристаллизационного давления породы зачастую растрескиваются.



209x126 мм

Белые просечки - гипс

Крепчайшие роговики, разорванные агрегатами нитевидных кристаллов ангидрита. Таймырский рудник, глубина 950 м. Норильское рудное поле

Нитевидные кристаллы

Кристаллографическая ориентировка усов совпадает с главными кристаллографическими направлениями данных минералов.

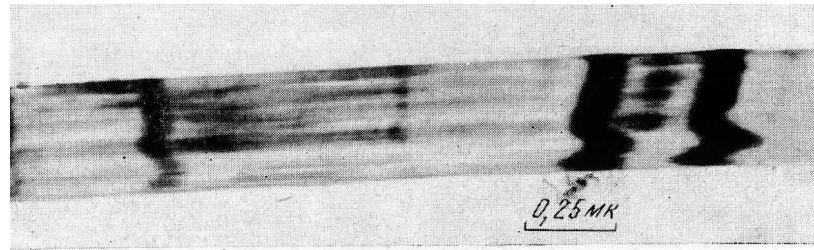
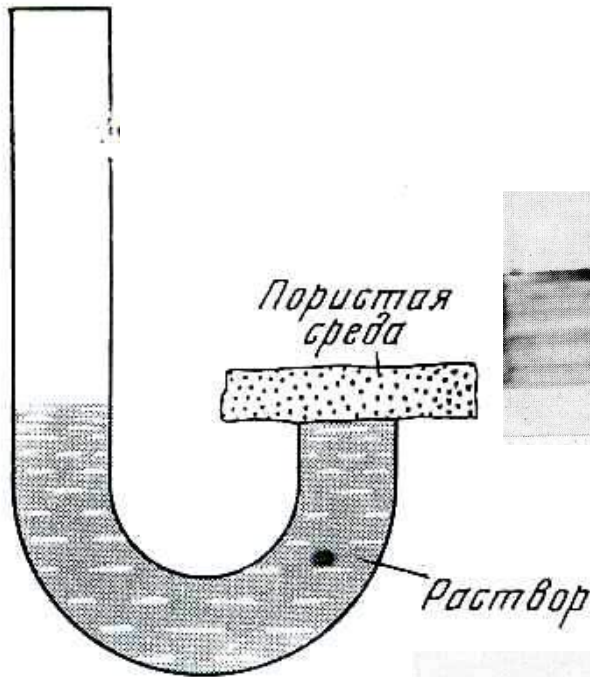
Итак, при одинаковой симметрии минералообразующей среды различные минералы, возникшие в результате разнообразных процессов, образуют одинаковые по форме выделения. Поэтому форма кристаллов не может быть характерным признаком ни в отношении состава минерала, ни в отношении фазового состояния минералообразующей среды.

3. Нитевидные кристаллы возникают в процессе многократного расщепления при росте обычных кристаллов.

4. Кроме того, нитевидные кристаллы возникают (почти мгновенно растут !) **при механическом щепке кристаллов** (кварц, сфалерит...). Проблема силикоза ! Эту проблему рассмотрим в конце данной презентации.

Нитевидные кристаллы

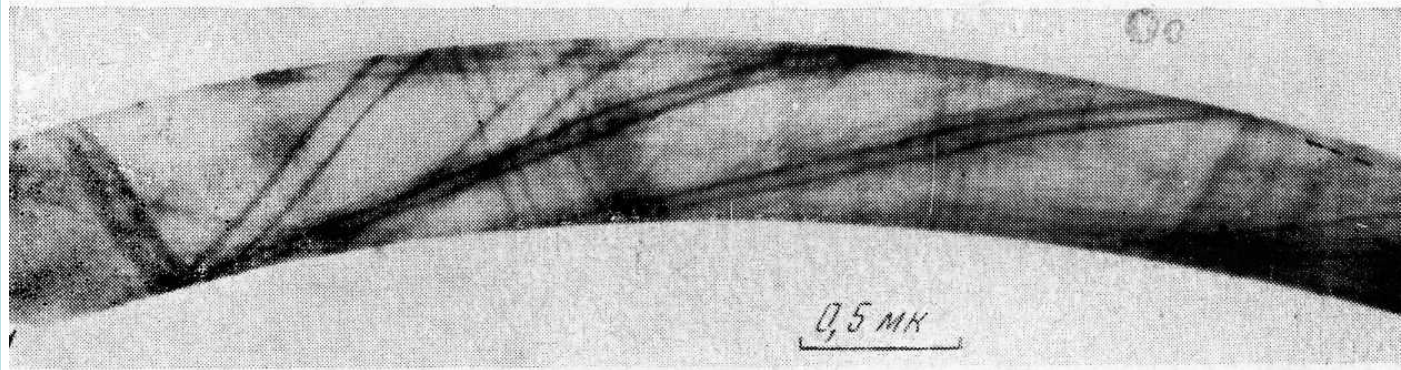
Магнезиоарфведсонит.
Урал. Длина полоски
1 микрон



Родусит. Казахстан

М.Н. Малеев, 1968

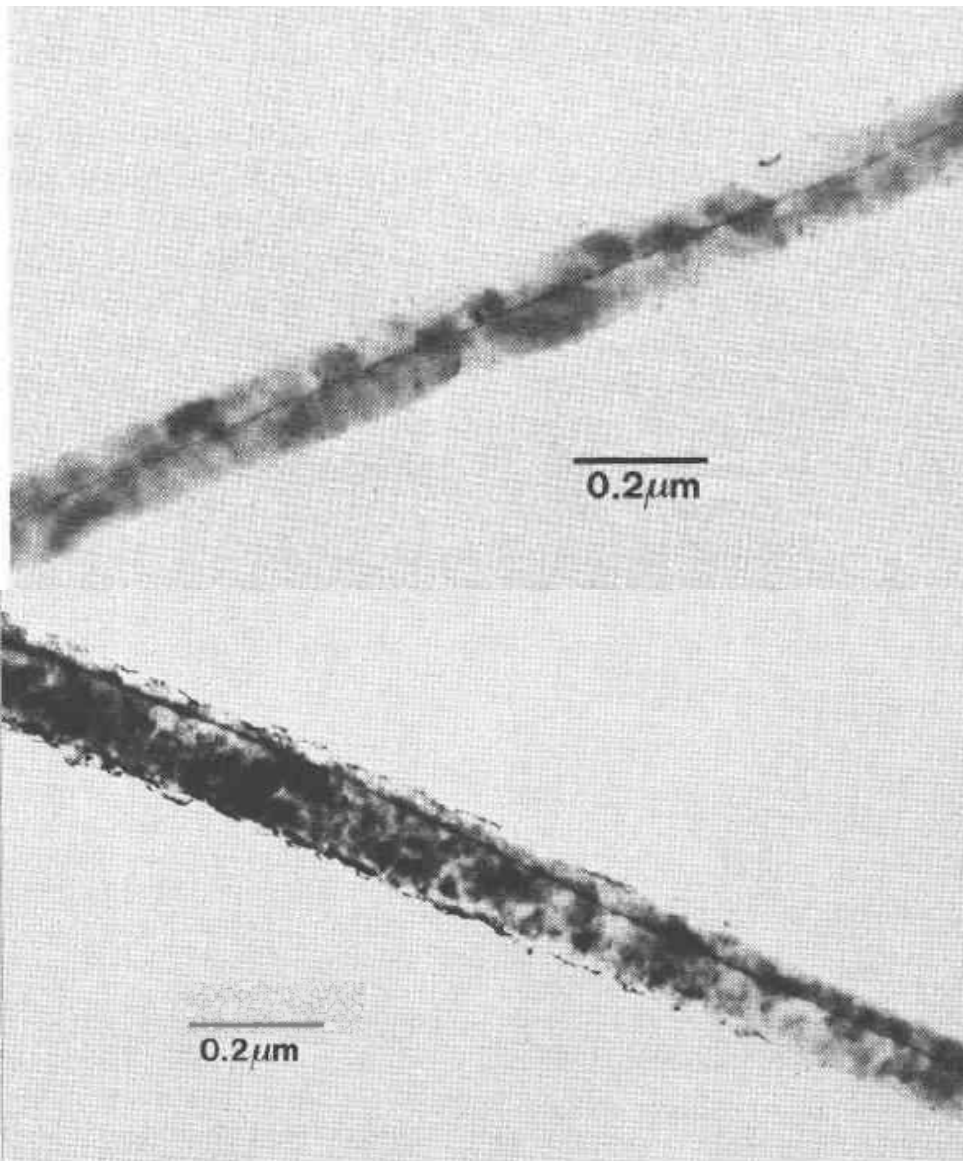
Схема опытов по
выращиванию
нитевидных
кристаллов на
пористом
основании



Ссайбелиит – борат магния. Якутия



Нитевидные кристаллы куприта («халькотрихита»)



Куприт из зоны окисления медного месторождения Ray, Аризона, США
Veblen D.R. & Post J.E. Amer. Mineral. 1983. Vol. 68. P. 790-803.

Нитевидные кристаллы



Хризотил-асбест.
Толщина нитей ~ 0.2 микрона



Турмалин (дравит)- асбест. Юж. Урал



Лёд

Нитевидный
марказит в
кальците. 0.05 мм.
Жила в лазурит.
породах.
Байкал

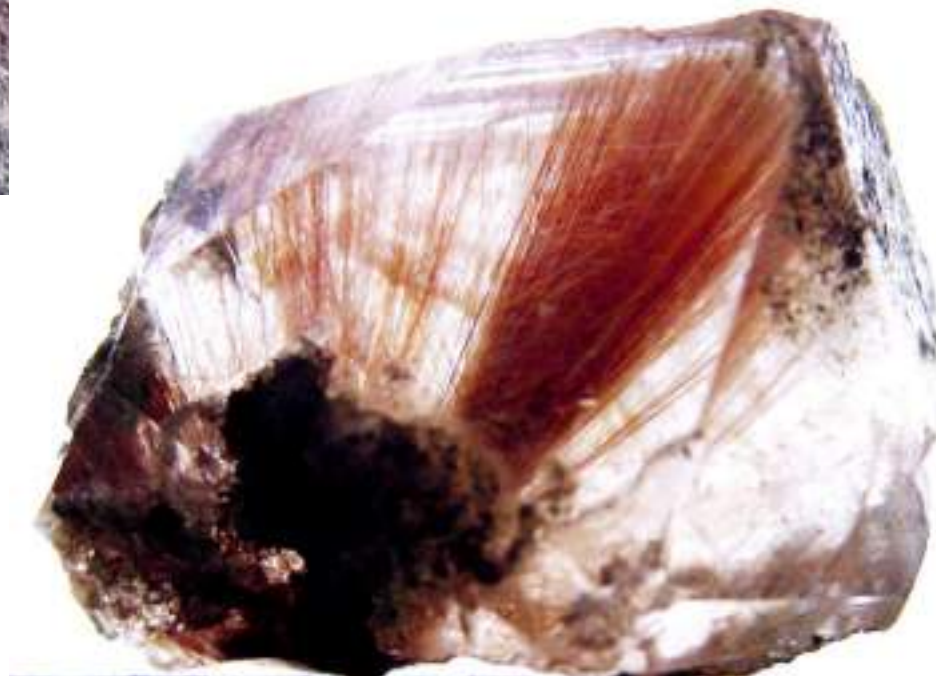


Нитевидные кристаллы рутила



Иглы до 19 мм

Сарановское,
Запад. Урал



Кварц – волосатик. Приполяр. Урал

Нитевидные кристаллы рутила

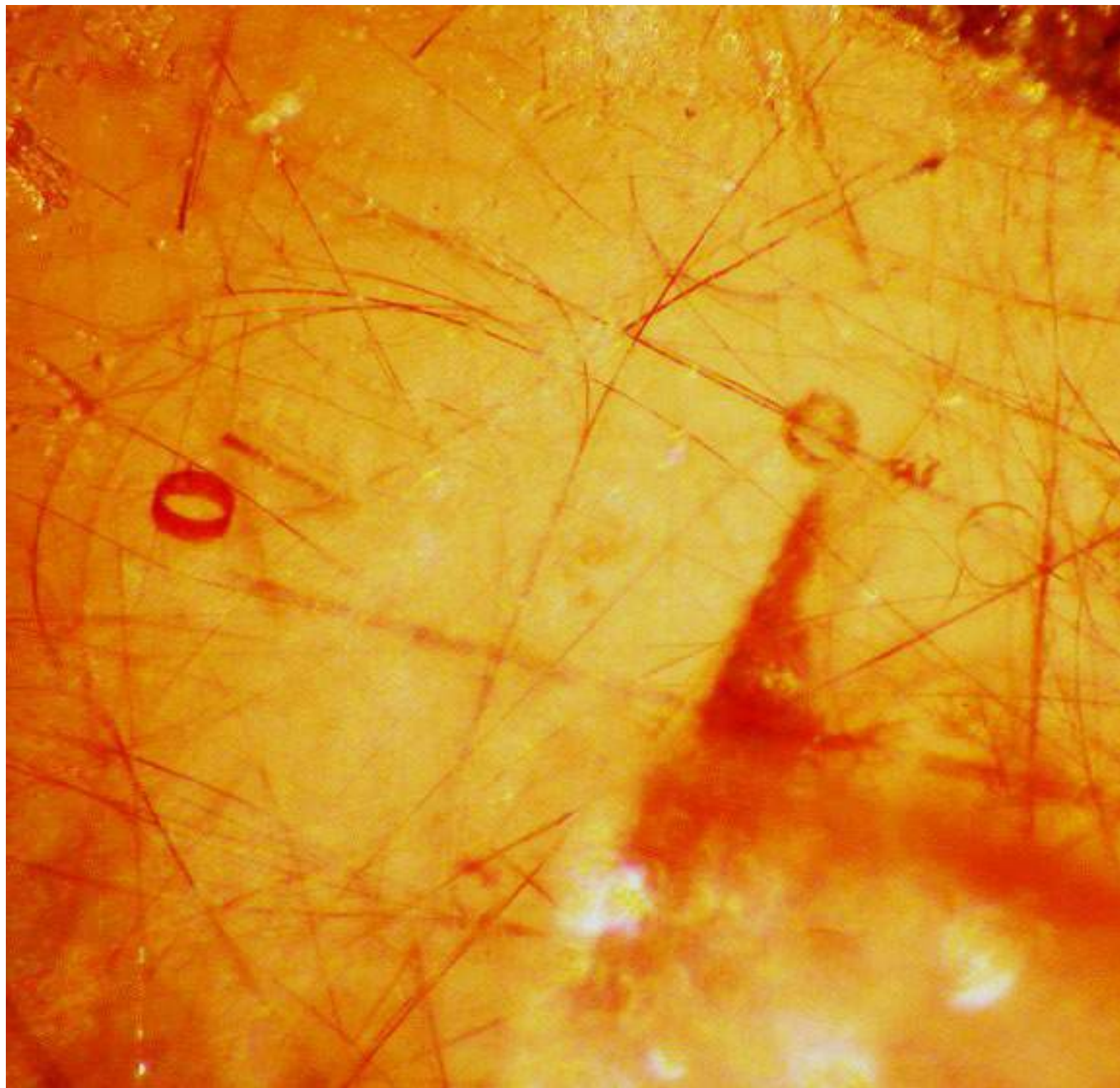
Кварц – волосатик.
Приполярный Урал



Нитевидные кристаллы рутила

Часть кристаллов
рутила
скручена,
некоторые
свёрнуты
в «бухты».

Топаз – волосатик.
Мексика



Нитевидные кристаллы тремолита



На кальците

Нитевидные кристаллы тремолита и ректорита (войлок) и миллерита (иглы)

190 мм

Сарановское,
Запад. Урал



Нитевидные кристаллы гипса

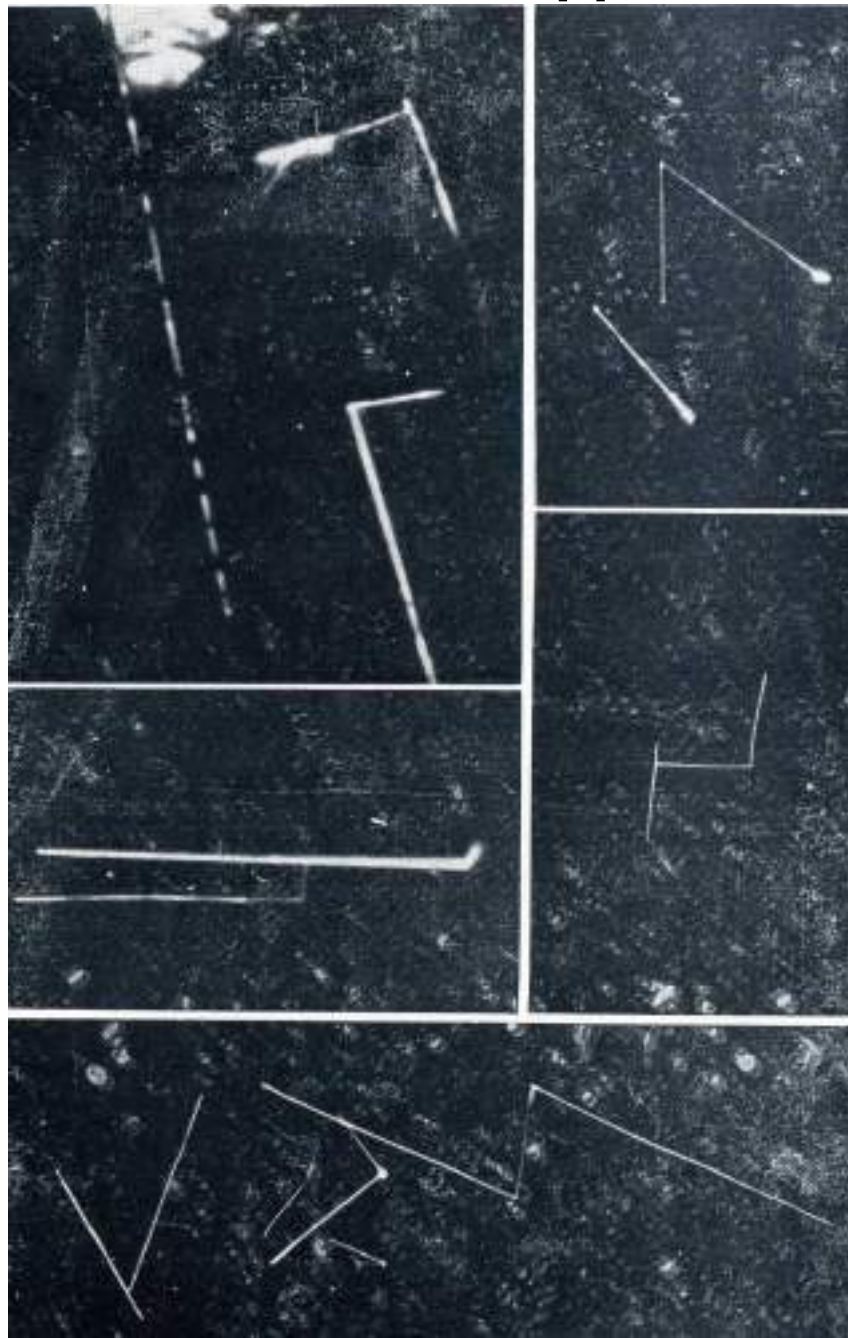


Пещерный гипс.
Длина
кристаллов
до 400 мм.



Скрученный нитевидный гипс,
выросший на белой глине.
Пещера Кугитанг,
Центральная Азия

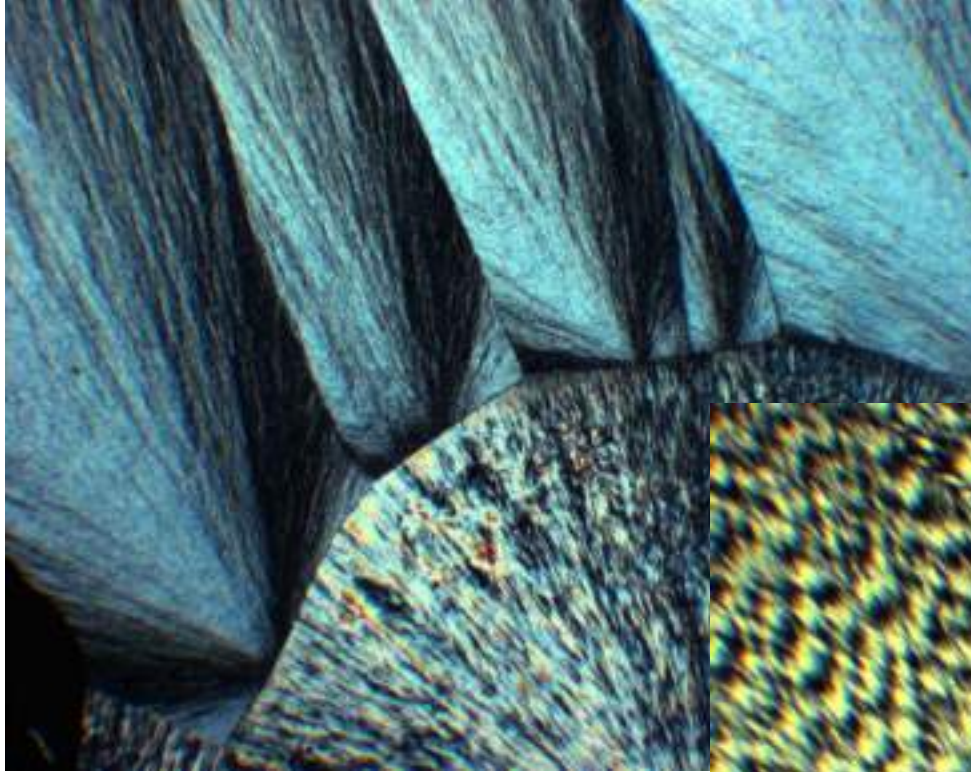
Нитевидные кристаллы кальцита



X 1200. Нитевидные кристаллы,
в том числе скрученные,
с гладкими боковыми
поверхностями.
Из пещер Болгарии.

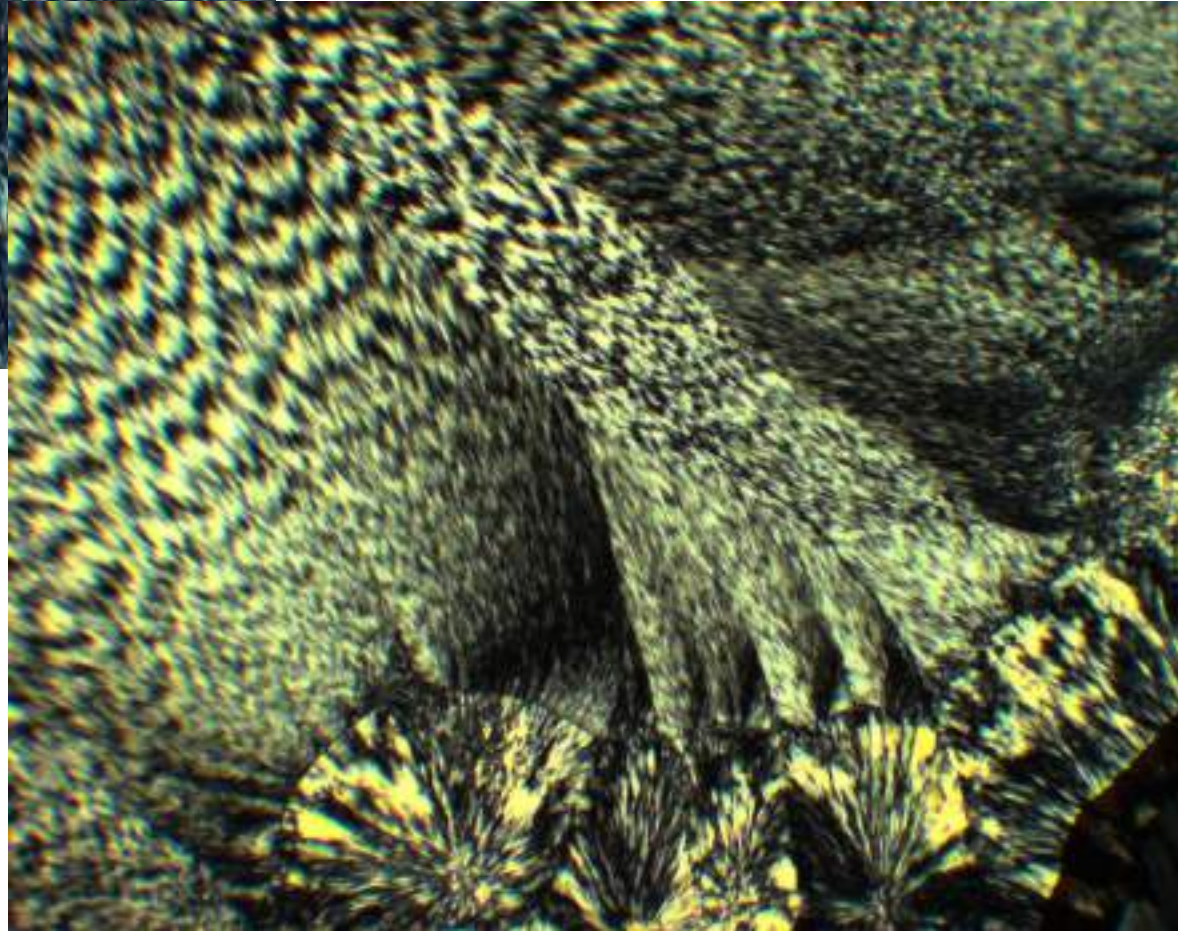
М.Н. Малеев, А.Ф. Филипов,
Годишник Софийского ун-та.
1974. Т. 66. № 1. С. 151-172.

Халцедон $\text{Si} ([\text{SiO}_4]_{1-x} [\text{SiO}_3\text{OH}]_x)$



Голутвино, южное Подмосковье

Николи x



Кристаллы
нитевидные,
нередко и
скрученные.

Колл. и фото ЭМС

**Э.М. Спиридонов, Т.Т. Абрамова, Л.Л. Панасьян,
М.С. Чернов, В.Н. Соколов, В.М. Ладыгин (МГУ)**

**Минеральные образования
в карбонатных породах Русской
платформы, порождённые
четвертичным оледенением**

Геологическая деятельность скандинавских плейстоценовых и голоценовых ледников на Русской (Восточно-Европейской) платформе - это абразия, образование морен, флювиогляциальных песков, торфяников, карстование, механическое воздействие:

перемятые глины верейского горизонта карбона в долине реки Оки,

складки в глинах гжельского яруса с амплитудой до 4 м, затухающие с глубиной,

деформация толстоплитчатых известняков и доломитов каменноугольного возраста до глубины 100 м на севере Русской платформы (в районе Архангельска) и до 15-80 м в её центре (в долине реки Москвы), местами с раздвиганием их блоков, в пространство между которыми вдавлены кварцевые и глауконитовые пески мелового возраста (наблюдения в Григоровском карьере Подмосковья) или глины позднего карбона (район Гжели).

Минеральные образования, связанные с гигантским количеством ледниковых вод, ранее не рассматривались.

Известняки, доломитизированные известняки и доломиты московского и касимовского ярусов карбона в тех местах, где с них были удалены перекрывающие плотные глины юры или триаса и пески мела, - в прадолинах рек в центре Русской платформы и на её севере у Архангельска подверглись механическому воздействию ледников и были промыты чистыми, насыщенными кислородом ледниковыми водами и превращены в белокаменные. Именно из блоков таких пород была построена Москва белокаменная.

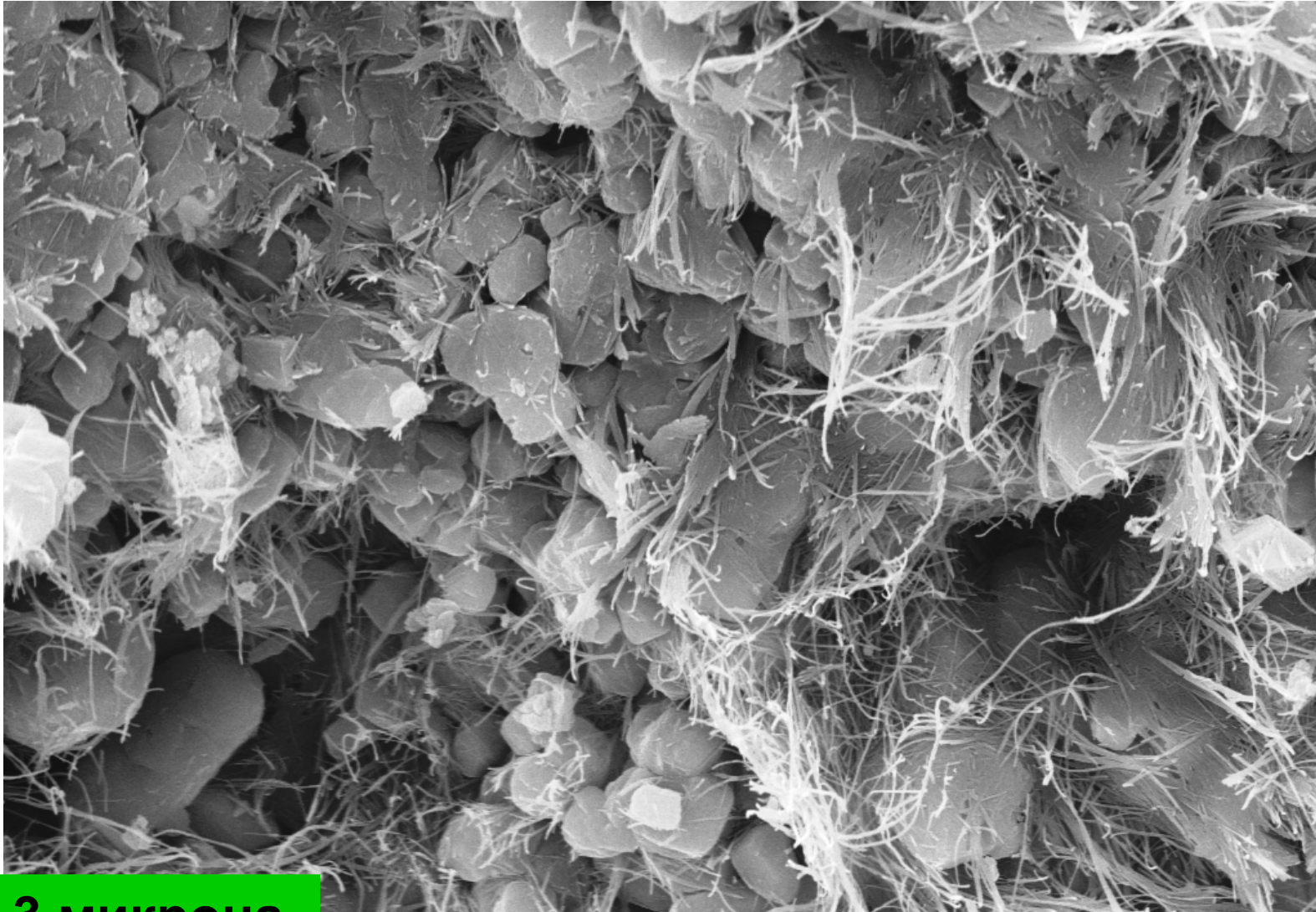
Белокаменные известняки и доломитизированные известняки – породы, которые в заметной степени перекристаллизованы и состоят из микронного размера кристаллов кальцита и реликтового доломита, слабо связанных между собой.

В промежутках кристаллов кальцита и доломита развиты скрученные нитевидные кристаллы кальцита и магнезиального кальцита, которые обусловили высокую механическую прочность пород.

В московских породах их обнаружили Т.Т. Абрамова и В.Н. Соколов.

В архангельских породах их обнаружили Л.Л. Панасьян, В.М. Ладыгин и В.Н. Соколов.

Белокаменные известняки мячковского горизонта долины реки Москва Нитевидный кальцит

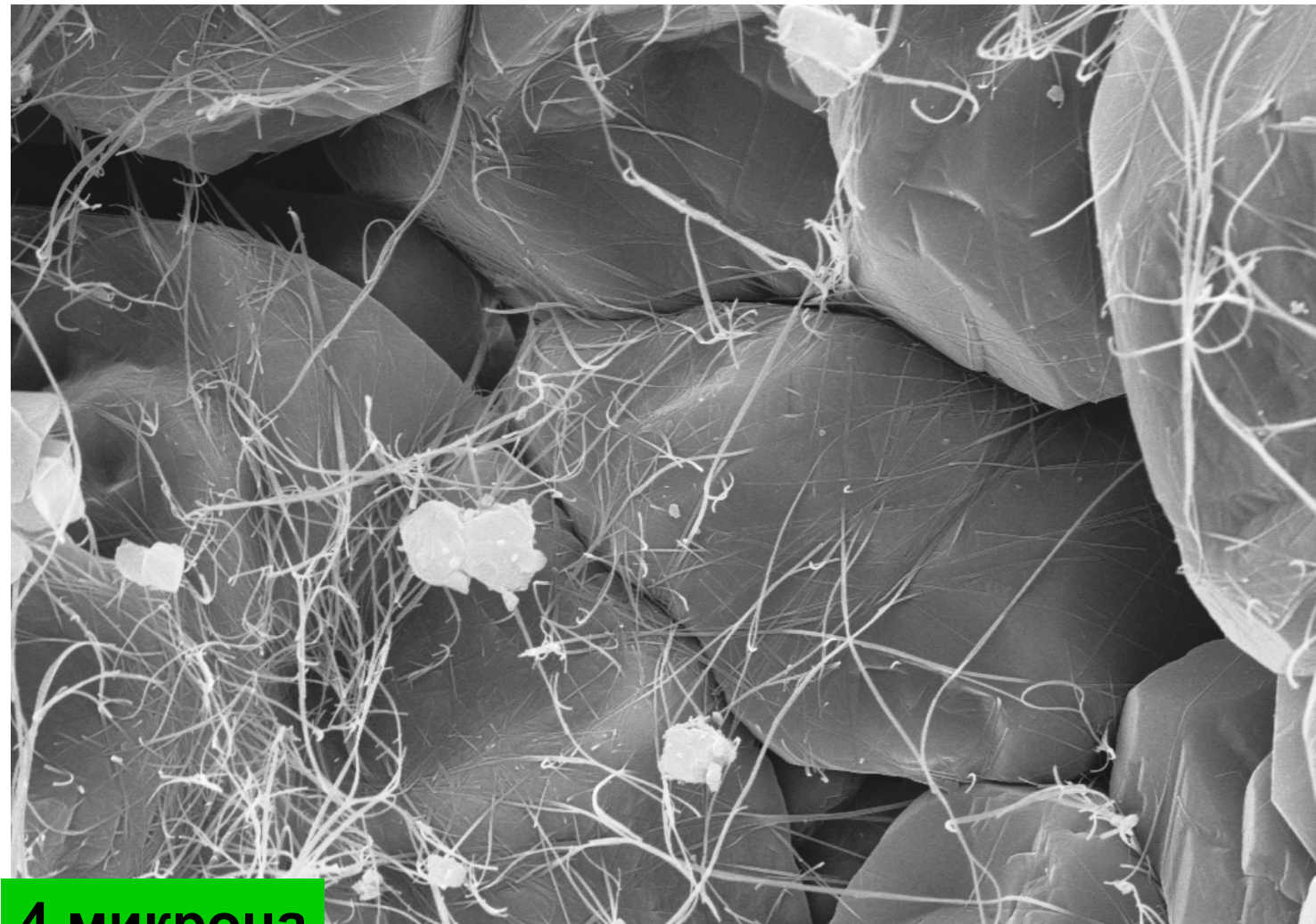


3 микрона

10
EHT = 20.0

Фотография в отражённых электронах

Белокаменные известняки мячковского горизонта долины реки Москва. Нитевидный кальцит



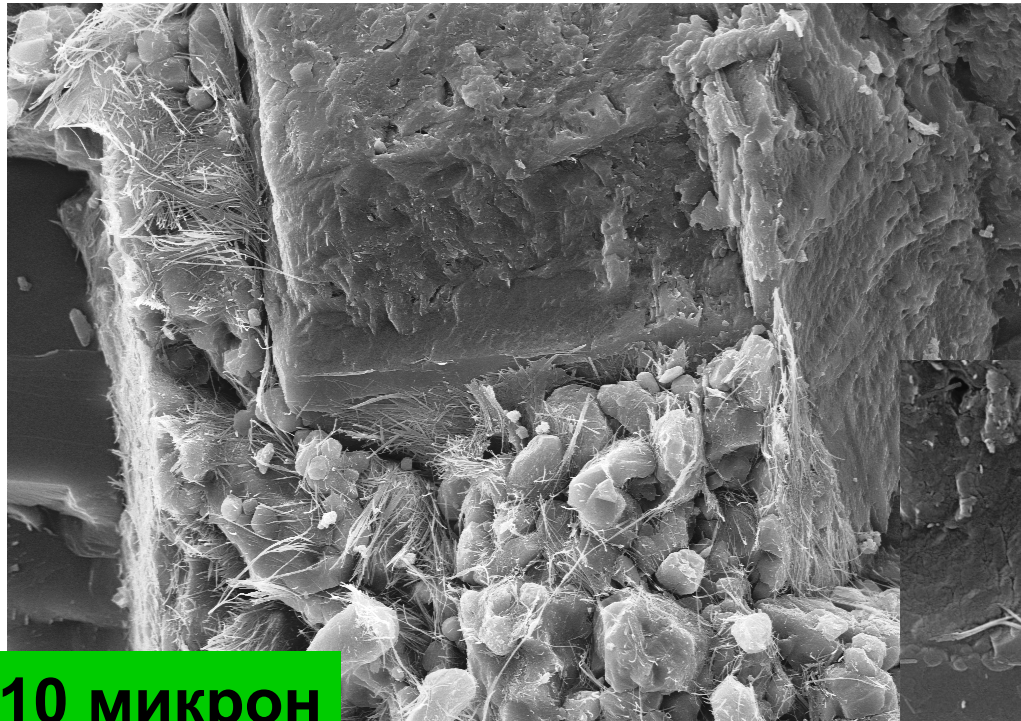
Великолепно скрученные нити кальцита-2 в пустотах между зёрнами кальцита-1 с тонкой плёнкой гидрослюды. Изредка на нитях мелкие ромбоэдри кальцита-3.

4 микрона

10.00 kV
EHT = 20.00 kV

Фотография в отражённых электронах

Белокаменные доломитизированные известняки касимовского горизонта в регионе Архангельска



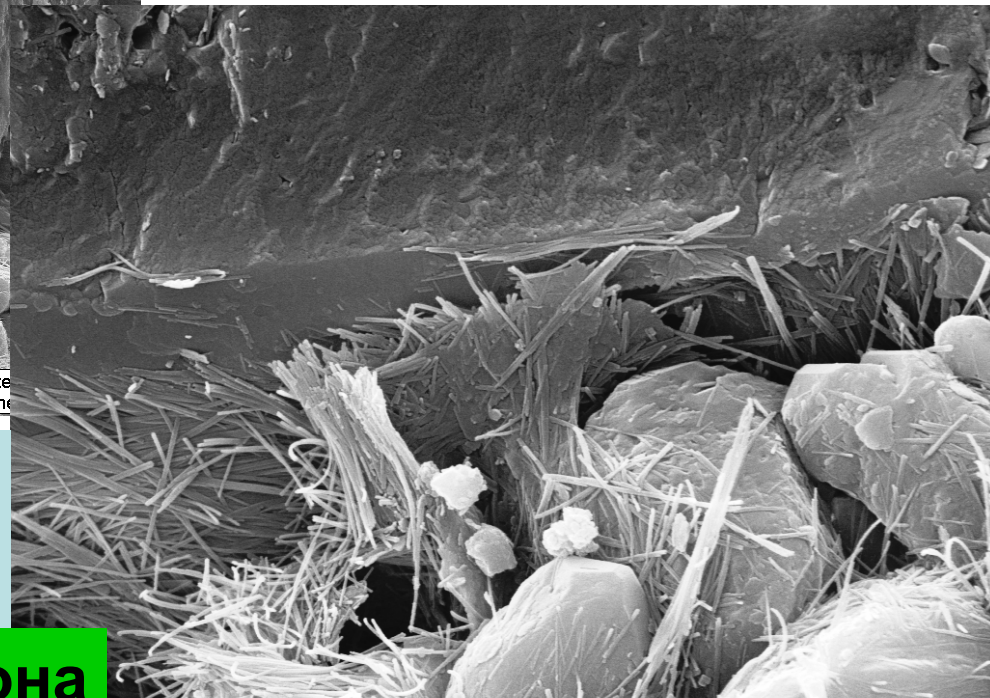
Нитевидный
магнезиальный кальцит
 $\text{Ca}_{0.88-0.96} \text{Mg}_{0.12-0.04} [\text{CO}_3]$

10 микрон

X I Probe = 300 pA Signal A = SE1 Date
EHT = 20.00 kV WD = 17 mm File Name = dol-09.tif Time

Фотографии
в отражённых
электронах

3 микрона



Mag = 20.00 K X I Probe = 300 pA Signal A = SE1 Date : 12 Dec 2006
EHT = 20.00 kV WD = 17 mm File Name = dol-08.tif Time : 15:33:46

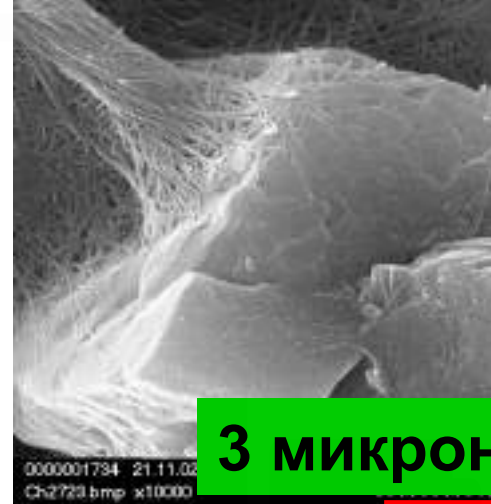
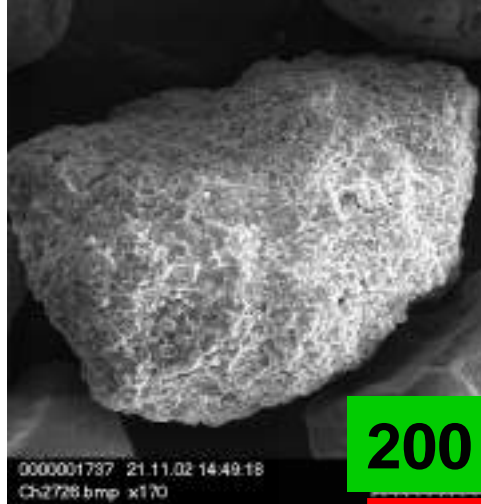
Длина нитевидных кристаллов до 0.1 мм,
толщина 0.00004 – 0.0002 мм,
их поперечное сечение округлое,
на боковых стенках плоских граней нет.

В отдельных участках нитевидные кальцит и
магнезиальный кальцит скручены в
небольшой степени, их агрегаты напоминают
известное в литературе «горное молоко
(сметану)»

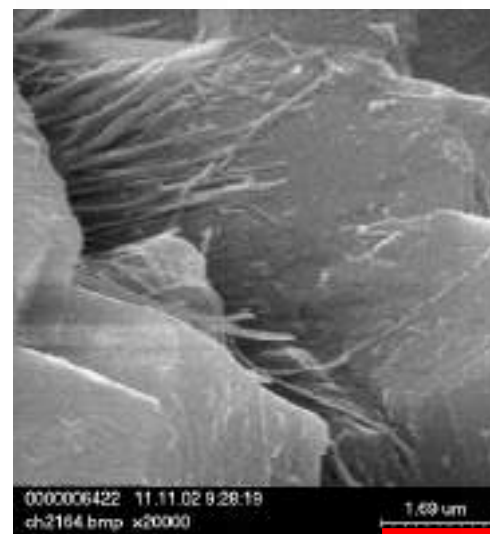
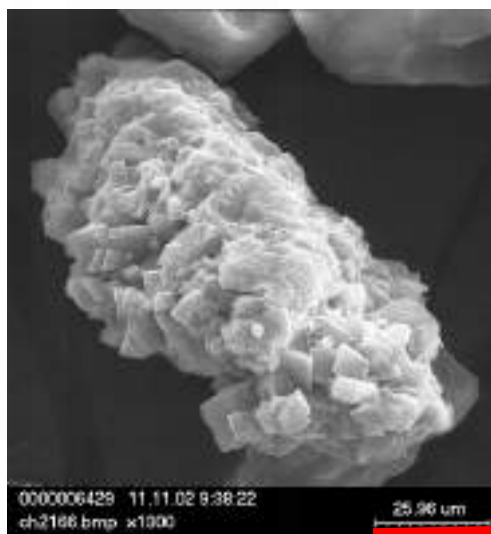
(Seeman, 1979; Fischer, 1988).

Известно, что механическая прочность
нитевидных кристаллов очень высока.
Поэтому прочность белокаменных
известняков высокая.

Такой же нитевидный кальцит, обильно развитый на поверхности песчаной размерности дресвы известняков в глинах четвертичной морены на юго-западе Москвы, обнаружил М.С. Чернов



Зерно известняка, фракция 0,25-0,5 мм, из донской морены, гл. 12 м, ЮЗ г. Москвы



Зерно известняка, фракция 0,25-0,5 мм, из донской морены, гл. 12 м, ЮЗ г. Москвы

Нитевидные кристаллы

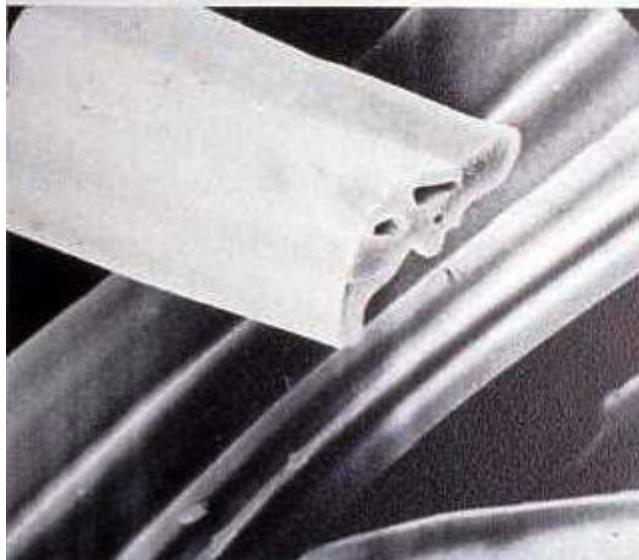
3 мм



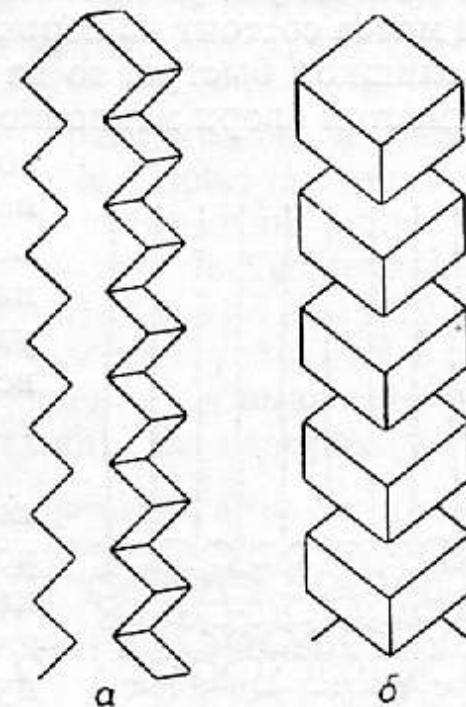
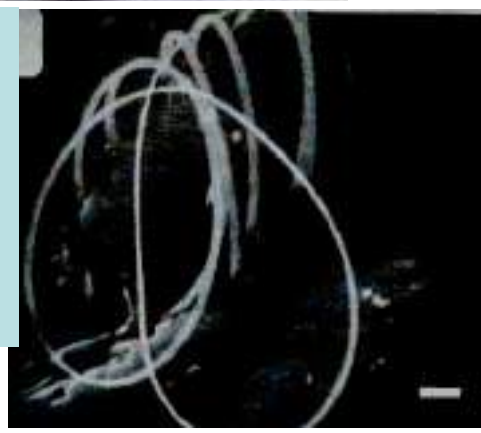
Гематит в газовой пустотке в базальтах



Сильвин.
Толщина нитей
до 10 микрон.
Германия



Нитевидный
дюмортьерит.
Длина
полосок
1 микрон



Ф и г. 204. *а*—волокну каменной соли, вытянутое вдоль оси [101] и покрытое гранями куба; *б*—волокну каменной соли, вытянутое примерно вдоль оси [111] и покрытое гранями куба.

Нитевидные кристаллы

Мои сборы 1959 г.

Самородная медь
в «рубашке» опала.
Кора выветривания.
Месторождение золота
Беркембай,
Северный Казахстан.

Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

3x2 мм

Нитевидные кристаллы



Бавенит –
гидросиликат Ве.
Бавено, Италия

Нитевидные кристаллы



Халькантит =
медный купорос.
35 мм.

Нитевидные кристаллы



Улексит оптический, световодный – агрегат тончайших абсолютно правильных нитевидных кристаллов.
Борон, долина Смерти, Калифорния, США

Нитевидные кристаллы



Нитевидный топаз
на рутиле.
1.5 мм.
Niveligsberg,
Эйфель,
Германия

санидин

Нитевидные кристаллы

Нити псевдобрукита на кристаллах псевдобрукита на санидине

Niveligsberg, Эйфель, Германия



2 мм



Нитевидные кристаллы буланжерита



Нитевидные кристаллы буланжерита



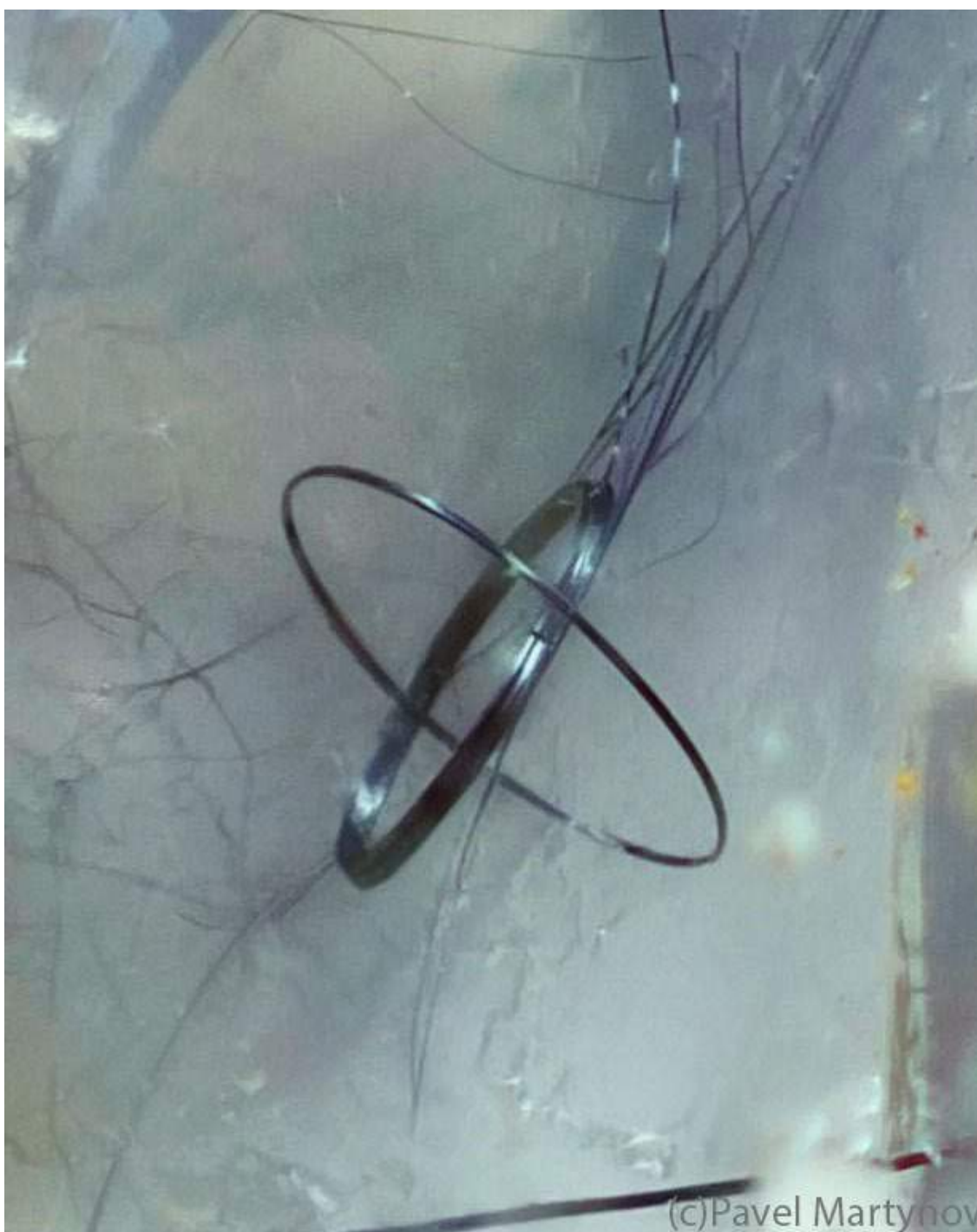
Как возникают кольца, «бухты»? Когда притягиваются разно заряженные концы нитевидных кристаллов и кристаллы продолжают расти

Нитевидные кристаллы буланжерита



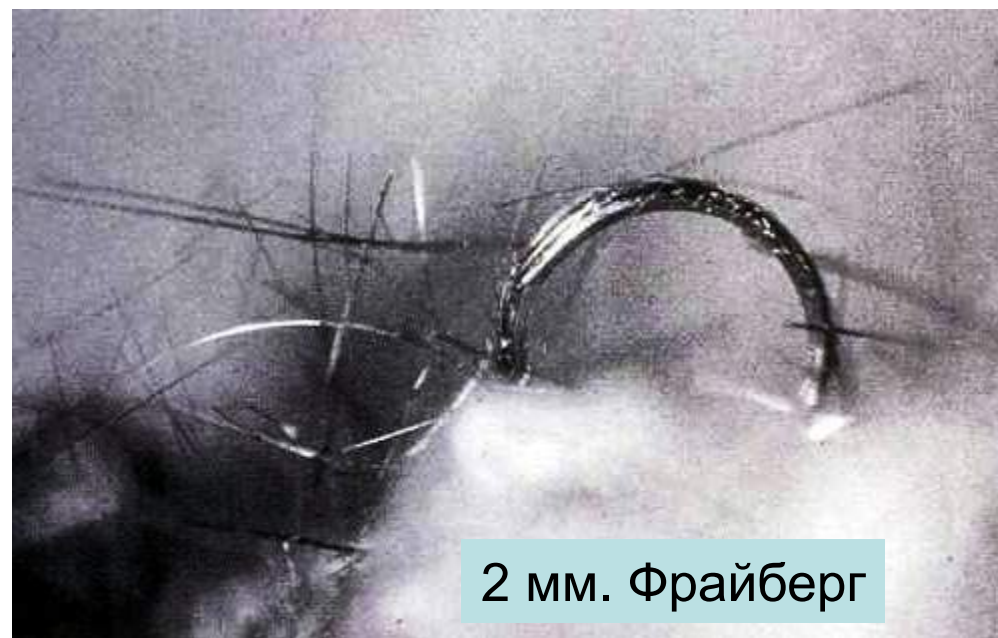
во флюорите. Тетюхе (Дальнегорск).
Фото Павла Мартынова

Нитевидные кристаллы жемсонита

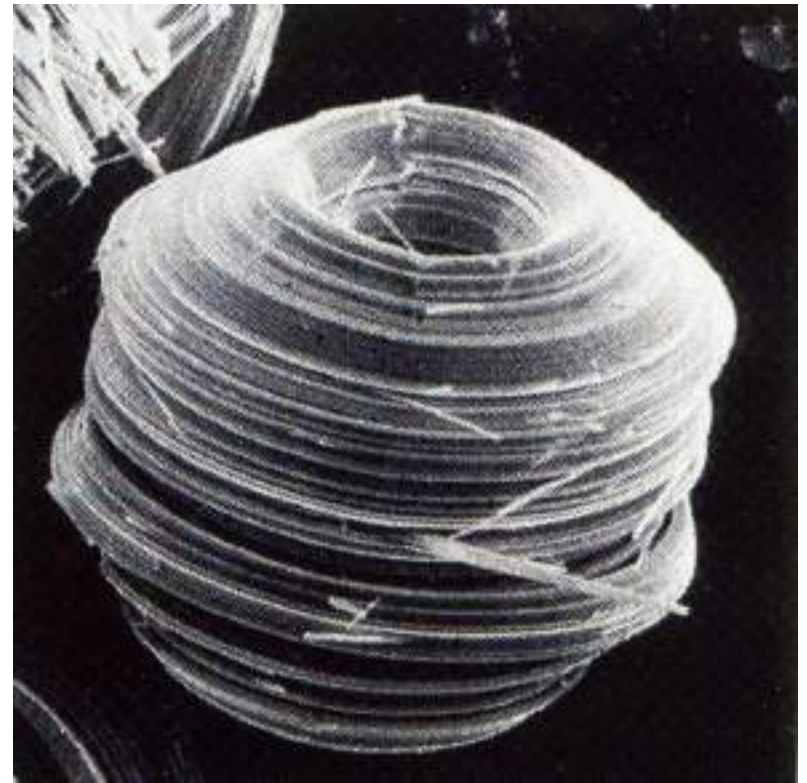


во флюорите.
Тетюхе
(Дальнегорск).
Фото Павла
Мартынова

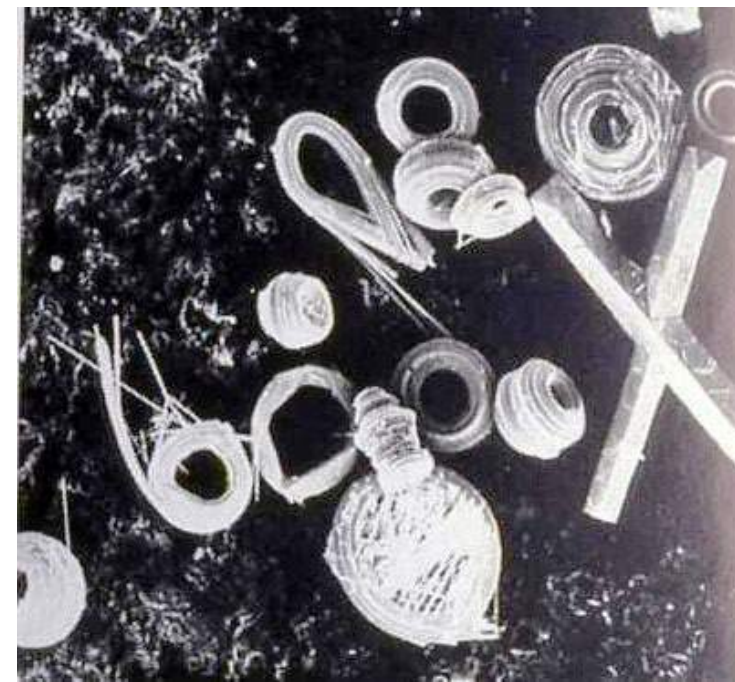
Нитевидные кристаллы джемсонита



2 мм. Фрайберг

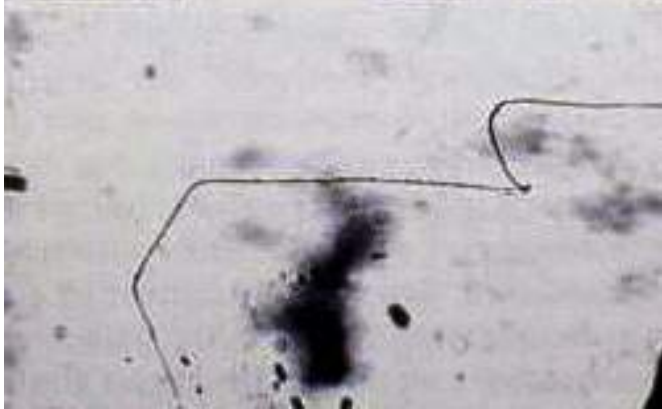


«Бухта» 0.15 мм.
Wolfsberg, Osthartz,
Германия



Разнообразно скрученные
нити джемсонита
и двойник арсенопирита

Нитевидные кристаллы



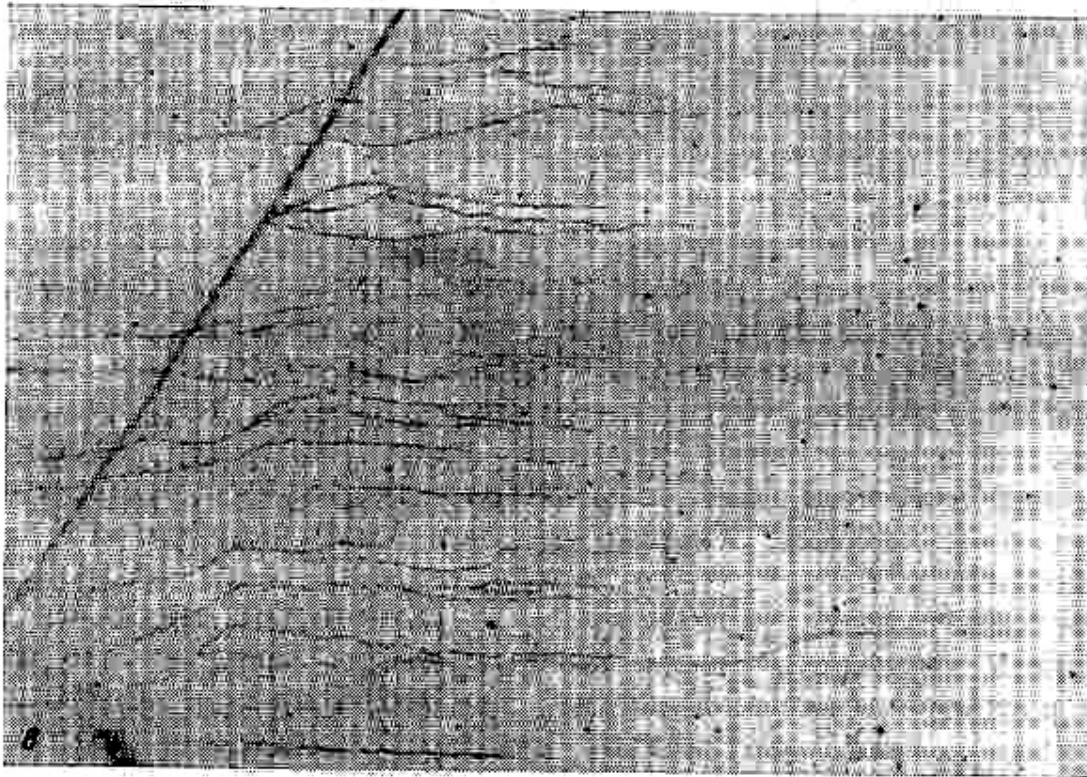
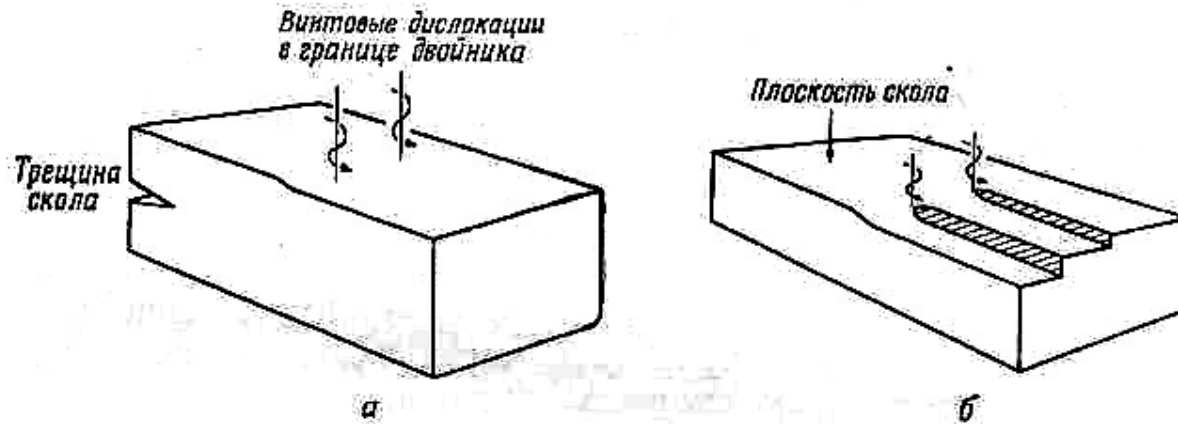
Гётит в кристаллах аметиста
– нитевидные кристаллы,
в том числе скрученные

Таким образом, минералы практически любого химического состава и с любой кристаллической структурой при определённых условиях могут вырасти в виде нитевидных кристаллов

Нитевидные кристаллы, возникающие при мощном механическом воздействии на кристаллы кварца и сульфидов

Одна из страшных болезней у горняков, работающих под землёй, особенно у тех, которые ведут подземное бурение, и у работников обогатительных фабрик, обслуживающих мощные дробильные машины, - силикоз, особая болезнь лёгких, которая нередко приводит к развитию рака лёгких. Было понятно, что причина – попадание в лёгкие мельчайших частиц кварца, отсюда и название болезни, но конкретных данных об этих частицах не было. Проблему силикоза с научной, реально с минералогической точки зрения решил М.Н. Малеев. Он обнаружил, что мощном механическом воздействии на кристаллы кварца, аметиста, сфалерита ... от определённых кристаллографических направлений кристалла происходит отщепление – фактически почти мгновенный рост мельчайших с совершенной структурой (то есть безумно прочных) нитевидных кристаллов, часто скрученных. Очевидно, именно такие пылевидной размерности кристаллы при попадании в лёгкие как копья протыкают альвеолы и около них могут развиваться всякие нехорошие новообразования. Таким образом, чтобы избежать силикоза, необходимо подбирать режимы подземного бурения и режимы дробления так, чтобы не возникали эти страшные кварцевые нитевидные кристаллы.

Нитевидные кристаллы, возникшие при мощном механическом воздействии – при щепке кристаллов кварца



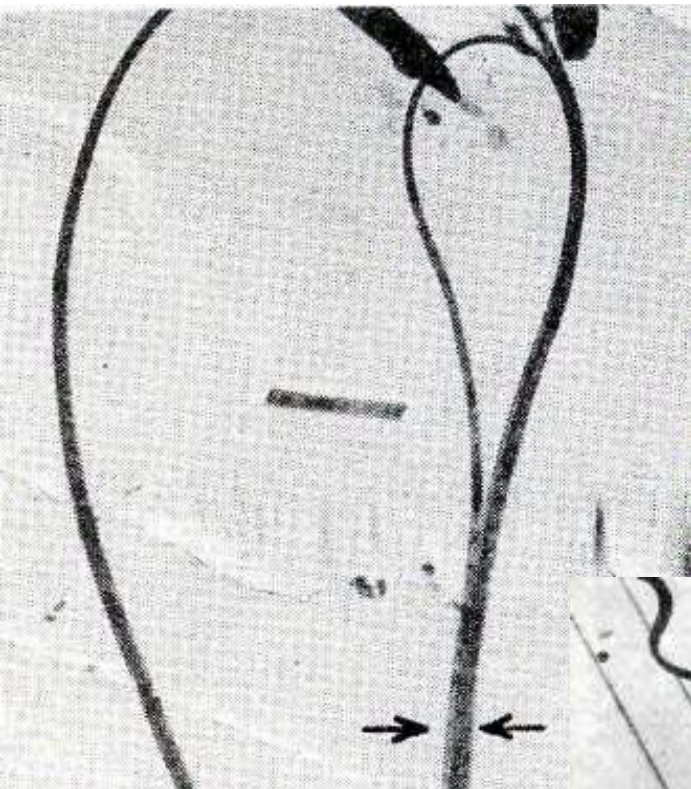
Ф и г. 3.

а, б — схемы образования ступенек при пересечении трещины скола с винтовыми дислокациями; в — ступеньки, образовавшиеся у границы кручения в цинке (трещина движется справа налево).

Возможная причина роста нитевидных кристаллов при щепке

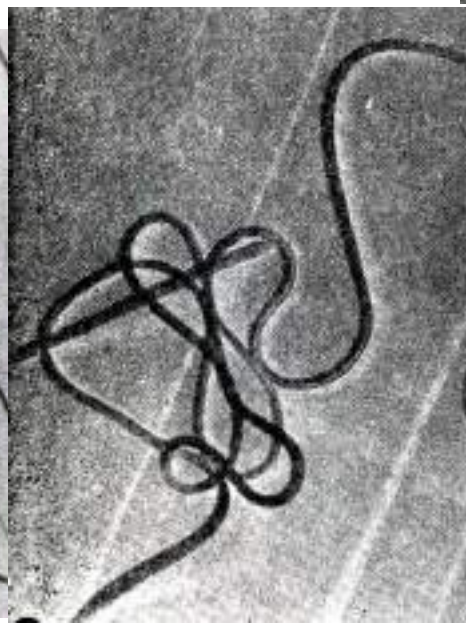
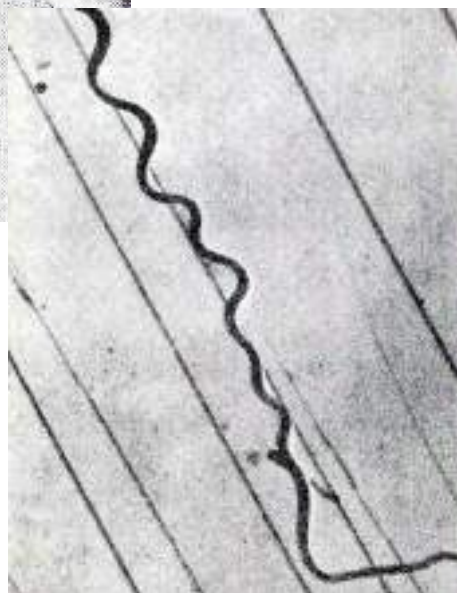
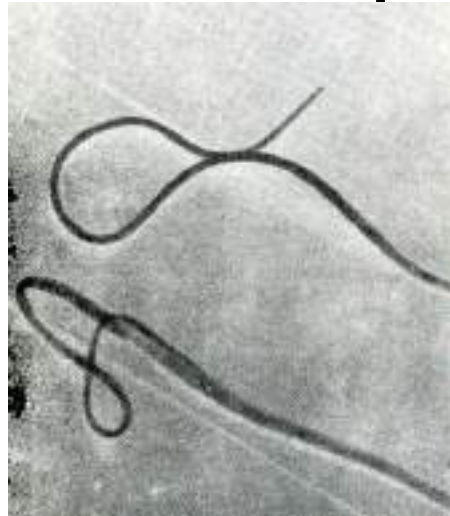
М.Н. Малеев,
1979

Нитевидные кристаллы кварца, возникшие при мощном механическом воздействии – при щепке его кристаллов



X 27000

М.Н. Малеев,
1979



Причина
силикоза

Нитевидные кристаллы, возникшие при мощном механическом воздействии – при щепке кристаллов кварца

X 21000



X 21000



М.Н.
Малеев,
1979

Скрученные нитевидные
кристаллы кварца

X 40000





Карелия.
Фото М.С.
Алфёровой

Ильменский заповедник



Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. Индивиды

Рост кристаллов

**010. Специфические
формы кристаллов –
блокованные, мозаичные,
расщеплённые**

Явления расщепления кристаллов

Расщепление - довольно обычная особенность роста кристаллов, преимущественно в кинетическом режиме.

При росте реальный кристалл может стать мозаичным во всём объёме или в отдельных своих частях. Соответственно, пластинки пирамид роста и отдельные части пирамид роста в таком случае состоят из фрагментов, несколько повернутых относительно друг друга.

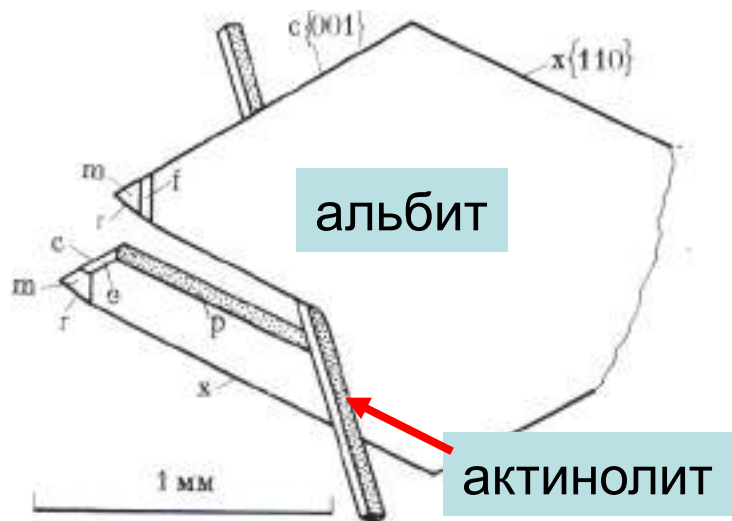
Расщепление, в том числе скручивание, является в сущности разновидностью мозаичного роста. Отличительная особенность расщепления - увеличение по мере роста кристалла угла разориентации осей блоков. Блоки - это субиндивиды минерала.

Крайний случай расщепления - образование сферолитов – сферокристаллов. До тех пор, пока все субиндивиды можно охватить путем различных операций трансляции - это индивид, вплоть до полного сферокристалла. В противном случае индивид превращается в агрегат.

Явления расщепления кристаллов

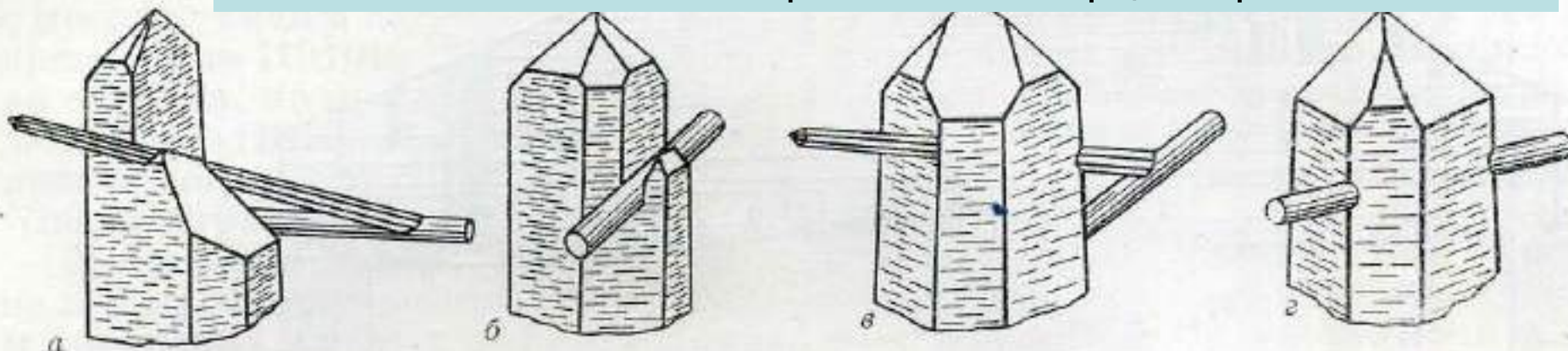
Ранее полагали, что основная причина расщепления - наличие препятствий на поверхности растущего кристалла или включений в кристаллах. Многочисленные наблюдения показали, что это не так.

При встрече растущего кристалла с препятствием расщепления не происходит. Кристалл обычно «обходит» препятствие



Соотношение кварца и эпидота. 130x70 мм. Алексеевская горка, Средний Урал

Различные соотношения кристаллов кварца с препятствиями



Явления расщепления кристаллов

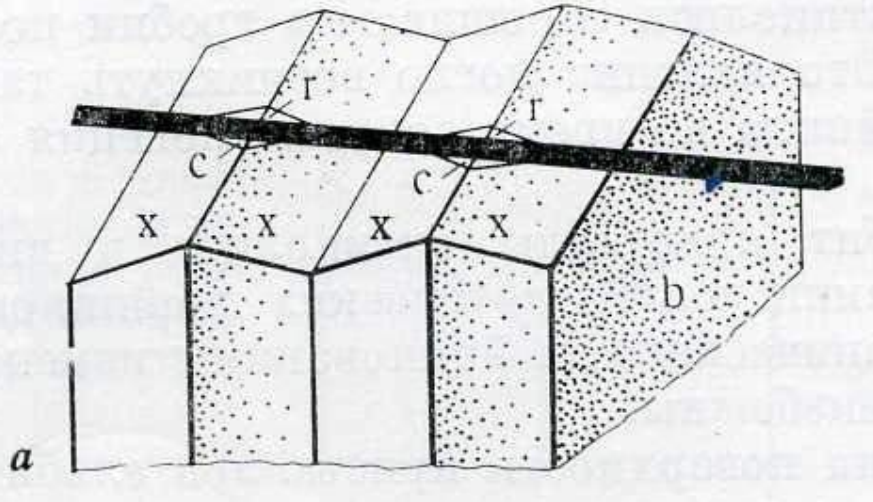
При встрече растущего кристалла с препятствием расщепления не происходит. Кристалл обычно «обходит» препятствие



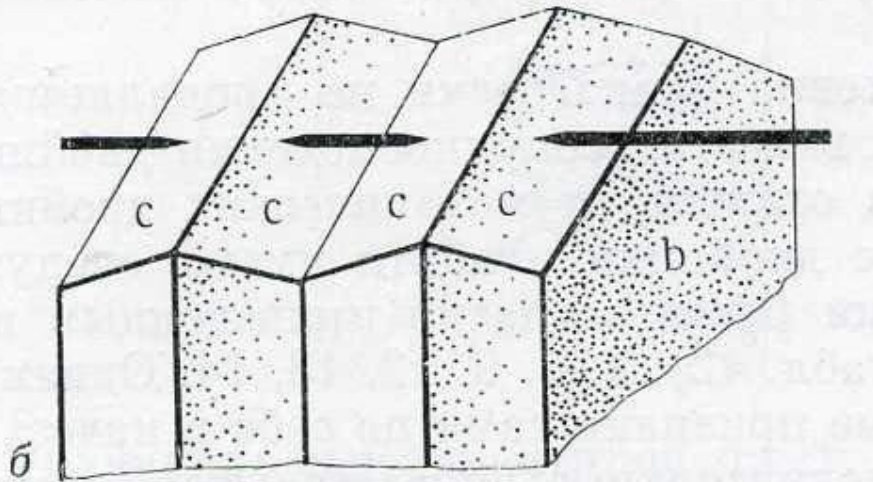
Биотит (чёрный) и титанит (светло коричневый, прозрачный)
3 мм. Санидиниты. Азорские острова

Явления расщепления кристаллов

При встрече растущего кристалла с препятствием расщепления не происходит. Кристалл обычно «обходит» препятствие



Двойники альбита и игла актинолита



Полихромный эльбаит
130 мм с кварцем.
Morro Redonda mine, Бразилия

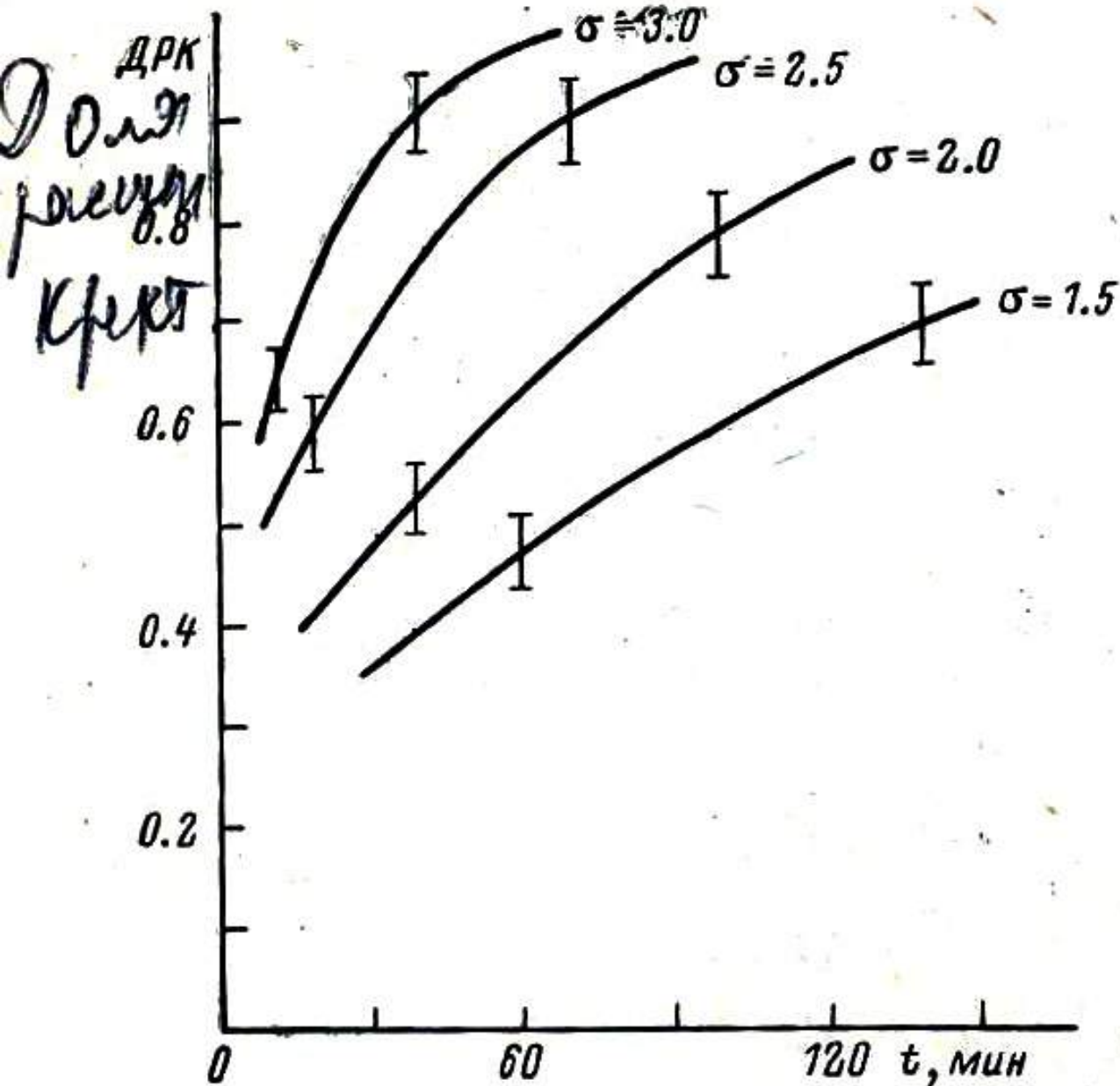
Явления расщепления кристаллов

Процесс расщепления возможен только при достижении некоторого достаточно большого (критического) пересыщения расщепления, различного для разных минералов и для разных граней одного кристалла, а так же для разных веществ, отравляющих рост. Иногда ничтожные добавки примеси в среду кристаллизации снижают критическое пересыщение расщепления.

Напряжения, существующие между субиндивидом и матричным кристаллом, порождают новые акты рекристаллизации и зарождение новых блоков, что в конце концов может привести к интенсивному расщеплению с образованием сферолитов - сферокристаллов.

Оценка влияния степени пересыщения раствора на явления расщепления кристаллов во время их роста на примере синтетических кристаллов гипса: степень пересыщения 1,5%, 2%, 3% - доля расщеплённых кристаллов соответственно 45%, 60%, 95%.

