А.Е. Ферсман по дороге на гранитные пегматиты Борщовочного кряжа, Восточное Забайкалье

Имя

Александра Евгеньевича

Ферсмана

навсегда связано с проблемами

гранитных пегматитов

Все типы гранитных пегматитов - остаточные дифференциаты малого объёма в гранитоидных плутонах, камерные в верхней части гранитных тел или жильные в материнском плутоне и в их кровле в породах рамы, или палингенные, не связанные с массивами гранитоидов, - суть пегматиты по А.Е. Ферсману, т.е. продукты кристаллизации флюидонасыщенного магматического расплава гранитного или лейкогранитного состава

Э.М. Спиридонов

МИНЕРАЛОГЕНЕЗ

ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ.

1. Обзор. Глубинные гранитные пегматиты

Гранитные пегматиты

Гранитные пегматиты явились первым промышленным типом месторождений иттрия, скандия, редкоземельных элементов, циркония, гафния, тантала, ниобия, урана, тория. Большинство из этих химических элементов были установлены (открыты) в минералах гранитных пегматитов и до сих пор добываются из них. Значительный объём добычи лития, рубидия, цезия, тантала в настоящее время осуществляется из пегматитовых месторождений.

Гранитные пегматиты формируются в условиях закрытой системы в обстановке сжатия. Известны гранитные пегматиты двух петрогенетических типов. Их источники : 1) остаточные магматические дифференциаты малого объёма; 2) палингенные расплавы. Гранитные пегматиты возникают при P $H_2O \geq 1$ кбар и до 6-10 кбар, т.е. на глубинах более 2-3 км и до 25-30 км.

1 тип. Гранитные пегматиты – продукты кристаллизации остаточных анхиэвтктических магматических дифференциатов, насыщенных летучими (H_2O, CO_2, HF, HCl, H_3BO_3, H_3PO_4…). Они тесно сопряжены с интрузивами гранитоидов – внутриинтрузивные (шлировые, камерные, жильные) обычно в верхней эндоконтактовой зоне в куполах и иных выступах кровли плутонов, часто в надинтрузивной зоне (жильные и трубообразные). Изотопный возраст пегматитов близок возрасту материнских гранитоидов: U-Pb возраст пегматитоносных гранитов Колмозеро (Кольский п-ов) 2520 млн. лет, танталлита гранитных пегматитов 2518 ± 9 млн. лет; для Выборгского плутона гранитов-рапакиви гранитов 1631-1634 млн. лет, пегматитов 1628±3 млн. лет. Характерно зональное расположение и зональность состава тел пегматитов относительно материнского гранитного плутона.

Гранитные пегматиты

1 тип. Характерно зональное расположение и зональность состава тел пегматитов относительно материнского гранитного плутона.

Гранитные пегматиты – не дифференцированные, наиболее распространены, состоят из графической зоны с или без оторочки жильных гранитов или аплитов, у более глубинных такие оторочки отсутствуют. Гранитные пегматиты дифференцированные состоят из аплитовой оторочки, графической зоны, блоковой зоны – зоны блоковых полевых шпатов, кварцевого ядра ± различные зоны замещений. обычно на границах блоковых полевошпатовых зон и кварцевого ядра.

Рассмотрим пегматитоносность различных гранитоидных формаций. Плагиогранитную, гранодиоритовую и монцонитовую формации сопровождают мелкие маломощные не дифференцированные гранитные пегматиты; дифференцированные пегматиты редки – в их ядрах немного розового или дымчатого кварца, шерл, мусковит, спессартин-альмандин, манганильменит, ортит, небольшое количество титанатов-ниобатов REE. Формацию стандартных гранитов сопровождают масса не дифференцированных и слабо дифференцированных гранитных пегматитов; дифференцированные пегматиты редки – хрусталеносные, с флюоритом, Li слюдами. Масса гранитных пегматитов, в том числе интенсивно дифференцированные хрусталеносные, с оптическим флюоритом, редкометальные с Sn, Ta, Be, Cs, Li, Rb и/или с самоцветами, сопряжены с интрузивами лейкогранитов и двуполевошпатовых аляскитовых гранитов.

Гранитные пегматиты – зональность относительно плутонов материнских гранитов

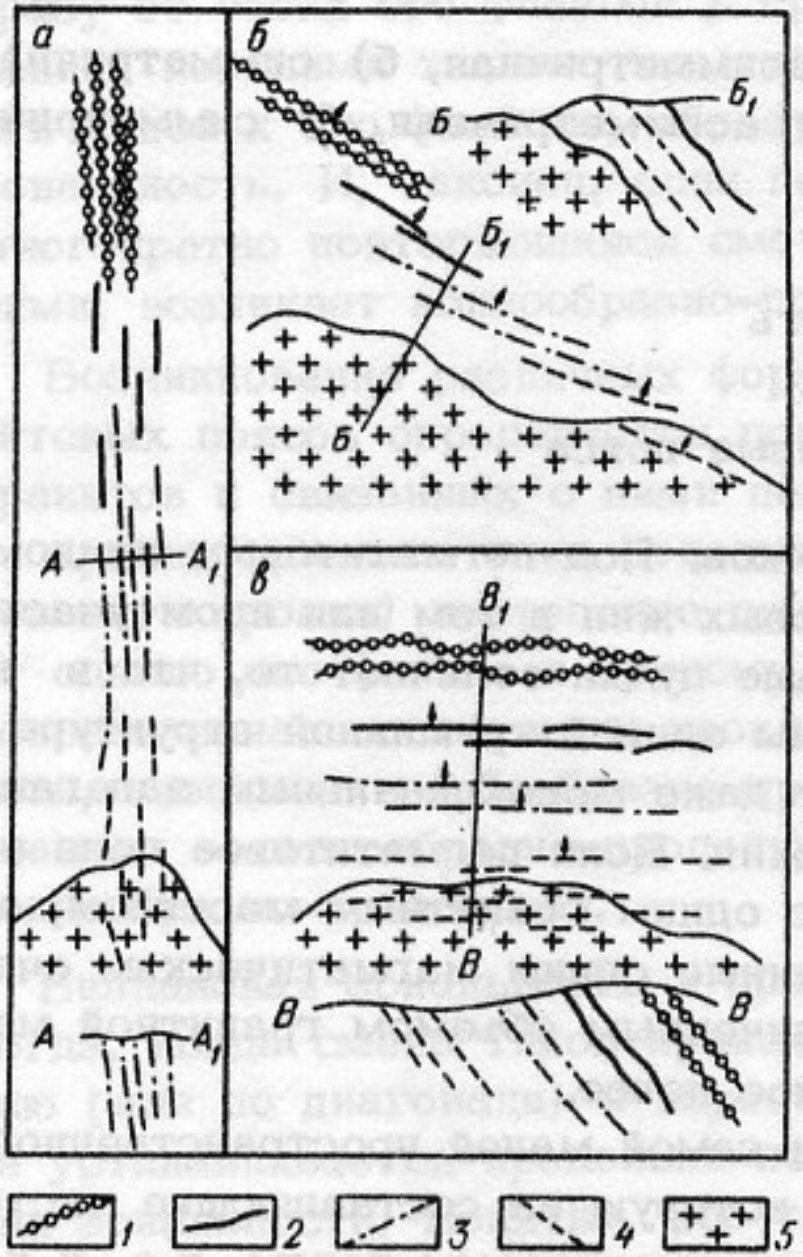


Рис. 17. Схема продольной (а), диагональной (б) и поперечной (в) зональности пегматитовых пучков.

Пегматиты: *1* – альбит-сподуменовые, *2* – альбитовые, *3* – микроклин-альбитовые и сподумен-микроклин-альбитовые, *4* – микроклиновые и безрудные; *5* – материнские граниты

Гранитные пегматиты – зональность относительно плутонов материнских гранитов

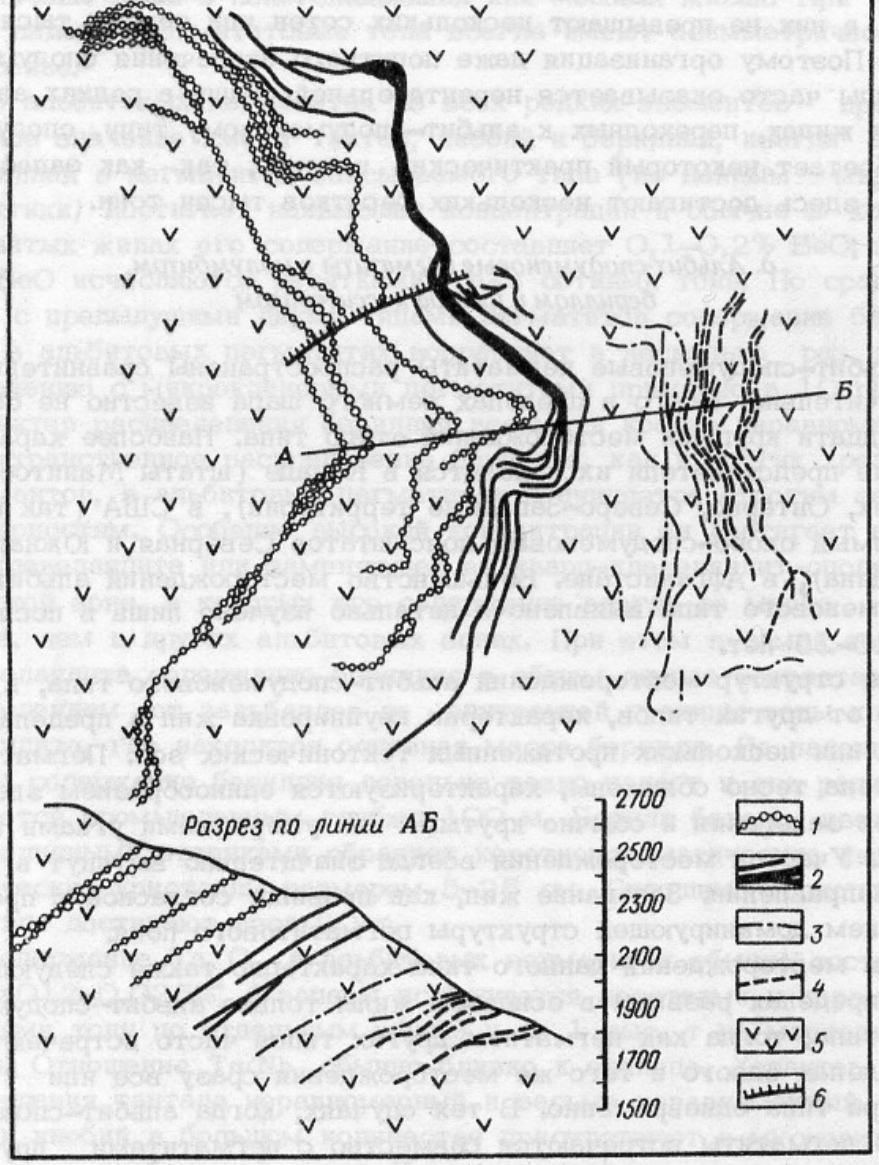


Рис. 14. Схема зональности пегматитового пучка (месторождение Дарае-Пич, Афганистан). По *В. М. Народному, Н. А. Солодову* и *А. В. Трифонову* [1964 г.].

Пегматиты: *1* – альбит-сподуменовые с большим количеством микроклина и убогой примесью касситерита, берилла, колумбита, *2* – существенно альбитовые с редким сподуменом, мелковкрапленным бериллом и танталит-колумбитом, *3* – микроклин-альбитовые с рудоразборным бериллом и танталит-колумбитом, *4* – существенно микроклиновые с редким бериллом; *5* – биотит-амфиболовые диориты; *6* – тектонические нарушения

Материнский плутон гранитов расположен несколько ниже отметки 1500 метров – на дне ущелья

Гранитные пегматиты – зональность относительно плутонов материнских гранитов

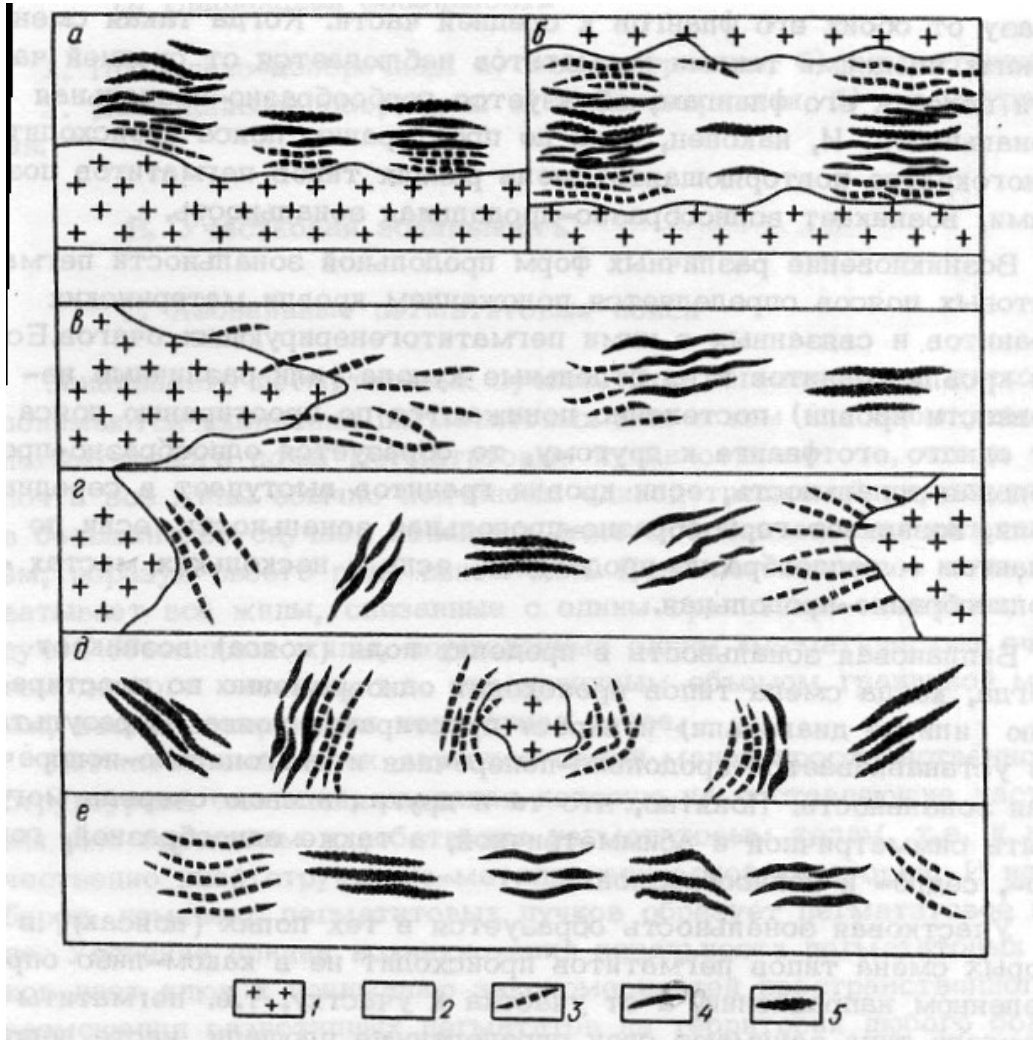


Рис. 16. Типы зональности пегматитовых поясов и полей:

а – асимметрично-поперечная, *б* – симметрично-поперечная, *в* – однообразно-продольная, *г* – седлообразно-продольная, *д* – горбообразно-продольная, *е* – волнообразно-продольная.

