

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 флюорита - 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.



Хову-Аксы, Тува. Фото ЭМС

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. Индивиды

Растворение кристаллов

015. Дефекты в кристаллах

Эпигенетические изменения кристаллов – ИНДИВИДОВ

Изменение и уничтожение индивидов – эти процессы на стыке онтогении и филогении минералов.

Явления растворения и уничтожения индивидов

Дефекты в кристаллах играют серьезную роль в процессах их роста; в процессах растворения не просто серьезное, но определяющее значение.

Дефекты в кристаллах

Отличительная черта кристаллического состояния - строгая периодичность в расположении частиц, составляющих решетку кристалла. Любое нарушение такой периодичности - дефект.

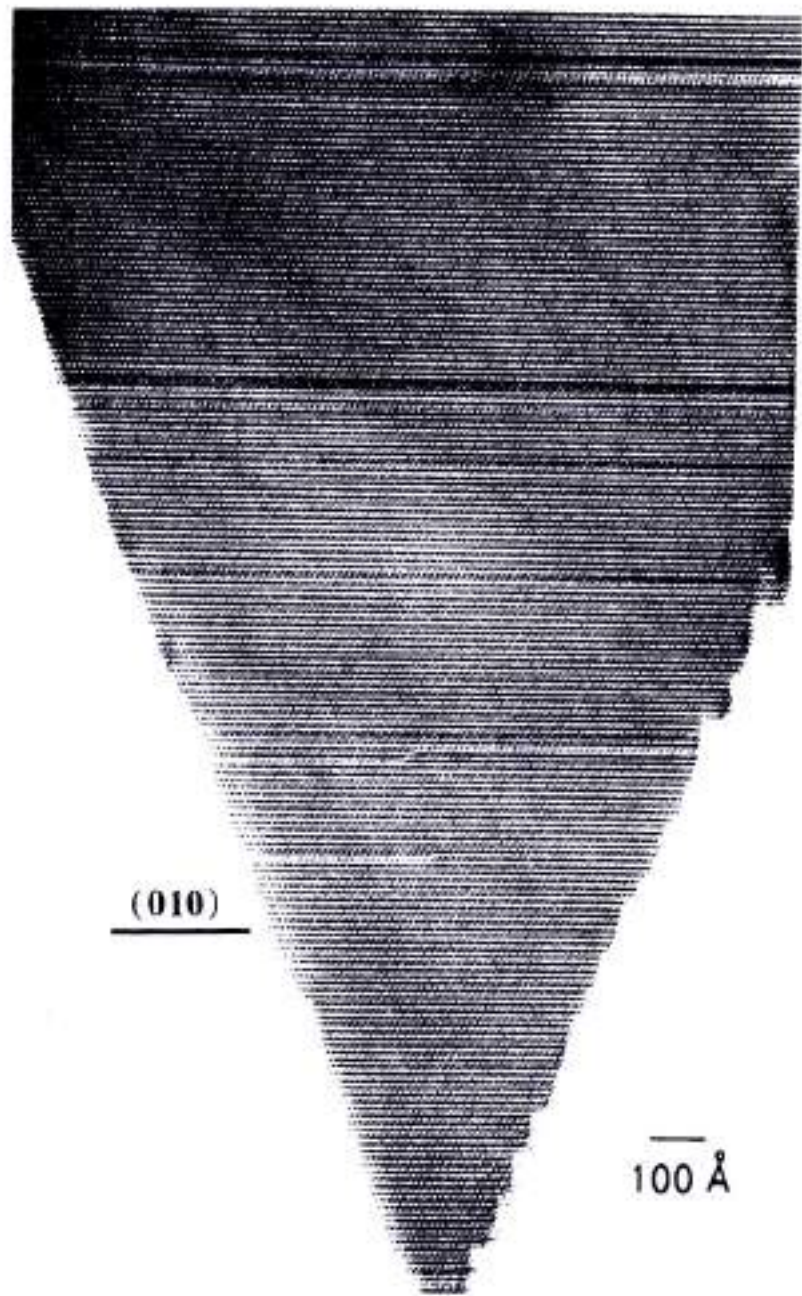
Если это нарушение локализовано в пределах одного или единичных узлов решетки - это точечные дефекты, иногда они именуется нульмерными. Их наличие в кристаллах любых веществ при $T > 0^\circ \text{K}$ вытекает из второго закона термодинамики. Точечные дефекты термодинамически обратимые, их концентрации в кристалле определяются термодинамическими параметрами. В реальном кристалле возникновение точечных дефектов является следствием неизбежного контакта кристалла с окружающей средой и обмена с ней энергией и/или веществом.

В случае обмена теплотой, например, при нагревании кристалла в нём появляются так называемые тепловые дефекты.

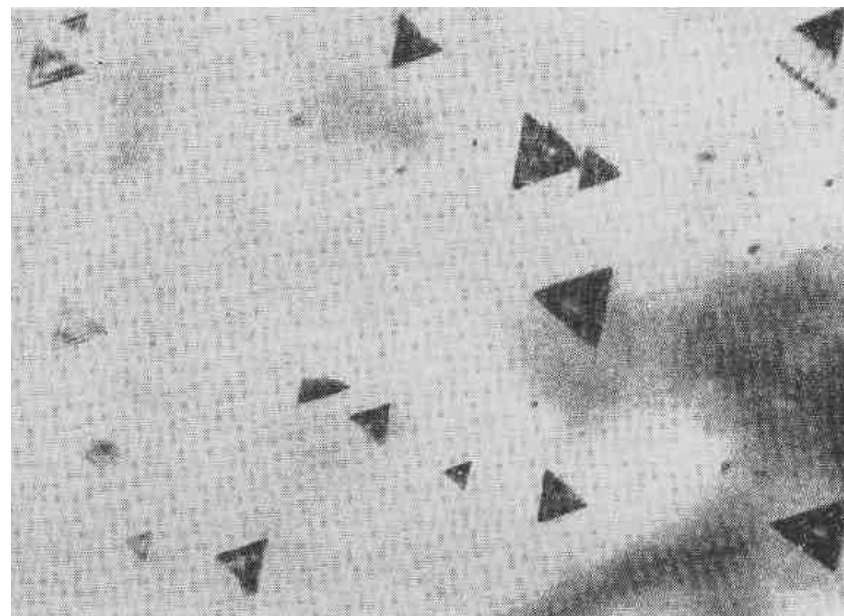
В случае обмена веществом в кристалле появляются дефекты нестехиометрии или дефекты, обусловленные посторонними примесями.

Если нарушение охватывает более обширную область кристалла - плоскость или несколько плоскостей или блоков, оказавшихся сдвинутыми...- это протяженные дефекты- линейные, поверхностные или объёмные, обычно их называют дислокациями.

Дефекты в кристаллах



Реальная кристаллическая структура силиката Ca-Fe – бабингтонита.
Сдвигивание слоёв, пропуски частей слоёв решётки....

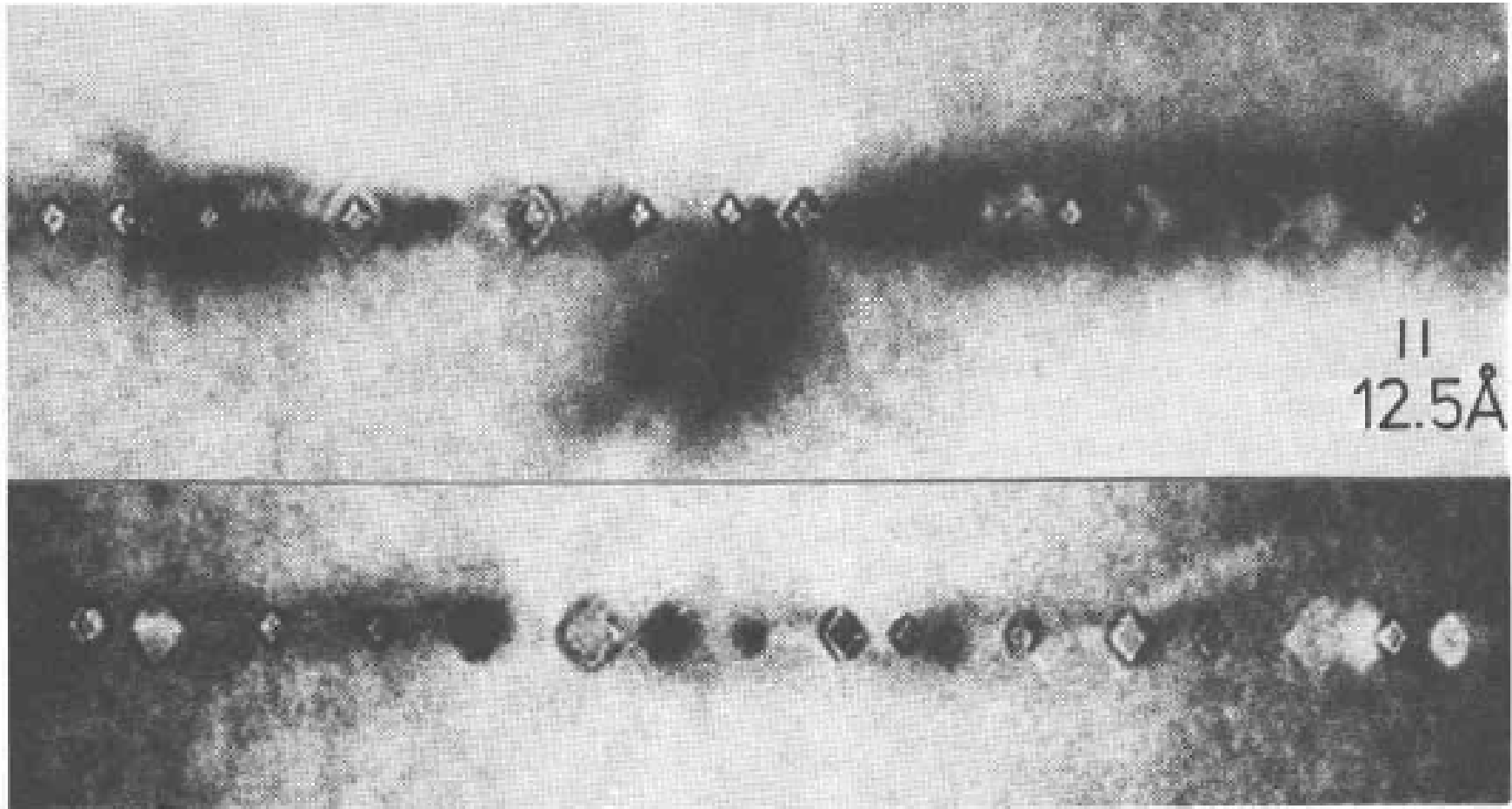


Тетраэдрической формы дефекты упаковки в закалённом золоте.
X 120.000

Дефекты в кристаллах

Реальные почти точечные дислокации в кристалле алмаза.

Bursill L.A., Glaisher R.W., 1985. Amer. Mineral. Vol. 70. P. 608-618



5. Faceted voidite defects viewed along [011]. The dislocation loop lies on (100) i.e., parallel to the projection axis. Diameters range from 7.5–75 Å and voidite contrast varies along the platelet.

Дефекты в кристаллах

Зейтц (1952). 6 основных видов дефектов в кристаллах:

- 1) фононы (кванты колебаний решётки);
- 2) электроны и дырки;
- 3) экситоны = электрон + положительно заряженная дырка, удерживаемые в качестве единой нейтральной частицы;
- 4) вакансии и междоузельные атомы;
- 5) посторонние атомы в узлах решётки или в междоузлиях (химические дефекты – примеси);
- 6) дислокации – самые значительные и устойчивые.

Дефекты в кристаллах

Ван Бюрен (1961). 4 типа дефектов:

- 1) нульразмерные – точечные (ненасыщенные связи, свободные связи) – вакансии, атомы в междоузлиях, центры окраски, парные вакансии, кластеры;
- 2) одномерные или линейные несовершенства – дислокации;
- 3) двумерные или поверхностные нарушения – границы зёрен, двойниковые границы, межфазные границы, дефекты упаковки, поверхности кристаллов;
- 4) трёхмерные или объёмные нарушения – поры, включения другой фазы, скопления примесей, иные объёмные дефекты.

Фистуль Виктор Ильич (1995).

Макродефекты – легко видны в микроскоп. Поры, трещины, посторонние включения, границы отдельных кристаллов, двойниковые границы. Размеры их вплоть до мельчайших.

Микродефекты – хотя бы один из трёх размеров (x , y , z) сравним с периодом кристаллической решётки 0.2 – 0.5 nm.

Дефекты в кристаллах

Дислокации всегда термодинамически неравновесны, их состояние в кристалле возможно понять только с кристаллохимических, а не с термодинамических позиций.

Все типы дефектов так или иначе влияют на свойства кристаллов. Дефектообразование в кристалле - процесс, развивающийся в пространстве и во времени, он неизбежно связан с перемещением частиц в кристалле. Процесс дефектообразования не может быть понят без знания законов такого перемещения, - законов диффузии в твёрдых телах. В свою очередь, перенос вещества в кристаллических телах связан с их дефектностью. Это обстоятельство имеет исключительное значение для протекания большинства твердофазных процессов - необходимо доставить реагирующие вещества в зону реакции, а идеальный кристалл не способен к какому-либо транспорту вещества.

Реакционная способность кристаллических тел в сущности определяется их дефектностью.

Дефекты в кристаллах

Тепловой беспорядок в кристалле. Тепловые дефекты. Тепловое воздействие на кристалл может привести к тому, что вместо идеального упорядочения, при котором все узлы решетки заняты, а междоузлия пусты, часть узлов кристалла окажется пустой, а часть междоузлий занятой. Впервые гипотезу о возникновении такого рода нерегулярностей выдвинул наш известный физик Яков Ильич Френкель в 1926 г. Дефект по Френкелю в сущности состоит из двух дефектов - вакансии в узле решетки и частицы в междоузлии. При тепловом разупорядочении бинарного кристалла два вида таких дефектов : 1) в междоузлие смещен катион (дефект - френкель); 2) в междоузлие смещен анион (дефект - антифренкель). Другая модель теплового разупорядочения по Шоттки, когда элементарная частица покидает узел, оставляя вакансию и уходит на поверхность кристалла, где достраивает решетку (дефект - шоттки); менее вероятен обратный процесс - частица с поверхности внедряется в одно из междоузлий (дефект - антишоттки). При этом происходит увеличение размеров элементарной ячейки (параметров решетки). Третий тип тепловых дефектов: частицы занимают не "свои" узлы в решетке. В частности такой беспорядок наблюдается в бинарных интерметаллических соединениях.

Дефекты в кристаллах

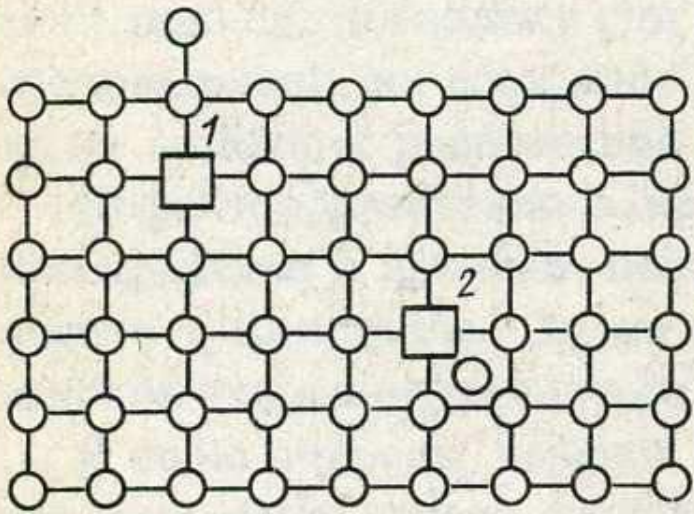


Рис. 1.1. Дефекты, возникающие в однокомпонентном кристалле при тепловом разупорядочении:

1 — дефект по Шоттки; 2 — дефект по Френкелю

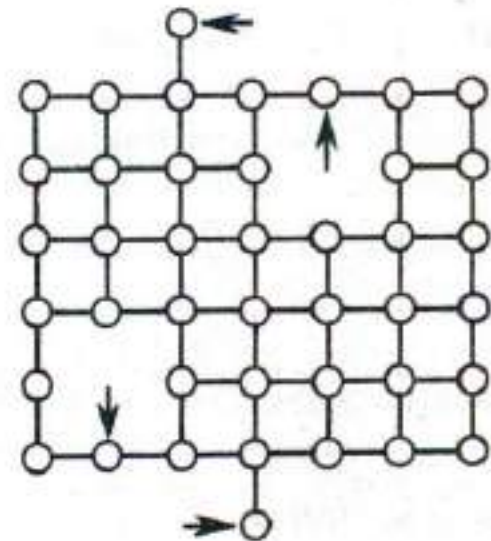
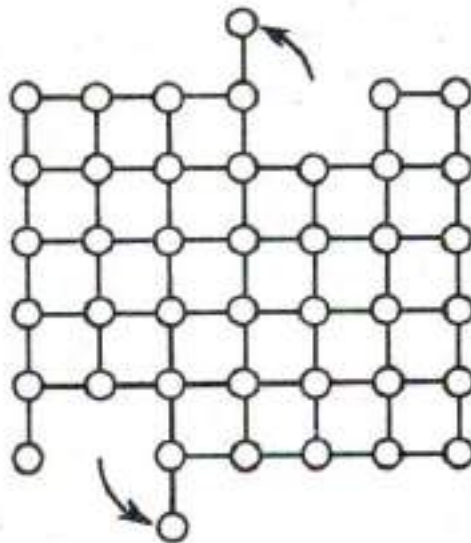


Рис. 1.2. Увеличение объема кристалла при тепловом разупорядочении по механизму Шоттки

Дефекты в кристаллах

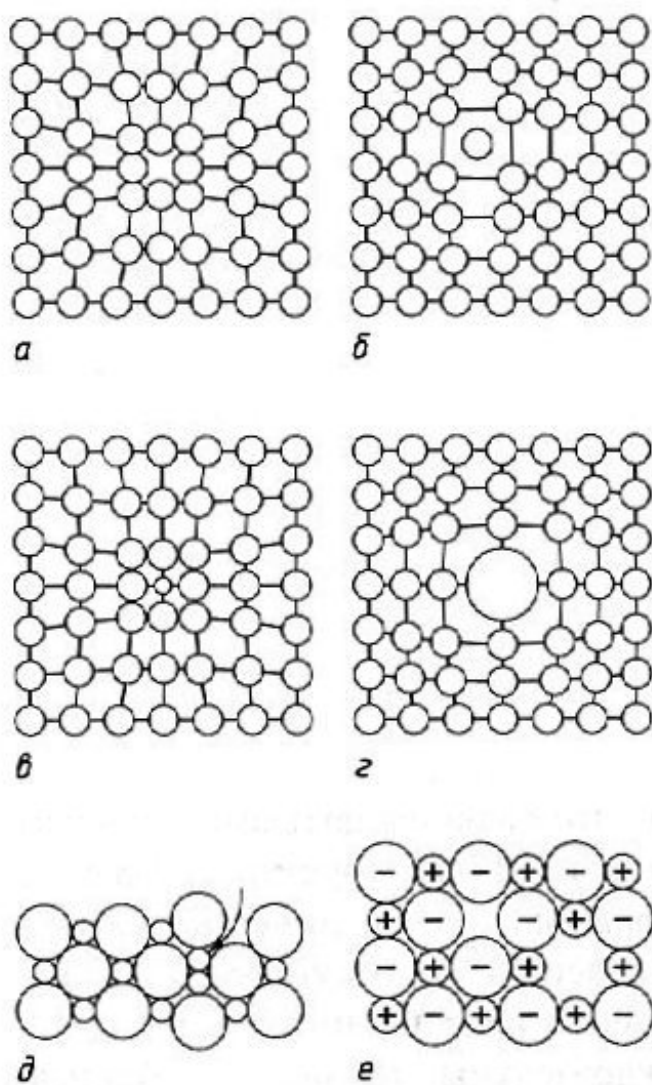


Рис. 3.1. Различные типы дефектов в кристаллах: *a*) вакансия; *б*) междоузельный атом; *в*) небольшой дефект замещения; *г*) большой дефект замещения; *д*) дефект Френкеля; *е*) дефект Шоттки (пара вакансий в катионной и анионной подрешетках)

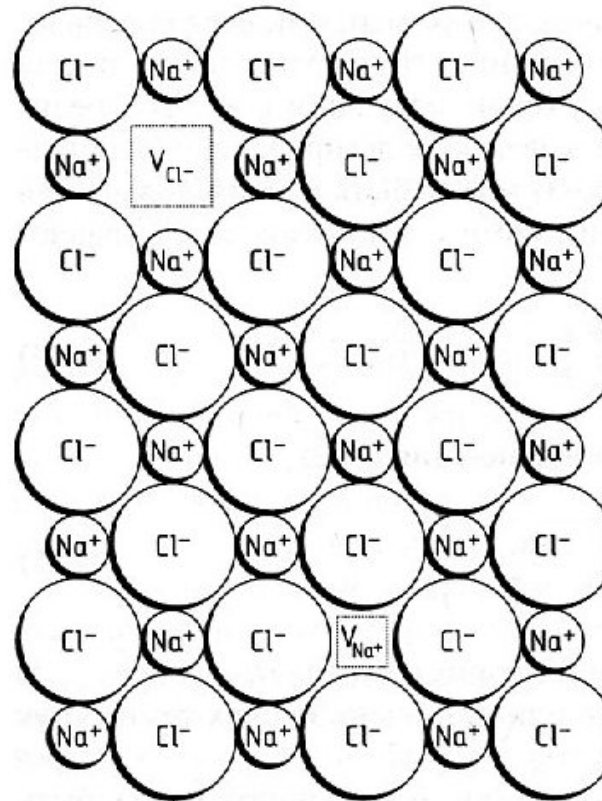


Рис. 5.31. Дефекты Шоттки в NaCl. Для сохранения электронейтральности должно существовать равное число анионных V_{Cl^-} и катионных V_{Na^+} вакансий

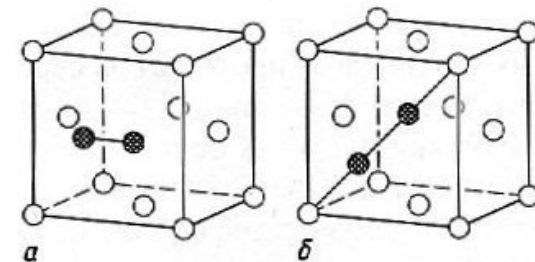


Рис. 3.2. Возможные конфигурации междоузельного атома: *a*) гантель; *б*) краудин

Дефекты в кристаллах

Этот вид дефектов именуется антиструктурным. В трёхкомпонентных соединениях антиструктурные дефекты возникают при обмене местами двух катионов, принадлежащих к различным подрешеткам кристалла.

Концентрация тепловых дефектов является экспоненциальной функцией температуры. Резко возрастает концентрация дефектов вблизи T плавления. Концентрация шоттковских тепловых дефектов в кубических кристаллах равна утроенной разности между относительным увеличением длины кристалла и относительным изменением параметра a . Обе эти величины доступны для измерений с такой точностью, которая позволяет проводить определения тепловых дефектов, когда их мольная доля достигает $0,00001$.

Беспорядок, вызванный нарушениями стехиометрии. Дефекты нестехиометрии.

О неизбежности нарушения законов стехиометрии в кристаллических веществах. Представления о возникновении тепловых дефектов в бинарном кристалле стехиометрического состава в значительной мере идеализированы и являются упрощенными. Они основаны на том, что появление дефектов в кристалле есть результат тепловых флуктуаций в решетке, когда отдельные частицы приобретают энергию, достаточную для ухода их из

Дефекты в кристаллах

образование дефектов рассматривается как гомогенная внутри кристаллическая реакция, не связанная с наличием других фаз. В действительности эти другие фазы реально присутствуют. Этим вызван неизбежный обмен веществом между рассматриваемым кристаллом и этими фазами, т.е. окружающей средой. Наиболее простым и естественным является случай, когда кристалл находится в равновесии с собственным паром. В этом случае система состоит из двух фаз: твёрдое тело + газ. В случае бинарного (или более сложного состава) кристалла при этом неизбежно происходит нарушение стехиометрии вследствие термодинамически неизбежного обмена веществом между фазами, а состав пара никогда не идентичен составу твёрдого тела.

Нестехиометрия (несовпадение реального состава с идеальным) - объективно существующее свойство кристаллического вещества. Нестехиометрия в большей степени свойственна т.наз. немолекулярным кристаллам. В молекулярных кристаллах, образованных молекулами больших размеров, отчётливо проявлена стехиометрия. В молекулярных кристаллах, образованных молекулами малых размеров, тенденция к нестехиометрии невелика.

К нестехиометрическим соединениям относят особый класс сложных веществ, это т.наз. соединения включения (промежуточные

Дефекты в кристаллах

между твёрдыми растворами внедрения и истинными химическими соединениями). Среди них немало молекулярных кристаллических соединений. При этом растворяющиеся молекулы ("гости") располагаются в пустотах (каналах, полостях, фонарях) кристалла-растворителя ("хозяина"): молекулы CO_2 , H_2O , N_2 в кристаллах кордиерита; молекулы H_2O , CH_4 , He в кристаллах берилла... Число молекул - гостей может меняться в широких пределах. Такие соединения именуется **клатратами**. В их числе интеркалаты, в которых связанные между собой молекулы "гости" расположены между двумя соседними кристаллографическими плоскостями кристалла "хозяина"; они также нестехиометричны. Образование дефектов в кристалле - результат взаимодействия с ним частиц, избыточных против стехиометрии.

Дефекты нестехиометрии. Сверхстехиометрические частицы попадают в кристалл обычно из газовой фазы (или из иного флюида) . В этих средах они нередко существуют в виде атомов. При попадании в кристалл под действием сил, удерживающих кристалл в определенном порядке, наиболее часто изменяется валентность внедряющихся частиц. Изменение степени окисления избыточной частицы означает обмен электронами между ней и кристаллом. Конечным результатом таких реакций всегда является образование дефектов - это реакции

Дефекты в кристаллах

образования дефектов. Для нестехиометричных кристаллов действуют принципы: 1) постоянства отношений количества разнородных узлов кристаллической решетки независимо от действительного состава вещества; 2) электронейтральности кристалла с дефектами; 3) эквивалентности узлов разного сорта при нарушении стехиометрии.

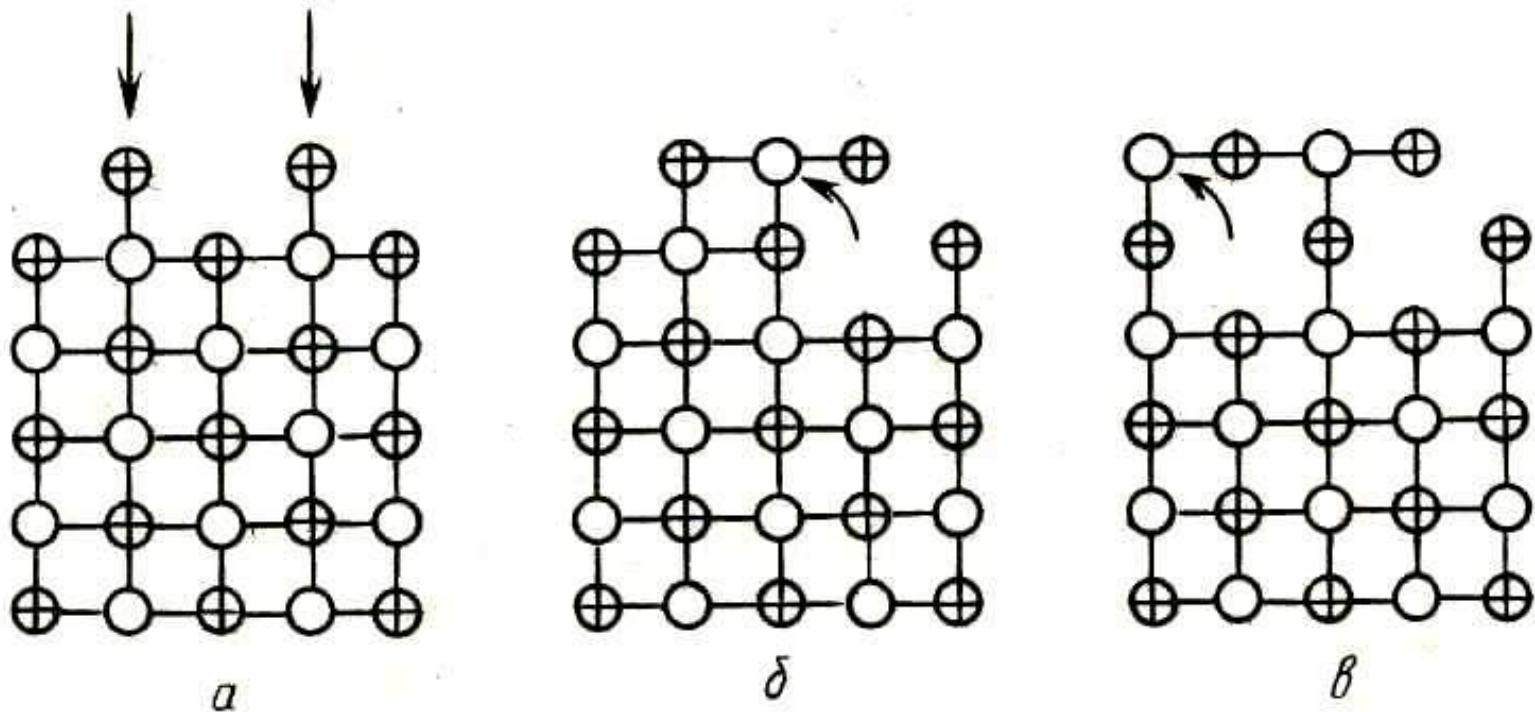


Рис. 2.1. Схема, иллюстрирующая принцип сохранения эквивалентности узлов разного сорта при нарушении стехиометрии:

⊕ – катион; ○ – анион

Дефекты в кристаллах - точечные

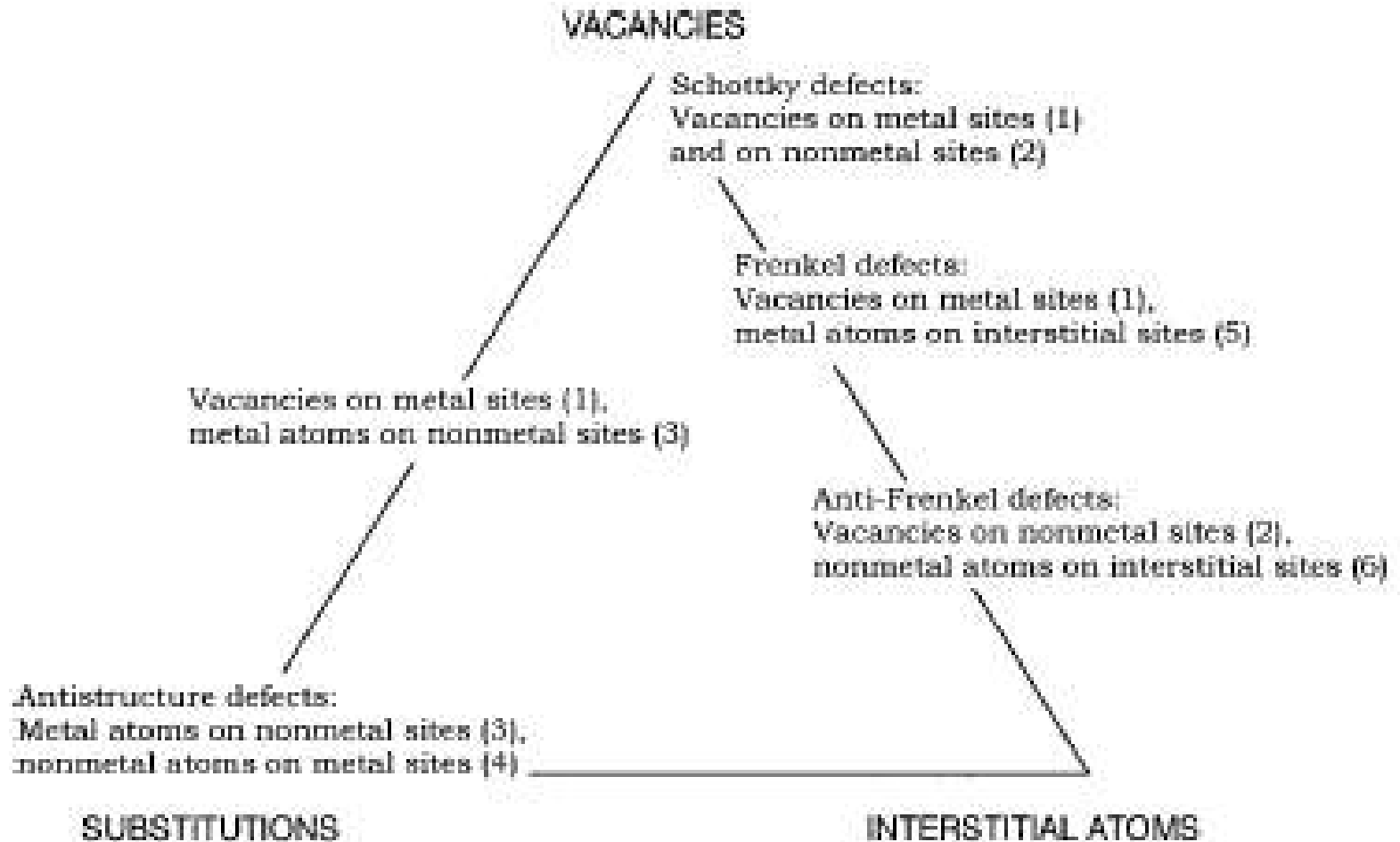


FIG. 1. Intrinsic defects (pairs of point defects) in binary compounds.

Дефекты в кристаллах

Дефекты нестехиометрии в кристаллах двухкомпонентных соединений. Процессы дефектообразования сопровождаются возникновением в кристалле определенных электрофизических свойств. Под действием сил, удерживающих частицы кристалла, атомы компонента А, переходящие в кристалл из газовой фазы, меняют степень окисления, отдавая свои валентные электроны кристаллу. Для веществ с сильно выраженной ионной связью такой акт обычно заканчивается локализацией этих электронов на образованных при этом анионных вакансиях, поскольку они окружены положительным зарядом. В этом случае в соответствии с принципом электронейтральности все структурные элементы решетки будут иметь 0 эффективный заряд. Но связь таких электронов с решеткой будет гораздо менее прочной по сравнению с теми электронами, которые локализованы на анионных вакансиях. Поэтому эти электроны называют квазисвободными.

Такого рода образования придают кристаллам окраску. В кристаллах галита дефицит аниона вызывает синее окрашивание, в кристаллах сильвина - жёлтое и т.п. (образцы). Поэтому их нередко называют центрами окраски или F-центрами (Farbenzentrum).

Дефекты в кристаллах

Синяя окраска в галите

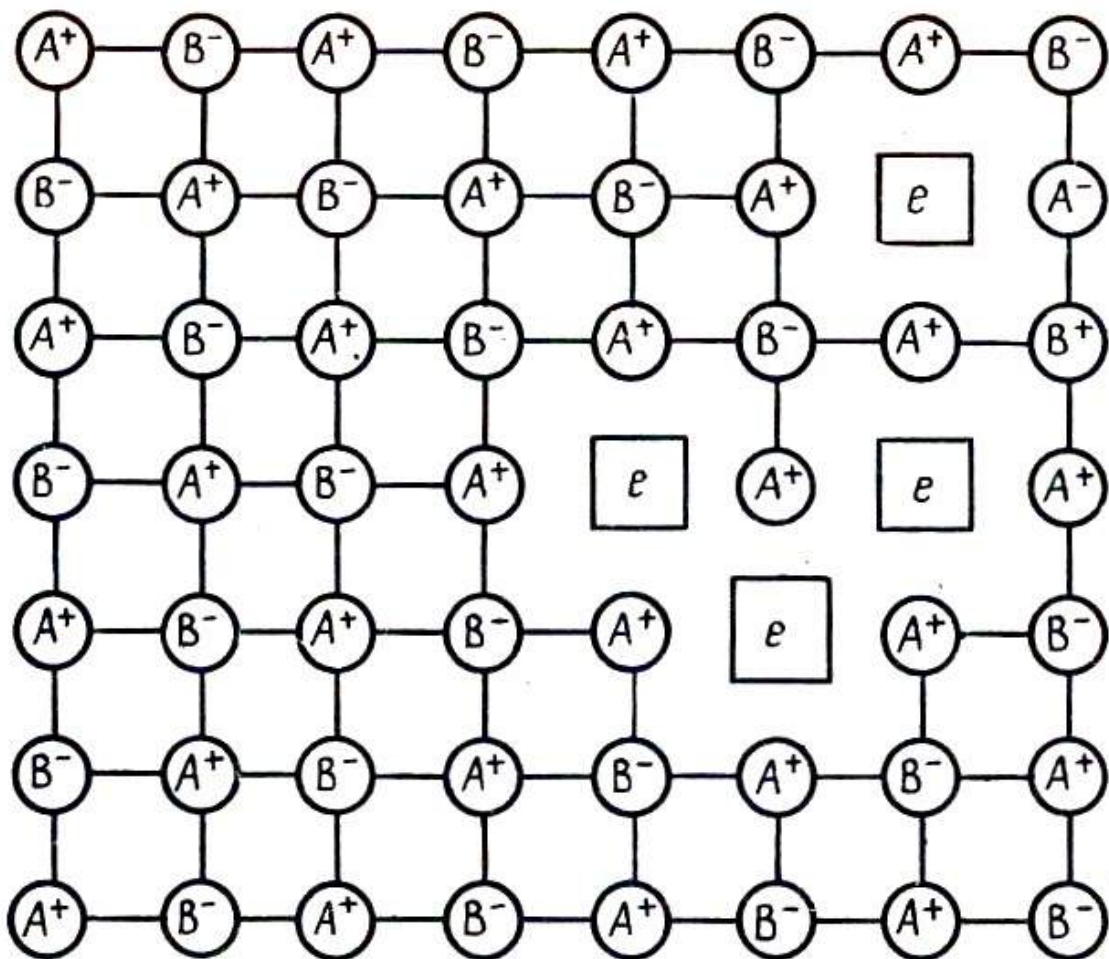


Рис. 2.2. Дефекты нестехиометрии в кристалле АВ. Стехиометрия нарушена в сторону избытка А. Квазисвободные электроны локализованы на анионных вакансиях



Колл. и фото
Э.М.
Спиридонова

56x38 мм. Крупнокристаллический галит из гнёзд среди крупнокристаллического молочно белого сильвина. Участки перекристаллизации калийных солей. Верхнекамское м-ние

Дефекты в кристаллах

Синяя окраска в галите



Intrepid
Potash
Mine,
New
Mexico,
США

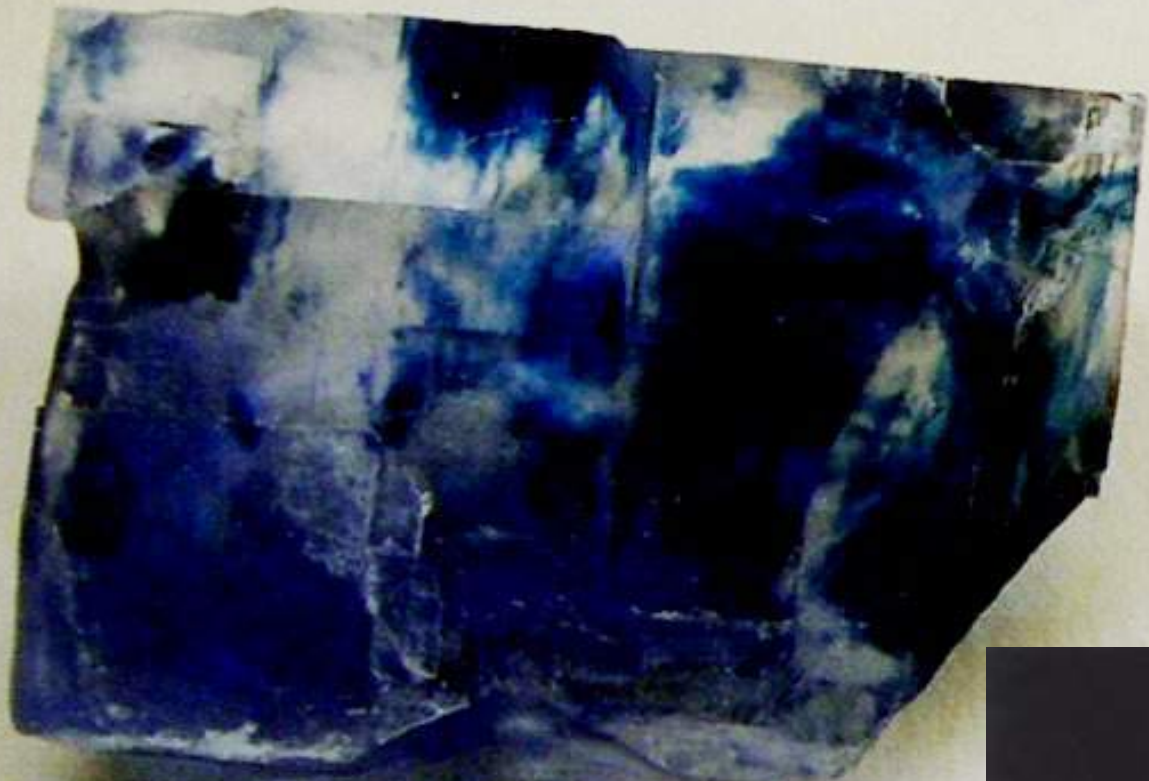
80 мм. Германия



HALITT (Steinsalt) NaCl
Wintershall, Heringen-Werra, Tyskland

Дефекты в кристаллах

Синяя окраска в галите



HALITT (Steinsalt) NaCl
Stassfurt, Tyskland



Дефекты в кристаллах

Синяя окраска в галите



Менценграбен,
Оён,
Восточная
Германия

Дефекты в кристаллах

В случае, когда тот же ионный кристалл АВ экспонируется в парах компонента В, частицы В достраивают анионную подрешетку и приобретают - заряд. Поставщиком электронов для этой цели является валентная зона и, покидая ее, электроны оставляют после себя положительно заряженные дырки.

Квазисвободные электроны и дырки представляют собой дефекты кристаллов. Концентрация этих дефектов в кристаллах по экспоненте зависит от давления пара компонентов; например, для галенита это четвертая степень давления паров серы.

Дефекты нестехиометрии в кристаллах трёхкомпонентных соединений. Это кристаллы обычно двух типов : «а» кристаллы, в которых каждый из трёх компонентов образует собственную подрешётку- две катионные и одну анионную; «б» кристаллы с двумя подрешётками - катионной и анионной, третий компонент распределён статистически в узлах либо катионной, либо анионной подрешетки. Наиболее важен тип «а». Рассмотрим оксиды со структурами перовскита $MeTiO_3$, шпинели $Me^{2+}Me^{3+}_2O_4$, силленита $SiBi_{12}O_{20}$. Две причины возникновения нестехиометрии.

Первая причина - удаление из кристаллов или обогащение одним из компонентов - либо анионом (кислородом...), либо катионом. Например, $PbTiO_3 \rightarrow 0.5 \sigma O_2 + PbTiO_{3-\sigma}$ (σ - нестехиометрия - избыток или дефицит

Дефекты в кристаллах

кислорода); концентрация дефектов нестехиометрии - функция давления O_2 . При этом возникают точечные дефекты.

Особый интерес представляет нестехиометрия в соединениях типа структур внедрения, когда внедряющийся и основной катионы сильно отличаются величиной электроотрицательности и основной катион – d-элемент. Такая ситуация свойственна оксидным бронзам. В этом случае внедрение в кристалл более электроположительного металла сопровождается изменением валентности переходного металла, причем количества внедренного катиона и катиона переходного металла, изменившего валентность, эквивалентны: $x Na + 6 WO_3 \rightarrow Na_{1+x} W_{5+x} W_{6-6-x} O_3$ (такого типа оксидные вольфрамовые бронзы имеют существенное значение как формы переноса вольфрама гидротермами).

Вторая причина - удаление или обогащение кристалла сразу двумя компонентами, один из которых анион, а другой - катион. Такой процесс приводит к тому, что в упомянутых соединениях соотношения между оксидами очень часто выходят из подчинения правилам стехиометрии. Так, обычно состав силленита не $SiO_2 \cdot 6 Bi_2O_3 = Bi_{12} Si O_{20}$, а несколько смещён в ту или иную сторону. γ -нестехиометрия - разбаланс в соотношении между катионными составляющими:

$PbTiO_3 \rightarrow \gamma PbO + Pb_{1-\gamma} TiO_{3-\gamma}$. При этом при значительном нарушении

Дефекты в кристаллах

стехиометрии нередко возникают существенные кристаллографические нарушения, возникают протяженные дефекты.

Рассмотрим процессы дефектообразования в шпинелях AB_2O_4 с весьма устойчивой ГЦК решеткой, в узлах которой O^{2-} . Внутри решетки два вида пустот - октаэдрические и тетраэдрические, которые могут быть заняты катионами А ($Mg, Fe^{2+}, Zn, Ni..$) и В ($Fe^{3+}, Al, Cr..$). Когда А в тетраэдрах, а В в октаэдрах - это нормальные шпинели; когда В в тетраэдрах, а в октаэдрах А и В поровну - это обращенные шпинели. Э.я. шпинелей содержит 8 ф.е. В идеальном кристалле шпинелей на 1 э.я. - 32 кислородных узла, 64 тетраэдрических и 32 октаэдрических. Кислородные узлы заняты полностью, тетраэдрические на $1/8$, октаэдрические на $1/2$. При нарушениях стехиометрии эти соотношения между занятыми и пустыми узлами не сохраняются. Шпинелям свойственны оба вида нарушения, развивающиеся при высоких температурах. Так, при термическом воздействии на ганит $ZnAl_2O_4$ часть ZnO покидает кристаллы и кристаллы обогащаются Al_2O_3 . При $1600^{\circ}C$ равновесный состав $Zn_{0,55}Al_{2,30}O_4$ или же $0,55 ZnO \times 1,15 Al_2O_3$, т.е. колоссальный дефицит Zn при небольшом избытке Al, а сумма количества O не изменилась! Структура сохранилась! Избыточный Al размещен не в "своих" октаэдрических позициях, а тетраэдрических, освободившихся после ухода части Zn; в этих "чужих" местах атомы Al удерживаются

Дефекты в кристаллах

весьма прочно, т. к. заряд атомов Al выше, чем у Zn.

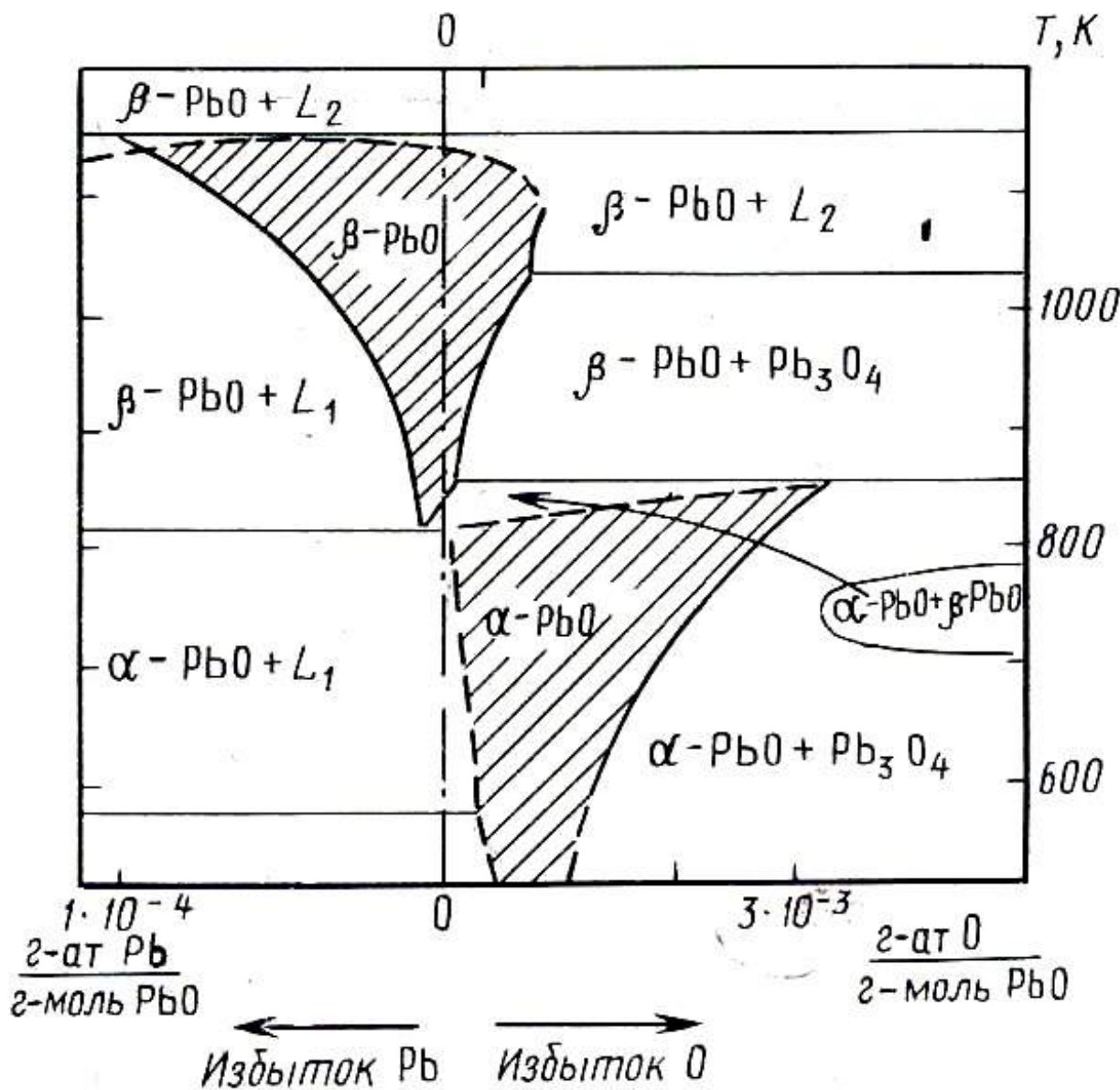
Итак, анионные вакансии не возникли, появились лишь вакансии в катионных узлах.

Аналогичная ситуация с шпинелью $MgAl_2O_4$, состав которой при весьма высоких температурах - $Mg_{0,16}Al_{2,56}O_4$ или $0,16 MgO \times 1,28 Al_2O_3$.

Реальные эффекты нестехиометрии

Нестехиометричные кристаллы представляют собой гомогенные фазы переменного состава. Состав кристаллов - функция ряда термодинамических параметров - температуры и давления прежде всего. "Общенье" кристалла с окружающей средой неотвратно приводит к самопроизвольному нарушению стехиометрии. Пока избыточный компонент не образует новые фазы, нестехиометричный кристалл можно рассматривать как твёрдый раствор этих компонентов в основном веществе. Он представляет собой область гомогенности, границы которой определяются пределами растворимости указанных компонентов. Реально области гомогенности обычно весьма узкие. Так, область гомогенности PbO с избытком свинца - при $850^\circ = 0$, при $1150^\circ C$ достигает $10^{-4} \%$; PbO с избытком кислорода - при $500^\circ = 0$, при 820° достигает $3 \times 10^{-3} \%$.

Дефекты в кристаллах



Реальная ничтожная по величине нестехиометрия оксидов свинца приводит к тому, что поля их устойчивости изменяются на сотни градусов

Рис. 3.2. Область гомогенности нестехиометрического оксида свинца (заштрихована) по данным [19] (линия $O - O$ отвечает стехиометрическому составу)

Дефекты в кристаллах

Эти то фазы с ничтожно узким интервалом гомогенности (не различимые! на обычных диаграммах состояния систем) и определяют электрофизические свойства кристалла и зачастую являются главным

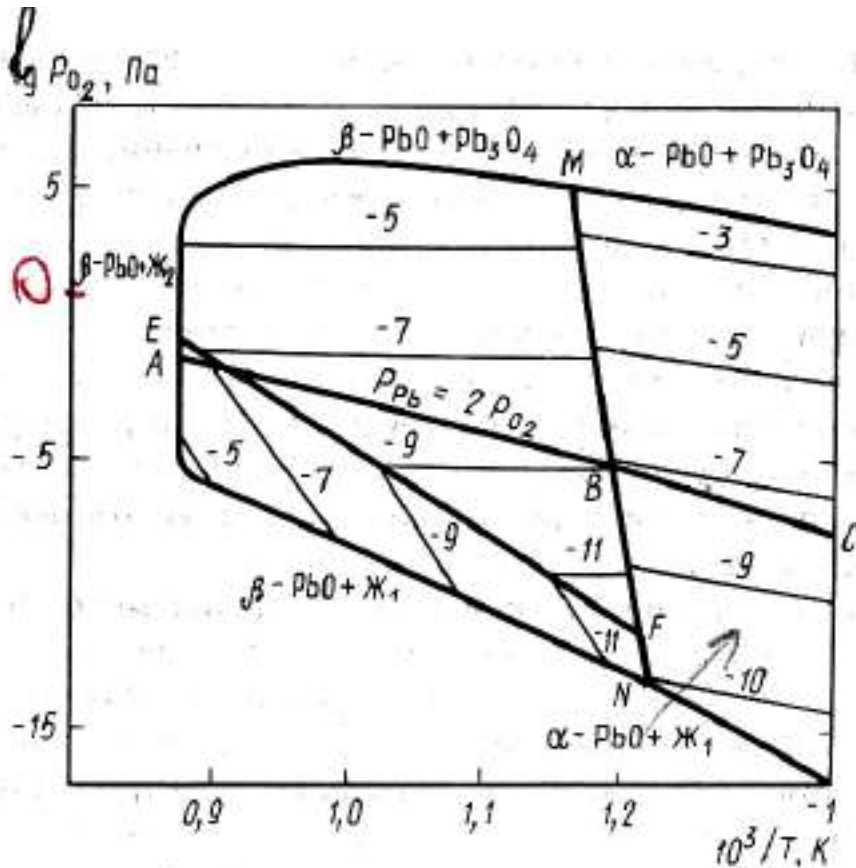


Рис. 3.10. P-T-X-диаграмма оксида свинца:

ABC - конгруэнтное испарение; EF - стехиометрия (ниже линии - избыток свинца, выше - кислорода); MN - полиморфное превращение. (Числа на изоконцентрациях - показатель степени в уравнении $X_{изб} = 1 \cdot 10^n$, г-ат/г-моль)

фактором, определяющим кинетику фазовых превращений и различных химических реакций. Для примера рассмотрим P-T-X диаграмму оксидов Pb. При разнице нестехиометрии на 0,000n % - равновесная f_{O_2} меняется на n порядков!

При столь ничтожных вариациях состава разница температур фазовых переходов и границ полей устойчивости фаз нередко превышает 300° C!

При этом существенно меняются электрофизические свойства: проводимость, магнитная восприимчивость, свойства поверхности.

Дефекты в кристаллах

Беспорядок в кристалле, обусловленный посторонними примесями

Факторы влияния собственных примесей на растворимость посторонних и наоборот. Факторы влияния одних посторонних примесей на растворимость других посторонних примесей. Как и при собственном беспорядке, внедряющиеся атомы могут сохранить нулевую валентность или же валентность их изменится, они превратятся в ионы.

Неизбежность загрязнения кристалла посторонними примесями. Энергия смешения всегда отрицательна, т.е. процесс образования твердого раствора термодинамически выгоден и, следовательно, загрязнение неизбежно. Два случая внедрения посторонних примесей с образованием твёрдых растворов: 1) атомы внедряющейся примеси занимают регулярные узлы решетки - твёрдые растворы замещения; 2) атомы (частицы) внедряющейся примеси в междоузлиях - твёрдые растворы внедрения. Возникновению твёрдых растворов замещения благоприятствуют близость радиусов атомов основного и замещающего и близость их химической природы; общие типы решёток, в которых кристаллизуются атомы примеси и основного вещества. Возникновению твёрдых растворов замещения благоприятствуют размеры междоузлий, равные или превышающие размеры внедряющихся атомов (частиц).

Дефекты в кристаллах

Твёрдые растворы изовалентные и гетеровалентные. Если стехиометрия нарушена в сторону избытка металла, валентность примеси должна быть меньше валентности основного компонента. При избытке металлоида валентность примеси должна быть больше валентности основного компонента. Если атомы-примеси расположены в междоузлиях, образуя растворы внедрения, то атомы-примеси, внедрившиеся в кристалл интерстициально, являются донорами, если их внешняя оболочка заполнена меньше, чем на половину, и акцепторами, если их внешняя оболочка заполнена более, чем на половину.

Отжиг и закалка дефектов

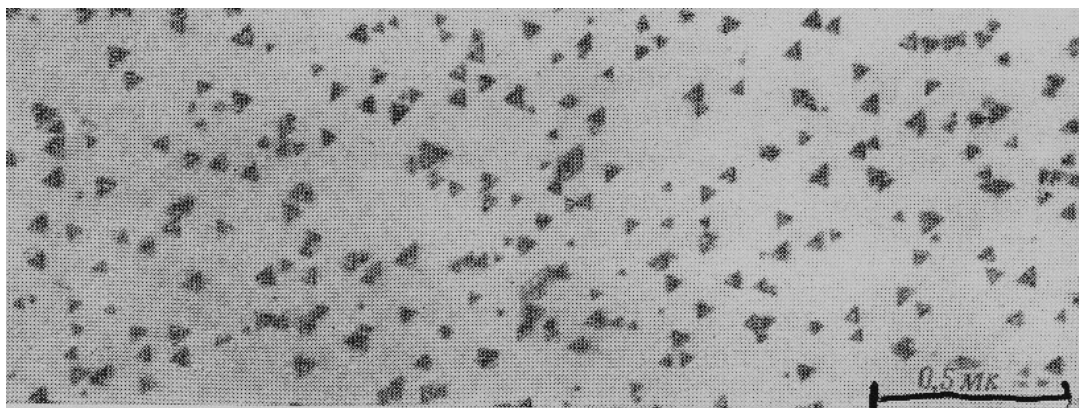
Для описания равновесия дефектов в кристалле пользуются обычными приемами равновесной термодинамики, привлекая три параметра - концентрацию, давление и температуру. Избыточное число дефектов неустойчиво, происходят процессы диффузии точечных дефектов к поверхности кристалла, к трещинам, включениям, возможна коагуляция, слипание точечных дефектов или аннигиляция разно заряженных дефектов. Процессы движения точечных дефектов ускоряются с ростом T .

Возникают точечные дефекты при росте кристаллов, при пластических деформациях, при облучении частицами с большими энергиями. Большое число точечных дефектов образуется при температуре, близкой к температуре плавления. При резком снижении T , -

Дефекты в кристаллах

при закалке основная доля таких дефектов сохраняется, и чем глубже охлаждение, тем медленнее идет установление равновесной при данной температуре концентрации точечных дефектов. Вот почему кристаллы хранят "память" о перегреве расплава...

Выявляются точечные дефекты оптическими, магнитными, ядерно-физическими методами (эффект Мессбауэра...), травлением.



Дефекты тетраэдрической формы в золоте.

Длина линейки

0.5 микрона = 500 нм.

Поперечник дефектов

~ от 10 до 70 нм



Рис. 8.1. Схема механизма диффузии:

a – по вакансиям; *б* – по междуузлиям; *в* – эстафетная диффузия

Дефекты в кристаллах

Взаимодействие дефектов в кристаллах.

Мы кратко рассмотрели возникновение в кристалле элементарных точечных дефектов - квазисвободных электронов и дырок, вакансий сверхстехиометричных или внедренных в кристалл примесных атомов, полагая, что вакансии и междоузельные атомы распределены в объеме кристалла статистически равномерно и не взаимодействуя друг с другом. Однако это не совсем так. Такие явления как фотопроводимость, люминесценция связаны с более сложными образованиями. Это ассоциаты точечных дефектов или частиц либо сверхструктуры, когда взаимодействующие между собой точечные дефекты в конечном итоге располагаются в кристалле по определенному закону, как бы образуя новую (собственную) подрешетку - сверхструктуру. Ассоциаты - кластеры, пучки, грозди, группы дефектов. Ассоциаты как провозвестники распада нестехиометрических фаз и выделения избыточного компонента в самостоятельную фазу. Некоторые исследователи уподобляют крупные ассоциаты коллоидным частицам - мицеллам, стабильность которых связана с поверхностной энергией Гиббса. Ассоциаты сравнительно малоподвижные дефекты, они могут стать препятствием на пути распада твёрдых растворов.

Образование дефектной сверхструктуры обычно есть результат взаимодействия между однотипными заряженными дефектами, когда они

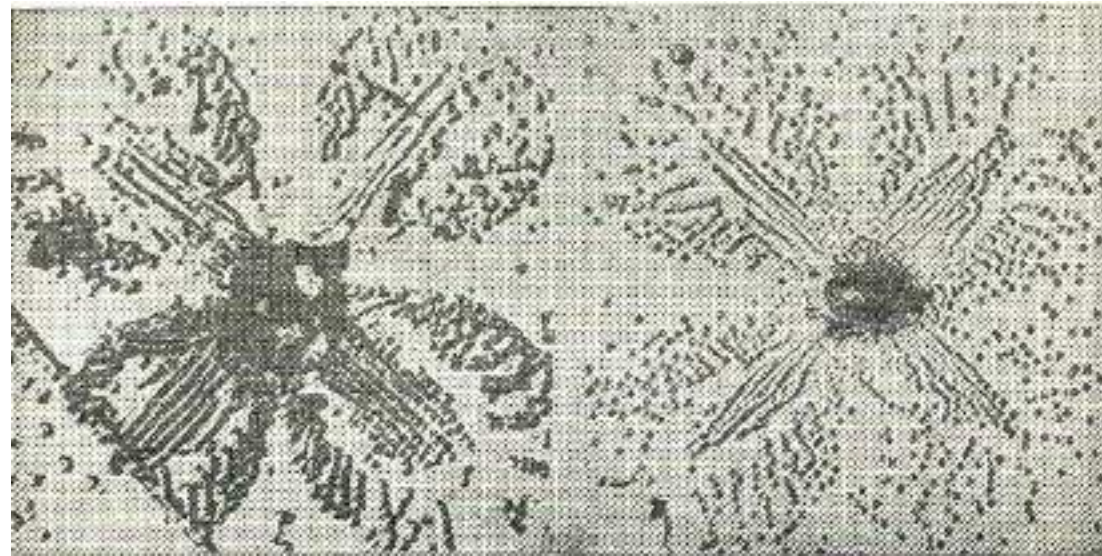
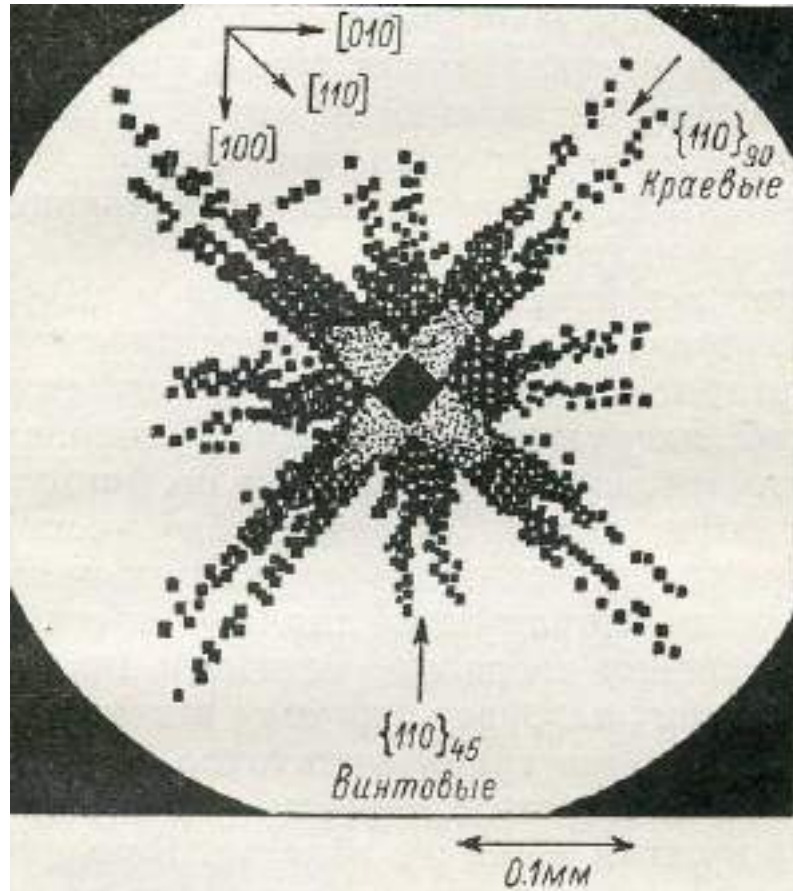
Дефекты в кристаллах

вынуждены занять в кристалле наиболее энергетически выгодные позиции и тем самым как бы оказаться в энергетических ямах. Это должно сопровождаться выделением энергии, что превращает формирование сверхструктур в энергетически выгодный процесс. Итак, образование сверхструктур представляет собой такую перестройку в кристалле, которая охватывает весь кристалл, частично меняет первоначальную структуру и вместе с тем приводит к появлению в нем элементарных дефектов нового типа. Следовательно, увеличение концентрации дефектов, сопровождающееся ростом беспорядка, привело к их упорядочению, что в свою очередь принесло новый беспорядок. Итак, происходят превращения беспорядок → порядок → беспорядок. Это наблюдается в нестехиометрических оксидах урана и тория.

Протяжённые дефекты. До сих пор рассматривались дефекты размером примерно с э.я. - условно точечные, нульмерные. Характерная особенность реальных кристаллов - наличие таких нарушений периодичности решетки, которые сравнимы с размерами кристалла. Это протяженные дефекты - линейные, поверхностные и объёмные.

Одномерные линейные дефекты - дислокации - линии, вдоль или вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей. Дислокации краевые и винтовые.

Дефекты в кристаллах

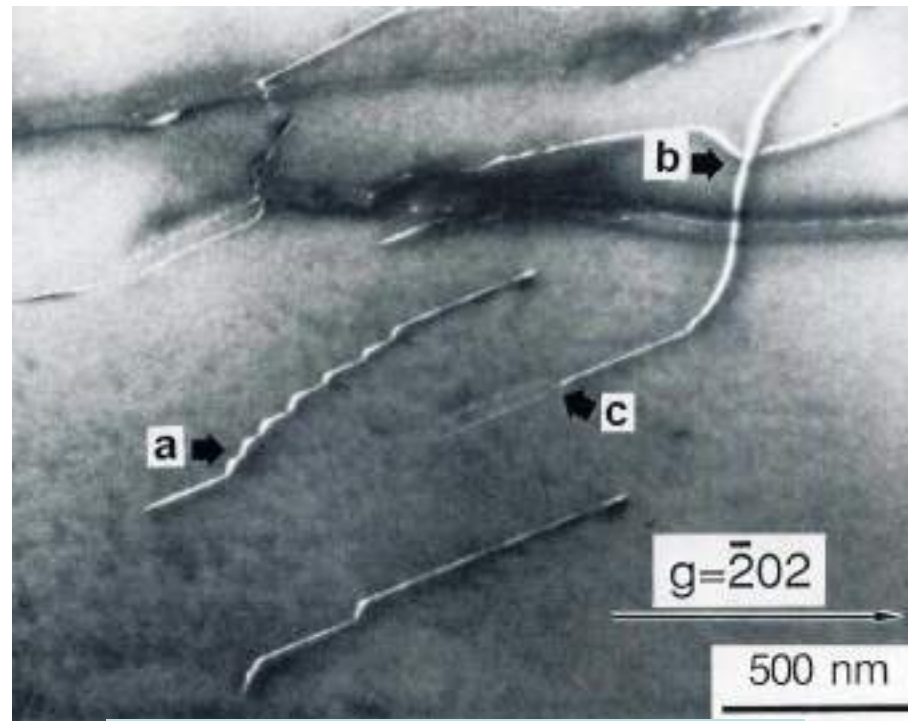


Звезда дислокаций
на поверхности
кристалла галита
вокруг отпечатка
алмазного наконечника
микротвердометра

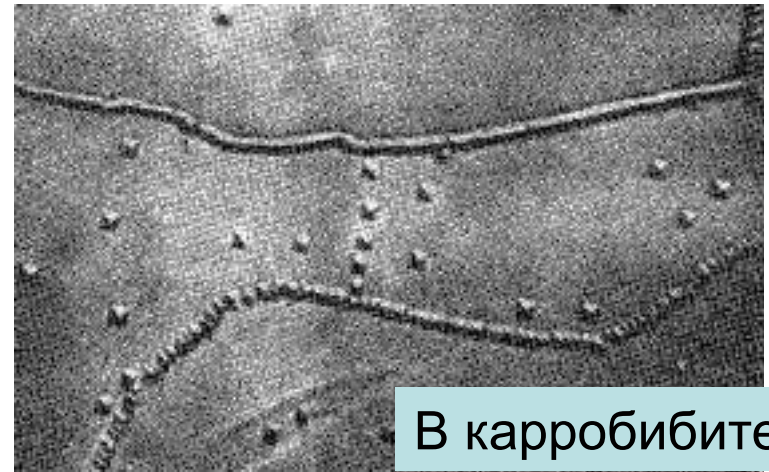
Звёзды дислокаций –
дислокационные петли
на поверхности
кристалла кальвина
вокруг отпечатка
алмазного наконечника
микротвердометра

Гегузин Я.А., 1979

Дефекты в кристаллах. Дислокации



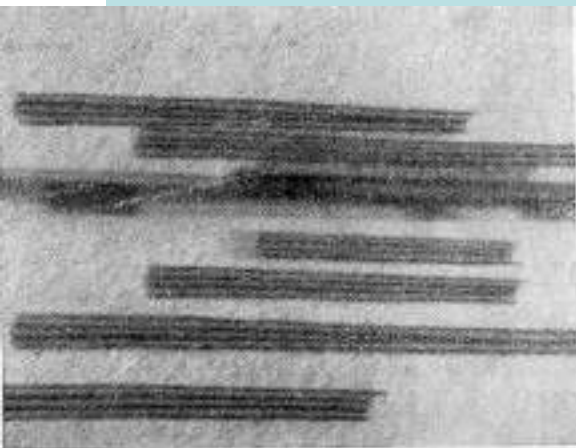
В моноклинном амфиболе



В карробибите KF



В якутском алмазе



В латуни

Фиг. 12. Дефекты упаковки в α -латуни (по Вильсдорфу, см. близлежащие данные). Прозрачный электронный микроскоп. $\times 40\,000$.

Дефекты в кристаллах.

Дислокации

Реальные дислокации в кристалле алмаза

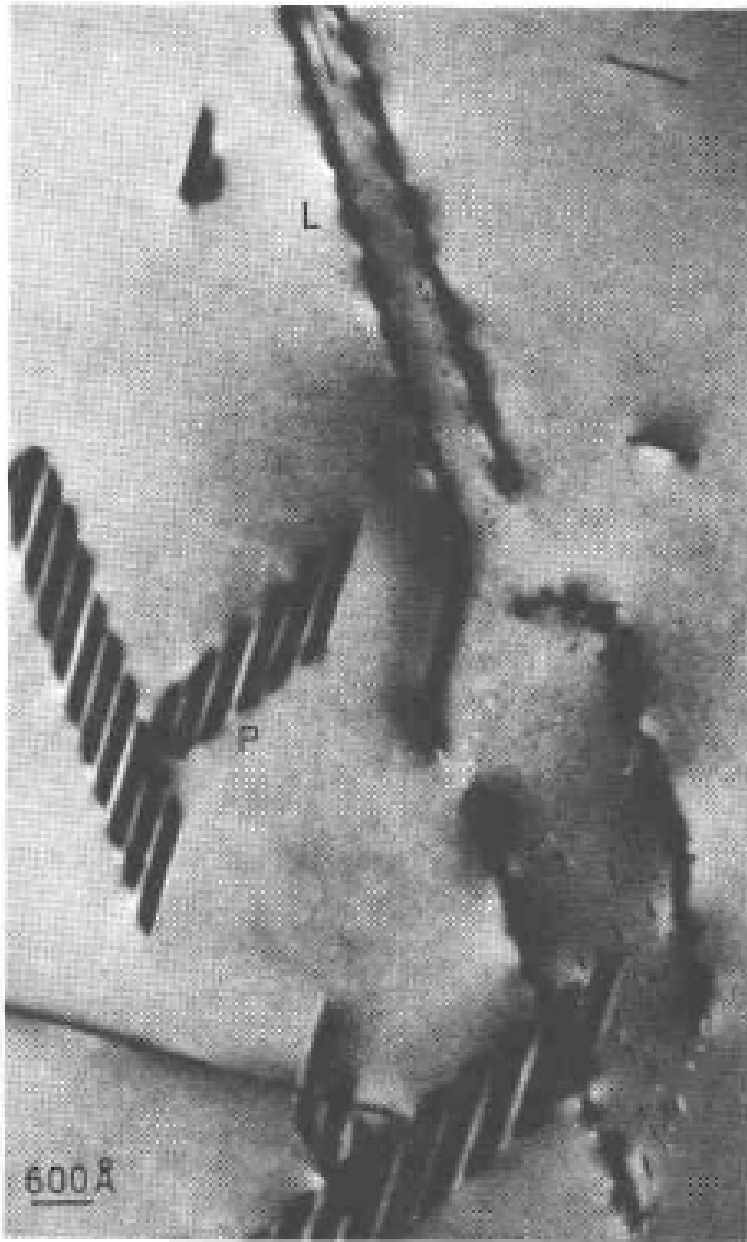
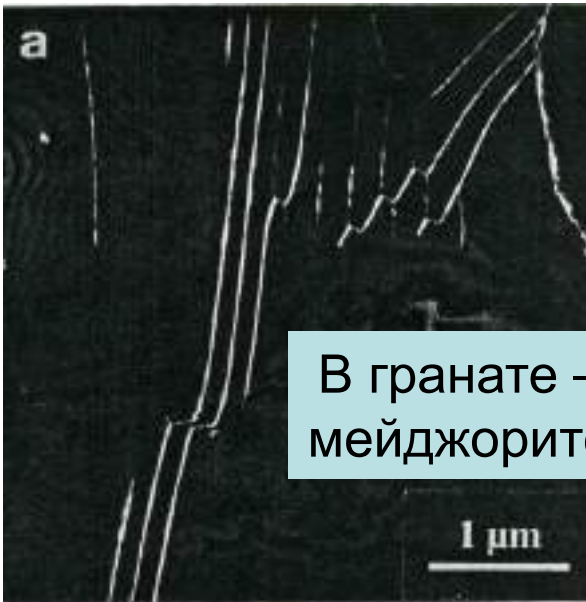


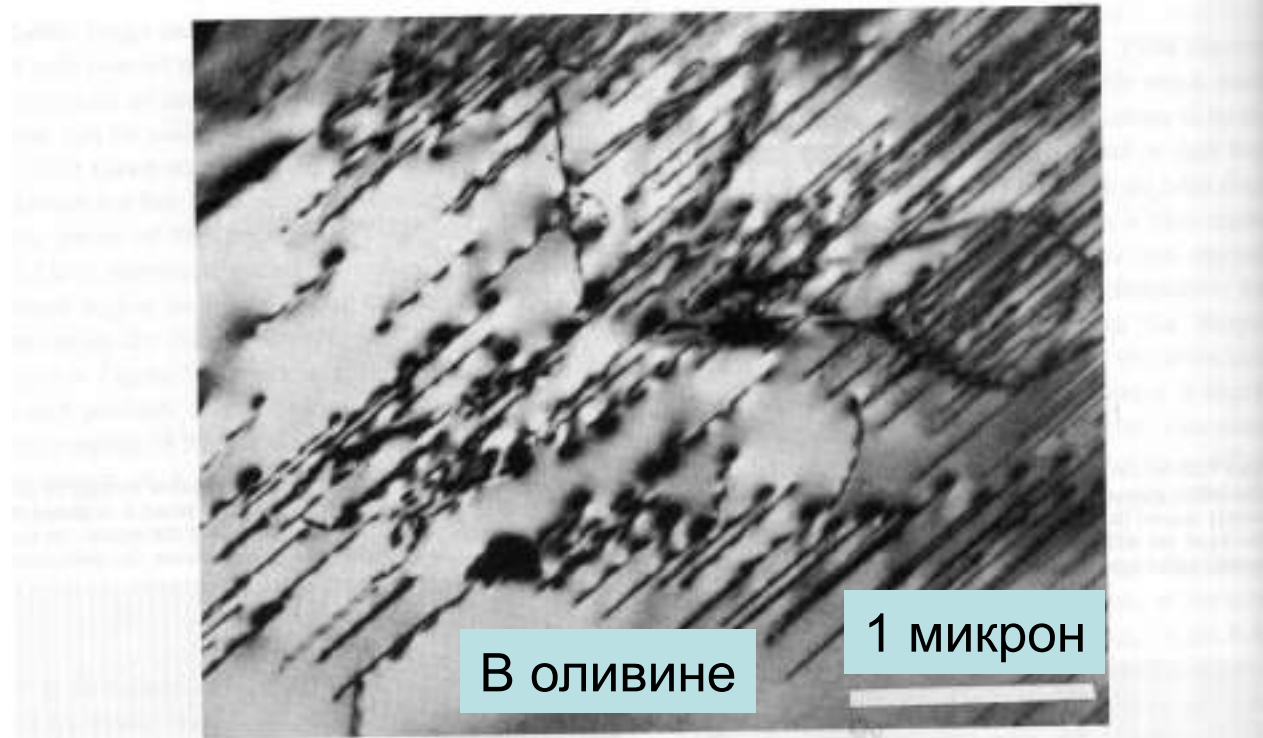
Fig. 3. Dislocation loops (L) containing small defects and also normal platelets (P): (100) platelets are seen edge-on (top left) and (010) and (001) platelets are inclined at 45° (indicated by thickness fringe contours).

Bursill L.A. &
Glaisher R.W., 1985.
Amer. Mineral.
Vol. 70. P. 608-618

Дефекты в кристаллах. Дислокации



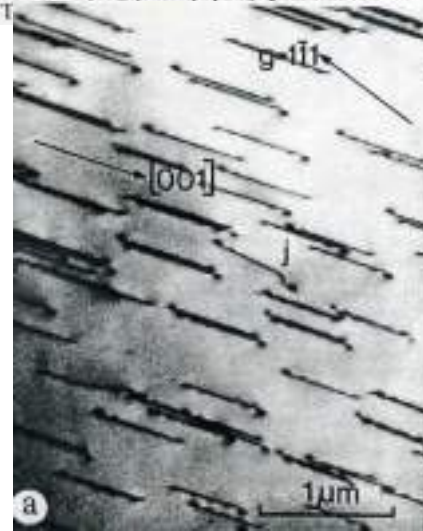
В гранате –
мейджорите



В оливине

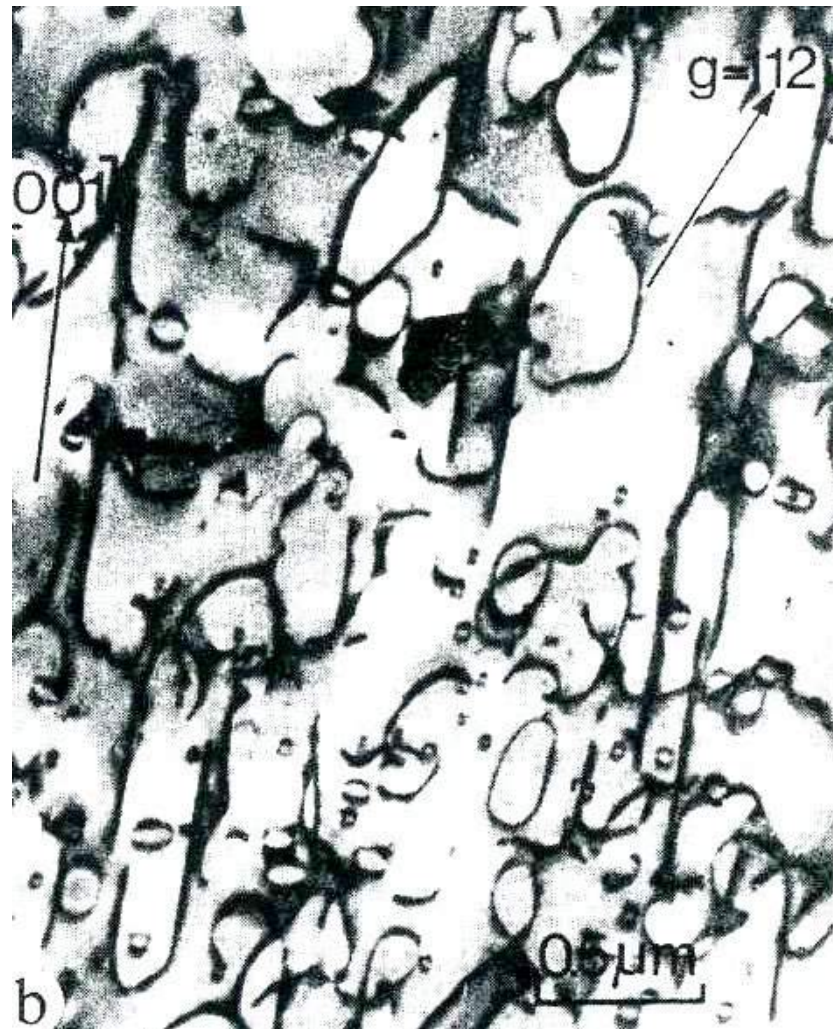
1 микрон

Figure 7.25. A bright field image of a large number of parallel dislocation lines in olivine. The dislocation lines are inclined to the surface of the thin specimen and hence appear as short segments, the ends of the dislocation lines marking their intersection with the top and bottom of the specimen.



В оливине,
деформированном
при 600° С

Дефекты в кристаллах. Дислокации



Петли дислокаций
в оливине,
деформированном
при 1000° С



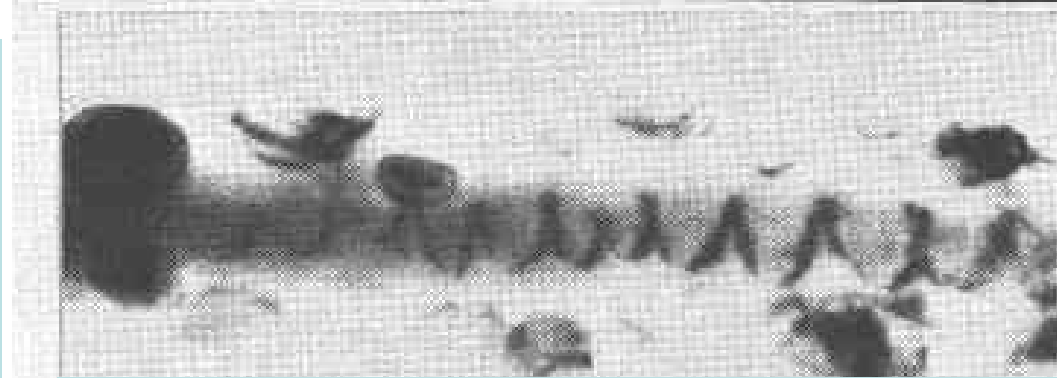
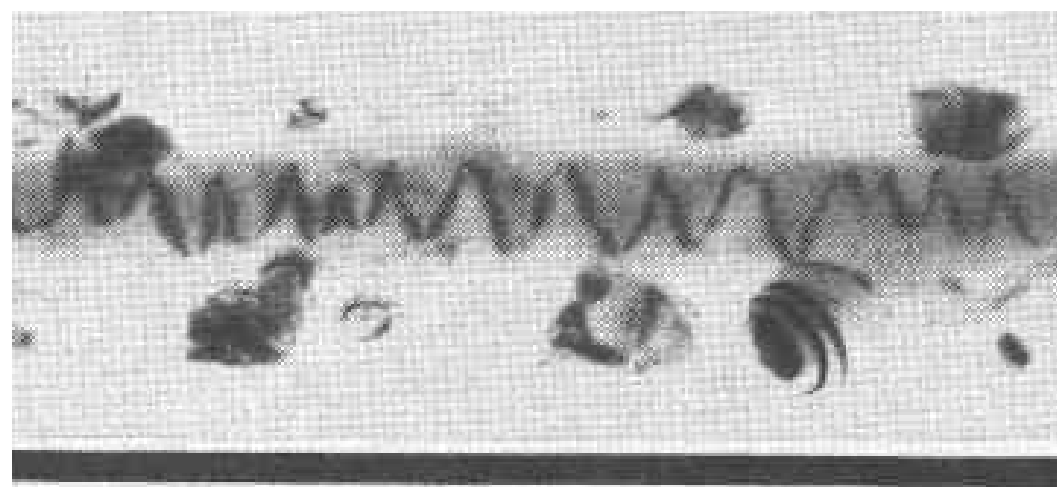
Дислокации и петли
дислокаций в кварце,
деформированном
при 700° С

Дефекты в кристаллах.

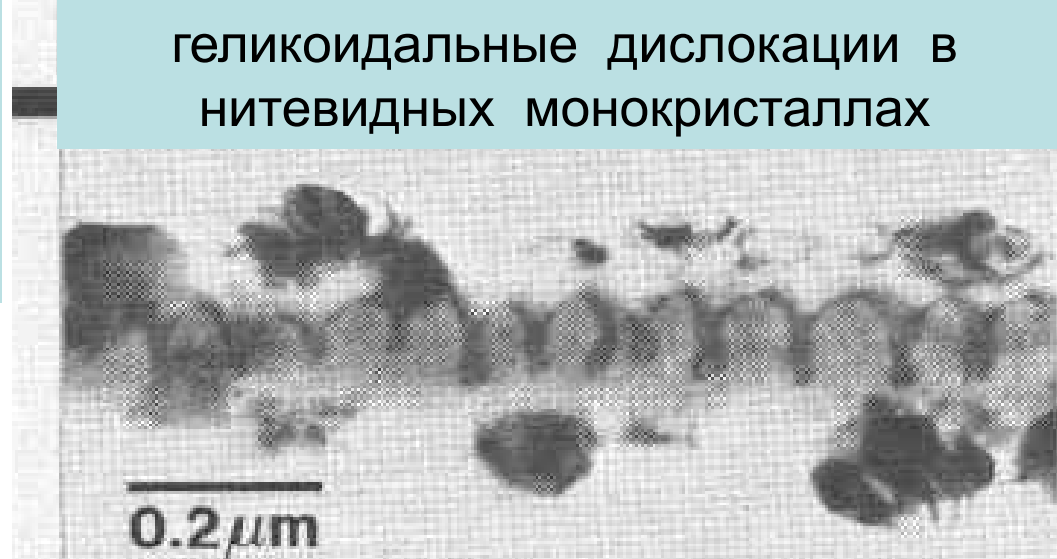
Дислокации

Куприт из зоны окисления медного месторождения Ray, Аризона, США.

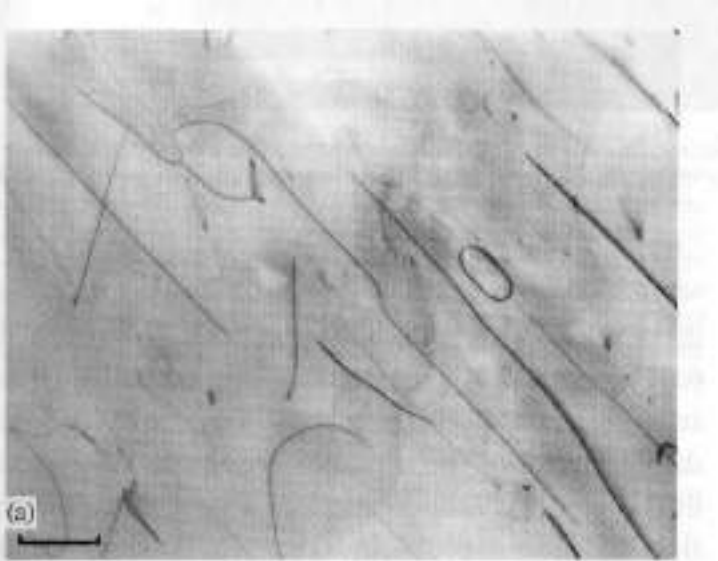
Veblen D.R. & Post J.E.
Amer. Mineral. 1983.
Vol. 68. P. 790-803.