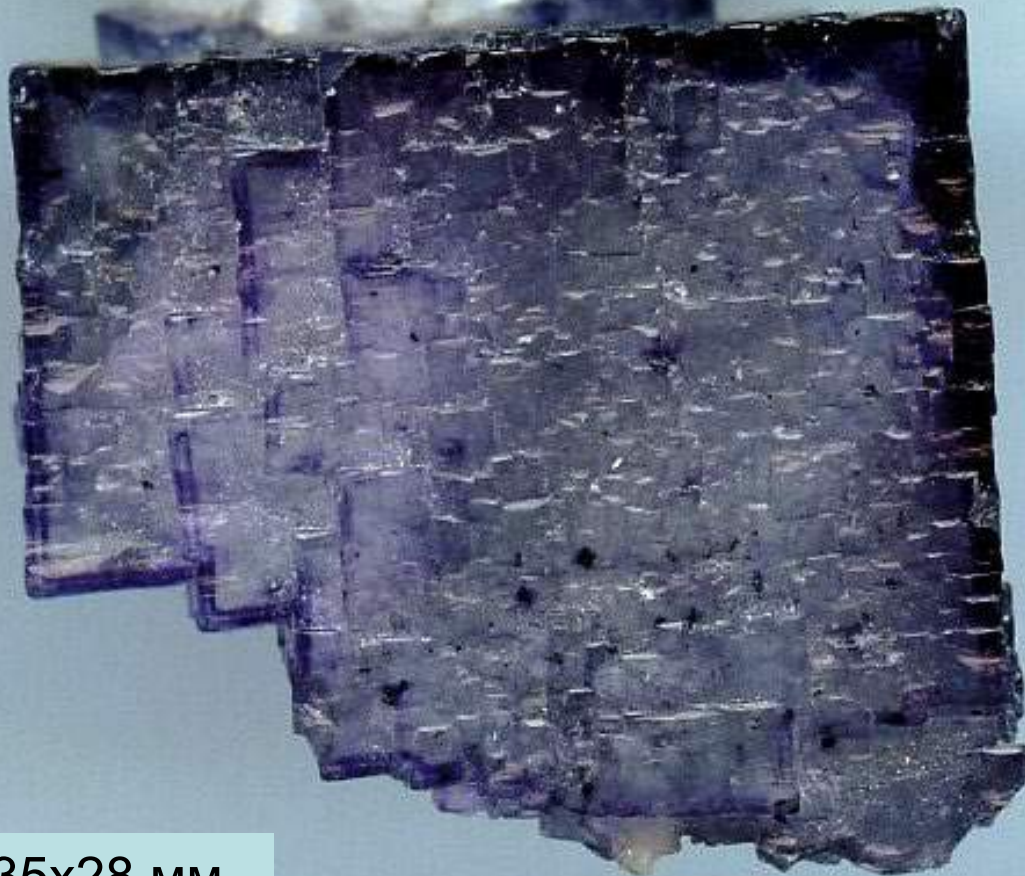
Явления расщепления кристаллов



Зависимость доли расщеплённых кристаллов гипса от степени пересыщения раствора (от 1.5% до 3,0%) и длительности кристаллизации (Руссо, 1981)

Явления расщепления кристаллов

Мозаичные –
блокованные
кристаллы.
Флюорит



35x28 мм



65 мм.
Yaogangxian,
Hunan, Китай

Явления расщепления кристаллов

Мозаичные – блокованные кристаллы. Флюорит



La Viesca quarry,
La Collada, Испания



50
MM



Гилгут, Афганистан

Явления расщепления кристаллов Мозаичные – блокованные кристаллы. Флюорит



на кварце 67 мм. La Callanca, Испания



65 мм

Явления расщепления кристаллов

Мозаичные – блокованные кристаллы. Марказит



**Явления расщепления кристаллов
Мозаичные – блокованные кристаллы. Кальцит**



Явления расщепления кристаллов Мозаичные – блокованные кристаллы. Кальцит

Мадан,
Болгария

Колл. музея
“Земля и люди”,
София

Фото
Н.Н. Жукова



Явления расщепления кристаллов

Мозаичные – блокованные кристаллы

Алмаз из
кимберлитов
Африки





Слабо расщеплённые кристаллы

Кристаллы кварца
с субиндивидами

Гранитные пегматиты Бразилии.
Музей “Земля и люди“, София, Болгария.

Фото Н.Н. Жукова

Слабо расщеплённые кристаллы

Кристаллы кварца с субиндивидами

250
мм

65x50 мм

Роркура, Румыния



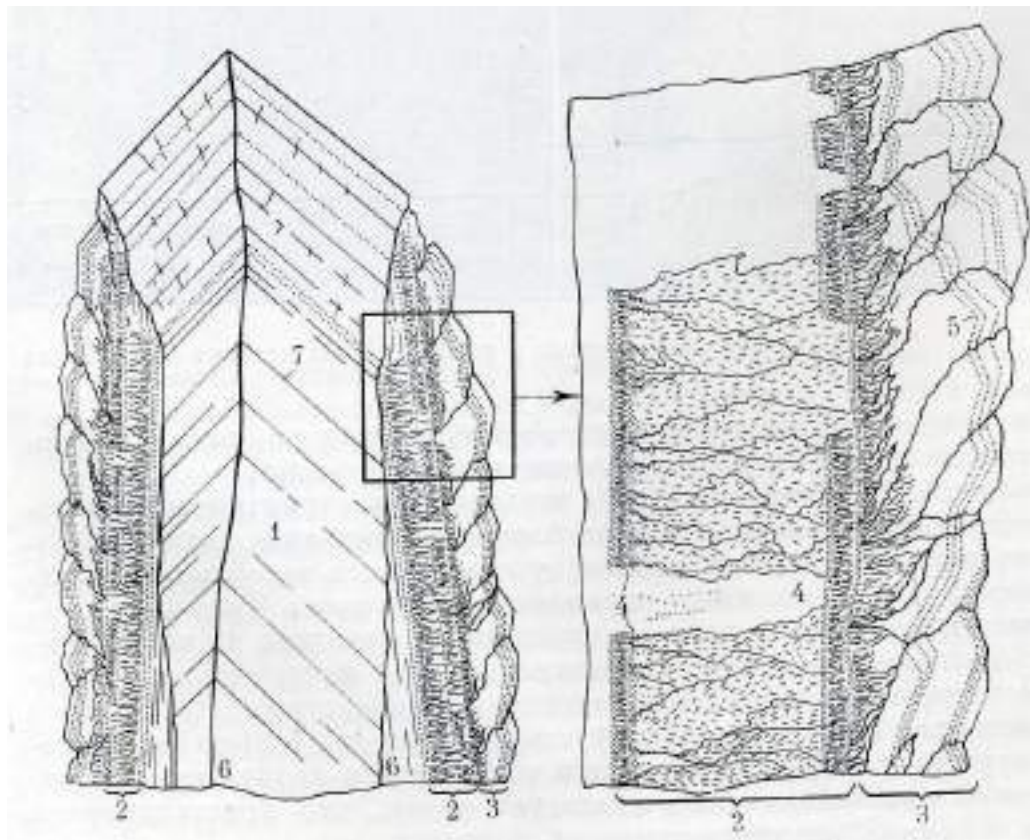
Слабо расщеплённые кристаллы

Кристаллы кварца с субиндивидами

58 мм



Karur, Tamilnadu



Внутреннее строение кристаллов кварца с субиндивидами

Слабо расщеплённые кристаллы

Кристаллы с субиндивидами

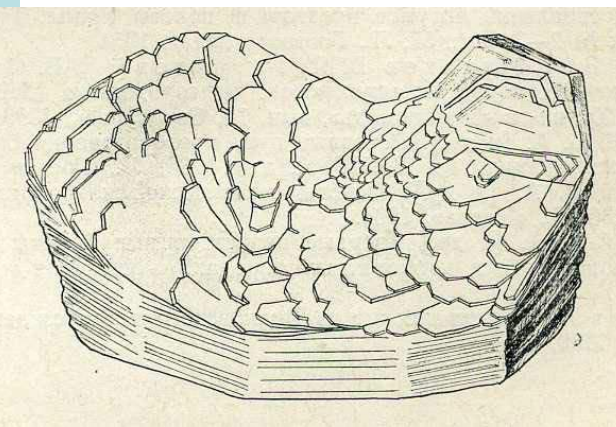


Турмалин 30 мм.
Erongo, Намибия



24 мм

Молибденит. Malartic,
Квебек, Канада



Корунд
45 мм

Доломит 78 мм.
Shangbao,
пров. Хунань,
Китай



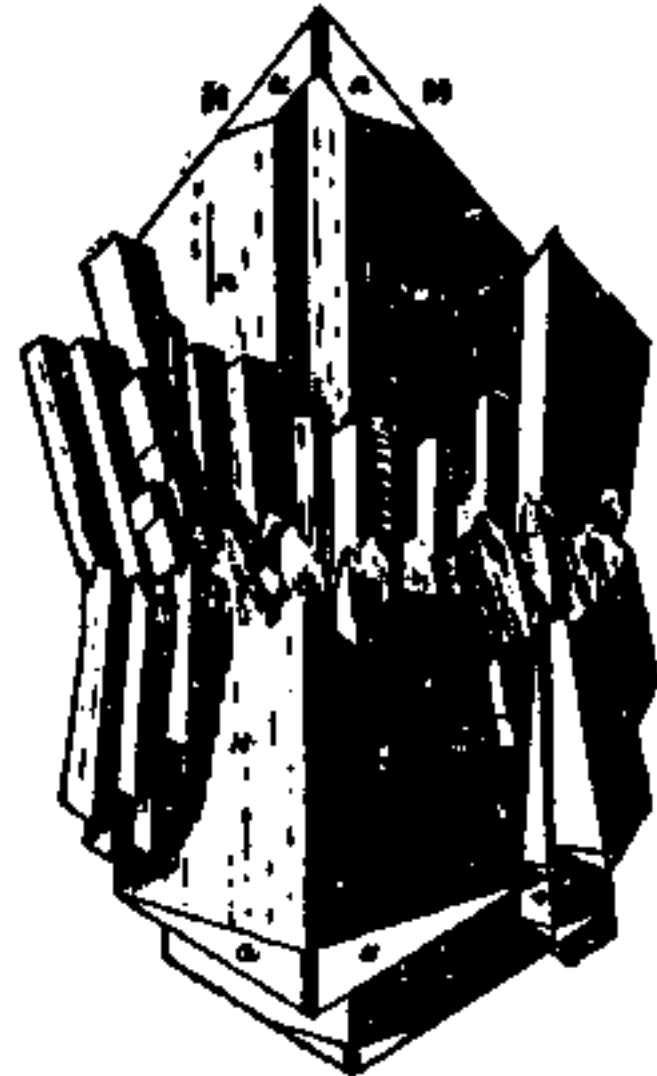
Расщеплённые кристаллы

Кристаллы с субиндивидами



Кобальтистый смитсонит. 20 мм. Цумеб

Англезит



Расщеплённые кристаллы

Кальцит



На дне пещеры



С субиндивидами.
San Miguel mine, Колорадо



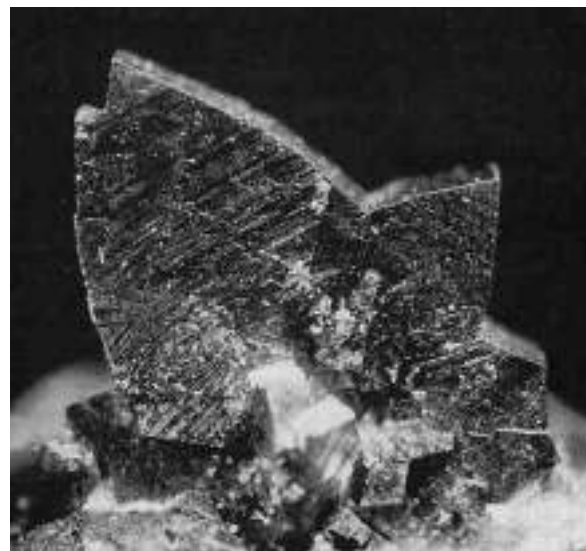
150x95 мм. Тетюхе,
Дальний Восток

Расщеплённые кристаллы

Кристаллы марказита с субиндивидами

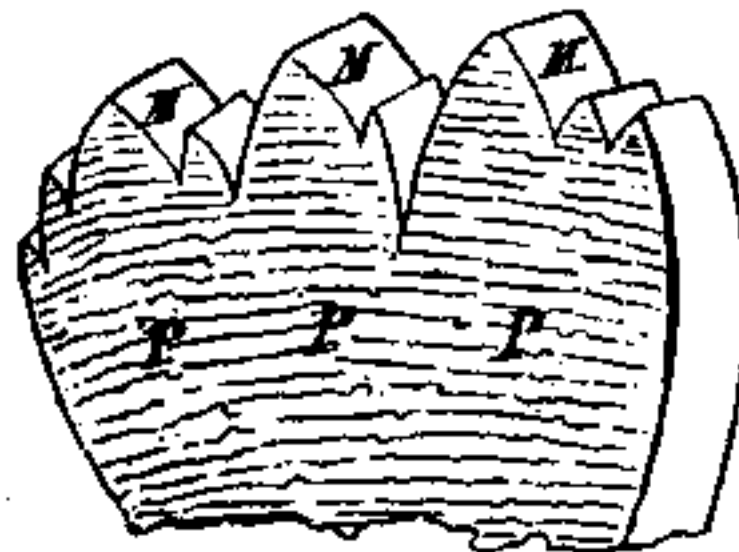


35 мм.
Christian Levin,
Essen, Германия



3.7 мм,
Leopard
mine,
Канзас,
США

Fig. 67.



Слабо расщеплённые кристаллы



Расщеплена внешняя зона кристалла кварца. Николи х



Декан,
Индия

Расщеплённый стильбит и нерасщеплённый апофиллит.

36x27 мм



0.8 мм

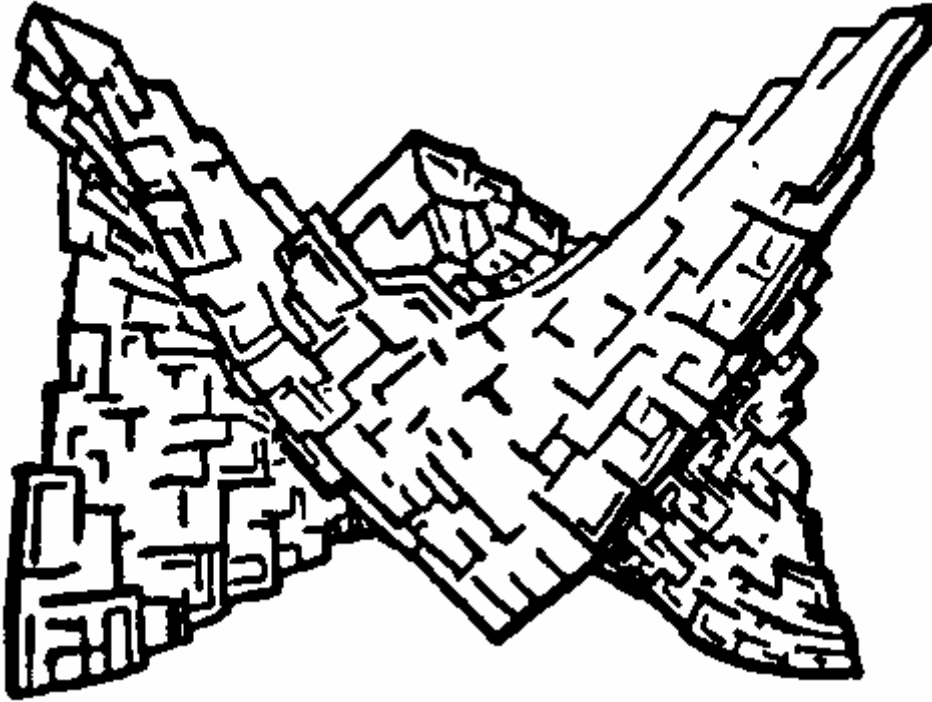
Лепидокрокит.
Шахта Alter
Mann, Siegerland,
Германия



Пироморфит.
Bad Ems,
Германия

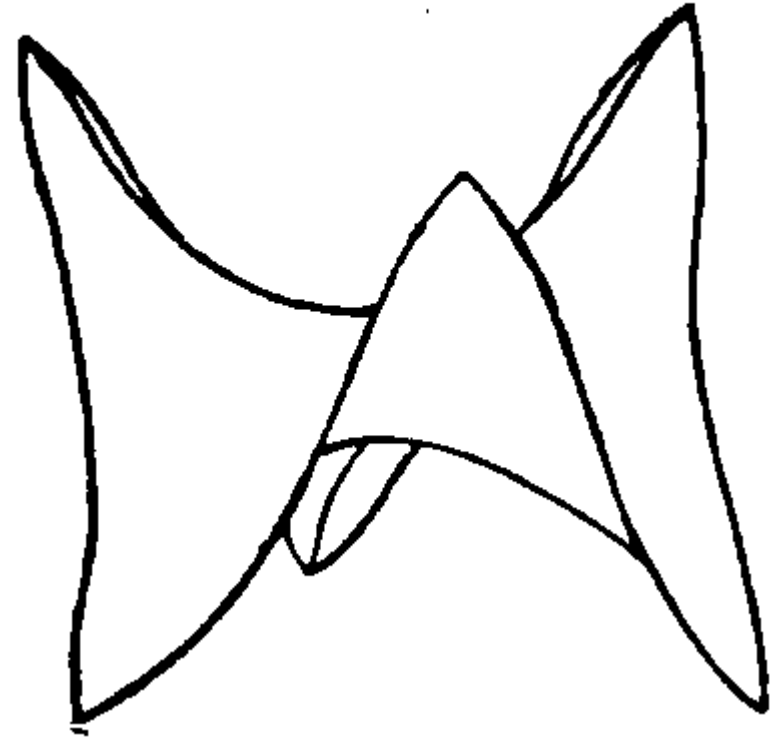
Расщеплённые кристаллы

Fig. 84.



Седловидный доломит

Fig. 10.



Седловидный гематит

Рисунки в книге V.M. Goldschmidt, 1918 - 1923

Слабо расщеплённые кристаллы

Различные стадии и степени расщепления кристаллов гейландита.
Река Ванавара, Восточно-Сибирская платформа

73x53 мм.

Расщепление
по базису



51x28 мм.

Начало
расщепления
поперёк
базиса



46x31 мм.

Заметное расщепление



49x44 мм. Ещё
более заметное



64x40 мм.
Расщепление
по всему объёму
кристалла

Расщеплённые в средней степени кристаллы

Галенит в скарнах. Мадан, Родопы, Болгария



Колл.
Ивана
Бонева.

Фото
ЭМС и
Н.Н. Жукова

Расщеплённые в средней степени кристаллы

Клинохлор. Коршуновское, Восточная Сибирь



Расщеплённые в средней степени кристаллы

Стильбит в метабазах цеолитовой фации. Тунгуска, Вост. Сибирь

80
мм



Сноповидные
расщеплённые
кристаллы



Расщеплённые в средней степени кристаллы



59 мм

Гидроксилфторапофиллит и сферолиты пренита. Первомайское, Горный Крым. Колл. Э.М. Спиридонова. Фото М.А. Богомолова

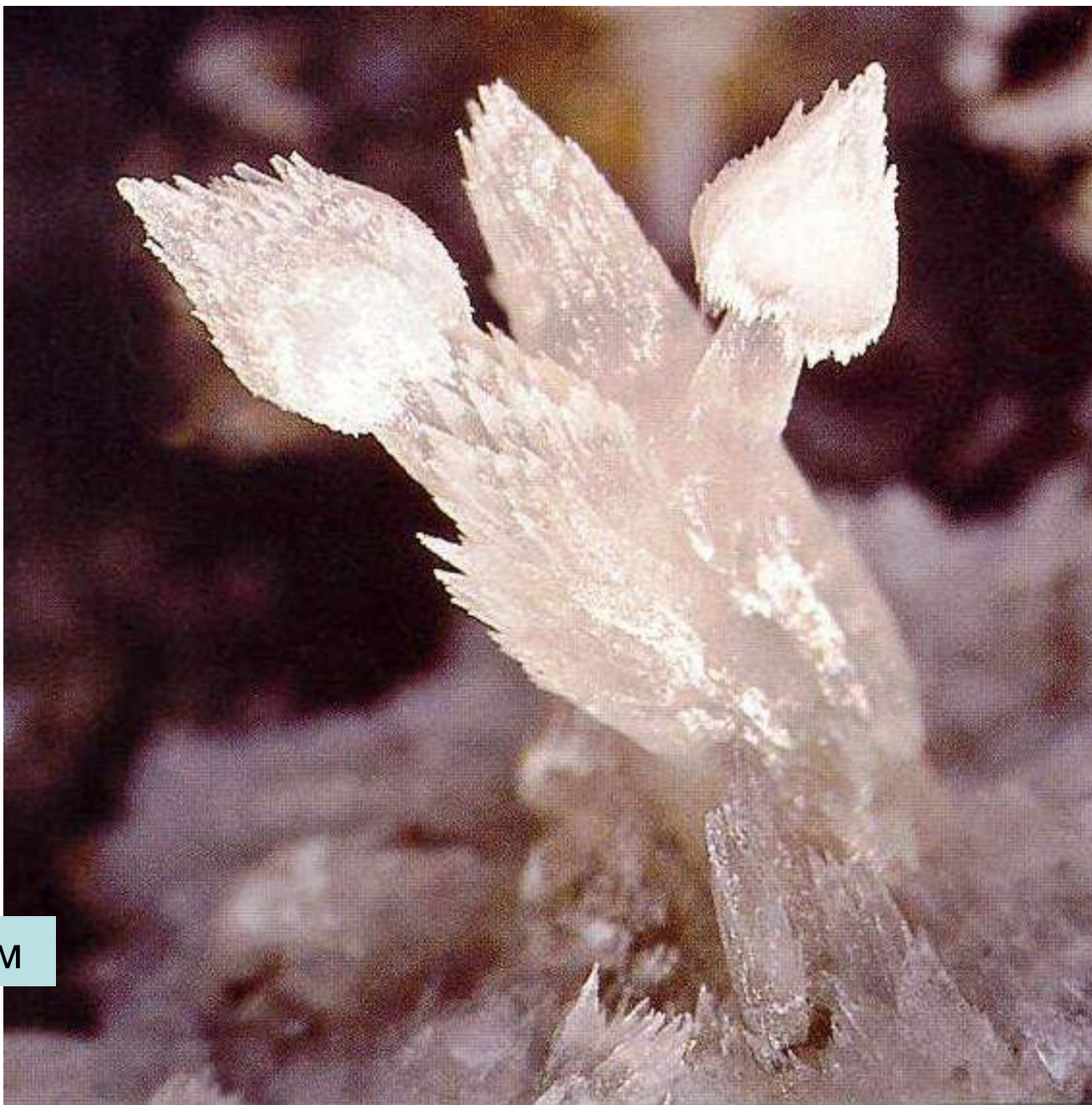
Расщеплённые в средней степени кристаллы



Кальцит.

Wenshan,
Yunnan,
Китай

Расщеплённые в средней степени кристаллы



3 мм

Букет
тюльпанов
–
кальцит.

Эйфель.

Германия

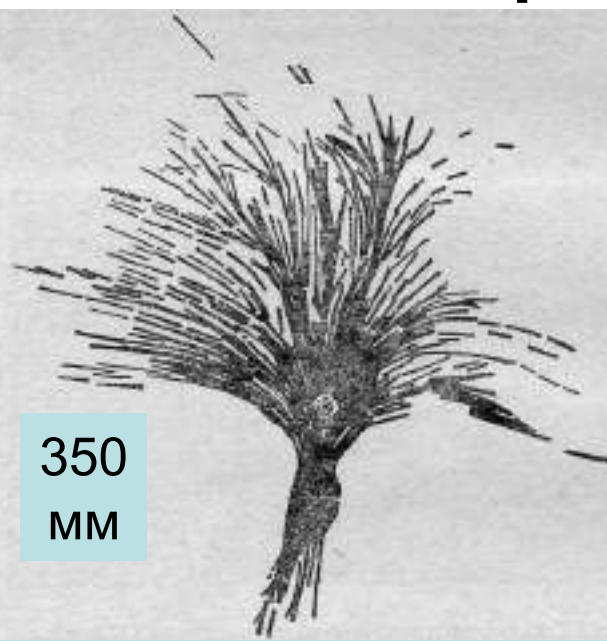
Расщеплённые в средней степени кристаллы

5 мм



Куплетскит. Mont Sant Hilaire, Канада

350
мм



Турмалин –
хромовый
дравит
в
парагонит.
сланцах.
Шабры,
Средний
Урал

Малахит. Luishia Mine, Катанга, Конго



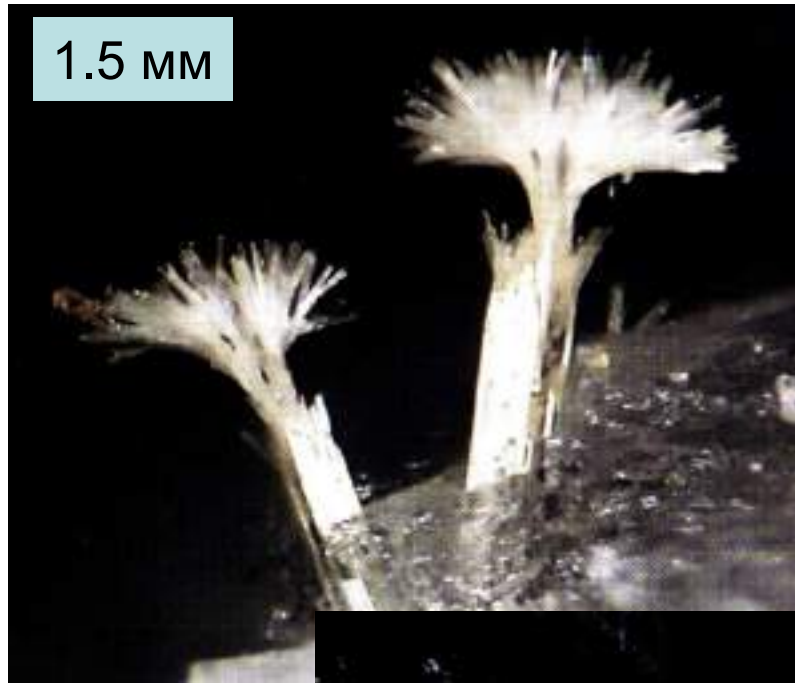
Тенорит до 1.5 мм. Эйфель, Германия

82 мм



Расщеплённые в средней степени кристаллы

Букетики циркона
в продюшинах трахитов.
Лаахер, Эйфель, Германия



1.5 мм



2 мм



На санидине. 3 мм

На вулканическом стекле

Расщеплённые в сильной степени кристаллы



Са родохрозит.
Мадан, Болгария.
Фото Н.Н. Жукова

Расщеплённые кристаллы - розы

Железная роза -
гематит в
альпийской
жиле



30x27 мм. Биннталь, Швейцария

Расщеплённые кристаллы - розы



Ильменит 25 мм.
Staldental, Швейцария



115x95 мм
Корунд,
Ильмены



35
мм

Барит.
Техас,
США



28 мм

Барит.
Cidade Baixa,
Joao Pessoa,
Paraiba,
Бразилия

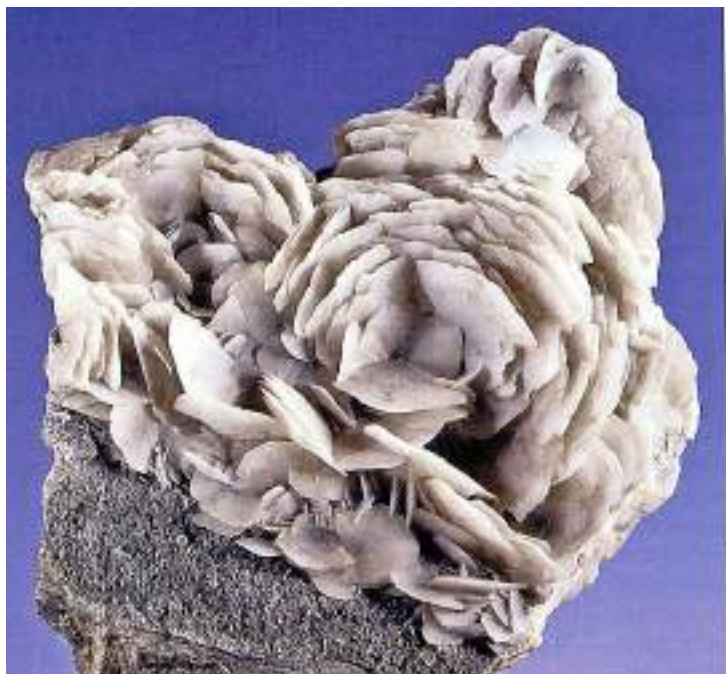
Расщеплённые кристаллы - розы

Клинохлор. Рудногорское, Восточная Сибирь

Размер расщеплённых кристаллов до 12 мм



Расщеплённые кристаллы - розы



Кальцит 90x70 мм.
Шнееберг, Германия



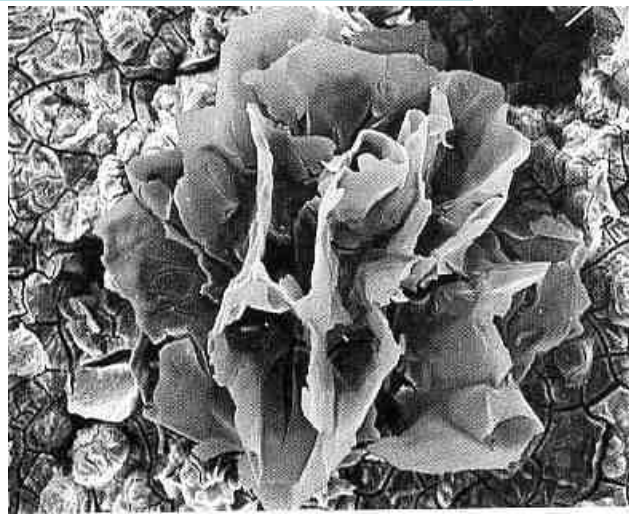
Полибазит 16 мм.
Husky mine,
Yukon, Канада



Катаплеит 50 мм.
Mont-Saint Hilaire,
Канада

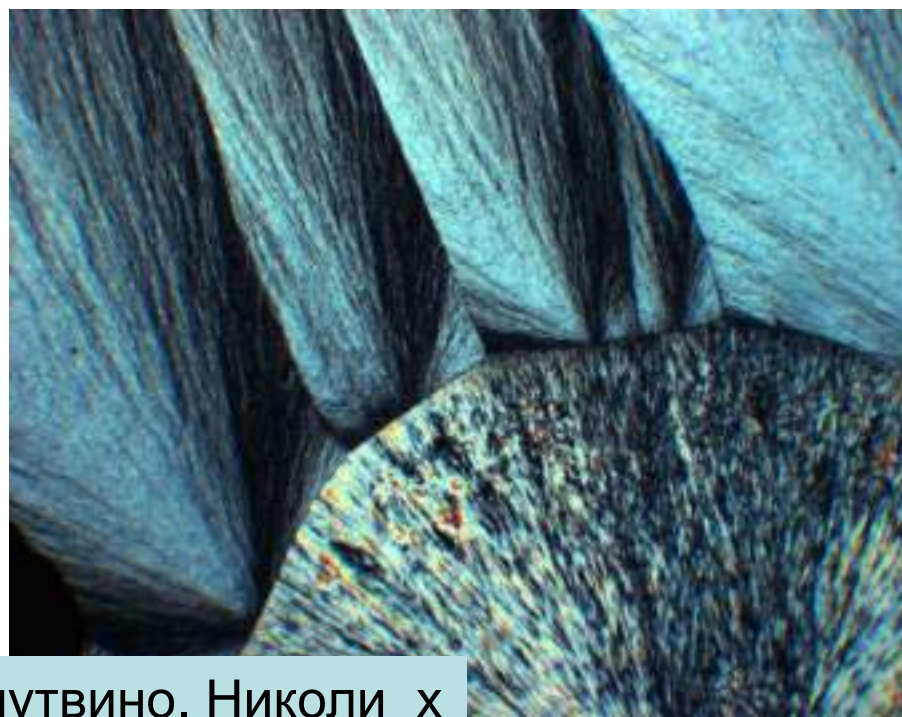
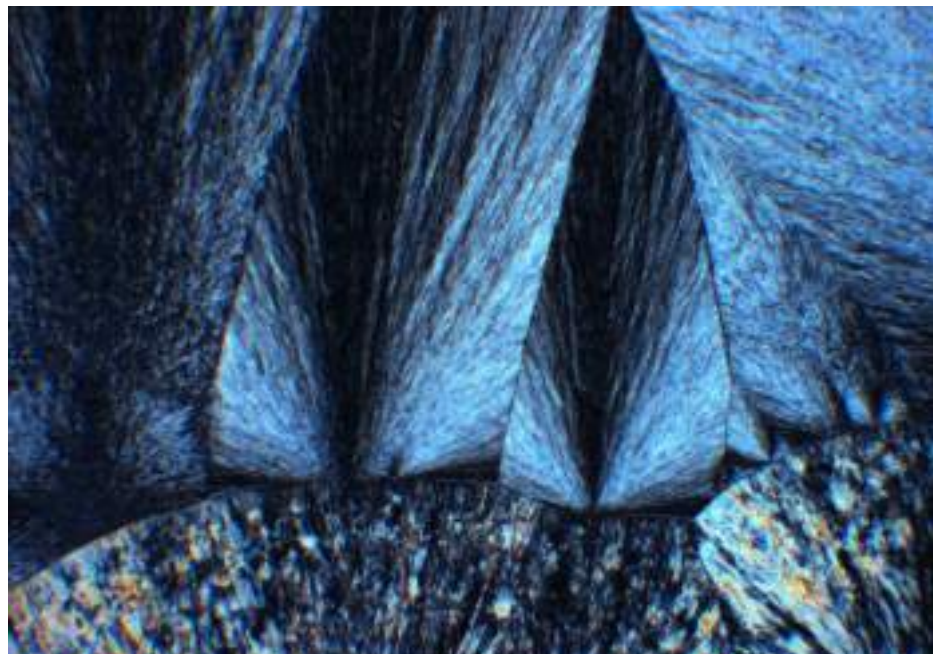


Байерит
0.12 мм.
Holsteinbruch,
Нюрнберг,
Германия

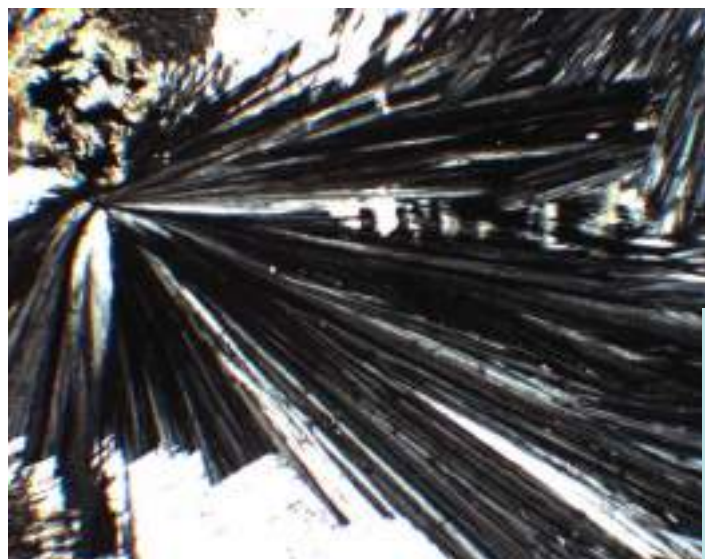


Гётит 0.2 мм.
Италия

Расщеплённые в сильной степени кристаллы

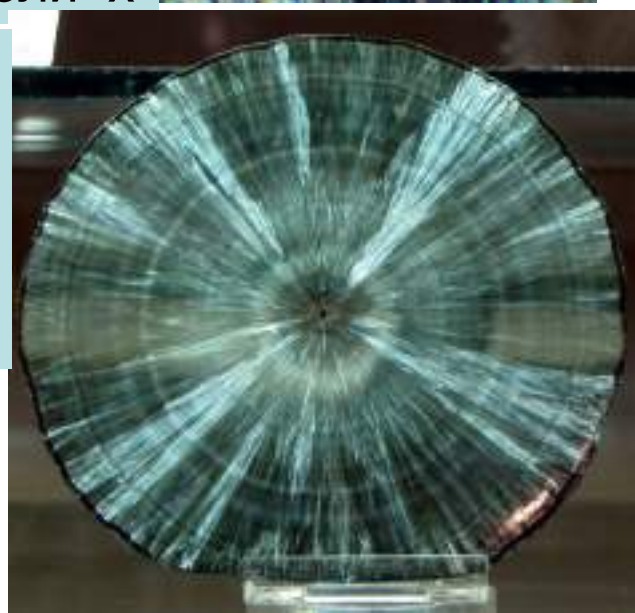


Халцедон в агатах. Голутвино. Николи х

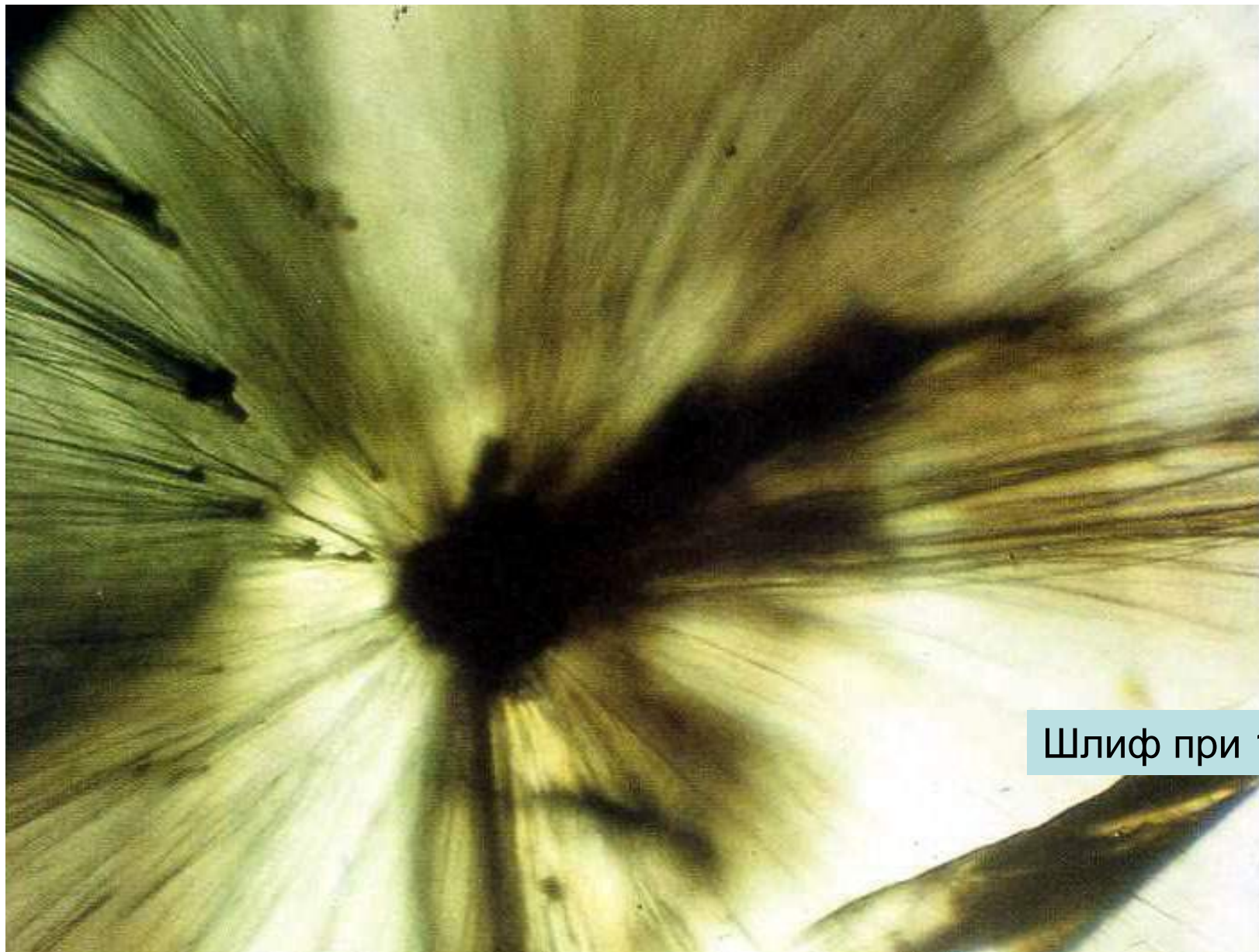


Клинохлор 100 мм.
Поперечный срез
сталактита.
Коршуновское,
Вост. Сибирь

Бавенит.
Ермаковское,
Забайкалье.
Николи х



Расщеплённые в сильной степени кристаллы

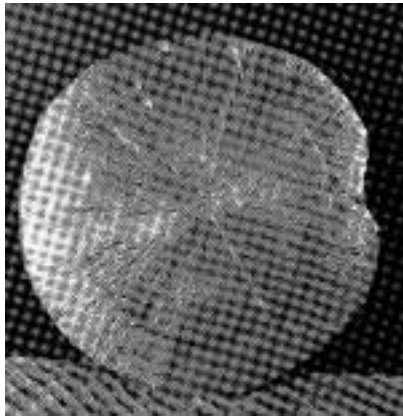


Шлиф при 1 николе

Демантоид – хромсодержащий андрадит. 3 мм. Каркодино, Средний Урал

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы плоские

Марказит - пиритовый «доллар». 70 мм.
По слоистости осадочных пород. Sparta, Illinois, США



Кутногорит $\text{CaMn}[\text{CO}_3]_2$ 46 мм.
Wessels mine, Калахари,
Южная Африка

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные



Арагонит 10 мм. Сарнис. Румыния



Родохрозит 45 мм

Сферолиты флюорита в монокристалле барита. Раствор по отношению к флюориту сильно пересыщен, по отношению к бариту чуть пересыщен

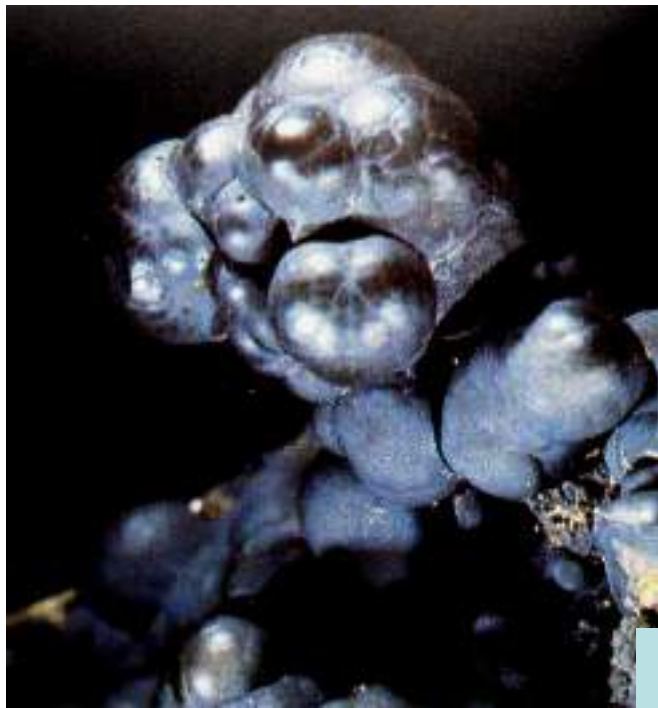
Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Сидерит



Сферокристаллы до 20 мм.
Тетюхе



На антимоните.
Baia Sprie, Румыния

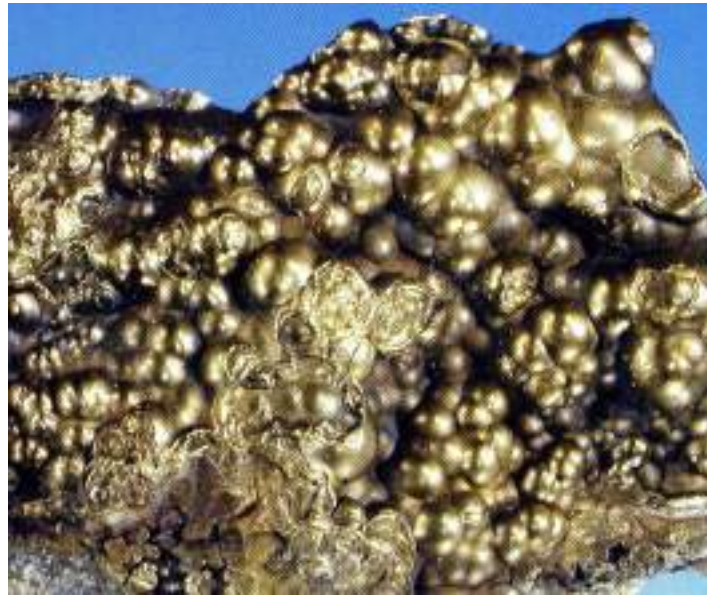


25 мм. Зигерланд, Германия

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Сульфиды



Марказит 90 мм



Халькопирит 115 мм.
Cooks Kitchen Mine,
Корнуолл, Англия

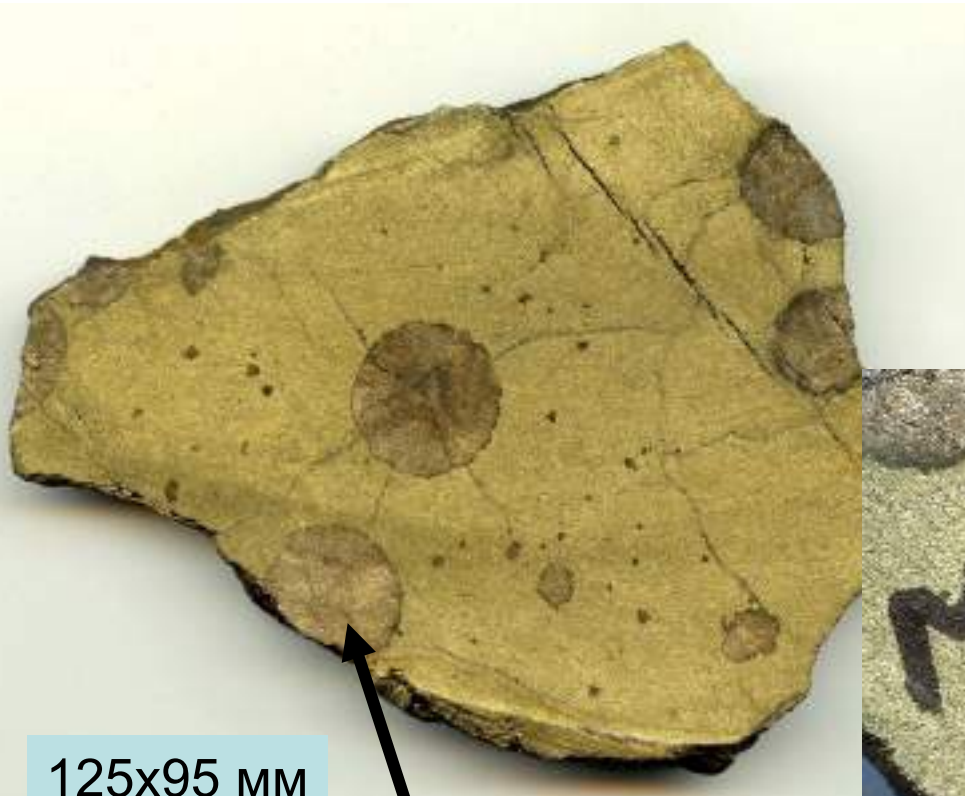
Арсенопирит 310 мм.
Llallagua, Перу



Сфалерит – стеклянная голова



Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Сульфиды



125x95 мм

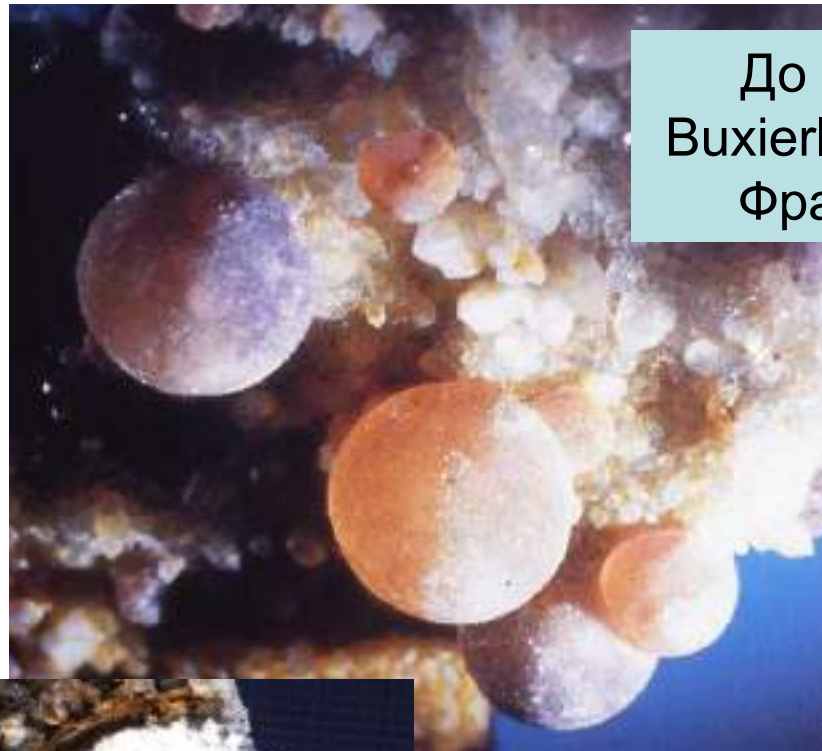


Объёмные сферокристаллы пентландита в халькопирите.
Маяк, Норильское рудное поле

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Флюорит



80x60 мм. Alashan Zuqi,
Внутр.Монголия, Китай



До 3 мм.
Vuxierlex mine,
Франция

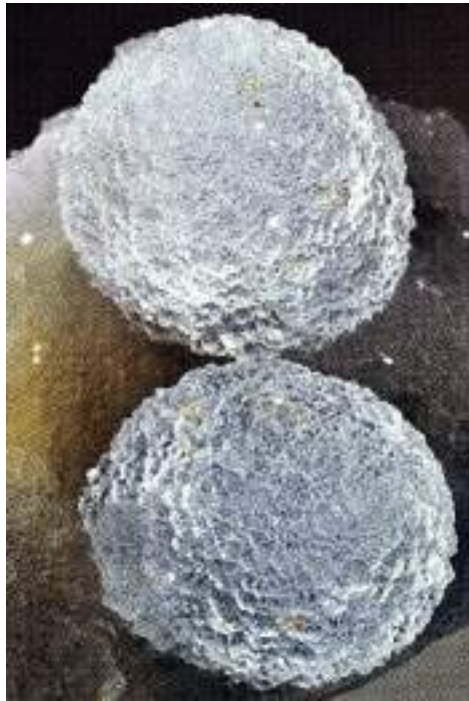


20 мм.
Тетюхе



Скол сферокристалла.
Декан, Индия

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Оксиды



Кварц до 20 мм.
Тетюхе

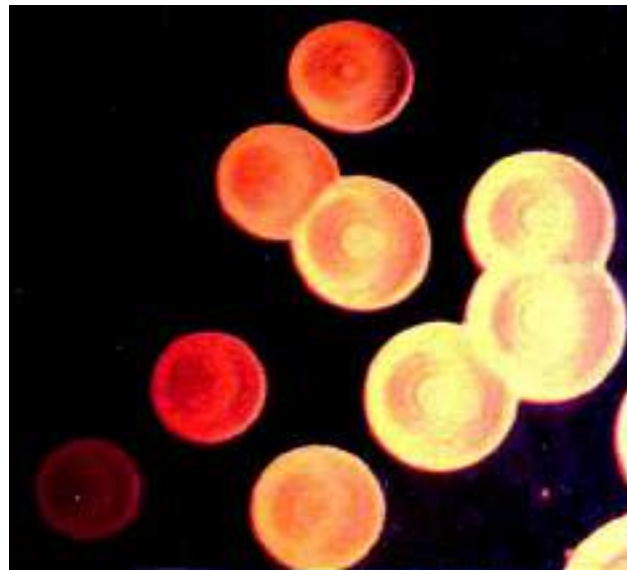


Кварц

Река Тембенчи



Куприт 30 микрон.
Odenwald, Германия



Гётит (цветной)
в халцедоне



Гётит – стеклянная голова

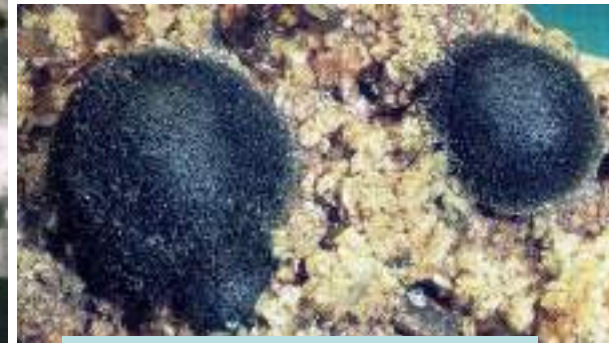
Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Силикаты



Пренит 13 мм.
Река Нижняя Тунгуска,
Восточно-Сибирская
платформа



Пренит
двух зарождений



Турмалин – шерл
23 мм.
Ryggkollen,
Nedre Eiker,
Норвегия



Турмалин – эльбаит (рубеллит). 100 мм. Могок, Бирма

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Графит



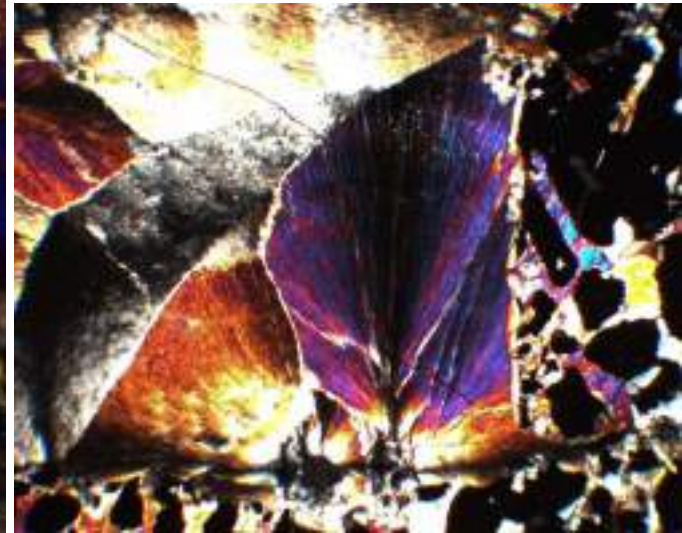
В микроклин-пертите



1.2 мм. В кальците

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные

Фенакит во флюоритовых метасоматитах. Ермаковское, Забайкалье



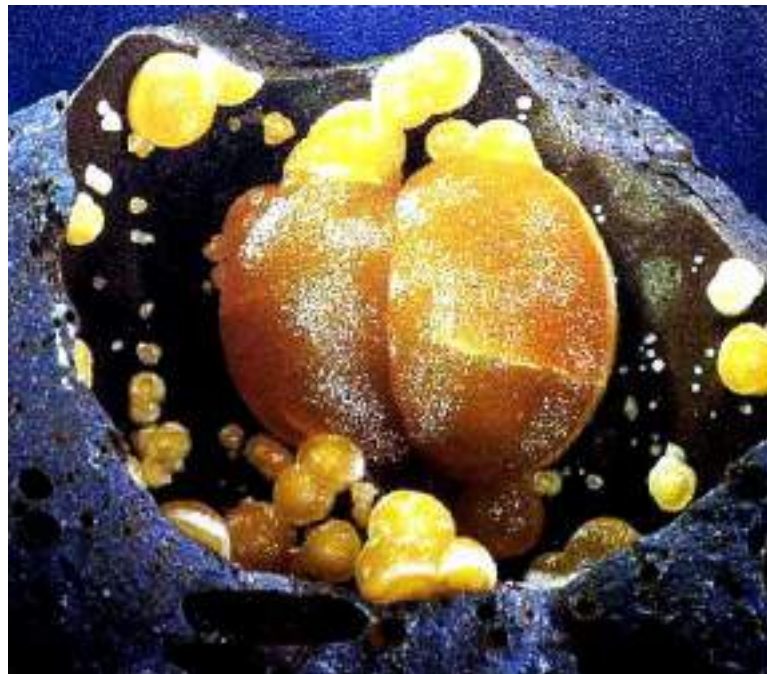
Шлифы. Николи х

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Кальцит

Степень расщепления - рельеф поверхности



120 мм. Фонтебло,
Франция



В пустотах
щелочных
базальтов.
Центральная
Италия

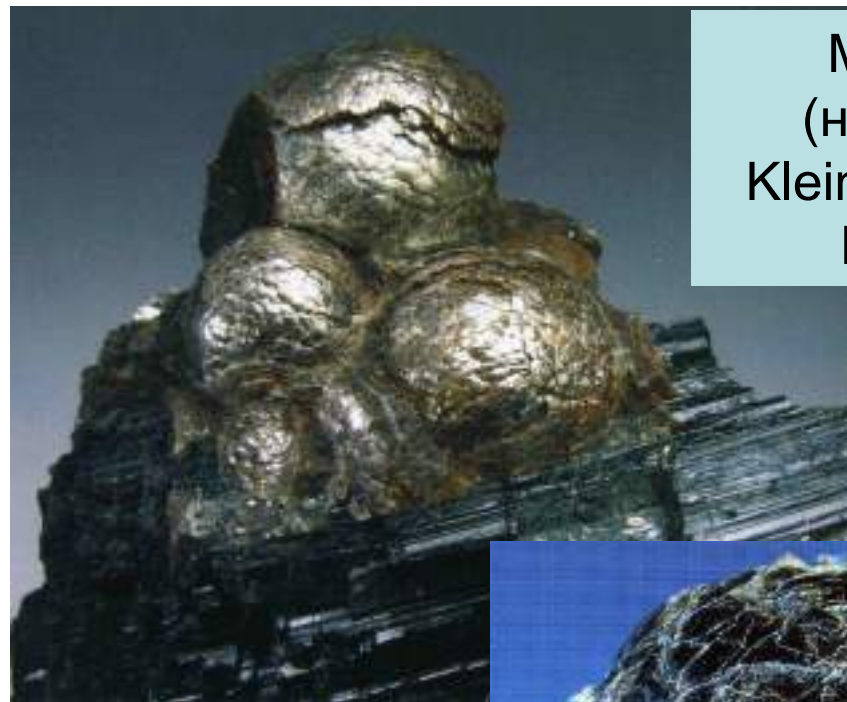


Срез
сталак-
титов.
Николи
х



В миндалине. Декан, Индия

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Слюды – «барботов глаз». Степень расщепления – рельеф поверхности



Мусковит
(на шерле).
Kleine Spiezкор,
Намибия



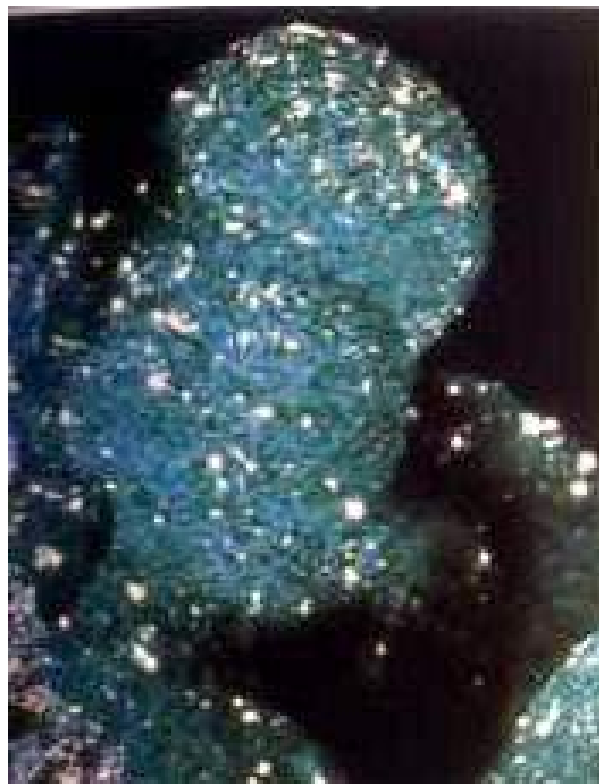
Лепидолит. Бикита,
Центр. Африка



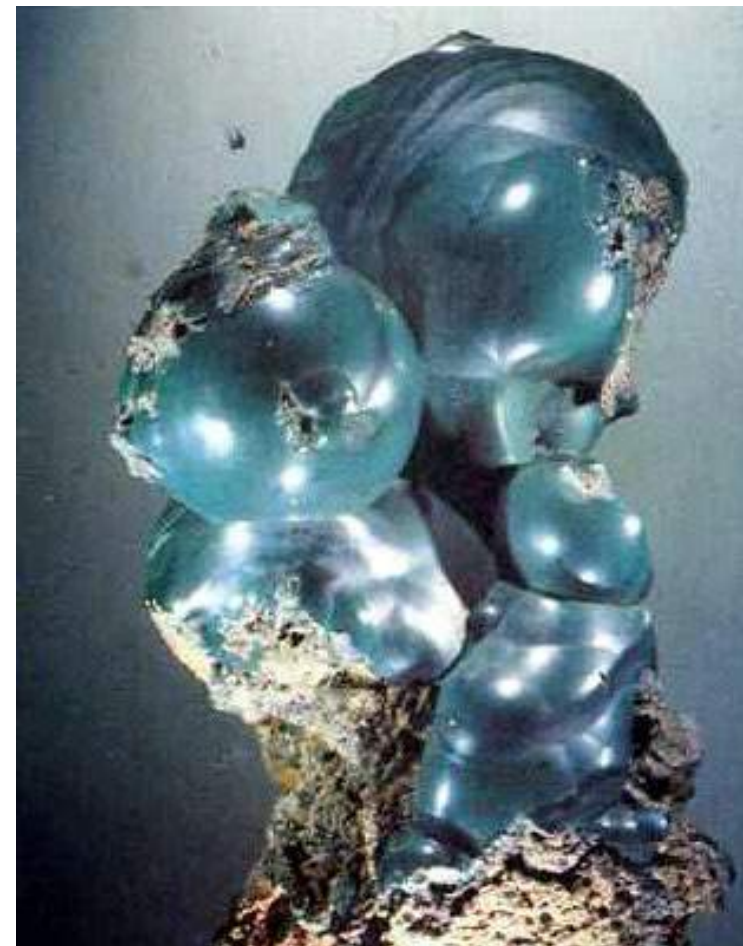
Флогодит 35 мм.
Кукисвумчорр, Хибины

**Интенсивно расщеплённые кристаллы -
сферокристаллы объёмные.
Степень расщепления - рельеф поверхности**

Псевдомалахит



Байерн,
Германия



Нижний Тагил, Урал

Интенсивно расщеплённые кристаллы - сферокристаллы объёмные. Пирит

Степень расщепления - рельеф поверхности



15 мм.
Retigheim,
Heidelberg,
Германия



Провинция Гуандун, Китай



Расщеплённый пирит
+ флюорит на кварце.
Xiefang, Ruigin, Jiangxi, Китай.

**Интенсивно расщеплённые кристаллы -
сферокристаллы объёмные. Пирит**
Степень расщепления - рельеф поверхности



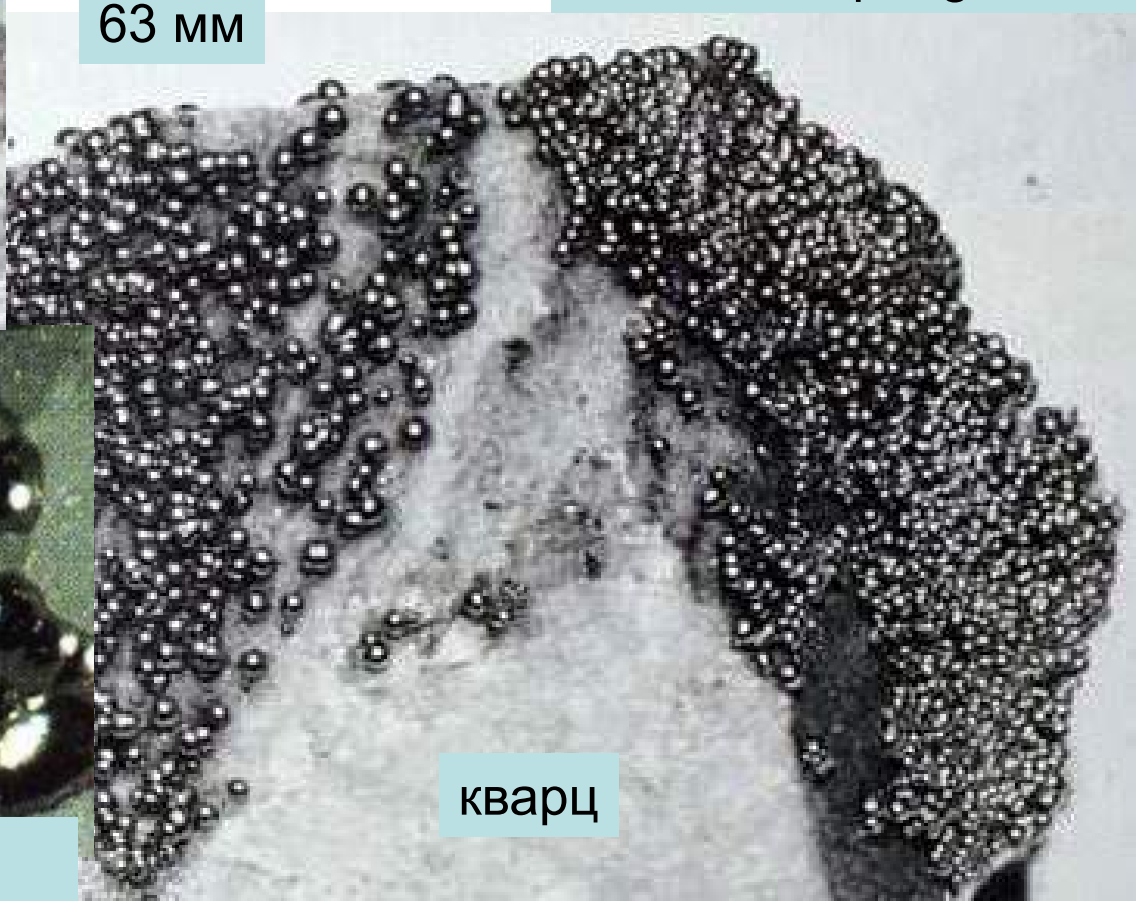
20 мм. Hohenems, Тироль

63 мм

Mountain Springs mine



До 0.5 мм. Каррара, Италия



кварц

**Интенсивно расщеплённые кристаллы -
сферокристаллы объёмные.
Степень расщепления - рельеф поверхности**

Флюорит



80 мм. Guxian, Hunan, Китай



Предельная степень
расщепления –
идеальный сферокристалл.
Озеро Лаахер, Эйфель,
Германия

**Интенсивно расщеплённые кристаллы -
сферокристаллы объёмные.
Степень расщепления - рельеф поверхности**



Томсонит
в продущине
молодых
вулканитов.
Bellerberg,
Эйфель, Германия

Предельная степень расщепления –
идеальный 2 мм сфрокристалл томсонита

**Интенсивно расщеплённые кристаллы -
сферокристаллы объёмные.
Степень расщепления - рельеф поверхности**

Гётит – чёрная стеклянная голова



Нижний Тагил,
Урал

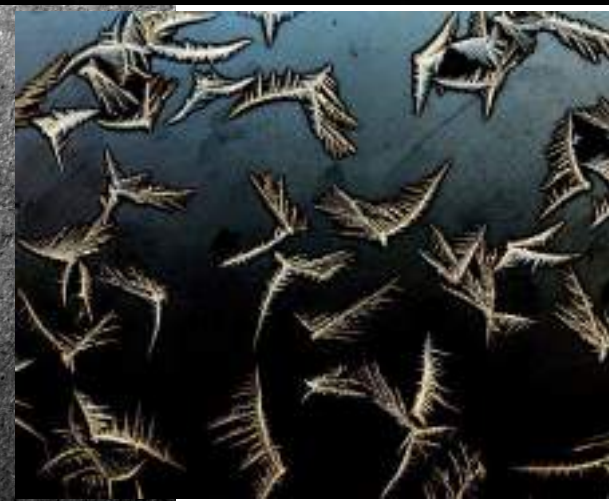
170 мм

Явления расщепления кристаллов. Дендриты

Дендриты (древовидные, водорослеподобные) - ветвящиеся и расходящиеся в стороны кристаллические образования. Надеюсь, вам понятно, что дендриты – это расщеплённые скелетные кристаллы.



Лёд

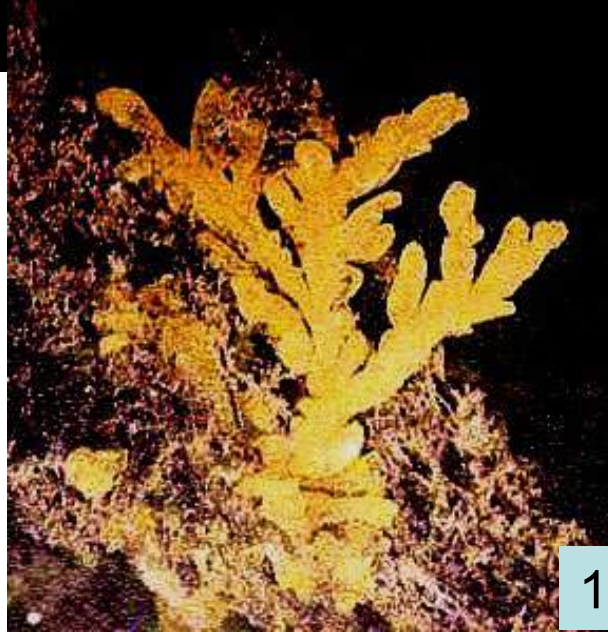


Явления расщепления кристаллов. Дендриты

Сера возгонов вулкана Fossa di Vulcano, Италия



12 мм



15 мм

Явления расщепления кристаллов. Дендриты

Псиломелан по трещинам в гранитах. Север. Казахстан

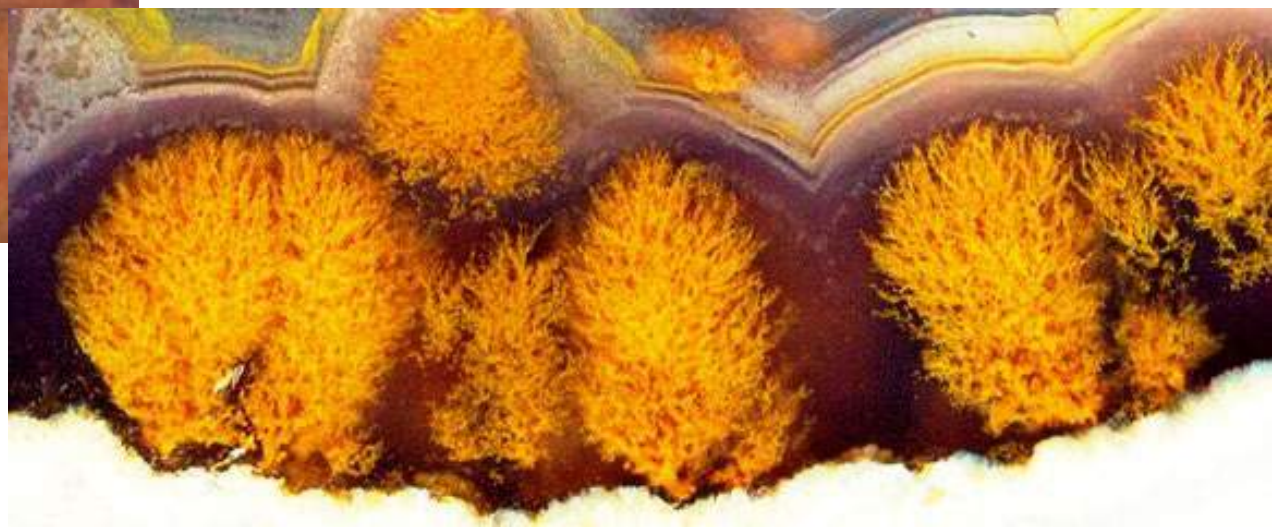
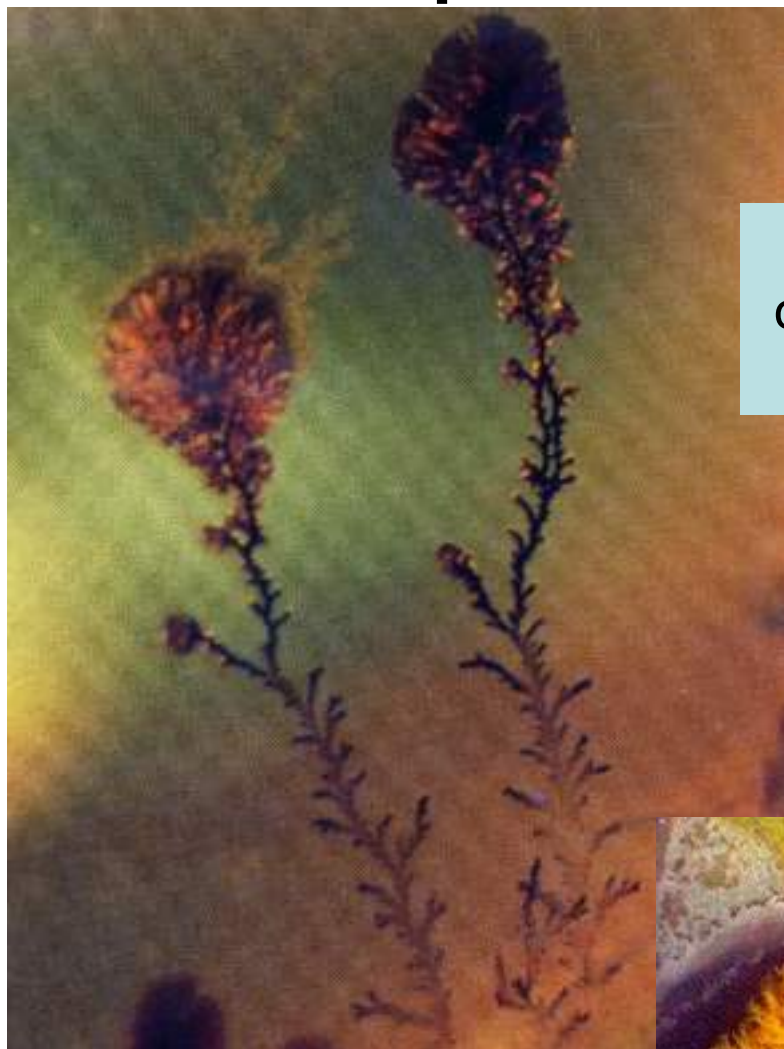


Явления расщепления кристаллов. Дендриты

Гётит

В
огненном
опале

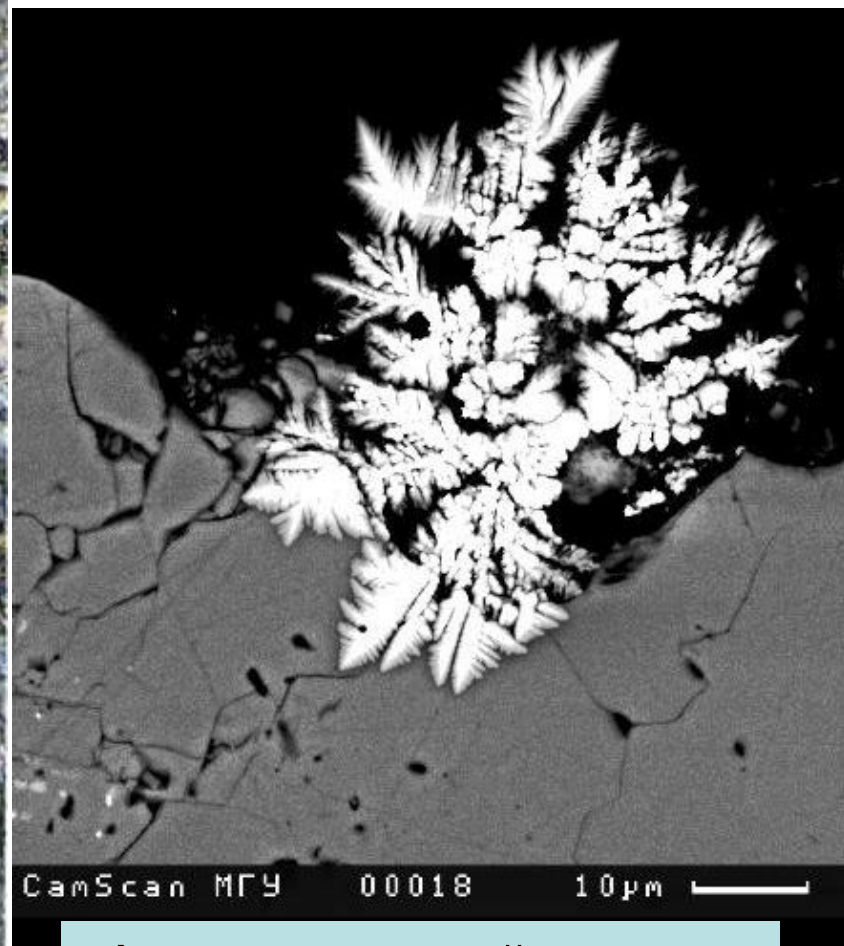
В халцедоне. 20 мм.
Агаты южной Бразилии



Явления расщепления кристаллов. Дендриты



Волластонит в скарнах. Саксония



Акантит, который вырос в старом препарате для микрозонда на серебряной краске

Схемы процессов расщепления кристаллов

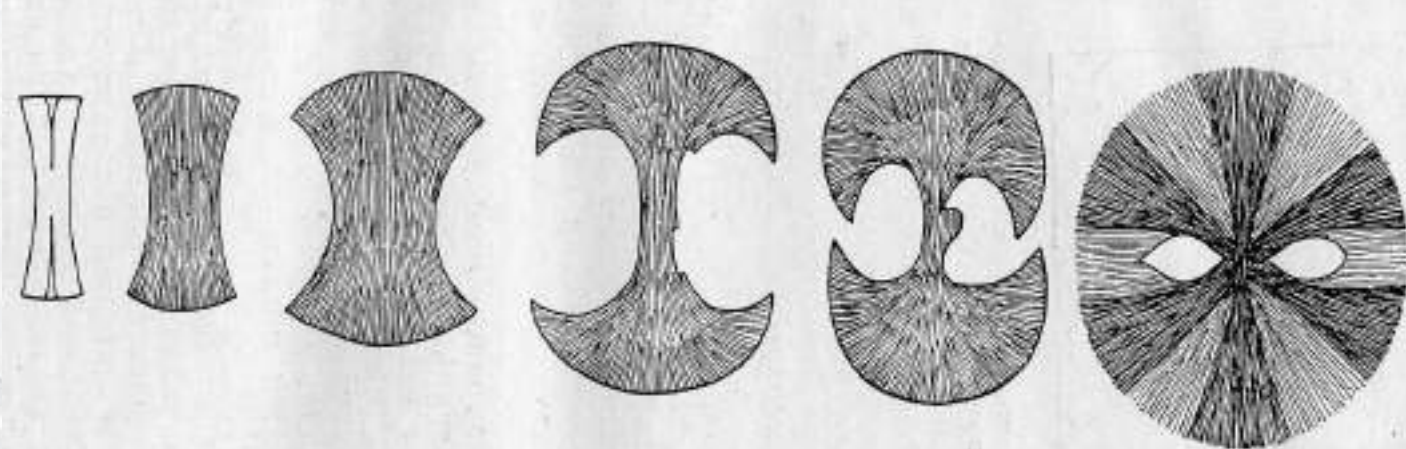
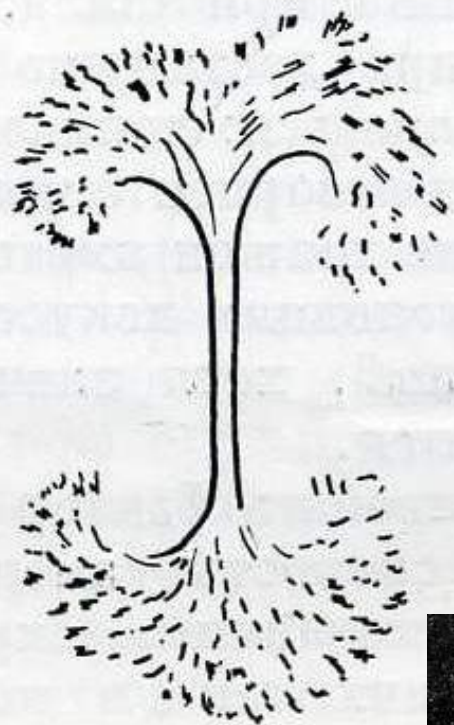
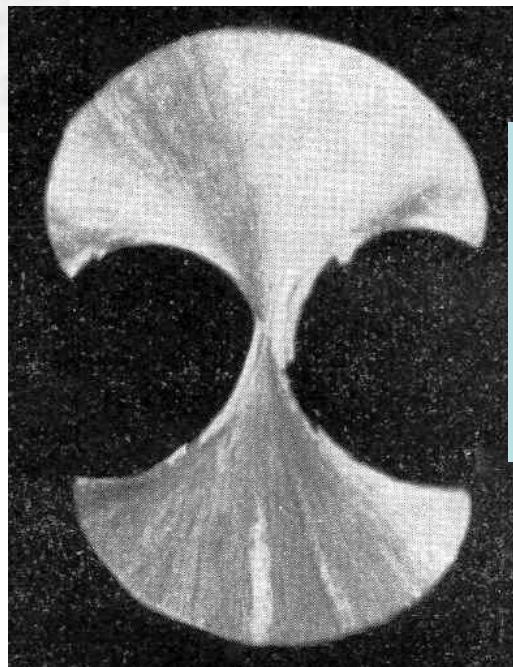
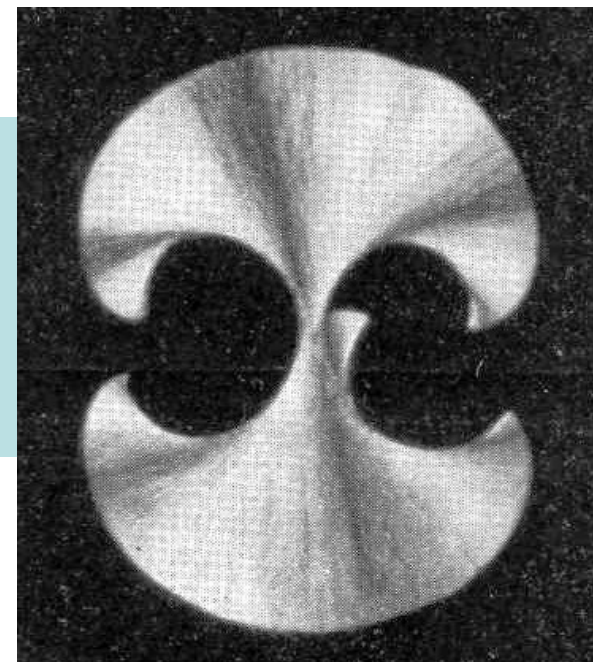


Схема расщепления кристаллов
вплоть до образования сферолита

Микролит авгита
в стекловатых
базальтах.
По П. Ниггли



Две стадии
расщепления
кристалла
дифенил-
амина



Схемы процессов расщепления кристаллов

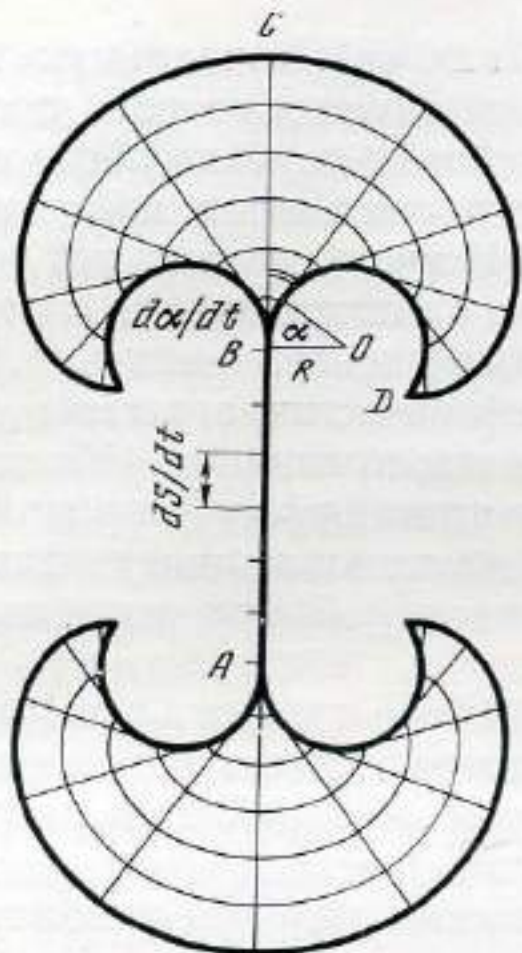
Геометрические схемы расщепления. Попытку геометрического построения и анализа формы сферокристалла выполнил Бернауер (Bernauer, 1929). Исходные предпосылки такого построения:

- 1) кристалл АВ имеет форму иглы и растёт с постоянной скоростью ds/dt только в направлении своей длины, не увеличиваясь в поперечнике;
- 2) с некоторого момента концы нитевидного кристалла А и В начинают непрерывно расщепляться во все стороны на ветви, при этом скорость расщепления $d\alpha/dt$ (увеличение угла α отклонения крайней ветви за единицу времени) – постоянна.

