

**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

**057. МИНЕРАЛОГЕНЕЗ
ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ.**

А. Обзор.

Б. 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, бериллия 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 $P \text{ H}_2\text{O} \geq 1$ 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 анхиэвтектических 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, танталита гранитных пегматитов 2518 ± 9 млн. лет; для Выборгского плутона гранитов-рапакиви возраст 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 глубоких 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

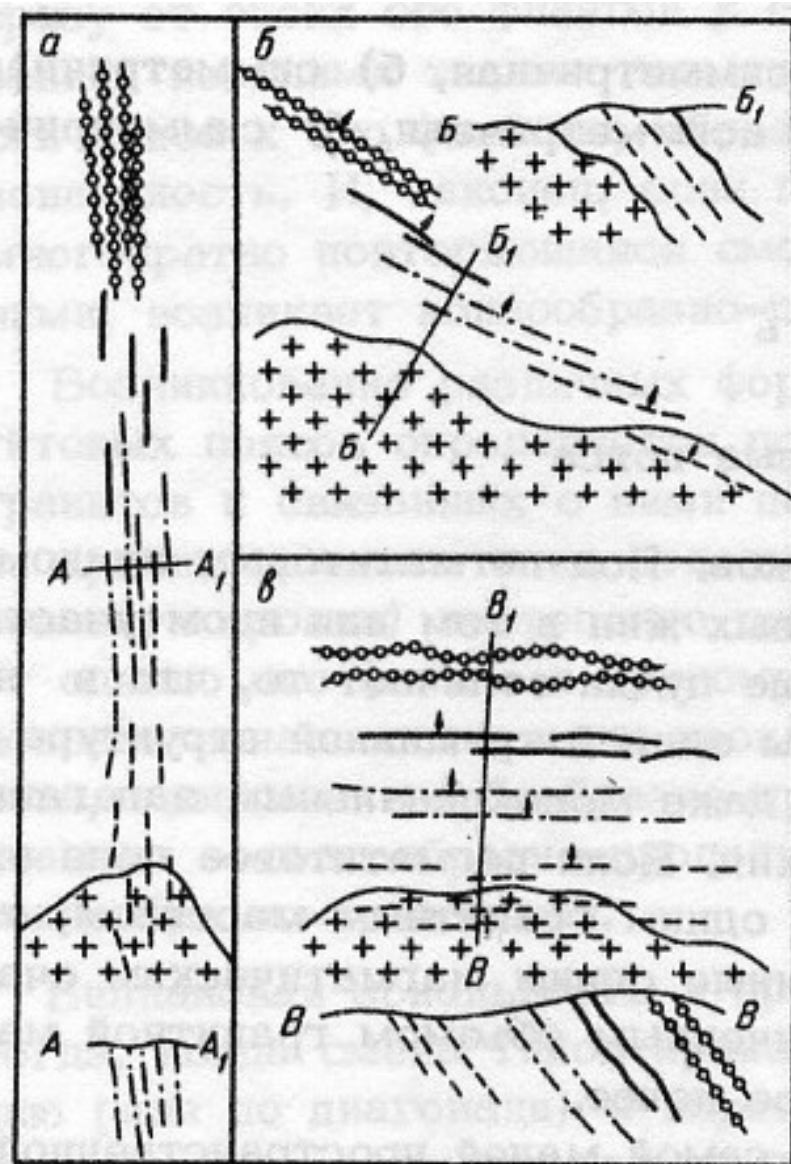
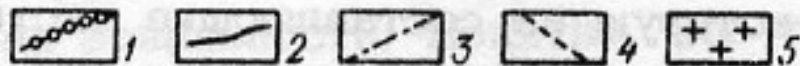


Рис. 17. Схема продольной (а), диагональной (б) и поперечной (в) зональности пегматитовых пучков.

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

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

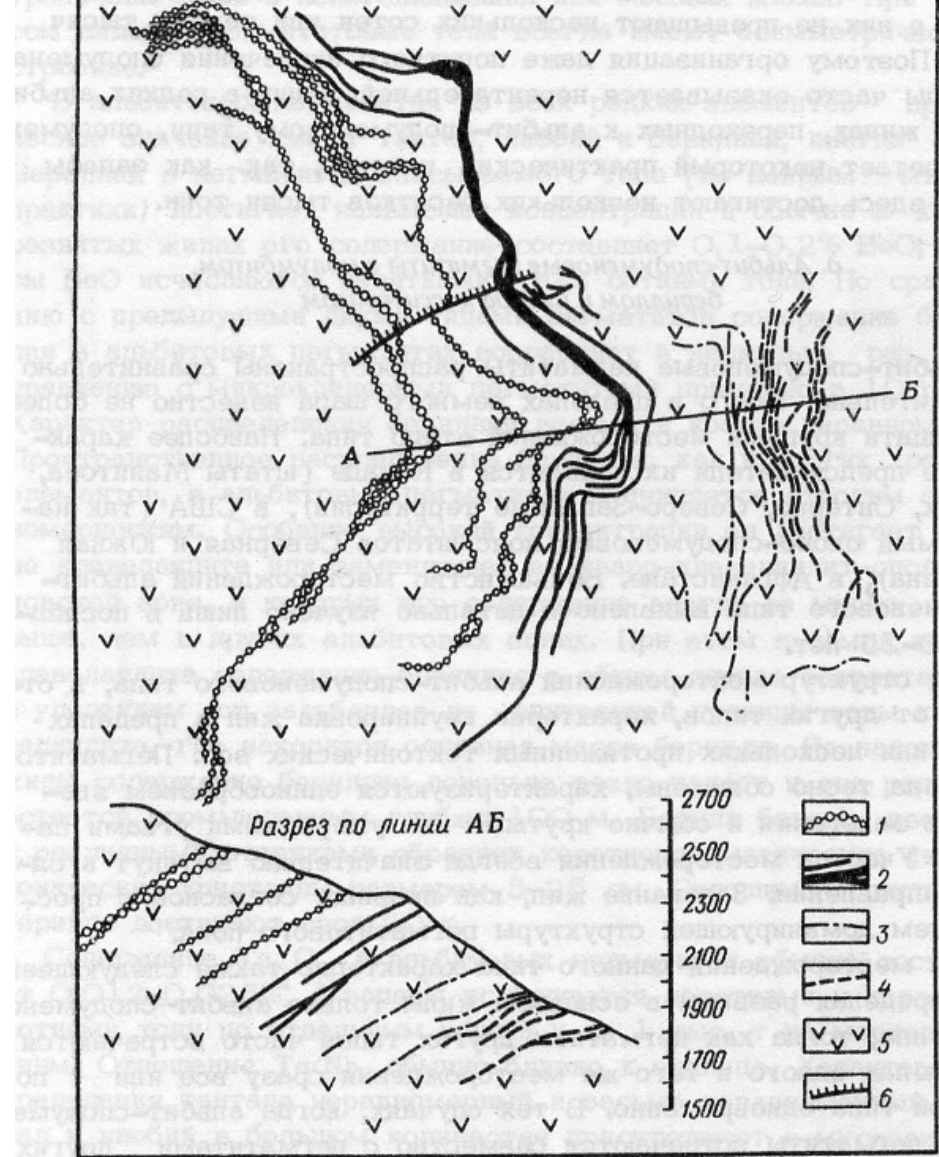


Рис. 14. Схема зональности пегматитового пучка (месторождение Дарае-Пич, Афганистан). По В. М. Народному, Н. А. Солодову и А. В. Трифонову [1964 г.].

Пегматиты: 1 – альбит-сподуменовые с большим количеством микроклина и убогой примесью касситерита, берилла, колумбита, 2 – существенно альбитовые с редким сподуменом, мелкокрапленным 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

Гранитные пегматиты – зональность относительно плутонов материнских гранитов

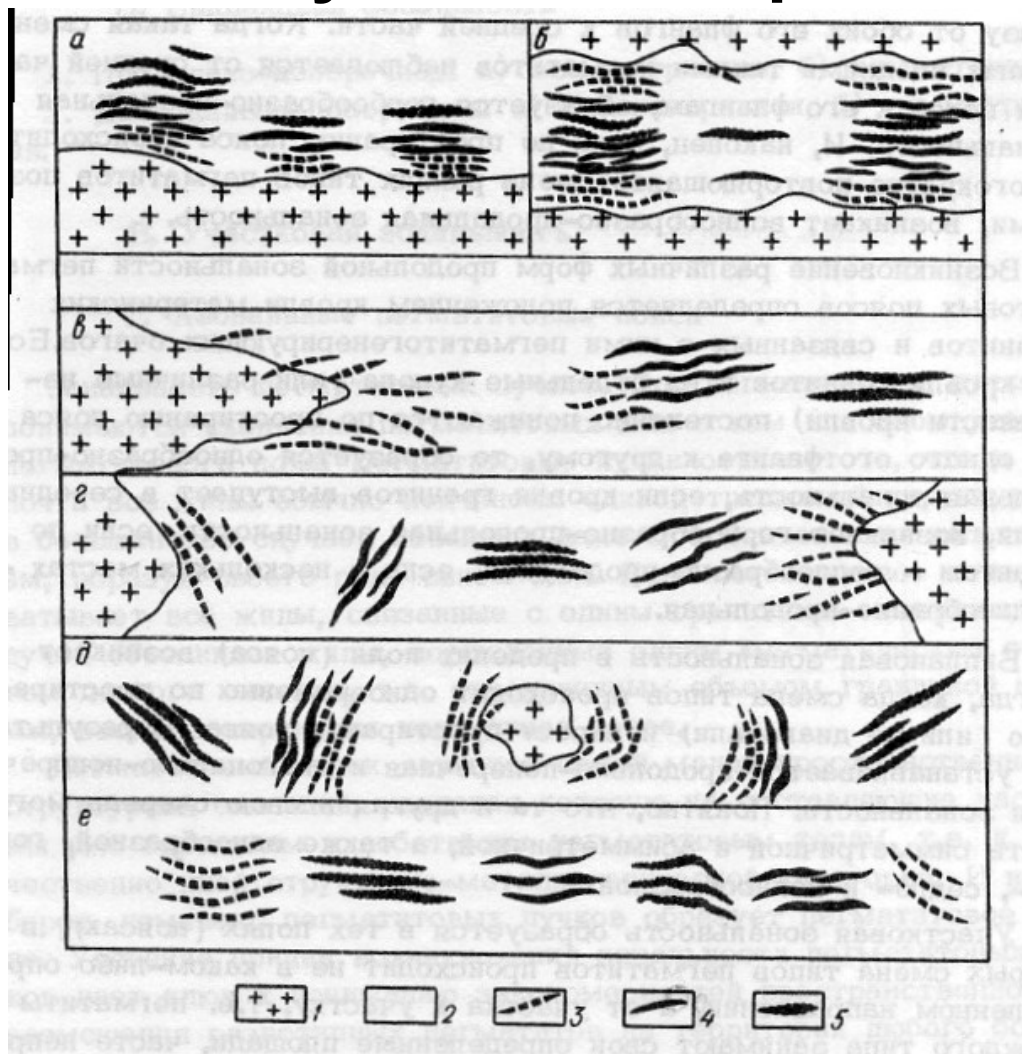


Рис. 16. Типы зональности пегматитовых поясов и полей:

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 зависящие 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 P $H_2O = 5-8-10$ кбар, - большая часть керамических и слюдяных – мусковитовых пегматитов. Форма пегматитовых тел часто линзообразная и жильная. Вероятно, палингенное происхождение, не зависящее от гранитных интрузивов, имеет значительная часть слабо дифференцированных сподуменовых гранитных пегматитов, их форма плитообразная.