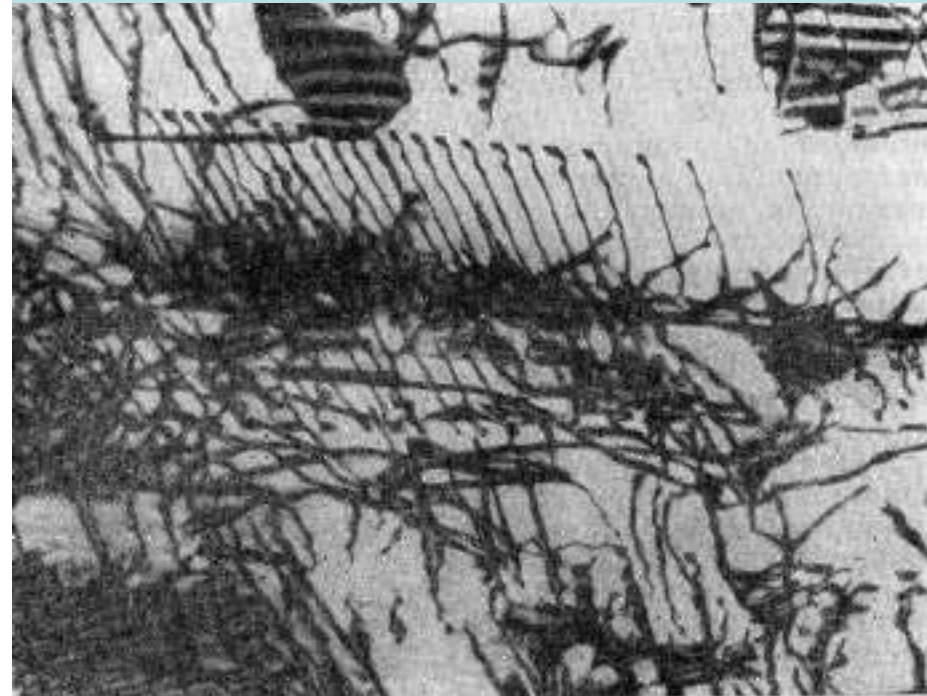
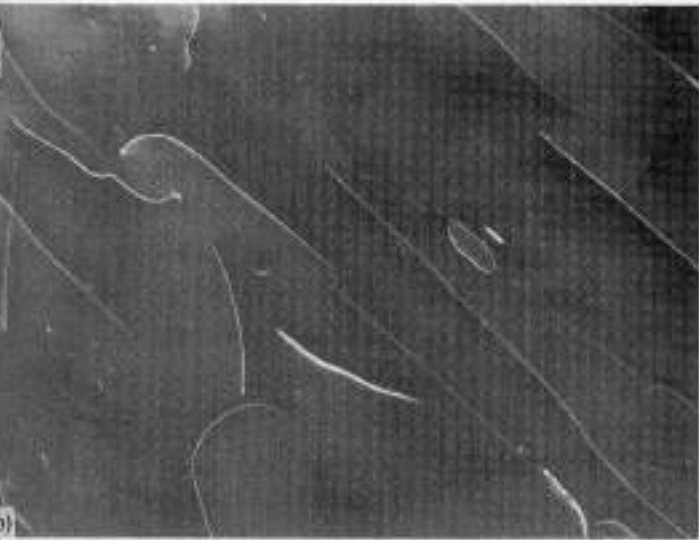
геликоидальные дислокации в нитевидных монокристаллах



Дефекты в кристаллах. Дислокации



В деформированной меди

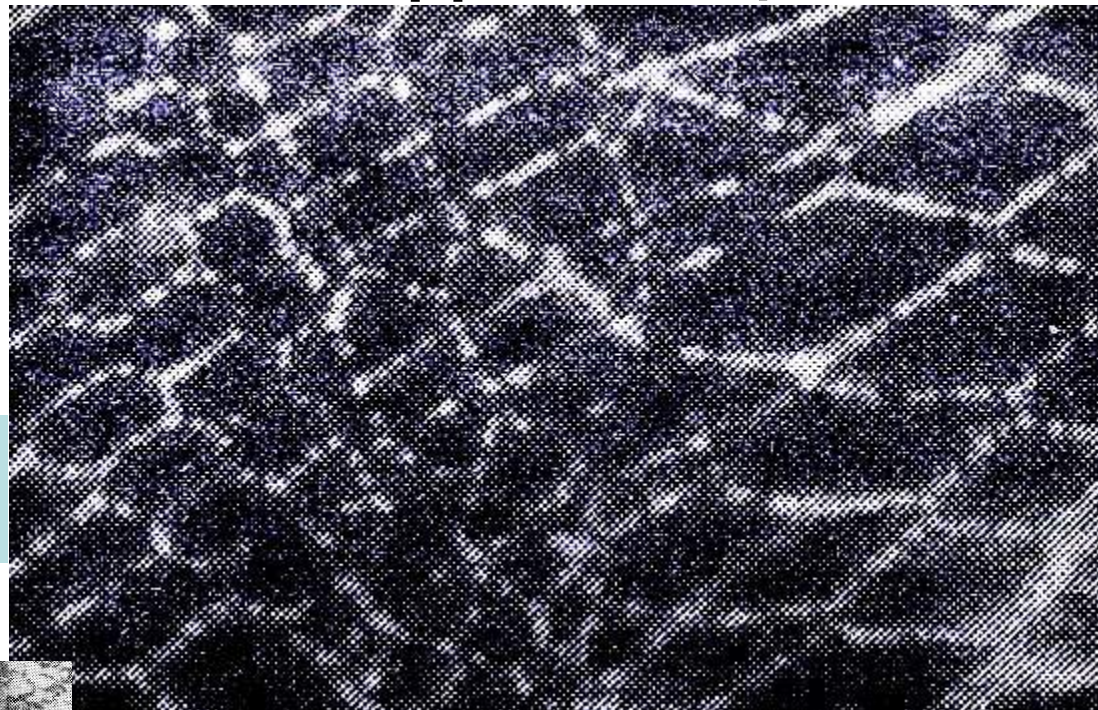


Дислокации и петли дислокаций в деформированном диопсиде. Линейка 1 микрон

Дефекты в кристаллах. Дислокации



В рубине. Выявлены декорированием золотом

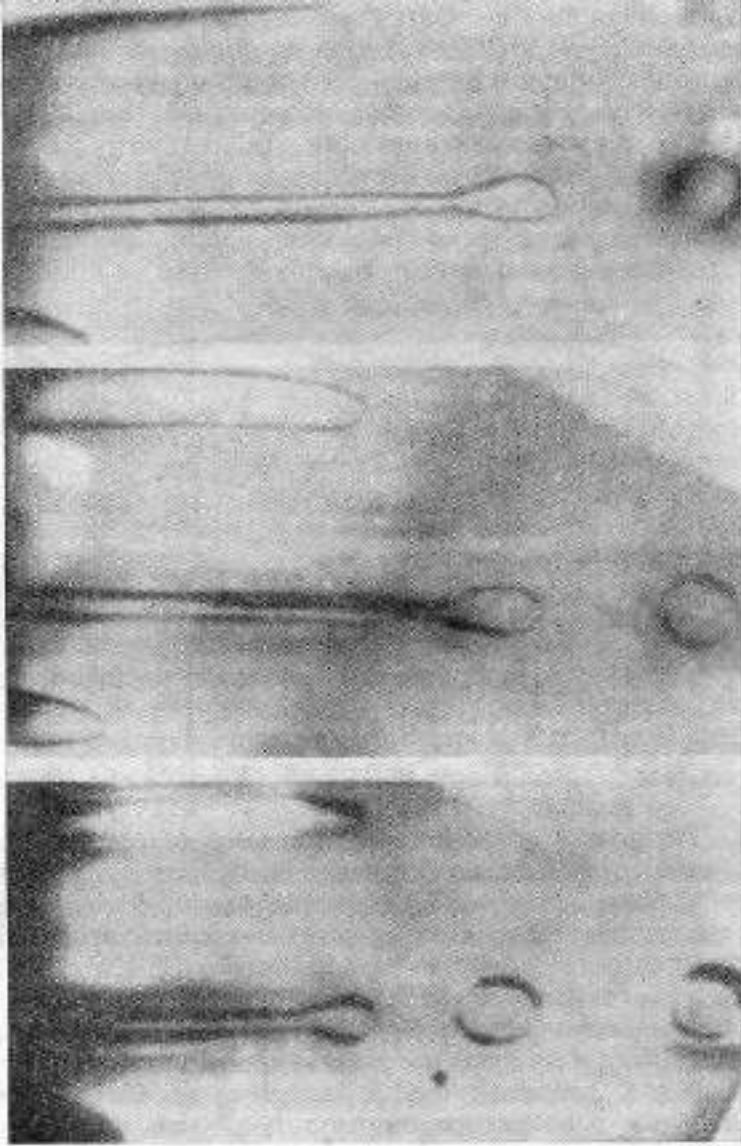


Сетка дислокаций в галите. Выявлена декорированием золотом

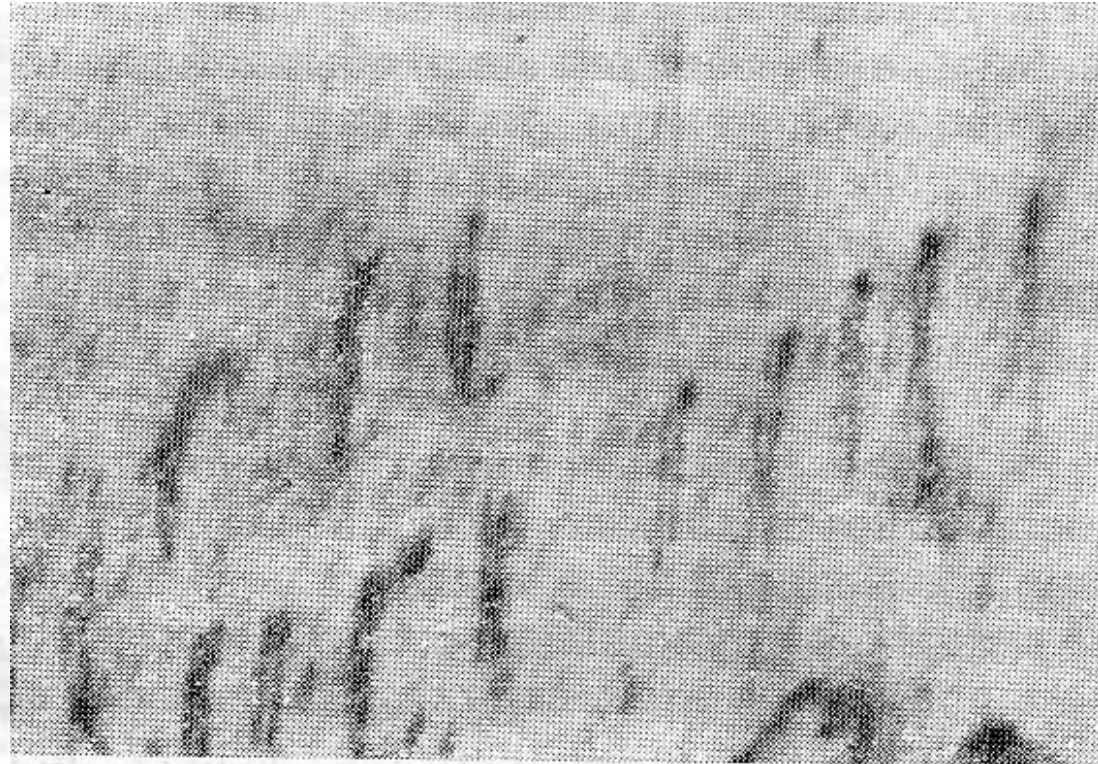


В грейсите LiF.
Рентгеновская топография
на просвет. X 50

Дефекты в кристаллах. Дислокации



Расчленение дислокационной петли при её переползании



Сверхдислокации в упорядоченном ауриткуприде Cu_3Au

Фиг. 32. «Консервативное» переползание, приводящее к образованию последовательности круговых призматических колец вследствие расчленения длинной узкой дислокационной петли, которая тянется позади движущейся винтовой дислокации в цинке [81].

Просвечивающий электронный микроскоп. $\times 30\,000$.

Краевая дислокация - дефект, на котором обрывается сетка или группа сеток в кристалле. Винтовая дислокация - дефект, вдоль оси которого все атомы или ионы как бы расположены по винтообразной поверхности, плоские сетки в области винтовой дислокации закручиваются вокруг ее оси. И краевые, и винтовые дислокации раз возникнув, не могут заканчиваться в объёме кристалла - они выходят на его поверхность или замыкаются вокруг кристалла. Замыкаясь в кристалле, дислокации образуют петли. Направления дислокаций обычно находятся в плоскостях с малыми индексами. Так, для слюд главные направления осей дислокаций $[010]$ и $[110]$ (параллельно лучам фигуры удара) и $[100]$ и $[130]$ (параллельно лучам фигуры давления). Вдоль оси дислокации могут присутствовать полые каналы, заполненные примесями. В ряде случаев частицы примеси декорируют дислокации. Классическим примером естественного декорирования дислокационной структуры слюды мелкими газовыми включениями CO_2 является флогопит из камафоритов Ковдорского месторождения. Узоры на плоскостях спайности флогопита обусловлены скоплениями газовых пузырьков вдоль осей винтовых дислокаций (точечные сгустки) и краевых дислокаций (линейные скопления включений - лучи). Природу этих узоров расшифровал учёный Питерского (СПб) университета Томас Георгиевич Петров. По направлению этих лучей можно определять направления преимущественного роста кристаллов !

Дефекты в кристаллах. Дислокации

Отожжённые дислокации в гигантском кристалле флогопита. Ковдор



Фото М.С. Алфёровой

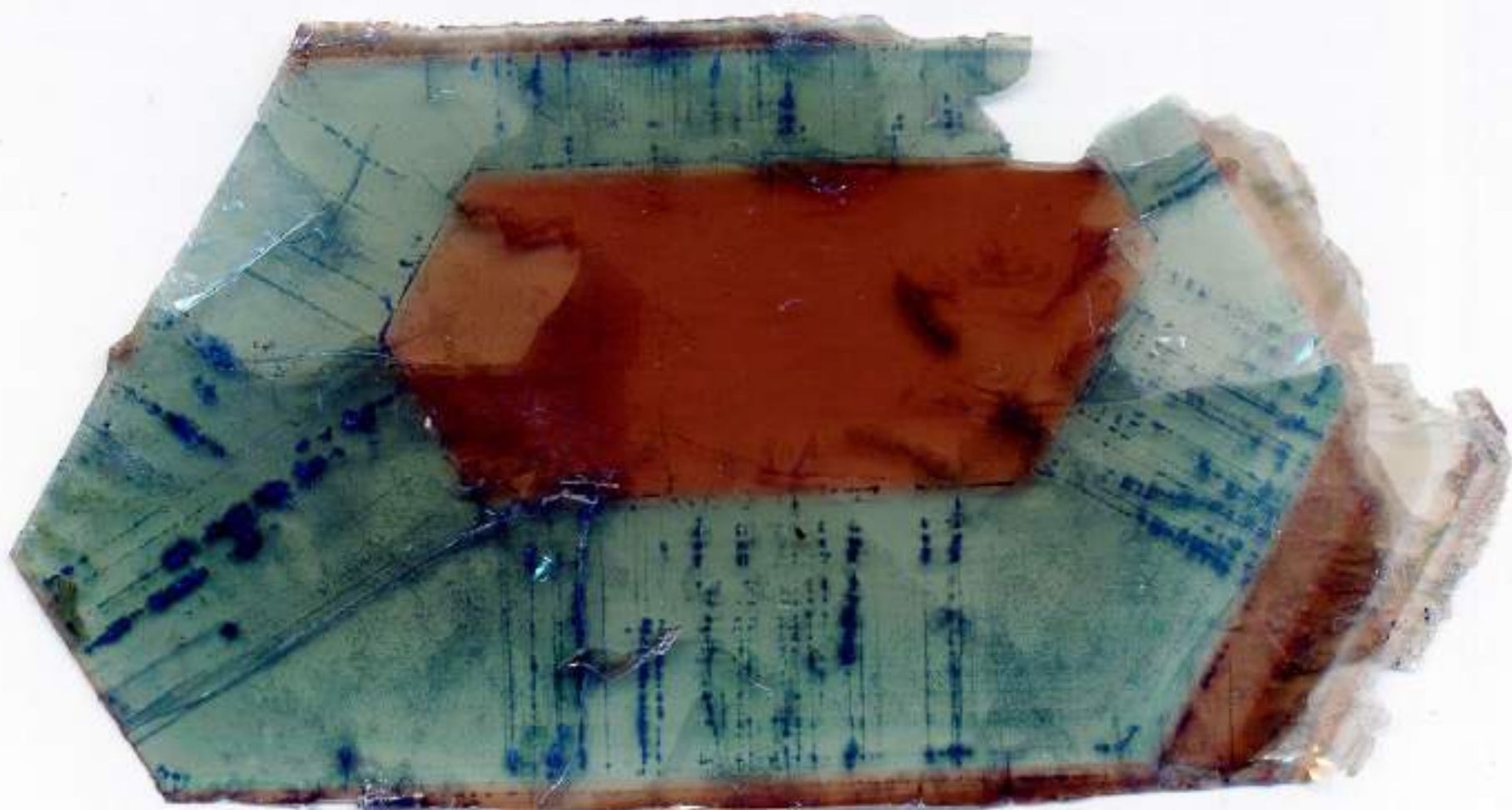
Дефекты в кристаллах. Дислокации

Отожжённые дислокации в гигантском кристалле флогопита. Ковдор



Включения
магнетита

Отожжённые дислокации роста во флогопите.
Поздние камафориты. Ковдор



105x56 мм

Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

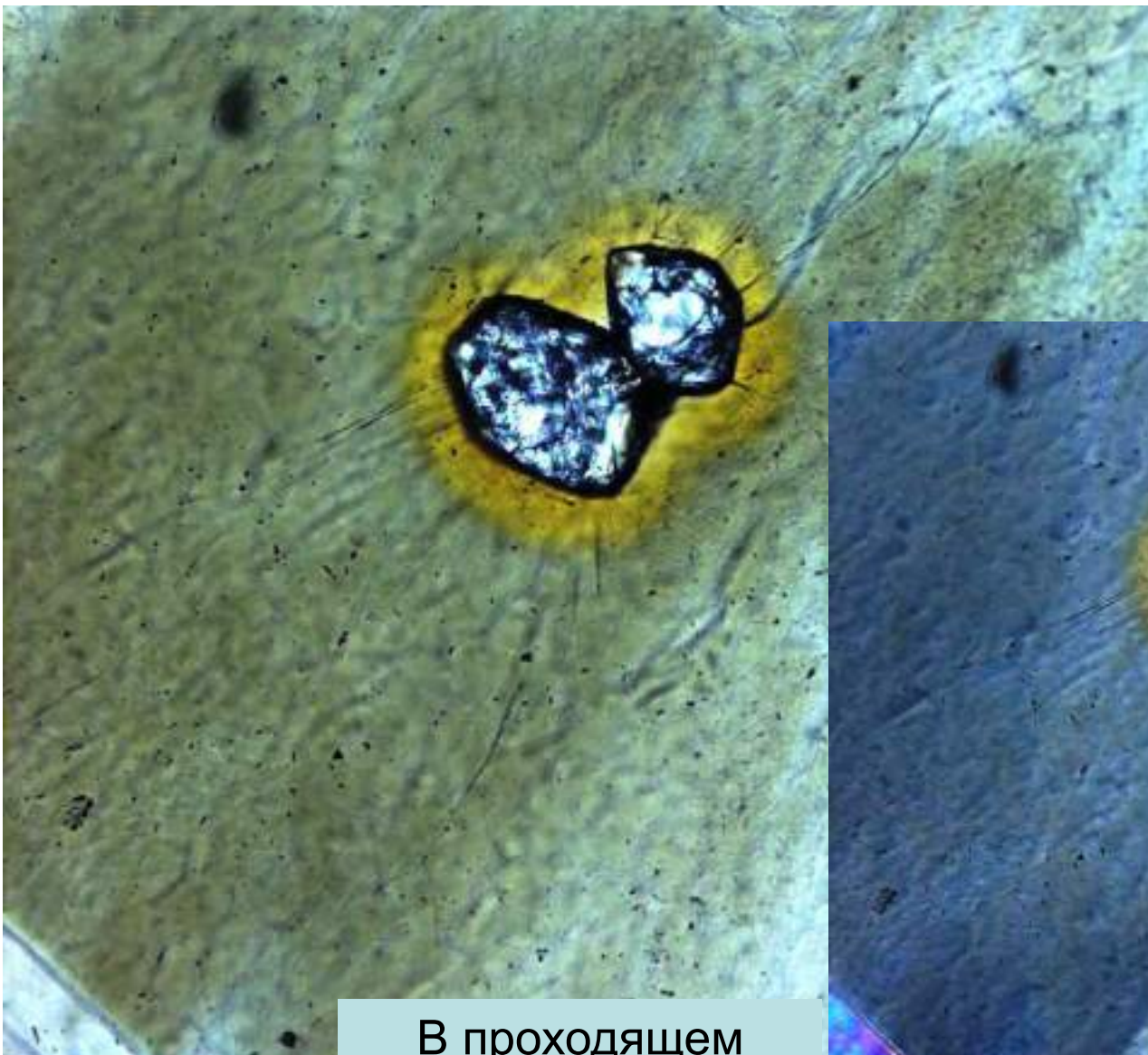
Радиационные дефекты возникают под действием электронного, нейтронного или γ -излучения. Треки представлены скоплениями точечных дефектов (дефекты по Френкелю) вдоль траектории осколков ядер радиоактивных элементов - ионы просто сметены со своих мест. Длина треков обычно $n - n 10$ микрон, поперечник области возмущения = аморфизации вещества около 1 мкм. По числу треков судят о концентрации радиоактивных элементов в минералах, вулканических стеклах. Определив концентрацию урана, тория, калия и число треков, можно подсчитать возраст данного минерала, точнее возраст "закрытия" радиоактивной системы данного минерала ниже какой-то температуры (которая индивидуальна для каждого минерала). Эти данные позволяют оценивать реальные скорости охлаждения - воздымания горно-складчатых и иных областей по результатам изучения треков деления в серии минералов - слюды, амфиболы, циркон, апатит, сфен...



Радиоактивные
дворики
вокруг
кристалла
циркона

Дефекты в кристаллах

Радиоактивные дворики во флогопите вокруг кристаллов циркона



Гранулиты
Алданского щита



В проходящем
свете при 1 николе

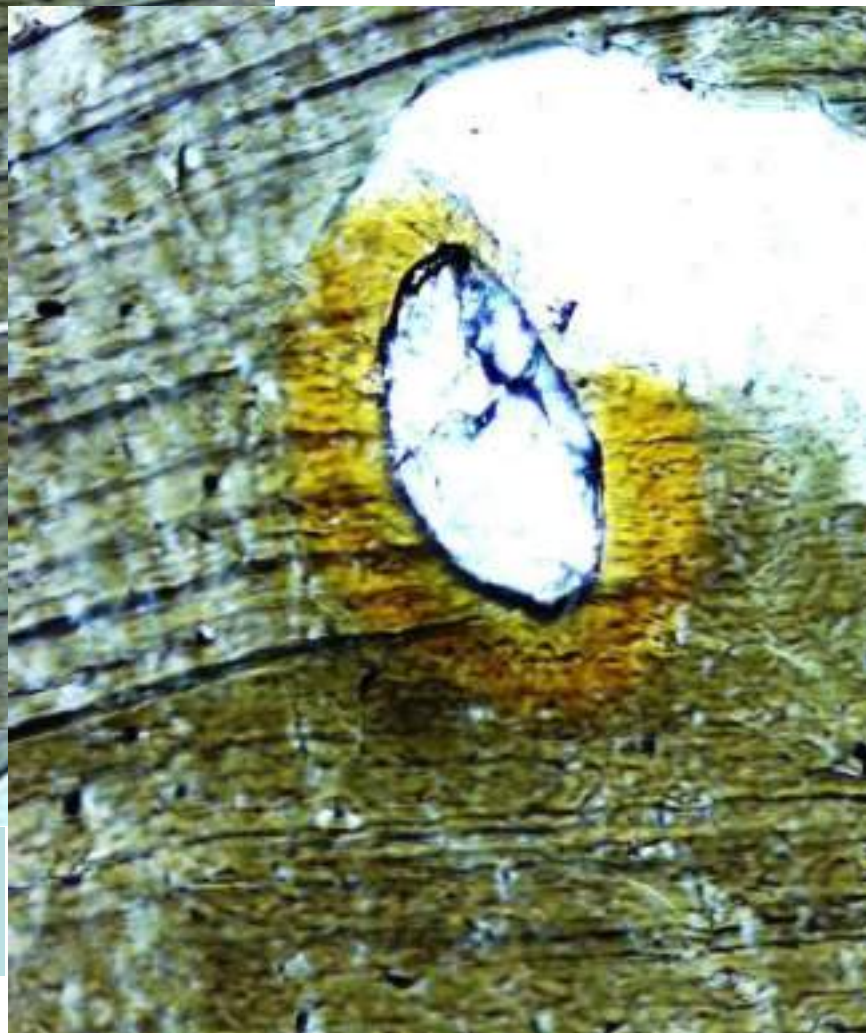
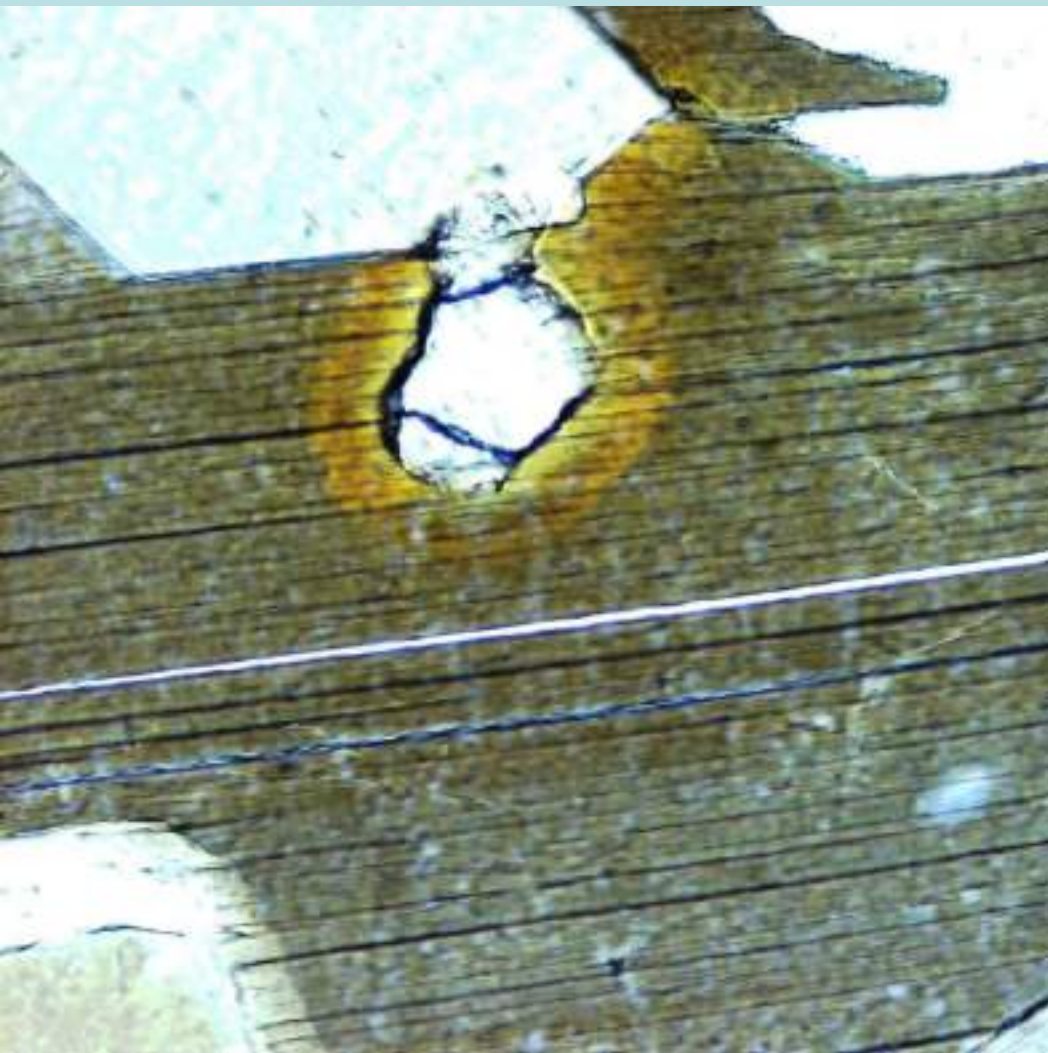
Николи х

Фото ЭМС

Дефекты в кристаллах

Радиоактивные дворики во флогопите вокруг кристаллов циркона

Гранулиты
Алданского щита



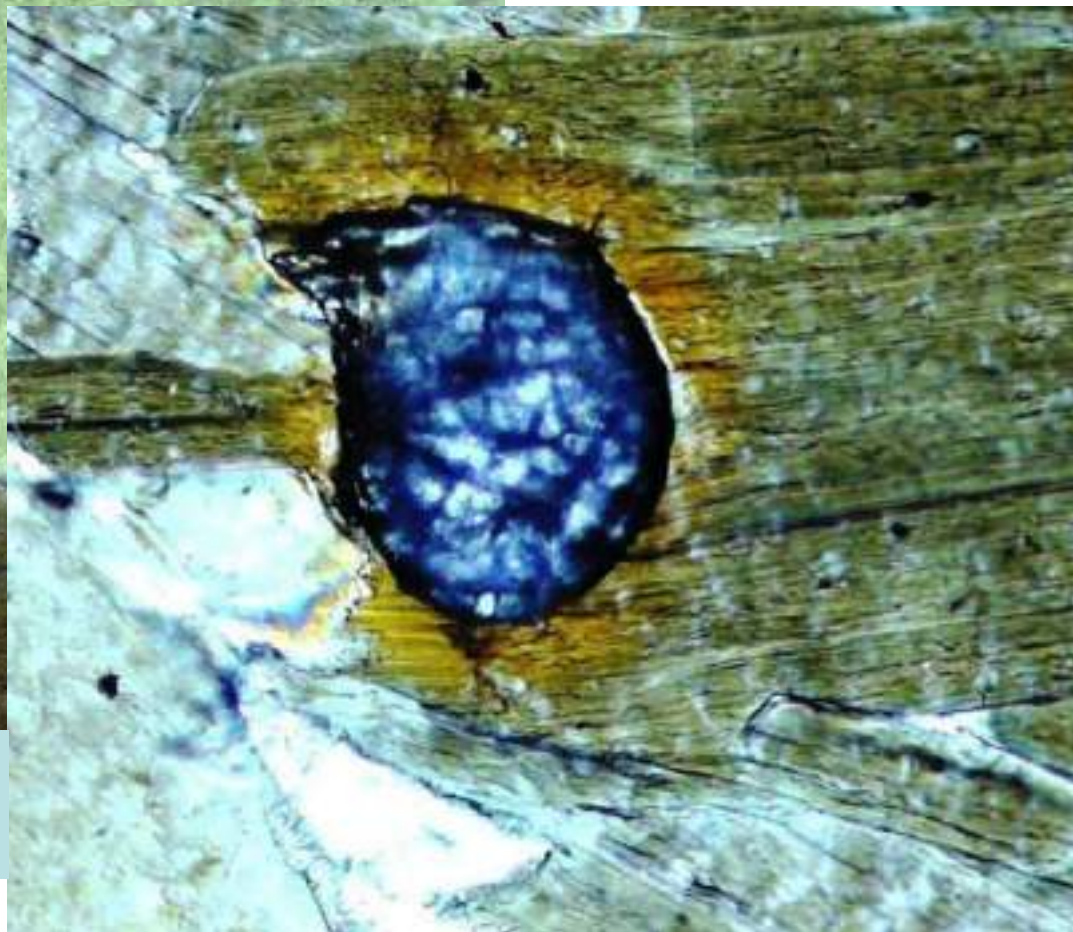
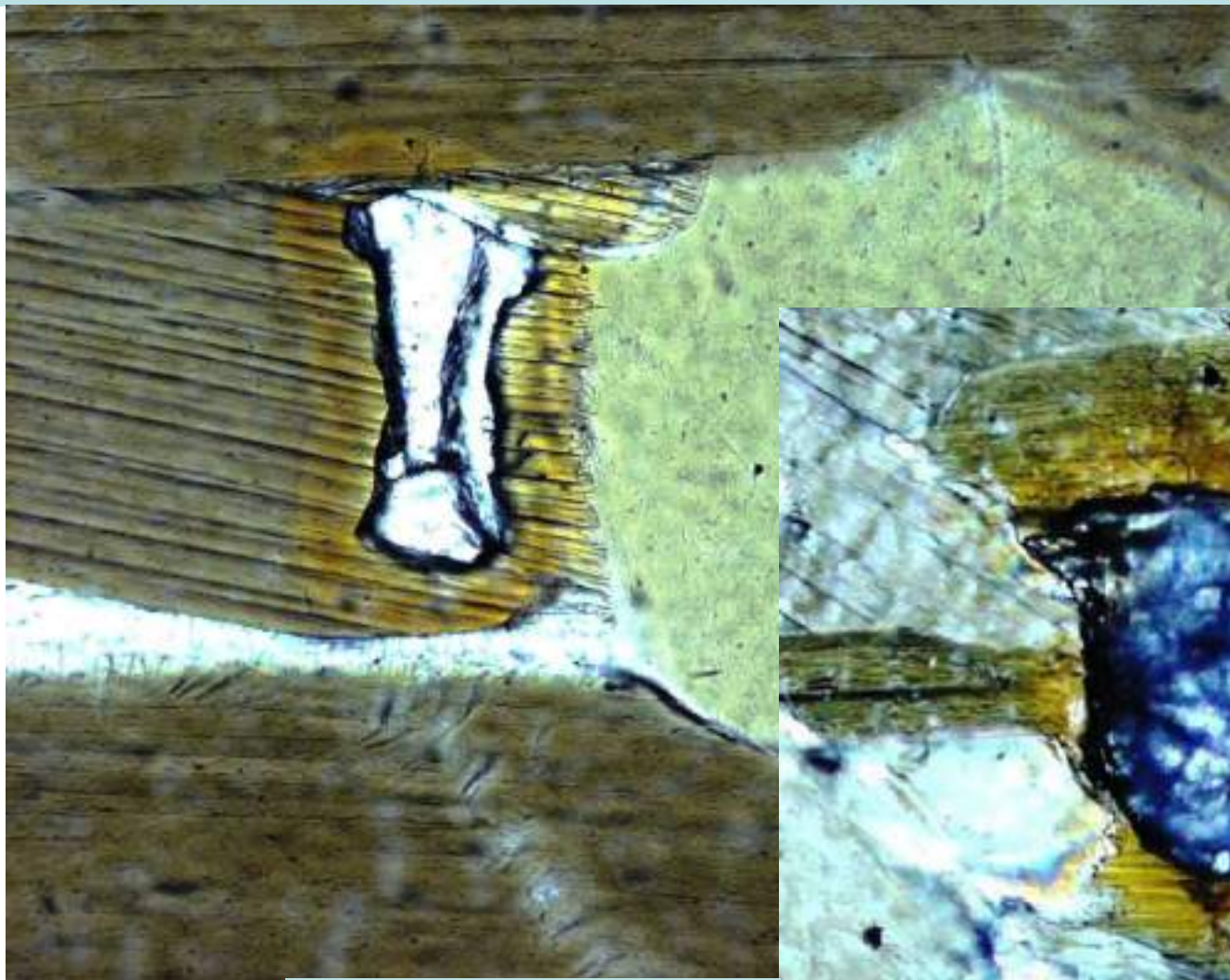
В проходящем
свете при 1 николе

Фото ЭМС

Дефекты в кристаллах

Радиоактивные дворики во флогопите вокруг кристаллов циркона

Гранулиты
Алданского щита



В проходящем
свете при 1 николе

Фото
ЭМС

Дефекты в кристаллах

Радиоактивный дворик в биотите у кристалла циркона

В проходящем свете
при 1 николе

Гранулиты
Алданского
щита

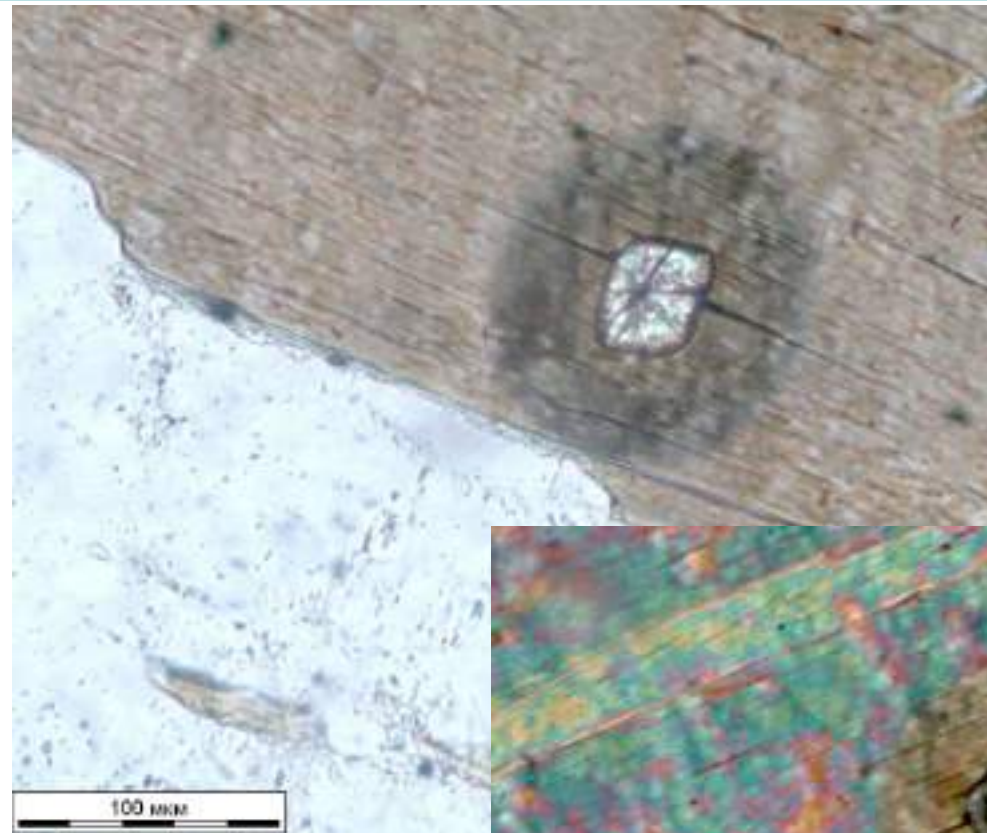


200 мкм

Фото
ЕВП
и
ЭМС

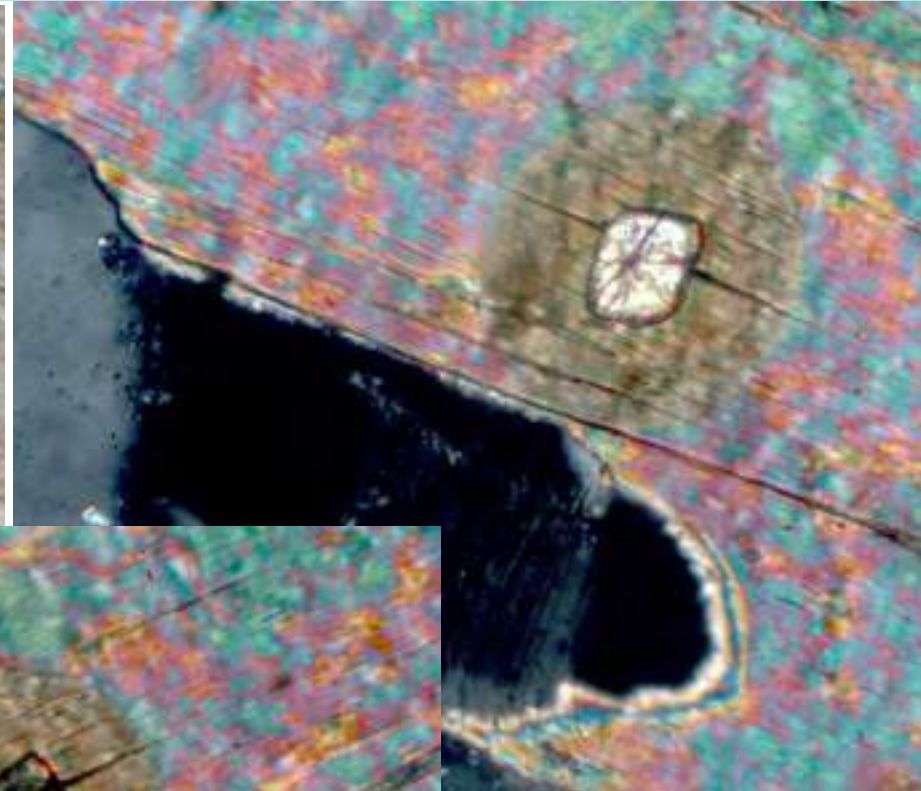
Дефекты в кристаллах

Радиоактивный дворик в биотите вокруг кристалла монацита



В
проходящем
свете при
1 николе

Николи х



Николи х

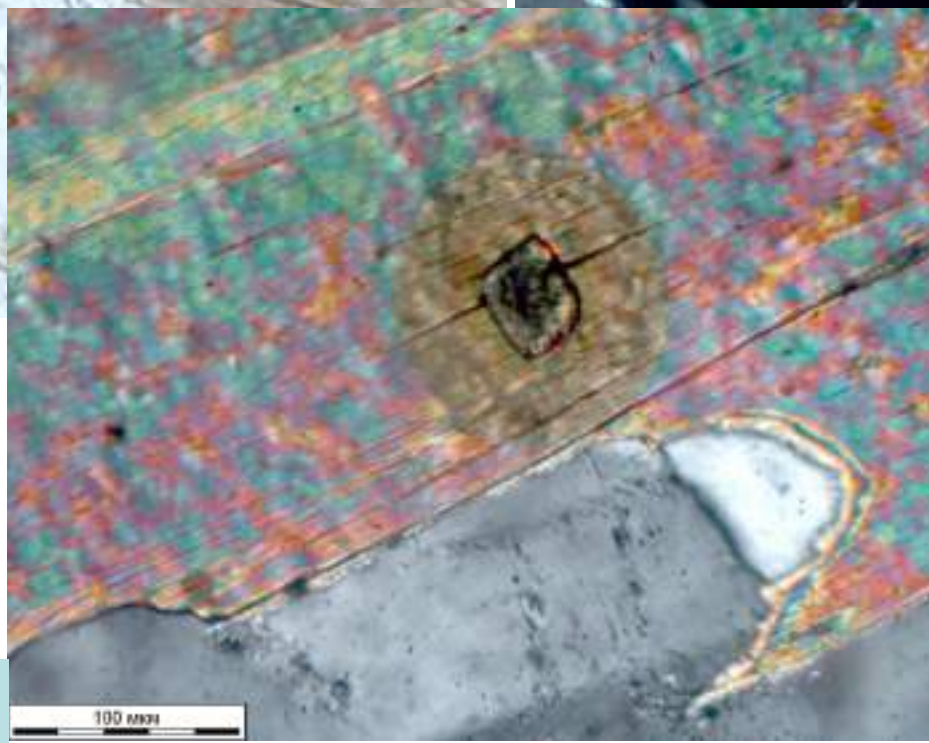
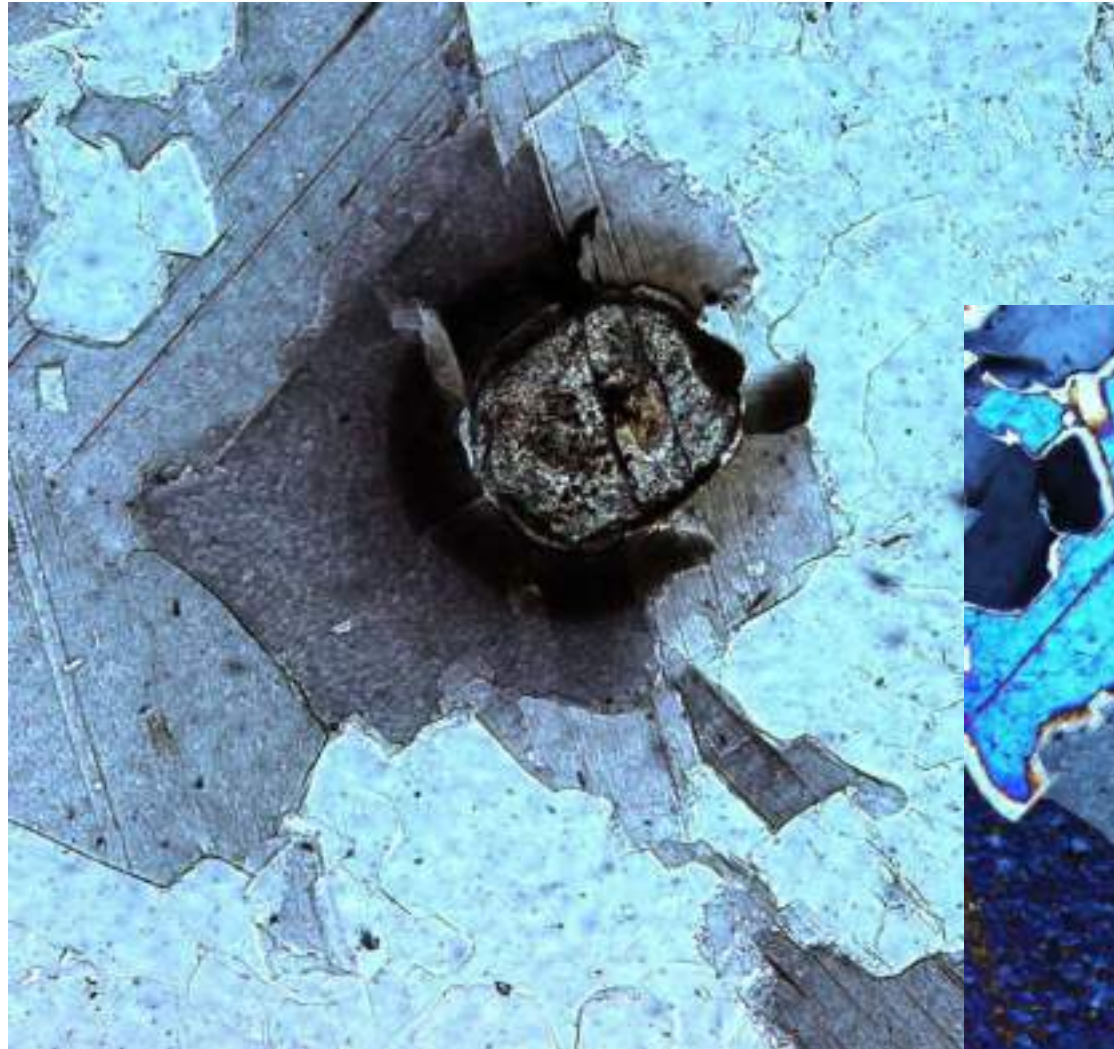


Фото
Е.В. Путинцевой
и ЭМС

Дефекты в кристаллах

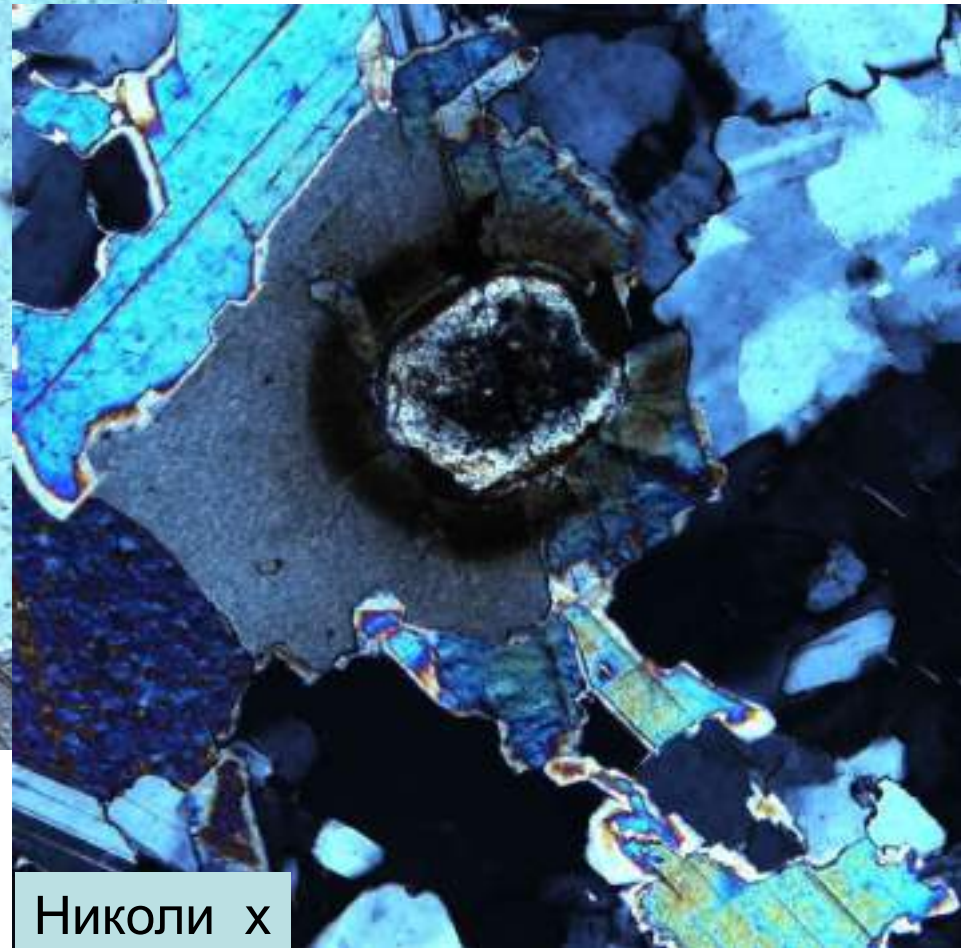
Радиоактивный дворик в полилитионите вокруг кристалла циркона



При 1 николе

Фото ЭМС

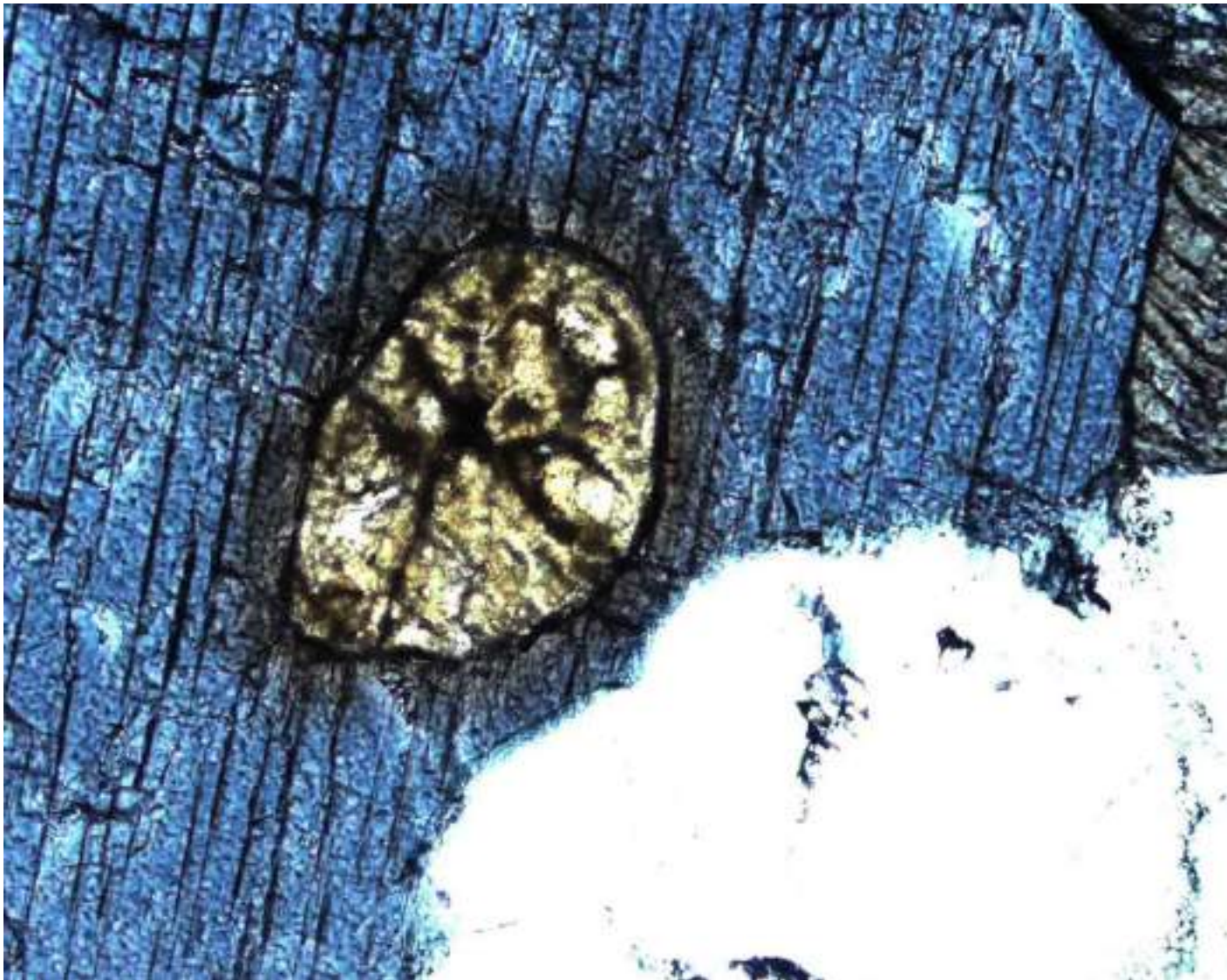
Кварц-альбит-санидиновые
(микроклиновые)
метасоматиты.
Улуг-Танзек, Тува



Николи х

Дефекты в кристаллах

Радиоактивный дворик в рибеките вокруг кристалла ксенотима



Кварц-альбит-
санидиновые
(микроклиновые)
метасоматиты.
Катугино,
СВ Забайкалье

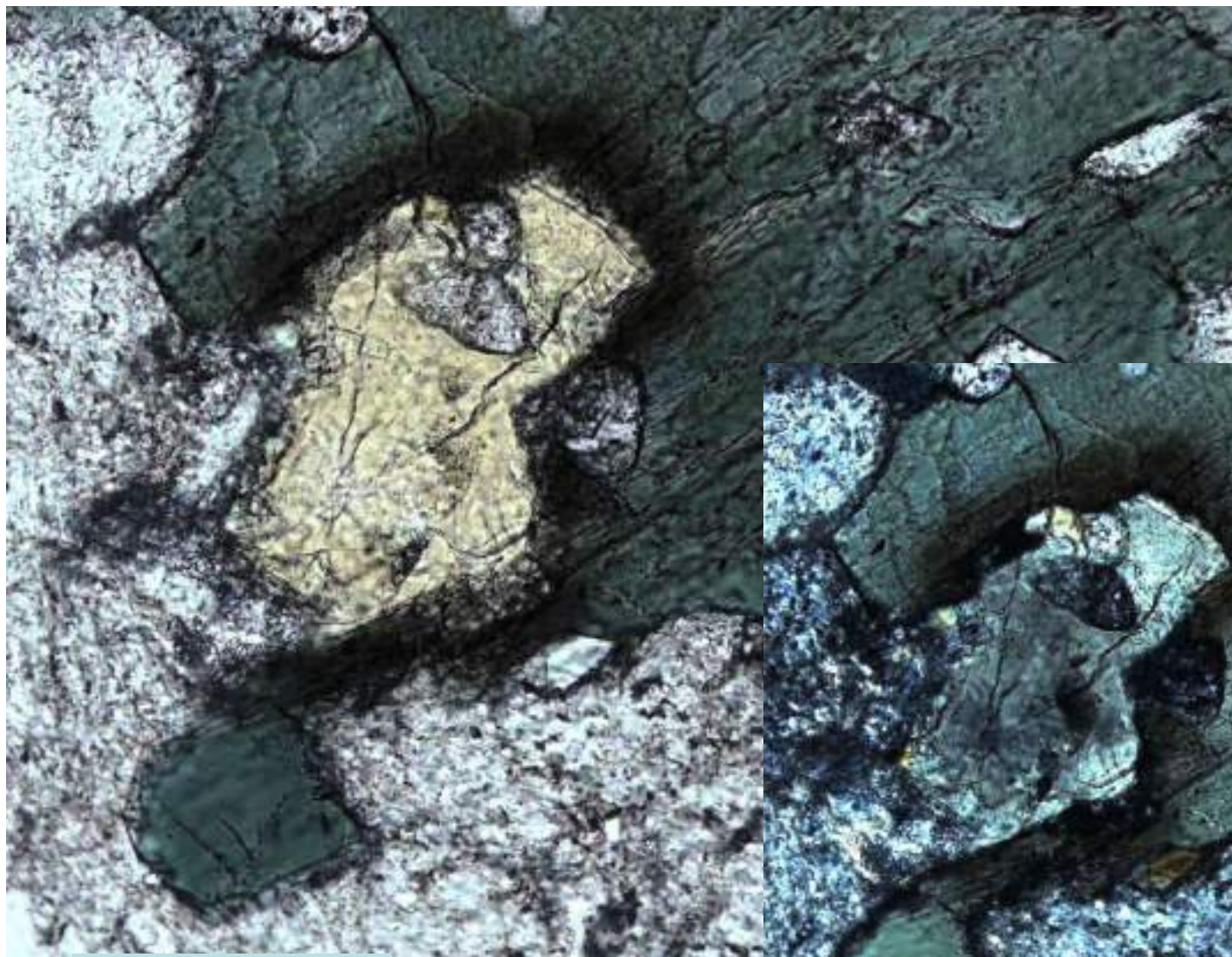
При 1 николе

Фото ЭМС

Дефекты в кристаллах

Радиоактивный дворик в паргасите вокруг кристалла алланита - ортита

Кварцевые
диориты.
Северный
Казахстан



При 1 николе

Фото ЭМС



Николи x

Дефекты в кристаллах

Двумерные дефекты. К ним относятся поверхности контакта кристаллов с газами и жидкостями, границы между сросшимися кристаллами одного и того же или разных минералов, двойниковые плоскости, границы слабо разориентированных блоков одного кристалла, а также дефекты упаковки, сетки дислокаций. Вдоль двумерного дефекта взаимное расположение строительных единиц кристалла искажено по сравнению с объемным расположением частиц. Деформированность частиц, связанная с неполной компенсацией их зарядов, ведёт к повышенной химической активности этих частиц, что позволяет травлением относительно легко выявлять двумерные дефекты, выходящие на поверхность кристалла. Нередко они могут быть обнаружены и под оптическим микроскопом.

Дефекты упаковки. Поверхность, вдоль которой нарушена нормальная последовательность атомных слоев, - дефект упаковки. Простейший пример дефекта упаковки - нарушение последовательности слоев (вновь - фото структуры бабингтонита).

Например, в кубической решетке (abcabc) с местным образованием гексагональной упаковки (abab): abcabc/abab/abcabc. Это - дефект упаковки внедрения. Возможно и отсутствие одного или нескольких слоев в закономерной их последовательности - дефекты упаковки вычитания.

Дефекты в кристаллах

К дефектам упаковки относятся также антифазные границы в упорядоченных сплавах, т.е. такие границы, при переходе через которые резко изменяется порядок в расположении атомов. В результате структура кристалла представляет последовательность доменов с различным типом структуры.

Обмен частицами разного сорта в бинарных или поликомпонентных соединениях приводит к образованию дефектов антиструктурных = антифазных; такие дефекты особенно характерны для интерметаллических соединений.

Трёхмерные дефекты. К трёхмерным дефектам относят участки кристалла или сильно разориентированные относительно остальной его части или заполненные посторонним веществом - лакуны.

В минералах существует целый мир дефектов, которые «оживают» при деформации, при подводе энергии из вне. При этом происходит множество событий - рождение дефектов, их движение, взаимодействие друг с другом, образование сложных дефектных структур – стенок, ячеек, полос, решёток и так далее, уничтожение различных видов дефектов. Сложным и до сих пор до конца не решённым остаётся вопрос размножения дефектов и их взаимодействия с границами зёрен.

Дефекты в кристаллах

Пластическая деформация минералов и их агрегатов чаще всего связана с движением протяжённых дефектов – дислокаций.

Но, во многих минералах – самородных металлах и близких к ним халькогенидах (сульфидах, арсенидах, теллуридах...) помимо скольжения дислокаций могут активизироваться и другие механизмы пластичности: механическое двойникование, проскальзывание зёрен по границам между ними, динамическая рекристаллизация (изменение размера зёрен в процессе деформации).

Установлено, что законы движения дефектов при мощном и слабом механическом (и ином) воздействии качественно различаются.



**Птенчик
грустный**



Колыма.

Ягельники
с голубикой
у подножия
сопок



Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

Онтогения. Индивиды

ГМ-1. 016. Механические
деформации кристаллов

Механические деформации кристаллов

Нередко химические реакции образования и преобразования минералов начинаются и заканчиваются по команде деформирующих сил, которые прокладывают пути для минералообразующих флюидов.

Упругие деформации кристаллов. На малые нагрузки, малые напряжения кристаллы реагируют упругими деформациями.

Упругость – свойство кристаллов сопротивляться изменению формы и размеров под воздействием внешних нагрузок, которые не превышают предел упругости, и восстанавливать форму и размеры при снятии нагрузок без остаточных деформаций. Типичные примеры материалов с повышенной упругостью – спайные пластины мусковита, которые после снятия напряжения легко принимают первоначальную форму; с крайне низкой упругостью – пластины молибденита. Вслед за упругими деформациями при более существенных нагрузках могут возникнуть явления несовершенной обратимой упругости – образование в напряжённых кристаллах упругих двойниковых прослоек с обратимой переориентацией блоков кристаллической решётки (Классен-Неклюдова, 1960). Наиболее отчётливо упругие остаточные деформации фиксируются оптическими аномалиями в кристаллах.

Изотропные кубические кристаллы после сжатия или растяжения становятся двуосными, в них появляется волнистое погасание и

Механические деформации кристаллов

двупреломление. Степень двупреломления пропорциональна величине напряжения.

Неравномерность, анизотропность полей напряжений может привести к тому, что одни части кристалла претерпели упругие напряжения, другие – не затронуты деформациями или, напротив, претерпели пластические деформации или хрупкое разрушение.

Пластические деформации кристаллов – зафиксированные деформации, возникшие при линейных или объёмных нагрузках, превышающих предел упругости. Они сопровождаются течением вещества без нарушения его сплошности. Это необратимые деформации. Пластические деформации следуют за упругими, это вторая стадия многостадийного процесса при постоянно возрастающей нагрузке. При повышенных давлении и температуре и при длительном нагружении пластические деформации проявляются даже у таких хрупких минералов, как кварц. Пластические деформации происходят следующими способами:

- 1) простым трансляционным скольжением одних частей кристалла относительно других (в его основе дислокационный механизм);
- 2) сложным скольжением – блокование и образование сбросов, пластин и полос деформации, других сложно деформированных областей;
- 3) деформационным двойникованием с изменением или без изменения

Механические деформации кристаллов

внешней формы кристалла, с двойниковой перестройкой кристаллической решётки;

4) проявлением ползучести – реологии - крипа – при очень малых скоростях деформации и/ или при температурах, близких к температуре плавления. В случае сложного поля внешних напряжений или неоднократного повторения деформаций возникают несколько систем скольжения, часто пересекающихся. При этом на поверхности кристаллов нередко появляются штриховки или полосы скольжения.

Особенности деформационных двойников: двойники приурочены к участкам деформации, зонам дробления. При этом одни и те же системы двойников могут пересекать несколько кристаллов, расположенных рядом; в пределах участка деформации все зёрна сдвойникованы; двойниковые пластинки обычно тонкие, многочисленные, часто клиновидные или линзовидные. Одной из интересных особенностей процессов деформационного двойникования является взаимоотношение ранних двойниковых пластин с более поздними, которые пересекают ранние, иногда поглощают их, иногда развиты внутри ранних.

Пластические деформации путём блокирования весьма широко распространены. В результате механического воздействия в кристалле появляются блоки, развёрнутые относительно протокристалла и друг

Механические деформации кристаллов

относительно друга. Границы между этими блоками не кристаллографические. Форма блоков разнообразная, часто угловатая. Довольно правильные угловатые очертания типичны для систем таких блоков – внутренних изломов в кристаллах, которые именуют кинкбендами. Кинкбенды возникают при относительно кратковременном интенсивном (мощном) механическом воздействии.

Х р у п к о е р а з р у ш е н и е к р и с т а л л о в. Когда механические напряжения достигают и превышают предел прочности кристаллов, происходит их хрупкий разрыв, разделение кристалла на части путём их раздвига; возникают изломы, появляется спайность или отдельность.

Спайность – это хрупкое разрушение кристалла по системе гладких кристаллографически определённых плоскостей, которые ориентированы по направлениям наиболее слабых связей в кристаллической решётке.

Таким образом, спайность – это свойство минералов, но не признак, - если кристалл вообще не подвергался механическим (тектоническим, иногда тот же эффект даёт сильный электрический разряд) воздействиям, то никакой спайности не будет. Плоскости спайности. Степени совершенства спайности – от весьма совершенной до весьма несовершенной.

Отдельность проявляется обычно в заметно деформированных кристаллах с двойниковыми прослойками.

Механические автодеформации кристаллов, которые в процессе роста упёрлись в препятствие и начали изгибаться...



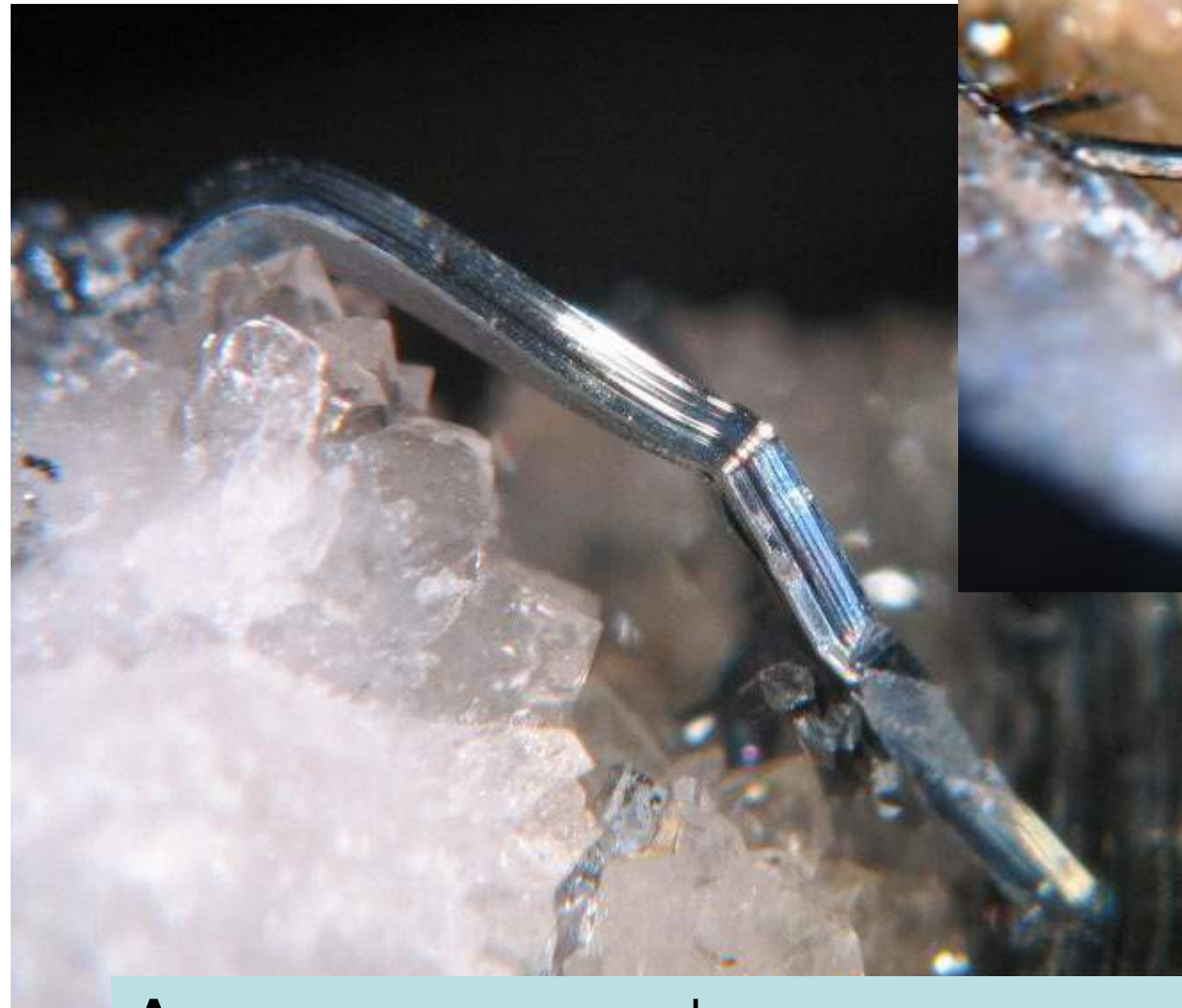
Гипс

Пикрофармаколит
 $\text{Ca}_4\text{Mg}[(\text{AsO}_3\text{OH})_2/(\text{AsO}_4)_2] \cdot 11(\text{H}_2\text{O})$
Маркиш, Румыния

Вивианит
 $\text{Fe}^{2+}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8(\text{H}_2\text{O})$
Хержа, Румыния



Механические автодеформации кристаллов, которые в процессе роста упёрлись в препятствие и начали изгибаться...



Антимонит на не деформированном кварце

Механические деформации - сломанные кристаллы



Сломанный и залеченный кристалл кварца 56x26 мм

Механические деформации - сломанные кристаллы



Кварц с турмалином-
шерлом 40 мм



Аквамарин в кварце
30 мм. Binntal, Швейцария

Механические деформации - сломанные кристаллы



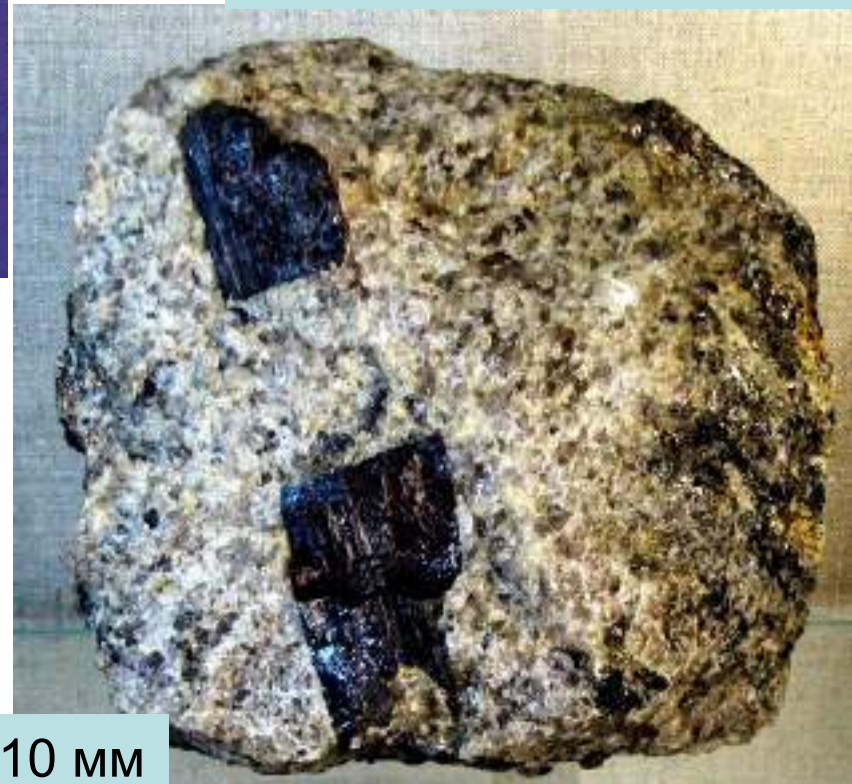
Арбузный эльбаит
130x55 мм.
Cruzeiro mine,
Минас Жераис,
Бразилия

Механические деформации – будинаж кристаллов



Рутил в жильном кварце.
28 мм. Kruzweiher, Fichtelgebirge

Рутил в кварцитах.
Слюдорудник.
Кыштым
Южный Урал

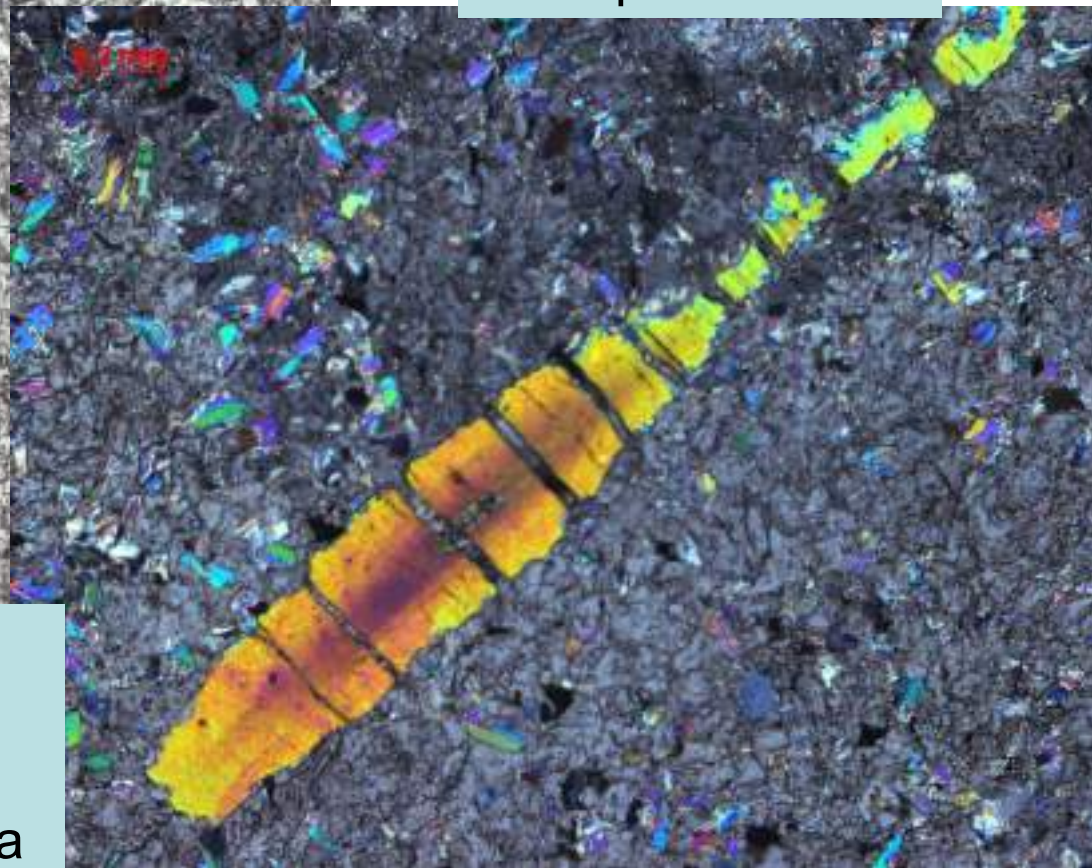
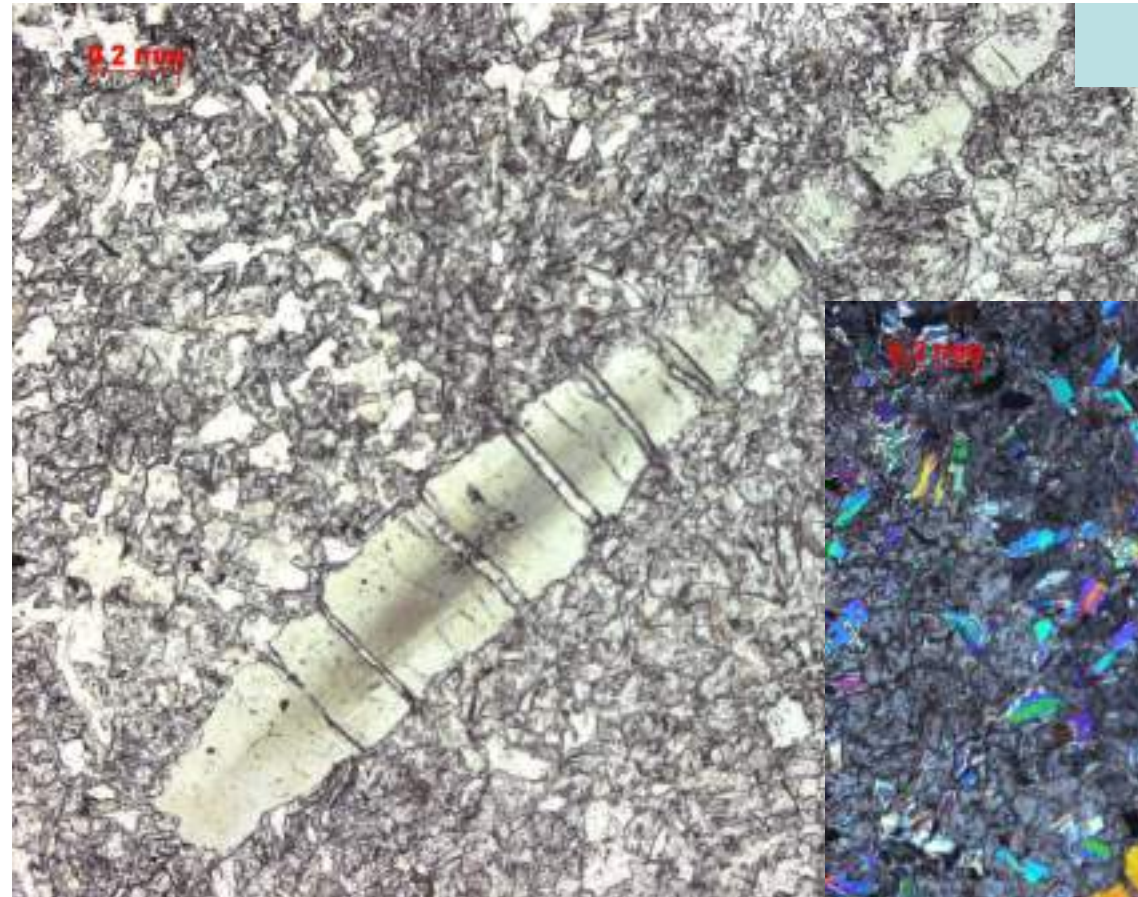


110 мм

Механические деформации – будинаж кристаллов

Шлиф. При 1 николе

Шлиф. Николи х



Трещины будинажа в кристалле **турмалина** заполнены доломитом.

Колл. и фото Э.М. Спиридонова

Кристалл турмалина – дравита в гумбеитах. Берёзовское, Средний Урал

Механические деформации – будинаж кристаллов



Кристалл изумруда 40 мм
в слюдитах – цвиттерах.
Изумрудные Копи,
Средний Урал



Кристалл аквамарина
в кварце. 75x35 мм.
Альпийская жила.
Binntal,
Швейцария

Механические деформации – будинаж кристаллов



Турмалин - шерл.

Досатуй, Аргунский хребет,
Восточное Забайкалье



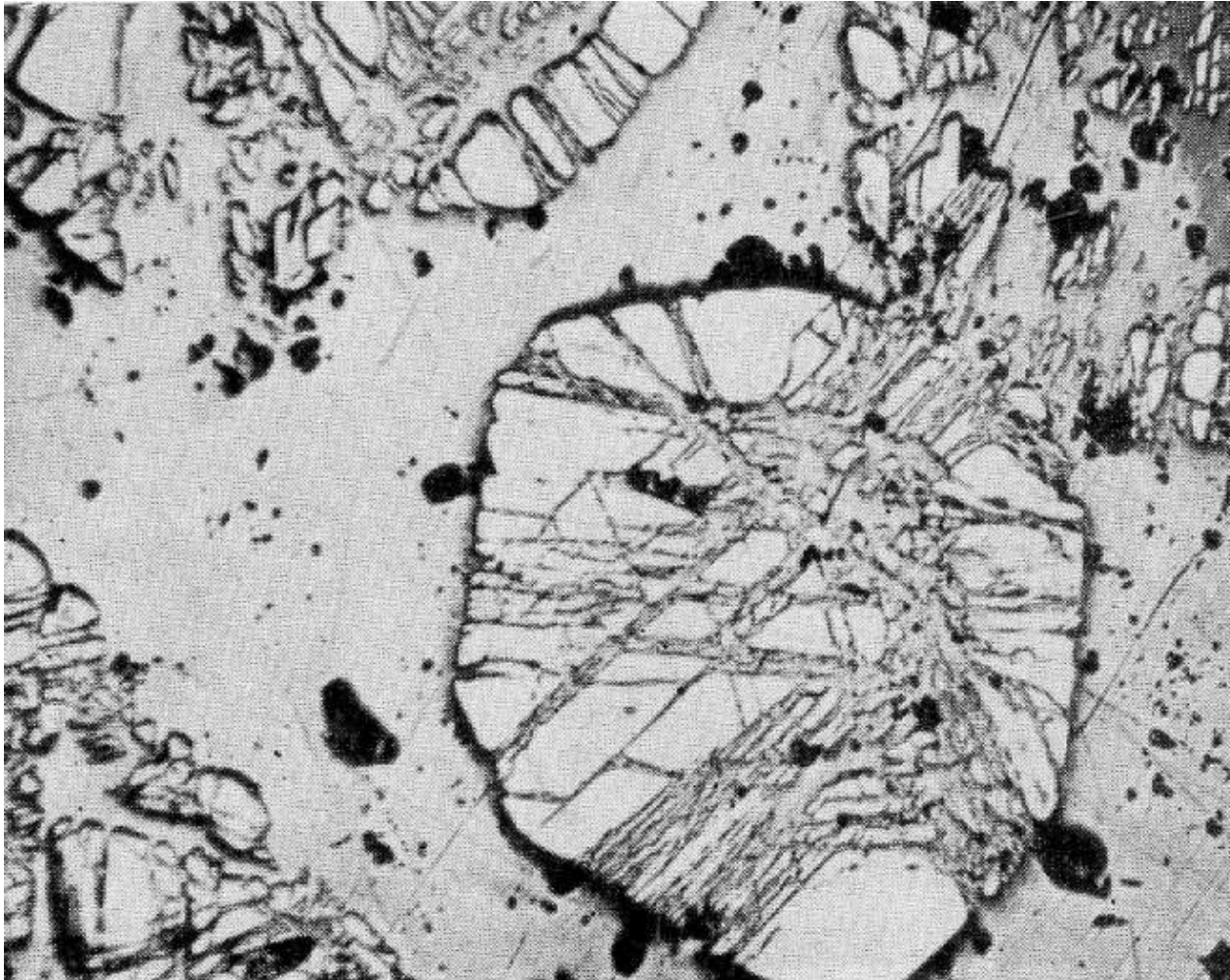
ЭШИННИТ - (Ce)
Aeschynite-(Ce)
 $(Ce, Ca, Fe, Th)(Ti, Nb)_2(O, OH)_6$
конт. 127. Ильменские горы, Ю. Урал, Россия
Розенфельд Е.Д. 1937

ЭШИННИТ

$(Ce, Ca, Fe, Th)(Ti, Nb)_2(O, OH)_6$
70 мм. Вишнёвые горы,
Средний Урал



Механические деформации кристаллов - брекчированные кристаллы



Брекчированные –
раздробленные
кристаллы **пирита**
сцементированы
не деформированным
халькопиритом
с эвключениями
сфалерита (чёрный).

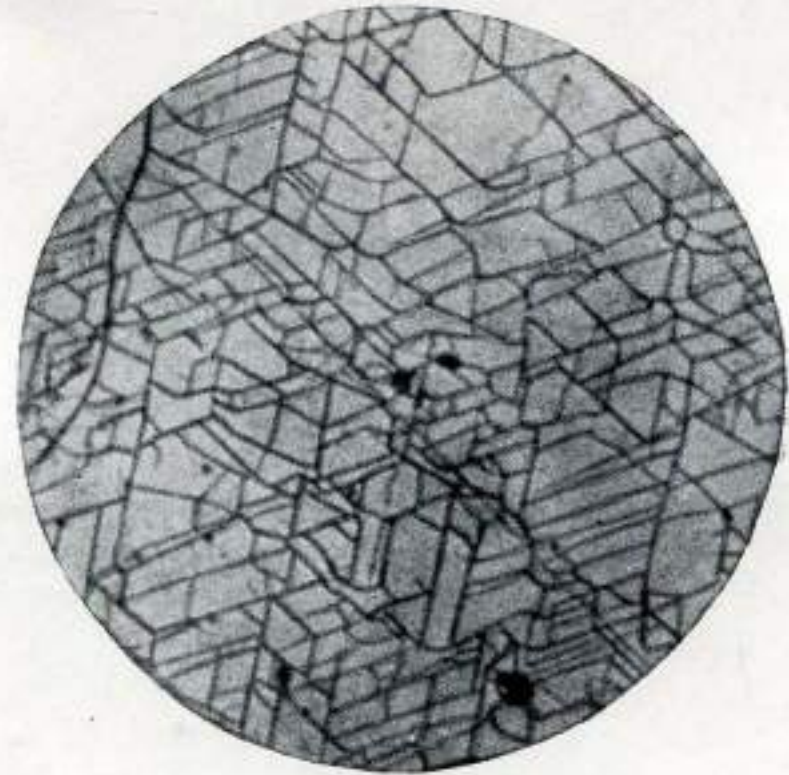
В отражённом свете
при 1 николе.
3 мм.

Дастакерт, Армения

Механические деформации кристаллов – проявление спайности



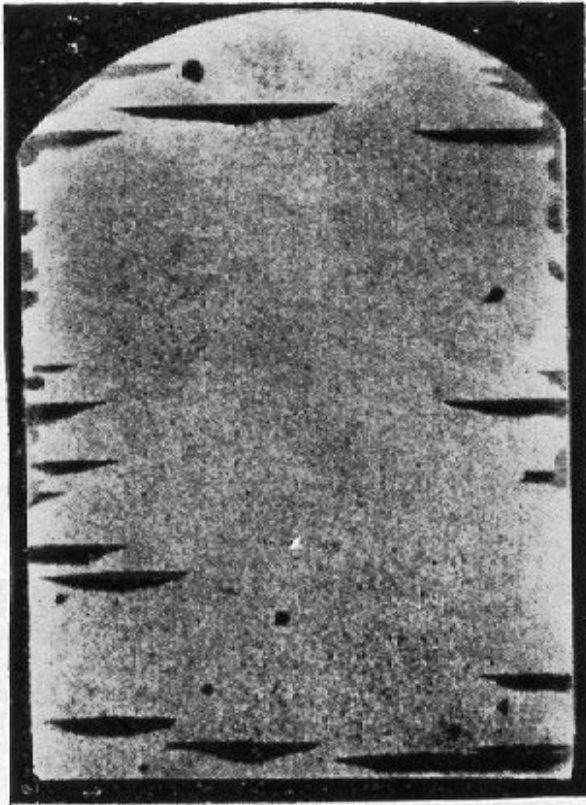
Флюорит – выколки по спайности.
Керемет-Тас, Киргизия



Алюомагнезиохромит из
деформированных
хромитовых руд
Халиловского массива,
Южный Урал, по С.А. Вахромееву.
Фотографии в отражённом свете

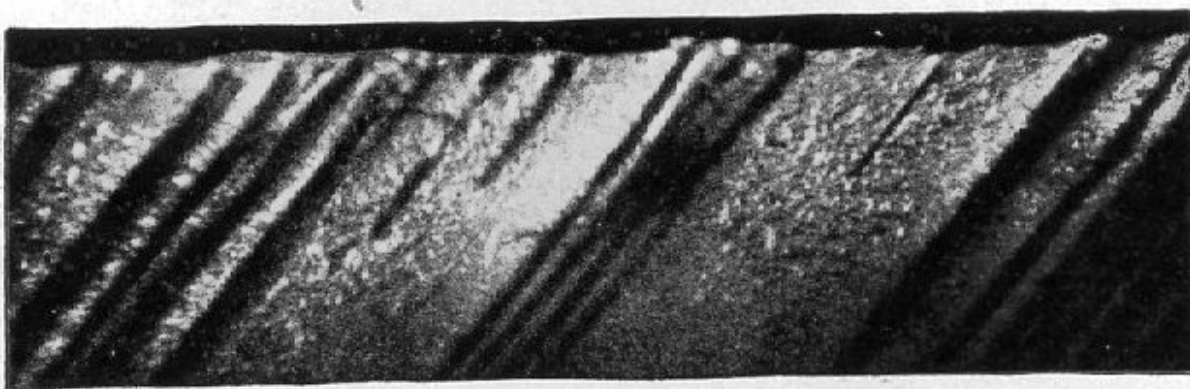


Механические деформации кристаллов – проявления спайности



Кварц – трещины
спайности по 0001
под действием
сильного
электрического
разряда.

Е.В. Цинзерлинг, 1959



Механические деформации - разлистованные кристаллы кварца

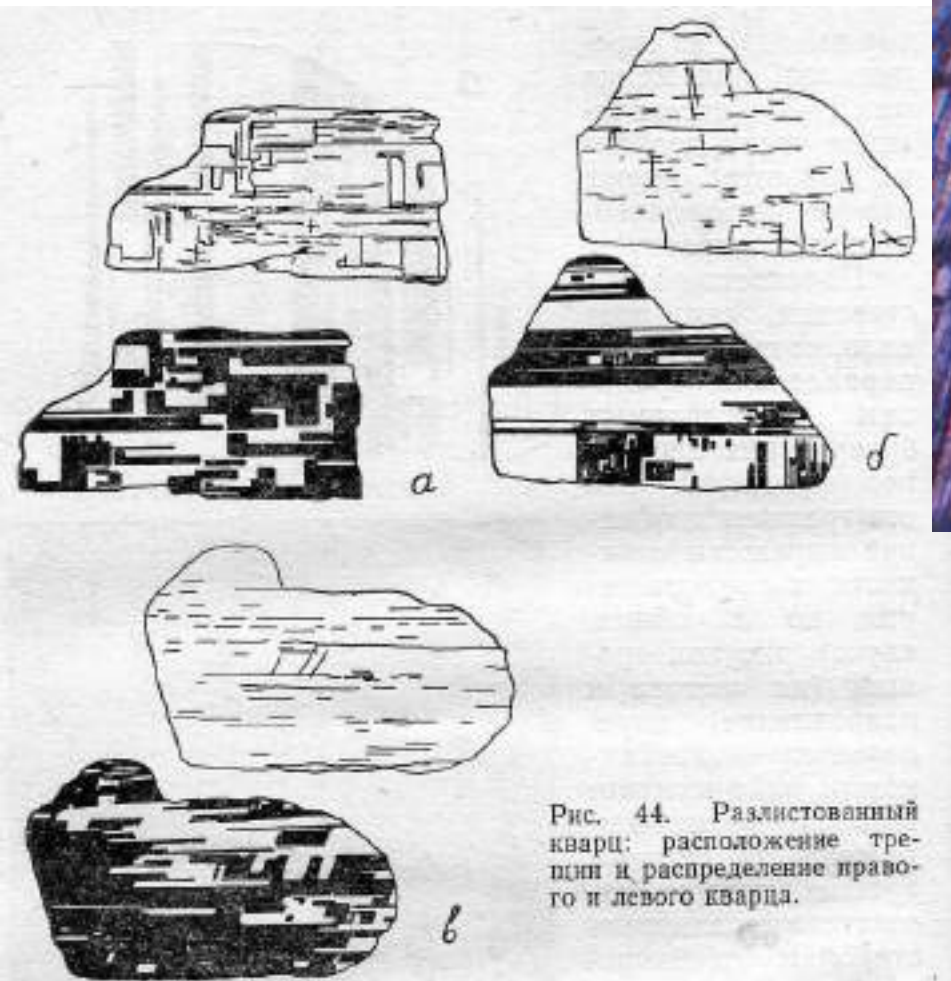
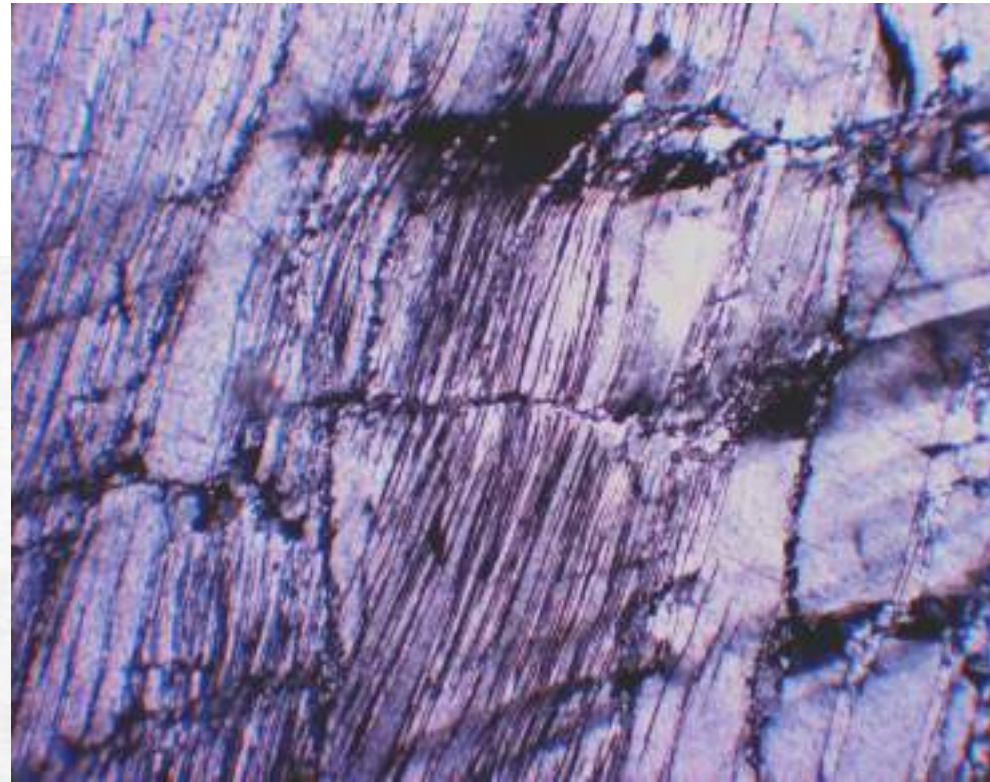


Рис. 44. Разлистованный кварц: расположение трещин и распределение правого и левого кварца.