1 – материнские граниты; *2* – вмещающие породы; *3* – безрудные и микроклиновые пегматиты; *4* – микроклин-альбитовые и сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты; *5* – альбит-сподуменовые пегматиты

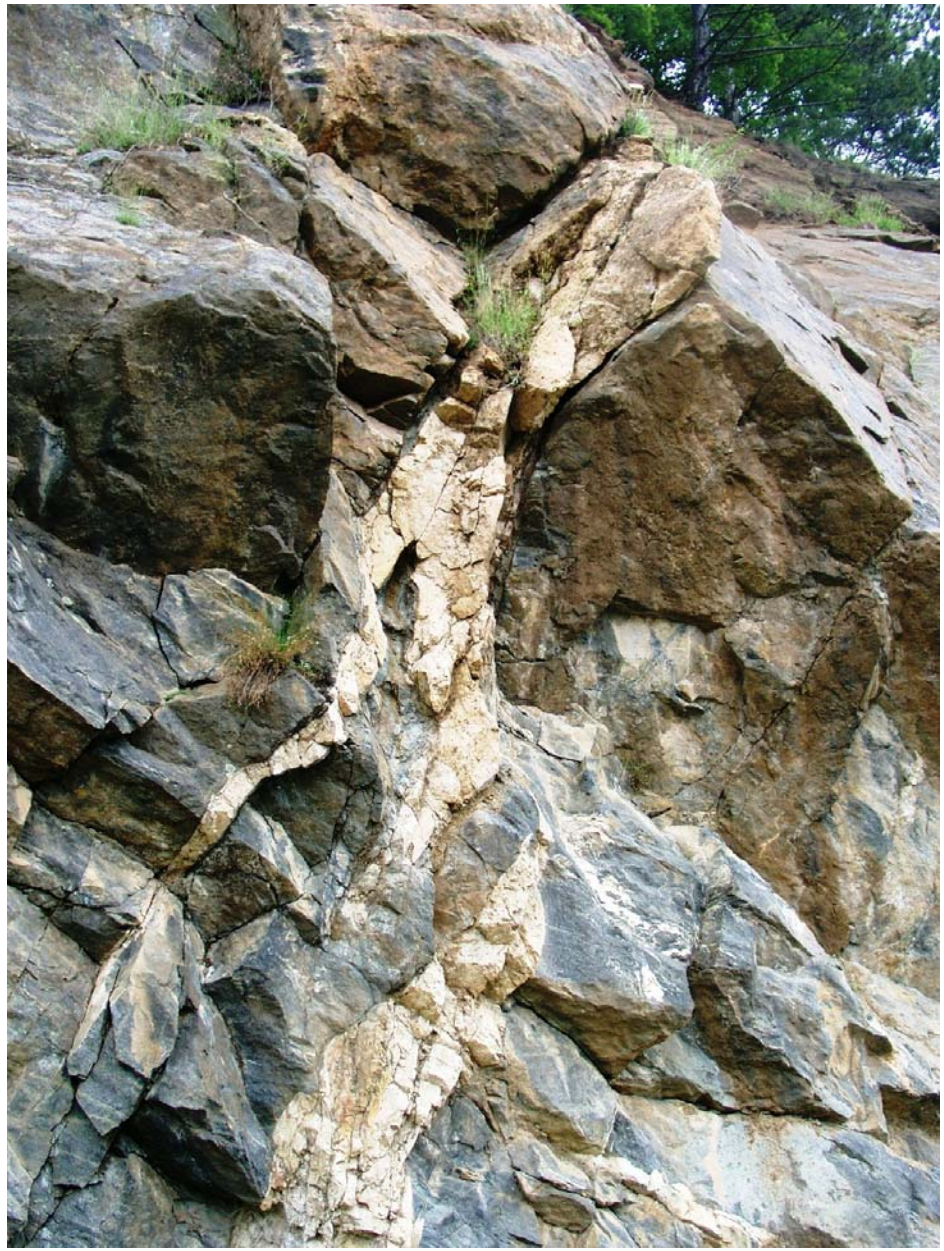
Гранитные пегматиты

2 тип. Гранитные пегматиты, не зависимые от гранитоидных интрузивов. Они сопряжены с полями развития мигматизированных метаморфитов амфиболитовой и реже гранулитовой фаций. Это мигматит-пегматиты и продукты кристаллизации палингенных гранитных расплавов, возникших при высоких Р H_2O = 5-8-10 кбар, - большая часть керамических и слюдяных – мусковитовых пегматитов. Форма пегматитовых тел часто линзообразная и жильная. Вероятно, палингенное происхождение, не зависимое от гранитных интрузивов, имеет значительная часть слабо дифференциированных сподуменовых гранитных пегматитов, их форма плитообразная.

О происхождении гранитных пегматитов

На эту тему долгое время щли дискусии. По А.Е. Ферсману и его последователям Н.П. Ермакову, И.Т. Бакуменко…– пегматиты суть магматические образования с подчинённой ролью метасоматических образований. По А.Н. Заварицкому, В.Д. Никитину и их последователям – пегматиты суть метасоматические образования, продукты перекристаллизации жильных гранитов… Наличие раскристаллизованных расплавных включений в минералах аплитовой, графической, блоковой зон и в кварце ядра однозначно свидетельствует о правоте А.Е. Ферсмана.

Гранитные пегматиты (палингенные) в трещинах отрыва в крист. сланцах. Родопы, Болгария

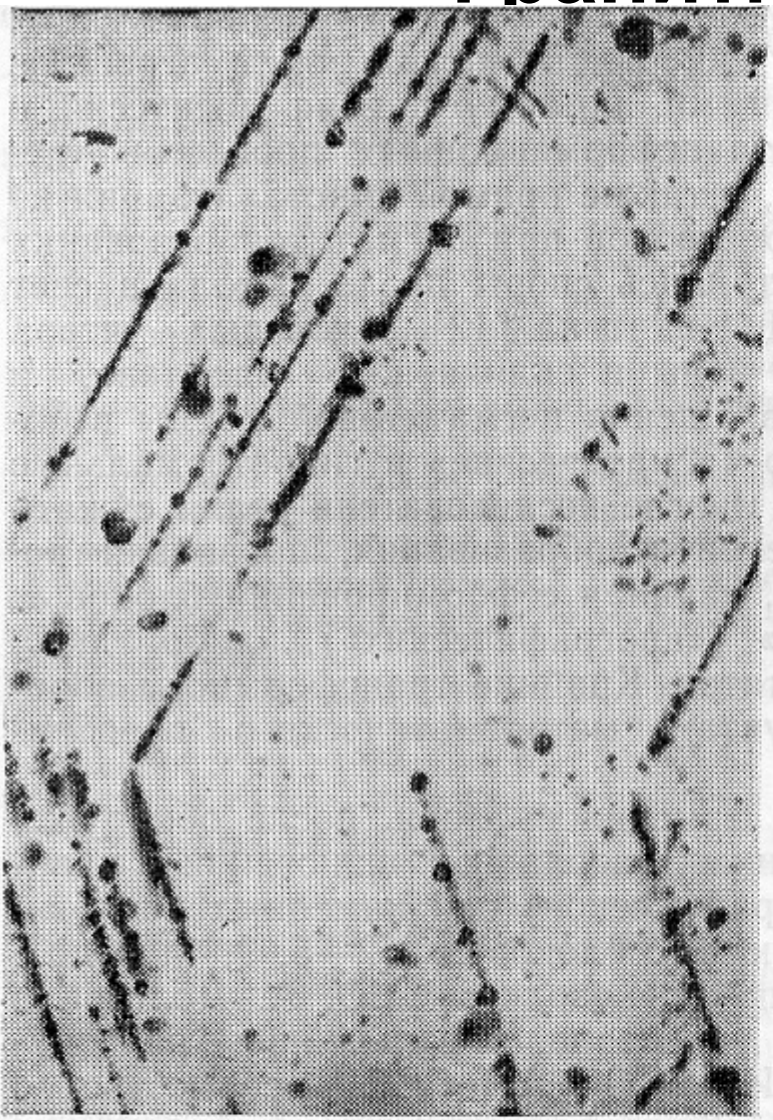


Гранитные пегматиты (палингенные) в метаморфитах. Родопы, Болгария

Секущий интрузивный контакт гранитных пегматитов и кристаллических сланцев

Секущий интрузивный контакт с апофизами гранитных пегматитов и амфиболитов

Гранитные пегматиты



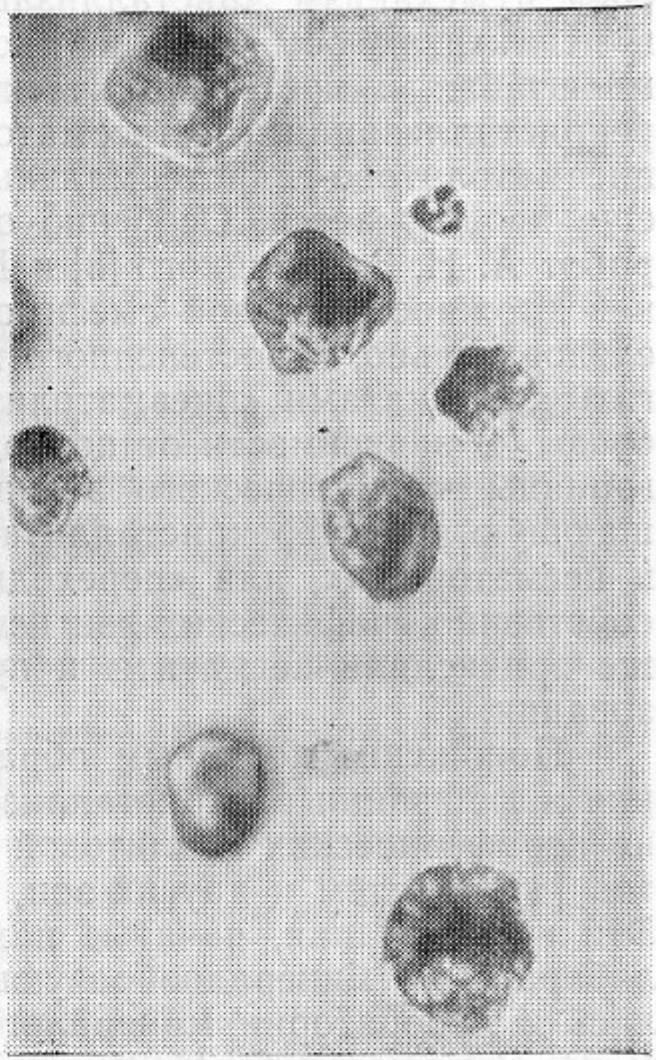
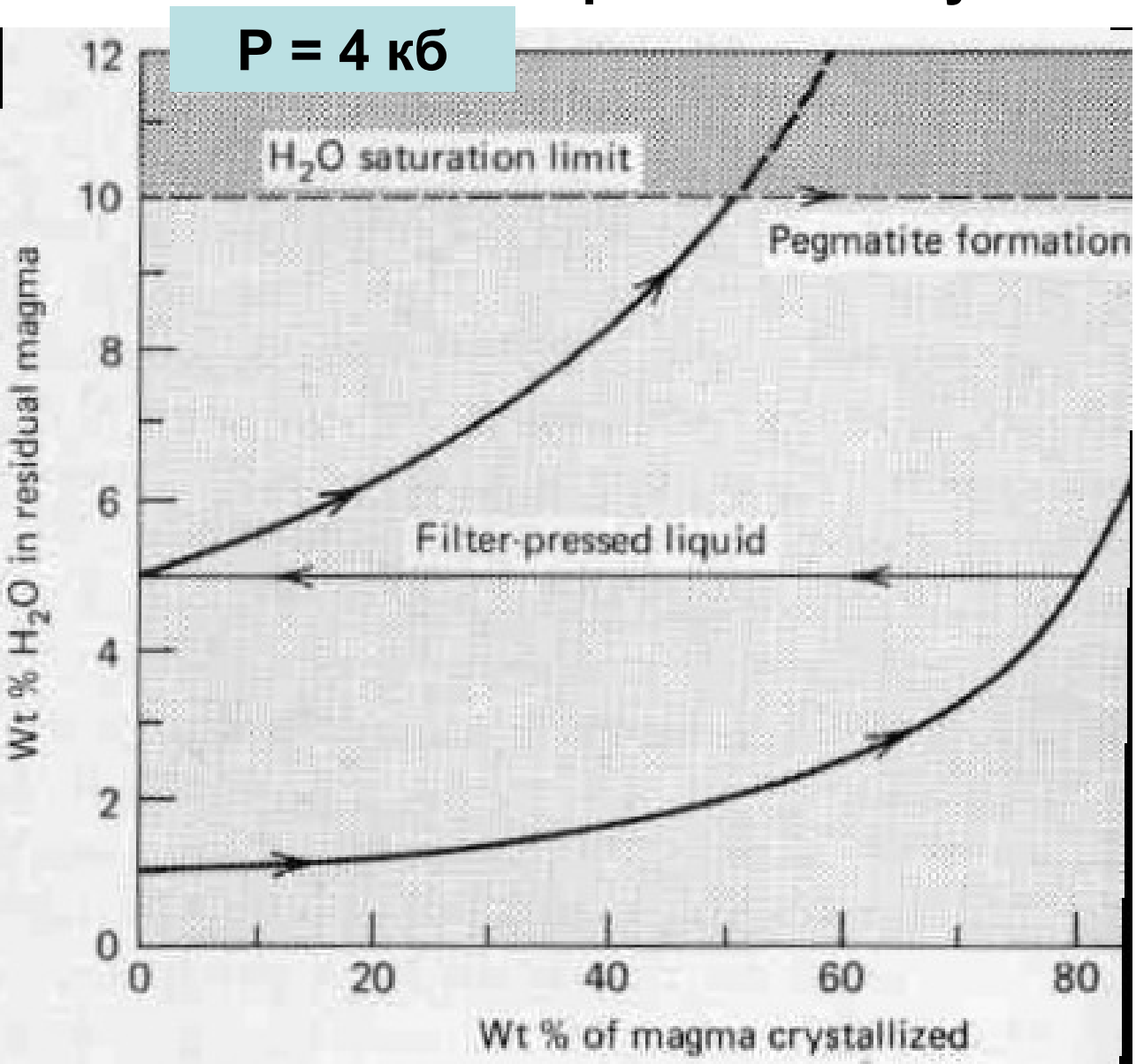


Рис. 1. Расположение раскристаллизованных включений по зонам роста пегматоидного кварца. Камерные пегматиты гранитного массива Бектау-ата (Прибалхашье). Ув. 76.