О происхождении гранитных пегматитов

На эту тему долгое время шли дискуссии. 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



Фото Э.М. Спиридонова

Гранитные пегматиты (палингенные) в метаморфитах. Родопы, Болгария



Секущий интрузивный контакт
гранитных пегматитов и
кристаллических сланцев



Секущий интрузивный контакт
с апофизами гранитных пегматитов
и амфиболитов

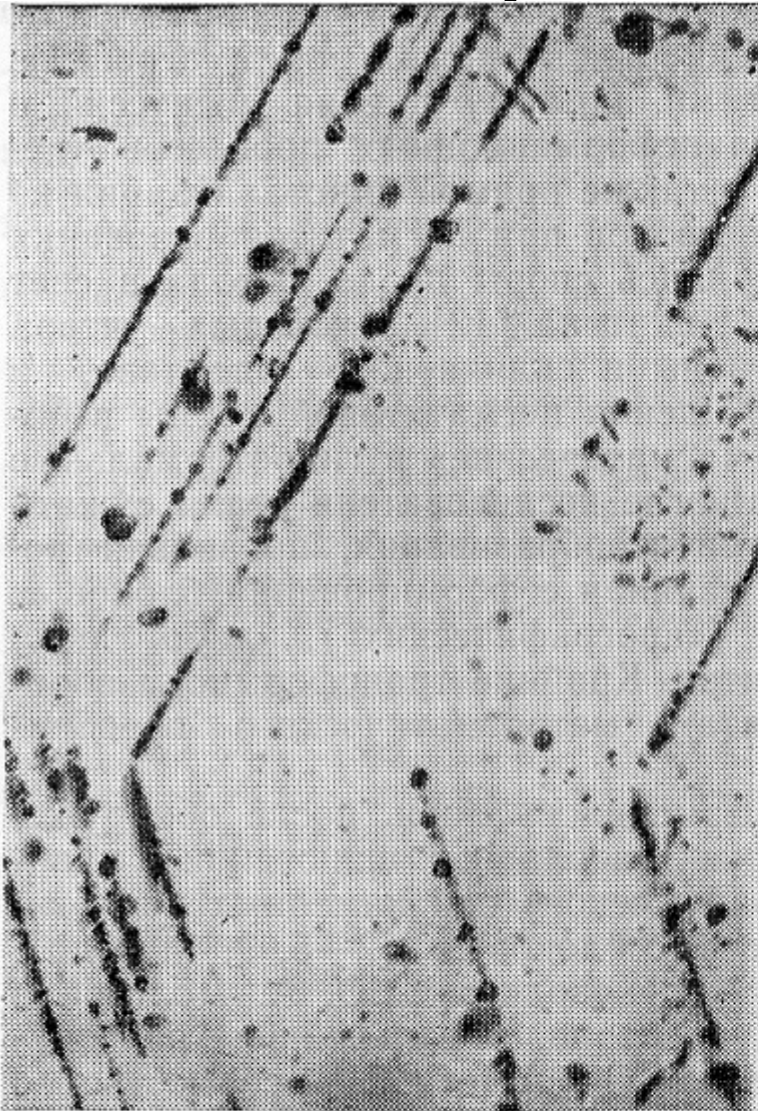
Фото Э.М. Спиридонова

Гранитные пегматиты в экзоконтактовых роговиках Крыккудукский интрузив, Северный Казахстан



Секущий интрузивный контакт гранитных пегматитов.
Коллекция и фото Э.М. Спиридонова

Гранитные пегматиты



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

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.

Гранитоиды. Накопление воды в расплаве

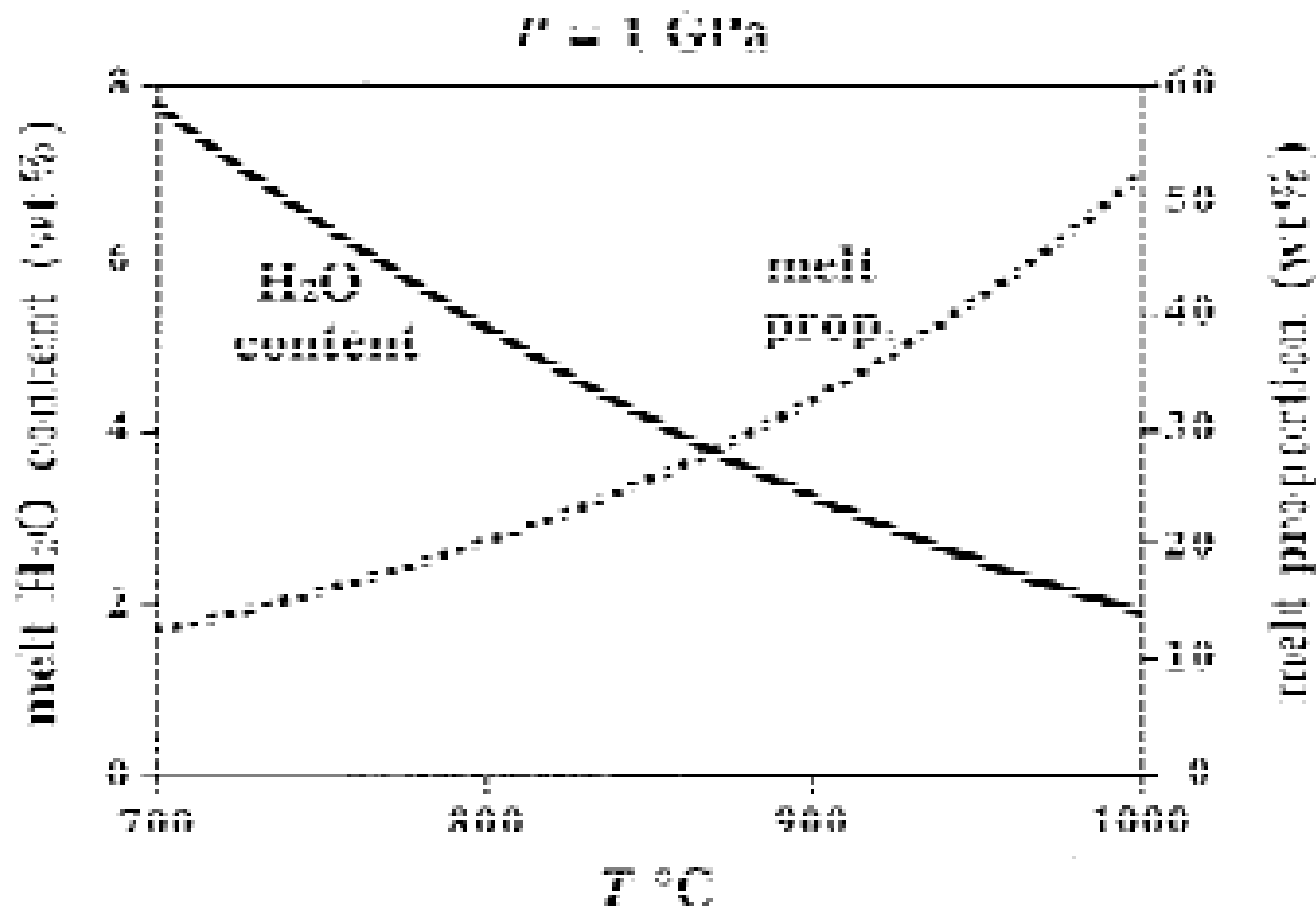
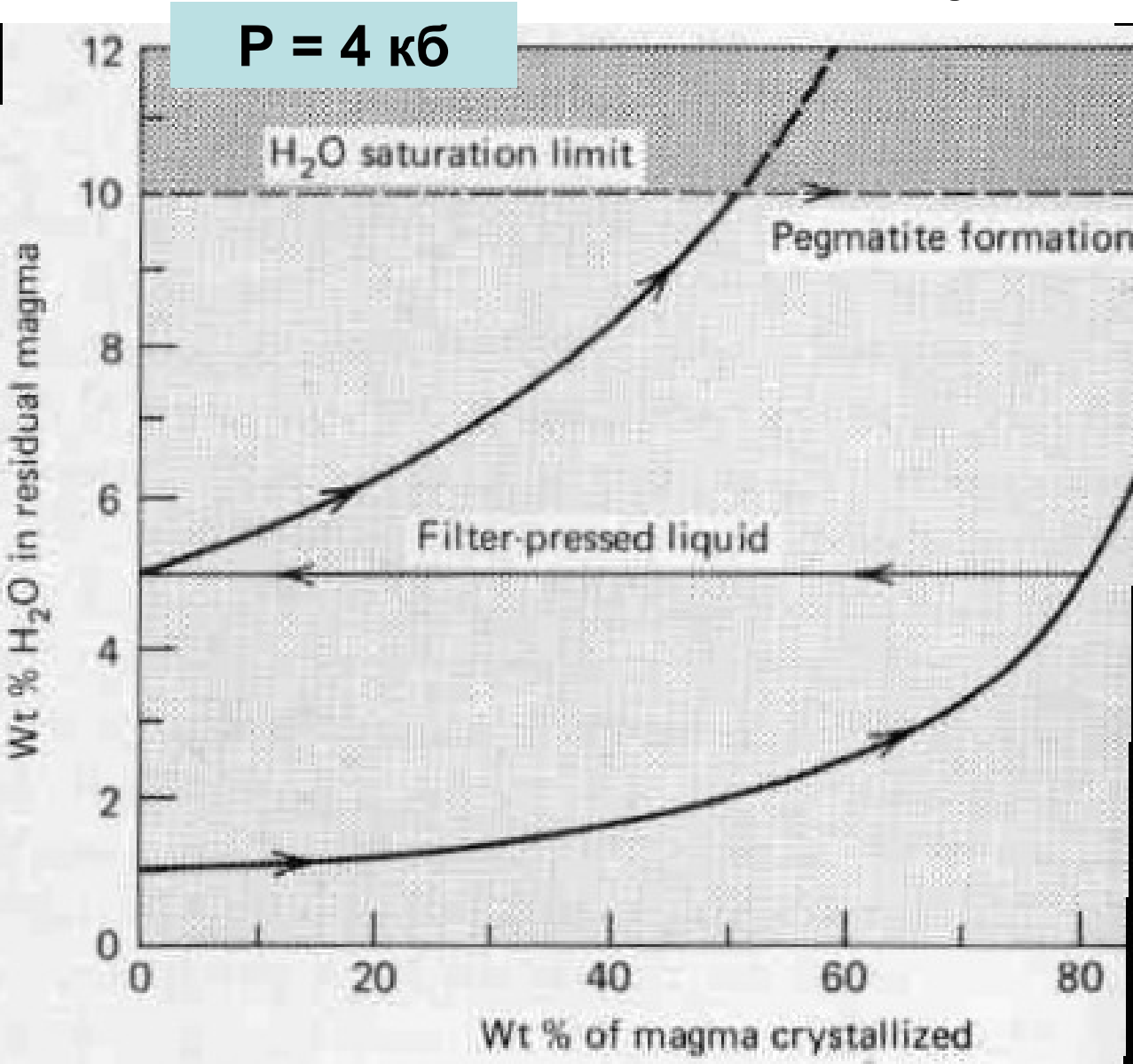


