

Э.М. Спиридонов

# **Генетическая минералогия.**

025. Филогения  
минералов и  
минеральных агрегатов

# Сингенез, диагенез, эпигенез минеральных агрегатов

Факты для выявления генезиса геологических объектов можно получить прежде всего при изучении горных пород и руд как агрегатов минералов. В первую очередь необходимо установить – является ли наблюдаемый узор текстур и структур первичным = сингенетическим, т.е. появился ли данный узор одновременно с возникновением самих горных пород и рудных концентраций, фиксированы ли в нём условия сингенеза. То есть надобно разделить «жизнь» горных пород или рудных концентраций на стадии. Для литологии и геологии горючих ископаемых такой подход тривиален: стадильный анализ, основанный на дифференциации событий литогенеза сингенетических, диагенетических и эпи- или катагенетических, является действенным и мощным методом исследований. В минералогии, петрологии и учении о рудных месторождениях такой подход, к сожалению, пока редок.

В истории развития горных пород и рудных концентраций можно выделить следующие стадии. **Стадия сингенеза** – первичная, сингенетическая кристаллизация горных пород и руд, осаждение кристаллов или гелей из гидротермальных или гидрогенных растворов. Продуктами могут быть первичные твердофазные агрегаты, илы, пластические агрегаты, стекловатые агрегаты... **Стадия диагенеза** (часто именуемая

# Сингенез, диагенез, эпигенез МА

автометаморфической) – следует за стадией сингенеза и соответствует вторичной перекристаллизации первичных твердофазных агрегатов, их отжигу, раскристаллизации стекловатых агрегатов, образованию конкреций, распаду высокотемпературных твёрдых растворов.

**Стадия эпигенеза** (метаморфизма) – стадия интенсивной перекристаллизации, метаморфической дифференциации, механических деформаций, аллометаморфизма или, напротив, выветривания...

Любопытная и характерная особенность при всех и всяческих пертурбациях – значительно бóльшая устойчивость узоров текстур и меньшая устойчивость узоров структур.

Примеры циклов сингенез (А) – диагенез (Б) – эпигенез (В) :

1А. Слабо сцементированный карбонатный ил Mg кальцита (стандартные осадки неглубоких тёплых морей). Б. Доломитовые известняки.

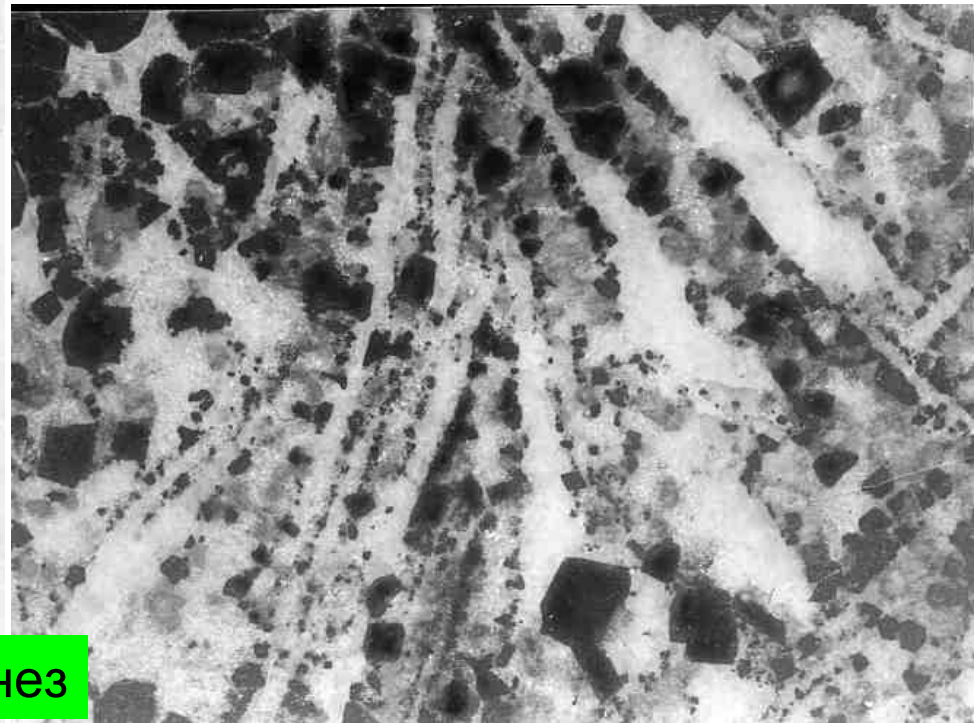
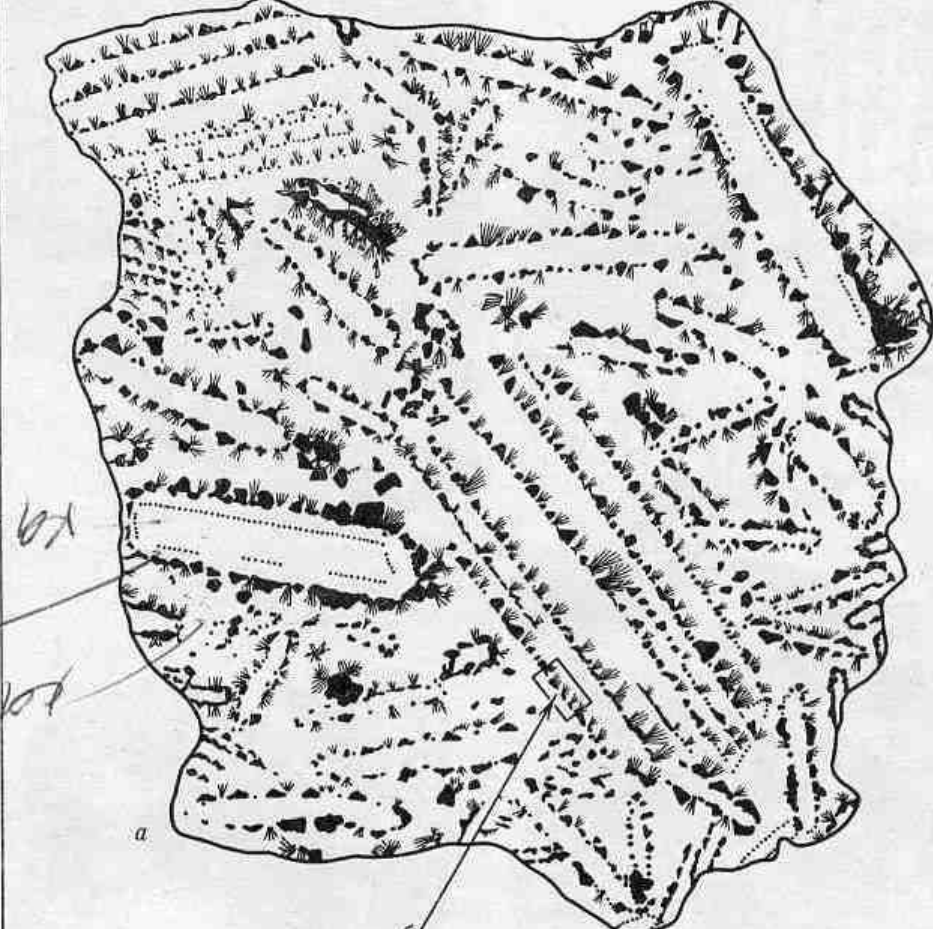
В. Двукарбонатные мраморы или В. Дедоломитизированные породы.

2А. Магматические редкометальные карбонатиты. Первичная структура пластинчатая, гипидиоморфно-зернистая, с элементами флюидальной.

Кальцит неупорядоченный, богат Sr, Ba, REE. Б. Частично

перекристаллизованные карбонатиты с хаотично пятнистой текстурой, кальцит более упорядоченный со структурами распада карбонатов Sr-Ba...или Sr-Ba-REE. В. Зернистые массивные карбонатиты

# Сингенез, диагенез, эпигенез минеральных агрегатов



Сингенез



84x63 мм.

Пластины магматического кальцита, титаномагнетит, флогопит, апатит.

Арбарастах, север Восточно-Сибирской платформы

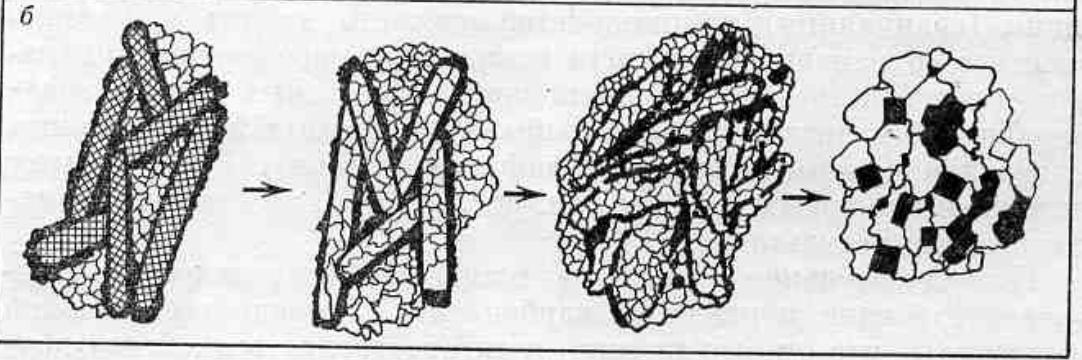
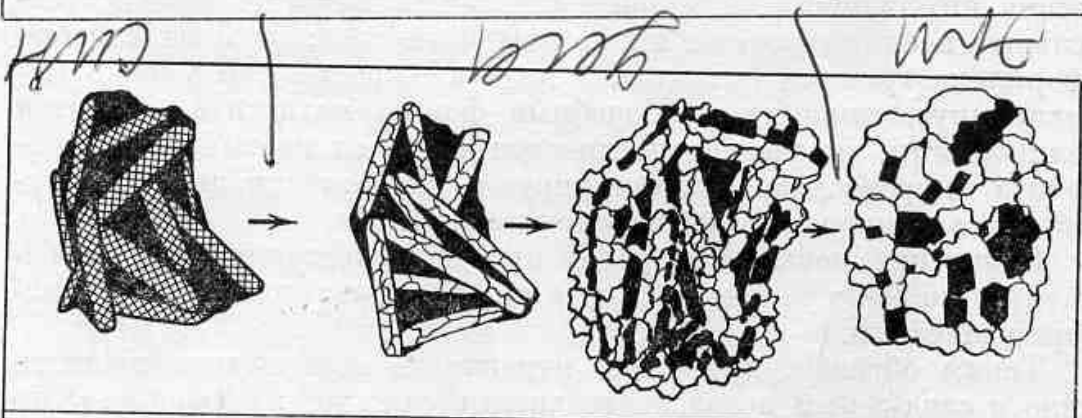
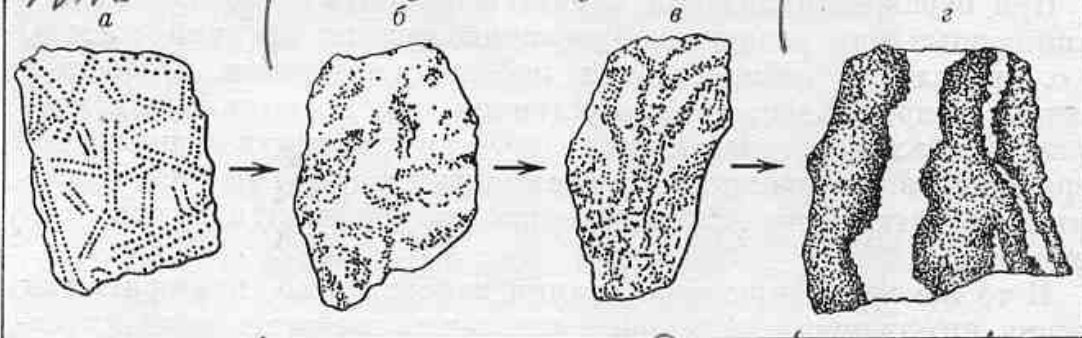
Рис. 45. Первичная текстура карбоната. Гулиньский массив. Natur.

a — специфическое распределение аксессуарных минералов;

b — строение друзового агрегата в одной из полос;

1 — магнетит; 2 — апатит; 3 — бадделлит; 4 — тораниит

# Сингенез, диагенез, эпигенез минеральных агрегатов



Преобразования  
минеральных  
агрегатов  
карбонатитов  
(отжиг)

Рис. 47. Последовательность (а→г) текстурных преобразований в карбонате (описание в тексте)  
Черное — акцессорные минералы, белое — кальцит

Рис. 48. Метаморфическая дифференциация двух первичных (стадия сингенеза) текстур эндогенных карбонатитов, приводящая в результате к сходным метаморфическим текстурам  
а — одноактное нарастание рудного минерала на кальците, б — отложение рудного минерала на кальците и зарастание промежутков агрегатом кальцита; черное — рудные минералы, светлое — кальцит и апатит

# Карбонатиты кальцитовые ранние



Диагенез

Пластинчатый кальцит,  
титаномагнетит,  
эгирин-авгит, апатит, пироклор.  
Гулинский интрузив.  
Маймеча-Котуйский комплекс,  
Полярная Сибирь

# Карбонатиты кальцитовые ранние

С массой  
титаномагнетита

Аллакурти, сев. Карелия



Вуориярви,  
Кольский полуостров

Эпигенез –  
мраморовидные  
карбонатиты



# Карбонатиты бенстонитовые меланократовые

Пластины бенстонита  
 $(\text{Ba,Sr})_6(\text{Ca,Mn})_6(\text{Mg,Fe})[\text{CO}_3]_{13}$



Мурунский массив.  
Запад Алданского щита



Сингенез



# Карбонатиты бенстонитовые мезократовые



Мурунский массив.  
Запад Алданского щита

Сингенез



Диагенез

# Карбонатиты бенстонитовые лейкократовые

Мурунский массив.  
Запад Алданского щита



Диогенез



Эпигенез

# Сингенез, диагенез, эпигенез минеральных агрегатов

3. А. Магматические титаномагнетитовые руды – агрегаты кристаллов гомогенного титаномагнетита (высокотемпературный твёрдый раствор магнетит – ульвошпинель – шпинель или герцинит...). Б. Агрегаты кристаллов – стандартных структур окислительного распада титаномагнетита – шпинель – ильменит - магнетитовые срастания. В. Метаморфизованные руды - гранобластовые агрегаты магнетита, ильменита, шпинели или В. Выветрелые окисленные мартитовые руды...

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов

Великолепный знаток минералогии, в том числе минералогии рудных месторождений, Виктор Иванович Степанов оценивал степень надёжности (достоверности, воспроизводимости) диагностики минералов примерно в 70 %, а восстановления истории формирования минеральных тел (то есть месторождений) – в 5 % и подчёркивал, что в области изучения последовательности кристаллизации рудных минеральных ассоциаций мы почти не имеем ведущей особенности науки – преемственности знаний.

При изучении руд, прежде чем изучать процессы рудообразования и генетические связи рудных концентраций, следует воссоздать документальную картину строения месторождений и рудных агрегатов в нём на разных уровнях детальности. Для воссоздания документальной картины строения минеральных агрегатов по каждому месторождению нужно отобрать от первых десятков до нескольких сотен крупных образцов по латерали и по вертикали, в том числе на флангах месторождений, где зачастую сохраняются от замещения ранние минеральные ассоциации. Отобранные образцы распилить, пришлифовать... Результатом исследований может считаться только документальный материал непосредственно, а не рассказ о нём, - карты минеральных ассоциаций,

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов

массовые зарисовки, а лучше фотографии обнажений, выработок, штуфов, шлифов, многочисленные определения состава рудных и жильных минералов, определения температур и давлений при рудообразовании и т.п. Естественно, с учётом реальной геологической среды и истории геологического развития данного региона. Так, в областях молодой эндогенной активности, например, в современных окраинно-материковых вулканических поясах формируются жильные и штокверковые месторождения одностадийные, поскольку темп геологических процессов велик и одни и те же пути движения флюидов сохраняются недолго. Напротив, в пределах древних щитов и срединных массивов обычно формируются многостадийные и полихронные месторождения. В такой обстановке одни и те же пути движения рудоносных гидротерм сохраняются в течение сотен млн. лет. Так, одни и те же трещинные структуры Чешского (Богемского) срединного массива содержат урановую минерализацию герцинскую, киммерийскую и даже альпийскую. Поразительный пример такого рода: из одного из месторождений Памира – крупный зональный кристалл флогопита, возраст его ядра 1200 Ма, внешней оболочки 140 Ма.

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов

Возрастные (хронологические и пространственные) соотношения соприкасающихся минеральных тел мы с вами уже умеем определять, используя индукционные = компромиссные поверхности совместного роста, зональное строение, поверхности растворения, пересечения и т.п. Сложнее построить топологическую структуру пространственно – временных взаимоотношений, т.е. синхронизировать разобъённые, не соприкасающиеся минеральные тела. Имеет смысл синхронизировать не соприкасающиеся минеральные тела одной системы типа «сообщающихся сосудов» – например, одной системы рудных залежей. Синхронизация минеральных объектов разных систем – задача геологическая, а не минералогическая.

Синхронизация в пределах сложного геологического объекта состоит из некоторой последовательности операций: сложный объект расчленяется на серию более простых объектов (по соотношению с магматическими образованиями; по относительному и абсолютному возрасту их образования), затем на основе закартированных, задокументированных пересечений воссоздаётся реальная история развития типов минерализации. Типы минерализации обычно развиты в определённых элементах структуры геологического объекта, что позволяет предполагать систему «сообщающихся сосудов». Далее

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов

синхронизируют процессы в мелких минеральных телах, вплоть до минеральных агрегатов и до отдельных индивидов одной генерации минералов. Например, известно, что минерал-концентратор Mn – ильменит. В пикритах наблюдаются разобщённые кристаллы хромшпинелидов и ильменита. Хромшпинелиды зональны по составу, в том числе по содержанию Mn. Концентрация Mn обычно постепенно растёт к внешним зонам кристаллов хромшпинелидов. Если этот рост сменяется резким спадом, то эта смена и соответствует появлению кристаллов ильменита.

Желательно процедуру синхронизации минеральных комплексов проводить в объёме месторождений и отдельных рудных тел, не упуская мелкомасштабные наблюдения, хотя бы потому, что ореолы около рудных тел реально в десятки – сотни раз больше рудных тел.

Исследования пространственно-временных взаимоотношений в минеральных индивидах вам уже знакомы. Пожелания – документировать наблюдения зарисовками, фотографиями, диаграммами. Особое внимание следует уделять эволюции габитуса кристаллов в сочетании с эволюцией их состава. Исследования пространственно-временных взаимоотношений в минеральных агрегатах вам тоже знакомы.

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов

При последовательном минералообразовании возникают сложные минеральные агрегаты (МА): с полосчатыми текстурами наслаивания простых минеральных агрегатов; с проникающими текстурами (в одни МА как бы вдвинуты другие простые МА); с пересекающимися текстурами.

Общая картина формирования МА выявляется ещё в процессе минералогического картирования или документации минеральных тел. Рекомендуется распиловка в нескольких направлениях крупных и представительных штуфов и их пришлифовка (в одних случаях не следует полировать, скажем, образцы с золотом; в других – наоборот, именно полировка выявляет существенные детали), структурное травление или прокрашивание. Отбор и препарирование штуфов документируются, включая их пространственную ориентировку.

Критерии, которые мы с вами отмечали ранее, стоит несколько подкорректировать. Так, не столь редко встречаются случаи унаследованной индукционной поверхности, которую следует отличать от собственно индукционной. Например, кварц и полевой шпат имели индукционную поверхность совместного роста. При метасоматозе полевой шпат замещён серицитом; индукционная поверхность сохраняется, однако её геометрия (размер индукционных псевдограней) совершенно не



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов

соответствует мелкокристаллическому серициту.

Реконструкция пространственно-временных взаимоотношений в минеральных телах и на месторождениях осуществляется по тем же признакам: анализ распределения центров зарождения агрегатов в пространстве; анализ зональности каждого минерального агрегата, прежде всего рудных МА; анализ границ между МА. Данные о динамике формирования конкретных МА в сумме дают картину формирования минеральных тел. На этом уровне исследований проводится анализ взаимоотношений не только индивидов и агрегатов, но и сложных минеральных ассоциаций.

## Выделение генераций минералов

Генерации минералов – это разные поколения одного минерала, разделённые перерывами в кристаллизации. Зарождения минералов – возрастные группы минеральных индивидов, обусловленные появлением новых центров кристаллизации на фоне непрерывной кристаллизации. Признаки перерывов в кристаллизации – растворение минерала с последующей регенерацией и дорастанием; нарастание на индивид других минералов без индукционных поверхностей или захват их в виде включений; пересечение минерала прожилком того же состава.

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов

Поскольку новые порции вещества кристаллизуются прежде всего на собственных затравках, новые его генерации нередко образуют зоны нарастания на индивидах ранних генераций. Эффективные вспомогательные признаки выделения генераций – типоморфные особенности конституции и свойств минерала (скажем, цвет и состав турмалина...). Последнее замечание о генерациях и зарождениях. Признаки перерывов для обоснования генераций морфологически чёткие. Но нет чётких признаков непрерывной кристаллизации.

Общее пожелание. Максимальное использование бинокля – это должен быть инструмент № 1. И при полевых наблюдениях. Соль – наблюдения в объёме, в максимально доступном объёме. О наблюдениях только в плоских препаратах: Д.П. Григорьев – «плоское сечение рождает плоскую мысль». А.Е. Ферсман по поводу конкретной петрографической работы по серпентинитам (Лодочников) – «можно просмотреть тысячи шлифов серпентинитов и не понять сущности процесса серпентинизации без толковых полевых наблюдений».

**Восстановление истории кристаллизации сложных минеральных объектов.** Приёмы, методы и знаковую систему онтогенической информации наиболее полно разработал Юрий Максимович Дымков, книги которого настоятельно рекомендую проработать.

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Два зарождения кальцита



Два зарождения кальцита.  
Первое с включениями меди.  
Quincy mine, Keweenaw,  
Верхнее Озеро

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Два зарождения кальцита. Агаты Ахалцихе, южная Грузия

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Два зарождения арагонита. 20 см. Пещера Grotto de Sud de la France

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Два зарождения аметиста.  
Бушвелд, Южная Африка

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения

Два зарождения  
аметиста.  
Огромная  
жеода с  
кристаллом  
столбчатого  
кальцита.