Рис. 2. Азонально расположенная группа раскристаллизованных включений в ихтиоглипте кварца. Зона графических агрегатов в камерных пегматитах Кыринского гранитного массива (Читинская обл.). Ув. 480.

Раскристаллизованные расплавные включения в кварце гранитных пегматитов (Бакуменко, 1983)

Стандартная схема формирования гранитных пегматитов – остаточных дифференциатов малого объёма в гранитных плутонах



В ходе кристаллизации гранитных магм более 90% объёма твёрдых фаз представляют полевые шпаты и кварц, не содержащие летучие компоненты. По этой причине, остаточный расплав обогащён H2O, CO2, HF…Это одна из главных причин появления остаточных пегматитовых расплавов – растворов.

Гранитные пегматиты

Другая причина появления пегматитовых расплавов – растворов – прогрессивное накопление воды и иных летучих компонентов и многих рассеянных элементов в прикровельной части магматических тел, которое обусловлено термогравитационной конвективной диффузией (так называемый эффект Соре).

Температура начала процесса кристаллизации гранитных пегматитов от 900-830^0 С (у наиболее глубинных пегматитов) до 640-580^0 и даже 540^0 С (у наименее глубинных пегматитов с массой фтора и лития, котрые резко снижают Т гранитных эвтектик – минимумов). Температура образования обычных гранитных пегматитов 690-540^0.

Ведущая роль в пегматитовом процессе принадлежит водным и углекислотно-водным флюидам, содержащим фтор. Почему столь существенна роль фтора, даже при не очень больших концентрациях?

1. Фтор замещает кислород в кремнекислородных тетраэдрах, резко повышая подвижность кремнекислых расплавов и возможности для их дифференциации.
2. HF, LiF… снижают температуру гранитных солидусов на 50-150^0.
3. Фтор (HF) главный экстрактор - растворитель и переносчик для Be, Sn, Li, W, Mo, Nb, Ta, U; сходная роль у бора (борной кислоты) и фосфора (фосфорной кислоты).

Гранитные пегматиты – природные автоклавы

На магматической “автоклавной” стадии при формировании графической, блоковых зон и кварцевого ядра тела гранитных пегматитов - закрытые системы, в значительной степени термостатированные. Небольшой термический градиент всё же был, что создавало возможности для химических транспортных реакций с небольшим количеством вещества растворителя – переносчика. Наличие газовых пустот обеспечивало некоторый градиент давлений внутри пегматитового «автоклава», дополнительный фактор движения флюидов. Концентрация солей в H_2O и H_2O – CO_2 флюидах составляла 40 и более масс. %, это – хлориды K, Na, Fe, Ca, фториды и алюмофториды K и Na, бораты K, Na, Li, борофториды K и Cs… Крупные до огромных размеры кристаллов полевых шпатов (до25 м), кварца (до 15 м), сподумена (до 12 м), берилла (до 18 м), мусковита (до 6 м), топаза (до 1.5 м) и их исключительные качества свидетельствуют о чрезвычайно медленной скорости их кристаллизации. Термостатирование и фракционная кристаллизация пегматитовых расплавов-растворов обеспечили поразительную степень дифференциации вещества. Собственные минералы образовали даже те химические элементы, которые в стандартных процессах полностью маскированы в минералах распространённых элементов: гафнон $Hf[SiO_4]$, поллуцит $Cs[AlSi_2O_6]$, рубиклин $Rb[AlSi_3O_8]$, черниит Cu_2CdSnS_4. Яркий пример – аммониевый полевой шпат баддингтонит в пегматитах. Кларк азота в гранитах первые г/т. Азот (NH^{4+}) должен был рассеяться в калишпатах и слюдах. Ан нет !

Классификация гранитных пегматитов

Поскольку главное в генезисе пегматитов – поведение летучих, постольку ведущий параметр их классификации – давление (глубинность формирования).

I. Гранитные пегматиты относительно низких давлений при начальном минералообразовании – 1-2 кбар, - миароловые или кристаллоносные.

II. Гранитные пегматиты умеренных далений при начальном минералообразовании – 2-4 кбар, - редкометальные.

III. Гранитные пегматиты повышенных давлений при начальном минералообразовании – 4-6 кбар, - редкометально-мусковитовые.

IV. Гранитные пегматиты высоких давлений при начальном минералообразовании – 6-10 кбар, - мусковитовые,
уран-редкоземельные,
керамические.

С ростом давления заметно меняется состав кварц-полевошпатовых котектик: кварц - K-Na полевой шпат – 1 кб ~ 40 % кварца, 2 кб ~ 35 % кварца, 4 кб ~ 30 % кварца; кварц – олигоклаз – 1 кб ~ 47 % кварца, 2 кб ~ 43 % кварца, 5 кб ~ 40 % кварца, 10 кб ~ 25 % кварца.

Классификация гранитных пегматитов.
Černý, 2002

4 геологических класса :

1. абиссальные пегматиты - сегрегации анатектических лейкосом в условиях от гранулитовой фации до высокоградной части амфиболитовой фации, T ~ 700 - 8000 C, P ~ 4 - 9 кб.

2. глубинные мусковитовые пегматиты, большей частью конформные и деформированные тела среди метаморфитов амфиболитовой фации кианит - силлиманитовой серии, анатектические или дифференциаты гранитоидов, T ~ 580 - 6500 C, P ~ 5-8 кб.

3. умеренных глубин редкометальные пегматиты, квазиконформные до секущих тела среди метаморфитов амфиболитовой фации до высокоградной части фации зелёных сланцев андалузит - силлиманитового типа; T ~ 500 - 6500 C, P ~ 2-4 кб.

4. малоглубинные миаролитовые пегматиты = камерные пегматиты или секущие тела в материнских гранитах, интрузивные тела в сланцах, кристаллизующиеся при 1 кб.

Классификация гранитных пегматитов. Černý, 2002

5 типов редкоэлементных гранитных пегматитов :

1. Редкоземельный тип, ортитовый и гадолинитовый подтипы (REE, Y, U, Th, Be, Nb > Ta, Ti, Zr, F).

2. Берилловый тип, берилл - колумбитовый и берилл – колумбит - фосфатный подтипы (Be, Nb - Ta, P ± Sn, B, Li).

3. Комплексный тип, сподуменовый, петалитовый, лепидолитовый, амблигонитовый, эльбаитовый подтипы (Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ta > Nb, P, B, F).

4. Альбит - сподуменовый тип (Li, Sn, Be, Ta - Nb, B).

5. Альбитовый тип (Ta - Nb, Be ± Li, Sn, B).

Классификация гранитных пегматитов. Černý, 2002

3 главных петрогенетических семейства редкоэлементных гранитных пегматитов :

1. Литий - цезий - танталовые, генерируемые умереннно- до крайне высокоглинозёмистыми гранитами S-типа, синорогенные и позднеорогенные.

2. Ниобий - иттрий - фтористые, производные умеренно до сильно агпаитовыми щелочными гранитами A-типа, обычно посторогенные - анорогенные.

3. Смешанные Nb - Y - F - Li - Cs - Ta, связанные с обеими типами гранитоидов и обусловленные несколькими процессами.

Процессы формирования гранитных пегматитов расшифрованы далеко не полностью.

Некоторые из проблем:

1). где те огромные массы флюидов, количество которых по оценке А.А. Маракушева и Е.Н. Граменицкого достигает 80% пегматитообразующего расплава ?

2). как и когда возникли около пегматитовые геохимические и минеральные ореолы, нередко значительных размеров ?

3). существуют ли гранитные пегматиты скрещения, иначе гибридные ? На каком этапе развития гранитных пегматитов формируются чуждые для них геохимические и минеральные особенности ?

ГЛУБИННЫЕ

ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

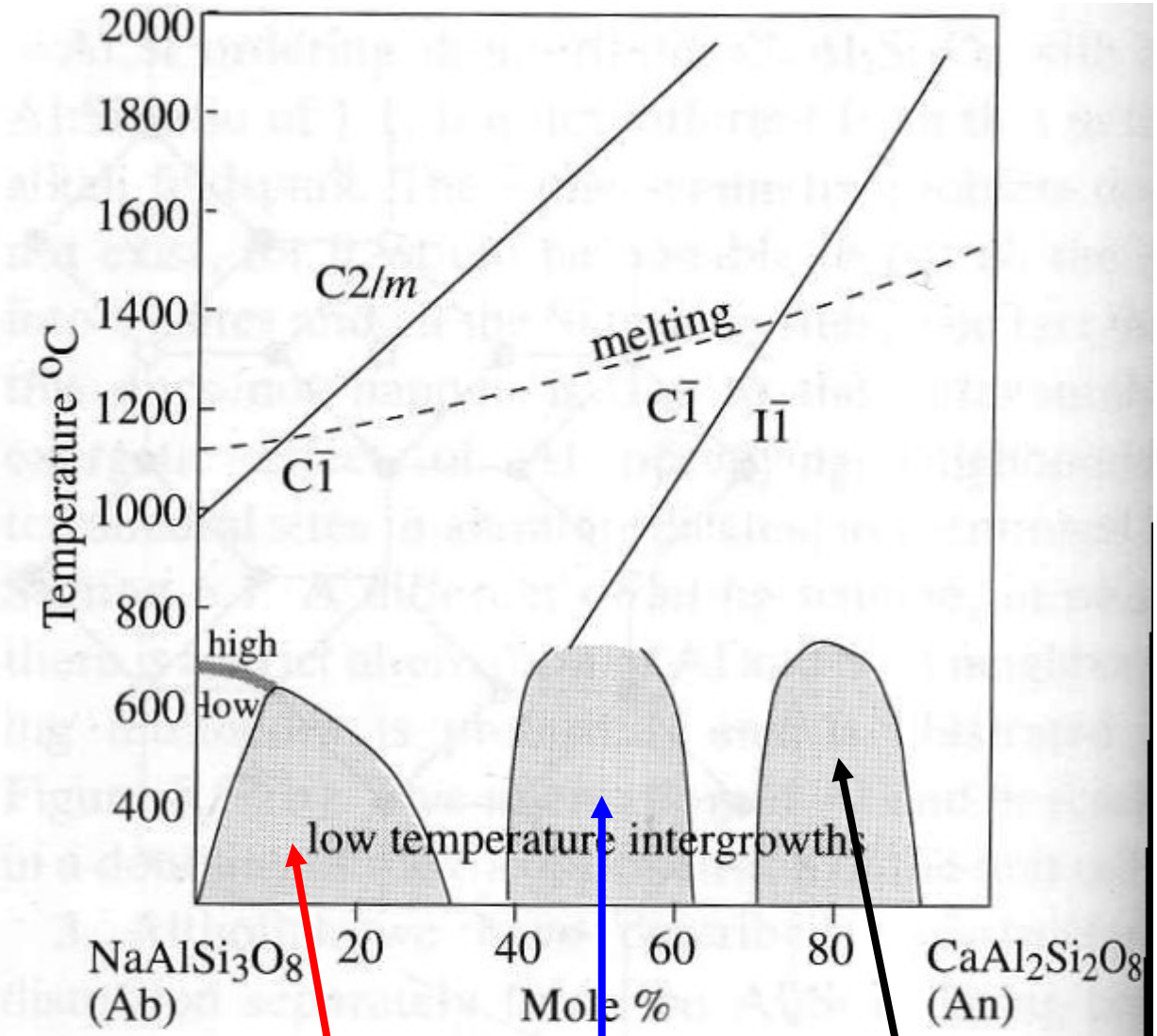
Глубинные гранитные пегматиты анатектического происхождения формируются в условиях повышенного общего давления и повышенного давления бедного фтором водно-углекислотного флюида со значительной долей CO_2 (до 50 %). Такой флюид рано отделяется от расплава, поэтому пегматиты кристаллизуются близко к местам зарождения расплава. При высоком давлении паров воды состав гранитоидной эвтектики сдвинут к составу плагиоклаза, что объясняет повышенную роль олигоклаза в глубинных пегматитах. Начальные температуры кристаллизации таких плагиопегматитов достигали 850-820^0 С. Наиболее глубинные из них содержат в графических срастаниях не более 20 % кварца, - это типичные керамические пегматиты олигоклазовые и олигоклаз-микроклиновые. В таких пегматитах мусковит - первичный магматический минерал. Типичны его синтаксические срастания с биотитом - крупные зональные пластины слюд с неоднократным чередованием зон биотита и мусковита.

Уран-редкоземельные гранитные пегматиты богаты ортитом, содержат богатый иттрием м редкоземельными элементами титанит-сфен, апатит, бетафит, уранинит, ураноторит, существенно цериевый монацит, ксенотим, циркон, чевкинит, гадолинит, эшинит, эвксенит, иттротанталлит, таленит, тортвейтит. Эти пегматиты нередко залегают среди метаморфитов гранулитовой или высокоТ части амфиболитовой фаций.

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Ёна, Кольский полуостров

Бедные кварцем графические срастания



перистериты

срастания Хуттенлохера

срастания Бёггильда

Figur of the stability io
feldspar structures in the plagioclases. A t
phase boundaries between C2/*m*, C$\bar{1}$ and I$\bar{1}$ structures are tru
cated by the melting curv perature the shaded are
represent regions in whic e consists of intergrowt
barely visible by optical m ter Carpenter, 1987.)