Fig. 1. Graph showing potential melt proportion and melt H_2O content as a function of T , for fluid-absent partial fusion of a metagreywacke (25 wt% biotite \approx 1 wt% H_2O in the source rock) at 1 GPa. The model of Clemens & Vielzeuf (1987) was used to construct this plot.

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 900-830⁰ С (у наиболее глубоких пегматитов) до 640-580⁰ и даже 500⁰ С (у наименее глубоких пегматитов с массой фтора и лития, которые резко снижают Т гранитных эвтектик – минимумов). Температура образования обычных гранитных пегматитов 690-540⁰.

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 50-150⁰.
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 (до 25 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 !

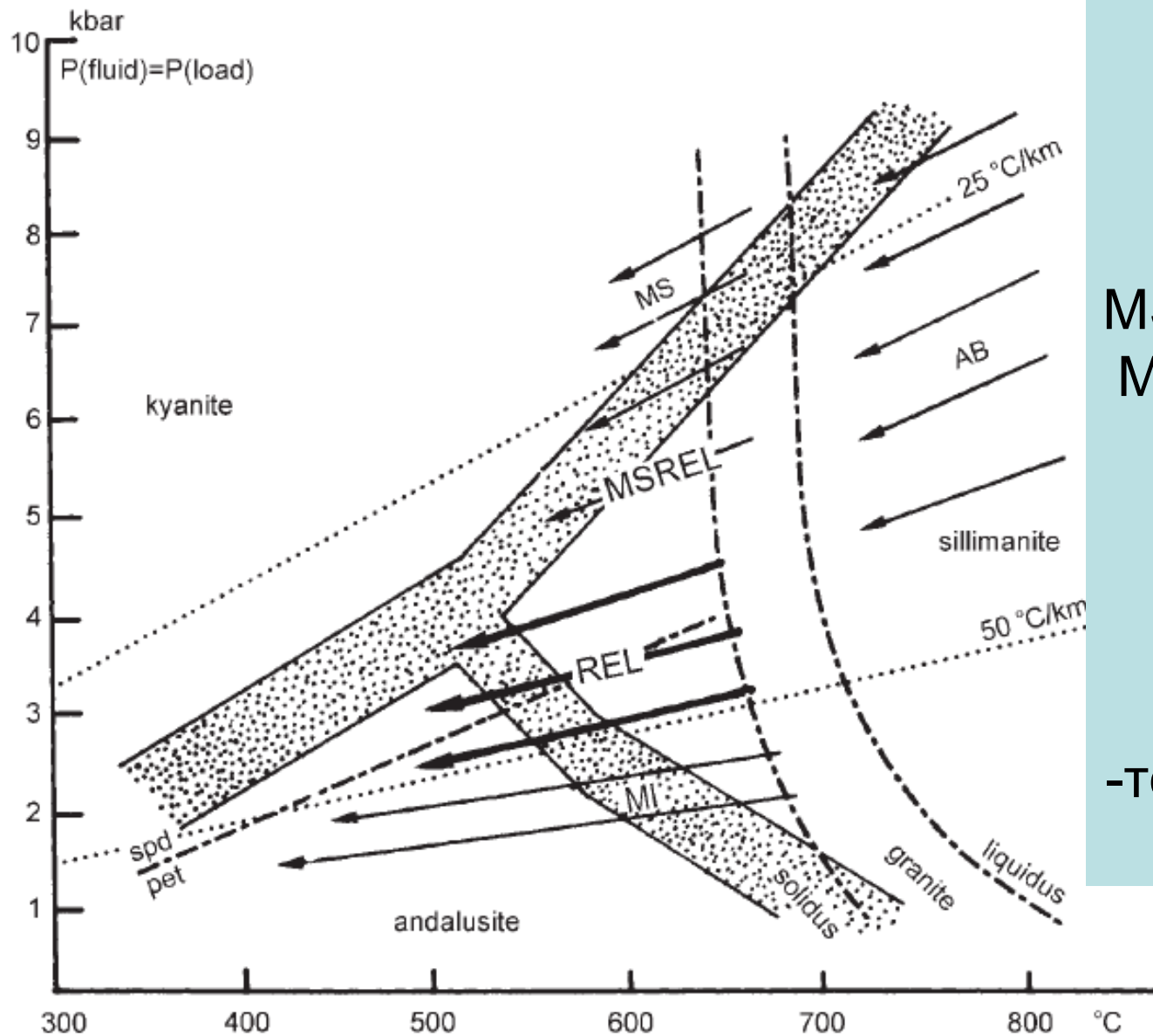


FIG. 1. Schematic P-T fields of regional host-rocks that harbor granitic pegmatites of the abyssal (AB), muscovite (MS), muscovite – rare-element (MSREL), rare-element (REL) and miarolitic (MI) classes. Arrows indicate regional trends of fractionation in the pegmatites relative to metamorphic grades of the host rocks. The MS and MSREL populations, as well as those of the REL and MI pegmatites, tend to be in some cases transitional one to the other. See text for comments on the diversified environment of the AB-class pegmatites. Aluminosilicate fields from Robie & Hemingway (1984), spodumene-petalite boundary from London (1984), granite liquidus – solidus from Jahns (1982). The 25°C/km and 50°C/km gradients correspond to average Barrovian and Abukuma metamorphic facies-series, respectively.

Параметры формирования гранитных пегматитов:
 MS – мусковитовых;
 MSREL – мусковит-редко-земельных;
 REL – редко-металльных;
 ML – миаролитовых – кристаллоносных

Černý P. & Ercit T.S., 2005. *Canad. Mineral.* Vol. 43. P. 2005-2026

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 давлений 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 - К-На 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, $T \sim 700 - 800^{\circ} C$, $P \sim 4 - 9$ кб.
2. глубинные мусковитовые пегматиты, большей частью конформные и деформированные тела среди метаморфитов амфиболитовой фации кианит - силлиманитовой серии, анатектические или дифференциаты гранитоидов, $T \sim 580 - 650^{\circ} C$, $P \sim 5-8$ кб.
3. умеренных глубин редкометальные пегматиты, квазиконформные до секущих тела среди метаморфитов амфиболитовой фации до высокоградной части фации зелёных сланцев андалузит - силлиманитового типа; $T \sim 500 - 650^{\circ} C$, $P \sim 2-4$ 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 умеренно-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 скрещенния, иначе гибридные ? На каком этапе развития гранитных пегматитов формируются чуждые для них геохимические и минеральные особенности ?