Santa Elena.  
Artigas.  
Уругвай



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Два зарождения кварца.  
Первое с включениями  
лепидокрокита.  
Тетюхе, Дальний Восток

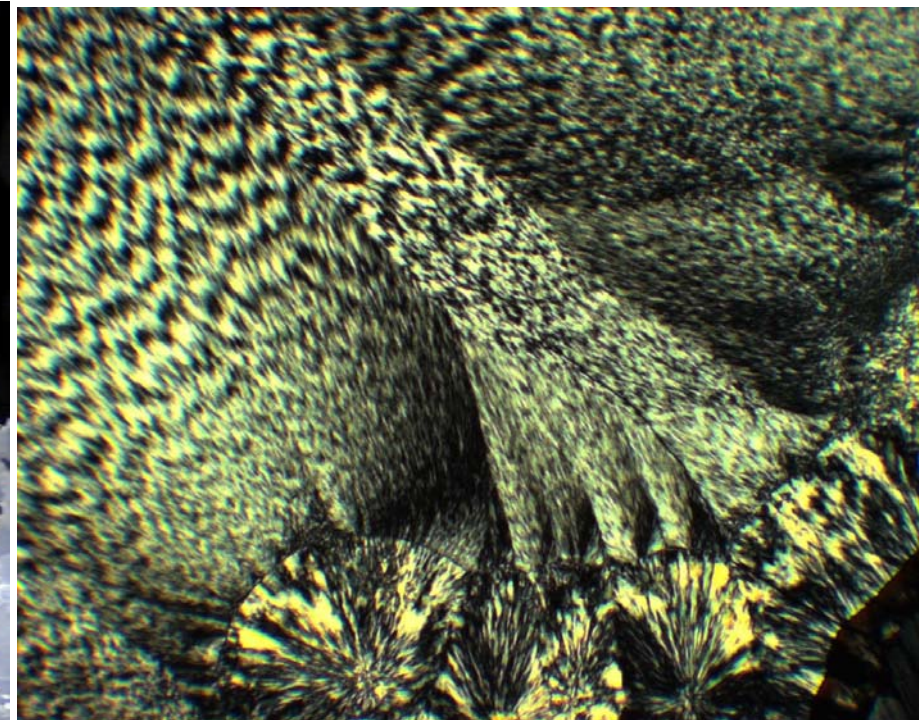
Два зарождения кварца.  
Первое с включениями гематита.  
Китай



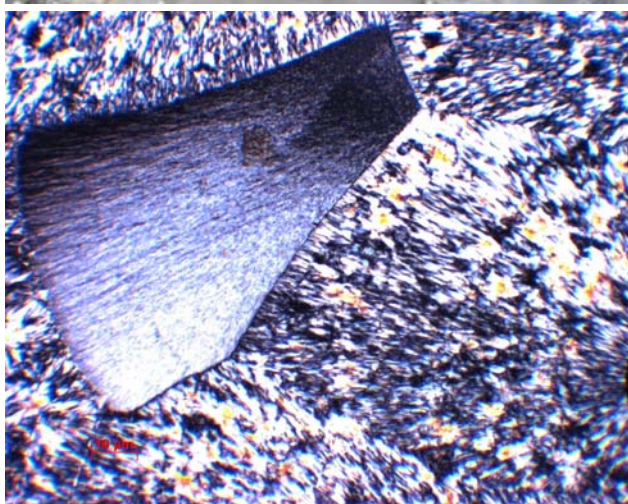


# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения

Два зарождения халцедона



Два зарождения халцедона. Агаты. Голутвино



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Два зарождения  
флюорита

Два зарождения  
ильваита. 39 мм.  
Тетюхе

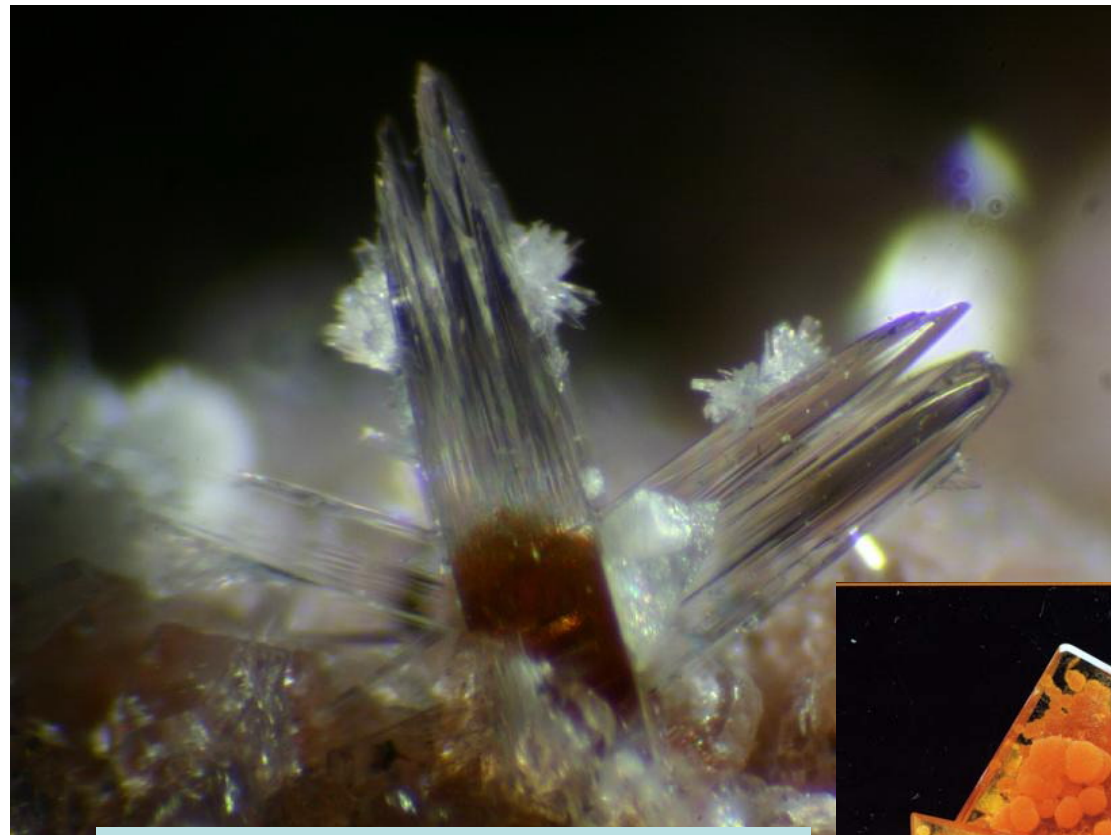


5.5 мм

Два зарождения гематита. Эйфель



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



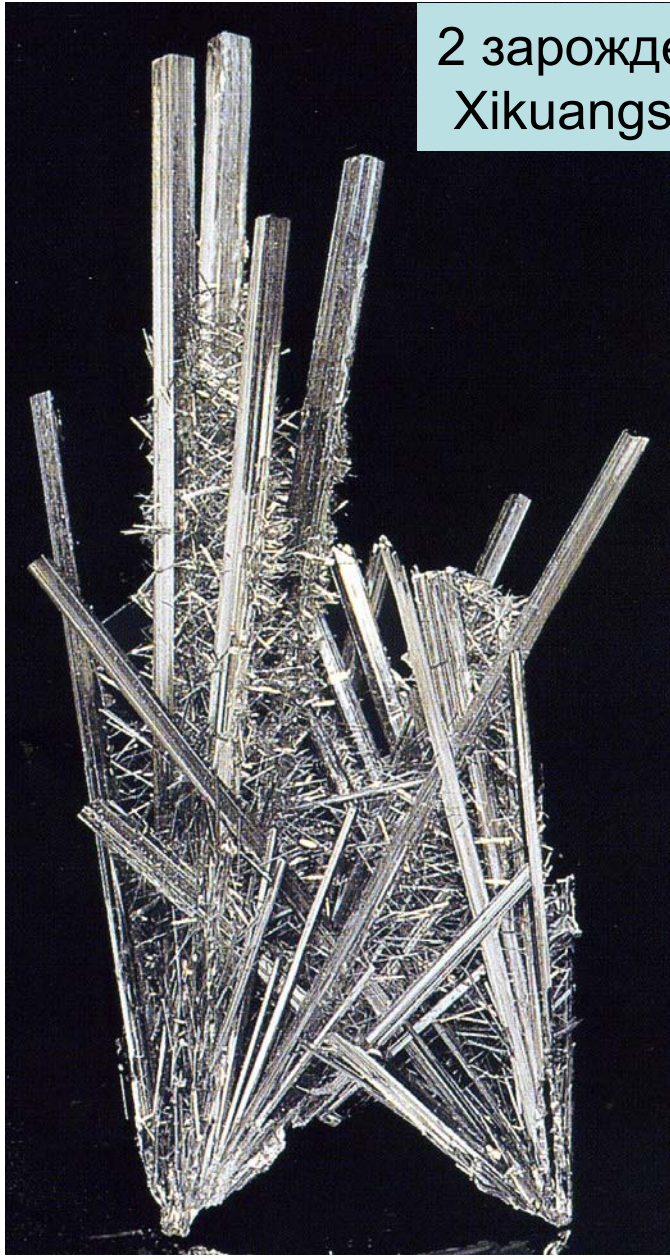
Два зарождения мусковита

Два зарождения  
вильфенита  
 $\text{Rb}[\text{MoO}_4]$



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения

2 зарождения антимонита. 90 мм.  
Хикуангшан, пров.Хунань, Китай



Два зарождения  
адамина.  
29 мм.  
Santo Domingo,  
Chihuahua,  
Мексика



Два зарождения гётита  
в аметисте

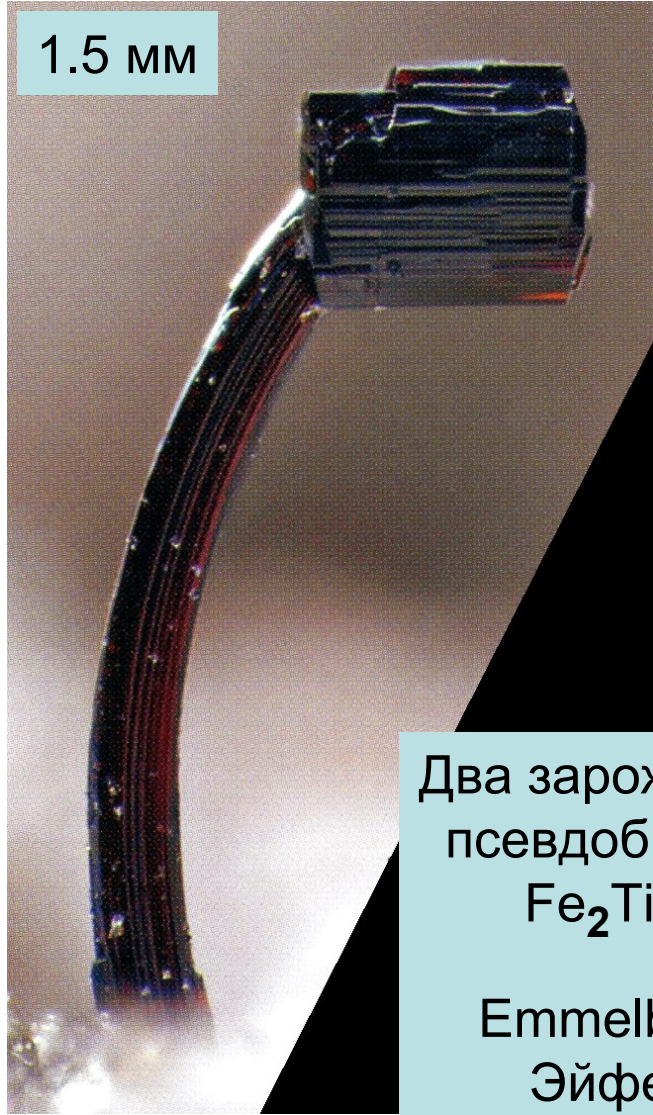
# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения

Два зарождения авгита. На авгите второго зарождения капли вулканического стекла. Эйфель, Германия

1 мм



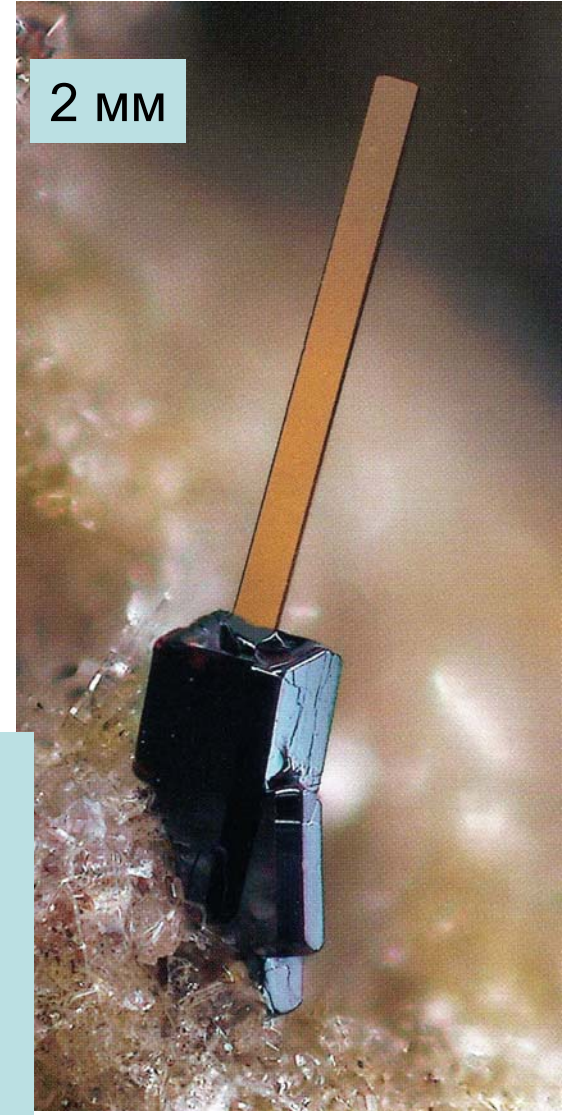
1.5 мм



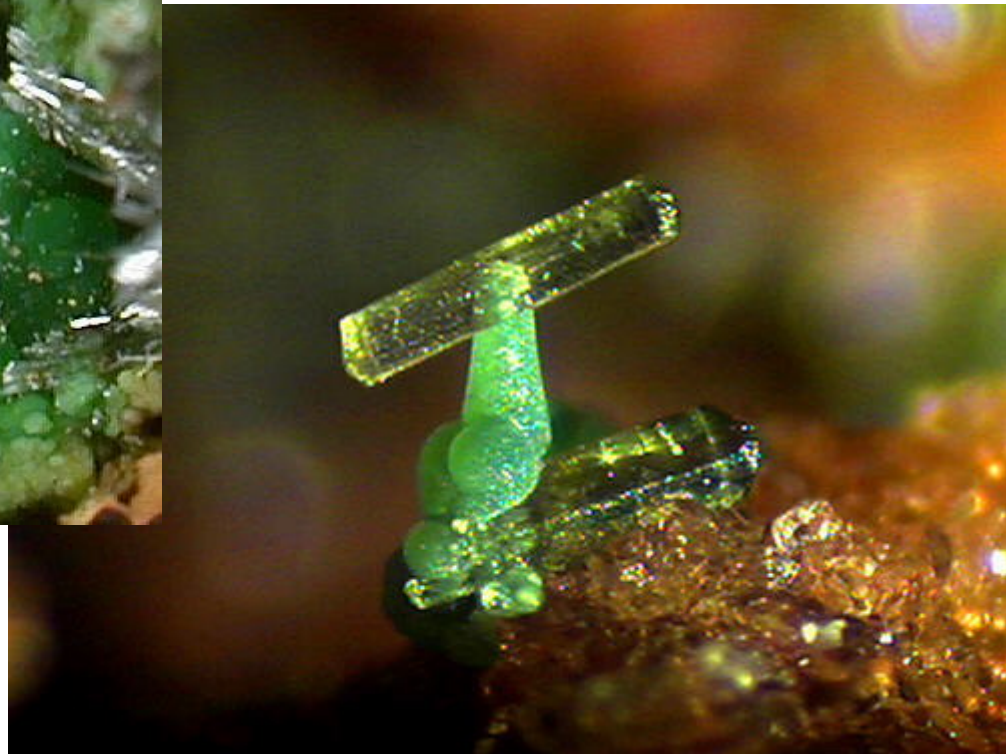
Два зарождения  
псевдобрукита  
 $\text{Fe}_2\text{TiO}_5$ .

Emmelberg,  
Эйфель

2 мм



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



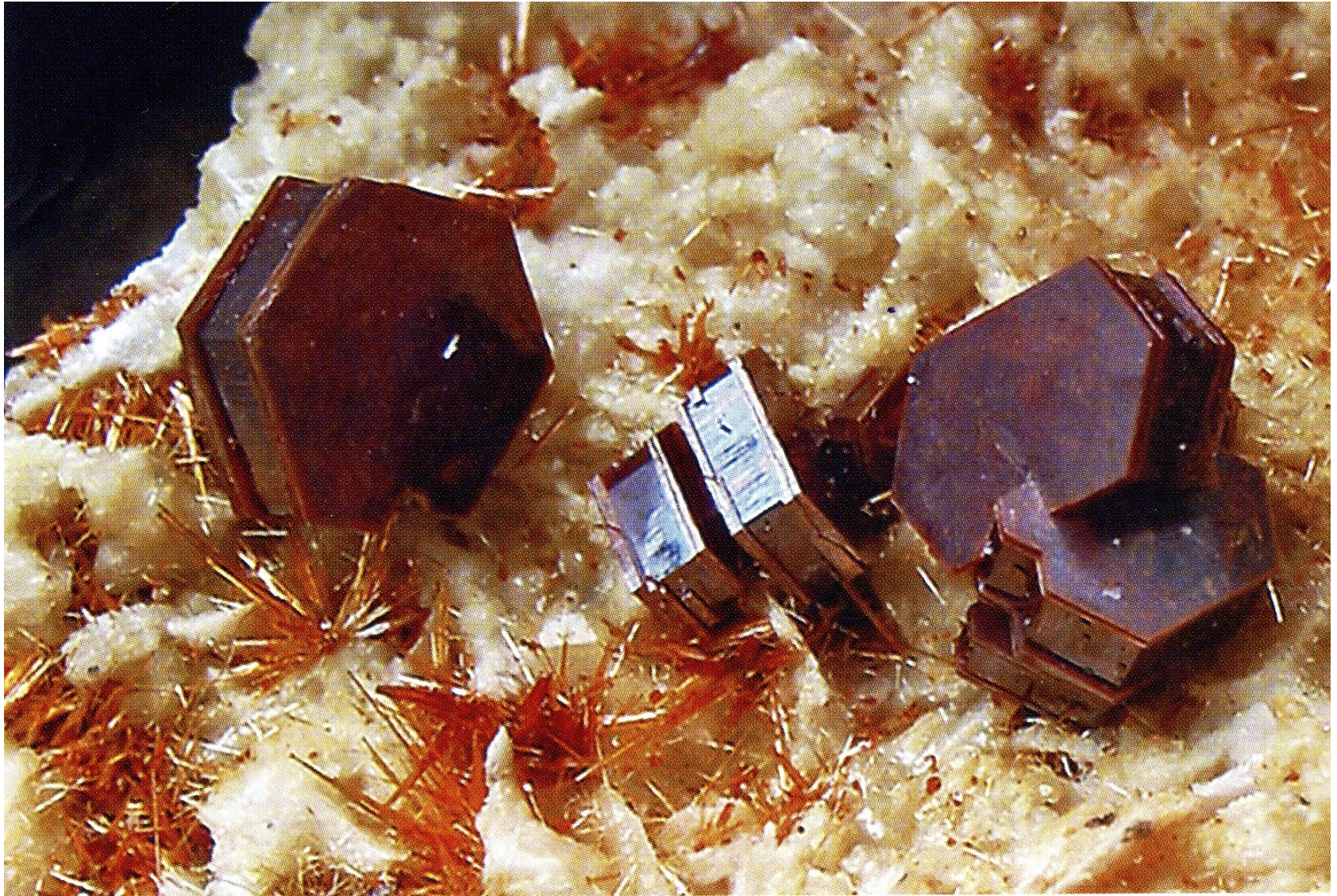
Два зарождения оливинита

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Три зарождения оливинита

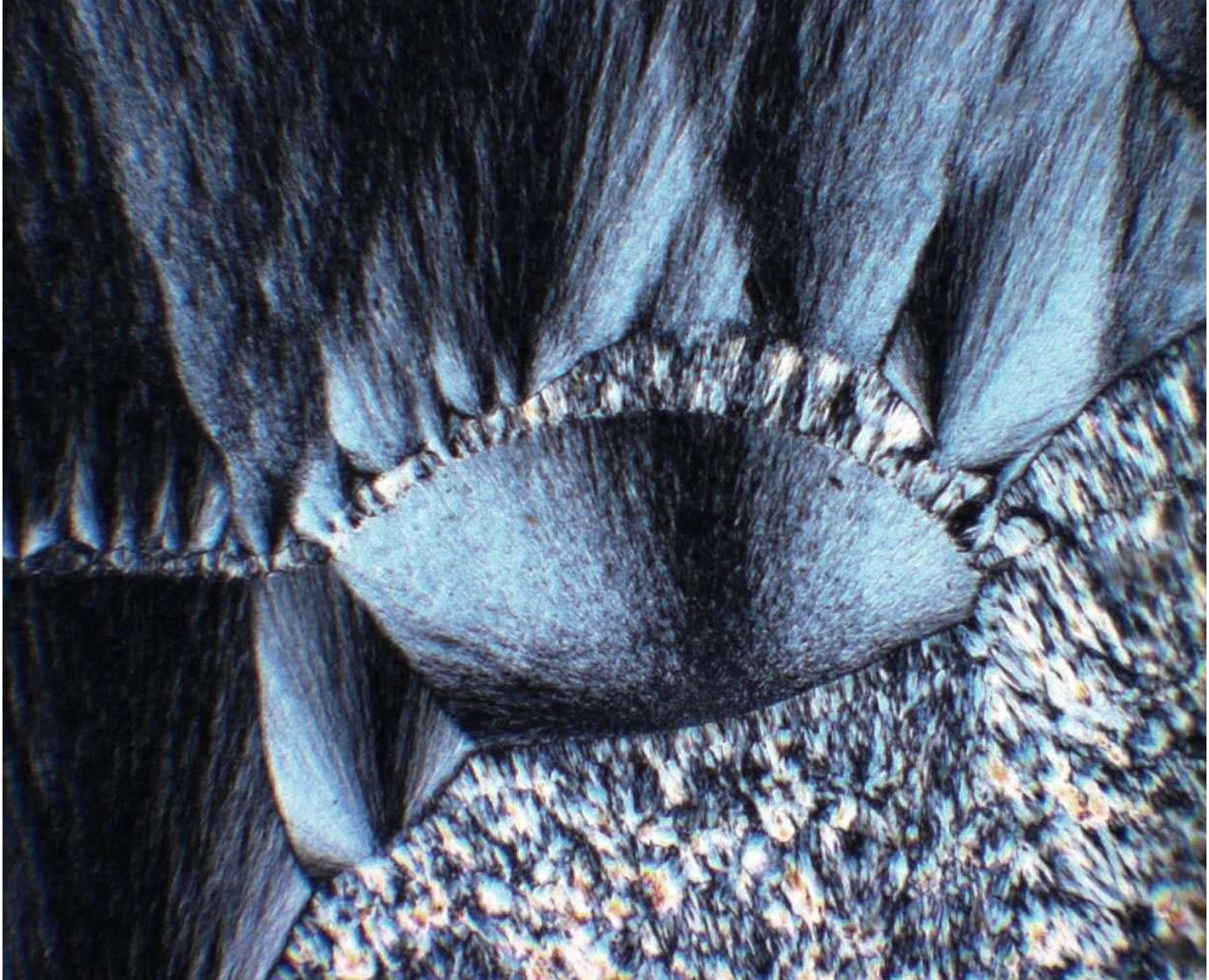
# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Три зарождения ванадинита