Именно для наиболее глубинных гранитных пегматитов характерны структуры распада плагиоклазов – перистериты

Глубинные гранитные пегматиты. Перистериты

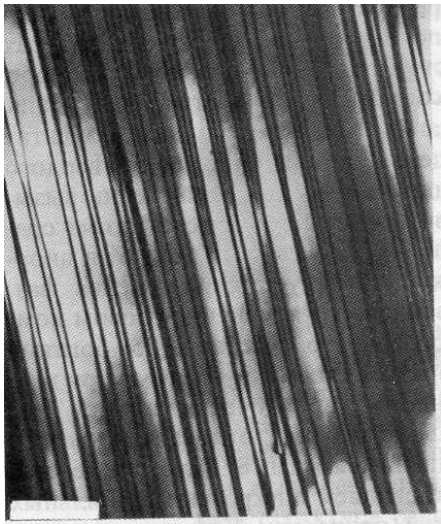
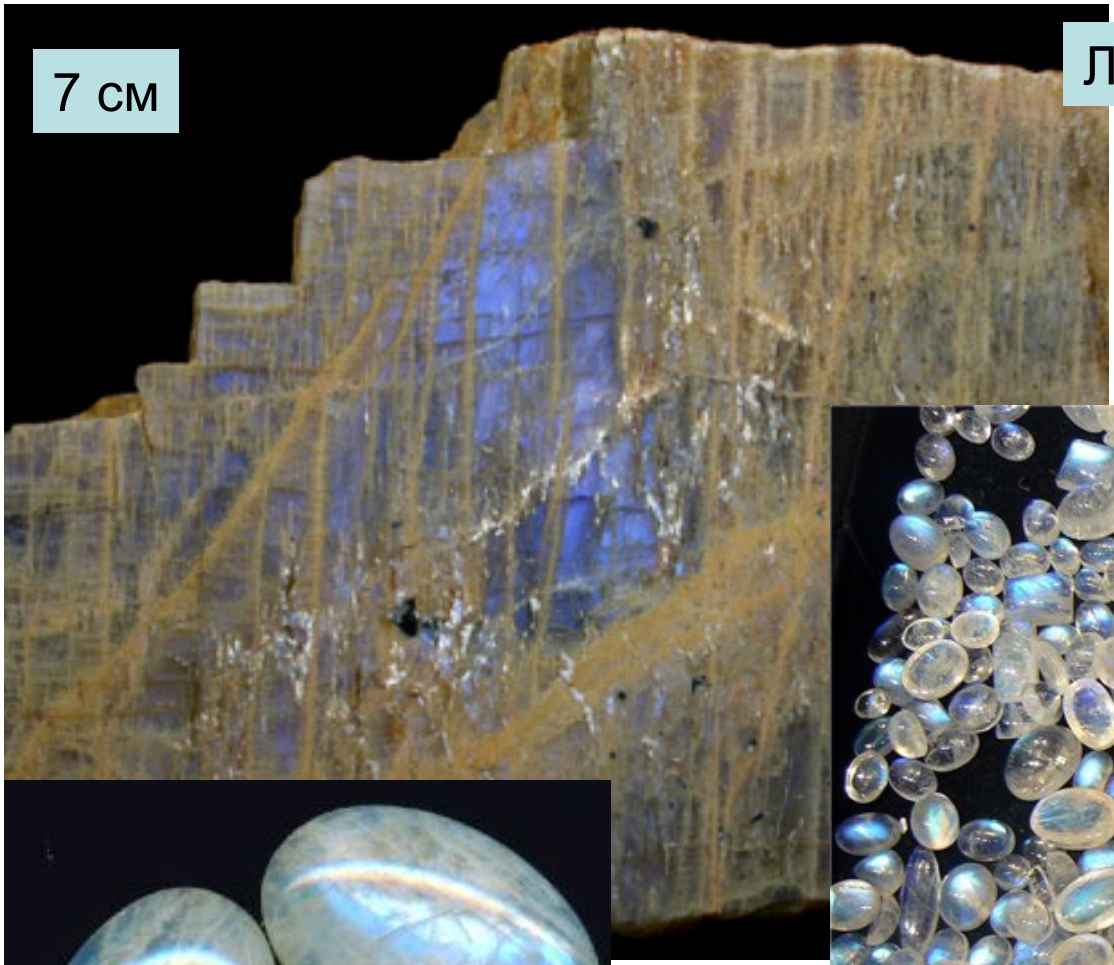


Рис. 9.10. Просвечивающая электронная микрофотография перистеритовых срастаний в образце состава $An_{7,6}$. Пластинки состоят из альбита и более основного плагиоклаза. Длина масштабной полоски 0,5 мкм. (Фото любезно предоставлено Мак-Лареном.)

Чупа, Северная Карелия

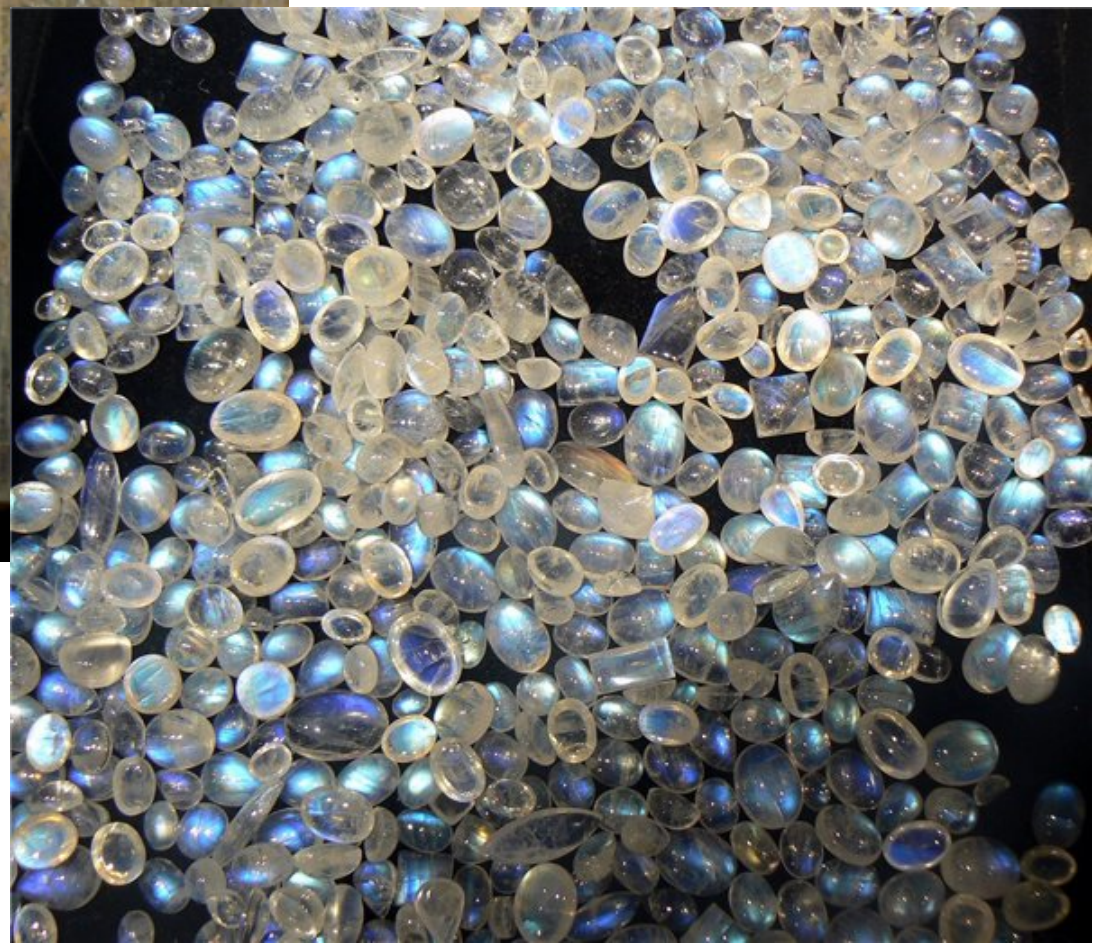
Перистериты – беломориты

Глубинные гранитные пегматиты. Перистериты



Ларвик, Норвегия

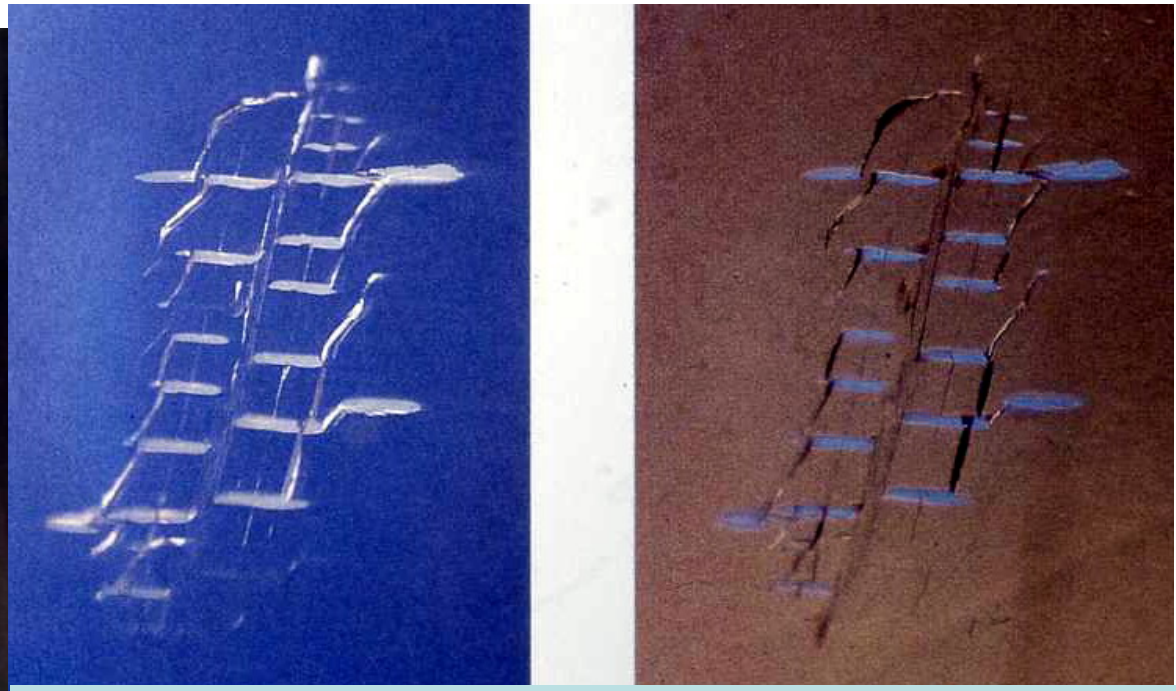
Тончайшие срастания альбит - олигоклаз



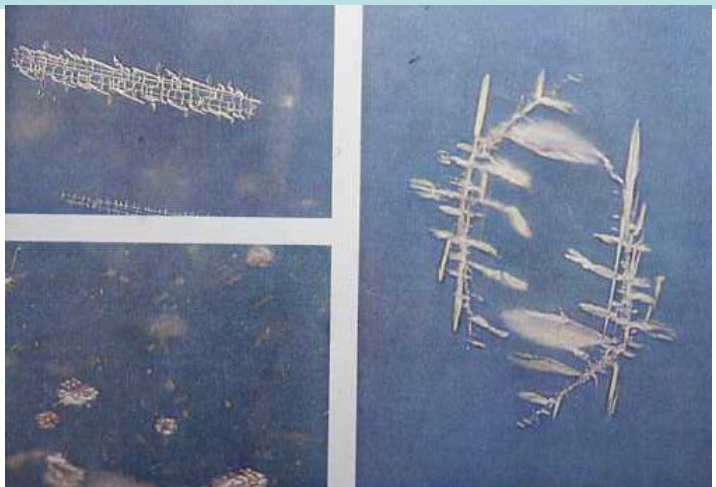
Глубинные гранитные пегматиты.

K-Na полевые шпаты (в т.ч. лунные камни)