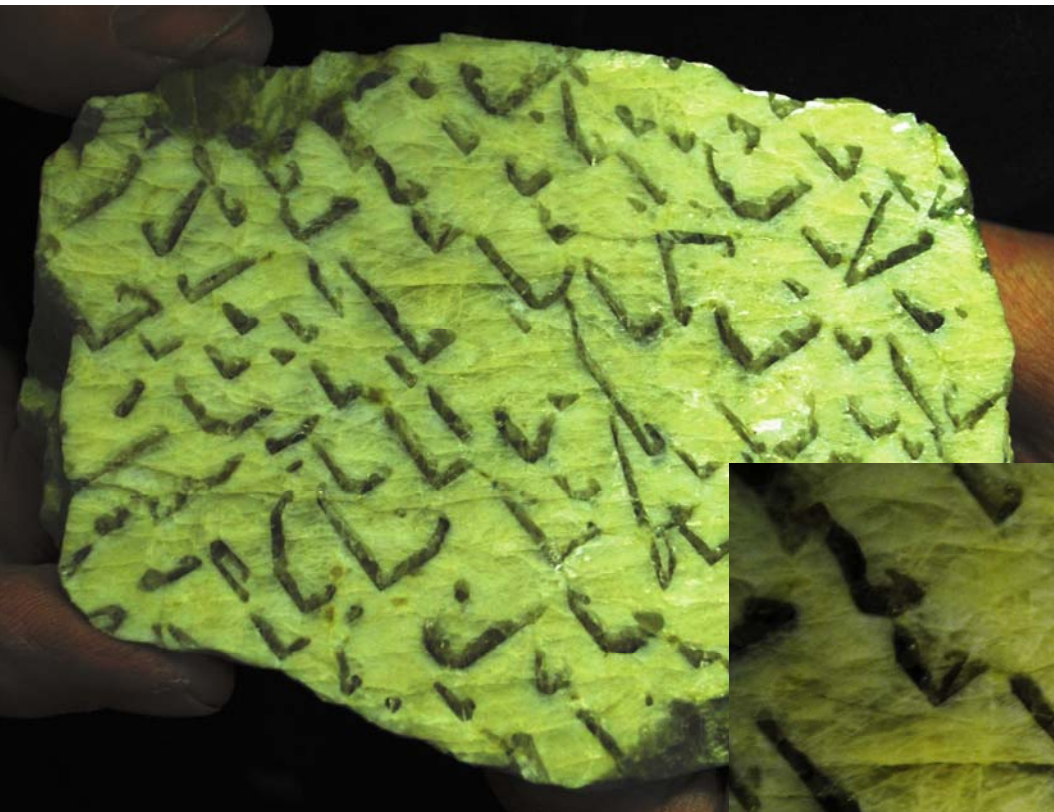
2. ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

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° 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 и 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



Архей.
Кольский
полуостров



Бедные кварцем графические срастания с олигоклазом

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Кварц содержит магматические (раскристаллизованные расплавные) включения с параметрами образования $T = 700-650^{\circ}C$ и $P = 9.7 - 5.7$ кбар. Кварц содержит до 0.2 масс. % Al.



Ёна, Кольский полуостров



Средний Урал



71x60 мм.
Силезия.
Польша



Бедные кварцем графические срастания

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Архей. Кольский полуостров

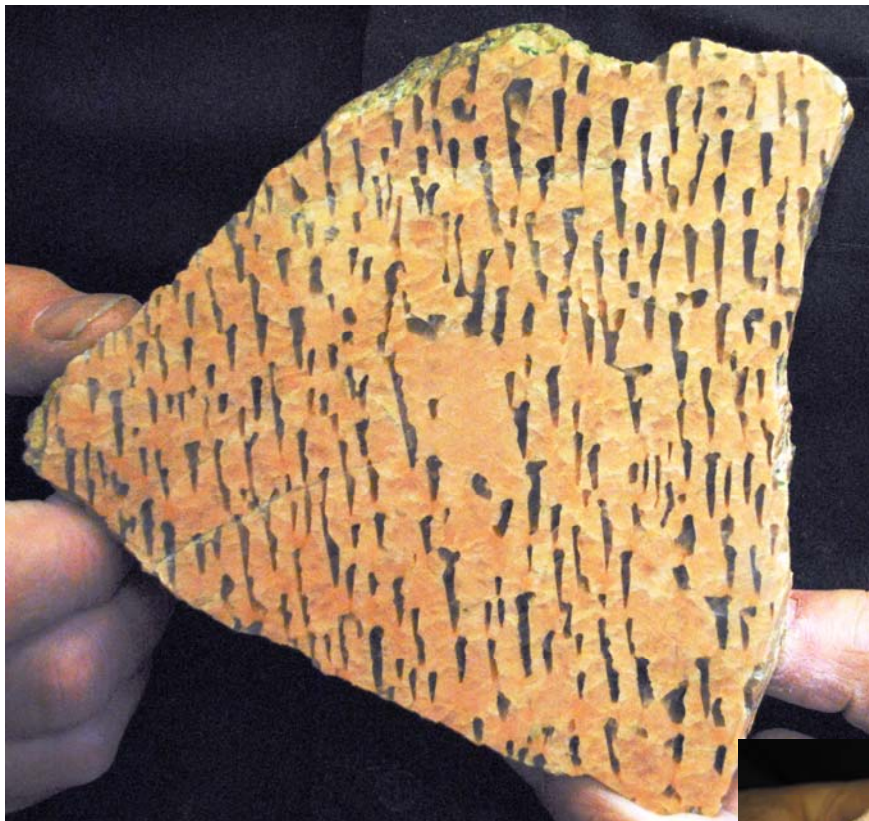


Фото Н.Н.
Жукова

Бедные кварцем графические срастания с микроклином

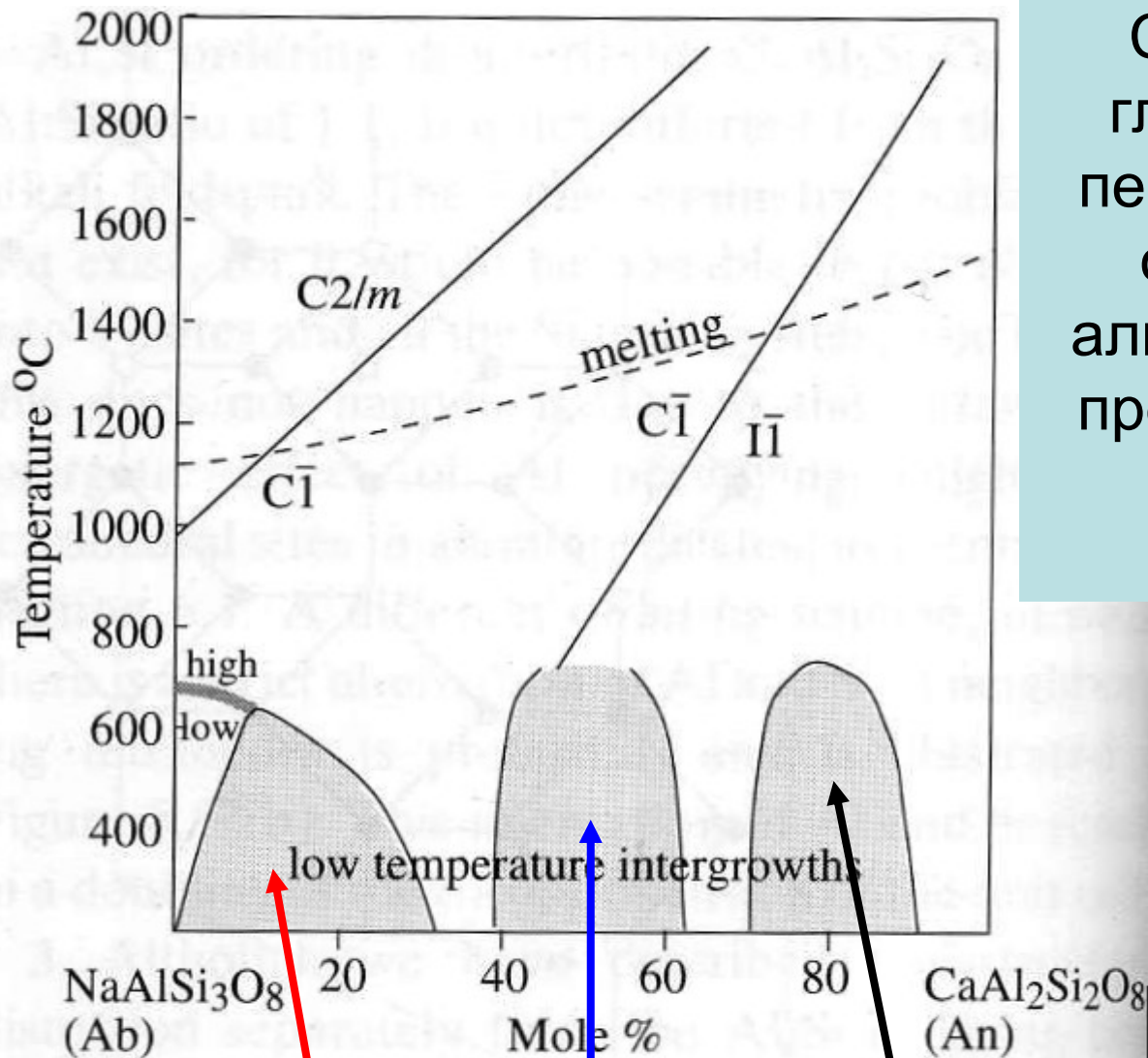
ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Графит. Сферолиты



68x37 мм

Ильменские горы. Колл. и фото Э.М. Спиридонова



Состав плагиоклаза
глубинных гранитных
пегматитов от андезин-
олигоклаза Ap_{30} до
альбит-олигоклаза Ap_{10} ,
преобладает олигоклаз
с 0.5 % K_2O и
1000-300 г/т Sr.

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

Figure 1. Stability of the feldspar structures in the plagioclases. A phase boundaries between C2/m, C1̄ and I1̄ structures are indicated by the melting curve. At low temperature the shaded areas represent regions in which the structure consists of intergrowths barely visible by optical microscopy. (after Carpenter, 1987.)