Жильный кварц.
Аксу, Северный
Казахстан.
При 1 николе

Механические деформации кристаллов, объём которых со временем увеличивался или уменьшался при полиморфных превращениях



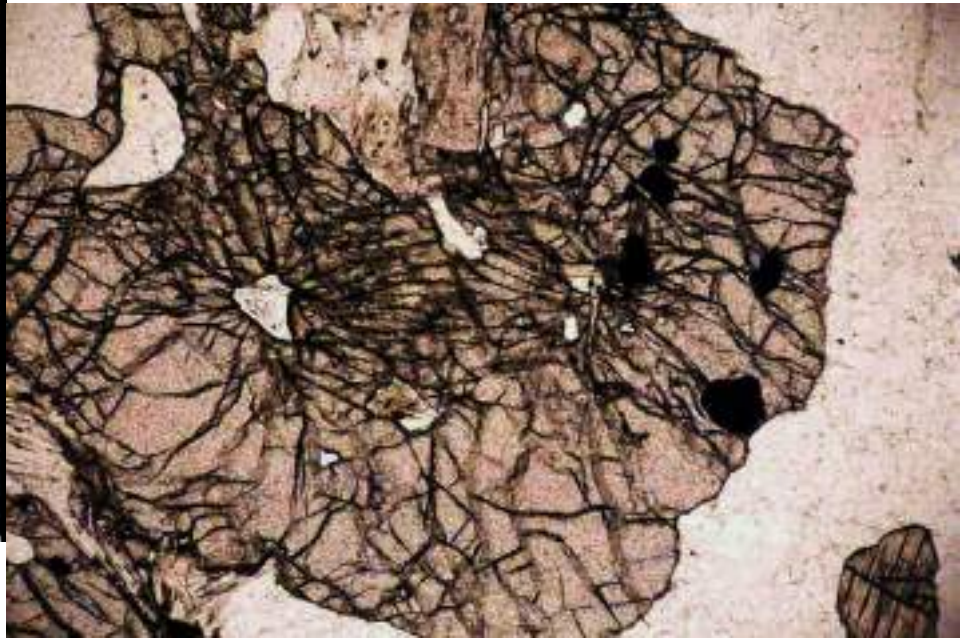
Сотовый кварц из гранитных пегматитов Волыни, испытавший $\beta \rightarrow \alpha$ переход. Трещины возникли при уменьшении объёма, в них масса газовых включений

Механические деформации кристаллов около минералов – включений, испытавших полиморфный переход с увеличением объёма

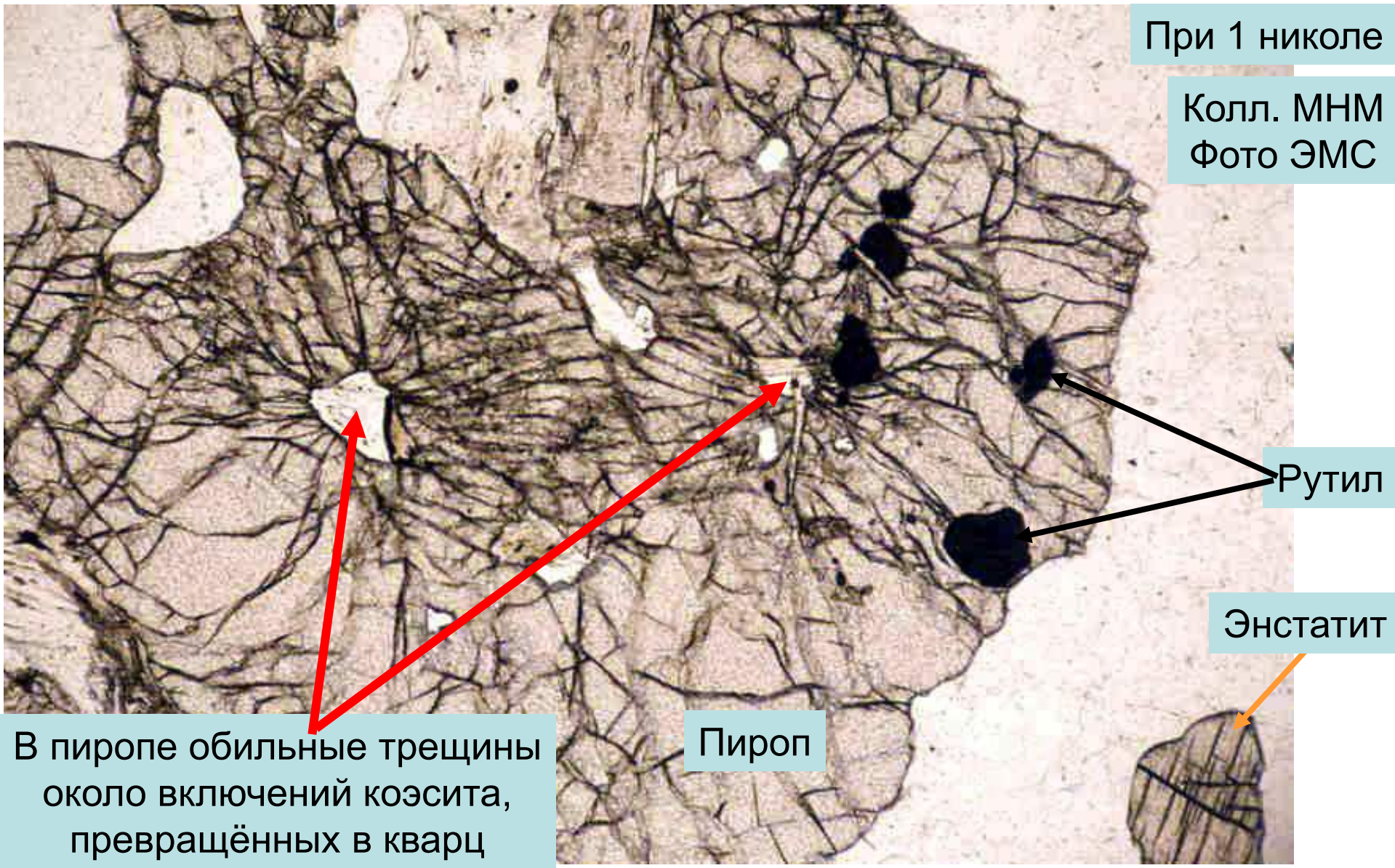
Пироп с включениями коэсита, частью превращённого в кварц. Пироп-коэситовые кварциты. Дора-Майра,



Сев

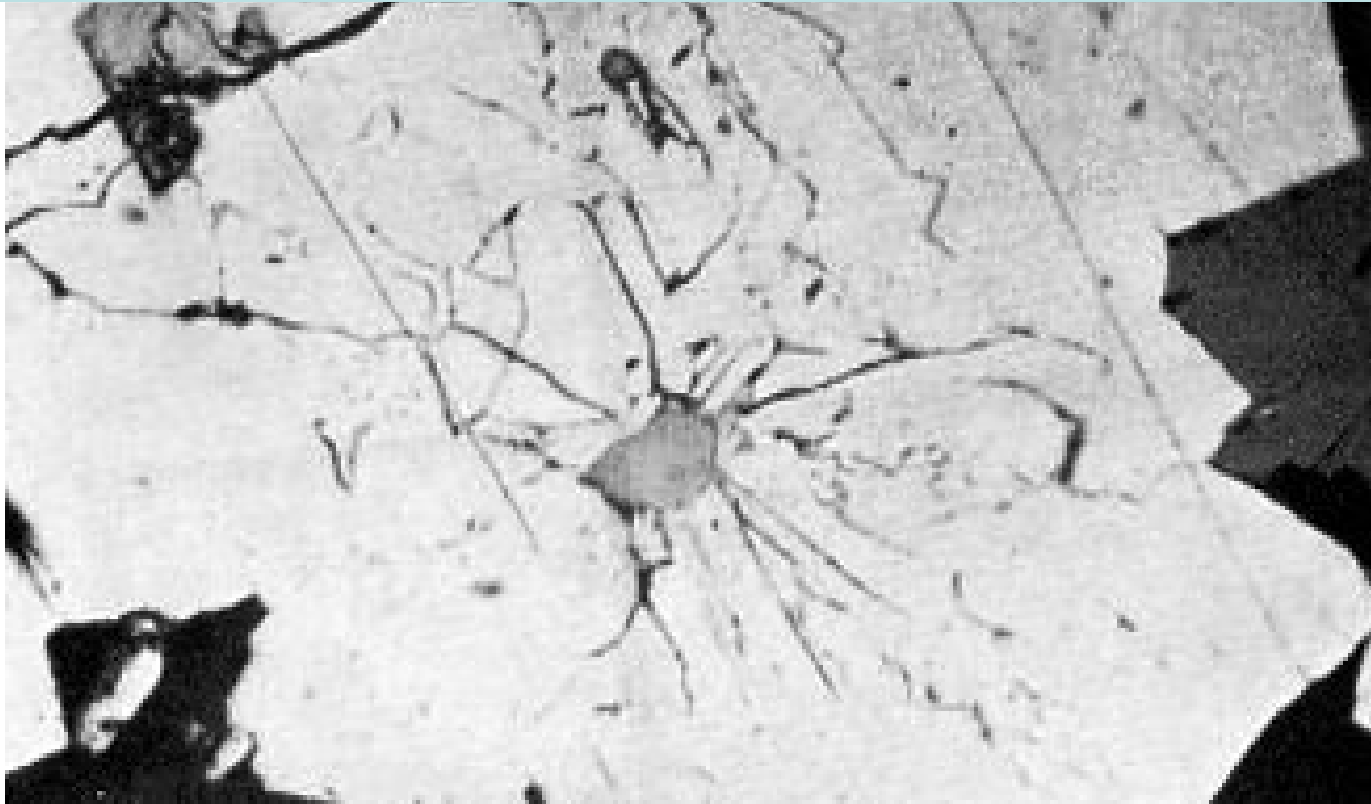


Механические деформации кристаллов около минералов – включений, испытавших полиморфный переход с увеличением объёма



Механические деформации кристаллов около минералов – включений, испытавших полиморфный переход с увеличением объёма

Трещины в никельскуттерудите $NiAs_3$ около включения висмута 0.7 мм. Шнееберг, Рудные Горы, Германия. В отражённом свете



Висмут увеличивается в объёме при переходе из жидкого состояния в твёрдое, подобно воде. Следовательно, такая картина – свидетельство кристаллизации висмута выше температуры его плавления = $271^{\circ}C$.

Механические деформации кристаллов около радиоактивных включений, объём которых со временем увеличивался

Трещины в ортите (алланите) около включений уранинита (белые).
В отражённом свете

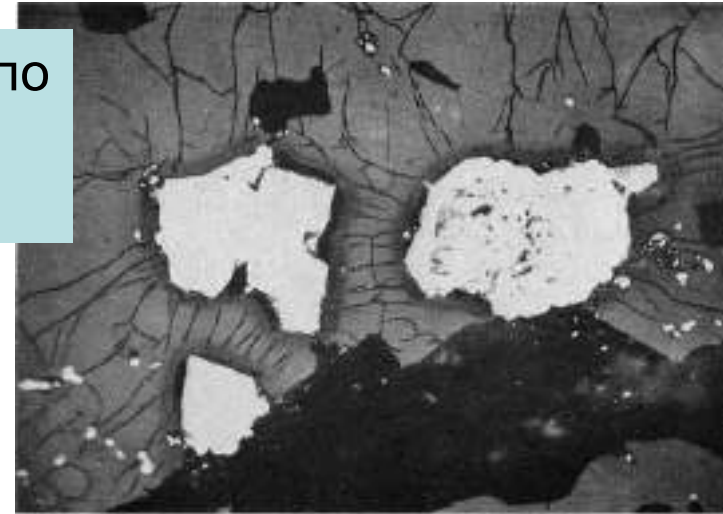


Abb. 241 Vergr. 250mal, Immersion
Mary Kathleen Mine, Queensland
RADOOM
Trennung (oder teilweise) erzeugt Risse mit Oritzerstreuung in Größe (groß). In diesen Rissen hat das Volumen zugenommen, so daß sie den intakten Ortteil sprengen. — Das Volumen des Uraninites hat sich nicht geändert. Schwarz ist Gangart (Hintergrund)

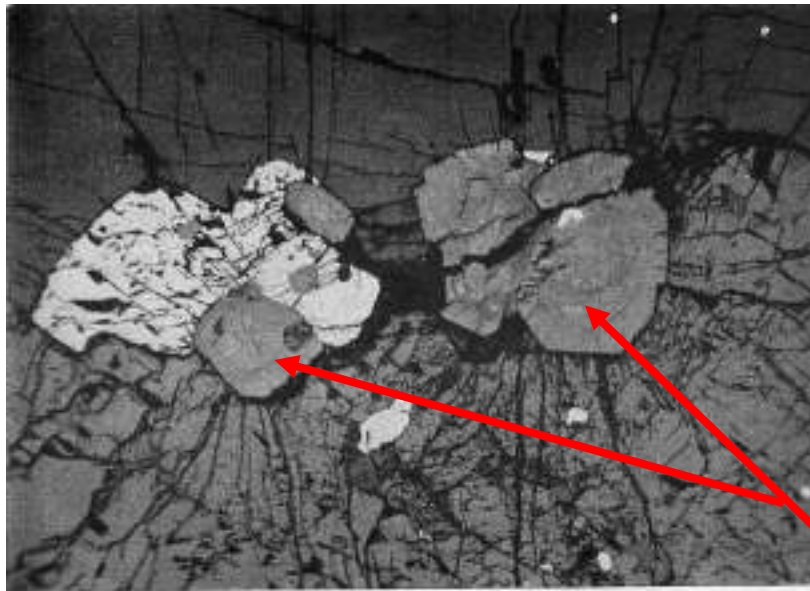
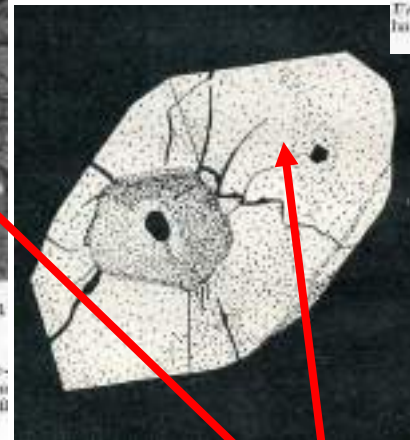
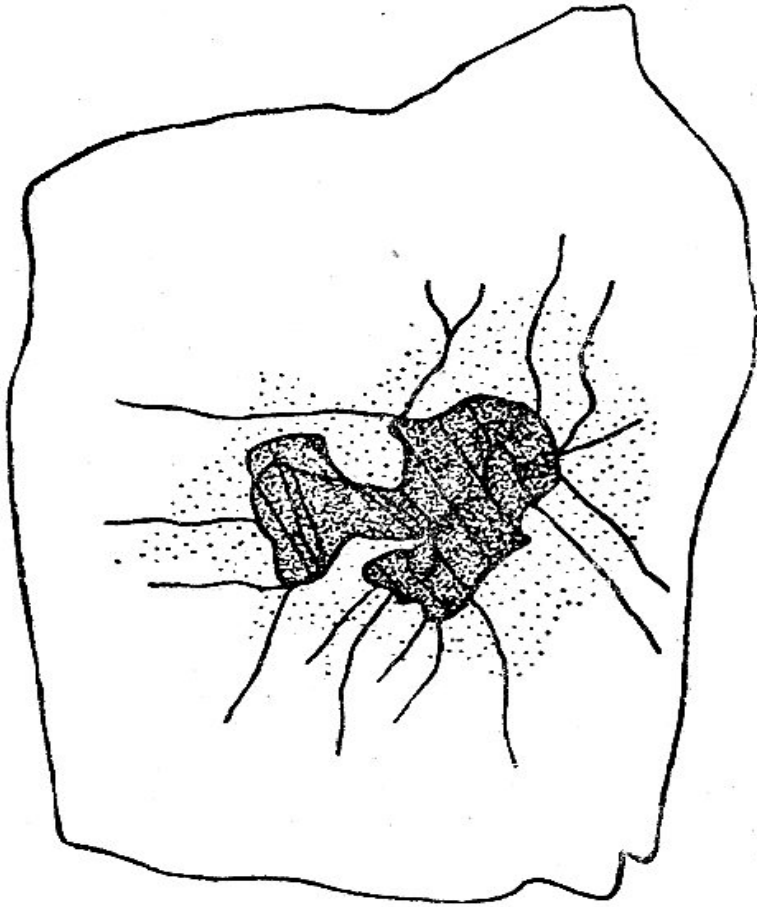


Abb. 242 Vergr. 30mal
Faraday Mine, Bancroft, Ontario
RADOOM
Ein Zirkon („Cytolith“), reich an U oder/und Th ist isotropisiert — fleckenweise in verschiedenen Stadien —, gewinnt damit an Volumen und sprengt Phasolite (dunkelgrün), Pyroxen (etwas leichter grün), Muscovit (weiß), Uraninit (grauweiß). Auffallend ist hier und sonst, daß die Sprengung offenbar schichtartig auf einmal erfolgt



Трещины во внешней части кристаллов циркона около метамиктных богатых ураном ядер

Механические деформации кристаллов около радиоактивных включений, объём которых со временем увеличивался



Трещины в плагиоклазе
около кристалла
ортита (алланита) ,
богатого торием и ураном

Ф и г. 5. Радиальные трещины и ореолы гематитового изменения вокруг трещиноватого алланита в плагиоклазе. Пегматит № 1 из Дип-Крик, Брайсон-Сити, Северная Каролина (×1).

Механические деформации кристаллов, объём которых увеличивался при гидратации...



Кристалл **оливина**, вдоль линий спайности превращённый в **иддингсит** с увеличением объёма, с массой трещин. Пикриты трапповой формации. Плато Хараелах, Норильский регион

Механические деформации кристаллов, объём которых со временем увеличивался при гидратации...

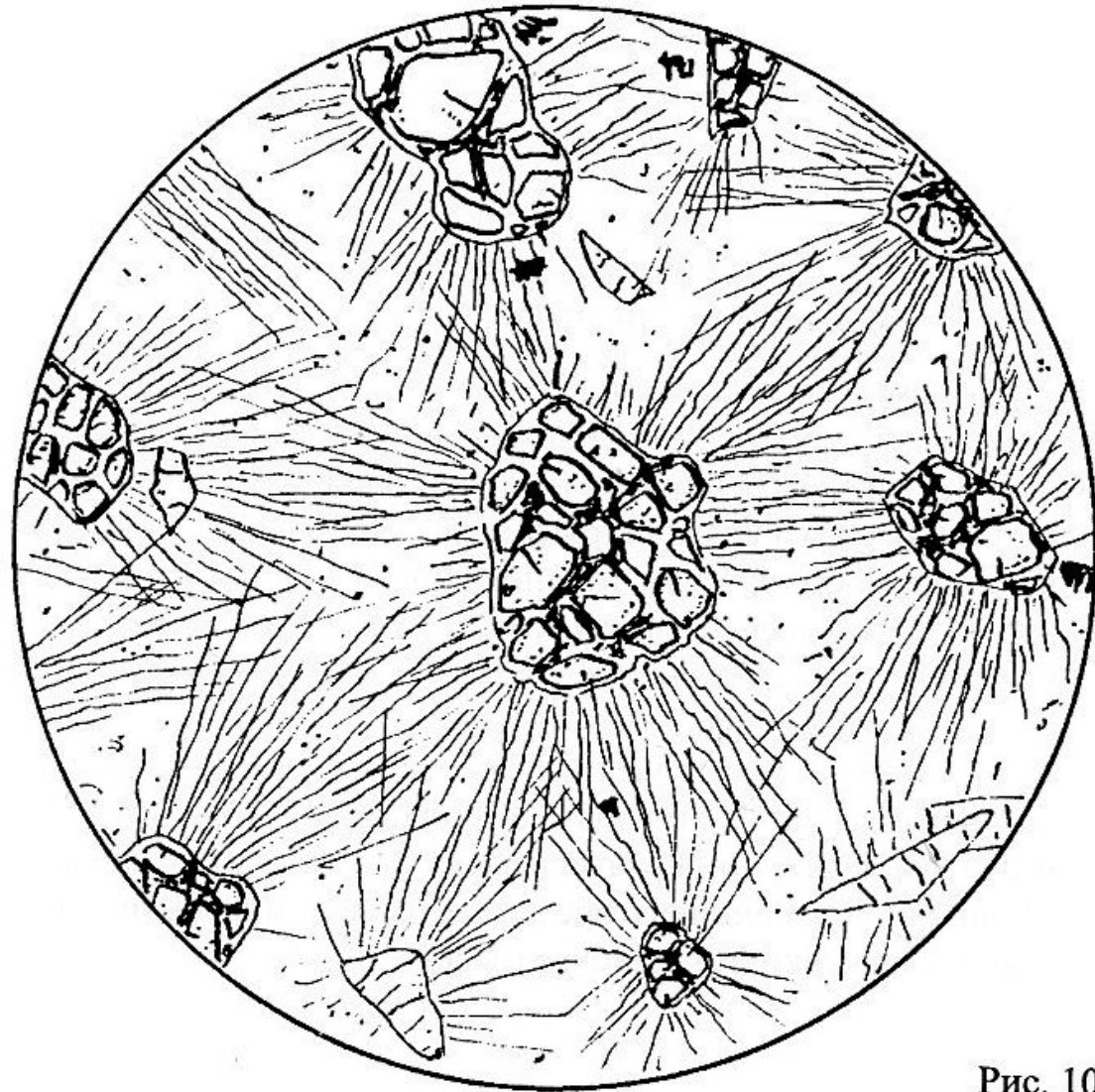


Рис. 101

Троктолиты = оливин-битовнитовые габброиды со дна Атлантического океана.
Оливин при частичной серпентинизации увеличился в объёме.
Это привело к развитию систем трещин в прилегающем **плагиоклазе - битовните**

(рисунок из книги
Б.Н. Лапин, 2003)

Двойник роста

Механические двойники

Особенности облика двойниковых сростков

1. При прочих равных условиях двойник имеет большие размеры, чем монокристалл (Bescke, 1911)
2. Двойники часто уплощены параллельно двойниковой плоскости (Bescke, 1911)
3. Двойники часто удлинены параллельно двойниковой оси (Bescke, 1911)

Особенности ограничения двойников

4. Двойники иногда имеют грани, не наблюдающиеся на монокристаллах. Обычно эти грани не лежат у границы двойника (Bescke, 1911)
5. Двойники в общем менее богаты гранями, чем монокристаллы (Hartman, 1956)

Частота двойников

6. Двойниковые пластинки часто отсутствуют в других зернах и шлифе* (Рамдор, 1962)

- 6а. Почти повсеместное нахождение двойников в месторождении (Seifert, 1964)

Распределение двойниковых пластинок

7. Двойники обычно простые, а если полисинтетические, то двойниковые пластинки немногочисленны (Vance, 1961; Seifert, 1964)

- 7а. Двойниковые пластинки многочисленные (Vance, 1961; Seifert, 1964)

- 7б. Процесс двойникования обычно охватывает весь кристалл (Vance, 1961)

8. Двойниковые пластинки часто не проходят через весь кристалл (Seifert, 1964)

- 8а. Двойниковые пластинки часто проходят через весь кристалл или зерно (Vance, 1961; Seifert, 1964)

9. Тонкие и толстые двойниковые пластинки располагаются и оканчиваются независимо друг от друга (Vance, 1961)

Форма двойниковых пластинок

10. Простые двойники обычно имеют равные части (Seifert, 1964)

11. Двойниковые пластинки обычно толстые (Vance, 1961)

- 11а. Двойниковые пластинки обычно тонкие (Харкер, 1937; Vance, 1961; Seifert, 1964)

12. Толщина двойниковых пластинок в зерне колеблется в очень широких пределах (Vance, 1961; Рамдор, 1962)

- 12а. Толщина двойниковых пластинок примерно одинакова в пределах каждой системы их или в пределах зерна (Vance, 1961; Рамдор, 1962; Seifert, 1964)

13. Двойниковые пластинки часто резко меняют свои очертания, образуя ступенчатые границы (Hartman, 1956; Vance, 1961; Рамдор, 1962; Seifert, 1964)

- 13а. Двойниковые пластинки обычно четкие, правильные, без ступенек (Vance, 1961; Seifert, 1964)

Отношение к деформациям

14. Не обладают приуроченностью к участкам деформаций в минералах (Vance, 1961; Seifert, 1964)

- 14а. Приурочены к участкам деформации в минералах (Харкер, 1937; Vance, 1961; Рамдор, 1962; Seifert, 1964)

15. При изгибе кристалла не меняют своей толщины (Vance, 1961)

- 15а. При изгибе кристалла часто меняют свою толщину (Vance, 1961)

- 15б. Концы двойниковых пластинок иногда срезаны трещинками, представляющими конечный результат деформации (Харкер, 1937)

Прочие признаки

16. На границе двойников иногда имеются первичные включения (Барсанов, Гурьева, 1964)

- 16а. Часто записит в своем расположении от первичных двойников роста (Seifert, 1964)

17. Взаимоотношение границ двойников с локальностью кристалла такое же, как и с его внешним ограничением (Vance, 1961)

- 17а. Чем меньше размеры зерен, тем сложнее образование в них полисинтетических двойников (Классен-Неклюдова, 1960)

* Если такая картина не получается при разрезе двойников параллельно плоскости двойникования,

Первичные двойники = ростовые
 Механические двойники = деформационные

Деформационные двойники в кристаллах – двойники, возникшие при механическом воздействии

42x33 мм



55x54 мм

Кальцит Слюдянского месторождения, Прибайкалье

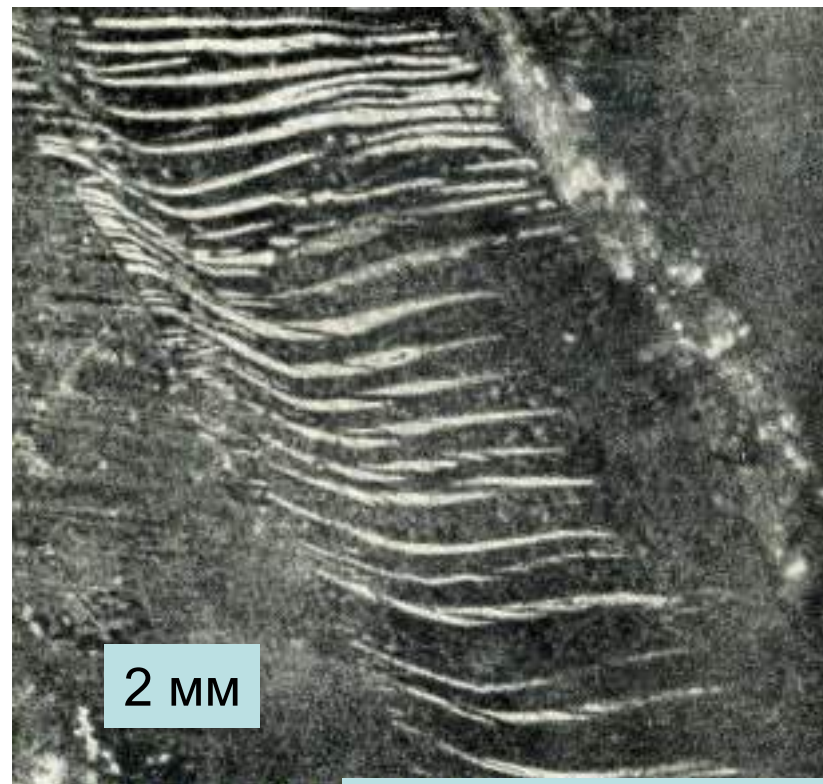
Деформационные двойники в кристаллах – двойники, возникшие при механическом воздействии

В халькопирите.

В отражённом свете, николи х



Abb. 376 Vergr. 200mal, gelöst mit $\text{HNO}_3 + \text{KClO}_3$, Ölimmersion Hsien Tung Chuan, Yunnan



2 мм

В антимоните.

В отражённом свете,
николи х



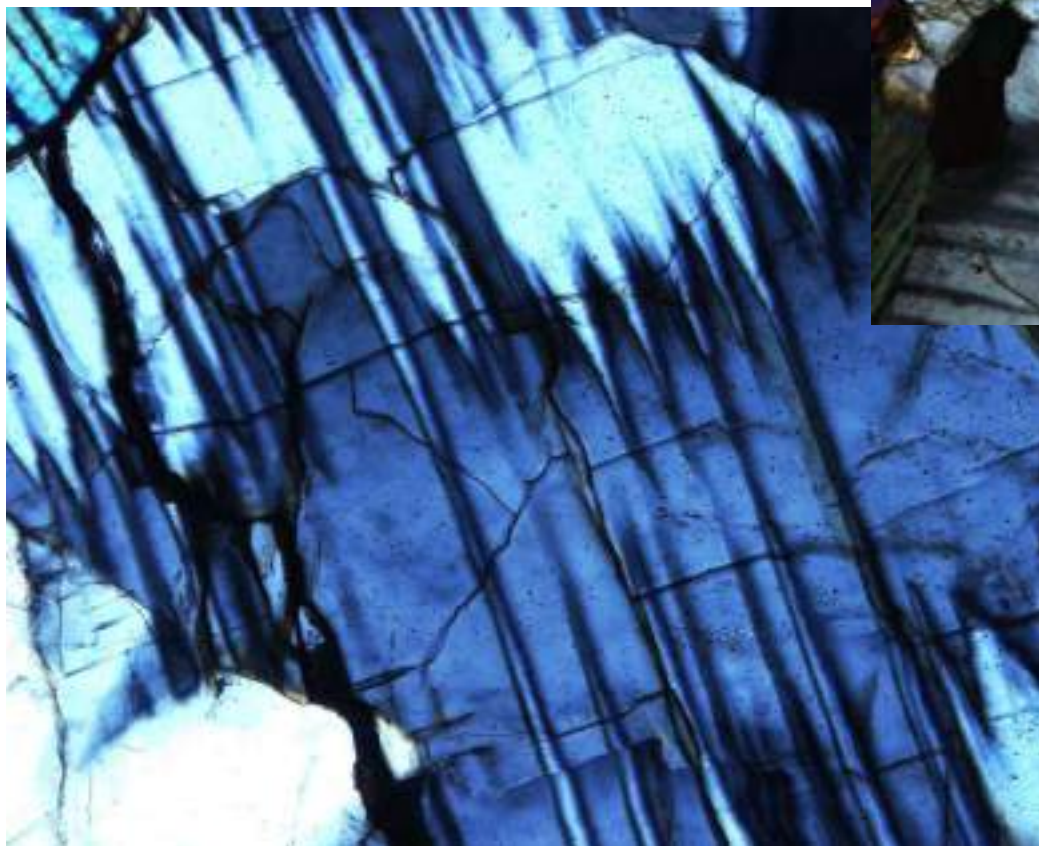
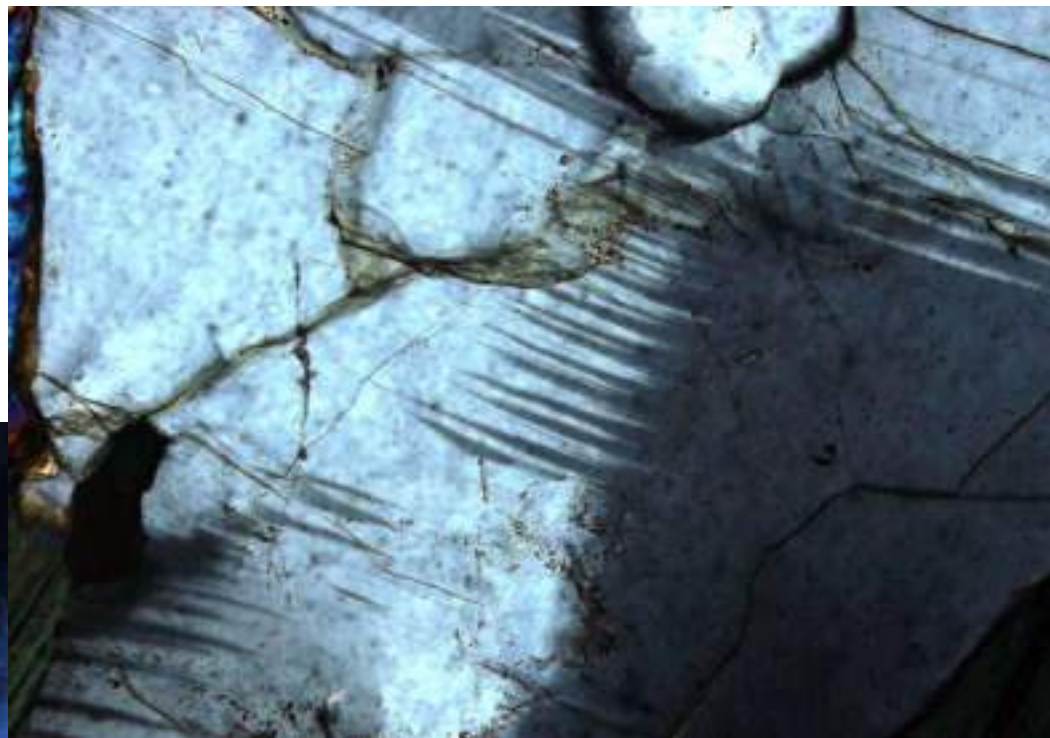
В халькостибите CuSbS_2 . X 200.

St-Pons, Альпы.

В отражённом свете, николи х

Деформационные двойники в кристаллах – двойники, возникшие при механическом воздействии

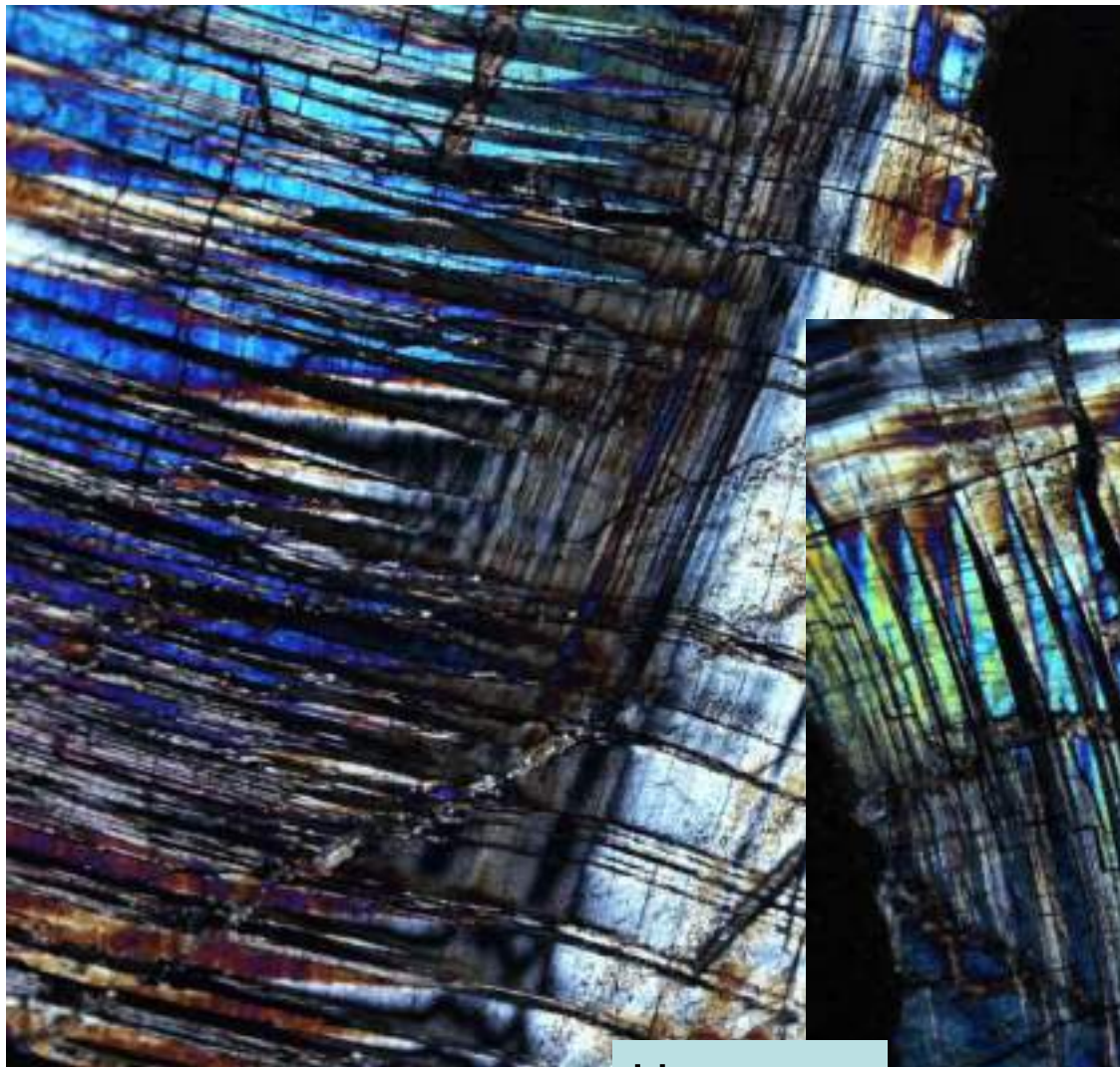
В лабраторе.
Анортозиты
Джугджурского
плутона.
Алданский щит



Николи х

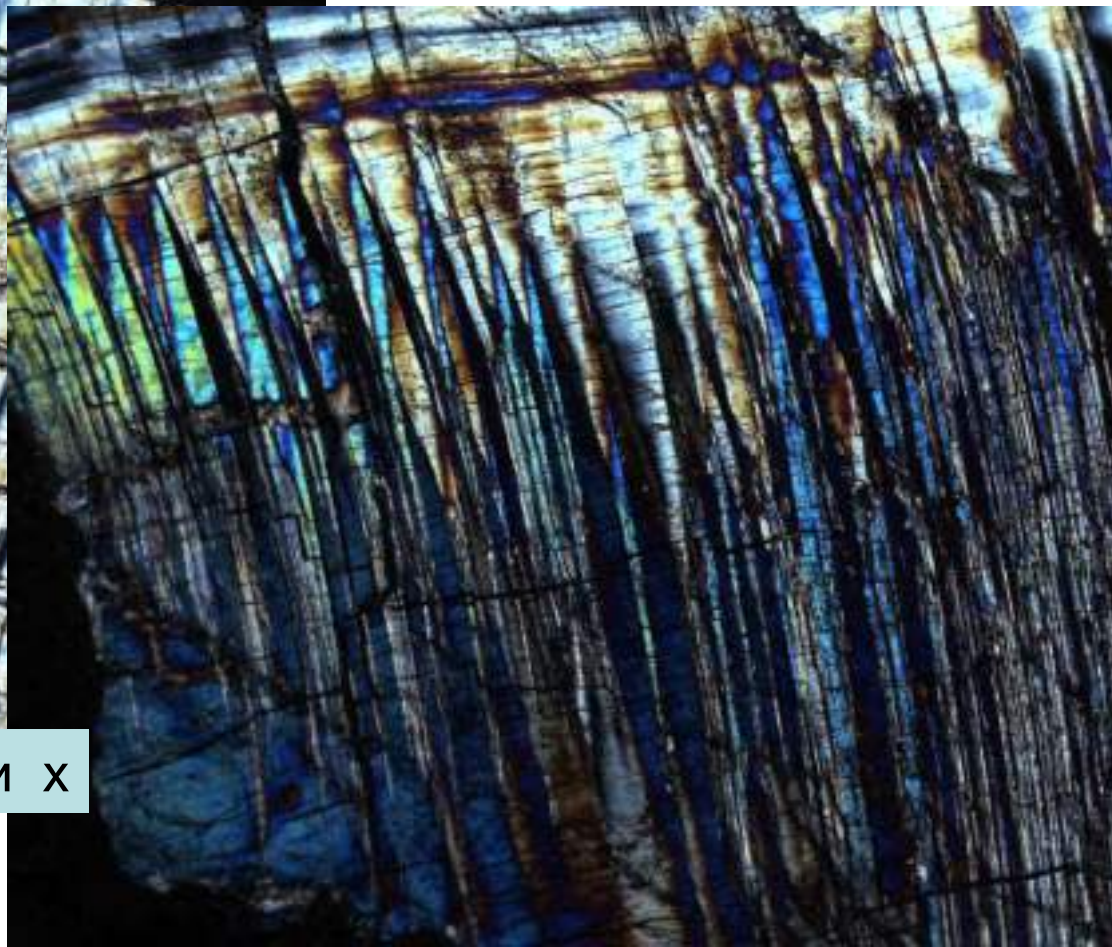
Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

Деформационные двойники в кристаллах – двойники, возникшие при механическом воздействии



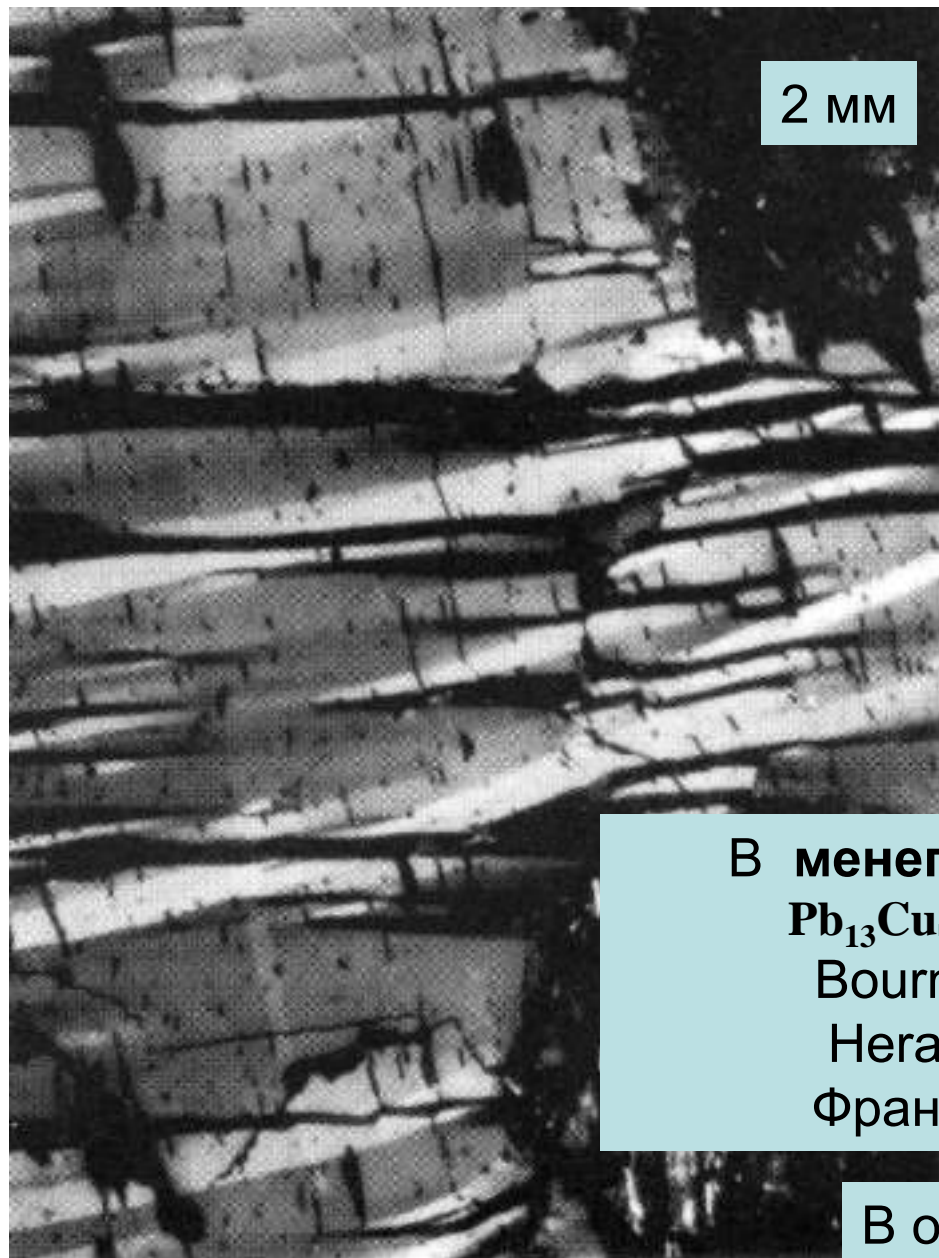
Николи х

В омфациите.
Ксенолит эклогитов в
кимберлитах тр. Удачная,
Восточная Сибирь



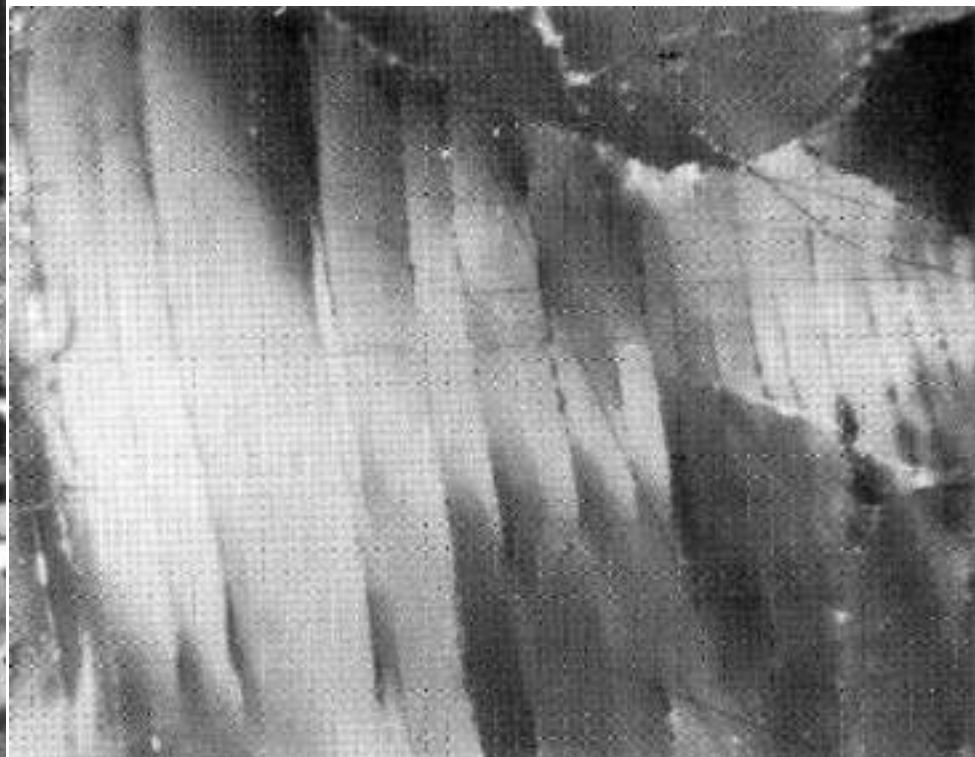
Колл. и фото ЭМС

Деформационные двойники в кристаллах – двойники, возникшие при механическом воздействии



2 мм

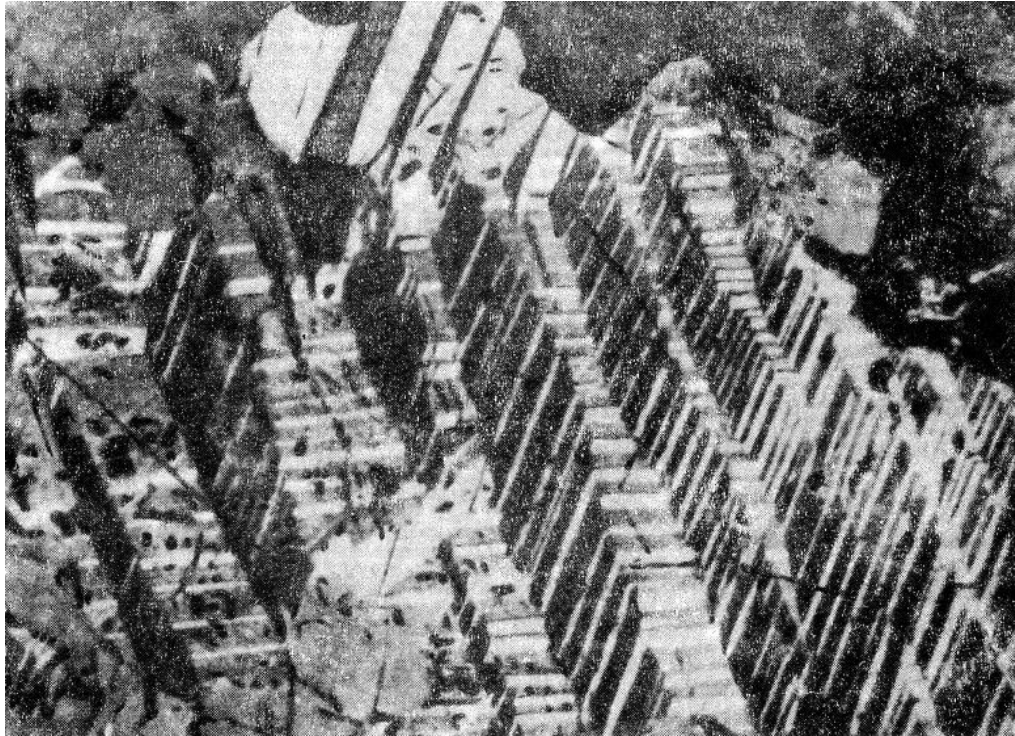
В менегините.
 $\text{Pb}_{13}\text{CuSb}_7\text{S}_{24}$
Bournac,
Herauld,
Франция



В семсейите.
 $\text{Pb}_9\text{Sb}_8\text{S}_{21}$
X 500.
Les Cougnasses,
Франция

В отражённом свете, николи x

Деформационные двойники в кристаллах – двойники, возникшие при механическом воздействии



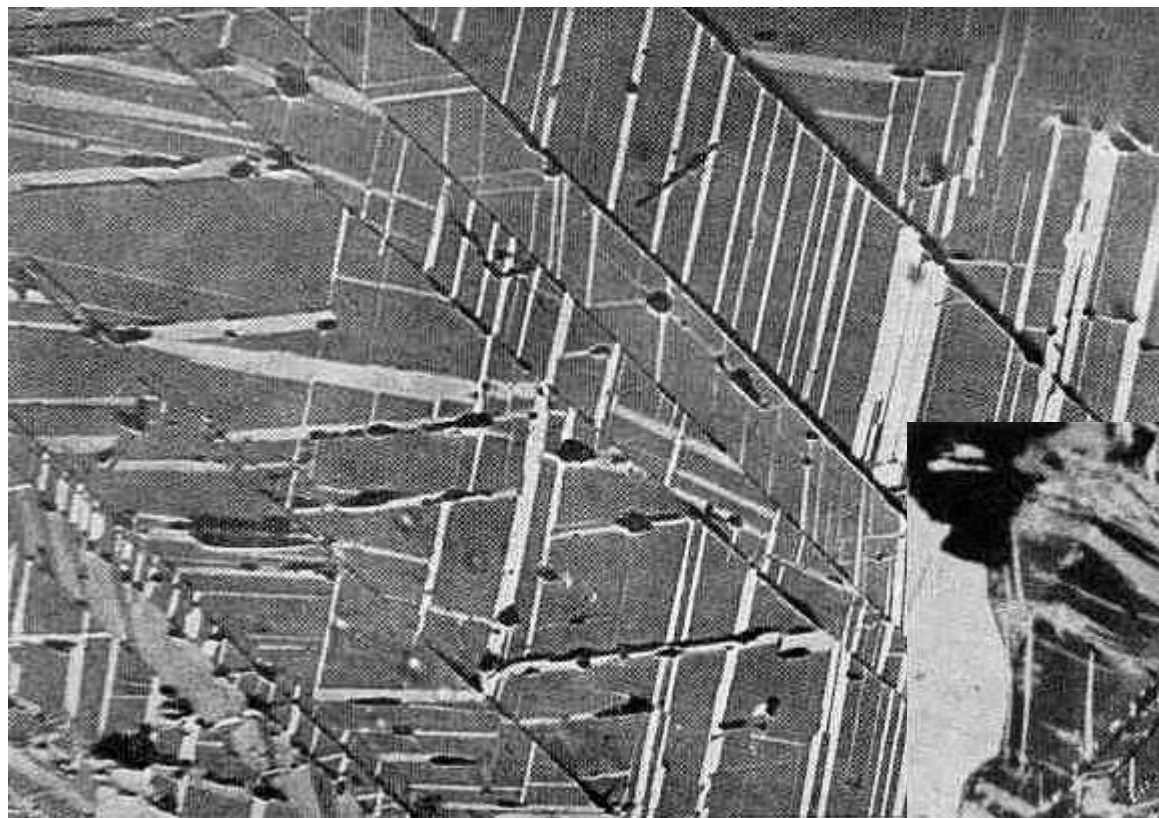
Голландит
 $(\text{Ba}, \text{K})(\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{2+})_8\text{O}_{16}$
0.2 мм.

Govari-Vadhona, штат
Мадья-Прадеш, Индия.
В отражённом свете,
николи х

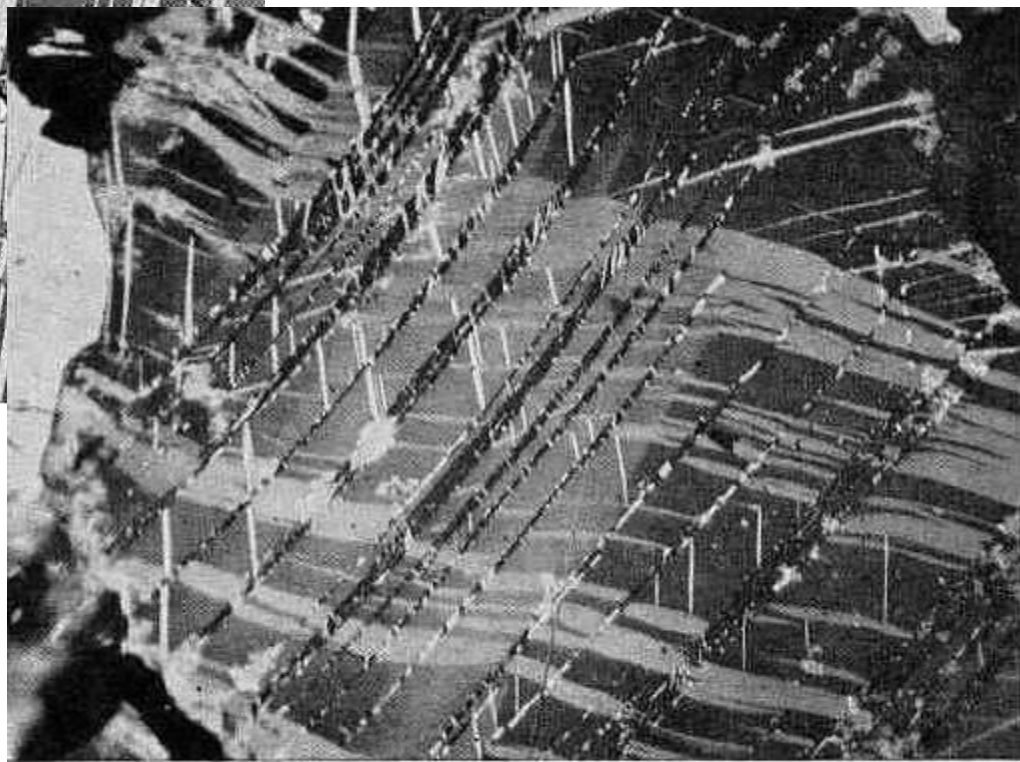


Оливин.
Глубинный
ксенолит гарцбургитов
в кимберлитах.
В проходящем свете,
николи х

Деформационные двойники в кристаллах – двойники, возникшие при механическом воздействии



Ильменит.
Финляндия



Гематит. 0.4 мм. Lipoto, Катанга

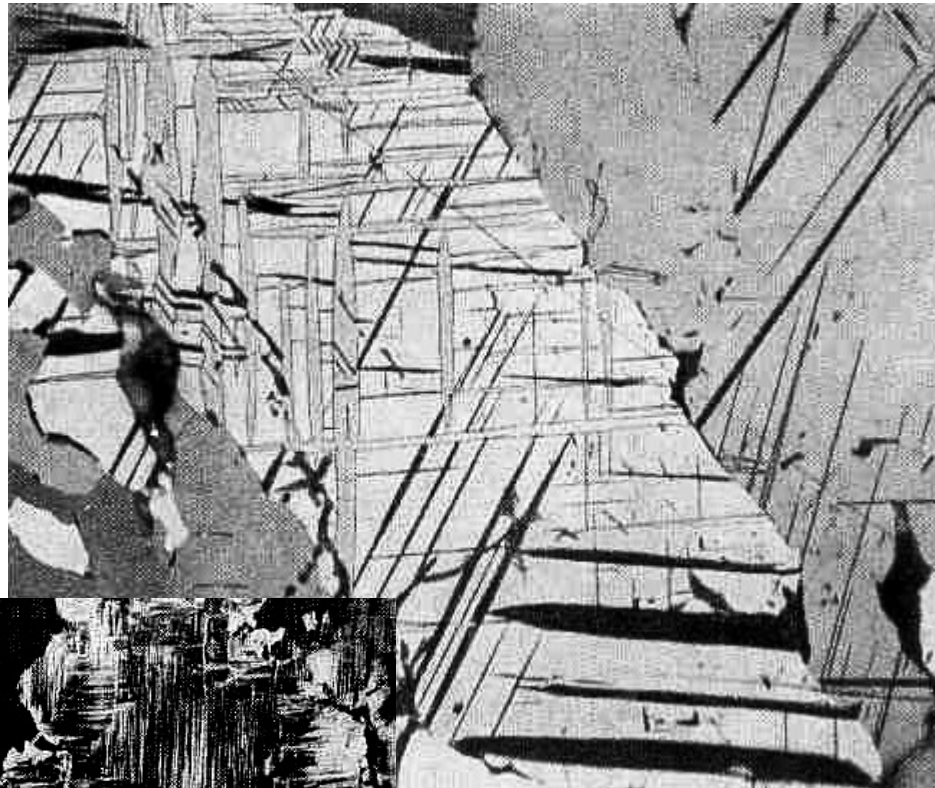
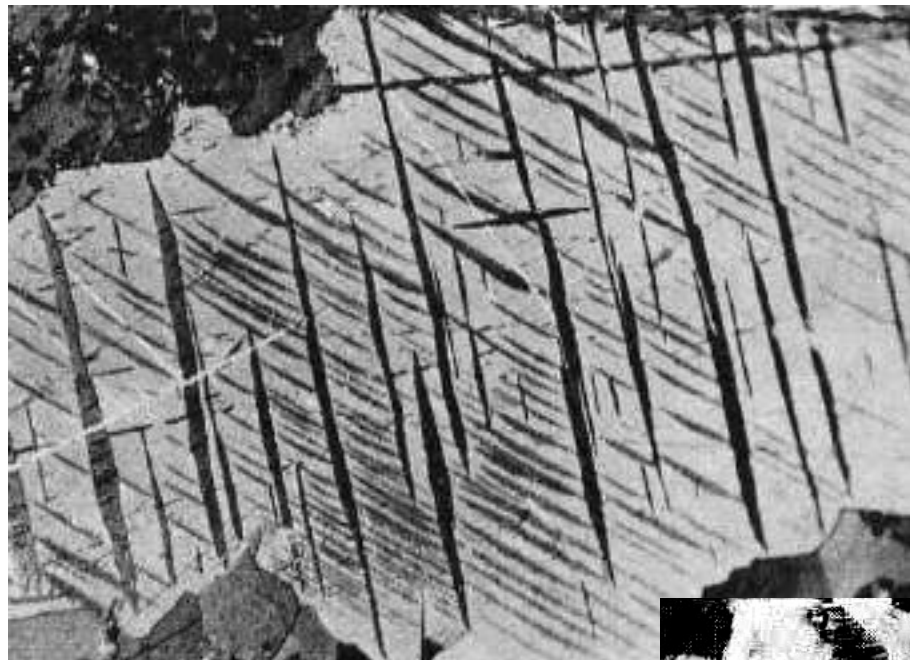
В отражённом свете,
НИКОЛИ X

Abb. 576 b

Vergr. 250mal, Immersion, Nic. +
Ullava, Finland

RAMDOHN

Двойники полиморфных превращений в кристаллах – двойники, возникшие при внутреннем воздействии. Очень похожи на двойники механические



Самородный висмут

Vergr. 250mal Immersion. Nic. fast

Lancelot tin mine,
Квинсленд, Австралия

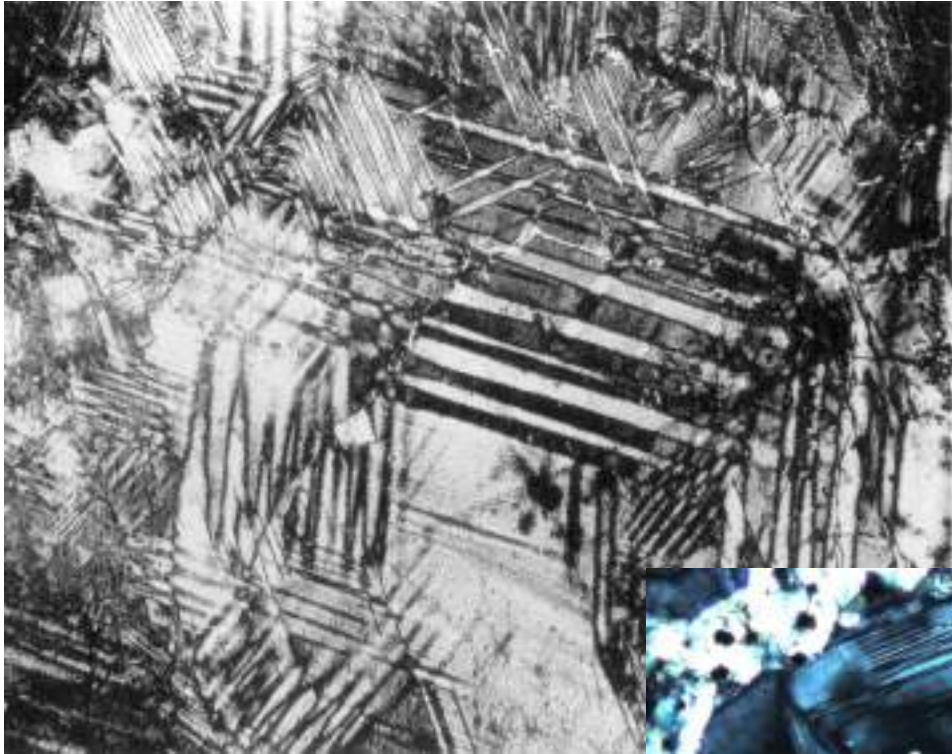
В отражённом свете,
николи X

Умангит:
Куб. → Тетр.

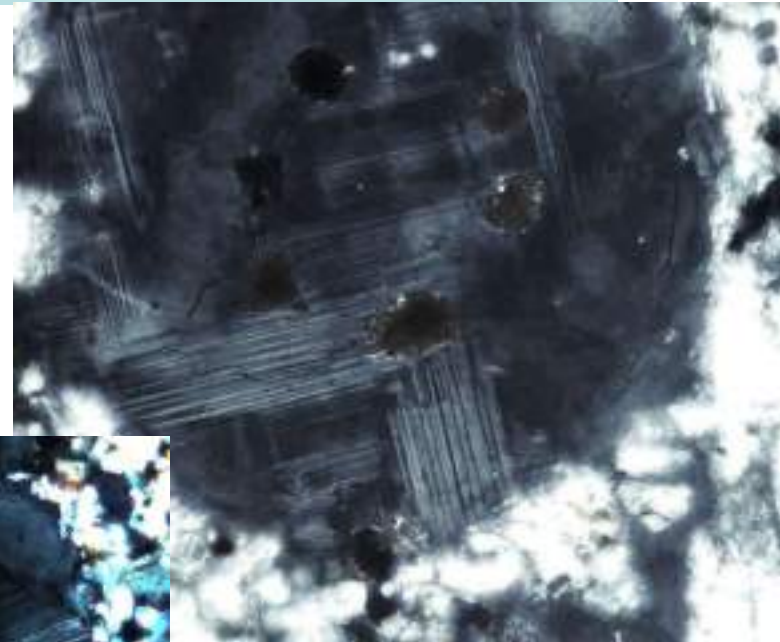
Serra de Pelada,
Аргентина

Двойники полиморфных превращений в кристаллах – двойники, возникшие при внутреннем воздействии. Очень похожи на двойники механические

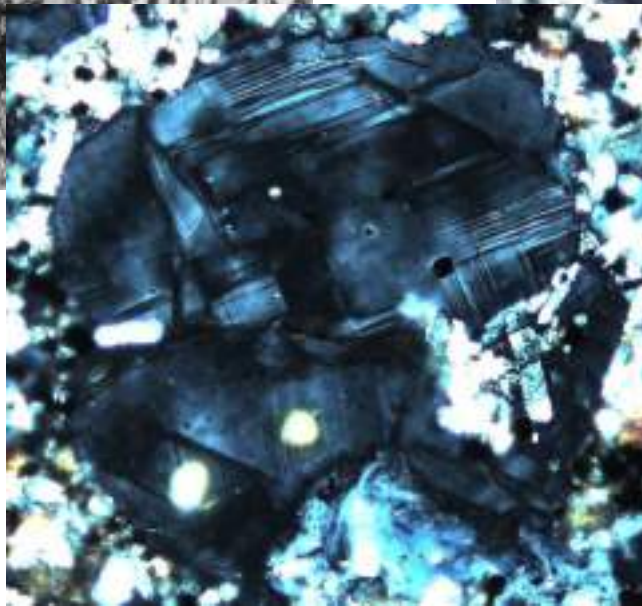
Лейцит в вулканитах:
Кубич. → Тетрагон.



4 мм. Монтана, США



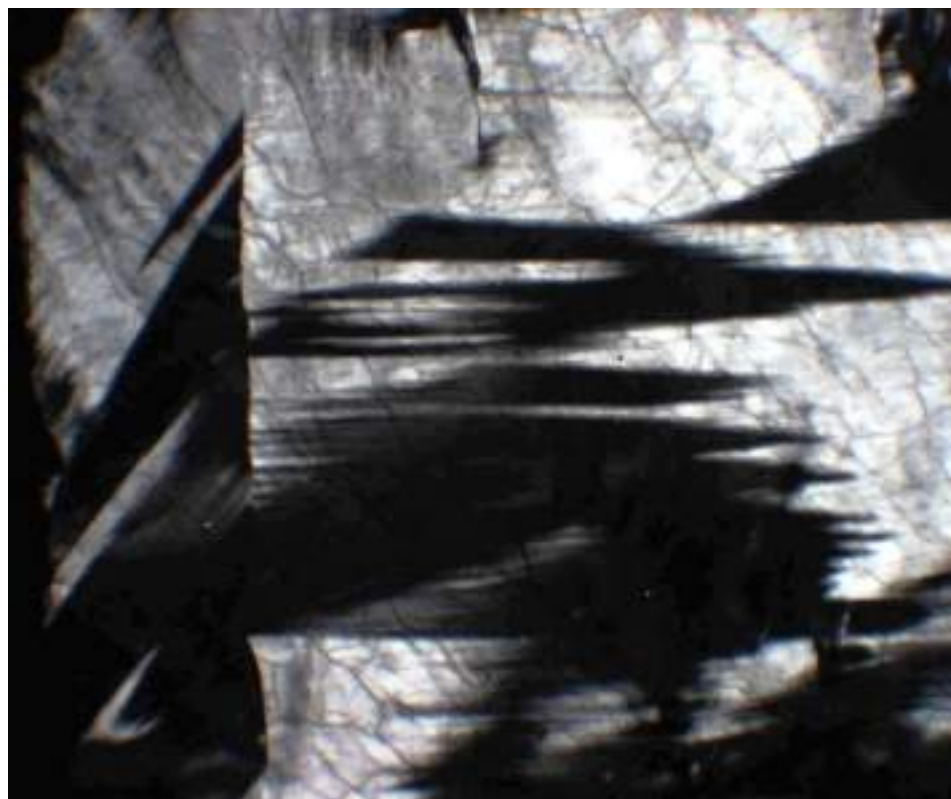
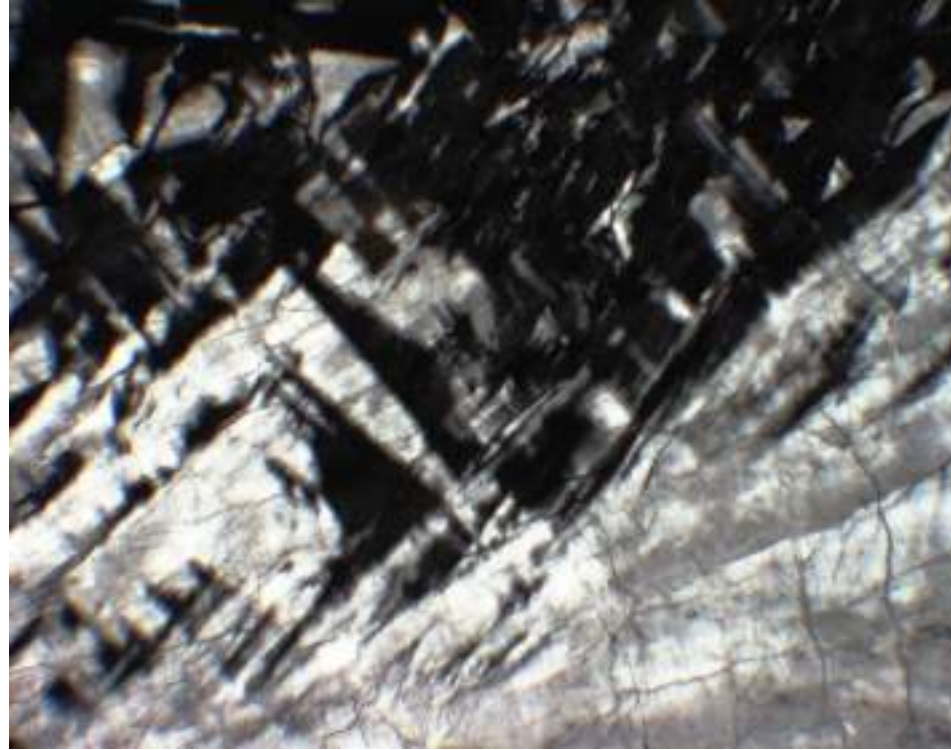
Вкрапленники в лейцитовых базальтах.
Везувий. Италия



Николи х

Двойники полиморфных превращений в кристаллах – двойники, возникшие при внутреннем воздействии. Очень похожи на двойники механические

**Анальцит: Куб. → Тетр,
ромб., мон...**

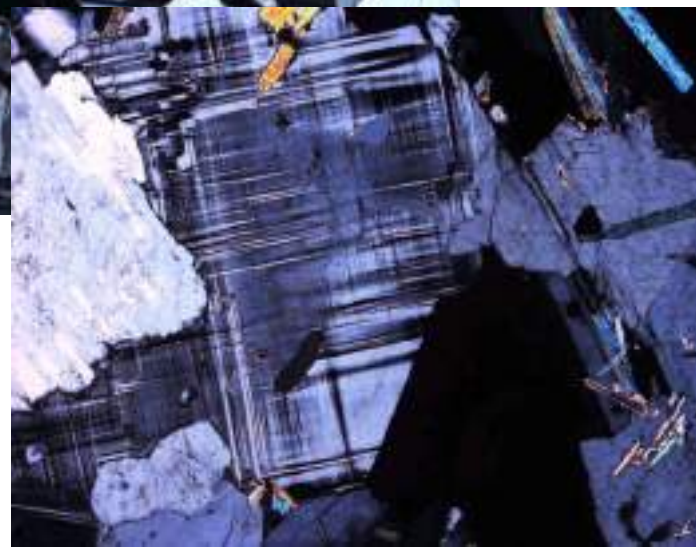
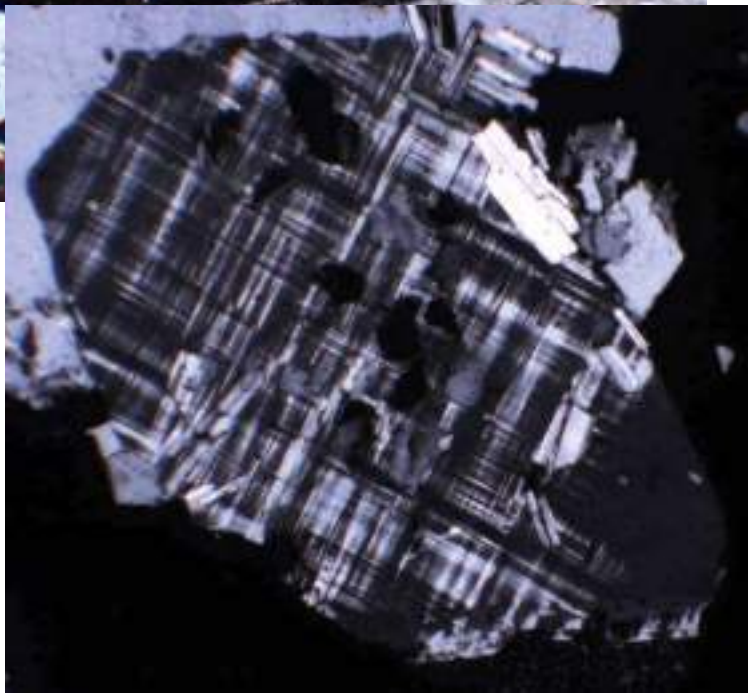
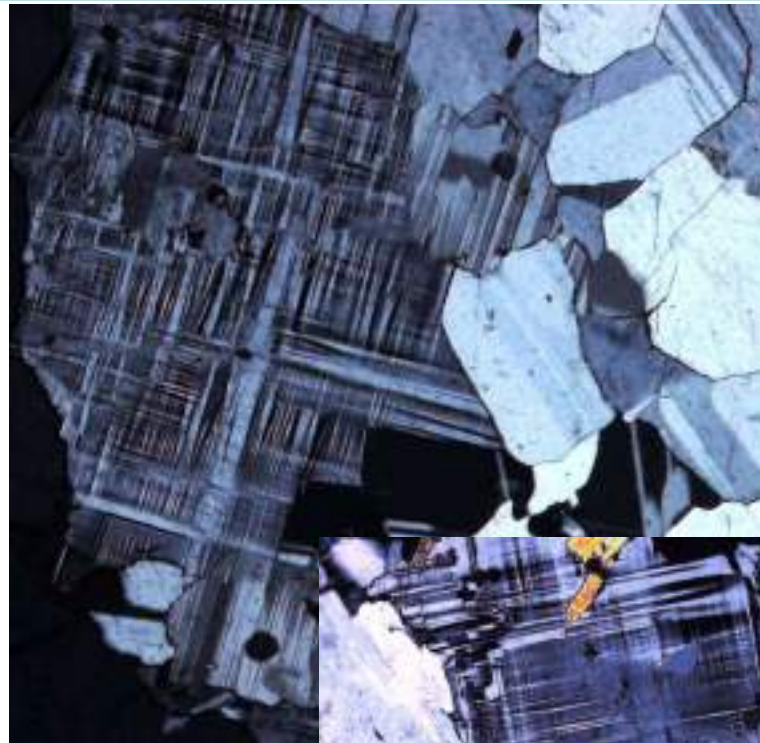
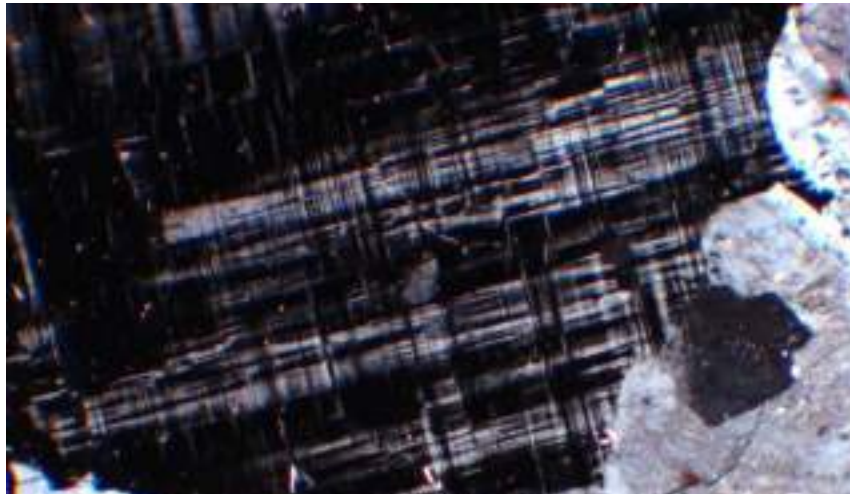


Николи
X



Двойники полиморфных превращений в кристаллах – двойники, возникшие при внутреннем воздействии. Очень похожи на двойники механические

Микроклин: Монокл. → Трикл.



Николи
Х

Двойники полиморфных превращений в кристаллах – двойники, возникшие при внутреннем воздействии. Очень похожи на двойники механические

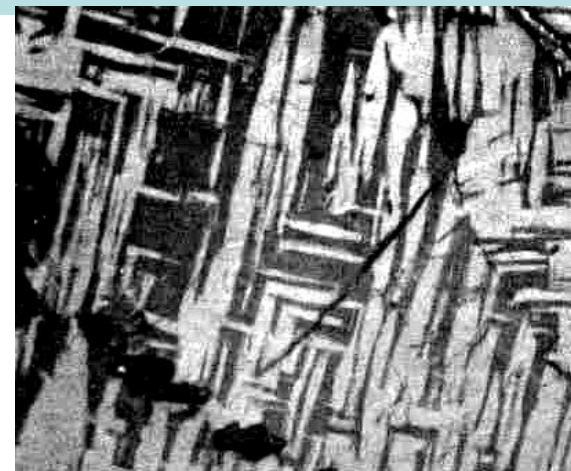


Главная Хараелахская сульфидная залежь. Таймырское – Октябрьское месторождение. Норильское рудное поле

**Халькопирит
Кубич. → Тетрагон.**



В отражённом свете,
НИКОЛИ X



Двойники полиморфных превращений в кристаллах – двойники, возникшие при внутреннем воздействии. Очень похожи на двойники механические

Станнин
Кубич. → Тетрагон.

В отражённом свете,
НИКОЛИ X



Abb. 390 Vergr. 250mal, Immersion, Nic. + RAMDOERF
Conrad Mine, Howell, New South Wales

Zwillinge mit hervorragender und sehr regelmäßiger Umwandlungsanordnung nach dem Würfel der Hochtemperaturform. Weiße Kieselchen von Kupferkies (weiß).



Abb. 391 RAMDOERF-EISENBERG
Vergr. 110mal, Ölimmersion, Nic. +
Villa Apacheta, Bolivien

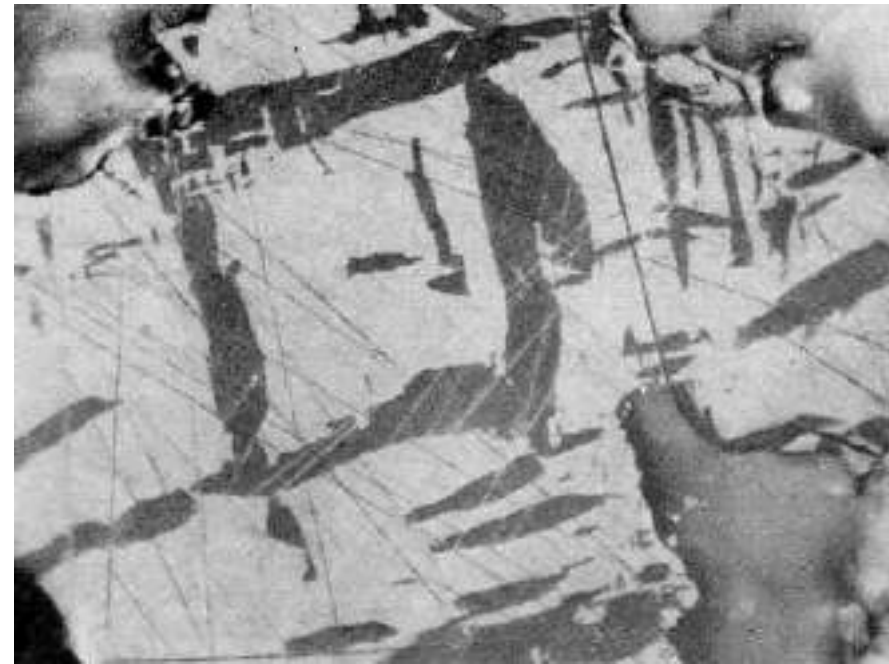
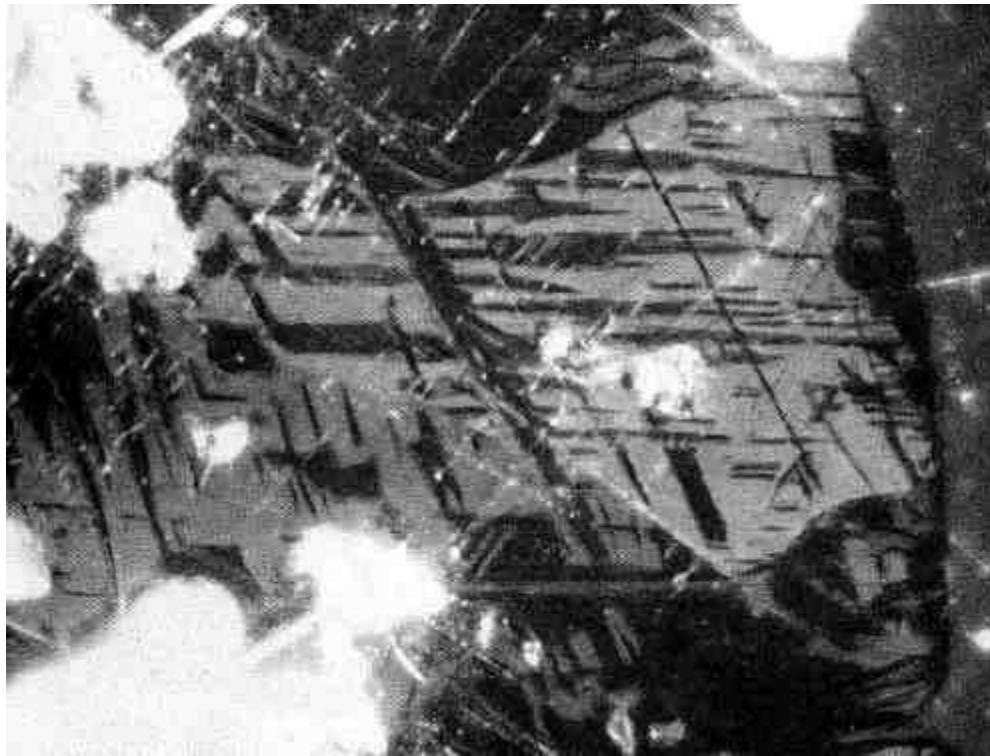
Zwillinge, zeigt bei polarisierter Nicolsche eine eigenartige, scheinbar-ähnliche Gitterumwandlungsanordnung



Двойники полиморфных превращений в кристаллах – двойники, возникшие при внутреннем воздействии. Очень похожи на двойники механические

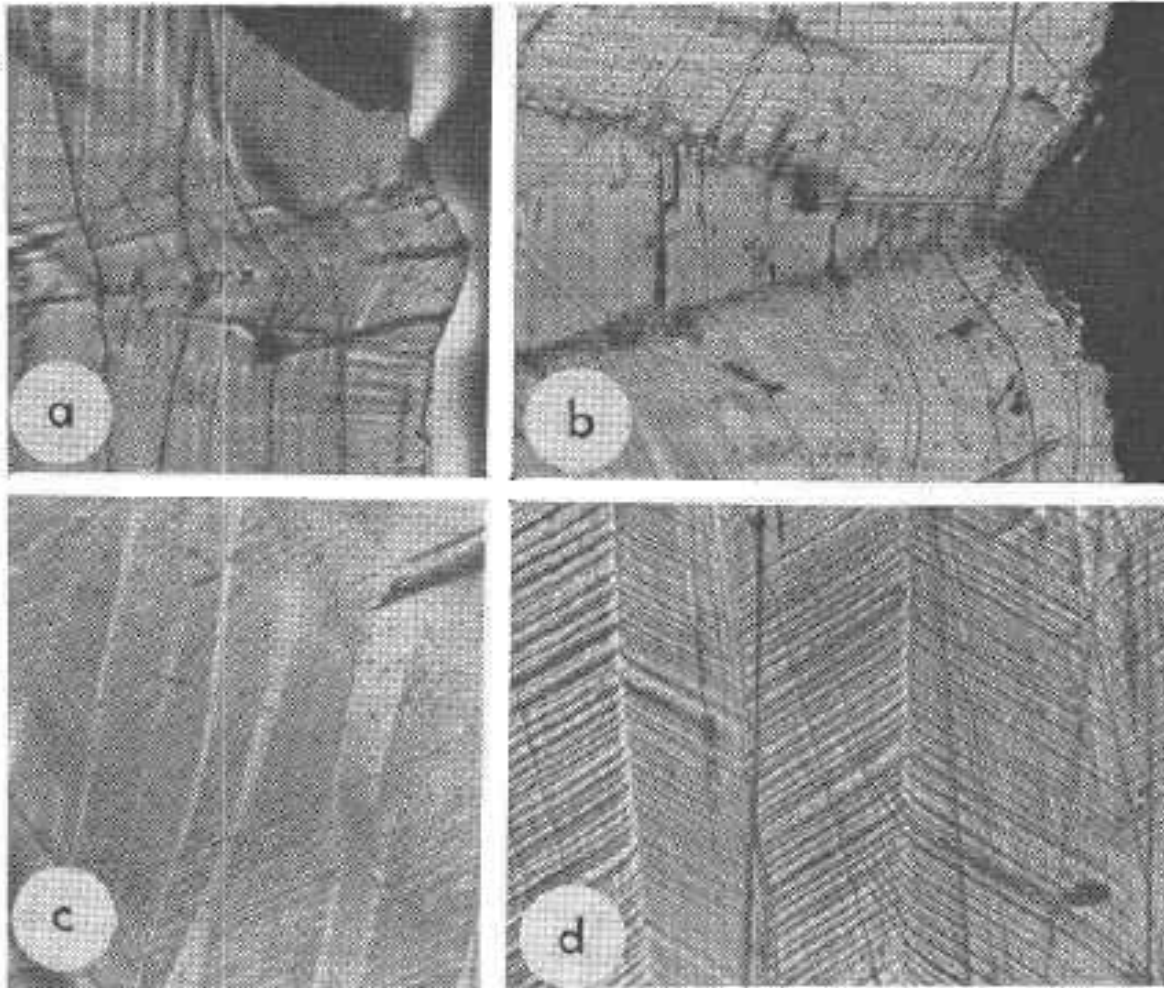
**Гессит
Куб. → Мон.**

**В отражённом свете,
николи х**



0.4 мм. Staija, Brad, Румыния

Деформационные двойники в кристаллах – двойники, возникшие при механическом воздействии



Галенит. Брокен Хилл, Новый Южный Уэллс, Австралия. В отражённом свете

FIG. 3. (a) and (b) kinking produced in galena single crystals tested under impact normal to $\{001\}$; the dark band in (a) is a $\{441\}$ twin of junction-forming type; $\times 70$. (c) Kinking in polycrystalline galena strained 7% in compression at 5 kilobars confining pressure; $\times 200$. (d) Kinking in a galena single crystal oriented so that two $\{001\} \langle 110 \rangle$ slip systems were initially equally stressed; $\times 350$.