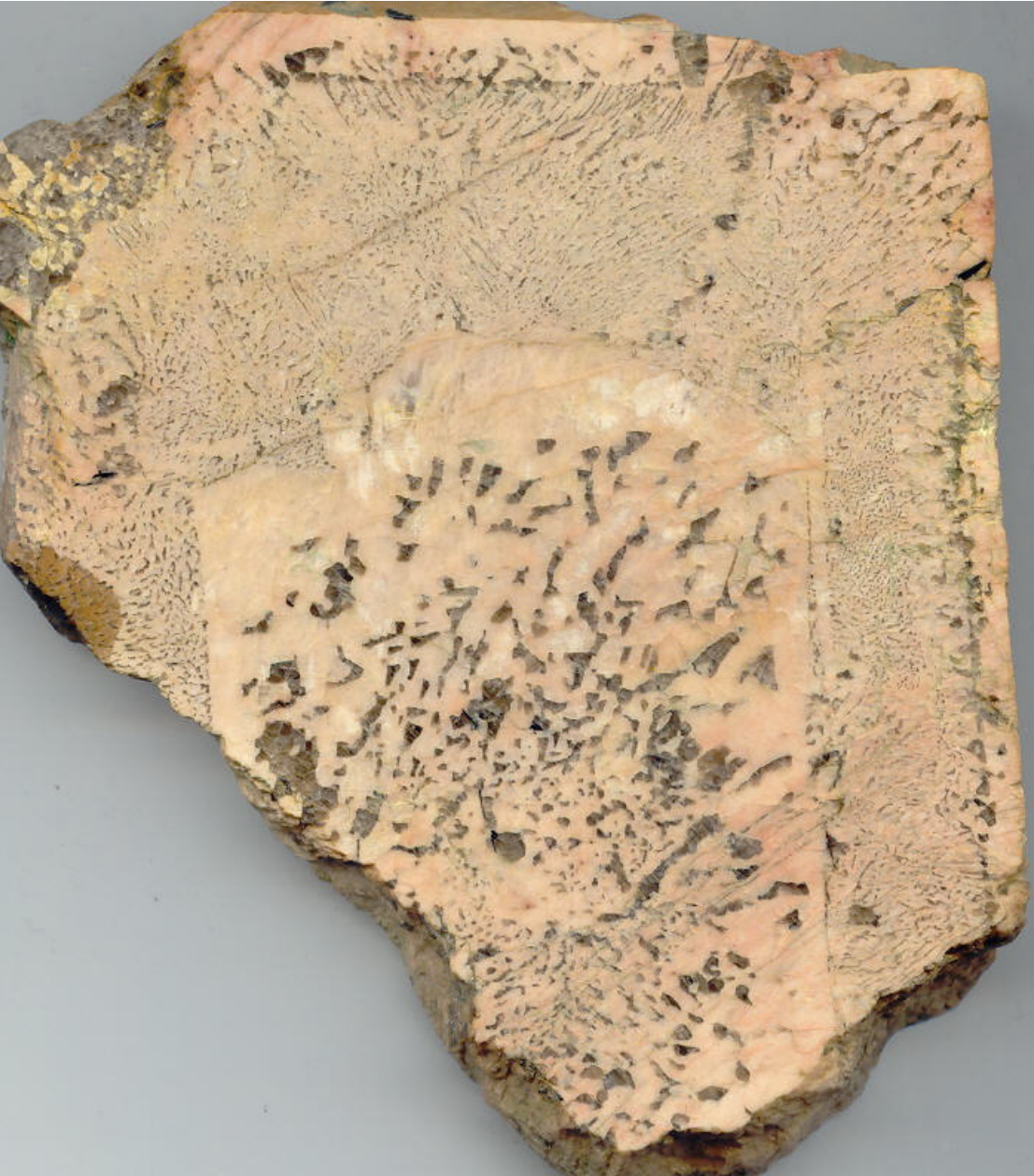


# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Три зарождения халцедона. Агаты, Карадаг, Крым

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Три зарождения  
графических  
кварц-полевошпатовых  
срастаний.  
Гранитные пегматиты.  
Кентский интрузив.  
Центральный Казахстан

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Сколько зарождений присыпок кварца ?



Кристалл кварца

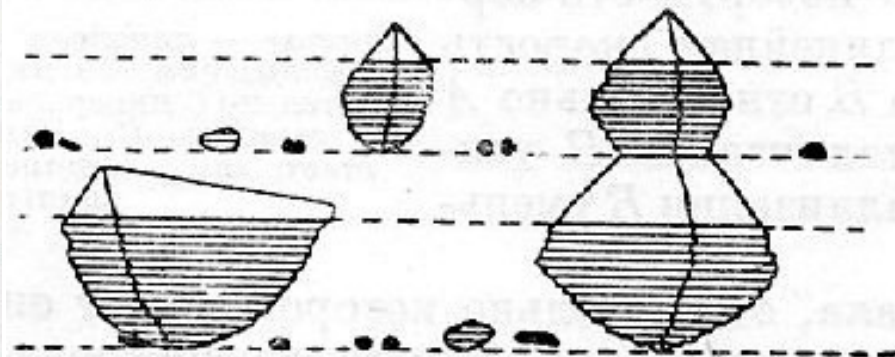
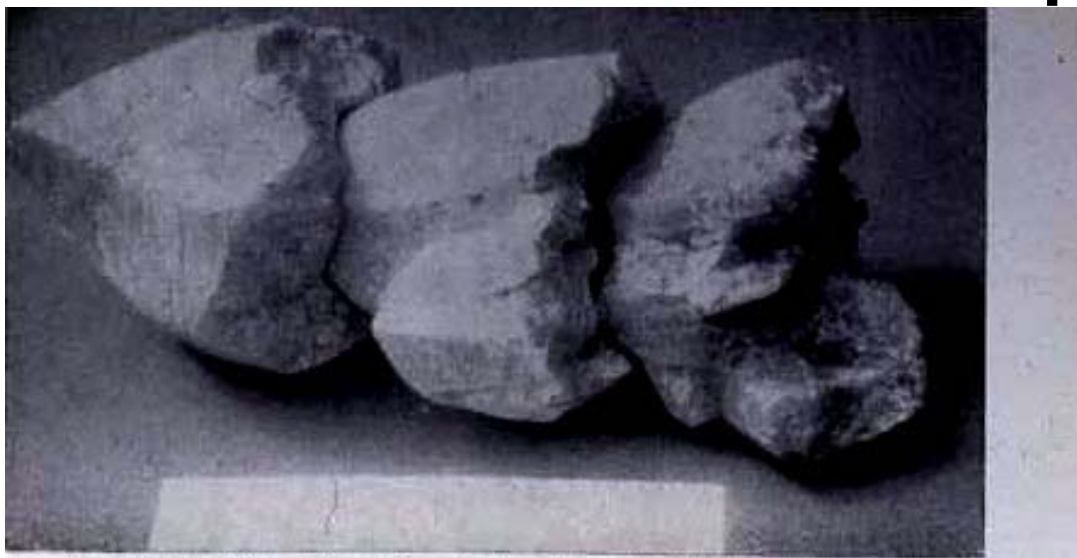


Схема совместного роста флюорита (матрица) и кварца.  
Сколько зарождений ?

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Three crystal members of a string of cap-quartz, which are shown in growth position. Note that the lower two crystals contain continuous intergrown crystals from one to the other.

with great care owing to the extreme brittleness of the crystals.

cap-crystals grow vertically from the yet undiscovered floor of the pod, often heavily intergrown by neighboring crystals. Numerous crops of crystals are present, and it is observed that one crystal terminates its growth, and its neighbors may do so too, probably due to excessive blanketing by material which smothered further development.

Immediately overlying the exposed, new crystals develop, possessing characteristics as those beneath, leading to termination of growth in situ or en masse when sufficient clay mineral was deposited to stifle development.

no cap-crystals appear the same,

formation of phantoms. The crystals are composed of a kaolin-rich quartz, appearing blue-gray in color and opaque. The clay content and the multiplicity of the phantom planes and caps makes the crystals extremely brittle and often crumbly, and this fact plus the presence of numerous joints through the pod and crystals makes the crystals difficult to extract without damage.

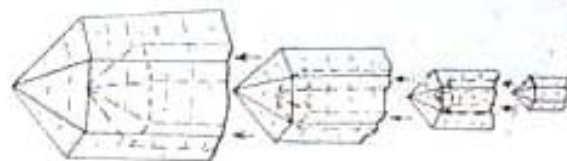


Illustration of a portion of a string of capped crystals.

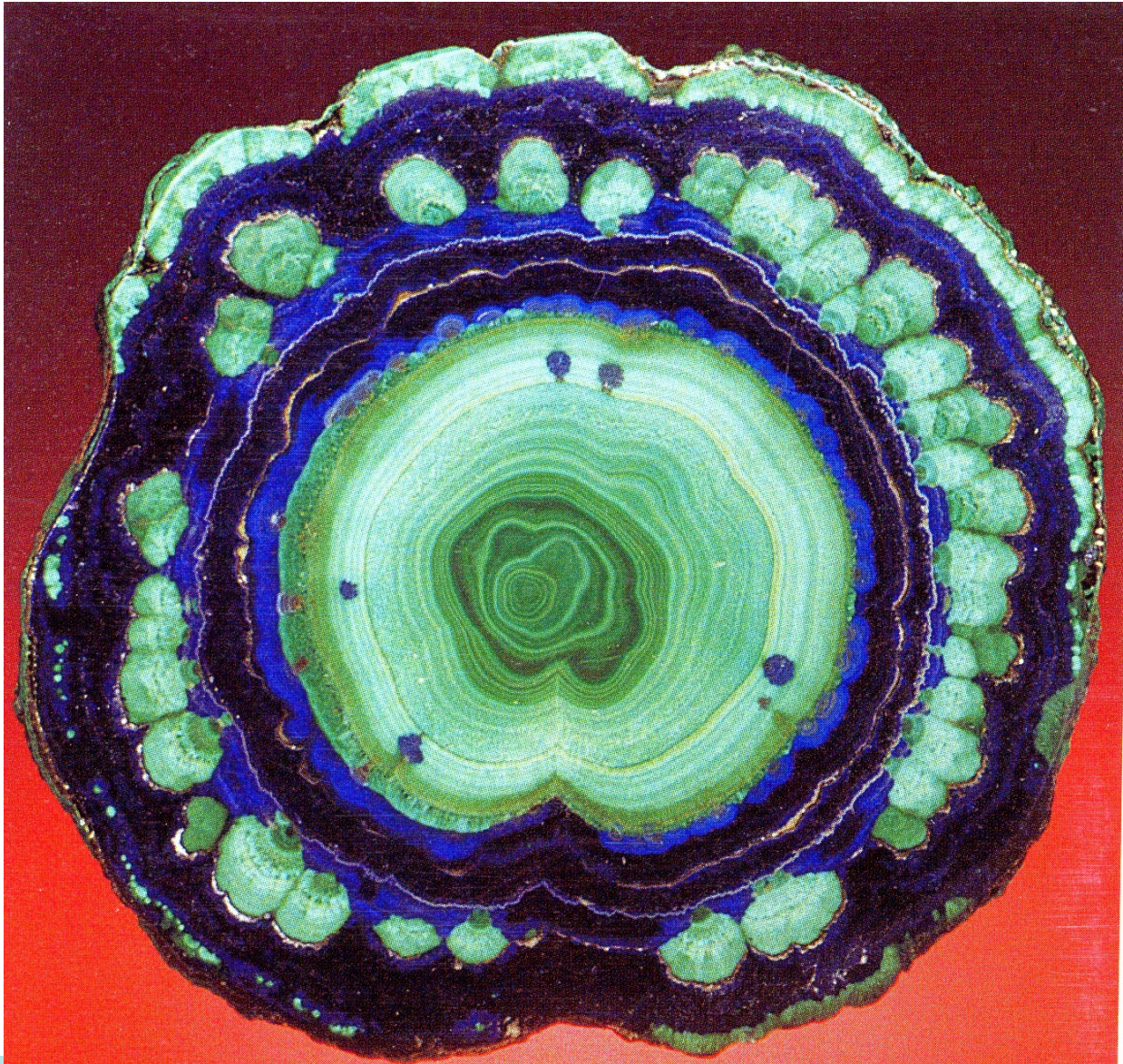
Множество зарождений кварца

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Множество зарождений малахита. Багдад, Аризона, США

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения



Множество зарождений малахита и азурита. Моренси, Аризона, США

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения

35 мм



Goboboseb Mountain, Намибия

19 мм



Мадагаскар

Множество зарождений кварца и аметиста

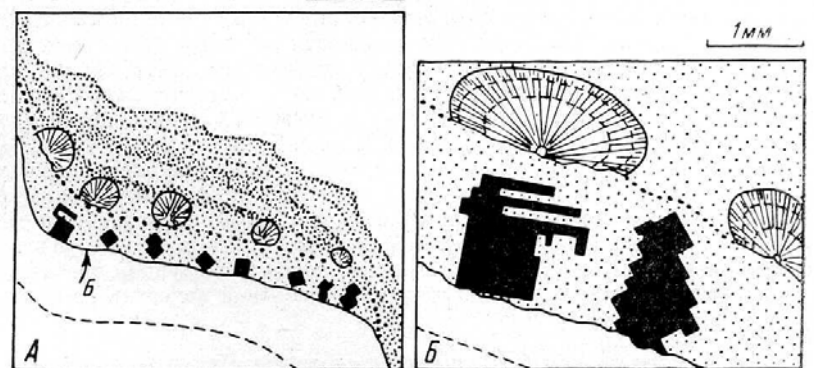
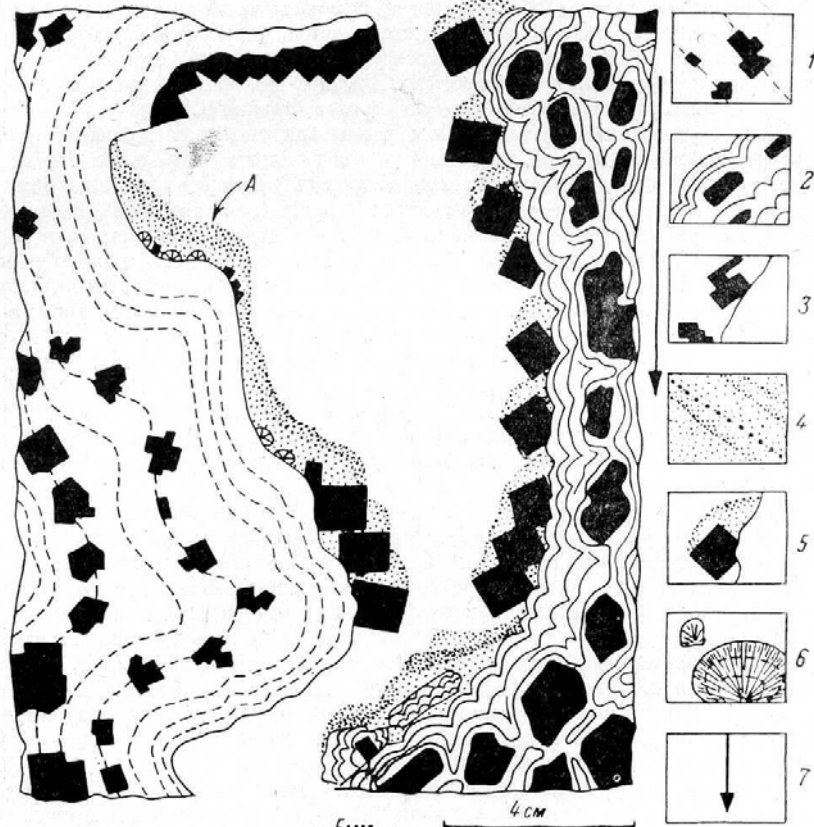


Рис. 7. Вертикальное сечение полости в первичных галенито-сфалеритовых рудах, в которой хорошо видны насыщенные формы оседания зародышей сфалерита. Квайса, участок Валдох.

1 — галенит-сфалеритовый слоистый агрегат первой генерации, сфалерит мелкозернистый светложелтый; 2 — галенит-сфалеритовый концентрически-зональный агрегат первой генерации; сфалерит-зональные поперечно-волокнистые корки светложелтые; 3 — галенит второй генерации, монокристаллы, скелеты; 4 — сфалерит мобилизованный второй генерации; тонкозернистый пористый агрегат в виде «присыпок»; 5 — «присыпки» сфалерита второй генерации на кристаллах и друзах галенита второй генерации; 6 — сферолиты и сфероидолиты марказита; 7 — палеовектор силы тяжести. А, Б — увеличенные детали сечения.

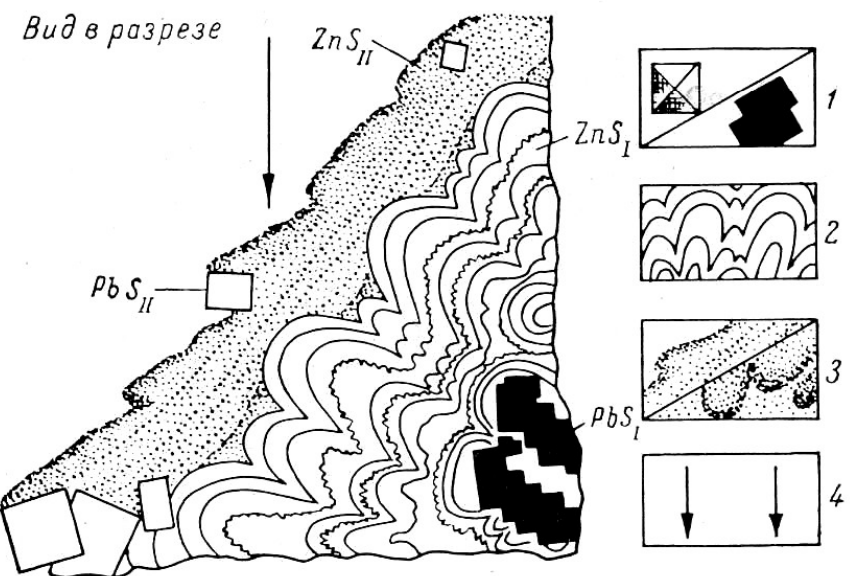
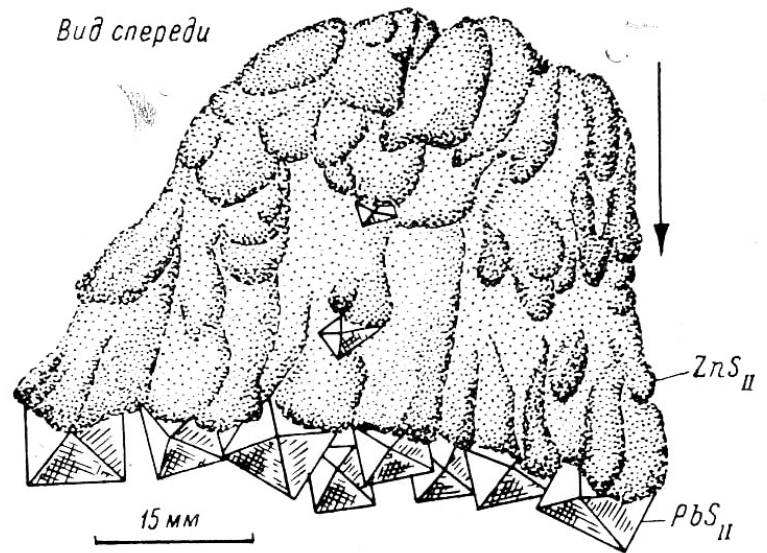


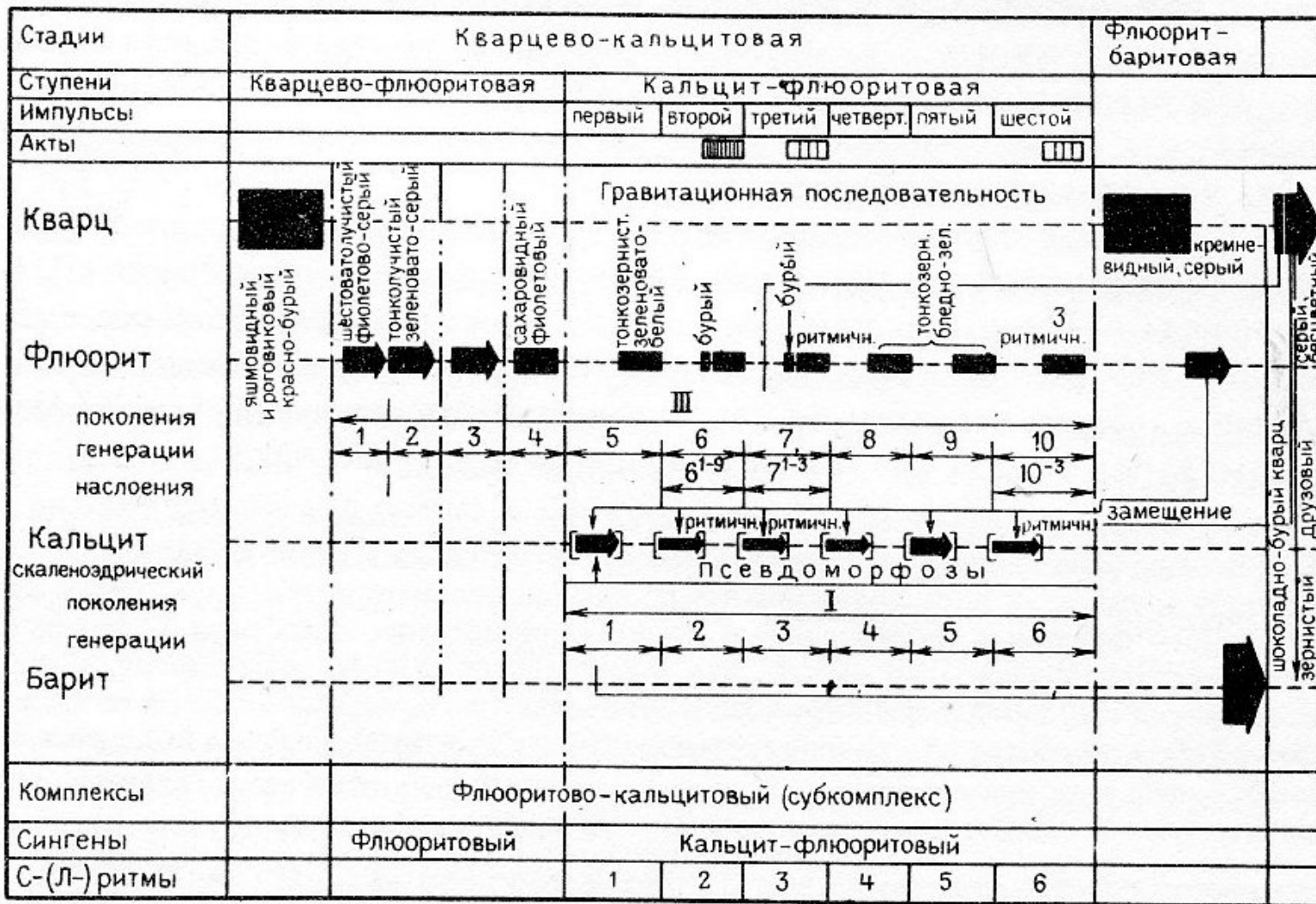
Рис. 8. Насыщенные формы агрегатов, образуемые при оседании зародышей сфалерита (2, 3), на друзы галенита (1), растущие на наклонной стенке миаролы. Галенит и сфалерит относятся к новой ассоциации ( $PbS_{II}$ ,  $ZnS_{II}$ ).