Глубинные гранитные пегматиты. Перистериты

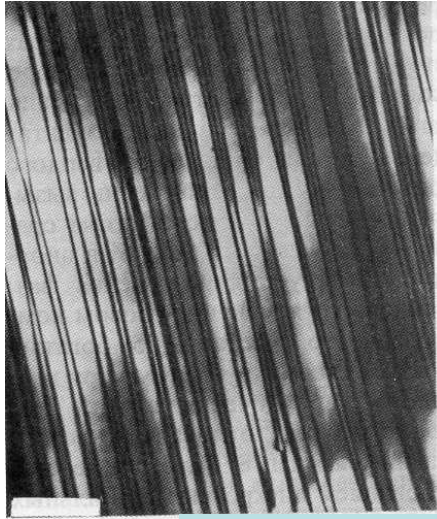
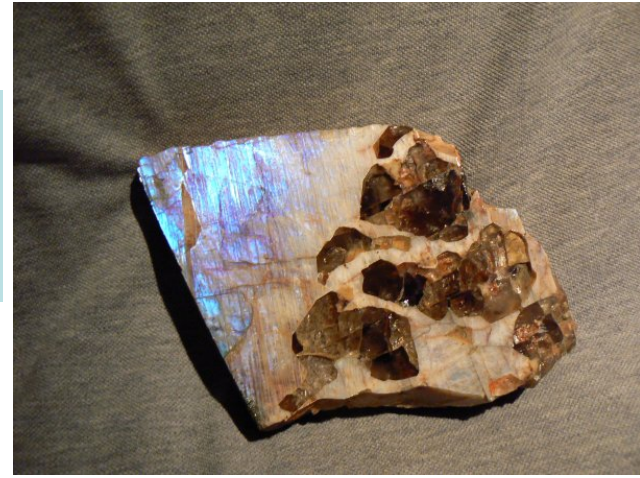
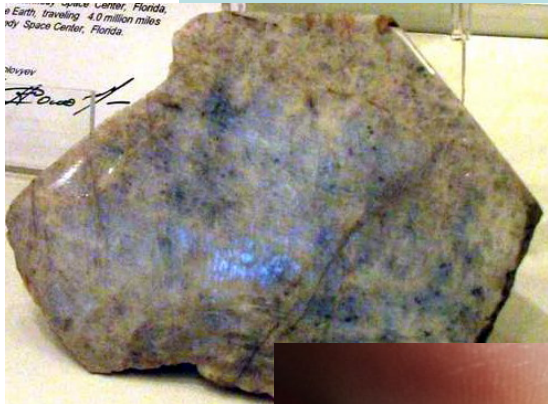


Рис. 9.10. Просвечивающая электронная микрофотография перистеритовых сростаний в образце состава $Ap_{7,6}$. Пластинки состоят из альбита и более основного плагиоклаза. Длина масштабной полоски 0,5 мкм. (Фото любезно предоставлено Мак-Лареном.)

Чупа,
Северная
Карелия



Перистериты – беломориты



"Лунный камень"
(беломорит)



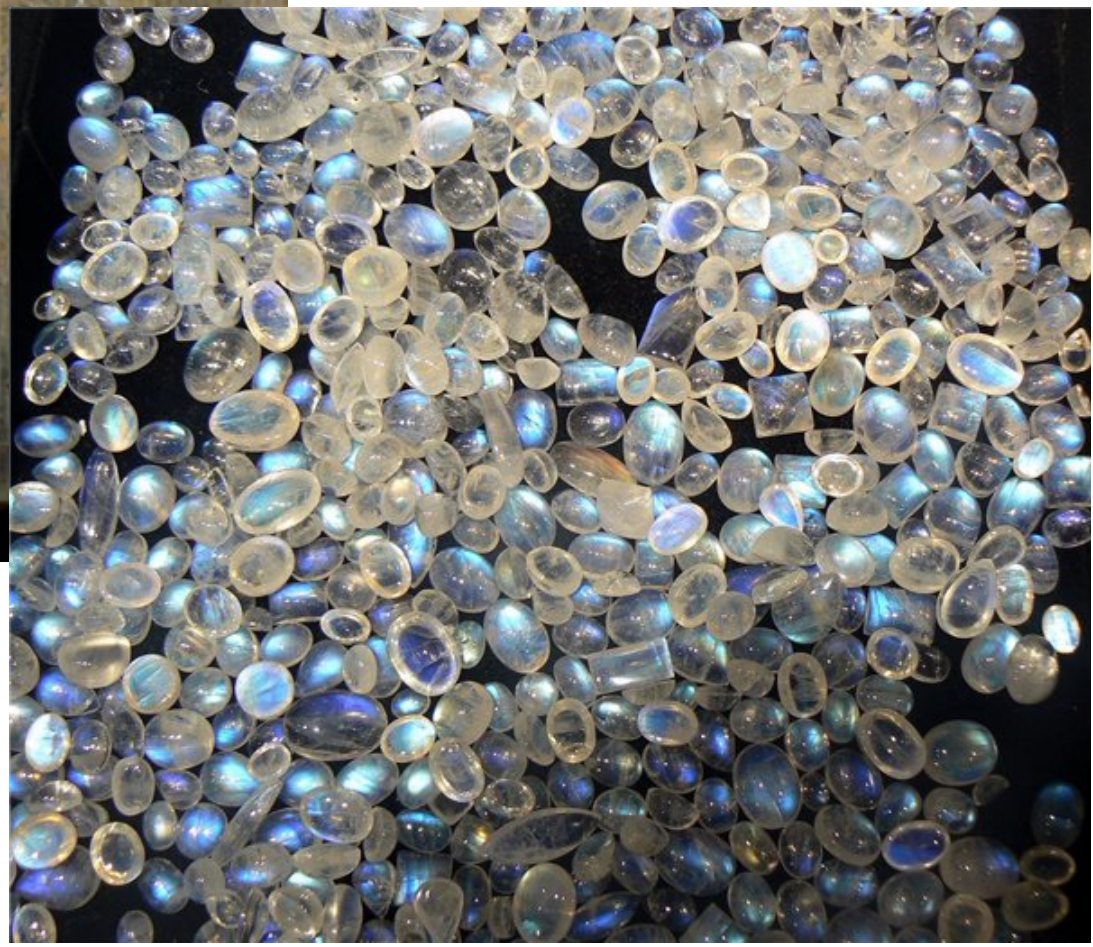
70 мм

Глубинные гранитные пегматиты. Перистериты

70 мм

Ларвик, Норвегия

Тончайшие срастания
альбит - олигоклаз



Глубинные гранитные пегматиты.

К-На полевые шпаты –
микроклин и ортоклаз - макропертиты

Размеры монокристаллов К-На полевых шпатов глубинных гранитных пегматитов поражают - до 55 м в Мамских слюдоносные пегматиты, СВ Забайкалье (наблюдение М.Н. Мурашко).

На Урале когда-то целым карьером отрабатывали один кристалл полевого шпата.

Крупнейший точно измеренный в De Vils Hole Kerye mine, Fremont county, Колорадо, США –
49.4 x 36.0 x 13.7 м, объёмом 6214 м³, массой 15.900 т
Hanley J.B., Heinrich E.W. & Page L.R., 1950.
US Geol. Surv. Prof. Pap. N. 227.

Глубинные гранитные пегматиты.

К-Na полевые шпаты –
микроклин и ортоклаз - макропертиты

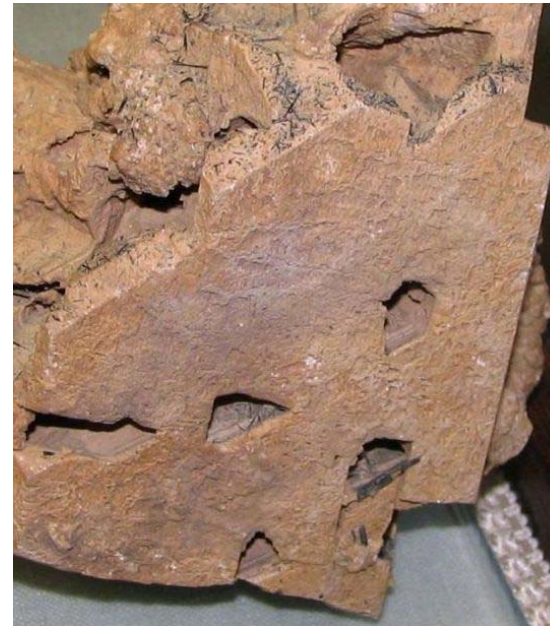
Преобладает
микроклин, бедный
Ba, < 0.5 масс. %
Ba и до 700 г/т Rb.

Ортоклаз относительно редок, обычно это ранние генерации К-Na полевого шпата, которые содержат 1-1.3 масс. % Ba и около 200 г/т Rb. Соотношение Rb/Ba в К-Na полевых шпатах – хороший индикатор степени дифференциации гранитных пегматитов (и гранитоидов).



300
мм

Микроклин. Медведка, Карелия



Микроклин, кварц
графических
вростков
выщелочен.
Река
Дунду-Баин

Глубинные гранитные пегматиты.

К-Na полевые шпаты

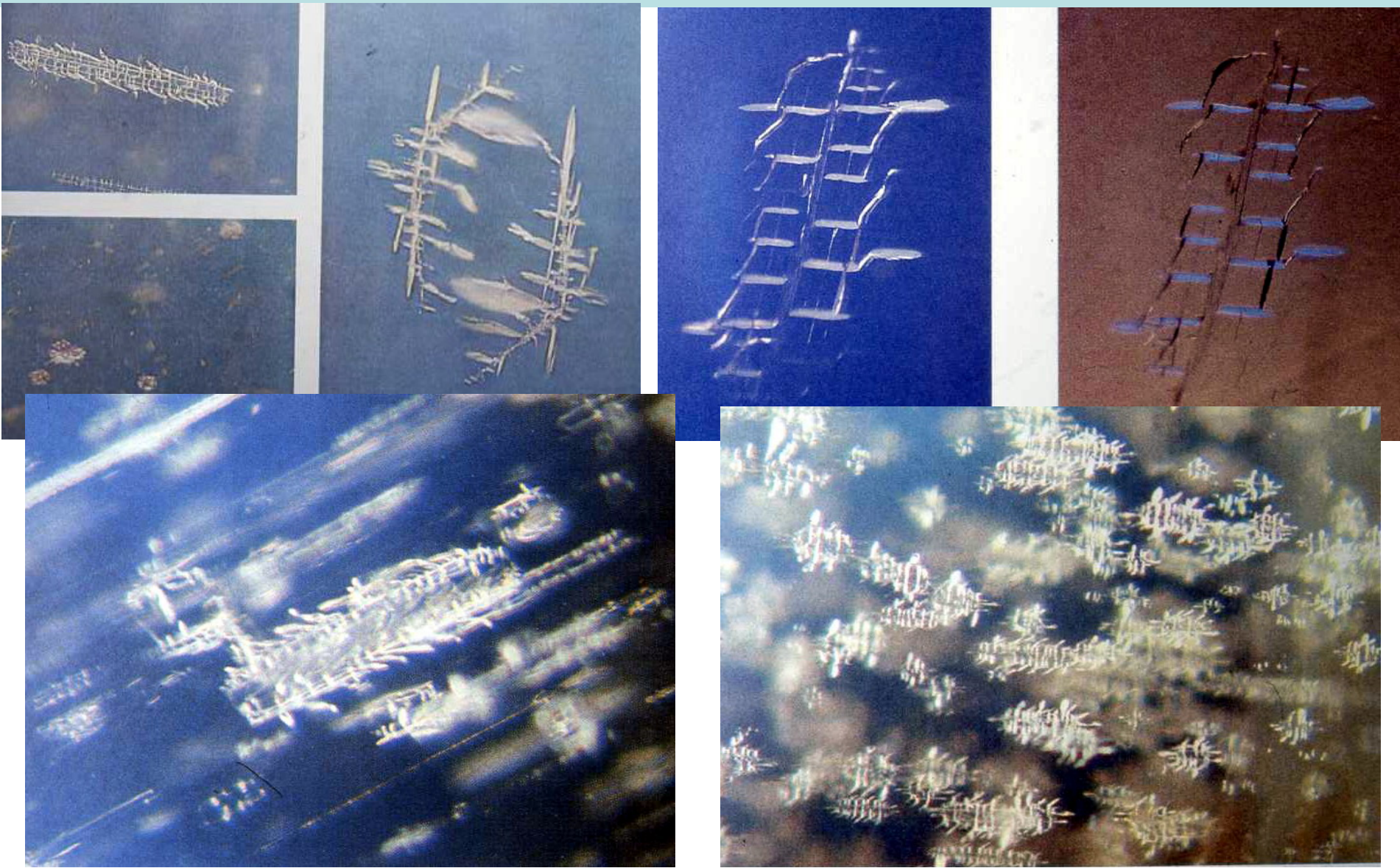


Микроклин - пертит.
Индия

Глубинные гранитные пегматиты.