Механические деформации кристаллов с образованием полос излома - кинкбэндов

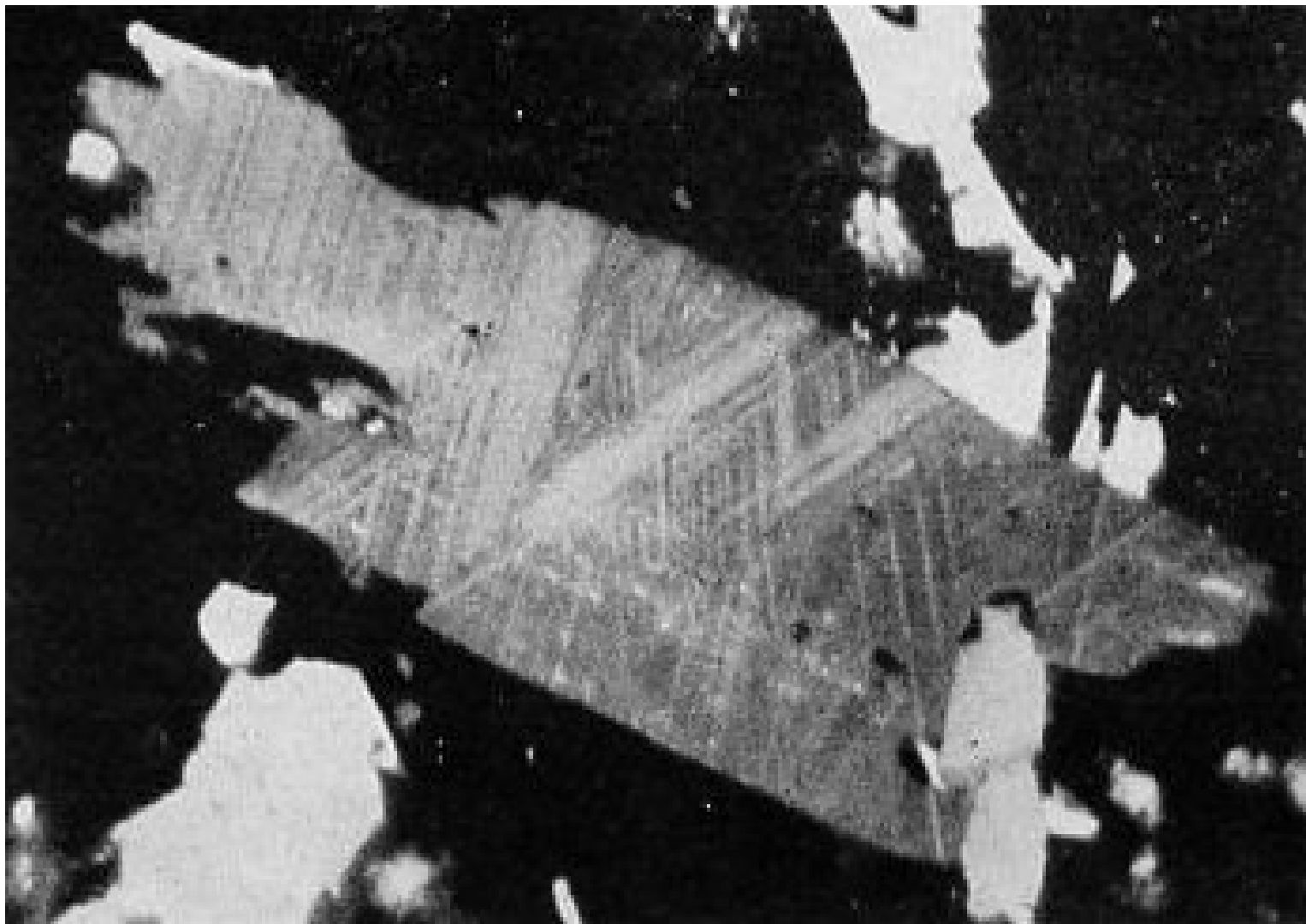


В кристалле
антимонита.
Южный Китай



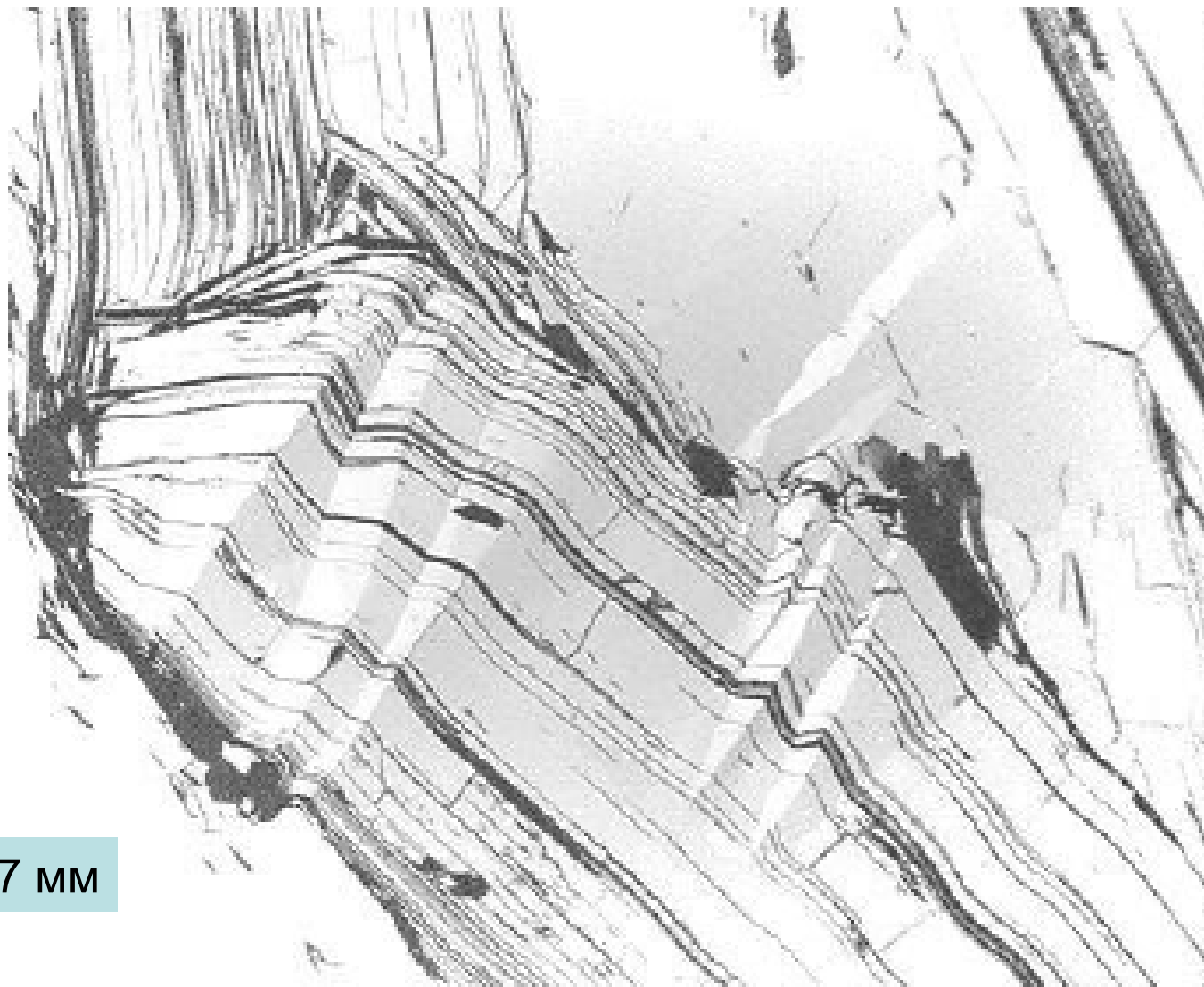
В кристаллах клинохлора.
Ковдор, Кольский полуостров.
Шлиф. Николи х

Механические деформации кристаллов с образованием кинкбэндов в рутиле



Рутил с кинкбэндами + галенит (белый) + кальцит (чёрный)
0.25 мм. Namib I mine. В отражённом свете

Механические деформации кристаллов с образованием полос излома - кинкбэндов



0.7 мм

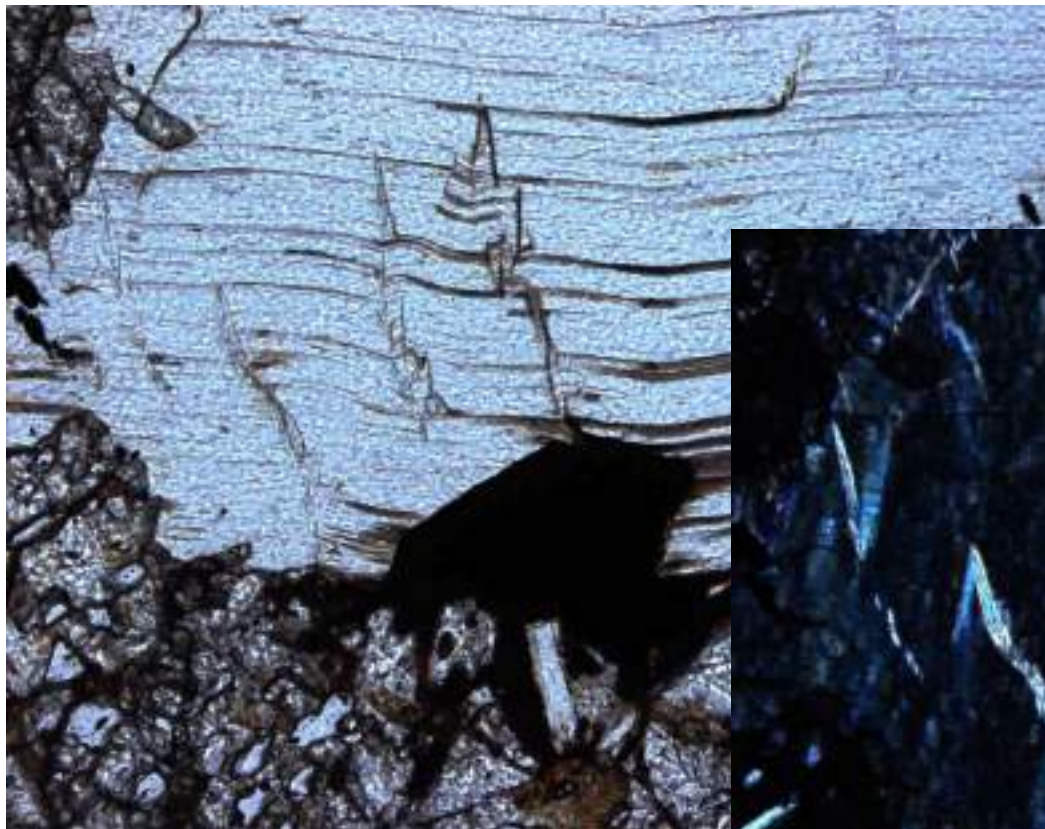
В пирротине. Ducktown, Теннесси. В отражённом свете, николи х.
Craig J.R., Canad. Mineral. Vol. 39. P. 937-956.

Механические деформации кристаллов с образованием полос излома - кинкбэндов

Гранат-двуслюдяные кристал. сланцы. Патомское нагорье. Забайкалье

Кинкбэнды в мусковите

Шлиф. Николи х



Шлиф. При 1 николе



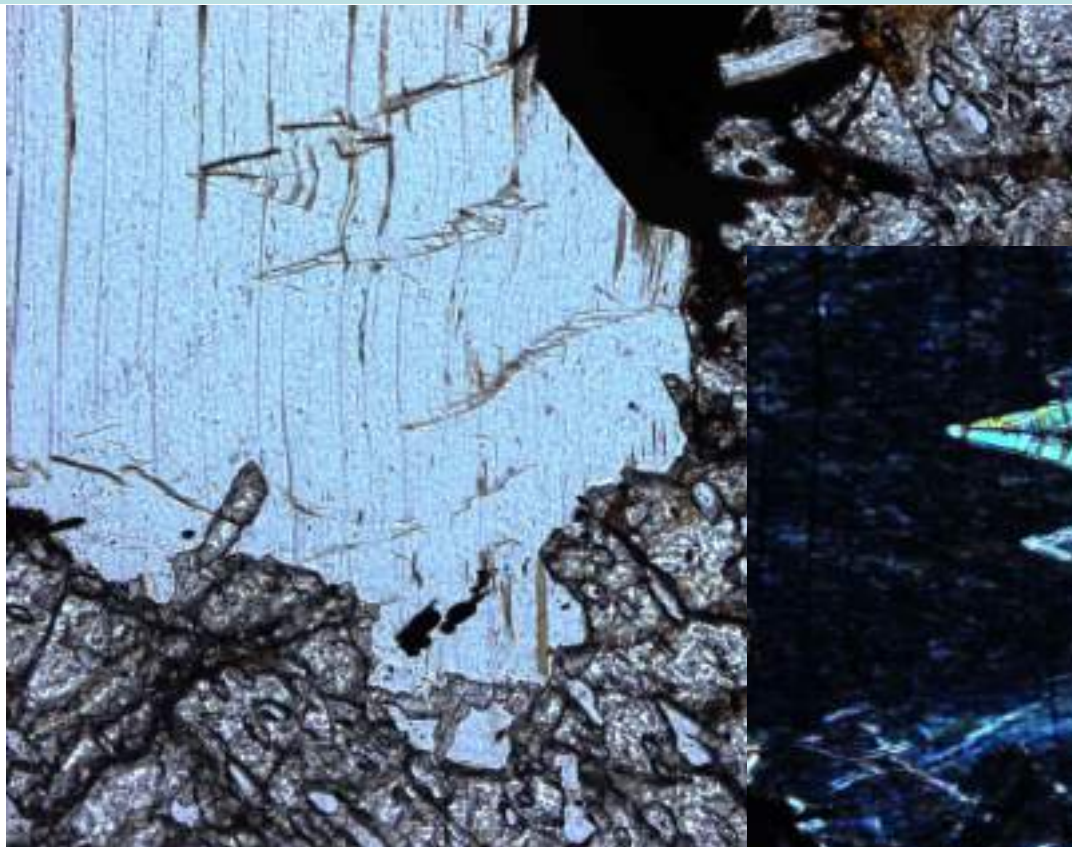
Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

Механические деформации кристаллов с образованием полос излома - кинкбэндов

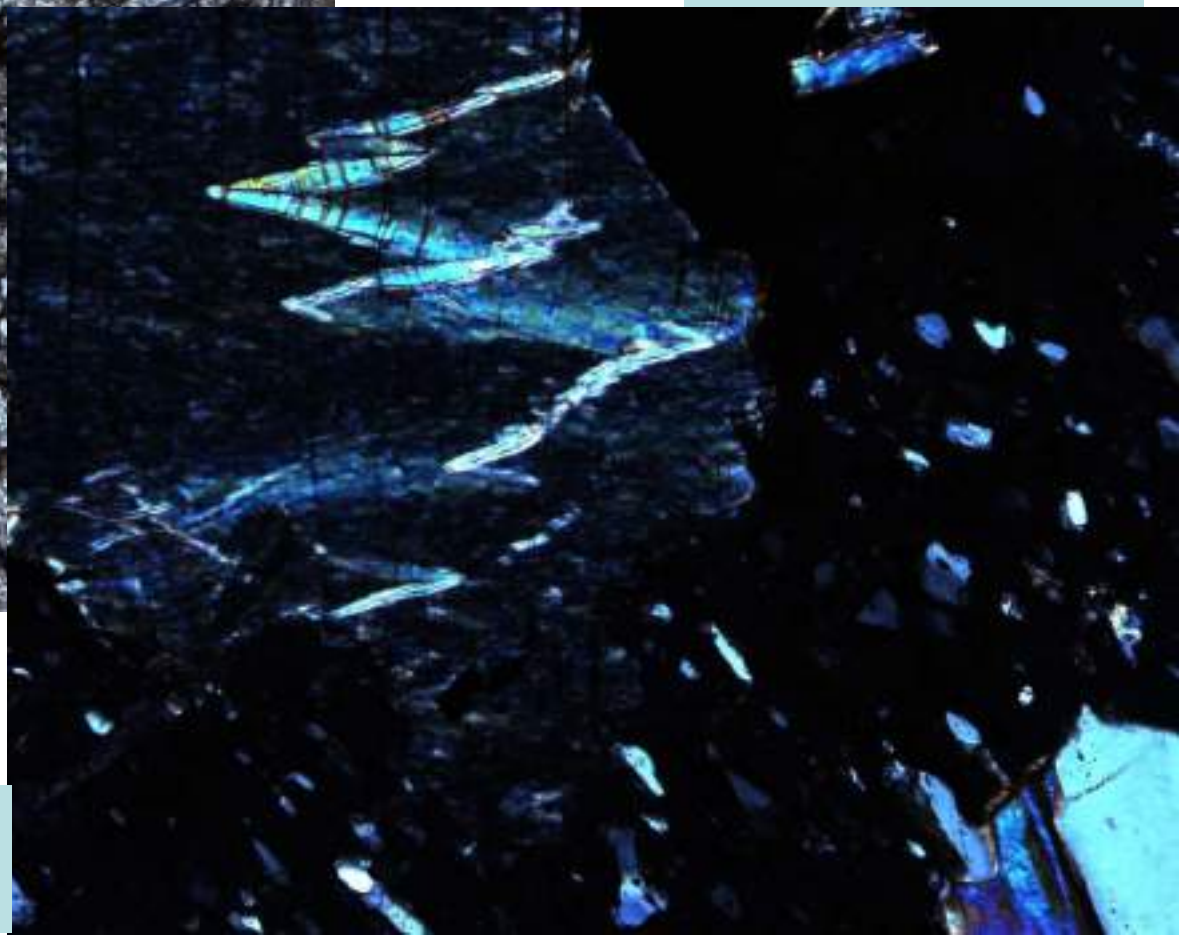
Гранат-двуслюдяные кристал. сланцы. Патомское нагорье, Забайкалье

Кинкбэнды в мусковите

Шлиф. Николи х



Шлиф. При 1 николе



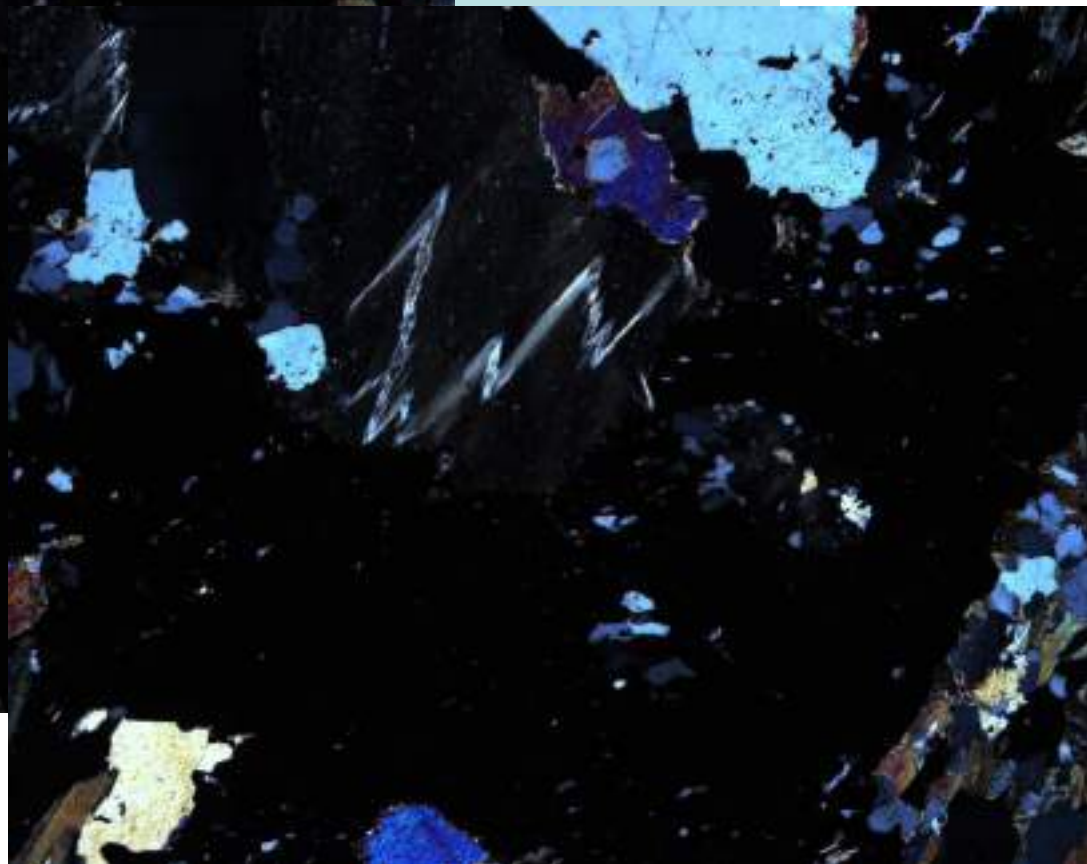
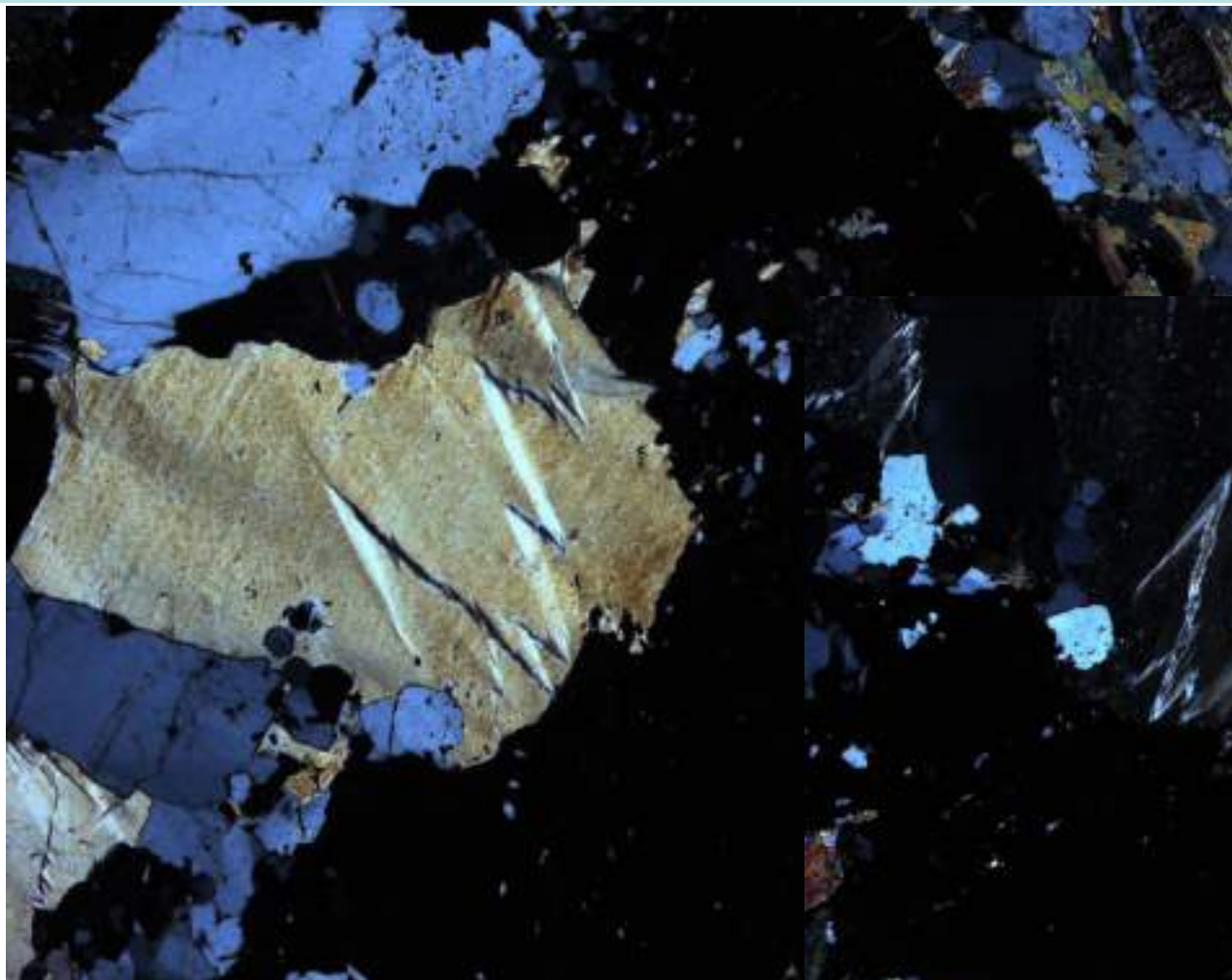
Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

Механические деформации кристаллов с образованием полос излома - кинкбэндов

Гранат-двуслюдяные кристал. сланцы. Патомское нагорье, Забайкалье

Кинкбэнды в мусковите

Шлиф.
Николи х



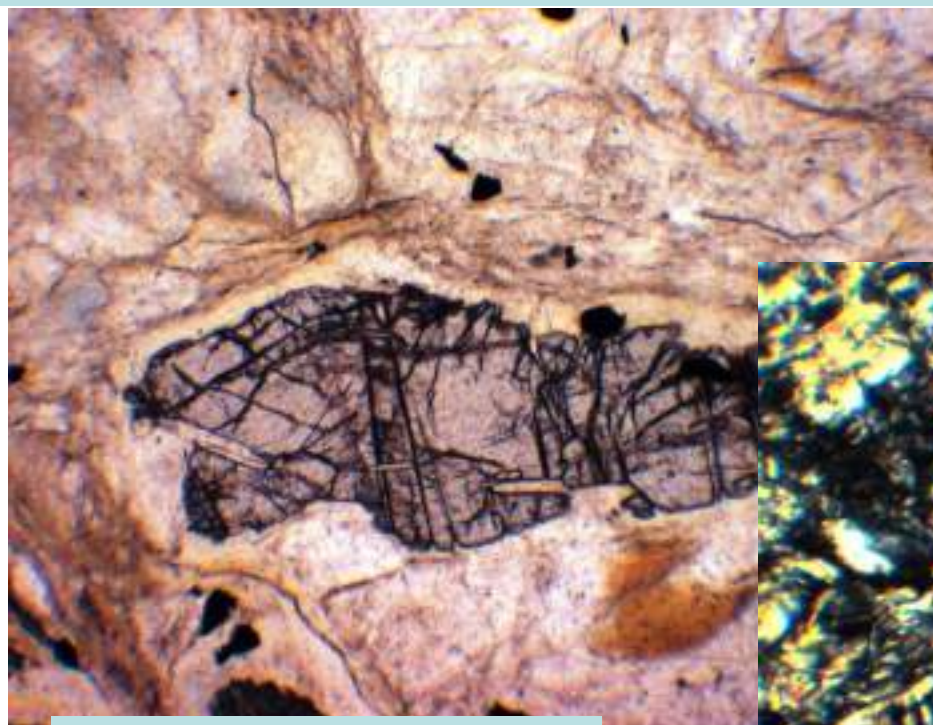
Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

Механические деформации кристаллов с образованием полос излома - кинкбэндов

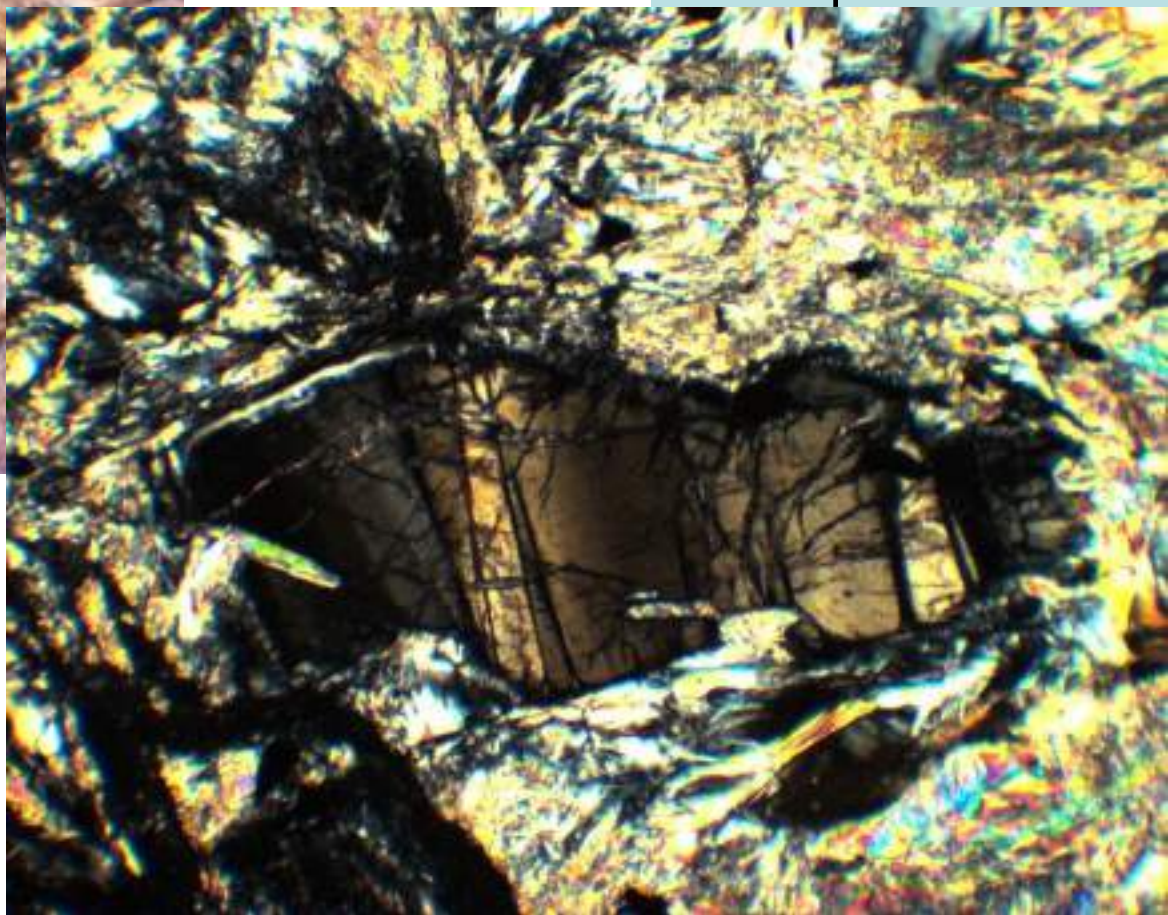
Пироп-кианит-тальковые кристал. сланцы. Кокчетавская глыба, Казахстан

Кинкбэнды в
кианите

Шлиф. Николи х



Шлиф. При 1 николе



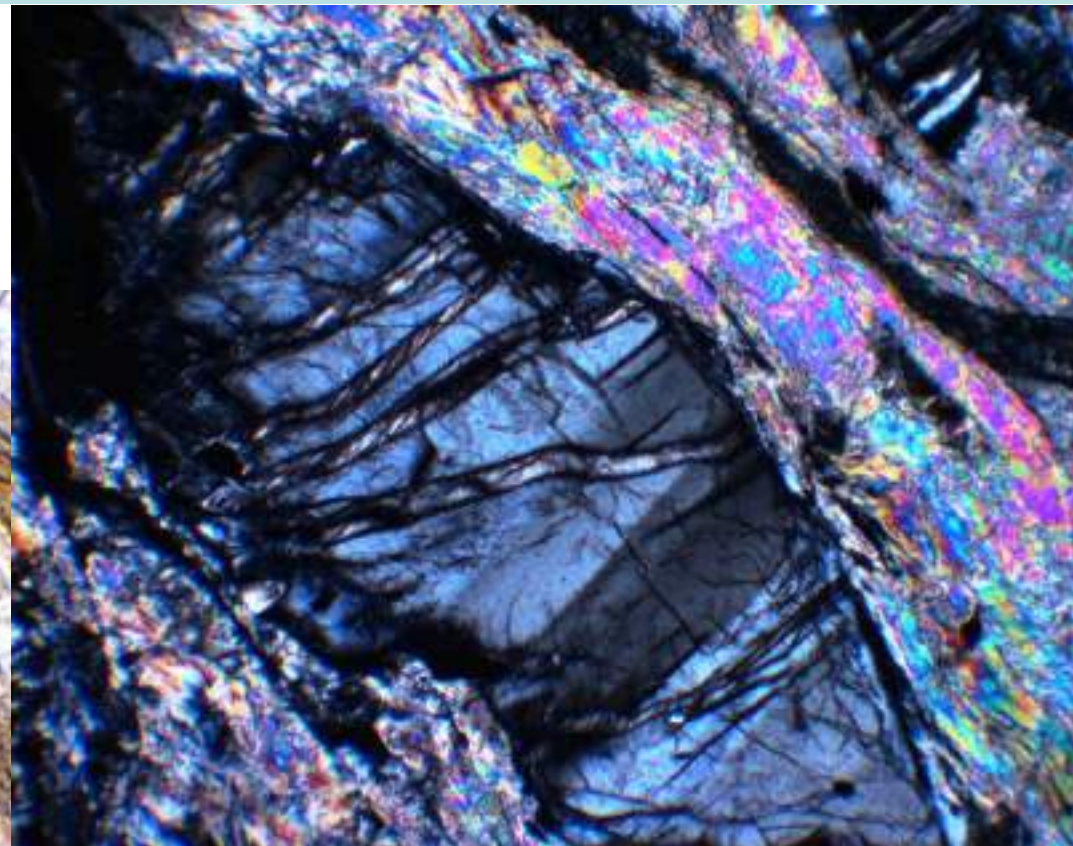
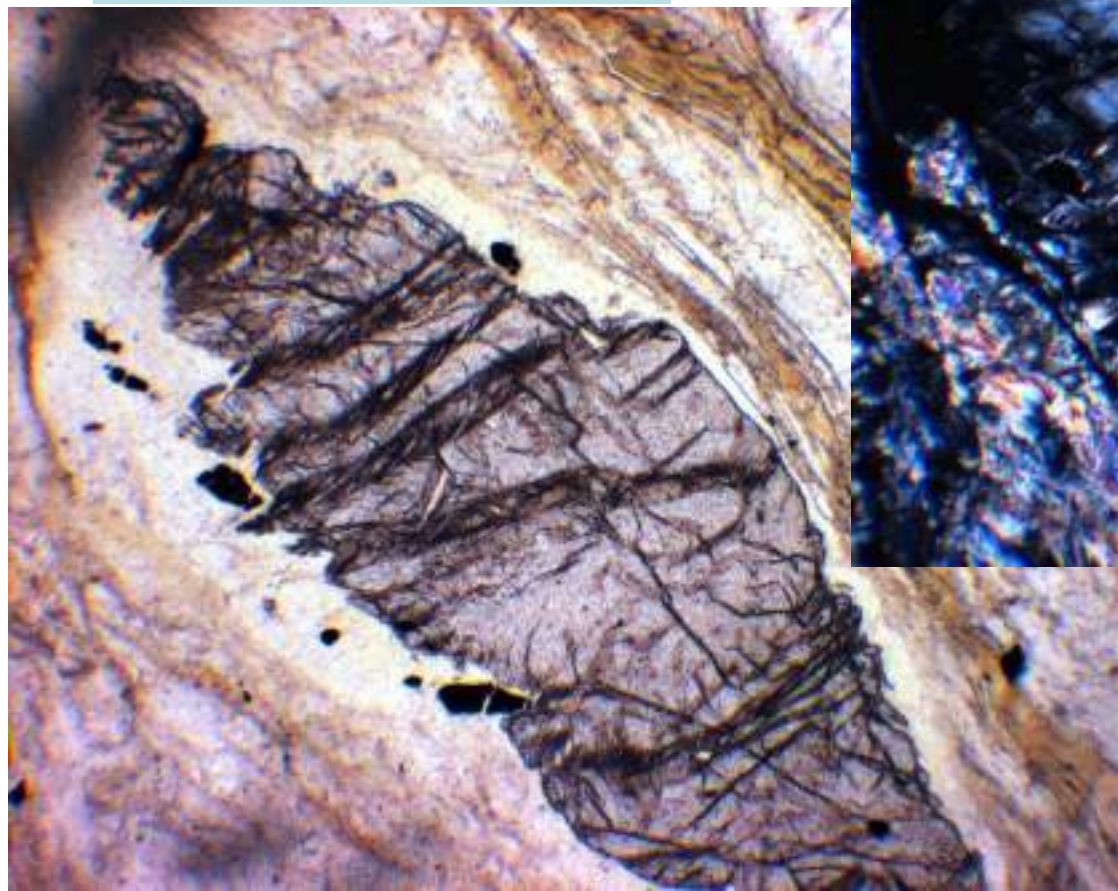
Колл. и фото ЭМС

Механические деформации кристаллов с образованием полос излома - кинкбэндов

Пироп-кианит-тальковые кристал. сланцы. Кокчетавская глыба, Казахстан

**Кинкбэнды в
кианите**

Шлиф. При 1 николе

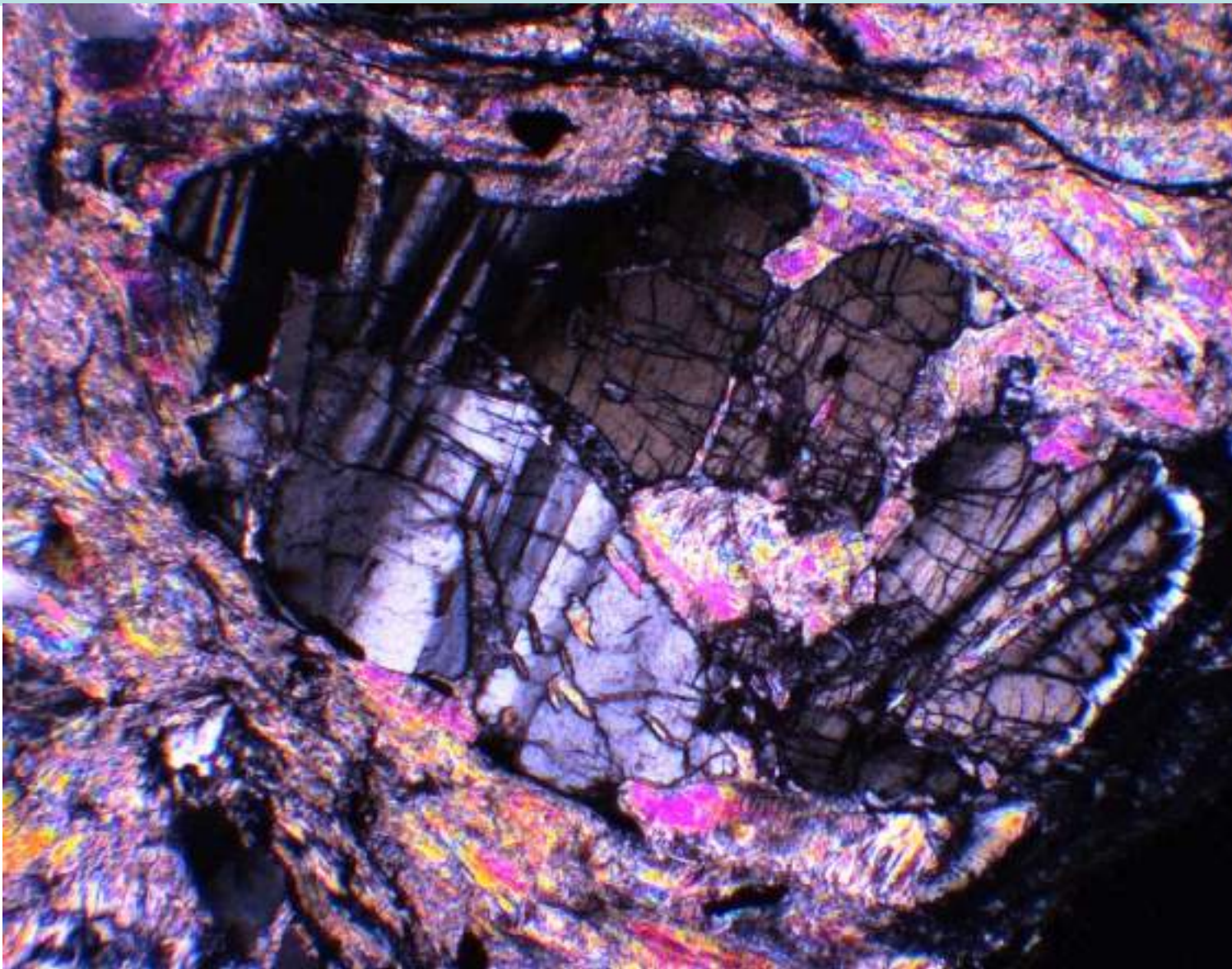


Шлиф. Николи х

Колл. и фото
ЭМС

Механические деформации кристаллов с образованием кинкбэндов в кианите

Пироп-кианит-тальковые кристалл. сланцы. Кокчетавская глыба, Казахстан



Шлиф.
Николи х.

Колл. и фото
ЭМС

Механические деформации - давленные, смятые, изогнутые кристаллы



Эльбаит
в гранитных
пегматитах

300 мм.

Пуштиру, Туркестанский
хребет, Таджикистан



Эльбаит полиморфный Эльбаит
 $\text{Na}(\text{Li}, \text{Al})_3(\text{Al}, \text{Fe})_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
в кварце
Пуштиру, Туркестанский хр. Таджикистан
Бир А.А. 1988

42x7 мм. Himalaya mine,
Калифорния

Механические деформации - давленные, смятые кристаллы



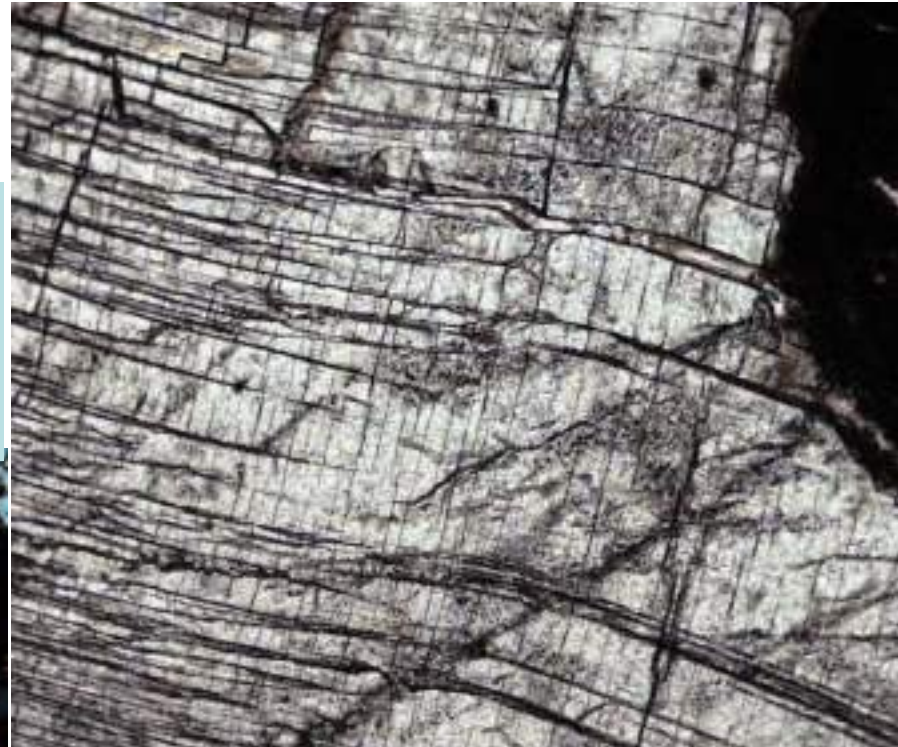
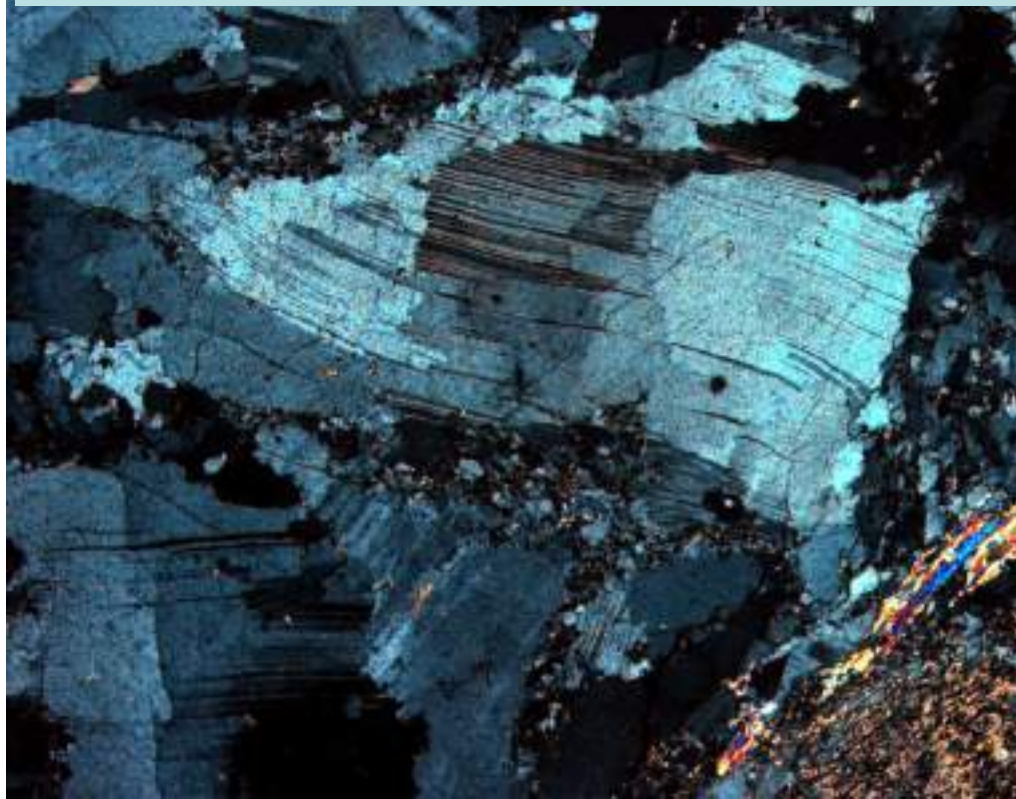
Рутил в кварцитах.
Кыштым, Средний Урал



Эпидот.
Knappenwand,
Зальцбург, Австрия

Механические деформации - давленные, смятые кристаллы

Альбит в гранитных пегматитах
Калбинского
хребта. Юго-Западный Алтай.
Николи х

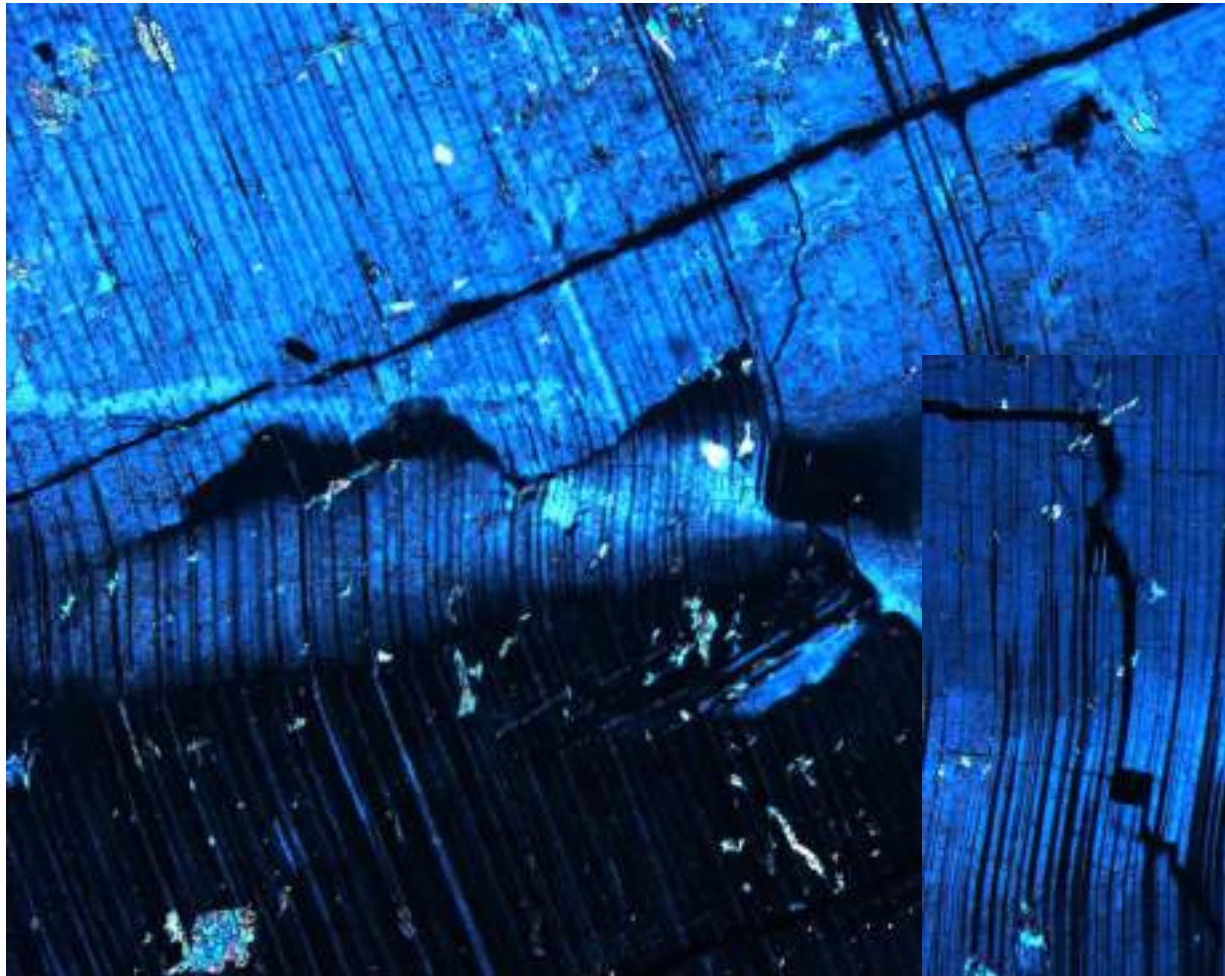


Клинопироксен – омфацит.
Ксенолит эклогитов в
кимберлитах тр. Удачная,
Восточная Сибирь.
При 1 николе

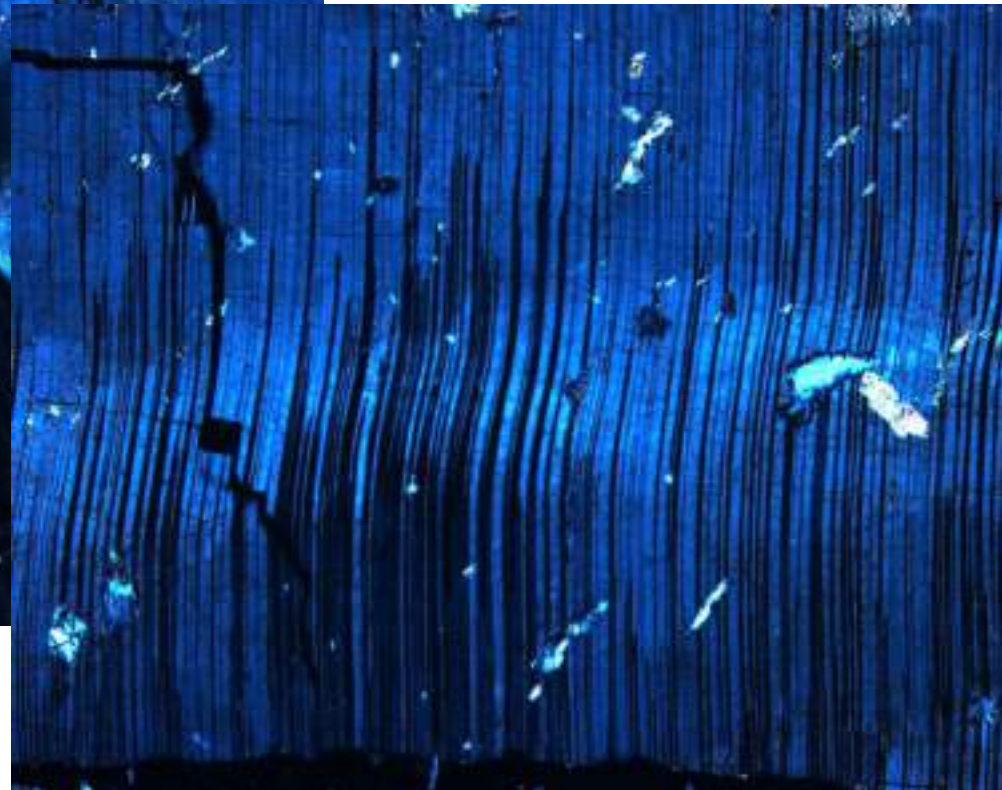
Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

Механические деформации - давленные, смятые кристаллы

Лабрадор в анортозитах. Джугджурский плутон, Алданский щит



Шлиф.
Николи х



Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

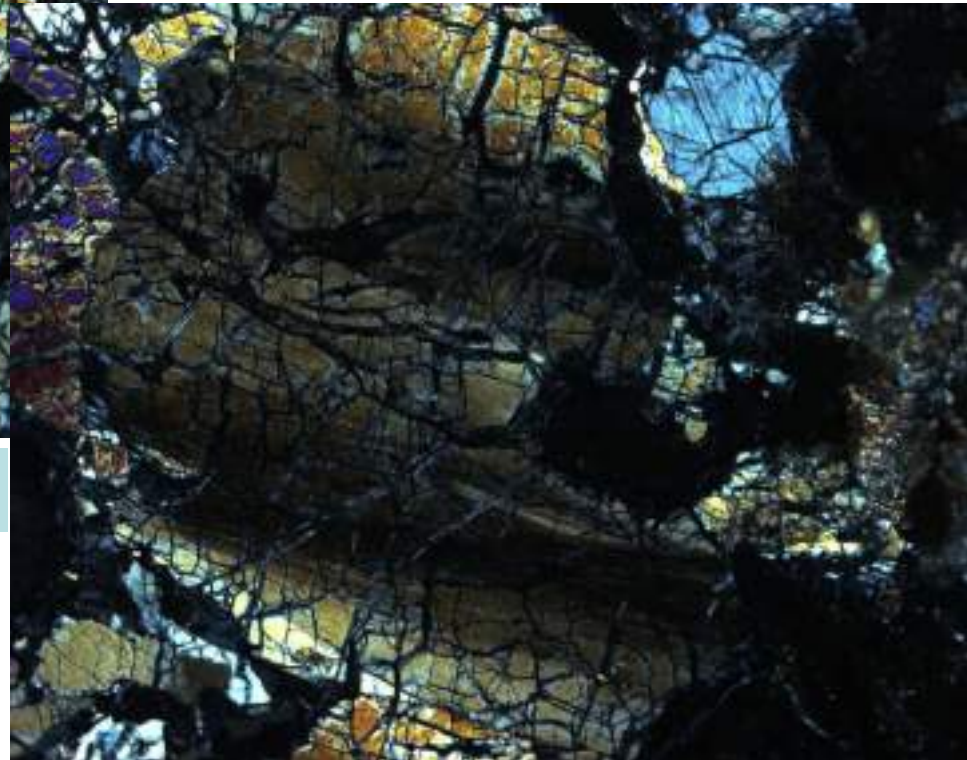
Механические деформации - давленные, смятые кристаллы

Оливин в гарцбургитах. Нуралинский массив, Южный Урал

Один кристалл
оливина в различных
положениях

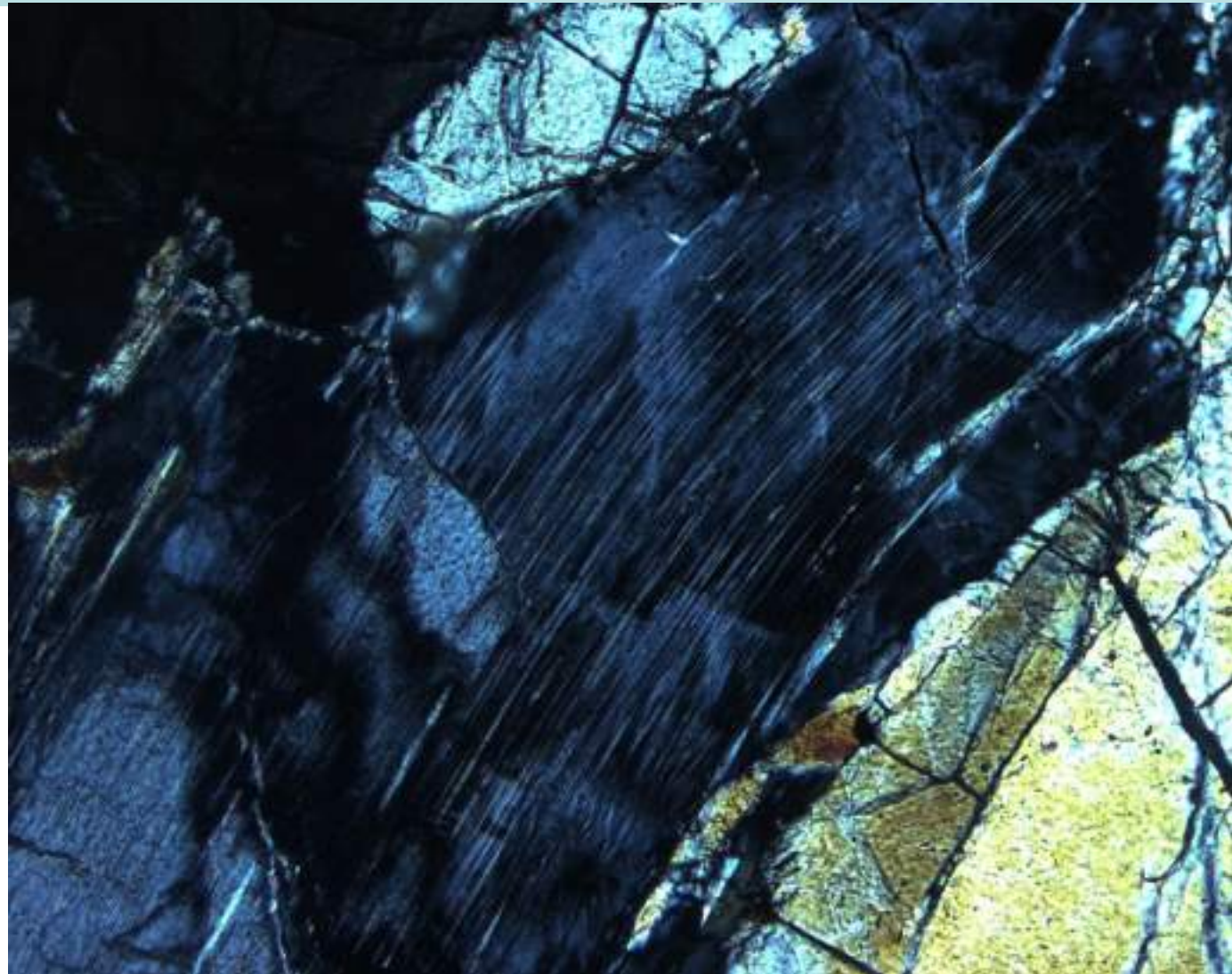
Николи х

Колл. и фото
Э.М. Спиридонова



Механические деформации - давленные, смятые кристаллы

Энстатит с ламеллями распада эндиопсида.
Гарцбургиты Нуралинского массива. Южный Урал. Николи х



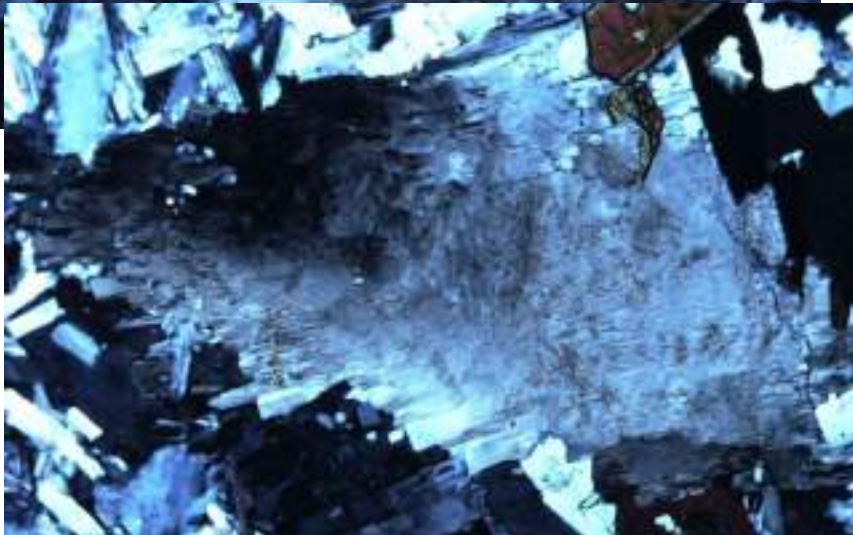
Колл. и
фото
Э.М.
Спиридонова

Механические деформации - давленные, смятые кристаллы

Калиево-натриевый полевой шпат
во флюорит-эгирин-полевошпатовых метасоматитах. Енисейский кряж



Один кристалл
в разных положениях.
Николи х



Колл. и фото
Э.М.
Спиридонова

Механические деформации - давленные, смятые кристаллы



Галенит.
Берёзовское,
Средний Урал

Колл. и
фото
ЭМС

43x35 мм

Механические деформации - давленные, смятые кристаллы

Тальк

Мульводж, Памир, Таджикистан



Флогопит.
84x81 мм

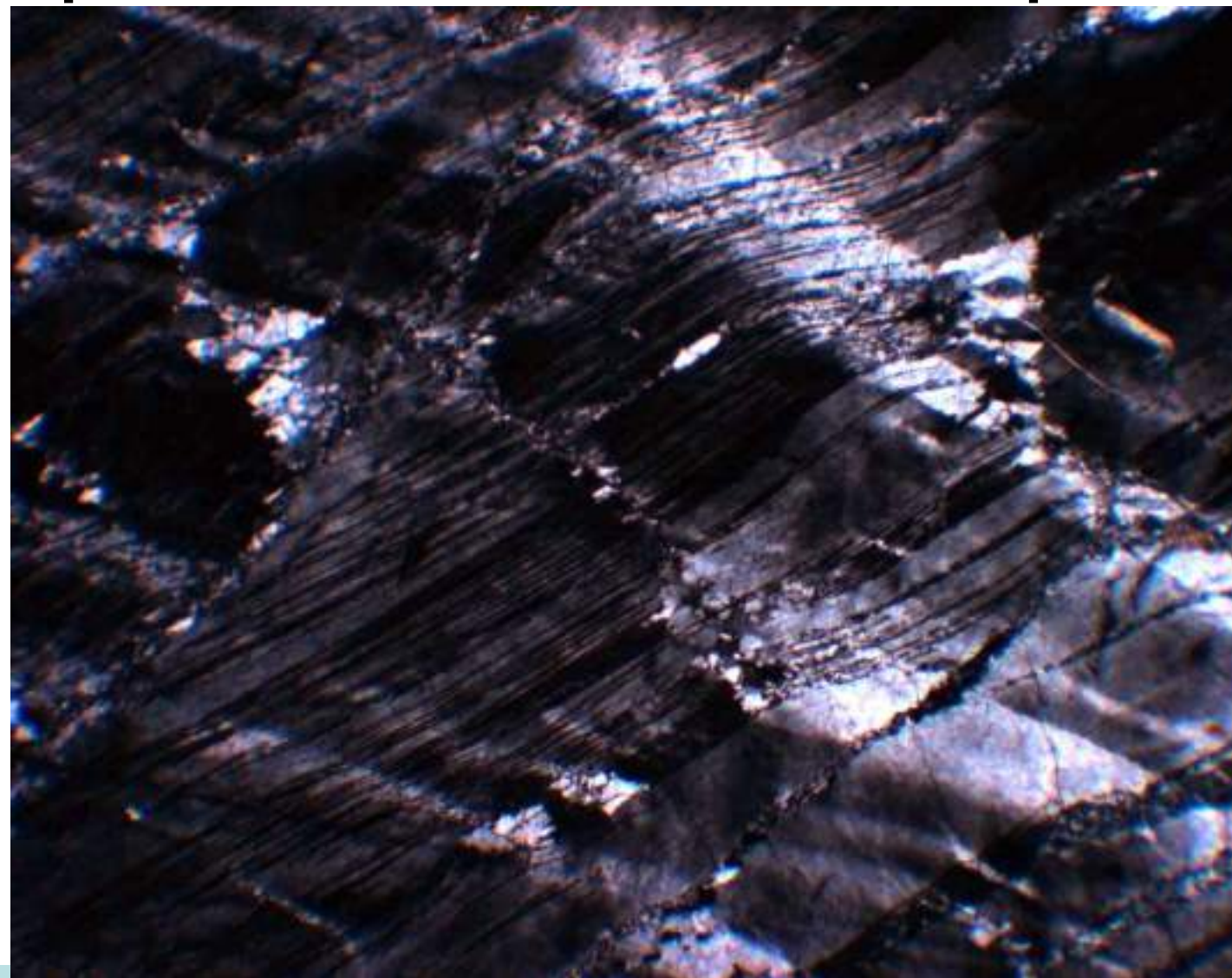


Клинохлор. 56x39 мм
Зеленцовская копь.
Южный Урал

Колл. и фото
Э.М.
Спиридонова



Механические деформации - разлистованные и смятые кристаллы кварца

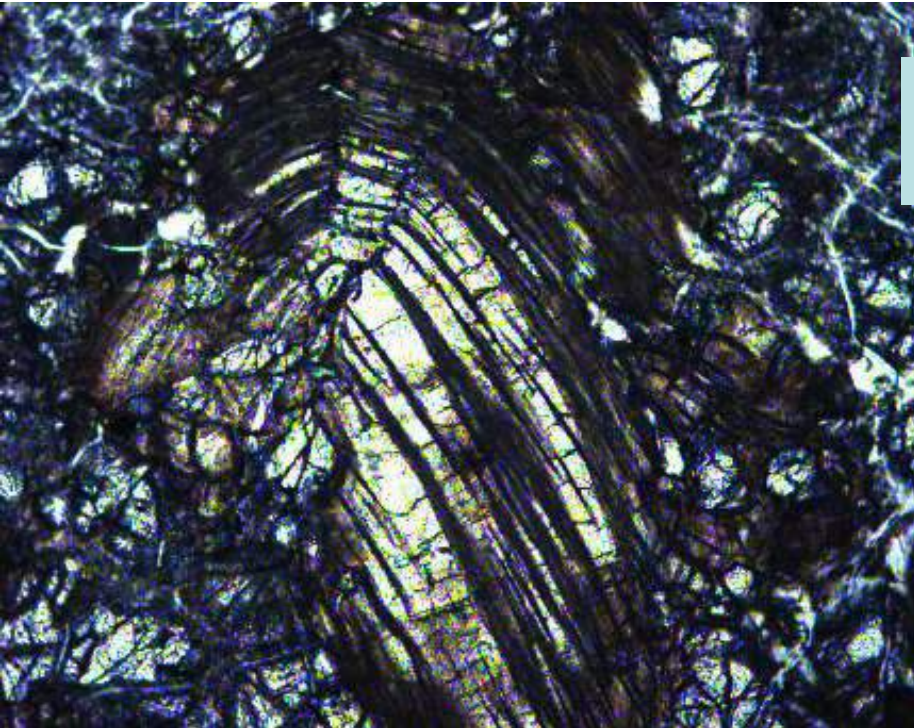


Колл. и фото
Э.М.
Спиридонова

Жильный кварц разлистован, а затем смят.
Аксу, Северный Казахстан. Шлиф. Николи х

Механические деформации - давленные, смятые кристаллы

Энстатит. Гарцбургиты Баженовского массива. Средний Урал



При 1
николе

This micrograph shows a central, elongated, and curved crystal of enstatite. The crystal exhibits a distinct internal structure with alternating light and dark bands, characteristic of mechanical deformation. The surrounding matrix consists of smaller, more irregularly shaped crystals.

Николи x



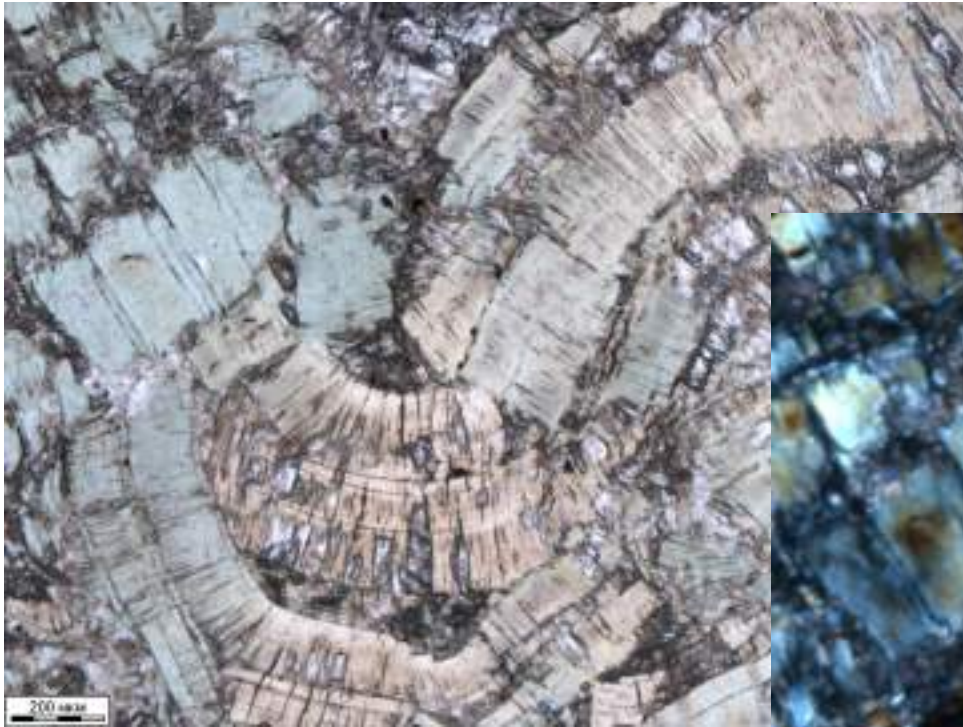
This higher magnification micrograph provides a closer view of the deformed enstatite crystal. The internal banding is more pronounced, showing a clear pattern of alternating light and dark layers. The crystal's curved shape and the surrounding matrix are also more clearly visible.

В смятом «древнем»
энстатите и вокруг
зёрна «нового оливина»

Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

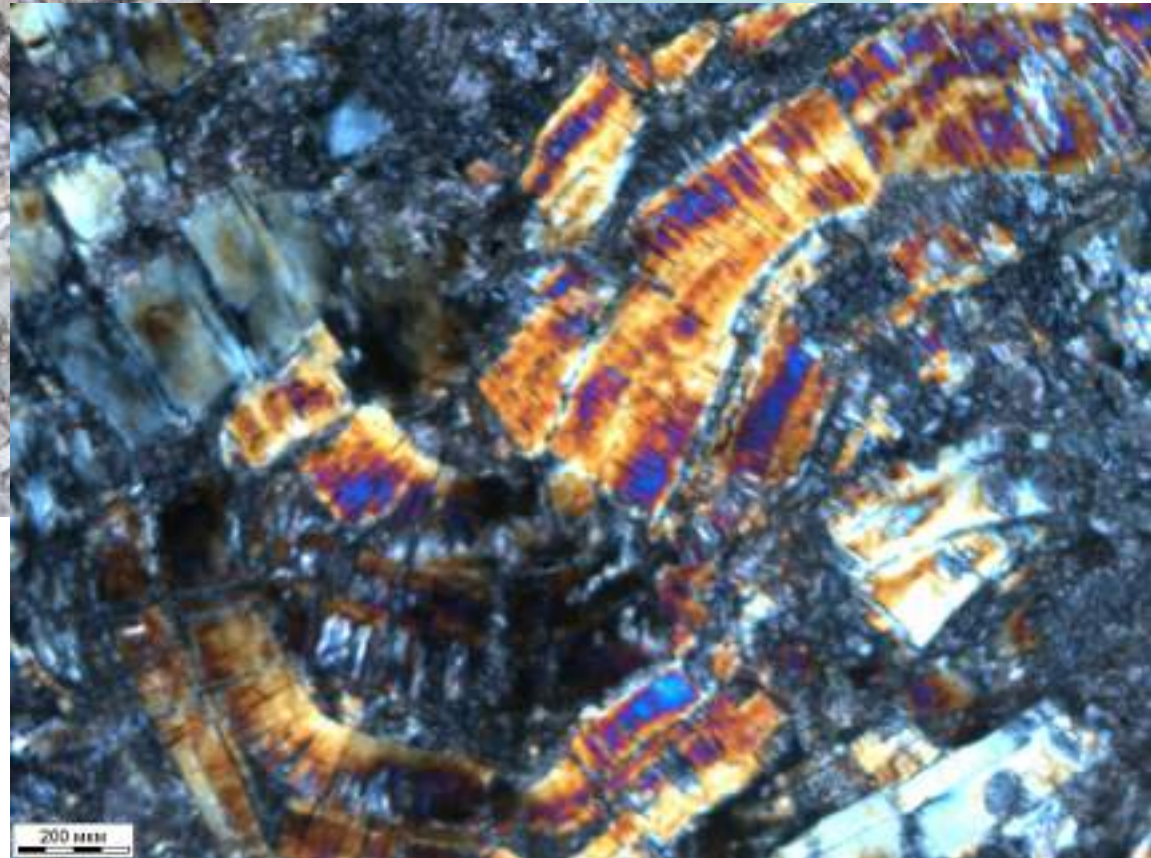
Механические деформации - смятые и раздробленные кристаллы

Флогопит. Кимберлиты Кимозера. Карелия



При 1 николе

Николи х



Колл. Е.В. Путинцевой
Фото Э.М. Спиридонова

Вкрапленники флогопита смяты и разорваны

Механические деформации - смятые и раздробленные кристаллы

Флогопит. Кимберлиты Кимозера. Карелия



Вкрапленники флогопита смяты и разорваны. Николи х

Механические деформации кристаллов

Механически окатанные кристаллы - пентагондодэкаэдры пирита = пиритоэдры. Месторождение золота Кочбулак, Узбекистан



37x27 мм

43x30 мм



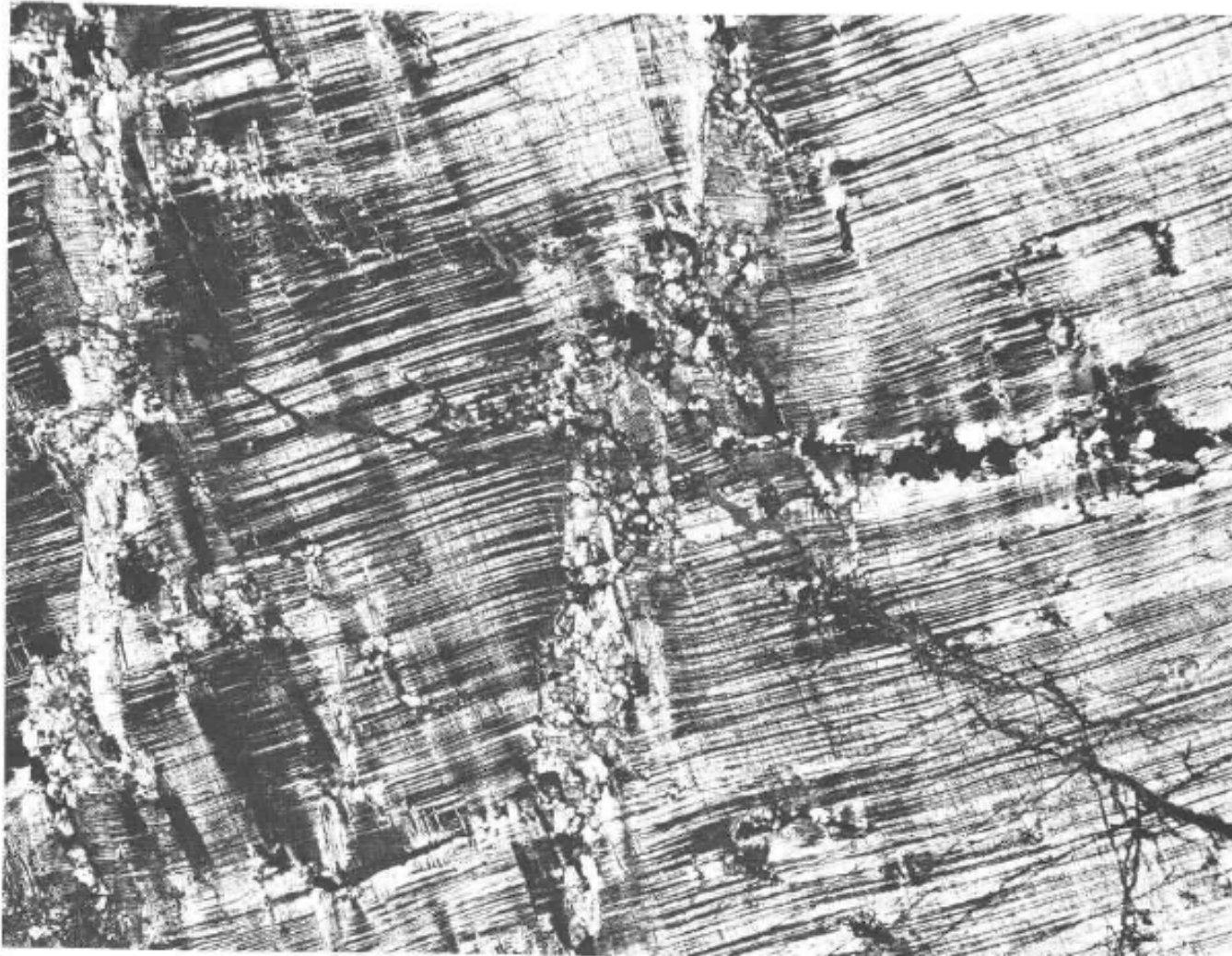
42x22 мм



Колл. и фото Э.М. Спиридонова

Механические деформации - смятые и раздробленные кристаллы

Тонко сдвойникованный андезин. Giles Complex, Австралия



Шлиф. Николи х.

Vernon R.H., 1975.
Amer. Mineral.

Vol. 60. P. 884-888.

FIG. 1. Part of a large grain of deformed plagioclase showing recrystallization to finer-grained polygonal aggregates in elongate zones and patches. The a axis of the main grain is roughly normal to the plane of the paper, and the trace of (010) is parallel to the prominent (albite-law) twins. Local grains and small aggregates of hornblende (black) and clinopyroxene (high relief) occur in some recrystallized areas (e.g., to right). Crossed polars. Base of photo 23 mm.

Механические деформации - смятые и раздробленные кристаллы

Молибденит. Кварц-молибденитовые агрегаты. Кафан. Армения



1.5 мм.
В отражённом свете
при 1 николе

М.П. Исаенко,
1983

В отражённом свете,
николи X



Полосы смятия. 3 мм.

Механические деформации кристаллов

Деформированные кристаллы в милонитах

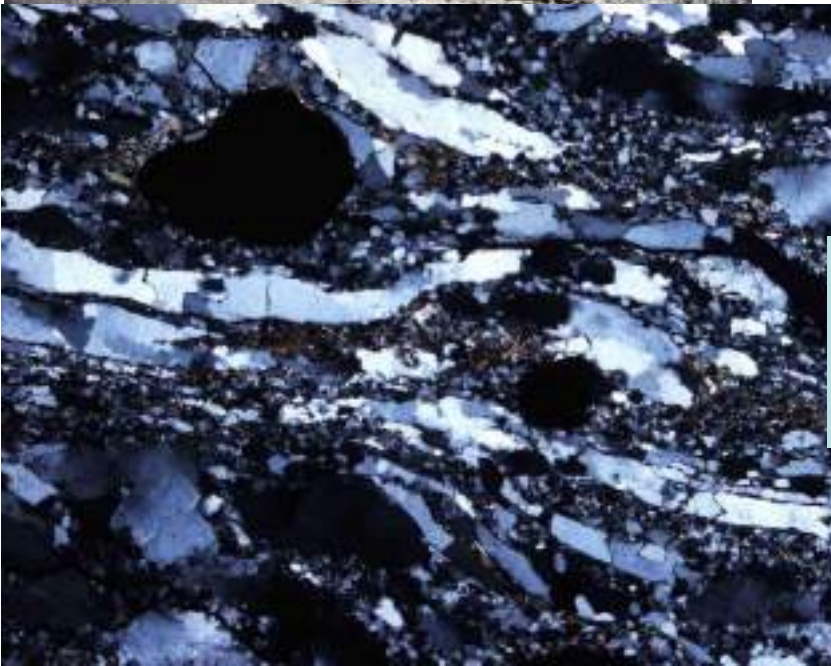


Механические деформации кристаллов

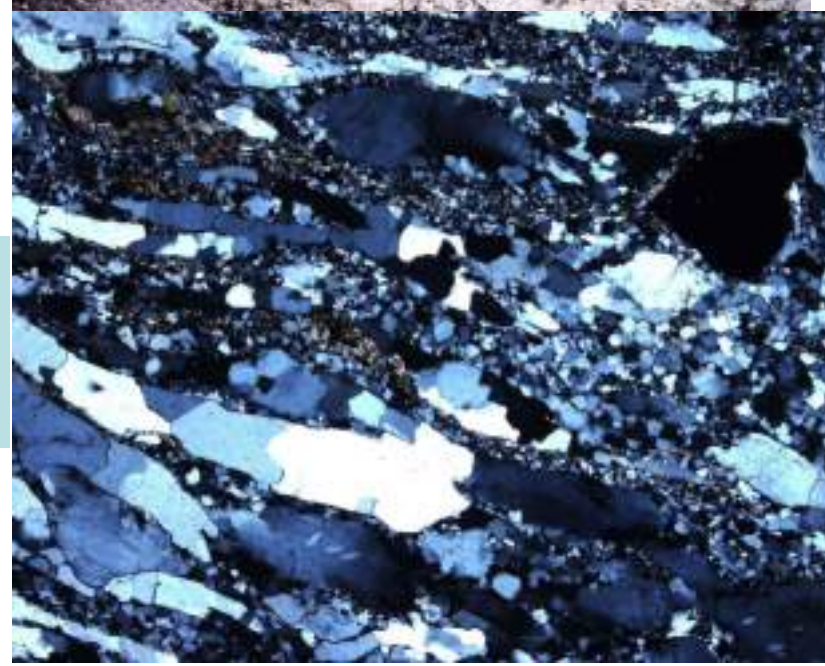
Деформиров. кристаллы в милонитах. Гранат. кварциты. Горная Шория



Шлиф.
При 1
николе



Шлиф.
Николи
х



Механические деформации кристаллов

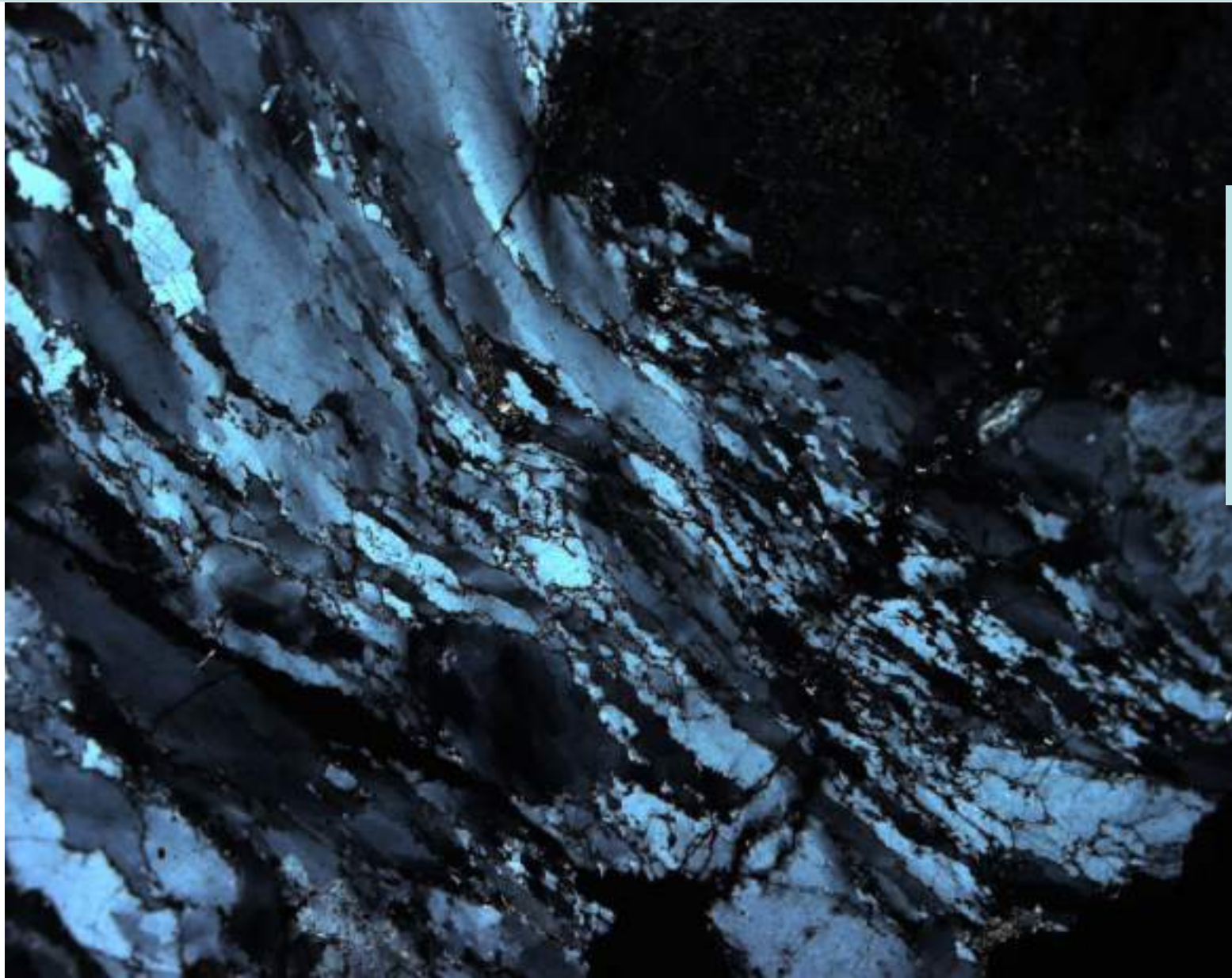
Интенсивно деформированный (тектонизированный)
кристалл **антимонита**



2 мм. Monalto, Португалия. В отражённом свете

Механические деформации

Интенсивно деформированный (тектонизированный) кристалл кварца

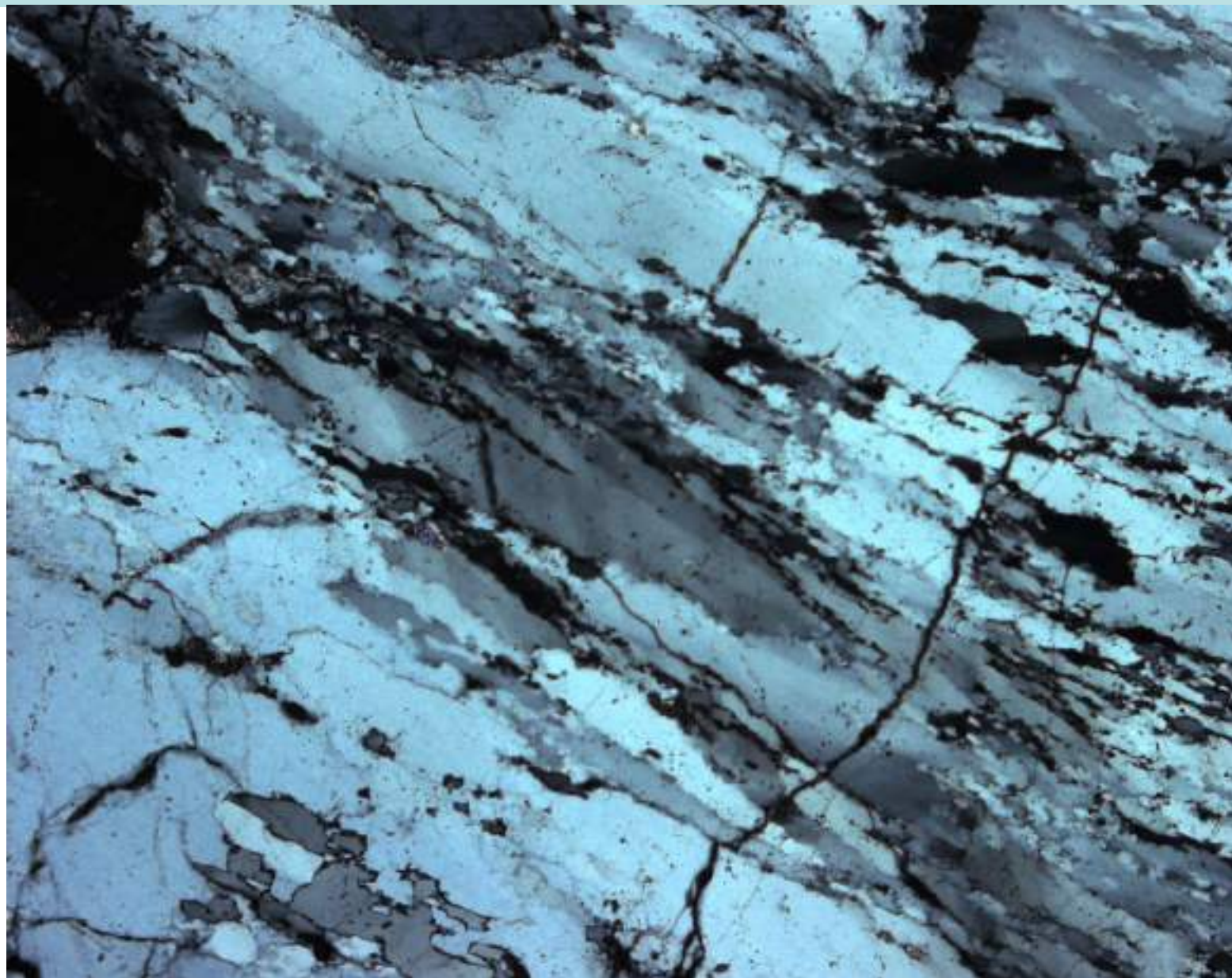


Шлиф.
Николи х.

Фото
Э.М.
Спиридонова

Механические деформации

Интенсивно деформированный (тектонизированный) кристалл кварца



Шлиф.
Николи х.