Стрелкой обозначен палеовектор силы тяжести. Вверху — объемный рисунок, внизу — он же в вертикальном разрезе. Местонахождение Квайса, участок Валдох.

Множество зарождений галенита и сфалерита. Квайса, Северный Кавказ



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Зарождения и генерации



По Ю.М. Дымкову

Рис. 7. Кальцит-флюоритовые С (Л)-ритмы в флюоритовой жиле; поколения и генерации минералов. Рудные горы

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Срастания - скипетры



Две генерации кварца. Вторая присыпана клинохлором.  
50 мм. Chihuahua, Мексика

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Срастания - скипетры



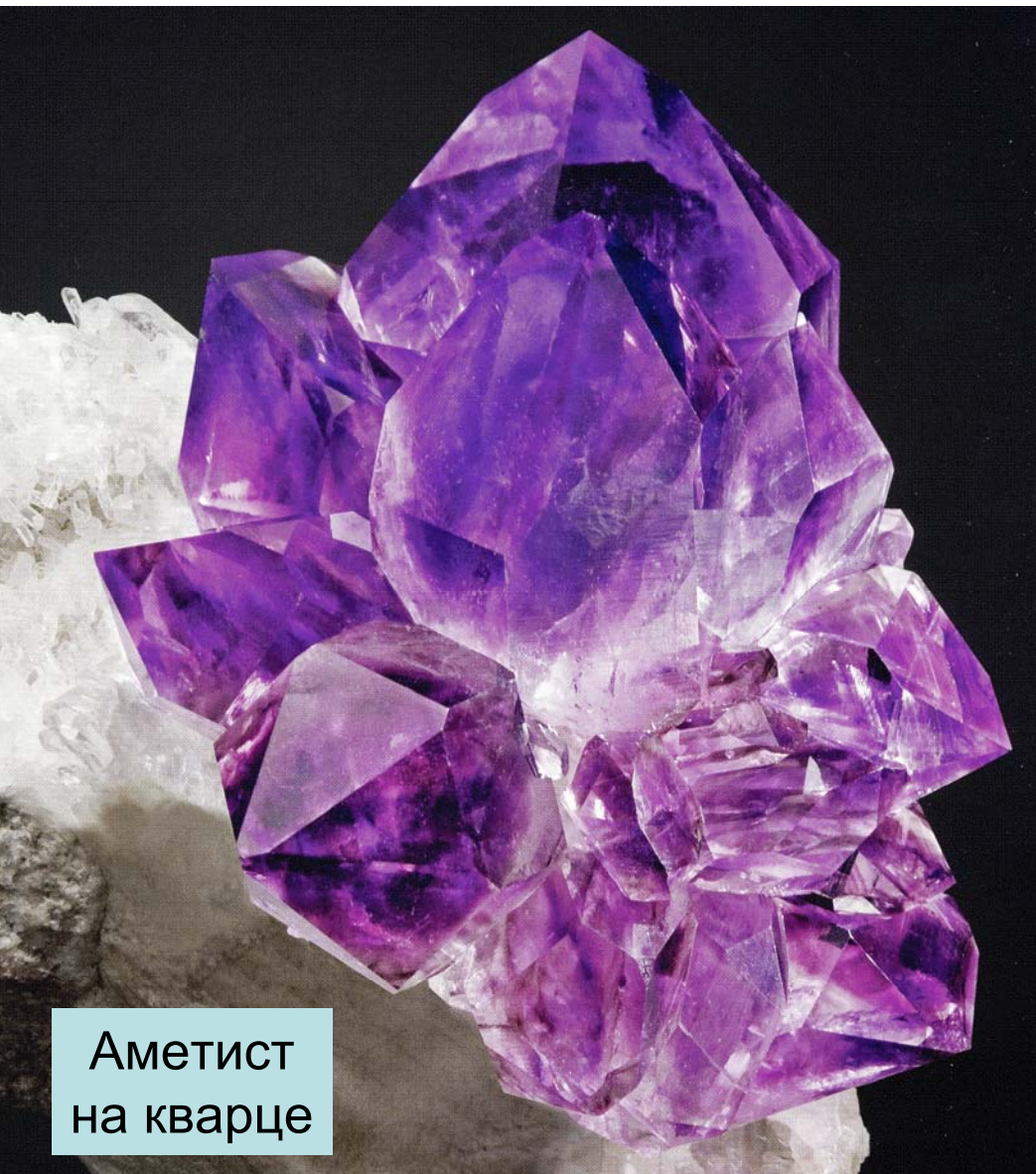
Горный хрусталь  
на  
битуминозном  
кварце.  
Benchmark  
Quarry



Приполярный Урал

Аметист на кварце. 35 мм. Chummiberg, Muttital, Альпы

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание



Аметист  
на кварце



112x  
100  
MM

Раухкварц на хрустале. Монблан

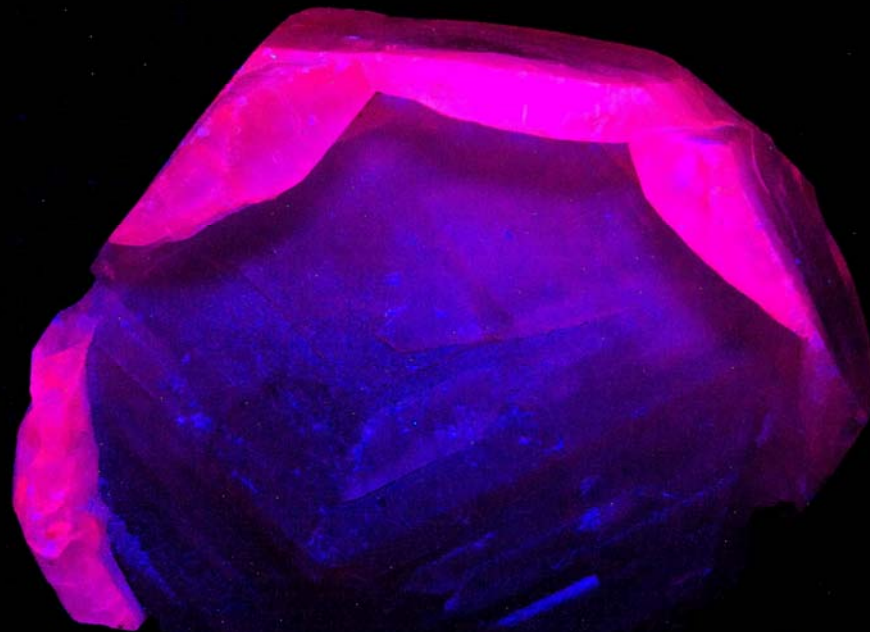
# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание

215  
мм



Раухкварц и молочный кварц.  
Гранитные пегматиты.  
Минас Жераис, Бразилия

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание



Послерудный кальцит двух генераций.  
Кальцит-II марганцовистый, ярко люминесцирует.  
Месторождение золота Дарасун, Восточное Забайкалье

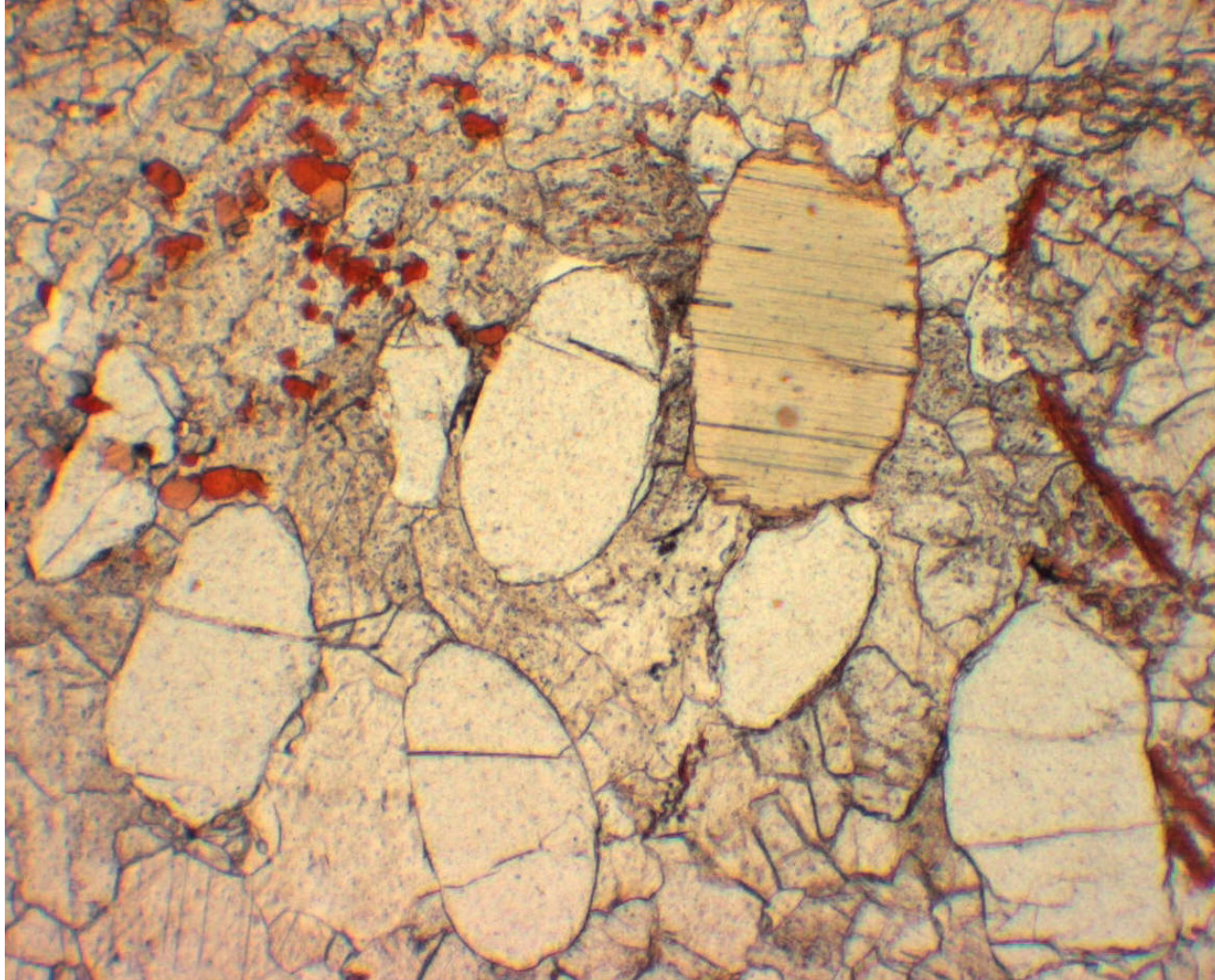
# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание



Гранитные пегматиты.  
Медина, Минас Жераис,  
Бразилия

Гигантский кристалл берилла. Образован двумя генерациями: берилл-I – белый щелочной, берилл-II – синий низкощелочной железистый. 85 кг

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание

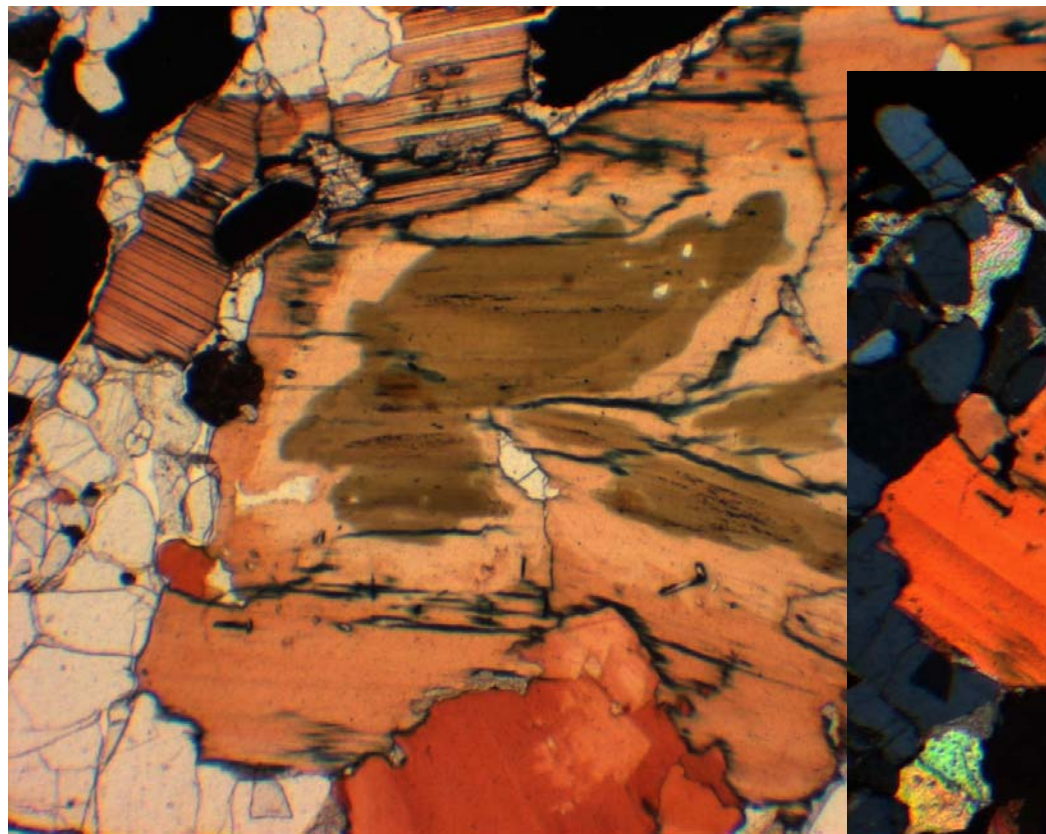


Шлиф.  
При 1  
нике

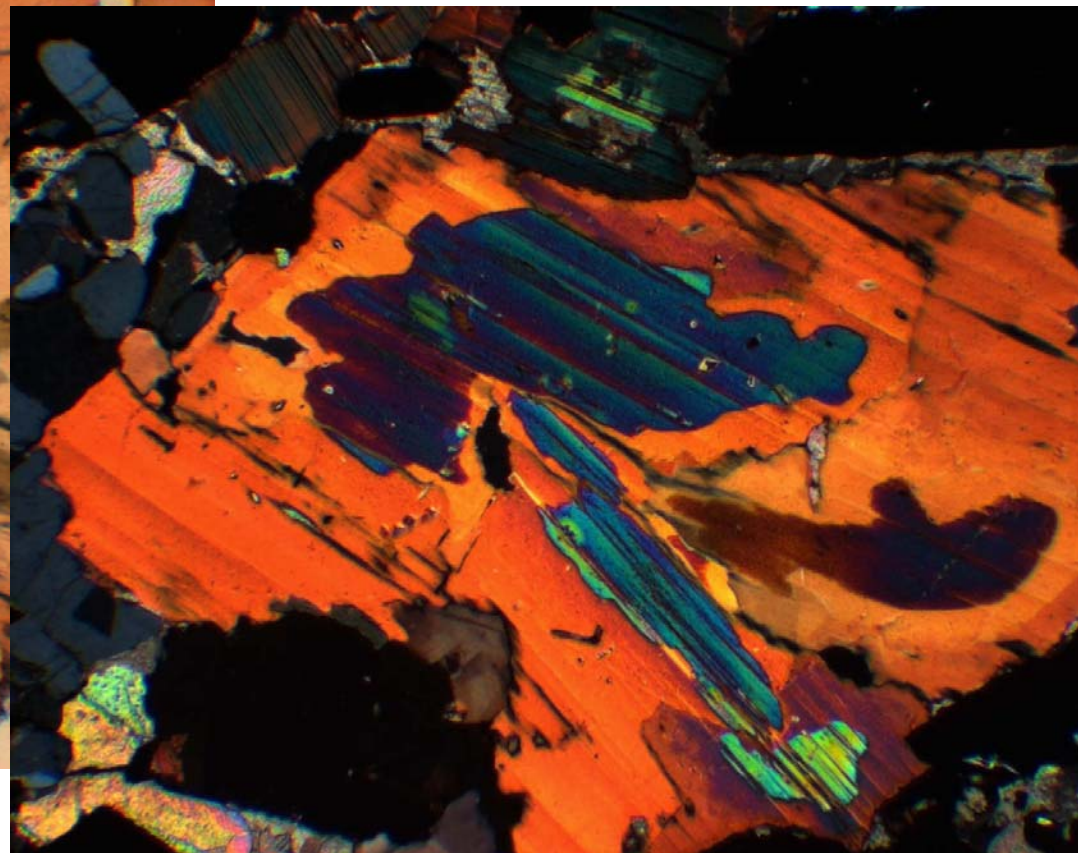
Две генерации флогопита. Вторая – красный тетраферрифлогопит.  
Карбонатиты. Вуориярви, Кольский полуостров



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание



Шлиф. При 1 николе

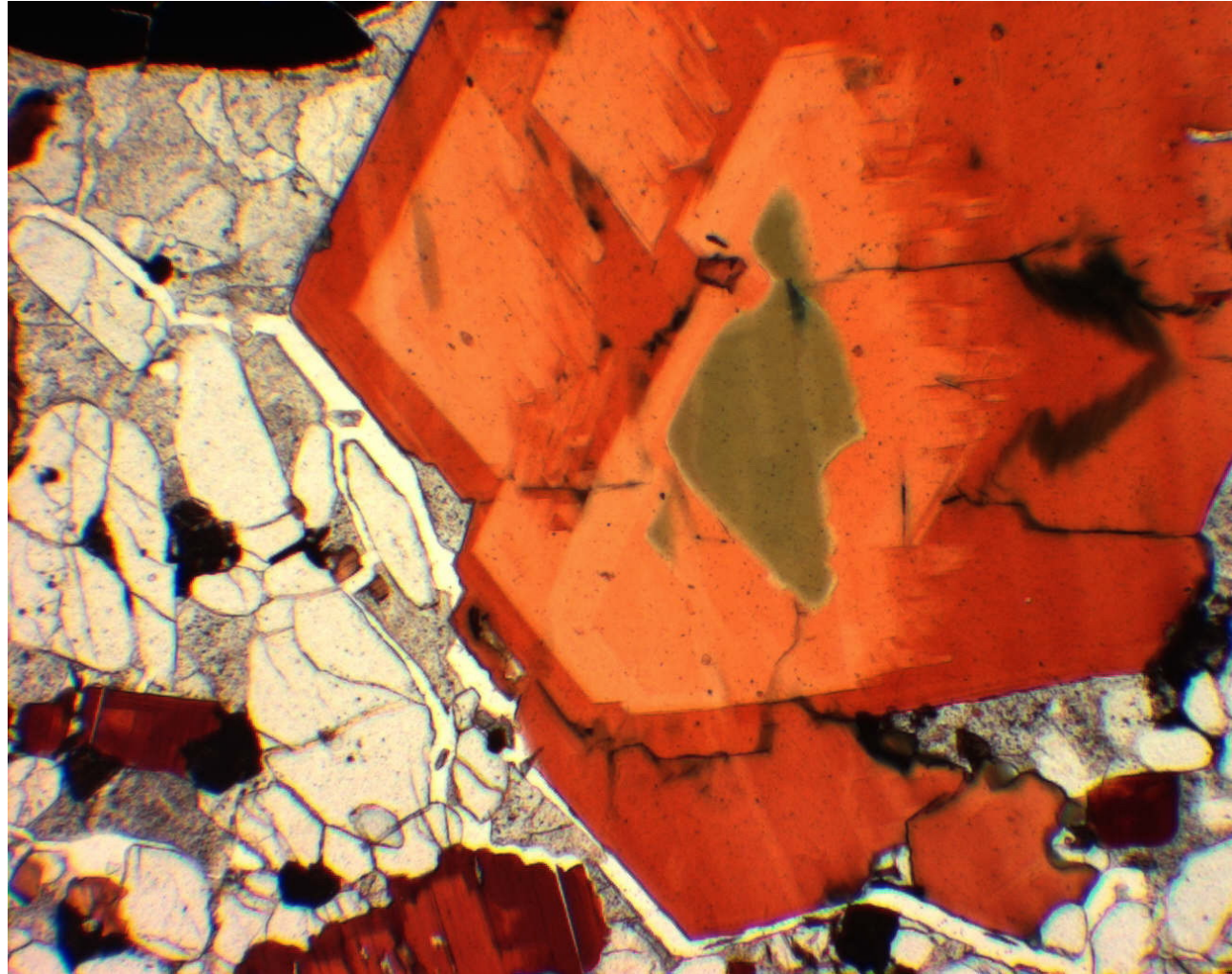


Шлиф. Николи х

Две генерации флогопита. Первая – зелёный (при 1 николе) флогопит.  
Карбонатиты. Ковдор, Кольский полуостров