К-На полевые шпаты - лунные камни

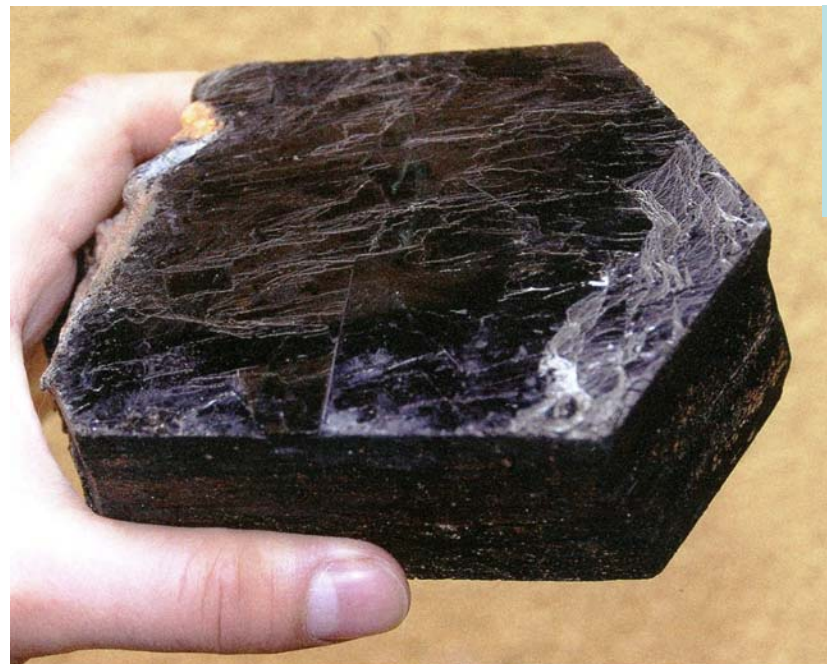
«Играющие» ламеллы альбита в калишпате



Глубинные гранитные пегматиты.

Биотит

Биотит глубинных гранитных пегматитов по составу близок к биотиту обычных гранитоидов: низко фтористый, содержит 2-4 масс. % TiO_2 , железистость от ранних зарождений к поздним заметно снижается $f = 60 \rightarrow 45$, содержания бария от ранних зарождений к поздним резко снижаются от 4000 до 500 г/т Ba, как и содержания цинка от 1500 до 200 г/т Zn, содержит немного Li около 500 г/т и Rb около 500 г/т.



145x98 мм.

Covernador Valarades,
Минас Жераис, Бразилия

В глубинных гранитных пегматитах Iveland, Южная Норвегия развиты кристаллы биотита до 3 м. Barth T.F.W., 1931.

Norg. Undersokelse.

Bd. 128B. S. 111-151

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Биотит $\text{K}(\text{Mg,Fe,Al})_3 [(\text{OH,F})_2 / (\text{Si,Al,Fe})_4 \text{O}_{10}]$

Фото Н.Н.
Жукова
и
Э.М.
Спиридонова



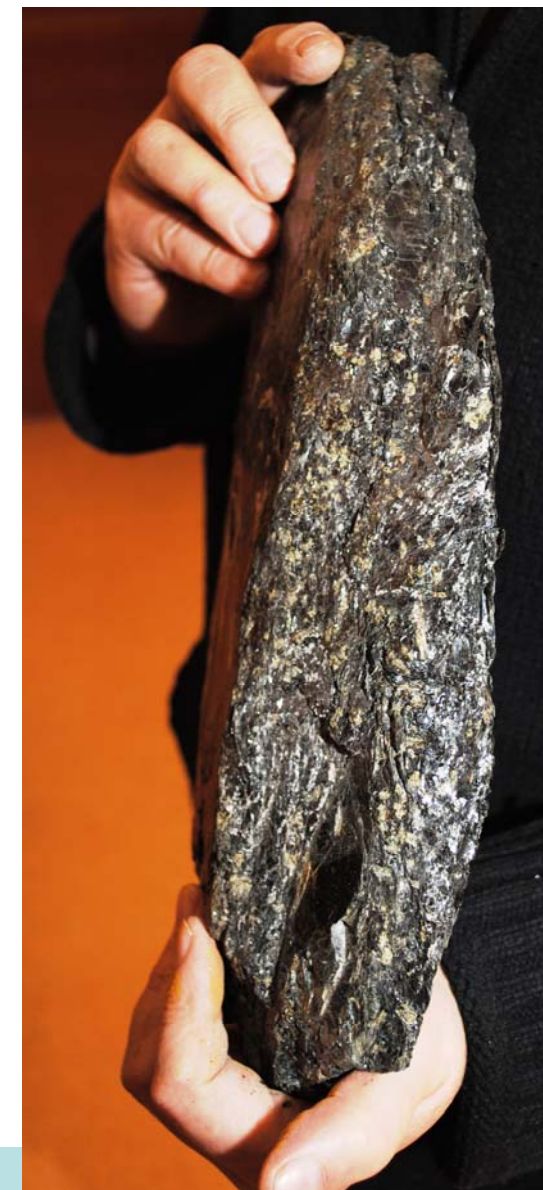
Риколатва. Архей. Кольский полуостров

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Биотит $K(Mg,Fe,Al)_3[(OH,F)_2/(Si,Al,Fe)_4O_{10}]$



Фото Н.Н.
Жукова
и
Э.М.
Спиридонова



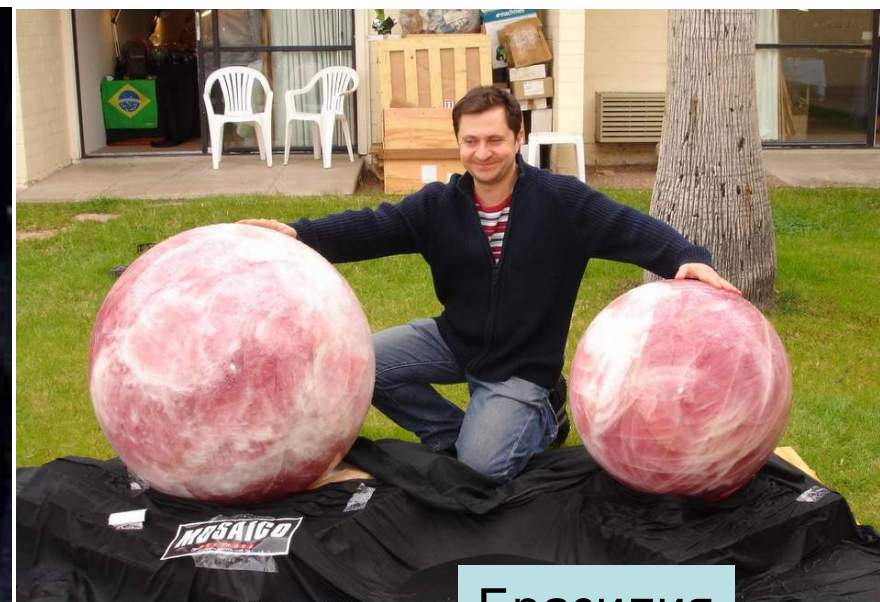
Средний Урал. Кыштым

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 - $\text{Si}^{4+} + \text{Si}^{4+} \leftarrow \text{Al}^{3+} + \text{P}^{5+}$; 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. Альбит



90мм. Курилов, Чехия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Магнетит



Фото Н.Н. Жукова

Куруваара. Архей. Кольский полуостров

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Титанит



Огромные кристаллы сфена с 10 масс. % Y_2O_3 . Карелия

Иттротитанит



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

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Ортит = алланит



Фалун, Швеция



Алексеевская жила,
Чупа, северная Карелия

Кристаллы ортита с радиоактивными ореолами в полевоом шпате

В глубинных гранитных пегматитах Arenhal, Норвегия
размер кристаллов ортита до 1.2 x 0.4 м, вес до 375 кг