Фото
Э.М.
Спиридонова

Механические деформации кристаллов

Текстура течения деформированных кристаллов галита NaCl -
каменной соли под давлением



Шлиф при 1 николе. X 7.
Второй Солигорский рудник

Механические деформации кристаллов

Текстура течения деформированных кристаллов под давлением.
Галенит выдавленный в полость между кристаллами кварца



Берёзовское золотое месторождение. Средний Урал.
Колл. Горного музея СПб.

Механические деформации кристаллов

Царапины на кристаллах кварца - следы от экструзии деформированных кристаллов галенита

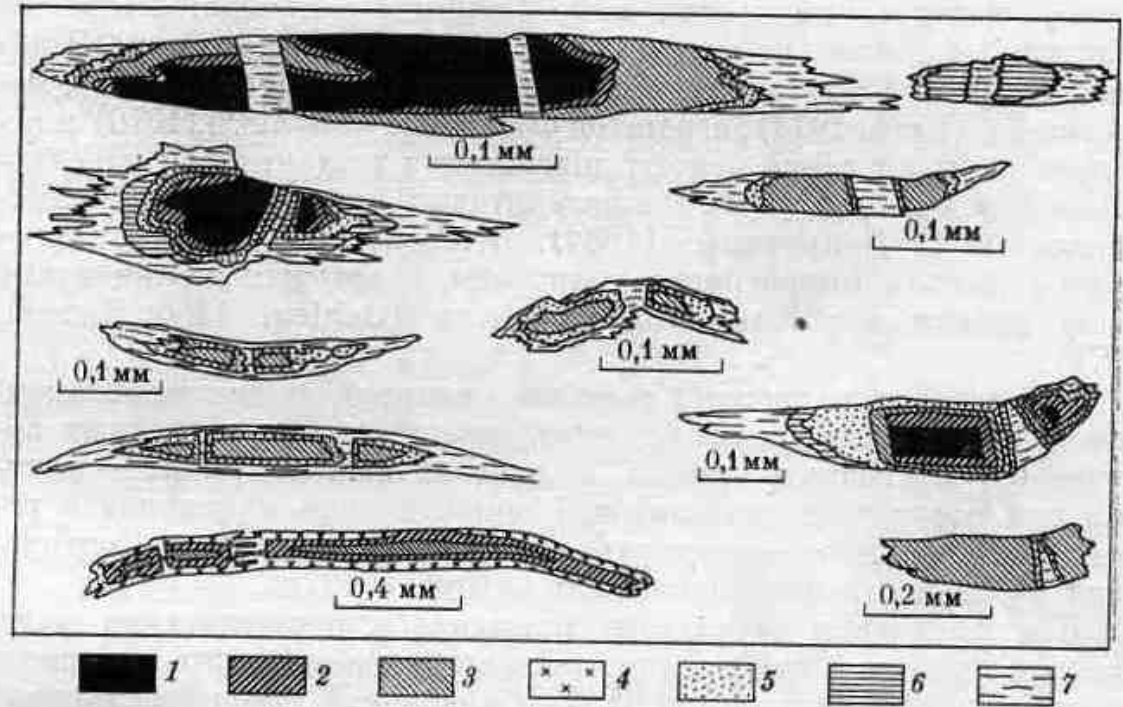


Берёзовское золотое месторождение. Средний Урал.
Колл. Горного музея СПб. Фото Ольги Галыниной

Механические деформации – будинаж кристаллов



Вкрапленник
кварца в
игнимбригах



Множественный будинаж метакристаллов – порфиробластов щелочных амфиболов в голубых сланцах Калифорнии.

«Паракристаллический микробудинаж»

1 — кроссит-А; 2 — кроссит-Б; 3 — кроссит-В; 4 — кроссит — актинолит; 5 — голубой амфибол; 6 — граукофан; 7 — натровый актинолит



Турция. Закат



С берега Тихого океана вид на вулканы Авачинский (справа) и Корякский

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. Индивиды

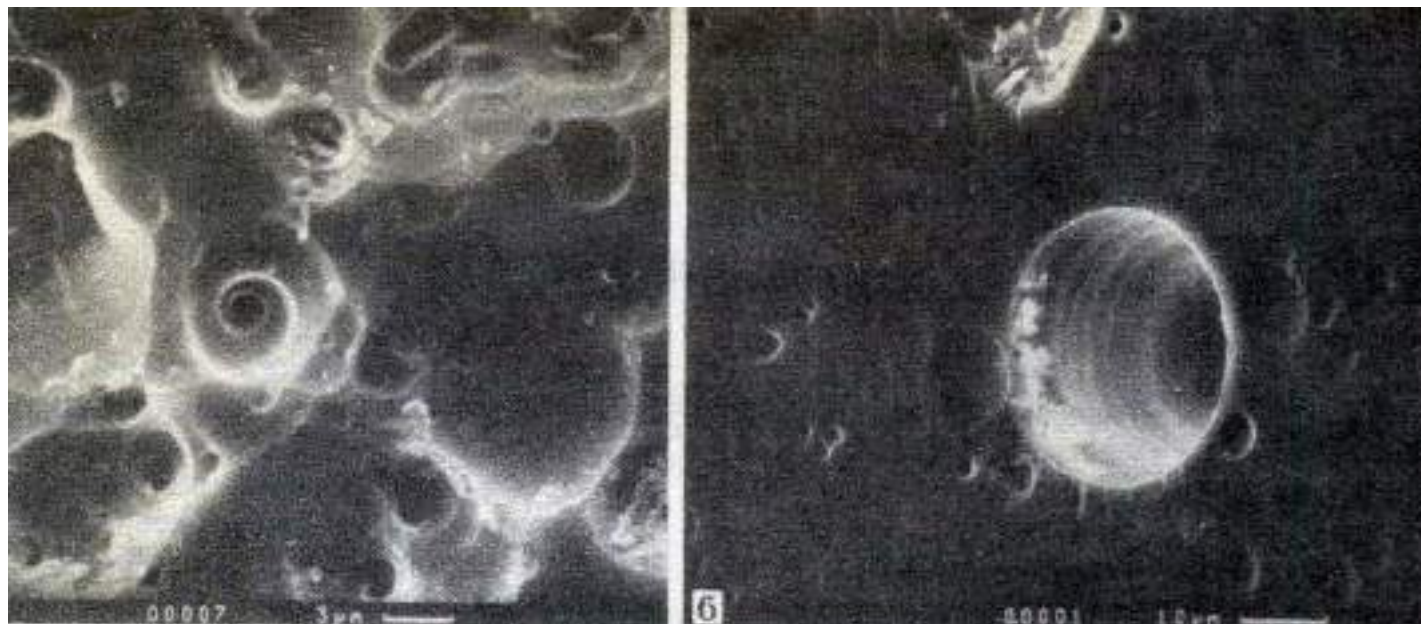
Растворение кристаллов

017. Растворение кристаллов

Растворение кристаллов

Изменение и уничтожение индивидов – эти процессы на стыке онтогении и филогении минералов.

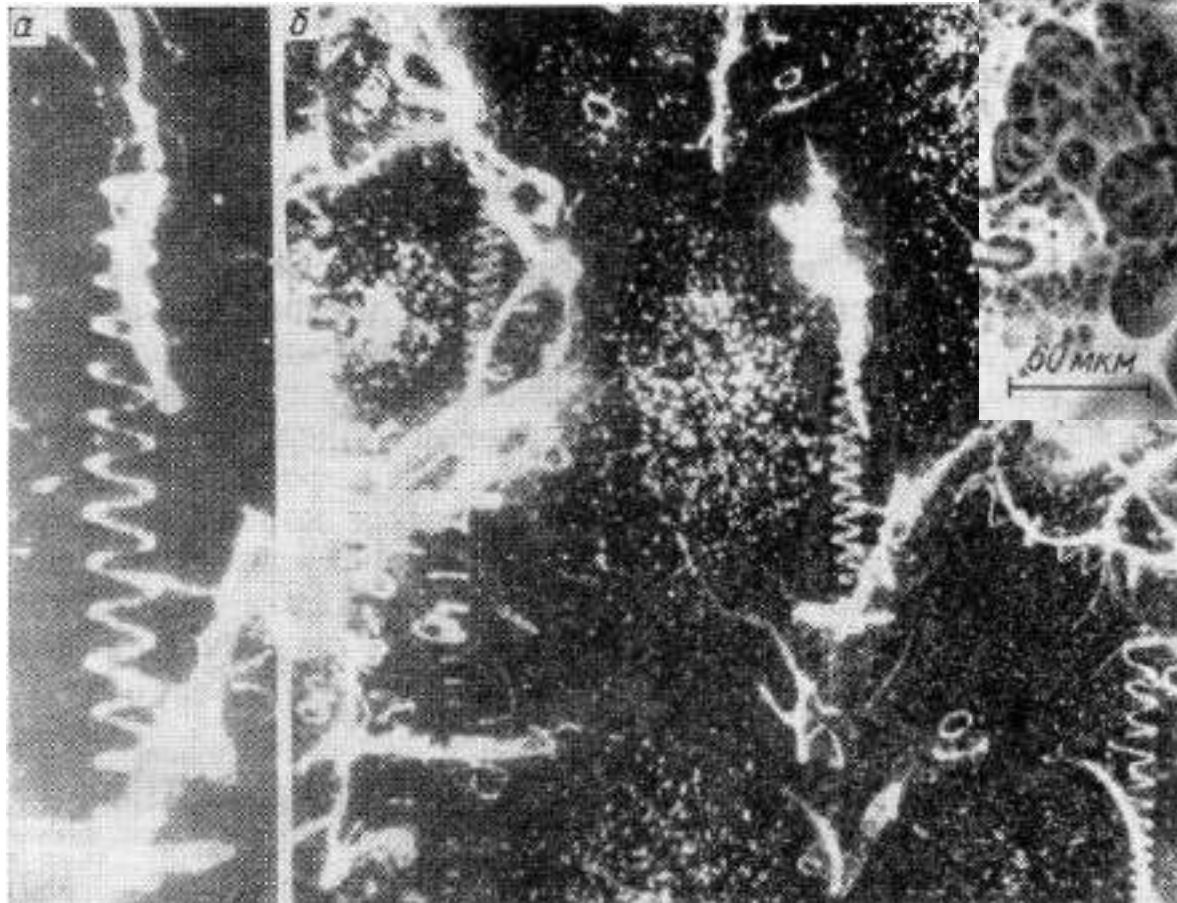
Когда кристалл входит в контакт со своей недосыщенной метеринской средой (обычно жидкой или газообразной) или с одной из реагирующих с ним жидкой или газообразных сред, то, как правило, кристалл частично или полностью разрушается. Разрушение не всегда одноактный процесс. Существуют все стадии растворения от образования мельчайших структур травления до полного уничтожения минерала. Формы растворения разнообразные, обычно округлые до плоскогранных (при малой скорости растворения). Установлена теснейшая связь ямок травления (растворения) с дислокационной структурой кристалла.



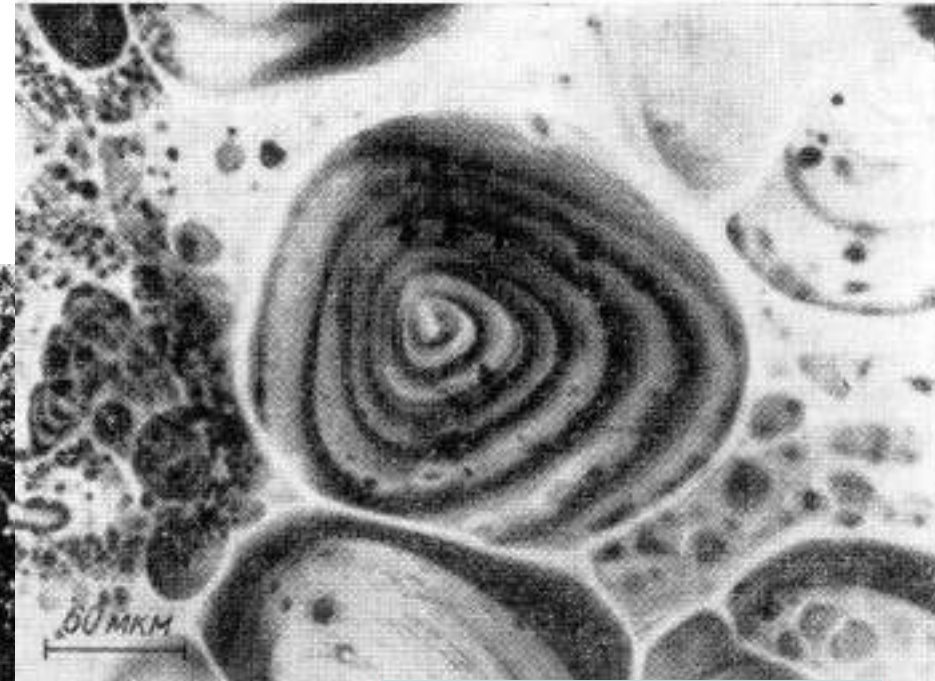
Ямки –
микрополости
- скульптуры
травления
по винтовым
дислокациям
в сапфире.
Фото
Р.Ю. Орлова

Растворение кристаллов

Микрополости – скульптуры травления по винтовым дислокациям



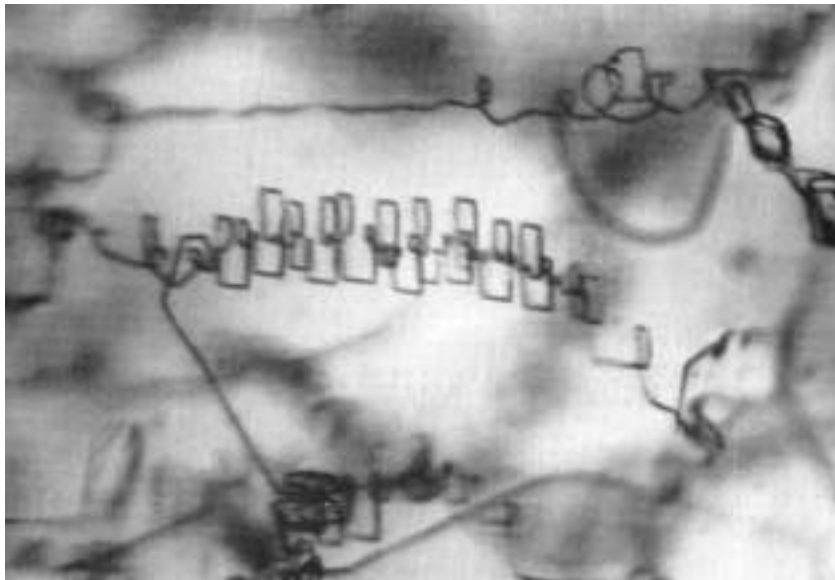
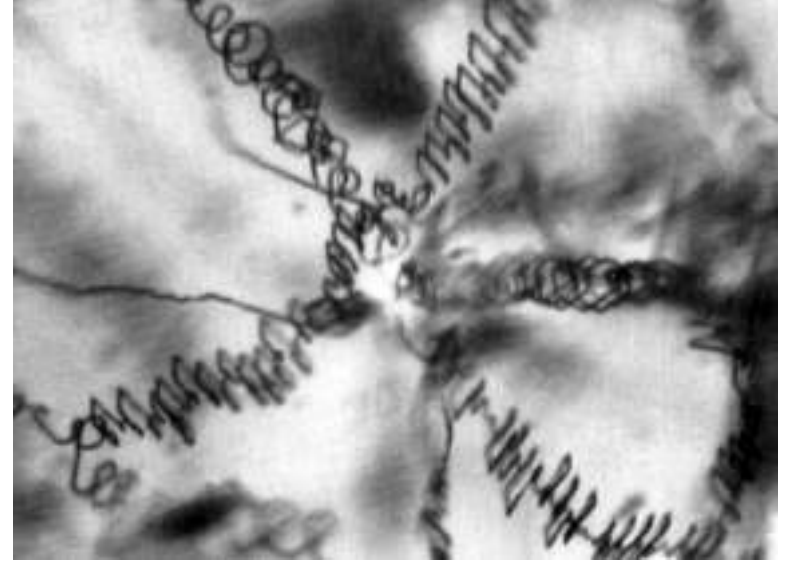
во флюорите



в арсениде галлия

Растворение кристаллов

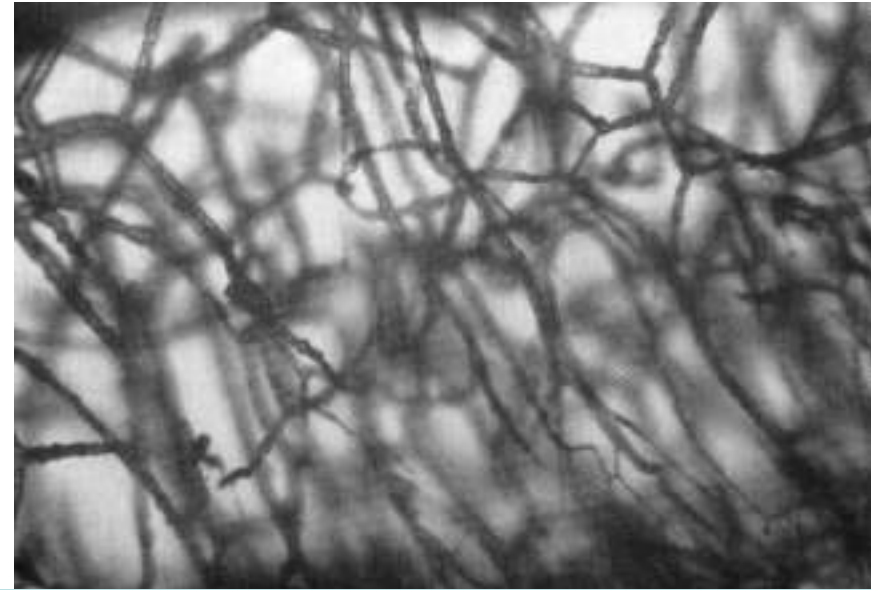
Микроразветвления – каналы травления по винтовым дислокациям в кристаллах **пироба** из кимберлитов Якутии



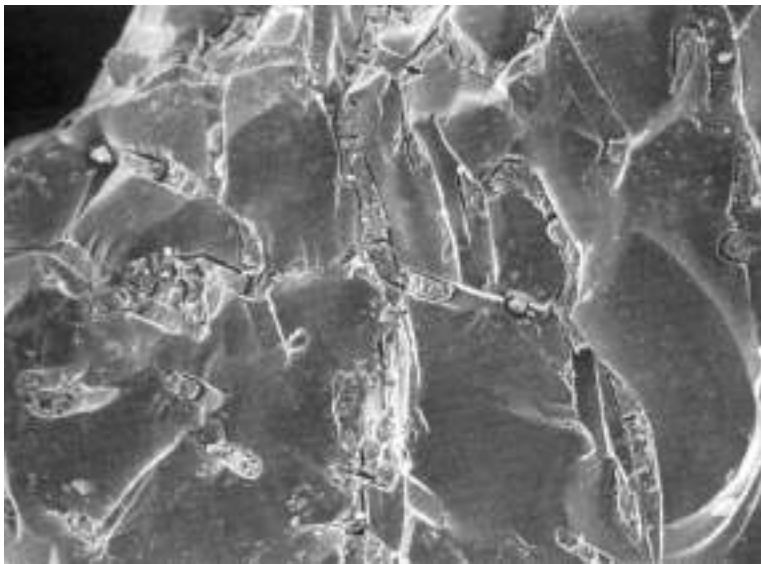
Растворение кристаллов

Микрополости – каналы травления по винтовым дислокациям
в кристаллах **пироба** из кимберлитов Якутии

0.3 мм. Трубка Аэрогеологическая



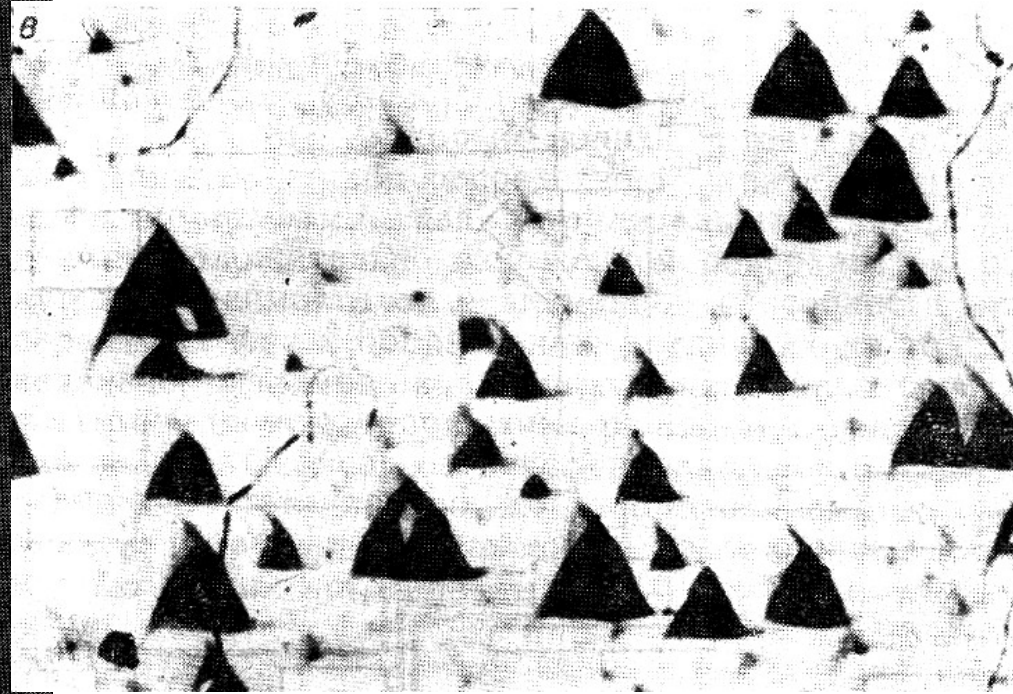
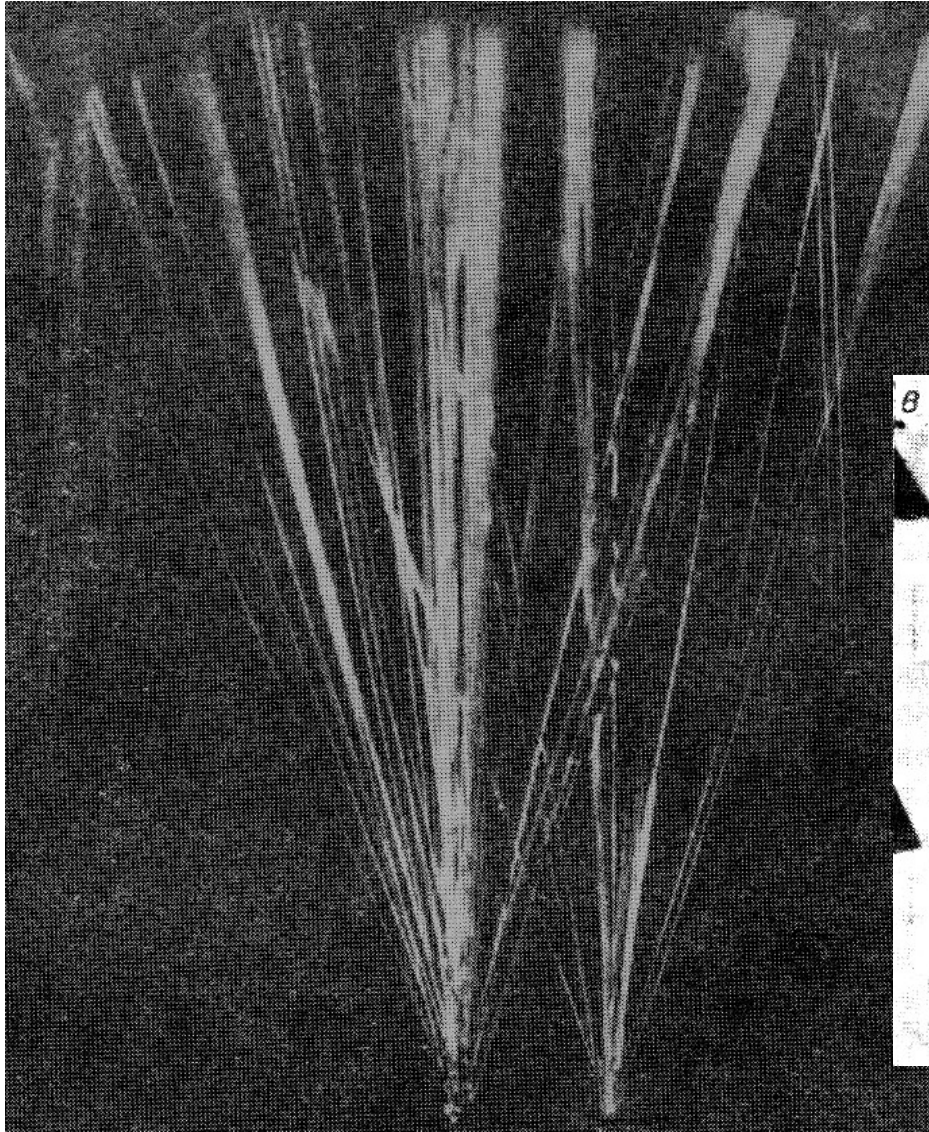
1.2 мм. Трубка Интернациональная



Поверхность скола кристалла **пироба**
с массой каналов травления

Растворение кристаллов

Микрополости – каналы травления в кристаллах кварца



Мельчайшие ямки травления на поверхности кристалла кварца

Растворение кристаллов

Микрорельефы – каналы травления в кристаллах алмаза

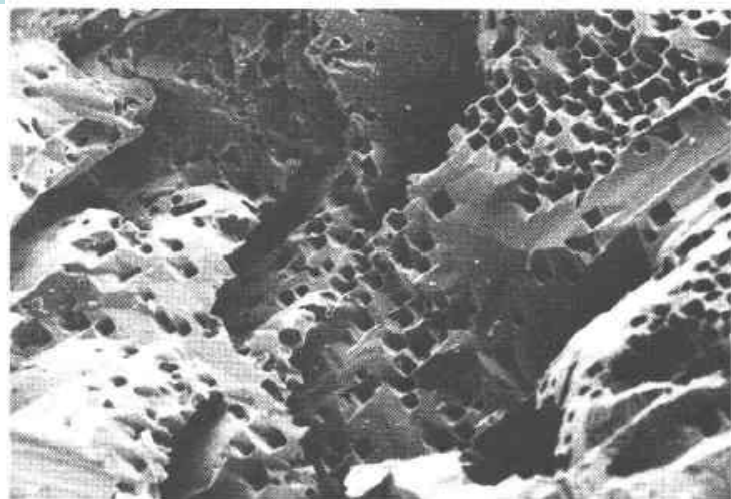


FIG. 2. SEM photo (500X). Another section of the translucent region in the 2.06 ct. diamond. Same scale as Figure 1.

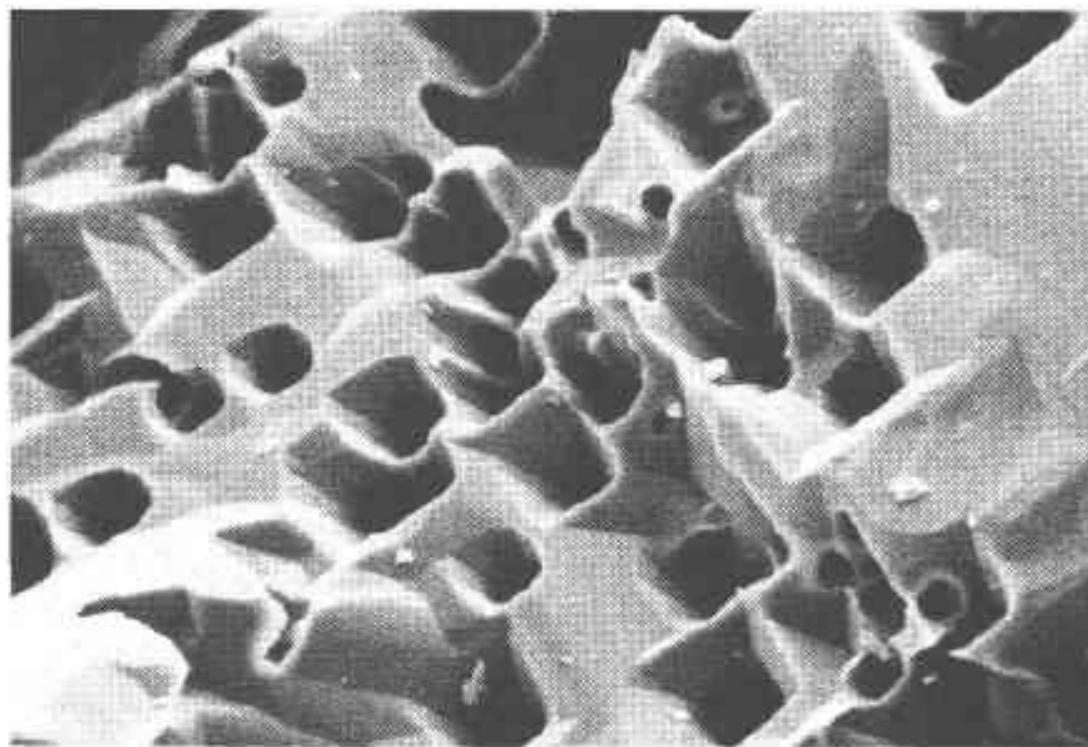


FIG. 3. SEM photo (2000X). Part of the region shown in Figure 2. Cavities with an apparent square outline at 500X are seen to actually be 8-sided. Long edge of photo = 50 μm .

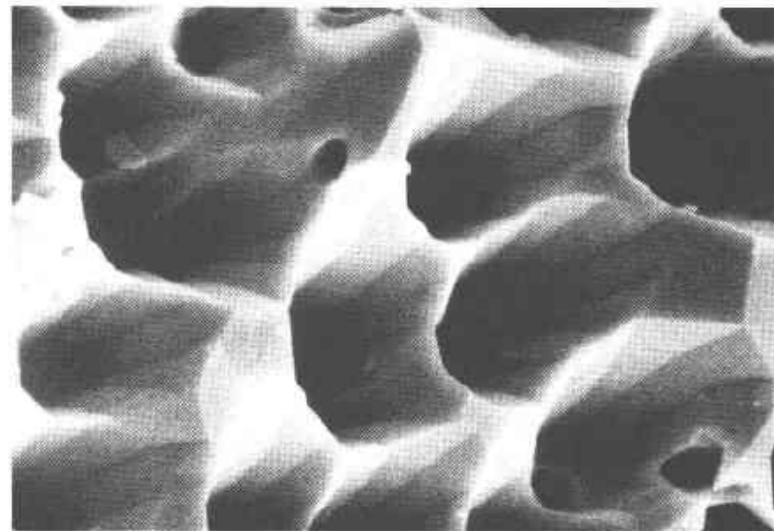


FIG. 4. SEM photo (5000X). Another section of the translucent region in the 2.06 ct. diamond. Cavities that appear to be more-or-less circular at lower magnification appear actually to be 12-sided. Long edge of photo = 20 μm .

Мельчайшие ямки травления на поверхности кристалла алмаза.
Арканзас.

Giardini A.A. & Melton C.E., 1975.
Amer. Mineral. Vol. 60. P. 931-933

Растворение кристаллов

Скульптуры травления на кристаллах кварца



Берёзовское
золотое
месторождение.
Средний Урал

Растворение кристаллов

Скульптуры травления на кристалле флюорита



28 мм. Yaogangxian, Hunan, Китай

Растворение кристаллов

Скульптуры травления на кристаллах галенита



Мадан. Болгария.
Фото Н.Н. Жукова

На грани куба кубооктаэдра галенита

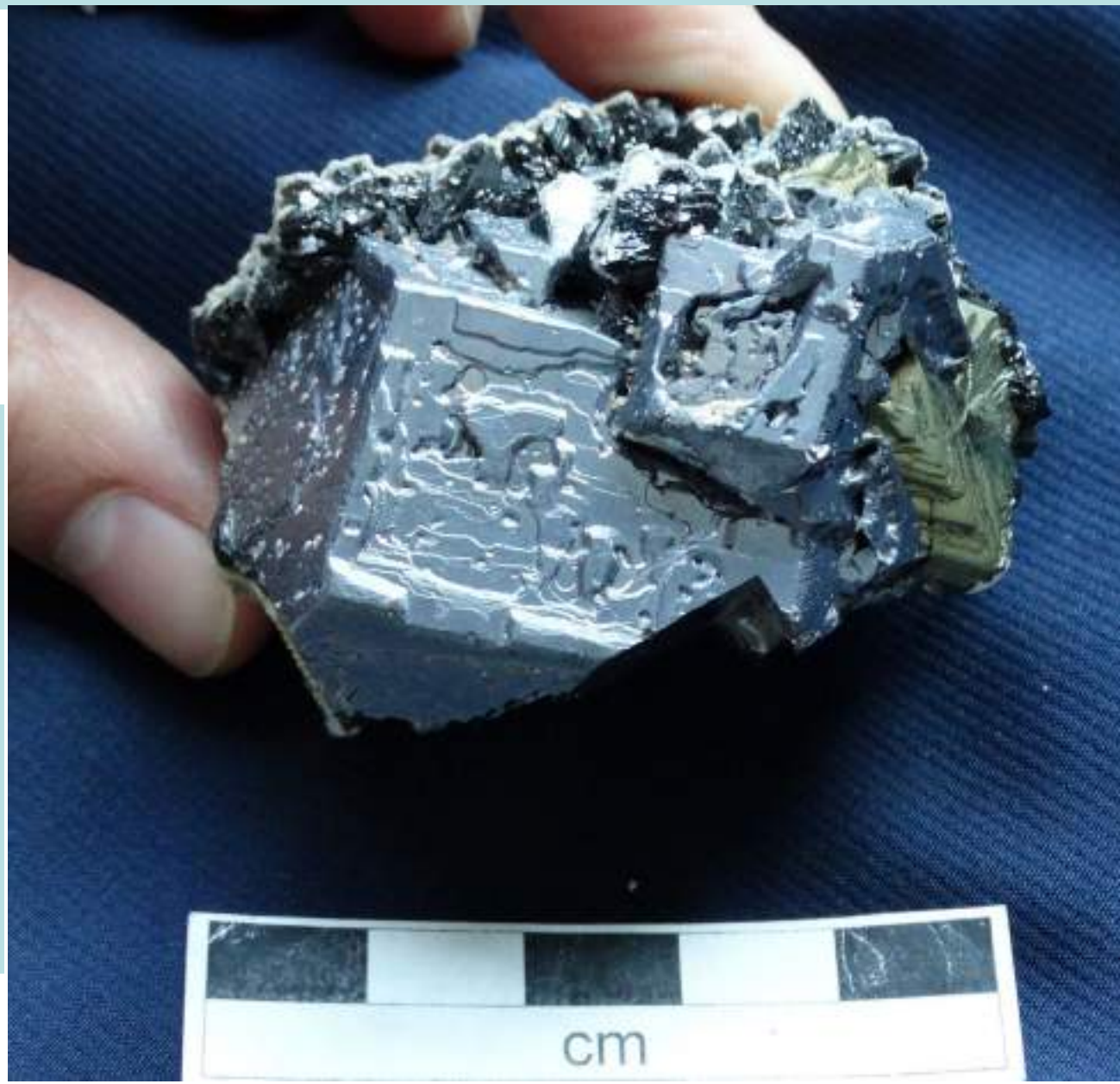
Растворение кристаллов

Скульптуры травления на кристаллах галенита

Месторождение
Мадан.
Болгария.

Колл. музея
«Земля и люди»,
София

Фото ЭМС и
Н.Н. Жукова



Скульптуры травления на кристаллах галенита и кальцита



Месторождение Мадан. Болгария.
Колл. музея «Земля и люди», София. Фото ЭМС и Н.Н. Жуков

Растворение кристаллов

Скульптуры растворения на кристаллах галенита



Месторождение
Мадан.
Болгария.

Колл. музея
«Земля и люди»,
София

Фото ЭМС и
Н.Н. Жукова

Растворённая поверхность кристаллов **галенита**.
На неё выросли кристаллы **сфалерита**



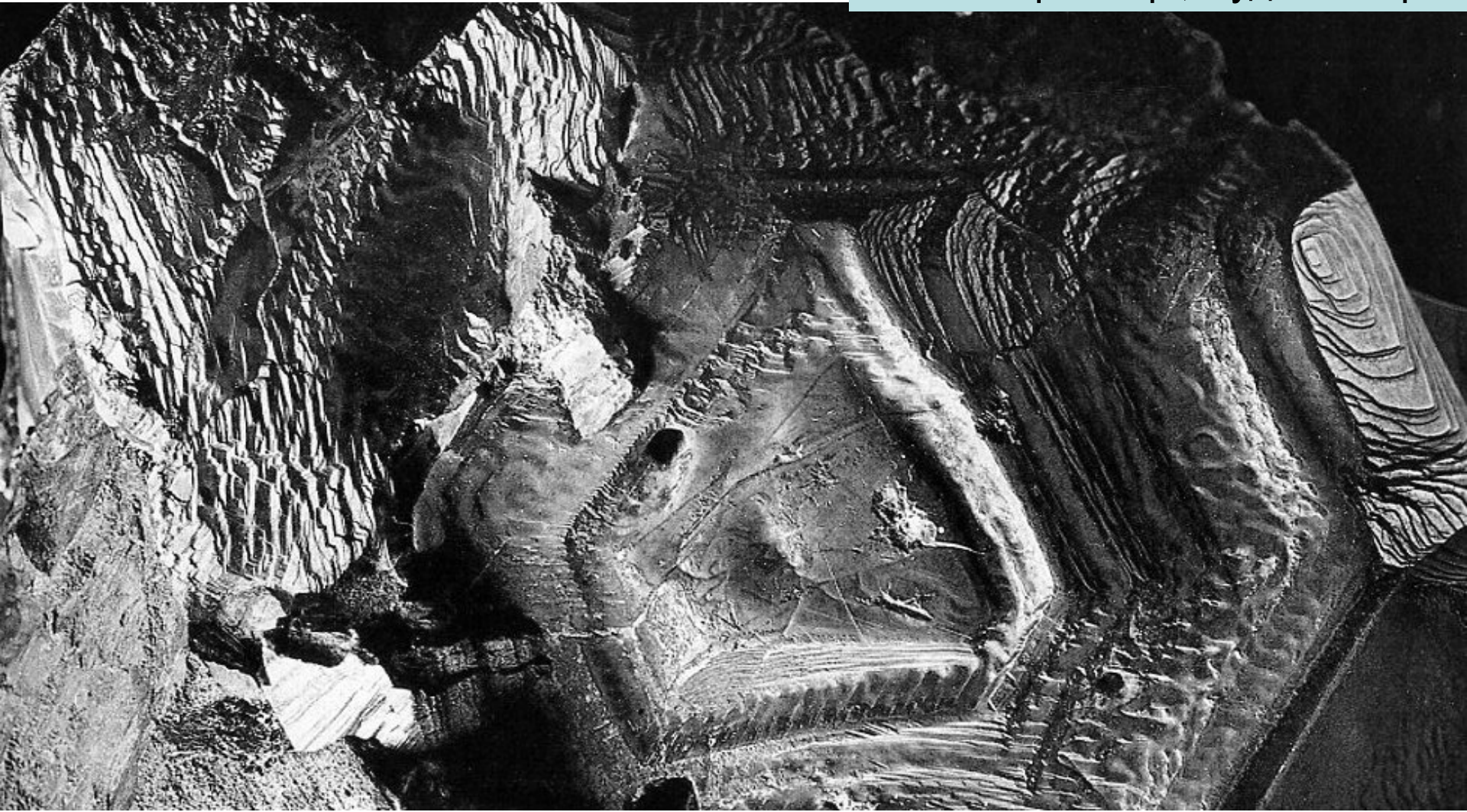
147
MM

Месторождение Мадан. Болгария.
Колл. музея «Земля и люди», София. Фото ЭМС и Н.Н. Жуков

Скульптуры растворения кристаллов

Галенит

65 мм. Фрайберг, Рудные Горы



Скульптуры растворения кристаллов

Галенит

42 мм.
Мадан,
Родопы,
Болгария



Тетюхе



65x45 мм.
Фрайберг,
Рудные Горы,
Германия

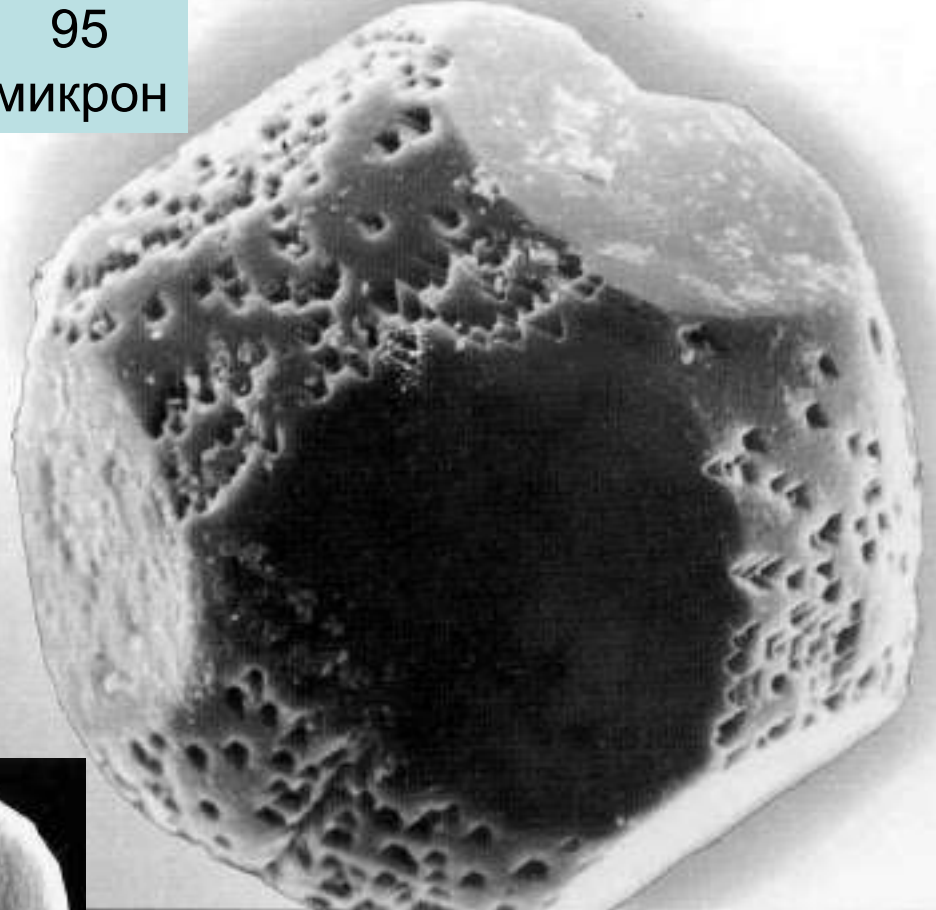
Скульптуры травления кристаллов алмаза

из парагнейсов и коровых эклогитов месторождения Кумдыколь, Кокчетавский массив, Северный Казахстан

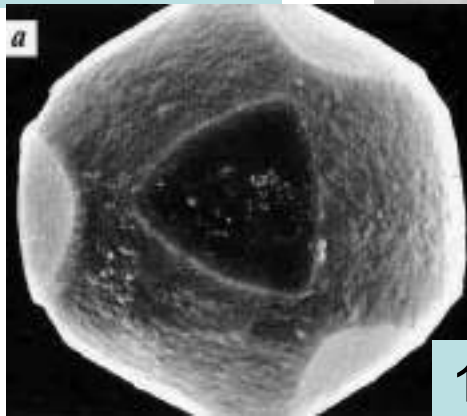


40 микрон. Грани куба гладкие, грани октаэдра и ромбододекаэдра травленные

95 микрон



Избирательное травление различных граней кристаллов

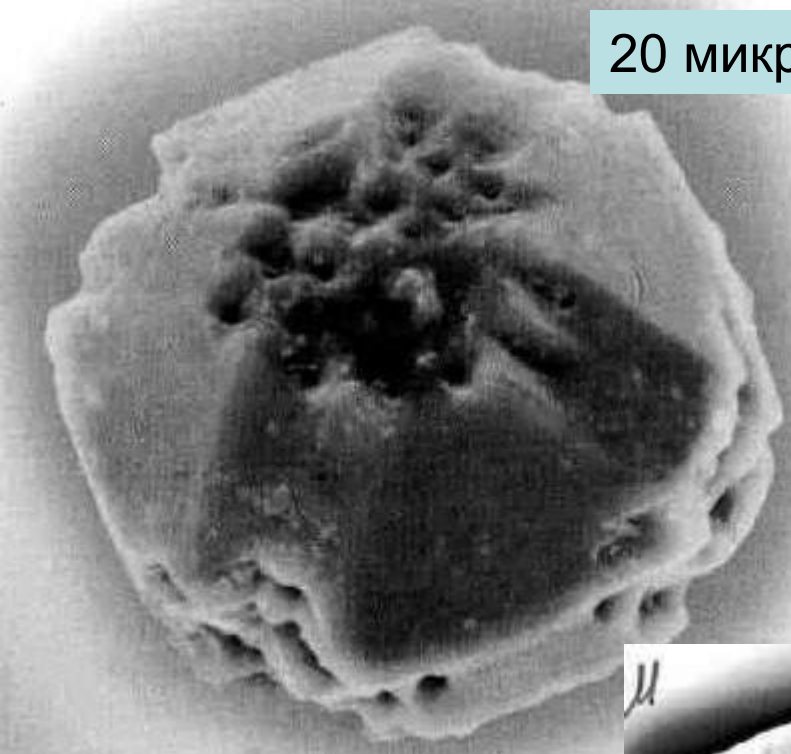


15 микрон

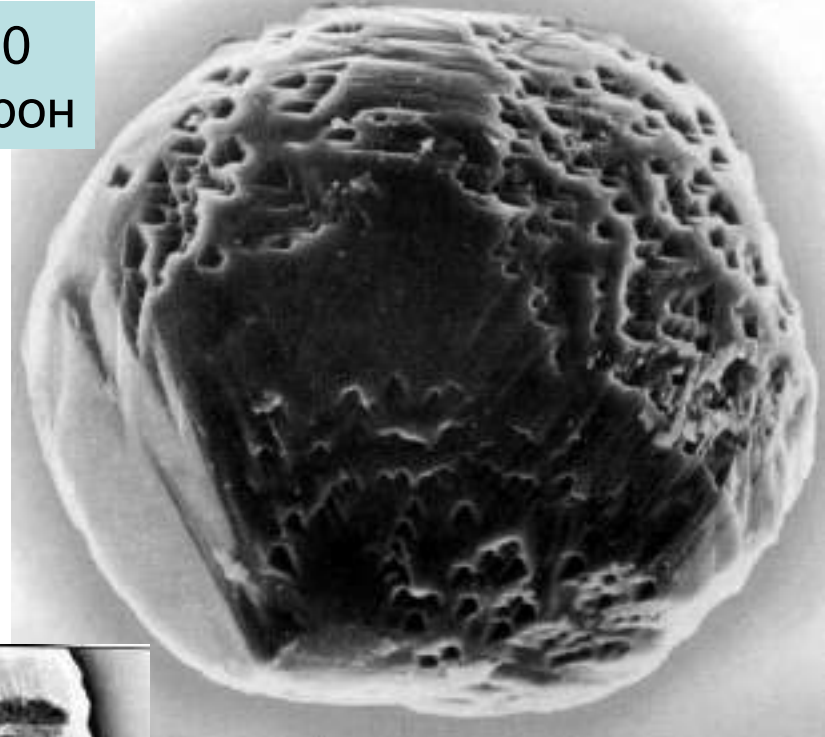
Заячковский А.А.,
Надеждина Е.Д.,
1997

Скульптуры травления кристаллов алмаза

из парагнейсов и коровых эклогитов месторождения Кумдыколь,
Кокчетавский массив, Северный Казахстан

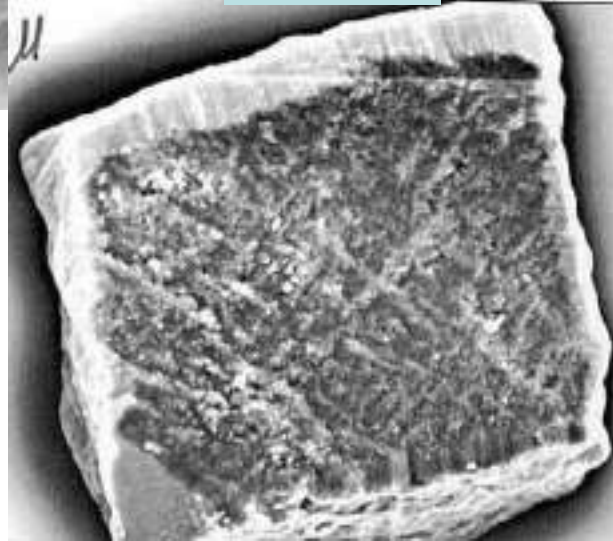


20 микрон



100
микрон

40
микрон

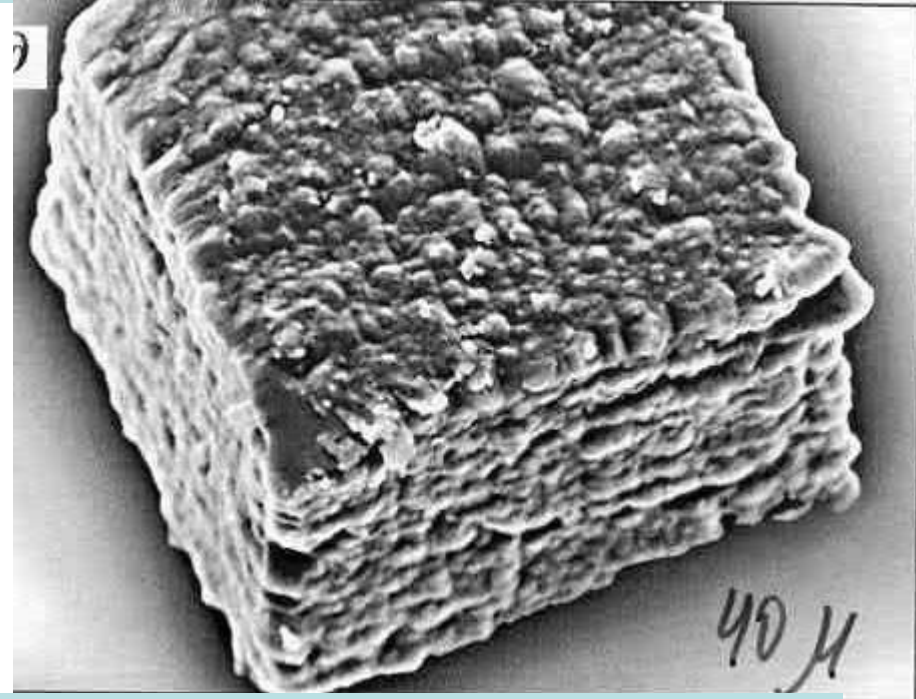
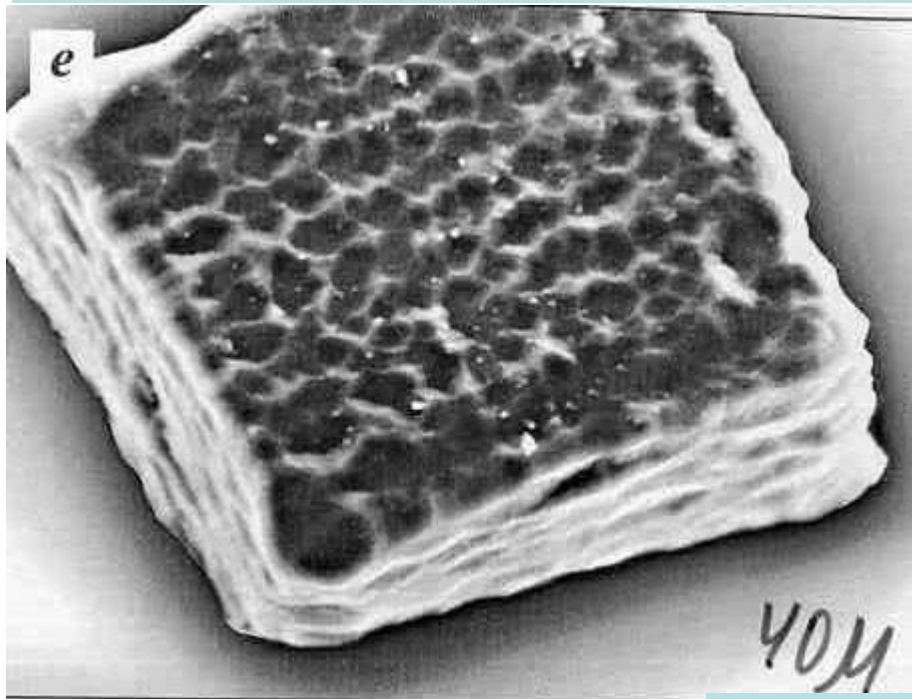


Различная
скульптура
различных
граней

Заячковский А.А.,
Надеждина Е.Д.,
1997

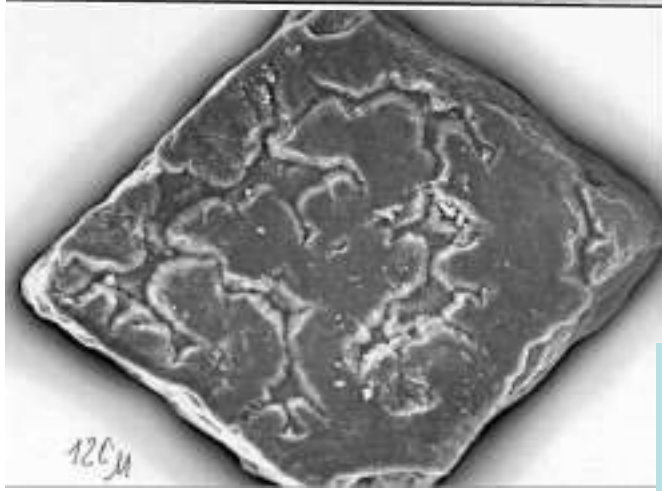
Скульптуры травления кристаллов алмаза

из парагнейсов и коровых эклогитов месторождения Кумдыколь, Кокчетавский массив, Северный Казахстан



Сильно травленные кубические кристаллы
размером по 40 микрон

Заячковский А.А., Надеждина Е.Д., 1997



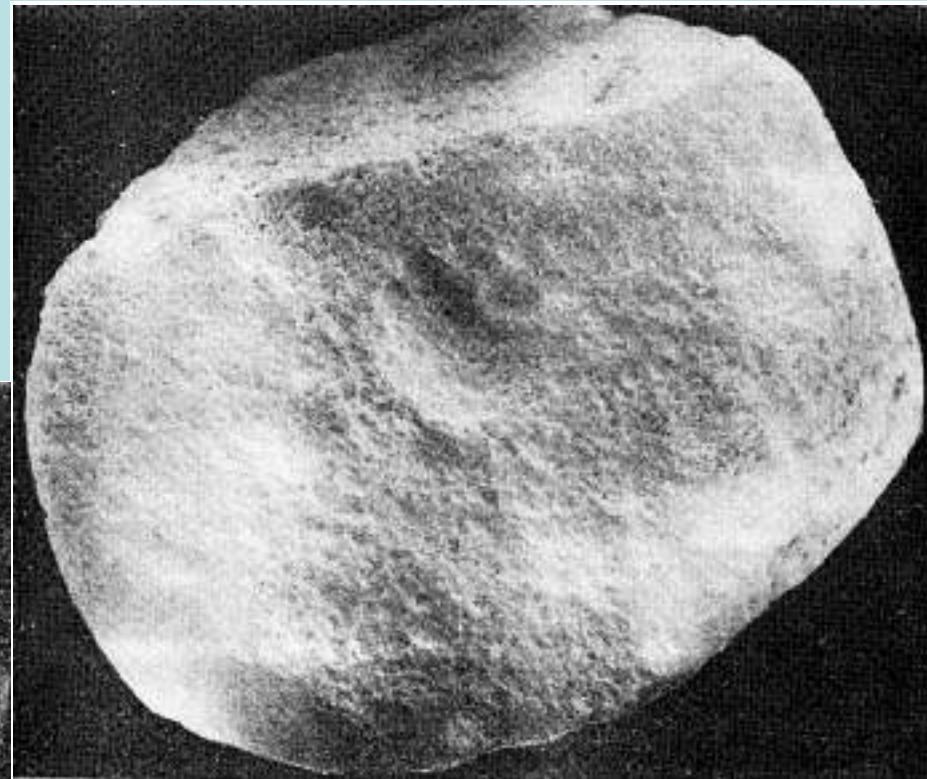
Каналы травления на сколе кристалла
размером 120 микрон

Скульптуры растворения кристаллов алмаза

в базальтовом расплаве

**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. 67-492.



Кристалл 2 мм.
Температура расплава
 1200°C , давление 1 атм.,
длительность опыта 26 часов

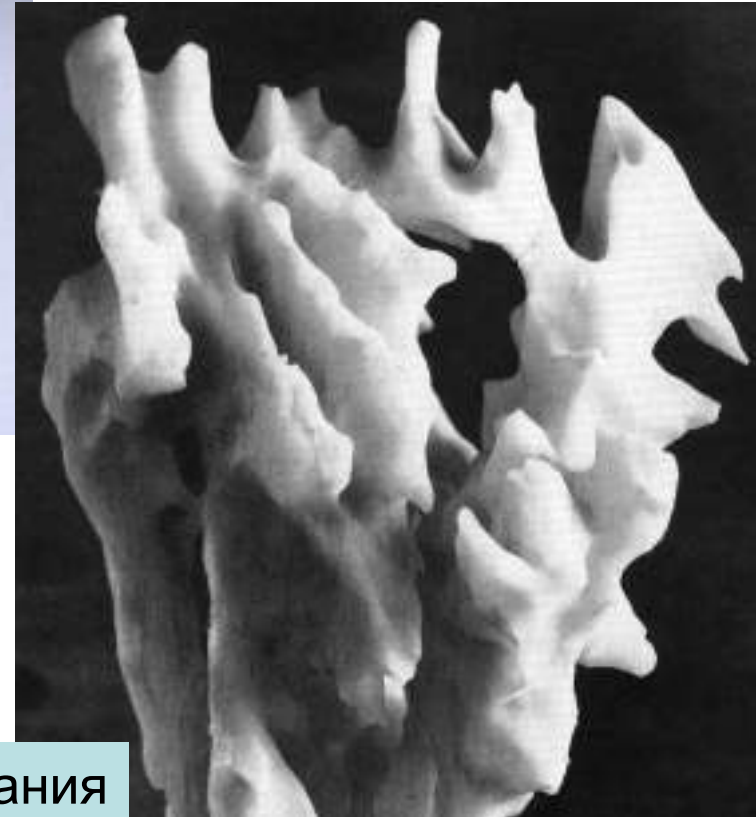


Кристалл 2 мм.
Температура расплава
 1450°C , давление 25 килобар,
длительность опыта 26 часов

Скульптуры растворения кристаллов

Гипс. Алебастровое, Пермское Приуралье

150x100 мм



130x110 мм. Испания

Скульптуры растворения кристаллов

150 мм



Гипс

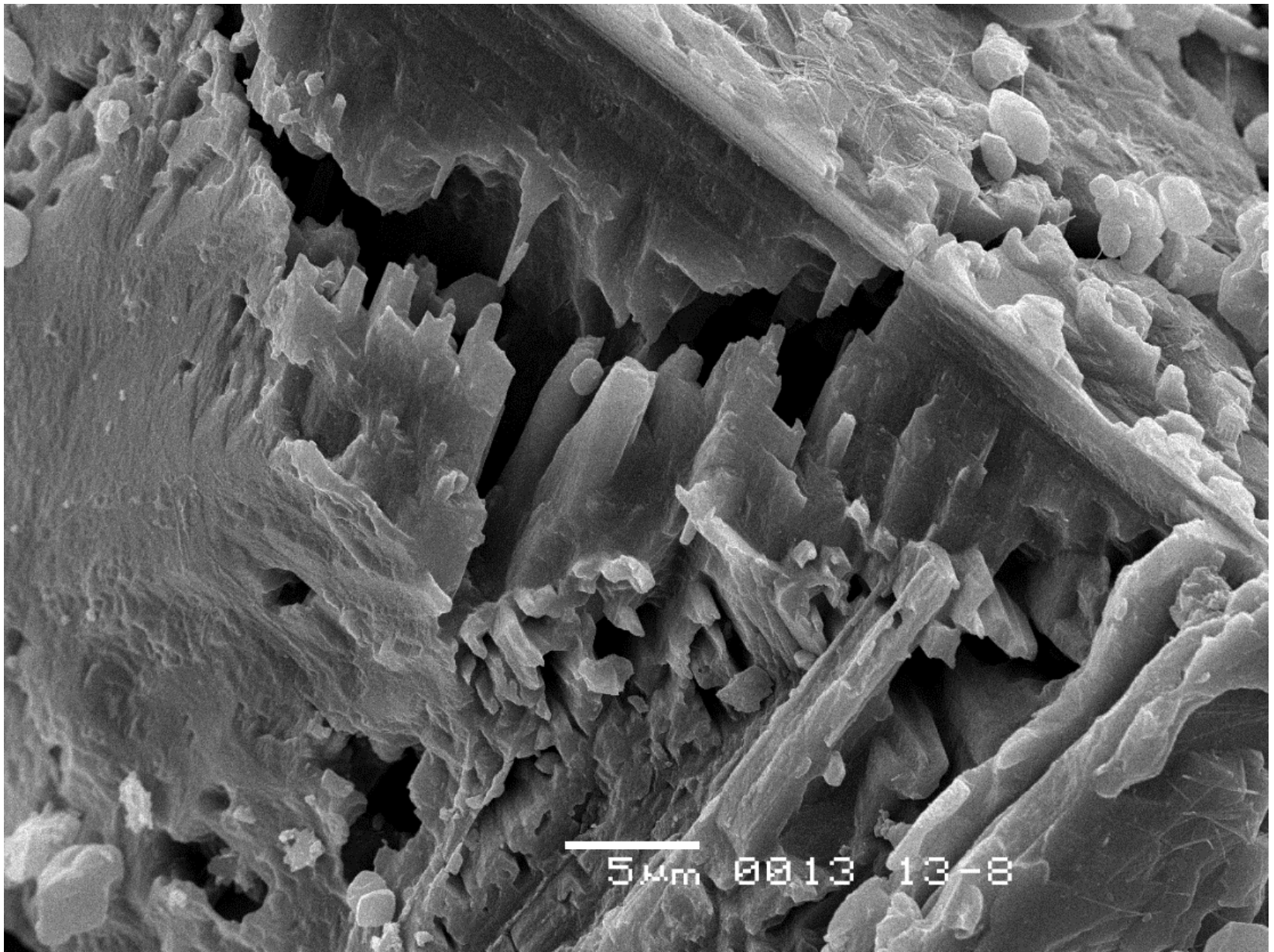
Мёртвое море,
Израиль



25 мм

Скульптуры растворения кристаллов доломита

Средний карбон Архангельского региона



Скульптуры растворения кристаллов церуссита

Мадан, Родопы, Болгария

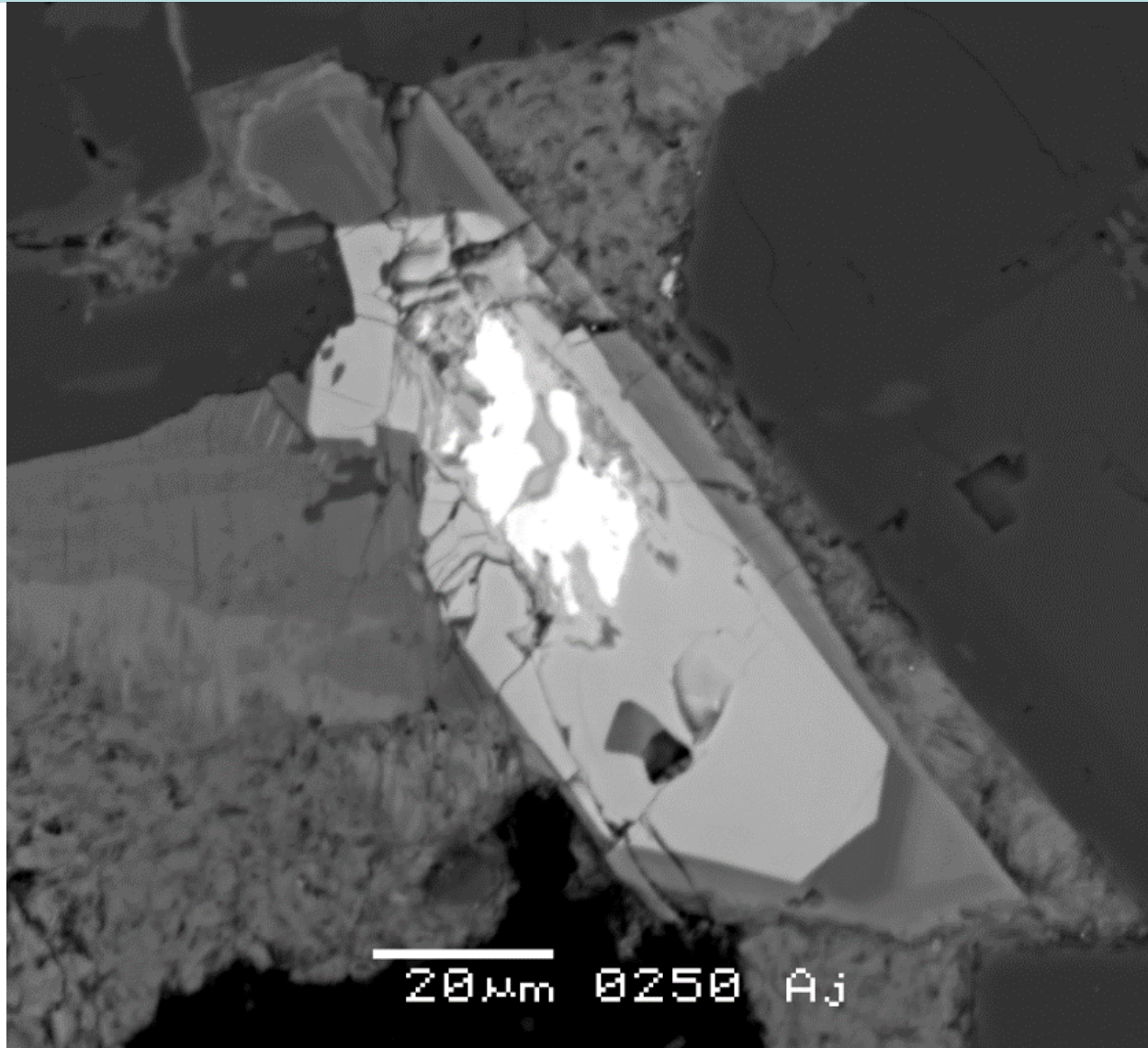


Скульптуры растворения кристаллов

Кальцит. Gongcheng, Guangxi, Китай



Скульптуры растворения кристаллов чевкинита-(Ce) (белый) в зональном кристалле алланита (ортита) - (Ce)



Кварцевые
габбро-норит-
долериты.
Аю-Даг.
Горный Крым

Фотография в
отражённых
электронах

Скульптуры растворения кристаллов



Частично растворённый кристалл **К-На полевого шпата**. Выщелочены в основном пертиты распада альбита и прилегающие участки калишпата. Гранитные пегматиты El Crillo, Pampean Range, Аргентина. Černý P. et al., 2003. *Canad. Mineral.* Vol. 41. P. 1013 – 1026.

Скульптуры растворения кристаллов берилла - аквамарина. Гранитные пегматиты



140x100 мм. Долина Shigar, Пакистан



Адун-Чилон, Забайкалье

Скульптуры растворения кристаллов

берилла. Гранитные пегматиты



17333(?)
и л л (воробьевит) Beryl
 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$
растворенный
Липовая, Ср.Урал, Россия
Крыжановский В.И., 1908



7 мм

Мадагаскар

Гелиодор 87 мм.
Green Walking
Stick mine,
Зимбабве

Скульптуры растворения кристаллов

берилла - гелиодора. Гранит. пегматиты, Волынь, Украина



Скульптуры растворения кристаллов

берилла - аквамарина. Гранит. пегматиты, Минас Жераис, Бразилия



Medina



Ponto
Valan-
tes



Pedra Azul



Скульптуры растворения кристаллов

берилла. Гранитные пегматиты, Калба, ЮЗ Алтай



Один
кристалл
с
разных
сторон



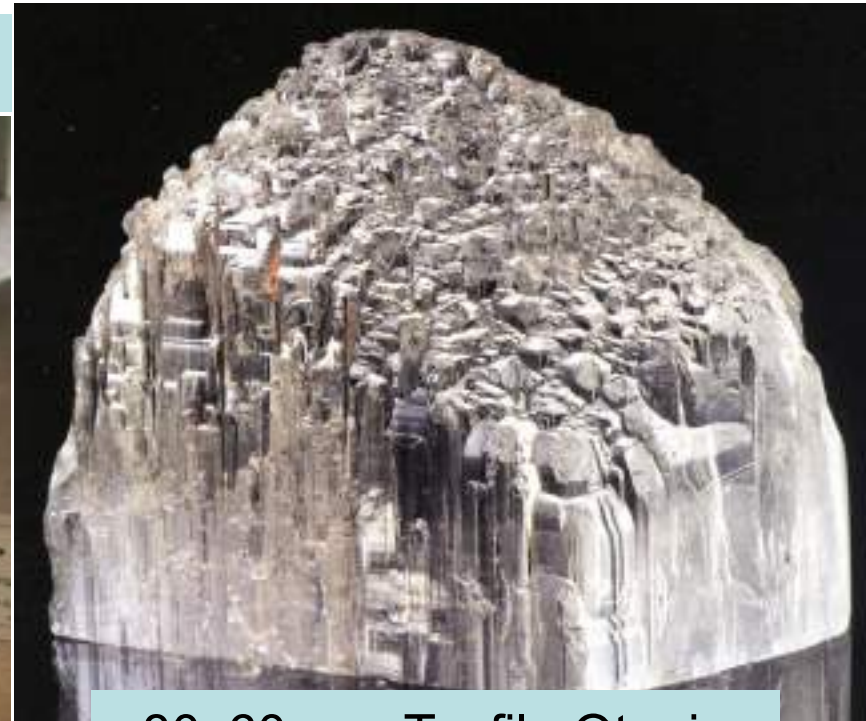
Фото
Э.М.
Спиридонова

Скульптуры растворения кристаллов

топаза. Гранитные пегматиты



Волынь, Украина



80x60 мм. Teofilo Otoni,
Минас Жераис, Бразилия



0.6 мм. Растворение по
трещинам спайности. При 1 николе

Скульптуры растворения кристалла

топаза.
Гранитные
пегматиты

Мурзинка,
Средний Урал



Скульптуры растворения кристаллов

топаза.
Гранитные
пегматиты

South Percy Peak,
Coos County,
Нью-Гэмпшир,
США

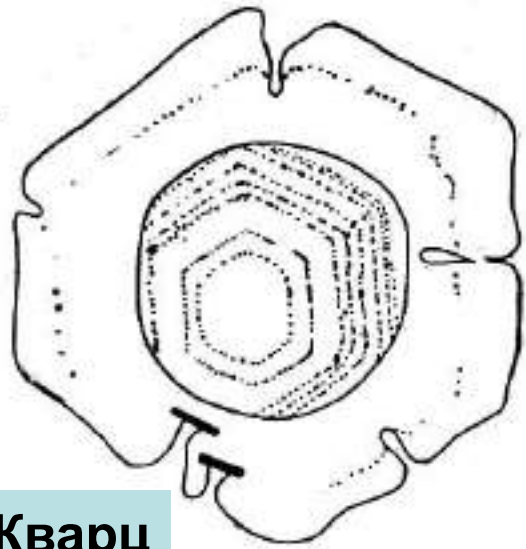


Скульптуры растворения кристаллов турмалина - эльбаита. Гранитные пегматиты

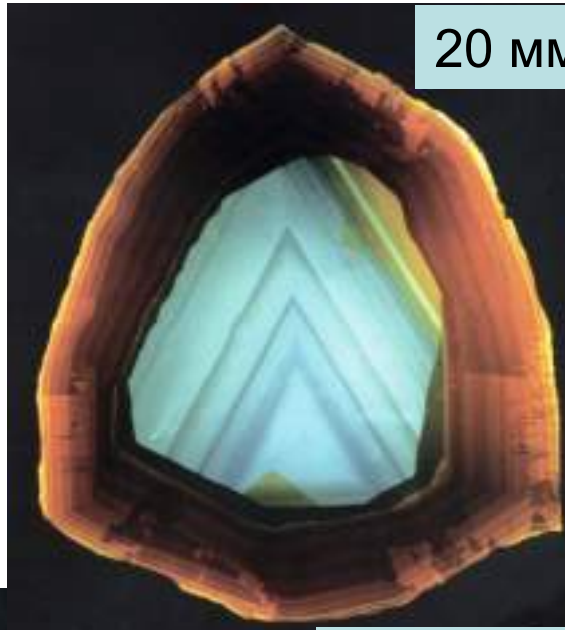


Скульптуры растворения кристаллов

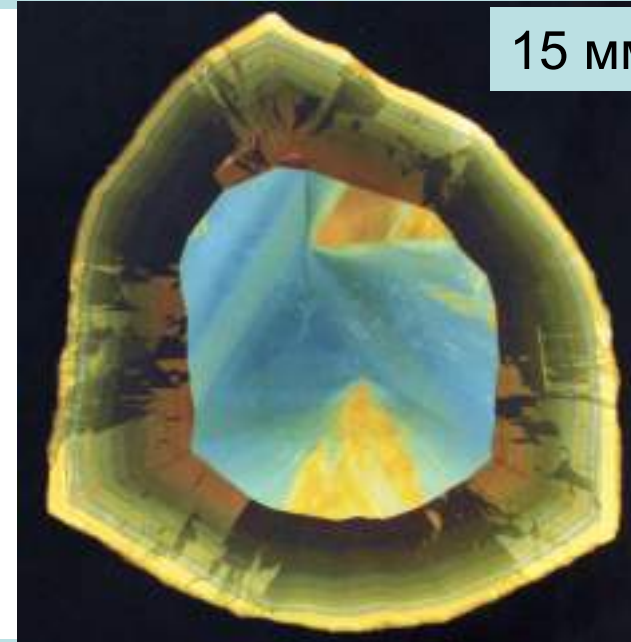
Ядра в кристаллах, частью растворённые



Кварц



20 мм



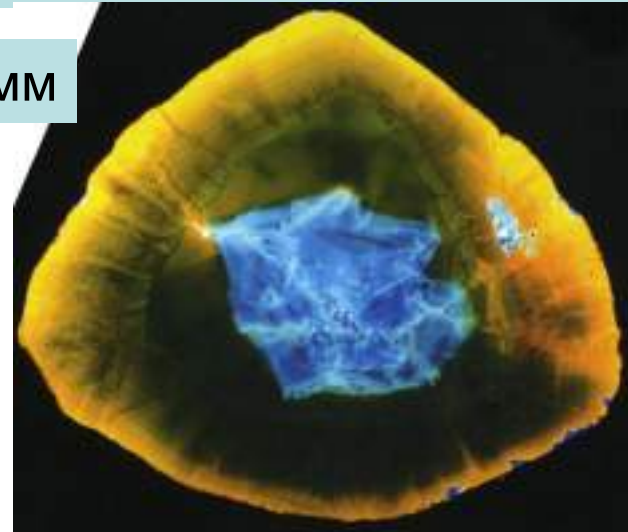
15 мм

Турмалин из пегматитов Мадагаскара



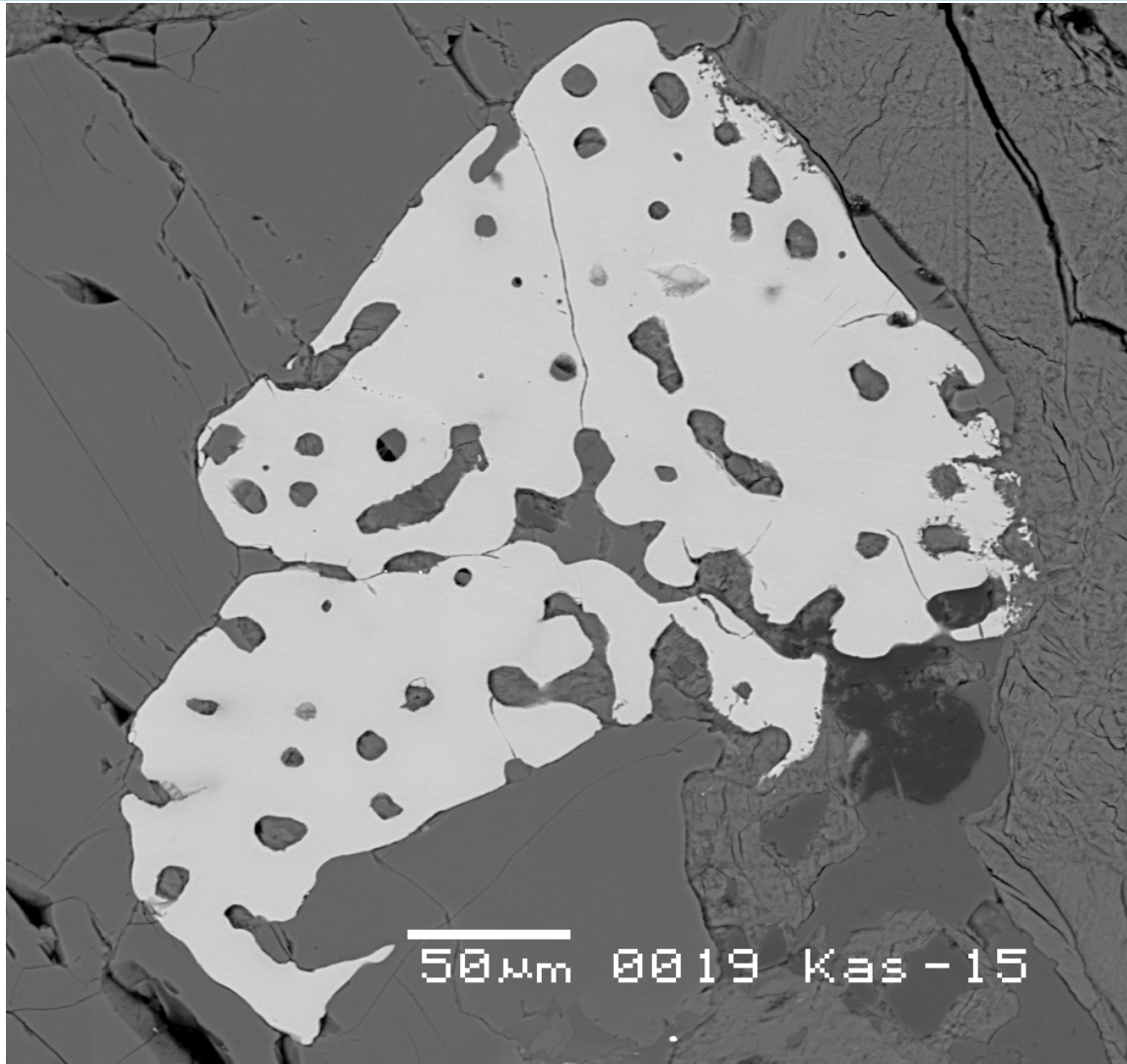
Флогодит. 61 мм. Ковдор

28 мм



Скульптуры растворения кристаллов

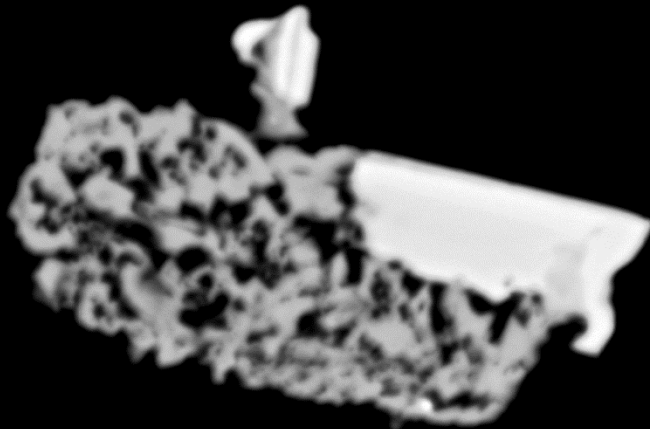
Растворяющийся в расплаве кристалл хромшпинелида
- Тi алюмохромита в кварцевых габбро-норит-
долеритах ЮЗ Кастели, Горный Крым



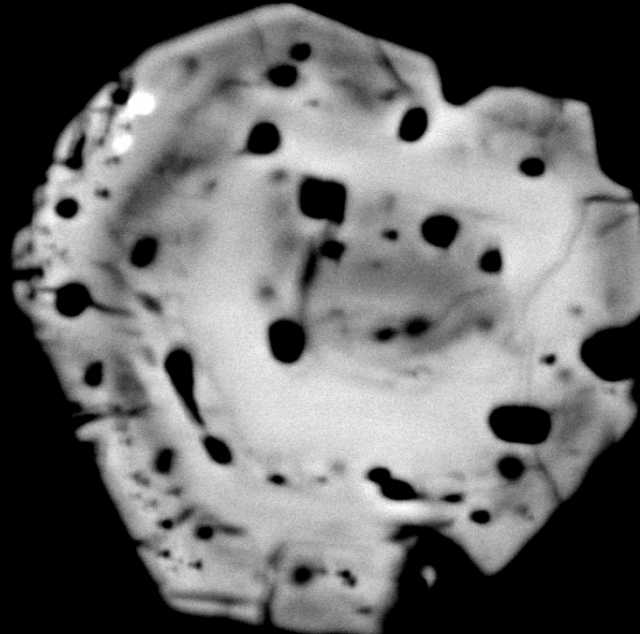
Фотография в
отражённых
электронах

Скульптуры растворения кристаллов

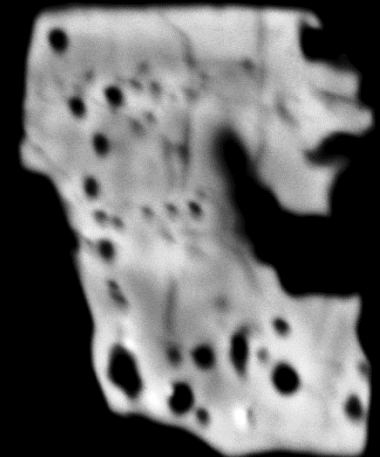
циркона (серый) и торита (белый)
в габброидах Аю-Дага, Горный Крым



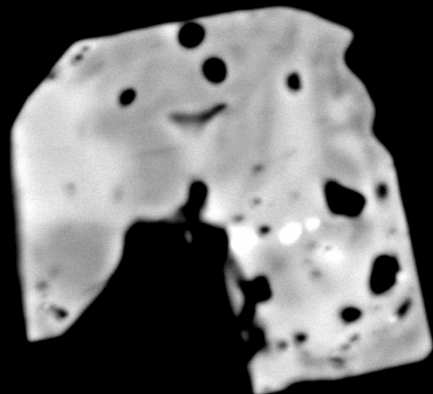
10µm Ø136 Aj-5



10µm Ø304 Aj



10µm Ø294 Aj



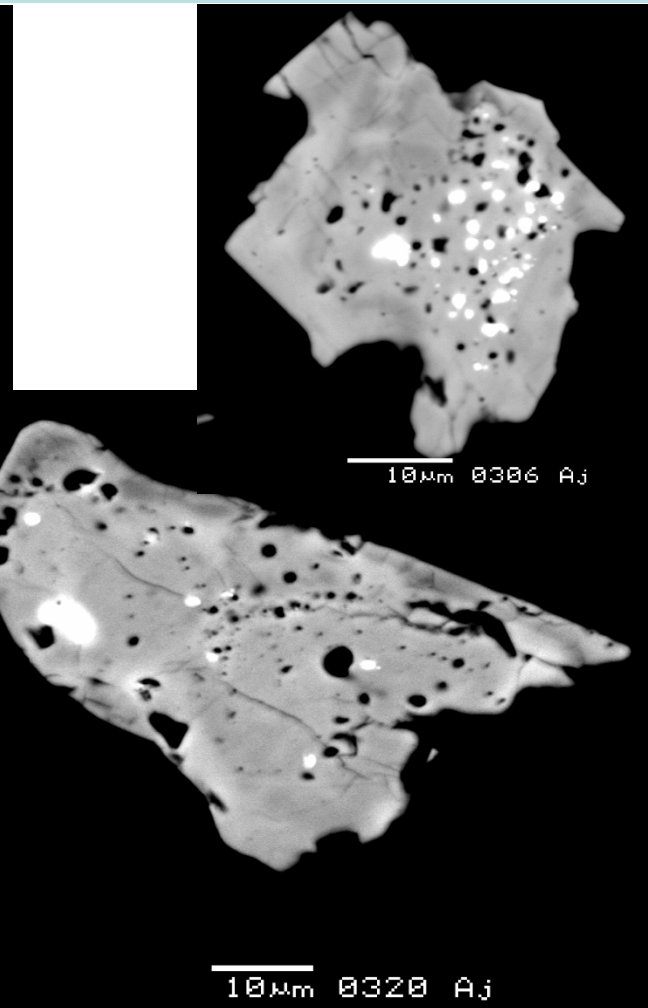
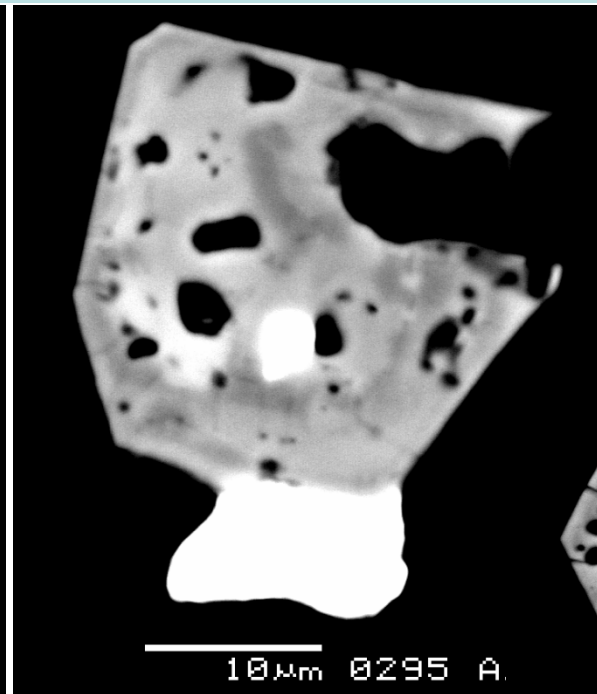
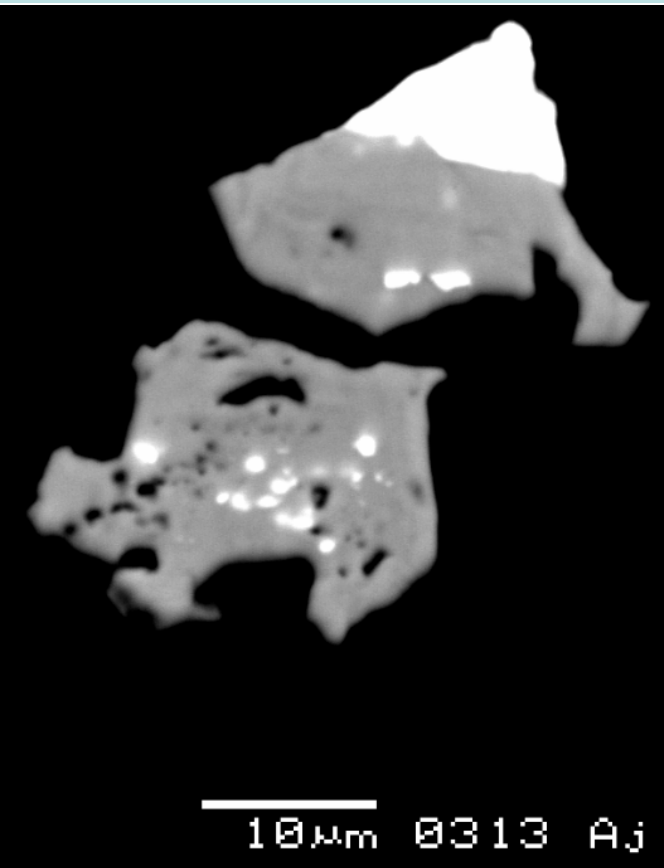
10µm Ø292 Aj

Фотографии в
отражённых
электронах

Э.М. Спиридонов, С.В. Филимонов, Е.С.
Семиколенных, Н.Н. Кривицкая и др., 2018.
Вестник МГУ. Геология. № 5. С. 70-78.