Через некоторое время кристалл примет форму, которая в сечении представляет двулистник.

При постоянной величине соотношения линейной скорости роста и угловой скорости расщепления $ds/d\alpha$ форма двулистника зависит от этой величины: по мере её снижения, т.е. при очень большой скорости расщепления – тренд к образованию сферокристалла, при несколько меньших соотношениях скоростей роста и расщепления внутри сферолитовых образований возникают правильной формы сферические полости.

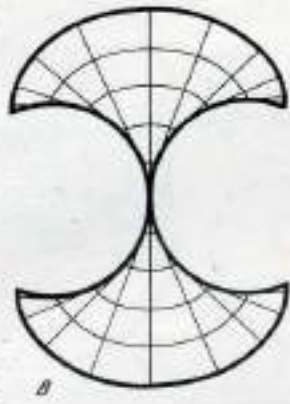
Схемы процессов расщепления кристаллов



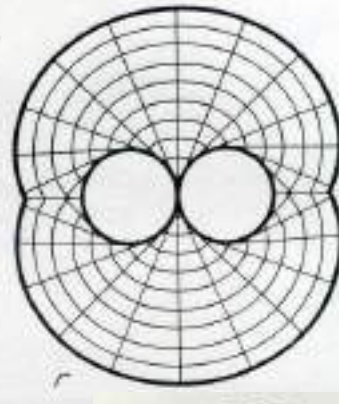
А



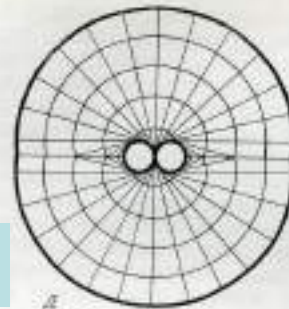
Б



В



Г



Д



Е

Геометрическая модель расщеплённого кристалла, выросшего при постоянных соотношениях скоростей роста и расщепления

Геометрические модели расщеплённых кристаллов, выросших при постоянных соотношениях скоростей роста и расщепления. А - нитевидный кристалл (нет расщепления), Б - скорость роста больше в 14 раз, В - в 4 раза, Г - в 2 раза, Д - при их равенстве, Е - при очень большой скорости расщепления

Схемы процессов расщепления кристаллов

Для переменных соотношений скорости роста и угловой скорости расщепления такую попытку выполнил А.В. Шубников (1957). Два варианта - с постепенным возрастанием величины $ds/d\alpha$ или с её уменьшением. 1). При возрастании со временем скорости расщепления при постоянной или снижающейся скорости роста нитевидных кристаллов возникают особые сферокристаллы. Всё время происходит расщепление крайних ветвей, боковое разрастание двулистников и зарастание сферических полостей закручивающимися внутрь краями двулистников. Характерна форма полостей в сферолитовых образованиях – «улитки».



После начала расщепления соотношение скоростей роста и расщепления немного снижается

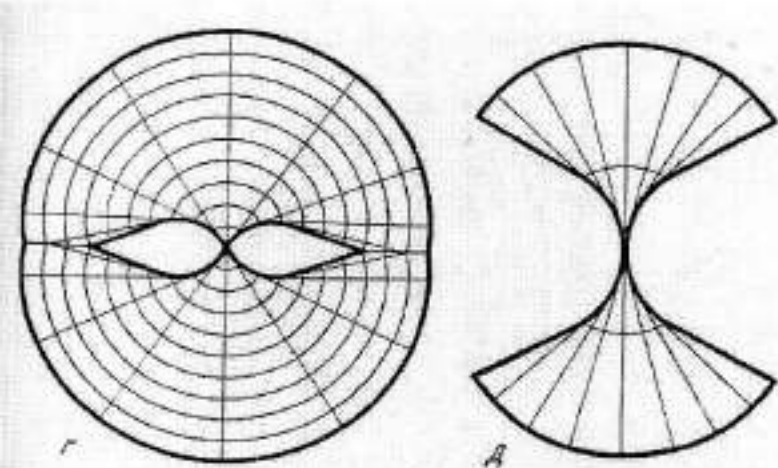


Сферокристалл дифениламина

Схемы процессов расщепления кристаллов

2). При снижении со временем скорости расщепления при постоянной или увеличивающейся скорости роста нитевидных кристаллов возникают иного типа сферокристаллы (рисунки), вплоть до прекращения расщепления крайних ветвей, приобретающих форму прямых линий. При дальнейшем росте из-за отсутствия расщепления волокон неделимый (сплошной, «литой») сферокристалл превращается в открытый – разделяется на разобщённые нити.

Результат процессов расщепления – возникновение сферокристаллов – сферолитов, сложенных предельно тонкими кристаллическими волокнами. Поверхность таких сферокристаллов – сферолитов идеально гладкая. Это так называемые «стеклянные головы» немецких рудокопов.



Геометрические модели
сферокристаллов,
возникающих при снижении
со временем угловой скорости
расщепления

Явления расщепления кристаллов

Явления расщепления кристаллов при их росте – результат совместного действия эффектов А.А. Штернберга - Ю.О. Пунина и П.А. Ребиндера. Профессор Петроградского (СПб) университета Юрий Олегович Пунин с коллегами доказал, что расщепление есть следствие деформаций в приповерхностных участках растущего кристалла, возникших за счёт несколько отличающегося состава пирамид роста разных граней или даже отдельных их участков из-за неравномерного вхождения примесей; это явление нередко называют эффектом грани при росте кристаллов (Чернов и др., 1980...). В результате несколько различаются параметры элементарной ячейки пирамид, секторов, зон роста и отдельных их участков, т.е. возникает их гетерометрия и обусловленные ею внутренние напряжения в кристалле и автодеформации. Автодеформации вызывают поверхностную рекристаллизацию, частично снимающую напряжения, и несколько разворачивающую микроблок относительно основного кристалла. Этот микроблок со своей системой дислокаций и центрами роста способен к самостоятельному развитию, что и приводит к формированию субиндивидов – отщеплений.

Процесс расщепления возможен только при достижении некоторого достаточно большого (критического) пересыщения расщепления, различного для разных минералов и для разных граней

Явления расщепления кристаллов

одного кристалла, а так же для разных веществ, отравляющих рост. Иногда ничтожные добавки примеси в среду кристаллизации снижают критическое пересыщение расщепления. Напряжения, существующие между субиндивидом и матричным кристаллом, порождают новые акты рекристаллизации и т. д.

Безусловно, у кристаллов минералов с широкими изоморфными замещениями эффекты расщепления проявлены в большей степени, чем у минералов постоянного состава: сравни кальцит и доломит. Хотя важнейшее значение имеет прочность связей в кристаллической решётке минералов: сравни кварц и халцедон.

Важнейшую роль в процессах блокирования – расщепления – скручивания может иметь эффект академика П.А. Ребиндера – резкое, в несколько раз, иногда на порядки снижение прочности поверхностного слоя кристалла, покрытого тончайшей плёнкой маточной среды кристаллизации, прежде всего с примесью поверхностно-активных веществ (нафтидов, лёгких и средних битумоидов (Ребиндер, 1928-1972). П.А. Ребиндер (и др., 1972) «Поверхностные явления в твёрдых телах особенно ярко и своеобразно проявляются в процессах их деформации и разрушения в поверхностно-активных средах. Сюда относятся разнообразные эффекты облегчения пластического течения и понижения

Явления расщепления кристаллов

прочности вследствие обратимого физико-химического влияния среды, состоящего в понижении удельной свободной поверхностной энергии твёрдого тела, т.е. работы образования его новых поверхностей *in statu nascendi* (в момент возникновения) в процессах деформации и разрушения. Отличительная особенность этих явлений заключается в том, что они наблюдаются только при совместном действии среды и определённого напряжённого состояния».

В большинстве случаев именно эффект Ребиндера и даёт возможность реализации эффекта Пунина. Яркий пример – расщепление и скручивание кварца в альпийских жилах Приполярного Урала. В расположенных по соседству жилах в одних нет и запаха битумоидов и нет скрученного кварца или раух-кварца. В других флюид содержал ничтожные количества битумоидов (запах нефти) – именно в этих жилах широко развиты скрученные горный хрусталь или раух-кварц.



250 мм

Явления расщепления кристаллов

Почему халцедон, в отличие от кварца, слагающего правильные кристаллы, никогда не образует нормальные кристаллы, а только микро-, мезо- и макросферолиты из тонко расщеплённых нитей, которые часто и скручены?

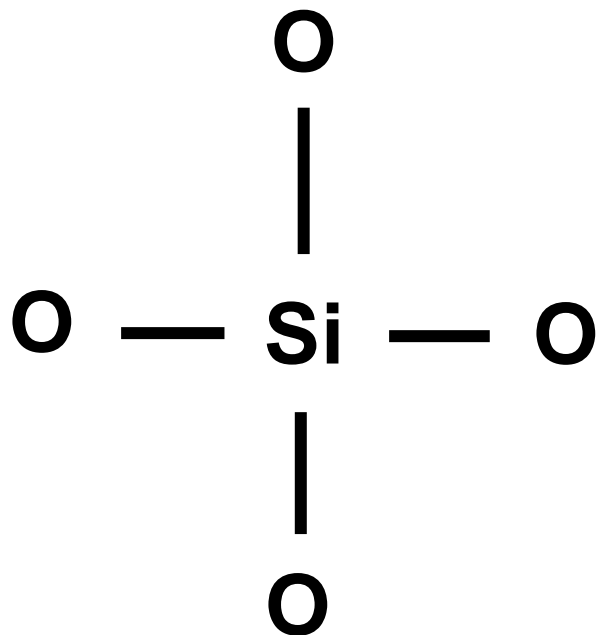
Потому, что в структуре халцедона часть кремнекислородных тетраэдров замещена группировкой $[\text{SiO}_3\text{OH}]$.

Поэтому, с самого начала роста халцедона – одни пирамиды роста имеют состав $\text{Si} [\text{SiO}_4]$, а другие пирамиды имеют состав $\text{Si} ([\text{SiO}_4]_{1-x} [\text{SiO}_3\text{OH}]_x)$.

Соответственно, параметры элементарной ячейки разных пирамид роста – различные. Их совместить в одном «кристалле» можно путём расщепления и/или скручивания.

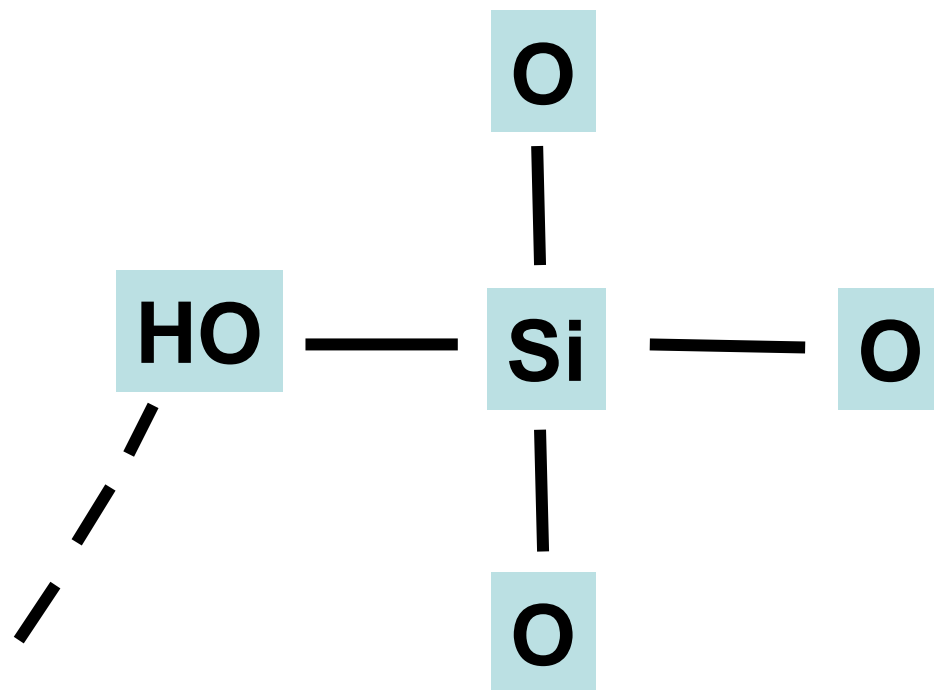
Явления расщепления кристаллов

Кварц



Мир яшм и кварцитов,
гидротермалитов,
магматитов

Халцедон



Мир агатов

Кварц $\text{Si}[\text{SiO}_4]$ Халцедон $\text{Si}([\text{SiO}_4]_{1-x}[\text{SiO}_3\text{OH}]_x)$

Николи х

Голутвино

Николи х

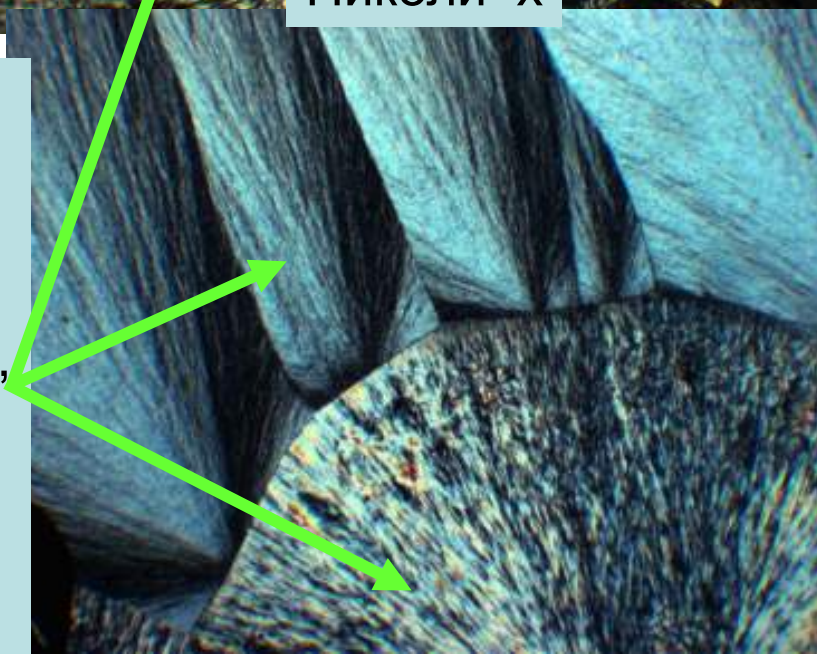
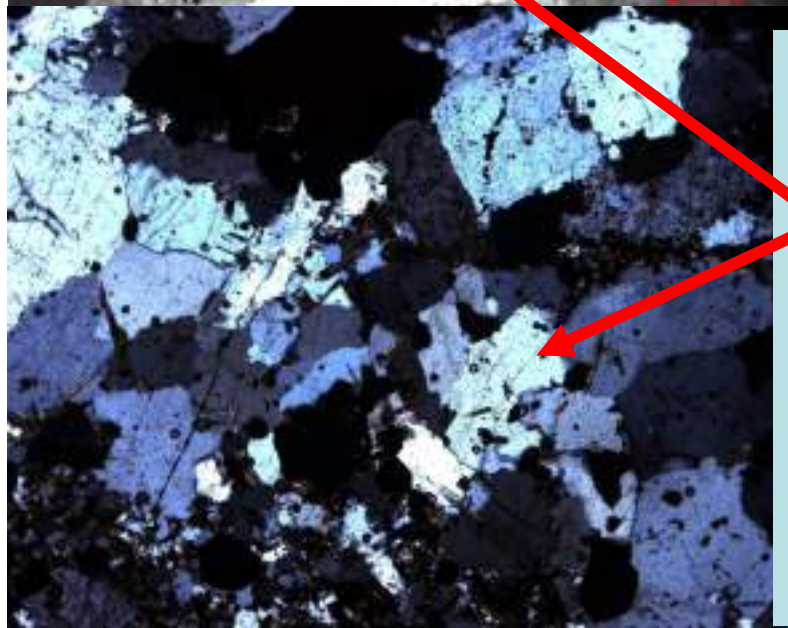
Кристаллы:

обычные,

нитевидные,

нередко и

скрученные



Явления расщепления кристаллов

Настуран = урановая смолка = урановая смоляная руда

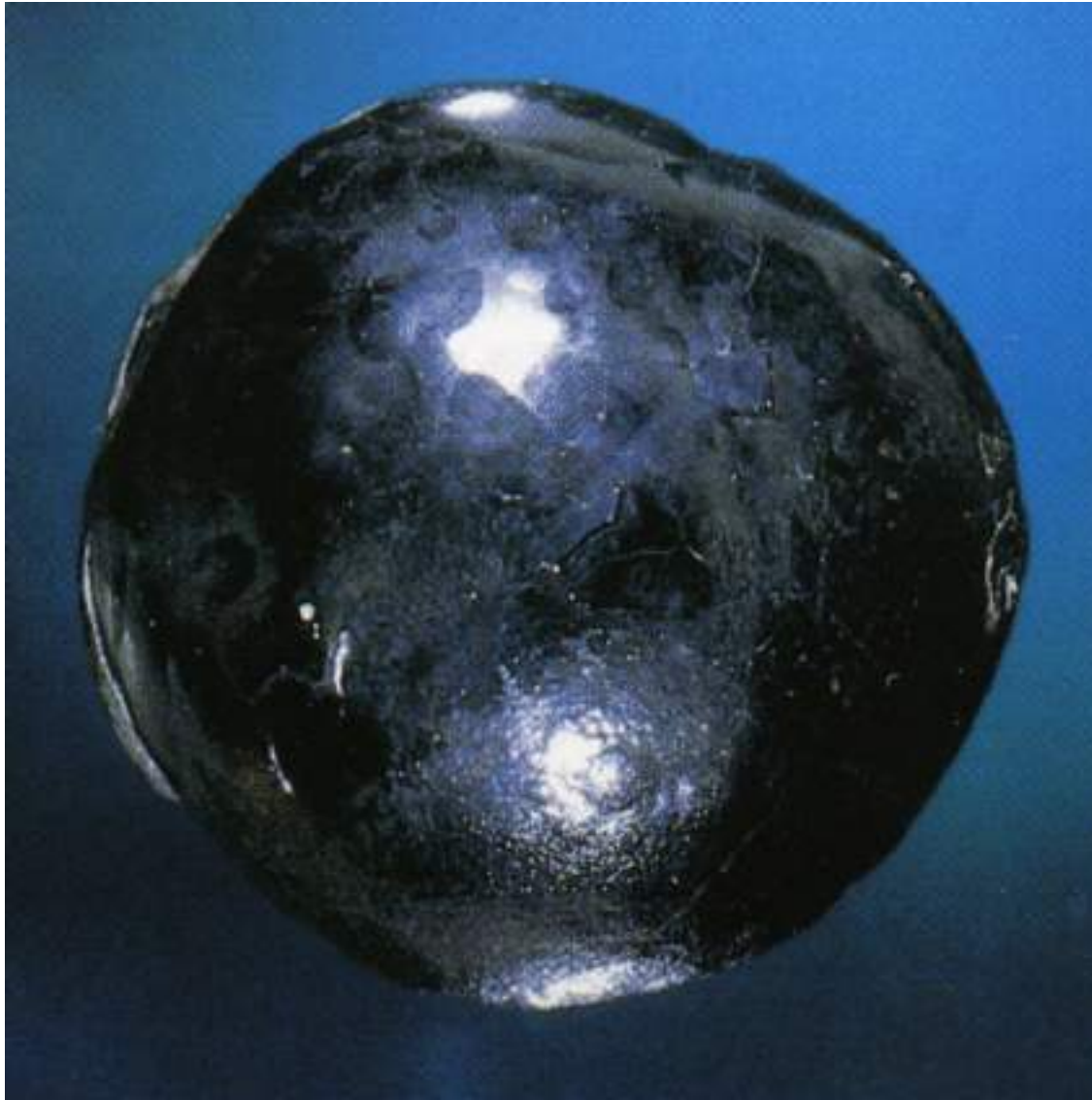


Корка – агрегат сферолитов – тонко расщеплённого настурана.
Шнееберг, Рудные горы

Почему настуран, в отличие от уранинита, слагающего правильные кубические кристаллы, никогда не образует нормальные кристаллы, а только микро-, мезо- и макросферолиты из тонко расщеплённых нитей? Потому, что с самого начала роста настурана – одни пирамиды роста имеют состав UO_2 , а другие имеют состав UO_3 . Соответственно, параметры элем. ячейки разных пирамид роста – различные. Их совместить можно путём расщепления.

Пятиметальная формация

Настуран = урановая смолка = урановая смоляная руда
 U_3O_8



Сферолит 35 мм.
Пршибрам, Чехия

Пятиметальная формация

Настуран = урановая смолка = урановая смоляная руда
 U_3O_8

Дендриты сфероидолитов
в карбонате. 25 мм



Рудные
Горы

Явления расщепления кристаллов

Напряжения гетерометрии пирамид роста иногда настолько сильны, что вызывают авторазрушение – автодеформацию кристалла.



Частично разорванный -
автодеформированный
кристалл
раухкварца. 60 мм.
Батолит Pikes Peak,
Колорадо, США



Град в июле. Ильменский заповедник



Остров Вадаам Онежское озеро Карелия

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. Индивиды

Рост кристаллов

**011. Специфические
формы кристаллов –
скрученные**

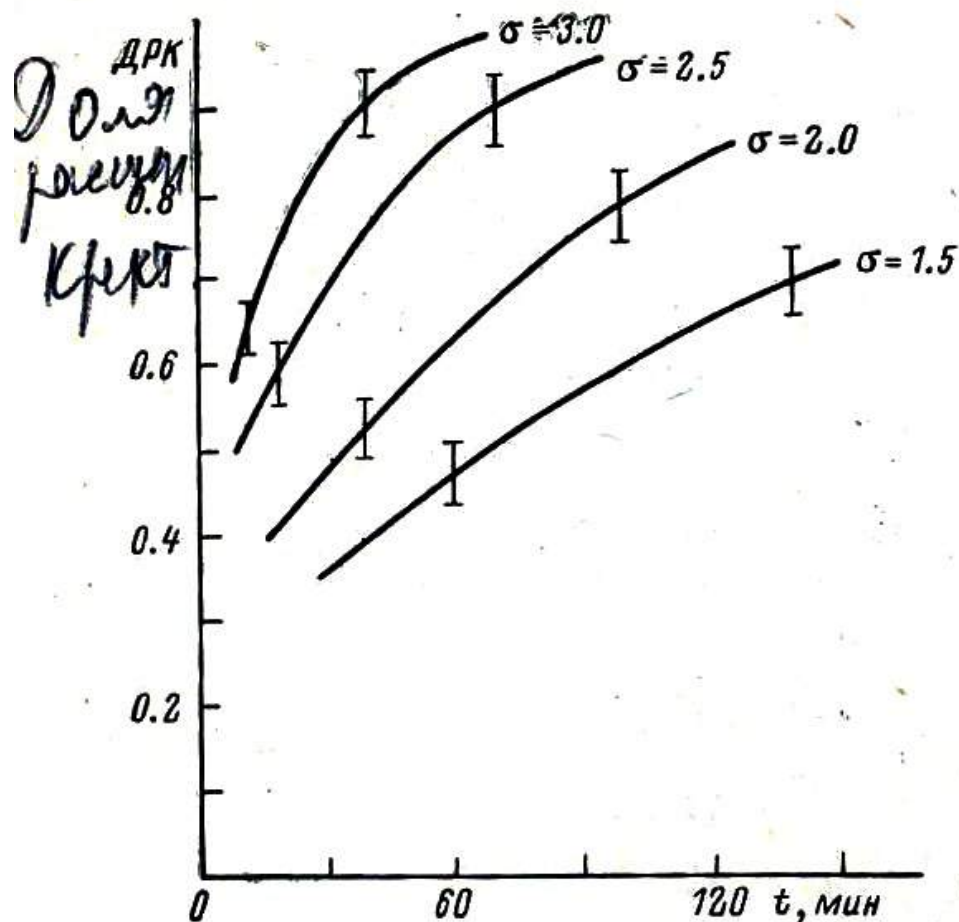
Явления расщепления кристаллов

Явления расщепления кристаллов при их росте – результат совместного действия эффектов А.А. Штернберга - Ю.О. Пунина и П.А. Ребиндера. Профессор Петроградского (СПб) университета Юрий Олегович Пунин с коллегами доказал, что расщепление есть следствие деформаций в приповерхностных участках растущего кристалла, возникших за счёт неравномерного вхождения примесей. В результате несколько различаются параметры элементарной ячейки пирамид, секторов, зон роста и отдельных их участков, т.е. возникает гетерометрия и обусловленные ею внутренние напряжения в кристалле. Их снимают автодеформации. Автодеформации вызывают поверхностную рекристаллизацию, частично снимающую напряжения, и несколько разворачивающую микроблок относительно основного кристалла. Этот микроблок со своей системой дислокаций и центрами роста способен к самостоятельному развитию, что и приводит к формированию субиндивидов – отщеплений. Процесс расщепления возможен только при достижении некоторого достаточно большого (критического) пересыщения расщепления, различного для разных минералов и для разных граней одного кристалла, а так же для разных веществ, отравляющих рост. Иногда ничтожные добавки примеси в среду кристаллизации снижают критическое пересыщение расщепления. Напряжения, существующие между субиндивидом и матричным кристаллом, порождают новые акты

Явления расщепления кристаллов

рекристаллизации и зарождение новых блоков, что в конце концов может привести к образованию сферолитов - сферокристаллов.

Оценка влияния степени пересыщения раствора (флюида) на явления расщепления кристаллов во время их роста на примере синтетических кристаллов гипса: степень пересыщения 1,5%, 2%, 3% - доля расщеплённых кристаллов соответственно 45%, 60%, 95%.



Зависимость доли расщеплённых кристаллов гипса от степени пересыщения раствора (от 1.5% до 3,0%) и длительности кристаллизации (Руссо, 1981)

Явления скручивания кристаллов



Скрученный и блокованный флюорит. Tule mine, Coahuila, Мексика

Явления расщепления кристаллов

Важнейшую роль в процессах блокирования – расщепления может иметь эффект академика П.А. Ребиндера – резкое, в несколько раз, иногда на порядки снижение прочности поверхностного слоя кристалла, покрытого тончайшей плёнкой маточной среды кристаллизации, прежде всего с примесью поверхностно-активных веществ (нафтидов, лёгких и средних битумоидов...) (Ребиндер, 1928-1972). П.А. Ребиндер (и др., 1972) «Поверхностные явления в твёрдых телах особенно ярко и своеобразно проявляются в процессах их деформации и разрушения в поверхностно-активных средах. Сюда относятся разнообразные эффекты облегчения пластического течения и понижения прочности вследствие обратимого физико-химического влияния среды, состоящего в понижении удельной свободной поверхностной энергии твёрдого тела, т.е. работы образования его новых поверхностей *in statu nascendi* (в момент возникновения) в процессах деформации и разрушения. Отличительная особенность этих явлений заключается в том, что они наблюдаются только при совместном действии среды и определённого напряжённого состояния».

В большинстве случаев именно эффект Ребиндера и даёт возможность реализации эффекта Пунина.

Яркий пример – расщепление – скручивание кварца в альпийских жилах Приполярного Урала. В расположенных по соседству хрусталеносных жилах в одних нет и запаха битумоидов и нет скрученного

Явления скручивания кристаллов

кварца или раух-кварца; в других флюид содержал ничтожные количества битумоидов (запах нефти) – именно в этих жилах широко развиты скрученные горный хрусталь или раух-кварц. Эффекты скручивания кристаллов - следствие суммарной автодеформации из-за межсекториальной гетерометрии, появляющейся при неравномерном захвате примесей разными гранями, + эффект Ребиндера.

Скрученный кварц



Правый и левый кварц



Дымчатый кварц. 83 мм.
Пуйва, Приполярный Урал

Явления скручивания кристаллов

Fig. 41.



Хлорит



Эпидот из альпийских жил.
80 мм.
Knarrenwand

Графит – свёрнутые в цилиндры пластинчатые кристаллы в кварце



Явления скручивания кристаллов

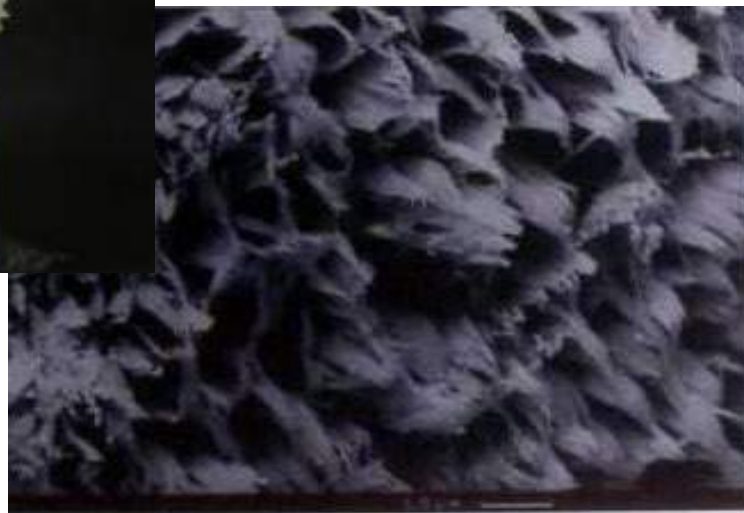


Пляшущий
кальцит.
52 мм.
Пршибрам,
Чехия



Канницарит
 $Pb_{48}Bi_{56}S_{132}$

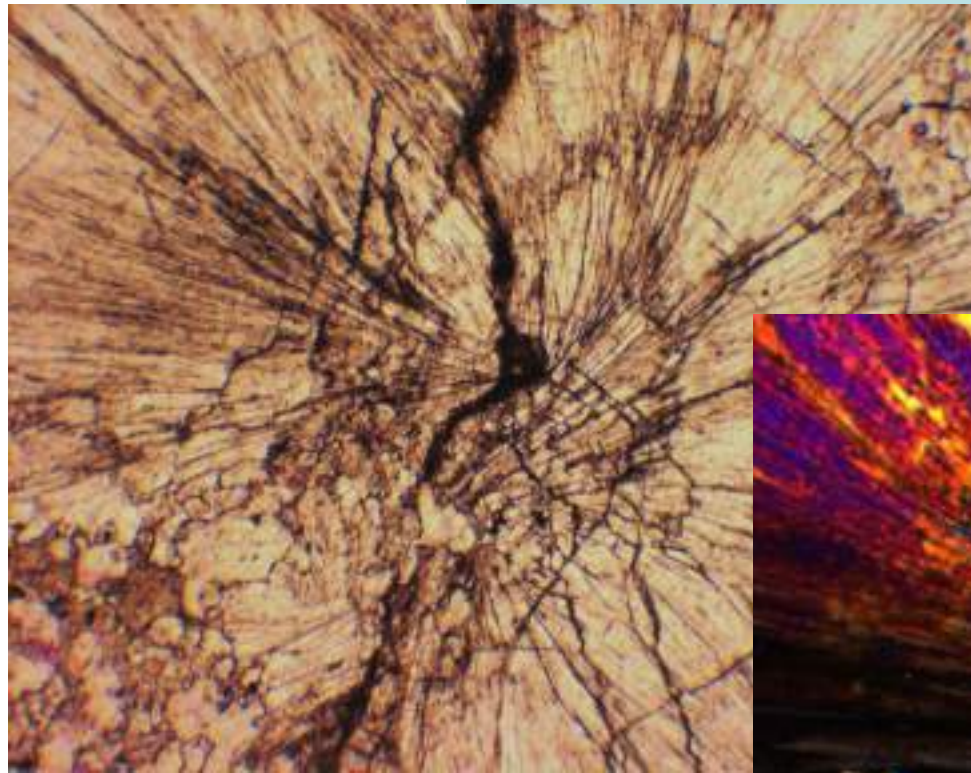
100 микрон.
Возгоны
вулкана
Кудрявый



Кристаллы гидроксидов марганца

Явления скручивания кристаллов

Скрученный фенакит $\text{Be}_2[\text{SiO}_4]$

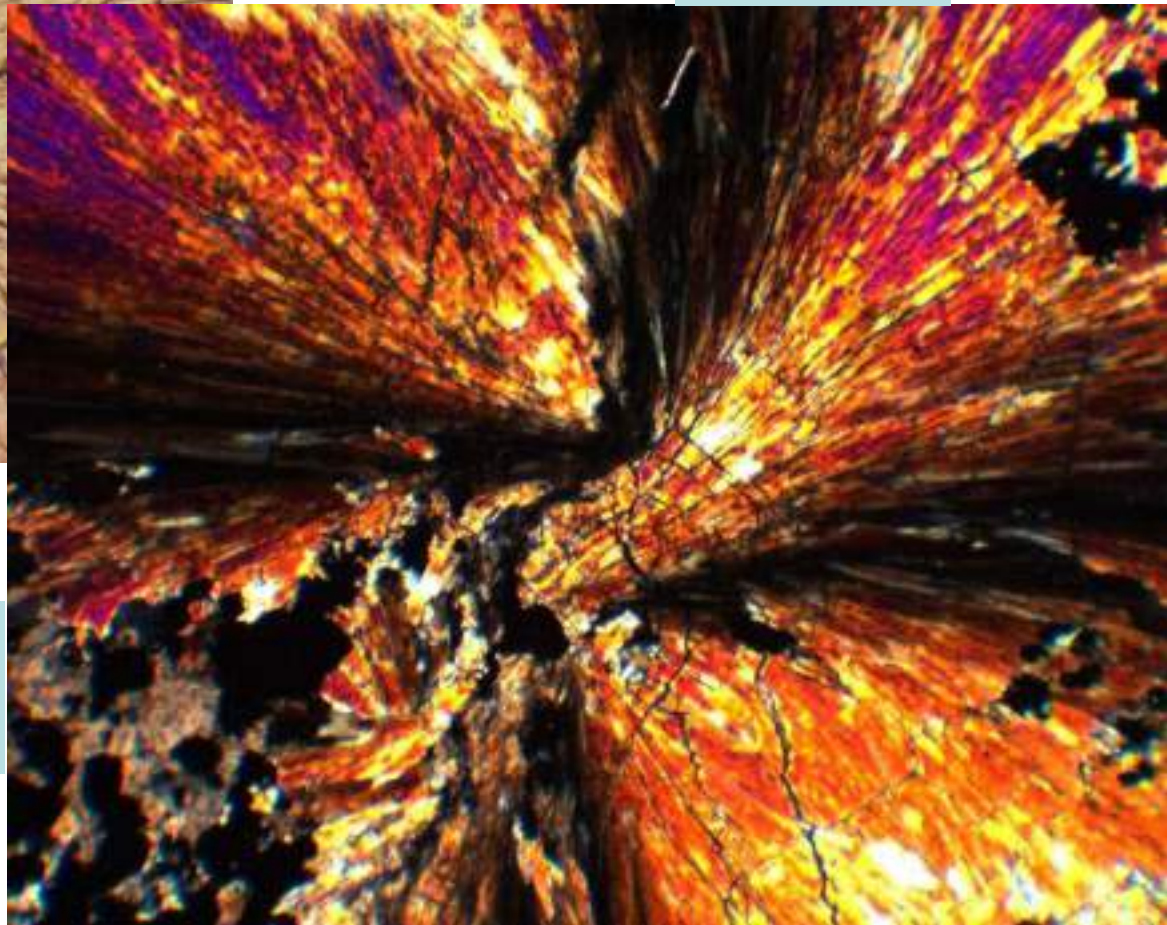


Николи х

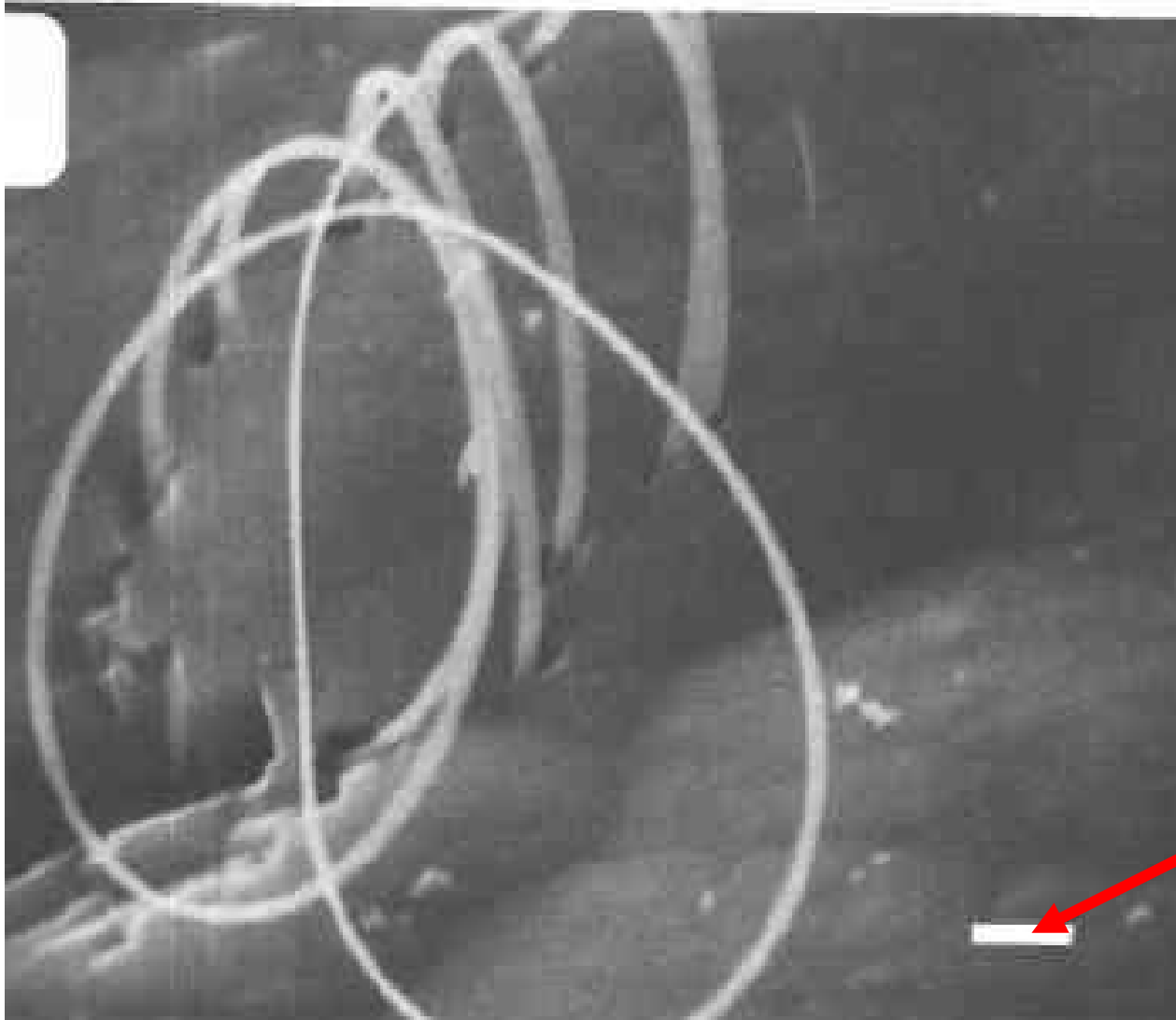
При 1 николе

Ермаковское,
Западное Забайкалье

Фото Э.М. Спиридонова



Явления скручивания кристаллов



1 микрон

Нити дюмортьерита $\text{Al}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \square)_6[(\text{O}, \text{OH})_3/\text{BO}_3/(\text{SiO}_4)_3]$ в розовом кварце в гранитных пегматитах. Black Hills, Дакота, США.
Applin K.R. & Hicks B.D., 1987. Amer. Mineral. Vol. 72. P. 170-172.

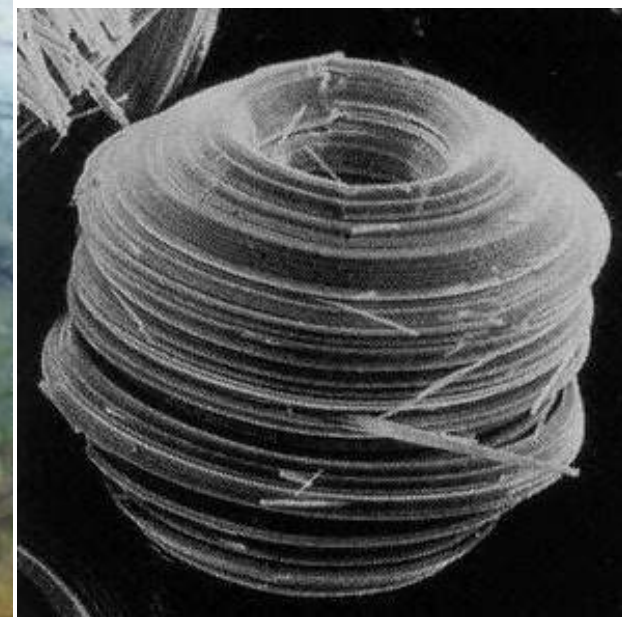
Явления скручивания кристаллов. Нити, локоны, бухты

Джемсонит



0.15 мм.

Wolfsberg, Германия



Джемсонит во флюорите. Китай

Явления скручивания кристаллов. Локонь

Гипс - антолит



Явления скручивания кристаллов. Локонь

Гипс



65x55 мм. Пещера Хашим - Юк, Туркмения

Явления скручивания кристаллов. Локонь



Пейсон, округ Хила,
Аризона, США

Гипс



Bruster County, Texas, США

Явления скручивания кристаллов. Локоны

Гипс



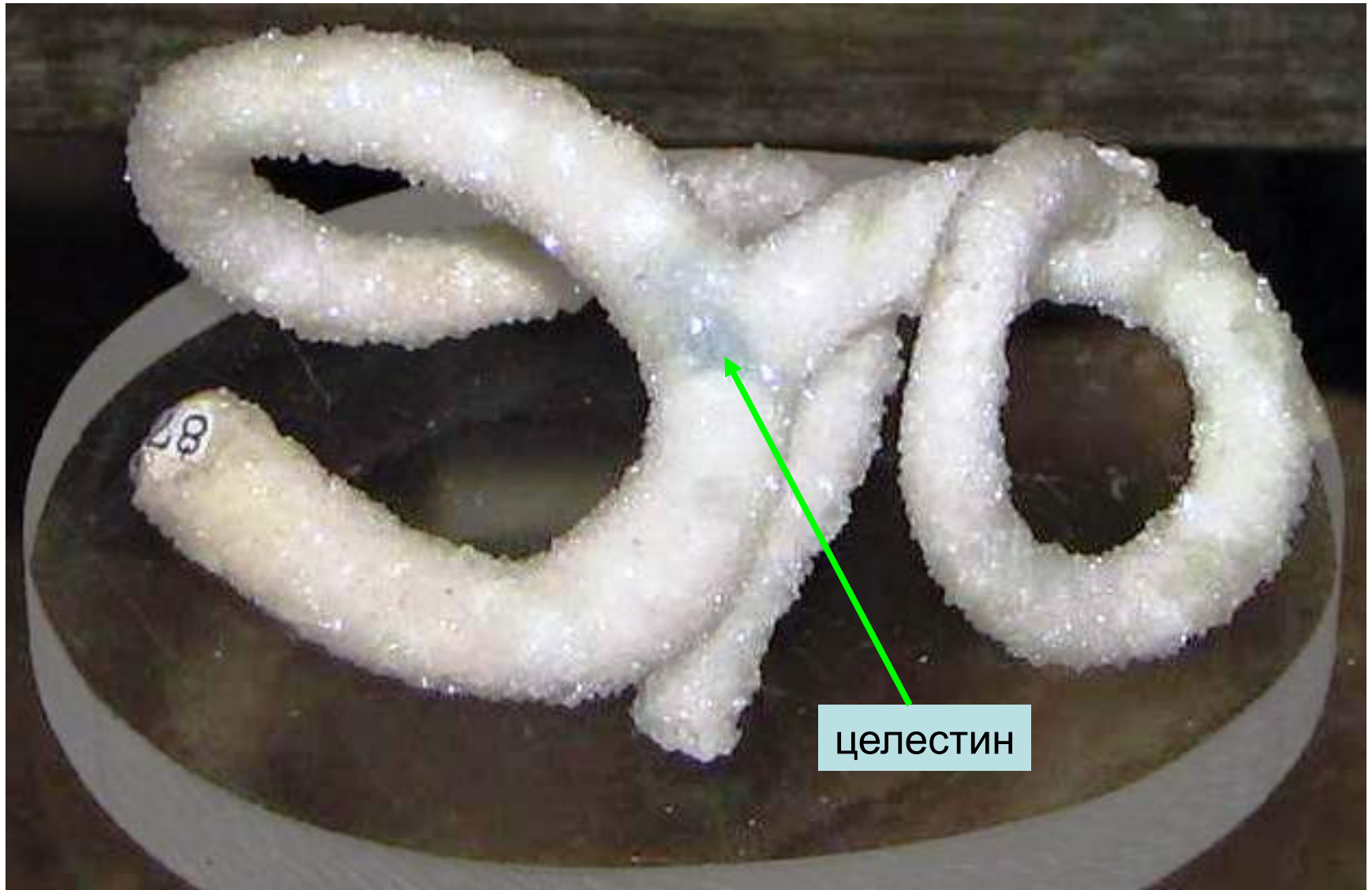
Бу-Бекер, Марокко



100 мм.
Naica,
Мексика

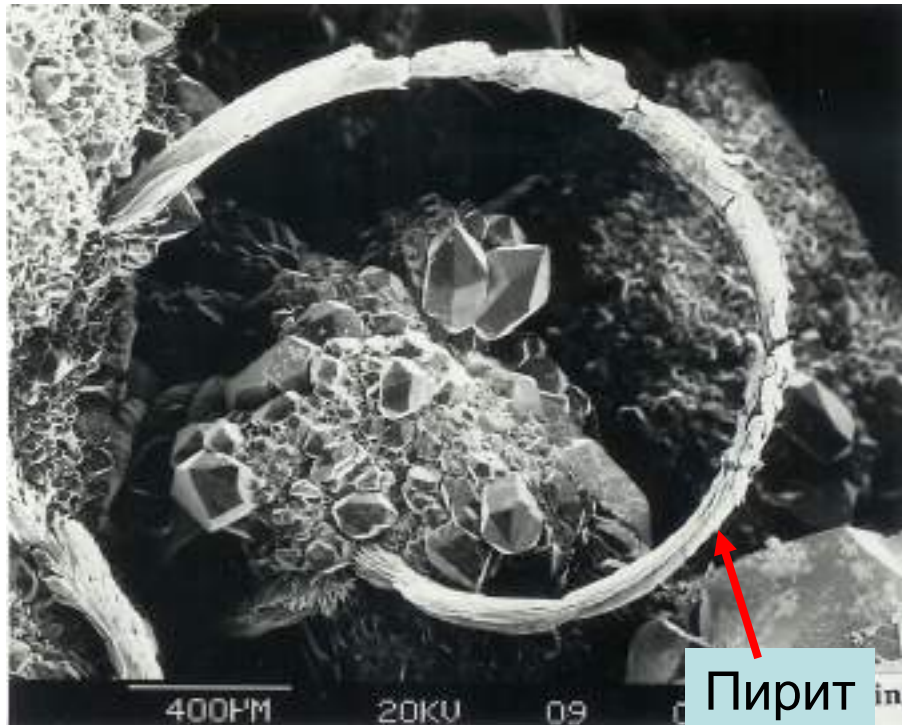
Явления скручивания кристаллов. Локонь

Кальцит

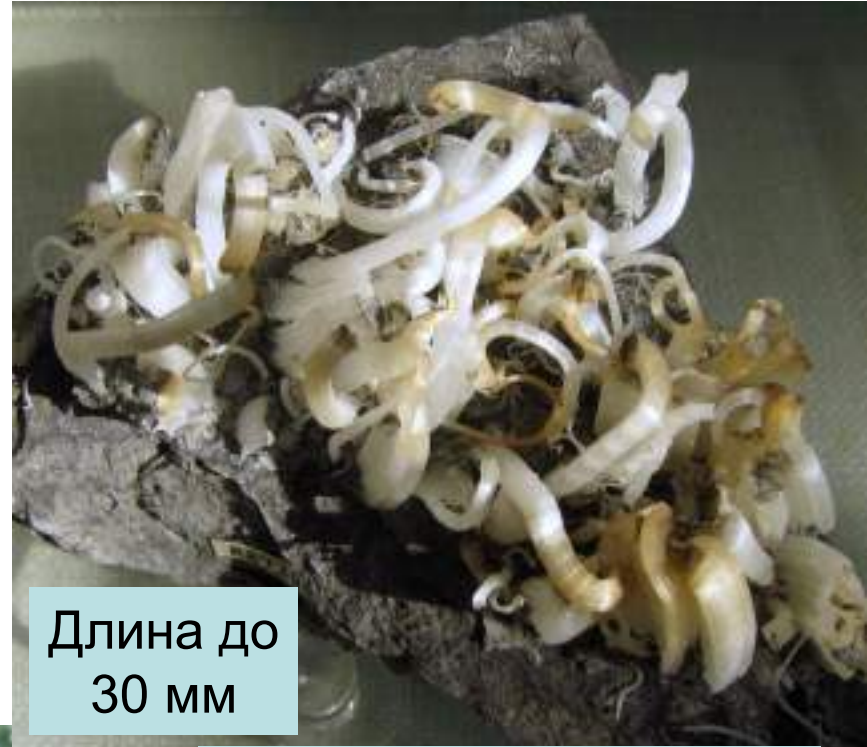


Пещера Кугитанг, Центральная Азия

Явления скручивания кристаллов. Локонь



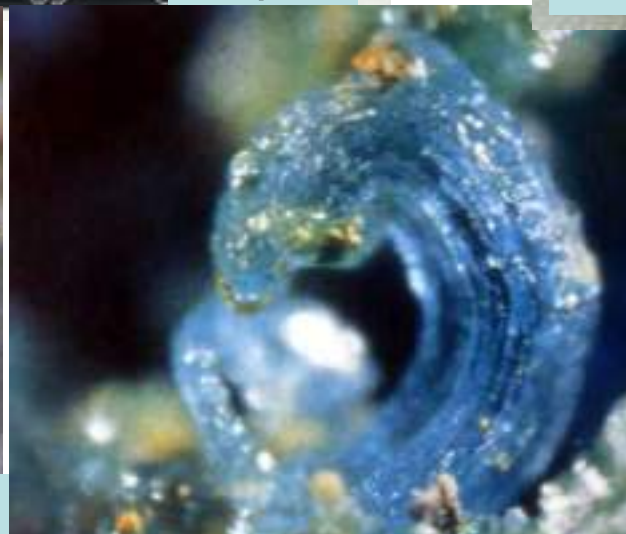
Пирит



Длина до
30 мм



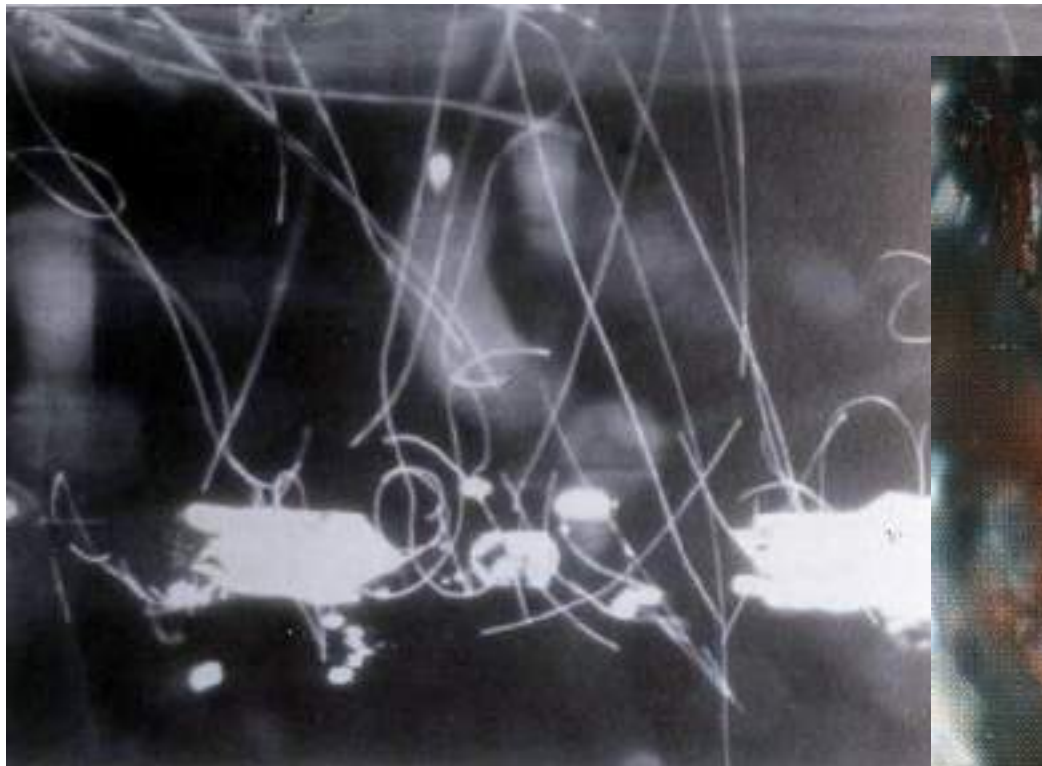
Гидроцинкит 5.8 мм.
Binntal, Швейцария



Халькантит 2.6 мм. Marsberg, Германия

Масканьит
 $(\text{NH}_4)_2[\text{SO}_4]$
возгонов
подземного угольного
пожара.
Рават, Таджикистан

Явления скручивания кристаллов. Локонь

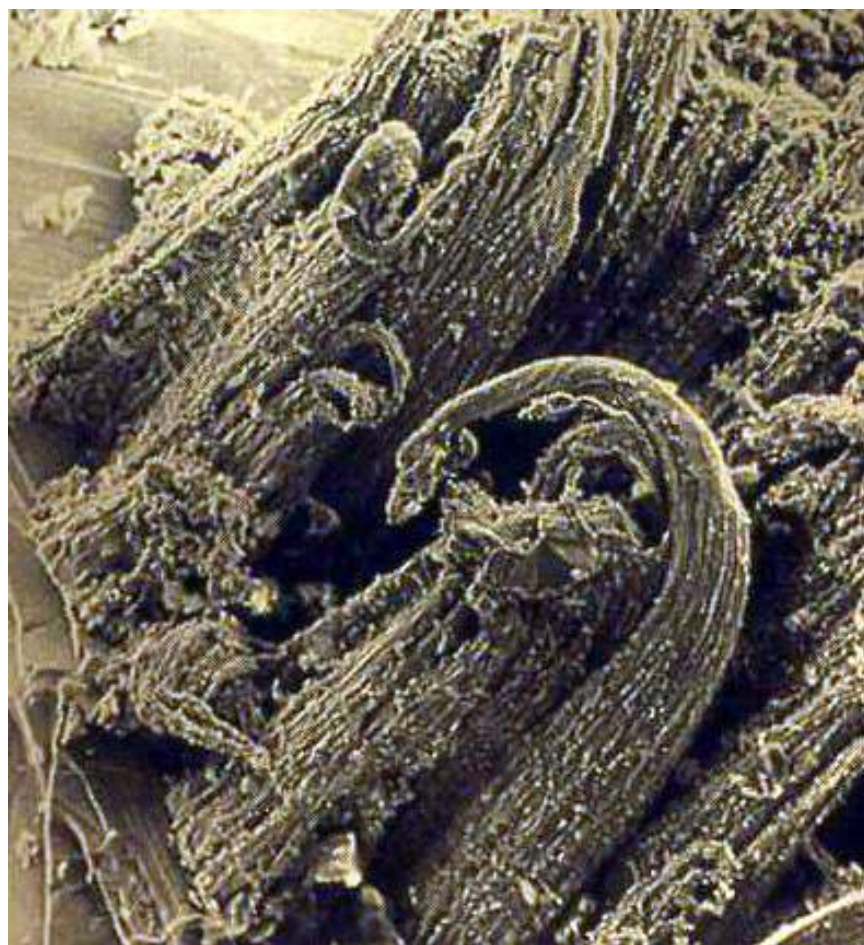


Локонь – нити
мангантанталита
 $MnTa_2O_6$
в
дымчатом кварце
в гранитных пегматитах



Кристаллит SiO_2 в газовых
пустотах молодых
вулканитов – в трахитах
Эйфеля,
Рейнский грабен, Германия

Явления скручивания кристаллов. Локонь



Полибазит
 $(\text{Ag,Cu})_{16}(\text{Sb,As})_2\text{S}_{11}$
0.5 мм.
Alexander, Vrancice



Эпсомит
 $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$

45 мм.
Lichtenberg,
Германия

Явления скручивания кристаллов. Локонь



50 мм. Колорадо



118 мм.
Groundhog
mine,
Колорадо,
США

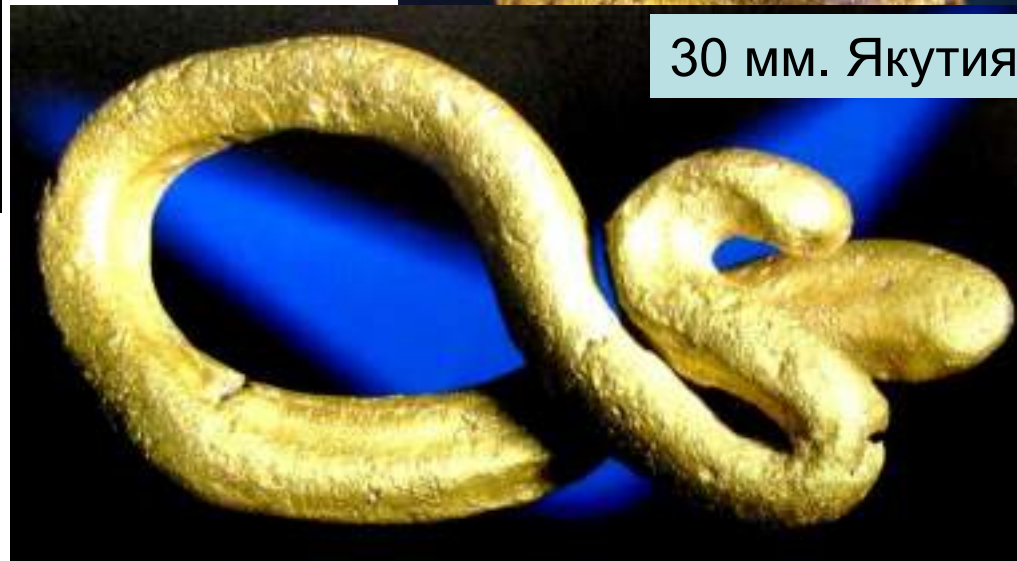
Золото

47 мм



Santa Elena,
Венесуэла

30 мм. Якутия



Явления скручивания кристаллов. Локонь

Медь



8 мм. Мансфельд, Германия



До 30 мм в жеде пренита.
Мичиган, США

Явления скручивания кристаллов. Локонь

Серебро

60 мм

На аргентите.
Hongda mine,
Китай



Явления скручивания кристаллов. Локонь

Серебро



С кальцитом по трещине в известняках. 65 мм

Конгсберг, Швеция

Явления скручивания кристаллов. Локонь

Серебро. Фрайберг, Рудные горы, Германия



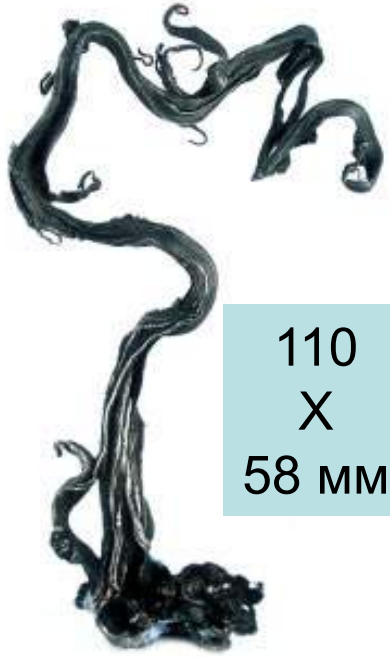
64 мм



50x45 мм

Явления скручивания кристаллов. Локонь

Серебро. Конгсберг, Швеция



110
X
58 мм



14x
10 мм

Кольца на
кальците



25x25 мм



9 мм



Явления скручивания кристаллов. Локонь

Серебро



25x19 мм.

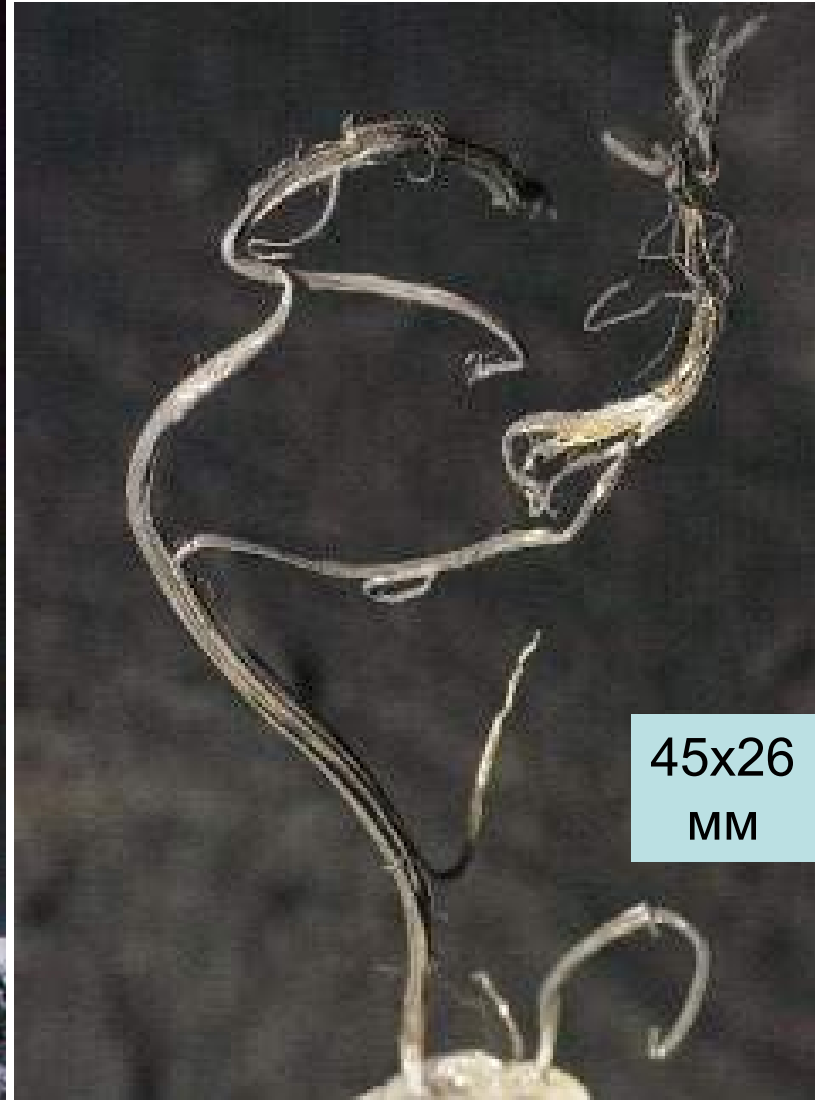
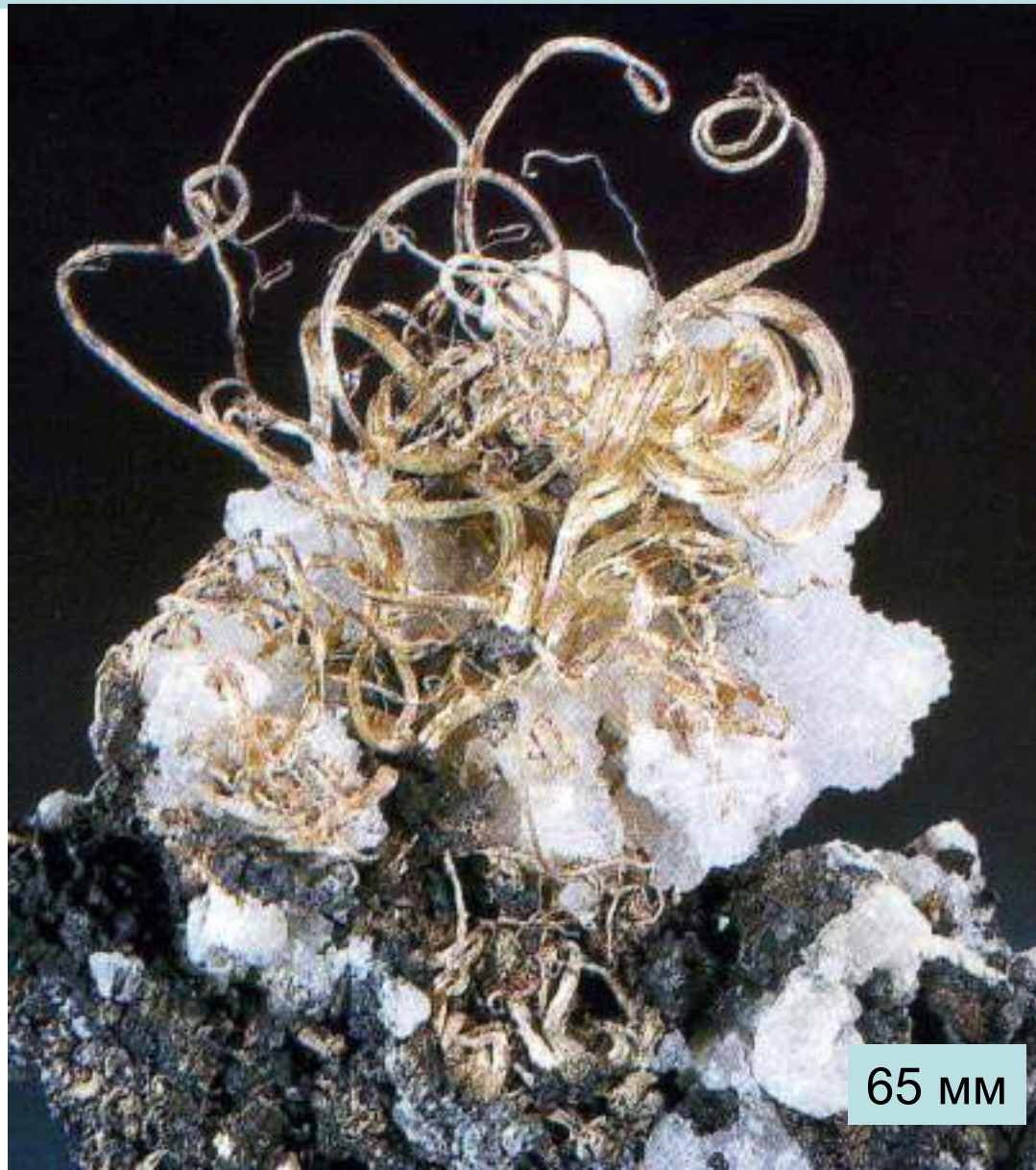
Keely-Frontier mine,
Северо-западные
территории,
Канада

25 мм.

Silver King mine,
Аризона, США

Явления скручивания кристаллов. Локонь

Серебро. Bulldog mine, Creede, Колорадо, США



Явления скручивания кристаллов. Локонь

Серебро. Китай



160 мм



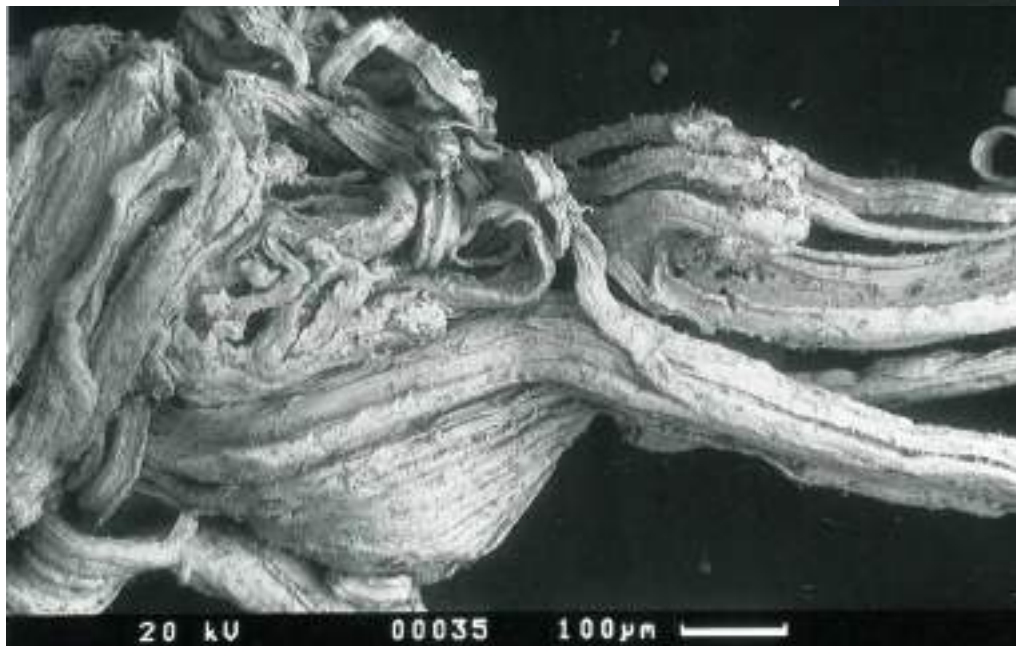
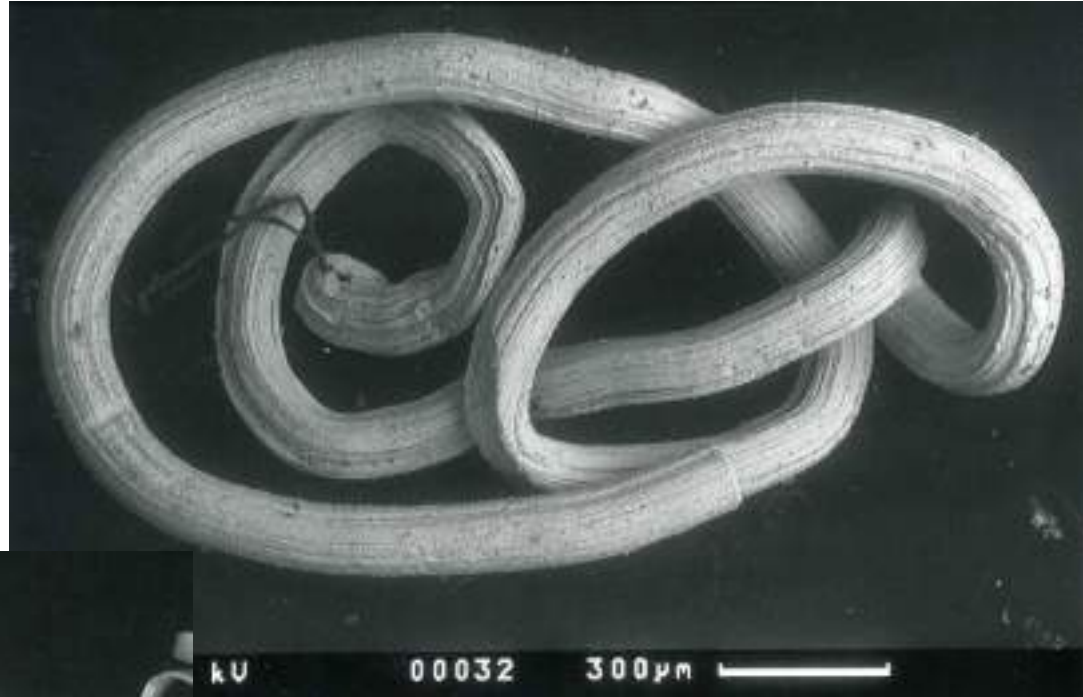
На аргентите.
29x26 мм

Явления скручивания кристаллов

Дукат. СВ России



Серебро



Остров Борнео, Индонезия

Явления скручивания кристаллов



Скрученный
буланжерит
во флюорите.

Madoc,
Canada

*. 11 Boulangerite (?) in Fluorite
e, Madoc, Canada. 50X.
Specimen, NMNH. Photograph,
Louis Perloff.*

Явления скручивания кристаллов. Локоны

Буланжерит

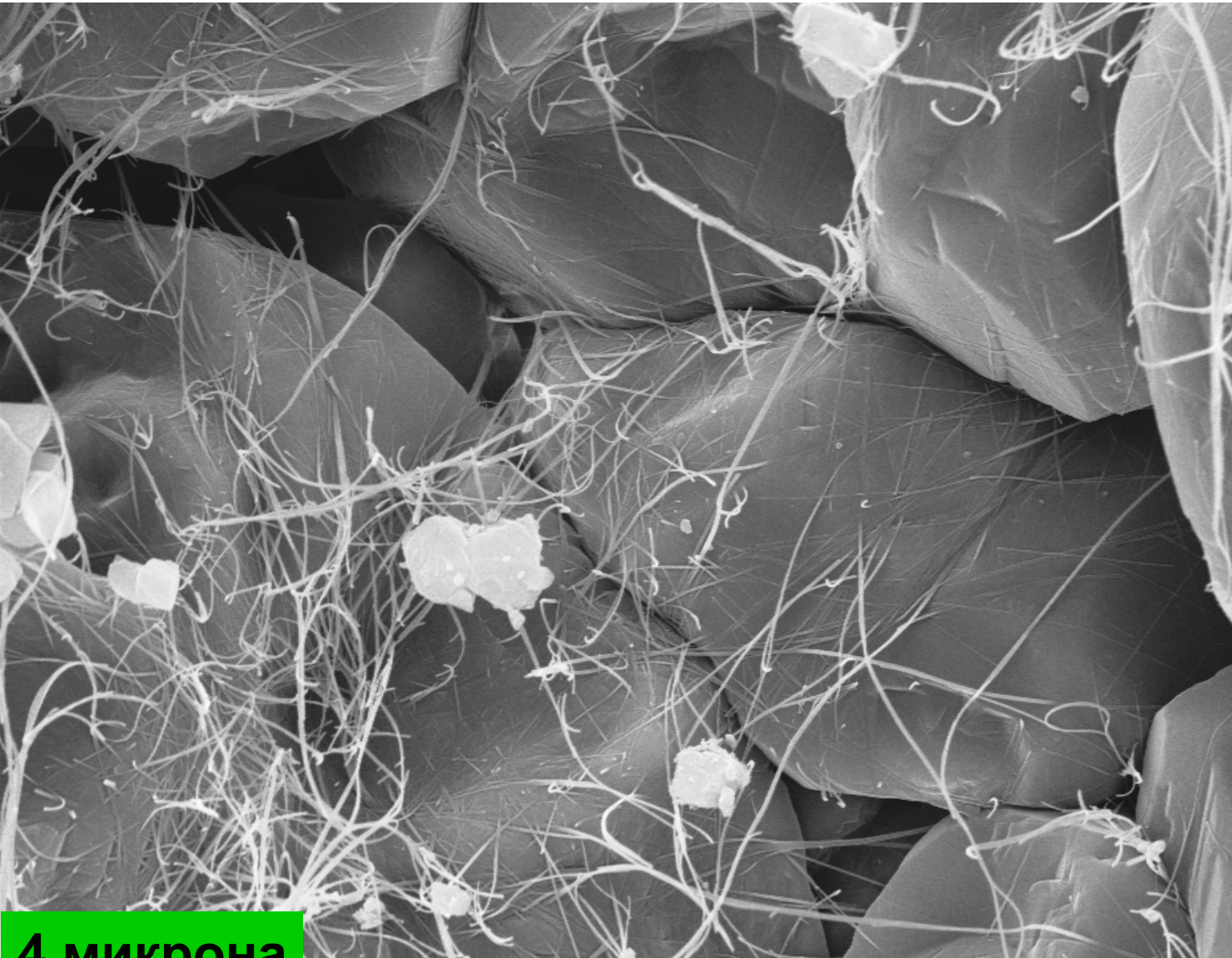
Агрегаты – «бухты» локонов буланжерита с галенитом.

Тетюхе
(Дальнегорск).

Фото
Павла Мартынова



Белокаменные известняки мячковского горизонта карбона в долине реки Москва



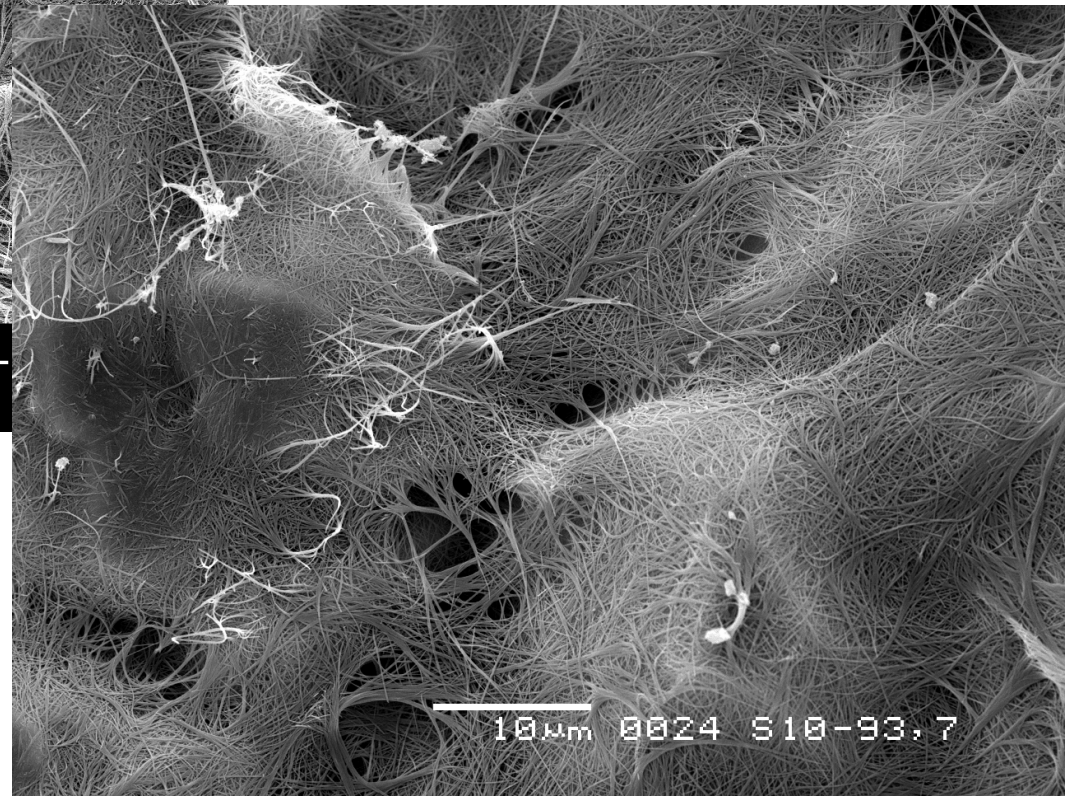
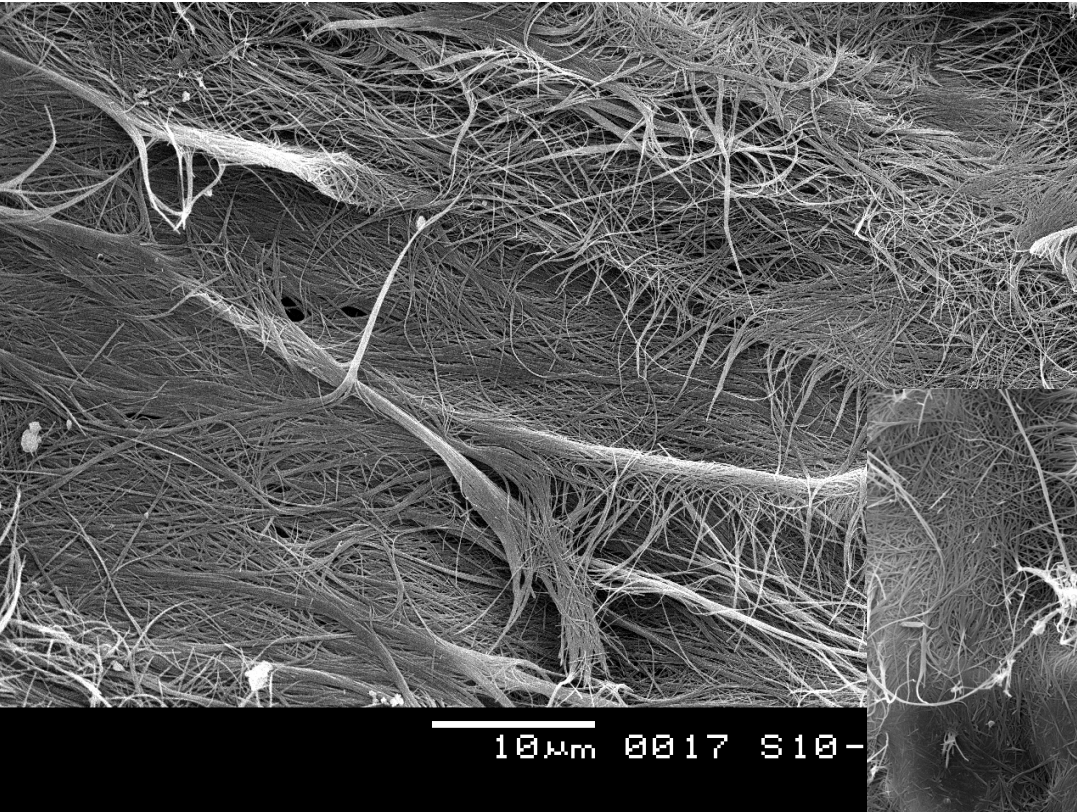
Великолепно скрученные нити кальцита-2 в пустотах между зёрнами кальцита-1 с тонкой плёнкой гидрослюды.