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Ортит = алланит

80 мм

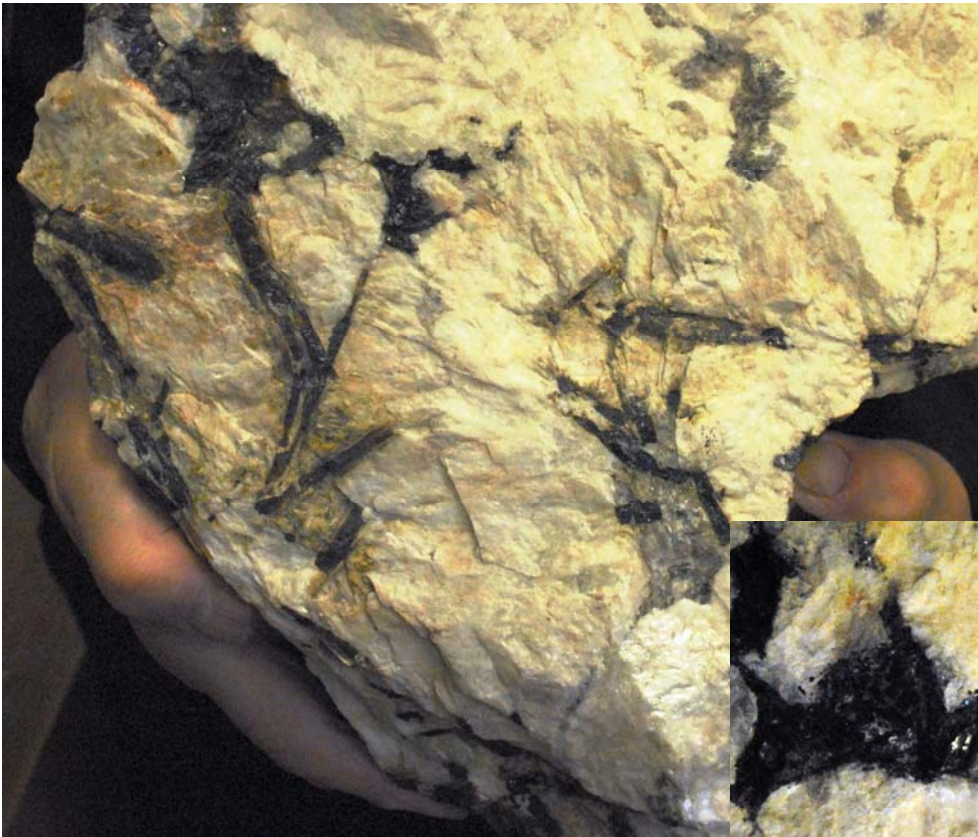


Фото Н.Н. Жукова и
Э.М. Спиридонова



Гора Высокая, Риколатва, Кольский полуостров

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Ортит = алланит



Алексеевская жила, Чупа, Северная Карелия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

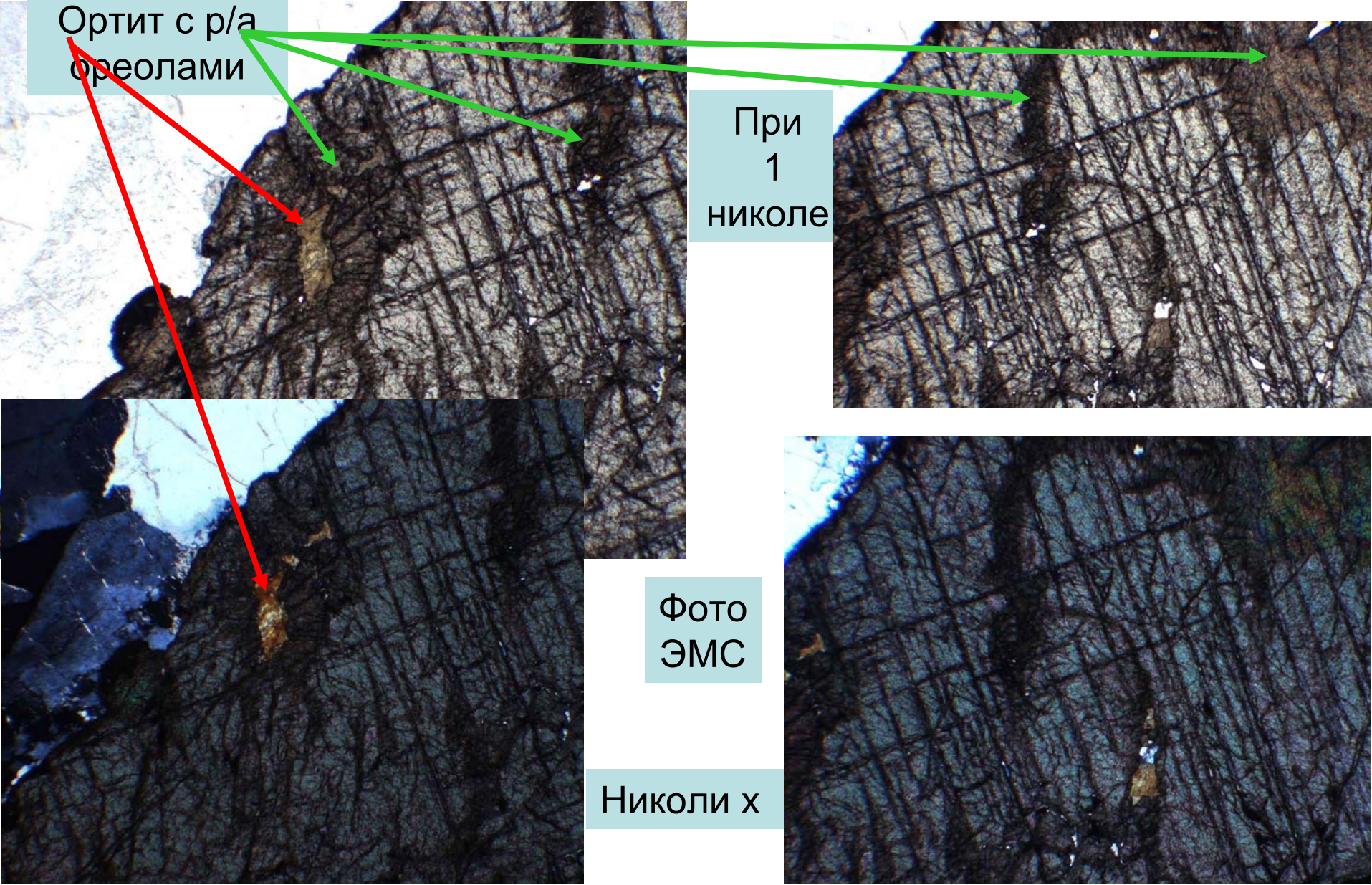
Ортит = алланит

Ортит с р/а
ореолами

При
1
никеле

Фото
ЭМС

Николи х

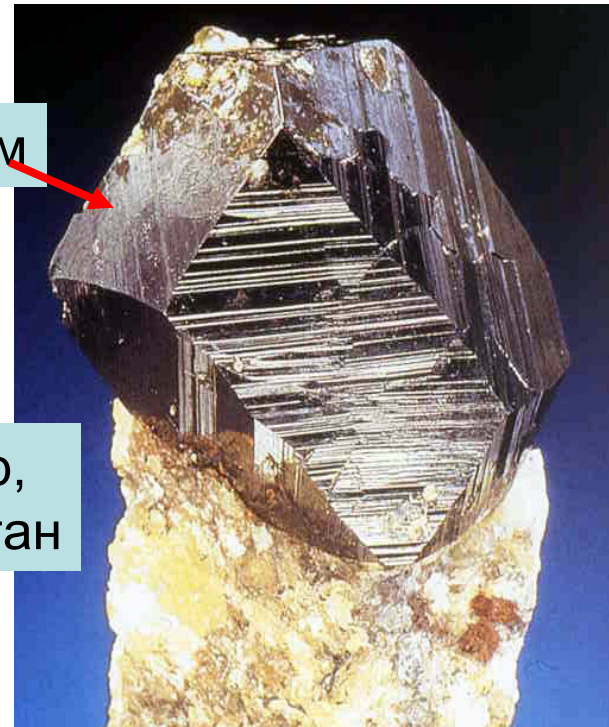


ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Уранинит $(U,Th,Ce)O_2$



Чёрная Салма,
Чупа, Карелия



50 мм

Кунар,
Пакистан

27 мм



Topsham,
Мэн,
США



ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ



27988

гуммит вторичные оксиды U
по УРАНИНИТУ Uraninite UO_2

Панфилова Варака, С.Карелия, Россия

Лабунцов А.Н. 1926

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Торианит $(\text{Th,U,Ce})\text{O}_2$



Двойник по шпинелевому закону

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Торит $(\text{Th,U})[\text{SiO}_4]$



Евје, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Торит $(\text{Th,U})[\text{SiO}_4]$

Циркон $(\text{Zr,U,Th})[\text{SiO}_4]$



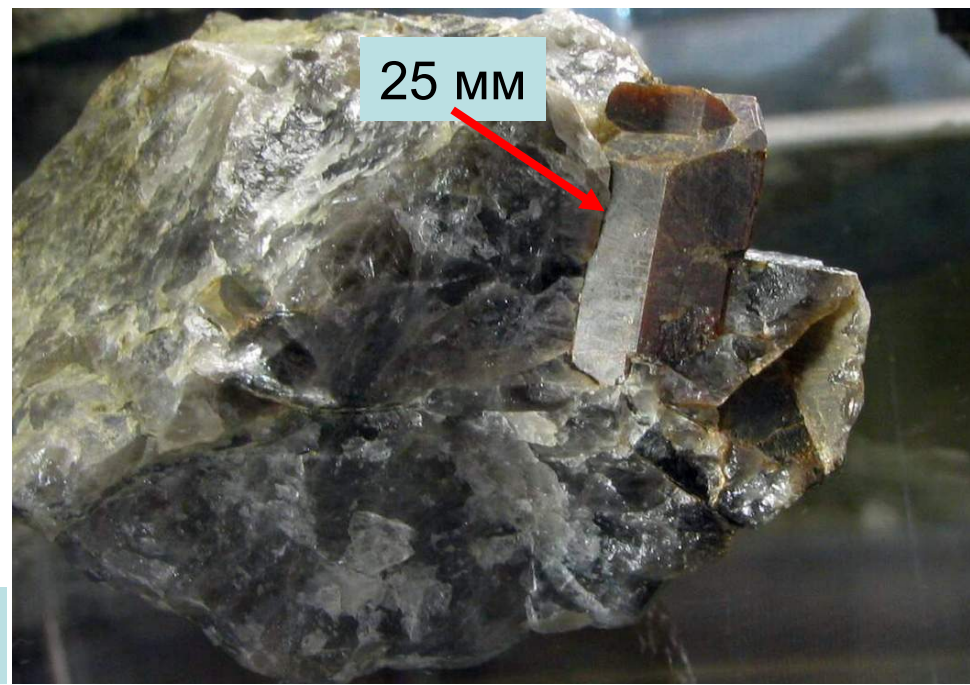
Ратнапура, Цейлон

Торит –
оранжит.
Sor Audnedal,
Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Монацит $(\text{Ce,La,Nd,Ca,Th,U})[\text{PO}_4,\text{SiO}_4,\text{SO}_4]$