Скульптуры растворения кристаллов

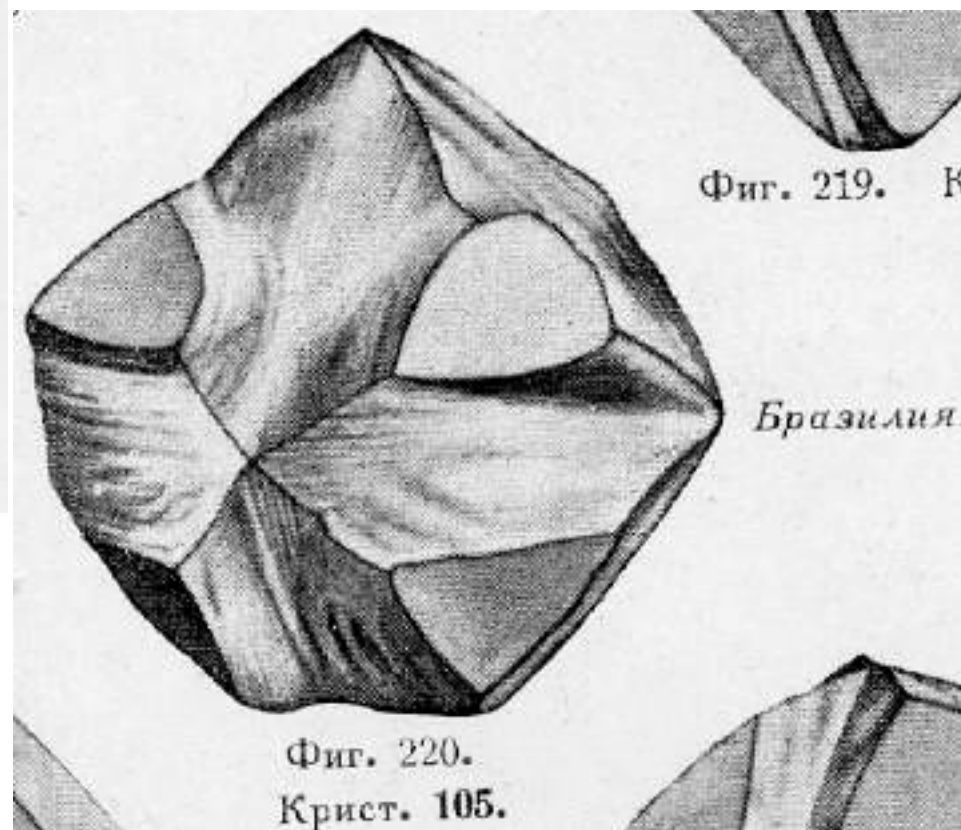
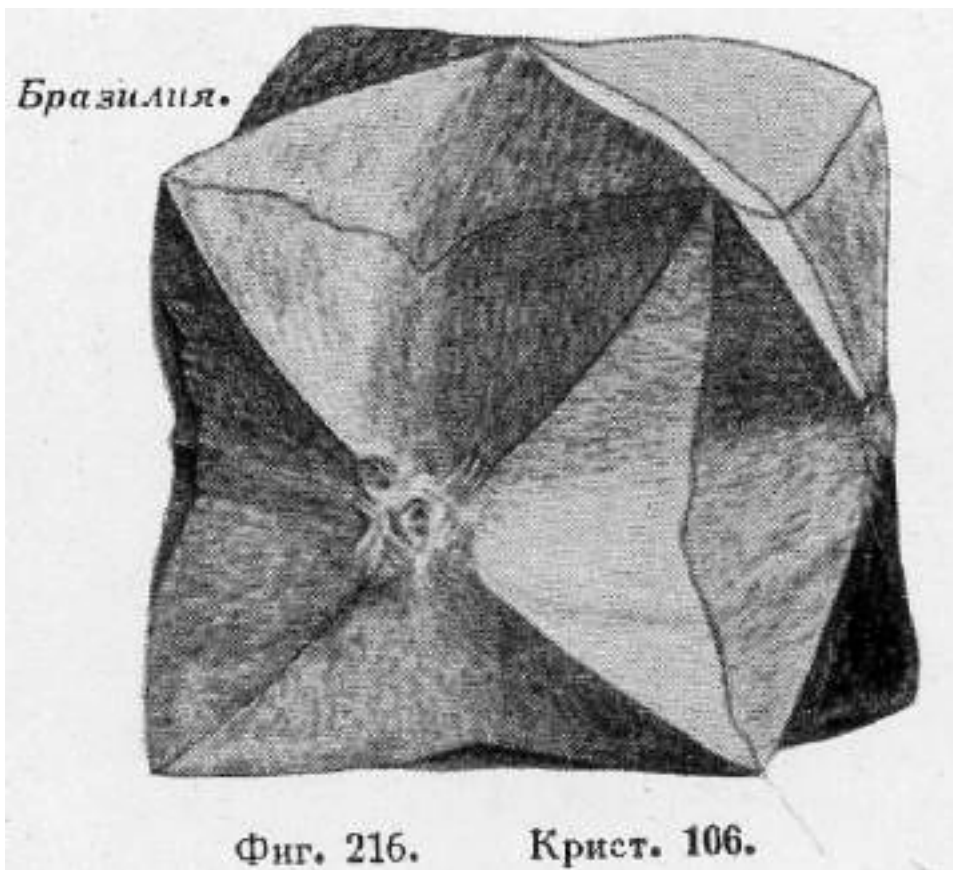
циркона (серый) и торита (белый)
в габбро-норит-долеритах Аю-Дага, Горный Крым



Фотографии в
отражённых
электронах

Э.М. Спиридонов, С.В. Филимонов, Е.С. Семиколенных, Н.Н. Кривицкая,
2018. Вестник МГУ. Геология. № 5. С. 70-78.

Скульптуры растворения кристаллов алмаза



А.Е. Ферсман. Кристаллография алмаза. М.: изд. АН СССР. 1955.
Скульптуры травления – растворения на кристалле алмаза

Рисунки А.Е. Ферсмана

Fig. 312.

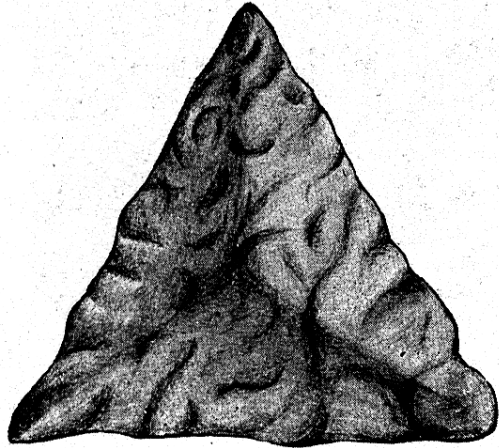


Fig. 313.

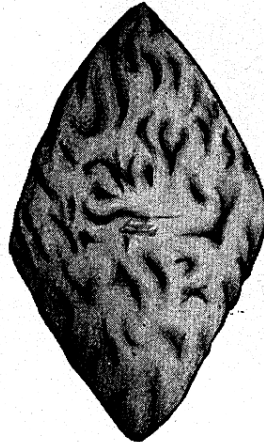


Fig. 314.

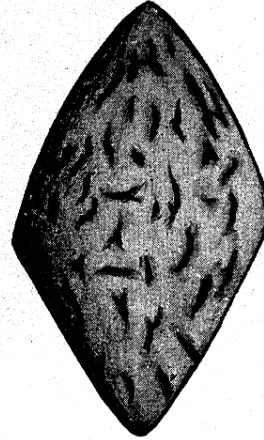


Fig. 324.

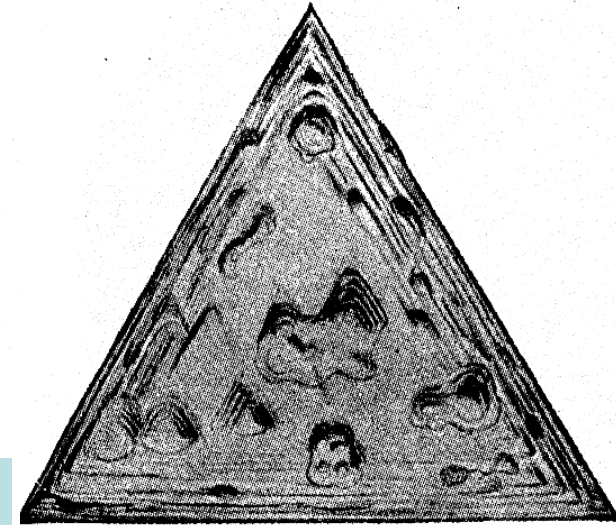
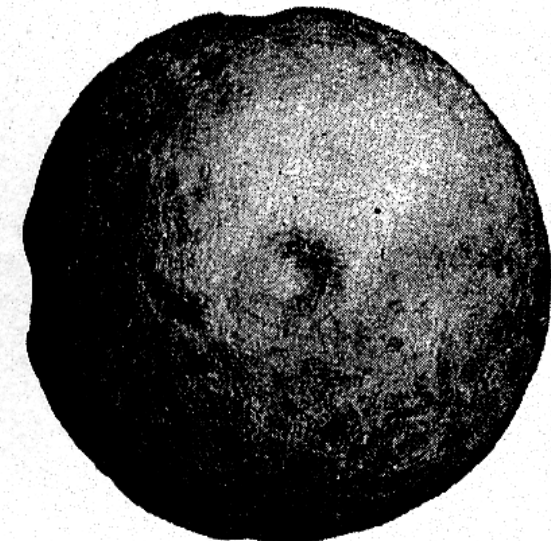
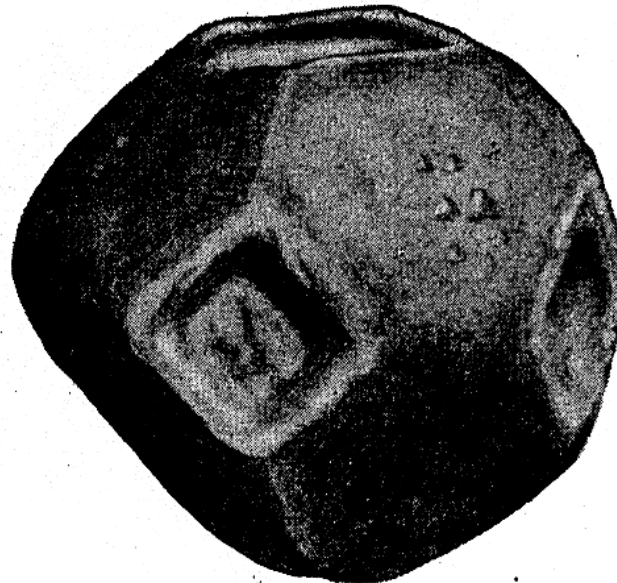


Fig. 310

Скульптуры растворения

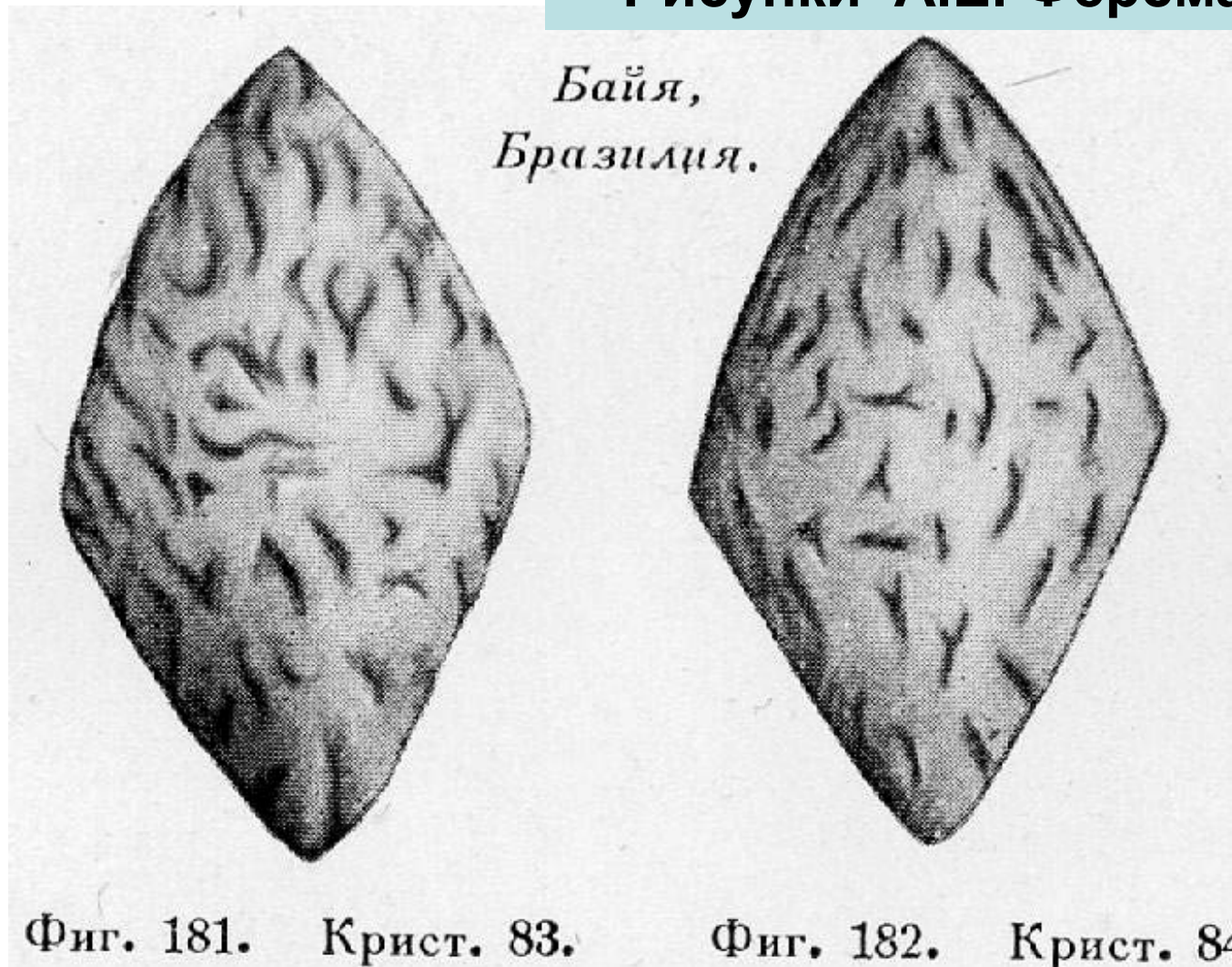


Fig. 323.



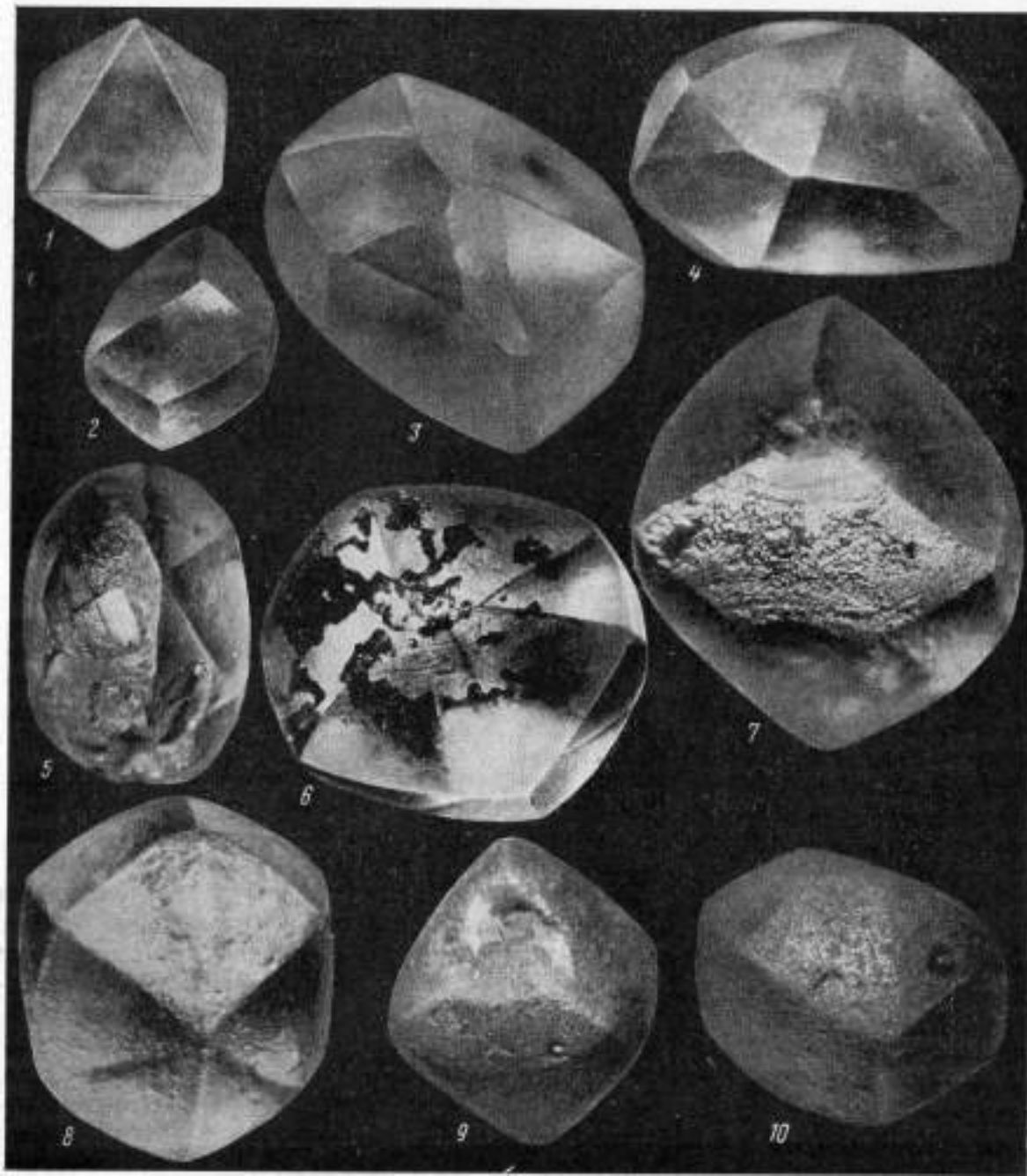
Скульптуры растворения кристаллов алмаза

Рисунки А.Е. Ферсмана



А.Е. Ферсман. Кристаллография алмаза. М.: изд. АН СССР. 1955.
«Обсосанные» октаэдры с кавернами травления – растворения
вдоль дислокаций

Рис. 53. Коррозионное матирование поверхности граней кристаллов алмаза (объяснение см. в тексте)

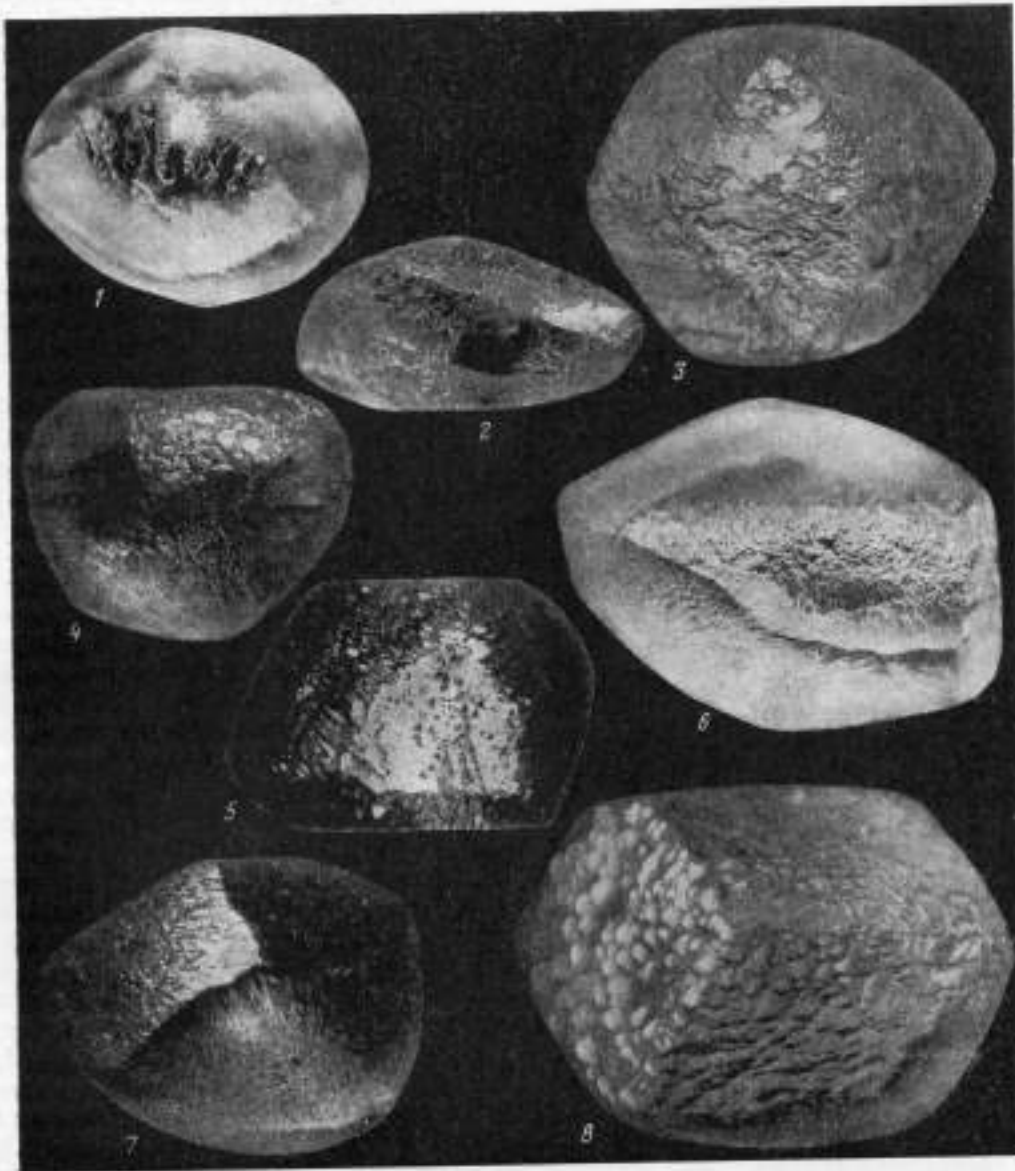


Скульптуры растворения кристаллов алмаза

Фотографии
из классической
монографии -

Орлов Ю.Л.
Минералогия алмаза.
М.: Наука. 1984. 263 с.

Рис. 54. Изменение характера поверхности и формы кристаллов в процессе коррозии
1 — ромбическая сетка поверхностных трещин на гранях додекаэдра, образующаяся в самом начале коррозии; 2 — 4 — сильное разделение поверхностных трещин при развитии коррозии; 5 — характерные скульптуры, развивающиеся на грани (111) и кринограничных поверхностях в процессе коррозии; 6 — 8 — додекаэдры, грани которых имеют характерную коррозионную скульптуру, образованную сочетанием многочисленных клиновидных холмиков



Скульптуры растворения кристаллов алмаза

Фотографии
из классической
монографии -

Орлов Ю.Л.
Минералогия алмаза.
М.: Наука. 1984. 263 с.

**Fersmann A. & Goldsmidt V. Der Diamant. Atlas. Carl Winter:
Heidelberg. 1911. 274 s.**

Fig. скульптуры интенсивного растворения кристаллов алмаза

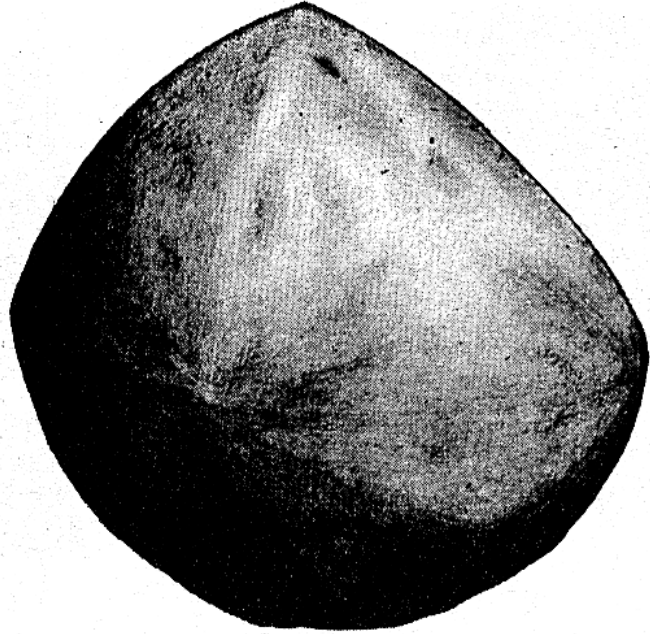


Fig. 54.

Fig. 269.

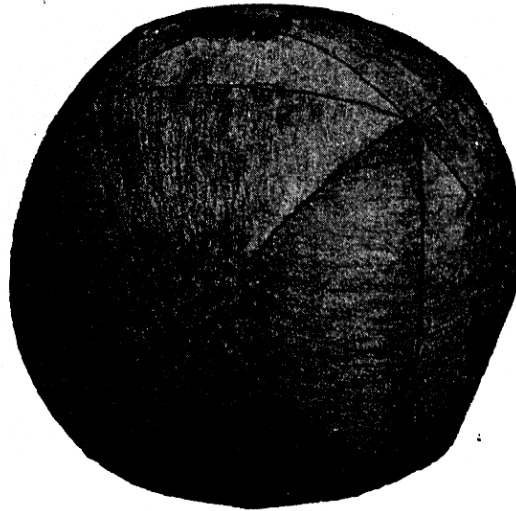


Fig. 260.

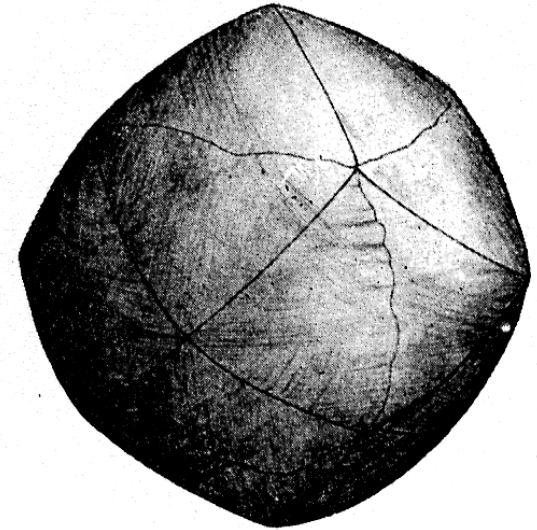


Fig. 57.

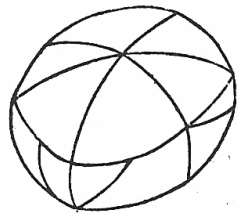


Fig. 58.

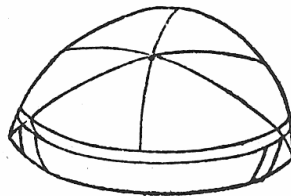


Fig. 90.

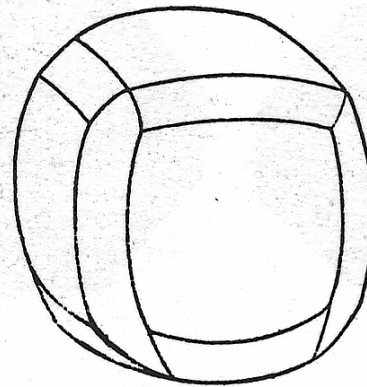


Fig. 84.

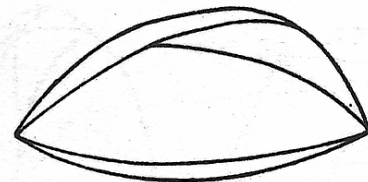
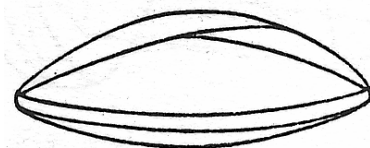
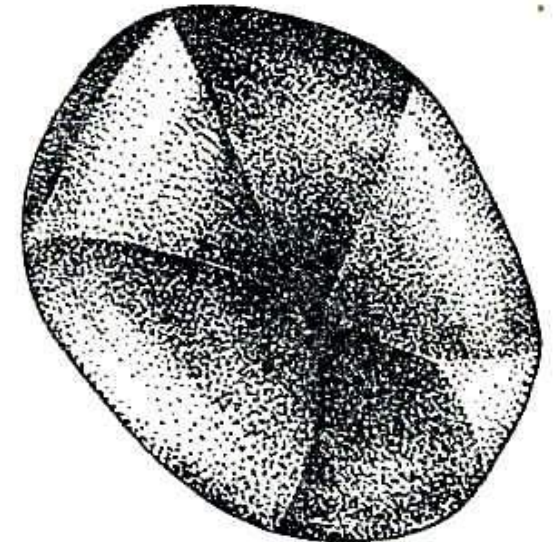
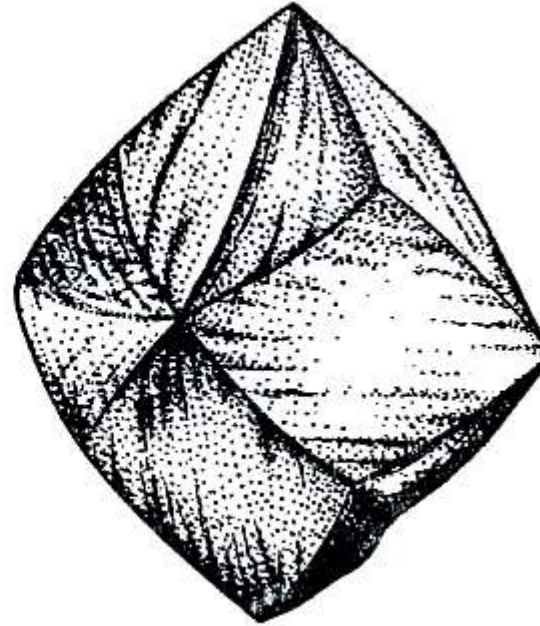
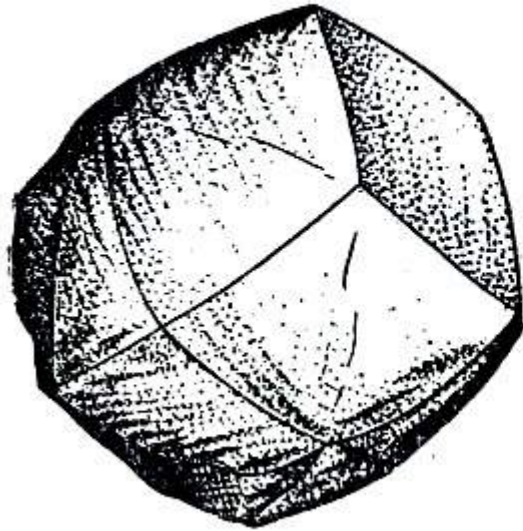


Fig. 85.



**Fersmann A. & Goldsmidt V. Der Diamant. Atlas. Carl Winter:
Heidelberg. 1911. 274 s.**

Рисунки А.Е. Ферсмана



Додекаэдриды растворения алмаза

Скульптуры растворения кристаллов алмаза

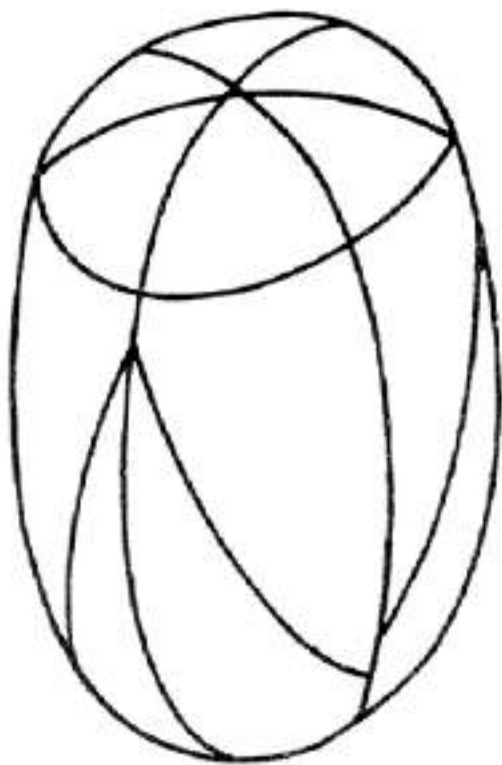


Рис. 119.
Bournon. Cat. 1815,
tab. 3, fig. 41.



Рис. 120.
Bournon. Cat. 1815,
tab. 3, fig. 42.

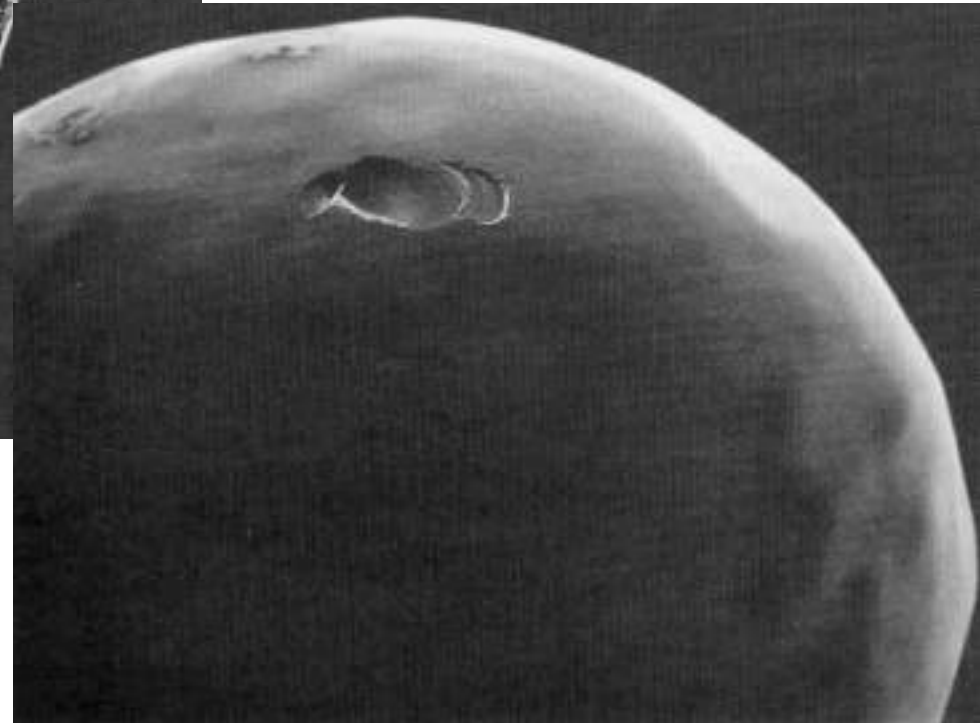
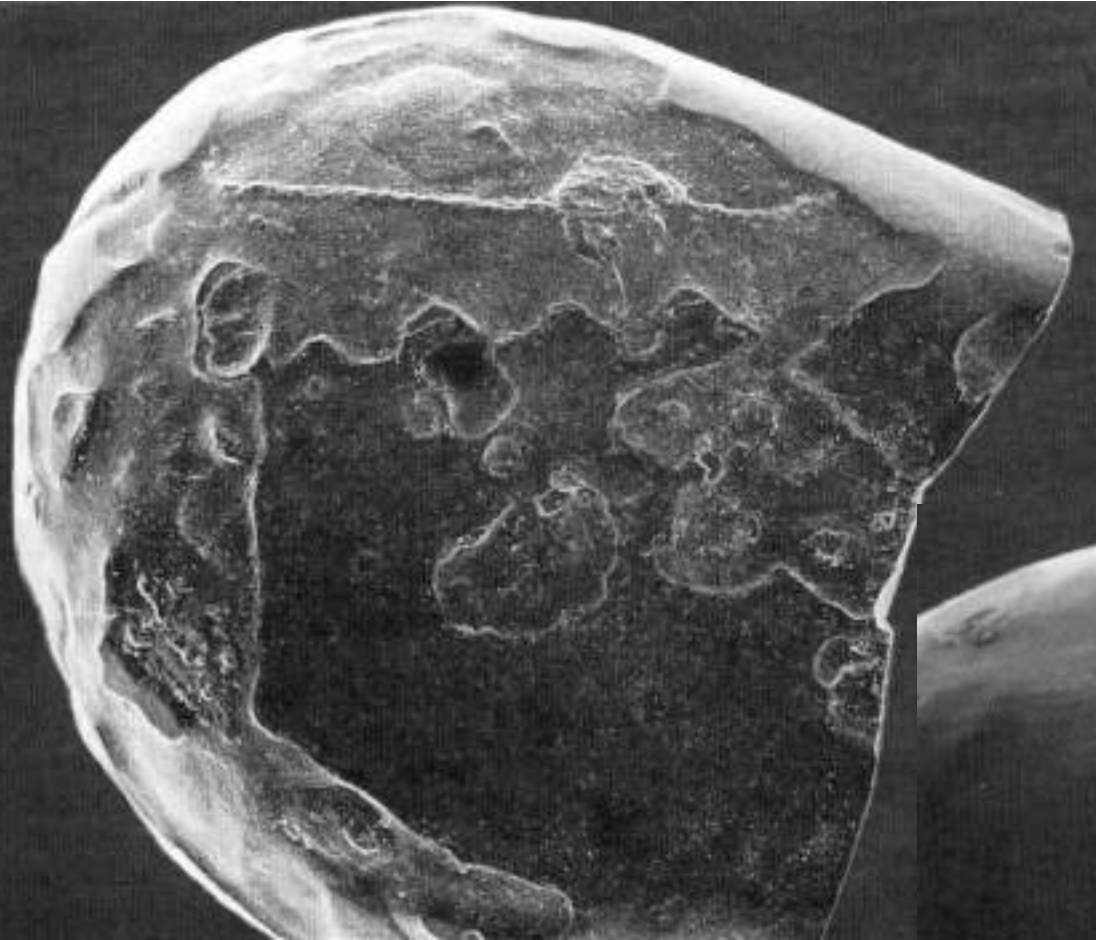
J.L. de Bournon.

Catalog de la collection minéralogique particulière du roi. Paris. 1817. P. 149-156.

Фигуры предельного растворения - додэкаэдроиды

Скульптуры растворения кристаллов

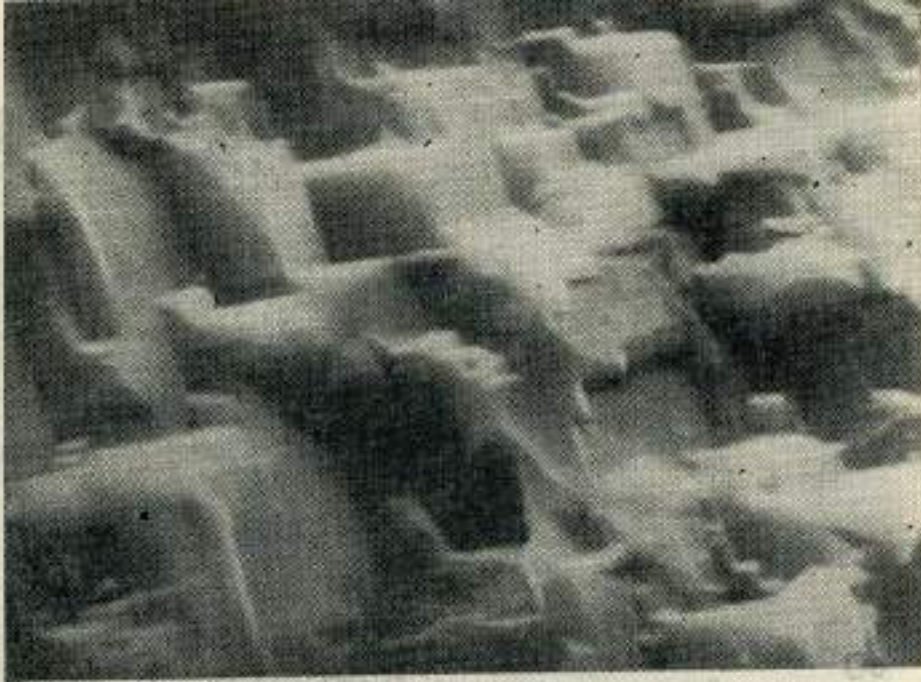
Пиропы мегакристаллов в кимберлитах Якутии



Фигуры
растворения

Скульптуры растворения кристаллов

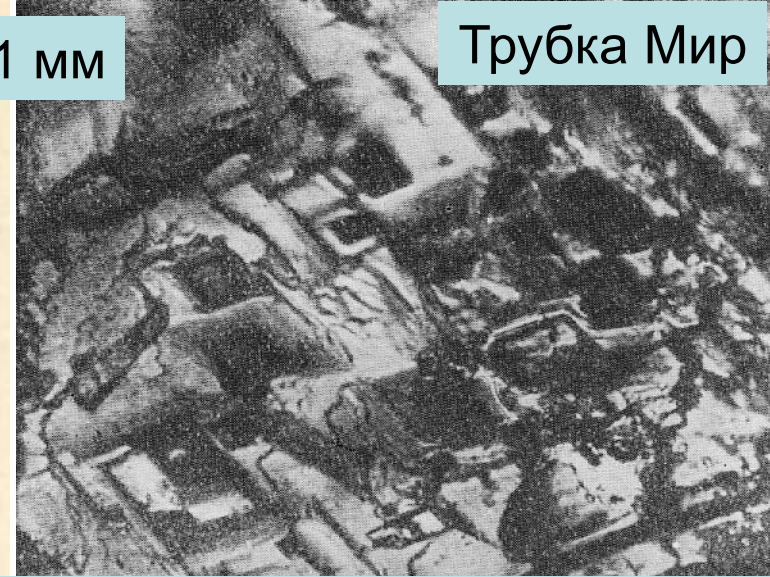
пиропы мегакристаллов в кимберлитах. Е.В. Францессон



Микроскопический пирамидально-черепитчатый рельеф растворения на зерне пиропы трубки Мир. Увел. 500.

1 мм

Трубка Мир



Ямки травления ромбической формы на поверхности кристалла



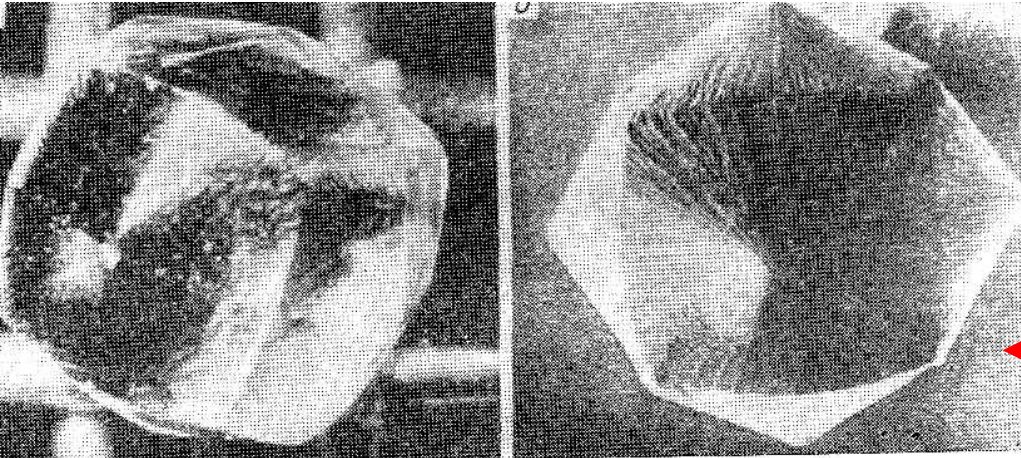
Конусы
растворения.
1 мм



Черепитчатый рельеф на сильно растворенном зерне пиропы трубки Мир. Увел. 100.

Скульптуры растворения кристаллов

Представляют интерес формы (скульптуры и тела) растворения искусственно выточенных шаров различных веществ



Периклаз
 MgO .

Хейнман,
1979

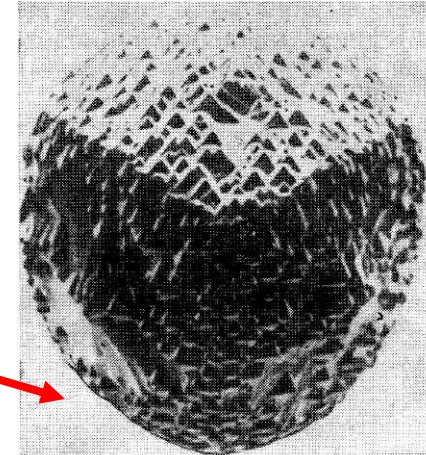
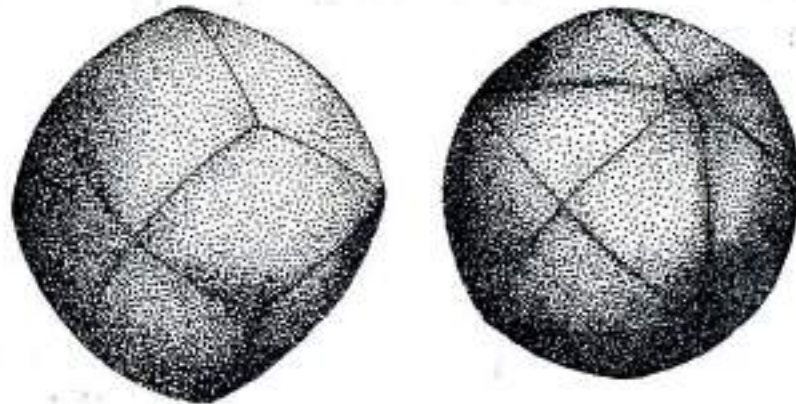
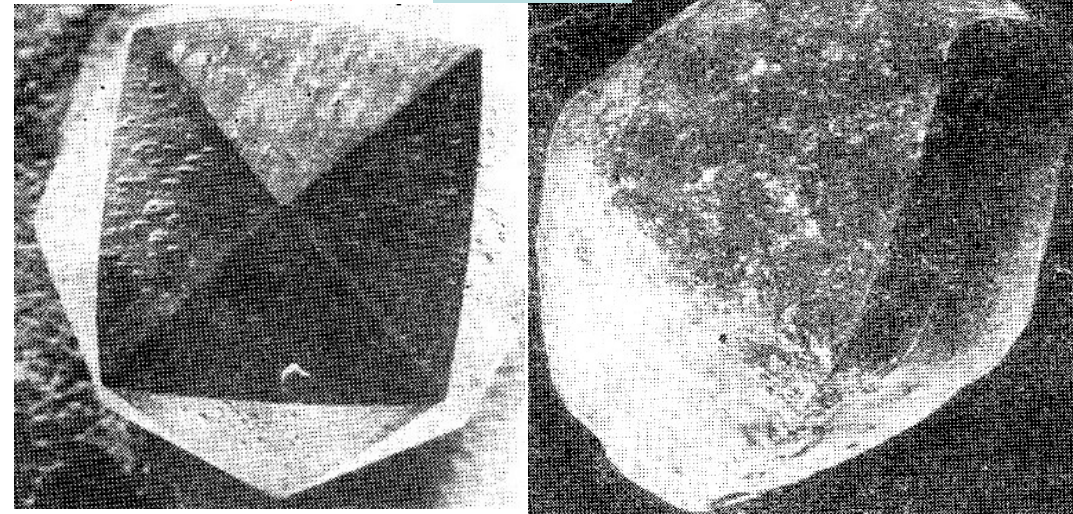


Рис. 8. Холмики травления на шаре MgO , протравленном в 6 н. HCl при $20^\circ C$. Вид со стороны $[111]$. Увеличение 26 (стереосканирование).



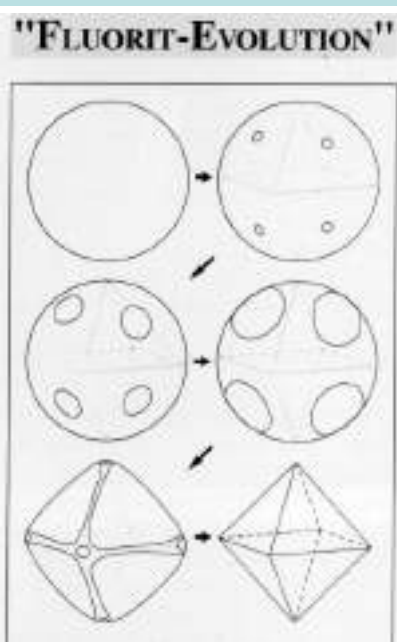
Шпинель.
Ф. Ринне

Рутил



Скульптуры растворения кристаллов

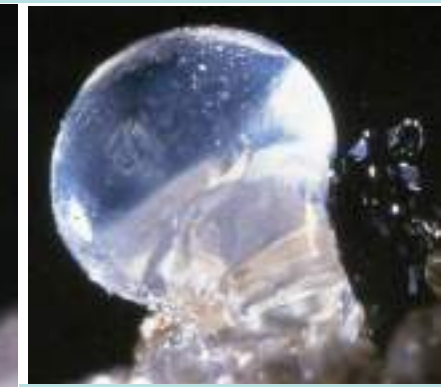
Представляет интерес природный процесс огранки шарообразных выделений минералов при их растворении



1. Шар 1.5 мм



2. Шар 0.6 мм



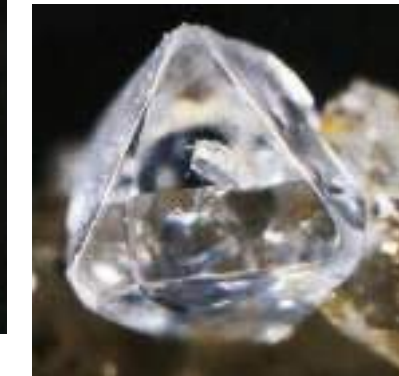
3. Шар 1.7 мм. Начало огранки



4. Слабая огранка



5 и 6. 1.2 мм. Заметная огранка



1.4 мм. Шар преобразован в октаэдр

Флюорит из продушин в трахитах четвертичного возраста. Лаахер, Эйфель, Германия

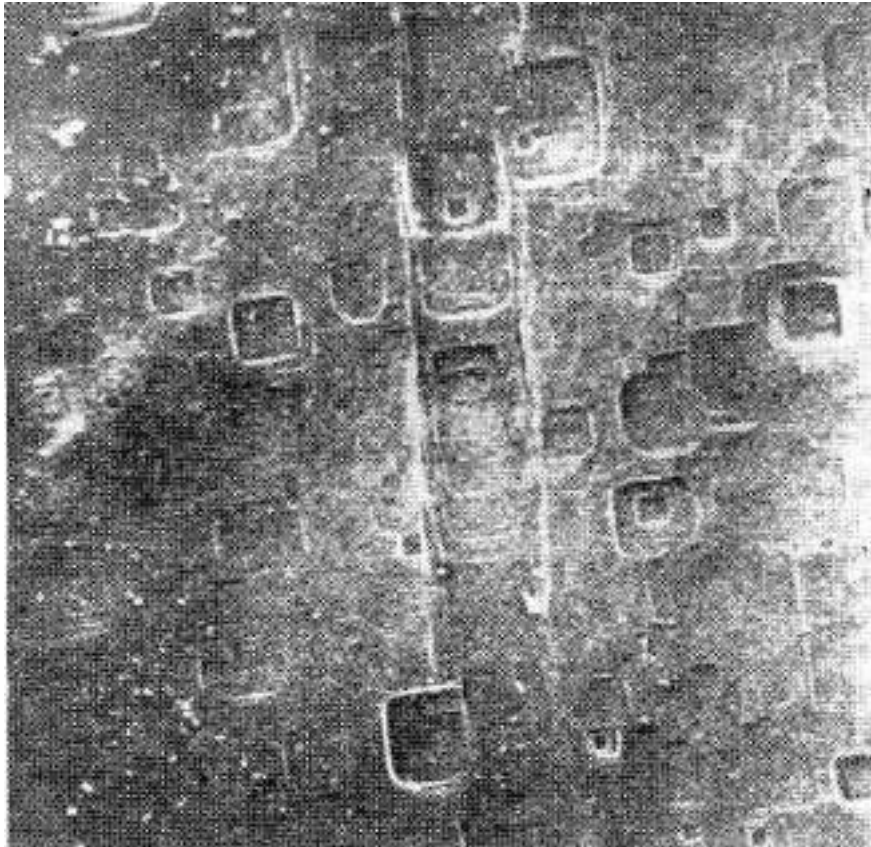
Растворение кристаллов

Различные грани кристалла растворяются с неодинаковой скоростью. Те грани, которые растворяются наиболее интенсивно, обычно не покрываются ямками и холмиками травления, остаются более или менее гладкими – пинакоид у берилла, ромбоэдр у кварца, пирамиды у топаза. Грани кристалла, которые растворяются с наименьшей скоростью, обычно покрыты многочисленными и наиболее развитыми скульптурами растворения – ямки травления (иногда их называют вицинали травления; в отличие от вициналей роста это углубления на поверхности кристалла, а не наросты), желобки, каверны, конусы, отрицательные пирамиды и дипирамиды, призмы, их разнообразные комбинации. Это грани призмы и у берилла, и у кварца, и у топаза. Особенно охотно растворение происходит вдоль плоскостей спайности, отдельности и в зонах дробления внутри кристалла. Поэтому ямки травления на кристаллах периклаза со спайностью по кубу – квадратные, на кристаллах флюорита со спайностью по октаэдру – треугольные...

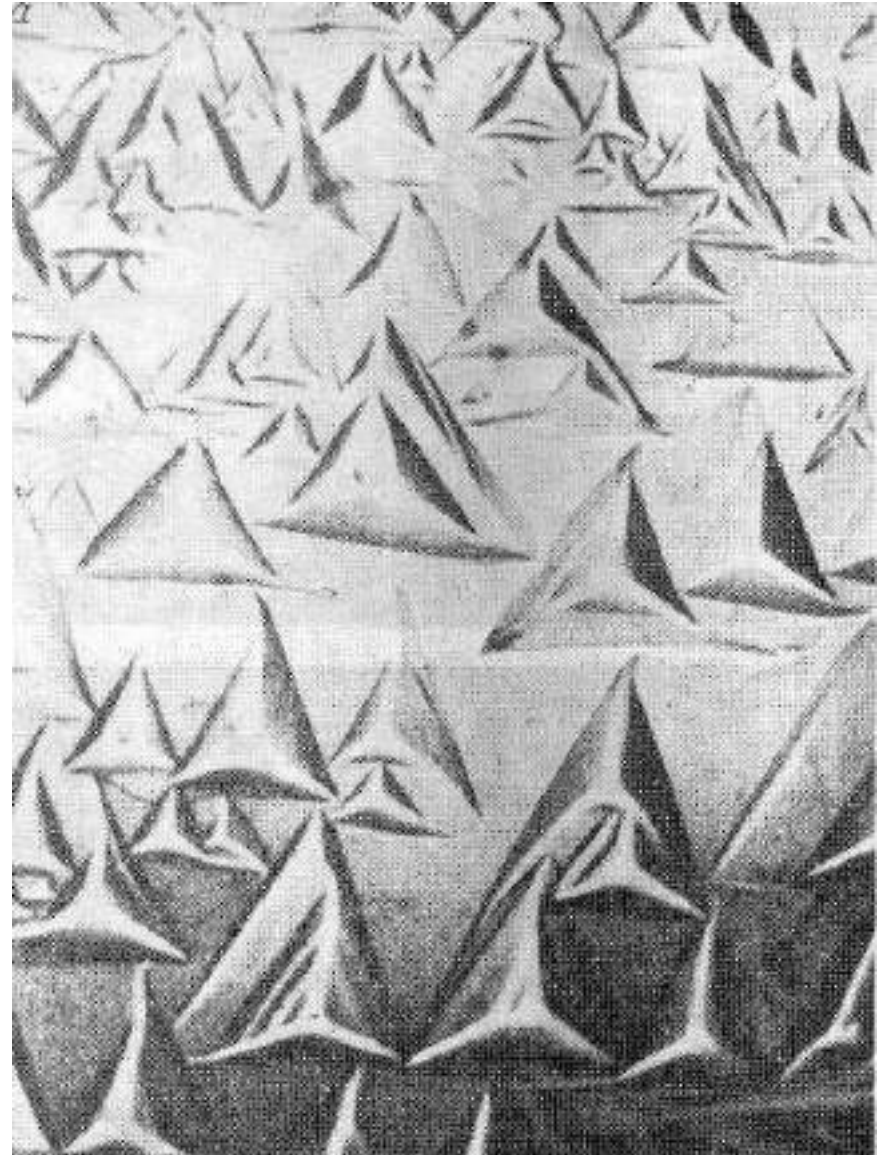
По форме фигур травления и по их ориентации можно определить присутствие тех или иных элементов симметрии и то, представляет ли данное тело монокристалл, поликристалл или двойник. Так, на гранях ромбоэдра у кальцита ямки – фигуры травления имеют плоскости симметрии, а ямки травления у доломита не имеют плоскостей симметрии.

Растворение кристаллов

Ямки - скульптуры травления - растворения



На грани [100] периклаза



На грани [111] флюорита

Скульптуры растворения кристаллов алмаза



10x10 мм, 17.8 карат.
Mato Grosso, Бразилия



Треугольники
травления
на гранях октаэдра

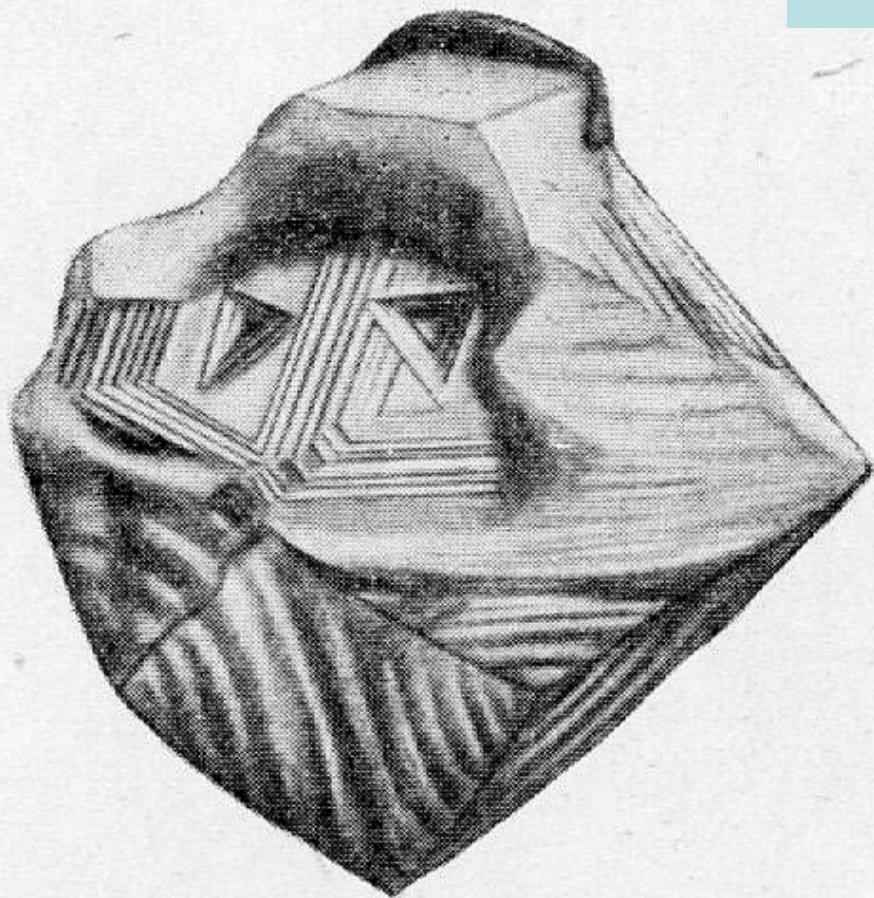
Скульптуры растворения кристаллов алмаза



Следы травления – растворения по крайней мере двух стадий:
1. медленное растворение с образованием правильных и довольно крупных отрицательных пирамид; правый кристалл после этого был расколот; 2. быстрое растворение с образованием мелко бугорчатого рельефа

Скульптуры растворения кристаллов алмаза

Рисунок А.Е. Ферсмана



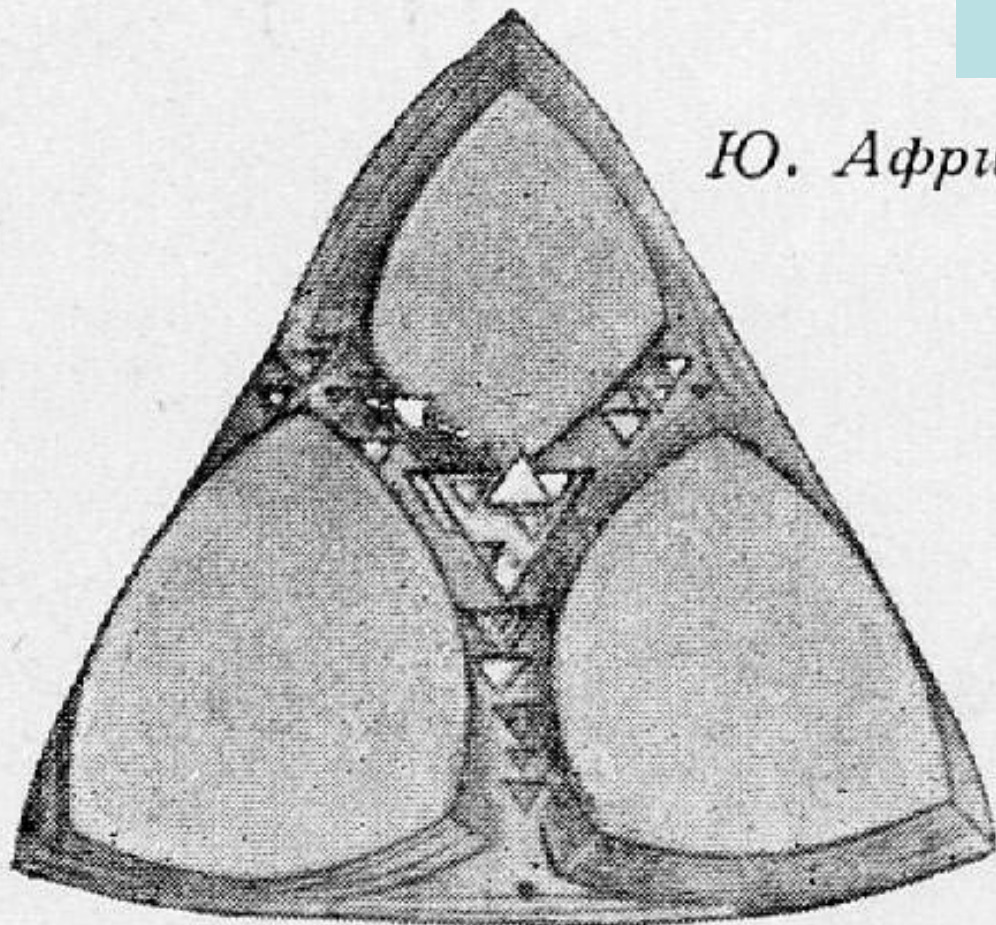
Фиг. 179. Крист. 82.

Кристалл алмаза со сложной историей. Расшифруйте.

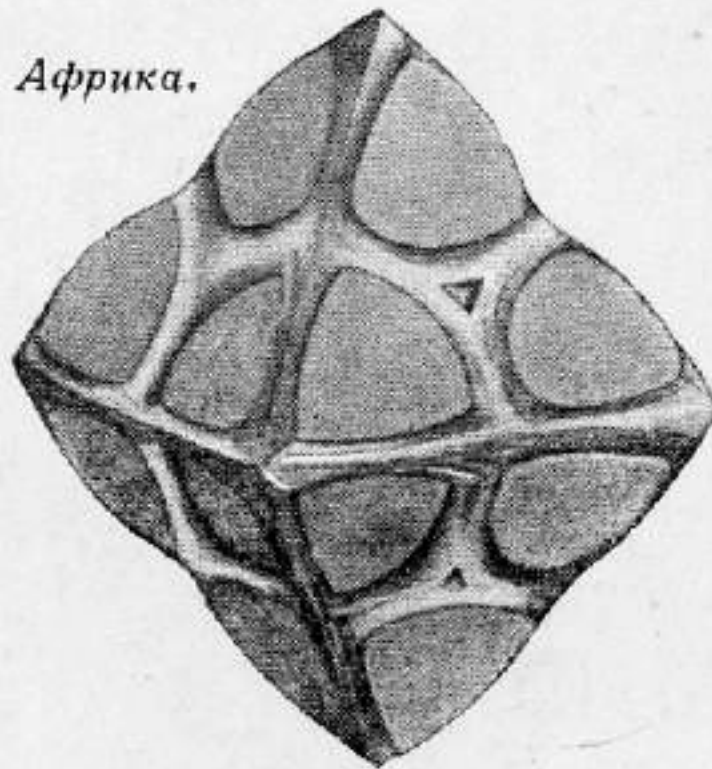
Скульптуры растворения кристаллов алмаза

Рисунки А.Е. Ферсмана

Ю. Африка



Ю. Африка,



Фиг. 74.

Крист. 25.

Фиг. 73.

Крист. 25.

Кристаллы алмаза со сложной скульптурой - роста или растворения ?

А.Е. Ферсман Кристаллография алмаза. М.: изд. АН СССР. 1955. 450 с.

Скульптуры растворения кристаллов

Берилл - гелиодор.
12x9 см.
Гранит. пегматиты,
Волынь, Украина

Сколько
поколений
скульптур
растворения ?



Растворение кристаллов

Форма ямок - скульптур травления – растворения различная на разных гранях кристалла

Кристалл пирита

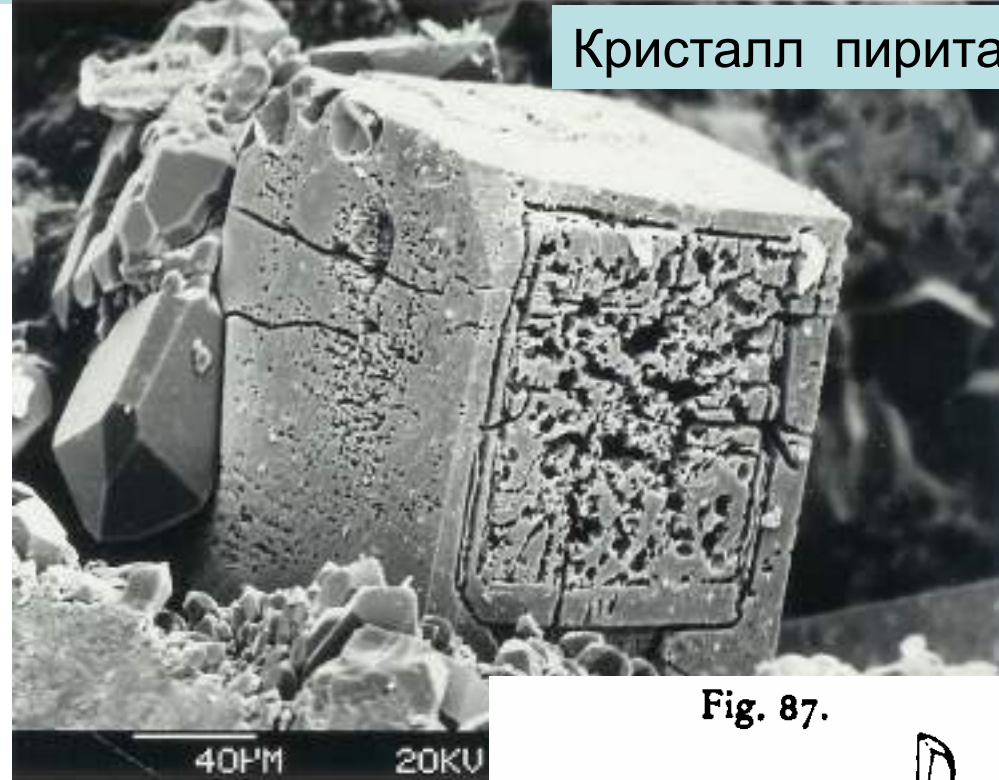
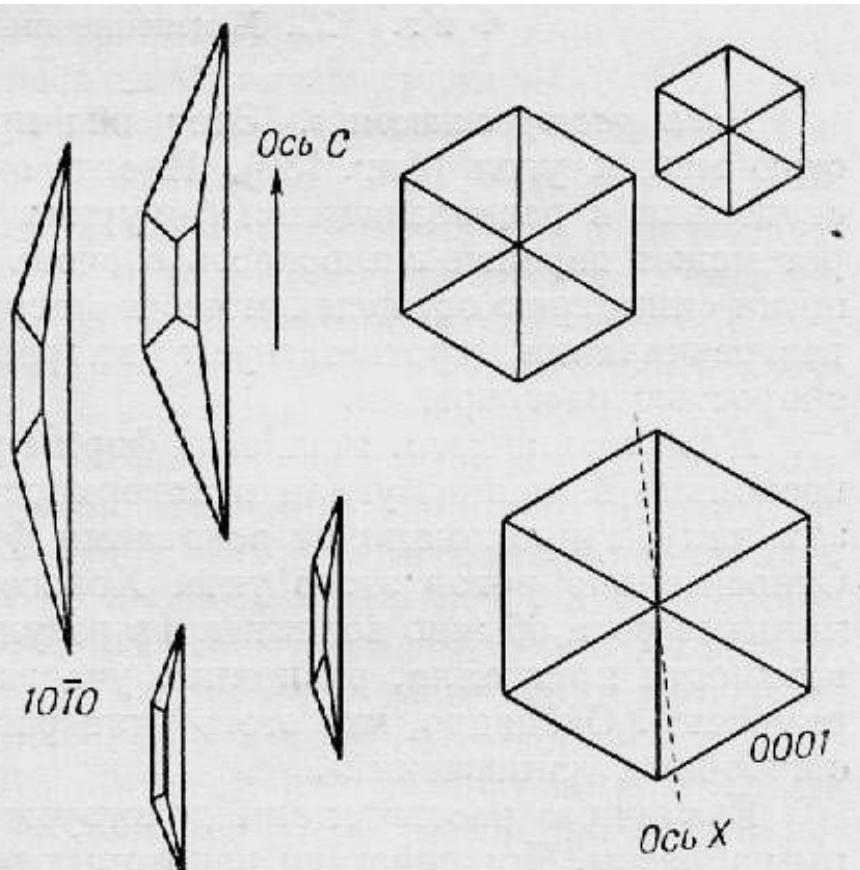
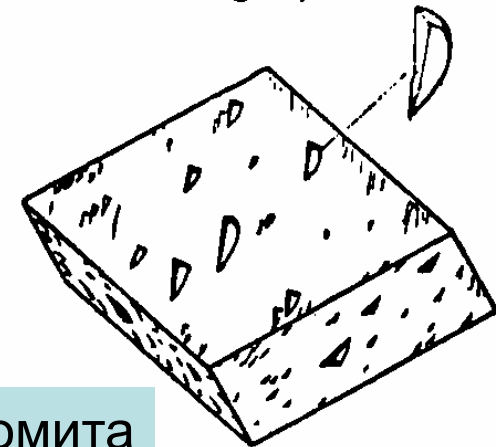


Fig. 87.



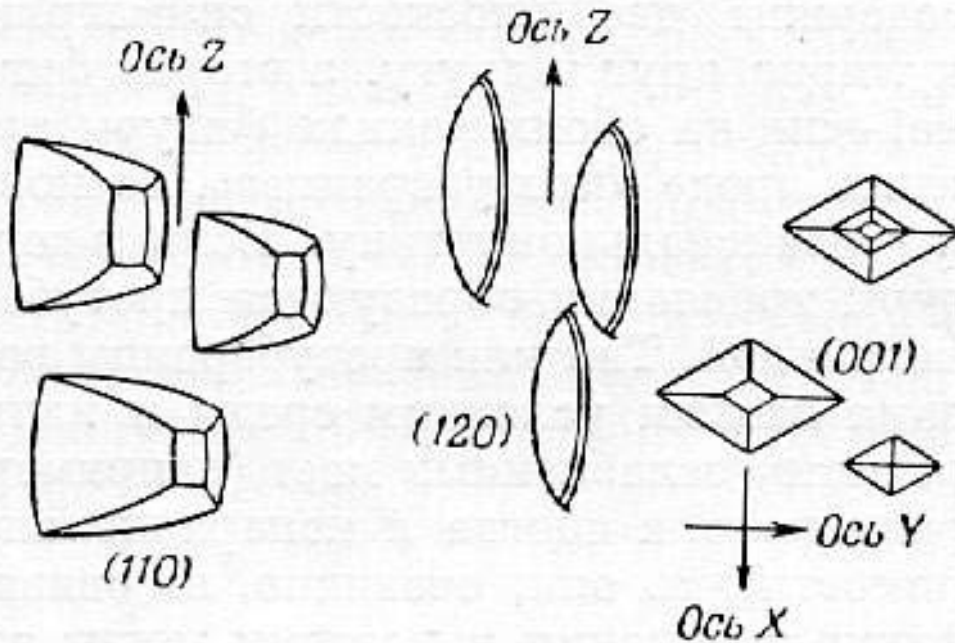
Ф и г. 129. Фигуры травления на гранях $(10\bar{1}0)$ и (0001) апатита.

Кристалл доломита

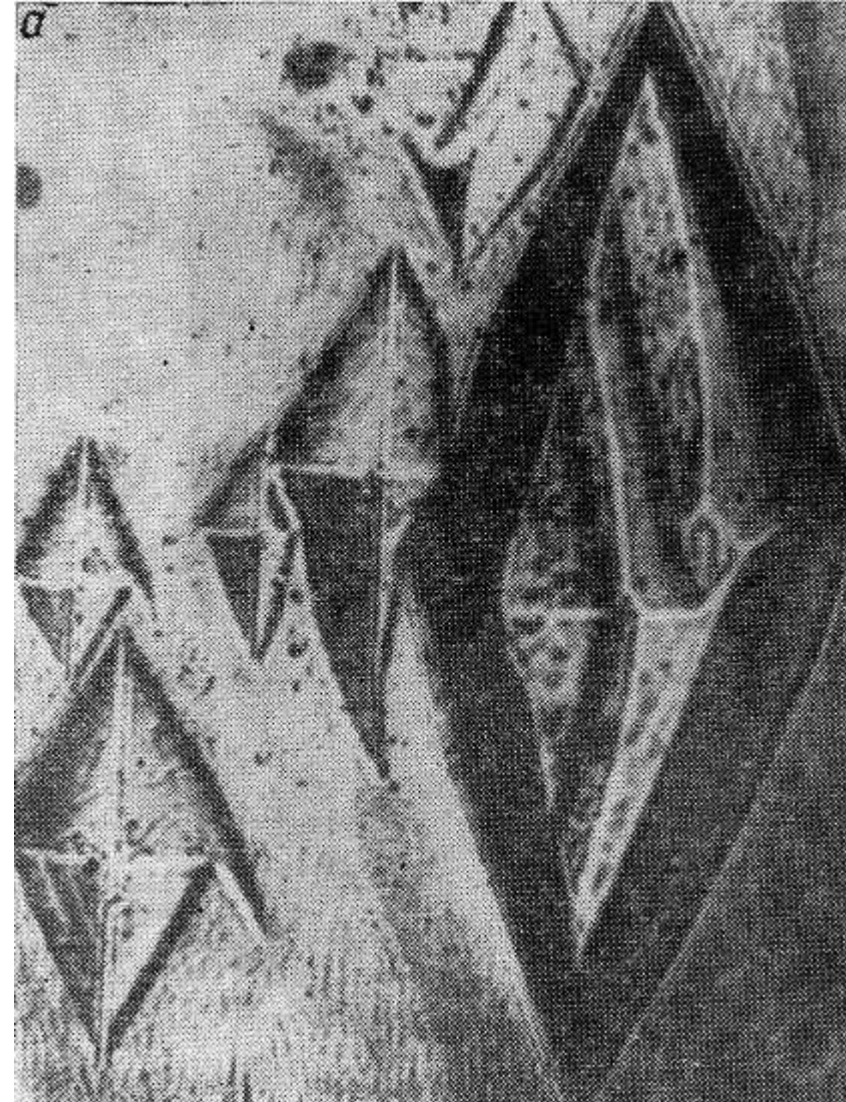


Растворение кристаллов

Форма ямок - скульптур травления – растворения различная на разных гранях кристалла



Ф и г. 128. Фигуры травления на гранях (110), (120) и (001) топаза.



На грани пинакоида [001]

Растворение кристаллов

Форма ямок - скульптур травления – растворения различная на разных гранях кристаллов берилла



0,5 мм.

На грани
призмы



Фиг. 8. Фигуры травления на вскрытой поверхности грани дипирамиды $\{1121\}$ бледно-розового короткопризматического берилла. Увел. 200

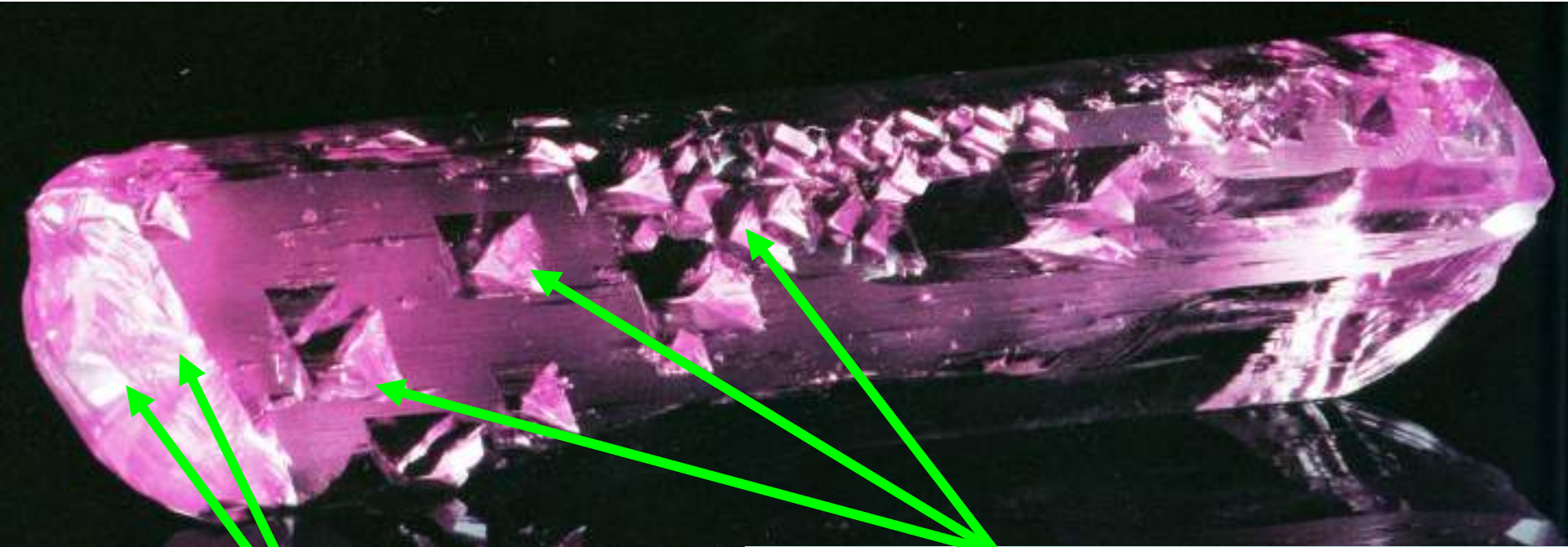
На грани гексагональной
дипирамиды

Ю.М. Дымков, Г.А. Дымкова, 1970.
Признаки многократного растворения
кристаллов берилла. В кн.:
Онтогенические методы изучения
минералов. М.: Наука. С. 109-123.

Скульптура растворения грани призмы зеленовато-желтого берилла

Растворение кристаллов

Ямки – скульптуры - пирамиды травления - растворения



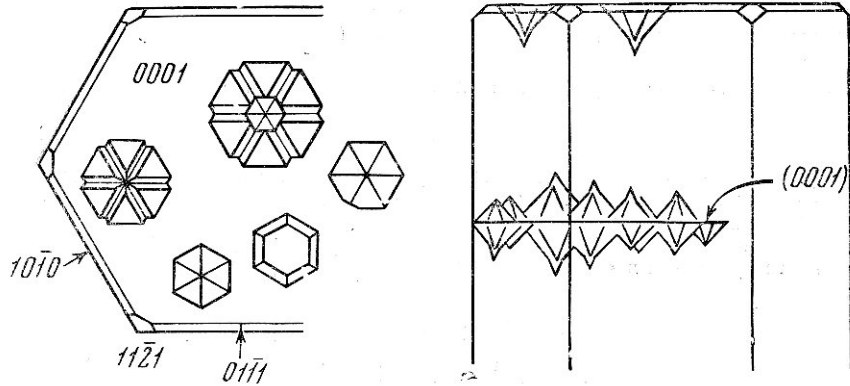
скульптуры медленного растворения

скульптуры быстрого растворения

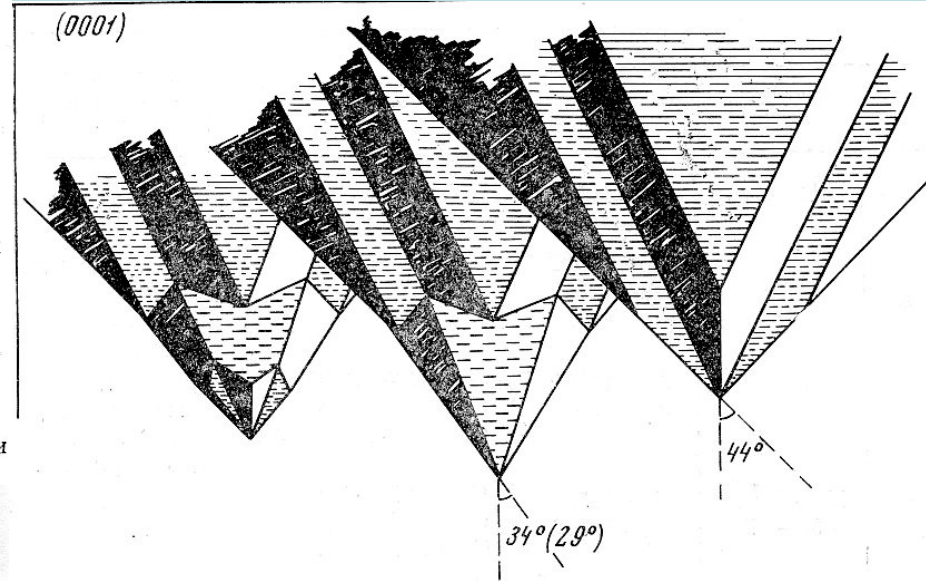
Сподумен – кунцит. 95x28 мм.
Lavra do Urucum, Galilea.
Минас Жераис, Бразилия

Растворение кристаллов

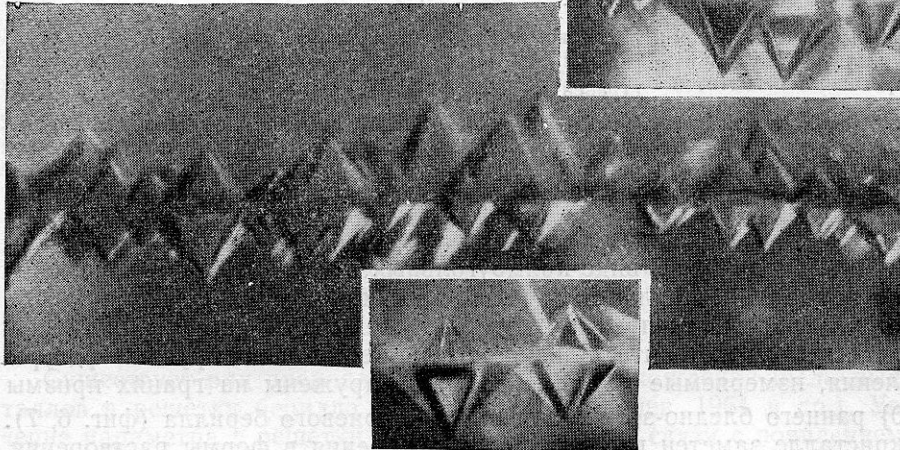
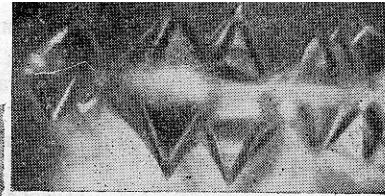
Форма ямок - скульптур травления – растворения: правильная «огранённая» при медленном, овальная - при быстром травлении



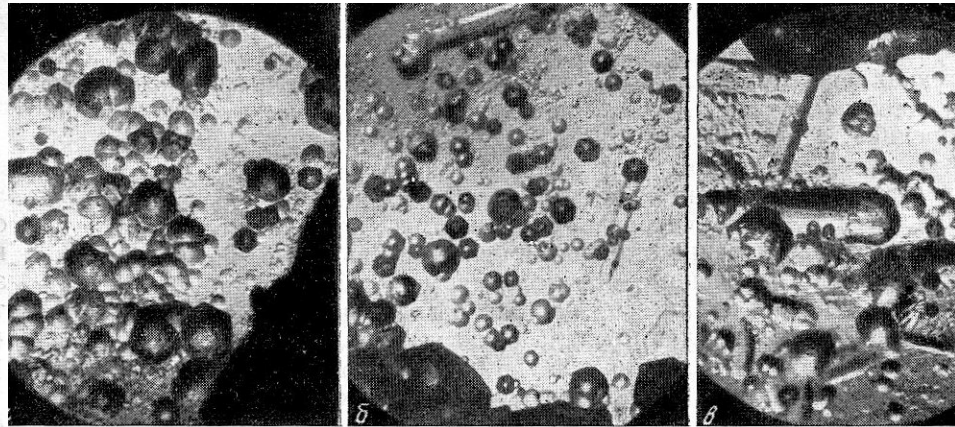
Фиг. 3. Схема ориентировки фигур травления (отрицательных пирамид) на грани {0001} и внутри бесцветного кристалла берилла



Разновидности отрицательных пирамид растворения

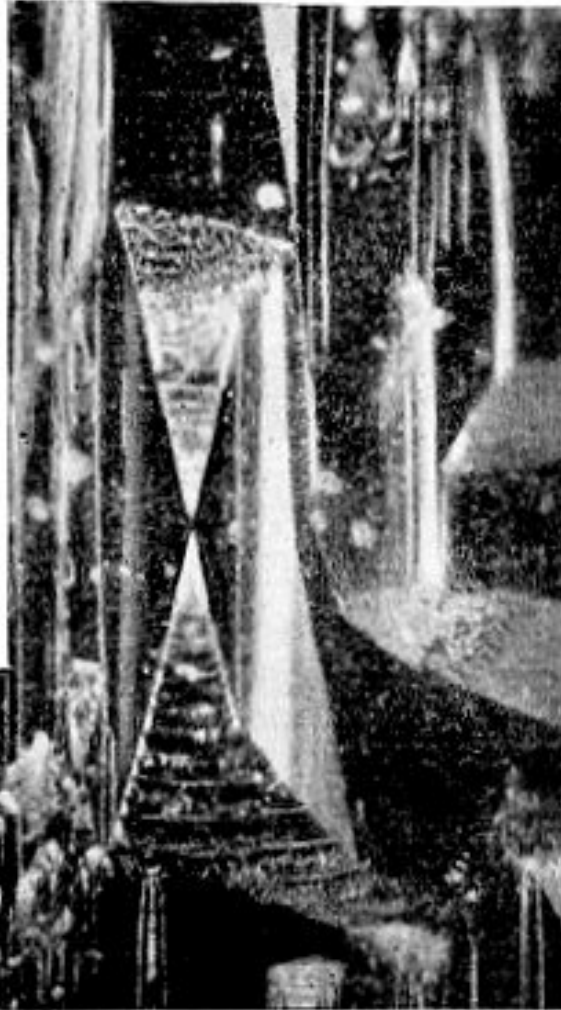


Фиг. 4. Фигуры травления — отрицательные пирамиды и дипирамиды, образовавшиеся внутри кристалла берилла вдоль трещины, параллельной пинакнду. Деталь внутреннего строения кристалла, изображенного на фиг. 3. Увел. 70



Фиг. 11. Генерации и зарождения округлых и плоскогранных фигур травления на грани {0001}. Увел. 80

Растворение кристаллов



Форма ямок –
скульптур травления
– растворения
на грани призмы
кристаллов берилла.

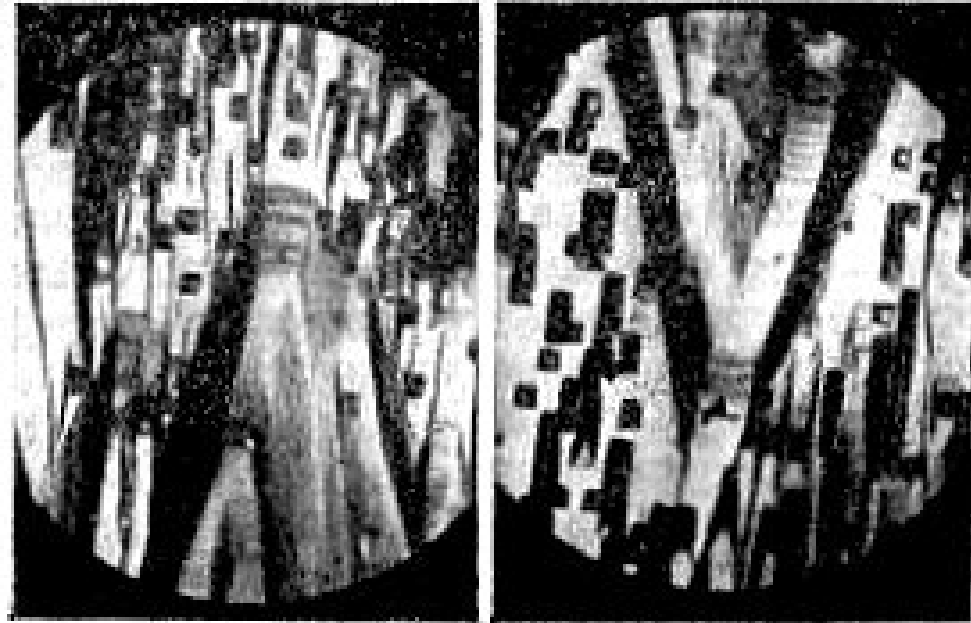
Ю.М. Дымков,
Г.А. Дымкова, 1970.
Признаки многократного
растворения
кристаллов берилла.

В кн.:
Онтогенические методы
изучения минералов.
М.: Наука. С. 109-123.

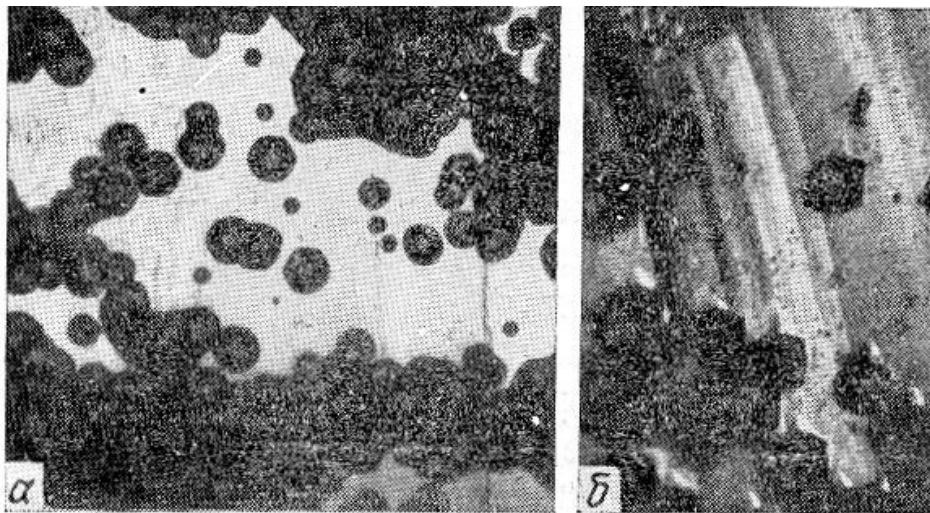
Растворение кристаллов

Форма ямок - скульптур травления – растворения
на кристаллах берилла

Ю.М. Дымков, Г.А. Дымкова, 1970.
Признаки многократного
растворения кристаллов
берилла. В кн.:
Онтогенические методы
изучения минералов.
М.: Наука. С. 109-123.