Микроклин. Медведка, Карелия

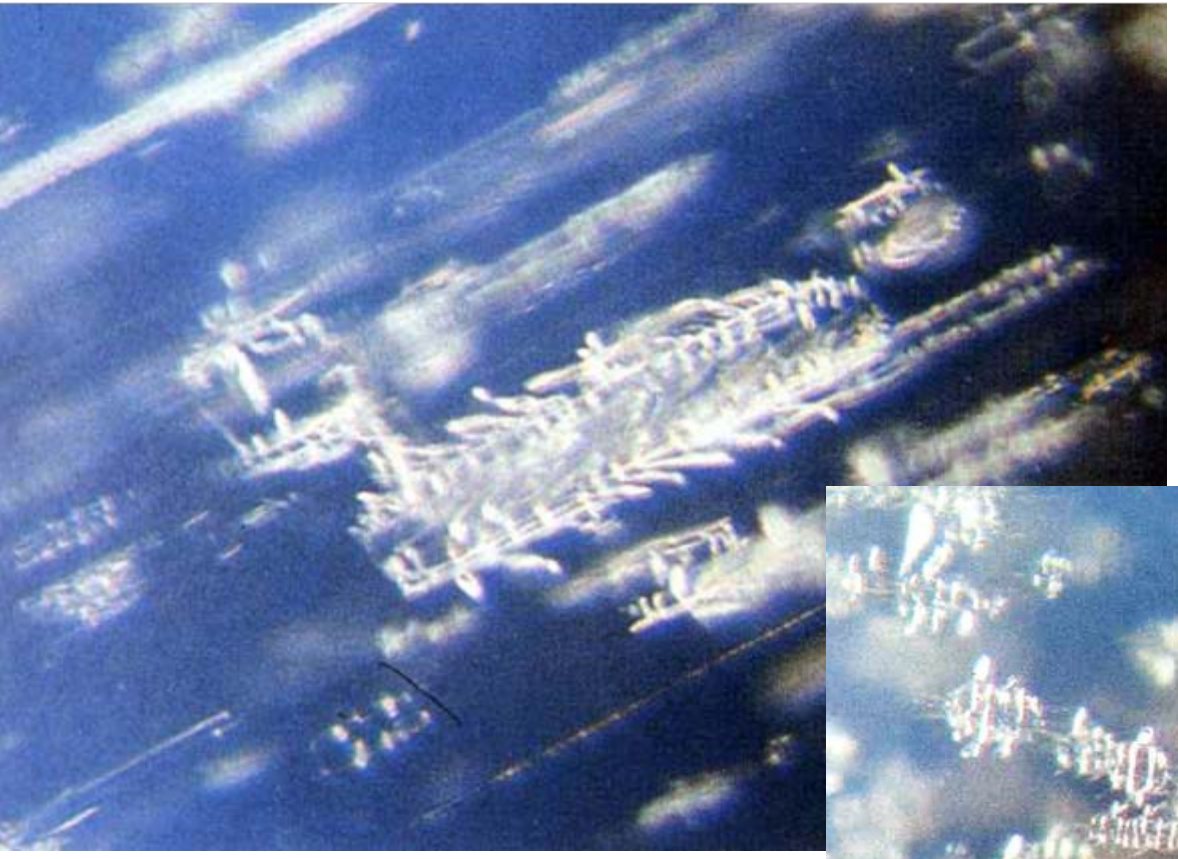


«Играющие» ламелли альбита в калишпате

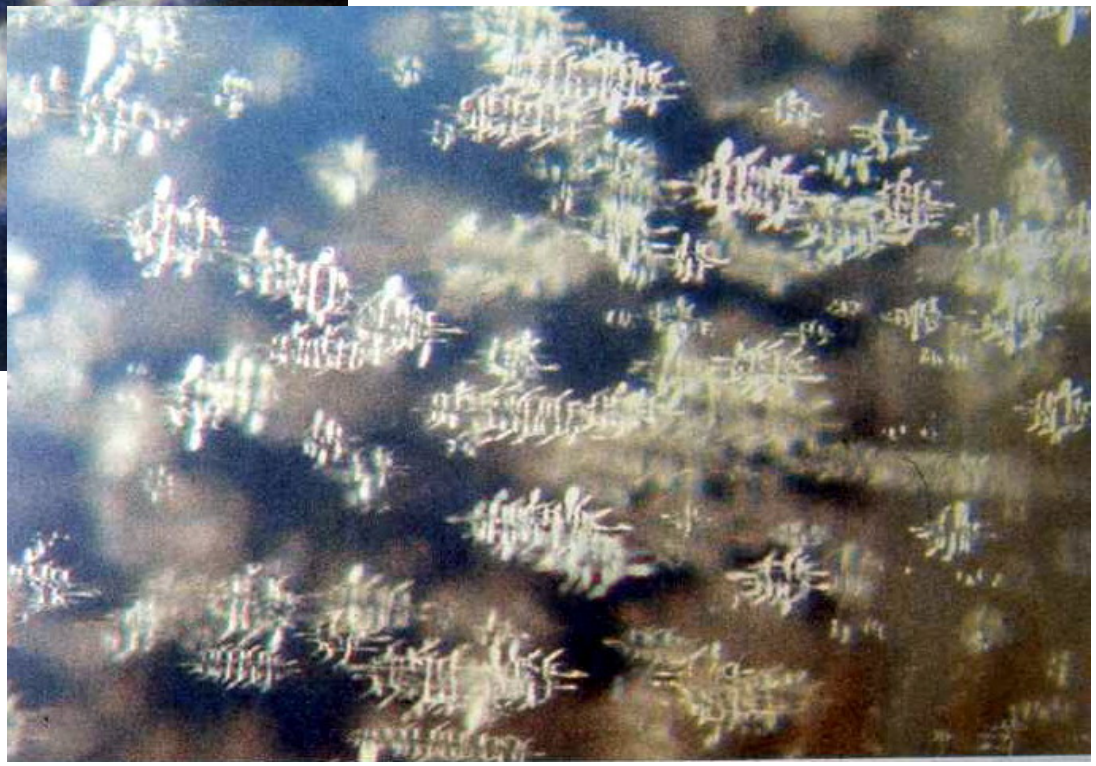


Глубинные гранитные пегматиты.

K-Na полевые шпаты - лунные камни



«Играющие» ламелли альбита в калишпате



Глубинные гранитные пегматиты. Кварц

Розовый кварц характерен для ядерных зон глубинных пегматитов (Бразилия; Панфилова варака, Лисий Бор, Никонова варака, Северная Карелия; Приднепровье; Мадагаскар, США...). У части розового кварца проявлен берлинитовый тип изоморфизма - $Si^{4+} + Si^{4+} \leftarrow Al^{3+}+P^{5+}$; концентрации P составляют 0,0n %; будучи облучены, фосфорные центры вызывают розовую окраску кварца различной интенсивности.

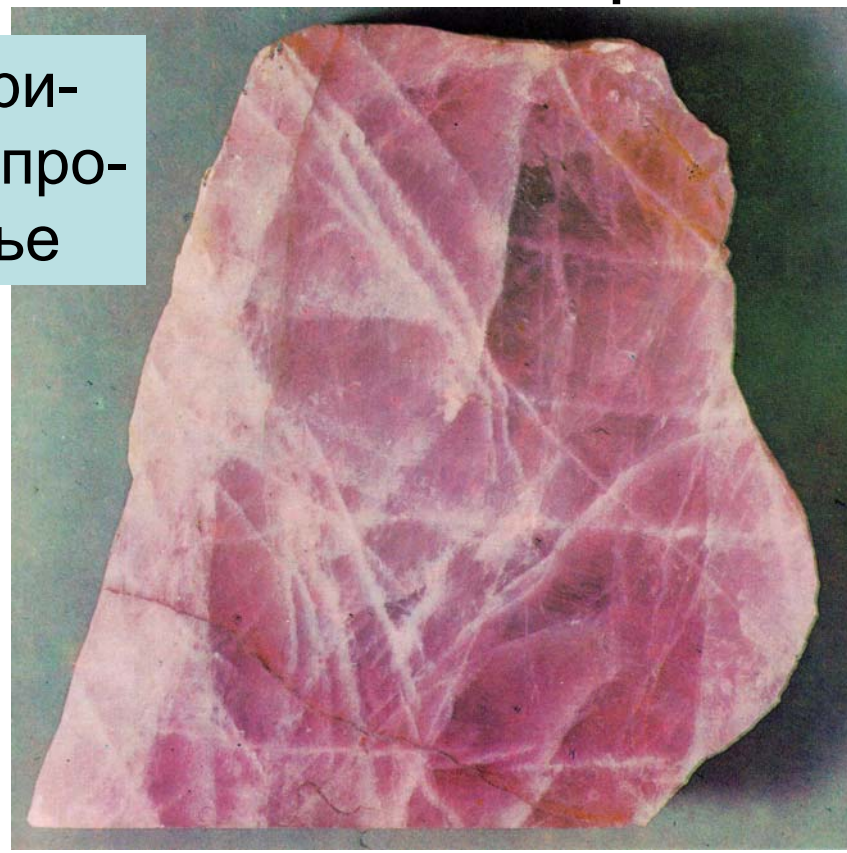
Бразилия

Бразилия

Глубинные гранитные пегматиты. Кварц

Малиновая варака,
Северная Карелия

При-
днепро-
вье



Кастер, Южная Дакота, США

Antsirabe,
Мадагаскар

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Титанит

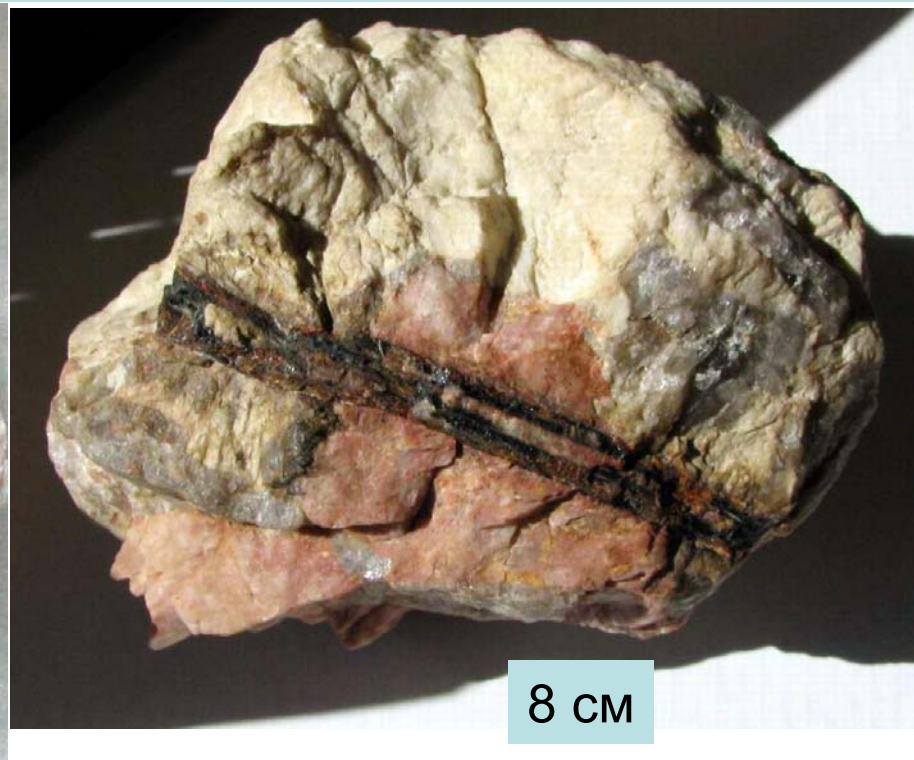
Огромные кристаллы сфена с 10 масс. % Y_2O_3. Карелия

Крупные кристаллы сфена, богатого редкоземельными элементами и иттрием, в микроклине. Карелия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Ортит = алланит

$(Ca,Sr,U,Th)\ (Ce,La)\ (Fe^{2+},Mg,Mn^{2+})\ (Al,Fe^{3+})_2\ [O/OH/SiO_4/Si_2O_7]$



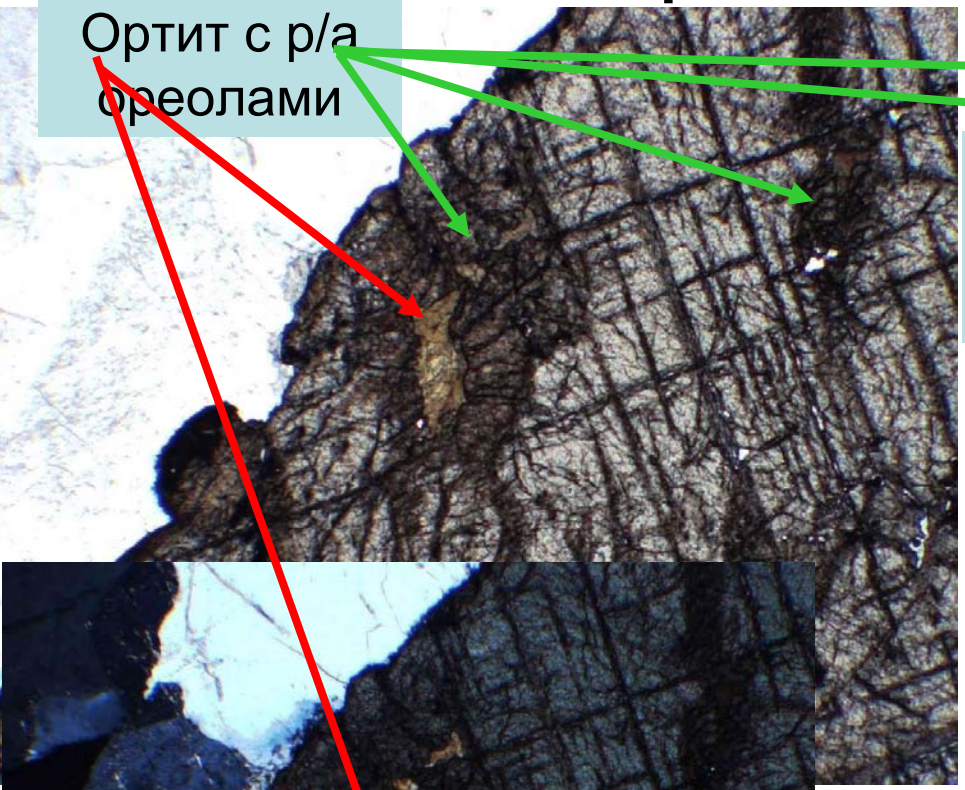
Пластины ортита с р/а ореолами в полевом шпате

Фалун, Швеция

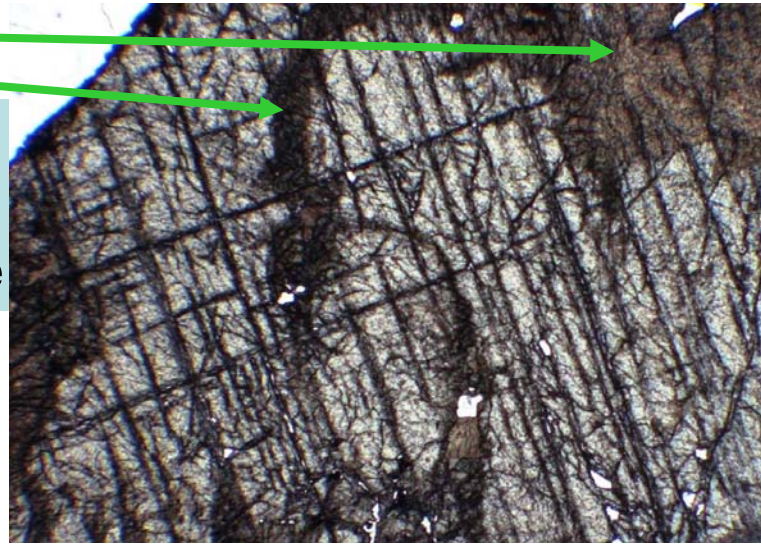
Гора Высокая, Риколатва, Кольский полуостров

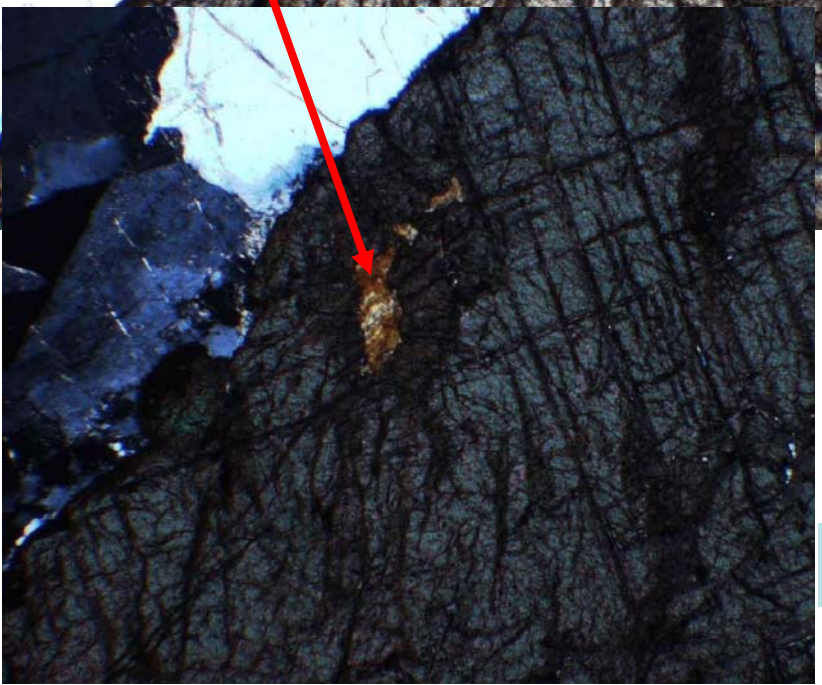
ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Ортит = алланит