Изредка на нитях мелкие ромбоздры кальцита-3

4 микрона
= 10.00 K
EHT = 20.00 kV

Фотография в отражённых электронах

Скрученные нитевидные кристаллы палыгорскита в глинистых доломитах подольского горизонта среднего карбона в долине реки Москва

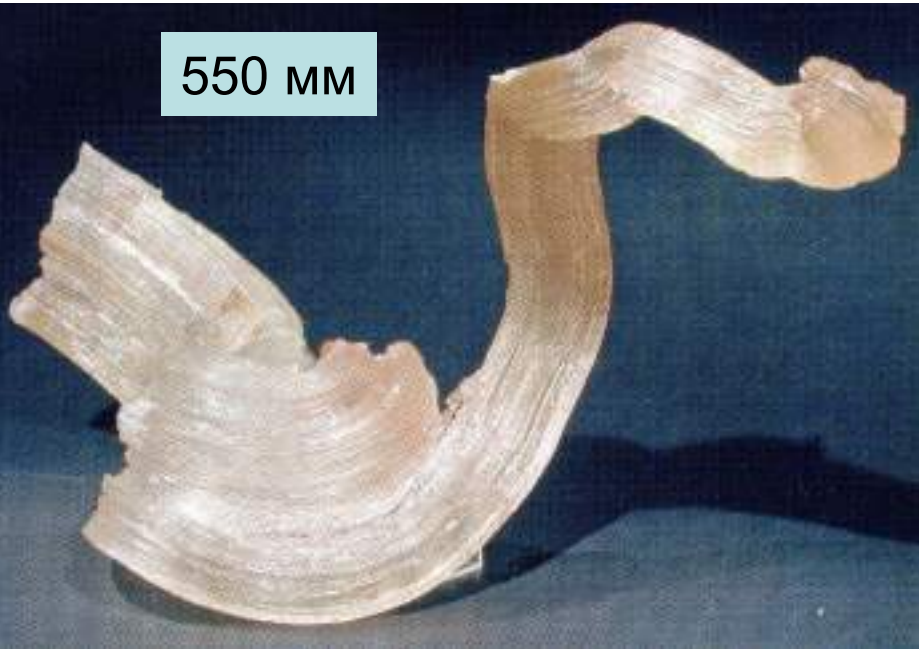


Фотографии в
отражённых электронах

Явления скручивания кристаллов. Локонь

Галит. Шахта Hattorf-Wintershall, Гессен, Германия

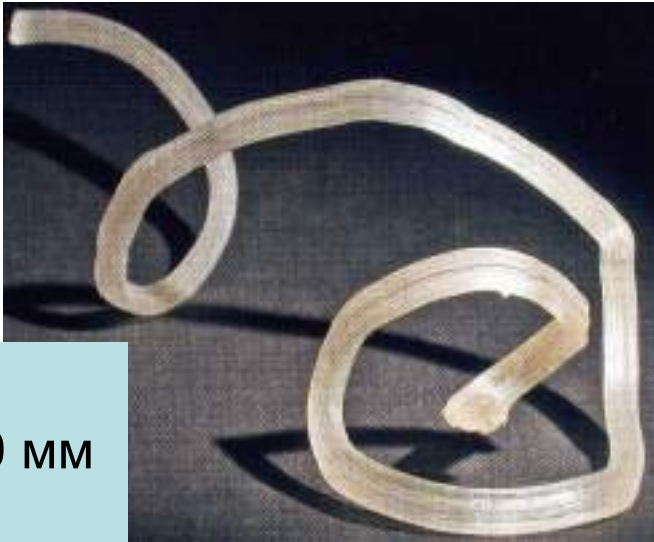
550 мм



290 мм



400 мм



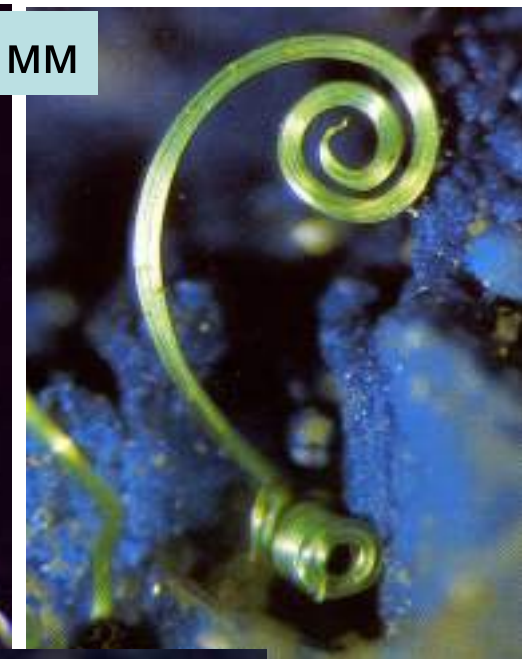
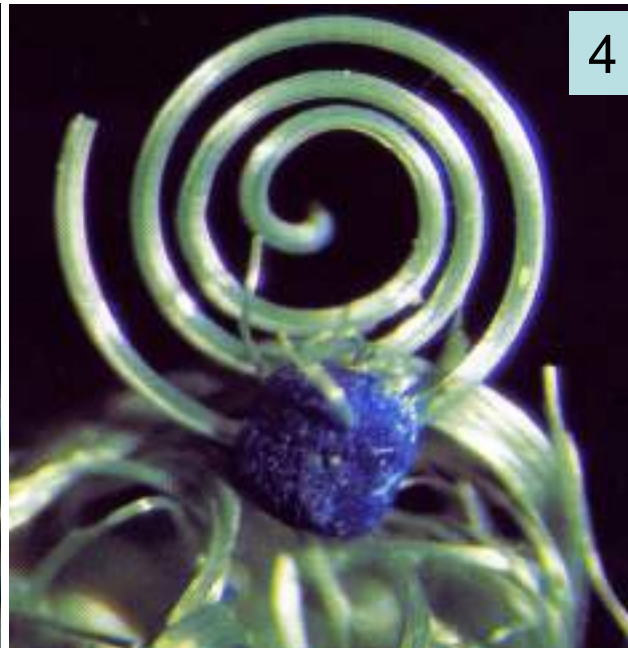
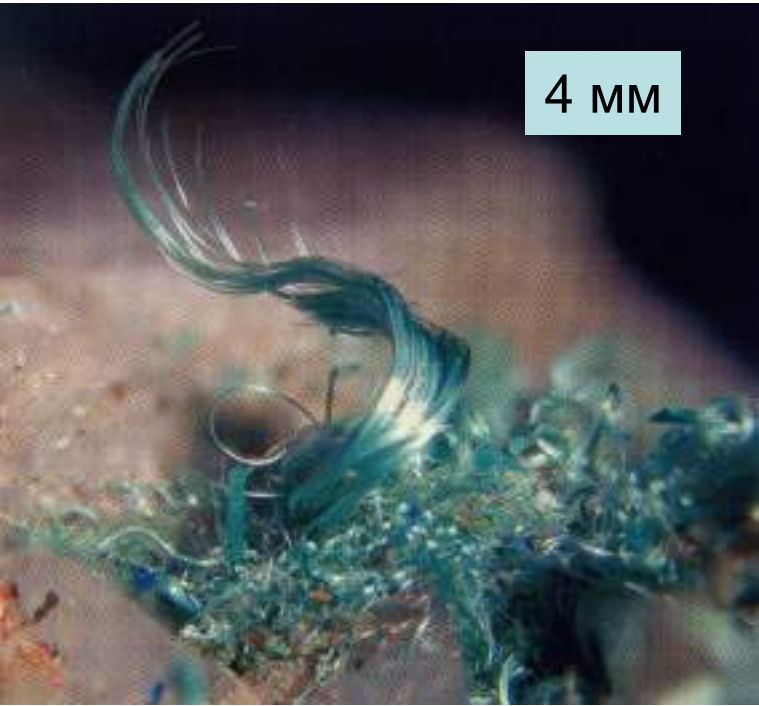
Явления скручивания кристаллов. Локонь

Галит. Шахта Hattorf-Wintershall, Гессен, Германия



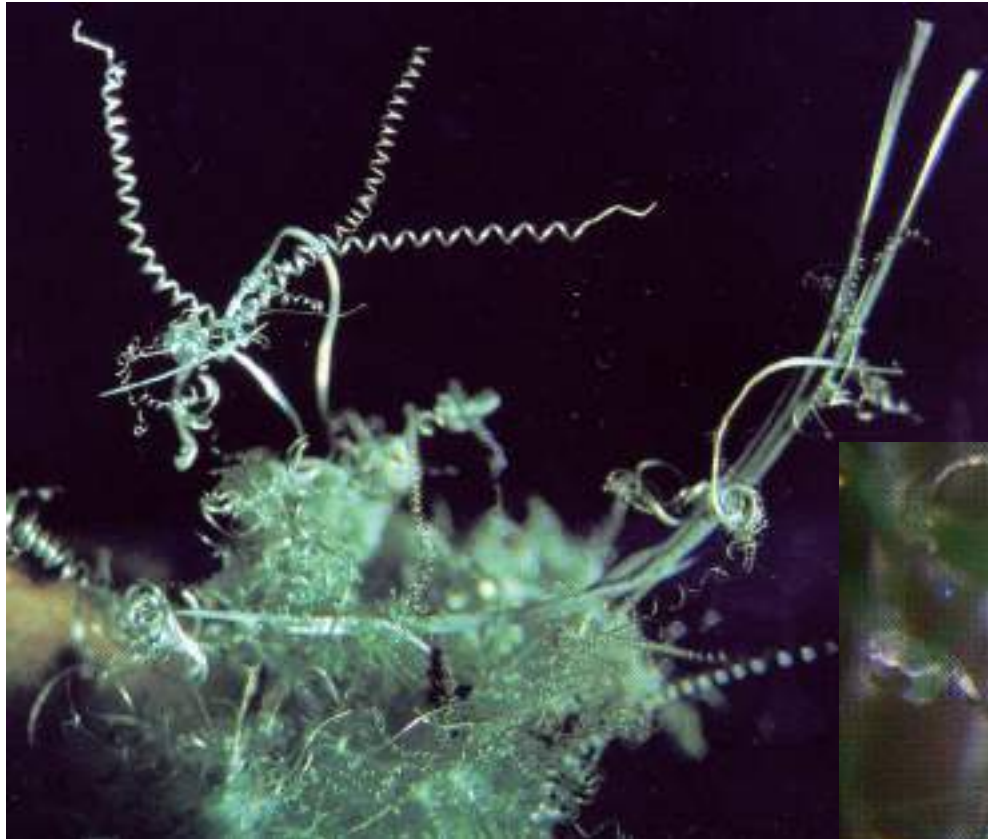
Явления скручивания кристаллов. Локонь

Малахит. Silberberg, Schwaz-Brixlegg, Тироль, Австрия



Явления скручивания кристаллов. Локонь

Малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$



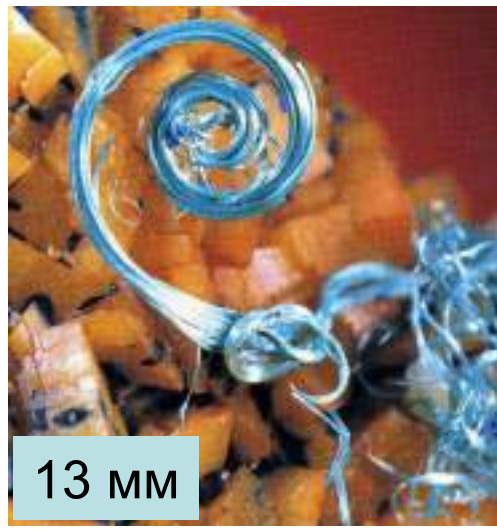
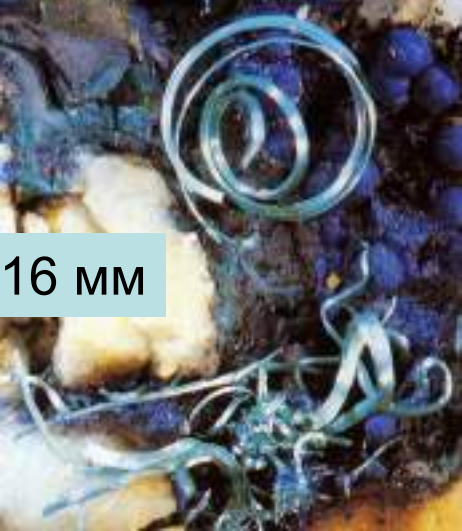
Silberberg, Schwaz-Brixlegg, Тироль, Австрия



1 мм

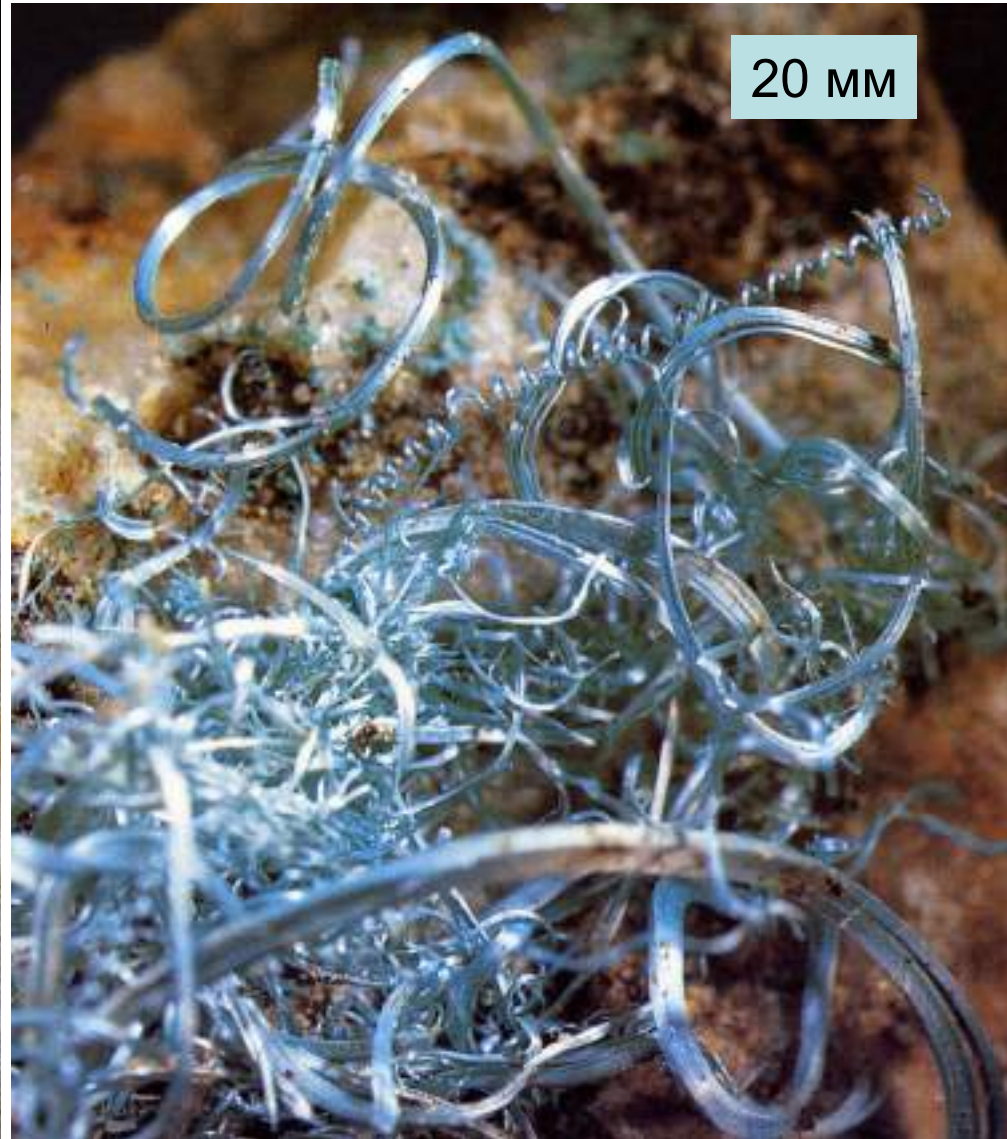
Явления скручивания кристаллов. Локонь

Малахит. Silberberg, Schwaz-Brixlegg, Тироль, Австрия



Явления скручивания кристаллов. Локонь

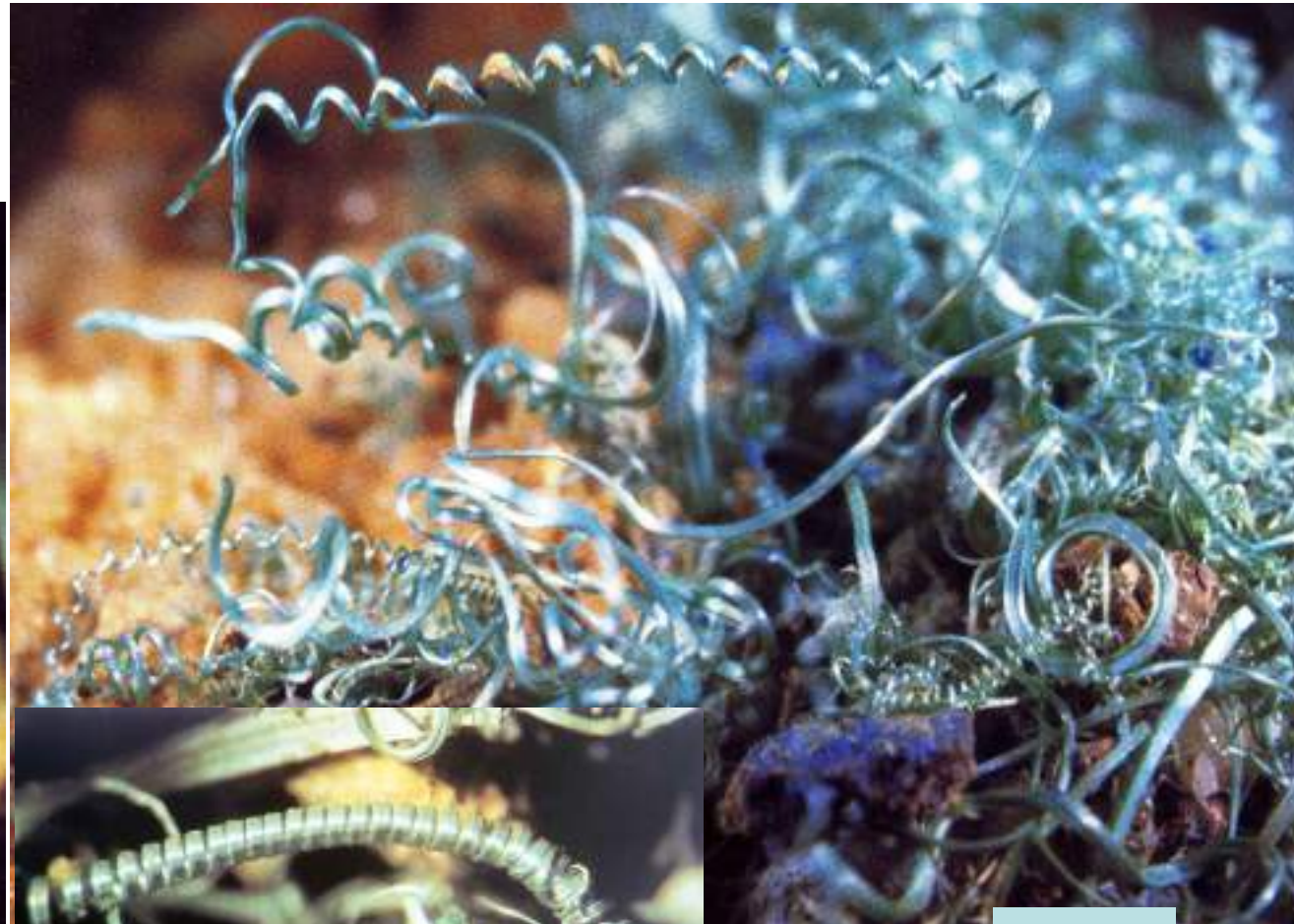
Малахит. Silberberg, Schwaz-Brixlegg, Тироль, Австрия



Явления скручивания кристаллов. Локонь

Малахит. Silberberg, Schwaz-Brixlegg, Тироль, Австрия

11x16 мм



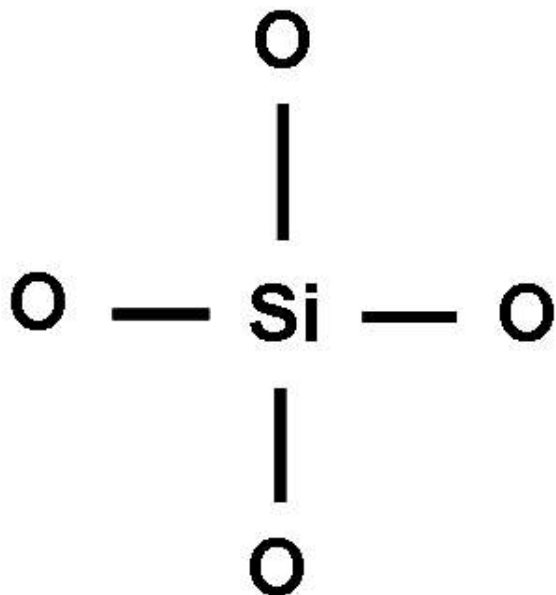
14 мм



8 мм

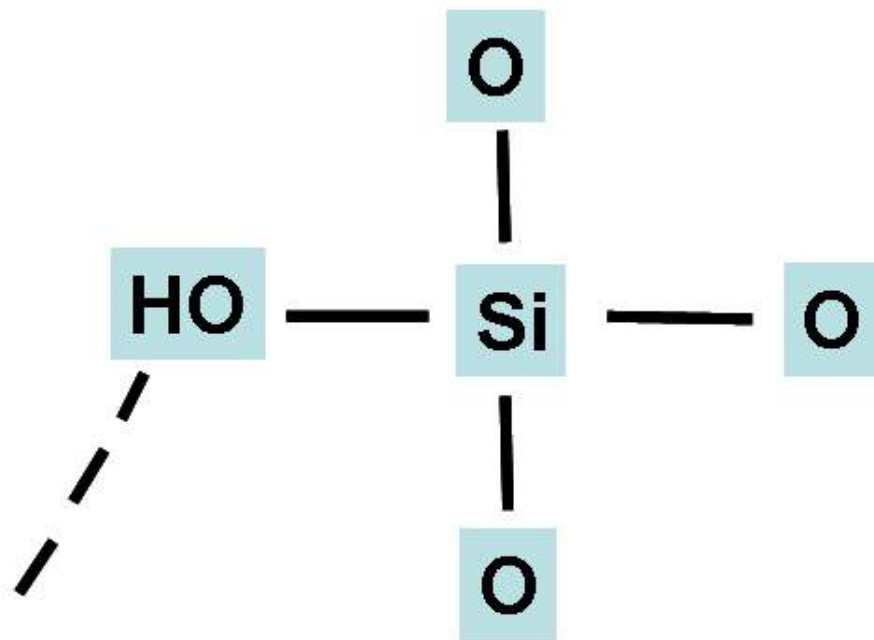
Явления скручивания кристаллов

Кварц
 $\text{Si}[\text{SiO}_4]$



Мир яшм и кварцитов

Халцедон
 $\text{Si}[\text{SiO}_4]_{1-x}[(\text{OH})_4]_x$



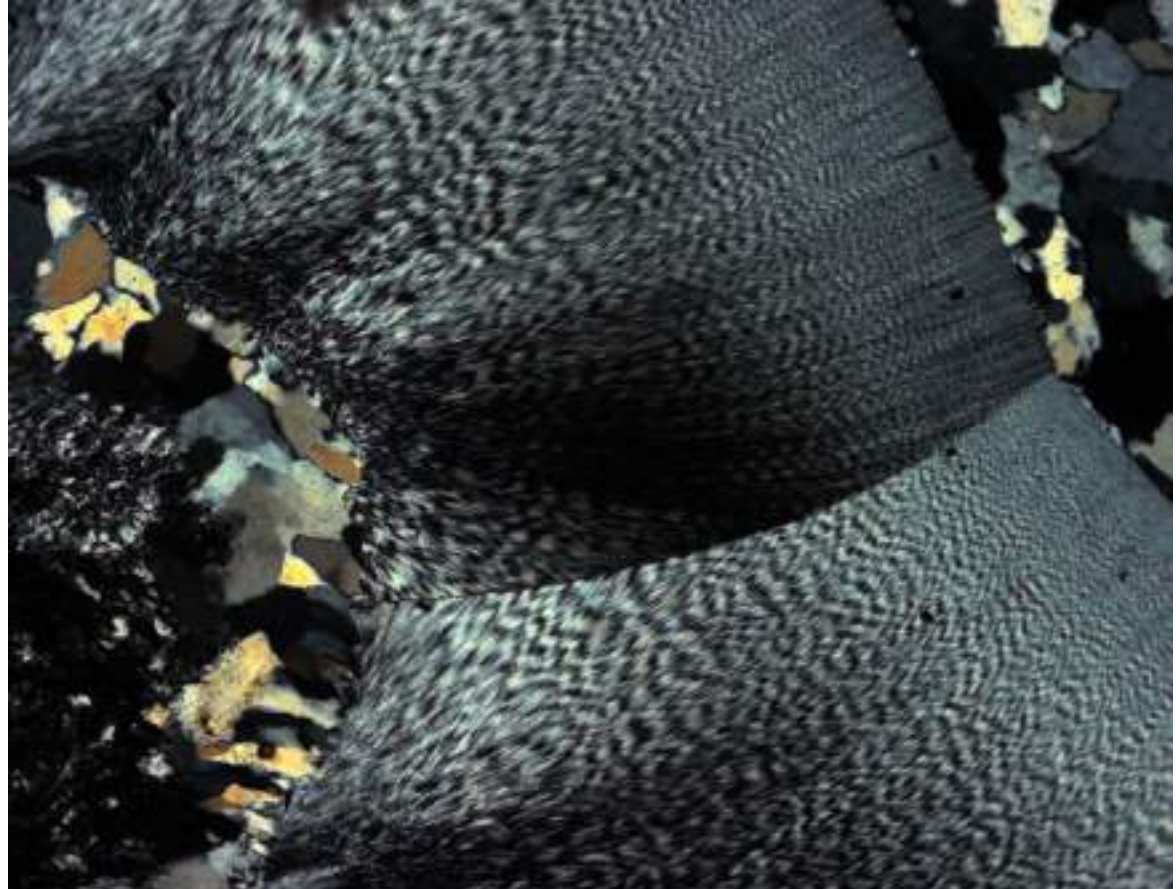
Мир агатов

Почему кристаллы кварца редко расщеплены и скручены, а халцедон напротив никогда не образует правильных кристаллов, а постоянно расщеплён и скручен? Ответ ясен при сравнении их структур.

Явления скручивания кристаллов

Скрученный халцедон

Эффект скручивания ярко проявлен в агрегатах халцедона. В шлифах при скрещенных николях, - по длине нитевидных кристаллов многократно изменяется двупреломление халцедона



Агаты. Голутвино, южное Подмосковье
В проходящем свете, николи х





Хребет Обручева, Тува. Фото ЭМС

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. 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 К-На 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. Подстать 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».

Патология минеральных индивидов - кристаллов

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 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.

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Взгляд термодинамический

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.

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».

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Взгляд онтогенический

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

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Ещё раз. Патологическое состояние - это качественное изменение состояния реального кристалла, связанное с нарушением пространственной симметрии на мезо- или макроуровне. Говоря о пространственной симметрии, имеется в виду классическая симметрия, 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 массопереноса и/или теплопереноса, наличия сильно адсорбирующихся примесей, гетерогенностью среды, внешними деформациями...**

Суть явления - потеря возможности самовоспроизводства кристаллов. Существует 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.

Патология минеральных индивидов – кристаллов

Диффузионные явления

1) секториальный захват включений

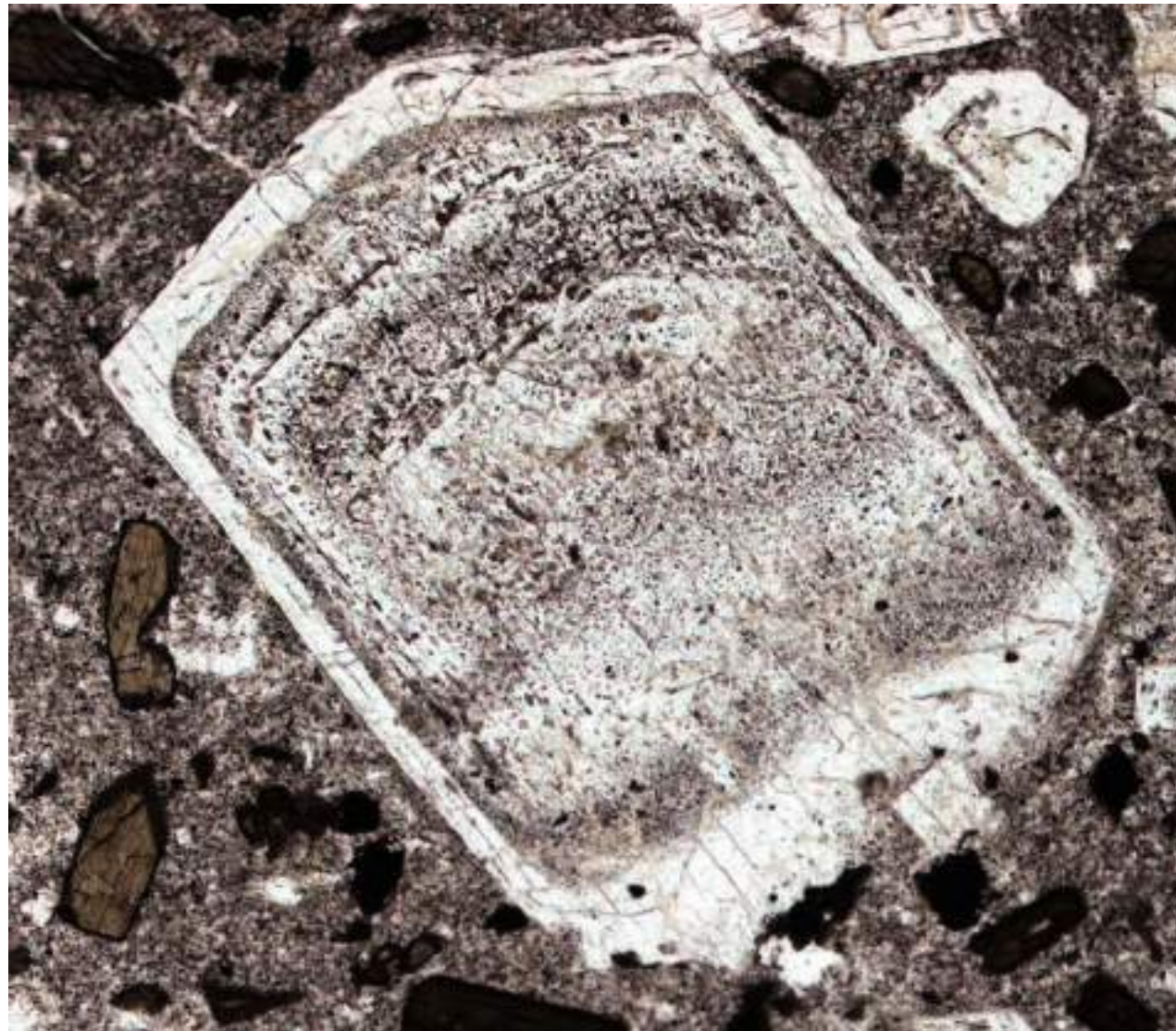


**Гётит в кристалле
гипса**

Патология минеральных индивидов – кристаллов

Диффузионные явления

2) ритмически-зональный захват включений



Вкрапленник битовнита с периодическим захватом включений вулканического стекла.

Паргаситовые андезиты Армении.

**Шлиф при 1
нике**

Патология минеральных индивидов – кристаллов

Диффузионные явления

4) Диффузионное торможение слоёв роста -
начальная стадия скелетного роста



**Кристаллы
пирита.**

**Угольное
месторождение
Боровичи.
Новгородская
область**

Патология минеральных индивидов – кристаллов

Диффузионные явления

5) Потеря устойчивости плоскогранного роста - развитие рёберных скелетов - антискелетов



**Синтетическая
шпинель.**

41 Мм

Колл. ЭМС

Фото

М.А. Богомолова

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Диффузионные явления:

б) трещины гетерометрии, вызванные неравномерным захватом примесей



Напряжения гетерометрии пирамид роста иногда настолько сильны, что вызывают авторазрушение – автодеформацию кристалла.

Частично разорванный -
автодеформированный
кристалл
раухкварца. 60 мм.

Батолит Pikes Peak,
Колорадо, США

Патология минеральных индивидов – кристаллов

Диффузионные явления

7) искажение внешней симметрии, вызванное неоднородностью массопереноса

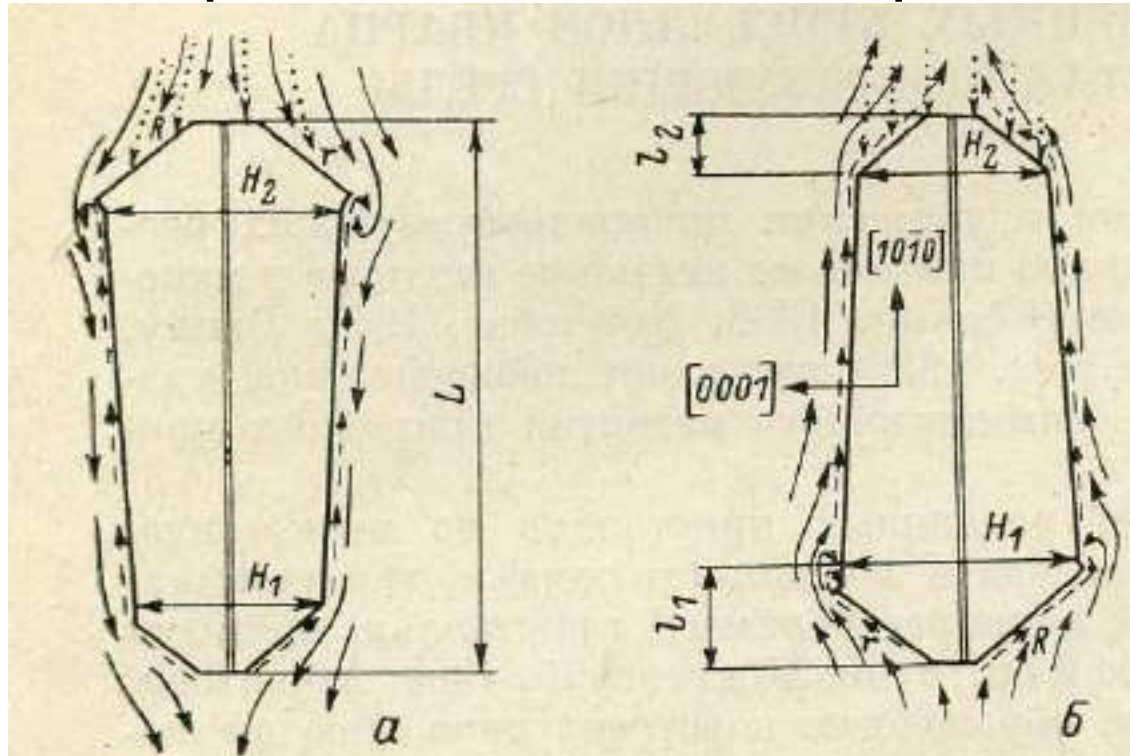


Рис. 1. Сечения кристаллов кварца, растущих в нисходящем (а) и восходящем (б) конвекционных потоках.

Сплошные стрелки — направление движения; пунктирные — концентрационные струи; n — направление присыпок.

точечные

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Зависимость кристаллографических форм от симметрии питающей среды

Характеристика питающей среды	Симметрия среды	Внешняя симметрия кристалла	Истинные формы в идеальном равновесии	Локальные 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.	$CL_{\infty} \infty L_2 \infty PII$ (симметрия цилиндра).	$CL_n \infty L_2 \infty PII$ и случаи более низкой симметрии.	Все формы за исключением кубических.	Формы всех сингоний, за исключением кубической, а также ди-л-гональных дипирамид, призм, пирамид, скаленоздров и трапецоздров, ромбических дипирамид и тетраэдров.
Рост неподвижного кристалла во вращающейся среде или вращающегося кристалла в неподвижной среде.	$CL_{\infty} II$ (симметрия вращающегося цилиндра).	$CL_n II$ и более низкая симметрия.	л-гональные дипирамиды, пирамиды и призмы, ромбоздры, тетрагональные тетраэдры, ромбические призмы, пинакоиды, моноэдры.	Формы всех сингоний, за исключением кубической, а также ди-л-гональных дипирамид, пирамид, призм, скаленоздров, трапецоздров, ромбических дипирамид и пирамид.
Рост неподвижного кристалла в гравитационном поле с нисходящими или восходящими потоками.	$L_{\infty} \infty P$ (симметрия конуса).	$L_n \infty P$ и более низкая симметрия.	Ди-л-гональные и л-гональные пирамиды и призмы, ромбические пирамиды и призмы, диэдры, пинакоиды и моноэдры.	л-гональные пирамиды и призмы, ромбические пирамиды и призмы, пинакоиды, диэдры, моноэдры.
Неравномерное поступание потока по трем взаимно перпендикулярным направлениям.	$C3L_2 \infty 3P$ (симметрия «кирпичика»).	$C3L_2 \infty 3P$ 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

Патогенные факторы

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...);

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

- 9) седловидный изгиб (доломит, сидерит...);
- 10) скручивание (кварц...);
- 11) скручивание с расщеплением (стильбит...);
- 12) изгиб – кручение с расщеплением (гейландит...);
- 13) двойники срастания (контактные двойники);
- 14) двойниковые сателлиты на монокристалле.

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

- 1) конституционная зональность (полихромные кристаллы...)



Полихромный эльбаит -
рубеллит и верделлит. 15 мм

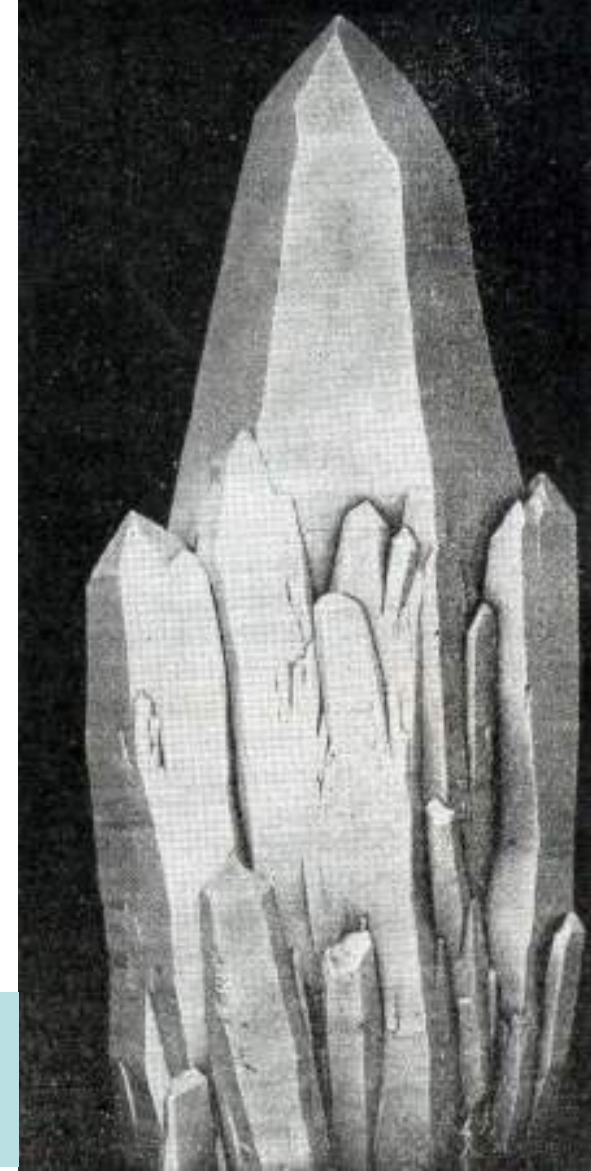
Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

2) начальная стадия расщепления

Кристалл кварца с субиндивидами
250 мм



Патология минеральных индивидов - кристаллов



Кристалл кварца с
субиндивидами.

Гранитные
пегматиты.
Минас Жераис.
Бразилия.

Колл. Музея
„Земля и люди“.
София, Болгария.

Фото Н.Н. Жукова

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

3) расщепление на локальных примесных центрах



**Кобальтистый смитсонит
(Zn, Co) [CO₃].**

20 мм

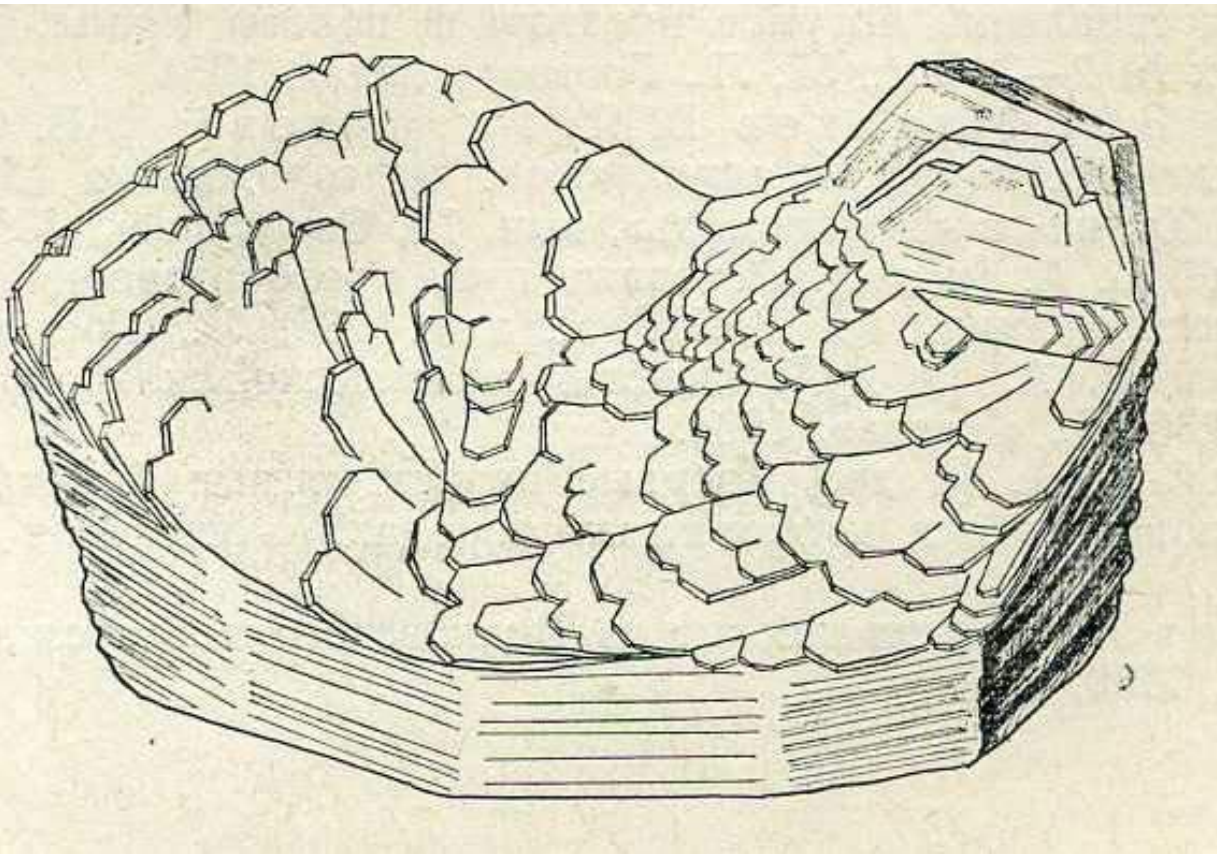
Цумеб. Намибия

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

4) асимметричное расщепление параллельных граней



**Корунд
45 мм**

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

5) асимметричный разворот субиндивидов расщепления



Молибденит
24 мм
Malartic
Квебек
Канада

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

- б) развитие расщепления пластинчатого кристалла с образованием многорёберности (кристаллы – розы...)



**Барит
35 мм
Техас
США**

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

- б) развитие расщепления пластинчатого кристалла с образованием многорёберности (кристаллы – розы...)



**Железная роза - гематит
в альпийской жиле**

30x27 мм. Биннталь, Швейцария

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

- 7) развитие расщепления столбчатого кристалла – образование сноповидного агрегата (снопы стильбита, турмалина...)



Стильбит в траппах - метабазальтах
цеолитовой фации. 80 мм.
Тунгуска,
Восточно-Сибирская
платформа

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

7) развитие расщепления столбчатого кристалла – образование сноповидного агрегата



Букетики циркона 3 мм
на санидине
в продушинах трахитов.

Лаахер,
Эйфель,
Германия

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

- 8) развитие расщепления изометричного кристалла – макромозаичность (флюорит...)



на кварце 67 мм. La Callanca, Испания

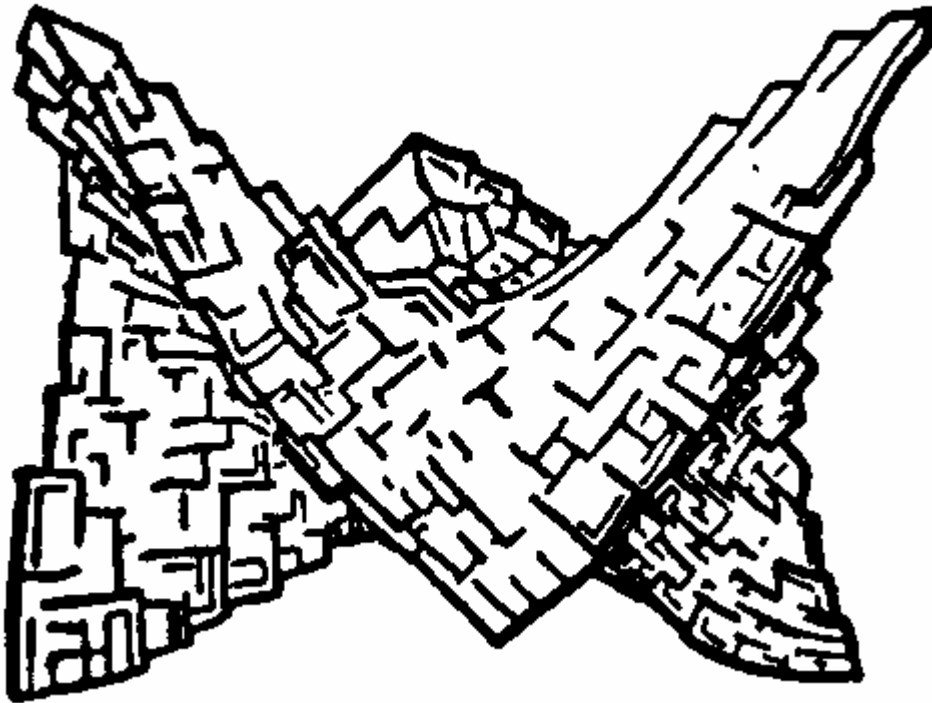
Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

9) седловидный изгиб (доломит, сидерит...);

Fig. 84.



Седловидный доломит

Рисунок в книге V.M. Goldschmidt, 1918 - 1923

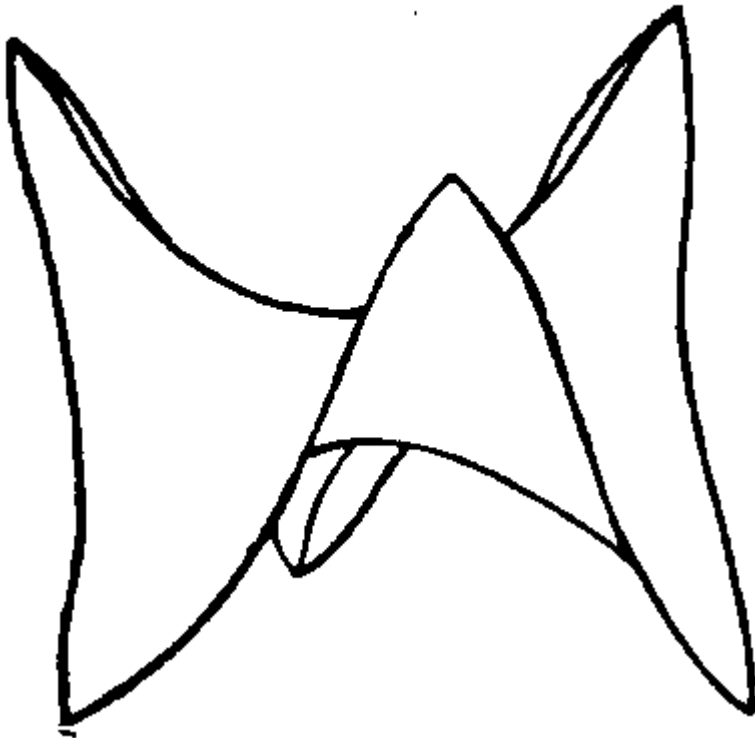
Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

9) седловидный изгиб

Fig. 10.



Седловидный гематит

Рисунок в книге V.M. Goldschmidt, 1918 - 1923

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

10) скручивание (кварц...)



Дымчатый кварц. 83 мм.
Пуйва, Приполярный Урал

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

10) скручивание



**Локон
малахита 3 мм.**

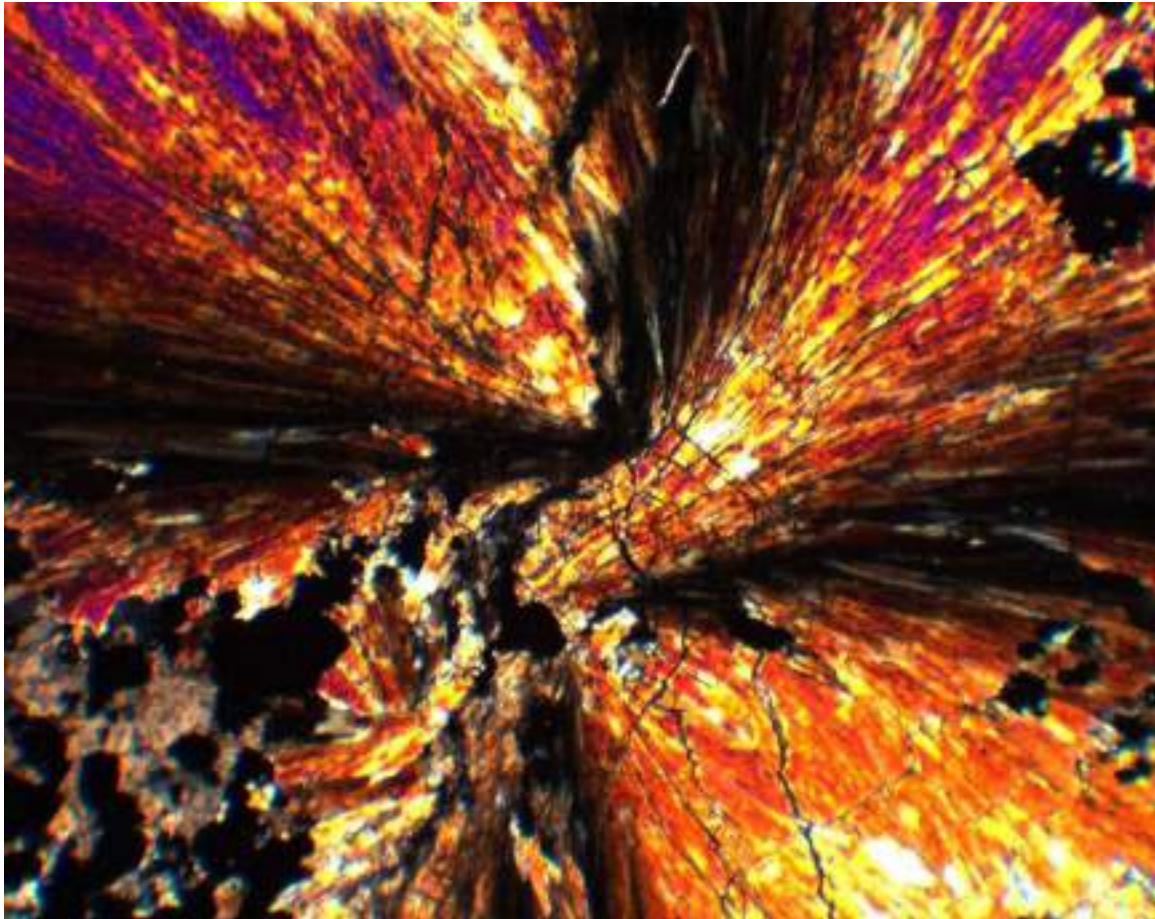
**Silberberg, Schwaz-Brixlegg,
Тироль, Австрия**

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

11) скручивание с расщеплением



Агрегаты
фенакита
6 мм.

В проходящем свете,
николи х.

Ермаковское,
Забайкалье.

Колл. и фото ЭМС

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

12) изгиб – кручение с расщеплением (гейландит...);



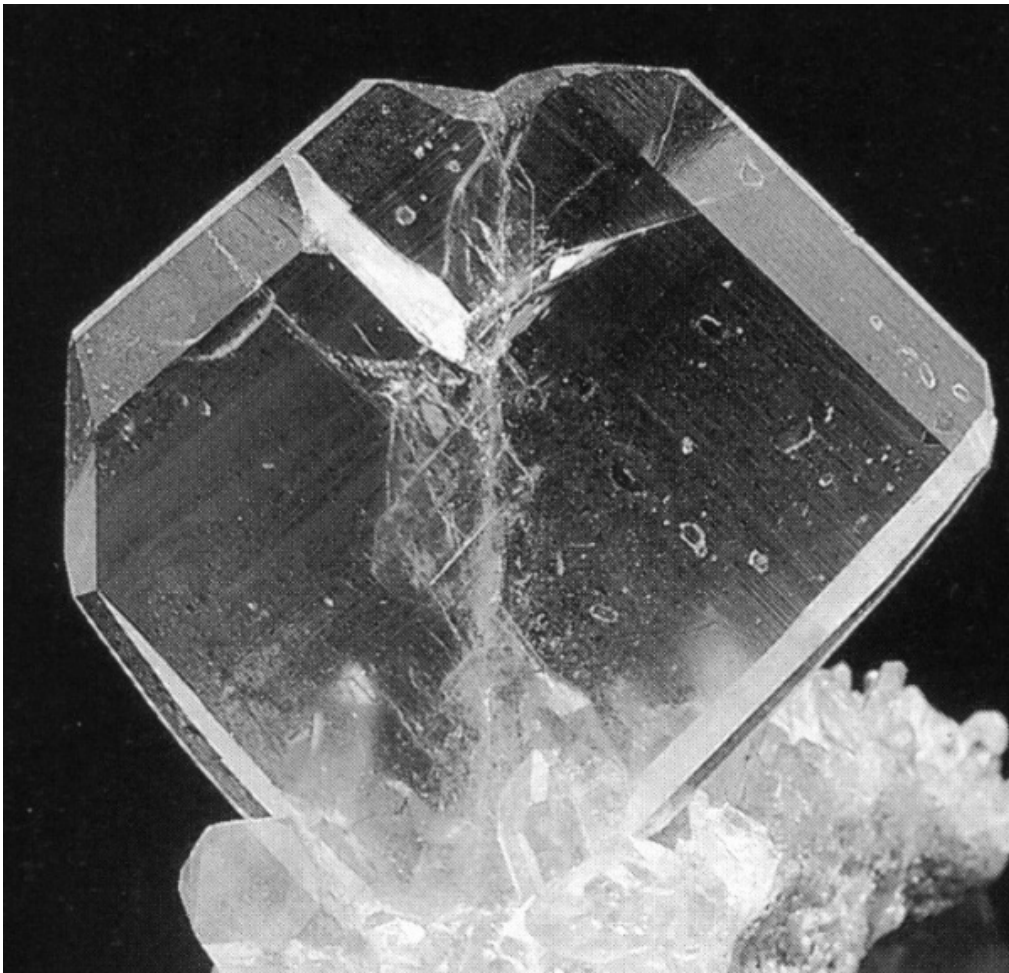
Гейландит 64x40 мм. Объёмное кручение с расщеплением.
Река Ванавара, Восточно-Сибирская платформа

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

13) двойники срастания (контактные двойники)



Японский двойник
кварца.

40 мм.
Montgomery County,
Арканзас, США

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Патогенные факторы

Абсорбционные явления и автодеформации:

14) двойниковые сателлиты на монокристалле



Японский двойник
цитринового кварца.

90 мм.

Полярный Урал

Патология минеральных индивидов - кристаллов

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

Адсорбционные явления.

1) адсорбционные включения раствора – перламутровость



Перламутровые
Кристаллы
гейландита.

73x53 мм.

В metabазальтах – траппах.
Ванавара.
Восточно-Сибирская платформа

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

1) адсорбционные включения раствора – перламутровость



Срастание перламутровых
кристаллов анальцита
и апофиллита.

110 мм.

В metabazальтах – траппах.
Ванавара.

Восточно-Сибирская платформа

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

1) адсорбционные включения раствора – перламутровость



Перламутровые
до
фарфоровидных
кристаллы
ломонтита.

98x88 мм.

В
метабазальтах – спилитах.

Пуццоланова
бухта.
Карадаг.

Горный Крым

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

2) массовый захват точечных адсорбционных включений и изменение огранки под действием примеси



Сложно зональный
кристалл
кальцита.

20 мм.

Steinbruch Agatz, Германия

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

3) многоглавый рост, вызванный примесным отравлением быстро растущих граней



Многоглавый кристалл
кварца - аметиста.

58 мм.

Karur, Tamilnadu

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Кристаллы алмаза с началом процесса выклинивания

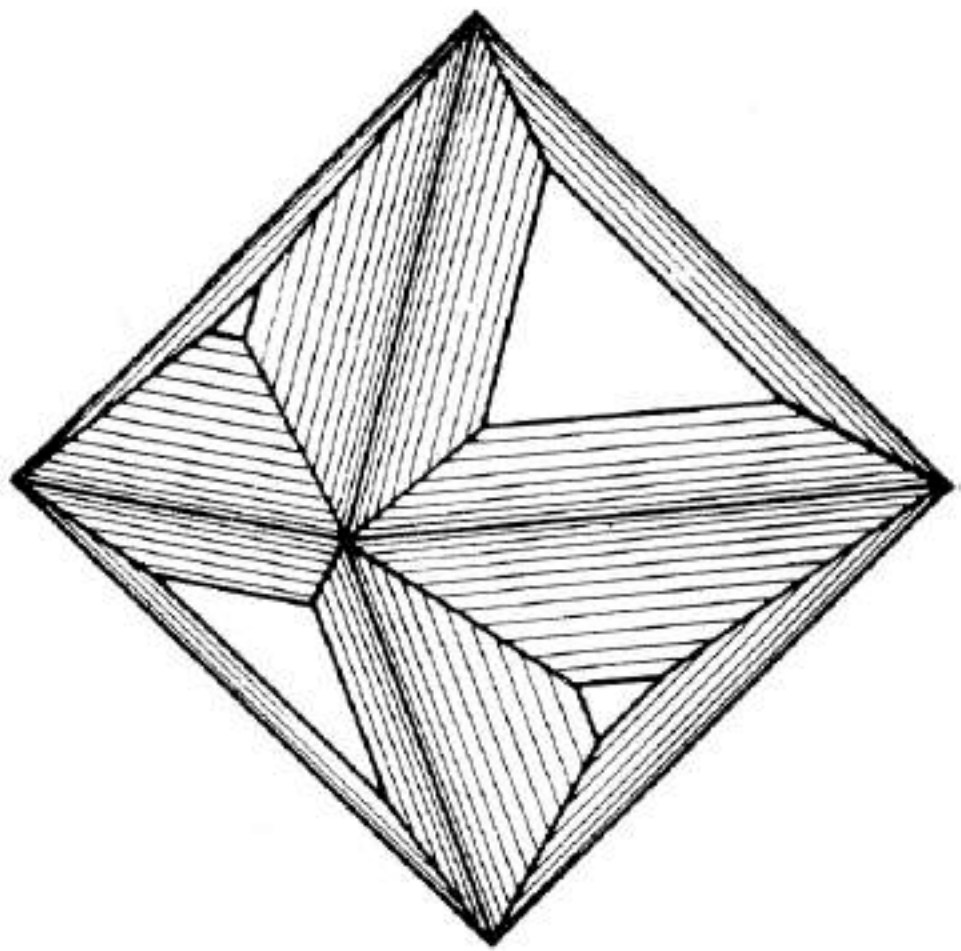


Рис. 97.

К. Martin, Zeitschr. Geol. Ges., 1873, 30, Taf. 21, Fig. 1. (Бразилия).

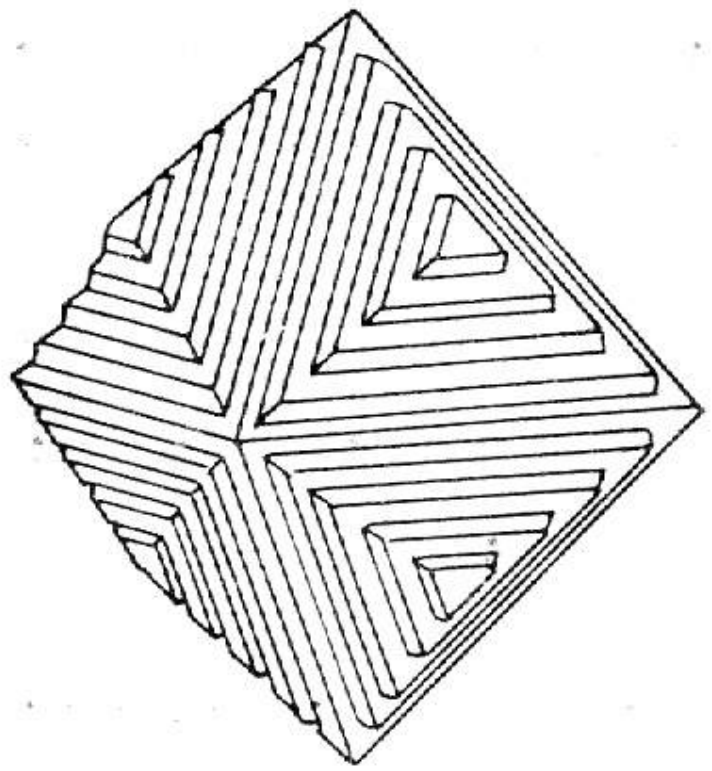


Рис. 16.

Rose—Sadebeck, Abh. Ak. Berlin, 1876, Taf. 4, Fig. 38.

Патология минеральных индивидов - кристаллов Адсорбционные явления.

4) кривогранный рост с выклиниванием



Вюртцит



Пирит 1 мм

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

5) выклинивание и обелисковидный рост



Кальцит

Кварц. Непал



Патология минеральных индивидов - кристаллов Адсорбционные явления.

5) выклинивание и обелисковидный рост



Кварц. Corinto mine. Минас Жераис, Бразилия

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

5) выклинивание и обелисковидный рост



Миметизит 31 мм. Цумеб



Лёд



Кварц
2.5 мм.
Эйфель,
Германия

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

б) явления морфологической перестройки – регенерационная штриховка

На огромном кристалле
кварца из гранитных
пегматитов Бразилии.
Музей «Земля и люди».
София, Болгария
Фото Н.Н. Жукова и ЭМС



Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

б) явления морфологической перестройки – комбинационная штриховка, вызванная сменой условий роста



Пентагондодекаэдр
пирита.

Скарны Мадана.

Родопы.

Болгария

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

б) явления морфологической перестройки – комбинационная штриховка, вызванная сменой условий роста

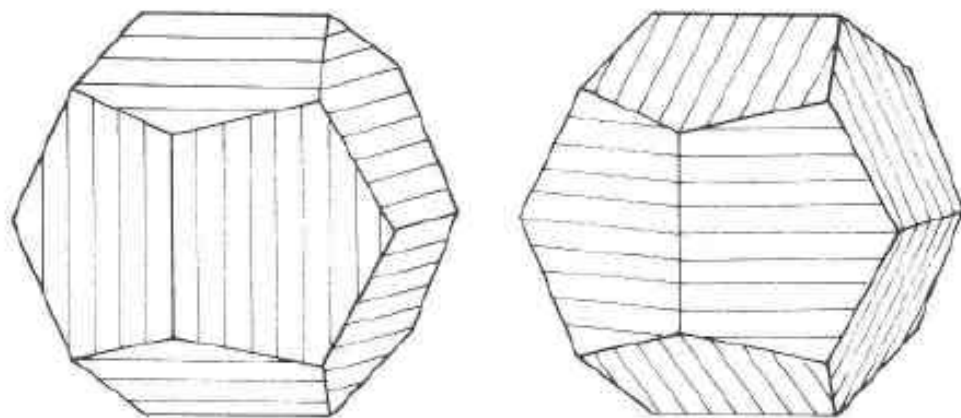
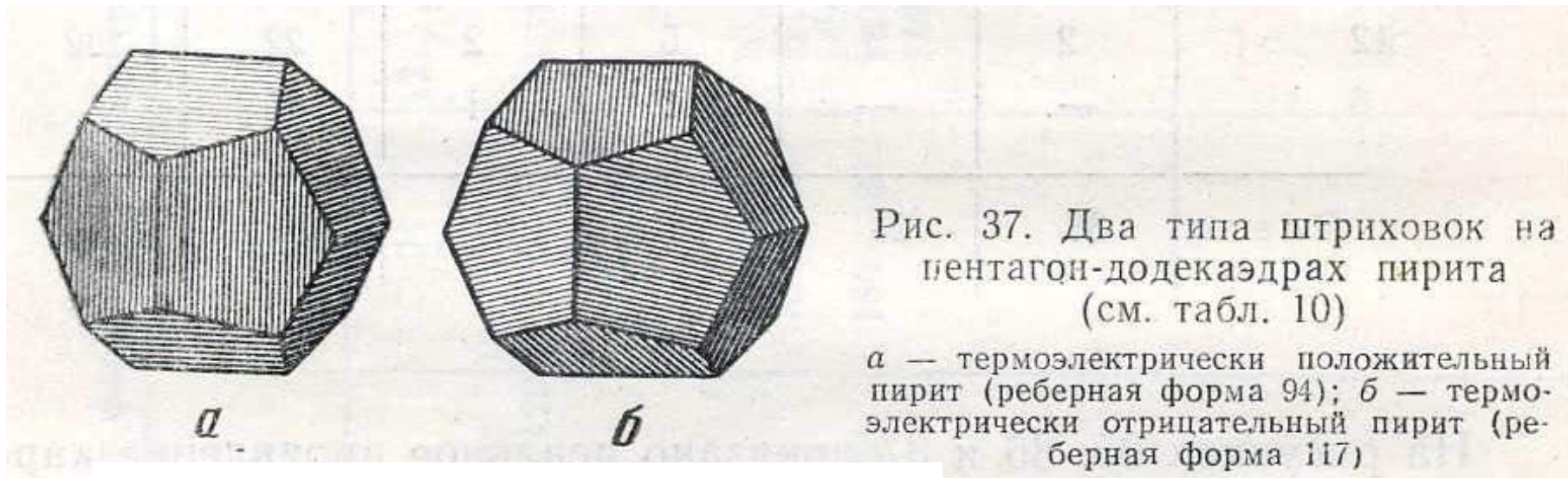


FIG. 1. Positive (left) and negative (right) striations.

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

б) явления морфологической перестройки – регенерационная штриховка
комбинационная штриховка, вызванная сменой условий роста



Кристалл
магнетита.
8 мм.
Альпийские жилы.
Биннталь, Швейцария

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

б) явления морфологической перестройки – комбинационная штриховка, вызванная сменой условий роста



**Штриховка роста на гранях
кристалла кальцита.
75 мм**

Кальцит на антимоните.
Lan Tan,
Гуанси, Китай

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Адсорбционные явления.

б) явления морфологической перестройки – многорёберный рост, вызванный сменой условий роста.



**Расщеплённый
кальцит.**

**Wenshan,
Yunnan,
Китай**

Патология минеральных индивидов - кристаллов

Кристаллы фантастической формы



Корнуэллит 0.4 мм.
Шахта Klara, Германия



Карелия



Тувинский луг

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогенез. Индивиды

Рост кристаллов

**013. Метакристаллы,
порфиробласты**

Метакристаллы

Рост в стеснённых условиях

Как правило, это рост в твёрдых телах, т.е. по существу рост путем замещения, метасоматический рост. При этом возникают метакристаллы, порфиробласты (идиобласты), ксенобласты. Термин «metacrystal» ввёл Лейн (Lane, 1903) для обозначения сравнительно больших кристаллов ставролита, граната, хлоритоида, биотита... в метаморфических породах. Позднее В. Линдгрэн (Lindgren, 1933) при характеристике текстур и структур метасоматических пород указал, что в процессе замещения одни минералы растут с автоморфным (правильным) огранением, тогда как другие образуют выделения неправильной формы; возникшие при замещении правильной формы кристаллы были названы «metacrysts». Синонимами этого понятия в англоязычной литературе являются «idioblasts», «pseudophenocrysts», «metacrystals». В немецкой литературе – «die Metakristallen», «die Metakrysten», «die Porphyroblasten». В нашей литературе обычно применяются термины метакристаллы и идиобласты, а также порфиробласты. Бастин (Bastin, 1950) в работе «Interpretation of the ore textures» применил термин «automorphic replacement» для обозначения процессов, при которых замещающие минералы приобретают правильную огранку, становятся «идиоморфными».

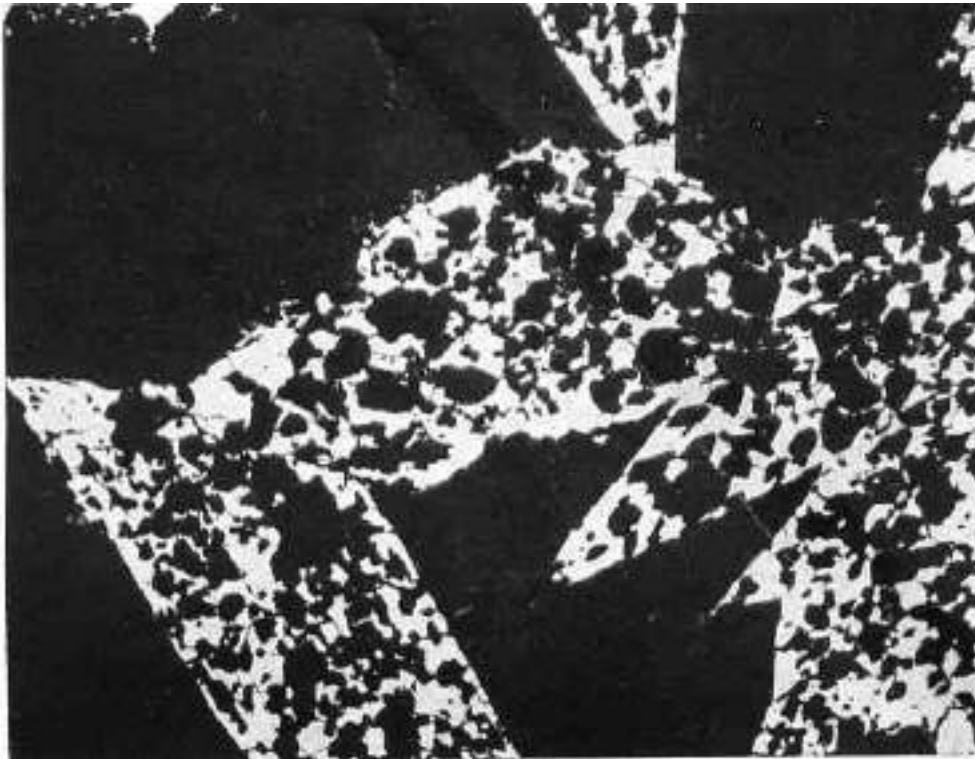
Метакристаллы

Метакристаллы. Метакристаллы – более или менее правильной формы кристаллы, которые выросли метасоматическим путем, т.е. путем замещения, что возможно только в твёрдых телах. Умение различать метакристаллы помогает установить реальную последовательность в горных породах и рудах. Это тем более важно, что форма хорошо образованных кристаллов часто ошибочно истолковывается как основной признак их раннего формирования. Метакристаллы стоит отличать от ксенобластов (ксеноморфных кристаллов) и идиобластов (идиоморфных кристаллов), которые развиваются в твёрдой среде за счет перекристаллизации мономинеральных агрегатов.

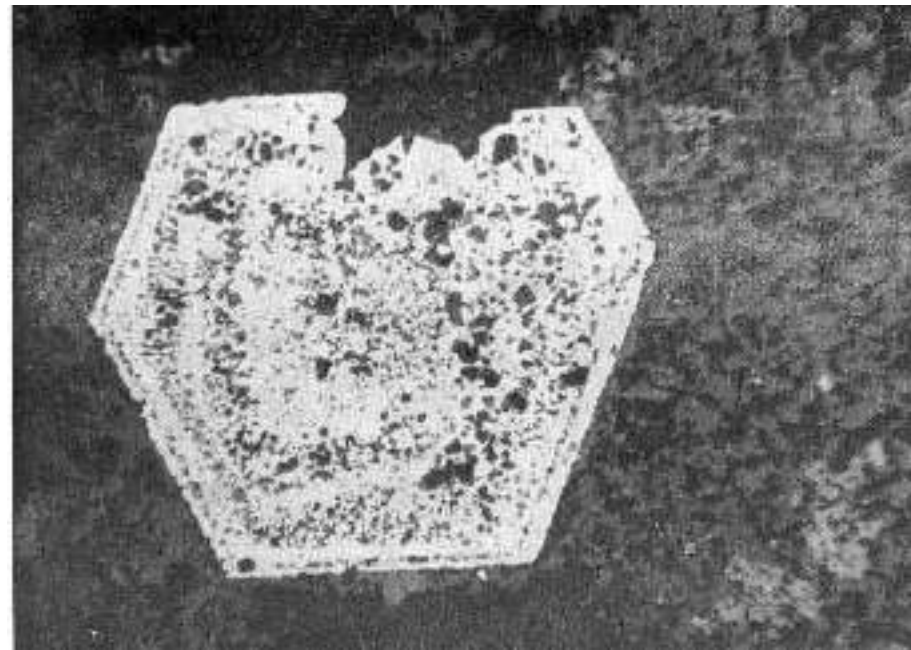
Признаки метакристаллов: 1). Макро - цепочечное расположение вдоль секущих трещин, в том числе скрытых. 2). Совместное нахождение однотипных правильной формы метакристаллов и “недоделанных” неправильной формы метакристаллов футлярообразной, скелетной и иной формы. 3). Нахождение в метакристаллах включений, реликтов окружающих минералов, особенно включений, обладающих одинаковой ориентировкой с минералом, окружающим метакристалл. Особый интерес представляют случаи, когда в метакристаллах сохраняются продукты распада твёрдых растворов замещенных минералов. Эти тонкие структурные особенности - однозначный критерий метакристаллов.