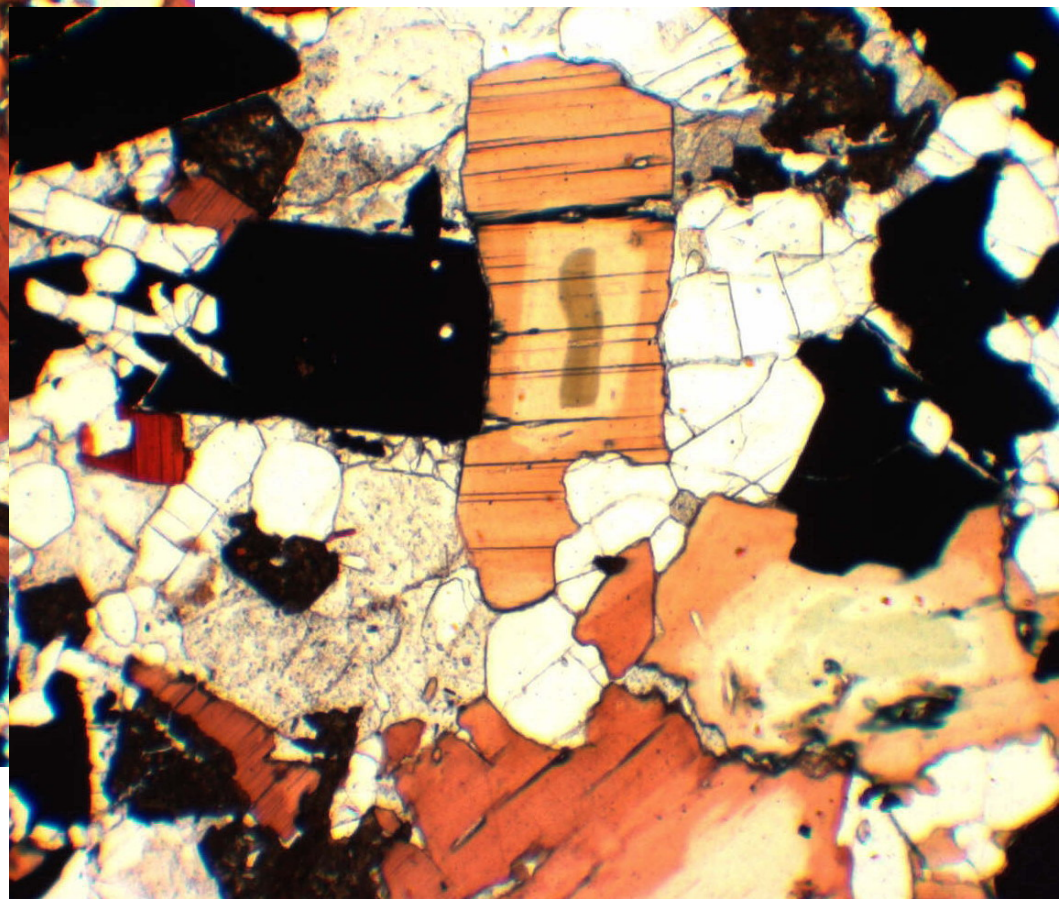
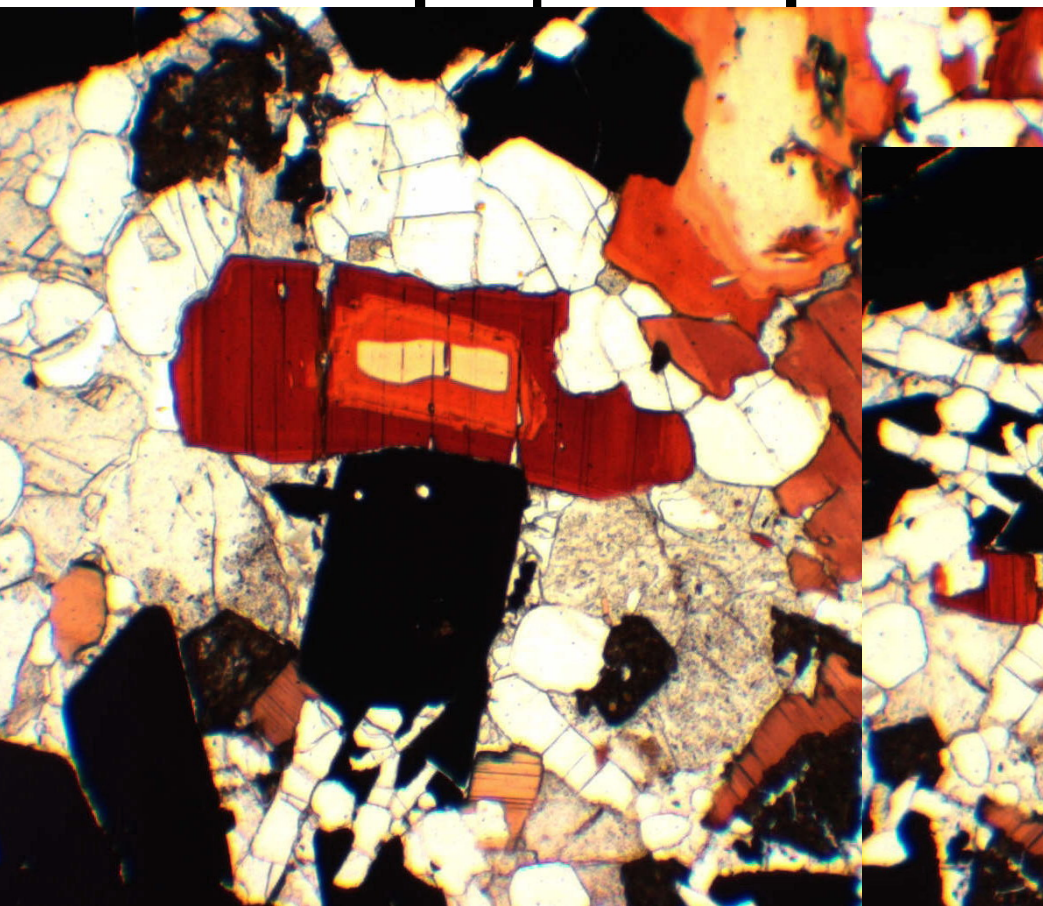
# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание

Шлиф.  
При 1 николе



Три генерации флогопита. Третья – красный тетраферрифлогопит.  
Карбонатиты. Ковдор, Кольский полуостров

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание



Шлиф. При 1 николе

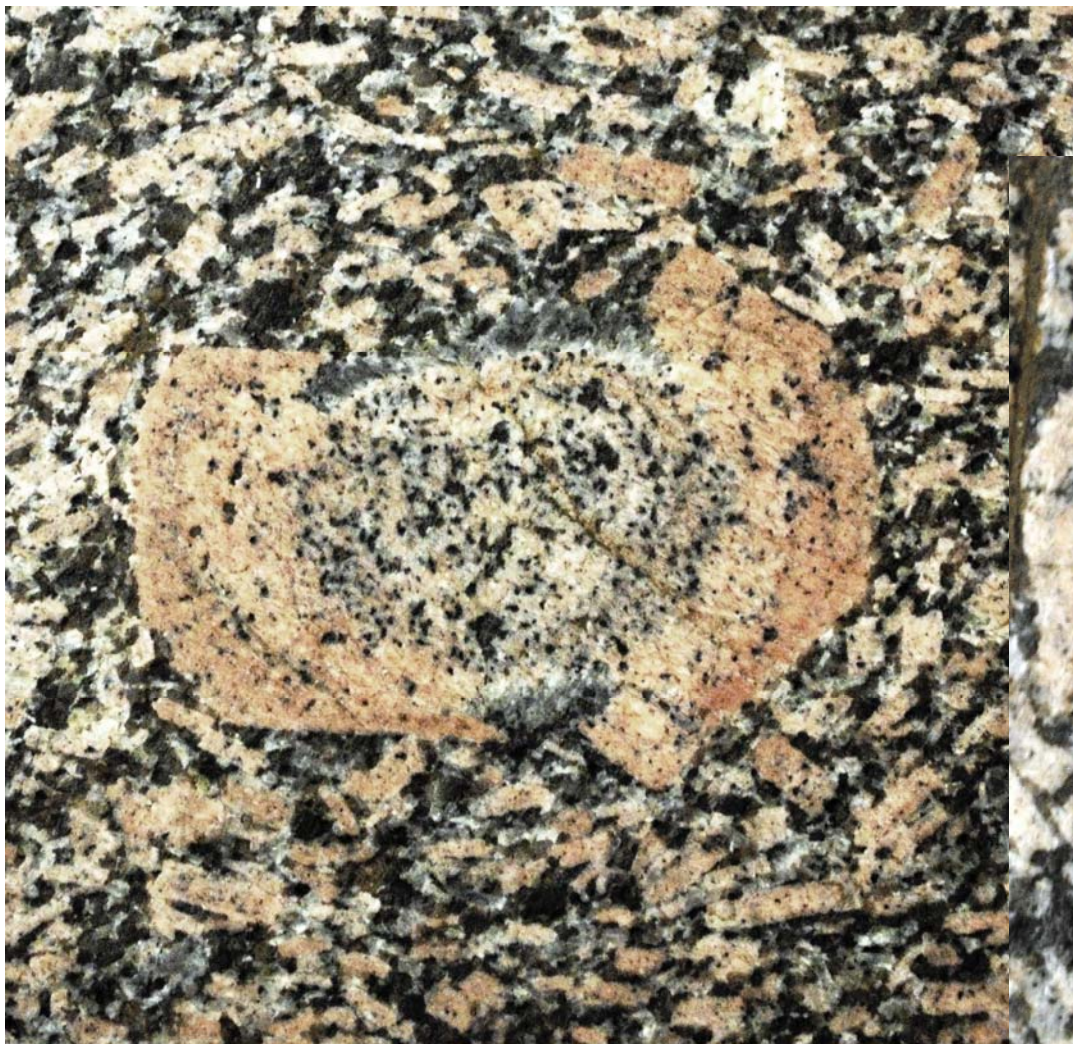
Три генерации флогопита. Третья – густо-красный тетраферрифлогопит.  
Карбонатиты. Ковдор, Кольский полуостров

**Выявление пространственно-временных  
взаимоотношений минералов.  
Генерации. Обрастание и нарастание**



Две генерации родохрозита. 130x70 мм.  
Capillitas mine, Andalgala, Аргентина

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание

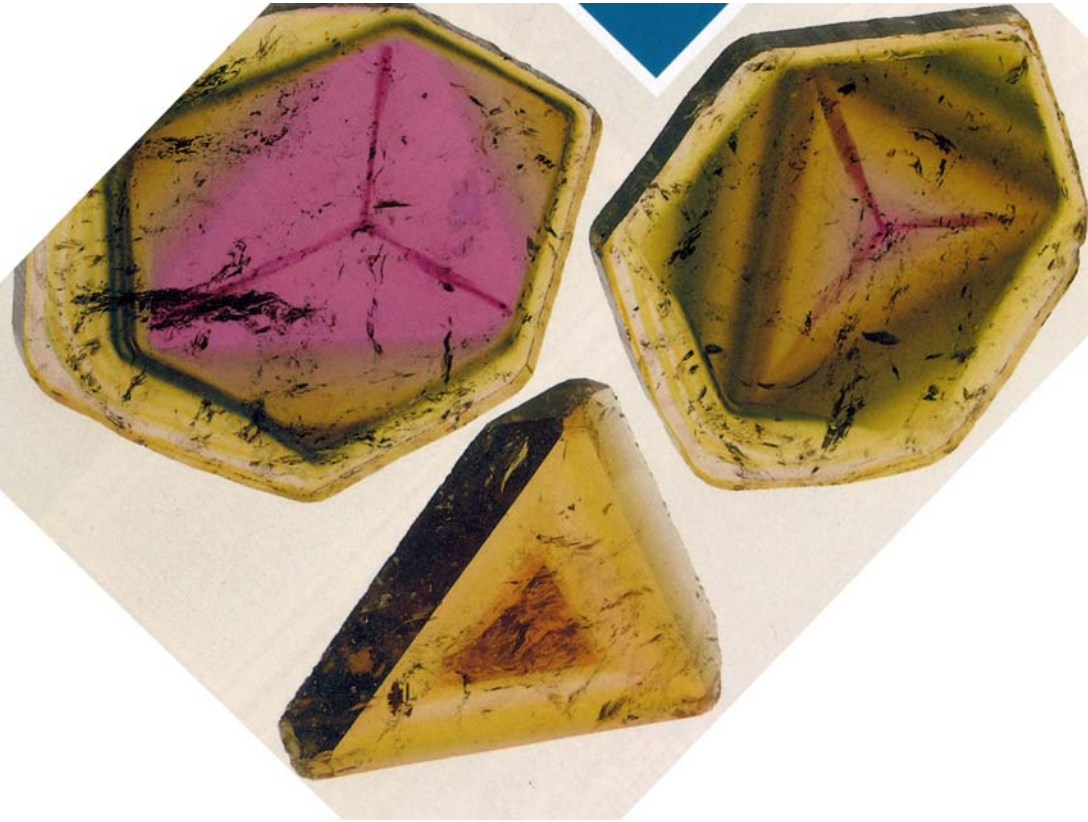


Две генерации К-На полевого шпата – овоиды и их каймы

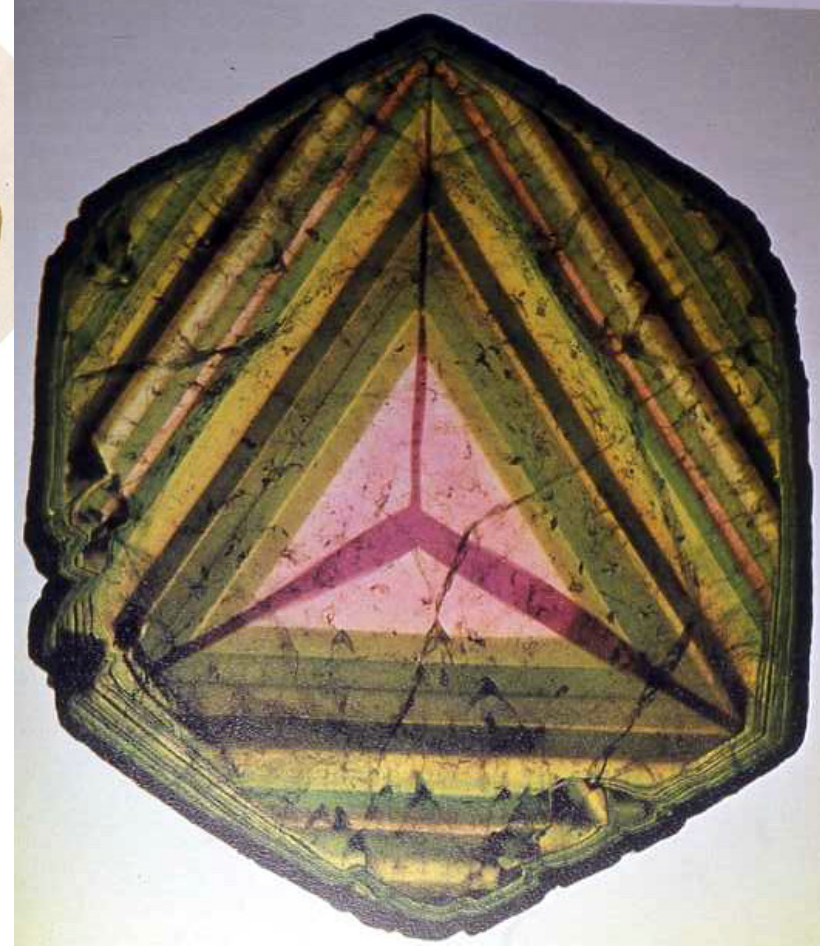


Граниты - рапакиви. Выборг, Карелия

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание



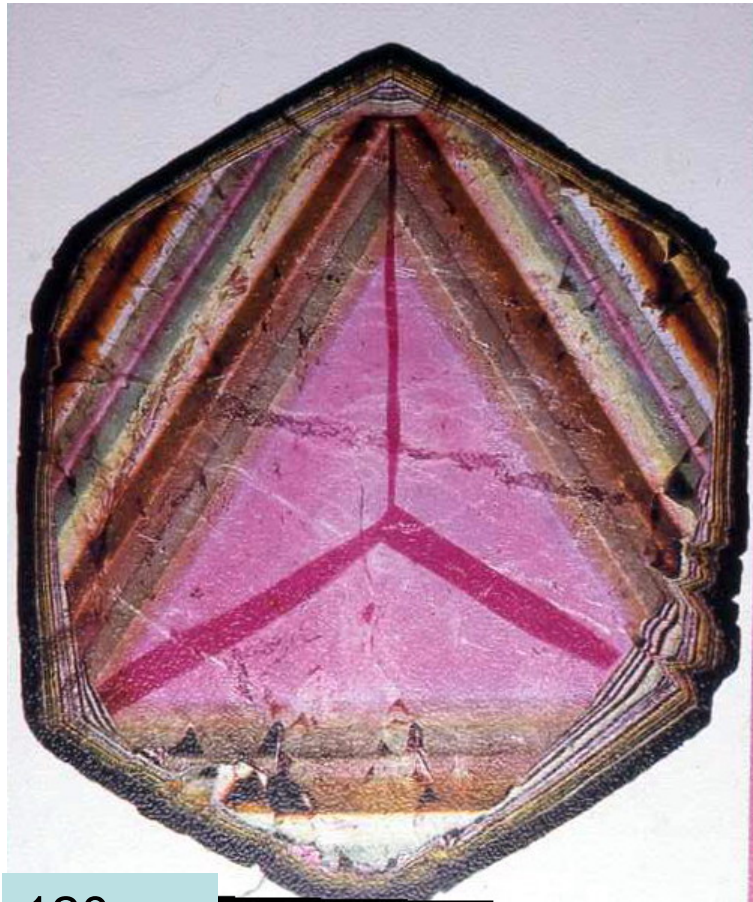
Сколько генераций ?



160 мм

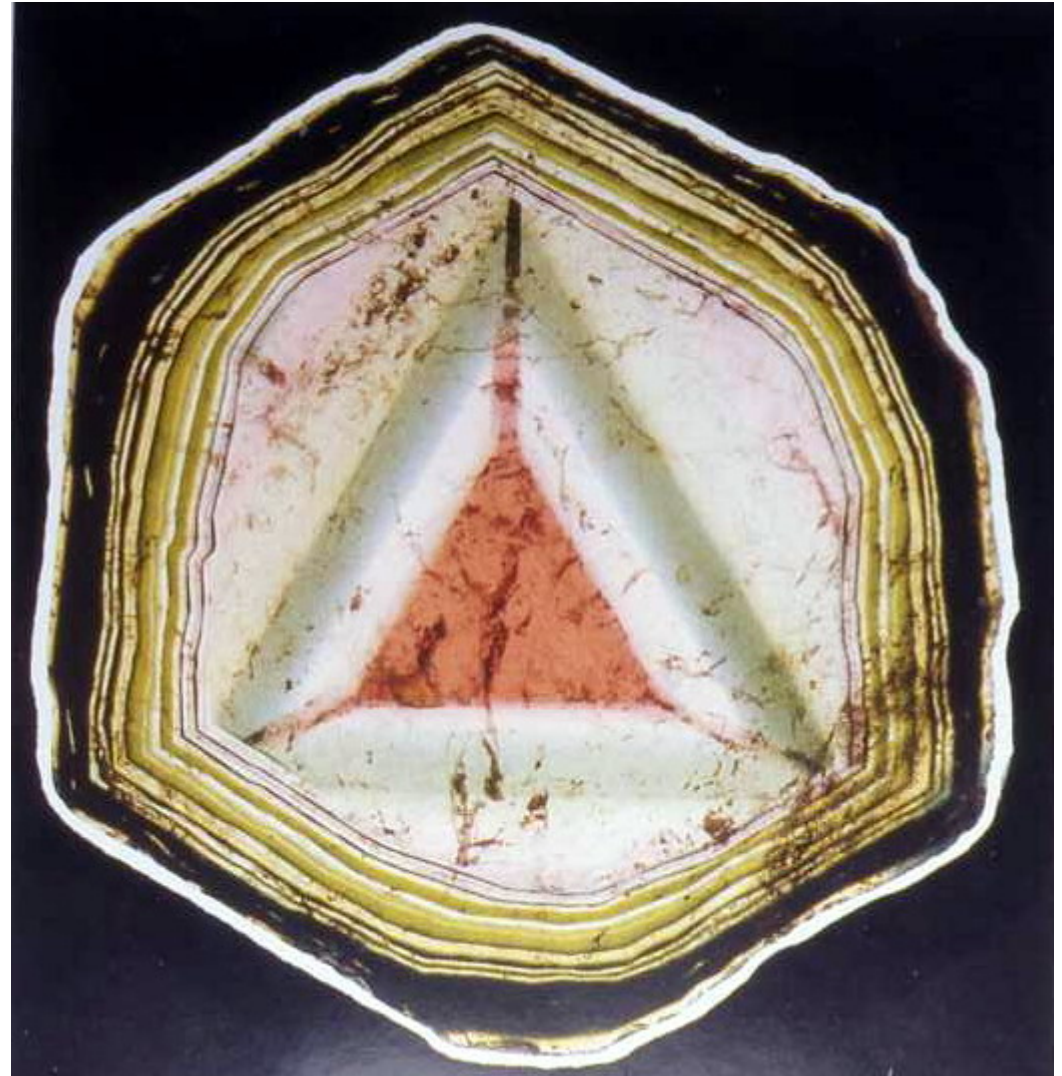
Инверсионные турмалины гранитных пегматитов Мадагаскара

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание



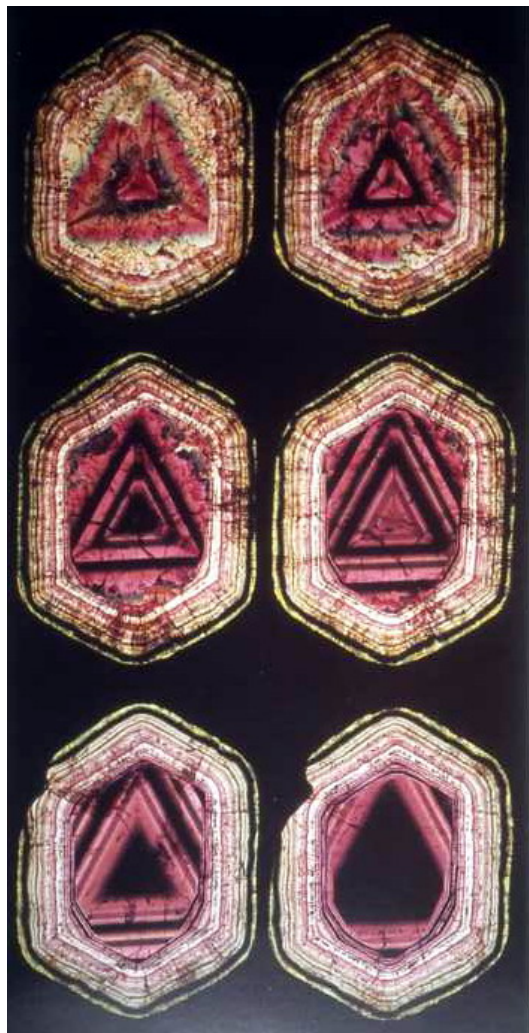
120 мм

Сколько генераций ?



Инверсионные турмалины гранитных пегматитов Мадагаскара

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание



Сколько генераций ?

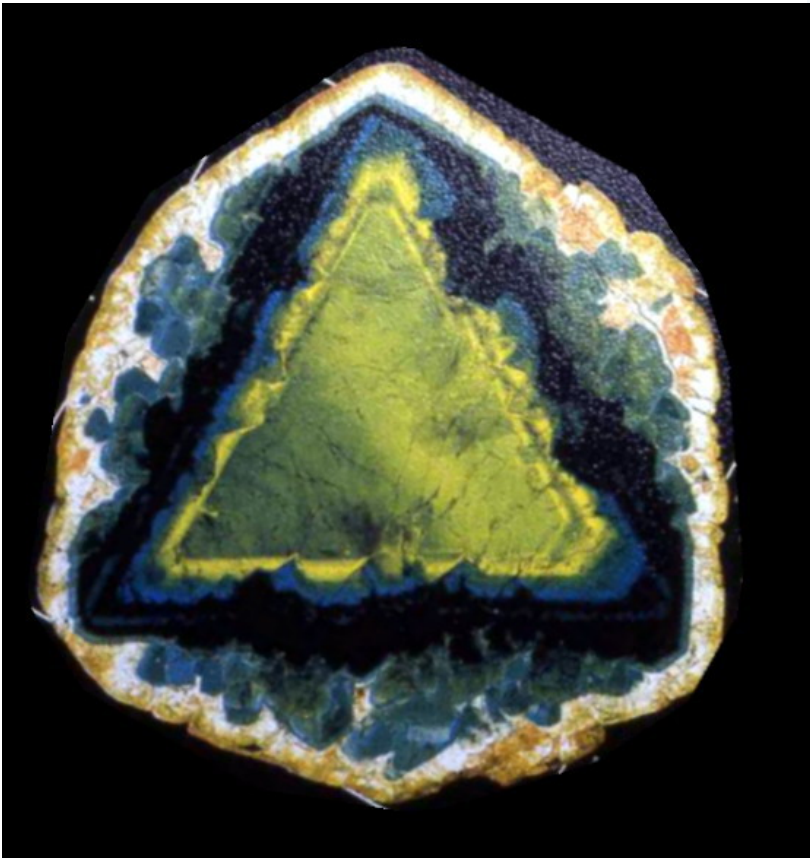


До 83 мм

Инверсионные турмалины - лиддикоатит гранит-пегматитов Мадагаскара



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание



Сколько генераций ?