При 1 николе





Николи х

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Уранинит $(U,Th,Ce)O_2$

Чёрная Салма, Чупа, Карелия

5 см

Кунар, Пакистан

27 мм

Topsham, Мэн, США

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Торианит $(Th,U,Ce)O_2$

Двойник по шпинелевому закону

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Торит $(Th,U)[SiO_4]$

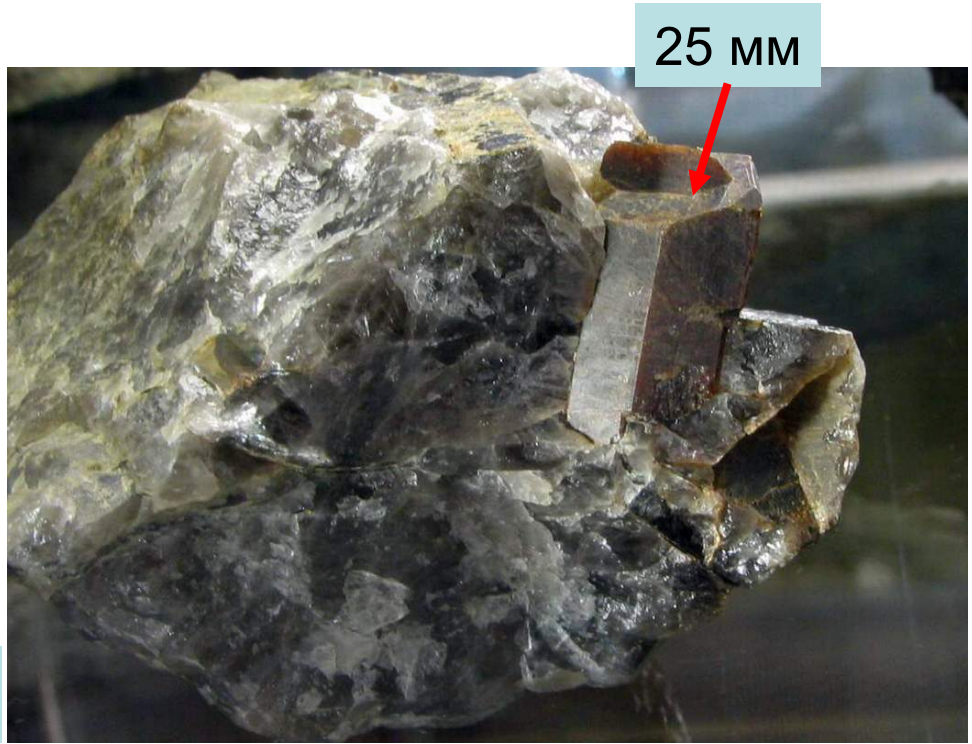
Evje, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Торит (Th,U)[SiO_4]

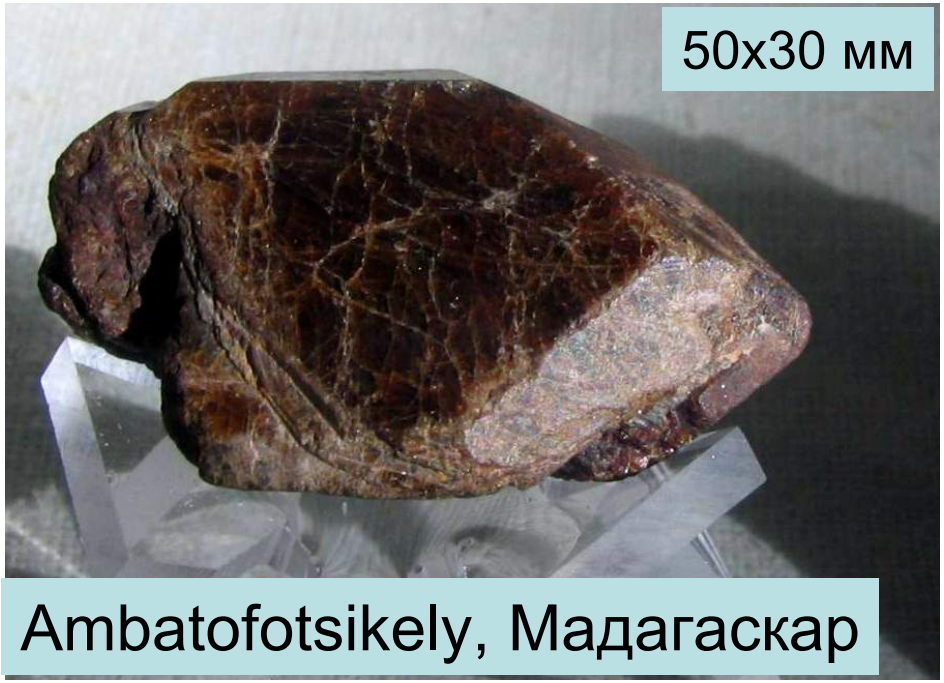
Торит – оранжит. Sor Audnedal, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Монацит (Ce,La,Nd,Ca,Th,U)[PO_4,SiO_4,SO_4]

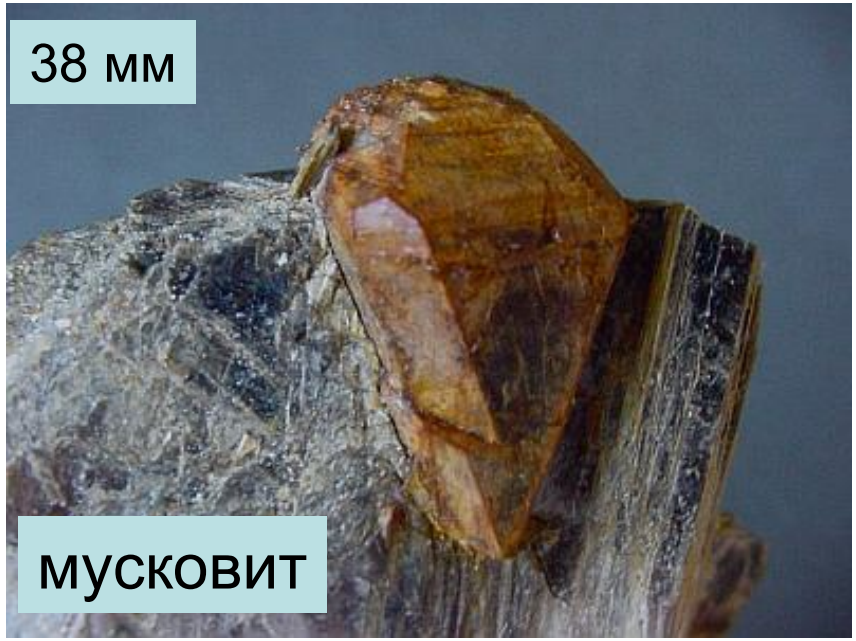
Черная Салма, Чупа, Карелия



ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Монацит (Ce,La,Nd,Ca,Th,U)[PO_4,SiO_4,SO_4]



Ambatofotsikely, Мадагаскар



Kroderen, Норвегия

Монацит на эшините.
Landsverk, Evje, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

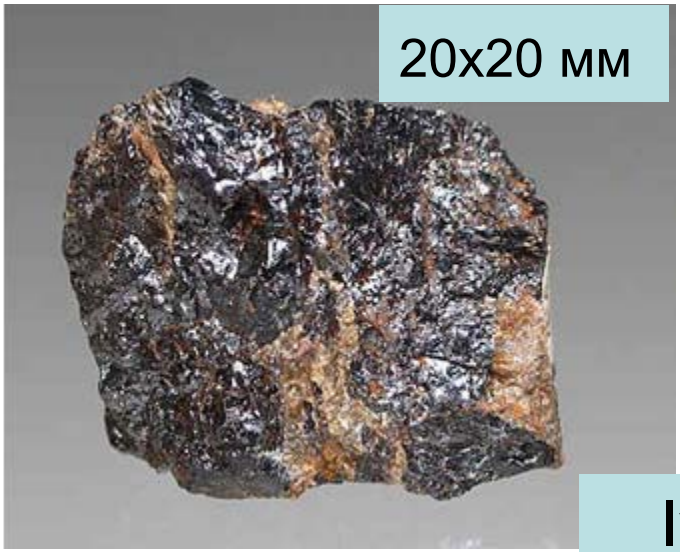
Чевкинит $(Ce,La,Ca,Na,Th)\ (Fe^{2+},Mg)\ (Ti,Fe^{3+})_4\ [O_4/Si_2O_7]_2$

57 мм

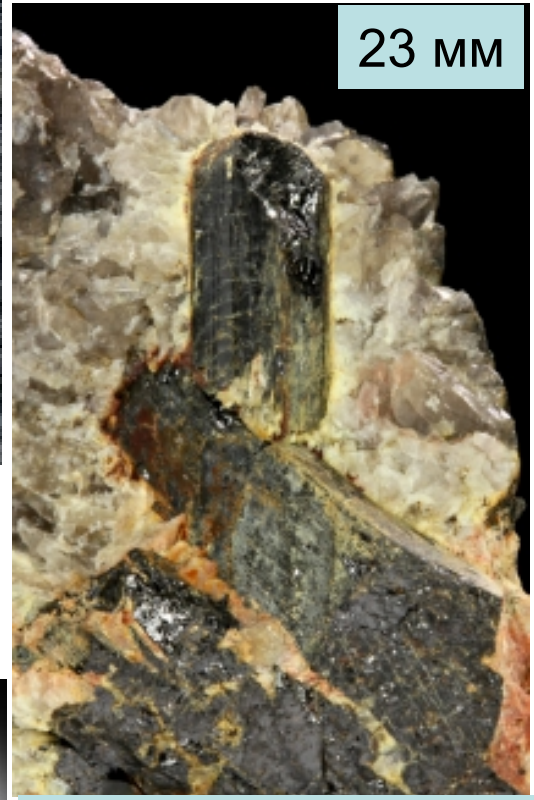
Arondu, Baltistan, Пакистан

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Эшинит (Ce,Ca,Nd,Y,Fe,Th) $(Ti,Nb)_2 O_6$

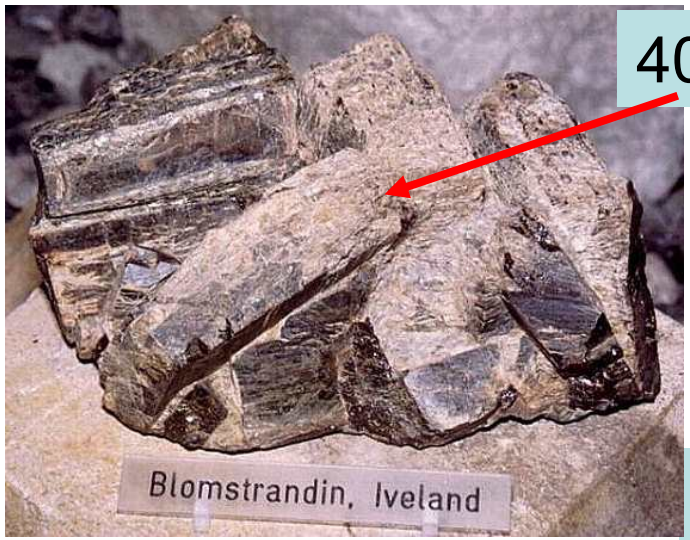


Iveland, Норвегия



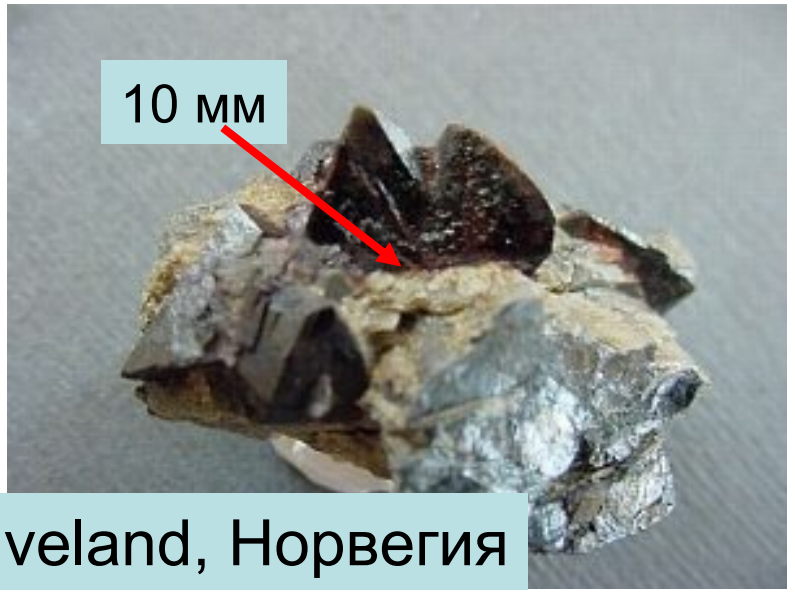
Moland, Норвегия

Эшинит- (Y) (бломстрандин)

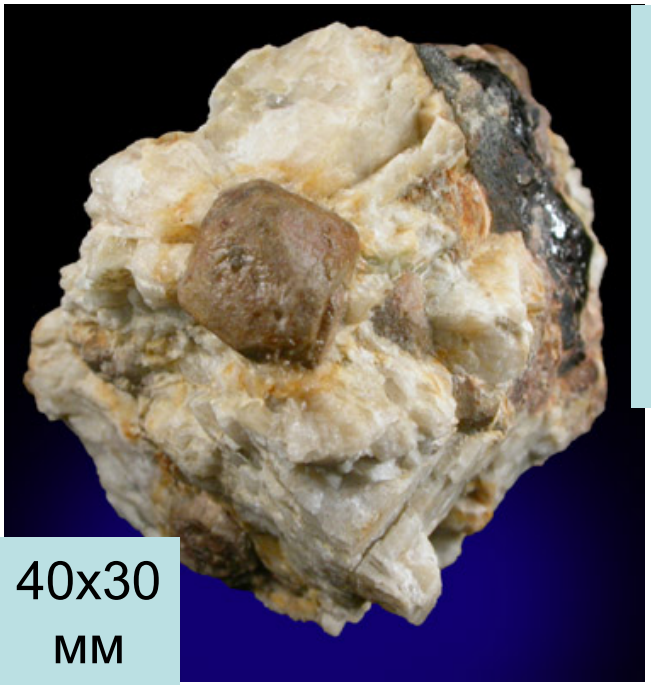


Iveland, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Ксенотим (Y,Ce,Zr,La,Ca,U,Th) [PO_4,SiO_4]