Метакристаллы

с массой реликтов вмещающей среды



Ситовидные
кристаллы лёллингита **FeAs₂**
с массой включений
серпентина и оливина.
В отражённом свете

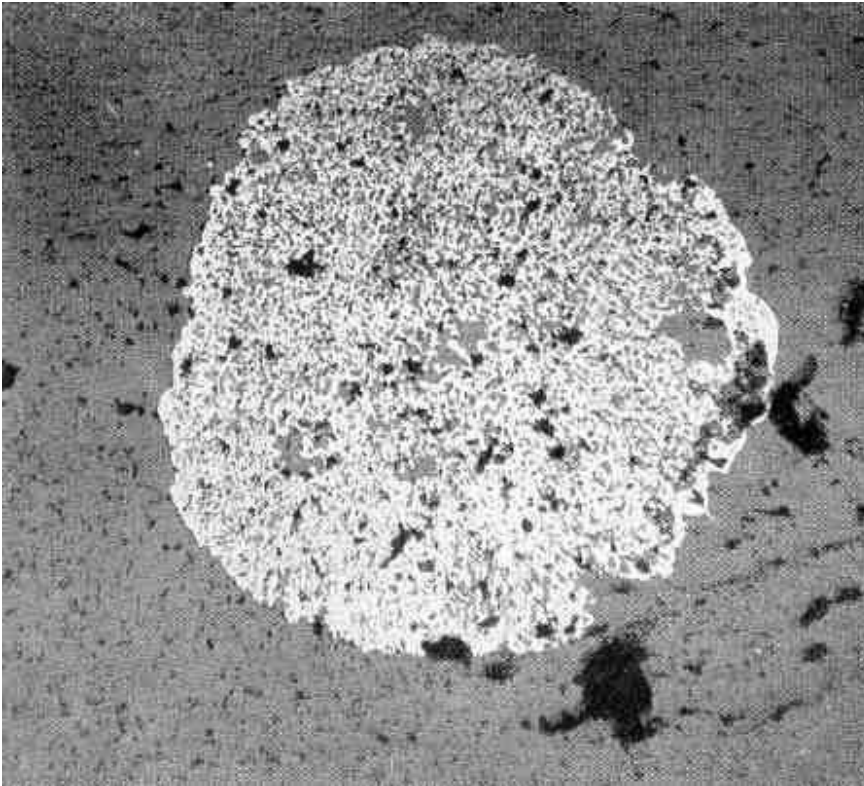


Ситовидный
кристалл кобальтина **CoAsS**
в гидросиликатных скарнах.
3 мм. Дашкесан,
Азербайджан.
В отражённом свете

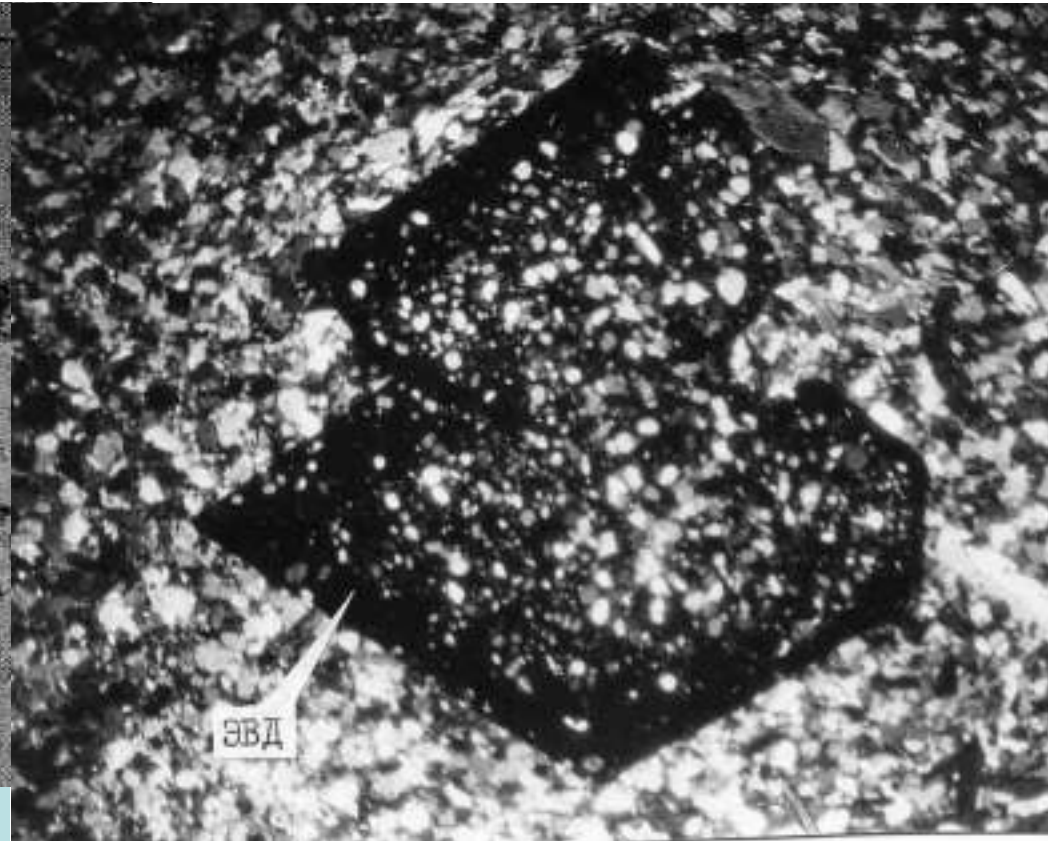
Метакристаллы

с массой реликтов вмещающей среды

Эти метакристаллы как масляные пятна, - убрать их и ничего не изменится



Ситовидный метакристалл шеелита с массой реликтов сланца. х 30. Mpororo mine, Уганда. В отражённом свете



Ситовидный кристалл эвдиалита в мурманитовых сиенитах. 2 мм. Ловозеры, Кольский п-ов. Шлиф. Николи х

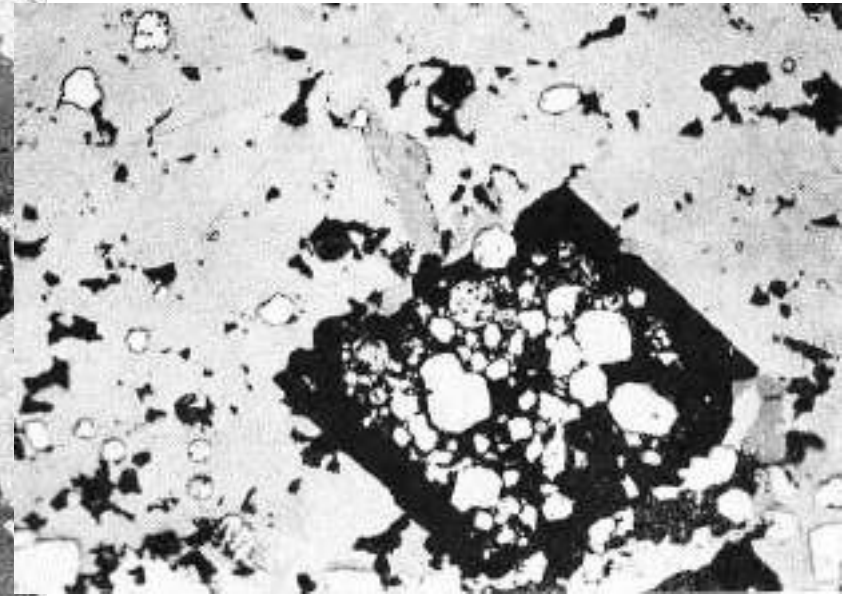
Метакристаллы

с массой реликтов вмещающей среды

Эти метакристаллы как масляные пятна, - убрать их и ничего не изменится



Ситовидные метакристаллы (идиобласты) кварца с массой реликтов галенита. В отражённом свете

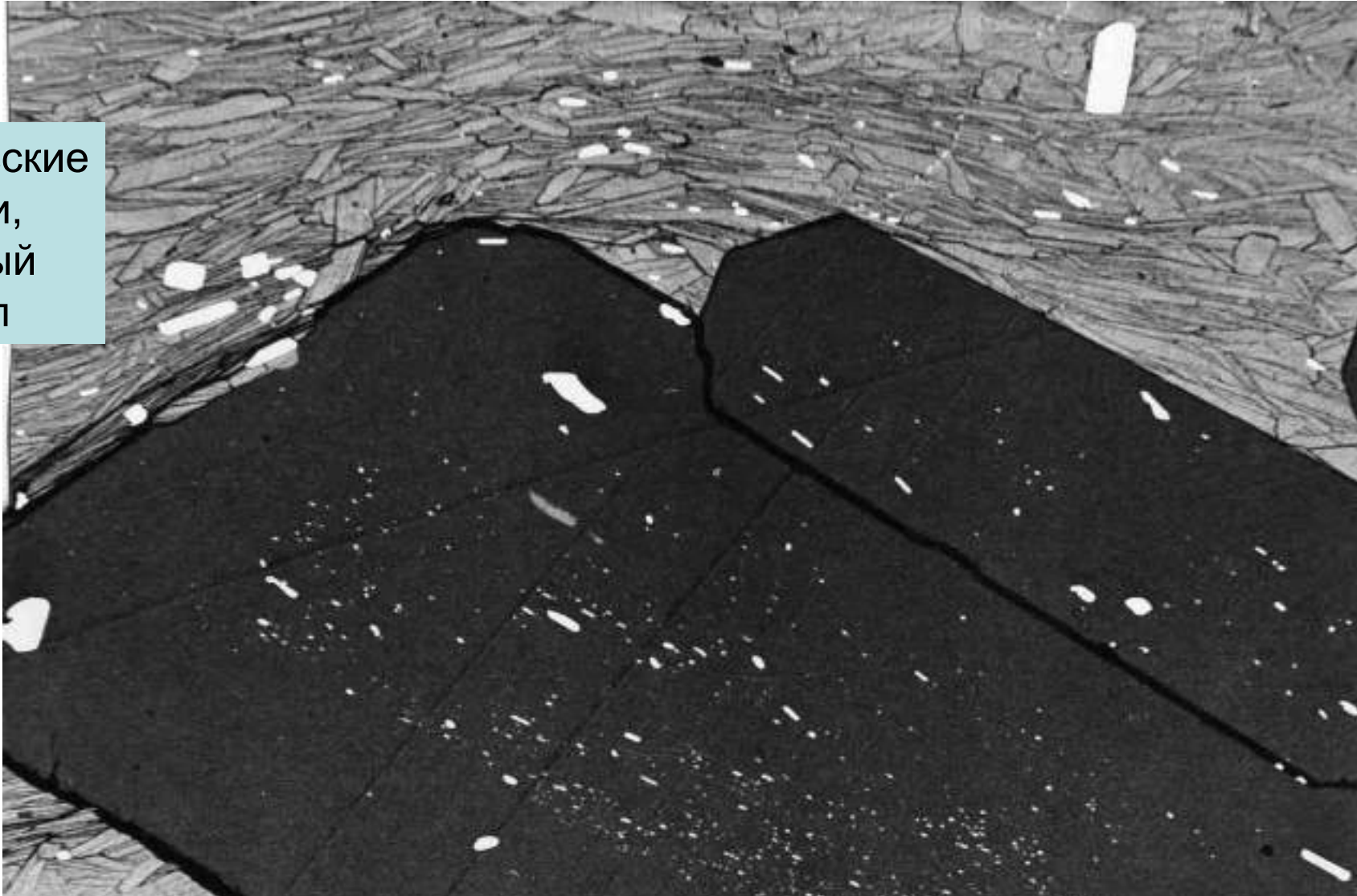


Ситовидный кристалл анкерита (чёрный) с реликтами пирита и халькопирита. X 2. В отражённом свете

Метакристаллы

с массой реликтов вмещающей среды

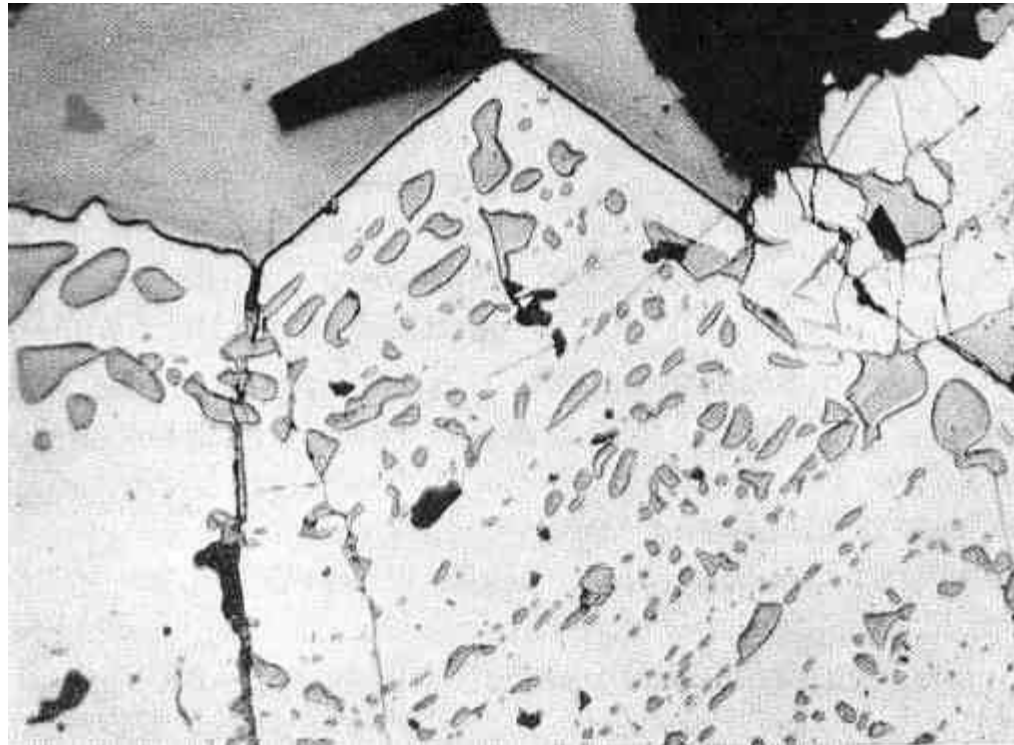
Борисовские
сопки,
Южный
Урал



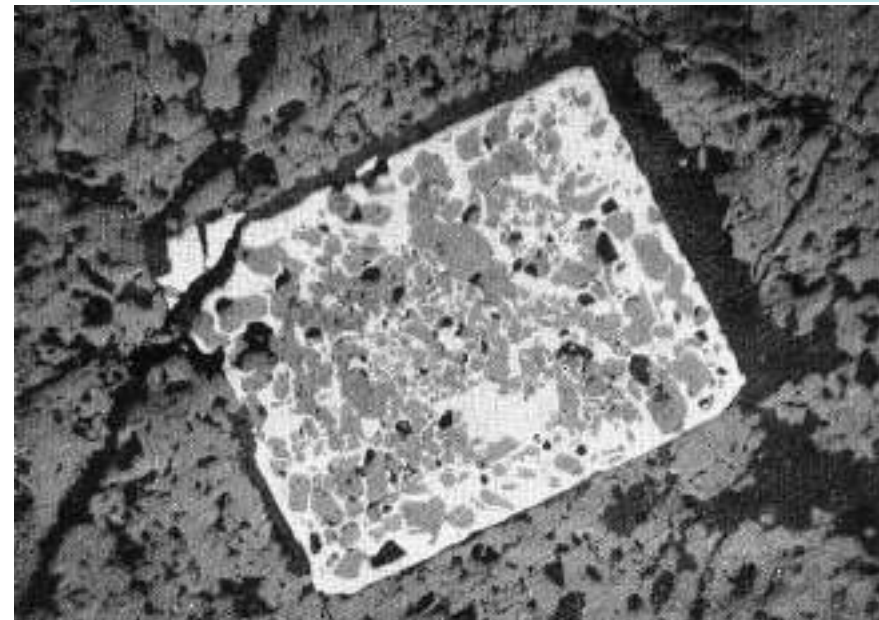
Границы метакристаллов кяниты срезают агрегаты мусковита. В кяните реликтовые рутил (белый) и реже мусковит. В отраж. свете

Метакристаллы пирита

с массой реликтов вмещающей среды



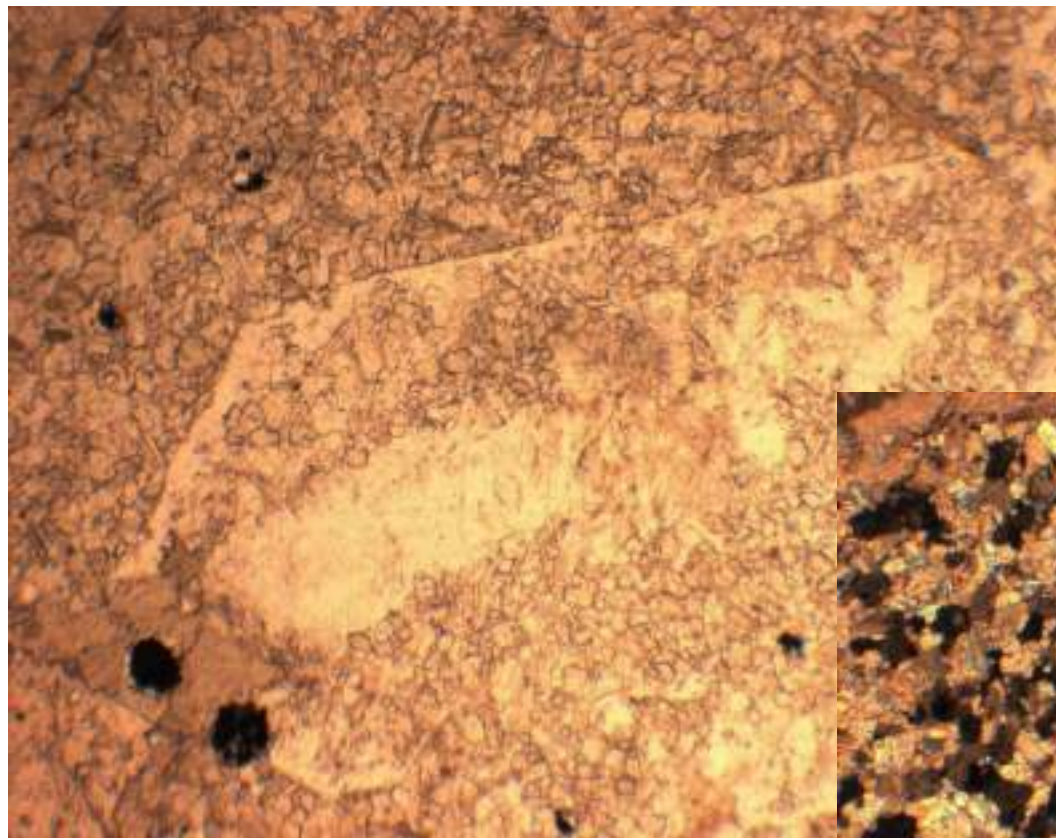
Ситовидный кристалл пирита с включениями магнетита (серый).
В отражённом свете



Ситовидные кристаллы пирита с включениями галенита (светло-серый).
В отражённом свете

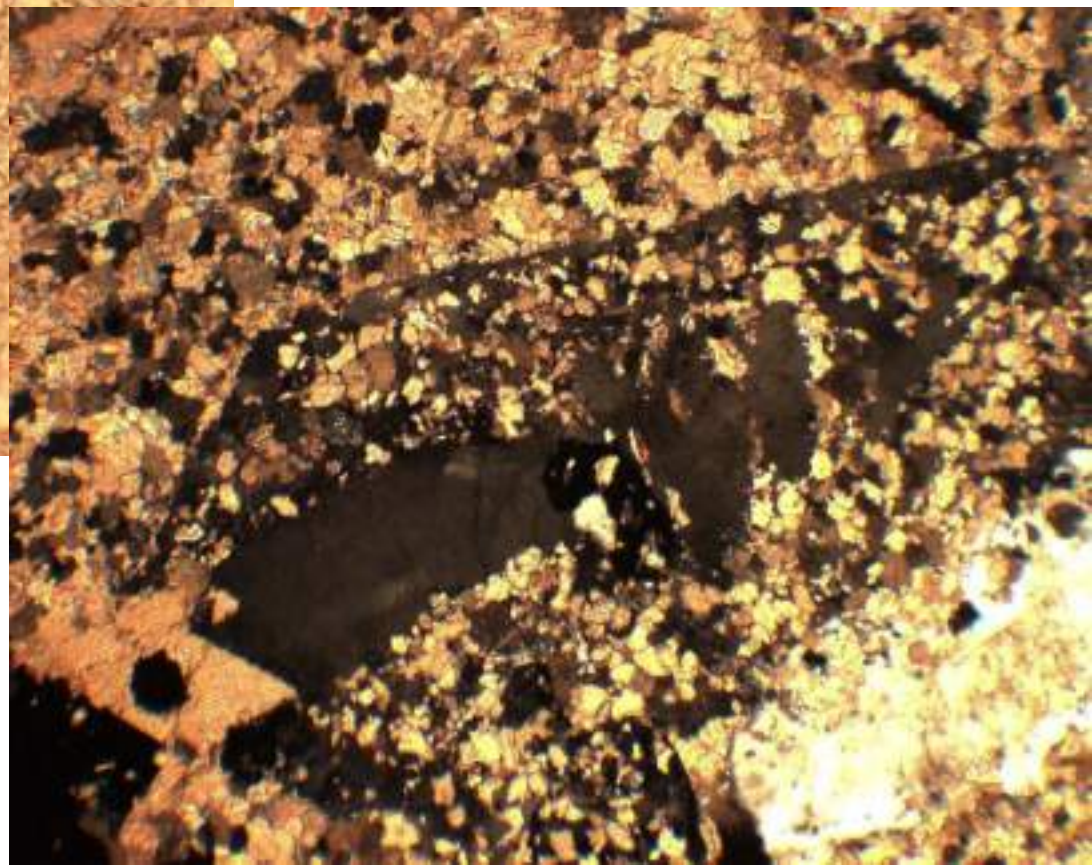
Метакристаллы кварца

с массой реликтов карбоната вмещающей среды



Николи х

При 1 николе



Ермаковское, Западное
Забайкалье

Метакристаллы кварца

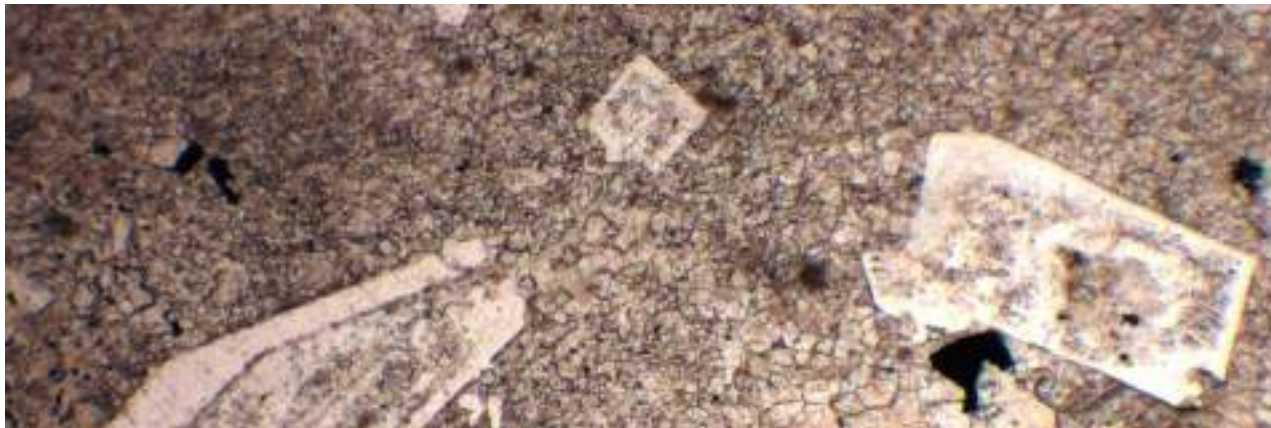
с массой реликтов карбоната вмещающей среды



Николи х. Ермаковское, Западное Забайкалье

Метакристаллы кварца и альбита

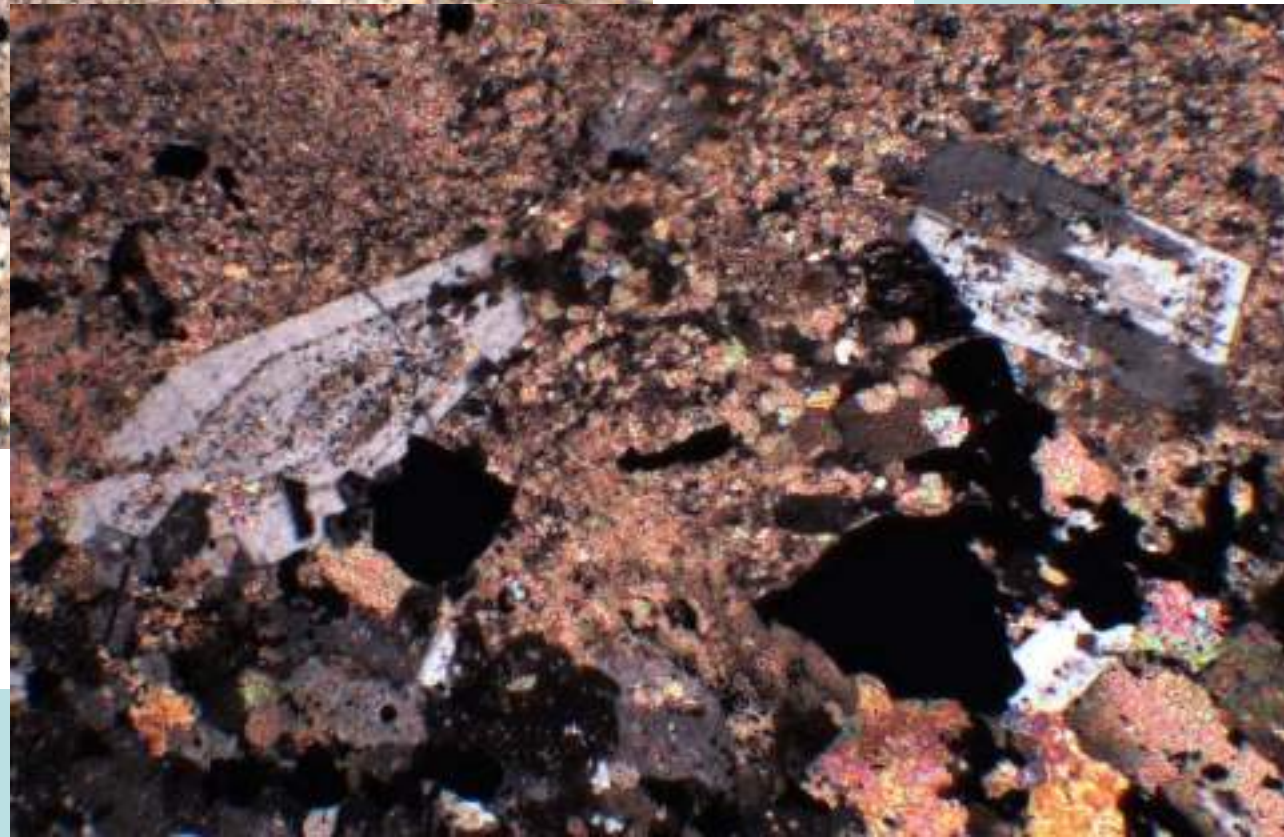
с массой реликтов карбоната вмещающей среды



Николи х



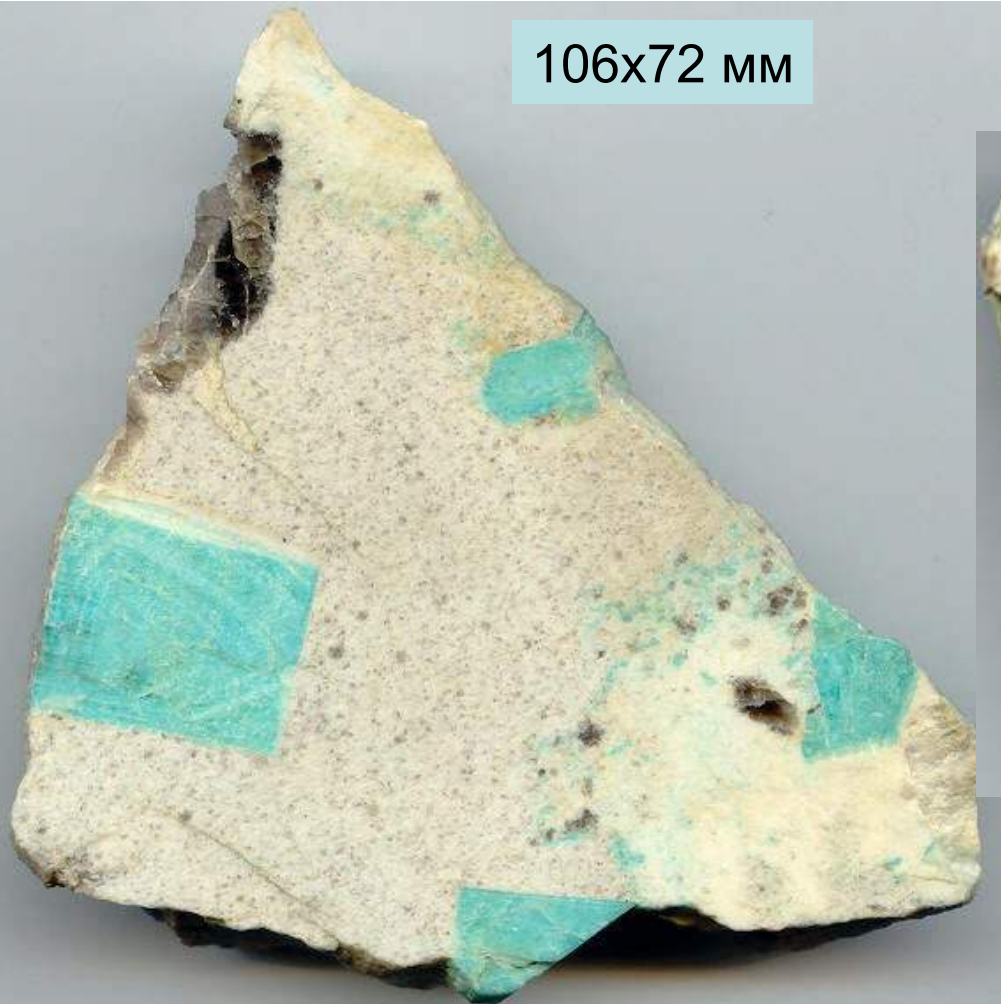
При 1 николе



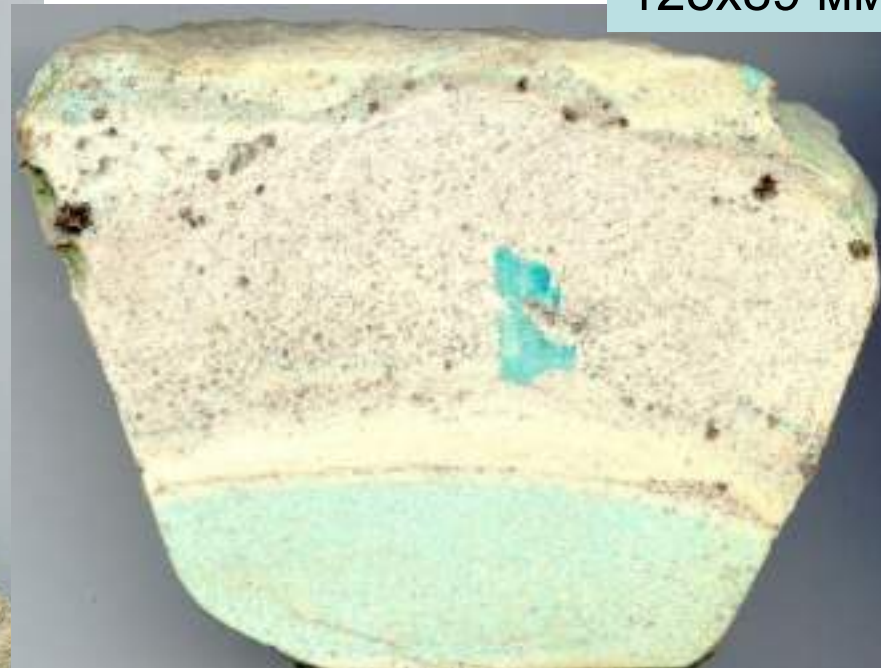
Ермаковское, Западное
Забайкалье

Метакристаллы амазонита и раух-кварца в топаз-альбит-микроклин-кварцевых метасоматитах (апогранитах). Спокойное, Забайкалье

106x72 мм

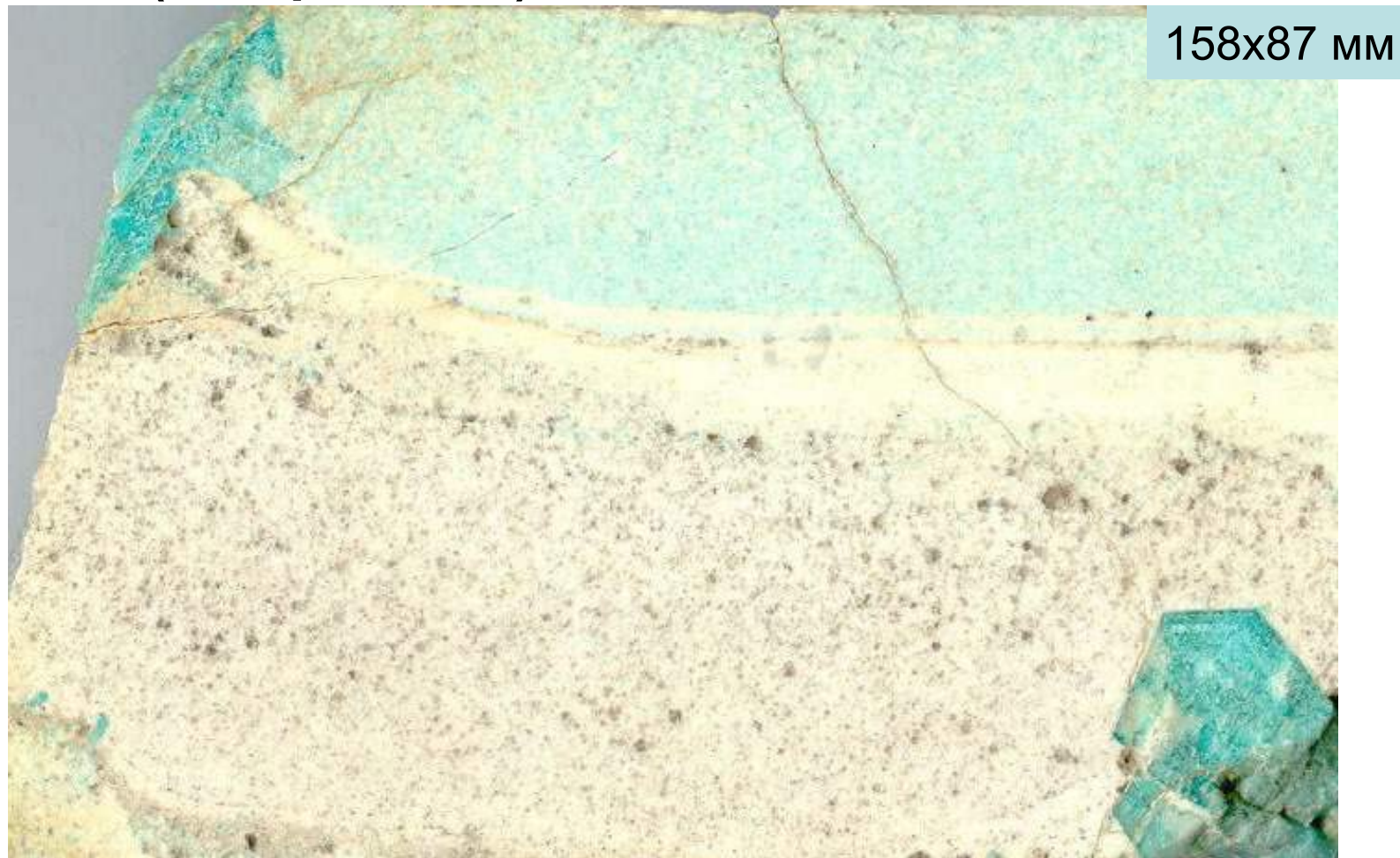


125x89 мм



Огранка одних метакристаллов амазонита правильная, других - нет.
Они размещены в различных по составу участках метасоматитов

Метакристаллы амазонита в топаз-альбит-микроклин-кварцевых метасоматитах (апогранитах). Спокойное, Забайкалье



Границы одного метакристалла амазонита секут три различные зоны метасоматитов, одна из которых с ранним бледно окрашенным амазонитом. Другой метакристалл с правильной огранкой.

Метакристаллы амазонита в топаз-альбит-микроклин-кварцевых метасоматитах (апогранитах). Этыка, Забайкалье



124x111 мм

Границы метакристаллов амазонита секут полосчатость метасоматитов.

Одни грани метакристаллов правильные, другие – нет.

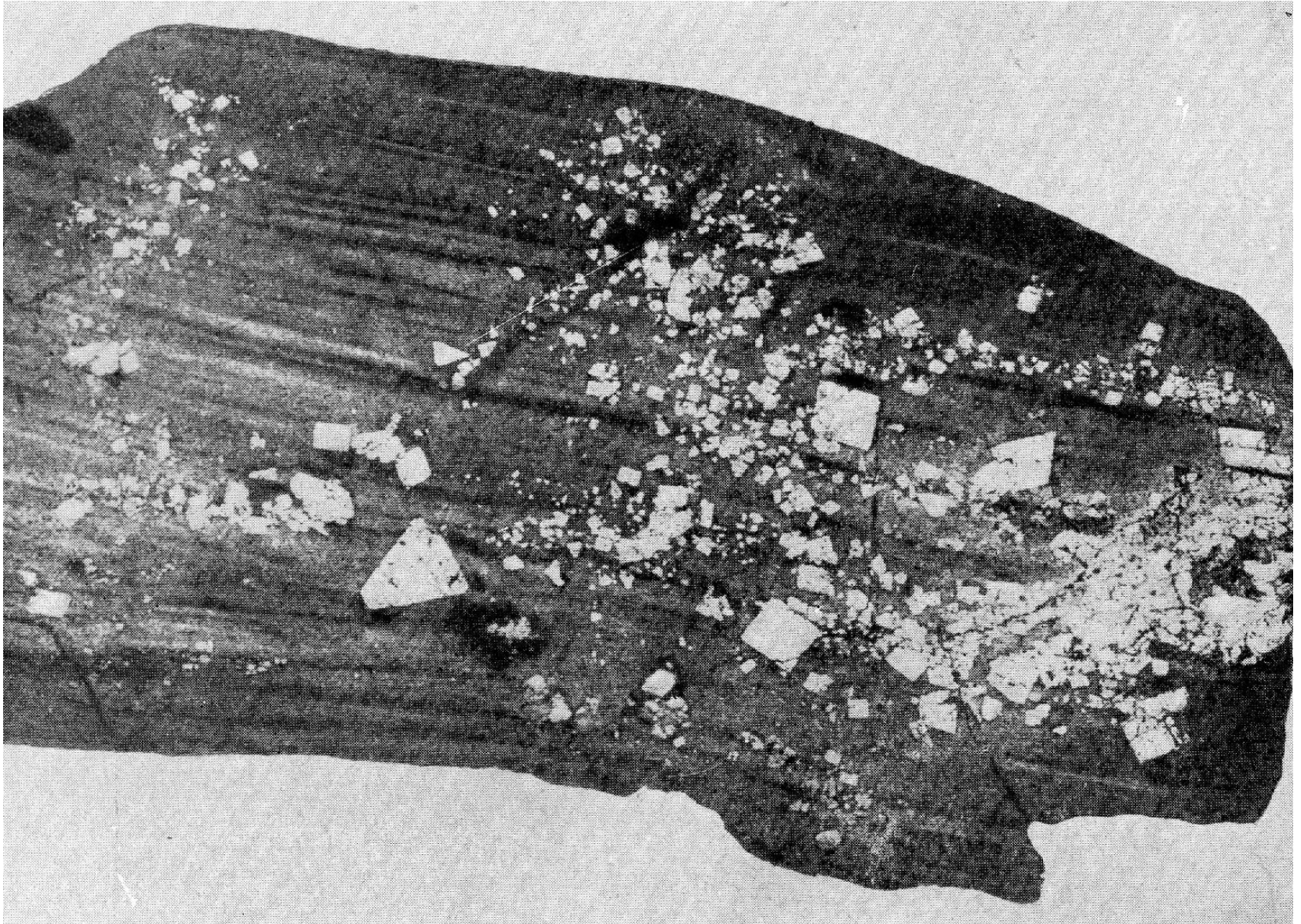
Характерно сочетание метакристаллов самой различной формы

Метакристалл оливина

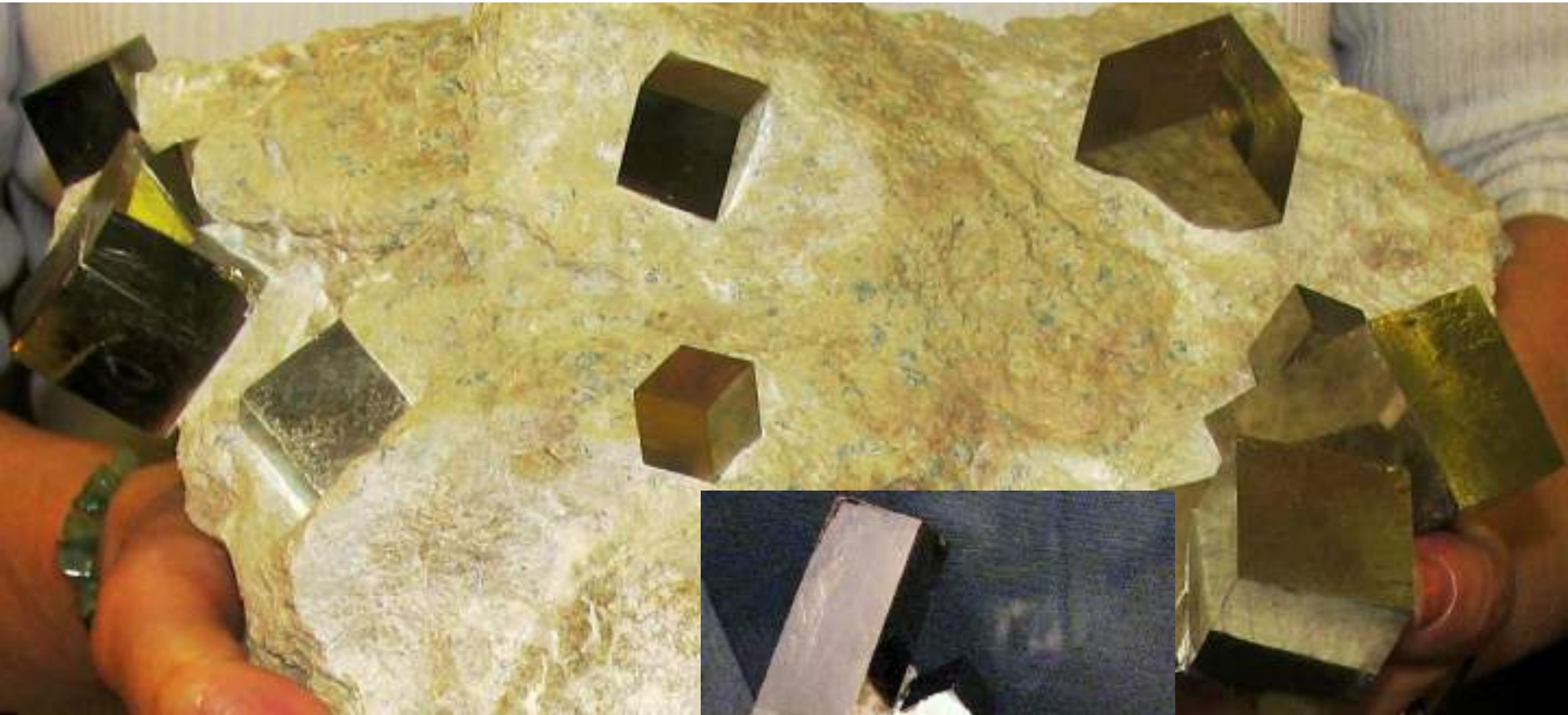
сечёт полосчатость оливин-хромшпинелидных
кумулятов. Сарановское, западный Урал



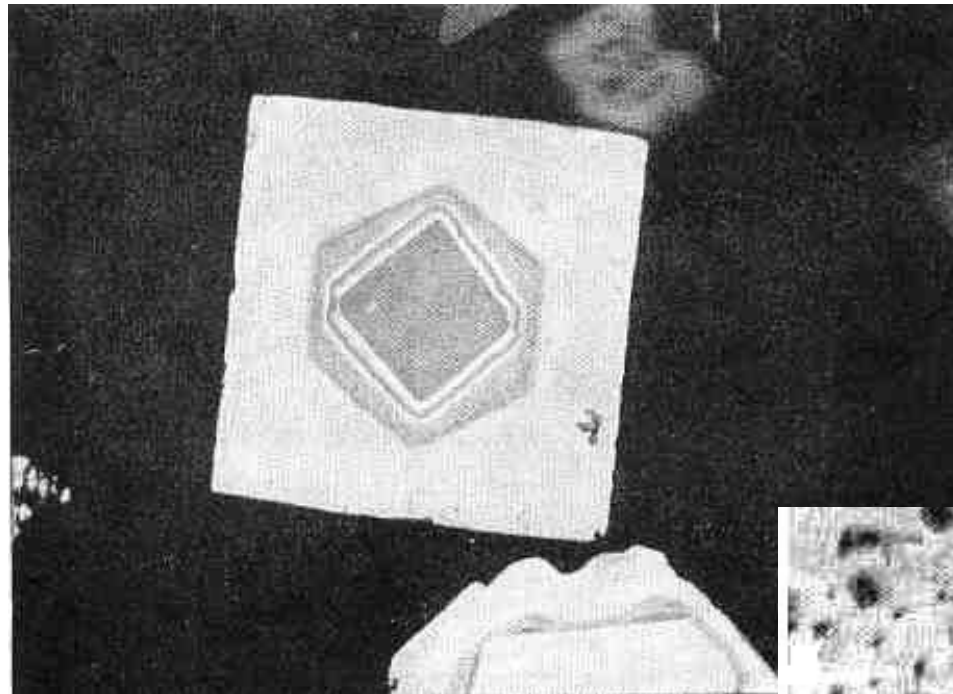
**Метакристаллы пирита
секут слоистость известняков.
Воронцовское, Средний Урал**



Метакристаллы пирита в аргиллизитах. Navajun, La Rioja, Испания

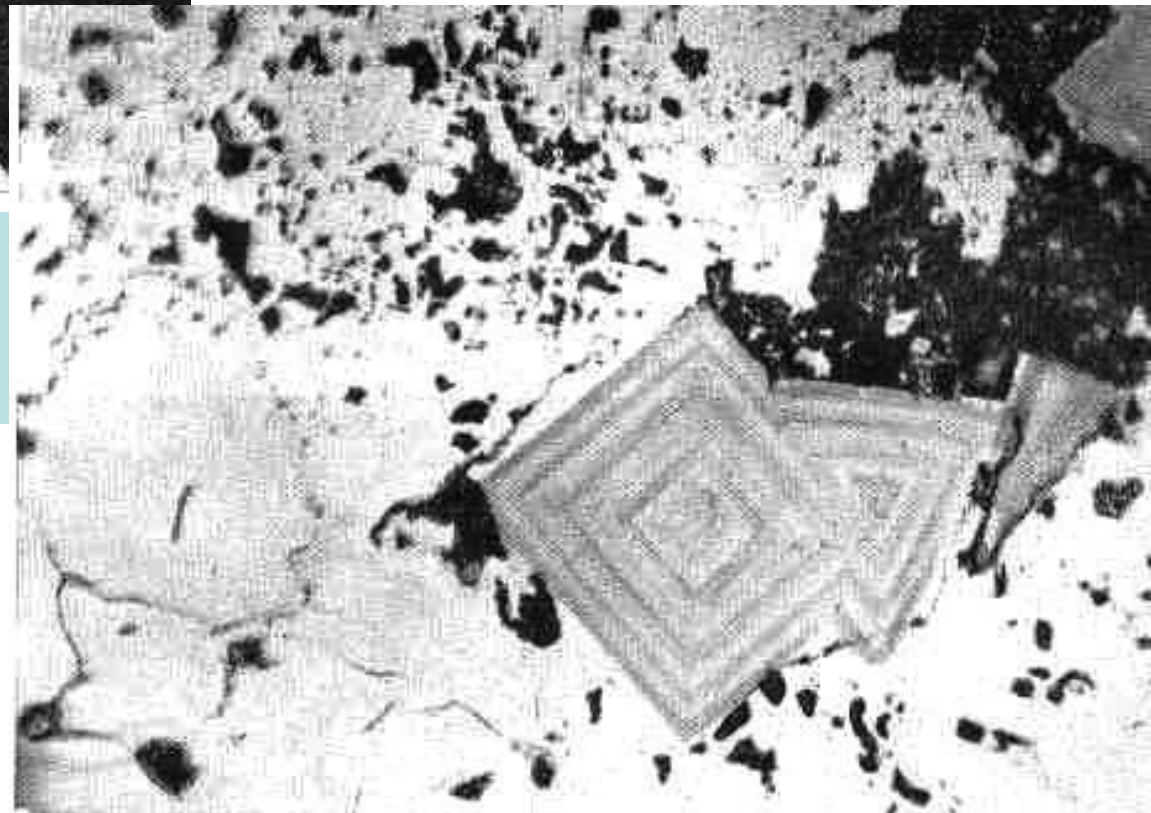


Метакристаллы пирита - бравоита



на контакте жильных минералов
и скоплений пирита.
x 500. Ратео.
В отражённом свете

в массе жильных минералов.
В отражённом свете.
x 500. Маубах, Германия

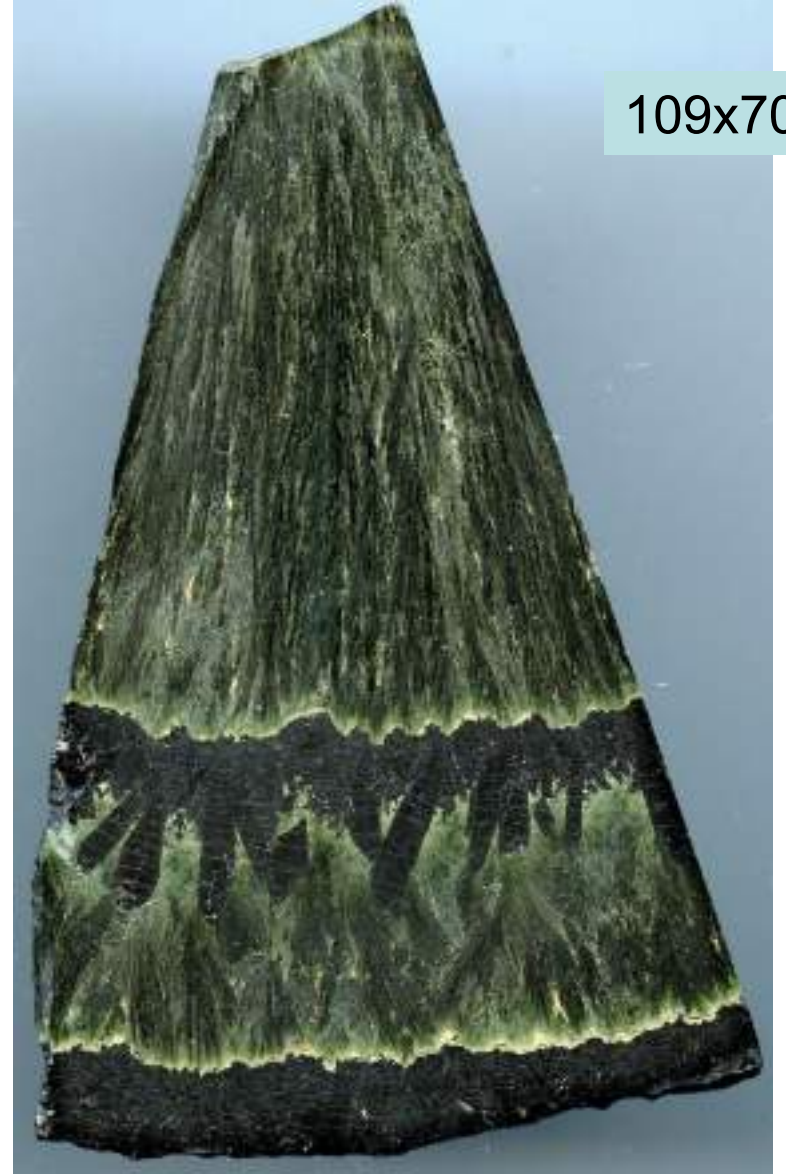


Метакристаллы ильваита (чёрные)
пересекают агрегаты расщеплённых кристаллов
геденбергита. Скарны Тетюхе, Дальний Восток

105x81 мм



109x70 мм



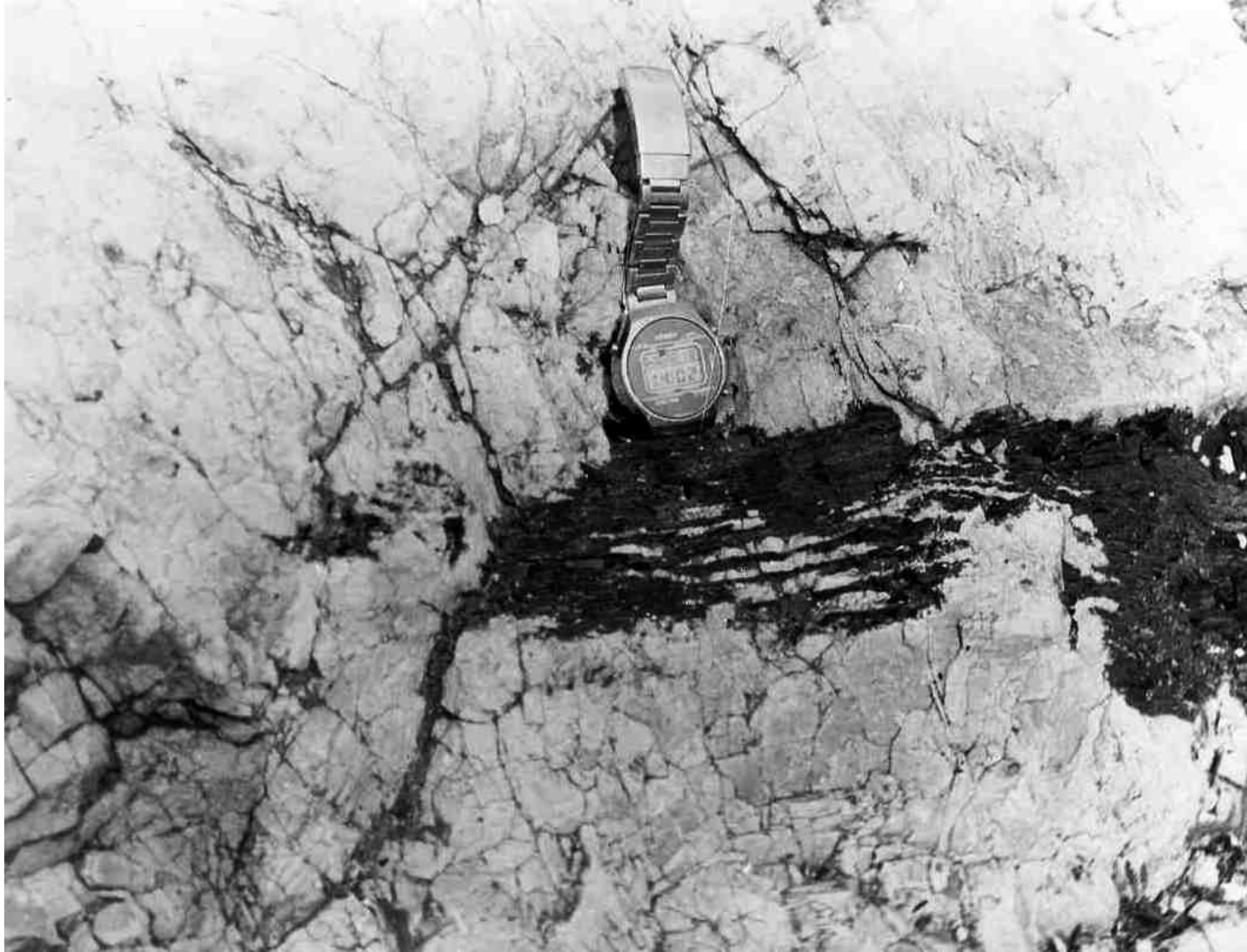
**Метакристаллы ильваита (чёрные)
пересекают агрегаты расщеплённых кристаллов
геденбергита. Скарны Тетюхе, Дальний Восток**



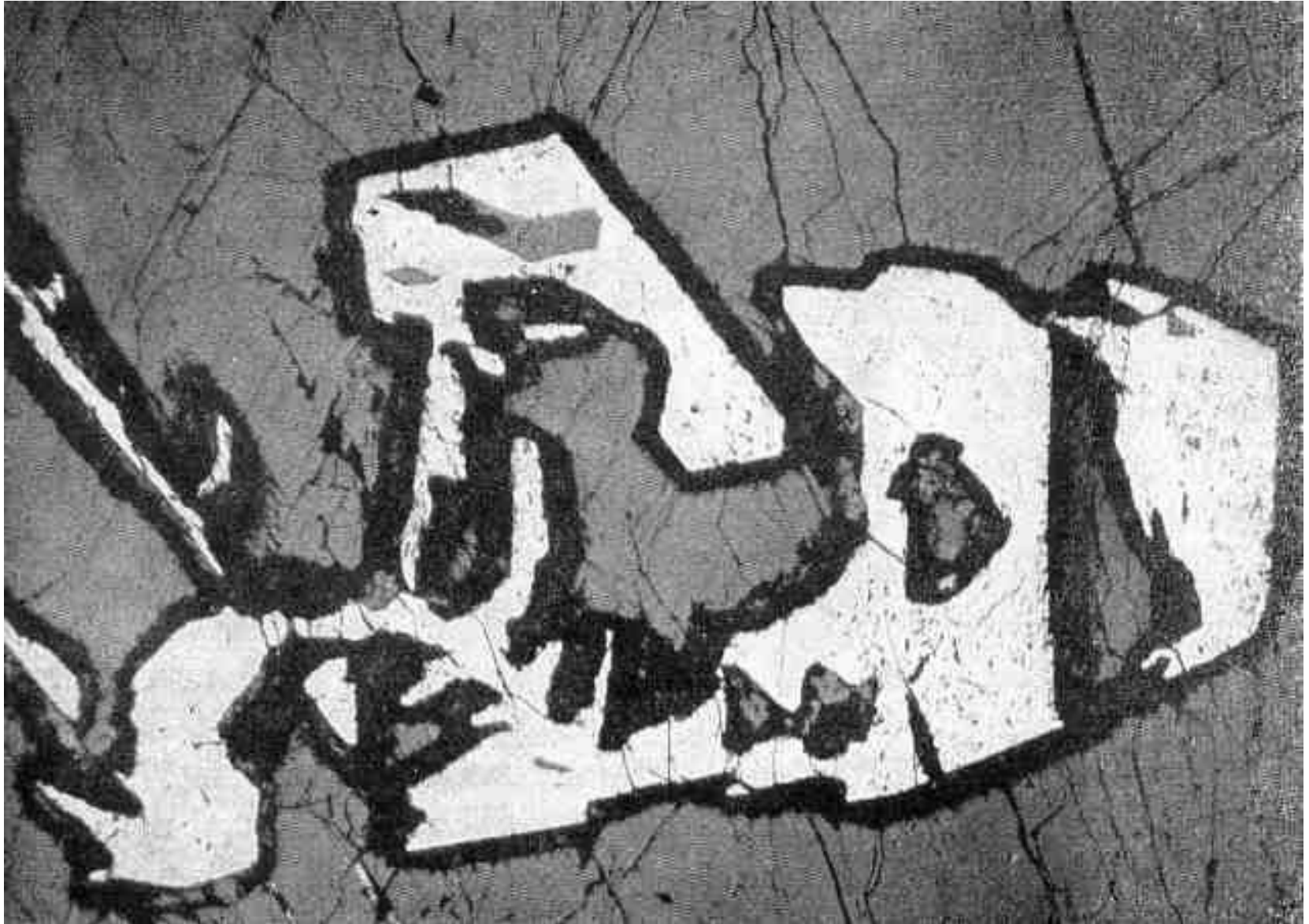
67x45
MM

**Метакристалл лепидомелана (биотита)
пересекает несколько крупных кристаллов нефелина
и К-На полевого шпата.**

Ильменский заповедник, Южный Урал

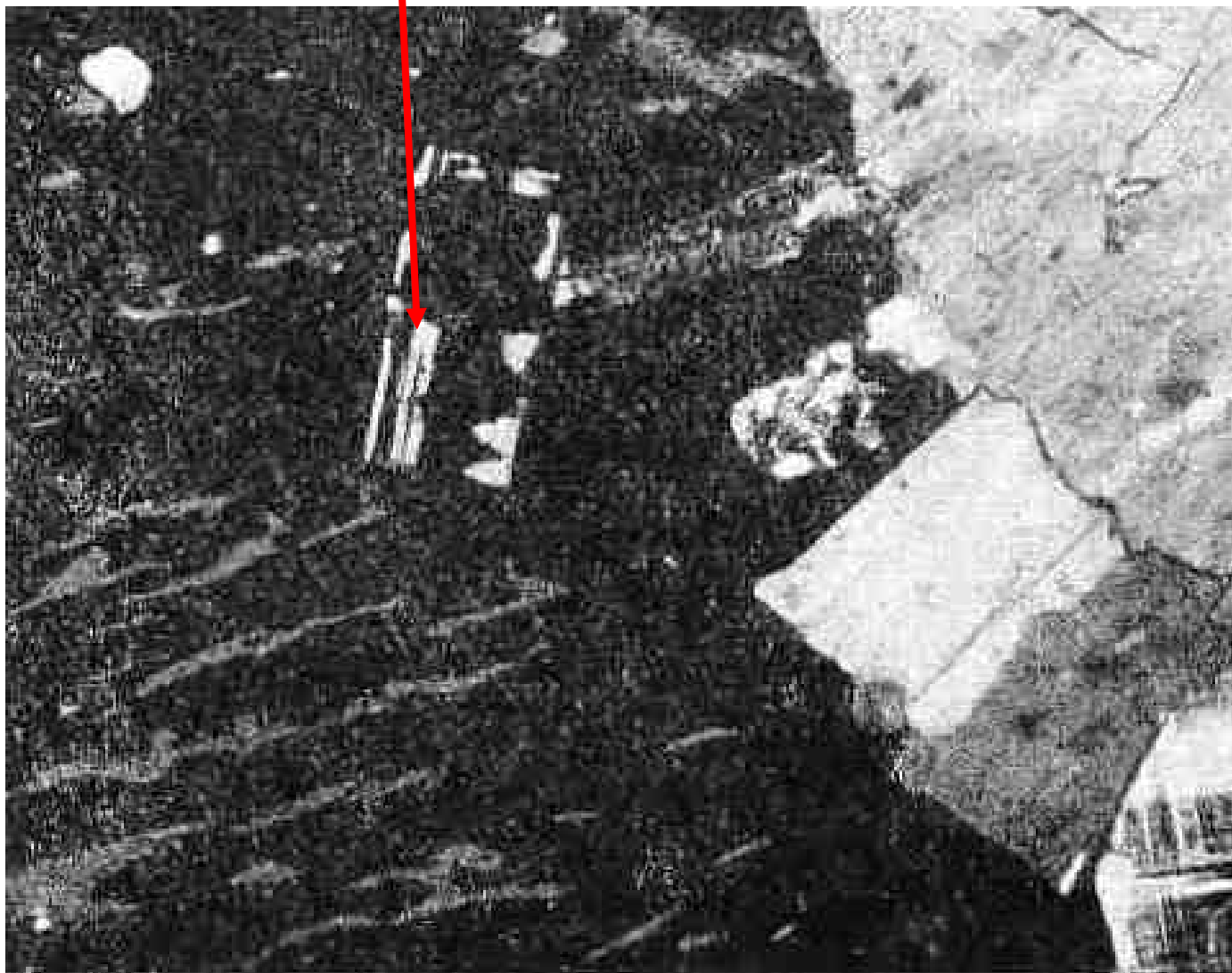


Метакристалл уранинита в ортоклазе с реликтами ортоклаза



x 80. Ruggies mine

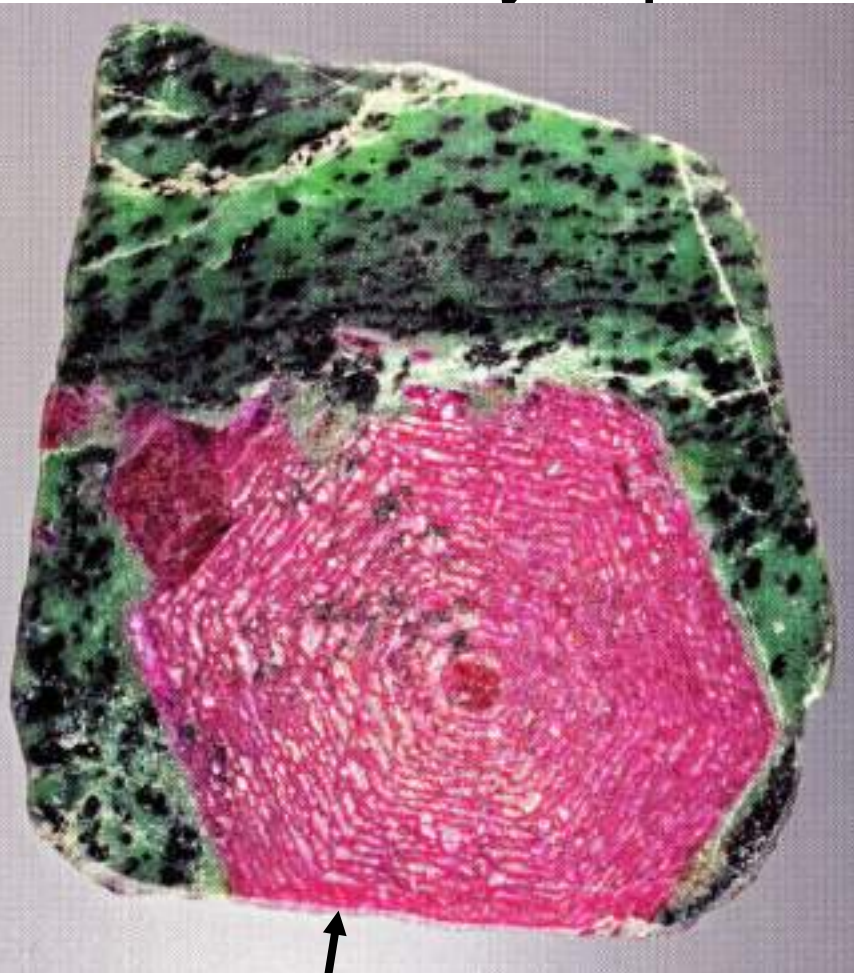
Метакристалл альбита в К-На полевом шпате (вырос за счёт вещества ламелл распада альбита)



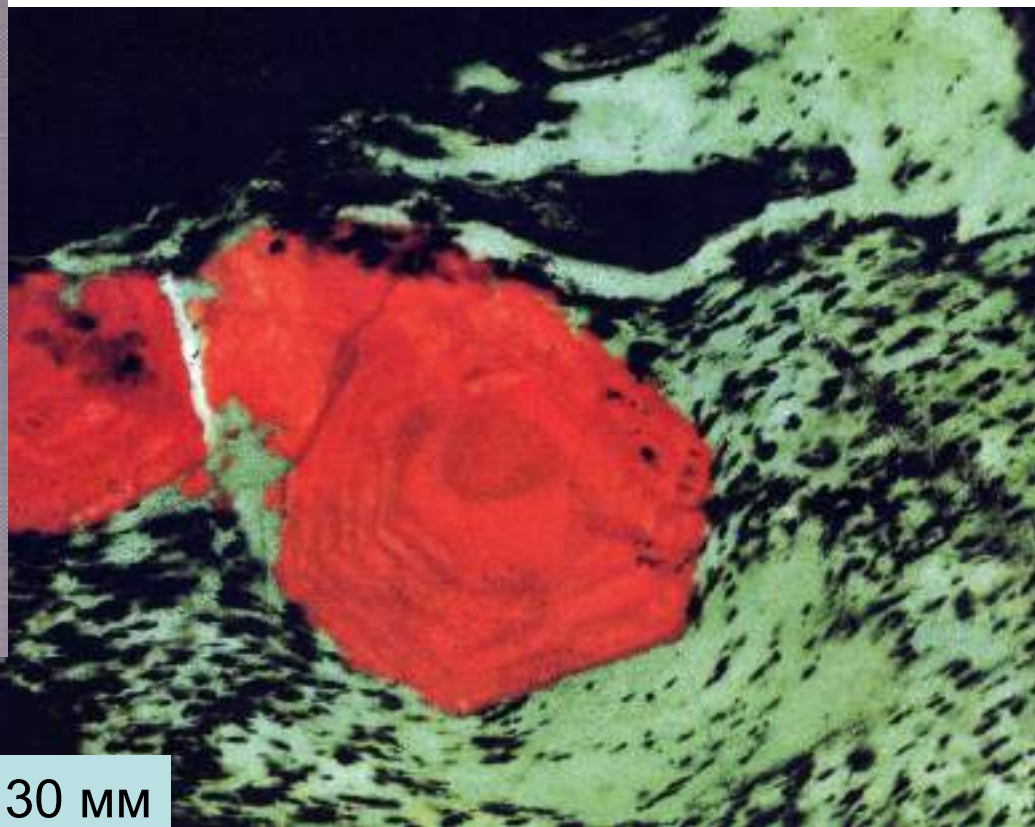
Футляровидный метакристалл. 2 мм. Николи х. Джида, Забайкалье

Метакристаллы рубина в метабазитах. Зелёные холмы Африки – Лонгидо, Танзания, у горы Килиманджаро

Хромпаргасит –
хромцоизитовые
ортоамфиболиты



70 мм



180x130 мм

Метакристаллы рубина в метабазитах. Зелёные холмы Африки – Лонгидо, Танзания

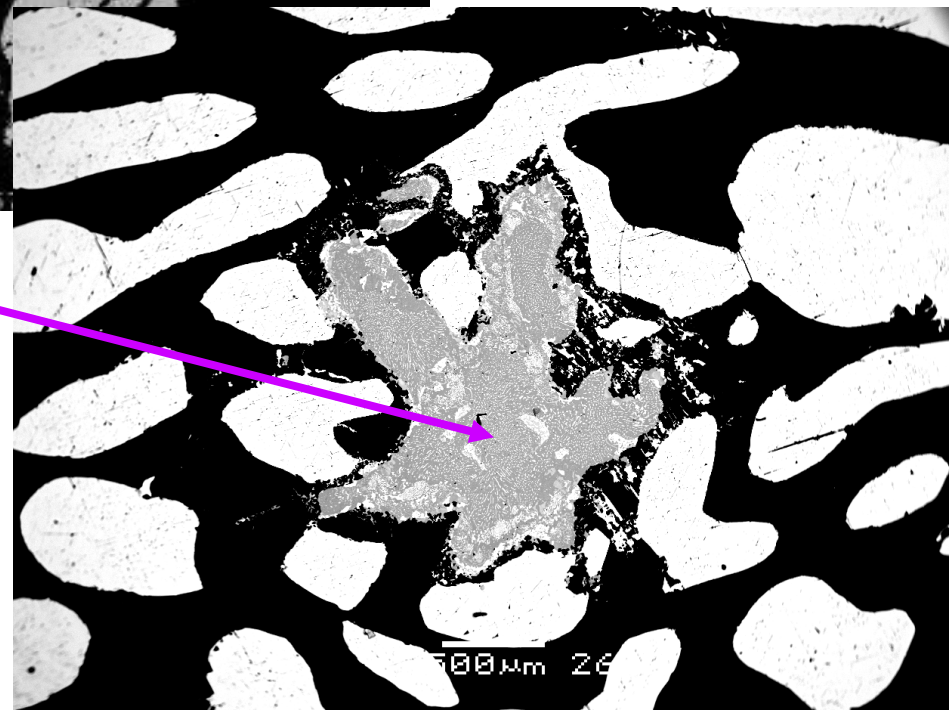
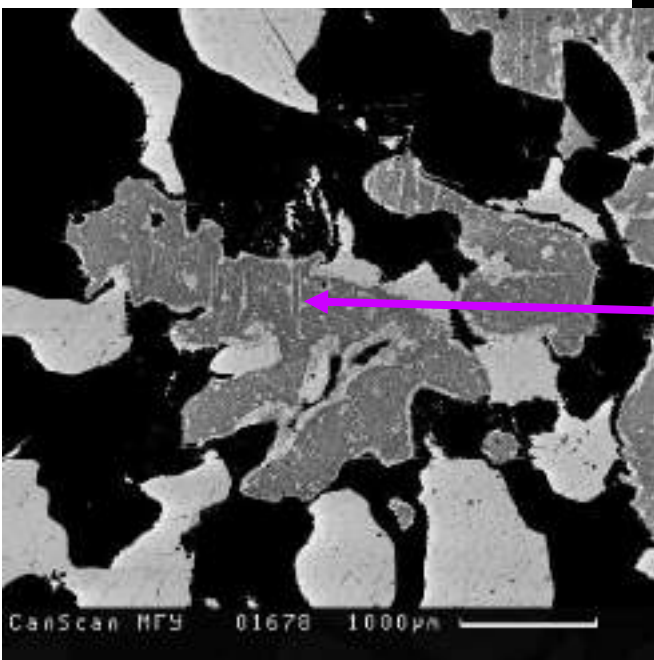
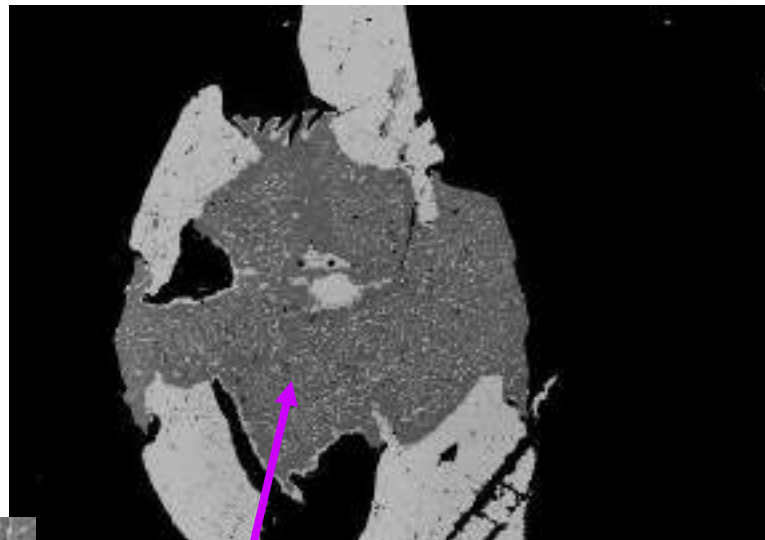
Хромпаргасит – хромцоизитовые ортоамфиболиты



*Ein
sechseck
kristall, D
15 cm, in Zoisit.*

Норильское рудное поле

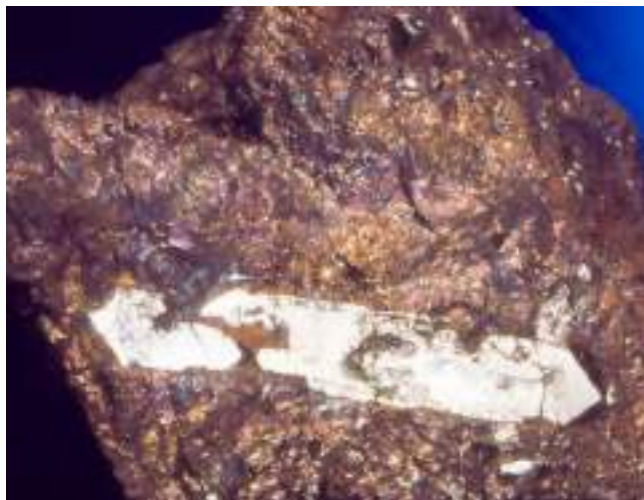
Метакристаллы интерметаллидов палладия – платины (PGM) в агрегатах галенита (светлый) и халькопирита (чёрный)



PGM

Фотографии в отражённых электронах

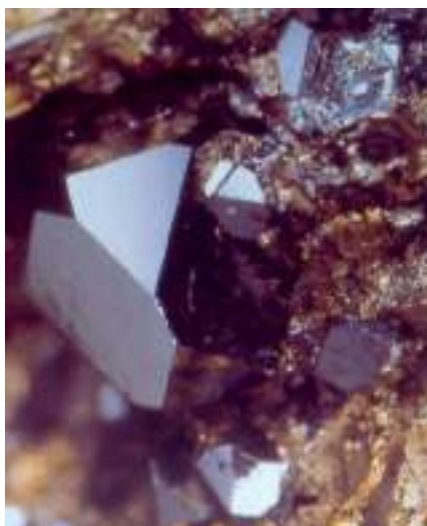
Метакристаллы сперрилита в агрегатах минералов группы халькопирита и кубанита. Таймырское, Норильское рудное поле



Длина «кинжала» 47 мм



Размер метакристалла 15 мм



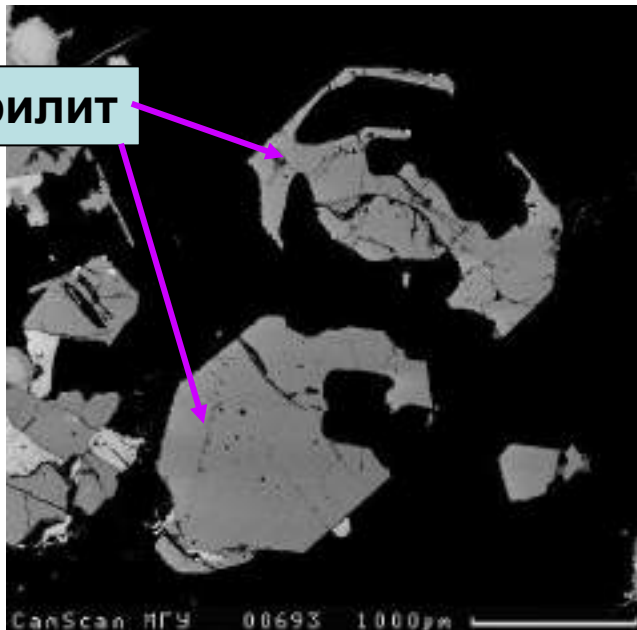
Размер метакристалла 8 мм



Размер метакристалла 30 мм

Метакристаллы сперрилита – наиболее позднего из пневматолитовых PGM. Норильское рудное поле

сперрилит



Одни кристаллы сперрилита с правильной огранкой, другие – с частично правильной огранкой, третьи без огранки.

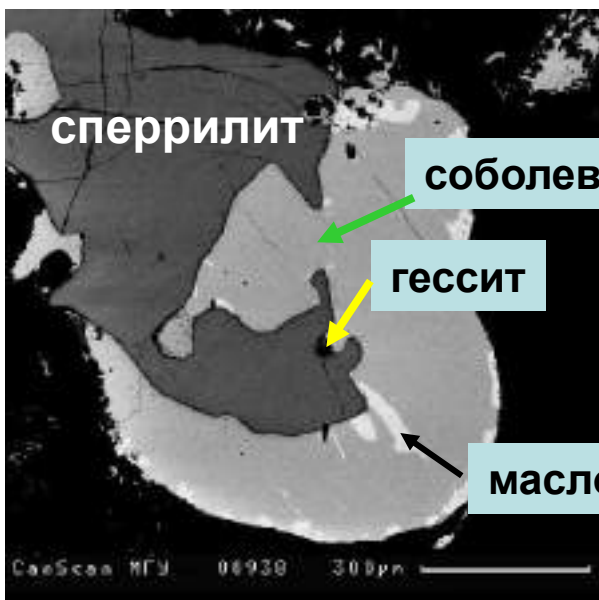
Границы метакристаллов сперрилита пересекли контуры всех окружающих минералов

сперрилит

соболевскит

гессит

масловит

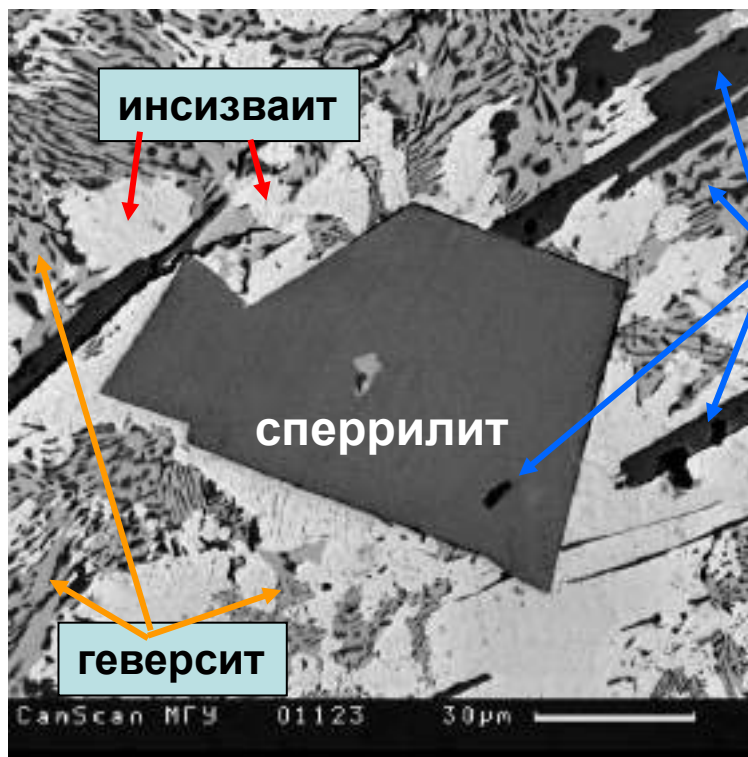


инсизваит

паоловит

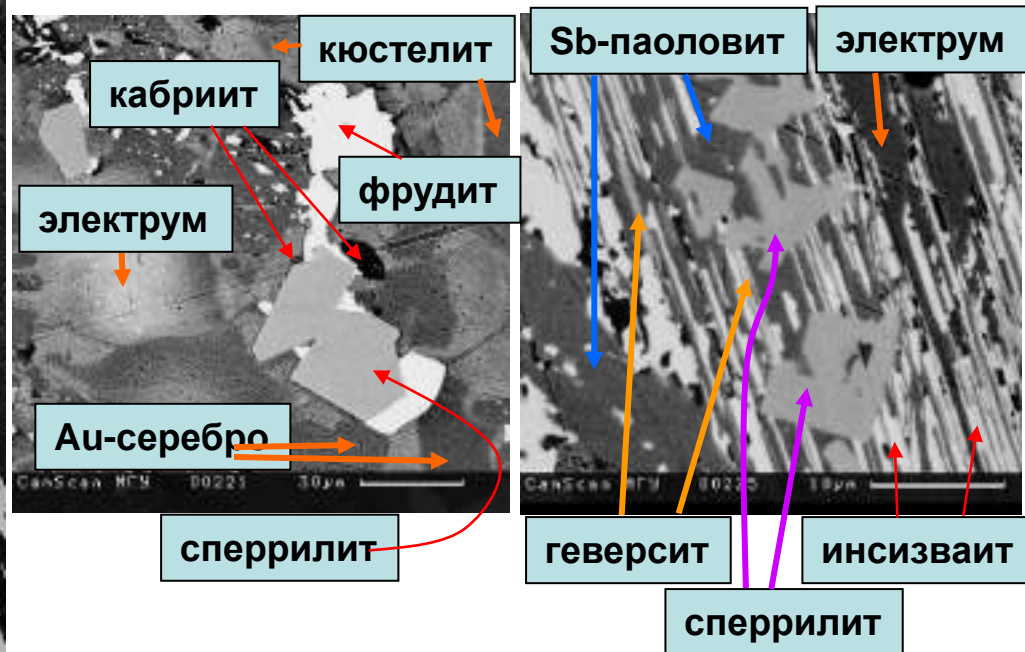
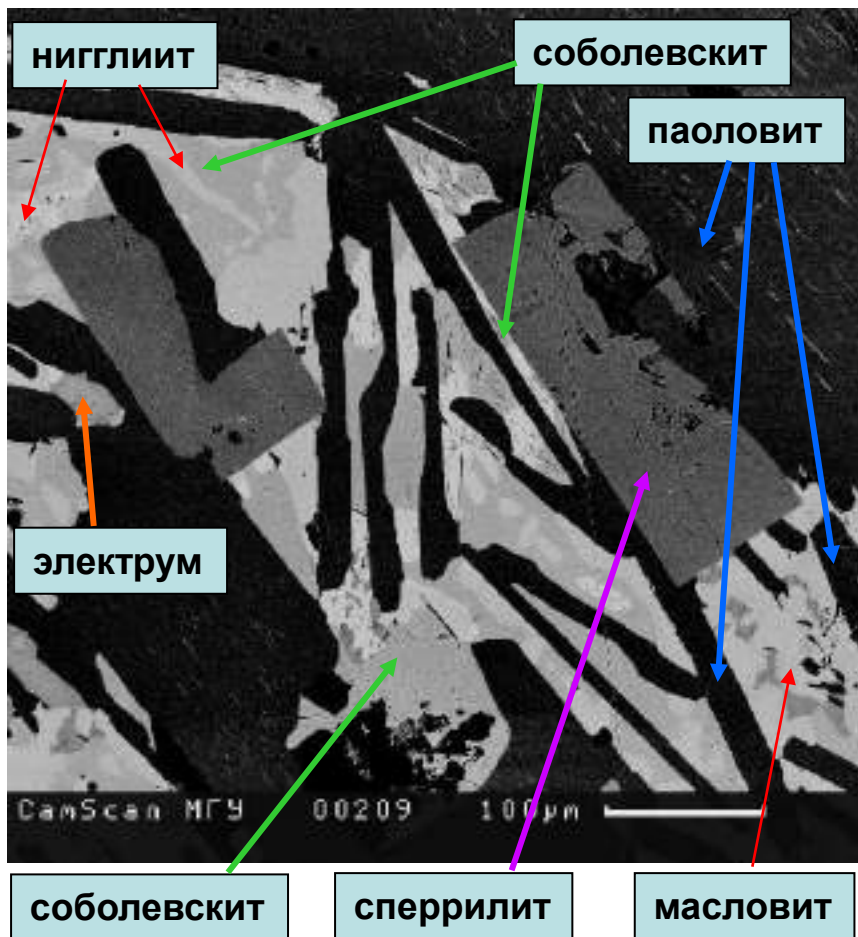
сперрилит

геверсит



BSE image

Метакристаллы сперрилита - наиболее позднего из пневматолитовых PGM. Норильское рудное поле



Фотографии в отражённых электронах

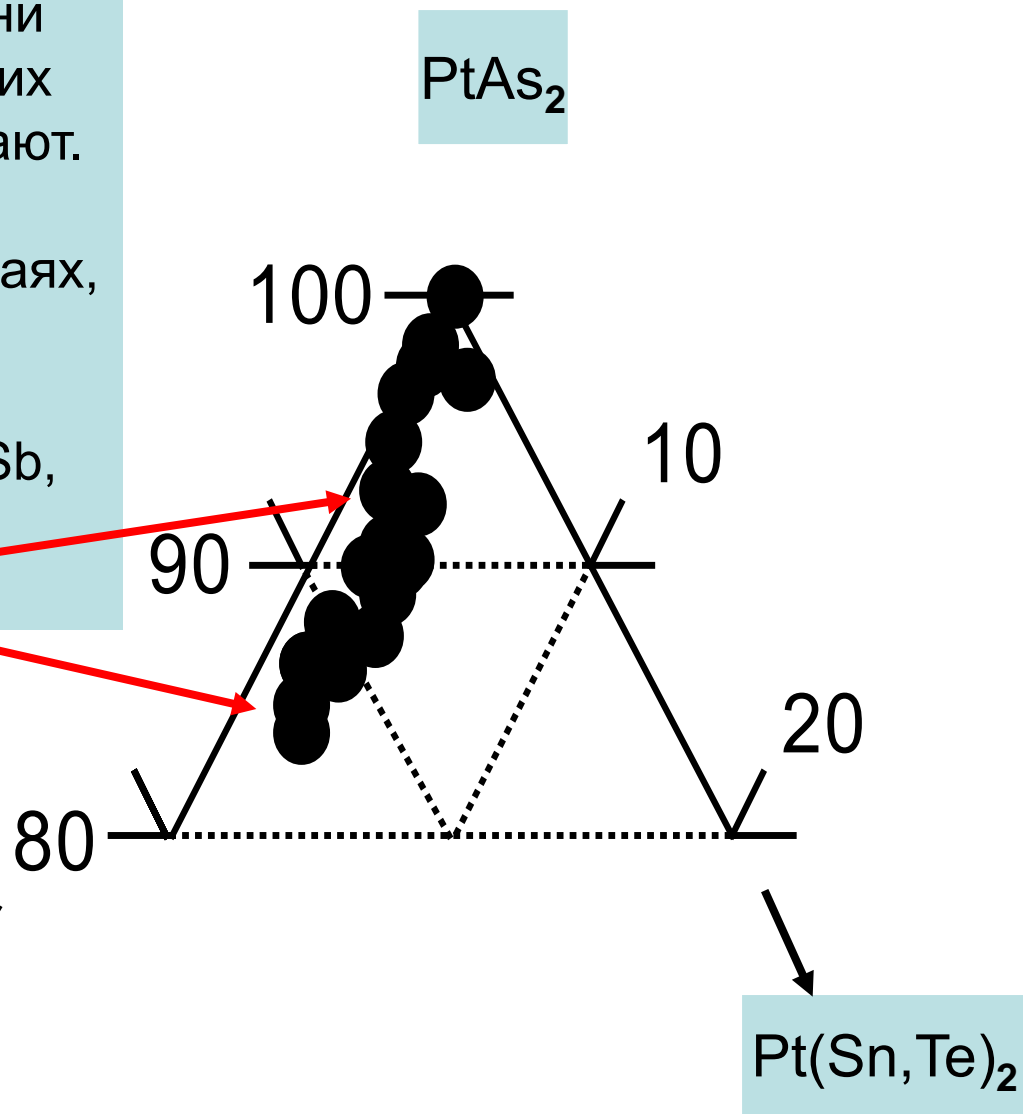
Одни метакристаллы сперрилита с правильной огранкой, другие – с частично правильной огранкой, третьи без огранки. Границы метакристаллов сперрилита пересекли контуры всех окружающих минералов

Метакристаллы сперрилита - наиболее позднего из пневматолитовых PGM. Норильское рудное поле

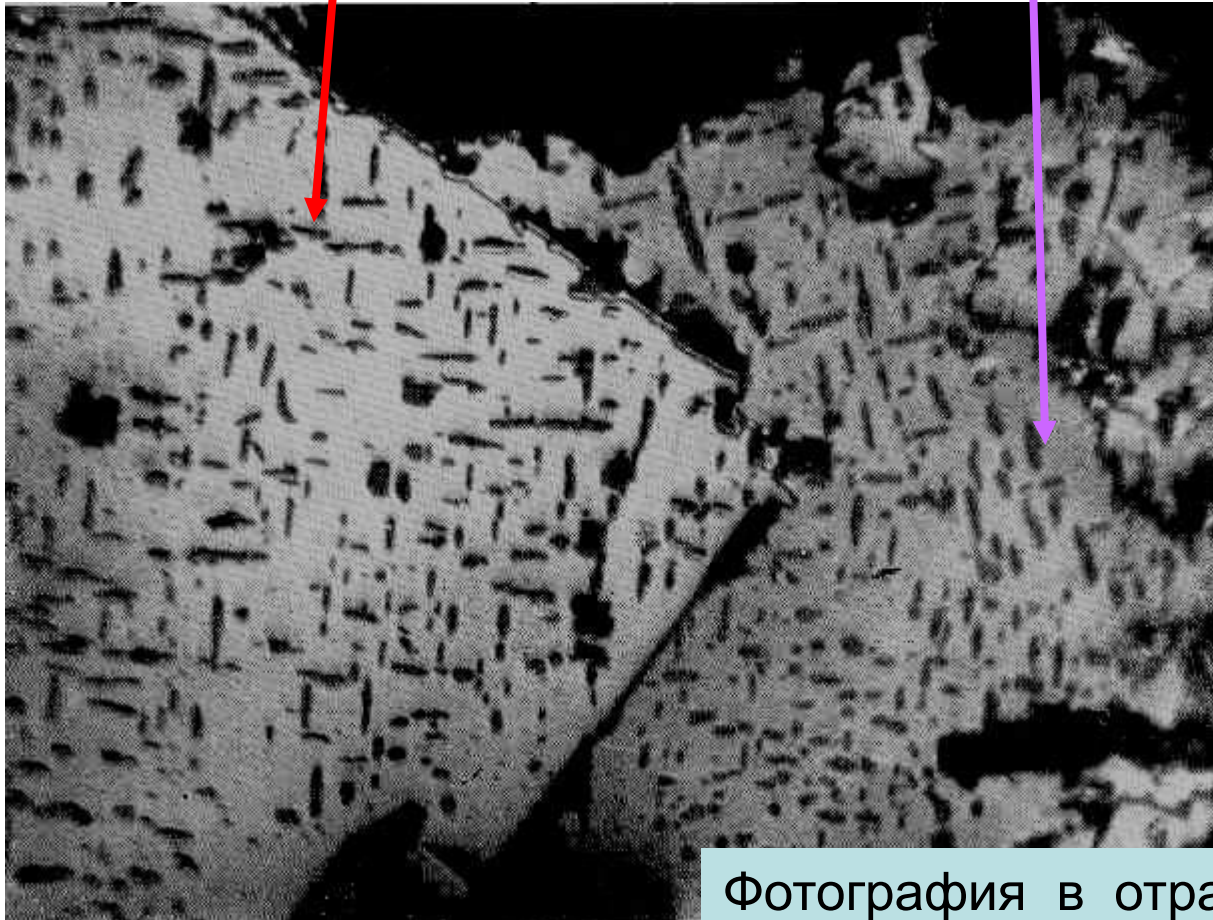
Ещё один признак метакристаллов.