130 мм

Инверсионные турмалины гранитных пегматитов Мадагаскара

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание

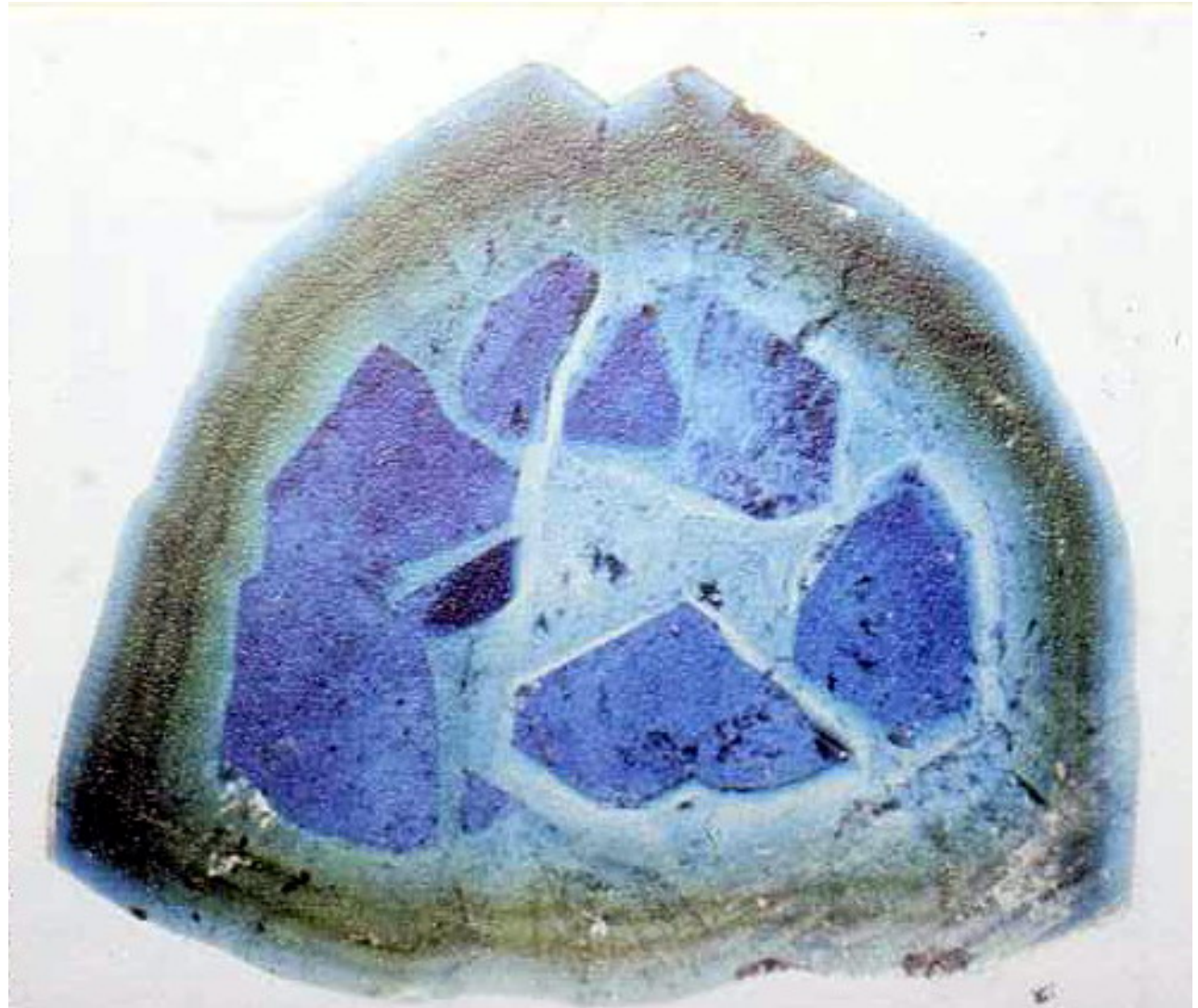


Сколько  
генераций  
?

Инверсионные турмалины гранитных пегматитов Мадагаскара

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Обрастание и нарастание

Сколько  
генераций ?



Инверсионные турмалины гранитных пегматитов Мадагаскара

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Нарастание $\pm$ замещение

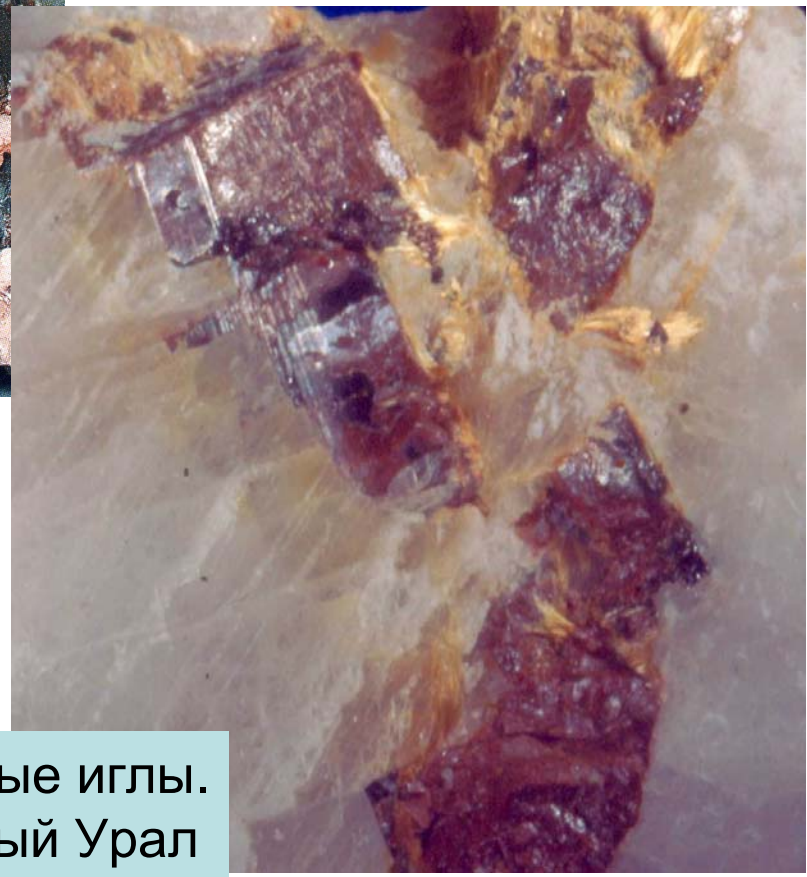


Две генерации турмалина.  
Гранитные пегматиты. Минас Жераис

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Нарастание ± замещение



Две генерации кальцита. 140 мм



Две генерации рутила. Вторая – золотистые иглы.  
Кальцитовая жила. Сарановское, Западный Урал

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Нарастание ± замещение

Две генерации  
вкрапленников  
плагиоклаза.  
Вторая с массой  
включений  
вулканического  
стекла –  
тёмного цвета.

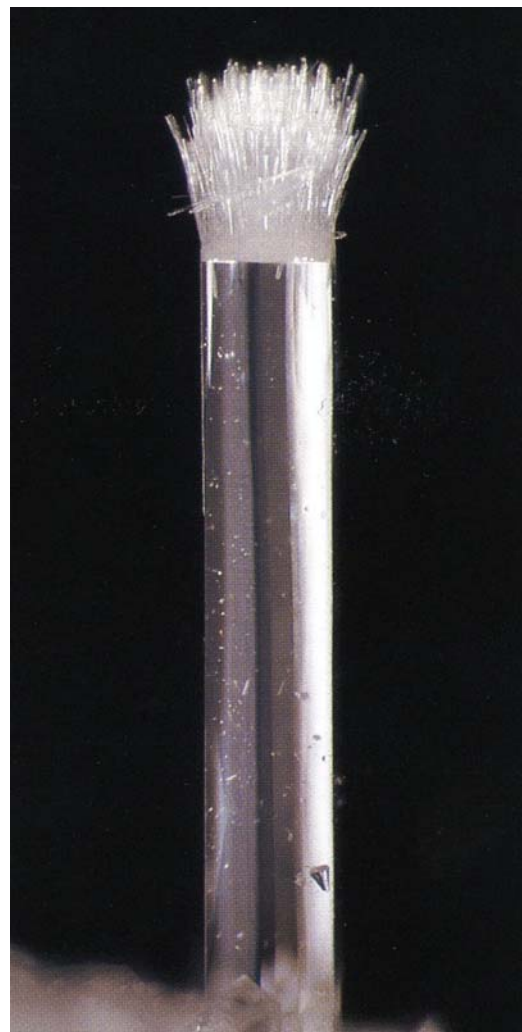
Четвертичные  
андезиты.

Армения



Шлиф. При 1 николе

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Нарастание ± замещение



Две генерации топаза.  
2 мм. Эйфель



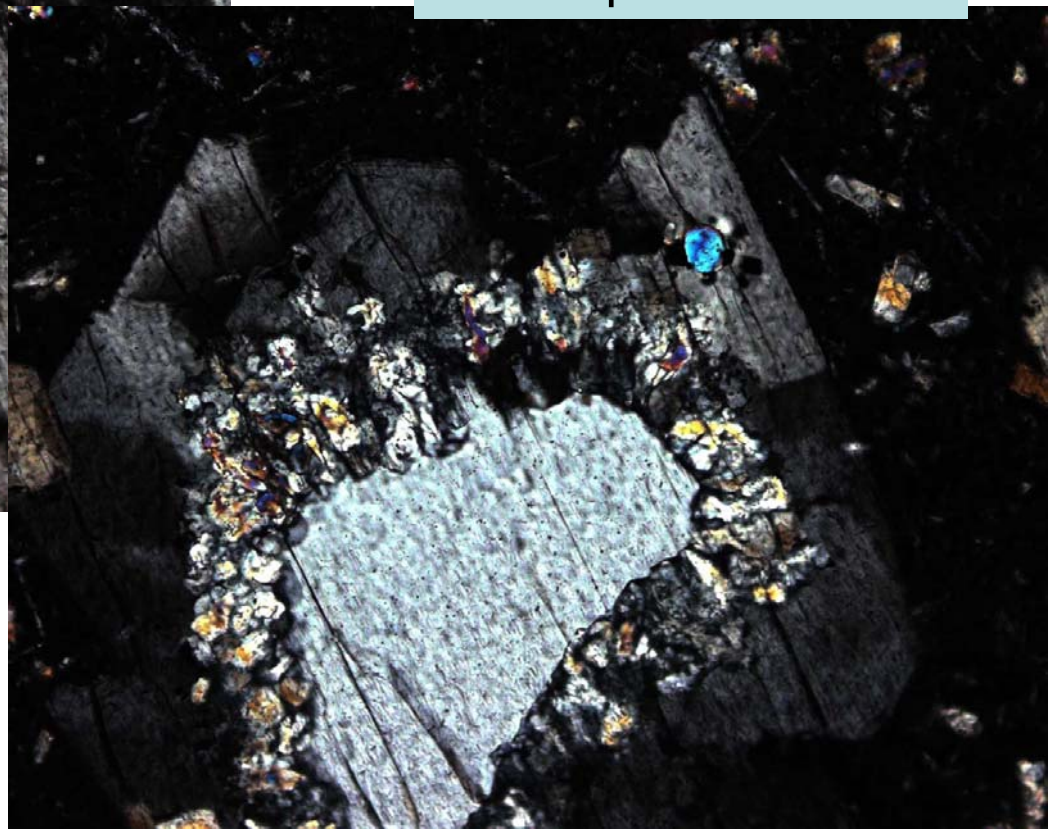
Две генерации псевдобрукита. Кристаллы по 1 мм.  
Emmelberg, Эйфель, Германия

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Нарастание ± замещение

Шлиф. При 1 николе

Шлиф. Николи х

Три генерации титанистого  
авгита.  
Щелочные базальты.  
Шпицберген



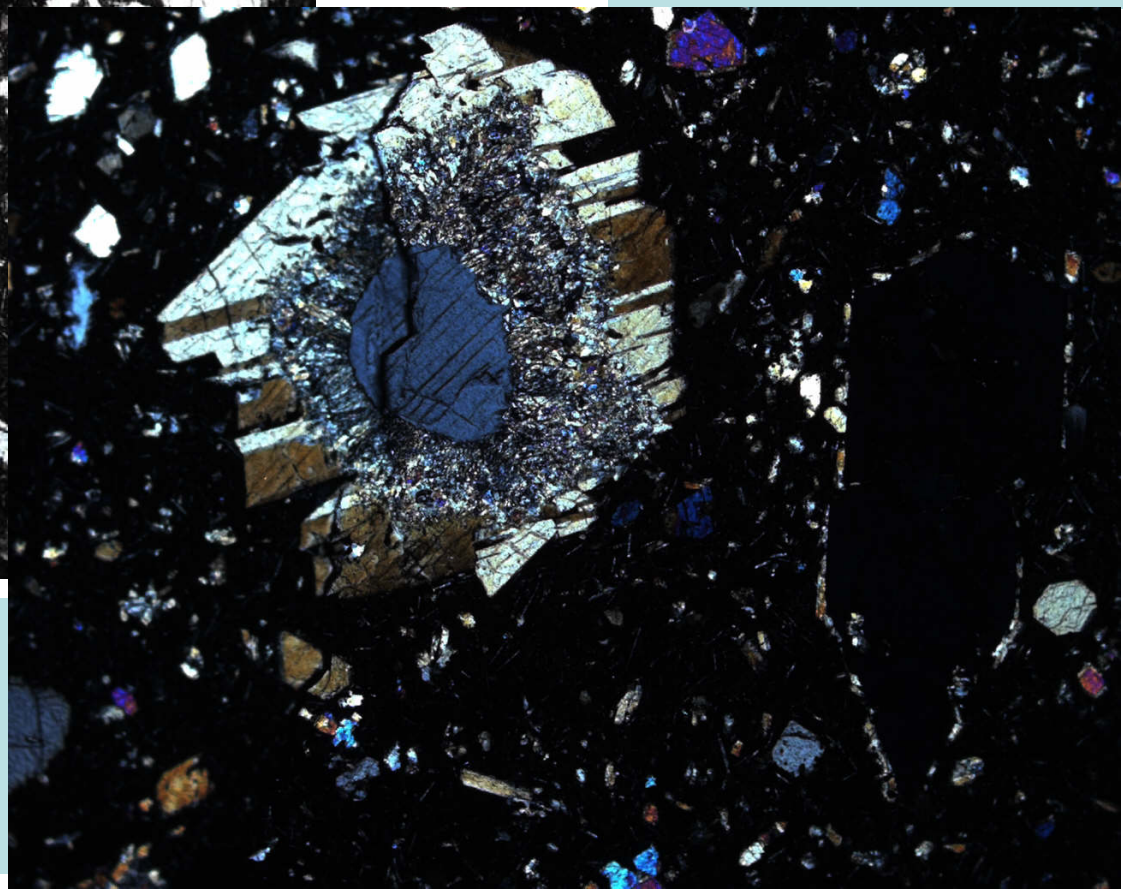


# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Нарастание ± замещение

Шлиф. При 1 николе

Шлиф. Николи х

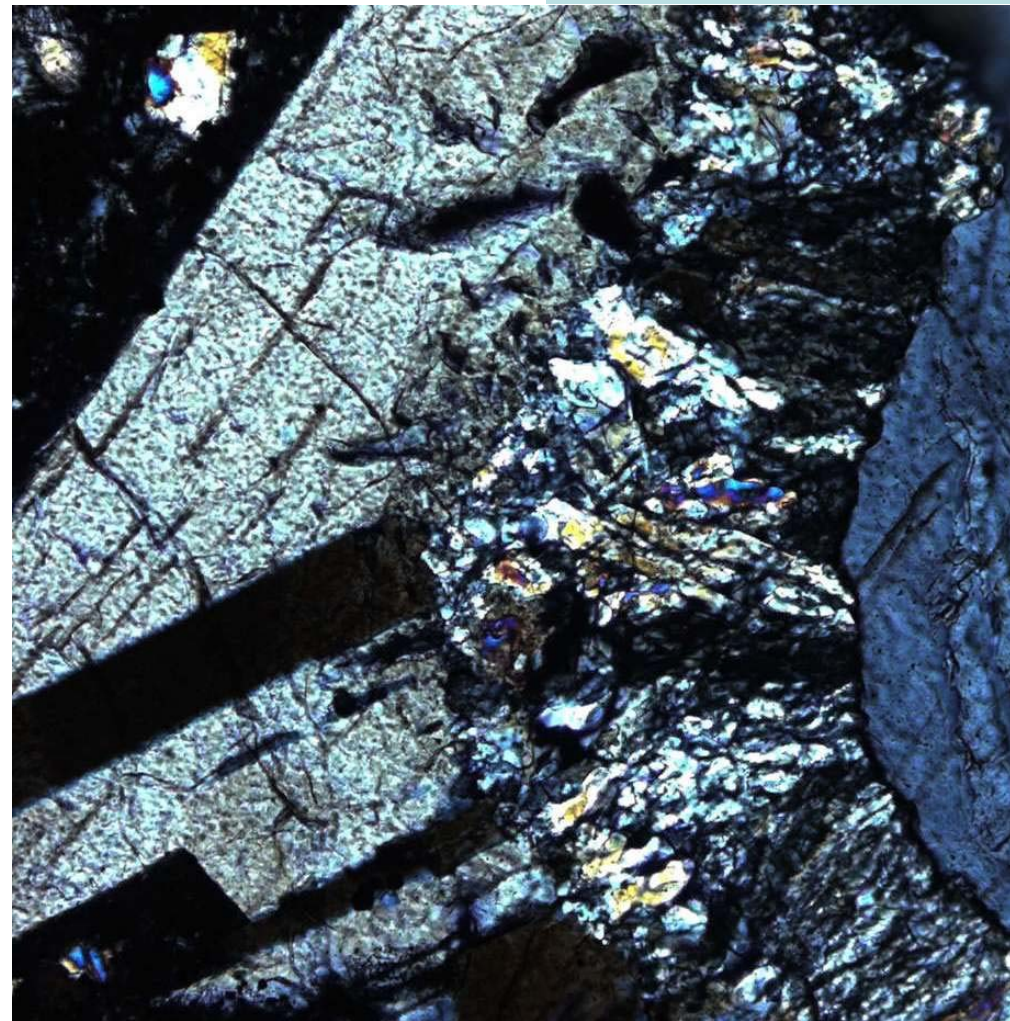
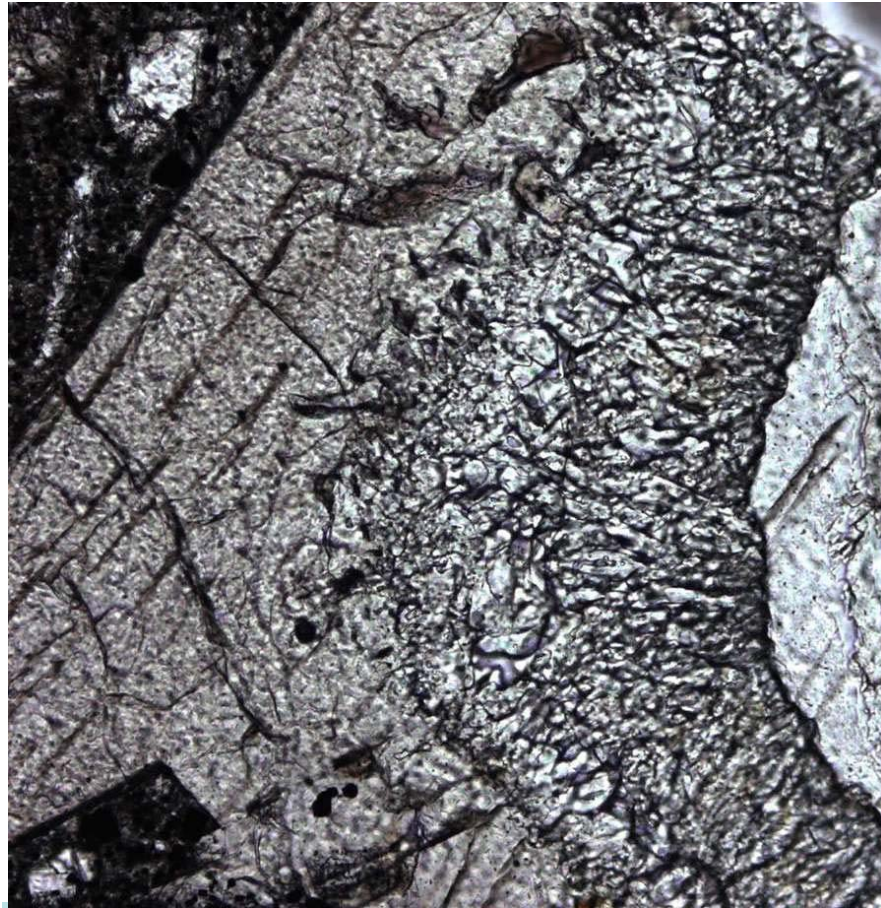
Три генерации титанистого  
авгита.  
Щелочные базальты.  
Шпицберген



# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Нарастание $\pm$ замещение

Шлиф. При 1 николе

Шлиф. Николи х



Три генерации титанистого  
авгита.  
Щелочные базальты.  
Шпицберген

**Выявление пространственно-временных  
взаимоотношений минералов.  
Генерации. Замещение и пересечение**



Аметист и кварц. 117x68 мм. Родопы, Болгария

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Замещение и пересечение

124x111 мм



Две генерации амазонита. Вторая – густо-зелёный. Этыка, Забайкалье

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации. Нарастание на структуры полиморфных переходов

30 мм

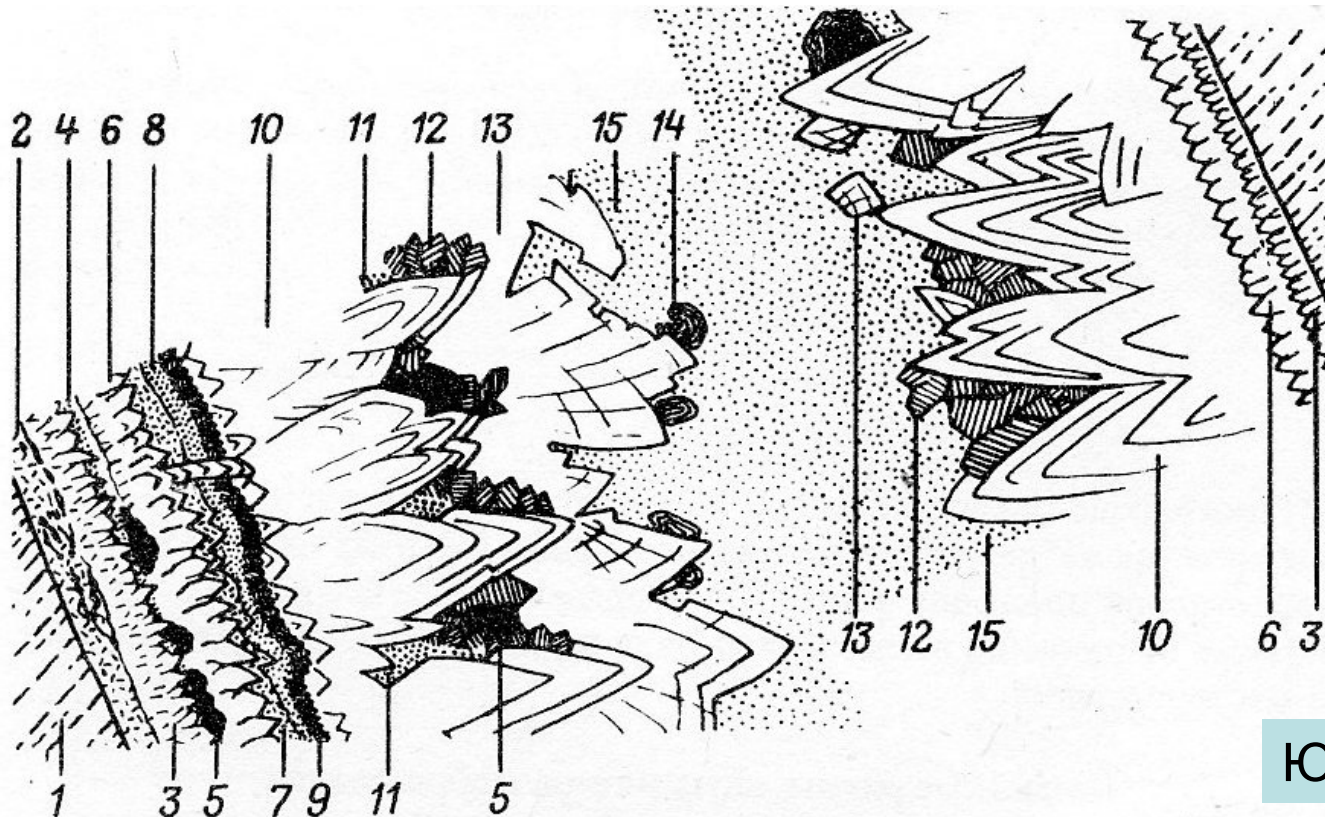


Перовскит двух  
генераций.