Iveland, Норвегия



40x30 мм

Ксенотим и эвксенит. Tuftane, Iveland, Норвегия

Novo Horizonte, Bahia, Бразилия

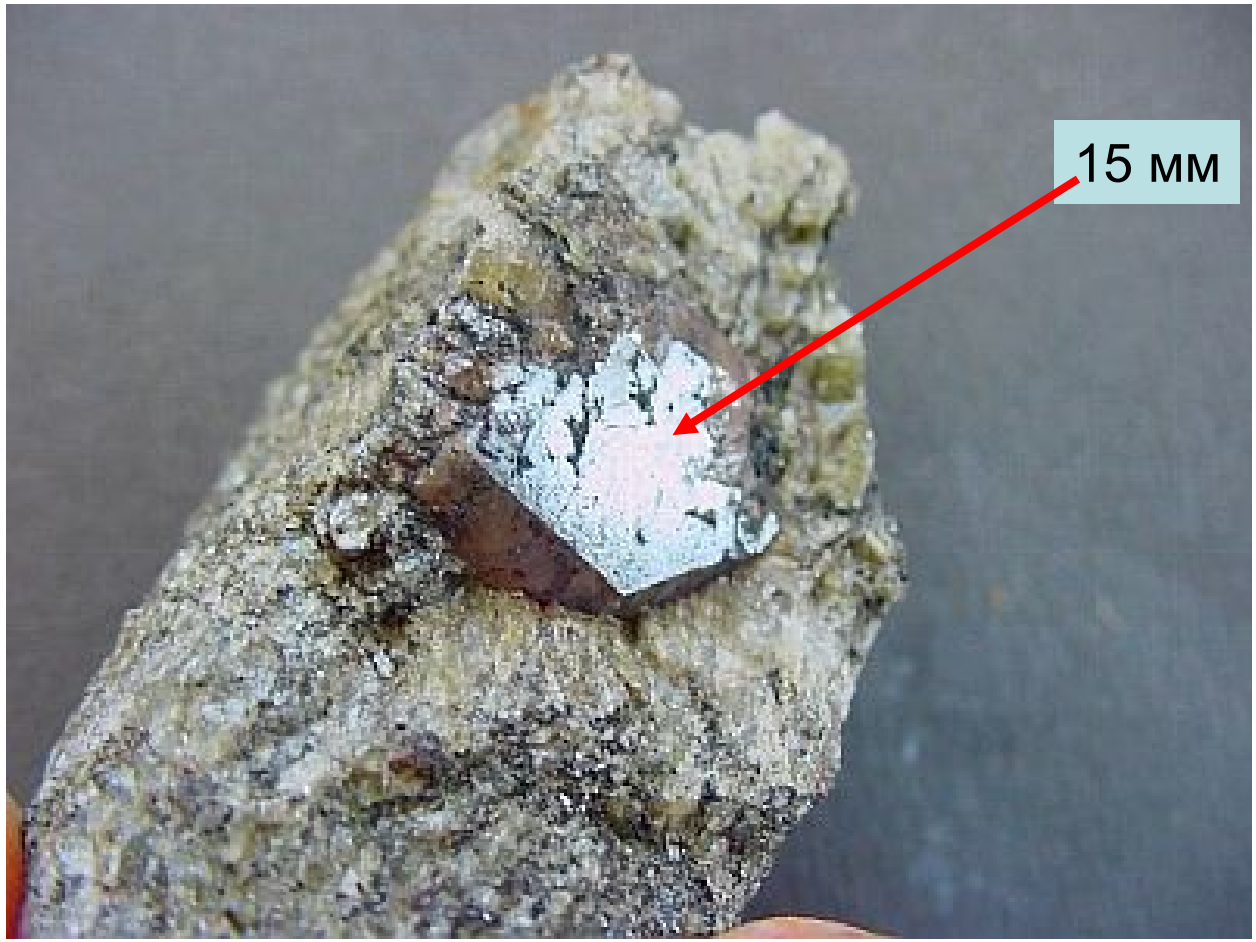
ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Эвксенит $(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ti,Ta)_2(O,OH)_6$

Spangereid, Норвегия

34x24 мм

Perth, Канада

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Таленит Y_3 [(F,OH)/Si_3O_{10}]



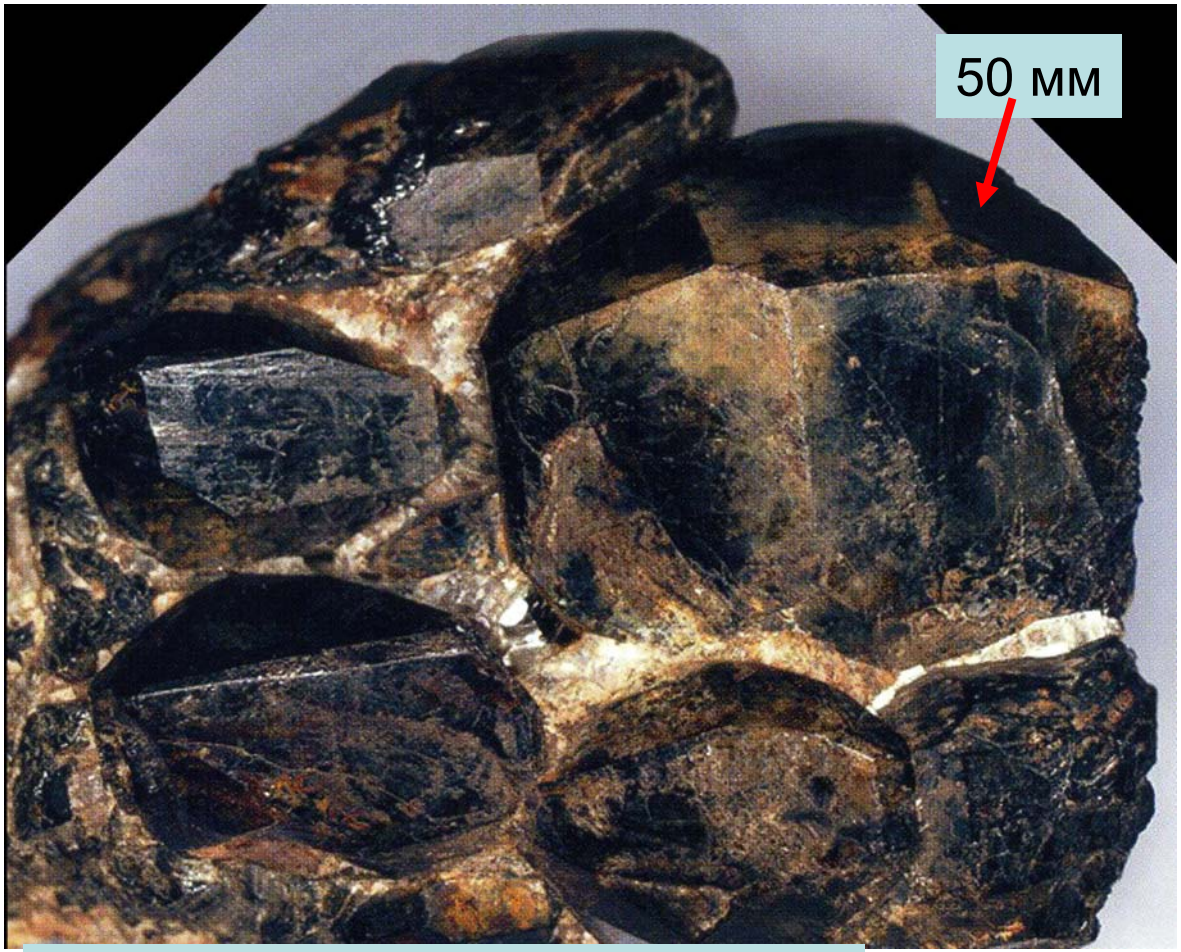
На иттрофлюорите. Tysfjord, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Гадолинит $(Ce,La,Nd,Y)_2\ Be_2\ Fe^{2+}\ [O_2/(SiO_4)_2]$

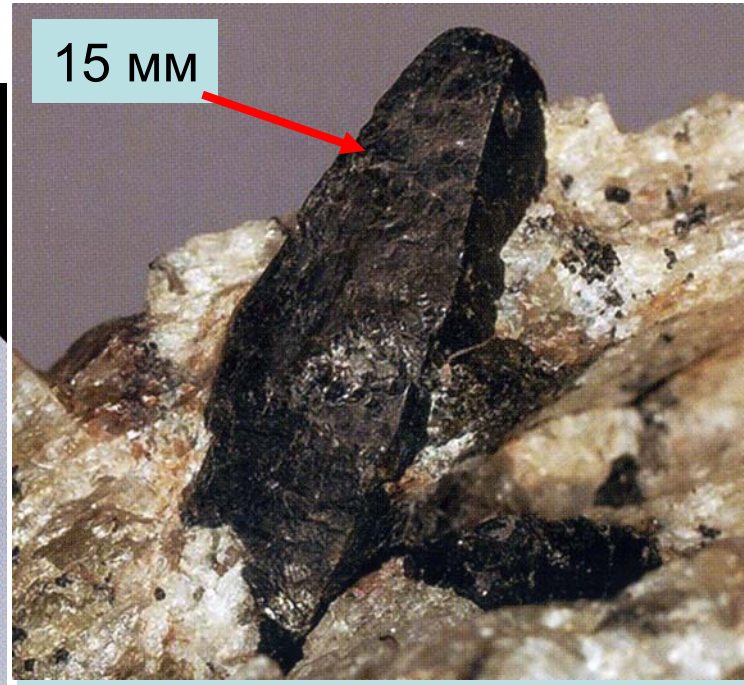
Hitteroe, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Гадолинит - (Y)



Frikstad, Iveland, Норвегия



Tysfjord, Норвегия

Иттерби, Швеция

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Тортвейтит - $(Sc,Y)_2$ $[Si_2O_7]$

Iveland, Норвегия

Бефанаму, Мадагаскар

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Иттротанталлит $(Y,Yb,U,Fe^{2+})(Ta,Nb,Ti)O_4$

Иттерби, Швеция

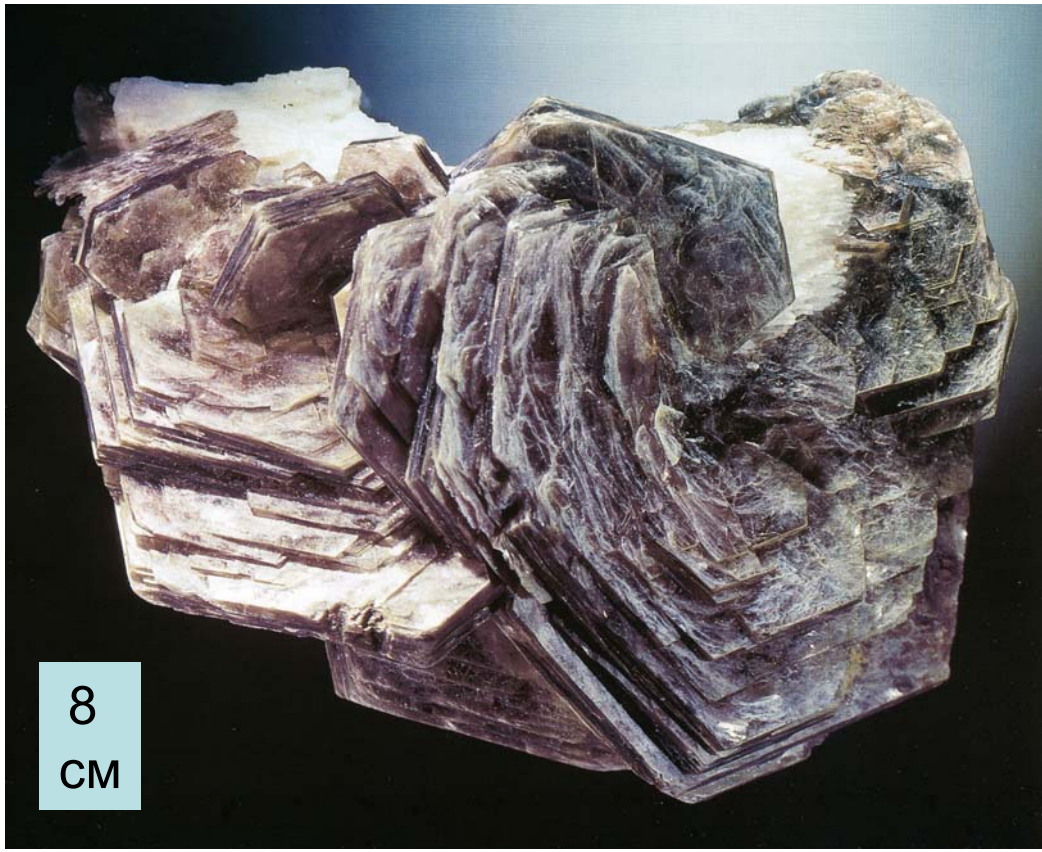
ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Мусковит

Промышленные мусковитовые гранитные пегматиты существенно олигоклазовые и чаще двуполевошпатовые постоянно залегают среди метаморфитов амфиболитовой фации повышенных давлений – кианитовой серии. Строение тел мусковитовых пегматитов – оторочка медкозернистых жильных гранитов и аплитов, графическая зона, зона с апографической структурой, пегматоидная (блоковая) зона, в центре кварцевой ядро, около которого часто развиты участки существенно альбитового состава. K-Na полевые шпаты – макропертиты. Мусковитовые пегматиты бедны фтором, литием, рубидием, цезием. Крупнолистоватый мусковит входит в состав кварц-мусковитового комплекса, - продукта высокотемпературного гидролиза полевых шпатов (легче замещается олигоклаз). Размер кристаллов мусковита определяется прежде всего размером замещаемого кристалла полевого шпата и достигает 1-3, изредка 5-6 и даже 8-10 м в поперечнике. Обычный размер кристаллов мусковита не превышает 20-30 см. Известные месторождения в Карелии, Мамские (СВ Забайкалье), в Индии…

В кварц-мусковитовом комплексе обычен апатит, турмалин – шерл, Mn альмандин до спессартина, монацит…Шерл и гранаты образуют как огранённые кристаллы, так и субграфические срастания с кварцем, реже с мусковитом. В этой ассоциации нередок низко щелочной берилл в довольно крупных кристаллах светлой окраски.