Их состав в некоторой степени зависит от состава окружающих минералов, которые они замещают.

Состав сперрилита обычно точно отвечает PtAs_2 . В тех случаях, когда небольшие по размерам метакристаллы сперрилита заместили минералы, богатые Sb, в их составе до 8-10 масс. % сурьмы



**Метакристалл пирита с массой реликтовых
ламеллей станнина и сфалерита,
сохранившихся при замещении халькопирита
со структурами распада станнина и сфалерита**



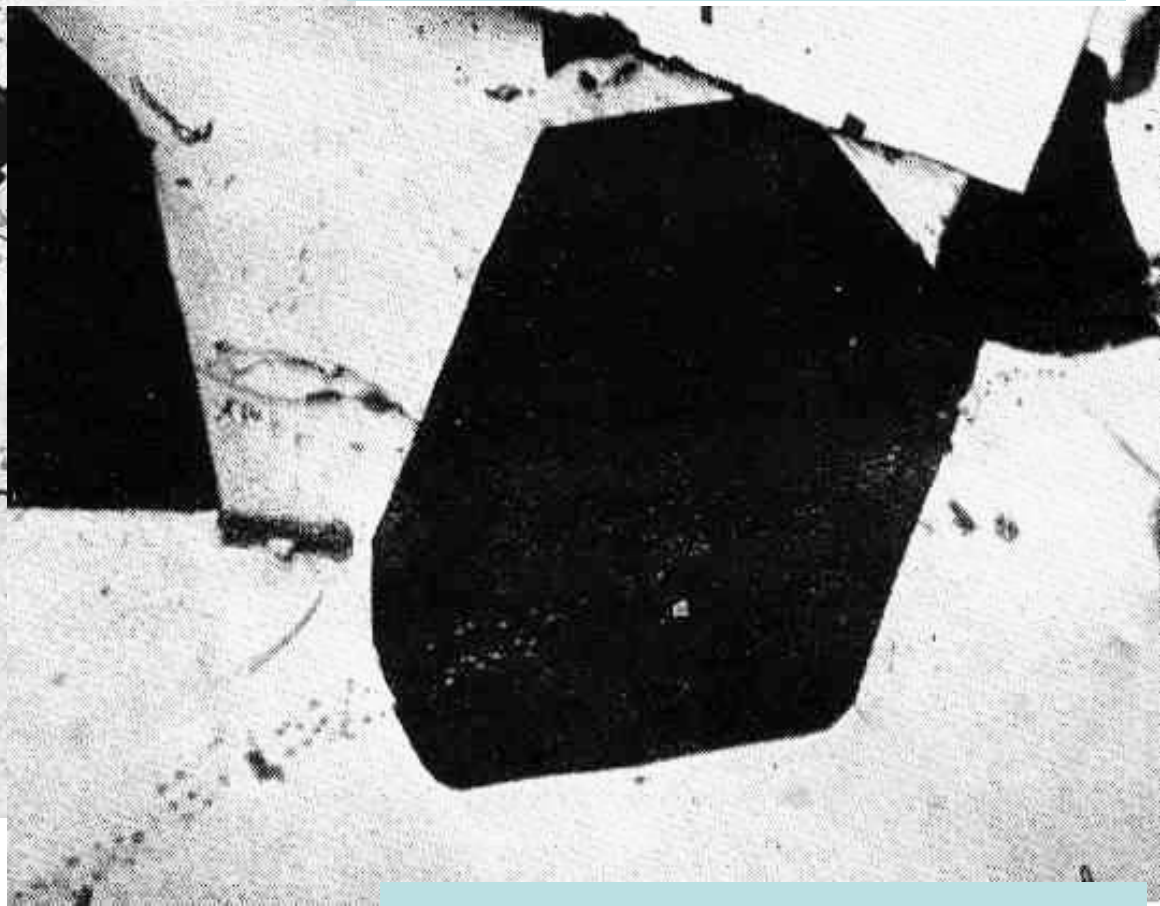
Фотография в отражённом свете

Метакристалл кварца с
реликтовыми звёздочками
сфалерита, сохранившимися при
замещении халькопирита со
структурами распада сфалерита



1 мм. Корнуолл

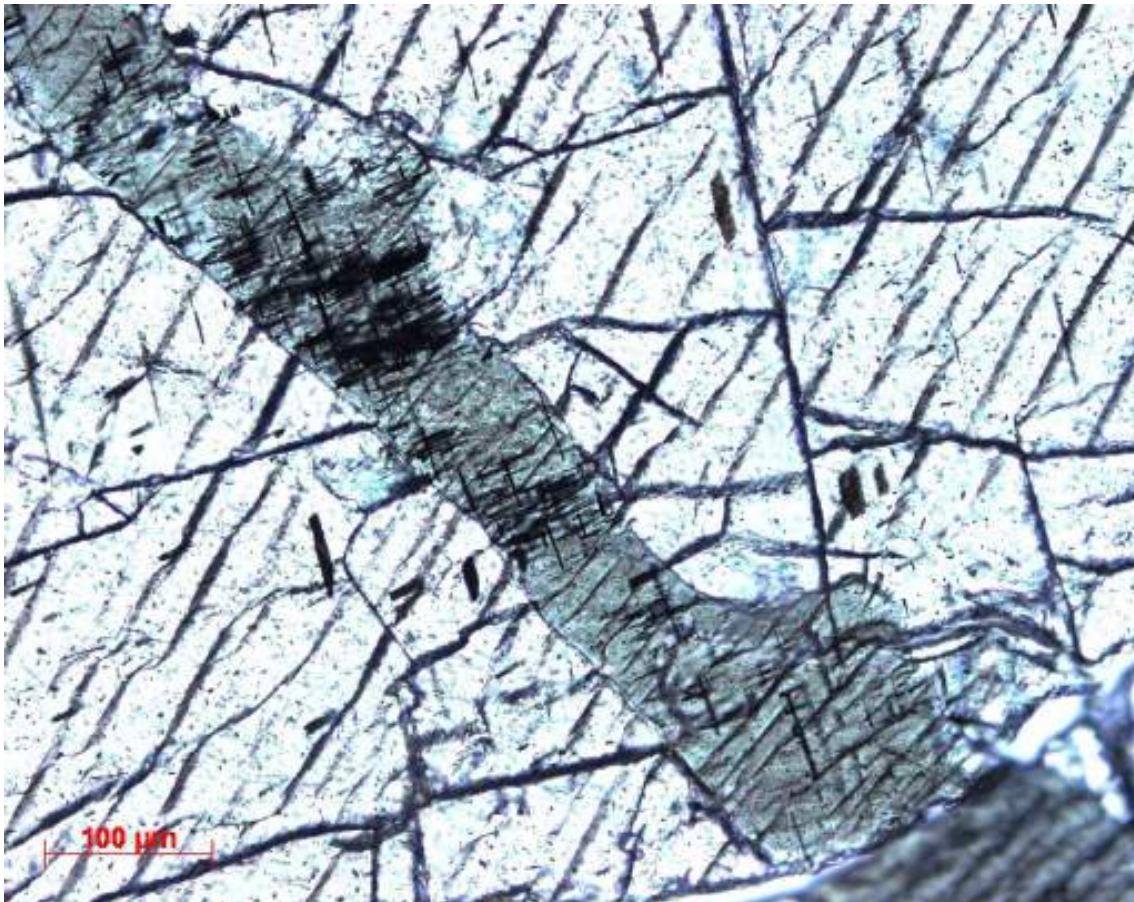
Метакристалл кварца с
реликтовыми включениями
станнина, сохранившимися
при замещении халькопирита
со структурами распада
станнина



1 мм. Комсомольск-на-Амуре

Фотографии в отражённом свете

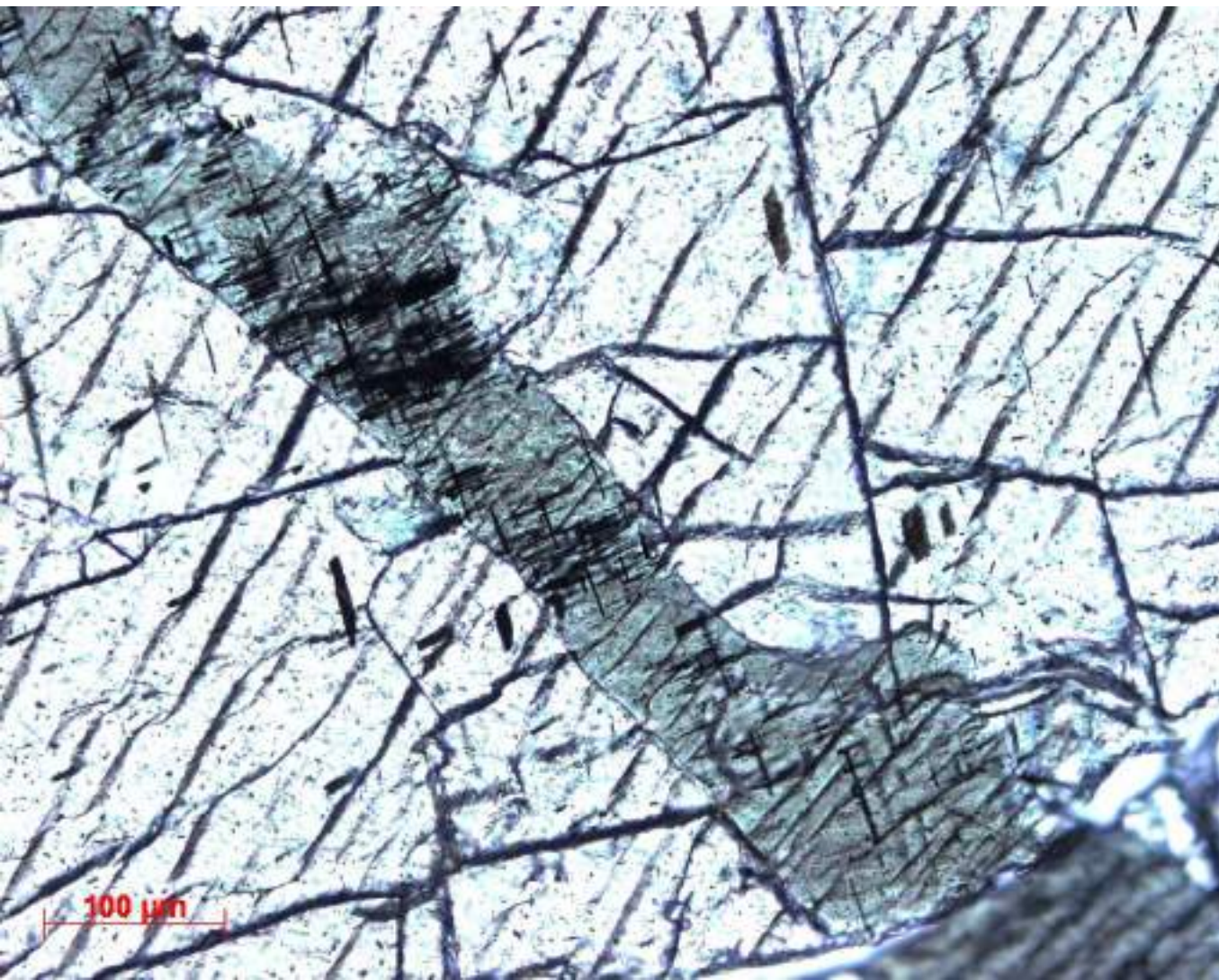
**Метасомы амфибола - паргасита с реликтовыми
ламеллями ильменита, сохранившимися при замещении
клинопироксена – авгита со структурами распада
ильменита**



При 1 николе

Качканар, Средний Урал

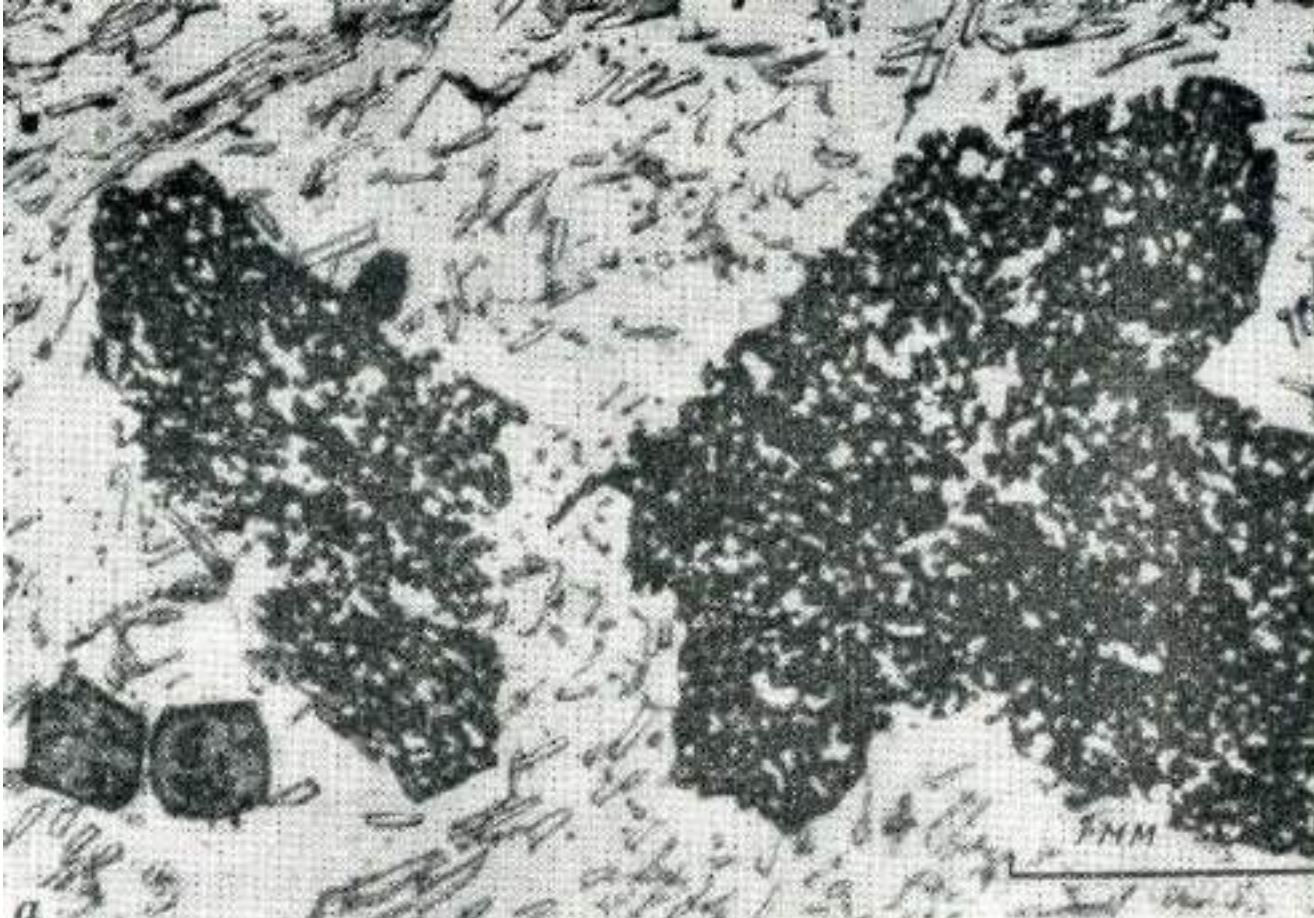
**Метасомы амфибола - паргасита с реликтовыми
ламеллями ильменита, сохранившимися
при замещении клинопироксена – авгита
со структурами распада ильменита**



Шлиф, при 1 николе

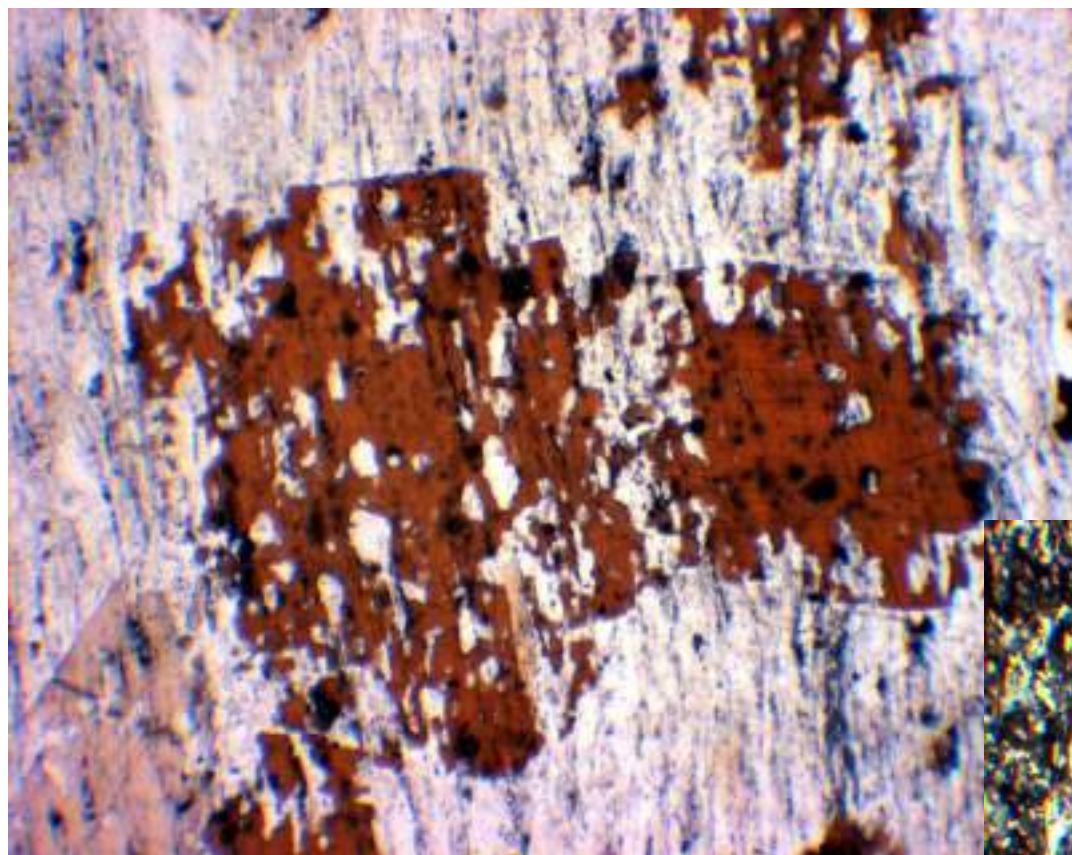
Качканар,
Средний Урал

Порфиробласты (пойкилобласты) ставролита в кристаллических сланцах



Онтарио, Канада

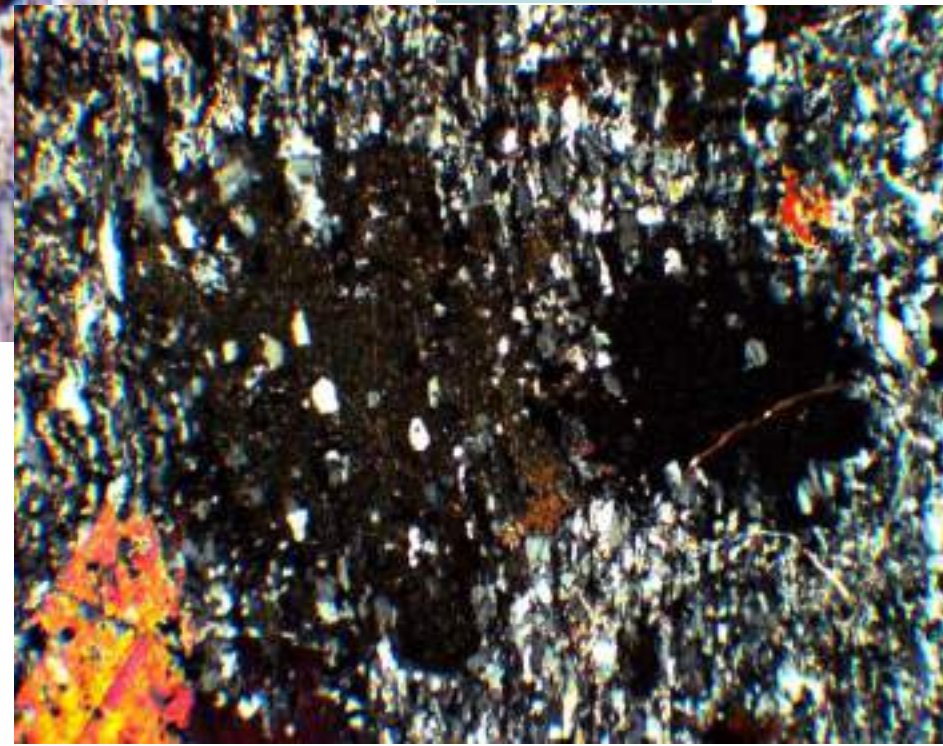
Порфиробласты биотита секут гнейсовидность кристаллических сланцев



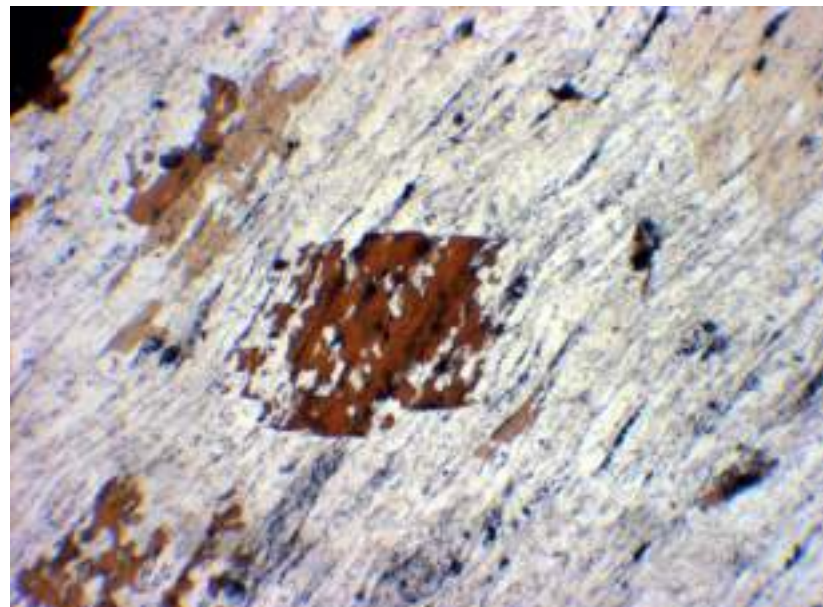
Хамар-Дабан,
Забайкалье

Николи х

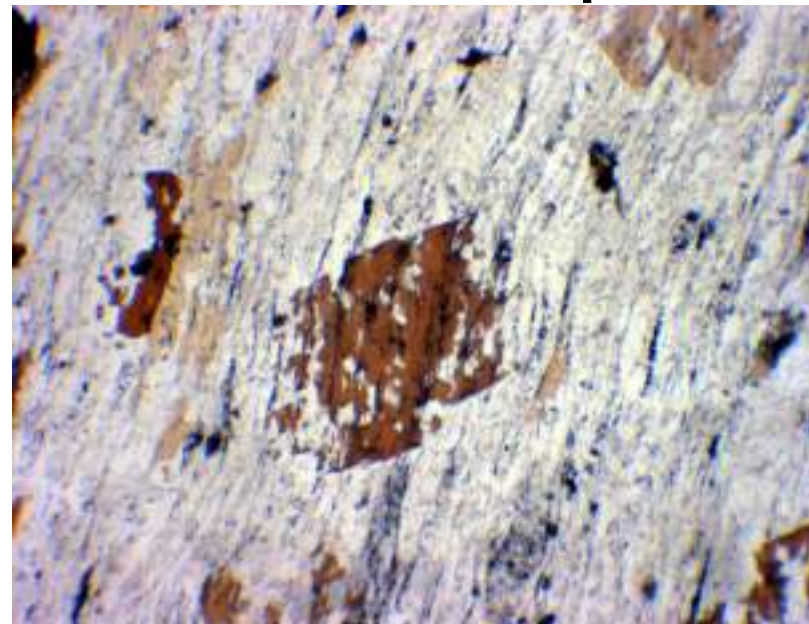
При 1 николе



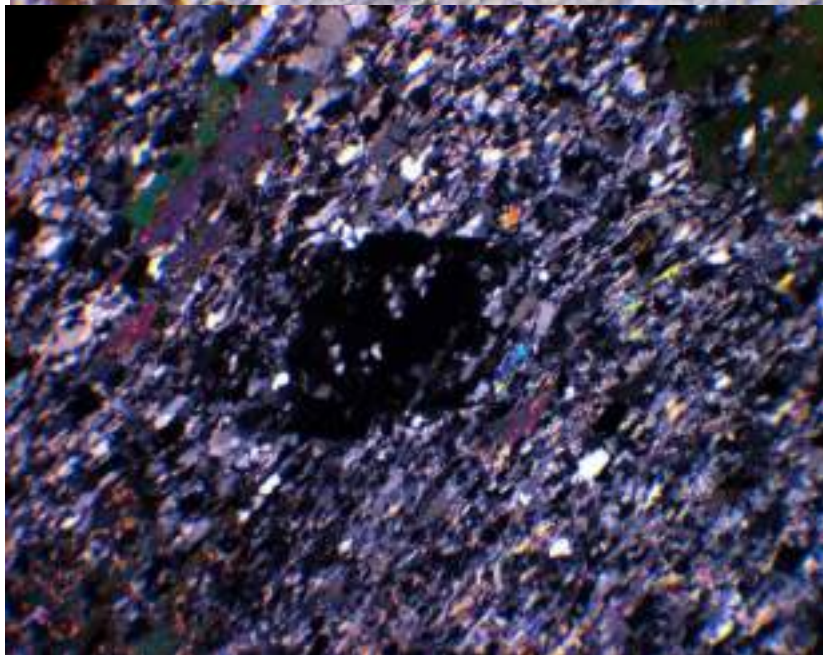
Порфиробласты биотита секут гнейсовидность кристаллических сланцев



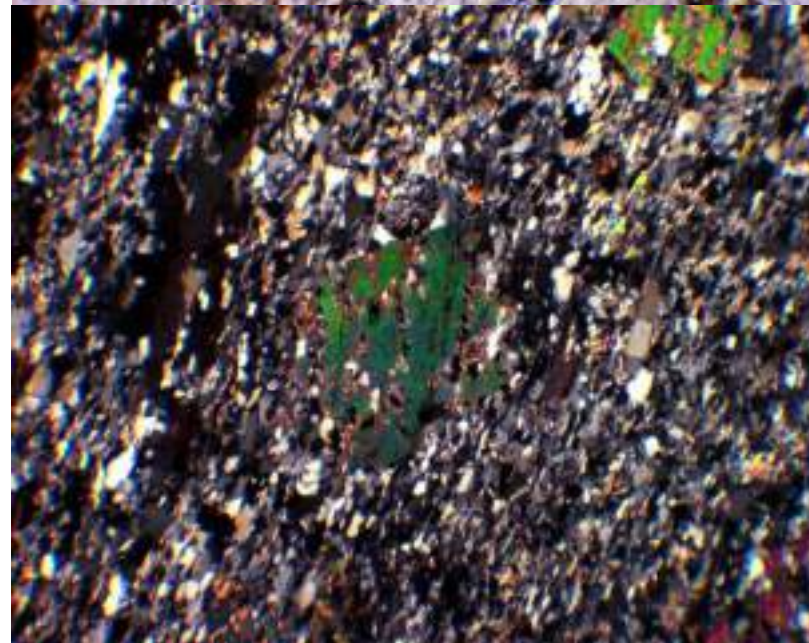
При 1
николе



Хамар-
Дабан



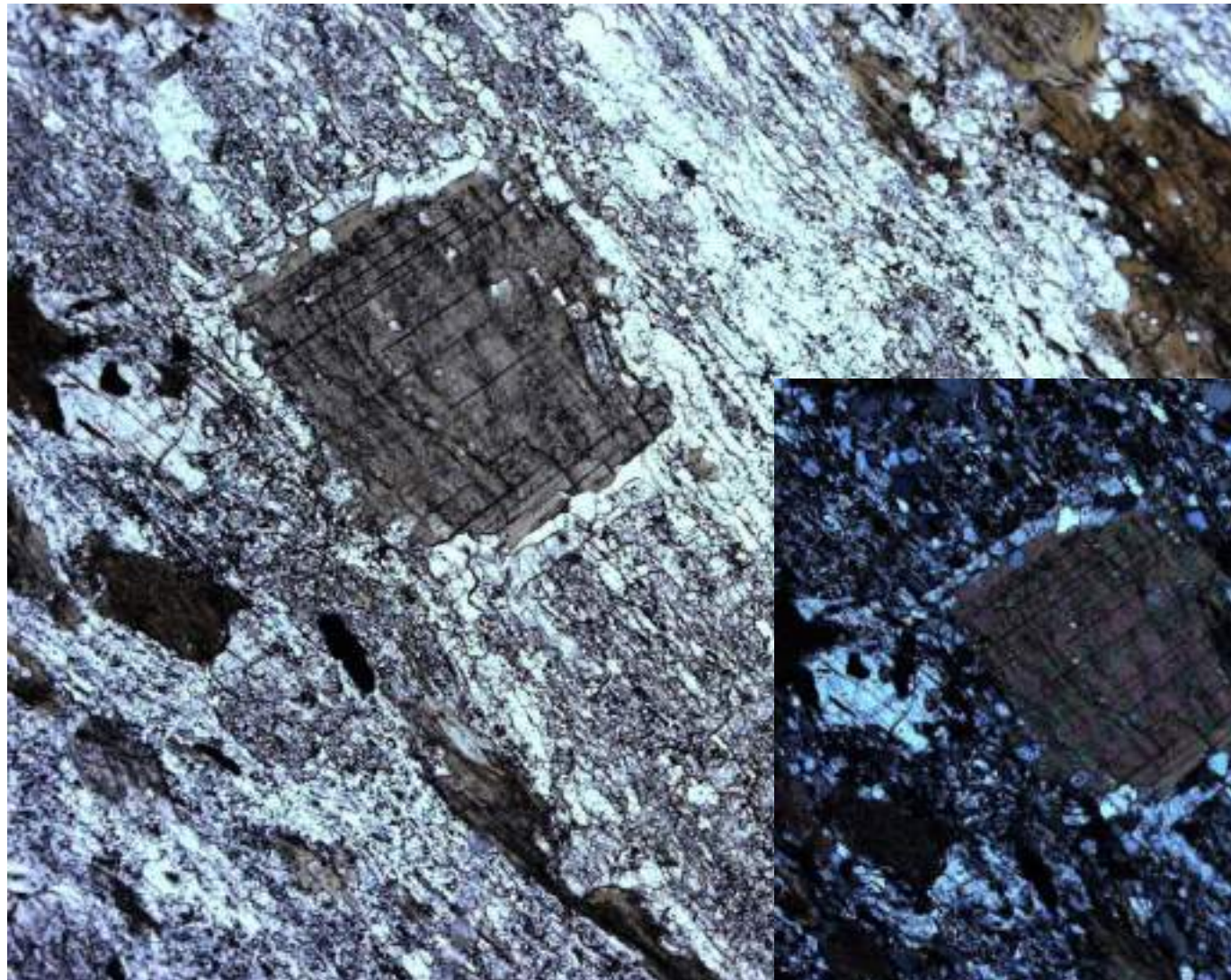
Николи
х



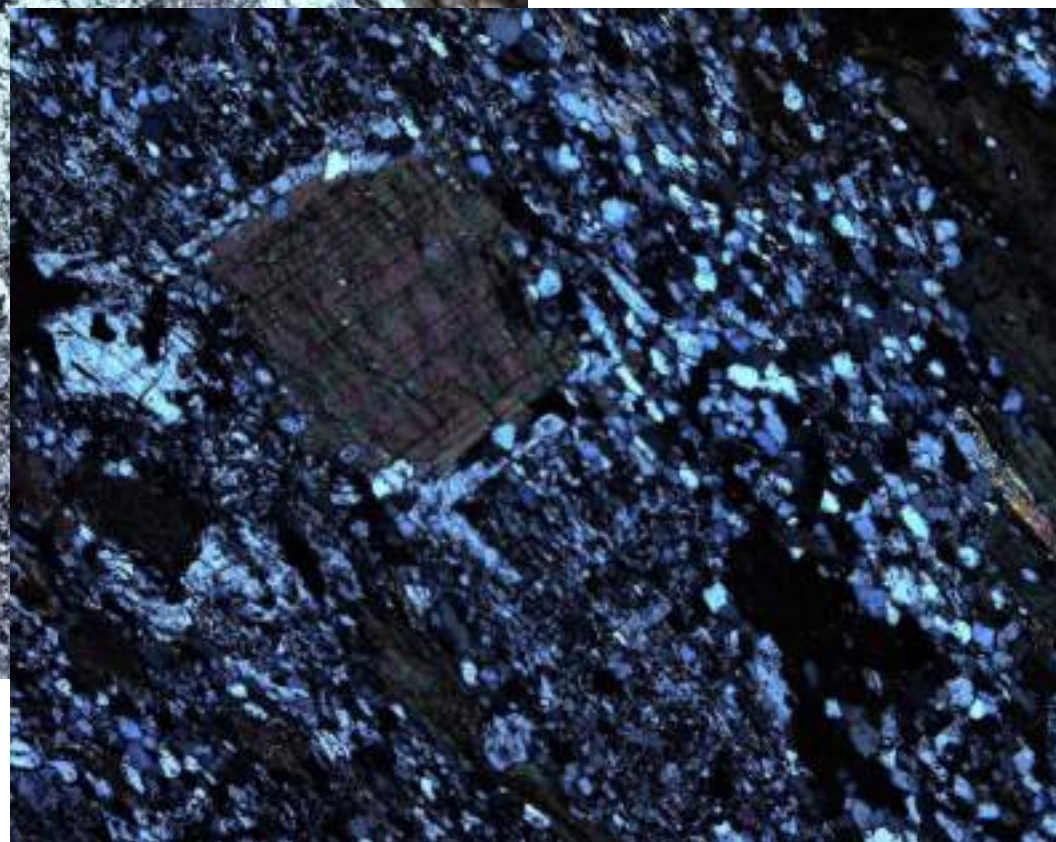
Порфиробласт биотита вырос пересёк гнейсовидности кристаллических сланцев

Хамар-Дабан,
Забайкалье

Николи х



При 1 николе

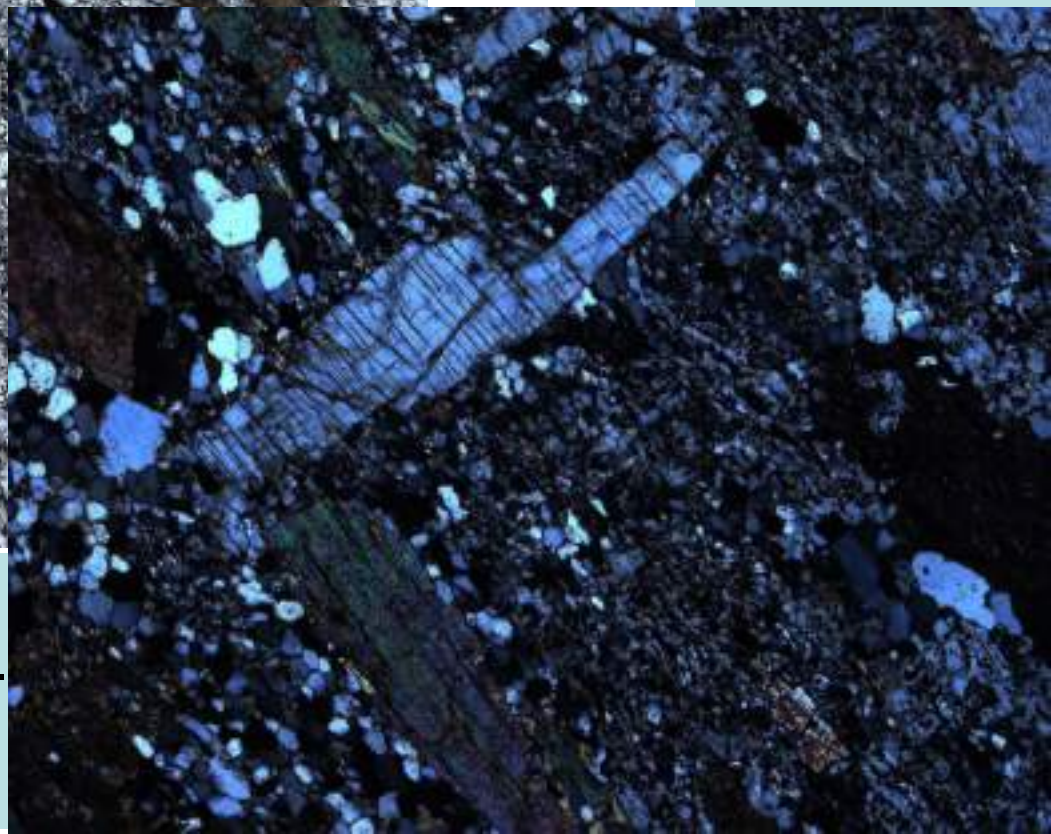
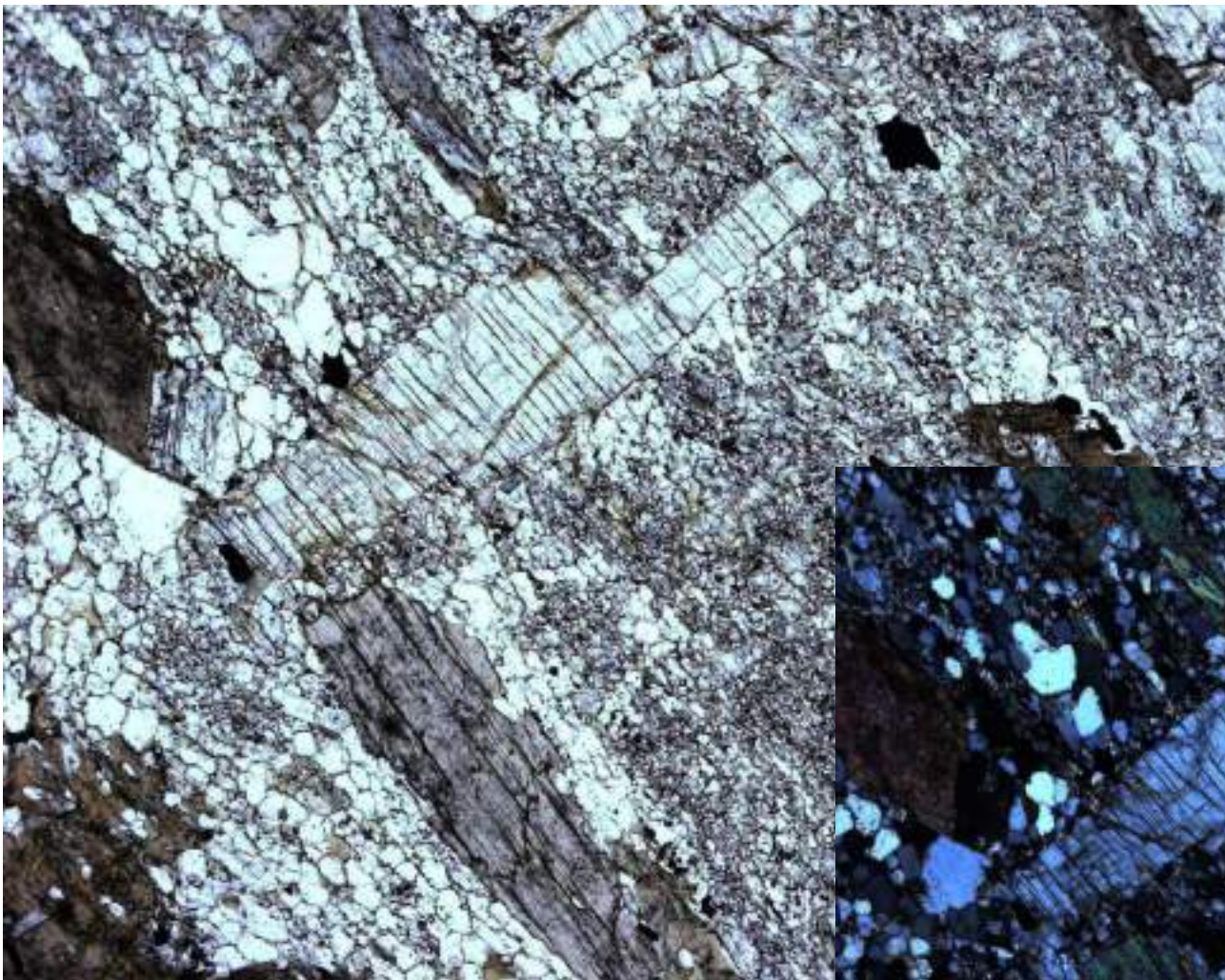


Метакристаллы андалузита $Al_2 [O/SiO_4]$

При 1 николе

Колл. В.А. Макрыгиной
Фото Э.М. Спиридонова

Николи х



Метакристаллы андалузита
в графит-андалузит-биотит-кварц.
кристаллических сланцах.
Хамар-Дабан, Прибайкалье

Метакристаллы андалузита в тоннокристаллических роговиках

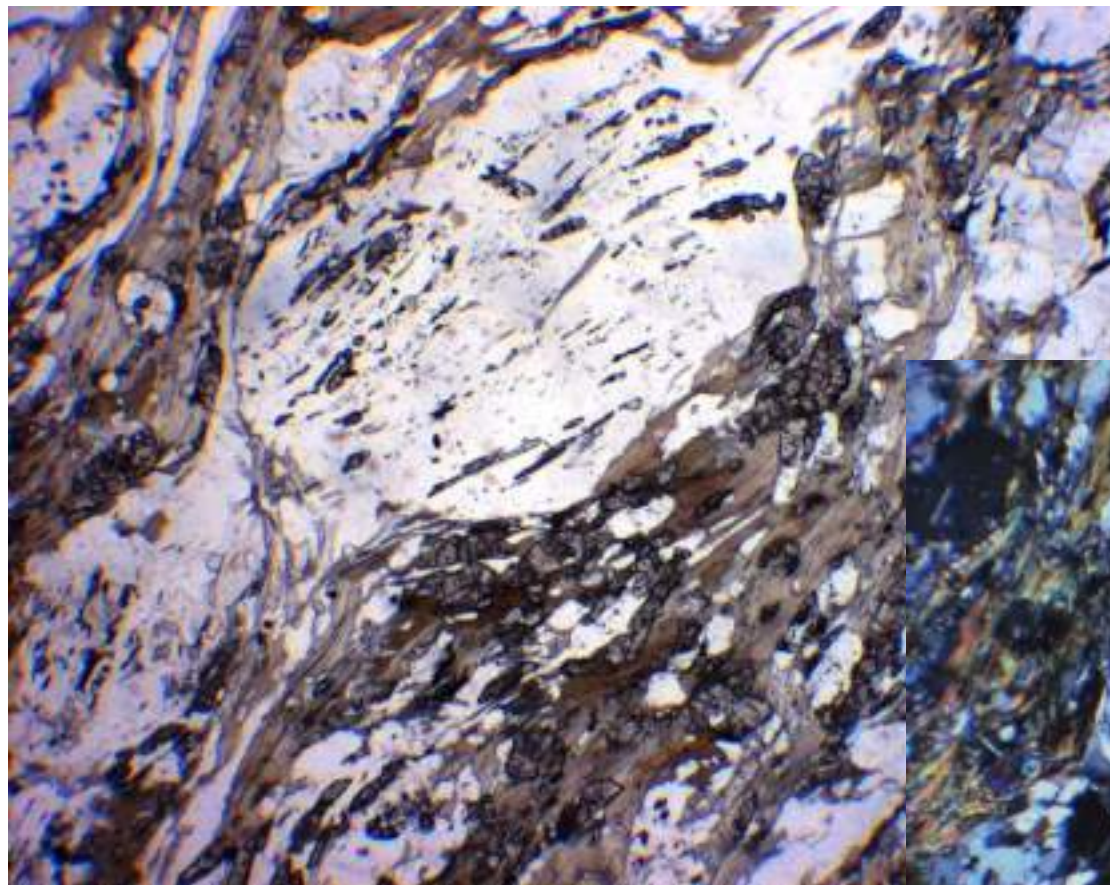
Андалузит $\text{Al}_2[\text{O}/\text{SiO}_4]$



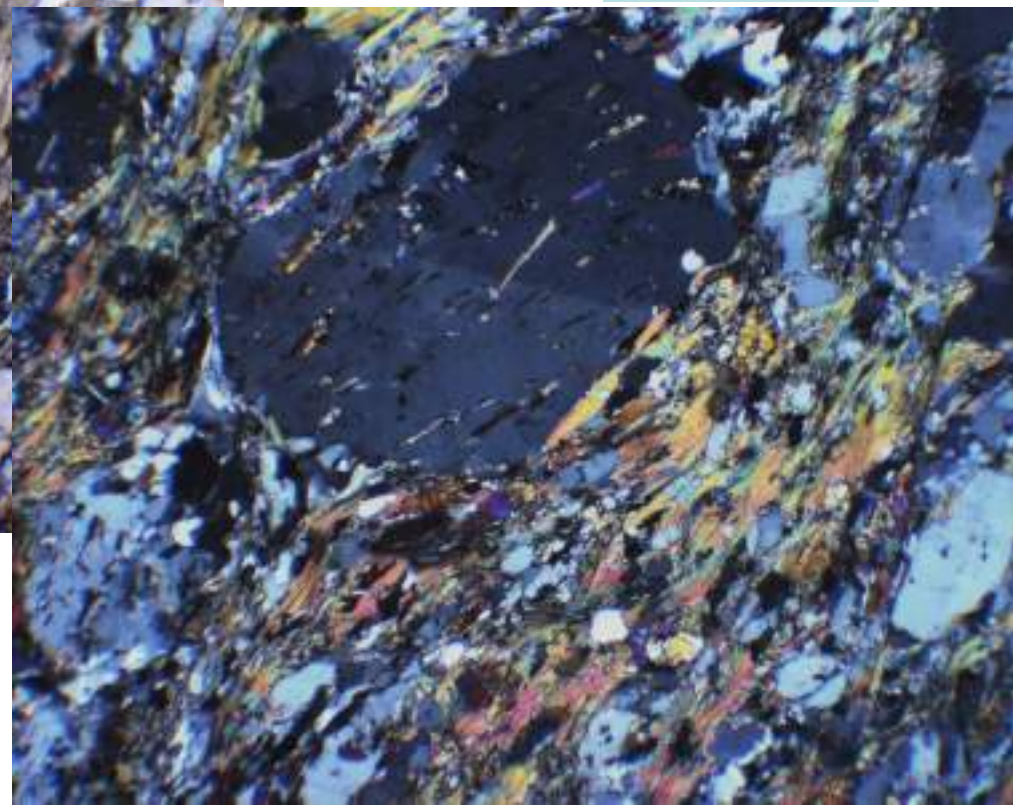
Метакристалл андалузита
40 мм. Chester,
Пенсильвания, США

ANDALUSIT Al_2SiO_5 orth.
Chiastolith in Tonschiefer
St. Briec, Bretagne, Frankreich

Порфиробласт кордиерита в кристаллических сланцах несколько раздвигает окружающие агрегаты



Николи х



При 1 николе

**Порфиробласты в отличие от метакристаллов
редко имеют правильно оформленные грани,
нередко развиваются, раздвигая окружающие
минеральные агрегаты**

120x70 мм



Андалузит - хиастолит
в углеродистых сланцах.
Кейвы, Кольский полуостров

Метакристаллы альмандина



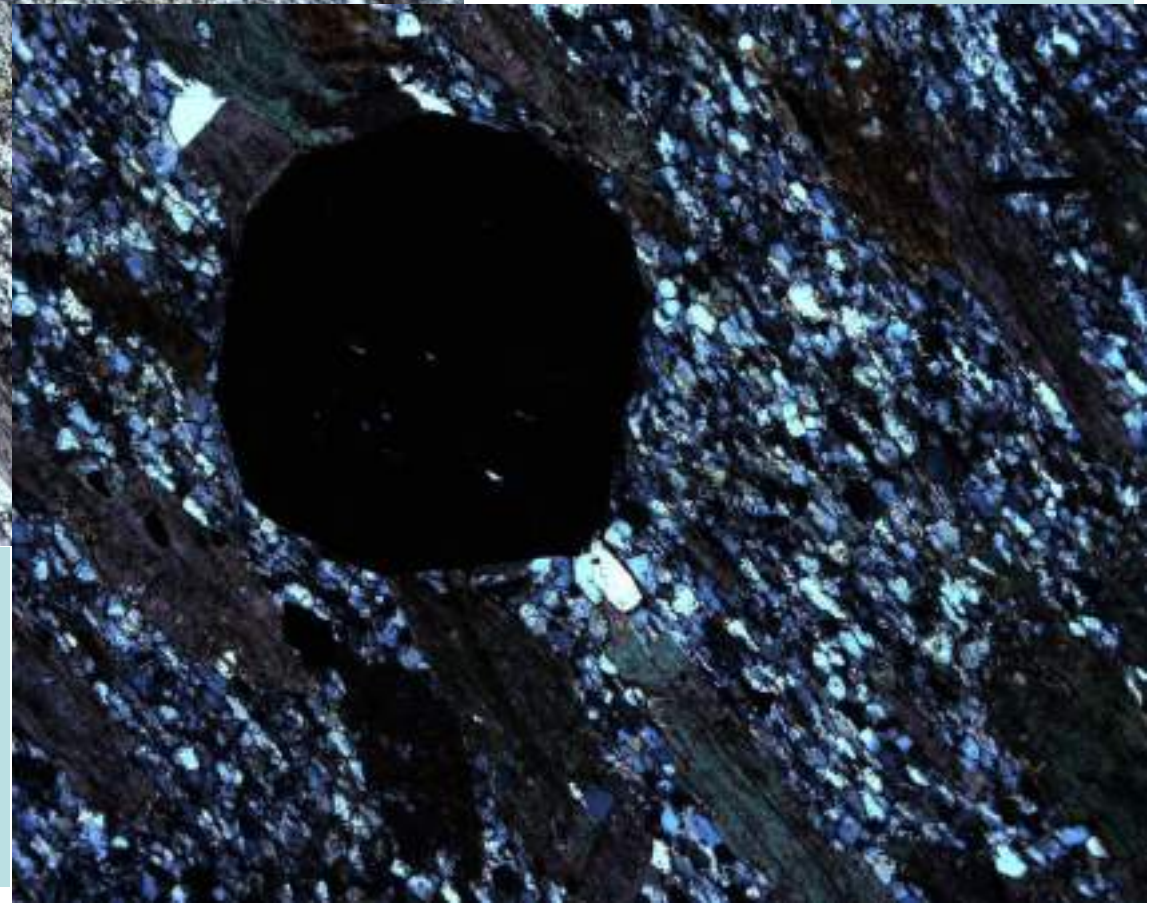
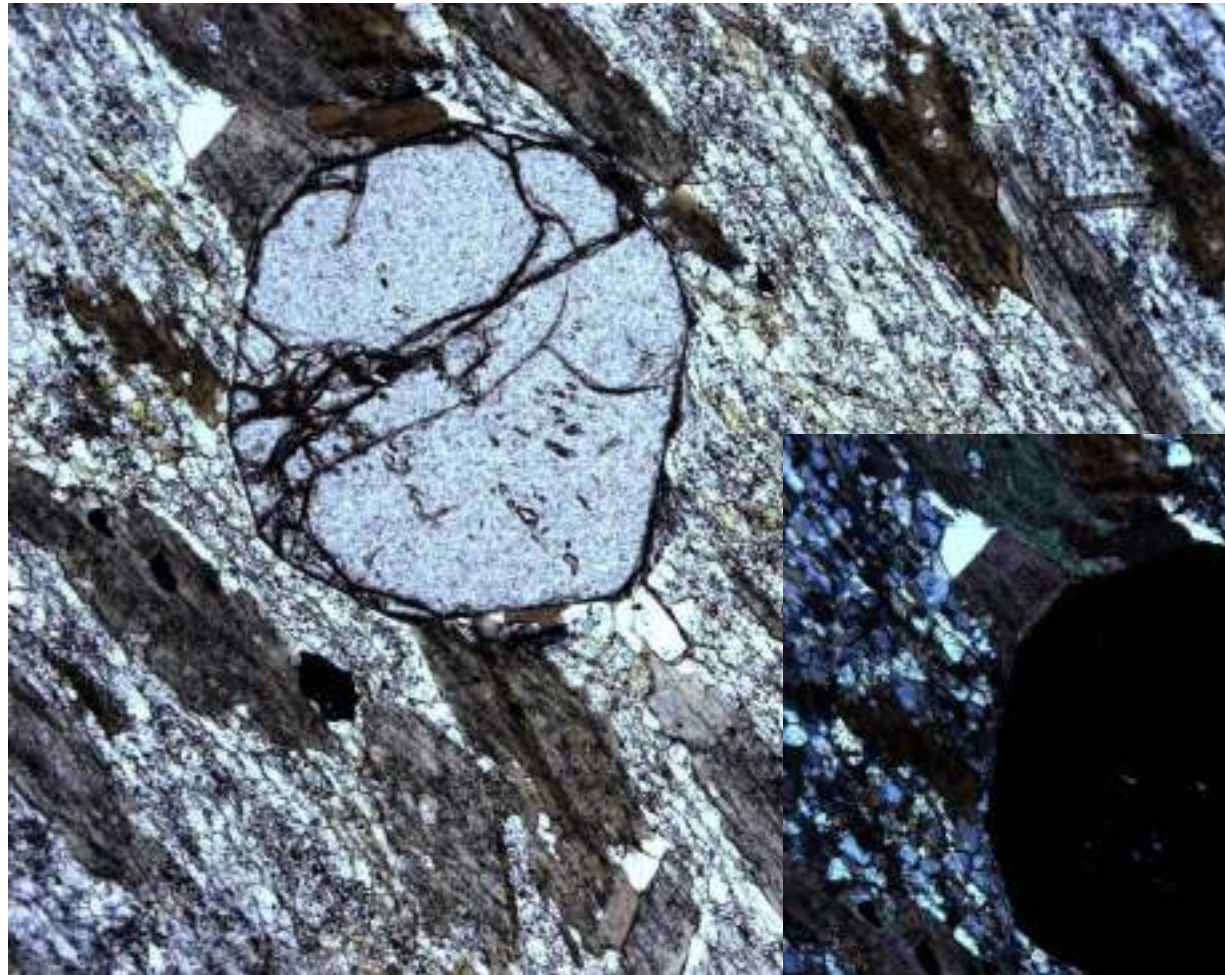
Метакристаллы - порфиробласты граната несколько раздвигают окружающие биотит-кварц-плагиоклазовые агрегаты. Уфалейский метаморфический комплекс Среднего Урала

Метакристаллы алмандина

При 1 николе

Колл. В.А. Макрыгиной
Фото Э.М. Спиридонова

Николи х



Метакристалл алмандина
в андалузит – биотит –
кварцевых
кристаллических сланцах.
Хамар-Дабан, Прибайкалье

Порфиробласты граната – пироп-альмандин-гроссуляра, выросшие при деформациях с вращением

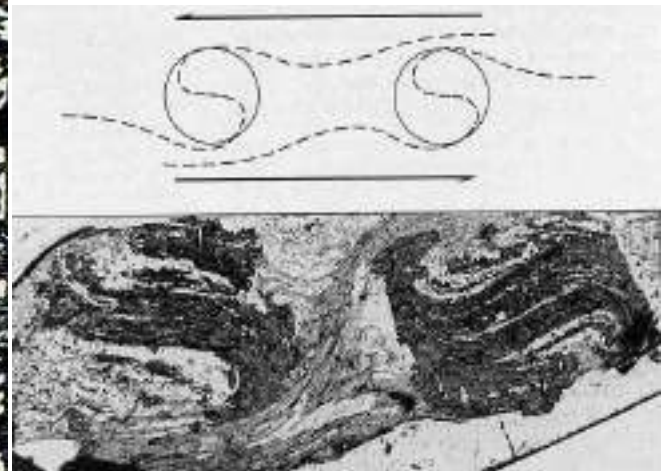


Фото М.С. Алфёровой



Гранат-цоизитовые амфиболиты.
Карелия

Порфиробласты граната - альмандина, выросшие при деформациях с вращением

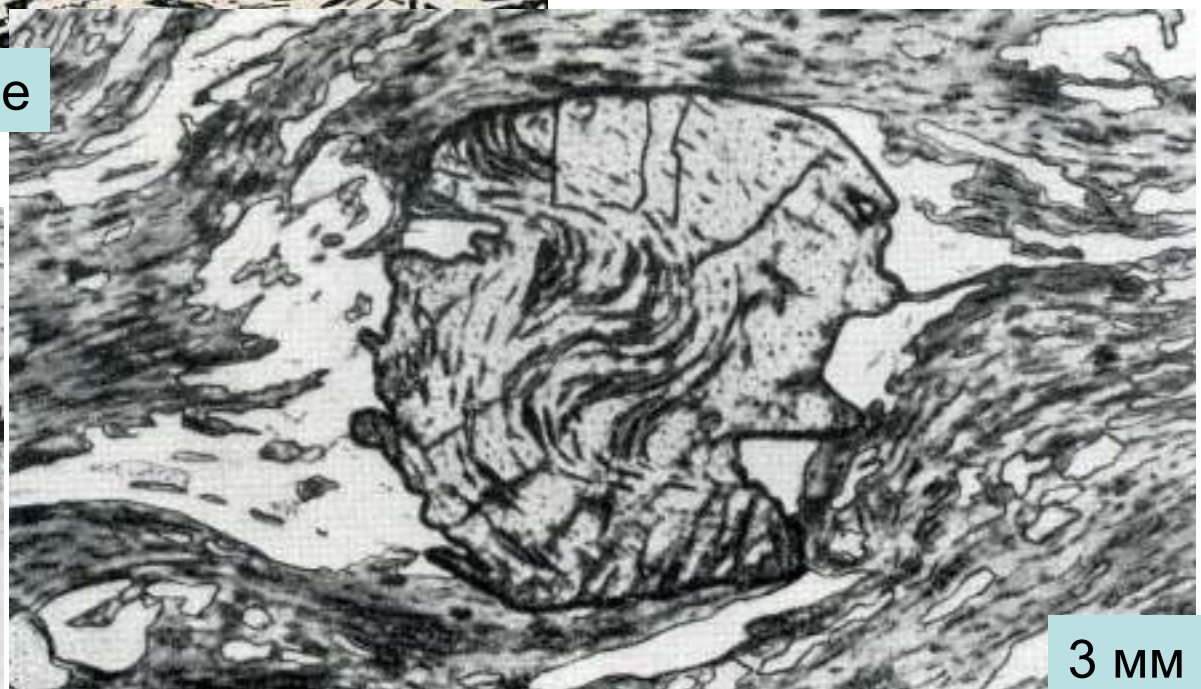
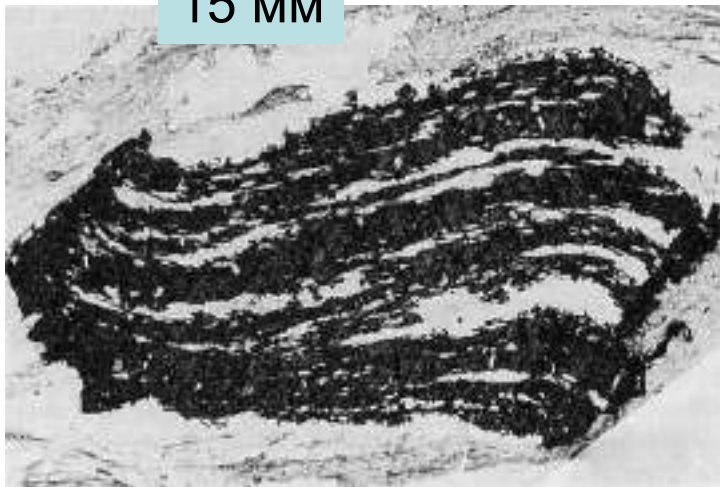


30 мм. ЮВ Вермонт, США

6 мм

При 1 николе

15 мм



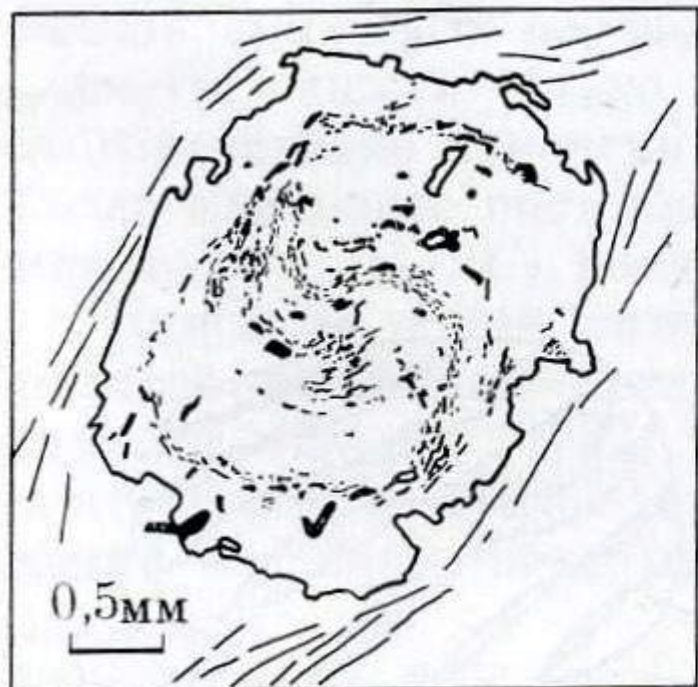
3 мм

Порфиробласты граната - альмандина, выросшие при деформациях с вращением

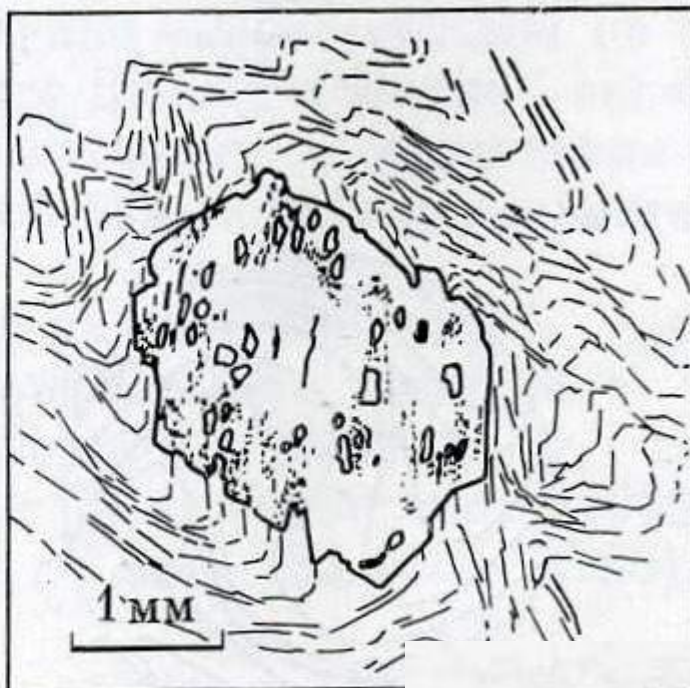


Фиг.1. Типична микроструктура „снежна топка“ в гранатов порфиробласт (Spray, 1969)

Порфиробласты граната, выросшие при деформациях с вращением (а) и без вращения (б)



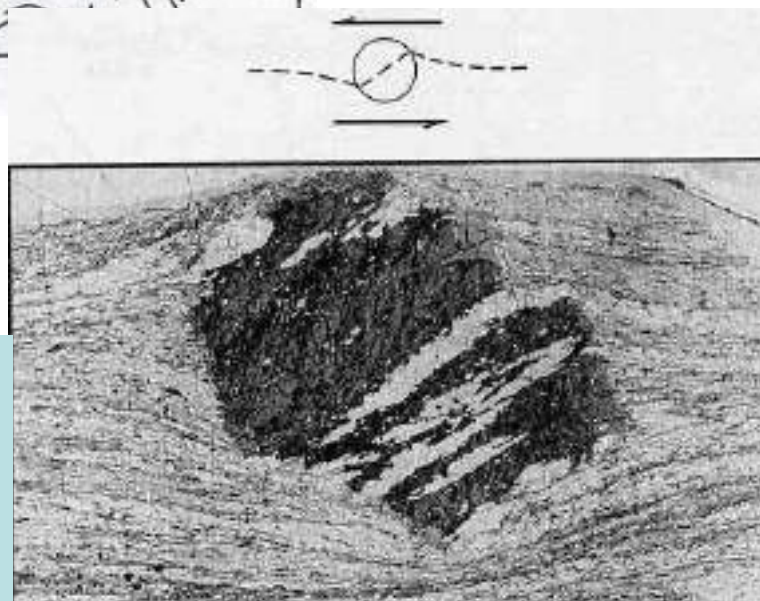
а



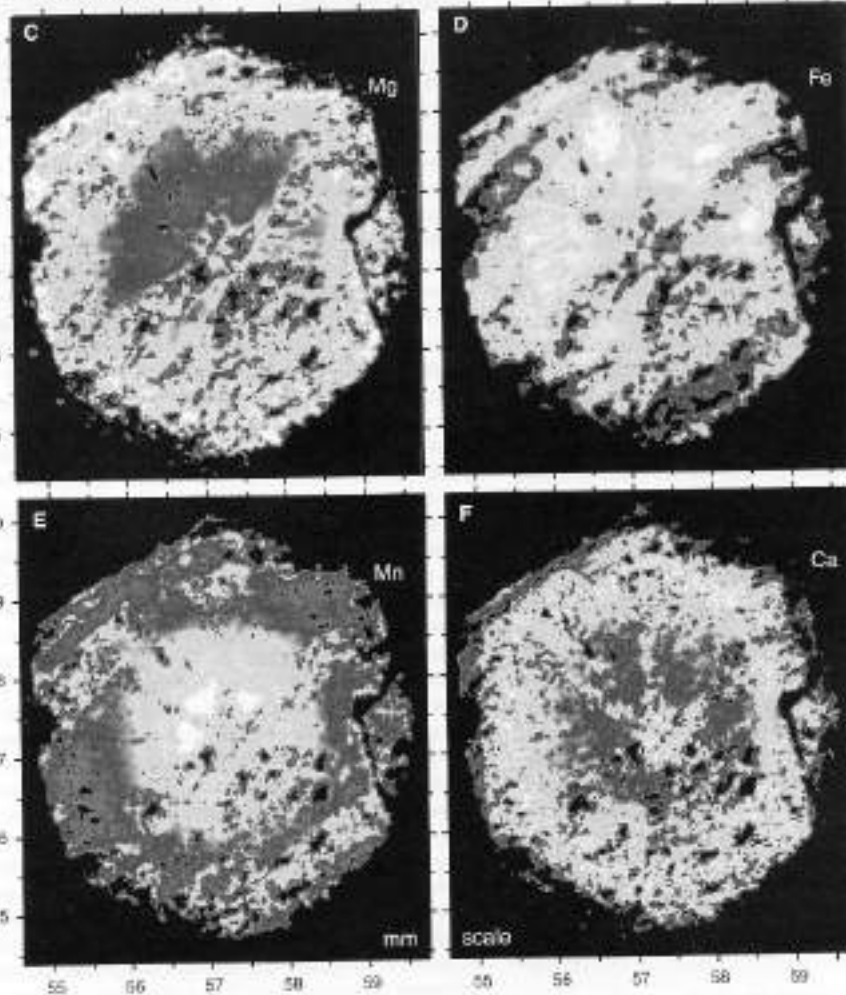
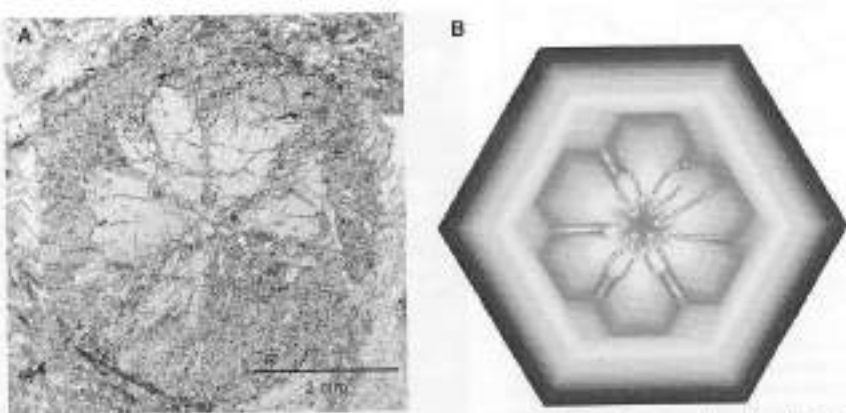
б

С разворотом

При 1 николе.
25 мм.
ЮВ Вермонт,
США



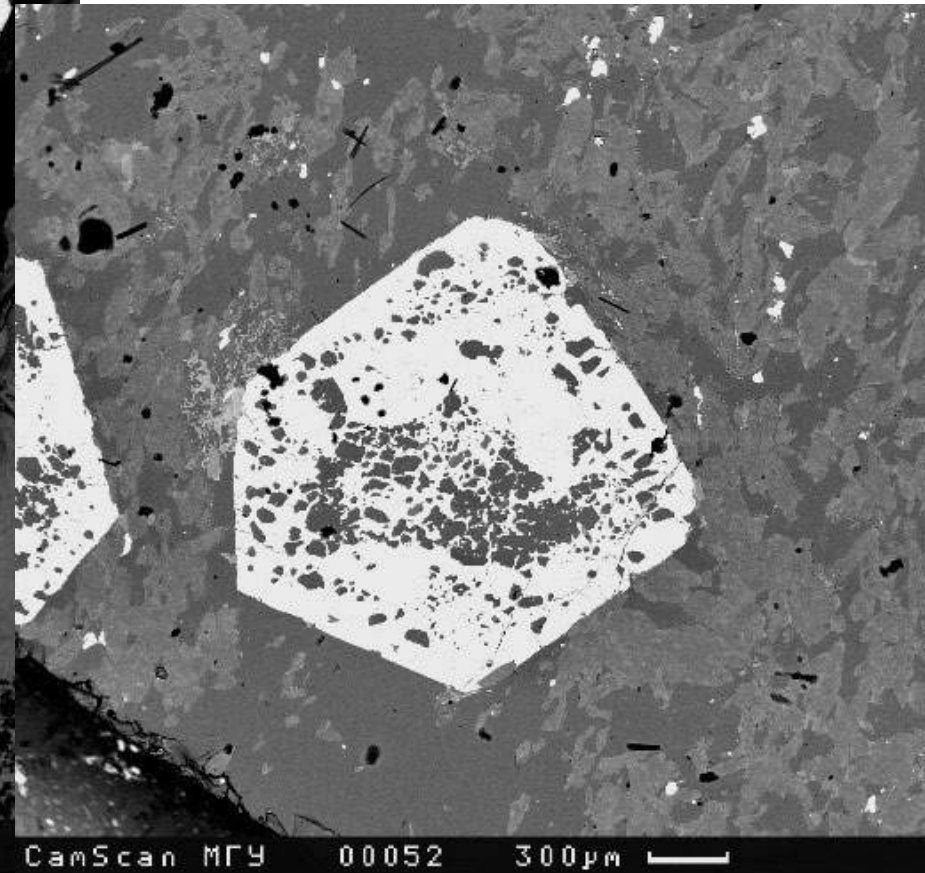
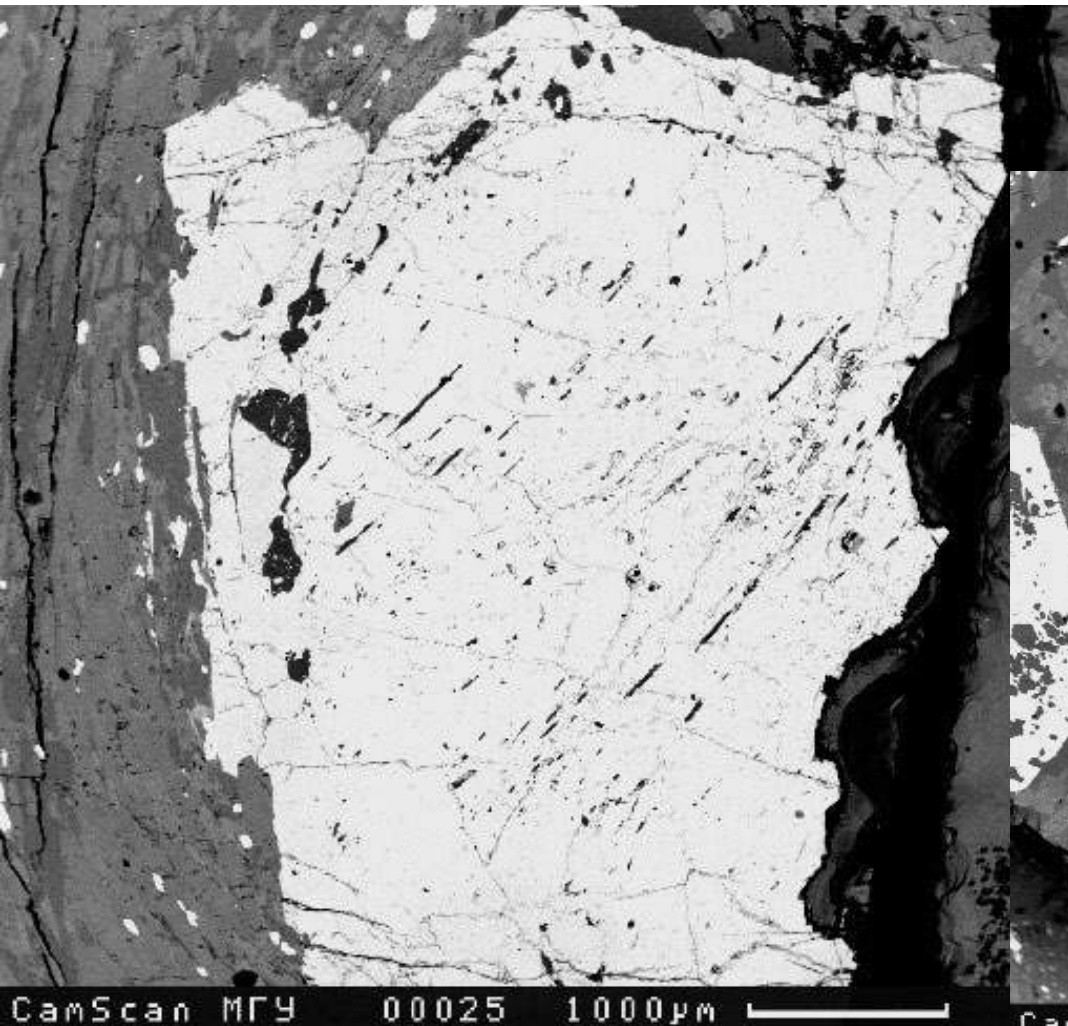
Метакристалл граната секториально- зональный с массой реликтов окружающих пород



Caption for Fig. 12.27 Regional metamorphic garnet illustrating core with “branched” morphology, and more euhedral rim. Sample from south-central Connecticut, USA. (A) Plane-polarized light photomicrograph. (B) Computer simulation of garnet growth pattern (see text for discussion). (C)–(F) Mg, Fe, Mn, and Ca chemical element maps of garnet shown in part (A) obtained using the electron microprobe. Bright areas correspond to highest concentrations. The branched core is chemically distinct from the rim, indicating that the core and rim grew under different conditions. Note Mn-rich core in (E), consistent with Raleigh fractionation (compare with Fig. 12.17). (Modified from Wilbur and Ague, 2006, 2007; published by permission of the Geological Society of America.)

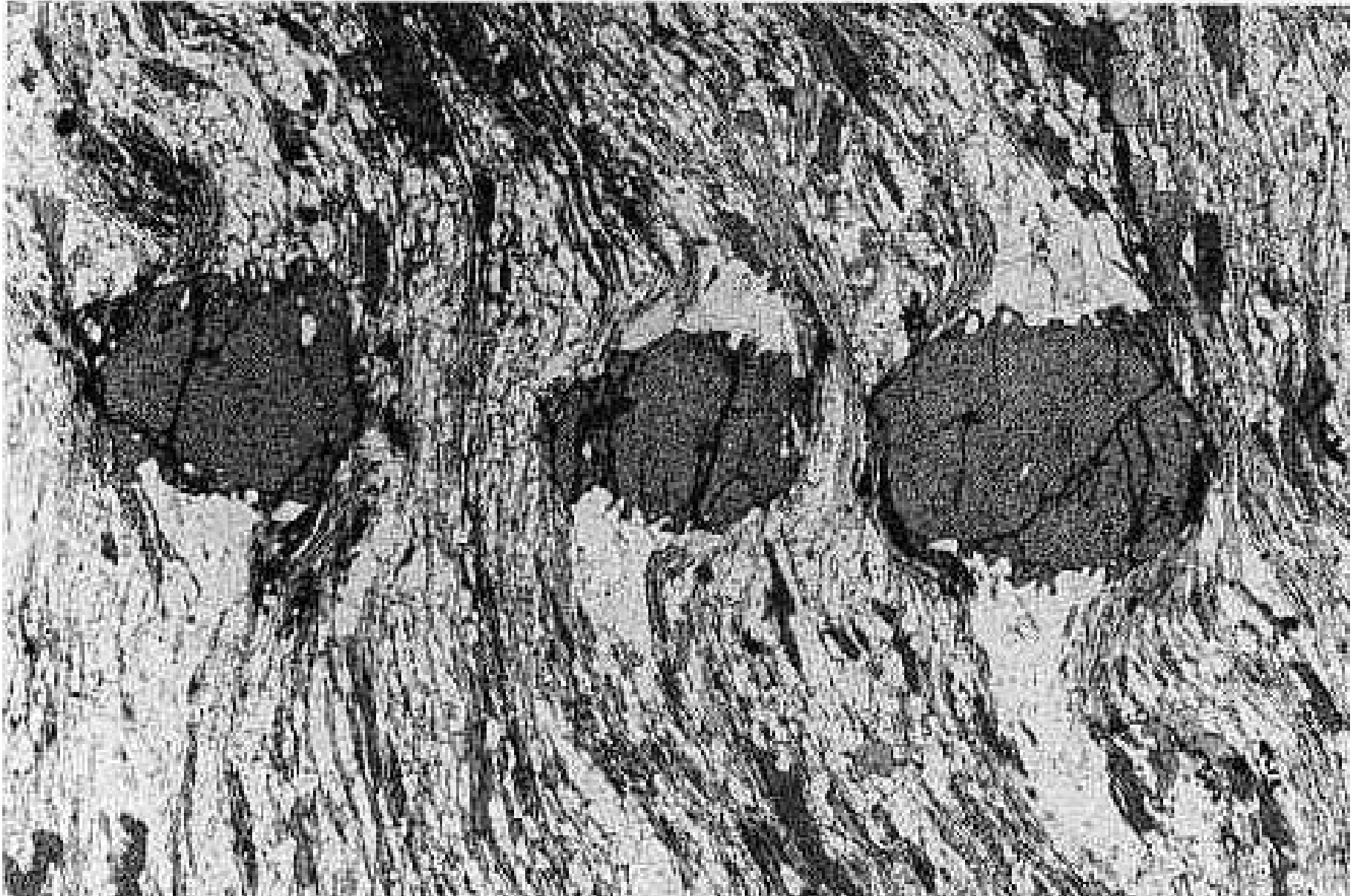
Метакристалл вырос после
окончания деформаций, так как
ориентировка внутренних
структур граната сечёт
ориентировки включений

Метакристаллы пироп-альмандина посттектонические с реликтами окружающих пород



Метакристаллы выросли после окончания деформаций, -
границы кристалла граната секут гнейсовидность.
Максютовский метаморфический комплекс Южного Урала

Цепочка посттектонических порфиробласт граната - альмандина





Карелия



Хову–Аксы, Тува. Фото ЭМС

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. Индивиды

Рост кристаллов

014. Формирование
состава кристаллов

Формирование состава кристаллов

Эта проблема при всей её важности для генезиса кристаллов разработана недостаточно. Возможность возникновения кристалла данного вещества определяется соотношениями между валовым составом среды и её температурой, т.е. диаграммой состояния. Не существует каких-либо принципиальных различий на атомно-молекулярном уровне между вхождением в кристалл частиц конституционных - собственных и частиц примесей. Неразличимость их очевидна в минералах переменного состава. Однако некоторая дискретность в составах минералов, т.е. кристаллических фаз, привела к тому, что компоненты с малыми содержаниями в данном кристалле именуется примесями. Существует аналогия между смесимостями веществ в жидком и в твёрдом состоянии. Так, можно говорить о растворимости (определенной концентрации) примеси в кристалле при данной температуре. При повышении температуры смесимость и в жидком и в твёрдом состоянии растёт. Существенное отличие при охлаждении: переход от гомогенного распределения примеси в кристалле к гетерогенному (при снижении температуры от состояния насыщения) требует больших промежутков времени. Кристаллы при этом легко переходят в замороженное состояние. Причины - в резко пониженных скоростях диффузии в твёрдых средах и в высоком потенциальном барьере для зарождения новой фазы. Ещё одна особенность твёрдых

Формирование состава кристаллов

растворов. Кристалл может быть недосыщен по примесям, но быть в равновесии или не в равновесии со средой; в частности, с другими контактирующими минералами. Равновесная кристаллизация означает не кристаллизацию при равновесии, а формирование кристаллов со скоростью, при которой успевает установиться равновесие кристалла со средой по примесям. При обсуждении вопросов связи состава кристалла со скоростью кристаллизации используют понятие о коэффициенте распределения: коэффициент распределения равновесный (кристалл растёт так, что его состав по примесям успевает прийти в равновесие с составом среды) и коэффициент распределения эффективный (относится к случаям более быстрого роста).

Коэффициент распределения в расплавах равновесных (с малыми примесями) = $c_{кр}/c_{ж}$. Коэффициент распределения в растворах = $c_{кр}/c_{ж}/c_0$. c_0 - основной компонент. Оценок коэффициентов распределения для систем кристалл-расплав много, для систем кристалл-раствор немного. Если коэффициент < 1 , то вхождение примеси в кристаллы затруднено, она оттесняется и накапливается в среде. Если коэффициент > 1 , то примесь предпочтительно входит в кристаллы и среда ею обедняется. Примеры: магматические системы - плагиоклазы, коэффициент распределения анортита > 1 - расплав обедняется

Формирование состава кристаллов

анортитом, а плагиоклаз обогащен им; оливин $Fo + Fa$, коэффициент распределения фаялита < 1 - расплав обогащается железом.

По мере роста кристаллов различных фаз в первую очередь захватываются компоненты с коэффициентом распределения > 1 , в растворе накапливаются компоненты с коэффициентом распределения < 1 , т.е. слабо связывающиеся с поверхностью. По мере накопления до концентраций выше равновесных, начинается кристаллизация соответствующих иных фаз, сопровождающаяся отталкиванием компонентов с коэффициентом распределения < 1 , т.е. начинается периодическая кристаллизация, а также осцилляция состава зональных кристаллов. Такова зональность кристаллов плагиоклаза в гранитоидах - диоритоидах. **Два типа такой зональности - осцилляции:** с подпиткой новыми порциями раствора-расплава или кристаллизация в замкнутом резервуаре.

Коэффициент распределения элементов-примесей зависит от свойств как элемента-примеси, так и главного замещаемого элемента, от структуры кристалла, от состава твёрдой и жидкой фаз, от давления и температуры в системе. Предсказать поведение элемента-примеси в конкретном случае невозможно, если рассматривать только индивидуальные свойства этих атомов или ионов, например, ионные или

Формирование состава кристаллов

атомные радиусы, значения электроотрицательности, потенциалы ионизации.