Две генерации
ямок травления



травления на грани призма берилла. Увел. 80

Фиг. 9. Два зарождения фигур травления на грани пинакоида (а) и на поверхности излома (б). Увел. 80

Скульптуры растворения кристаллов

Берилл - гелиодор Волынского месторождения (Украина)

Фото М.А. Богомолова

67 мм



Колл. Э.М. Спиридонова

Скульптуры растворения кристаллов

Берилл - гелиодор. Гранит. пегматиты, Волынь, Украина

65 мм



Скульптуры растворения кристаллов

Берилл - гелиодор. Гранит. пегматиты, Волынь, Украина

80x30x30 мм



Скульптуры растворения кристаллов

Берилл - гелиодор. Гранит. пегматиты, Волынь, Украина

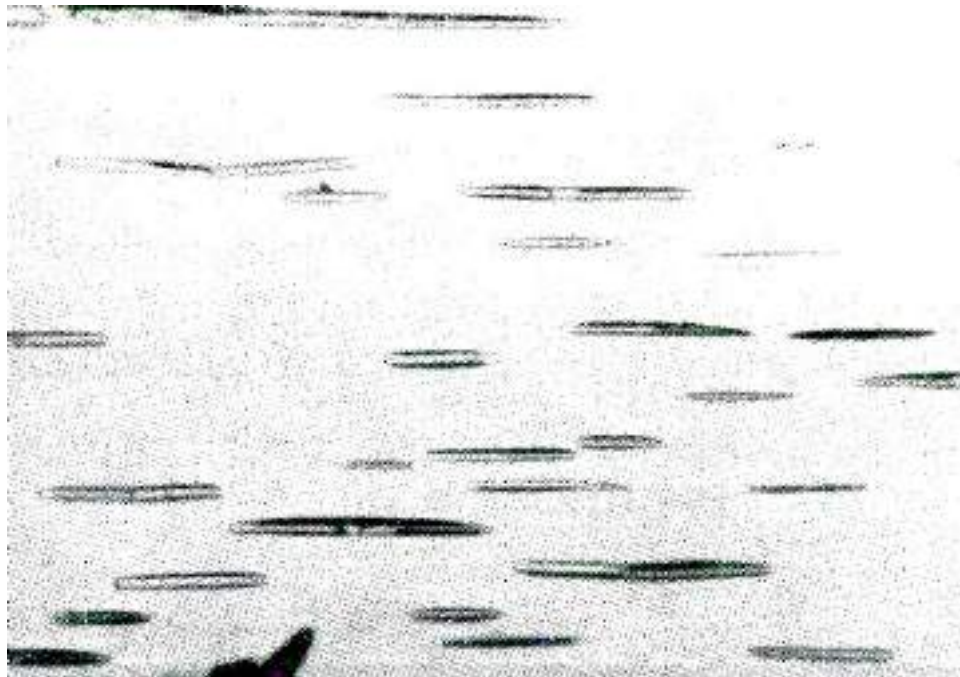


Скульптуры растворения кристаллов

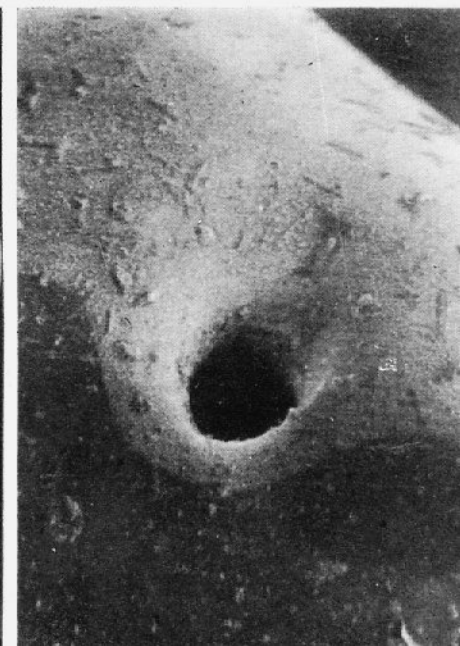
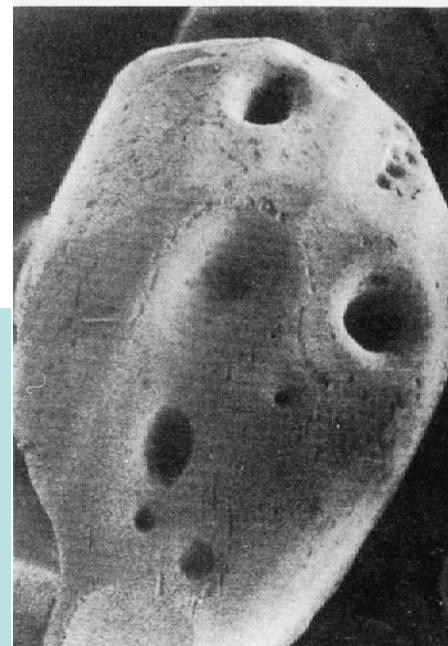
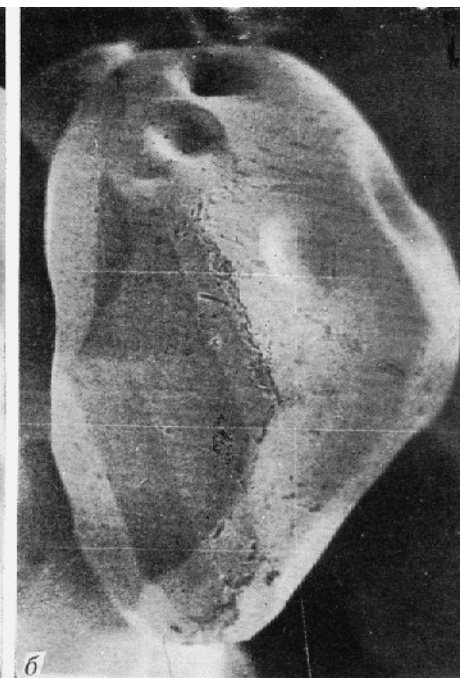
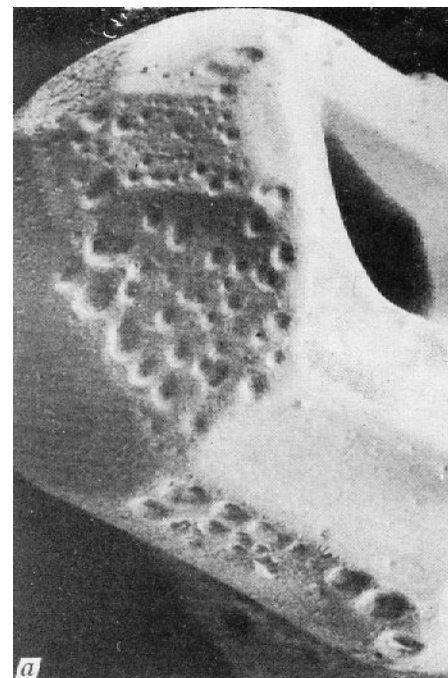
Берилл - гелиодор. Гранит. пегматиты, Волынь, Украина



Поверхности испарения – сублимации



Ямки на поверхности кристалла йодида-сульфида сурьмы. 0.5 мм



Ямки на поверхности кристаллов серы размером 0.2 мм.
Из возгонов угольного пожара

Поверхности оплавления (и/или сублимации) льда



Поверхности оплавления (и/или сублимации) льда





Жерло вулкана Авачинский со свежей лавой 1991 года и фумаролами, отлагающими самородную серу, которая часто тут же плавится

Поверхности оплавления самородной серы



Вулкан Менделеева, остров Кунашир, Курильские острова

Растворение кристаллов

Установление факта полного растворения кристаллов и сферолитов по форме отпечатков граней, индукционных поверхностей, по форме полостей среди сохранившихся от растворения минералов обычно не вызывает серьёзных затруднений, так же как и установления полного растворения ядер кристаллов. Трудности возникают при определении признаков полного растворения внешних зон кристаллов и сферолитов в друзовых полостях. Иногда растворение внешних зон кристаллов удаётся восстановить по следующим признакам: 1) сохранение реликтовых внешних границ кристаллов минералами – присыпками; 2) сохранение отпечатков от совместно растущих кристаллов при резко анизотропном растворении их внешних граней.

При явлениях полного растворения сохранение формы индивидов и структурных особенностей агрегата возможно во многих случаях: сохранение формы растворившегося минерала труднорастворимым зернистым агрегатом (тонкозернистый кварц по карбонату, бариту, флюориту ...; тонкозернистый пластинчатый барит по флюориту, карбонату...); сохранение формы корками труднорастворимых минералов (корки гематита, кварца.. – по бариту, карбонату, флюориту...); сохранение формы труднорастворимыми продуктами замещения или

Растворение кристаллов

фазовых превращений, которые развиты по внешним зонам роста, по трещинам спайности или по характерным плоскостям отдельности... (полые трубчатые псевдоморфозы аргентита – акантита по самородному серебру...).

Вид исчезнувшего минерала определяется:

- а) сопоставлением формы псевдоморфоз, пустот, структур – текстур агрегатов в участках растворения с выделениями минералов в участках, не затронутых растворением;
- б) сопоставлением места исчезнувшего минерала в пространстве и во времени с соответствующими минералами, сохранившимися от растворения;
- в) установлением связи процессов регенерации и растворения (состав растворённого минерала может быть установлен по составу регенерированного);
- г) геохимическим анализом процесса (при неполном растворении за основу берутся реликты минерала).



Закат. Хову-Аксы, Тува. Фото ЭМС



Хову-Аксы, Тува. Фото ЭМС

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. Индивиды

Растворение кристаллов

018. Регенерация кристаллов

Регенерация кристаллов

Регенерация – восстановление структуры и свойств индивида после его повреждения, как у живых организмов. Для кристалла - восстановление плоскогранности, пряморёберности, островершинности, нарушенных при раскалывании и/или частичном растворении.

Исходная поверхность – неровная или крайне неровная, с массой выступов и впадин. Поэтому начальный этап регенерации – рост «агрегатный» между бугорками, что приводит к массовому захвату микроскопических включений раствора (среды кристаллизации). По этой причине зачастую регенерированные участки – мутные или даже молочно-белые среди прозрачного хрусталя, кальцита, флюорита, барита...

При регенерации сначала поверхность растворения покрывается бугорками роста с иррациональными, несингулярными «гранями», затем плоскими участками – сингулярными, ориентировка которых отвечает возможным граням кристалла, включая грани с высокими индексами. Далее грани с высокими индексами (быстро растущие) выклиниваются. Они уступают место рациональным граням, растущим послойно, относительно медленно. Степень завершённости регенерации зависит прежде всего от масштаба повреждения. Поэтому одновременно возникшие и регенерированные осколки кристаллов кварца в одной полости одной кварцевой жилы могут являть широкий спектр полноты

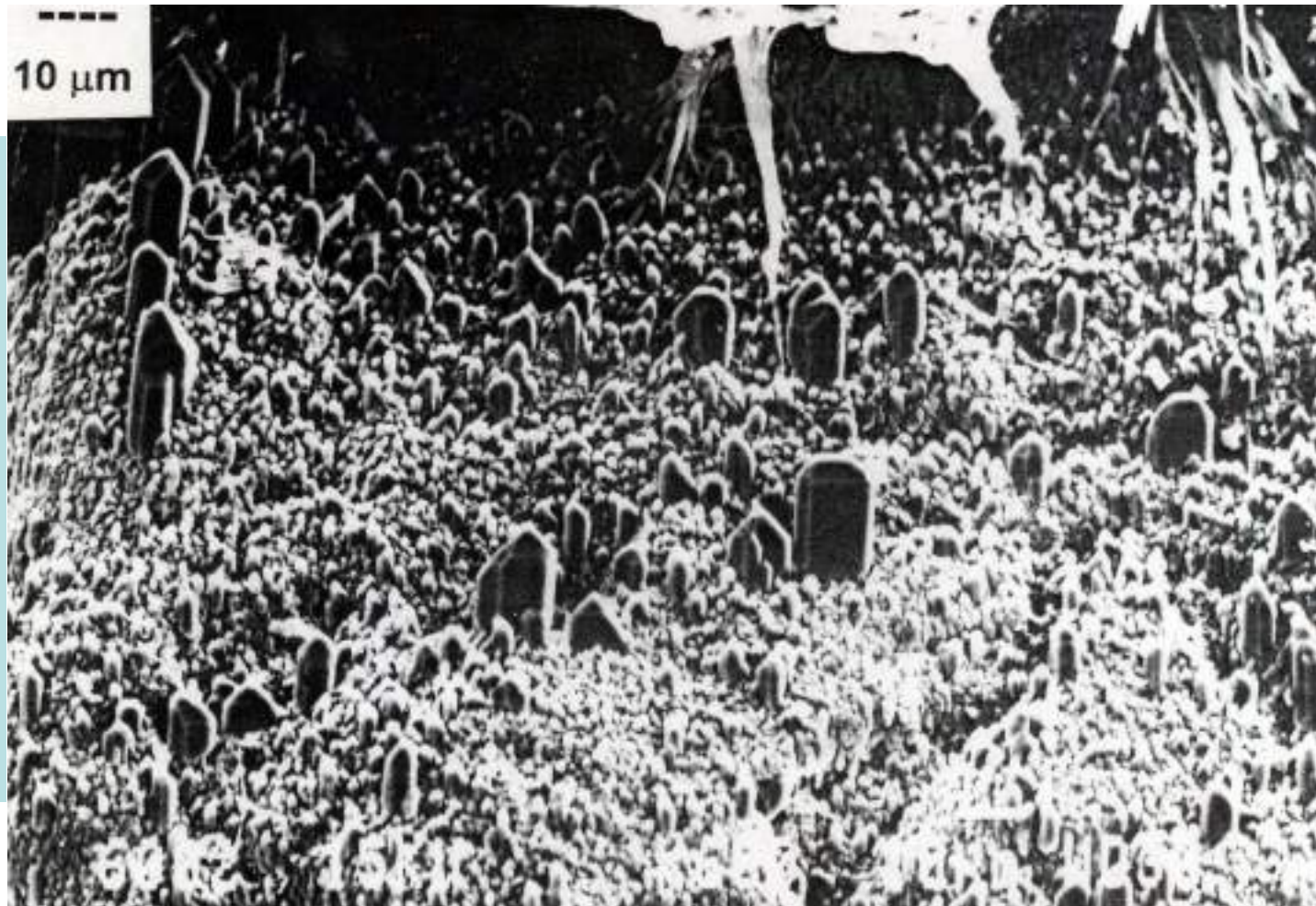
Регенерация кристаллов

завершённости процесса регенерации – мелкие уже полностью регенерированы = правильно оформлены, крупные – далеки от завершённости.

Промышленное получение кристаллов кварца идёт за счёт регенерации - нарастания на не существующую как грань поверхность пинакоида (0001).

Кварц – начало
процесса
регенерации.
Линейка –
10 микрон.

Nadeau P.H.,
1998.
Canad. Mineral.
Vol. 36.
P. 1409-1414.

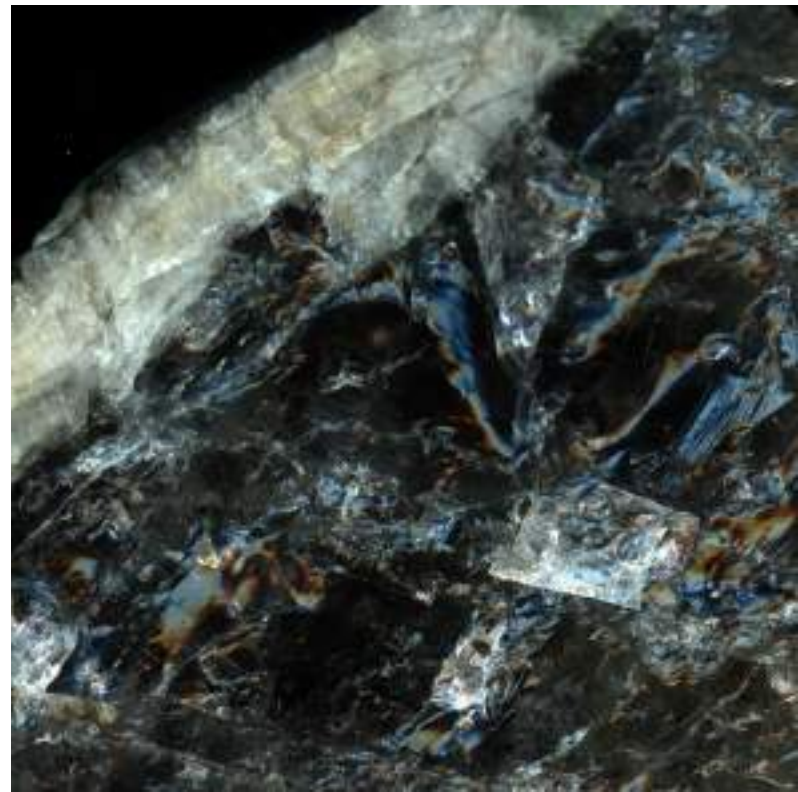


Регенерация кристалла кварца



Жильный кварц. Прозрачный кварц заметно корродирован. Вокруг возникла белёсая оторочка волокнистого регенерированного кварца с массой газовой-жидких включений, которые придают молочно-белую окраску. 20x19 мм. Колл. и фото ЭМС

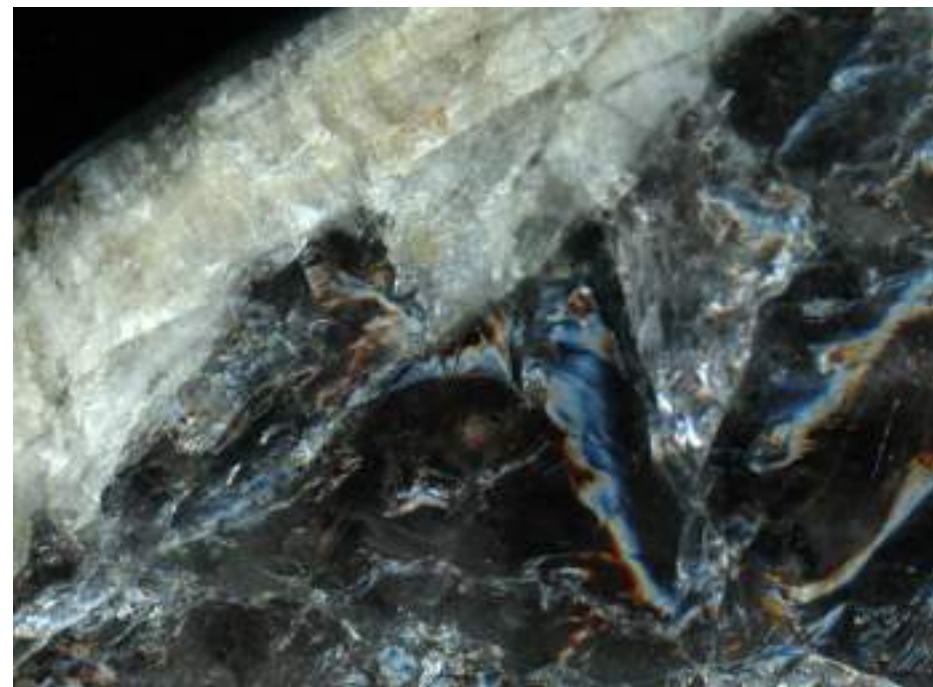
Регенерация кристалла кварца



55x55
мм

Крупнокристаллический прозрачный дымчатый кварц заметно корродирован. Вокруг возникла белёсая оторочка волокнистого регенерированного кварца с массой газовой-жидких включений, которые придают молочно-белую окраску. 151x88 мм. Колл. и фото ЭМС

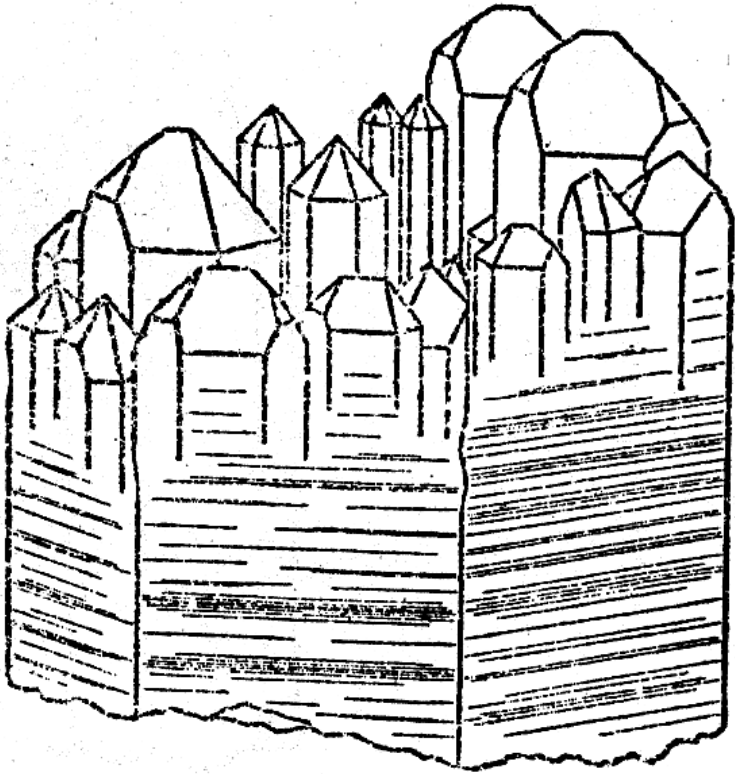
Регенерация кристалла кварца



42x31 мм

Крупнокристаллический прозрачный дымчатый кварц заметно корродирован. Вокруг возникла белёсая оторочка волокнистого регенерированного кварца с массой газовой-жидких включений, которые придают молочно-белую окраску. 78x53 мм. Колл. и фото ЭМС

Регенерация кристаллов кварца



Почему это регенерация, а не расщепление ?

Подложка – монокристалл.
Нет никакой разориентировки субиндивидов

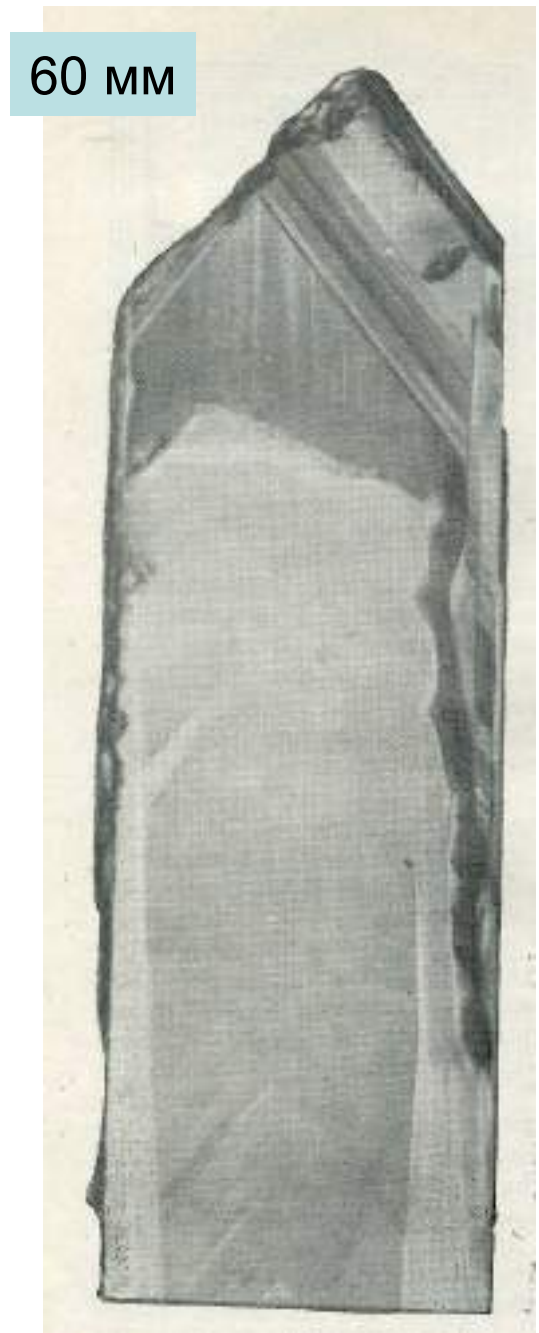


Котбар, Прибалхашье

Регенерация кристаллов кварца



70x50 мм.
Гора Пирам



60 мм

Регенерация кристаллов кварца



Гранитные пегматиты Бразилии. Музей «Земля и люди». София, Болгария. Фото Н.Н. Жуков

Регенерация кристаллов кварца



Гранитные пегматиты Бразилии. Музей «Земля и люди». София, Болгария. Фото Н.Н. Жуков

Регенерация кристаллов кварца



Гранитные пегматиты Бразилии

Регенерация кристаллов кварца



Гранитные
пегматиты
Бразилии

Регенерация кристаллов кварца



Гранитные пегматиты Бразилии

Регенерация кристаллов берилла



119 мм. Васа Рика claim,
Минас Жераис, Бразилия



Регенерация кристаллов берилла



118 мм.
Medina mine,
Минас Жераис,
Бразилия



Регенерация кристаллов берилла

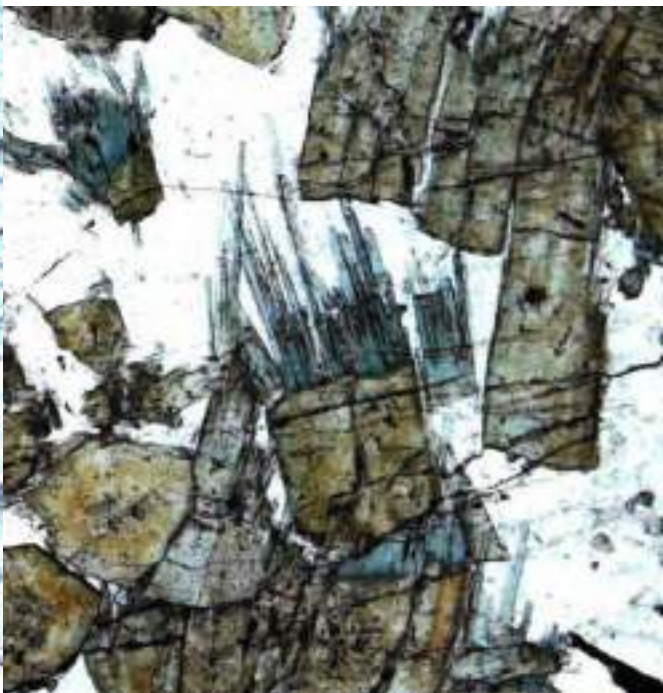
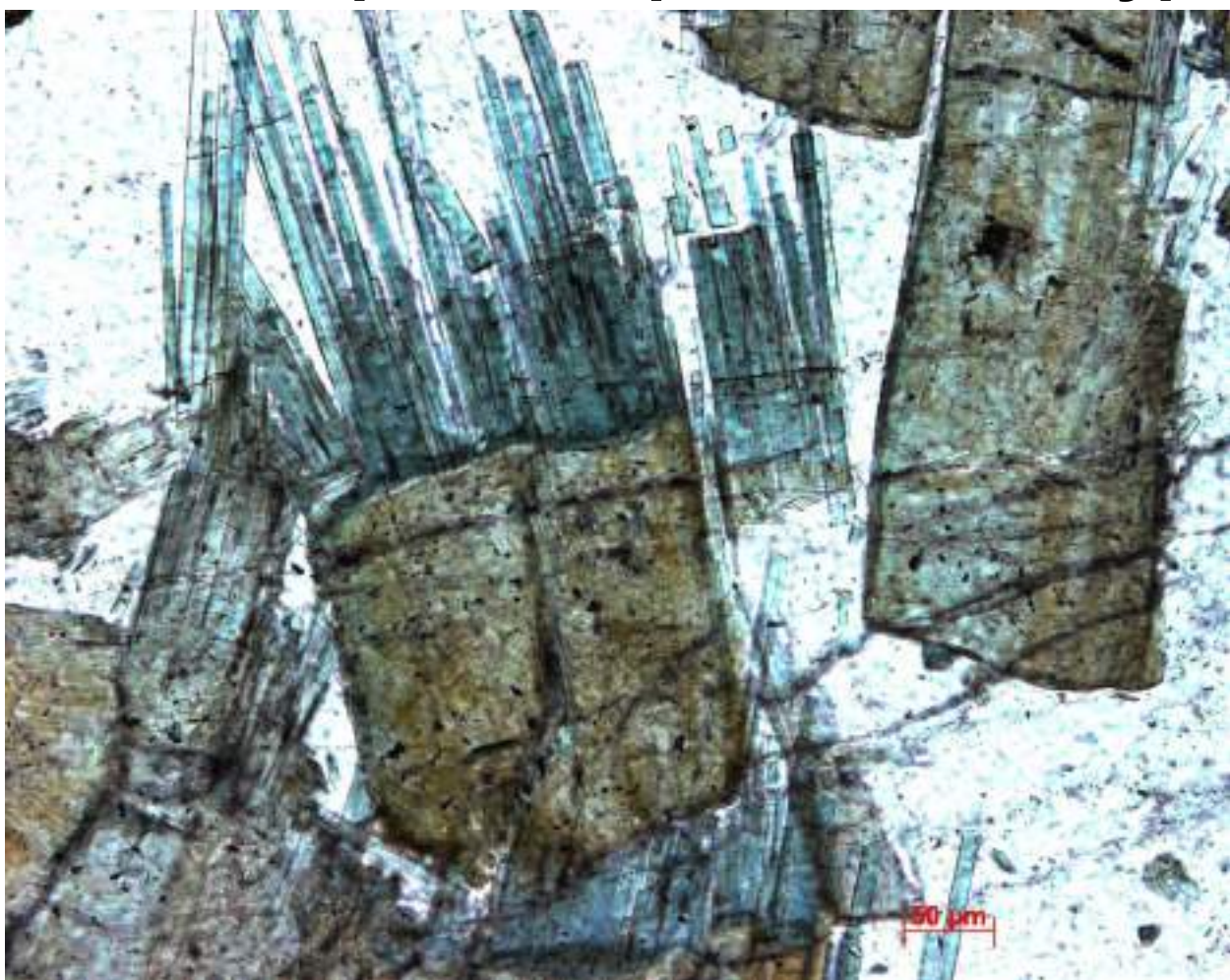


Берилл. Кристаллы до 15 мм толщиной -
регенерация.

Део Дара, Бадахшан, Афганистан

Регенерация кристаллов турмалина - шерла

Средний Урал

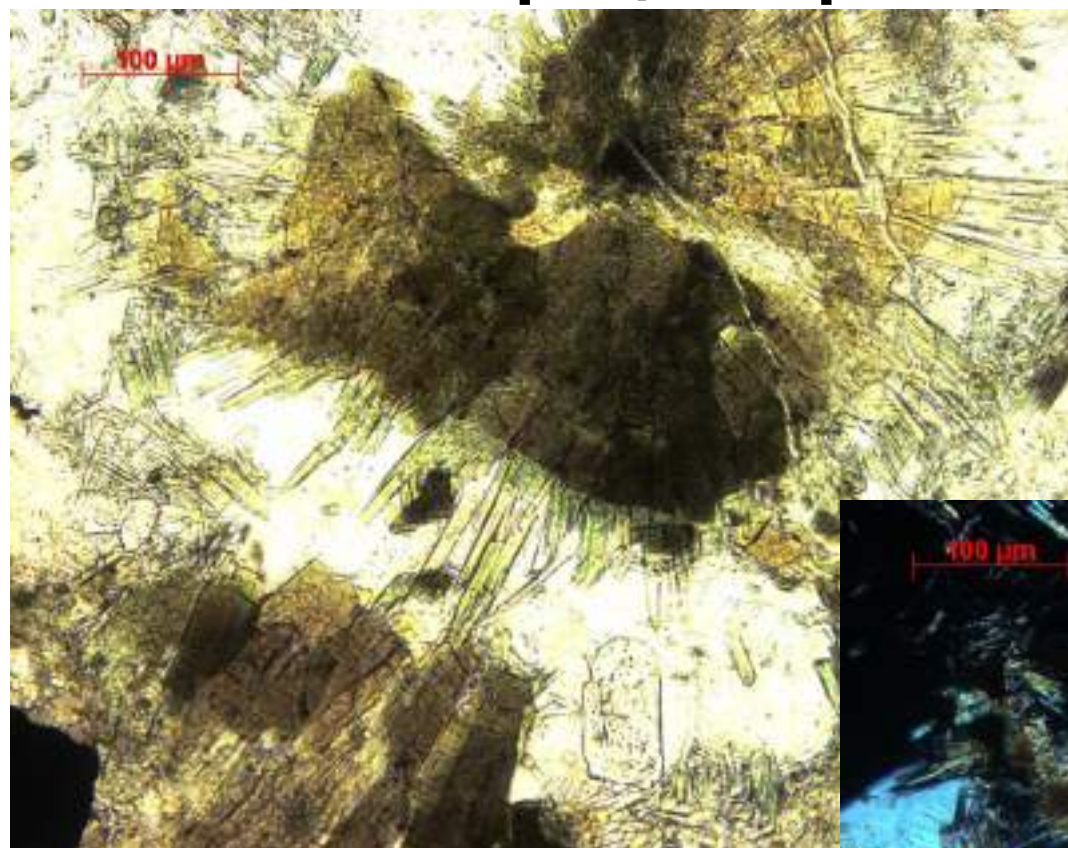


Шлиф при 1 николе.

Фото Э.М.
Спиридонова



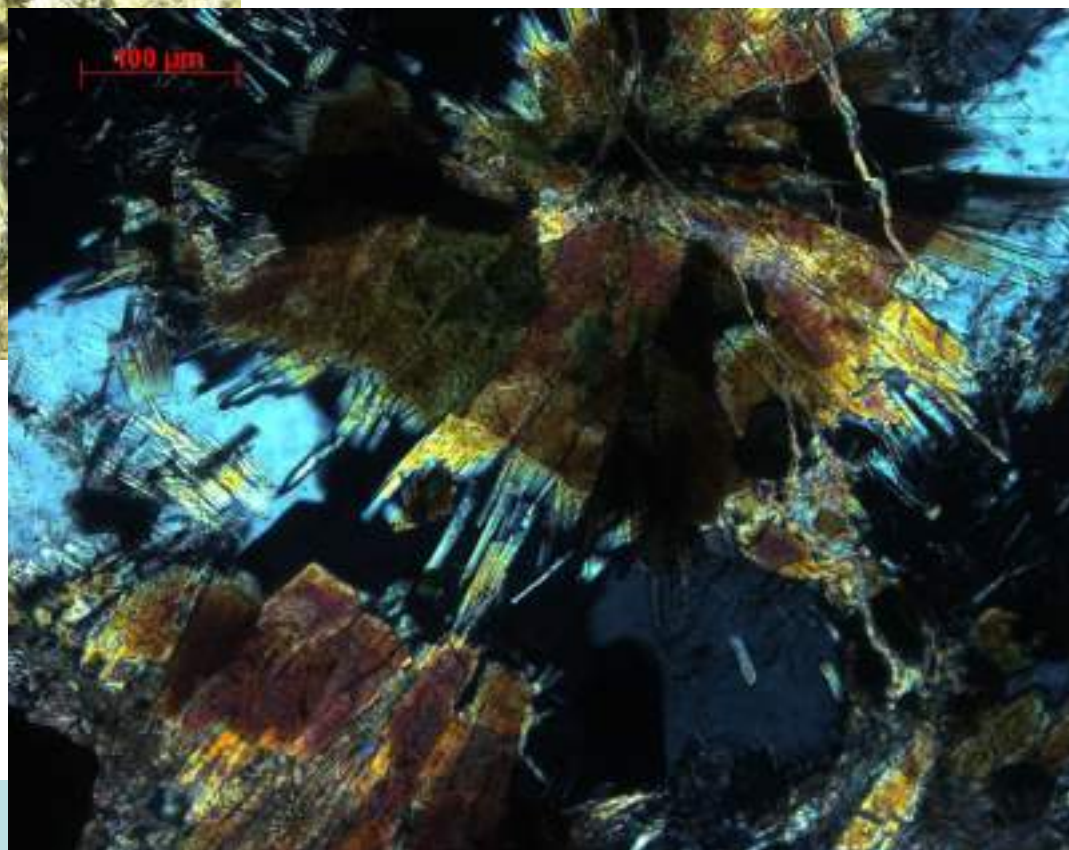
Регенерация кристаллов турмалина



Шлиф при 1 николе

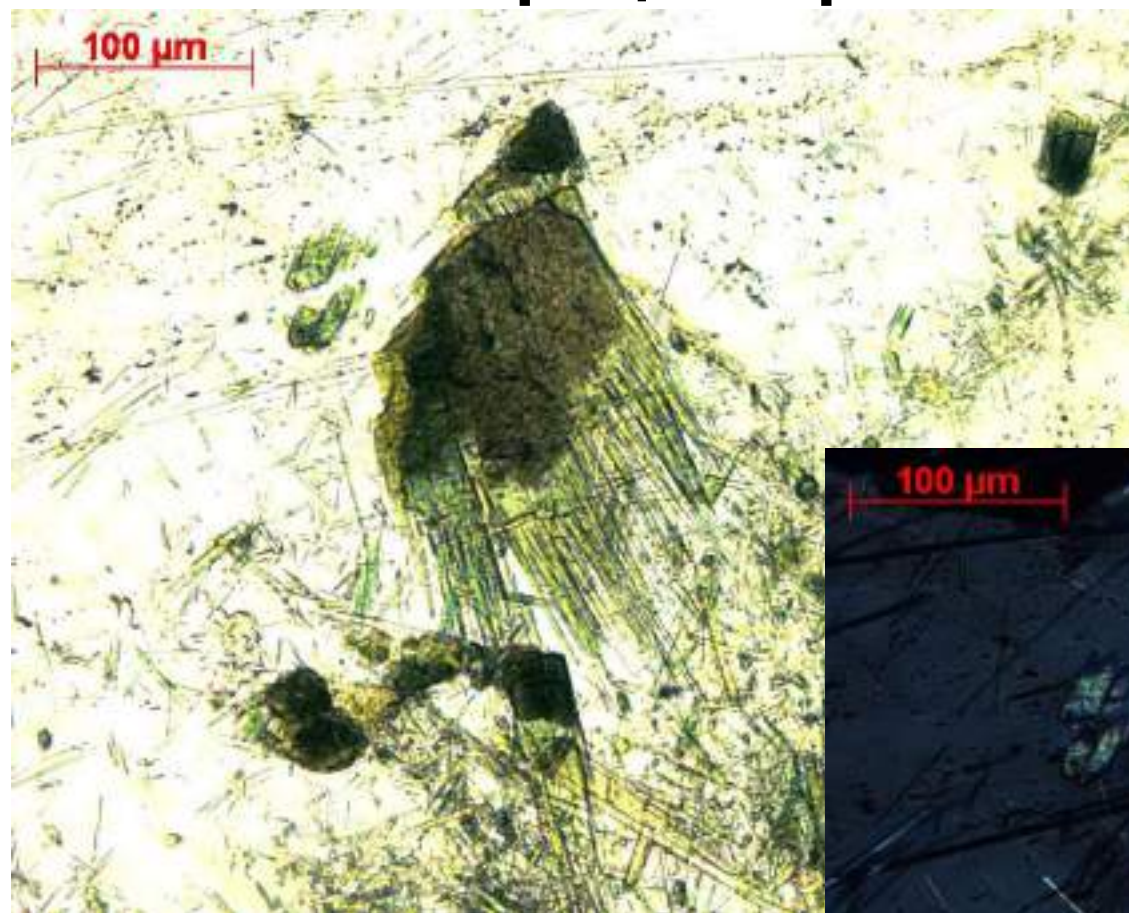
Колл. М.С. Сахаровой,
фото Э.М. Спиридонова
и Ксении

Шлиф. Николи х



Шерл
и дравит.
Дарасун.
Восточное
Забайкалье

Регенерация кристаллов турмалина

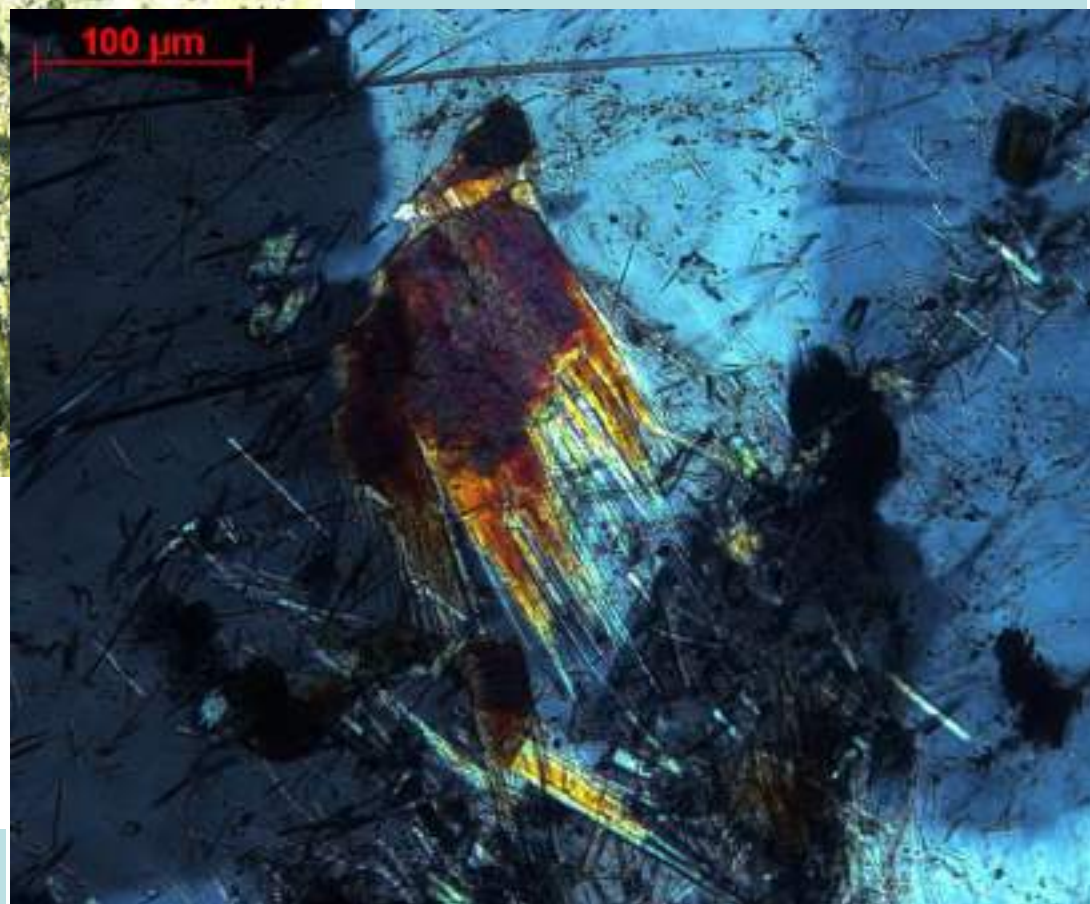


Шлиф при 1 николе

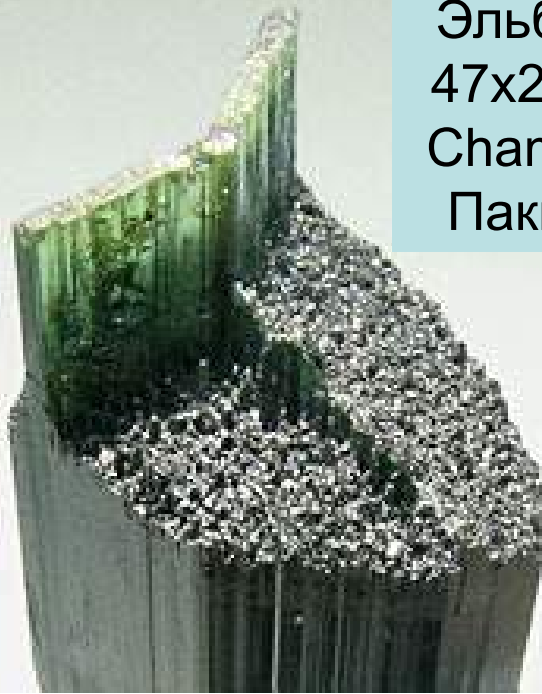
Колл. М.С. Сахаровой,
фото Э.М. Спиридонова
и Ксении

Шлиф. Николи х

Шерл
и дравит.
Дарасун.
Восточное
Забайкалье



Регенерация кристаллов турмалина



Эльбаит
47x22 мм.
Chamachu,
Пакистан



Эльбаит-
Верделлит
48 мм.
Минас Жераис

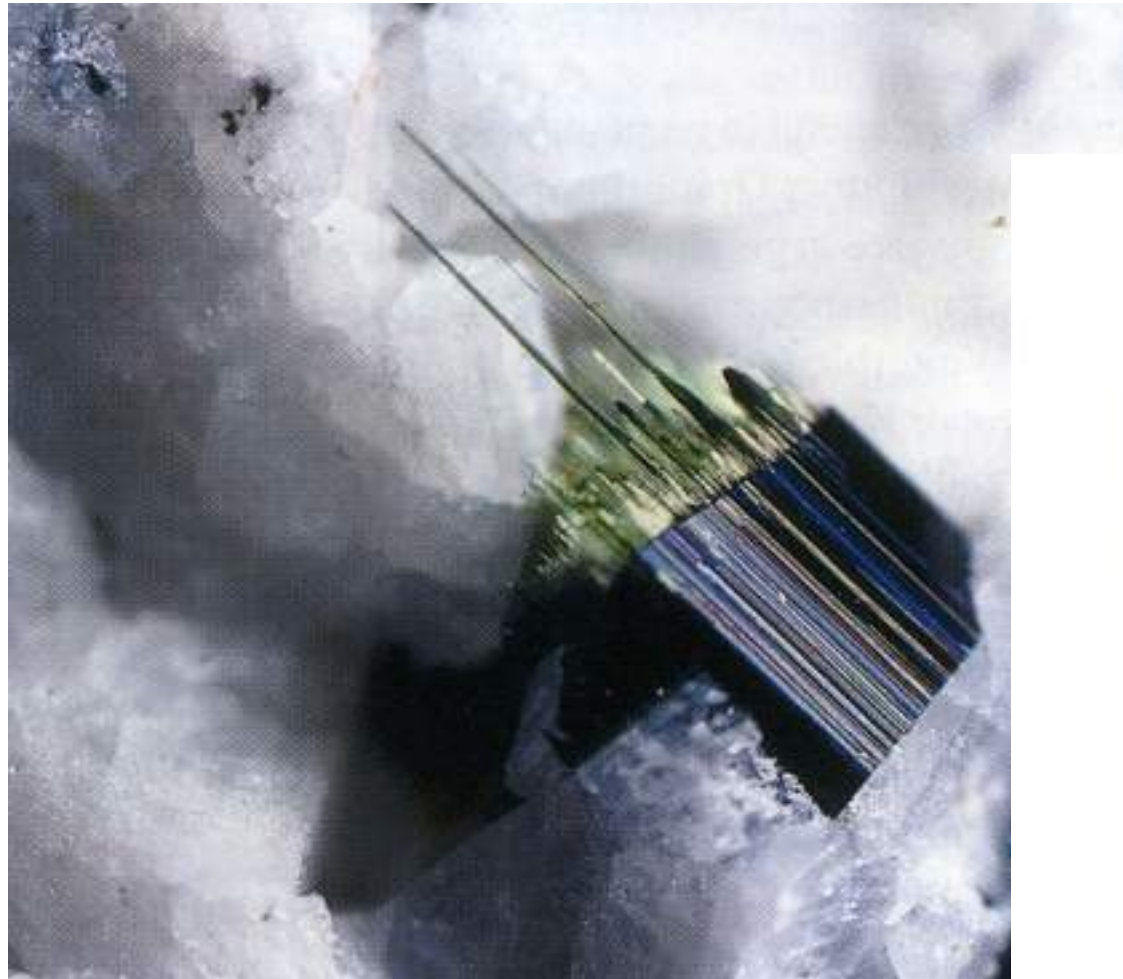


Эльбаит



120 мм

Регенерация кристаллов эгирина



4 мм. Продушина в трахитах –
санидинитах.
Азорские острова



50 мм. Пегматиты щелочных
гранитов. Малога

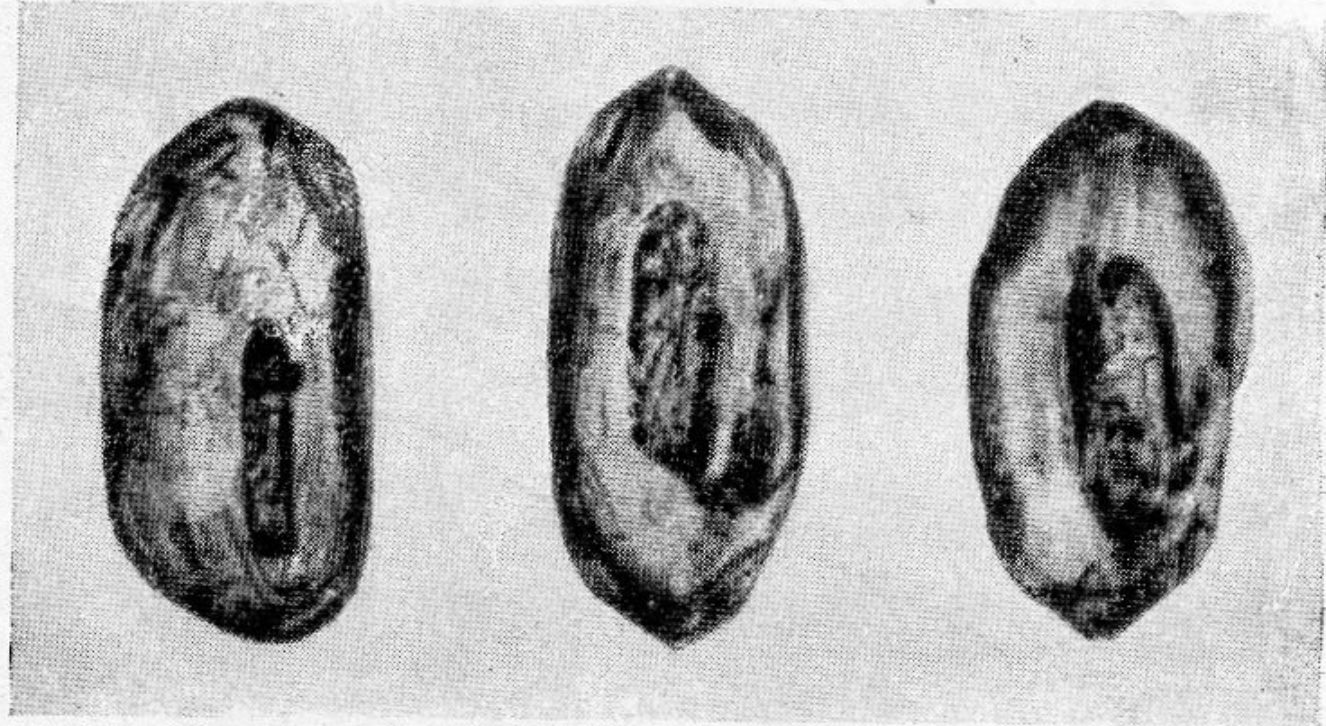
Регенерация кристаллов циркона

минералов ненормального состава и перегретых после их образования) могут

регенерация!

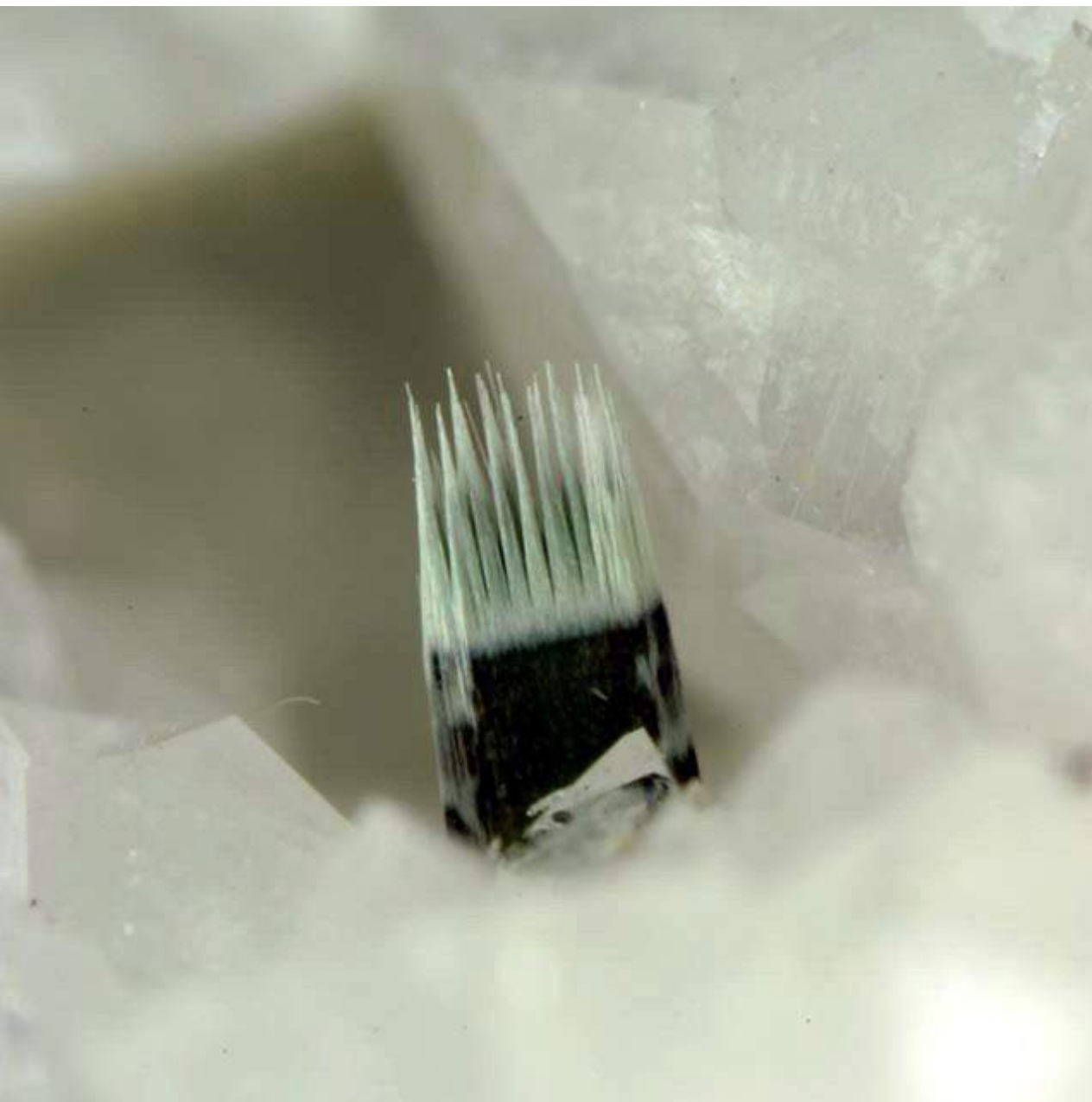


Ф и г. 52. Нарост на детритовом цирконе (длиной 0,18 мм) из кластической осадочной породы, по Полдерварту (Poldervaart, 1955).



Ф и г. 53. Цирконы с отчетливыми сердцевинами, оси которых могут располагаться косо к осям наростов. Центральное зерно длиной 0,1 мм. Из автохтонного гранито-гнейса. Бэртут-Маунтинс, Монтана — Вайоминг, по Полдерварту и Эккельману (Poldervaart, Eckelmann, 1955.)

Регенерация кристаллов оливинита



Регенерация кристаллов псевдобрукита



Кристаллы от 1 до 1.5 мм. Продушины молодых щелочных вулканитов.
Emmelberg,
Эйфель,
Германия

Регенерация кристаллов вольфенита



4 мм. Haiming. Тироль, Австрия

Регенерация флюорита





Финская Карелия. Фото Е.Л. Соколовой



Карелия

Э.М. Спиридонов

Генетическая минералогия.

ГМ-1. Онтогения. Индивиды

Растворение кристаллов

019. Псевдоморфозы

Псевдоморфозы

Содержание термина отражает противоречие между формой и содержанием минерального тела.

Форма первичного минерала (протоминерала) заполняется иным содержанием – новообразованиями иного минерала или нескольких минералов. Иногда бытует термин отрицательная псевдоморфоза для полых образований.

Псевдоморфозы – продукты химического и физического изменения индивидов протоминералов, а также агрегатов протоминералов и фоссилизации органических остатков с сохранением их формы и размера. Истинные псевдоморфозы мономинеральные, полиминеральные, агрегативные, полые - контурные, частичные и полные...

Изучение псевдоморфоз зачастую лежит в основе исследования процессов рудогенеза – таких, как процессы образования метасоматитов. Именно псевдоморфный характер процессов метасоматоза обусловил то, что эти процессы происходят при постоянном объёме (правило или закон Вальтера Линдгрена). Грандиозный масштаб явлений псевдоморфизации.

Форма значительно более устойчива, чем содержание.

Псевдоморфозы - биоморфозы кальцита

по банану (слева) и по цветку розы



160 мм.

Зооморфозы и фитоморфозы минералов меди

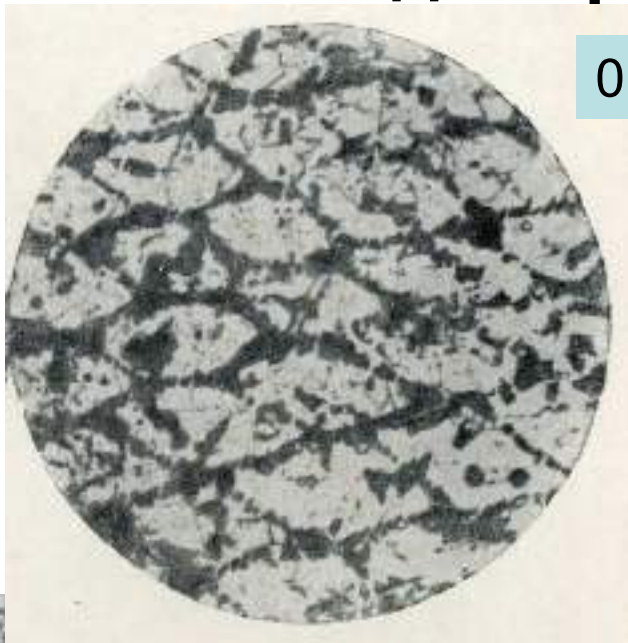


Халькопирит по рыбьей чешуе.
43 мм. Масфельд, Германия



Малахит по
халькопириту, который
заместил листья
Odontopteris
rossika Zalesky.
Пермское Приуралье

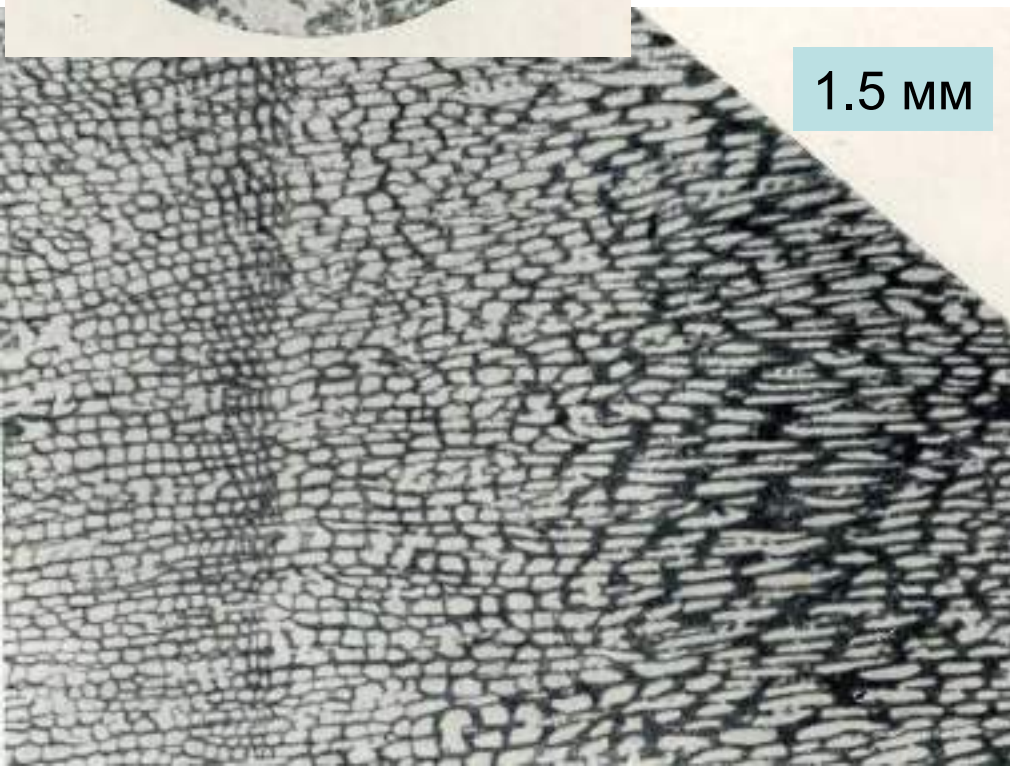
Псевдоморфозы пирита по древесине



0.4 мм



1.5 мм



Фитоморфозы халцедона по



древесине ствола *Araucarioxylon arisonicum*. Триас 220 Ма. 990x745 мм

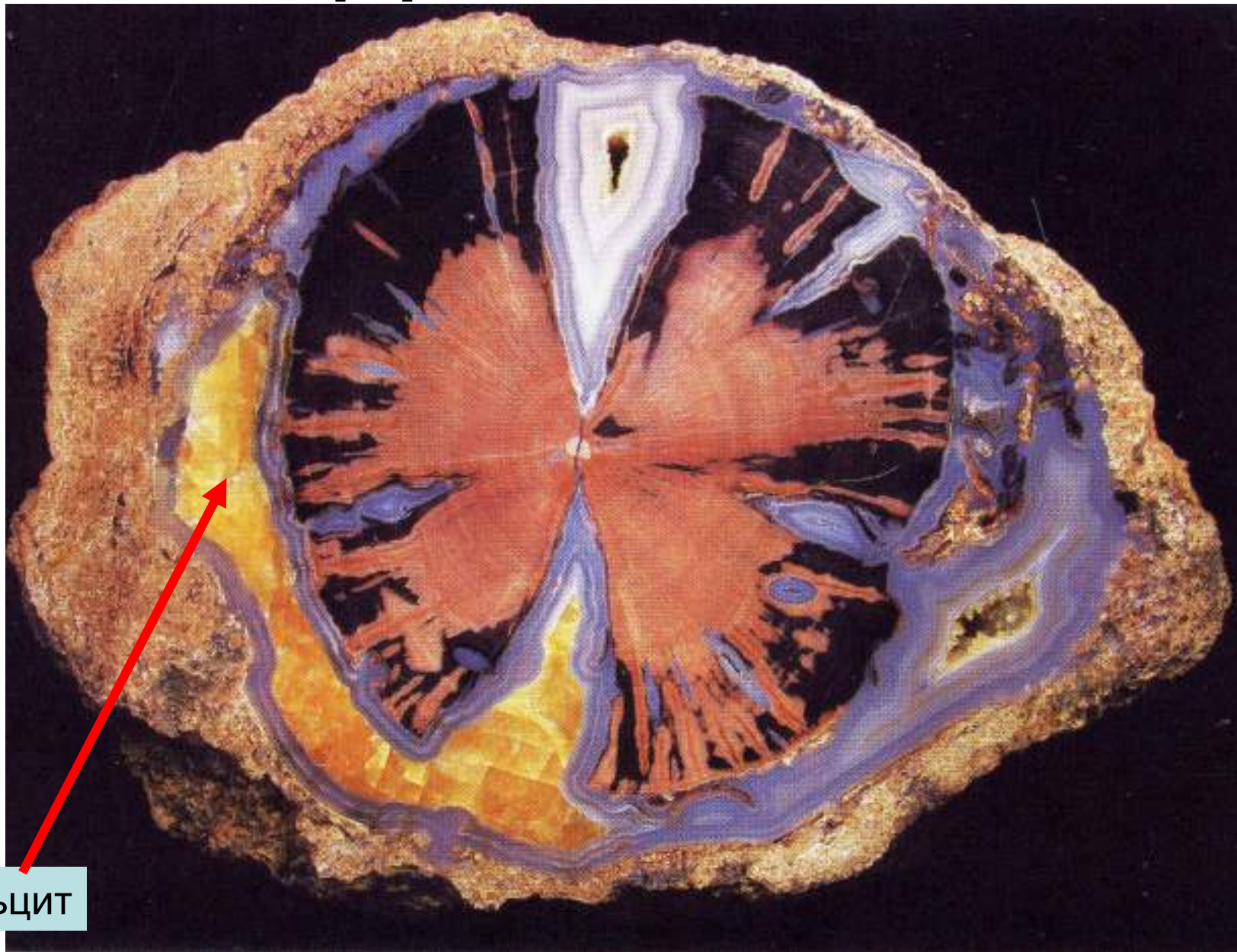
Фитоморфозы халцедона по



85 мм

древесине ствола сикамора. Вайоминг, США. 230 мм

Фитоморфозы халцедона по



кальцит

древесине ствола сикамора. Вайоминг, США. 210 мм

Фитоморфозы халцедона по



ОП1725
халцедон Quartz SiO_2
по ШИШКАМ АРАУКАРИИ

Псевдоморфозы меди по древесине

с возрастом 2500 лет. Аризона



2.7 мм



100x130 мм



40 мм

Поликристаллические псевдоморфозы - биоморфозы апатита (фосфорита) по раковинам аммонитов

117x 96 мм



117x103 мм

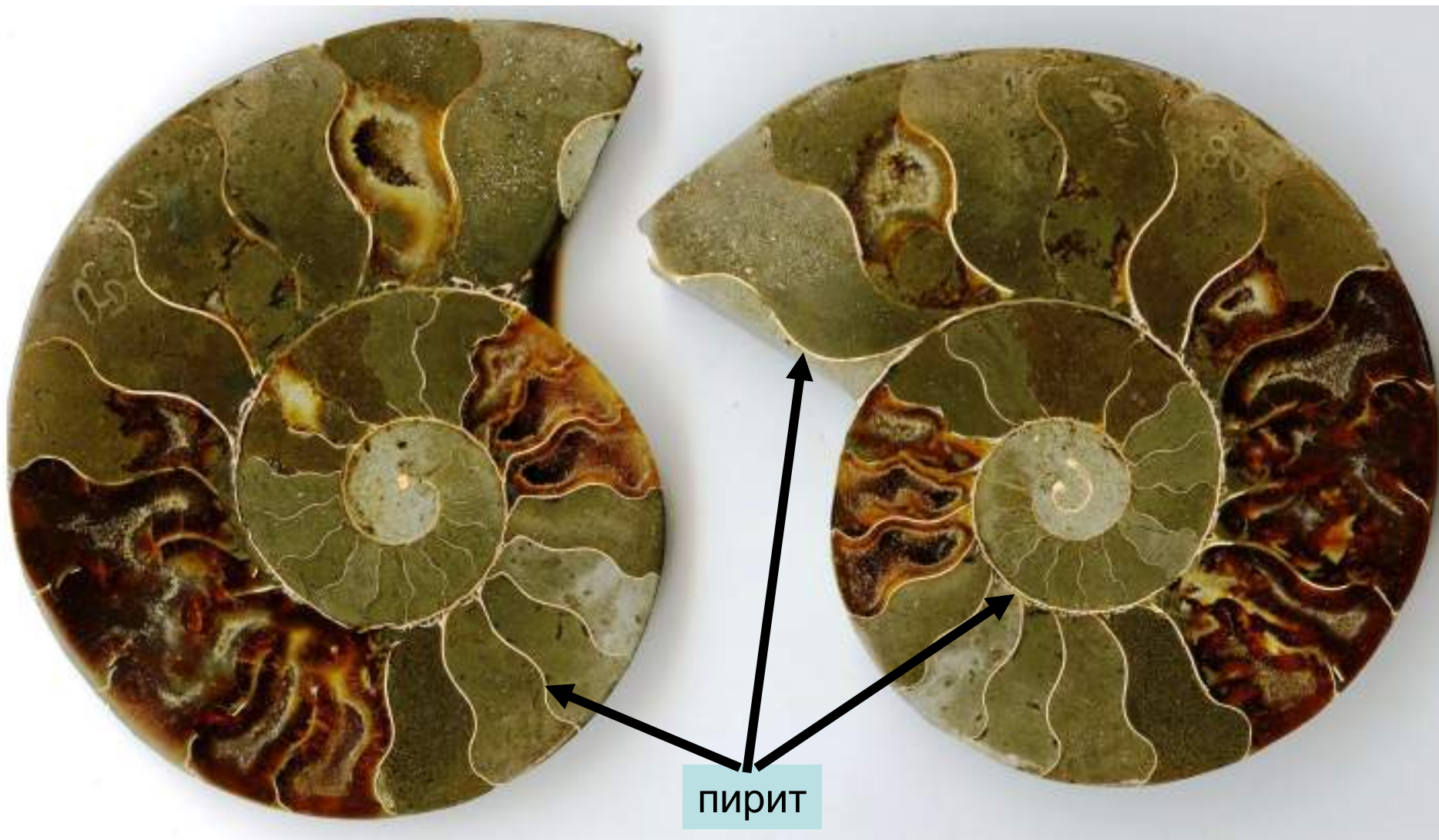
Псевдоморфозы - биоморфозы кальцита

по раковинам аммонитов, ранее замещённых фосфоритами



Юрские глины. Береговые обрывы Волги у Симбирска

Псевдоморфозы – биоморфозы. Сидерит и пирит заместили раковины аммонитов



Юрские глины. Обрывистый берег Волги у Симбирска

Псевдоморфозы – биоморфозы. Пирит заместил раковину аммонитов



Юрские глины. Обрывистый берег Волги у Симбирска

Псевдоморфозы – биоморфозы сидерита

Керченское месторождение



Псевдоморфозы
сидерита по раковинам
пелеципод



Псевдоморфозы
сидерита по крабу
внутри раковины
пелециподы.
Фото Н.В. Чуканова

Псевдоморфозы – биоморфозы. Манганкальцит по раковинам гастропод третичного возраста



Керченское месторождение, Восточный Крым

Псевдоморфозы родохрозита по раковинам

Железные руды Керченского месторождения, Крым



Псевдоморфозы целестина по раковинам

Третичные отложения полуострова Мангышлак, Западный Казахстан



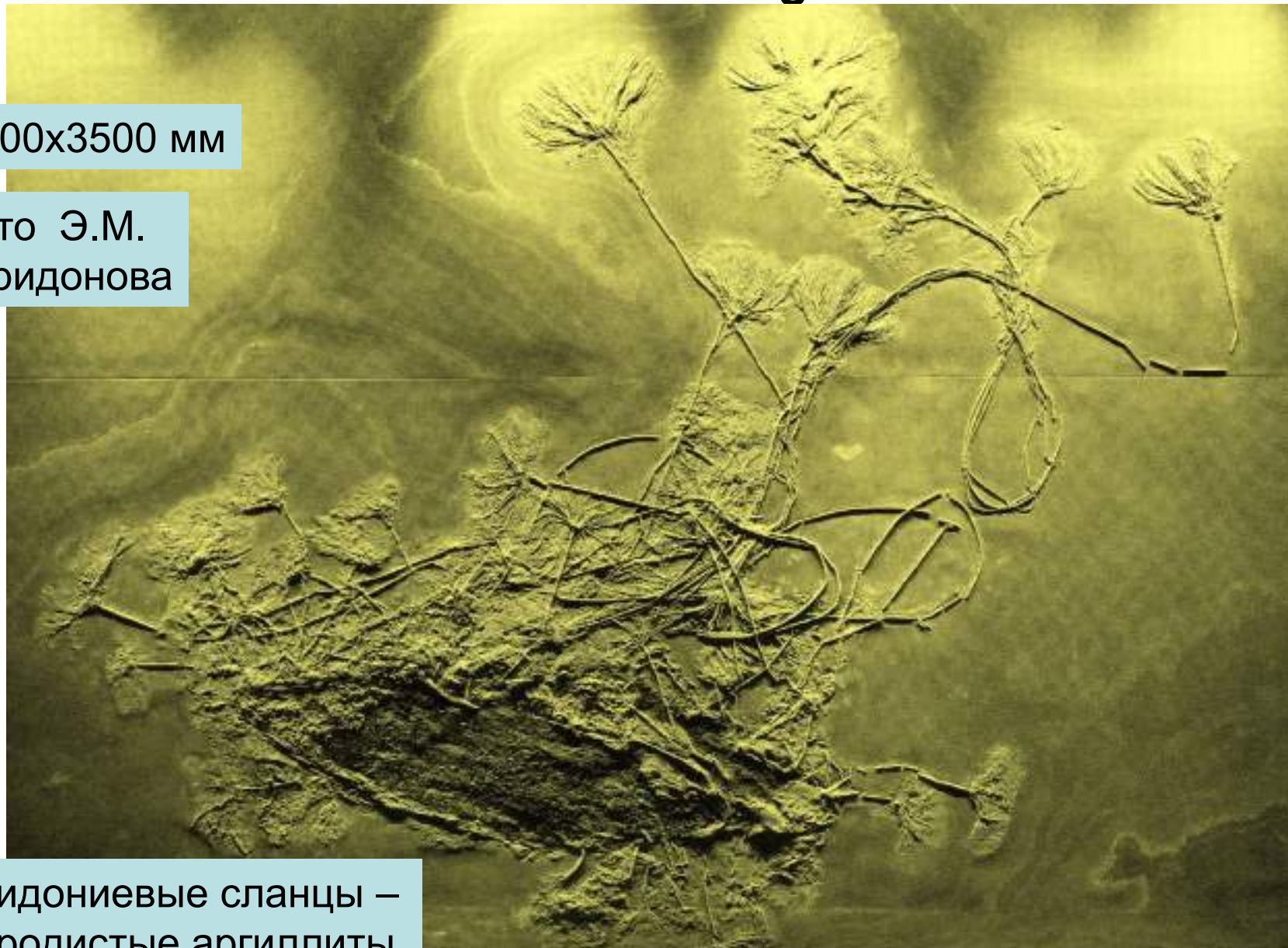
**Зооморфоза – псевдоморфоза
халцедона по раковине Fusua (эоцен).
Дангуз, Нижнее Поволжье**



Псевдоморфозы пирита по морским лилиям *Seirocrinus subangularis*

3100x3500 мм

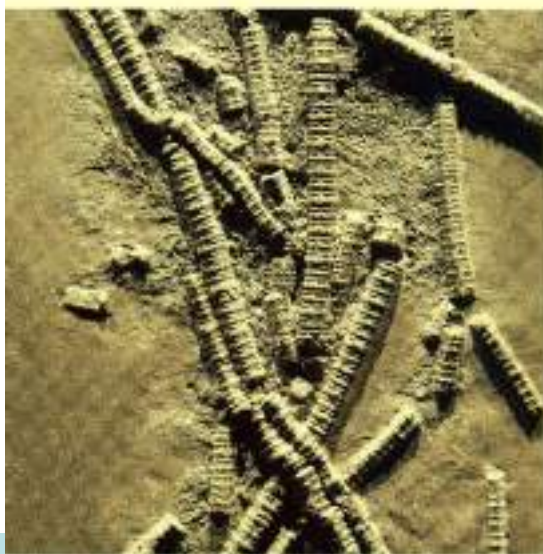
Фото Э.М.
Спиридонова



Посидониевые сланцы –
углеродистые аргиллиты
лейаса, юра.

Holzmaden, Германия

Псевдоморфозы пирита по морским лилиям *Seirocrinus subangularis*



Толщина стеблей до 35 мм

Посидониевые сланцы –
углеродистые аргиллиты
лейаса, юра.

Фото ЭМС

Holzmaden, Германия

Псевдоморфозы - биоморфозы пирита

по раковине брахиоподы



Месторождения изумрудов Колумбии

Возраст
гастропод
135 млн. лет



Возраст
изумруда
61 млн. лет



Псевдоморфозы
изумруда
по гастроподам
раннего мела
(валанжин)

Псевдоморфозы

Отпечатки кристаллов галита в аргиллитах кембрия.
Юг Восточно-Сибирской платформы



Глиняные
слепки по
кристаллам
галита.
Фото Е.В.
Путинцевой.

Музей
Иркутского
политехнич.
института

Псевдоморфозы

Отпечатки кристаллов галита в красноцветных аргиллитах ордовика.
Коршуновское месторождение, юг Восточно-Сибирской платформы



28 мм

Глиняные
слепки по
кристаллам
галита



Псевдоморфоза меди по галиту



COPPER @ Halite
Near Corocoro
LaPaz Dept., Bolivia

Корокоро,
Боливия

**Псевдоморфозы кальцита CaCO_3
по икаиту $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (беломорские рогульки)**



**Псевдоморфозы кальцита CaCO_3
по икаиту $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$**



Известковистые конкреции. Дно Балтийского моря

«Глендонит»= псевдоморфозы кальцита по икаиту

Икаит $\text{CaCO}_3 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$



60 мм



Белое море.
Беломорские рогульки



50 мм



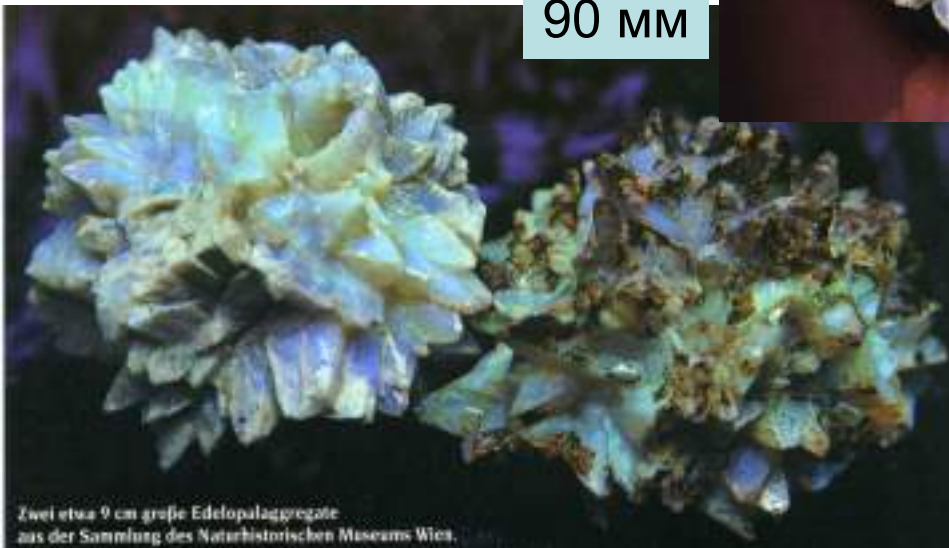
Псевдоморфозы опала по икаиту. Австралия



100 мм



98 мм



90 мм



25 мм

Zwei etwa 9 cm große Edelopalaggregate
aus der Sammlung des Naturhistorischen Museums Wien.

Биоморфозы благородного опала. Австралия

по роstrам
белемнитов

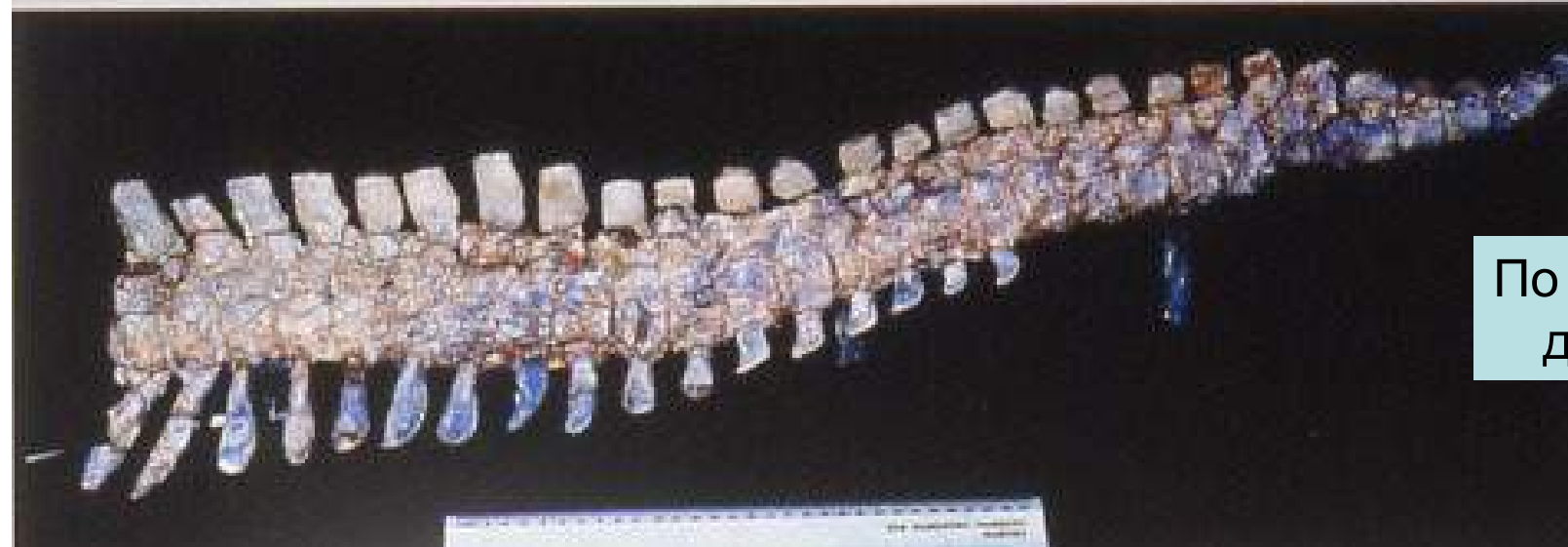


По коровьему рогу.
Коров завезли в Австралию
200 лет тому назад.

Таким образом, благородный опал
образуется почти на
наших глазах



Биоморфозы благородного опала Австралии



По меловому
динозавру

**Мушкетовит = псевдоморфозы магнетита по гематиту.
Мангитогорское месторождение. Малый Куйбас.**



край
кувалды



Мушкетовит
=
псевдомор-
фозы
магнетита
по гематиту.

Магнито-
горское
месторож-
дение.