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Мусковит

Часть большого кристалла. Evje, Норвегия



Jose Pinto Mine. Минас Жераис, Бразилия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Фторапатит

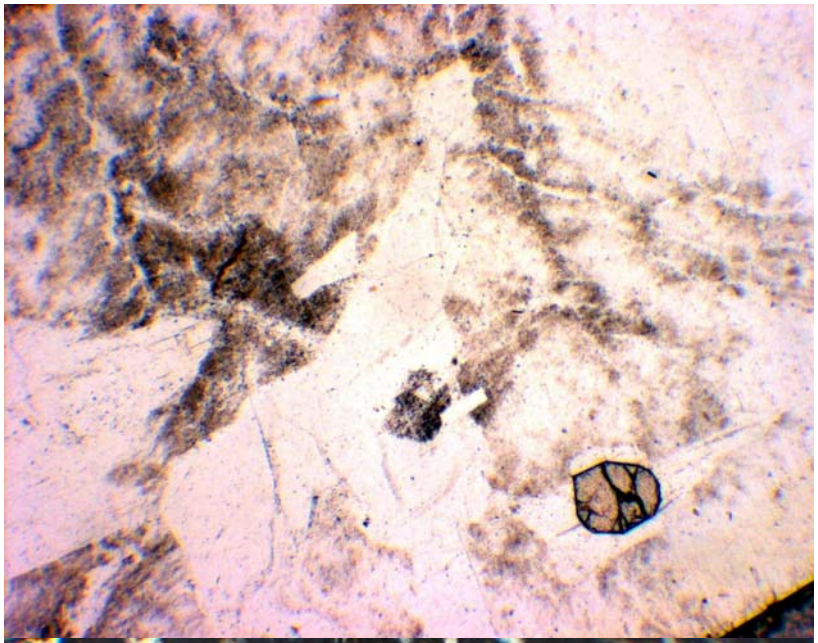
Панфилова Варака, Чернореченская губа, Северная Карелия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Альмандин $(Fe^{2+},Mn,Mg)_3\ (Al,Fe^{3+})_2\ [SiO_4]_3$

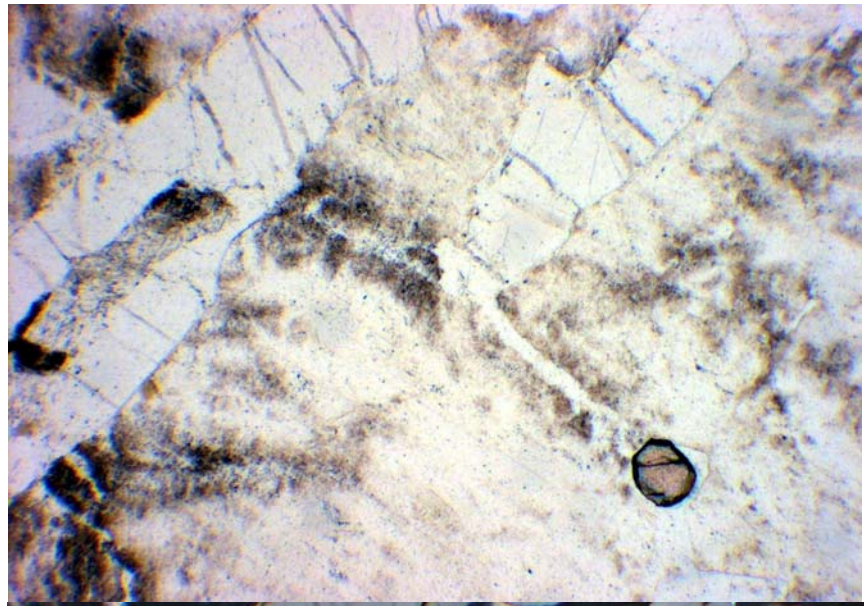
Мама, СВ Прибайкалье

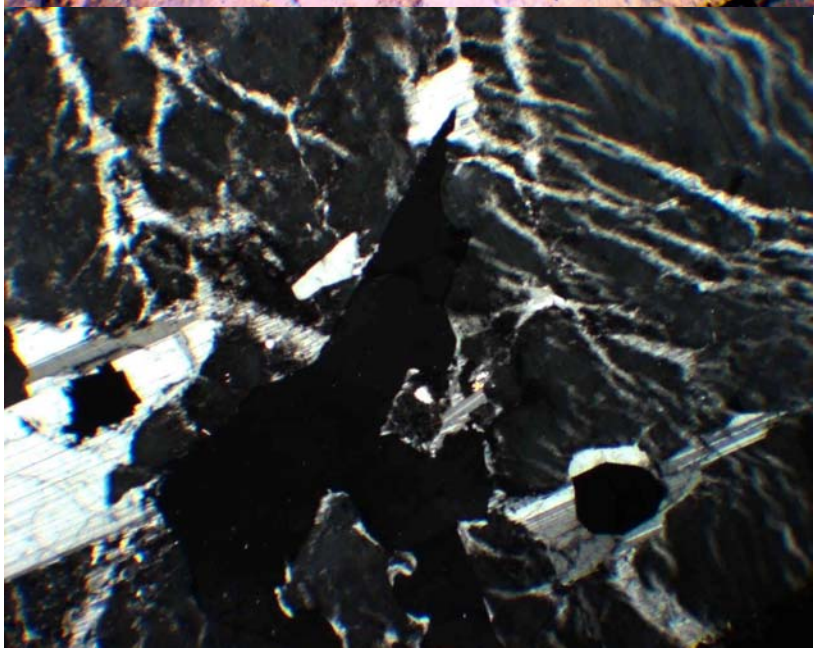
Плоские кристаллы в мусковите. Мама

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Альмандин с альбитом и мусковитом

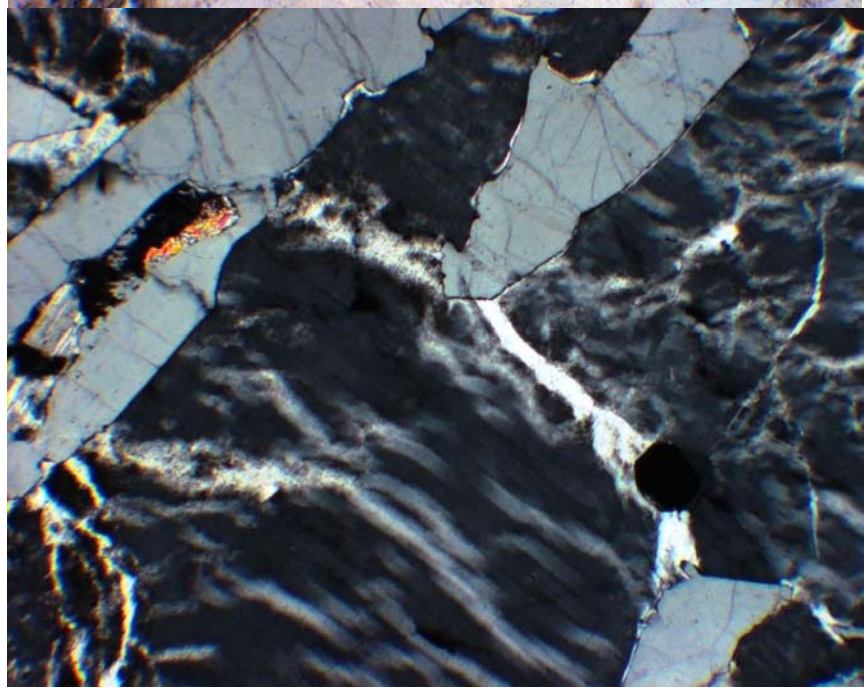


При 1 николе





Николи х



ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Спессартин $(Mn,Fe^{2+})_3 (Al,Fe^{3+})_2 [SiO_4]_3$

Медведка, Северная Карелия

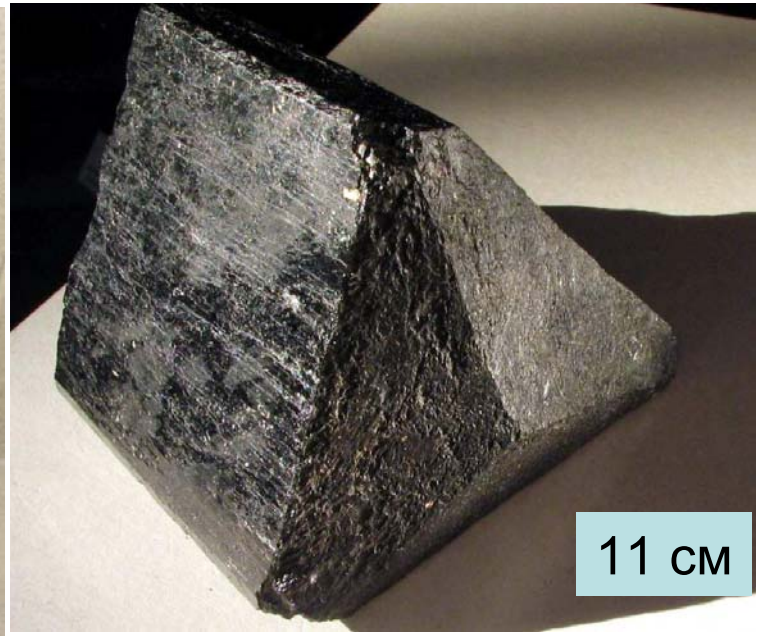
ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Турмалин-шерл

$$Na(Fe^{2+},Mg)_3(Al, Fe^{3+},Ti)_6[Si_6O_{18}](BO_3)_3(OH,F)_4$$

Чуя, Мама, СВ Прибайкалье

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Турмалин-шерл

$$Na(Fe^{2+},Mg)_3(Al, Fe^{3+},Ti)_6[Si_6O_{18}](BO_3)_3(OH,F)_4$$



Бразилия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Турмалин-шерл

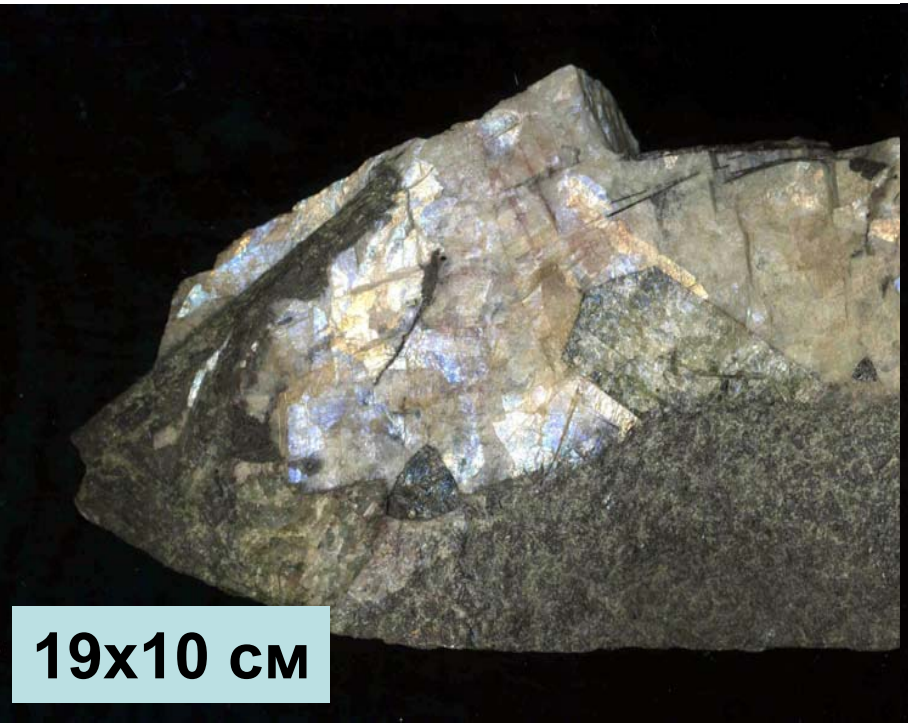
Шар-озеро,
Северная Карелия

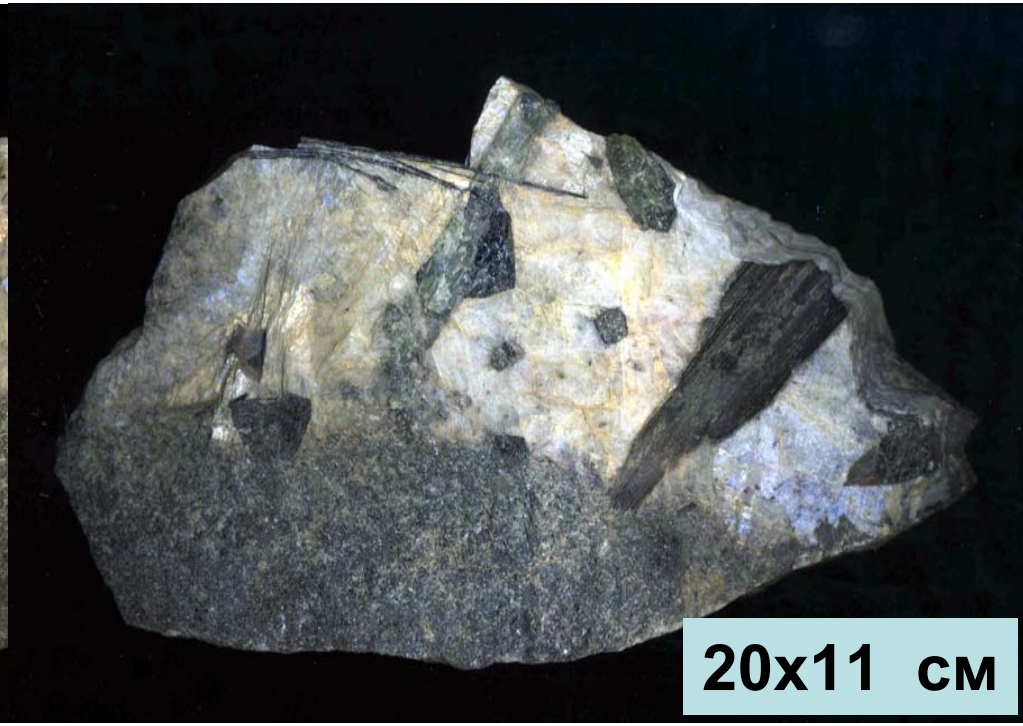
Псевдографическое срастание
шерл + кварц.
Чупа, Северная Карелия

Поскольку основной объём глубинных гранитных пегматитов слагают полевые шпаты и кварц, постольку в ходе кристаллизации гранит-пегматитового расплава увеличивалось флюидное давление, которое в ряде случаев возрастало до величин, превышающих литостатическое давление и прочность вмещающих пород. Обычно переход к пневмато-гидротермальному этапу фиксирован α-β инверсией кварца (Ферсман, 1940) с большим объёмным эффектом. При этом пегматитовый «автоклав» приоткрывался и флюиды мигрировали в около пегматитовое пространство. Для глубинных пегматитов это характерно на стадии развития метасоматического «кварц-мусковитового комплекса».

При этом, а) около мусковитовых пегматитов возникали ореолы привноса Ва; б) остаточные «отходящие воды», сопутствовавшие «рождению» пегматитов, которые были насыщены хлоридами натрия, кальция и железа, углекислотой и борной кислотой, покинули пегматитовые залежи. Неподалёку от пегматовых залежей из этих вод образовались жилы гематит-шерл-скаполит-кальцитового состава. Такие жилы, например, широко развиты в районе керамических и слюдяных гранитных пегматитов Чупы, Северная Карелия.

Глубинные - керамические и мусковитовые гранитные пегматиты. Чупа, северная Карелия





Продукты кристаллизации из «отходящих вод» при «рождении» глубинных гранитных пегматитов – расположенные рядом обильные жилы гематит – шерл – скаполит (дипир – миццонит) – кальцитового состава