Ахматовская копь,  
Шишимские горы,  
Южный Урал

Вторая (ромбический низкий перовскит) выросла на рёбра двойников полиморфного превращения первой (кубический высокий перовскит).

# Выявление пространственно-временных взаимоотношений минералов. Генерации



Ю.М. ДЫМКОВ

Рис. 6. Асимметричное строение варисской сидерит-анкеритовой жилы. Пршибрам, верхние горизонты. Зарисовка штуфа

1 – сланец; 2 – сидерит зернистый; 3 – сидерит тонкостолбчатый; 4 – тонкозернистый агрегат галенита и позднего кальцита; 5 – красно-бурый сфалерит; 6 – сидерит столбчатый; 7 – сидерит мелкозернистый; 8 – кварц халцедоновидный; 9 – кварц гребенчатый; 10 – сидерит; 11 – кварц тонкозернистый; 12 – кристаллы кварца; 13 – белый анкерит; 14 – зеленовато-серый сфалерит; 15 – сферокристаллический кальцит МК

Сколько генераций сидерита, кварца, сфалерита ?

# Иерархия процессов минералообразования и их продуктов

**Эпохе** минералообразования отвечает совокупность минеральных ансамблей, образованных при одном крупном геологическом (геохимическом) событии. Например, сопряжённые с одним магматическим комплексом.

**Этапы** минерализации – крупные подразделения эпохи минерализации, каждое из которых характеризуется своеобразием состава минеральных ассоциаций и их пространственного расположения. Этап от этапа отделяется значительными промежутками времени. Каждый из этапов проходит при различных величинах температур, давлений, состава и концентраций флюидов. Этап минерализации обычно порождает минеральные формации – скарновую, грейзеновую, медно-порфировую, золото-кварцевую... Минеральные агрегаты каждой формации в пространстве могут развиваться обособленно, но нередко накладываются одна на другую, с явлениями замещения, растворения, обрастания более ранних минеральных агрегатов более поздними. При этом нередко возникают довольно пёстрые и сложные минеральные ансамбли.

**Стадии** минерализации – процессы минерализации, протекающие в течение одного этапа (одной формации), но разделённые внутриминерализационными подвижками и во времени относительно

# Иерархия процессов минералообразования и их продуктов

короткими интервалами. В течение стадии минерализации отложение минерального вещества происходит примерно непрерывно. Каждой стадии отвечает своя минеральная ассоциация. Например, скарновый этап (скарновая формация) обычно представлен стадиями или минеральными ассоциациями ранних скарнов, поздних скарнов, гидросиликатных скарнов. В каждой стадии могут быть одни и те же минералы. В таких случаях говорят о нескольких генерациях данного минерала. Вот мы и получили чёткое отличие генераций и зарождений. Зарождения возникают на протяжении одной стадии минерализации.

**Минеральные ассоциации** каждой стадии минерализации обычно также возникают не совсем одновременно. Они могут быть представлены рядом минеральных парагенезисов, последовательно сменяющих друг друга. Парагенетические соотношения вы изучали в курсе физико-химии.



# Парагенез (или парагенезис) минералов

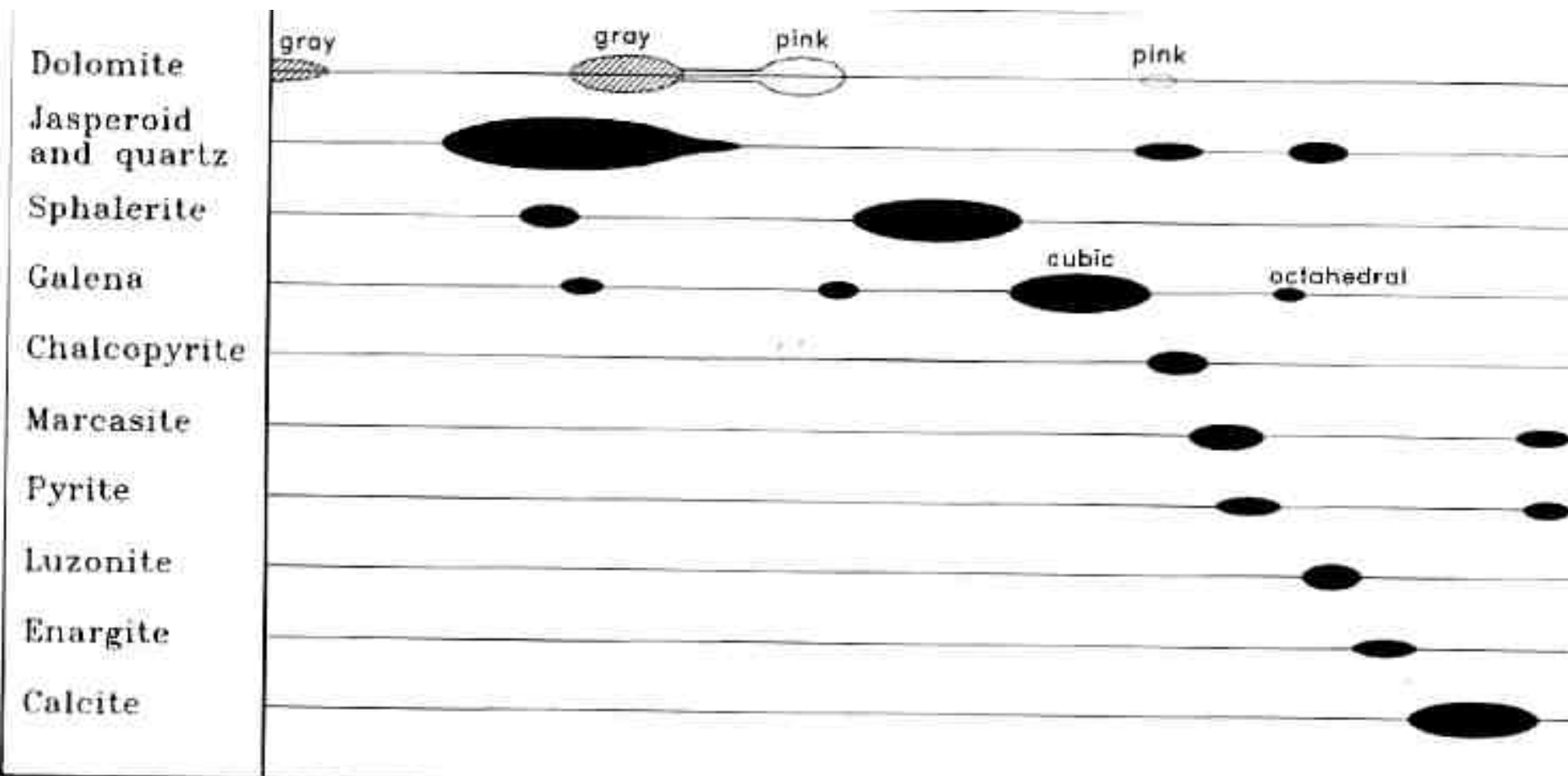
**Парагенезис (парагенез)** минералов – целая история, целая кипа публикаций. Прямой перевод – сопроисхождение. Смысл – сонахождение, обусловленное сопроисхождением.

Парагенез минералов по Д.С. Коржинскому – совокупность совместно существующих, находящихся в равновесии минералов. В равновесии при определённых физико-химических условиях, т.е. при определённых соотношениях масс инертных компонентов и при определённых значениях  $T$ ,  $P$  и химических потенциалов вполне подвижных компонентов.

А.Д. Ракчеев дополняет это определение понятием об электронном равновесии минералов в парагенезе.

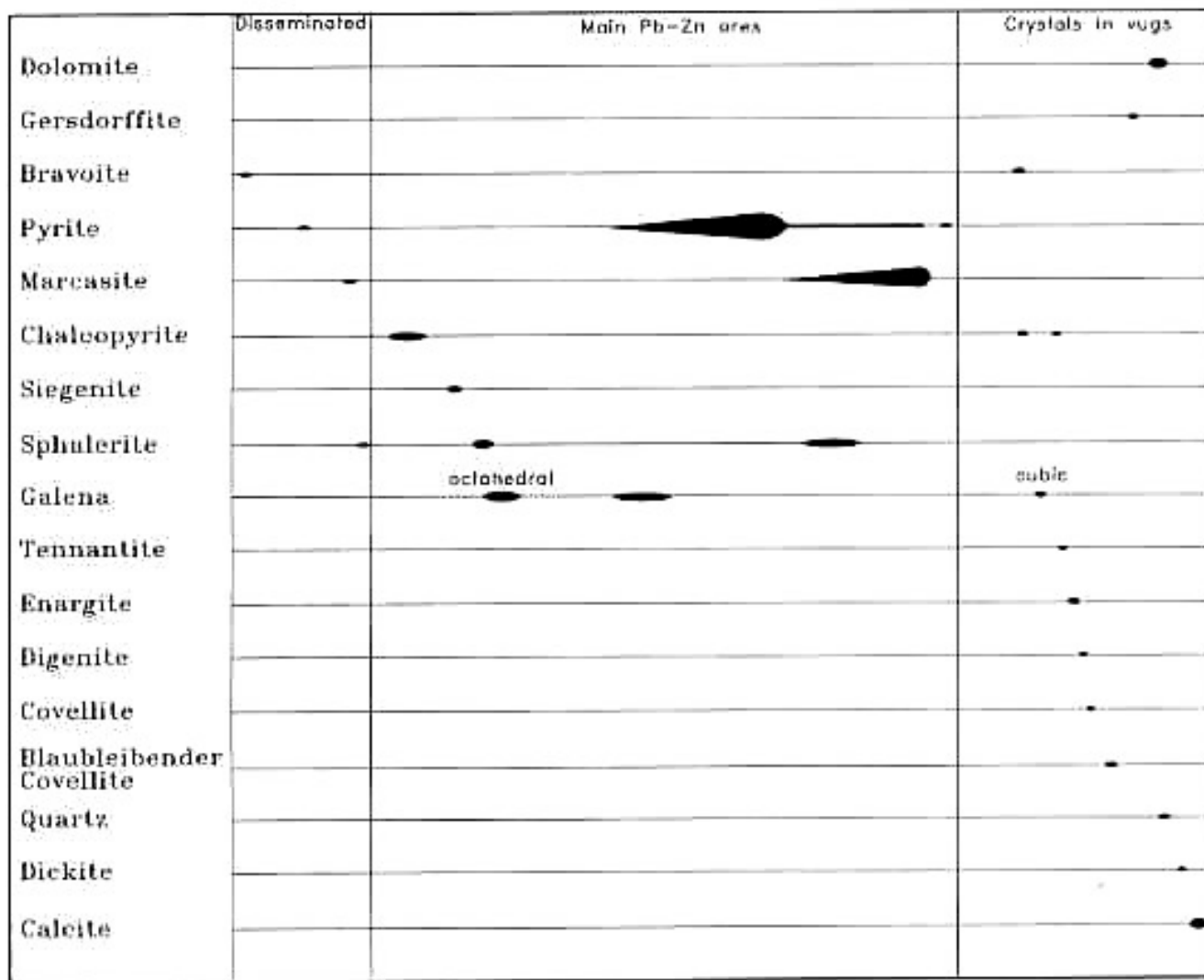
Мы с вами дополняем наличием индукционных поверхностей совместного роста или одинаковой степенью приближения к форме равновесного полиэдра перекристаллизации.

# Примеры схем минералообразования



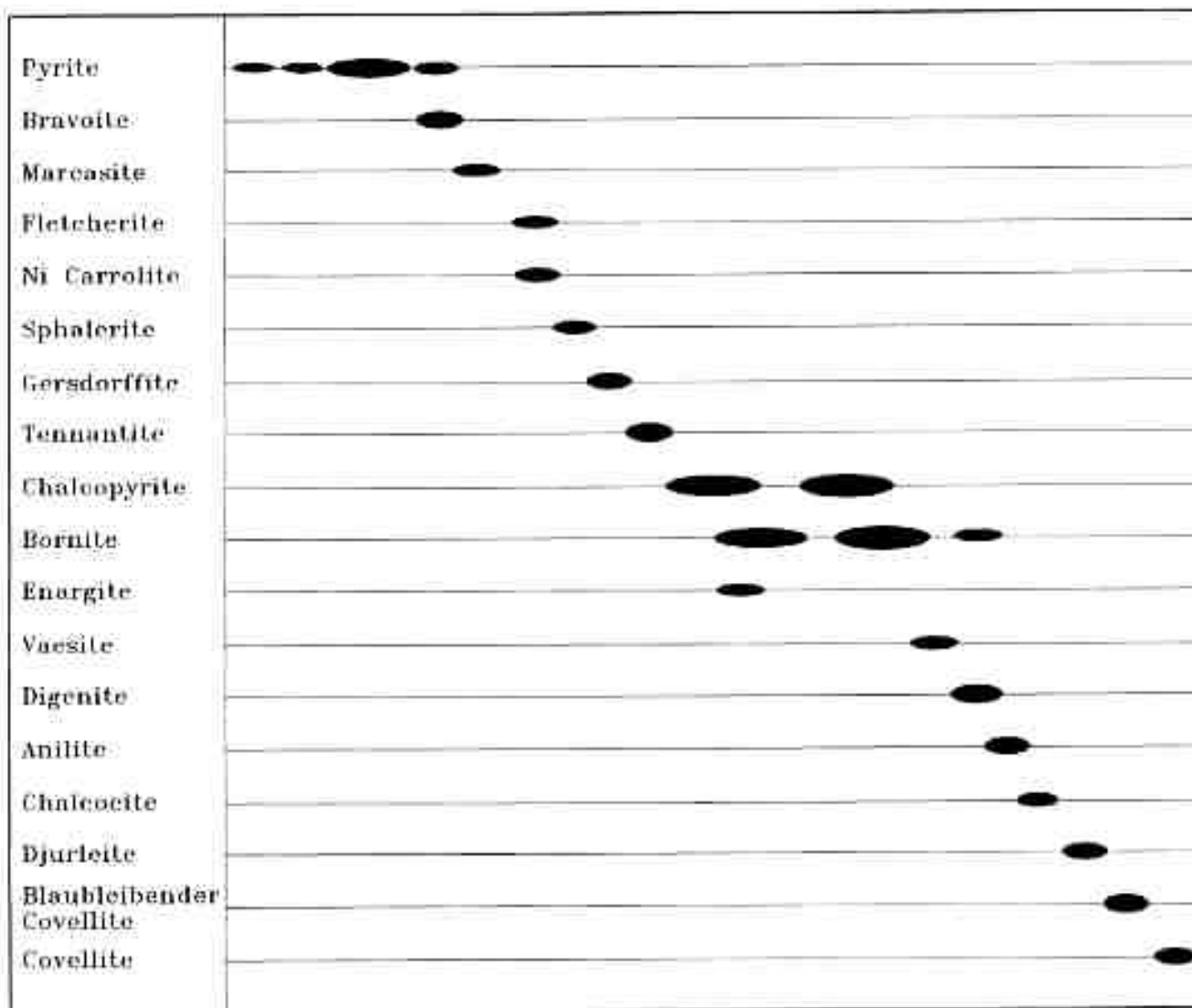
*Figure 9. Simplified Tri-State paragenetic diagram. Modified from Hagni and Grawe (1964) and McKnight and Fischer (1970).*

# Примеры схем минералообразования



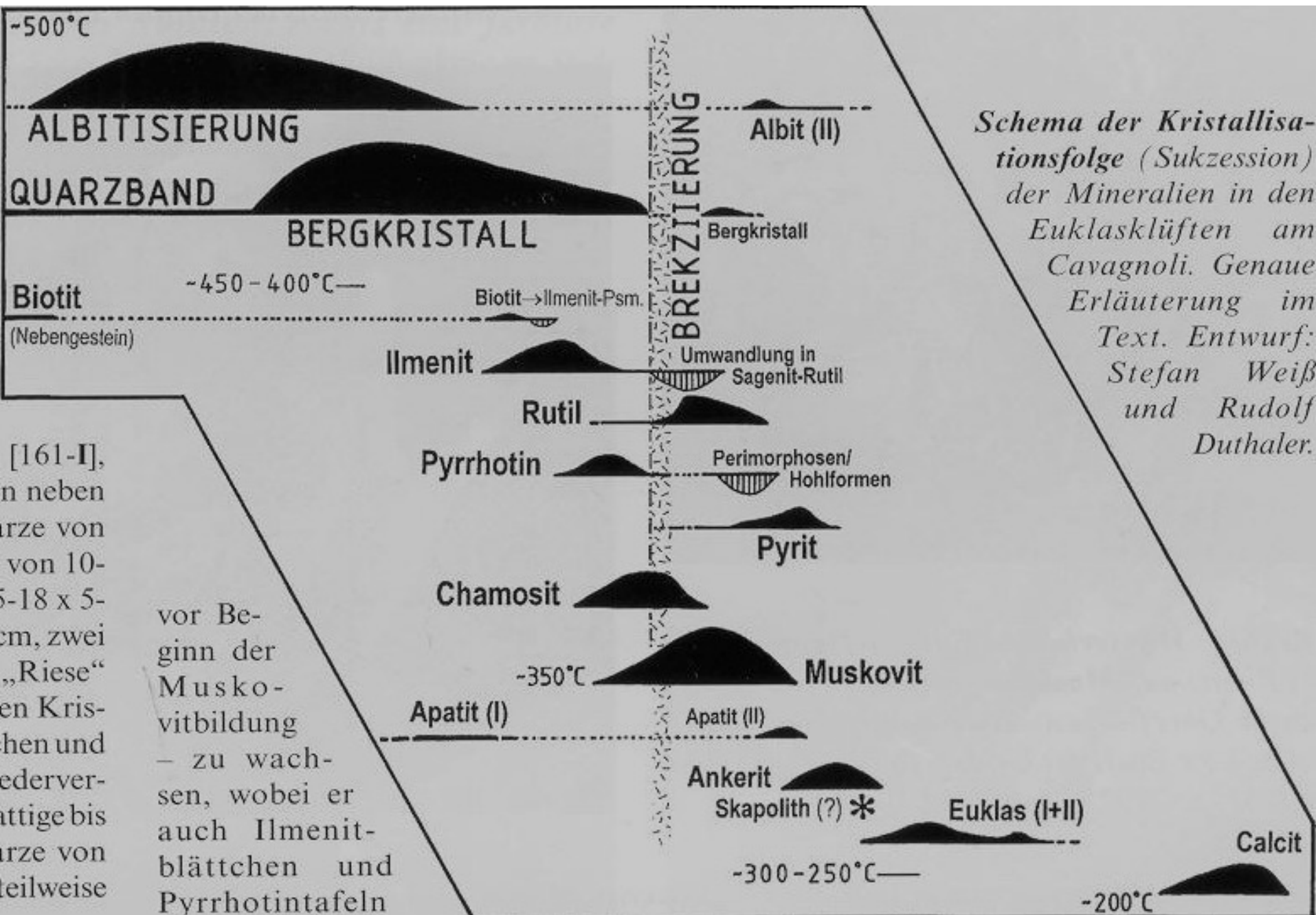
*Figure 33. Simplified paragenesis from the Viburnum No. 28 mine. Modified from Horall, Hagni, and Kisvarsanyi (1983).*

# Примеры схем минералообразования



*Figure 34. Simplified paragenesis of Viburnum Trend early copper-rich pods and veins. Modified from Hagni (1993).*