Итак, важнейшие факторы, определяющие состав вещества в каком-то участке кристалла: внешние факторы - состав среды, температура, давление, степень пересыщения; менее важные - магнитные и электрические поля, ионизирующие излучения; внутренние факторы - строение растущего участка поверхности; характер дефектности кристалла; скорость внутренней диффузии частиц в кристалле.

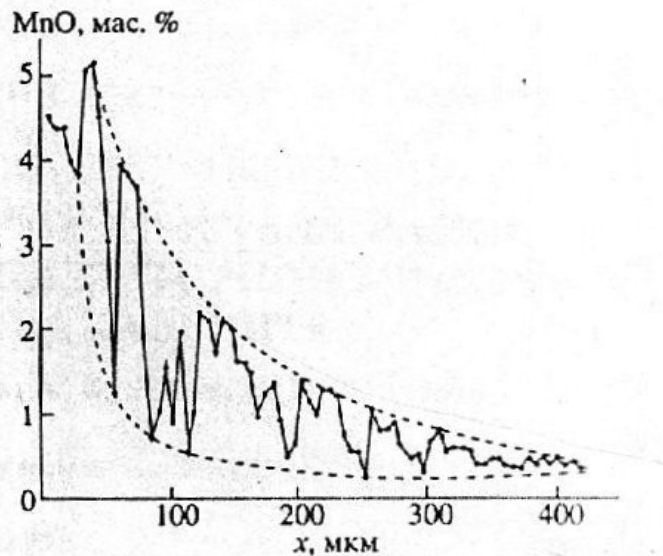


Рис. 1. Распределение марганца в краевой части кристалла синтетического кальцита: профиль анализировался на микрозонде MS-46. x – расстояние от начала (внутренней границы) градиентной зоны. Сплошная линия соединяет точки, в которых анализировался кальцит, штриховой линией соединены максимумы и минимумы пиков на экспериментальной кривой.

Закрытая система – без подпитки.
Постепенно, в целом, плавно
меняются концентрации кальция
и марганца. Содержание малой
примеси к концу сходит на нет.

Формирование состава кристаллов

Закрытая система – без подпитки.

Постепенно, достаточно плавно концентрации марганца и железа в геденбергите изменяются однонаправлено. Цикл одностадийный

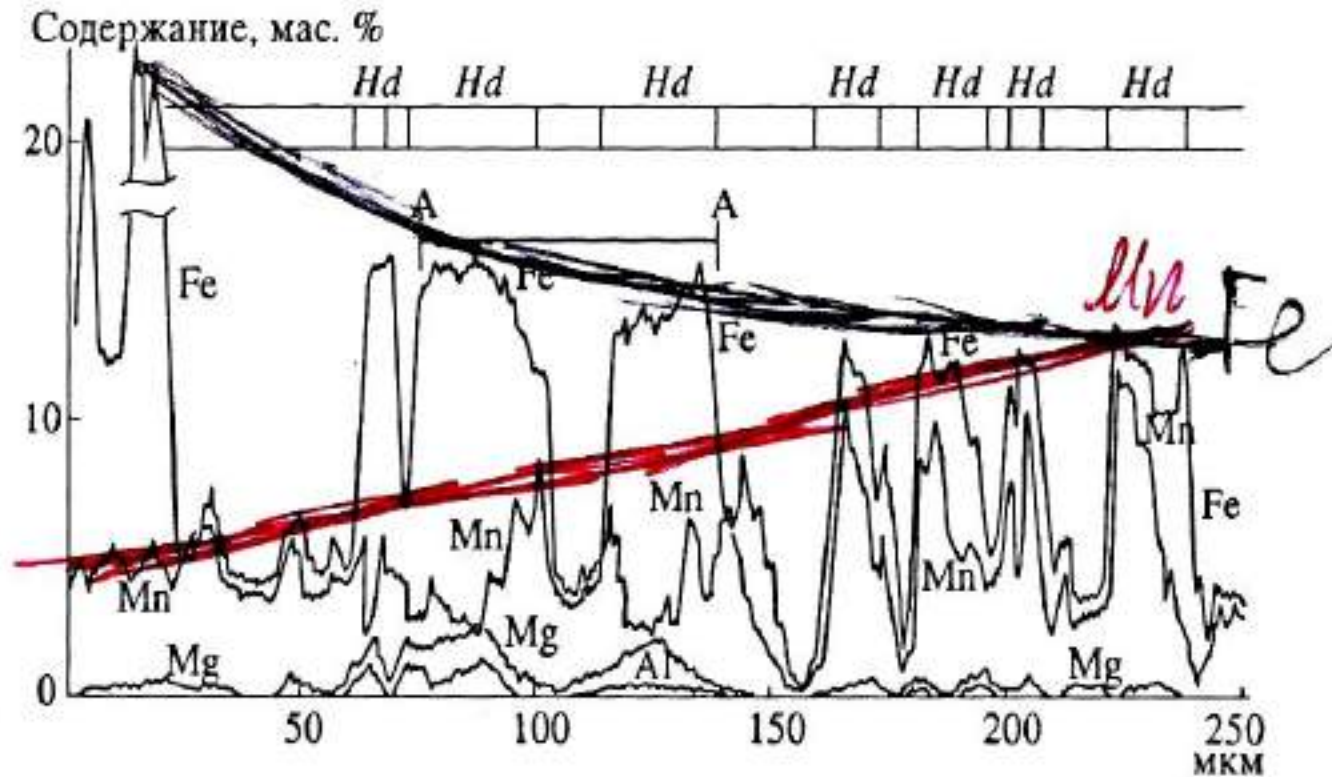


Рис. 7. Профиль, пройденный микрозондом через зерно кристалла пироксена, окруженное каймой датолита и волластонита. Зерно пироксена рассечено интервалами, сложенными волластонитом и датолитом, которыми оно, по-видимому, замещается. Показано распределение по профилю интервалов, сложенных пироксеном (Hd), A-A – деталь профиля изображенная в увеличенном виде на рис. 11.

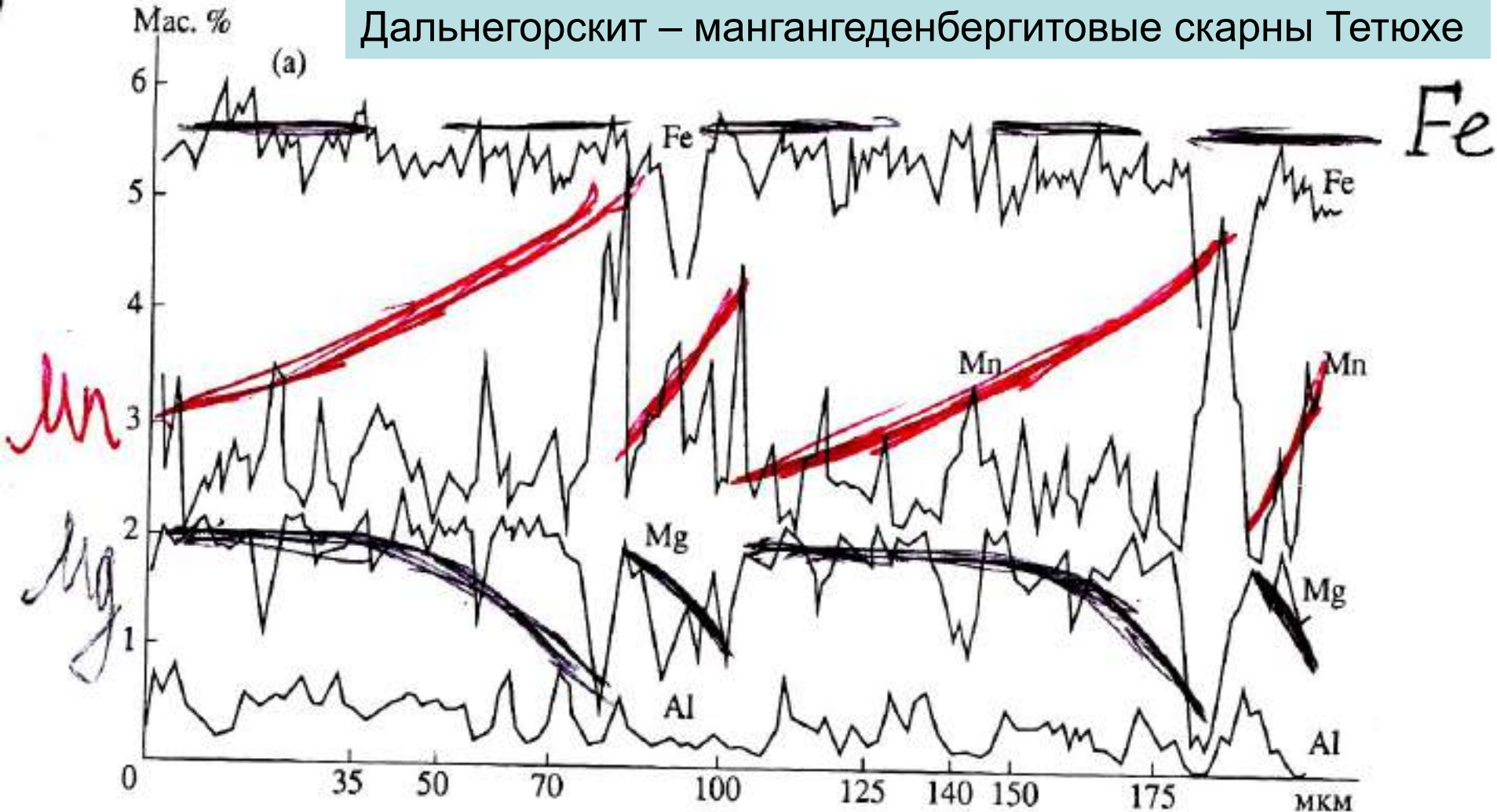
Формирование состава кристаллов

Закрытая система – без подпитки. Процесс многостадийный.

В каждом цикле постепенно, достаточно плавно концентрации марганца и магния в геденбергите изменяются однонаправленно.

Этот процесс повторяется неоднократно.

Дальнегорскит – мангангеденбергитовые скарны Тетюхе

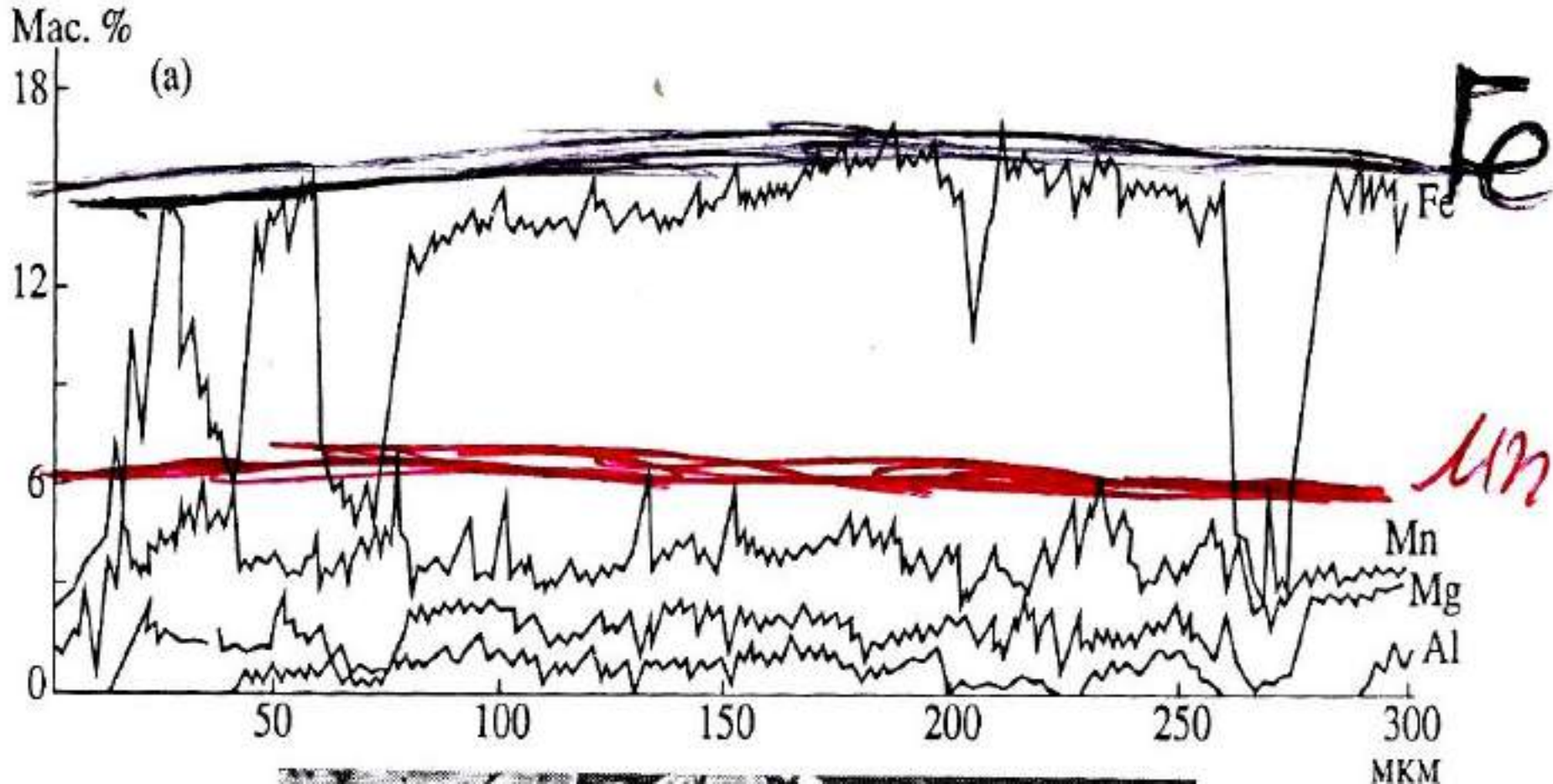


Формирование состава кристаллов

Открытая система – с подпиткой.

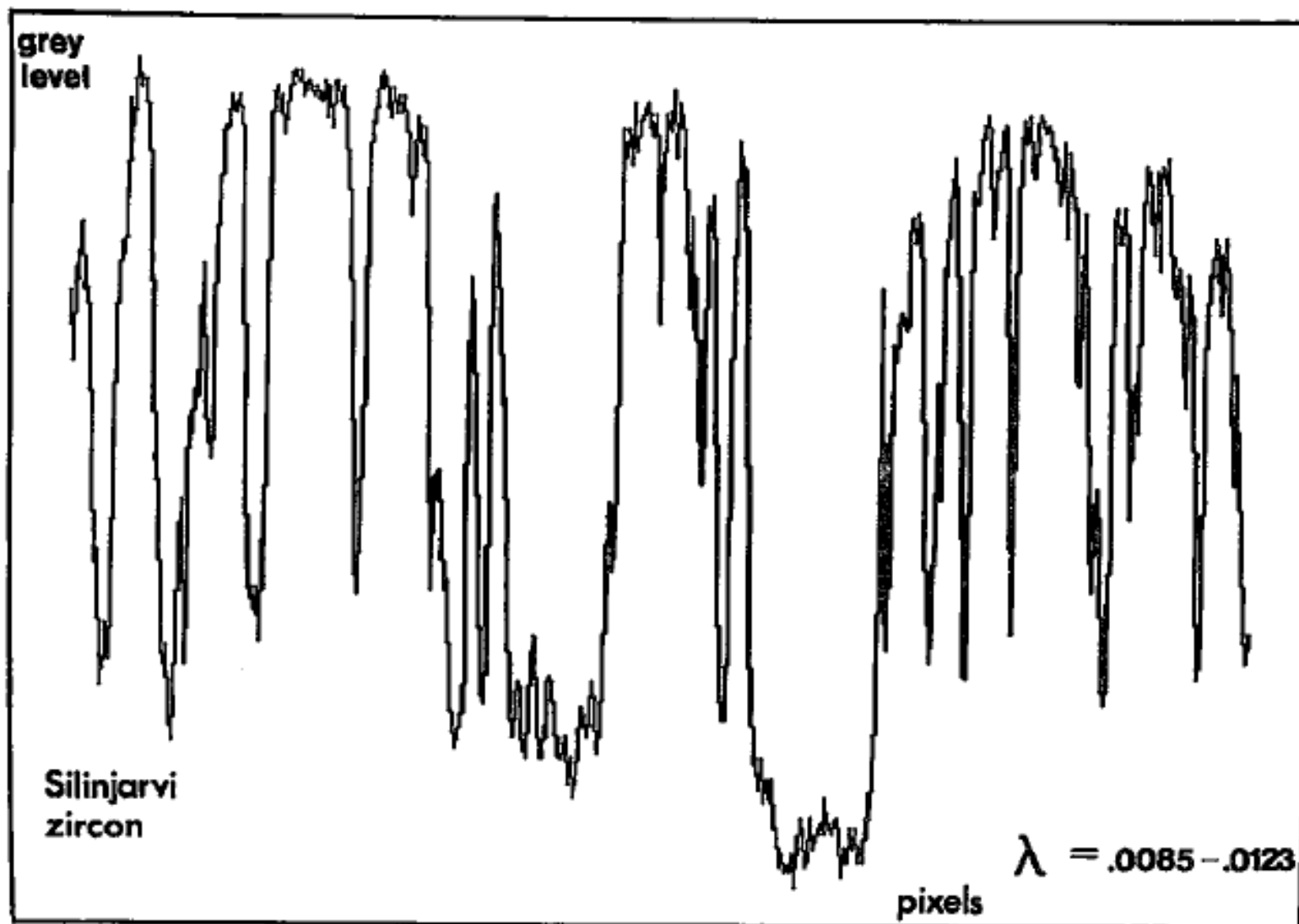
В целом, достаточно устойчивый состав геденбергита по всем главным компонентам. Типичная инфильтрационная «картина»

Дальнегорскит – мангангеденбергитовые скарны Тетюхе

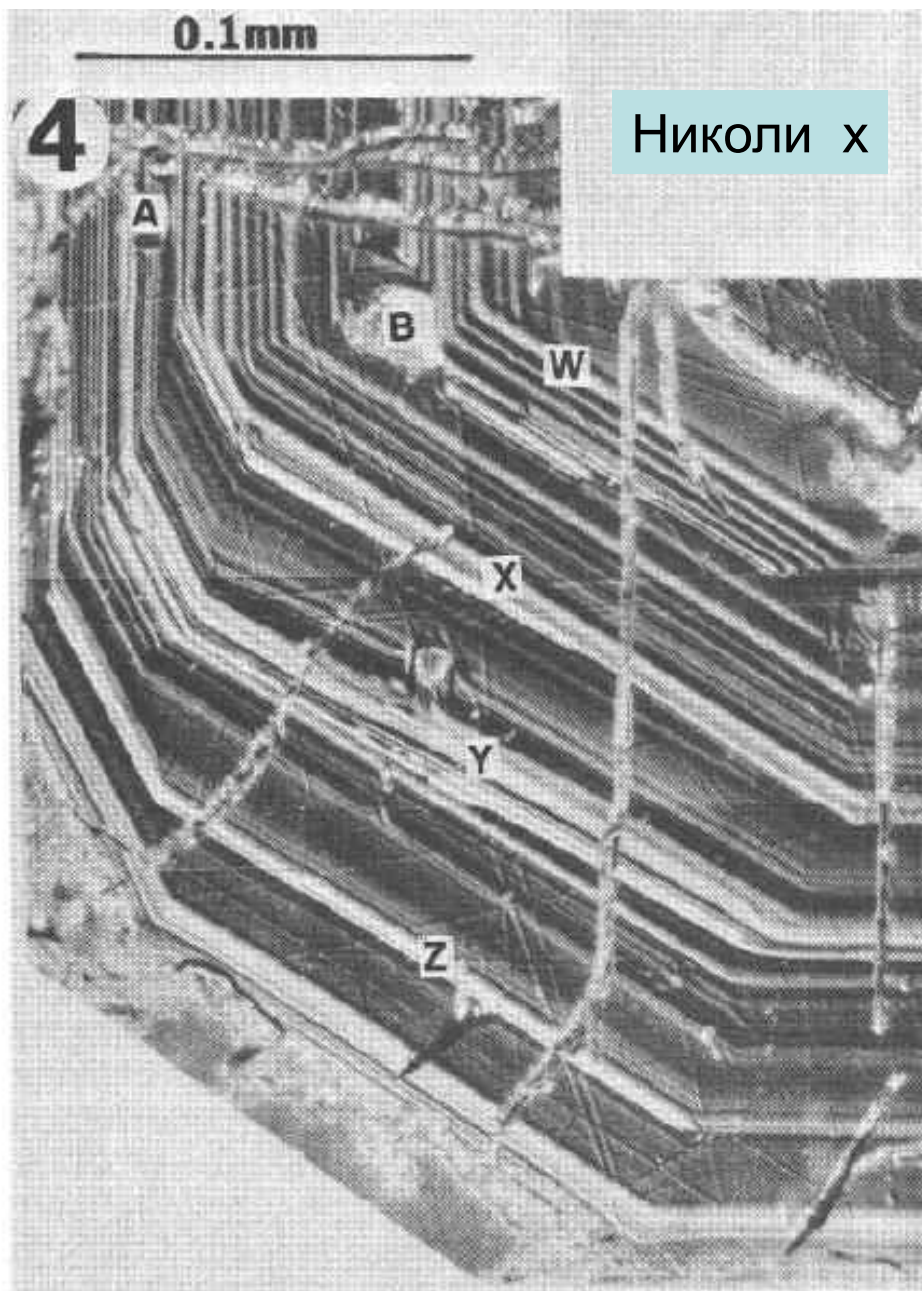


Формирование состава кристаллов

Осцилляционная зональность циркона



Осцилляционная зональность кристаллов



Осцилляционно-зональный
анортит – битовнит An_{90-83}
с каймой битовнита An_{75-70} .

Вкрапленник в
высокоAl базальтах.

Вулкан Фуего,

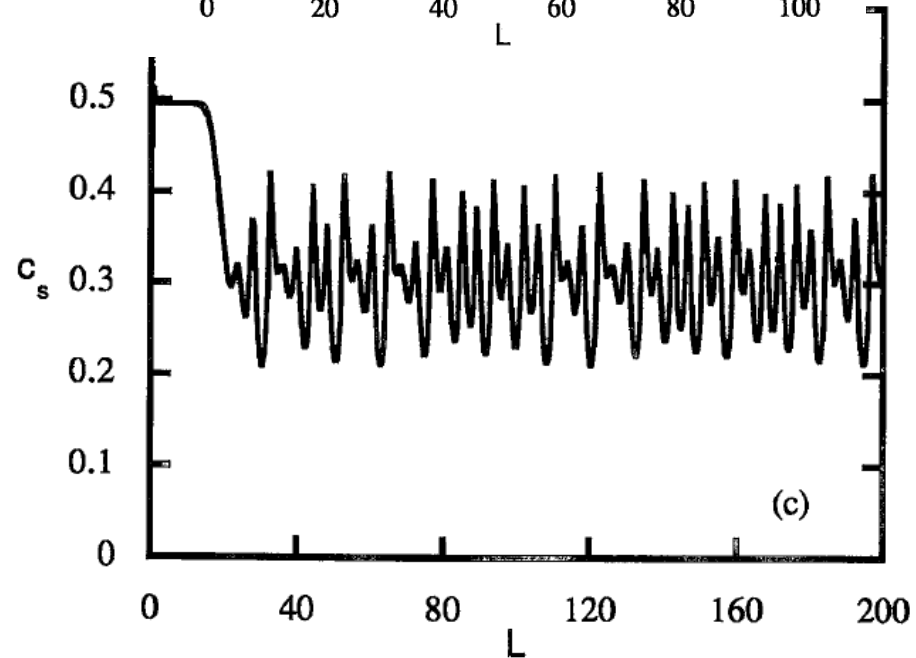
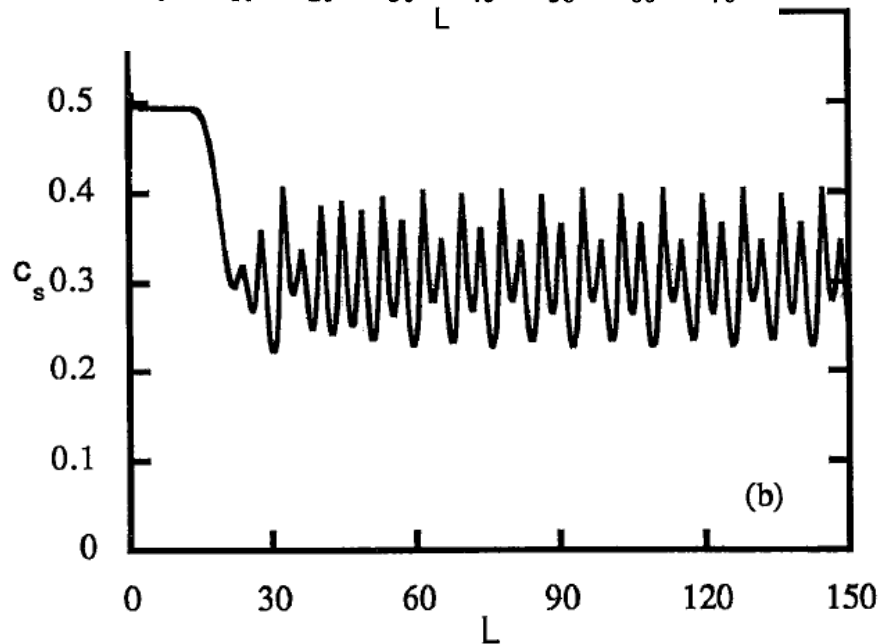
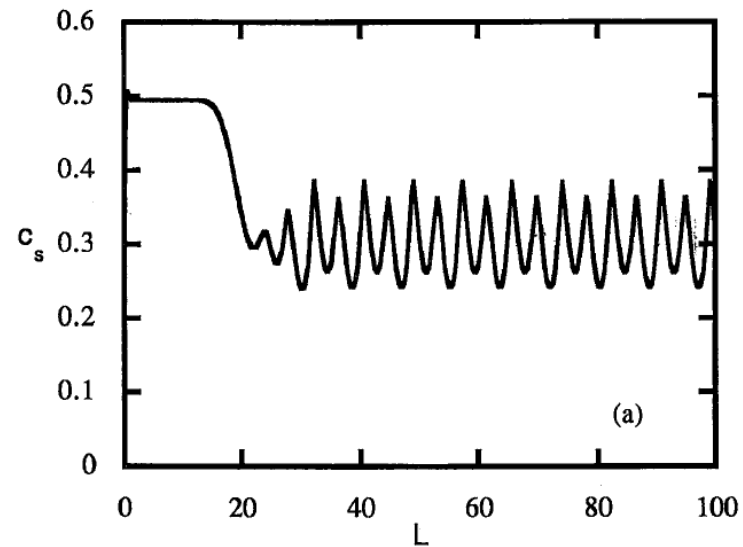
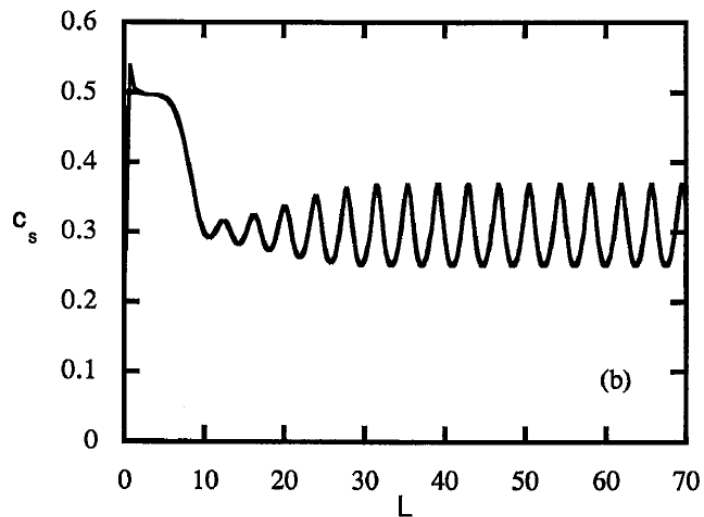
Гватемала.

Anderson A.T., 1984.

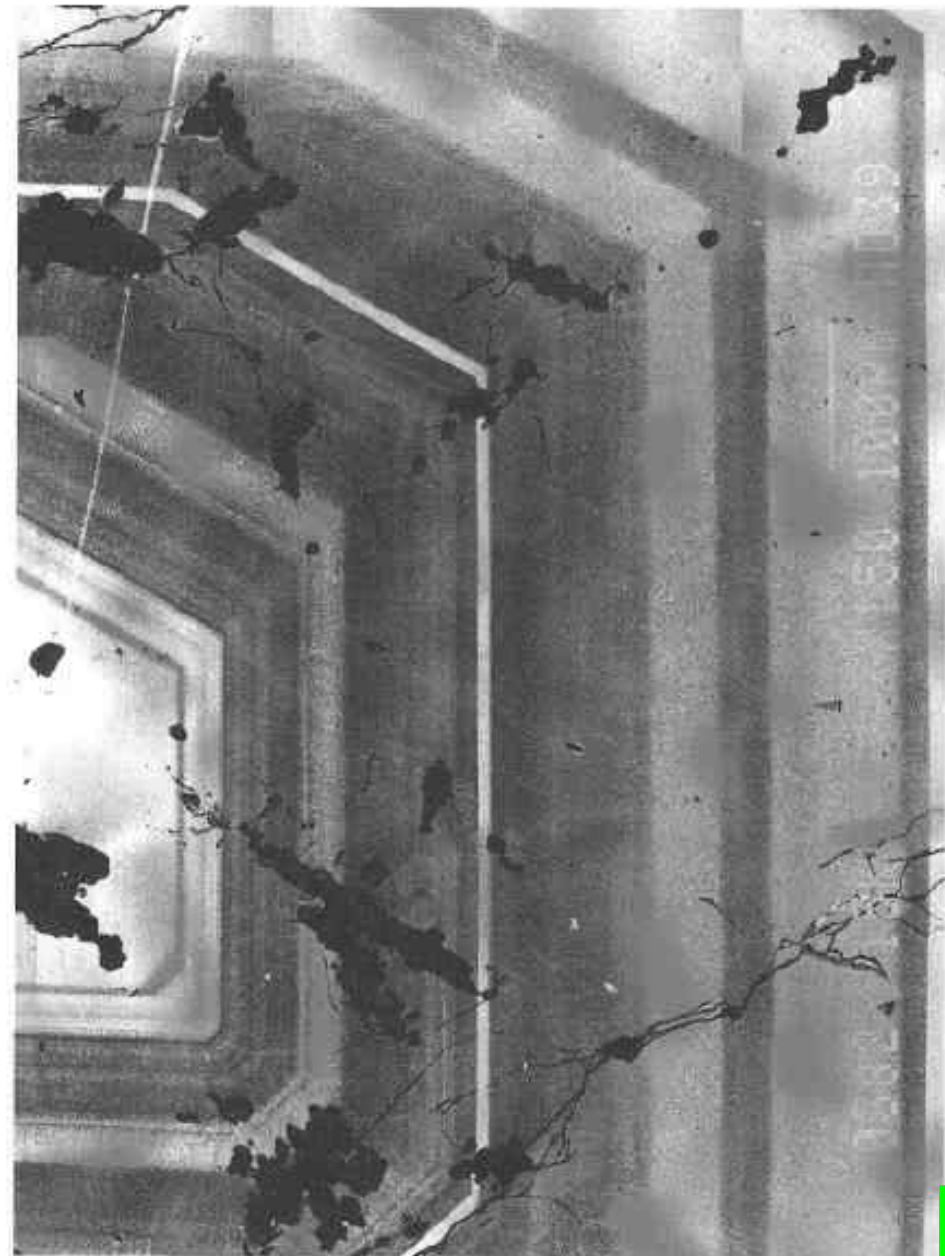
Amer. Mineral. Vol. 69. P. 660-676.

Формирование состава кристаллов

Типы осцилляционной зональности кристаллов плагиоклаза.



Осцилляционная зональность кристаллов



Осцилляционно-зональный
гранат
гидроандрадит - гроссуляр.

Светлые зоны обогащены миналом
андрадита,

тёмные – миналом гроссуляра.

Рифт Осло,

Южная Норвегия.

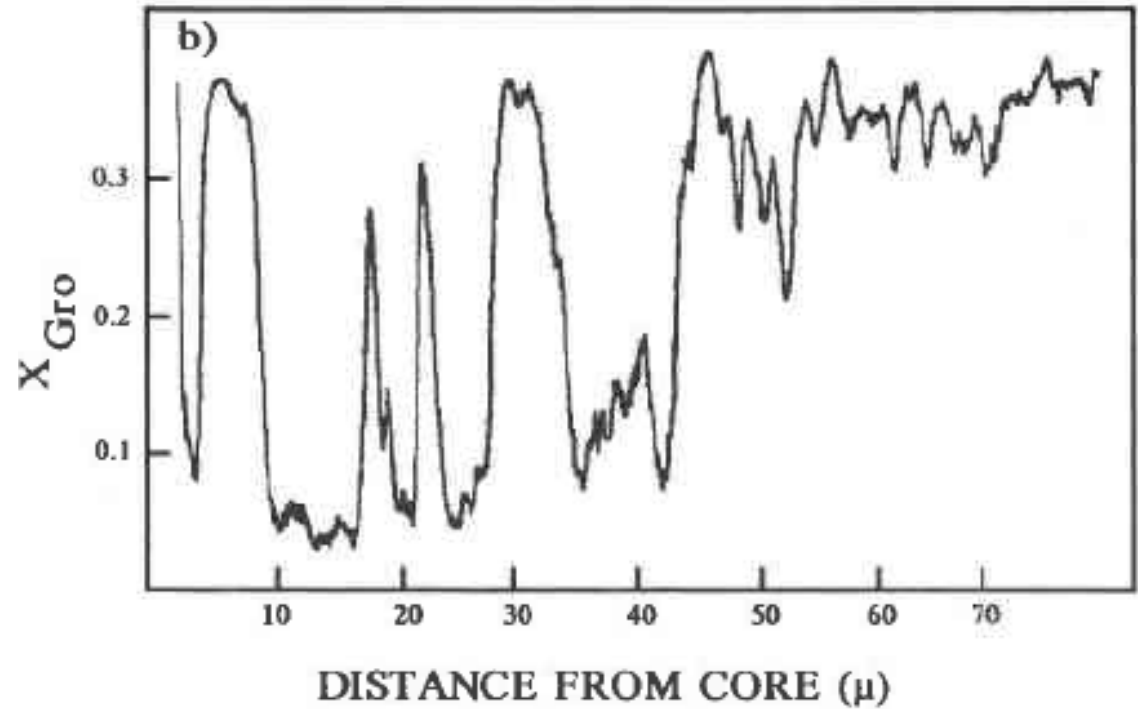
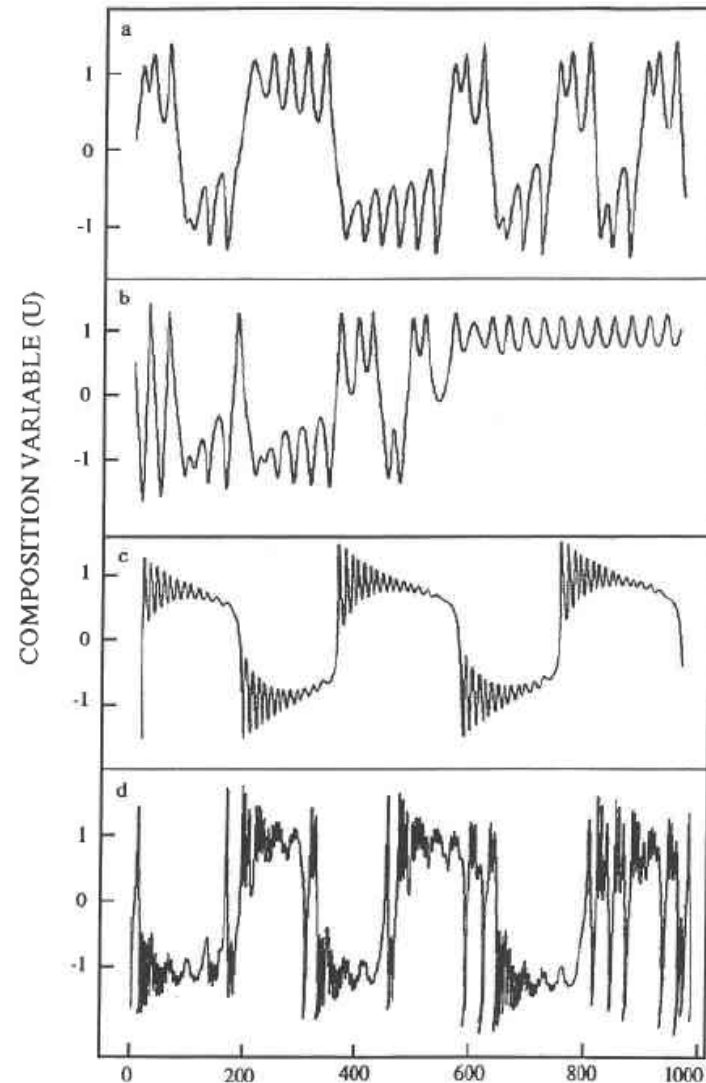
Holten T. et al., 1997.

Amer. Mineral. Vol. 82. P. 596-606.

В отражённых электронах

Формирование состава кристаллов

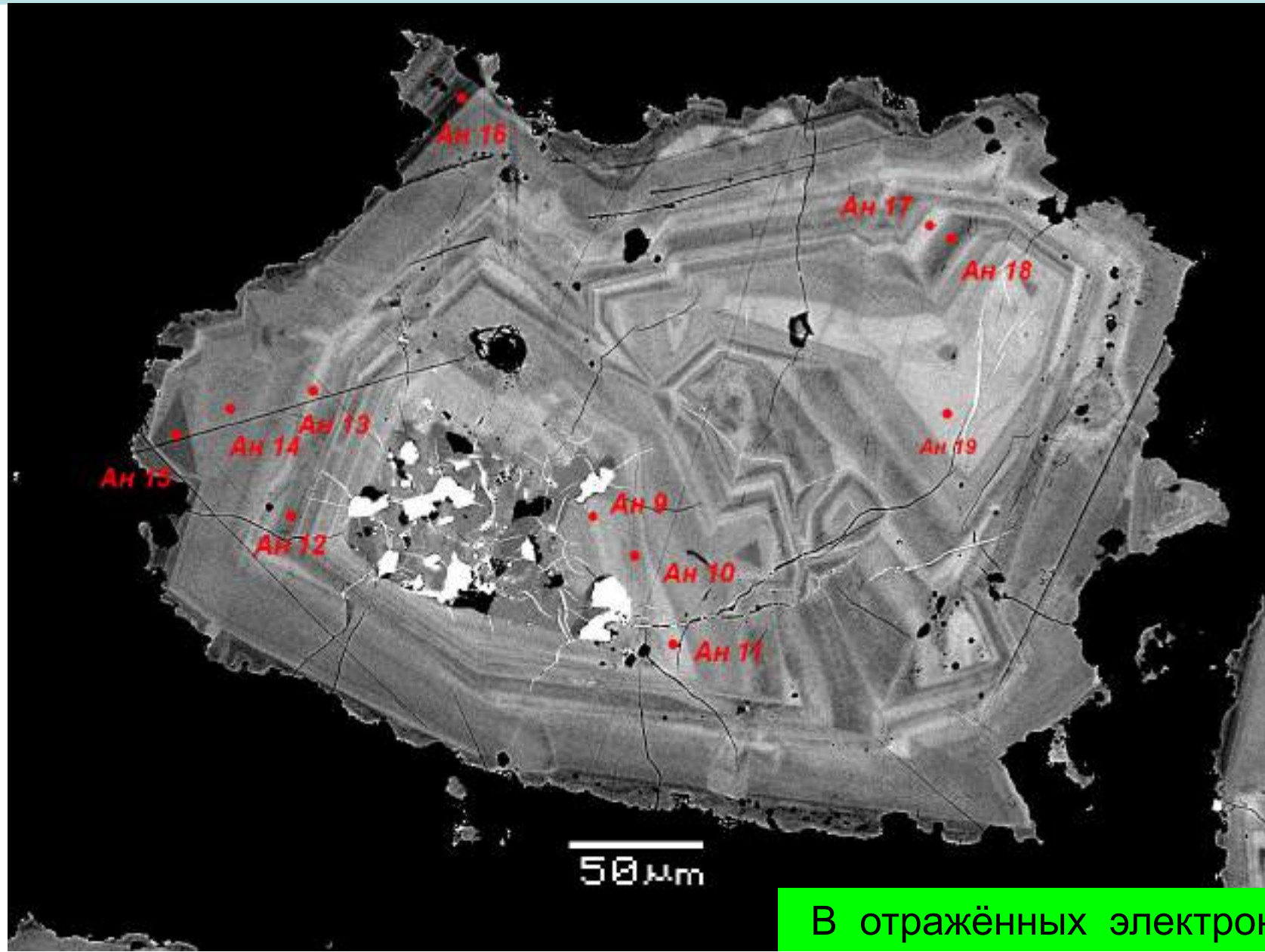
Типы осцилляционной зональности гидрогроссуляр-андрадита в родингитах рифта Осло, южная Норвегия.



Jamtveit B., 1991.
Amer. Mineral. Vol. 76. P. 1314-1327.

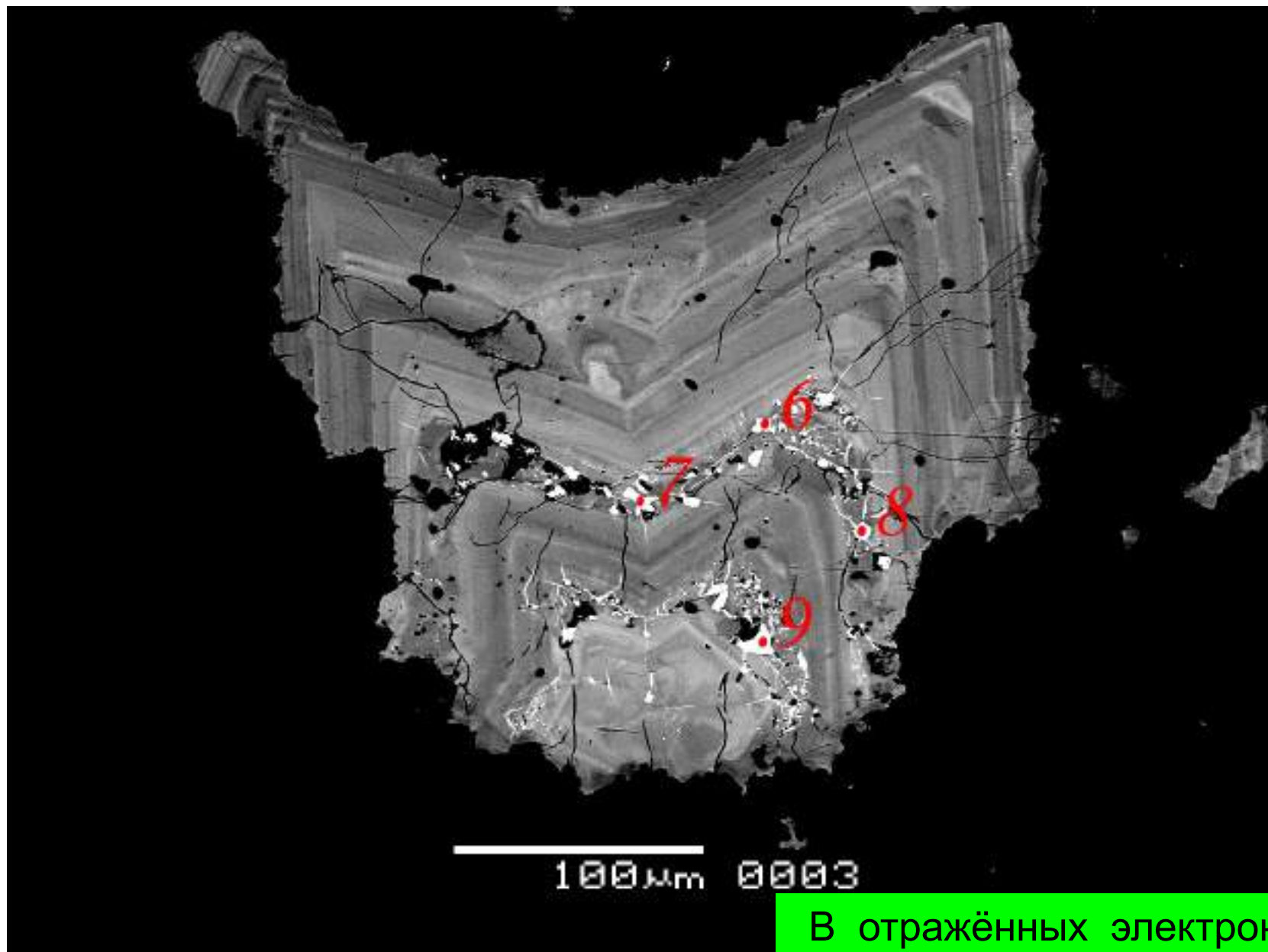
Осцилляционная зональность кристаллов

Селенисто-мышьяковистый голдфилдит. Озерновское, Камчатка



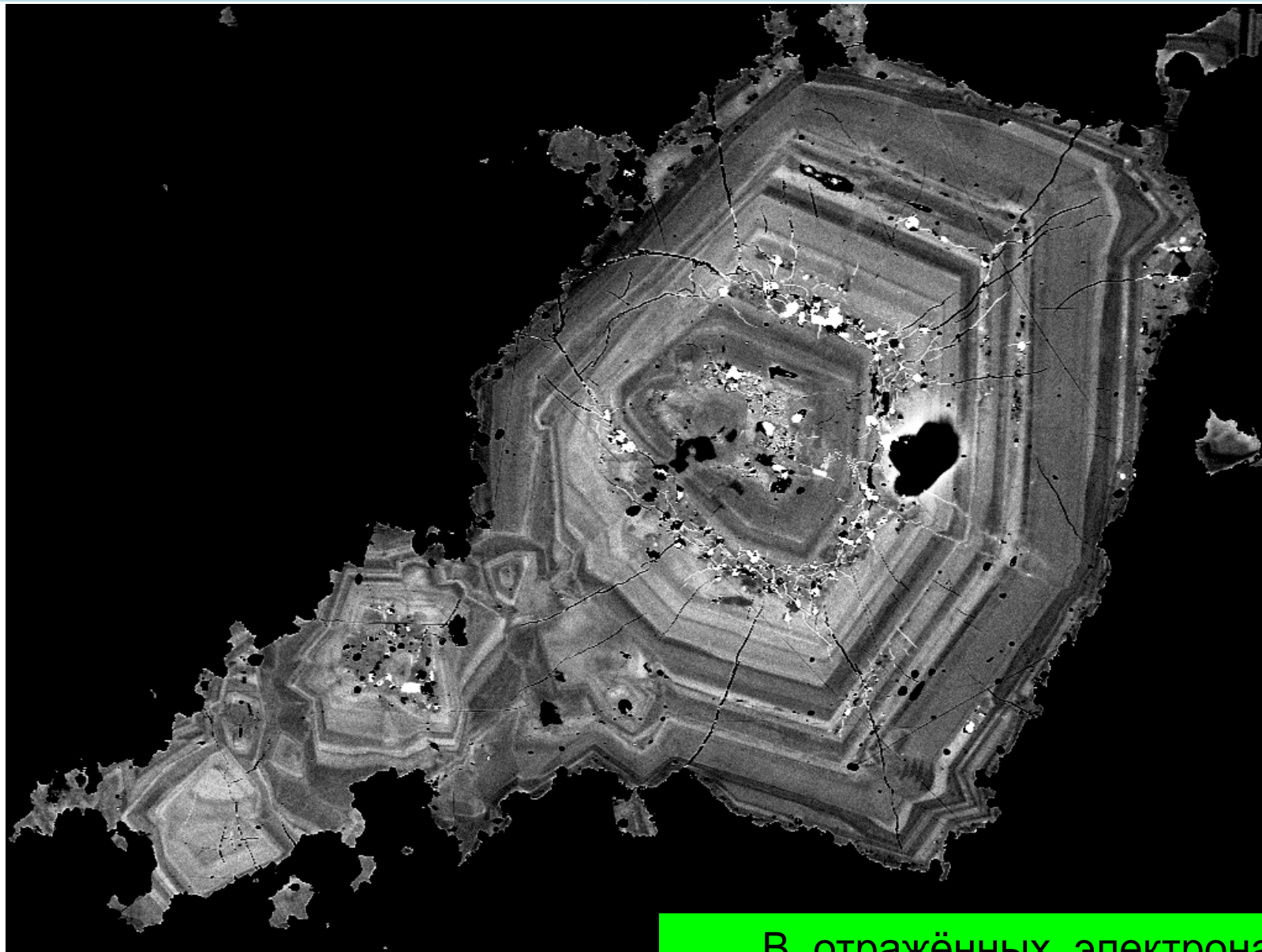
Осцилляционная зональность кристаллов

Селенисто-мышьяковистый голдфилдит. Озерновское, Камчатка



Осцилляционная зональность кристаллов

Селенисто-мышьяковистый голдфилдит. Озерновское, Камчатка

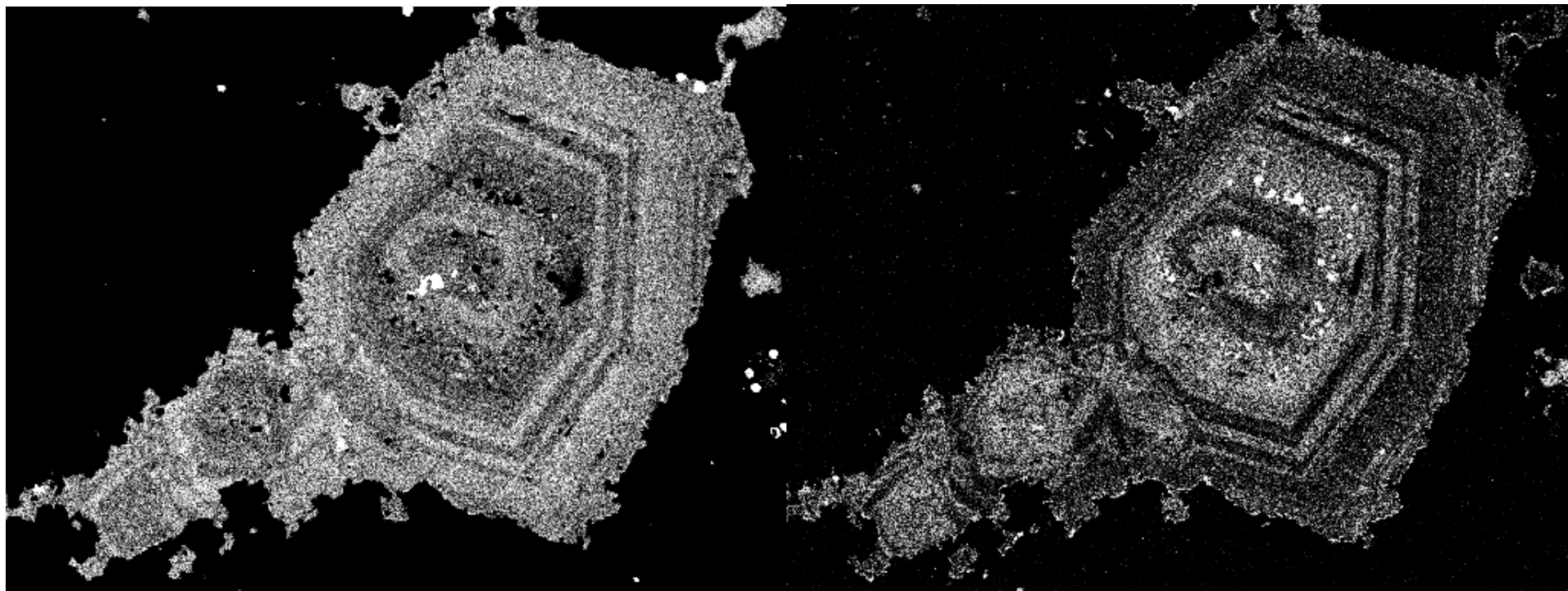


400µm

В отражённых электронах

Осцилляционная зональность кристаллов

Селенистый мышьяковистый голдфилдит. Озерновское, Камчатка



В характеристическом
рентгеновском излучении

S

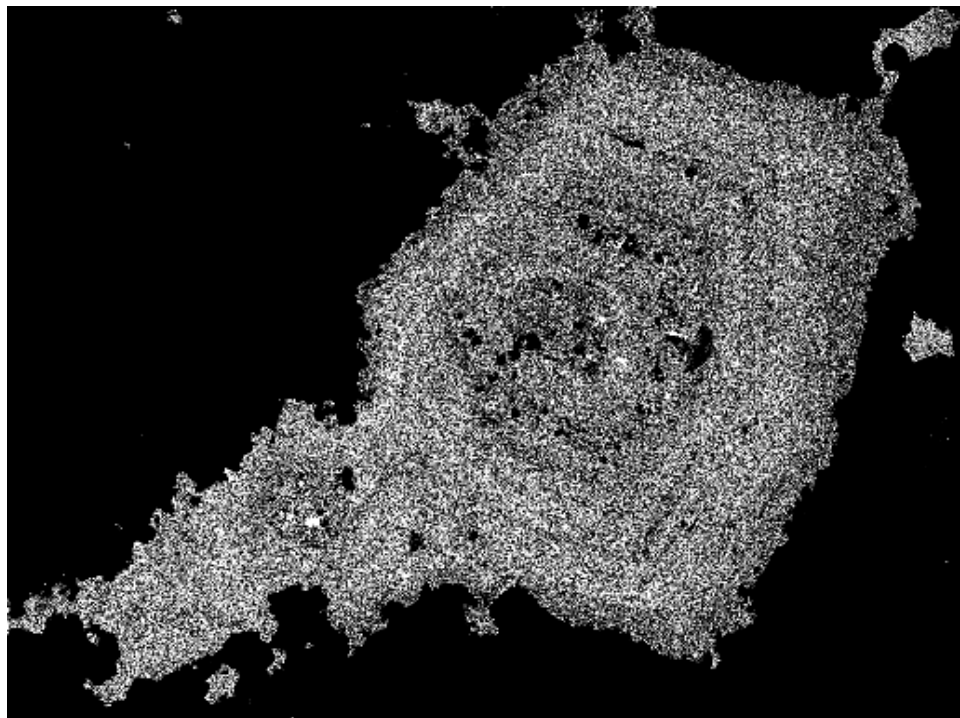
Великолепная
картина
изоморфизма
сера - селен

В характеристическом
рентгеновском излучении

Se

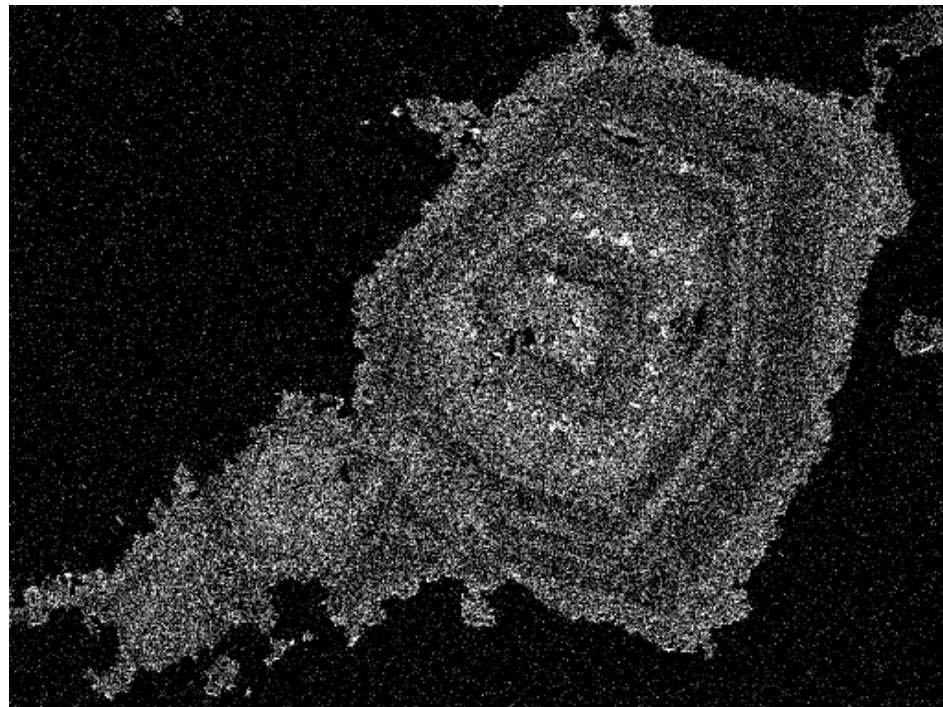
Осцилляционная зональность кристаллов

Селенисто-мышьяковистый голдфилдит. Озерновское, Камчатка



В характеристическом
рентгеновском излучении

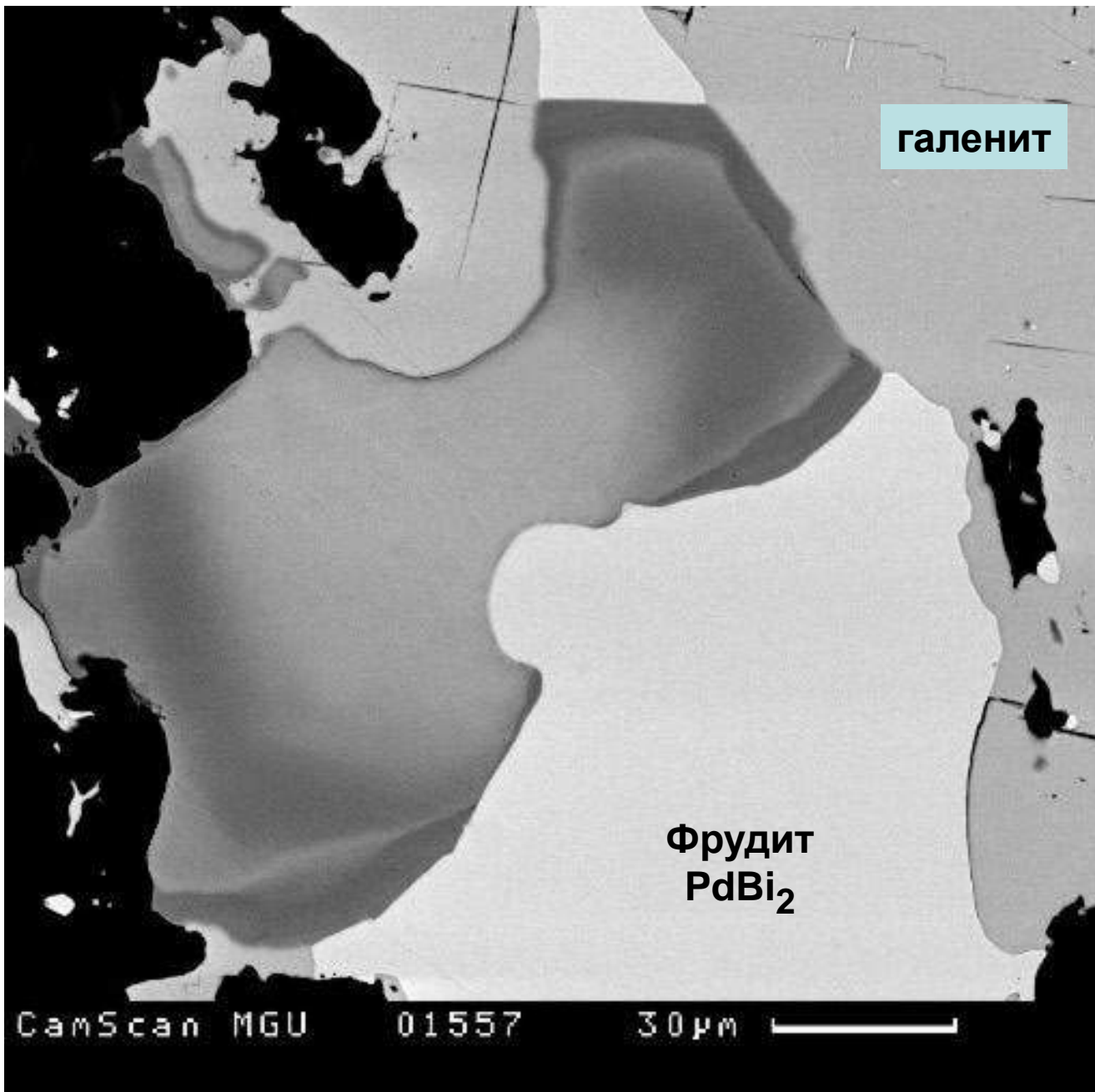
Te



В характеристическом
рентгеновском излучении

As

Великолепная
картина
изоморфизма
мышьяк - теллур



галенит

Фрудит
 PdBi_2

**Норильское
рудное поле.**

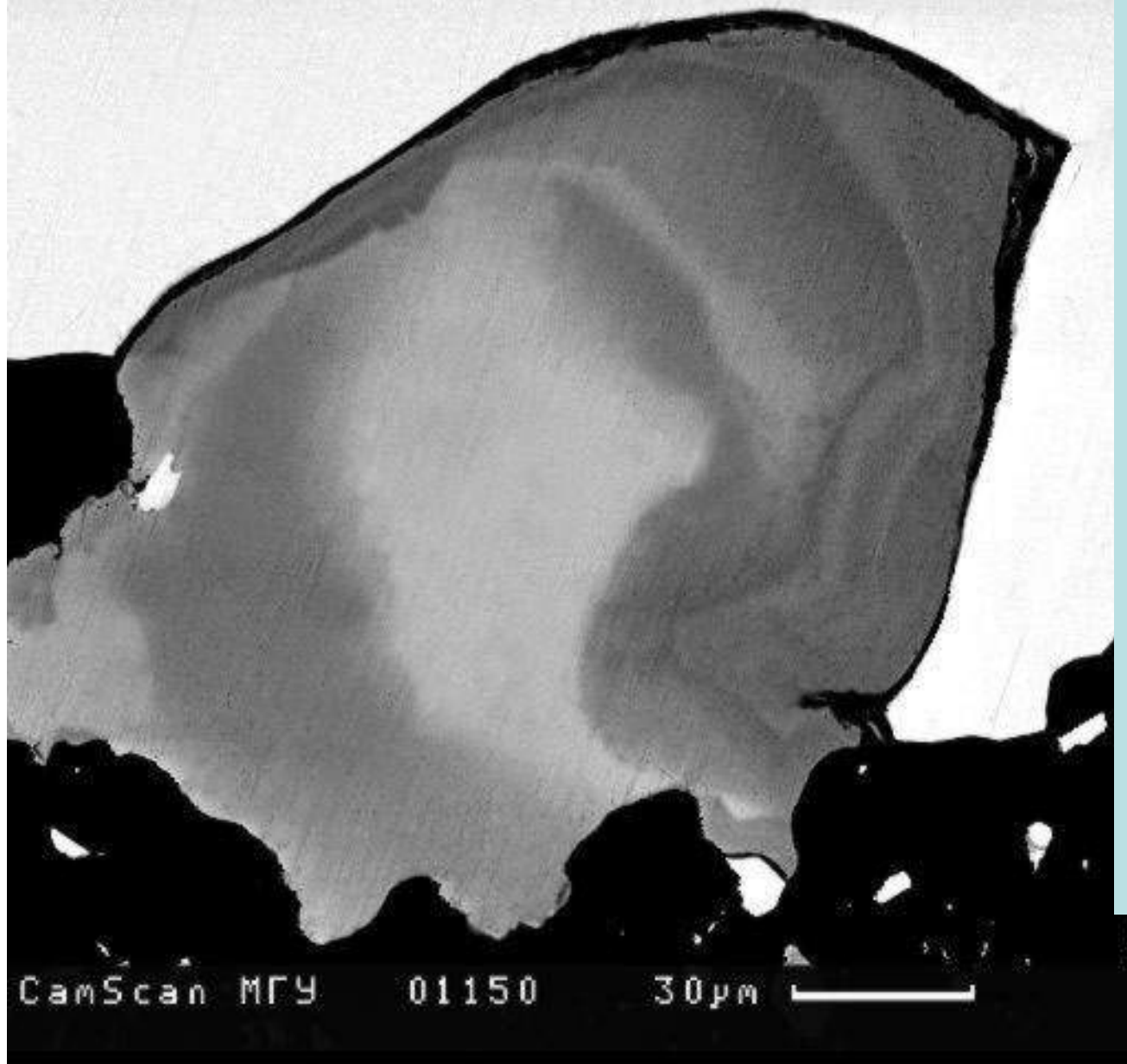
Месторождение
Октябрьское

**Золотина
с
осцилляционной
зональностью.**

В центре – электрум,
промежуточные зоны –
чередование электрума и
кюстелита,
внешняя зона – кюстелит

**Фотография в
отражённых
электронах**

фрудит



Норильское
рудное поле.
Месторождение
Октябрьское

**Золотина
с
осцилляционной
зональностью.**

В центре – электрум,
промежуточные зоны –
чередование
электрума и кюстелита,
внешняя зона – золото-
содержащее
серебро

**Фотография в
отражённых
электронах**



Фубу – филин. Фото с балкона ЭМС

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. Львов: изд. Львов. ун-та. 1961. 284 с.
2. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. Индивиды. М.: Наука. 1975. 339 с.
3. Краснова Н.И., Петров Т.Г. Генезис минеральных индивидов и агрегатов. Спб.: Невский курьер. 1997. 228 с.
4. Хейман Р.Б. Растворение кристаллов. Л.: Недра. 1979. 272 с.
5. Дымков Ю.М. Парагенезис минералов ураноносных жил. М.: Недра. 1985. 207 с.
6. Бакли Г. Рост кристаллов. М.: ИЛ, 1954. 406 с.
7. Белов Н.В. Очерки структурной минералогии. М.: Недра. 1976. 323 с.
8. Пунин Ю.О., Штукенберг А.Г. Автодеформационные дефекты кристаллов. СПб.: 2008. 318 с.
9. Goldschmidt V.M. Atlas der Kristallformen. Heidelberg: Winter. 1913. В. 1, 248 s. В. 2, Tafeln 251. 1916. В. 3, Tafeln 247. 1923. В. 9, Tafeln 128.
10. Болдырев А.К., Бетехтин А.Г., Годлевский М.Н., Григорьев Д.П., Киселёв А.И., Левицкий О.Д., Разумовский Н.К., Смирнов А.А., Соболев В.С., Соловьёв С.П., Успенский Н.М., Черных В.В., Шаталов Е.Т., Шафрановский И.И. Курс минералогии. М.-Л.: ОНТИ. 1936.
11. Бетехтин А.Г., Генкин А.Д., Филимонова А.А., Шадлун Т.Н. Текстуры и структуры руд. М.: Госгеолтехиздат. 1958. 436 с.
Бетехтин А.Г., Генкин А.Д., Филимонова А.А., Шадлун Т.Н. Структурно – текстурные особенности эндогенных руд. М.: Недра. 1964. 599 с.
12. Гегузин Я.Е. Живой кристалл. М.: Наука. 1987. 197 с.
13. Жабин А.Г. Онтогенез минералов (агрегаты). М.: Наука. 1979. 275 с.
14. Костов И. Минералогия. М.: Мир. 1971. 584 с.
15. Костов И., Минчева-Стефанова И. Сульфидные минералы. Кристаллохимия, парагенезисы, систематика. М.: Мир. 1984. 290 с.
16. Леммлейн Г.Г. Морфология и генезис кристаллов. М.: Наука. 1973. 328 с.
17. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: ИЛ. 1962. 1132 с.
18. Ребиндер П.А., Шукин Е.Д. Поверхностные явления в твёрдых телах в процессах их деформации и разрушения // Успехи физических наук. 1972. Т. 108. Вып. 1. С. 3-42.
19. Шафрановский И.И. Кристаллы минералов. Кривогранные, скелетные и зернистые формы. М.: Госгеолтехиздат. 1961. 332 с.
20. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. Л.: Наука. 1977. 291 с.
21. Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. М.: Техносфера. 2008. 232 с.
22. Спиридонов Э.М. Учебное пособие. Генетическая минералогия. Часть 1. Онтогенез и филогенез. Место изд. Электр. версия сайта кафедры минералогии геолог. ф-та МГУ [http://www.geol.msu.ru/deps/mineral/index%20\(35\).htm](http://www.geol.msu.ru/deps/mineral/index%20(35).htm)

Литература

- Алексеев Д.** О периодических явлениях при кристаллизации // Ж. Русского физ.-хим. об-ва. 1906. Т. 38. Вып. 7. С.1120-1123.
- Аншелес О.М.** О природе округлых форм алмаза. В кн.: Кристаллография и кристаллохимия. Л.: изд. АН СССР. 1954. С. 36-92.
- Аполлонов В.Н.** Механизм и условия роста ритмично построенных кристаллов // Докл. РАН. 1999. Т. 364. № 1. С. 94-96.
- Артемьев Д.Н.** Метод кристаллизации шаров и его применение при изучении формы и строения кристаллического вещества. Петроград. 1914. 247 с.
- Артюшков Е.В.** Основные формы конвективных структур в осадочных породах // Докл. АН СССР. 1963. Т. 153. С.412-415.
- Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.** Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск: Наука. 2001.
- Базаров И.П., Геворкян Э.В.** Статистическая теория твёрдых и жидких кристаллов. М.: изд. МГУ. 1983. 261 с.
- Бакуменко И.Т.** Закономерные кварц-полевошпатовые сростания в пегматитах и их генезис. М.: Наука. 1966. 172 с.
- Балыкин П.А., Кислов Е.В., Майорова О.Н. и др.** Орбикулярные породы из протерозойских ультрабазит-базитовых массивов Северного Прибайкалья // Геология и геофизика. 1987. С. 494-504.
- Барабанов В.Ф.** Минералогия вольфрамитовых месторождений Забайкалья. Т. 2. Л.: изд. ЛГУ. 1975. 360 с.
- Барабанов В.Ф.** Генетическая минералогия. Л.: Недра. 1977. 327 с.
- Барсанов Г.П.** К истории развития русской минералогии XVIII века // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1950. Вып. 2. С. -
- Безруков В.А., Безруков Г.Н., Бутузов В.П. и др.** Морфология кристаллов алмаза, синтезированных в широком интервале температур и давлений // Зап. ВМО. 1966. Ч. 95. Вып. 1. С. 3-9.
- Бельков И.В.** Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.-Л.: изд. АН СССР. 1963. 136 с.
- Берри Л., Мейсон Б., Дитрих Р.** Минералогия. М.: Мир. 1987. 592 с.
- Бескрованов В.В.** Онтогенез алмаза. М.: Наука. 1992. 166 с.
- Болдырев А.К.** Кристаллография. Ленинград-Москва-Грозный-Новосибирск: ОНТИ НКТП СССР. 1934. 432 с.
- Бонев И., Горова М.** Морфология и генезис на скелетниа галенит от оловно-цинкового находище Звездел - галенит // Тр. Геолог. ин-та Болгар. АН. Серия геохимия, минералогия, петрография. 1972. Кн. XXI. С. 63-76.
- Бочвар А.А.** Механизм и кинетика кристаллизации сплавов эвтектического типа. М.: ОНТИ. 1935. 82с.
- Бродин Б.В., Дымкова Г.А.** Структуры усадки гюбнерита, замещающего шеелит // Зап. ВМО. 1966. Вып. 5. С. 570-572.
- Бродская Р.Л.** Онтогенический анализ магматических горных пород // Минерал. ж. 1989. Вып. 5. С. 3-10.
- Бродская Р.Л., Бильская Л.И., Ляхницкая В.Д., Марковский Б.А., Сидоров Е.Г.** Границы сростания минеральных индивидов – зона вторичного минералогенезиса в агрегате // Зап. ВМО. 2007. Ч. 136. Вып. 3. С. 1-18.
- Брюшкова Л.П.** Геологические коллекции и их место в системе науки и культуры // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1986. Вып. 36. С. 187-193.
- Васильев В.И., Лаврентьев Ю.Г., Бердичевский Г.В.** О псевдоморфозах швацита по антимониту, халькостибиту и цинкентиту. В кн.: Минералы и парагенезисы минералов эндогенных месторождений. Л.: Наука. 1975. С. 112-117.

- Васильева А.И.** Морфологические особенности ритмических текстур и их роль в выяснении условий рудообразования. М.: Наука. 1970. 128 с.
- Васильева А.И., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н.** Распределение Mg и Mn в ритмических агрегатах и некоторые вопросы их генезиса. В кн.: Минералого-геохим. особенности скарновых месторождений. М.: Наука. 1974. С. 131-137.
- Вертушков Г.Н.** Разлистованный кварц с горы Хрустальной // Зап. ВМО. 1946. Ч. 75. Вып. 4.
- Вертушков Г.Н.** Сталактиты кварца в жеоде лимонита со Среднего Урала // Зап. ВМО. 1954. Ч. 83. Вып. 3.
- Вертушков Г.Н.** Гумёшевское месторождение малахита на Урале. В кн.: Минералогия и петрография Урала. Свердловск: 1975. С. 3-26.
- Вертушков Г.Н., Борисков Ф.Ф., Емлин Э.Ф.** Жильный кварц восточного склона Урала. Свердловск: 1970. 103 с.
- Вильке К.Т.** Методы выращивания кристаллов. М.: Недра. 1977. 600 с.
- Винчелл А.Н., Винчелл Г.** Оптическая минералогия. М.: ИЛ. 1953. 564 с.
- Вишняков С.Г.** Кремнистые образования в карбонатных породах нижнего и среднего карбона СЗ крыла Подмосковского бассейна // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1953. № 4. С. 80-90.
- Владимиров В.И., Романов А.Е.** Дисклинации в кристаллах. Л.: Наука. 1986. 224 с.
- Волостных Г.Т., Рундквист Д.В.** К изучению структур метасоматических пород // Тр. ВСЕГЕИ. 1979. Т. 287. С. 56-66.
- Вотяков С.Л., Щапова Ю.В., Хиллер В.В.** Кристаллохимия и физика радиационно-термических эффектов в ряде U-Th-содержащих минералов как основа для их химического микронзондового датирования. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН. 2011. 336 с.
- Гегузин Я.Е.** Очерки о диффузии в кристаллах. М.: Наука. 1974. 252 с.
- Гегузин Я.Е.** Механизмы и кинетика преобразований формы включений в кристаллах. В кн.: Проблемы современной кристаллографии. М.: Наука. 1975. С. 110-127.
- Генделев С.Ш.** Морфологическая классификация штриховки роста на кристаллах // Зап. ВМО. 1961. Ч. 90. Вып. 6. С. 629-636.
- Генезис минеральных индивидов и агрегатов. Онтогенез минералов (ред. Д.П. Григорьев). М.: Наука. 1966. 302 с.
- Гениш Г.** Выращивание кристаллов в гелях. М.: Мир. 1973. 112 с.
- Георгиевская О.Г.** К вопросу о генезисе ритмично-витиевато-полосчатой тектуры рудных тел некоторых контактово-метасоматических месторождений // Докл. АН СССР. 1955. Т. 101. № 5.
- Гиваргизов Е.И.** Рост нитевидных и пластинчатых кристаллов из пара. М.: Наука. 1977. 303 с.
- Гликин А.Э.** Полиминерально-метасоматический кристаллогенез. СПб.: Нева. 2004. 320 с.
- Гликин А.Э.** К генетической природе изоморфного механизма отбора компонентов при образовании кристаллов // Зап. РМО. 2007. Ч. 136. Вып. 2. С. 1-6.
- Гневушев М.А.** Следы травления и растворения на якутских алмазах // Минерал. сб. Львов. геол. об-ва. 1957. № 11.
- Годлевский М.Н., Немилова А.В.** Очерки по истории минералогии в России в XVIII в. // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1991. Вып. 37. С. 3-32.
- Годовиков А.А.** Минералогия. М.: Недра. 1983. 648 с.
- Годовиков А.А., Рипинен О.И., Степанов В.И.** Сферолиты, сферокристаллы, сфероидолиты, ядросферолиты // Тр. Минерал. музея РАН им. А.Е. Ферсмана. 1989. Вып. 36. С. 24-36.
- Горобец Б.С.** Спектры люминесценции минералов. М.: изд. ВИМС. 1981. 153 с.
- Горская М.Г., Пунин Ю.О., Соколов П.Б., Крецер Ю.А.** Неоднородность состава и гетерометрия в кристаллах полихромных турмалинов // Минерал. журнал. 1992. Т. 14. № 3. С. 8-20.
- Готтштайн Г.** Физико-химические основы материаловедения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2009. 400 с.
- Григорьев Д.П.** Закономерные сростания самарскита и колумбита с Ильменских гор // Зап. ВМО. 1945. Вып. 1. С. 57-61.

- Григорьев Д.П.** Минералогические отвесы и уровни // Природа. 1948. № 3. С. 47-49.
- Григорьев Д.П.** Генерации и зарождения минералов // Минерал. сб. Львов. геолог. об-ва. 1949. № 3. С. 13-22.
- Григорьев Д.П.** О генезисе натёчных или метаколлоидных колломорфных агрегатов минералов // Зап. ВМО. 1953. Ч. 82. Вып. 1. С. 7-21.
- Григорьев Д.П.** О проявлении спайности кварца в природе // Зап. ВМО. 1958. Ч. 87. Вып. 4. С. 418-422.
- Григорьев Д.П.** Естественные объекты минералогии: минеральные индивиды и минеральные виды // Зап. ВМО. 1975. Ч. 104. Вып. 4. С. 513-514.
- Григорьев Д.П.** Морфология скелетных кристаллов во фрагменте шпинелевого троктолита, доставленного автоматической станцией «Луна-20» // Докл. АН СССР. 1975. Т. 225. № 2. С. 403-405.
- Григорьев Д.П.** Сравнительно-исторический анализ при изучении генезиса минералов и минеральных месторождений // Зап. ВМО. 1982. Ч. 116. Вып. 4. С. 422-431.
- Григорьев Д.П.** Рассуждения о минералогии. Сыктывкар: Геопринт. 1998. 88 с.
- Григорьев Д.П., Буканов В.В., Маркова Г.А.** Синхронизация процессов кристаллизации по зональности кристаллов // Докл. АН СССР. 1969. Т. 185. № 5. С. 1129-1132.
- Григорьев Д.П., Карякина Т.А.** О кристаллизации кварца в халцедоновых жеодах // Минерал. сб. Львов. Геол. Об-ва. 1962. № 16. С. 106-112.
- Григорьев Д.П., Маркова Г.А.** Фотометрическое исследование зонального и секториального строения мусковита. В кн.: Проблемы кристаллологии. М.: изд. МГУ. 1971. С. 171-178.
- Григорьев Д.П., Шафрановский И.И.** Эпитаксическое нарастание кварца на полевой шпат // Зап. ВМО. 1946. Вып. 4. С. 265-272.
- Григорьев И.Ф.** Структуры минеральных сростаний в рудах // Зап. ВМО. 1928. Ч. 57. Вып. 1. С. 11-60.
- Грицаенко Г.С., Звягин Б.Б., Боярская Р.В.** Методы электронной микроскопии минералов. М.: Наука. 1969. 312 с.
- Грот П.** Физическая кристаллография. СПб.: изд. К.Л. Риккера. 1896. 850 с.
- Гуревич Ю.Я.** Твёрдые электролиты. М.: Наука. 1986. 174 с.
- де Бур Я.Х.** Динамический характер адсорбции. М.: ИЛ. 1962. 290 с.
- Делоне Н.Б.** Основы физики конденсированного вещества. М.: Физматлит. 2011. 236 с.
- Дёмина Т.В., Михайлов М.А., Белозёрова О.Ю.** Синтетические минералы группы берилла: связь симметрии и упорядоченности структуры с химическим составом и анатомией кристаллов // Зап. ВМО. 2003. Ч. 132. Вып. 5. С. 1-21.
- Джексон К.** Основные представления о росте кристаллов. В кн.: Проблемы роста кристаллов. М.: Мир. 1968. С. 13-26.
- Дистлер Г.И.** Кристаллизация как матричный репликационный процесс // Рост кристаллов. Т. 11. Ереван: изд. Ереванского ун-та. 1975. С. 47-62.
- Дорфман М.Д.** Сростки кристаллов ильменита типа розы в Хибинском щелочном массиве // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1973. Вып. 22. С. 195-198.
- Дымкин А.М., Пермьяков А.А.** Онтогенез магнетита. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1984. 189 с.
- Дымков Ю.М.** Графическое изображение минерального состава сложных пегматитовых жил // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1951. Вып. 3. С. 135-138.
- Дымков Ю.М.** Одновременный совместный рост кристаллов и сферолитов // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1957. Вып. 8. С. 150-154.
- Дымков Ю.М.** Урановая минерализация Рудных гор. М.: Атомиздат. 1960. 100 с.
- Дымков Ю.М.** Одновременный совместный рост выделений настурана и сопровождающих его минералов // Зап. ВМО. 1962. Ч. 91. Вып. 3. С. 299-306.
- Дымков Ю.М.** Природа урановой смоляной руды. Вопросы генетической минералогии. М.: Атомиздат. 1973. 240 с.

- Дымков Ю.М.** Гравитационные текстуры минеральных агрегатов. В кн.: Онтогенез минералов в практике геолог. работ. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1984. С. 13-23.
- Дымков Ю.М., Дымкова Г.А.** Признаки многократного растворения кристаллов берилла. В кн.: Онтогенезические методы изучения минералов. М.: Наука. 1970. С. 109-123.
- Дымков Ю.М., Дымкова Г.А., Федорова И.Ю.** Периодические гравитационные текстуры в никелин-раммельсбергитовых отстойниках баритовых жил Рудных Гор // Минерал. ж. 1991. Т. 13. № 1. С. 87-94.
- Дымков Ю.М., Казанцев В.В., Любченко В.А.** Крустификационные карбонатные жилы уран-арсенидного месторождения. В кн.: Месторождения урана: зональность и парагенезисы. М.: Атомиздат. 1970. С. 205-243.
- Дымков Ю.М., Слётов В.А.** Совместное образование кристаллов и зернистых агрегатов в гидротермальных отстойниках // Тр. Минерал. музея СССР. 1981. Вып. 29. С. 54-59.
- Еремеев П.В.** О двойниках алмаза из Бразилии // Зап. МО. 1871. Ч. 6. С. 408-410.
- Ермаков Н.П.** Исследования минералообразующих растворов. Харьков: изд. Харьков. университета. 1960. 460 с.
- Ермаков Н.П.** Геохимические системы включений в минералах. М.: Недра. 1972. 376 с.
- Жабин А.Г.** Метакристаллы и критерий относительного идиоморфизма минералов. В кн.: Генезис минеральных индивидов и агрегатов. М.: Наука. 1966. С. 34-50.
- Жабин А.Г.** Гравитационные текстуры рудоотложения в свинцово-цинковом месторождении Квайса (Центральный Кавказ) // Докл. АН СССР. 1980. Т. 251. С. 674-676.
- Жабин А.Г.** Сфалеритовые сталактиты в эндогенных свинцово-цинковых рудах Квайсинского поля (Центральный Кавказ) // Геология рудных месторождений. 1983. Т. 25. № 4. С. 115-118.
- Жабин А.Г.** Топоминералогия рудного месторождения // Зап. ВМО. 1992. Ч. 121. Вып. 2. С. 117-118.
- Жабин А.Г., Оттеман И.** Онтогенез хромито-оливиновой эвтектики в дунитах. В кн.: Очерки по генетической минералогии. М.: Наука. 1976. С. 111-125.
- Жабин А.Г., Русинов В.Л.** Классификация и генезис псевдоморфоз // Зап. ВМО. 1973. Вып. 3. С. 241-253.
- Захарова Г.С., Волков В.Л., Ивановская В.В. и др.** Нанотрубки и родственные наноструктуры оксидов металлов: синтез и моделирование // Успехи химии. 2005. Т. 74. С. 651-685.
- Заячковский А.А., Надеждина Е.Д.** Морфология алмазов из тектонитов в метаморфических породах (Казахстан, месторождение Кумды-Куль). Алма-Ата. 1997. 100 с.
- Земятченский П.А.** Этюды по кристаллогенезису: I // Зап. Императ. АН по физ-мат. отд. СПб. 1909. Т. 24. № 8. С. 1-37.
- Земятченский П.А.** Этюды по кристаллогенезису: II // Зап. Императ. АН по физ-мат. отд. СПб. 1911. Т. 30. № 3. С. 1-19.
- Земятченский П.А.** Этюды по кристаллогенезису: III // Зап. Императ. АН по физ-мат. отд. Петроград. 1914. Т. 33. № 4. С. 1-72.
- Земятченский П.А.** Этюды по кристаллогенезису: IV // Зап. Императ. АН по физ-мат. отд. Петроград. 1914. Т. 33. № 5. С. 1-13.
- Инденбом В.Л.** Дислокационное описание простейших явлений пластической деформации. В кн.: Итоги науки. Физико-математические науки. Т. 3. М.: изд. АН СССР. 1960. С. 117-158.
- Инденбом В.Л.** К теории образования напряжений и дислокаций при росте кристаллов // Кристаллография. 1964. Т. 9. № 1. С. 74-83.
- Инденбом В.Л.** Роль упругого взаимодействия в явлениях эпитаксии // Рост кристаллов. Т. XI. Ереван: изд. ЕГУ. 1975. С. 62-64.
- Инденбом В.Л., Томиловский Г.Е.** Внутренние напряжения вокруг единичных дислокаций // Докл. АН СССР. 1957. Т. 115. № 4. С. 723-726.