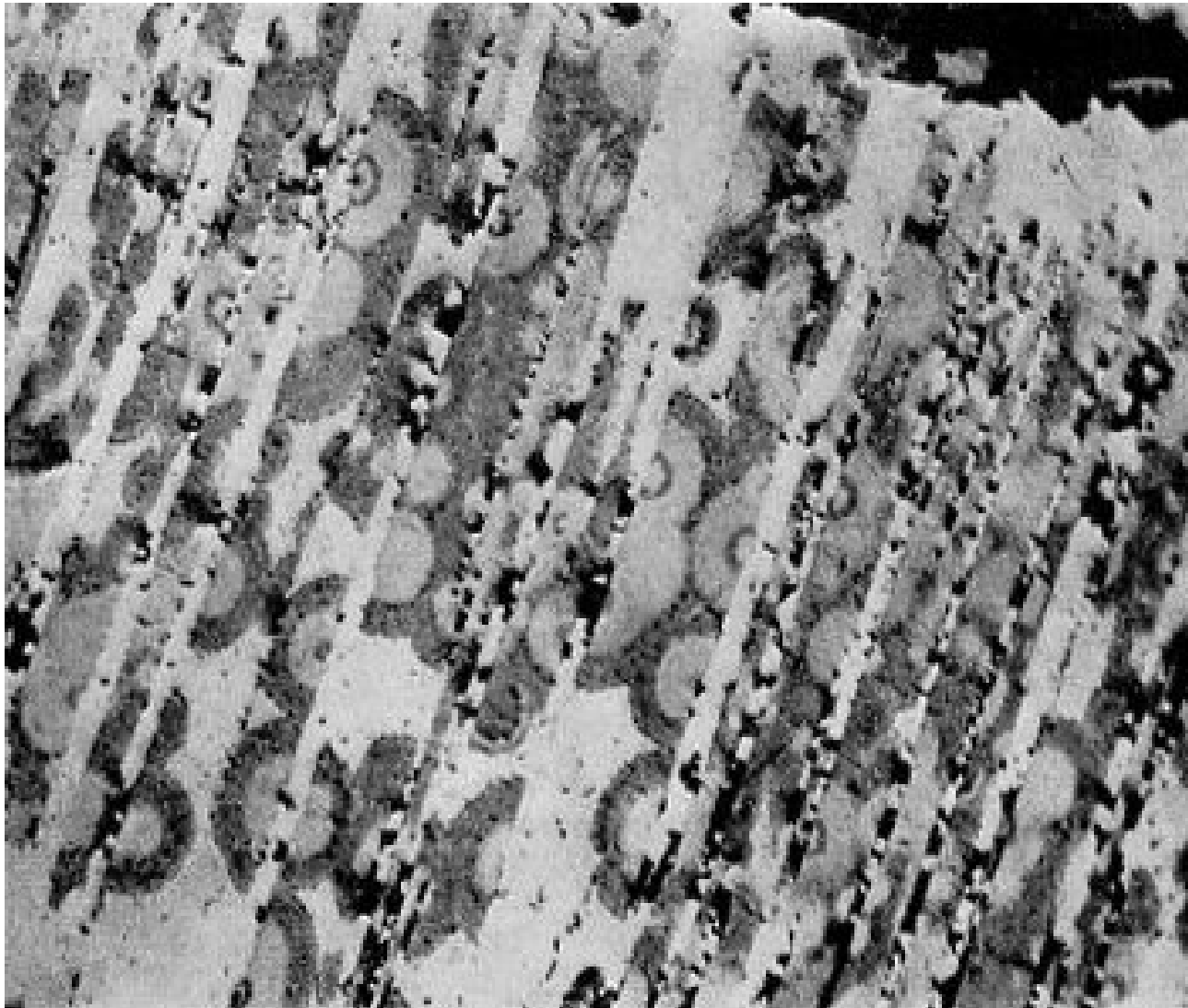
Малый
Куйбас

Псевдоморфозы пирита по пирротину



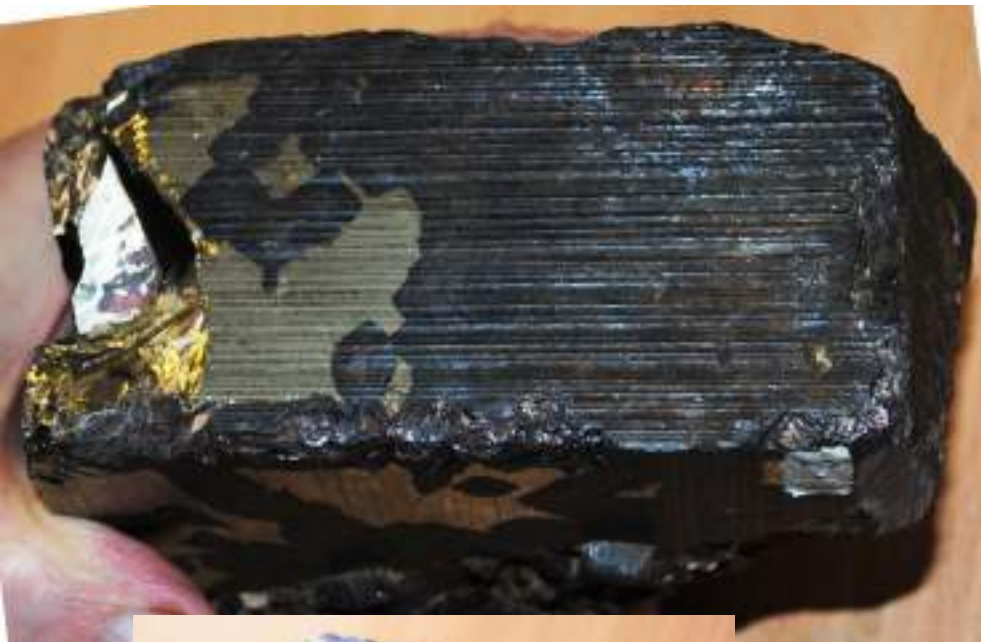
30x20 см. Тетюхе, Приморье

Псевдоморфоза пирита и марказита по пирротину



Пластины пирита и сферолиты марказита («птичий глаз»). 0.4 мм.
В отражённом свете, при 1 николе. Sullivan mine, Брит. Колумбия

Частичные псевдоморфозы гётита FeOOH по пириту



Кора выветривания Берёзовского месторождения золота. Средний Урал

Псевдоморфозы гётита FeO(OH) по пириту (слева) и марказиту (справа)

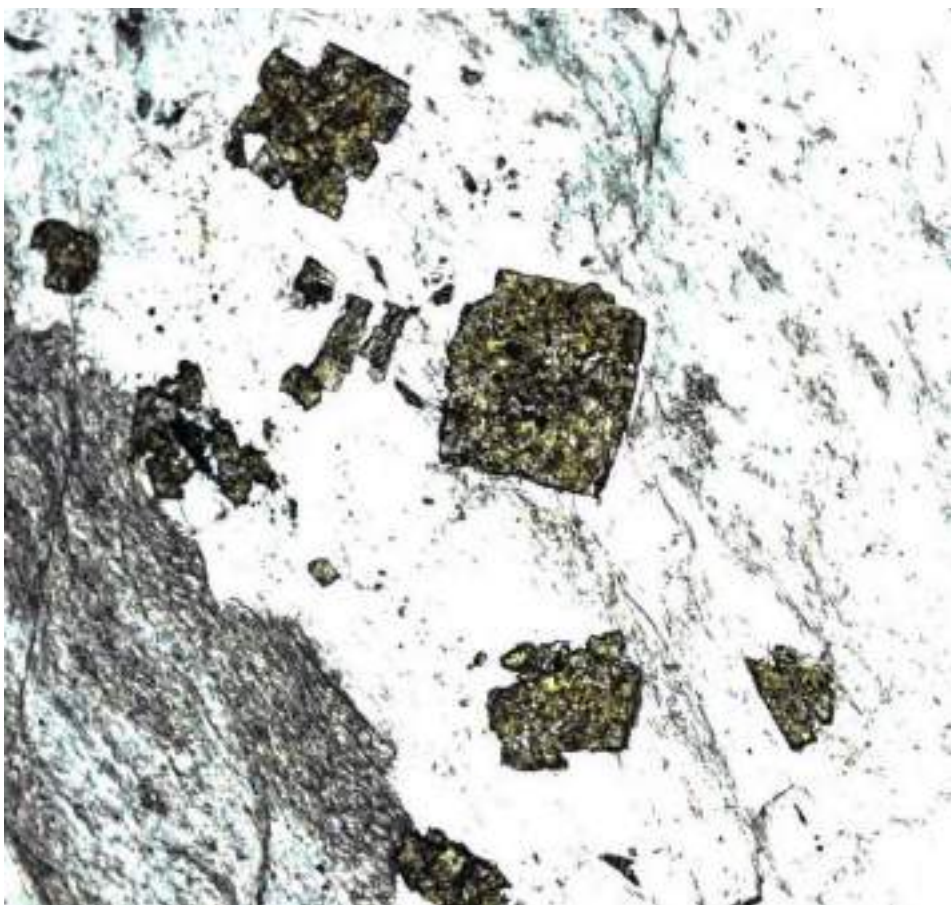


41 мм



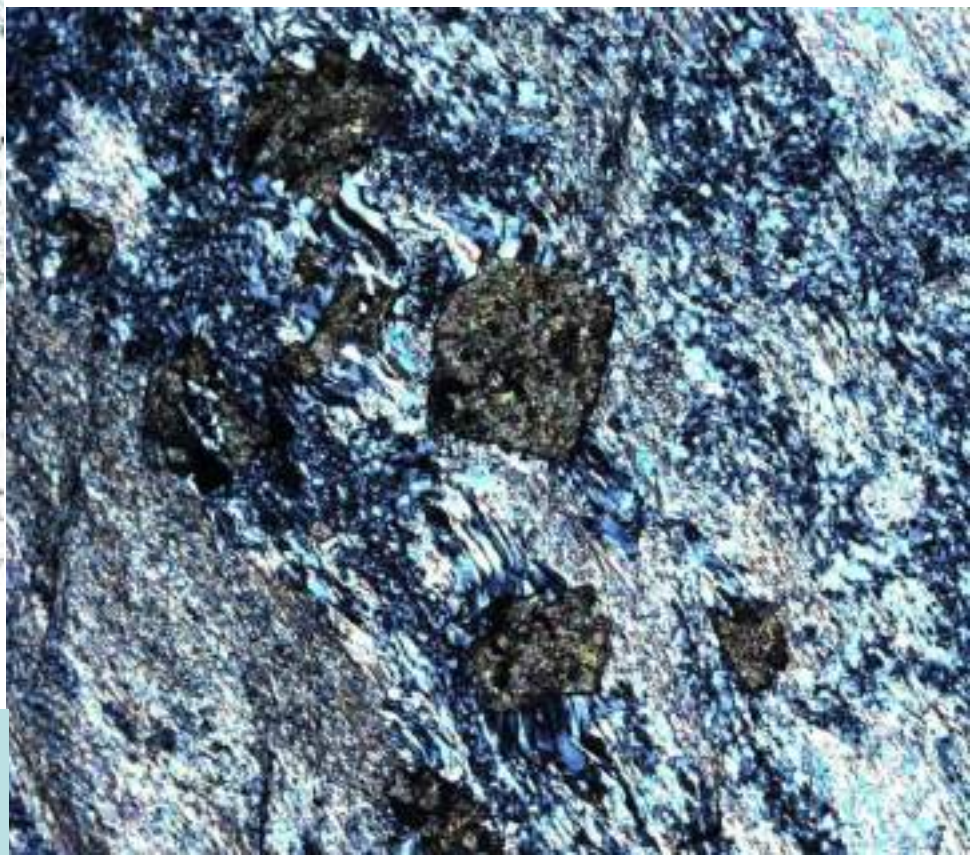
Поликристаллические псевдоморфозы ярозита по пириту

Вероятная реакция :



При 1 николе

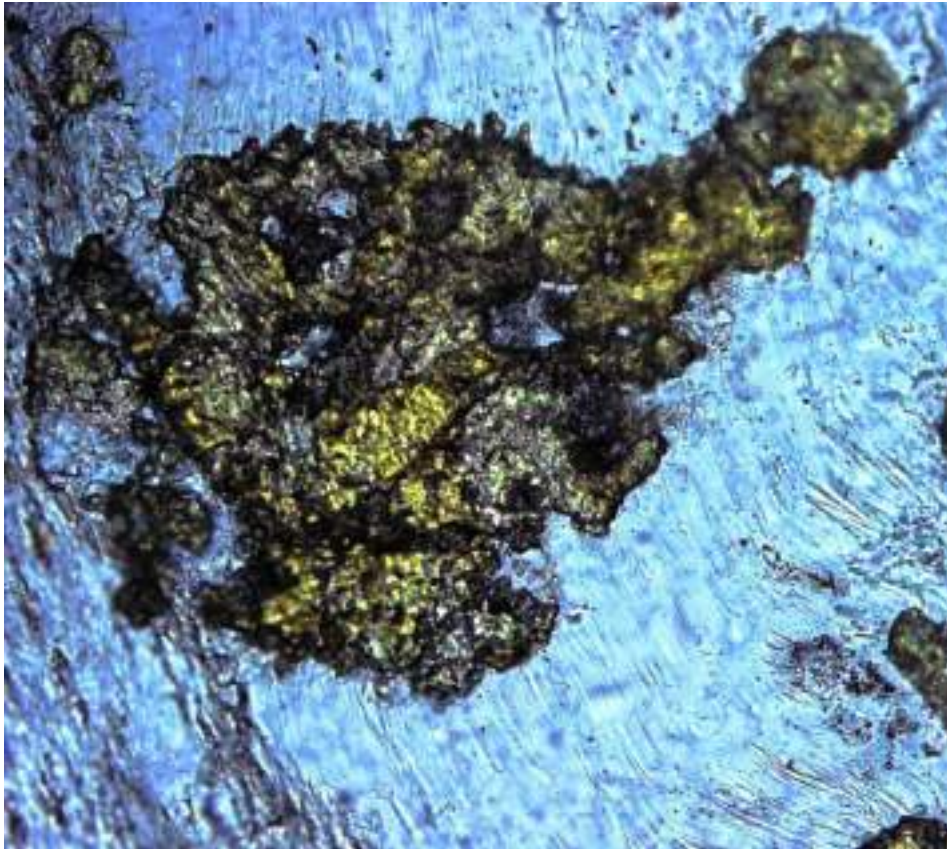
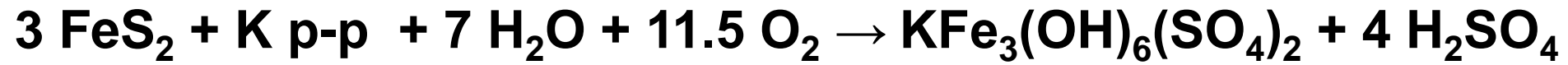
Фото ЭМС



Николи
х

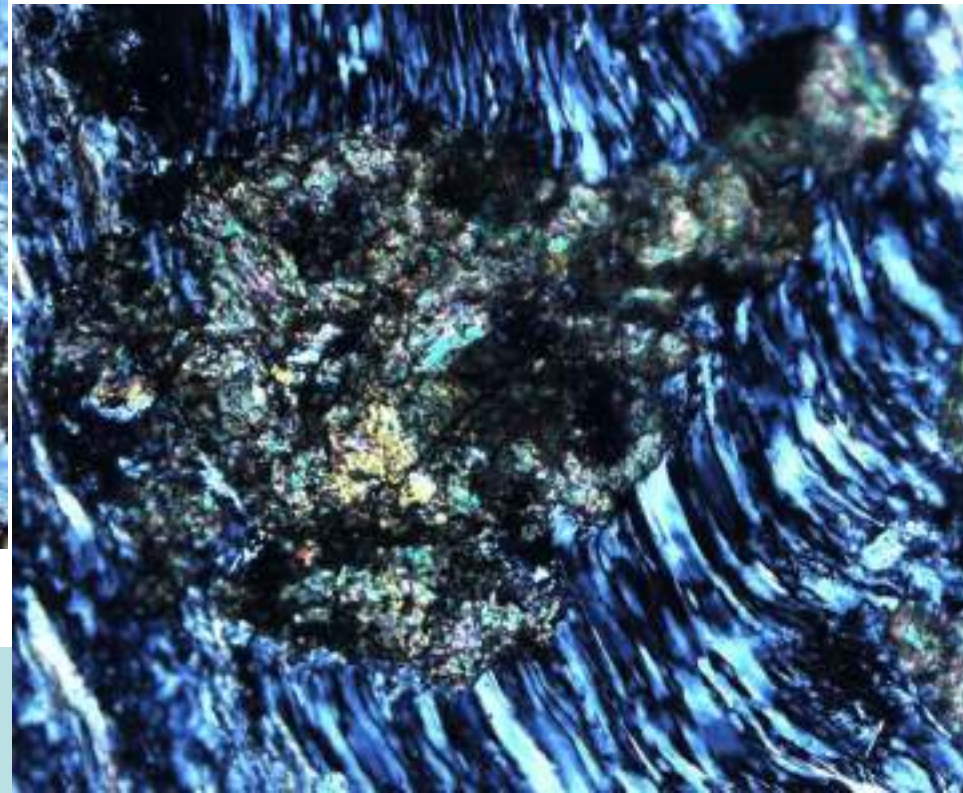
Поликристаллические псевдоморфозы ярозита по пириту

Вероятная реакция :



При 1 николе

Фото ЭМС



Николи
х

Псевдоморфозы
сервантита по антимониту.
Кадамджай,
Южная Киргизия

Сервантит $\text{Sb}^{3+}\text{Sb}^{5+}\text{O}_4$



Псевдоморфозы стибиконитита

по антимониту.

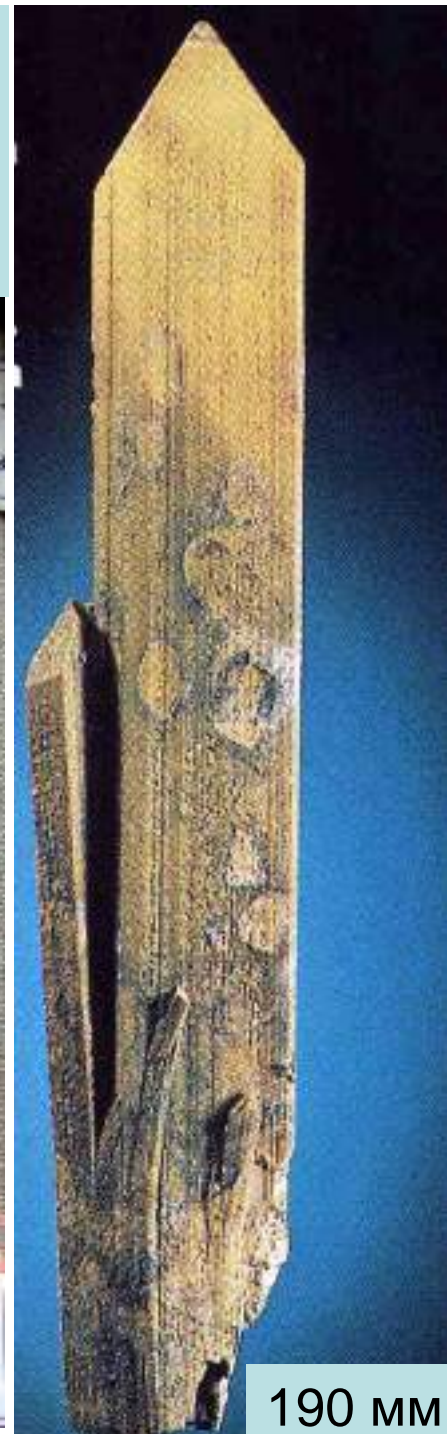
Real de Catorce,

San-Luis, Potosi, Мексика

Стибиконит $Sb^{3+}Sb^{5+}_2O_6(OH)$



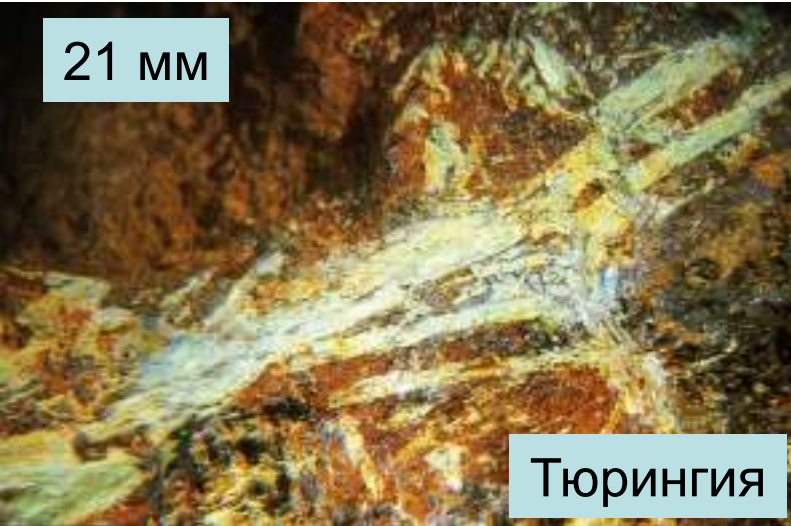
БИКОНИТ Stibiconite
 $Sb^{3+}Sb^{5+}_2O_6(OH)$
San Luis Potosi, Мексика
Erling D.L., 1966



190 mm

Псевдоморфозы бисмутита $\text{Bi}_2[\text{O}_2/\text{CO}_3]$ по висмутину Bi_2S_3

21 мм



68957
Бисмутит
Bismutite
 $\text{Bi}_2(\text{CO}_3)\text{O}_2$
м-е Кент, уч. Донгол, Казахстан (Центр.)
Чистякова М.Б. 1966



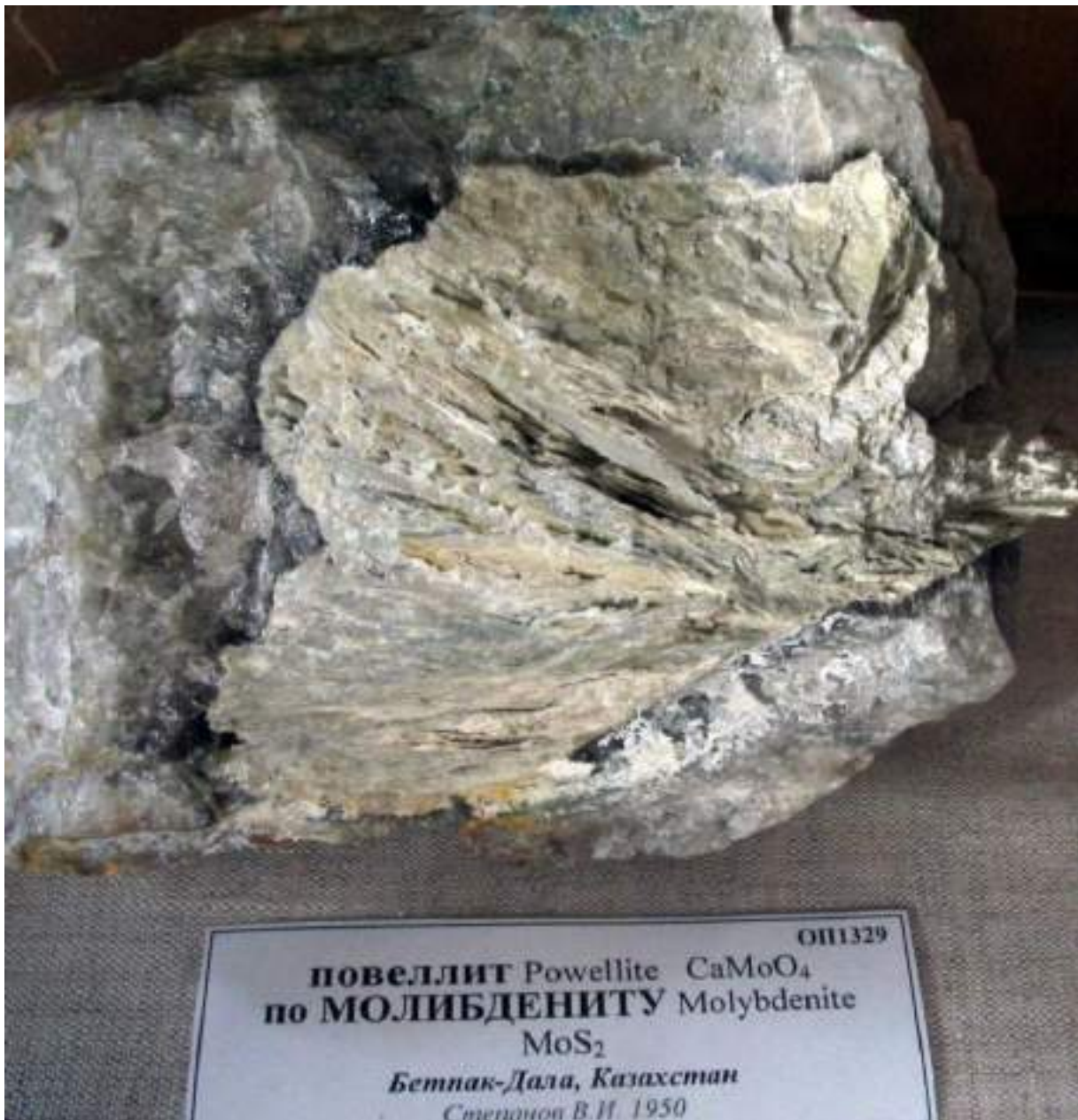
Нура-Талды, Центральный Казахстан

Псевдоморфозы повеллита $\text{Ca}[\text{MoO}_4]$

по

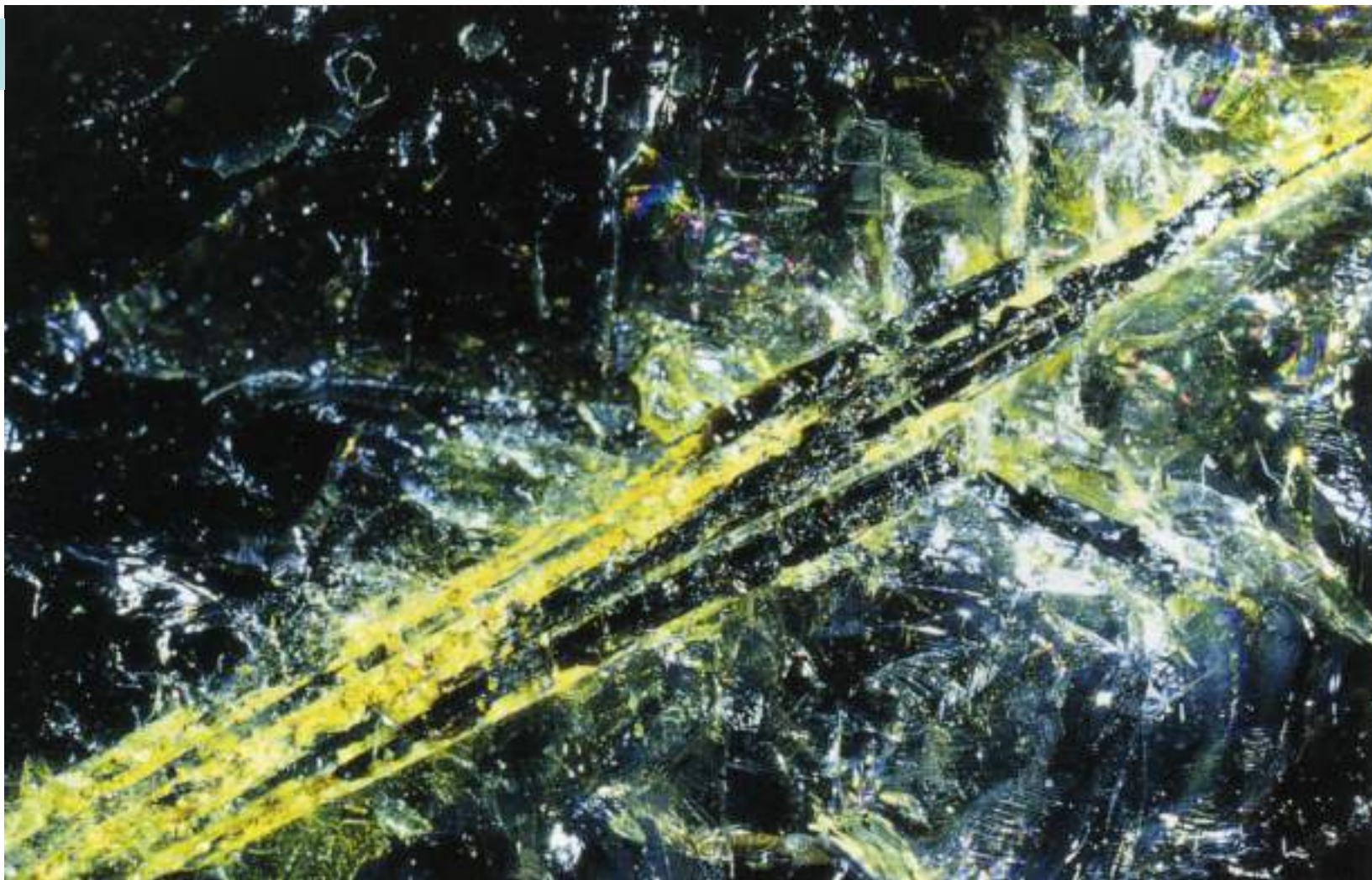
молибдениту

MoS_2



**Псевдоморфозы гидроксилбастнезита-Ce
(Ce,La,Nd)[(OH,F)/CO₃]
по ортиту – алланиту –Ce
Ca(Ce,La,Nd)Fe²⁺Al₂[O/OH/SiO₄/Si₂O₇]**

15 мм

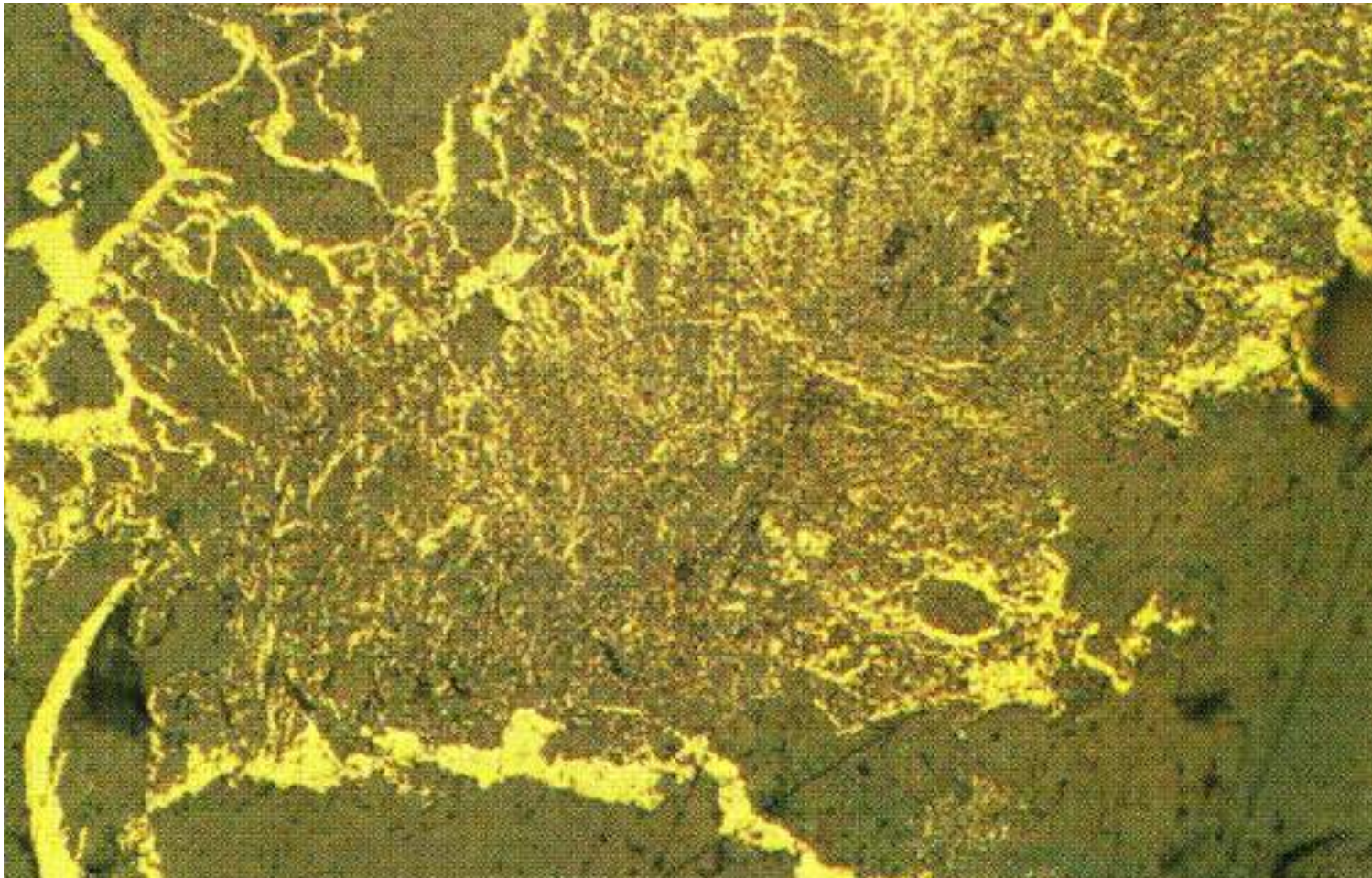


Глёт PbO



Псевдоморфозы по галениту до 1.5 мм.
Milton Quarry

Двуминеральная псевдоморфоза по
серебристому золоту - электруму:
агрегат высокопробного золота
и хлораргирита: $(Au, Ag) \rightarrow Au + AgCl$



В отражённом свете. Copper Hills, Западная Австралия

Псевдоморфозы халцедона по кристаллам кальцита в агатах



Аметистовая жеода с перегородками – псевдоморфозами халцедона по пластинчатому кальциту. Rio Grando do Sul, Бразилия. 3.5 кг. 290x100 мм

Псевдоморфозы халцедона по пластинам кальцита в агатах

85 мм

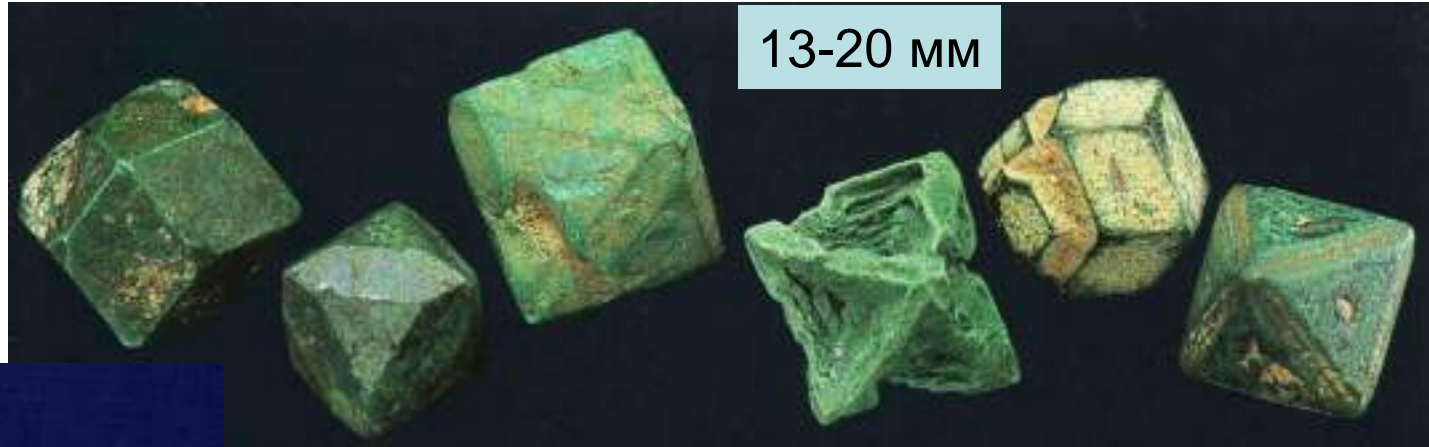


170 мм



Агаты с перегородками – псевдоморфозами халцедона по пластинчатому кальциту. Баден-Баден, Германия

Малахит $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$ по куприту Cu_2O



50 мм



Поликристаллическая псевдоморфоза самородной меди по куприту



60 мм.
Рубцовское
месторождение,
Алтай

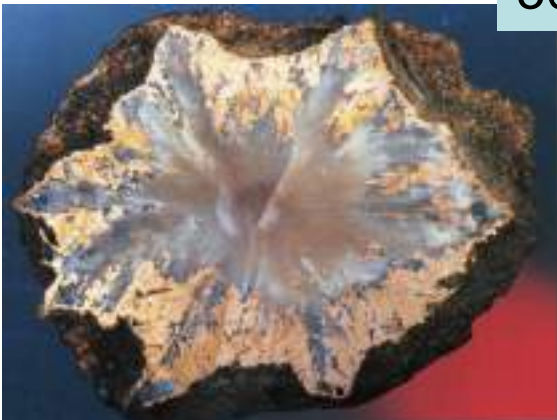
42 мм



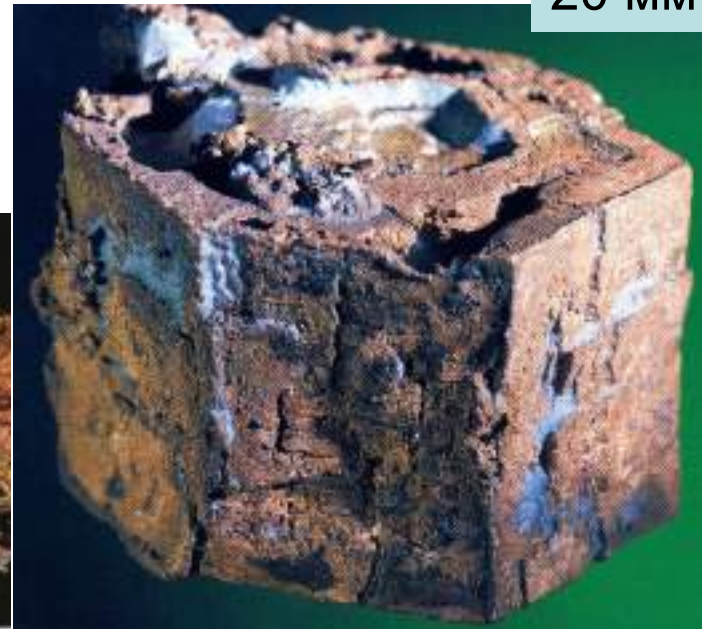
Псевдо- морфозы меди по арагону

Корокоро,
Боливия

30 мм



20 мм



Псевдоморфозы меди по арагониту. Корокоро. Боливия



Links: Dünnschliff eines Schnittes parallel zur Basis im Auflicht. Das Kupfer erscheint rötlich; die Orientierung der drei Aragonite ist gut erkennbar. Durchmesser 25 mm.— Rechts derselbe Dünnschliff zwischen gekreuzten Polarisationsfolien; dadurch sind die drei zusammengehörigen Aragonit-Einzelindividuen



**Псевдоморфозы малахита $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$
по азуриту $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$**



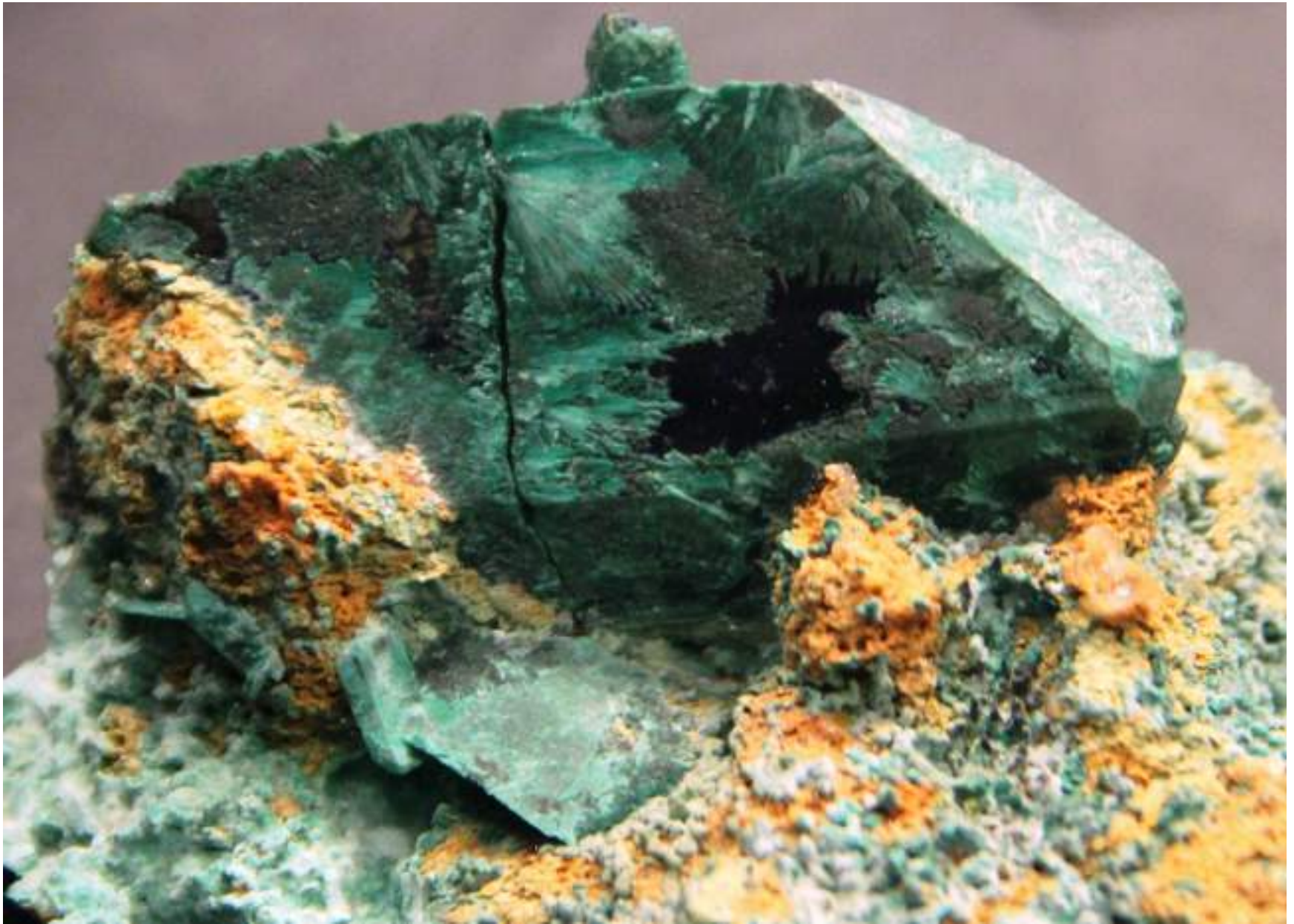
Touissit,
Oujida-Angad,
Марокко

Псевдоморфозы малахита $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$
по азуриту $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$



Цумеб, Намибия

Псевдоморфоза малахита по азуриту



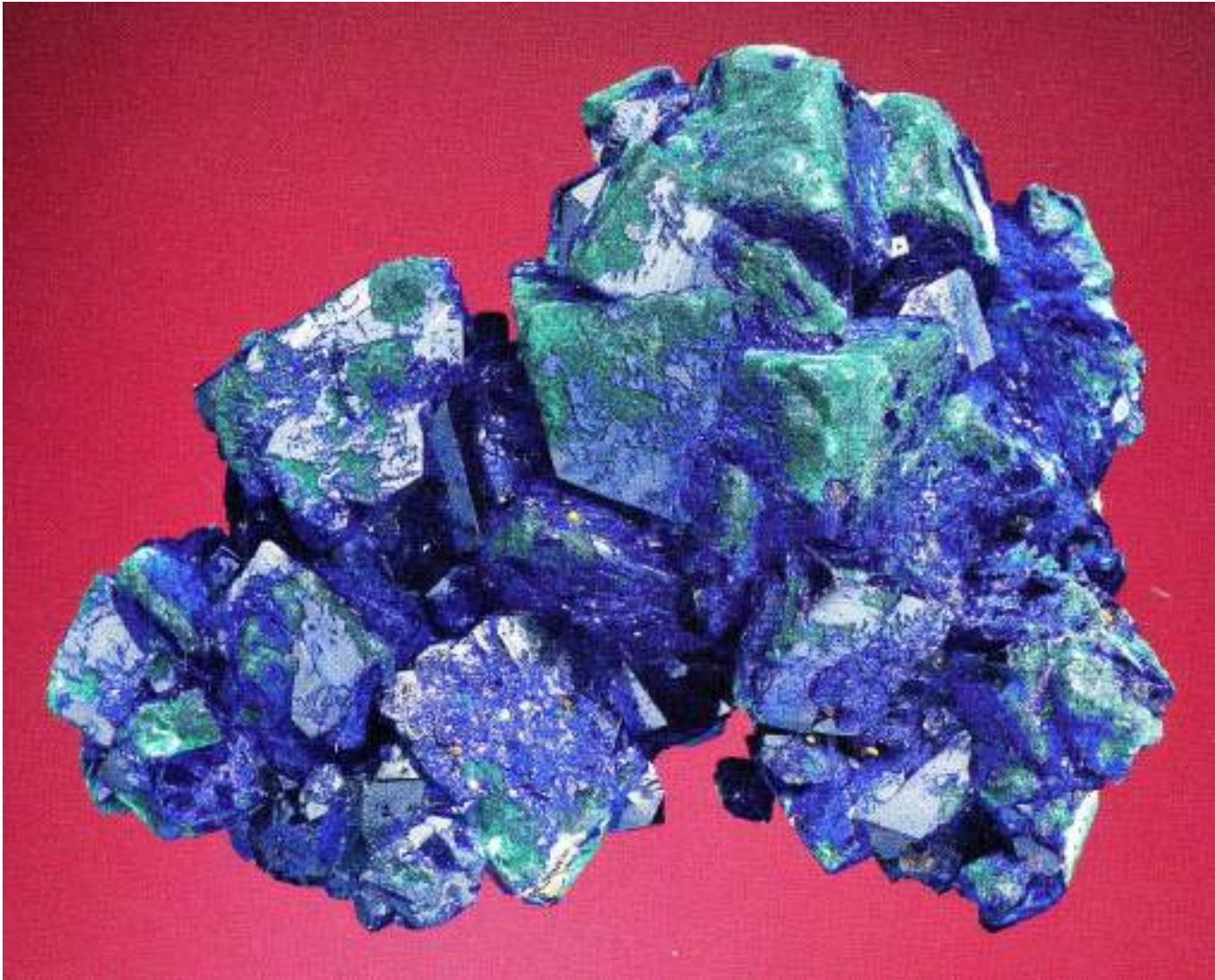
Цумеб, Намибия

**Псевдоморфозы малахита $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$
по атакамиту $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$**



Турьинский рудник,
Средний Урал

Псевдоморфозы малахита по азуриту, ранее заместившему малахит



76 мм. New Cornelia Pit mine, Ajo, Аризона, США

Псевдоморфозы гипергенного галенита PbS по пироморфиту $Pb_5[Cl/(PO_4)_3]$



Каутенбах, Германия

27x36 мм.
Цумеб



На галените поздние плёнки
пироморфита



20x15 мм.
Huelgoat,
Франция



Каутенбах,
Германия

Псевдоморфоза галенита PbS по бариту

30 мм. Лаврион, Греция



Псевдоморфоза
гипергенного галенита
по баритовой розе

**Бирюза $\text{Cu}^{2+}\text{Al}_6[(\text{OH})_8/(\text{PO}_4)_4]\cdot 4(\text{H}_2\text{O})$
по апатиту $\text{Ca}_5[\text{F}/(\text{PO}_4)_3]$**



20 мм

Cumobabi

Бирюза $\text{Cu}^{2+}\text{Al}_6[(\text{OH})_8/(\text{PO}_4)_4]\cdot 4(\text{H}_2\text{O})$
по бериллу $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$



17x13 мм

Apache Canyon mine,
Аризона, США

Псевдоморфозы касситерита по ортоклазу

Вкрапленники ортоклаза в гранит - порфирах.
Корнуолл, ЮЗ Англия



27x15 мм



30x15 мм





55028

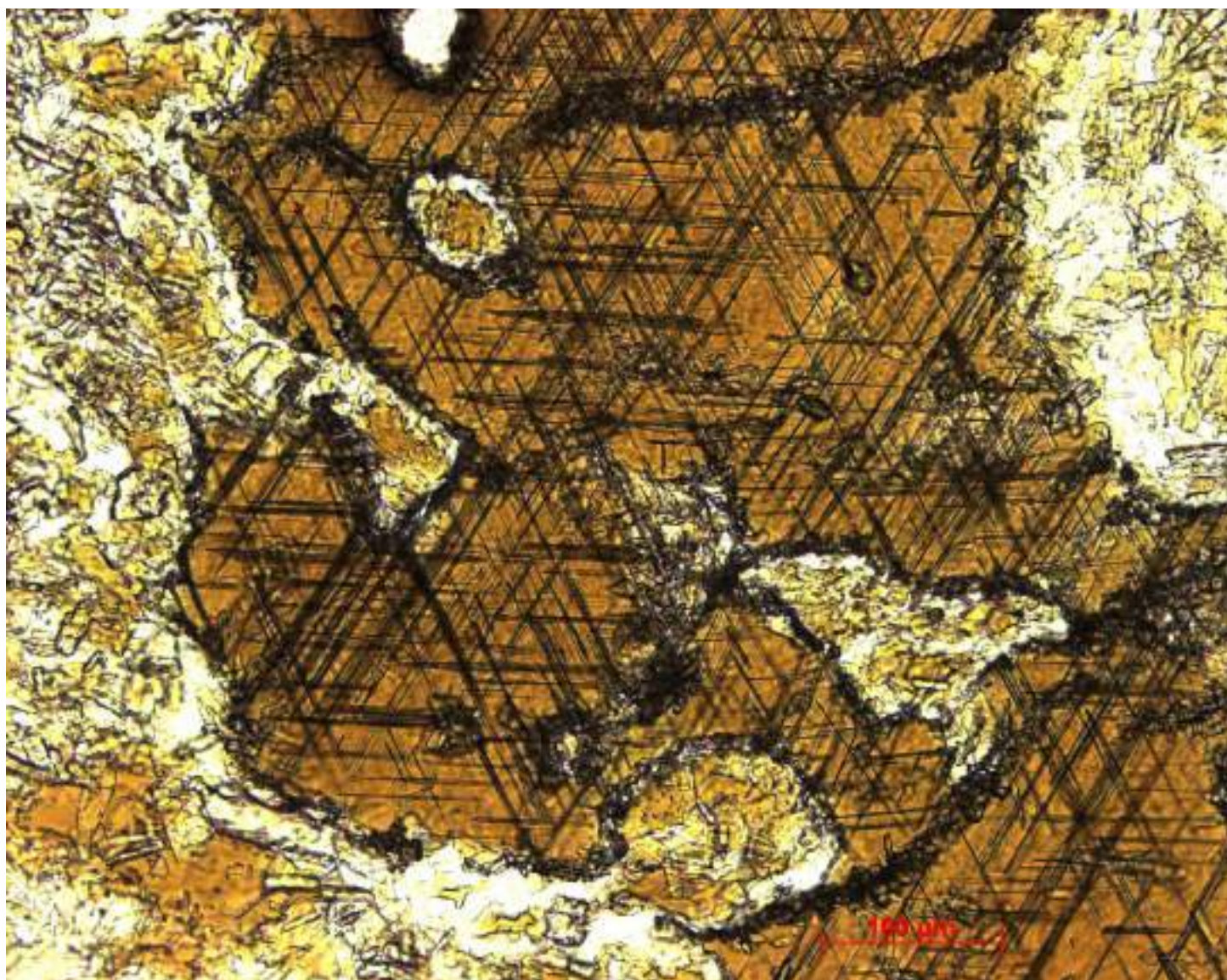
РЕЙНИТ

ферберит Ferberite FeWO_4

по ШЕЕЛИТУ Scheelite CaW O_4

Япония

Псевдоморфоза гидротермального биотита (бедного Fe и Ti) + рутил - сагенит по магматическому высокотитанистому биотиту

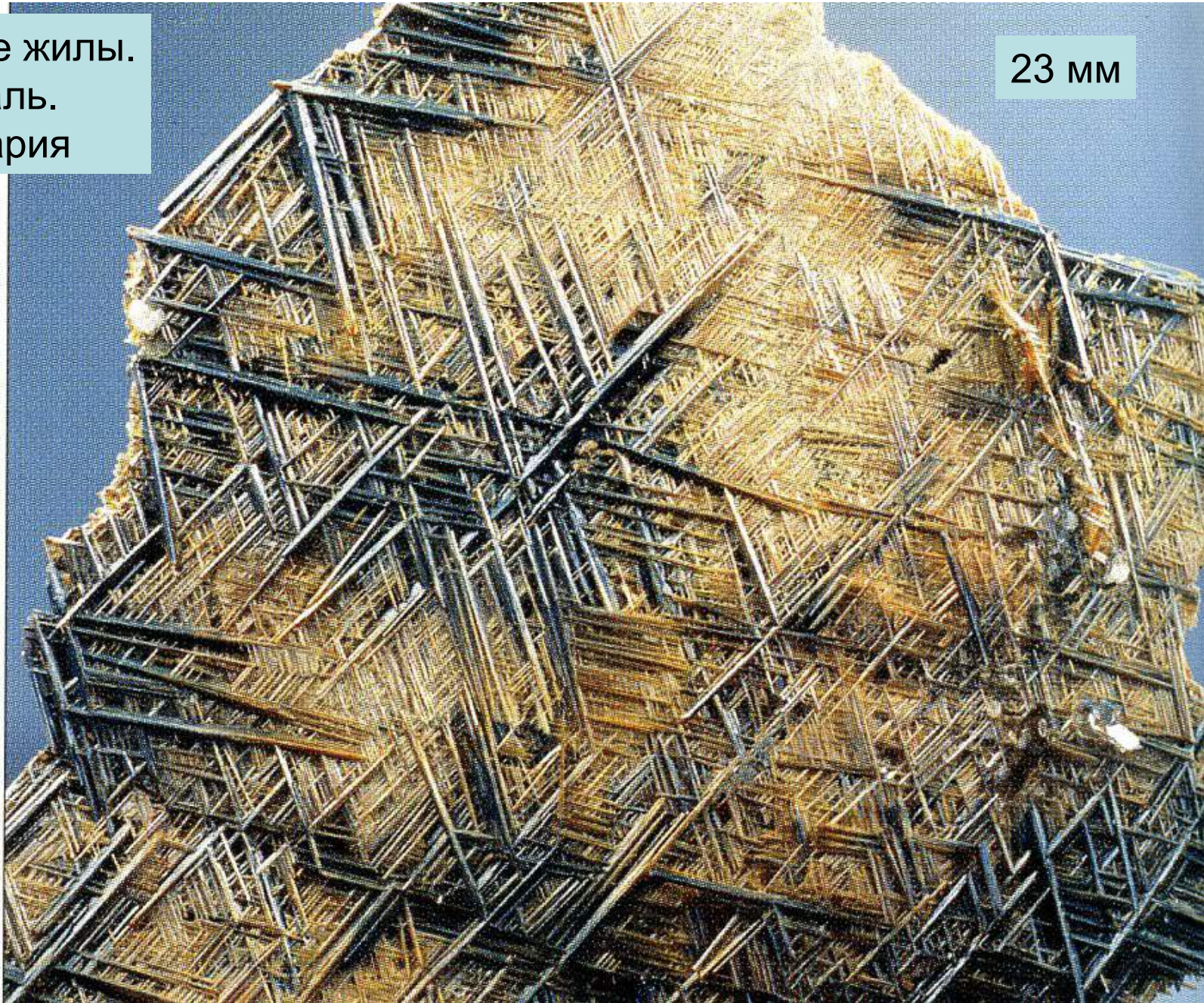


При 1
николе

Псевдоморфоза рутила по ильмениту

Альпийские жилы.
Биннталь.
Швейцария

23 мм



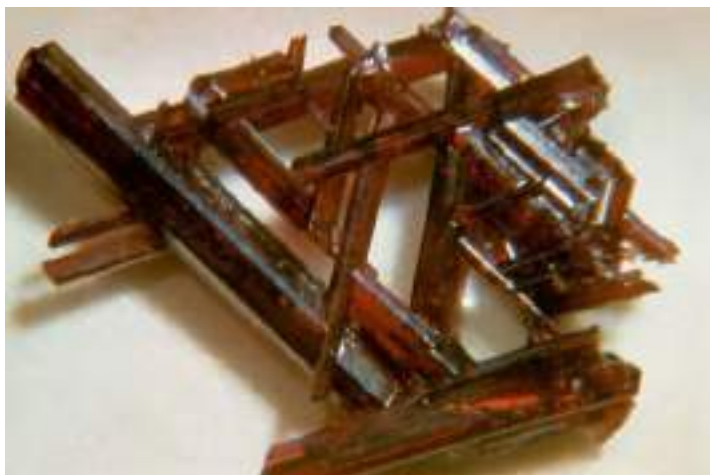
Альпийские жилы. Рутил-сагениит по ильмениту



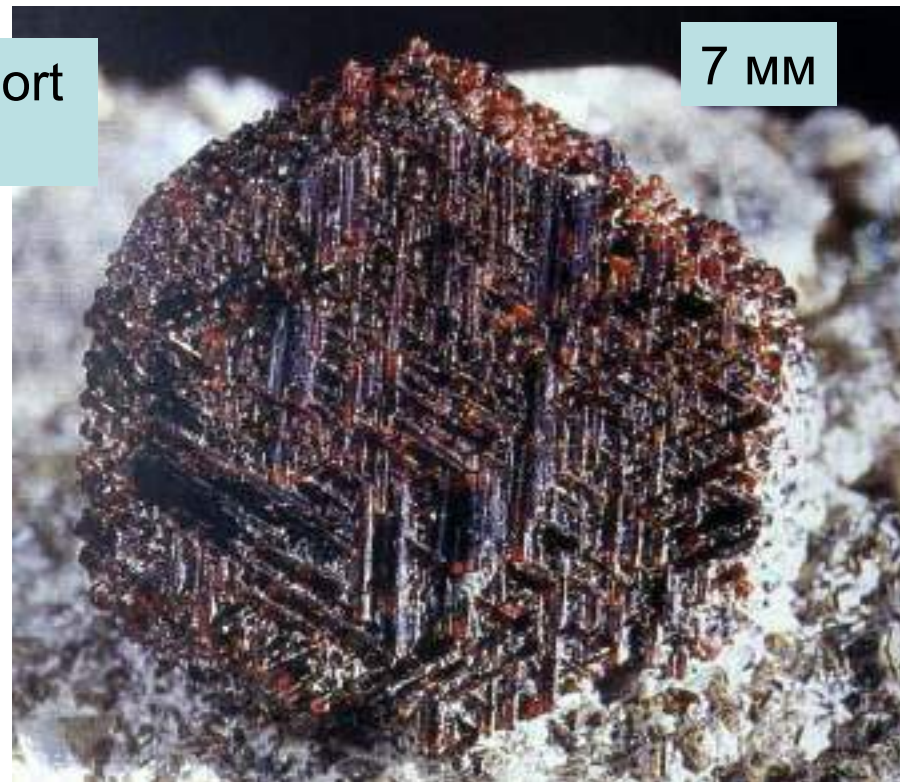
47 мм

В кварце. Rooisand Gamsberg area, Намибия

Альпийские жилы. Рутил - сагениит по ильмениту



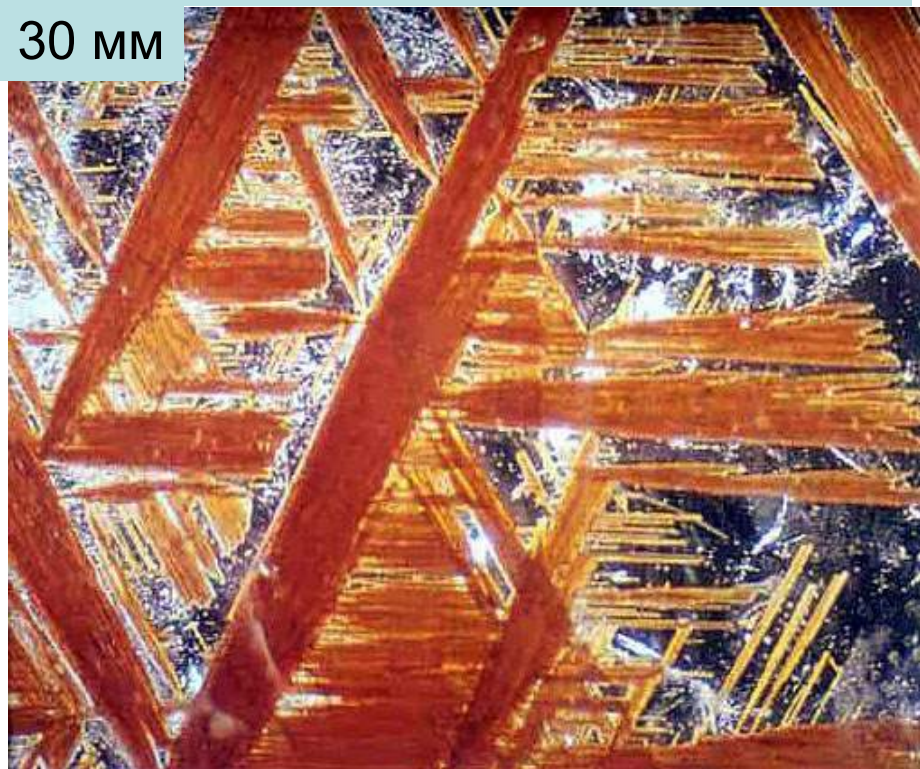
Chummibort
Mutti



7 мм

Включения в горном хрустале

30 мм



20 мм

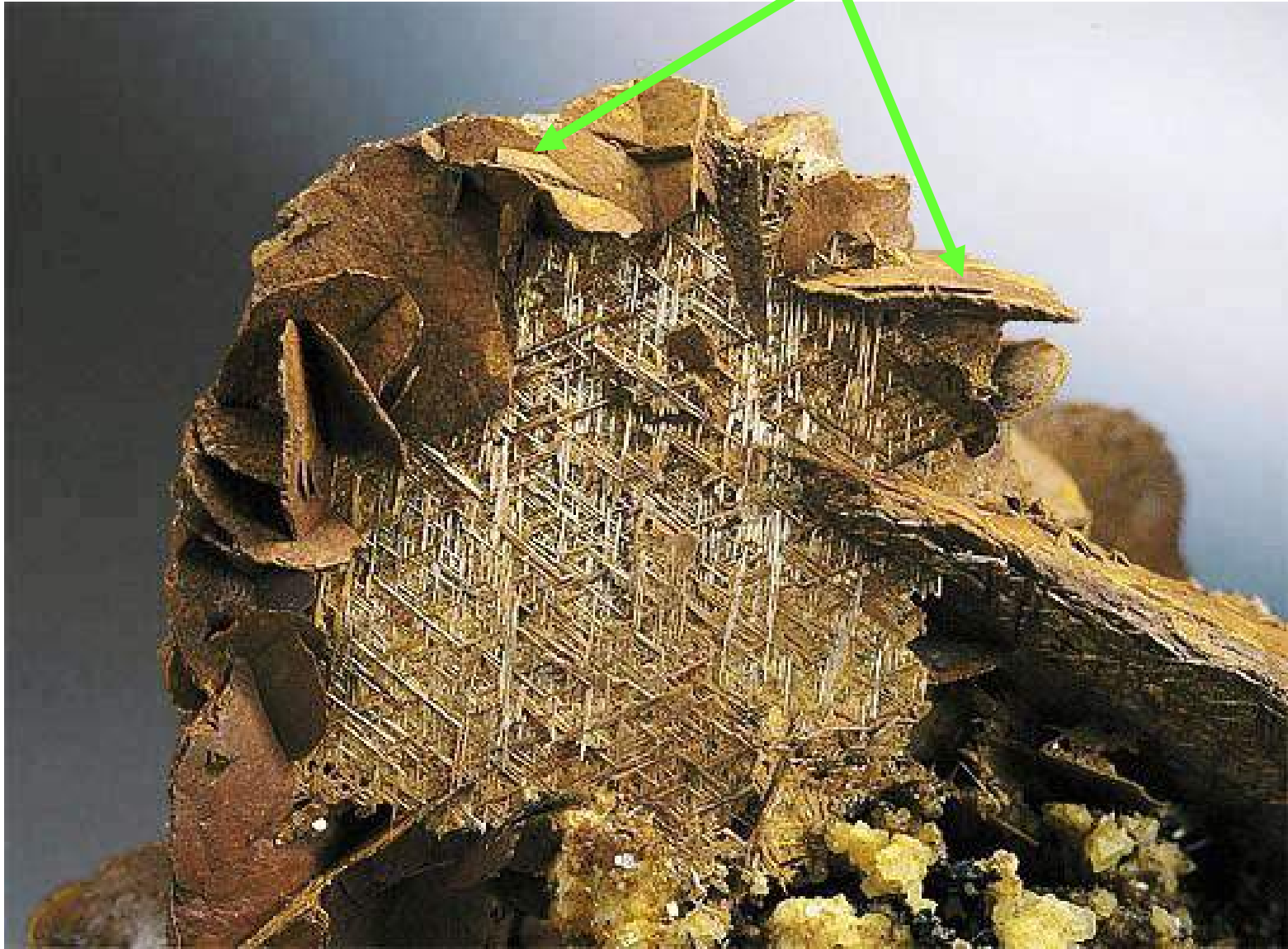
Альпы

Альпийские жилы. Рутил-сагениит по ильмениту

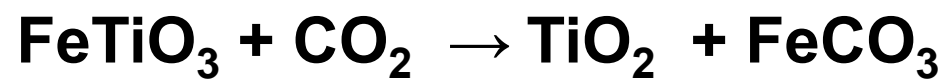


**с кальцитом и
кеммереритом.
Сарановское,
Западный
Урал.
Фото
М.А.
Богомолова**

Альпийские жилы. Рутил и сидерит по ильмениту



Вероятная реакция :



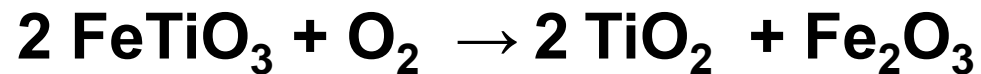
Альпийские жилы. Рутил + гематит по ильмениту

290 мм

Итабира, Бахия, Бразилия



Вероятная реакция :



Альпийские жилы. Рутил + гематит по ильмениту

Итабира, Бахия, Бразилия



Альпийские жилы. Рутил + гематит по ильмениту

75x65 мм



Сен-Готтард,
Швейцария



Альпийские жилы. Рутил + гематит по ильмениту



**В горном
хрустале.
Remedio,
Bahia, Бразилия.
1.5 кг**

Рутил по ильмениту Полая псевдоморфоза

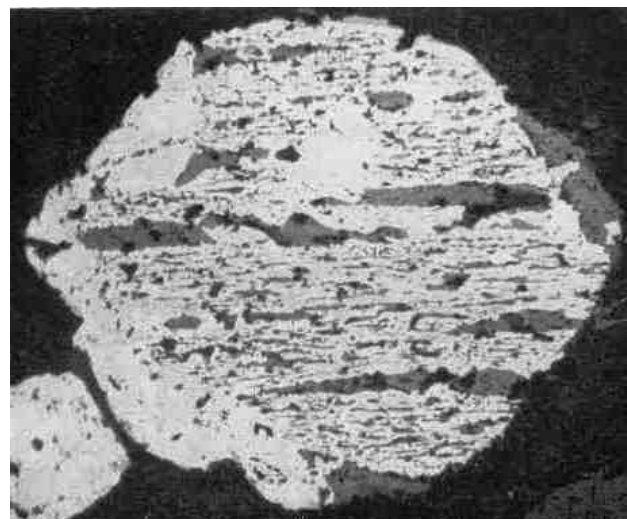


В продущине молодых щелочных вулканитов. 3 мм.
Emmelberg, Эйфель, Германия

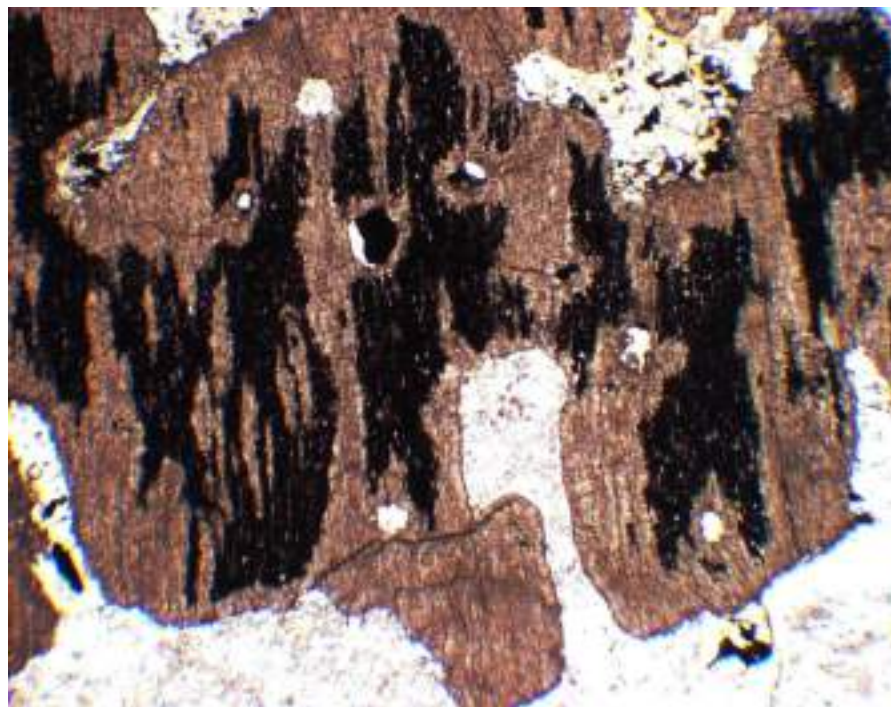
Псевдоморфозы по ильмениту



Гематит (светлый) и анатаз (серый).
Песчаники девона.
Русская платформа.
В отражённом свете.



Псевдоморфоза пирит (светлый) +
рутил (серый). Золотоносные
россыпи Витватерсранда, ЮАР.
В отражённом свете. X 150



Титанит (сфен) с реликтами
ильменита (чёрный).
Пропилиты по габбро.
Тёплая Гора, Западный Урал

Полиминеральная псевдоморфоза по ильмениту

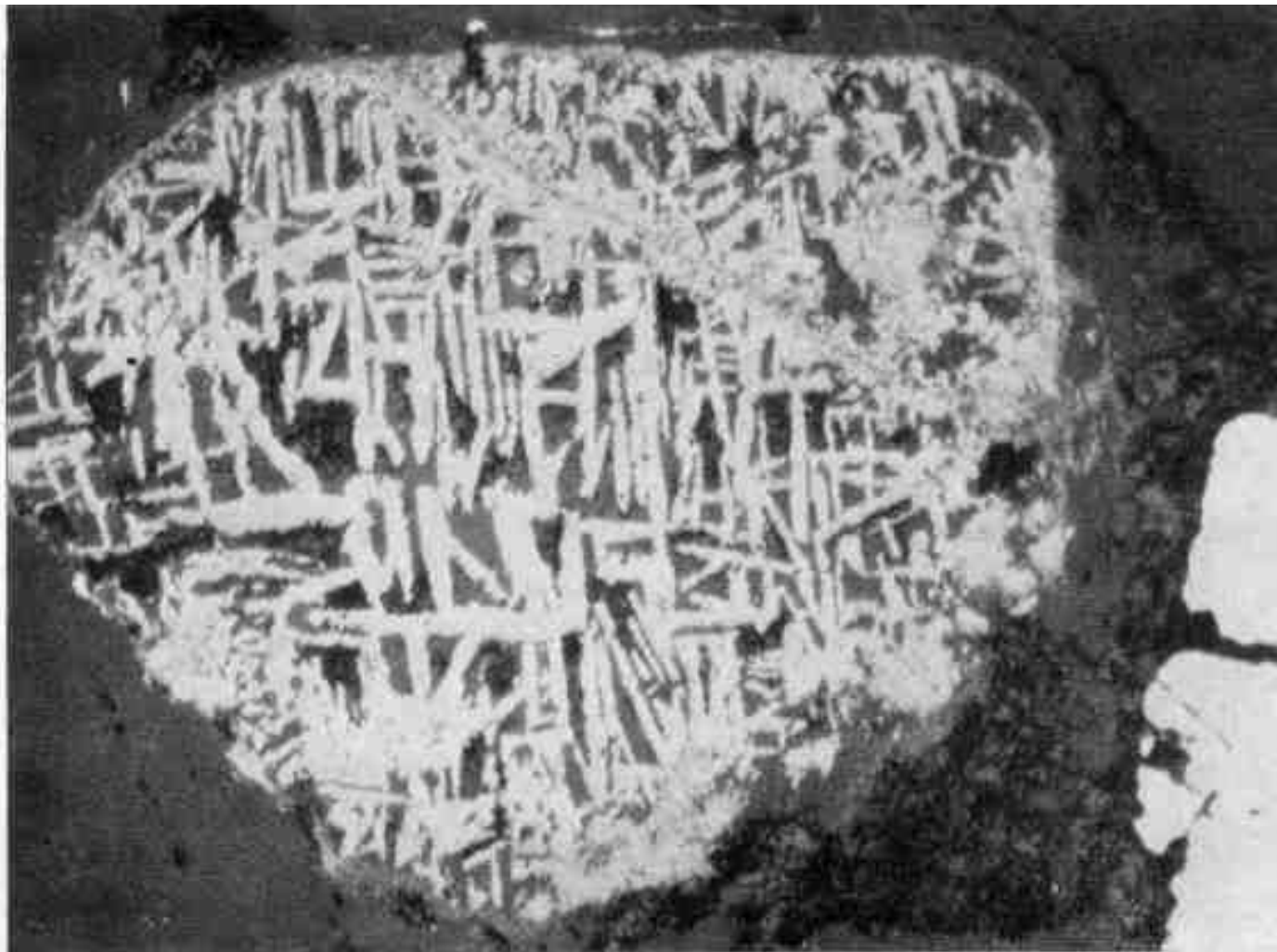


Abb. 584

Vergr. 80mal

RAMDOHN

Liegendes Reef, Algom Nordie Mine, Ontario

Rutilnest, ursprünglich entstanden aus einem Ilmenitgeröll, das zuerst in ein Aggregat nach (001) taflicher Anataskristalle verwandelt war. Randlich Pyritgeröll

Рутил и анатаз с пиритом

Поликристаллическая псевдоморфоза рутила по анатазу



7 мм. Chummibort Muttita

Альпийские жилы. Приполярный Урал

Серпентин - лизардит $Mg_3[(OH)_4/Si_2O_5]_2$ по форстериту $Mg_2[SiO_4]$

Метаморфизованные
магнезиальные
скарны,
Снарум,
Норвегия

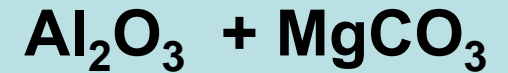
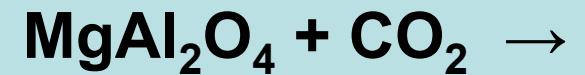


Поликристаллическая псевдоморфоза корунд + магнезит по шпинели



Магнезит
частью
выщелочен

Вероятная реакция :



Могок,
Бирма

Поликристаллическая псевдоморфоза топаз + флюорит по плагиоклазу

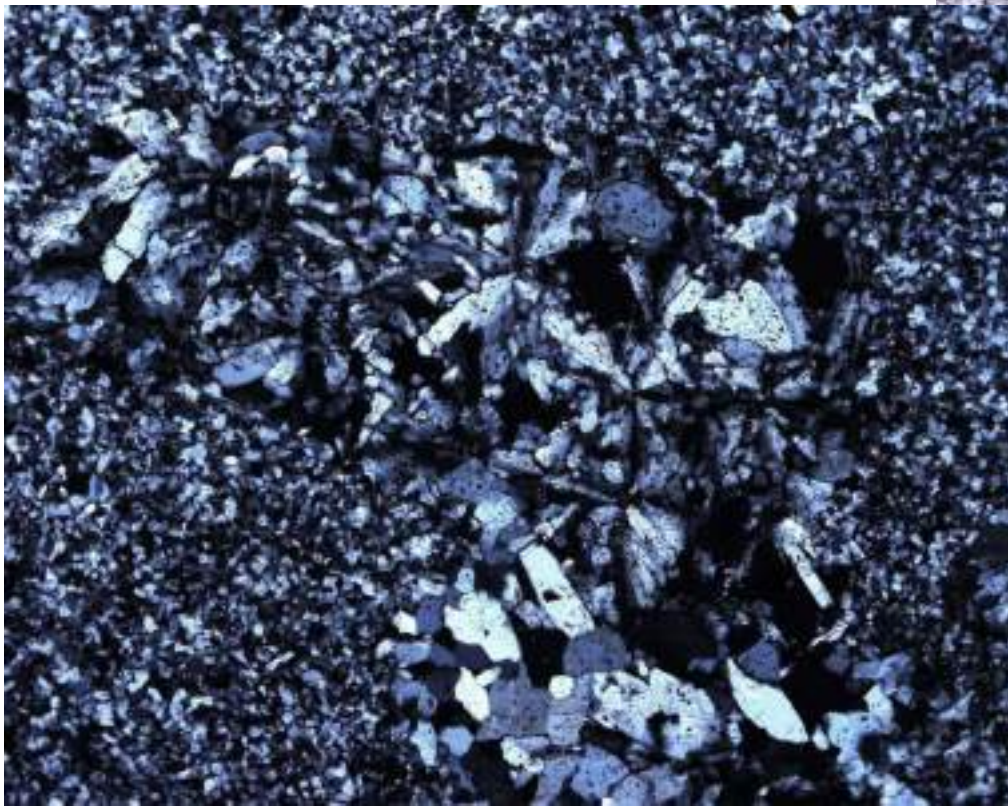
Вкрапленники плагиоклаза
замещены агрегатами
преобладающего топаза и
флюоритом



Шлиф при 1 николе

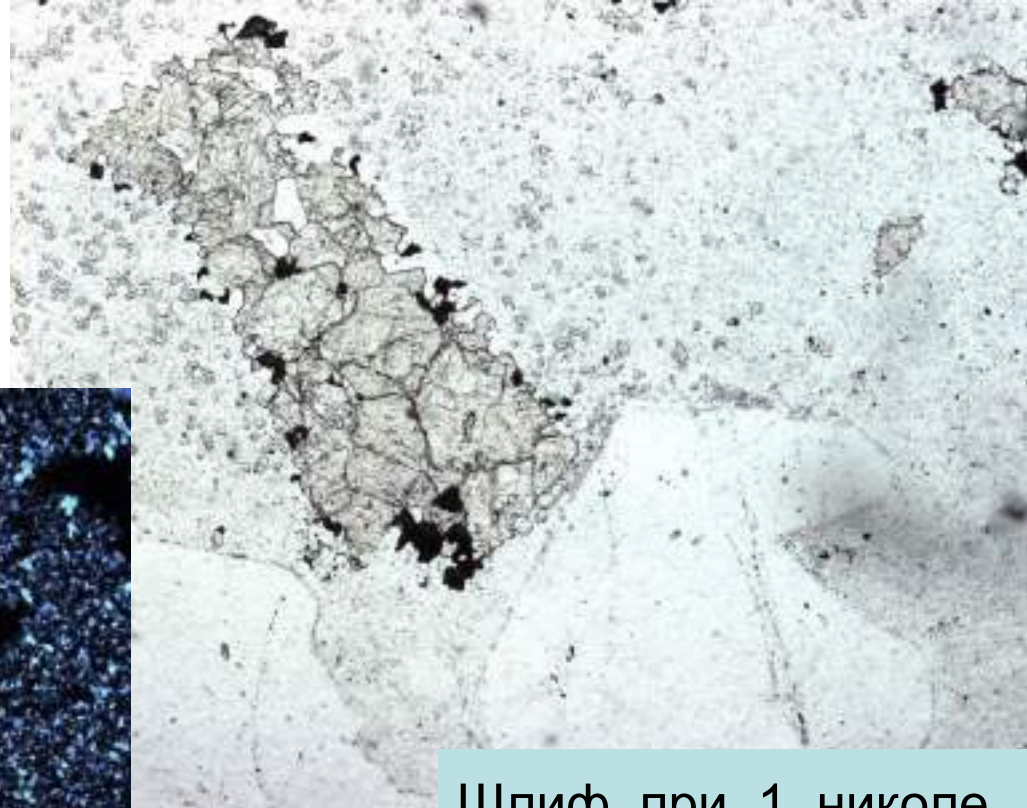
Одиночное, СВ России.
Колл. З.Г. Караевой,
фото Э.М. Спиридонова

Шлиф. Николи x



Поликристаллическая псевдоморфоза топаз + флюорит по плагиоклазу

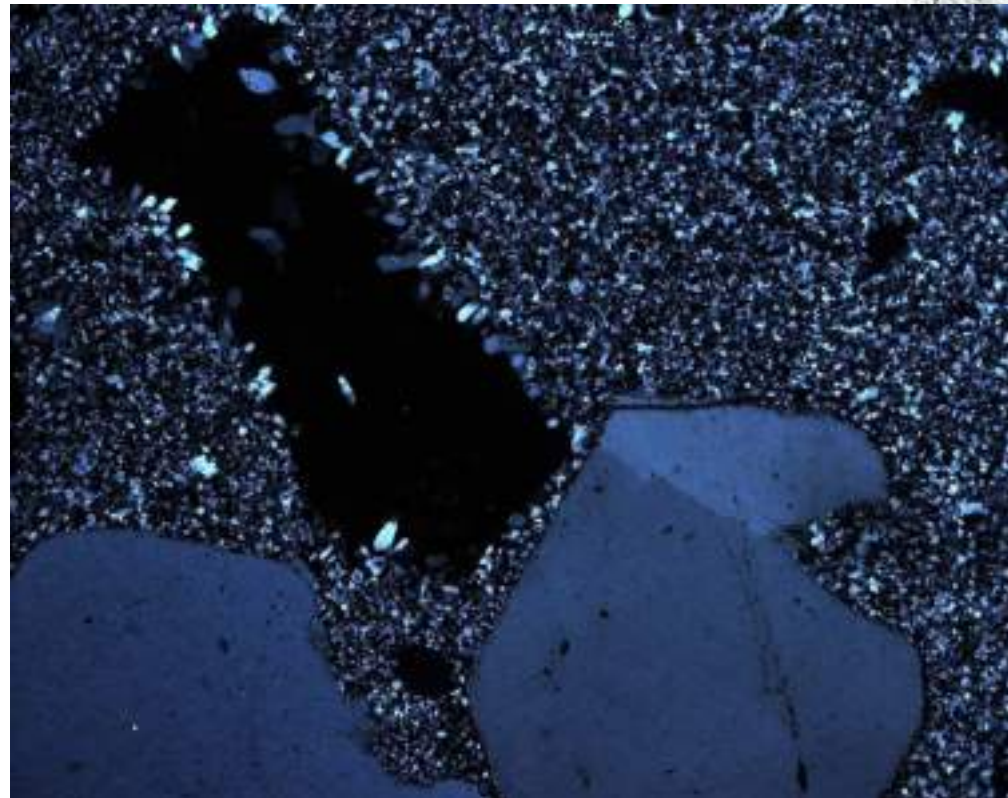
Вкрапленник плагиоклаза
замещён агрегатами
кристаллов топаза и
преобладающим флюоритом



Шлиф при 1 николе

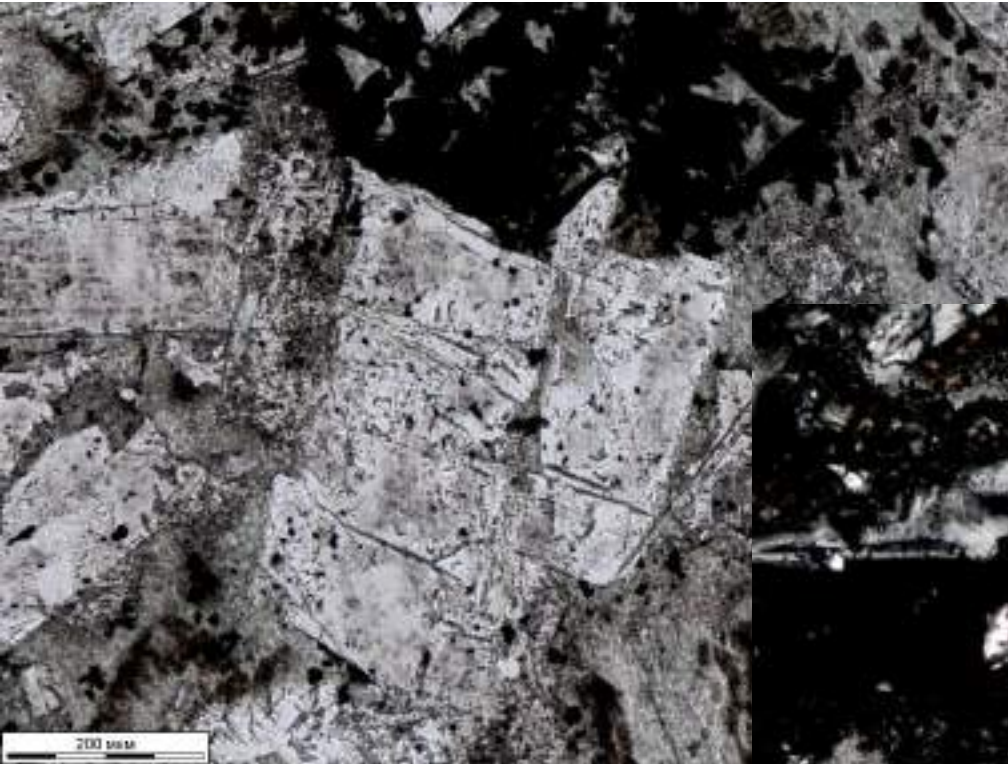
Одиное, СВ России.
Колл. З.Г. Караевой,
фото Э.М. Спиридонова

Шлиф. Николи х



Цеолитовая фация. Интенсивно метаморфизованные платобазальты.

Трапповая формация раннего протерозоя Прионежья



По плагиоклазу –
псевдоморфоза
ломонтита и альбита



При 1 никеле

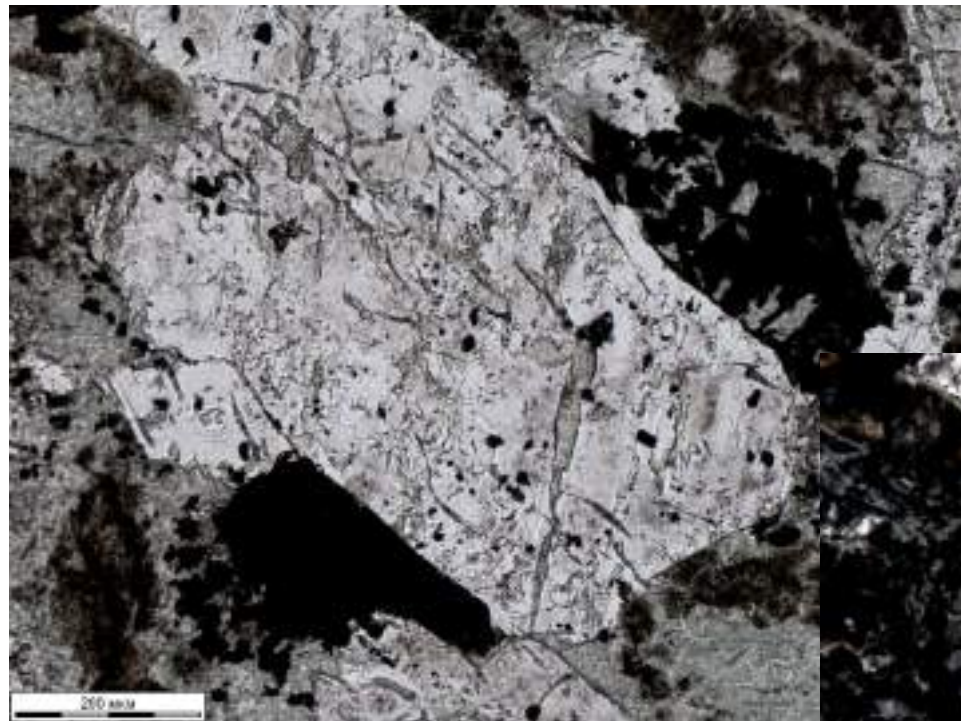
Колл. В.М. Тимофеева
Фото Э.М. Спиридонова
и Е.В. Путинцевой

Николи x

Цеолитовая фация. Интенсивно метаморфизованные платобазальты.

Трапповая формация раннего протерозоя Прионежья

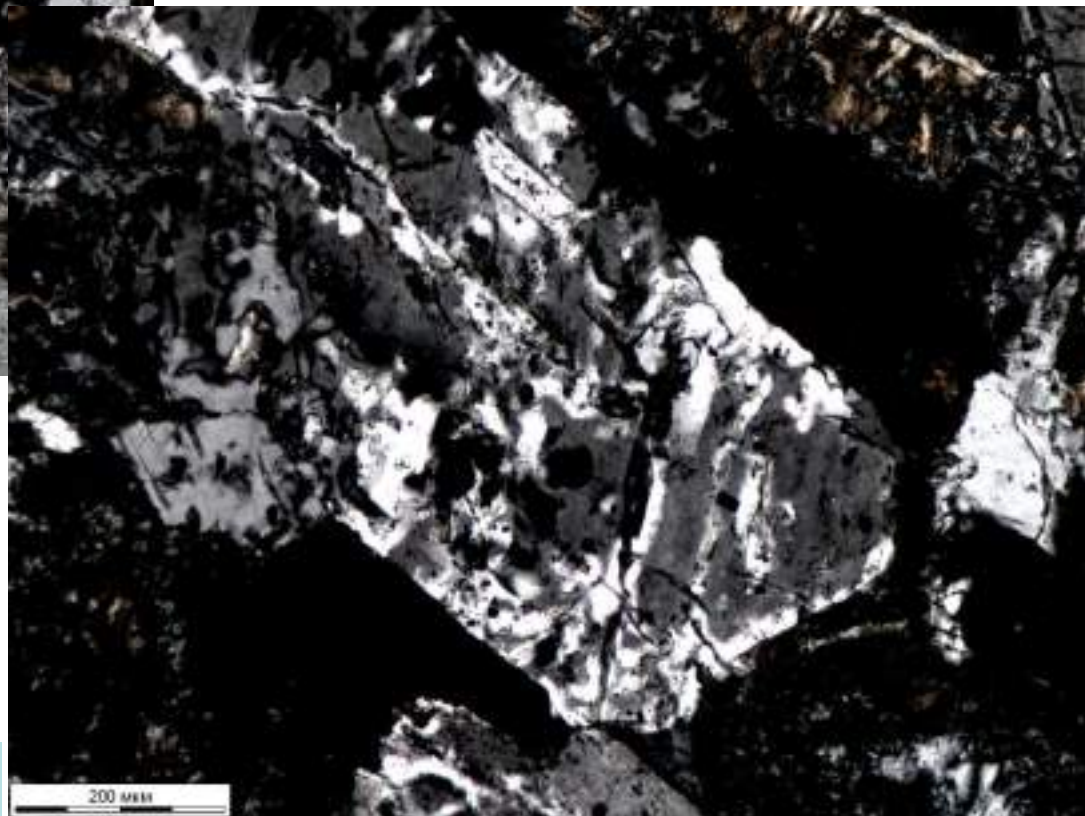
По плагиоклазу –
псевдоморфоза
ломонтита и альбита



При 1 николе

Колл. В.М. Тимофеева
Фото Э.М. Спиридонова
и Е.В. Путинцевой

Николи х



**Псевдоморфозы пренита $\text{Ca}_2\text{Al}[(\text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
по ломонтиту $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$**
(классический переход от цеолитовой фации
к пренит-пумпеллиитовой фации)

**Из жеод в метабазальтах.
Декан, Индия**



Поликристаллические агрегаты пренита заместили
призматические кристаллы ломонтита. Слева 88x43 мм.

Псевдоморфозы кварца по ангидриту

Агатовые жеоды. Rio Grando do Sul, Бразилия



Пучки пластин ангидрита,
замещённого кварцем,
из крупной жеоды.
550 мм.

Псевдоморфозы кварца по апофиллиту



Метабазальты цеолитовой фации.

Тура, река Нижняя Тунгуска. Восточно-Сибирская платформа

Псевдоморфозы кварца по бариту



Tizi-n-Tichka,
Quarzazate
Марокко



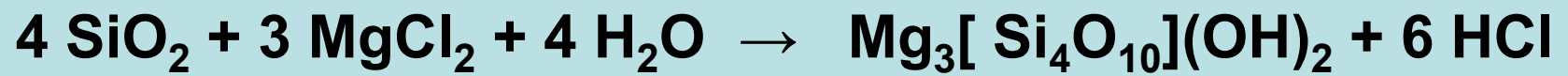
98 мм.
Ledville, Колорадо,
США

Псевдоморфозы талька по кварцу



Göpfersgrün,
Германия

Вероятная реакция :



Псевдоморфозы аметиста по кристаллам кальцита в крупных агатовых жеодах



Rio Grande do Sul, Бразилия

Santa Elena. Artigas. Уругвай

**Псевдоморфозы облекания кварца (аметиста)
по кальциту. Агатовые жеоды. Artigas, Уругвай**



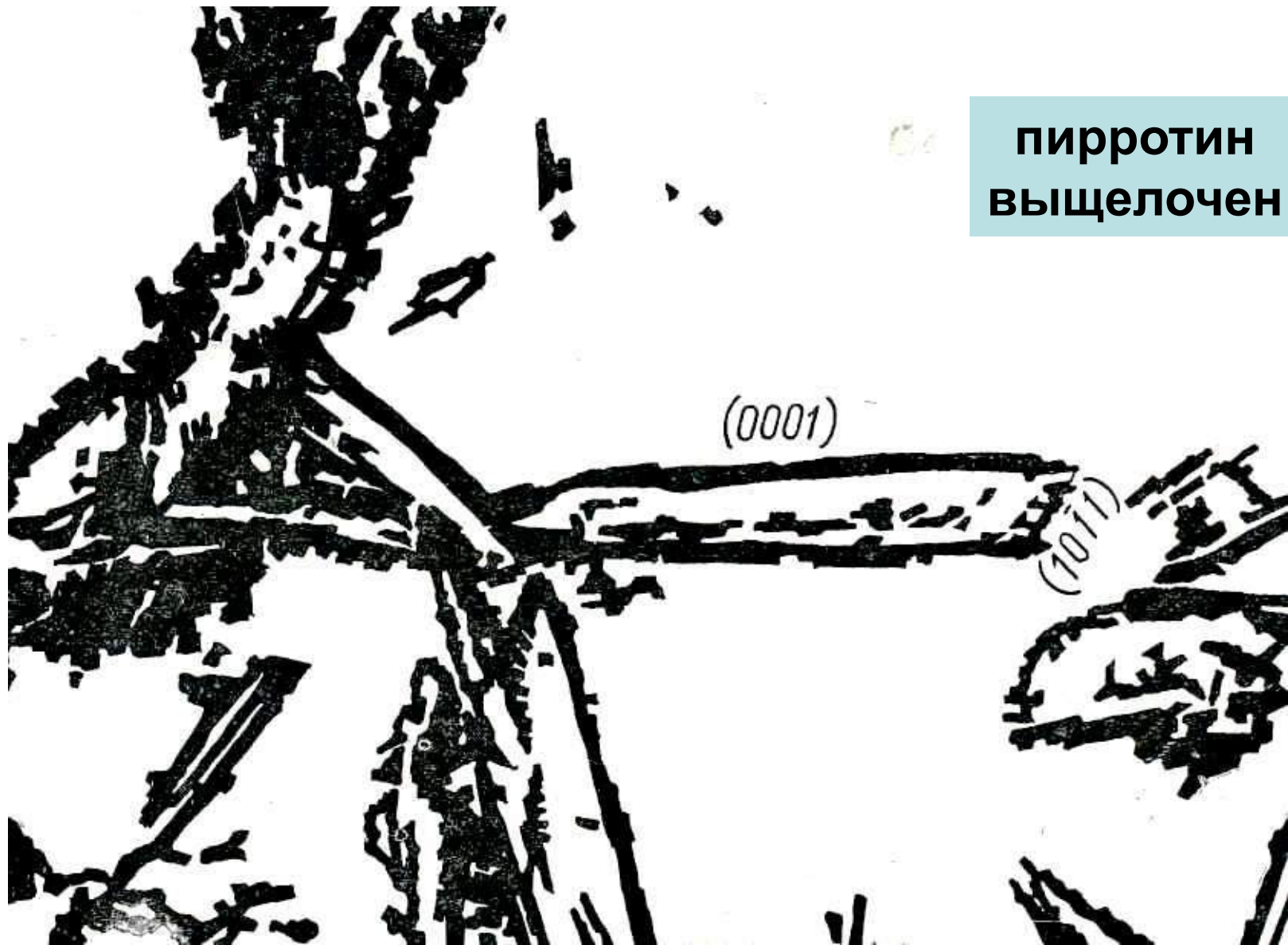
Псевдоморфозы облекания родохрозита по пластинам кальцита. Мадан, Болгария



Колл. музея
«Земля и люди»,
София.
Фото
Н.Н. Жукова

Контурные псевдоморфозы магнетита по пластинам пирротина

пирротин
выщелочен





Карелия

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)

- 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 микрозондового 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 срастания 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., Горяйнов 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 // Зап. ВМО. 1950. Вып. 4. С. 283-290.

Старостин В.И. Ксенолиты колчеданной руды в дайках диабазовых порфиритов 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: Металлургиздат. 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 fimbroid 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.** Fimbroidal 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.