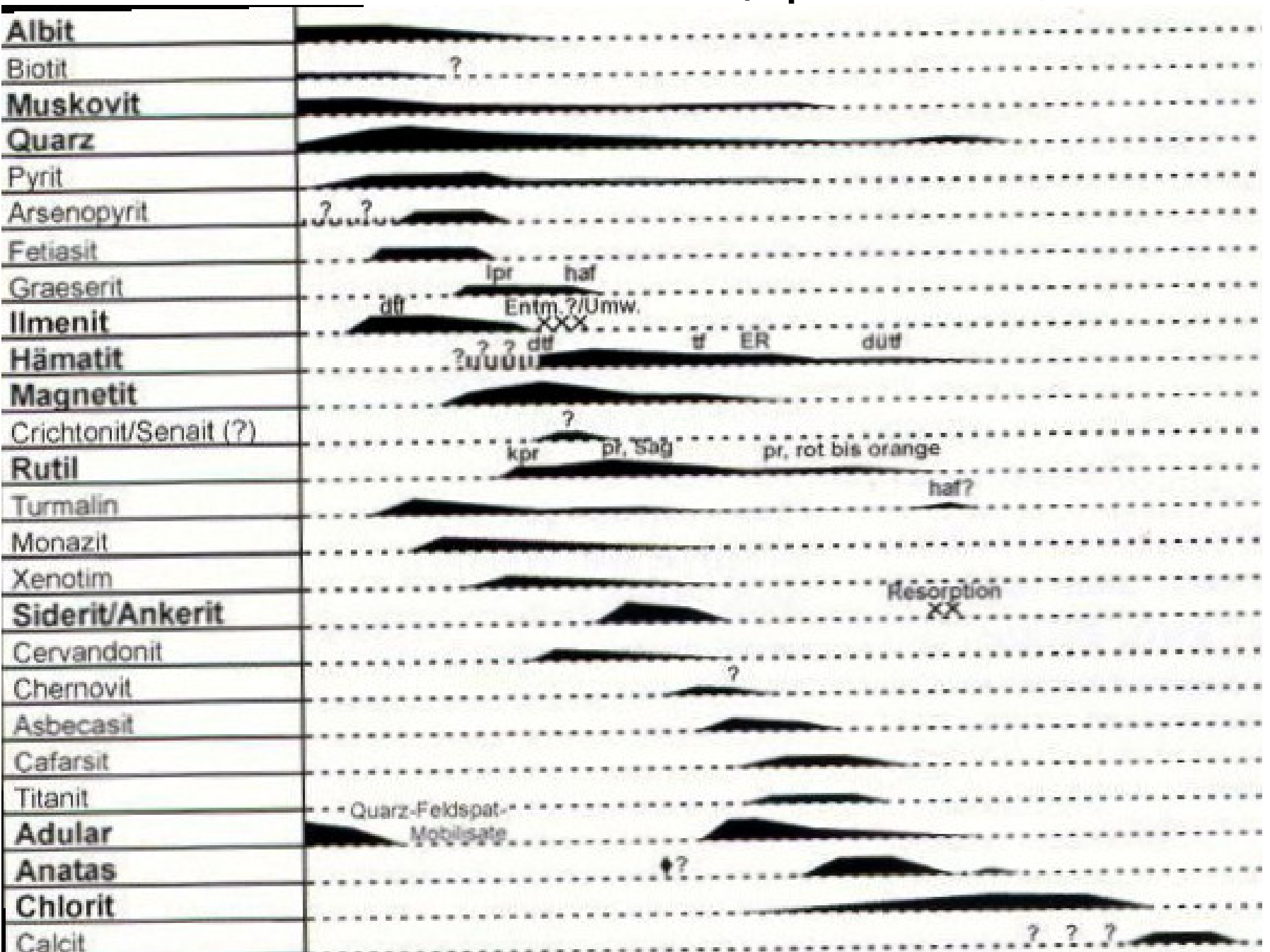
# Альпийские жилы. Швейцарские Альпы, Тессин



[161-I],  
 n neben  
 urze von  
 von 10-  
 5-18 x 5-  
 cm, zwei  
 „Riese“  
 en Kris-  
 hen und  
 ederver-  
 attige bis  
 urze von  
 teilweise

vor Be-  
 ginn der  
 Musko-  
 vitbildung  
 – zu wach-  
 sen, wobei er  
 auch Ilmenit-  
 blättchen und  
 Pyrrhotintafeln

# Альпийские жилы. Швейцар. Альпы, Биннталь



# Медно-цеолитовая формация Верхнего Озера

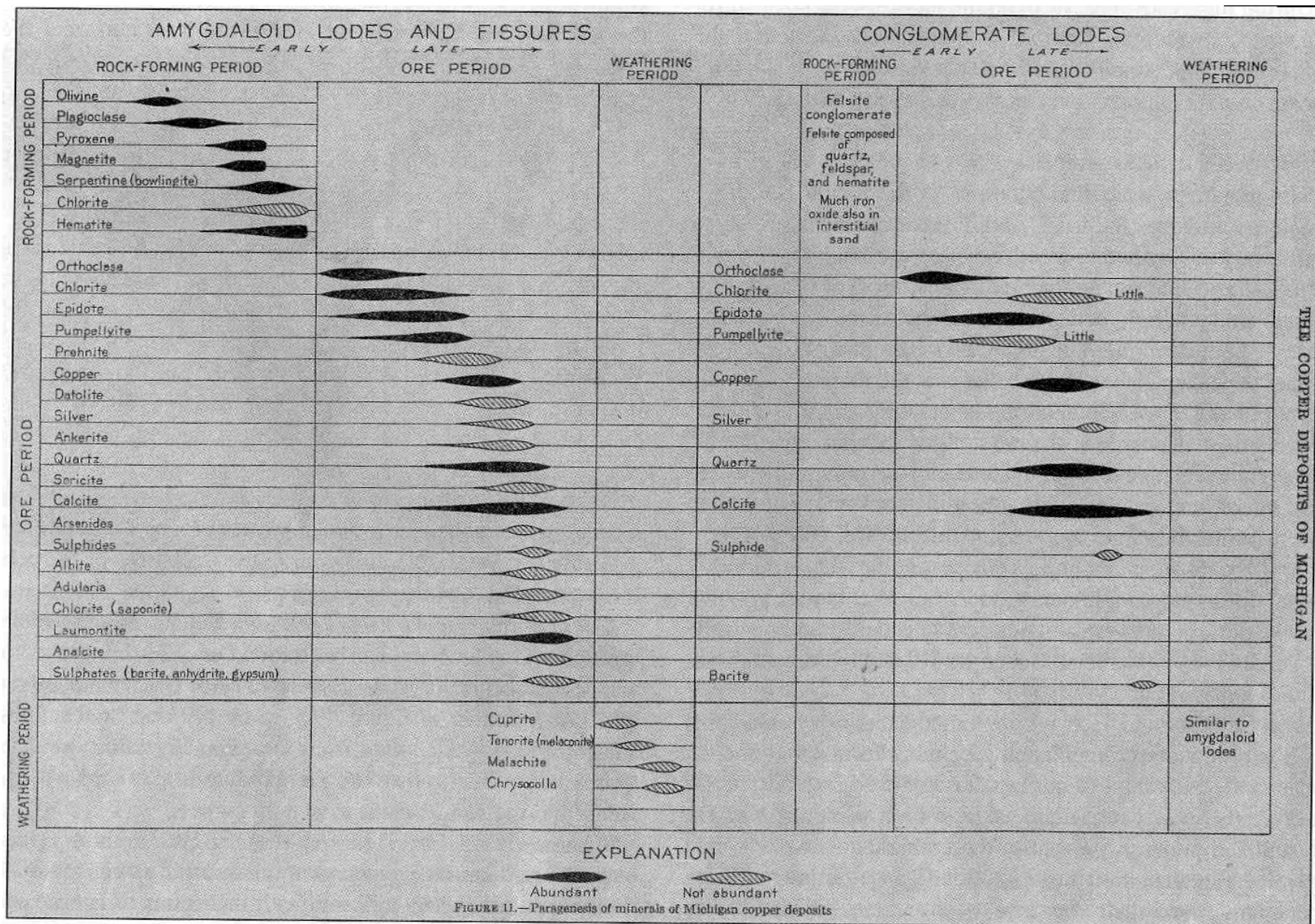


Figure 37. A comparison of the paragenesis of the minerals present in the amygdaloid lodes/fissure veins and the minerals found in the conglomerate lodes (Butler and Burbank 1929).

# Примеры схем минералообразования

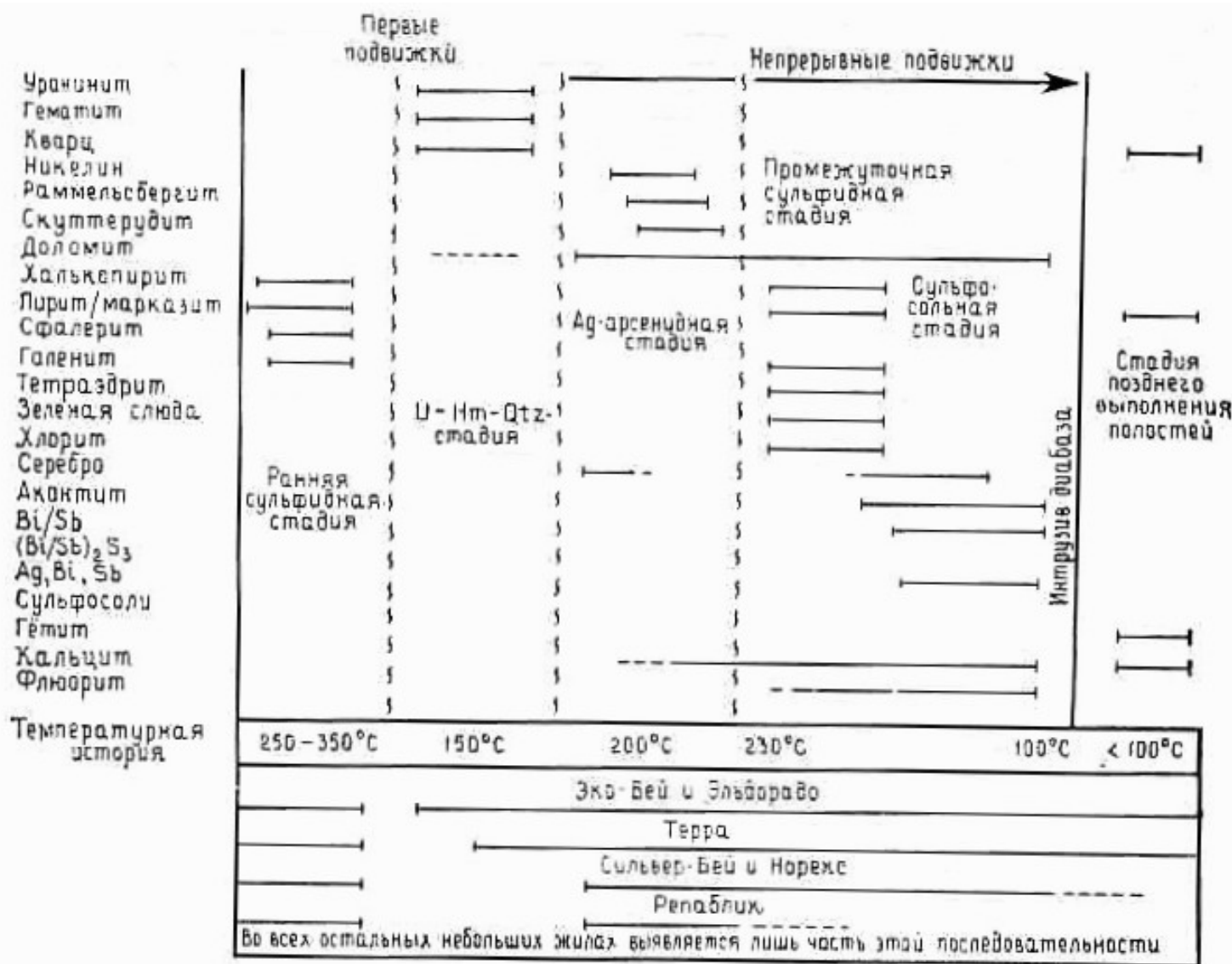


Рис. 9.22. Последовательность образования минералов, стадии и оценка температур минерализации в месторождениях Большого Медвежьего озера, Северо-Западные территории. Показаны также стадии минерализации, установленные в отдельных рудниках и жилах (по Бадхему [1]).



# Примеры схем минералообразования

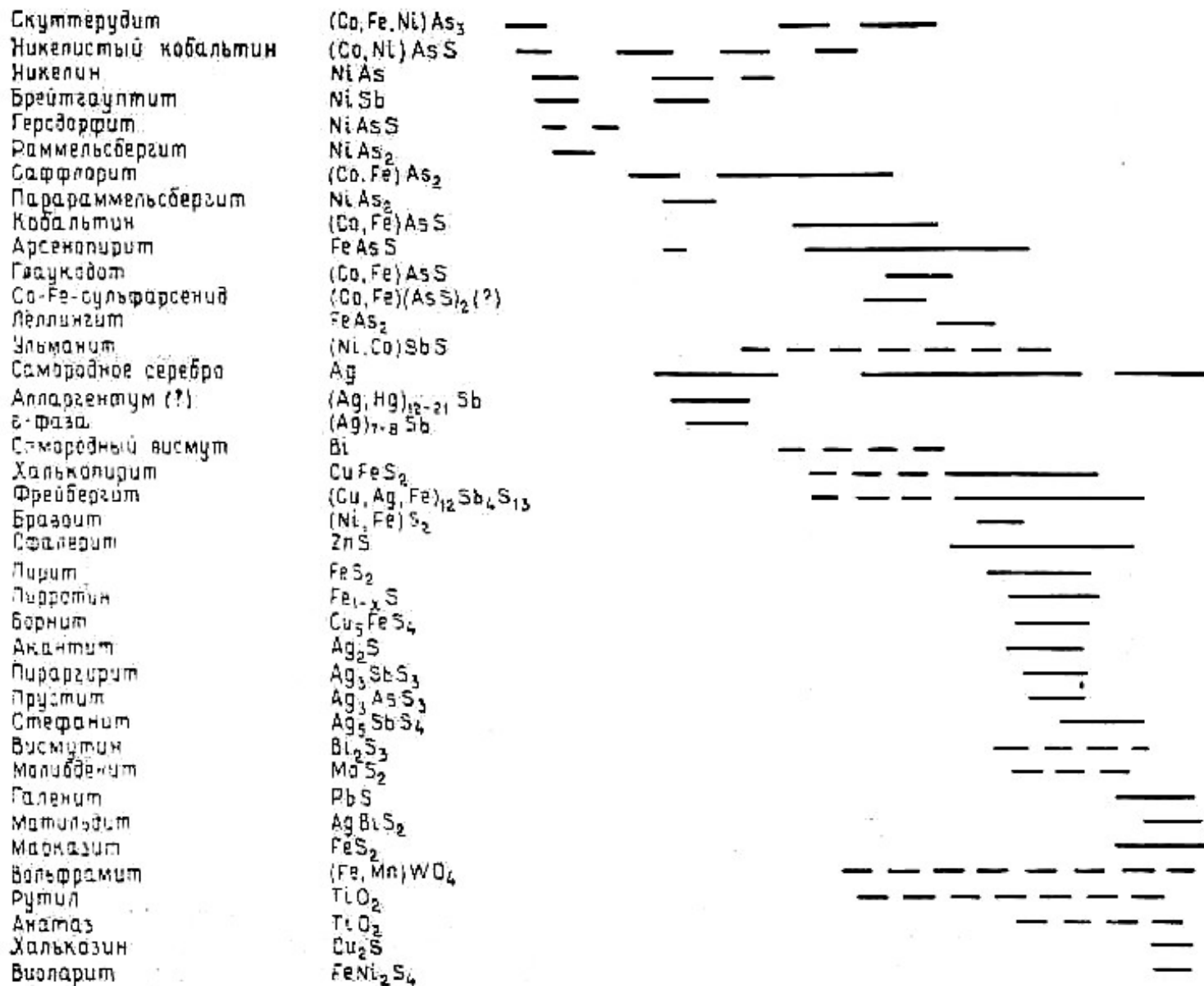
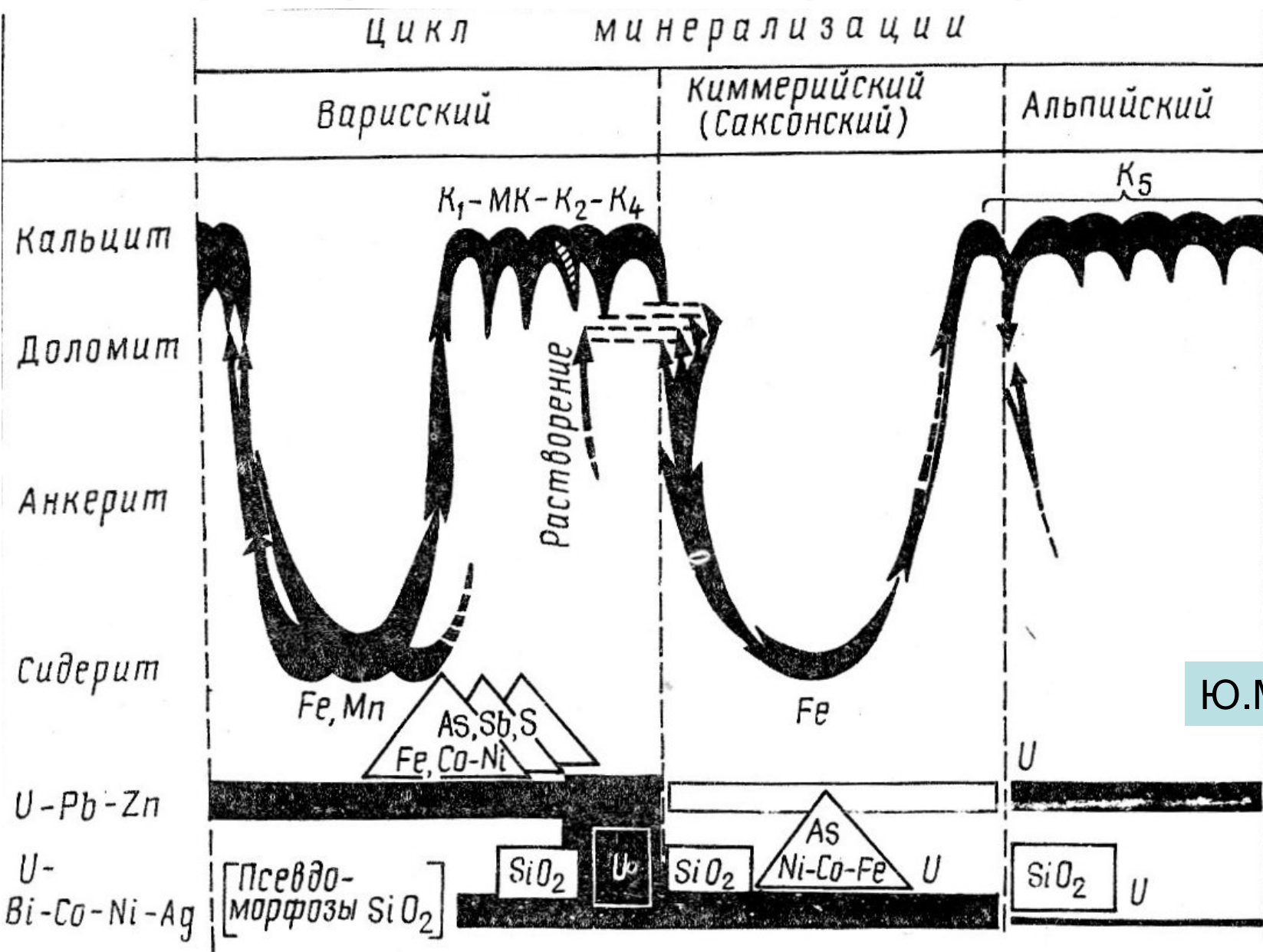


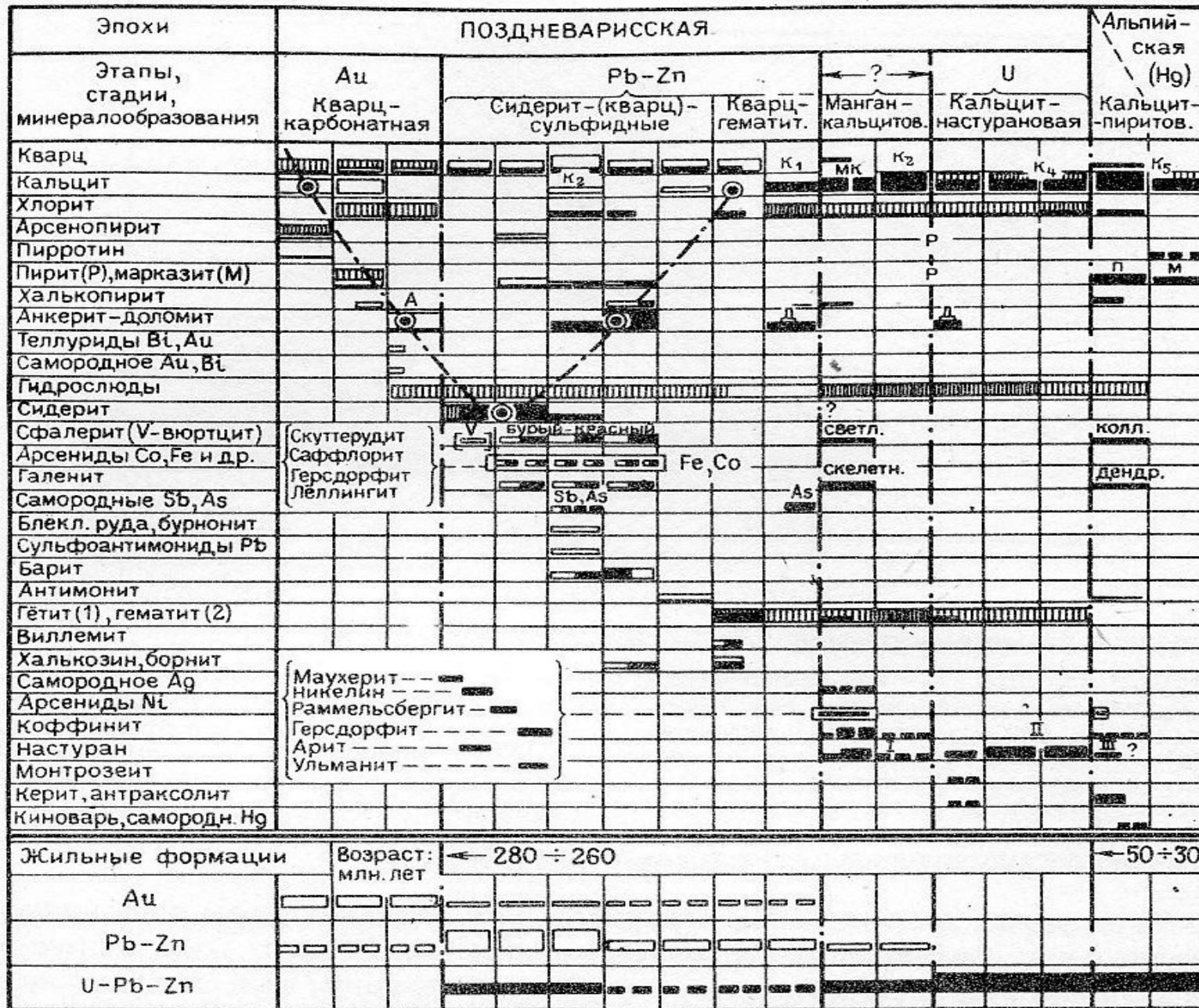
Рис. 9.21. Минеральная ассоциация и примерная последовательность образования минералов в месторождении Силвер-филдс, Кобальт, Онтарио (по Петру [4]).

# Примеры схем минералообразования



Ю.М. ДЫМКОВ

Рис. 43. Схема эволюции карбонатов в рудных жилах [90].  
 По часовой стрелке – процесс кристаллизации, против – процесс замещения. МК – марганцовистый кальцит; K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, ... – генерации кальцита



Ю.М.  
ДЫМКОВ

Рис. 58. Схема общей последовательности образования минералов в жилах Пришибрамского рудного поля. Составлена с учетом данных В. Руса, А. Блюмла и др. [4, 37, 50, 53, 56, 63]



Южная Греция.  
Знаменитые Дельфы.  
Стена древнегреческого  
храма.

На стене подтёки  
(натёки) кальцита,  
выросшие за 2500 лет  
весенних паводков