- Инденбом В.Л., Томиловский Г.Е.** Макроскопические краевые дислокации в кристалле корунда // Кристаллография. 1957. Т. 2. № 1. С. 190-192.
- Иоффе А.Ф.** Упругие и электрические свойства кварца // Изв. Петроград. Политехнич. ин-та. 1915. Т. 24. Вып. 1. С. 1-126.
- Исаенко М.П.** Определитель текстур и структур руд. М.: Недра. 1983. 261 с.
- Кан Р.У.** Возврат и рекристаллизация. В кн.: Физическое металловедение. М.: ИЛ. 1968. Вып. 3. С. 371-442.
- Кантор Б.З.** К проблеме генезиса агатов (новые данные) // Тр. Минерал. музея РАН им. А.Е. Ферсмана. 2006. Вып. 41. С. 145-153.
- Карножицкий А.Н.** Об оптических аномалиях берилла // Зап. Имп. СПб. Минерал. об-ва. 1891. Ч. 27. С. 1-14.
- Кизильштейн Л.Я., Минаева Л.Г.** Происхождение фрамбоидальных форм пирита // Докл. АН СССР. 1972. Т. 206. С. 1187-1189.
- Киттель Ч.** Введение в физику твёрдого тела. М.: Наука. 1978. 792 с.
- Китайгородский А.И.** Молекулярные кристаллы. М.: Наука. 1971. 424 с.
- Классен-Неклюдова М.В.** Механическое двойникование кристаллов. М.: изд. АН СССР. 1960. 262 с.
- Ковтуненко П.В.** Физическая химия твёрдого тела (кристаллы с дефектами). М.: Высшая школа. 1993. 352 с.
- Козлова О.Г.** Рост и морфология кристаллов. М.: изд. МГУ. 1980. 368 с.
- Козлова О.Г.** Морфолого-генетический анализ кристаллов. М.: МГУ. 1991. 224 с.
- Козлова О.Г., Харитонов Ю.А., Белов Н.В.** Гипоморфия и гиперморфия // Докл АН СССР. 1979. Т. 247. С. 100-106.
- Козловский М.И.** Спиральный рост и растворение кристаллов // Рост кристаллов. 1960. Т. 3. С. 101-106.
- Колонг Р.** Нестехиометрия. М.: Мир. 1974. 288 с.
- Кораго А.А.** Использование кристалломорфологии кварца из развалов для определения залегания хрусталеносных гнёзд // Зап. ВМО. 1968. Ч. 97. Вып. 5. С. 637-640.
- Кораго А.А., Козлов А.В.** Текстуры и структуры жильного кварца хрусталеносных областей. Л.: Недра. 1988. 160 с.
- Кормилицын В.С.** Рудные формации и процессы рудообразования. Л.: Недра. 1973. 247 с.
- Корнетова В.А.** Атлас текстур и структур гранитных пегматитов. М.: Наука. 1983. 124 с.
- Корнилова В.П., Никишов К.Н., Ковальский В.В., Никишова Л.В. и др.** Атлас текстур и структур кимберлитовых пород. М.: Наука. 1983. 158 с.
- Краснова Н.И., Петров Т.Г., Золотарёва Н.Ю.** Экспериментальное изучение собирательной перекристаллизации // Минерал. журнал. 1985. Т. 6. № 4. С. 66-73.
- Крейг Дж., Воган Д.** Рудная микроскопия и рудная петрография. М.: Мир. 1983. 424 с.
- Кротов Б.П.** О псевдоморфозах по каменной соли // Зап. ВМО. 1925. Вып. 1. С. 25-31.
- Кузнецов В.И., Харин Г.Г.** К вопросу о механизме роста полых кристаллов сульфида цинка // Минерал. сб. Львов. ун-та. 1969. № 23. Вып. 2. С. 188-192.
- Кузнецов Е.А., Чжао-Лин Ли** Дисперсия двупреломления, химический состав и структура берилла // Вестник МГУ. Серия геол. 1960. № 6. С. 46-58.
- Кузьмина М.А., Пунин Ю.О., Каменцев И.Е.** Особенности внешней и внутренней морфологии скрученных кристаллов кварца // Зап. ВМО. 1987. Ч. 116. Вып. 4. С. 445-453.
- Кузьмина М.А., Пунин Ю.О., Мошкин С.В., Карякина Т.А.** Гетерометрия и дефектность кристаллов кварца из гидротермальных жил Урала // Зап. ВМО. 1997. Ч. 126. Вып. 4. С. 30-43.
- Кунц А.Ф.** Типоморфные особенности природных и искусственных кристаллов СаF₂. В кн.: Геология и полезные ископаемые Северо-Востока Европейской части СССР. Сыктывкар: Коми Филиал АН СССР. 1974. С. 156-162.
- Кухаренко А.А.** Об округлых кристаллах алмаза // Уч. зап. Ленинград. ун-та. 1954. № 173. С. 96-136.

Кухаренко А.А. Алмазы Урала. М.: Госгеолтехиздат. 1955. 555 с.

Кюри П.О. О симметрии в физических явлениях. Избр. тр. М.-Л.: Наука. 1966. 399 с.

Лазаренко Е.К. Опыт генетической классификации минералов. Киев: Наукова Думка. 1979. 312 с.

Лазаренко Е.К., Павлишин В.И., Латыш В.Г. Минералогия и генезис камерных пегматитов Вольни. Львов: изд. Львов. ун-та. 1973. 360 с.

Ланда Э.А. К вопросу об условиях образования метакристаллов и бластокристаллов // Тр. ВСЕГЕИ. 1979. Вып. 287. С. 43-56.

Лапин А.В., Жабин А.Г. Нодулярные текстуры хромита в дуните как результат неравновесной эвтектической кристаллизации // Докл. АН СССР. 1965. Т. 163. С. 1240-1243.

Левинсон-Лессинг Ф.Ю., Воробьева О.А. К изучению орбикулярных структур в изверженных породах // Докл. АН СССР. 1929. С. 351-356.

Леммлейн Г.Г. Искажение облика кристаллов кварца, обусловленное их положением во время роста // Докл. АН СССР. 1941. Т. 33. С. 415-418.

Леммлейн Г.Г. Процесс геометрического отбора в растущем агрегате кристаллов // Докл. АН СССР. 1945. Т. 48. № 3. С. 177-180.

Леммлейн Г.Г. О нарастании кварца на халцедон. В кн.: Акад. Д.С. Белянкину к 70-летию со дня рождения и 45-летия научной деятельности. М.: изд. АН СССР. 1946. С. 130-139.

Леммлейн Г.Г. Секториальное строение кристаллов. М.-Л.: изд. АН СССР. 1948. 40 с.

Леммлейн Г.Г. Процесс залечивания трещин в кристалле и преобразование формы полостей вторичных жидких включений // Докл. АН СССР. 1951. Т. 78. № 4. С. -.

Леммлейн Г.Г. Перемещение жидкого включения в кристалле в направлении источника тепла // Докл. АН СССР. 1952. Т. 85. С. 325-328.

Леммлейн Г.Г. Морфология и генезис кристаллов. М.: Наука. 1973. 327 с.

Леммлейн Г.Г., Осадчев Б.Я. Вертикальное распределение в жиле бесцветных и дымчатых кристаллов кварца // Докл. АН СССР. 1945. Т. 50. С. 441-442.

Леонтьева А.А. Кристаллизация двух оливиновых базальтов // Зап. ВМО. 1947. Ч. 76. Вып. 3. С. 202-210.

Леонюк Н.И., Копорулина Е.В., Волкова Е.А., Мальцев В.В. Зарождение, рост и морфология кристаллов. М.: МАКСПресс. 2010. 143 с.

Линдгрэн В. Минеральные месторождения. Вып. 1, 2, 3. М.-Л.: ОНТИ. 1932-1934.

Лодиз Р., Паркер Р. Рост монокристаллов. М.: Мир. 1974. 540 с.

Льюис Р., Райфа Г. Игры и решения. М.: ИЛ. 1961. 642 с.

Ляхов Ю.В. О соотношении линейных скоростей роста двух совместно кристаллизующихся минералов. В кн.: Исследования минералообразующих растворов. М.: Недра. 1966. С. 202-211.

Мак Лин Д. Границы зёрен в металлах. М.: Metallurgizdat. 1960. 321 с.

Малеев М.Н. Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов. М.: Наука. 1971. 199 с.

Малеев М. Вискеры спайности кварца // Годишник Софийского ун-та. 1979. Т. 71. Кн. 1. С. 21-36.

Малеев М.Н. Электрическая неоднородность и онтогенез минералов // Неоднородность минералов и рост кристаллов. М.: Наука. 1980. С. 19-27.

Малеев М.Н., Филипов А.Ф. Нитевидные кристаллы кальцита из пещеры "Водопада", округ Ловеча // Годишник Софий. ун-та. 1974. Т. 66. № 1. С. 151-172.

Масалович А.М., Овчинников Л.Н. Модель полиморфизма воды при 0-370⁰ С. Расчёт плотности и энтальпии. В кн.: Экспериментальные исследования эндогенного рудообразования. М.: Наука. 1983. С. 142-155.

Мокиевский В.А. Классификация двойников // Зап. ВМО. 1968. Ч. 97. Вып. 5. С. 556-564.

Мясников В.С. Некоторые особенности месторождений титаномагнетитовых руд Южного Урала и проявление в них метаморфизма // Геология рудных месторождений. 1959. Т. 1. № 2. С. 49-62.

Нагата Т. Магнетизм горных пород. М.: Мир. 1965. 346 с.

- Най Дж.** Физические свойства кристаллов. М.: Мир. 1967. 385 с.
- Наковник Н.И.** О метасоматическом минералообразовании и законе равных объёмов // Зап. ВМО. 1949. Вып. 4. С. 270-272.
- Нарасимхамурти Т.** Фотоупругие и электрооптические свойства кристаллов. М.: Мир. 1984. 622 с.
- Немец Д.** Взаимное ориентированное обрастание различных полевых шпатов в изверженных горных породах. В кн.: Онтогенические методы изучения минералов. М.: Наука. 1970. С. 162-177.
- Низамутдинов Н.М., Булка Г.Р., Гайнуллина Н.М., Винокуров В.М.** Симметрия распределения дефектов в правильных системах точек и свойства направлений спектров ЭПР в кристаллах. В кн.: Физические свойства минералов и горных пород. Казань: изд. Казан. ун-та. 1976. С. 3-48.
- Никитенко В.И., Осипьян Ю.А.** Влияние дислокаций на оптические, электрические и магнитные свойства кристаллов. В кн.: Проблемы современной кристаллографии. М.: Наука. 1975. С. 239-261.
- Никонова В.В., Рахманова Э.П.** Морфология эвтектических колоний. В кн.: Рост кристаллов. Т. 9. М.: Наука. 1972. С. 176-181.
- Овчинников Л.Н., Масалович А.М.** Полиморфизм воды и его роль в гидротермальном минералообразовании // Зап. ВМО. 1977. Ч. 106. Вып. 1. С. 179-191.
- Органова Н.И.** Кристаллохимия несоизмерных и модулированных смешанно-слоистых минералов. М.: Наука. 1989. 142 с.
- Орлов Ю.Л.** Минералогия алмаза. М.: Наука. 1984. 263 с.
- Орлов Ю.Л., Татьяна Н.А.** Узоры двупреломления и их происхождение в кристаллах алмаза // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1973. С. 108-118.
- Осадчев Б.Я.** Гигантский кристалл кварца на Волыни // Зап. ВМО. 1946. Ч. 75. Вып. 3. С. 238-239.
- Павлишин В.И., Юшкин Н.П., Попов В.А.** Онтогенический метод в минералогии. Киев: Наукова Думка. 1988. 119 с.
- Палатник Л.С., Папилов И.И.** Ориентированная кристаллизация. М.: Metallurgy. 1964. 408 с.
- Палатник Л.С., Папилов И.И.** Эптаксиальные плёнки. М.: Наука. 1971. 480 с.
- Пальянов Ю.Н., Хохряков А.Ф., Борздов Ю.М., Сокол А.Г., Гусев В.А., Рылов Г.М., Соболев Н.В.** Условия роста и реальная структура кристаллов синтетического алмаза // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. С. 882-906.
- Петров Т.Г.** О невозможности определения последовательности кристаллизации по индивидуальным характеристикам минералов // Зап. ВМО. 1977. Ч. 106. Вып. 4. С. 499-502.
- Петров Т.Г., Мошкин С.В., Жоголева В.Ю.** Сравнительное изучение морфологических и физико-химических характеристик природного и синтетического малахита // Тр. Ленинград. об-ва естествоиспыт. 1980. Т. 79. Вып. 1. С. 142-151.
- Петров Т.Г., Трейвус Е.Б., Пунин Ю.О., Касаткин А.П.** Выращивание кристаллов из растворов. Л.: Недра. 1983. 200 с.
- Петровская Н.В.** О понятии «парагенетическая минеральная ассоциация» // Геология рудных месторождений. 1967. Т. 9. № 2. С. 69-78.
- Петровская Н.В.** Закономерные сообщества минералов, в частности парагенетические (понятия, термины). В кн.: Основные понятия минералогии. Киев: Наукова Думка. 1978. С. 116-126.
- Петровский В.А.** Рост кристаллов в гетерогенных растворах. Л.: Наука. 1983. 144 с.
- Печерская С.Г., Михайлов М.А., Дёмина Т.В., Богданова Л.А., Белозёрова О.Ю.** Симметрия и упорядочение соединений со структурой берилла в обогащённой магнием части системы бериллиево-индиалит - кордиерит - берилл // Кристаллография. 2003. Т. 48. С. 407-413.
- Плотников М.А., Татарский Б.В.** Псевдоморфоза кальцита по гейлюсситу из татарского яруса реки Мезени // Зап. ВМО. 1946. Вып. 3. С. 234-236.
- Попов В.А.** Практическая генетическая минералогия. Екатеринбург: Уро РАН. 2011. 167 с.
- Попов Г.М., Шафрановский И.И.** Кристаллография. М.: изд. Высшая Школа. 1972. 352 с.

- Попова В.И.** Эволюция форм роста кристаллов пирита из Берёзовского золоторудного месторождения на Урале // Тр. Свердлов. горн. ин-та. 1972. Вып. 86. С. 109-111.
- Попова В.И.** Синхронизация кристаллов пирита в жилах и березитах Берёзовского месторождения. В кн.: Минералогические исследования гидротермалитов Урала. Свердловск: 1980. С. 11-30.
- Пополитов В.И., Литвин Б.Н.** Выращивание монокристаллов в гидротермальных условиях. М.: Наука. 1986. 192 с.
- Предводителев А.А., Тяпунина Н.А., Зиненкова Г.М., Бушуев Г.В.** Физика кристаллов с дефектами. М.: изд. МГУ. 1986. 240 с.
- Пуарье Ж.-П.** Ползучесть кристаллов. М.: Мир. 1988. 288 с.
- Пунин Ю.О.** К вопросу о механизме перекристаллизации // Зап. ВМО. 1965. Ч. 94. Вып. 4. С. 459-462.
- Пунин Ю.О.** Расщепление кристаллов // Зап. ВМО. 1981. Ч. 110. Вып. 6. С. 666-686.
- Пунин Ю.О.** Образование автодеформационных дефектов при росте кристаллов из растворов // Рост кристаллов. Т. 14. М.: Наука. 1983. С. 108-116.
- Пунин Ю.О.** О подобии процессов первичного расщепления и ростового двойникования // Тр. Ленинград. об-ва естествоисп. 1986. № 2. С. 109-116.
- Пунин Ю.О.** Патология минеральных индивидов // Минерал. журнал. 1989. Т. 11. № 1. С. 92-98.
- Пунин Ю.О.** Роль габитуса кристаллов в образовании автодеформационных дефектов // Зап. ВМО. 2000. Ч. 129. Вып. 6. С. 1-11.
- Пунин Ю.О.** Неустойчивость монокристаллического роста и принцип максимума производства энтропии // Зап. ВМО. 2002. Ч. 131. Вып. 3. С. 51-61.
- Пунин Ю.О., Иванова Т.Я., Артамонова О.И.** Об аномальном влиянии примесей на расщепление кристаллов // Вестник СПбГУ. 1996. С. 61-65.
- Пунин Ю.О., Котельникова Е.Н.** Политипия и генетическая информация. В кн.: Новые идеи в генетической минералогии. Л.: Наука. 1983. С. 54-60.
- Пунин Ю.О., Котельникова Е.Н., Макагонова Ю.Е., Соколов Б.П.** Гетерометрия и автодеформации в литиево-глинозёмистых слюдах // Зап. ВМО. 1997. Ч. 126. Вып. 2. С. 23-36.
- Пунин Ю.О., Котельникова Е.Н., Соколов Б.П.** Природа политипных сростаний литиево-глинозёмистых слюд // Зап. ВМО. 1989. Ч. 118. Вып. 5. С. 1-12.
- Пунин Ю.О., Петров Т.Г., Трейвус Е.Б.** Низкотемпературное моделирование процессов минералообразования // Зап. ВМО. 1980. Ч. 109. Вып. 5. С. 517-529.
- Пунин Ю.О., Сметанникова О.Г., Чуракова И.В.** Реальное строение кристаллолапильей плагиоклаза из вулканитов Камчатки. В кн.: Мат. 12 совещания по рентгенографии минер. сырья. М.: 1992. С. 69.
- Путинцева Е.В.** Опыт количественной характеристики структуры кимберлитов с целью их прогнозной оценки // Зап. ВМО. 1991. Ч. 120. Вып. 1. С. 116-122.
- Ракчеев А.Д.** К методике выделения равновесных ассоциаций рудных минералов // Геология рудных месторождений. 1976. № 3. С. 66-75.
- Ракчеев А.Д.** Новые физико-химические методы исследования горных пород и руд. М.: Недра. 1989. 230 с.
- Рафальский Р.П., Дымков Ю.М.** О трубчатых псевдоморфозах аргентита по самородному проволочному серебру и температуре их образования // Докл. АН СССР. 1957. Т. 112. С. 746-748.
- Рашкович Л.Н.** Скоростное выращивание из раствора крупных кристаллов для нелинейной оптики // Вестник АН СССР. 1984. № 9. С. 15-19.
- Рибиндер П.А.** Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука. 1978. 384 с.
- Рибиндер П.А., Шукин Е.Д.** Поверхностные явления в твёрдых телах в процессах их деформации и разрушения // Успехи физич. наук. 1972. Т. 108. Вып. 1. С. 1-42.
- Рёддер Э.** Флюидные включения в минералах. М.: Мир. 1987. Т. 1. 560 с. Т. 2. 632 с.

- Римская-Корсакова О.М.** К вопросу о закономерностях сростания шпинели с магнетитом // Зап. ВМО. 1950. Ч. 79. Вып. 3. С. 178-190.
- Римская-Корсакова О.М., Краснова Н.И., Петров Т.Г., Поликарпова В.Н.** Природа узоров, наблюдаемых на плоскости спайности некоторых флогопитов // Зап. ВМО. 1967. Ч. 96. Вып. 2. С. 141-154.
- Рожкова Е.В., Соловьев Н.В.** К вопросу образования оолитовых и сферолитовых структур // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1937. Т. 15. Вып. 4. С. 348-364.
- Руденко С.А.** Скелетный рост кристаллов в породах и рудах // Зап. ВМО. 1966. Ч. 95. Вып. 2. С. 158-168.
- Руденко С.А., Руденко С.С., Иванов М.А.** Опыт генетико-геометрической классификации минеральных агрегатов // Зап. ВМО. 1975. Ч. 104. Вып. 2. С. 129-144.
- Рундквист Д.В.** О некоторых особенностях морфологии и внутреннего строения минеральных агрегатов оловорудных близповерхностных месторождений // Зап. ВМО. 1958. Ч. 87. Вып. 4. С. 423-439.
- Русинов В.Л., Кудря П.Ф., Зотов А.В., Лапутина И.П.** Самоорганизация в системе кристалл - раствор на примере возникновения осцилляционной зональности в марганцовистом кальците // Докл. РАН. 1995. Т. 337. С. 511-513.
- Русинов В.Л., Кудря П.Ф., Лапутина И.П., Кузьмина О.В.** Периодическая метасоматическая зональность в пироксен-воластонитовых скарнах // Петрология. 1994. Т. 7. С. 570-586.
- Руссо Г.В.** Расщепление кристаллов гипса // Зап. ВМО. 1981. Ч. 110. Вып. 2. С. 167-171.
- Салова Т.П., Симакин А.Г., Эпельбаум М.Б.** Об условиях образования сферолитов в обсидиане на примере месторождения Кечелдаг (Армения) // Зап. ВМО. 1990. Т. 119. Вып. 4. С. 12-17.
- Самойлович М.И., Сергеева Н.С., Белянин А.Ф. и др.** Трёхмерные матрицы на основе кубических упаковок наносфер SiO₂ как основа биосовместимых материалов для клеточных структур. В кн.: Высокие технологии в промышленности России. М.: Техномаш. 2005. С. 99-107.
- Самойлович М.И., Цинобер Л.И., Хаджи В.Е., Лелекова М.В.** Определение энергии активации образования центров дымчатой окраски в синтетическом кварце с примесью алюминия // Кристаллография. 1968. Т. 13. С. 850-853.
- Самотоин Н.Д.** Изучение накриты методом декорирования под вакуумом // Изв. АН СССР. Серия геол. 1971. № 10. С. 114-126.
- Севергин В.М.** Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел. В двух книгах. СПб.: Типогр. Импер. АН. 1798. 800 с.
- Севергин В.М.** Опыт минералогического землеописания Российского государства. СПб.: Типогр. Импер. АН. 1809. 502 с.
- Сенешаль М.** Проблема зарождения двойников роста в кристаллах // Кристаллография. 1980. Т. 25. С. 908-915.
- Сергеев В.Н., Кузьмин А.М.** О дислокациях в кристаллах магнетита из Дашкесанского месторождения и их роль в мартитизации // Изв. Томского политехн. ин-та. 1965. Т. 135. С. 96-105.
- Симакин А.Г.** Простая количественная модель для ритмичной зональности в кристаллах // Геохимия. 1983. № 12. С. 1720-1729.
- Симановский А.А.** Механизм эпитаксиального нарастания на ориентирующей и неориентирующей подложках // Рост кристаллов. Т. VI. М.: Наука. 1965. С. 374-384.
- Синай М.Ю., Гликин А.Э.** Образование футляровидных и отрицательных псевдоморфоз // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1989. Вып. 4. С. 31-35.
- Скропышев А.В.** О перекристаллизации и распределении механических примесей в кристаллах // Зап. ВМО. 1961. Вып. 5. С. 521-534.
- Слётов В.А.** К онтогении кристаллититовых и геликтитовых агрегатов кальцита и арагонита из карстовых пещер Южной Ферганы // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1985. Вып. 32. С. 119-128.
- Сливко М.М.** Об отталкивании и захвате твёрдых частиц растущими кристаллами турмалина. В кн.: Генезис минеральных индивидов и агрегатов. М.: Наука. 1966. С. 116-121.
- Слодкевич В.В.** Параморфозы графита по алмазу // Зап. ВМО. 1982. Вып. 1. С. 13-33.

Соболев Н.В., Шацкий В.С., Вавилов М.А., Горяинов С.В. Циркон высокобарических пород складчатых областей как уникальный контейнер включений алмаза, коэсита и сопут. минералов // Докл. РАН. 1994. Т. С. 488-492.

Соколов П.Б., Пунин Ю.О., Котельникова Е.Н., Крецер Ю.Л., Предтеченский Н.Н. Литий-глинозёмистые слюды редкометалльных пегматитов (Об образовании скорлуповатых агрегатов литиевых слюд «барботов глаз») // Минералогический журнал. 1987. Т. 9. № 1. С. 55-63.

Сонин В.М., Багрянцев Д.Г., Фёдоров И.И., Чепуров А.И. К вопросу об образовании коррозионных фигур на кристаллах алмаза // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 6. С. 467-492.

Спиридонов Э.М. Генетические типы месторождений драгоценных и поделочных камней. М.: изд. МГУ. 2000. 61 с.

Спиридонов Э.М. О механизме образования овоидов полевых шпатов в гранитах-рапакиви, нодулей хромшпинелидов и орбикул оливина в перидотитах. О роли подвижности минералообразующей среды в реализации нормального механизма роста кристаллов // 200 лет РМО. СПб: 2017. Т. 1. С. 126-128.

Спиридонов Э.М. Явления расщепления кристаллов при их росте – результат совместного действия эффектов А.А. Штернберга – Ю.О. Пунина и П.А. Ребиндера // Докл. РАН. 2019. Т. 485. № 5. С. 426-427.

Спиридонов Э.М., Гриценко Ю.Д. Низкоградный метаморфизм и Co-Ni-Sb-As минерализация в Норильском рудном поле. М.: Научный Мир. 2009. 218 с.

Спиридонов Э.М., Ладыгин В.М., Степанов В.К. и др. Метавулканиты цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фаций траптовой формации Норильского района Сибирской платформы. М.: изд. МГУ. 2000. 212 с.

Спиридонов Э.М., Плетнёв П.А. Месторождение медистого золота Золотая Гора (о "золотородингитовой формации"). М.: Научный Мир. 2002. 220 с.

Станкеев Е.К. Генетическая минералогия. М.: Недра. 1986. 272 с.

Старк Дж.П. Диффузия в твёрдых телах. М.: Энергия. 1980. 239 с.

Старков Н.П. Оптически аномальные гранаты горы Саробы на Южном Урале // Запю ВМО. 1950. Вып. 4. С. 283-290.

Старостин В.И. Ксенолиты колчеданной руды в дайках диабазовых порфиринов на Гайском месторождении // Геология рудных месторождений. 1964. № 3. С. 24-31.

Степанов В.И. О происхождении так называемых “колломорфных” агрегатов минералов. В кн.: Онтогенетические методы изучения минералов. М.: Наука. 1970. С. 198-206.

Степанов В.И. Периодичность кристаллизации в карстовых пещерах // Тр. Минерал. музея АН СССР им. А.Е. Ферсмана. 1971. Вып. 20. С. 161-171.

Степанов В.И. О целях и методах при исследовании последовательности кристаллизации в минеральных агрегатах руд. В кн.: Исследования в области прикладной минералогии и кристаллохимии. М.: Наука. 1973. С. 3-10.

Степанов В.И. Структуры и текстуры минеральных агрегатов, образующихся в свободных пространствах пустот // Спелеология в России. 1998. Вып. 1. С. 70-91.

Степанов П.И. История развития и современное состояние геолого-минералогических музеев Европы и Америки // Природа. 1919. № 10/12. С. 431-456.

Строителев С.А. О причинах образования комбинационной штриховки кристаллов // Зап. ВМО. 1961. Ч. 90. С. 79-713.

Таран Ю.Н., Мазур В.И. Структура эвтектических сплавов. М.: Metallurgia. 1978. 312 с.

Татарский В.Б. Кристаллы аурипигмента месторождения Лухумис-Цхали // Зап. ВМО. 1935. Ч. 64. № 1. С. 207-215.

Термодинамика и материаловедение полупроводников (ред. В.М.Глазов). М.: Metallurgia. 1992. 391 с.

Тимофеева В.А. Рост кристаллов из растворов - расплавов. М.: Наука. 1978. 268 с.

- Тимофеев-Рессовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В.** Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука. 1969. 408 с.
- Трейвус Е.Б.** Кинетика роста и растворения кристаллов. Л.: изд. ЛГУ. 1979. 248 с.
- Трейвус Е.Б.** Словарь английских терминов по кристаллогенезису. Л.: изд. ЛГУ. 1999. 165 с.
- Ульянова Т.П., Пунин Ю.О., Петров Т.Г.** Основные закономерности расщепления кристаллов при росте // Рост кристаллов. Т. 12. М.: Наука. 1977. С. 133-138.
- Уманский Я.С.** Рентгенография металлов и полупроводников. М.: Металлургия. 1989. 496 с.
- Фёдоров Е.С.** Попытка объяснения некоторых аномальных кристаллов изменениями их частичного строения // Зап. Император.МО. 1891. Ч. 27. С. 465-468.
- Федоровский Н.М.** Генетическая минералогия. Петроград: 1920. 152 с.
- Фекличев В.Г.** Мембранно-гелевое минералообразование в природе. В кн.: Конденсированное некристаллическое состояние вещества в земной коре. Спб.: Наука. 1995. С. 177-187.
- Ферсман А.Е.** К вопросу о генезисе минералов и их взаимных отношениях // Тр. СПб Об-ва естествоисп. 1912. Т. 43. Вып. 1. С. 255-279.
- Ферсман А.** Письменная структура пегматитов и причины её возникновения // Тр. Импер. АН. СПб. 6 серия. 1915. Т. 9. № 12. С. 1211-1228.
- Ферсман А.Е.** Элементы разграничения двух одновременно кристаллизующихся веществ // Докл. РАН. 1922. Сер. А. С. 7-8.
- Ферсман А.Е.** Геохимия. Т. 1. Л.: Госхимтехиздат. 1933. 328 с.
- Ферсман А.Е.** Пегматиты, их научное и практическое значение. Т. 1. Гранитные пегматиты. Л.-М.: изд. АН СССР. 1936. 665 с.
- Ферсман А.Е.** Кристаллография алмаза. М.: изд. АН СССР. 1955. 450 с.
- Фистуль В.И.** Физика и химия твёрдого тела. М.: Металлургия. 1995. Т. 1. 480 с. Т. 2. 320 с.
- Франке В.Д., Пунин Ю.О., Сметанникова О.Г., Кенунен Д.С.** Адсорбционный механизм неравновесного захвата примесей при кристаллизации // Зап. РМО. 2007. Ч. 136. Вып. 2. С. 90-104.
- Францессон Е.В.** Природа скульптурированных поверхностей на минералах кимберлитов // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1964. № 5. С. - .
- Фрондел Д.** Минералогия Луны. М.: Мир. 1978. 334 с.
- Харт Дж., Лоте И.** Теория дислокаций. М.: Атомиздат. 1972. 600 с.
- Харькив А.Д., Афанасьев В.П., Квасница В.Н.** Признаки каталитического окисления при высокотемпературном воздействии кимберлитового расплава на алмазы // Докл. АН СССР. 1980. Т. 250. № 4. С. 949-952.
- Хомяков А.П., Юшкин Н.П.** Принцип наследования в кристаллогенезисе // Докл. АН СССР. 1981. Т. 256. С. 1229-1233.
- Хонигман Б.** Рост и форма кристаллов. М.: ИЛ. 1961. 224 с.
- Цветков Е.Г., Кидяров Б.И.** Наноразмерные стадии кристаллогенезиса из жидкой фазы // Зап. РМО. 2007. Спец. выпуск – Кристаллогенезис и минералогия. С. 66-90.
- Цинзерлинг Е.В.** Искусственное двойникование кварца. М.: изд. АН СССР. 1961. 160 с.
- Цинобер Л.И., Самойлович М.И.** Распределение структурных дефектов и аномальная оптическая симметрия в кристаллах кварца. В кн.: Проблемы современной кристаллографии. М.: Наука. 1975. С. 207-218.
- Цинобер Л.И., Самойлович М.И., Гордиенко Л.А., Ченцова Л.Г.** Исследование аномального плеохроизма кристаллов синтетического кварца с дымчатой окраской // Кристаллография. 1967. Т. 12. № 1. С. 65-69.
- Чалмерс Б.** Теория затвердевания. М.: Металлургия. 1968. 288 с.

- Чвилёва Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др.** Справочник-определитель рудных минералов в отражённом свете. М.: Недра. 1988. 505 с.
- Чеботин В.Н.** Физическая химия твёрдого тела. М.: Химия. 1982. 319 с.
- Челищев Н.Ф.** Об эволюции формы оливина в процессе кристаллизации расплава оливинового габбро-норита в экспериментальных условиях. В кн.: Онтогенические методы изучения минералов. М.: Наука. 1970. С. 124-129.
- Челищев Н.Ф.** Ионообменные свойства минералов. М.: Наука. 1973. 203 с.
- Ченцова Л.Г.** К вопросу о природе красящих центров дымчатого кварца // Кристаллография. 1956. № 1. Вып. 4.
- Ченцова Л.Г., Веденева Н.В.** Исследование природы окраски центров дымчатого кварца на основе явлений термического выцветания // Тр. Ин-та кристаллографии АН СССР. 1952. Вып. 7. С. 159-190.
- Чепижный К.И.** Новое в минералогии. В кн.: Теория минералогии. 1988. С. 42-47.
- Черепанов В.А.** Некоторые закономерности морфологии, строения и замещений в агрегатах малахита из уральских месторождений // Зап. ВМО. 1951. Ч. 80. Вып. 3. С. 214-219.
- Чермак Г.** Учебник минералогии. СПб.: Типогр. Импер. АН. 1884. 262 с.
- Чернов А.А.** Слоисто-спиральный рост кристаллов // Успехи физ. наук. 1961. Т. 73. С. 277-332.
- Чернов А.А., Гиваргизов Е.И., Багдасаров Х.С. и др.** Процессы кристаллизации // Современная кристаллография. Т. 3. Образование кристаллов. М.: Наука. 1980. С. 7-232.
- Чермак Г.** Учебник минералогии. СПб.: Типогр. Импер. АН. 1884. 262 с.
- Чесноков Б.В.** К вопросу об отличии первичных и механических полисинтетических двойников. В кн.: Онтогенические методы изучения минералов. М.: Наука. 1970. С. 177-183.
- Чесноков Б.В.** Морфология зёрен кальцита в агрегатах, претерпевших собирательную перекристаллизацию // Минерал. сб. Львов. гос. ун-та. Львов. 1972. № 26. Вып. 2. С. 220-223.
- Чесноков Б.В.** Относительный возраст минеральных индивидов и агрегатов. М.: Недра. 1974. 104 с.
- Чесноков Б.В., Якшин В.И.** Теневые псевдоморфозы по гранату в амфиболитах Среднего Урала // Зап. ВМО. 1969. Ч. 98. Вып. 1. С. 85-89.
- Четвериков С.Д.** Методика кристаллооптических исследований шлифов. М.: МГУ. 1949. 158 с.
- Чистяков Ю.Д., Лайнер Б.Д.** Ориентированное нарастание кристаллических веществ (эпитаксия). В кн.: Рост кристаллов. Т. 4. М.: 1964. С. 209-221.
- Чухров Ф.В.** Коллоиды в Земной коре. М.: изд. АН СССР. 1955. 671 с.
-
- Шаскольская М.П.** Очерки о свойствах кристаллов. М.: Наука. 1978. 191 с.
- Шафрановский И.И.** Природные формы растворения топаза // Зап. ВМО. 1950. Ч. 79. Вып. 1.
- Шафрановский И.И.** Внешняя симметрия реальных кристаллов и симметрия питающей среды // Зап. ВМО. 1954. Ч. 83. Вып. 3. С. 198-211.
- Шафрановский И.И.** Кристаллы минералов. Плоскогранные формы. Л.: изд. ЛГУ. 1957. 222 с.
- Шафрановский И.И.** Лекции по кристалломорфологии. М.: изд. Высшая школа. 1968. 172 с.
- Шафрановский И.И.** Очерки по минералогической кристаллографии. Л.: Недра. 1974. 152 с.
- Шафрановский И.И.** Симметрия в природе. Л.: Недра. 1985. 168 с.
- Шафрановский И.И., Алявдин В.Ф.** Анатолий Капитонович Болдырев (1883-1946). Л.: Наука. 1978. 256 с.
- Шафрановский И.И., Григорьев Д.П.** О поверхностях соприкосновения кристаллических индивидов // Зап. ВМО. 1948. Ч. 71. Вып. 32. С. 185-193.
- Шафрановский И.И., Мокиевский В.А.** Условия роста, геометрия и симметрия скелетных кристаллов // Зап. ВМО. 1956. Ч. 85. Вып. 2. С. 172-186.
- Шафрановский И.И., Плотников Л.М.** Симметрия в геологии. Л.: Недра. 1975. 144 с.
- Шахов Ф.Н.** Текстуры руд. М.: изд. АН СССР. 1961. с.
- Шергин И.В.** Процессы возникновения, роста и изменения силлиманита. В кн.: Онтогенические методы изучения минералов. М.: Наука. 1970. С. 104-109.

- Шефталъ Н.Н.** Ритмичность в процессе роста кристаллов // Вестник МГУ. Серия геология. 1966. № 6. С. 28-38.
- Шефталъ Н.Н.** Нормальный механизм роста. В кн.: Процессы реального кристаллообразования. М.: Наука. 1977. С. 22-30.
- Шефталъ Н.Н.** Формы свободного и вынужденного роста. В кн.: Процессы реального кристаллообразования. М.: Наука. 1977. С. 31-51.
- Штейнберг С.С.** Металловедение. Свердловск: Metallurgizdat. 1961. 598 с.
- Штернберг А.А.** О связи трещиноватости и морфологии кристаллов с примесями (гетерометрия) // Кристаллография. 1962. Т. 7. Вып. 1. С. 114-120.
- Штукенберг А.Г., Пунин Ю.О.** Оптические аномалии в кристаллах. СПб.: Наука. 2004. 263 с.
- Штукенберг А.Г., Пунин Ю.О., Азимов П.Я.** Феноменологический анализ процессов взаимодействия кристалла и среды в системах «твёрдый раствор – водный раствор глаз» // Зап. РМО. 2007. Спец. выпуск – Кристаллогенезис и минералогия. С. 36-52.
- Штукенберг А.Г., Пунин Ю.О., Котельникова Е.Н.** Железистые мусковиты «барботов глаз» из Ильменских гор // Зап. ВМО. 1993. Ч. 122. Вып. 5. С. 53-63.
- Шубников А.В.** Как растут кристаллы. М.-Л.: изд. АН СССР. 1935. 130 с.
- Шубников А.В.** Кварц и его применение. М.-Л.: изд. АН СССР. 1940.
- Шубников А.В.** Оптическая кристаллография. М.-Л.: изд. АН СССР. 1950. 276 с.
- Шубников А.В.** Симметрия и антисимметрия конечных фигур. М.: изд. АН СССР. 1951. 172 с.
- Шубников А.В.** Симметрия и физические свойства пирамид роста // Кристаллография. 1961. Т. 6. № 3. С. 319-322.
- Шубников А.В., Копчик В.А.** Симметрия в науке и искусстве. М.: Наука. 1972. 340 с.
- Шубников А.В., Леммлейн Г.Г.** Об ортотропизме роста кристаллов // Докл. АН СССР. 1927. Сер. А. № 4. С. 61-4.
- Шубников А.В., Парвов В.Ф.** Зарождение и рост кристаллов. М.: Наука. 1969. 72 с.
- Шубников А.В., Цинзерлинг Е.В.** О фигурах удара, давления и о механических двойниках кварца // Тр. Ломоносовского ин-та АН СССР. 1933. Вып. 3. С. -.
- Шубников А., Шубникова О.** Статистическое исследование вициналей октаэдра квасцов // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1926. Вып. 1. С. 1-34.
- Шувалов Л.А., Урусовская А.А., Желудев И.С., Залесский А.В., Семилетов С.А., Гречушников Б.Н., Чистяков И.Г., Пикин С.А.** Современная кристаллография. Т. 4. М.: Наука. 1981. 496 с.
- Шустов А.В.** Секториальное строение кристаллов исландского шпата из эвенкийских месторождений // Зап. ВМО. 1969. Вып. 1. С. 83-85.
- Юшкин Н.П.** Минералогия и парагенез самородной серы в экзогенных месторождениях. Л.: Наука. 1968. 187 с.
- Юшкин Н.П.** Онтогенез и филогения карбонатов из некоторых месторождений серы. В кн.: Онтогенетические методы изучения минералов. М.: Наука. 1970. С. 50-64.
- Юшкин Н.П.** Теория микроблочного роста кристаллов в природных гетерогенных растворах. Сыктывкар: изд. ИГ Коми НЦ АН СССР. 1971. 52 с.
- Юшкин Н.П.** Кальцитовые псевдоморфозы по кристаллам гейлюссита // Зап. ВМО. 1990. Вып. 2. С. 75-81.
- Юшкин Н.П., Шафрановский И.И., Янулов К.П.** Законы симметрии в минералогии. Л.: Наука. 1987. 334 с.
- Ярош П.Я., Царицын Е.П.** Признаки перекристаллизации в оливинах из гипербазитов. В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. М.: Наука. 1976. Т. 12. С. 221-230.
- Ярошевский А.А.** К вопросу о связи формы кристаллов граната с условиями минералообразования // Тр. Минерал. музея АН СССР. 1959. Вып. 10. С. 137-141.

- Akizuki M.** Origin of optical variations in grossular-andradite garnet // *Amer. Mineral.* 1984. Vol. 69. P. 328-338.
- Akizuki M.** The origin of sector twinning in harmotome // *Amer. Mineral.* 1985. Vol. 70. P. 822-828.
- Akizuki M. & Konno H.** Growth twinning in phacolite // *Mineral. Mag.* 1987. Vol. 51. P. 427-430.
- Akizuki M., Nisidon H., Kudon Y., Watanabe T. & Kurata K.** Sector growth and symmetry of (F,OH)apatite from the Asio mine, Japan // *Mineral. Mag.* 1994. Vol. 58. P. 307-314.
- Aldushin K., Jordan G., Rammensee W., Schmahl W.W. & Becker H.-W.** Apophyllite (001) surface alteration in aqueous solutions studied by HAFM // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2004. Vol. 68. P. 217-.
- Amelinckx S.** Mechanism for the growth of whiskers from solution on an impervious substrate // *J. Chem. Phys.* 1959. Vol. 31. P. 1687-1688.
- Anderson A.T.** Probably relations between plagioclase zoning and magma dynamics, Fuego Volcano, Guatemala // *Amer. Mineral.* 1984. Vol. 69. P. 660-676.
- Applin K.R. & Hicks B.D.** Fibers of dumortierite in quartz // *Amer. Mineral.* 1987. Vol. 72. P. 170-172.
- Arndt N.T. & Fleet M.E.** Stable and metastable pyroxene crystallization in layered komatiite lava flows // *Amer. Mineral.* 1979. Vol. 64. P. 856-864.
- Augustithus S.S.** Atlas of the sphaeroidal textures and structure and their genetic significance. Theophrastus Publ.: Athens. 1982. 329 p.
- Baker D. & Freda C.** Using models of undercooled binary system crystallization: comparison with experimental and pegmatite textures // *Amer. Mineral.* 1999. Vol. 84. P. 725-732.
- Banfield J.F. & Bailey S.W.** Formation of regularly interstratification of serpentine and chlorite // *Amer. Mineral.* 1996. Vol. 81. P. 79-91.
- Barton P.B.** Ore texture: Problems and opportunitites // *Mineral. Mag.* 1991. Vol. 55. P. 303-315.
- Basaltic volcanism on the terrestrial Planets. New York: Pergamon Press. 1981. 1286 p.
- Bastin E.L., Graton L.G., Lindgren W., Newhouse W.H., Schwartz G.M. & Short M.N.** Criteria of age relations of minerals. With special reference to polished section of ores // *Econ. Geol.* 1931. Vol. 26. P. 561-610.
- Bell T.H., Rubenach M.J. & Fleming P.D.** Porphyroblast nucleation, growth, and dissolution in regional metamorphic rocks as a function of deformation partitioning during foliation development // *J. Metamorphic Geol.* 1986. Vol. 4. P. 37-67.
- Bideaux R.A.** Mineral rings and cylinders // *Mineral. Record.* 1970. № 1. P. 105-112.
- Billows E.** Associazioni regolari di cristalli della stessa specie. Associazion elicoidale del quarzo // *Rivista Mineral. Ital.* 1909. Vol. 37. P. 3-112.
- Blackerby B.A.** Convolute zoning of plagioclase phenocrysts in Miocene volcanics from the Western Santa Monica Mountains, California // *Amer. Mineral.* 1968. Vol. 53. P. 954-962.
- Blüm J.R.** Die Pseudomorphosen des Mineralreichs. Stuttgart: 1843. 378 s.
- Bournon de J.L.** Catalog de la collection minéralogique particulière du roi. Paris. 1817. P. 149-156.
- Brandeis G., Jaupart C. & Allègre C.J.** Nucleation, crystal growth and the thermal regime of cooling magmas // *J. Geophys. Res.* 1984. Vol. 89. P. 10161-10177.
- Brock K.J. & Slater L.D.** Epitaxial marcasite on pyrite from Kensselaer, Indiana // *Amer. Mineral.* 1978. Vol. 63. P. 210-212.
- Brophy J.G., Whittington C.S. & Park Y.-R.** Sector-zoned augite megacrystals in Aleutian high alumina basalts: implication for the condition of basalt crystallization and the generation of calc-alkaline series magmas // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1999. Vol. 135. P. 277-290.
- Brown C.S., Kell R.C., Thomas L.A., Wooster N. & Wooster W.A.** The growth and properties of large crystals of synthetic quartz // *Mineral. Mag.* 1952. Vol. 29. P. 858-874.
- Brugger J., Bettiol A.A., Costa S., Lahaye Y., Bateman R., Lambert D.D. & Jamieson D.N.** Mapping REE distribution in scheelite using liminescence // *Mineral. Mag.* 2000. Vol. 64. P. 891-903.
- Bryan W.B.** Morphology of quench crystals in submarine basalts // *J. Geophys. Res.* 1972. Vol. 77. P. 5812-5819.
- Buckley H.E.** On the mosaic structure in crystals // *Zeitschr. Kristallogr.* 1934. Bd. 89. S. 221-.
- Buerger M.J.** The genesis of twin crystals // *Amer. Mineral.* 1945. Vol. 30. P. 469-482.

- Buerger M.J.** Role of temperature in mineralogy // Amer. Mineral. 1948. Vol. 33. P. 101-122.
- Burns R.G.** On the occurrence and stability of divalent chromium in olivines included in diamond // Contrib. Mineral. Petrol. 1975. Vol. 51. P. 213-221.
- Campbell K.A., Rodgers K.A., Brogheridge J.M.A. & Browne P.R.L.** An unusual modern silica-carbonate sinter from Pavlova spring, Ngatamarki, New Zealand // Sedimentology. 2002. Vol. 49. P. 835-854.
- Carpenter A.B.** Mineralogy and petrology of the system CaO-MgO-CO₂-H₂O at Crestmore, California // Amer. Mineral. 1967. Vol. 52. P. 1341-1363.
- Cashman K.V. & Marsh B.D.** Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization: II. Makaopuhi lava lake // Contrib. Mineral. Petrol. 1988. Vol. 99. P. 292-305.
- Clark A.H., Pearce T.H., Roeder P.L. & Wolfsin I.** Oscillatory zoning and other microstructures in magmatic olivine and augite: Nomarski interference contrast observation etched polished surfaces // Amer. Mineral. 1986. Vol. 71. P. 734-741.
- Clark D.B. & Bogutyn P.A.** Oscillatory epitactic-growth zoning in biotite and muscovite from the Lake Lewis leucogranite, South Mountain batholite, Nova Scotia, Canada // Canad. Mineral. 2003. Vol. 41. P. 1027-1047.
- Cornejo C. & Bartorelli A.** Minerals and precious stones of Brazil. Sao Paulo: Solaris Cultural Publications. 2009. 704 p.
- Cottrell A.H.** Theoretical structural metallurgy. London: Edward Arnold Ltd. 1955.
- Craig J.R., Vokes F.M. & Simpson C.** Rotational fabrics in pyrite from Ducktown, Tennessee // Econ. Geol. 1991. Vol. 86. P. 1737-1746.
- Crank J.** The Mathematics of Diffusion (2nd ed). London: Oxford University Press. 1975.
- Cressey G., Wall F. & Cressey B.A.** Differential REE uptake by sector growth of monazite // Miner. Mag. 1999. Vol. 63. P. 813-828.
- Dante S.L. & Marvin K.** A color atlas of meteorites in thin section. Payson, Arizona: Golden Retriever Public., Tuscon, Arizona and Southwest Meteorite Press. 2005. 301 p.
- Davis M. J. & Ihinger P.D.** Heterogeneous crystal nucleation on bubbles in silicate melt // Amer. Mineral. 1998. Vol. 83. P. 1008-1015.
- Dempster T.J., Jenkin G.R.T. & Rogers G.** The origin of rapakivi texture // J. Petrol. 1994. Vol. 35. P. 963-981.
- Dobson M.H.** Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems // Contrib. Mineral. Petrol. 1973. Vol. 40. P. 259-274.
- Donaldson C.H.** An experimental investigation of olivine morphology // Contrib. Mineral. Petrol. 1976. Vol. 57. P. 187-213.
- Donnelly T.W.** Kinetic considerations in the genesis of growth twinning // Amer. Mineral. 1967. Vol. 52. P. 1-12.
- Donney J.D.H. & Harker D.** A new law of crystal morphology extending the law of Bravais // Amer. Mineral. 1937. Vol. 22. P. 446-467.
- Dowty E.** Crystal structure and crystal growth. I. The influence of internal structure on morphology // Amer. Mineral. 1976. Vol. 61. P. 448-459.
- Dowty E.** Crystal structure and crystal growth. II. Sector zoning in minerals // Amer. Mineral. 1976. Vol. 61. P. 460-469.
- Dowty E. & Clark I.R.** Crystal structure refinement and optical properties of a Ti³⁺ fassaite from the Allende meteorite // Amer. Mineral. 1973. Vol. 58. P. 230.
- Dunbar N.W., Jacobs G.K. & Naney M.T.** Crystallization processes in an artificial magma: Variations in crystal shape, growth rate and composition with melt cooling history // Contrib. Mineral. Petrol. 1995. Vol. 129. P. 412-425.
- Endo Y. & Sunagawa I.** Positive and negative striation in pyrite // Amer. Mineral. 1973. Vol. 58. P. 930-935.

- Fairbairn H.W.** Structural petrology of deformed rocks. Cambridge University Press: Mass. 1942. 143 p.
- Ferraris G., Makovicky E. & Merlino S.** Crystallography of modular materials. IUCr Monographs on Crystallography. Oxford University Press. 2004. 400 p.
- Fersmann A. & Goldsmidt V.** Der Diamant. Atlas. Carl Winter: Heidelberg. 1911. 274 s.
- Fettes D. & Desmond J.** Metamorphic rocks. Classification and glossary of terms. Cambridge. Cambridge University Press. 2008. 244 p.
- Fleet M.E.** Structural aspects of the marcasite – pyrite transformation // *Canad. Mineral.* 1970. Vol. 10. P. 225-231.
- Fleet M.E.** Growth habits of clinopyroxene // *Canad. Mineral.* 1975. Vol. 13. P. 336-341.
- Fouke B.W. & Reeder R.J.** Surface structural controls on dolomite composition: Evidence from sector zoning // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1992. Vol. 56. P. 4015-4024.
- Frank F.C.** The growth of carborundum: Dislocations and polytypism // *Phyl. Mag.* 1951. Vol. 42. P. 1014-1021.
- Frank F.C.** On tin whiskers // *Phyl. Mag.* 1953. Vol. 44. P. 854-860.
- Frederickson S.F.** Mosaic structure in quartz // *Amer. Mineral.* 1955. Vol. 40. P. 1-10.
- Frindt S. & Haapala I.** Anorogenic Gross Spitzkoppe granite stock in central western Namibia: Part II. Structures and textures indicating crystallization from undercooled melt // *Amer. Mineral.* 2004. Vol. 89. P. 857-866.
- Frondel C.** The size of crystals // *Amer. Mineral.* 1935. Vol. 20. P. 469-473.
- Frondel C.** Structural hydroxyl in chalcedony (type B quartz) // *Amer. Mineral.* 1982. Vol. 67. P. 1248-1257.
- Froese E.** Point defects in pyrrhotite // *Canad. Mineral.* 2003. Vol. 41. P. 1061-1067.
- Gagnevin D., Daly J.S., Poli G. & Morgan D.** Microchemical and Sr isotopic investigation of zoned K-feldspar megacrysts: insights into the petrogenesis of a granite system and disequilibrium crystal growth // *J. Petrol.* 2005. Vol. 46. P. 1689-1724.
- Giardini A.A. & Melton C.E.** The nature of cloud-like inclusions in two Arkansas diamonds // *Amer. Mineral.* 1975. Vol. 60. P. 931-933.
- Glicksman M.E.** Diffusion in solid state principles. New York: Wiley Interscience. 2000.
- Goldsmith J.R. & Graf D.L.** Structural and compositional variation in some natural dolomites // *J. Geol.* 1958. Vol. 66. P. 678-693.
- Gorai M.** Petrological studies of plagioclase twins // *Amer. Mineral.* 1951. Vol. 36. P. 884-902.
- Gordon S.G.** The inspection and grading of quartz // *Amer. Mineral.* 1945. Vol. 30. P. 269-290.
- Graf D.L. & Goldsmith J.R.** Dolomite – magnesian calcite relations at elevated temperatures and CO₂ pressures // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1955. Vol. 7. P. 109-128.
- Gray N.H.** A parabolic hourglass structure in titanite // *Amer. Mineral.* 1971. Vol. 56. P. 952-956.
- Gübelin E.J. & Koivula J.I.** Bildatlas der Einschlüsse in Edelsteinen. ABC Verlag. Zurich: 1986. 532 s.
- Gumowska-Wdowiak Z.** Twin intergrowth of plagioclases in glomerophytic andesites of the Pieniny in Poland // *Mineral. Polonica.* 1974. Vol. 5. P. 21-36.
- Halden N.M.** Determination of Lyapunov exponent to characterize the oscillatory distribution of trace elements in minerals // *Canad. Mineral.* 1996. Vol. 34. P. 1127-1135.
- Halden N.M. & Hawthorne F.C.** The fractal geometry of oscillatory zoning in crystal application to zircon // *Amer. Mineral.* 1993. Vol. 78. P. 1113-1116.
- Halden N.M., Hawthorne F.C., Campbell J.L., Teesdale W.J., Maxwell J.A. & Higuchi D.** Chemical characterization of oscillatory zoning and overgrowth in zircon using 3 MeV MPIXE // *Canad. Mineral.* 1993. Vol. 31. P. 637-647.
- Halfordahl L.B.** Chloritoid: its composition, X-ray and optical properties, stability, and occurrences // *J. Petrol.* 1961. Vol. 2. P. 49-135.
- Hartman P. & Perdok W.G.** On the relation between structure and morphology of crystals // *Acta crystal.* 1955. Vol. 8. Part 49. P. 521-525.

- Hirth J.P. & Lothe J.** Theory of dislocations. Malabar, FL: Krieger Publishing Company. 1992.
- Höchleiter R., von Philipsborn H. & Weiner K.L.** Minerale. Bestimmen nach ausseren kennzeichen. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung (Nagele und Obermiller). Stuttgart: 1996. 390 s.
- Holden E.F.** The cause of colour in smoky quartz and amethyst // Amer. Mineral. 1925. Vol. 10. P. 203-.
- Hollister L.S.** Origin, mechanism and consequences of compositional sector zoning in staurolite // Amer. Mineral. 1970. Vol. 55. P. 742-766.
- Hollister L.S. & Gancarz A.J.** Compositional sector-zoning in clinopyroxene from the Narce area, Italia // Amer. Mineral. 1971. Vol. 56. P. 959-979.
- Holten T., Jamtveit B. & Meakin P.** Noise and oscillatory zoning of minerals // Geochim. Cosmochim. Acta. 2000. Vol. 64. P. 1893-1904.
- Holten T., Jamtveit B., Meakin P., Cortini M., Blundy J. & Austrheim H.** Statistical characteristics and origin of oscillatory zoning of crystals // Amer. Mineral. 1997. Vol. 82. P. 596-606.
- Hossain A.** The occurrence of polyframboidal pyrite in a Beach Sand deposit, Cox's Bazar, Bangladesh // Amer. Mineral. 1975. Vol. 60. P. 157-158.
- Hutchinson R.** Meteorites: a petrology, chemical and isotopic synthesis. Cambridge University Press: 2004. 506 p.
- Ioffé A.** Elastische nachwirkung im kristallinen quatz // Ann. Phys. 1906. Bd. 20. S. 919-981.
- Jamtveit B.** Oscillatory zonation in hydrothermal grossular – andradite garnet: Nonlinear dynamics in region of immiscibility // Amer. Mineral. 1991. Vol. 76. P. 1319-1327.
- Johnson S.E.** Porphyroblast microstructures. A review of current and future trends // Amer. Mineral. 1999. Vol. 84. P. 1711-1726.
- Jones F.T.** Iris agate // Amer. Mineral. 1952. Vol. 37. P. 578-587.
- Jordan G., Higgins S.R., Eggleston C.M., Knauss K.G. & Schmahl W.W.** Dissolution kinetics of magnesite in acidic aqueous solution, a hydrothermal atomic force microscopy (HAFM) study: Step orientation and kink dynamics // Geochim. Cosmochim. Acta. 2001. Vol. 65. P. 4257-.
- Jordan G. & Rammensee W.** Dissolution rates of calcite (10-14) obtained by scanning force microscopy: Microtopography-based dissolution kinetics on surface with anisotropic step velocities // Geochim. Cosmochim. Acta. 1998. Vol. 62. P. 941-.
- Judd I.W.** Lamellar structure in quartz crystals // Mineral. Mag. 1888. Vol. 8. P. 1-.
- Judd I.W.** Additional note on the lamellar structure of quartzs and the method by which it is developed // Mineral. Mag. 1892. Vol. 10. P. 123-.
- Juld A.** A theoretical study of the absorbtion spectra of Pb^+ and Pb^{3+} in the K^+ site of microcline: applications to the colour of amazonite // Phys. Chem. Mineral. 1998. Vol. 25. N 3. S. 229-233.
- Keith H.D. & Padden F.J.** A phenomenological theory of spherulite crystallization // J. Appl. Phys. 1963. Vol. 34. P. 2404-2421.
- Keith M.D.** Lattice spacings in clear crystalline quartz and their variability // Amer. Mineral. 1955. Vol. 40. P. 530-534.
- Kirkpatrick R.J.** Crystal growth from the melt: a review // Amer. Mineral. 1975. Vol. 60. P. 798-814.
- Kirkpatrick R.J., Klein L., Uhlmann D.B. & Hays J.F.** Rates and processes of crystal growth in the system anorthite - albite // J. Geophys. Res. 1979. Vol. 84. P. 3671-3776.
- Kirov G.N. & Atanasov V.A.** Cuprite whiskers and thin plates from the occurrence Bartzeto, Malko Tyrnovo, Bulgaria // Ann. Univ. Sofie. Ser. 1. Geology. 1970. Vol. 62. P. 191-198.
- Kittel C.** Introduction to solid state physics. New York: Wiley. 2004.
- Kobel F.** Geschichte der Mineralogie von 1650-1860. München. 1864.
- Kozai Y. & Akima M.** Experimental study on diamond dissolution in kimberlitic and lamproitic melts at 1300-1420⁰ C and 1 GPa with controlled oxygen partial pressure // Amer. Mineral. 2005. Vol. 90. P. 1759-1766.
- Kretz R.** Kinetics of the cristallization of garnet at two localities near Yellowknife // Canad. Mineral.

1973.

Vol. 12. P. 1-20.

Kretz R. Dendritic magnetite and ilmenite in 590 Ma Grenville dykes near Otter Lake, Quebec, Canada // *Canad. Mineral.* 2003. Vol. 41. P. 1049-1059.

Kunz G.F. The diamond and moissanite – natural, meteoritic and artificial // *Trans. Amer. Electrochem. Soc.* 1907. Vol. 12. P. 39-63.

Kwak T.A.P. Sector-zoned annite₈₅ – phlogopite₁₅ micas from the Mt. Lindsay Sn – W- F (Be) deposit, Tasmania, Australia // *Canad. Mineral.* 1981. Vol. 19. P. 643-650.

Leblanc M., Morales J.A., Borreco J. & Elbaz-Poulichet F. 4500-year-old mining pollution in Southwestern Spain: long-term implications for modern mining pollution // *Econ. Geol.* 2000. Vol. 95. P. 655-662.

Leech M.L. & Ernst W.G. Graphite pseudomorphs after diamond? A carbon isotope and spectroscopic study of graphite cuboids from the Maksyutov Complex, South Ural Mountains, Russia // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1998. Vol. 62. P. 2143-2154.

Leung I.S. Sector-zoning titanite: morphology, crystal chemistry, and growth // *Amer. Mineral.* 1974. Vol. 59. P. 127-138.

L'Heureux I. & Powler A.D. A nonlinear dynamical model of oscillatory zoning in plagioclase // *Amer. Mineral.* 1994. Vol. 79. P. 885-894.

L'Heureux I. & Powler A.D. Isothermal constitutive undercooling as a model for oscillatory zoning in plagioclase // *Canad. Mineral.* 1996. Vol. 34. P. 1137-1147.

(диффузионно- контролируемая кинетика роста приводит к...)

Liesegang R.E. Achat-Theorien // *Chem. Erde.* 1931. Bd. 6. Hf. 2. S. 143-152.

Lofgren G. An experimental study of plagioclase crystal morphology: isothermal crystallization // *Amer. J. Sci.* 1974. Vol. 274. P. 243-273.

Lofgren G. Effect of heterogeneous nucleation on basaltic textures: A dynamic crystallization study // *J. Petrol.* 1983. Vol. 24. P. 229-255.

Lofgren G.E., Huss G.R. & Wasserburg G.J. An experimental study of trace element partitioning between Ti-Al-clinopyroxene and melt: Equilibrium and kinetic effects including sector zoning // *Amer. Mineral.* 2006. Vol. 91. P. 1596-1606.

Lyll K.D. The origin of mechanical twinning in galena // *Amer. Mineral.* 1966. Vol. 51. P. 243-247.

Mallard E. Sur les clivages in quartz // *Bull. Soc. franç. Minéral.* 1890. Vol. 13. P. 61-62.

Martaud A. Les concrétions des grottes // *Le Règne Minéral.* 1997. № 16. P. 4-49.

Masing G. Lehrbuch der allgemeinen metallkunde. Berlin: Springer-Verlag. 1950. 290 s.

Monographs on Crystallography. Oxford University Press. 2004. 400 p.

Mayers M.A. & Chawla K.K. Mechanical behavior of materials. New York: Cambridge University Press. 2009. 856 p.

McClay K.R. & Ellis P.G. Deformation and recrystallization in pyrite // *Mineral. Mag.* 1983. Vol. 47. P. 527-538.

McKague H.L. Trapiche emerald from Colombia // *Gem. Gemmol.* 1964. Vol. 11. P. 20-213, 223.

Milke R. Spiral growth of grossular under hydrothermal conditions // *Amer. Mineral.* 2004. Vol. 89. S. 211-218.

Morimoto N., Gyobu A., Tsukumo K. & Kato K. Superstructure and nonstoichiometry of the intermediate pyrrotite // *Amer. Mineral.* 1975. Vol. 60. P. 240-258.

Mügge O. Zwillingsbau und flächenzeichnung von bergkristallartigen quartzen mit rücksicht auf ihre entstehungstemperatur // *Zeitschr. Kristallogr.* 1932. Bd. 82. S. 451-467.

Mügge O. Zwillingsbau magmatischer quartzen mit rücksicht auf ihre entstehungstemperatur // *Zeitschr. Kristallogr.* 1932. Bd. 84. S. 97-108.

Müller A., Wiedenbeck M., van den Kerkhof A.M., Kronz A. & Simon K. Trace elements in quartz – a combined electron microprobe, secondary ion mass spectrometry, laser-ablation ICP-MS, and cathodoluminescence study // *Eur. J. Mineral.* 2003. Vol. 15. P. 747-763.

- Muncill G.E. & Lasaga A.C.** Crystal growth kinetics of plagioclase in igneous systems // Amer. Mineral. 1987. Vol. 72. P. 299-311.
- Muncill G.E. & Lasaga A.C.** Crystal growth kinetics of plagioclase in igneous systems // Amer. Mineral. 1988. Vol. 73. P. 982-992.
- Murowchick J.B. & Barnes H.L.** Effect of temperature and degree supersaturation on pyrite morphology // Amer. Mineral. 1987 Vol. 72 P. 1241-1250.
- Nadeau P.H.** Fundamental particles and advancement of geoscience: response to “implications of the data for the concept of fundamental particles” // Canad. Mineral. 1998. Vol. 36. P. 1409-1414.
- Nakamura Y.** Origin of sector-zoning of igneous clinopyroxenes // Amer. Mineral. 1973. Vol. 58. P. 986-990.
- Nassau K. & Jackson K.A.** Trapiche emeralds from Chivor and Muzo, Colombia // Amer. Mineral. 1970. Vol. 55. P. 416-427.
- Newhouse W.H.** The direction of flow of mineralizing solutions // Econ. Geol. 1941. Vol. 36. P. 612-617.
- Nicholls J. & Stout M.Z.** Epitactic overgrowths and intergrowths of clinopyroxene on orthopyroxene: implication for paths of crystallization 1881 lava flow, Mauna Loa volcano, Hawaii // Canad. Mineral. 1997. Vol. 35. P. 909-922.
- Nixon P.H. et al.** Graphite pseudomorphs after diamond in the eclogite-peridotite massif of Beni Bousera, Morocco, and a review of anomalous diamond occurrences // Proc. 4th Intern. Kimberlite Conf. Perth: 1986. P. 412-414.
- Ohfuji H., Boyle A.P., Prior D.J. & Rickard D.** Structure of framboidal pyrite: An electron back scatter diffraction study // Amer. Mineral. 2005. Vol. 90. P. 1693-1704.
- Ortoleva P., Chen Y. & Chen W.** Agates, geodes, concretions and orbicules: Self-organized zoning and morphology. In: J.H. Kruhl (ed.) – Fractals and dynamic systems in geoscience. Berlin: Springer.1994. 421 p.
- Osterberg H. & Cooksen J.W.** Some piezoelectric and elastischen properties of β -quartz // J. Franklin Inst. 1935. Vol. 220. P. 361-371.
- Ostwald J. & England B.M.** The relationship between eugedral and framboidal pyrite in base-metal sulphide ores // Mineral. Mag. 1979. Vol. 43. P. 297-300.
- Pabst A.** A metamict state // Amer. Mineral. 1952. Vol. 37. P. 137-157.
- Pabst A.** Pyrite of unusual habit simulating twinning from the Gren River Formation of Wyoming // Amer. Mineral. 1971. Vol. 56. P. 133-145.
- Palache C.** The largest crystals // Amer. Mineral. 1923. Vol. 8. P. 342-363.
- Palenik C.S., Nasdala L. & Ewing R.C.** Radiation damage in zircon // Amer. Mineral. 2003. Vol. 88. P. 770-781.
- Patel A.R. & Agarwal M.J.** Microstructure on Panna diamond surfaces // Amer. Mineral. 1965. Vol. 50. P. 124-131.
- Petersen J.S.** Columnar-dendritic feldspars in the Lardalite intrusion, Oslo region, Norway. 1. Implications for unilateral solidification of a stagnant boundary layer // J. Petrol. 1985. Vol. 26. P. 223-252.
- Petersen J.S. & Lofgren G.E.** Lamellar and patchy intergrowth in feldspars: Experimental crystallization of eutectic silicates // Amer. Mineral. 1986. Vol. 71. P. 343-355.
- Petreus I.** The divided structure of crystals I. Lineage and sector structure in pyrite and beryl // Amer. Mineral. 1978. Vol. 63. P. 725-731.
- Philpotts A.R.** Principles of igneous and metamorphic petrology. New Jersey: Prentice Hall. 1990. 498 p.
- Pierce L. & Buseck P.R.** Superstructuring in the bornite – digenite series: a high-resolution electron microscopy // Amer. Mineral. 1978. Vol. 63. P. 1-16.
- Pirauo C., Frouchini-Angela M. & Boistelle K.** Curvature of gypsum crystals induced by growth in the presence of impurities // Mineral. Mag. 1989. Vol. 53. P. 479-482.
- Progress in metal physics (ed. B. Ghalmlers). Oxford: Pergamon Press. 1952. 175 p.

Puga E., Fanning C.M., Nieto J.M. & de Federico A.D. Recrystallization textures in zircon generated by ocean-floor and eclogite-facies metamorphism: a cathodoluminescence and U-Pb shrimp study, with constraints from REE elements // *Canad Mineral.* 2005. Vol. 43. P. 183-202.

Putnis A. Introduction to mineral sciens. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 1992. 457 p.

Putnis A. Mineral replacement reactions: from macroscopic observations to microscopic mechanisms // *Mineral. Mag.* 2002. Vol. 66. P. 689-708.

Putnis A. & Holland T.J.B. Sector trilling in cordierite and equilibrium overstepping in metamorphism // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1986. Vol. 93. P. 265-272.

Putnis C.V., Tsukamoto K. & Nishimura Y. Direct observation of pseudomorphism: compositional and textural evolution of a fluid-solid interface // *Amer. Mineral.* 2005. Vol. 90. P. 1909-1912.

Rakovan J. & Jaszczak J.A. Multiple length scale growth spirals on metamorphic graphite (001) surfaces studied by atomic force microscopy // *Amer. Mineral.* 2002. Vol. 87. P. 17-24.

Rakovan J. & Waychunas G. Differential incorporation of trace elements and dissymmetrization in apatite: The role of surface structure during growth // *Amer. Mineral.* 1994. Vol. 79. P. 892-903.

Raman C.V. & Jayaraman A. The structure and optical behavior of iridescent agate // *Proc. Indian Acad. Sci.* 1953. Vol. 384. P. 199-206.

Raman C.V. & Jayaraman A. On the optical behavior of cryptocrystalline quartz // *Proc. Indian Acad. Sci.* 1955. Vol. 41A. P. 1-6.

Ramdohr P. The ore minerals and their intergrowths. Toronto: Pergamon. 1980. 2 vol. 1205 p.

Reeder R.J. & Paquette J. Sector zoning in natural and synthetic calcite // *Sediment. Geol.* 1989. Vol. 65. P. 239-247.

Reeder R.J. & Prosky J.L. Compositional sector zoning in dolomite // *J. Sediment. Petrol.* 1986. Vol. 56. P. 237-247.

Rice A.H.N. & Mitchell J.I. Porphyroblast textural sector-zoning and matrix displacement // *Mineral. Mag.* 1991. Vol. 55. P. 379-396.

Richter K. & Carmichael I.S.E. Mega-xenocrysts in alkali olivine basalts: Fragments of disrupted mantle assemblages // *Amer. Mineral.* 1993. Vol. 78. P. 1230-1245.

Rickwood P.C. The largest crystals // *Amer. Mineral.* 1981. Vol. 66. P. 885-907.

Rinne F. & Kohl R. Optisches zur modificationsänderung von α in β quartz sowie von α to β leucit // *Neues Jahrb. Mineral., Geol., Pal.* 1910. Bd. 11. S. 138-158.

Roedder E. Fluid in salt // *Amer. Mineral.* 1984. Vol. 69. P. 413-439.

Rose G., Sadebeck A. Über die kristallisation des diamanten // *Abh. Ak. Berlin.* 1876 (1877). 2. Abt. S. 85-148.

Ross C.S. Origin and geometric form of chalcedone-filled spherulites from Oregon // *Amer. Mineral.* 1941. Vol. 26. P. 727-732.

Rubin A.E. Aluminian low-Ca pyroxene in a Ca-Al-rich chondrite from the Sematkona meteorite // *Amer. Mineral.* 2004. Vol. 89. P. 867-872.

Salje E.K.H., Chrosch J. & Ewing R.C. Is «metamictization» of zircon a phase transition? // *Amer. Mineral.* 1999. Vol. 84. P. 1107-1116.

Sarbadhikari T.R. On the difference in twinning between phenocryst and groundmass plagioclase of basalts // *Amer. Mineral.* 1965. Vol. 50. P. 1466.

Schoneveld C. A study of some typical inclusion patterns in strongly paracrystalline rotated garnets // *Tectonophysics.* 1977. Vol. 39. P. 453-471.

Schwarz G.M. Intergrowths of bornite and chalcopyrite // *Econ. Geol.* 1931. Vol. 26. P. 186-201.

Schwarz G.M. Classification and definition of textures and mineral structures in ores // *Econ. Geol.* 1951. Vol. 46. N 6.

Seal M. Structure in diamonds as revealed by etching // *Amer. Mineral.* 1965. Vol. 50. P. 105-123.

Searl A. Saddle dolomite: a new view on its nature and origin // *Mineral. Mag.* 1989. Vol. 53. P. 547-555.

- Searl A.** Complex sector zonation in ankerite: geochemical controls on crystal morphology and intersector element partitioning // *Mineral. Mag.* 1990. Vol. 54. P. 501-507.
- Seydoux-Guillaume A.M., Wirth R. & Ingrin J.** Contrasting response ThSiO₄ and monazite to natural irradiation // *Eur. J. Mineral.* 2007. Vol. 19. P. 7-140.
- Shaw S., Pepper S.E., Bryan N.D. & Livens F.R.** The kinetics and mechanisms of goethite and hematite crystallization under alkaline conditions, and in the presence of phosphates // *Amer. Mineral.* 2005. Vol. 90. P. 1852-1860.
- Shearer C.K. & Larsen L.M.** Sector-zoned aegirine from the Ilimaussaq alkaline intrusion, South Greenland: Implications for trace-element behavior in pyroxene // *Amer. Mineral.* 1994. Vol. 79. P. 340-352.
- Shore M. & Fowler A.D.** Oscillatory zoning in minerals: a common phenomenon // *Canad. Mineral.* 1996. Vol. 34. P. 1111-1126.
- Sibley D.F., Vogel T.A., Walker B. M. & Byerly G.** The origin of oscillatory zoning in plagioclase: a diffusion and growth controlled model // *Amer. J. Sci.* 1976. Vol. 276. P. 275-284.
- Sloan E.D.** Introductory overview: hydrate knowledge development // *Amer. Mineral.* 2004. Vol. 89. P. 1155-1161.
- Spear F.S. & Selverstone J.** Quantitative P-T paths from zoned minerals: theory and tectonic applications // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1983. Vol. 83. P. 348-357.
- Spear F.S., Selverstone J., Hickmott D. et al.** P-T paths from garnet zoning: a new technique for deciphering tectonic processes in crystalline terranes // *Geology.* 1984. Vol. 12. P. 87-90.
- Spry A.** *Metamorphic Textures.* Oxford: Pergamon Press Ltd. 1969. 350 p.
- Steele I.M.** Oscillatory zoning in meteoritic forsterite // *Amer. Mineral.* 1995. Vol. 80. P. 823-830.
- Strunz H. & Nickel E.H.** *Strunz mineralogical tables.* Stuttgart: 2001. 870 s.
- Sunagawa I. & Koshino Y.** Growth spirals on kaolin group minerals // *Amer. Mineral.* 1975. Vol. 60. P. 407-412.
- Swanson S.E.** Relation of nucleation and crystal-growth rate to the development of granitic textures // *Amer. Mineral.* 1977. Vol. 62. P. 966-978.
- Swanson S.E. & Fenn P.M.** Quartz crystallization in igneous rocks // *Amer. Mineral.* 1986. Vol. 71. P. 331-342.
- Tanaka T., Akizuki M. & Kudoh Y.** Optical properties and crystal structure of triclinic growth sectors in vesuvianite // *Mineral. Mag.* 2002. Vol. 66. P. 261-274.
- Tanaka T., Kimura N., Akizuki M. & Kudoh Y.** Origin of low-symmetry growth sectors in edingtonite and yugawaralite, and crystal structure of the $k\{110\}$ and $v\{120\}$ sectors of yugawaralite // *Mineral. Mag.* 2002. Vol. 66. P. 409-420.
- Tarney J.** Epitaxial relations between coexisting pyroxenes // *Mineral. Mag.* 1969. Vol. 37. P. 115-122.
- Taylor G.R.** A mechanism for fiamoid formation as illustrated by a volcanic exhalative sediment // *Mineral. Deposita.* 1982. Vol. 17. P. 23-36.
- Theriault R.D. & Fowler A.D.** Harrisitic textures in the Centre Hill complex, Munro Township, Ontario: products of diffusion limited growth // *Mineral. Petrol.* 1995. Vol. 54. P. 35-44.
- Thompson R.N.** Oscillatory and sector zoning in augite from a Vesuvian lava // *Carnegie Inst. Washington. Yearbook-72.* 1973. P. 463-470.
- Thornber C.R. & Huebner J.S.** Dissolution of olivine in basaltic liquids: experimental observations and applications // *Amer. Mineral.* 1985. Vol. 70. P. 934-945.
- Turner F.I.** Observation on twinning of plagioclase in metamorphic rocks // *Amer. Mineral.* 1951. Vol. 36. P. 581-589.
- Vavelidis M.** Framboidal pyrite from the Kuroko-type barite mineralization of the Katsimouti area, Milos Island, Greece // *Chem. Erde.* 1995. Vol. 55. P. 281-294.
- Veblen D.R. & Post J.E.** A TEM study of fibrous cuprite (chalcotrichite): microstructure and growth mechanisms // *Amer. Mineral.* 1983. Vol. 68. P. 790-803.
- Venables J.D.** Cleavage viskers // *J. Appl. Phys.* 1960. Vol. 31. P. 1501-1504.

Vergilov Z. & Kostova B. Composition, anatomy and growth mechanism of tourmalines from Vitosha pegmatites // *Годиш. Софийского ун-та «Св. К. Орхидски»*. 2000. Сер. геол. и географ. Т. 92. С. 105-119

Vernon R.H. Deformation and recrystallization of a plagioclase grains // *Amer. Mineral.* 1975. Vol. 60. P. 884-888.

Wang Y. & Merino E. Self-organizational model origin of agates: banding, fiber twisting, composition, and dynamic crystallization model // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1990. Vol. 54. P. 1627-1638.

Ward C.M. Titanium and the colour of staurolite // *Amer. Mineral.* 1984. Vol. 69. P. 541-545.

Wass S.J. The origin and petrogenetic significance of hour-glass zoning in titaniferous clinopyroxenes // *Mineral. Mag.* 1973. Vol. 39. № 302. P. 133-144.

Watson E.B. & Liang Y. A simple model for sector zoning in slowly grown crystals: Implications for growth rate and lattice diffusion, with emphasis on accessory minerals in crustal rocks // *Amer. Mineral.* 1995. Vol. 80. P. 1179-1187.

Webb W.W., Dragsdorf B.D. & Forgang W.D. Dislocation in whiskers // *Phys. Rev.* 1987. Vol. 108. P. 498-499.

Webber K.L., Simmons W.B., Falster A.U. & Foord E.E. Cooling rates and crystallization dynamics of shallow level pegmatite – aplite dikes, San Diego County, California // *Amer. Mineral.* 1999. Vol. 84. P. 708-717.

Woodhead J.A., Rossman G.R. & Silver L.T. The metamictization of zircon: radiation dose-dependant structural characteristics // *Amer. Mineral.* 1991. Vol. 76. P. 74-82.

Wooster W.A. A text- book on crystal physics. Cambridge University Press. 1938. 295 p.

Yardley B.W.D., Rochelle C.A., Bancroft A.C. & Lloyd G.E. Oscillatory zoning in metamorphic minerals an indicator of infiltration metamorphism // *Mineral. Mag.* 1991. Vol. 55. P. 357-365.

Zaiser M. & Hähner P. The flow stress of fractal dislocation arrangements // *Material Science and Engineering A.* 1999. Vol. 270. P. 299-307.

Zircon (eds. Hancler J.M., Hoskin P.W.O.) // *Rev. Mineral. Geochem.* 2004. Vol. 53. 500 p.

Zolensky M.E., Mackinnon J.D. Microstructures of cylindrical tochilinites // *Amer/Mineral.* 1986. Vol. 71. P. 1201-1209/

Вопросы
по разделу курса Генетическая минералогия –
«Онтогенез и филогенез минералов»

1. Элементы строения кристаллов минералов.
2. Движущая сила процессов кристаллизации. Процессы зарождения кристаллов.
3. Эпитаксия и автоэпитаксия. Кристаллы - скипетры.
4. Присыпки на поверхности кристаллов. Явления отравления поверхности кристаллов.
5. Ступени, вицинали, спирали и террасы роста на поверхности кристаллов.
6. Штриховки роста на гранях кристаллов. Как они ориентированы на кристаллах кварца, турмалина, пирита.
7. Формула де Бура. Следствия из этой формулы.
8. Рост кристаллов и процессы адсорбции. Типы массопереноса при росте кристаллов.
9. Механизмы роста кристаллов: нормальный рост. Что такое овоиды, нодули, орбикулы?
10. Механизмы роста кристаллов: дислокационный рост. Особенности кристаллов свободного роста.
11. Симметрия среды кристаллизации и огранка (форма) кристаллов. Принцип Пьера Кюри.
12. Протогенетические, сингенетические, эпигенетические включения в кристаллах.
13. Типы зональности кристаллов минералов.
14. Реальные скорости роста кристаллов и методы их определения.
15. Двойники роста. Почему их размер значительно больше, чем у сингенетических монокристаллов.
16. Типы скелетных кристаллов, причины их возникновения.

17. Нитевидные кристаллы. Механизмы их образования.
18. Мозаичные, блокованные, расщеплённые кристаллы. Причины их образования. Что такое железные розы?
19. Гетерометрия роста пирамид, секторов кристаллов, их участков. Сферокристаллы и причины их образования.
20. Кристаллы - дендриты. механизм их образования.
21. Скрученные кристаллы. Кристаллы - локоны.
22. Метакристаллы и порфиробласты. Отличия метакристаллов синтетических и послетектонических.
23. Формирование состава кристаллов.
24. Типы дефектов в кристаллах. Дефекты нестехиометрии. Отжиг и закалка дефектов. Дислокации – векторы роста кристаллов.
25. Механические деформации кристаллов. Спайность. Кинкбэнды. Механическая дифференциация вещества.
26. Явления растворения кристаллов. Ямки, конусы, вицинали травления.
27. Регенерация кристаллов.
28. Псевдоморфозы, их типы. Фитоморфозы, зооморфозы.
29. Друзы. Ортотропизм роста кристаллов в агрегатах. Его причины.
30. Явление геометрического отбора.
31. Параллельно-шестоватые агрегаты кристаллов 1 и 2 типа по Д.П. Григорьеву.
32. Типы минеральных агрегатов.
33. Агрегаты нитевидных кристаллов. Антолиты. Геликтиты. Мембраны.
34. Первичные поверхности роста кристаллов в их агрегатах.
35. Индукционные (компромиссные) поверхности кристаллов в их агрегатах.
36. Индукционные поверхности роста кристалл – сферолит и сферолит – сферолит.
37. Текстуры и структуры минеральных агрегатов.
38. Эвтектические структуры. Разделённые эвтектики.

39. Сферолиты и сфероидолиты. Кораллиты.