Монацит-(Ce)
Monazite-(Ce)
Ce, La, Nd, Th, U
28399



Чёрная Салма, Чупа, Карелия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Монацит $(\text{Ce,La,Nd,Ca,Th,U})[\text{PO}_4,\text{SiO}_4,\text{SO}_4]$

50x30 мм



Ambatofotsikely, Мадагаскар

38 мм



МУСКОВИТ

Kroderen, Норвегия



Монацит на эшините.
Landsverk, Евје, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Монацит (Ce,La,Nd,Ca,Th,U)[PO₄,SiO₄,SO₄]

Гранитные пегматиты среди мигматитов раннего протерозоя в толще плагиогнейсов архея Тараташского блока, Ю. Урал (Вотяков и др., 2012)

Оксид	Химический состав*									
	1	7	12	14	30	37	39	41	46	48
ThO ₂	12.67	12.66	10.24	10.47	10.79	12.38	10.71	11.62	11.55	12.94
UO ₂	0.31	0.34	0.29	0.14	0.29	0.31	0.29	0.29	0.11	0.38
PbO	1.20	1.18	0.96	0.93	1.03	1.15	1.01	1.08	1.03	1.24
P ₂ O ₅	26.69	27.21	28.02	27.31	27.67	27.17	27.56	27.35	27.42	26.83
Ce ₂ O ₃	26.47	26.34	27.66	28.34	27.32	26.48	27.56	26.93	27.66	26.22
La ₂ O ₃	15.53	14.63	15.52	15.89	15.52	14.67	16.25	15.64	15.41	14.88
Pr ₂ O ₃	2.53	2.62	2.62	2.66	2.67	2.53	2.50	2.52	2.47	2.40
Nd ₂ O ₃	8.62	8.87	8.92	9.14	9.12	8.87	8.64	8.51	9.08	8.64
Sm ₂ O ₃	0.97	0.97	0.92	1.02	1.04	1.06	0.93	0.90	0.99	0.97
Gd ₂ O ₃	0.67	0.53	0.69	0.64	0.76	0.60	0.58	0.65	0.47	0.73
Dy ₂ O ₃	0.15	0.17	0.14	0.08	0.23	0.16	0.14	0.17	0.02	0.17
Y ₂ O ₃	0.61	0.70	0.67	0.24	0.70	0.67	0.60	0.62	0.23	0.72
SiO ₂	2.05	1.95	1.50	1.85	1.59	1.93	1.68	1.83	1.83	2.14
CaO	1.15	1.21	1.10	0.78	1.12	1.17	1.05	1.13	1.06	1.17
Сумма	99.62	99.40	99.25	99.50	99.85	99.16	99.49	99.25	99.32	99.42

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Монацит (Ce,La,Nd,Ca,Th,U)[PO₄,SiO₄,SO₄]

Гранитные пегматиты среди гнейсо-гранитов, Адуйский массив, Средний Урал (Вотяков и др., 2012)

Оксид	Химический состав									
	2	6	15	17	19	27	30	47	64	73
ThO ₂	7.47	11.37	8.71	11.97	5.80	10.39	11.03	9.78	10.42	7.48
UO ₂	0.56	0.29	0.29	0.75	0.55	0.17	0.77	0.13	0.15	0.45
PbO	0.10	0.12	0.10	0.15	0.09	0.11	0.15	0.10	0.11	0.10
P ₂ O ₅	29.15	28.12	28.74	27.75	29.28	28.25	27.98	28.18	27.99	29.34
La ₂ O ₃	13.23	12.63	13.16	11.77	13.69	12.68	12.00	13.78	12.71	13.11
Ce ₂ O ₃	26.69	25.98	25.52	24.41	27.50	26.39	24.36	27.14	26.55	26.42
Pr ₂ O ₃	2.94	2.62	2.84	2.61	2.98	2.88	2.58	2.81	2.86	2.94
Nd ₂ O ₃	9.92	9.86	10.43	9.55	10.08	10.22	9.48	10.16	10.09	9.76
Sm ₂ O ₃	1.97	2.02	1.98	1.97	1.97	2.03	1.91	1.94	2.10	1.84
Eu ₂ O ₃	0.16	0.07	0.05	0.05	0.02	0.08	0.09	0.04	0.19	0.08
Gd ₂ O ₃	1.32	1.47	1.58	1.42	1.42	1.44	1.45	1.68	1.59	1.60
Tb ₂ O ₃	0.08	0.12	0.09	0.18	0.10	0.07	0.13	0.09	0.08	0.11
Dy ₂ O ₃	0.97	0.59	0.56	0.80	0.65	0.47	0.83	0.31	0.49	0.69
Ho ₂ O ₃	0.04	0.09	0.01	0.18	0.11	0.10	0.16	0.00	0.05	0.06
SiO ₂	0.84	1.35	1.09	1.61	0.59	1.15	1.46	1.21	1.30	0.85
Y ₂ O ₃	3.19	1.72	2.60	3.18	2.71	1.22	3.31	1.05	1.20	3.01
CaO	1.02	1.14	0.92	1.11	0.85	1.10	1.11	0.95	0.97	0.95
Er ₂ O ₃	0.32	0.06	0.03	0.19	0.19	0.00	0.14	0.00	0.00	0.17
Сумма	99.97	99.61	98.67	99.64	98.60	98.76	98.94	99.34	98.85	98.95

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Чевкинит $(\text{Ce,La,Ca,Na,Th})(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})(\text{Ti,Fe}^{3+})_4[\text{O}_4/\text{Si}_2\text{O}_7]_2$



57 мм

Arondu, Baltistan, Пакистан

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

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

20x20 мм

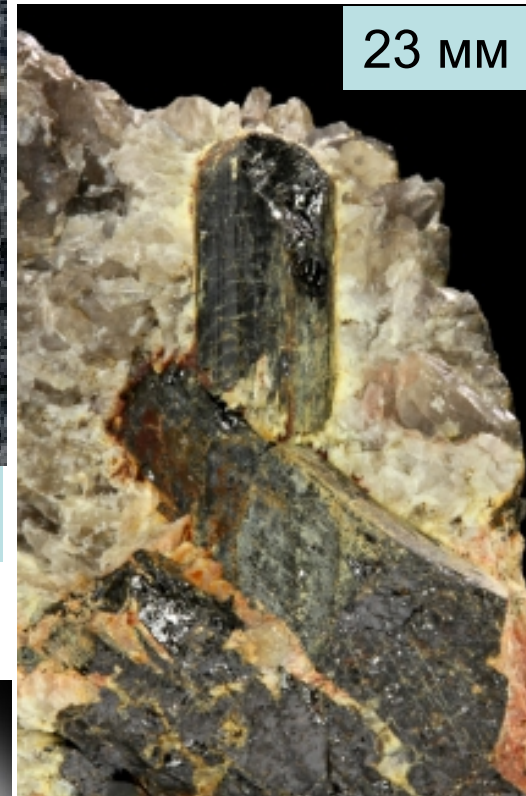


40x25 мм



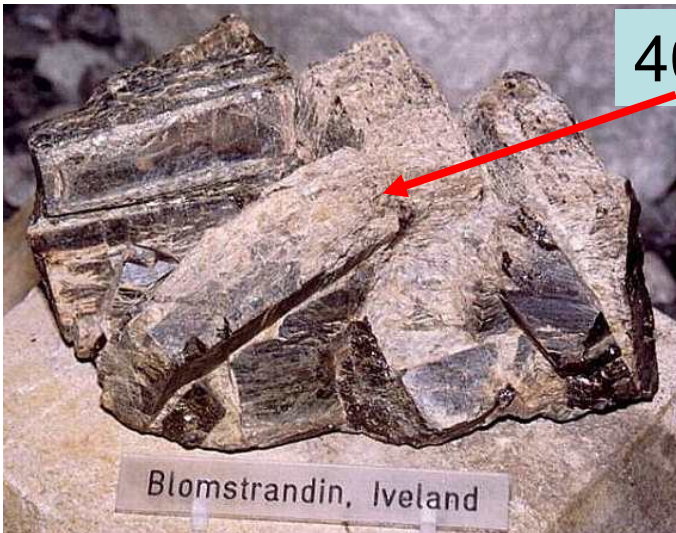
Iveland, Норвегия

23 мм



Эшинит- (Y) (бломстрандин)

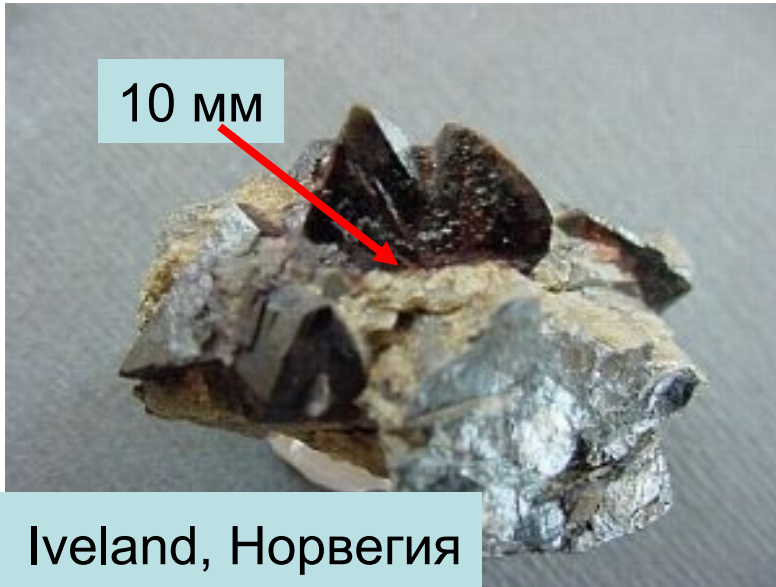
400 мм



Iveland, Норвегия

Moland,
Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Ксенотим (Y,Ce,Zr,La,Ca,U,Th) [PO₄,SiO₄]



Ксенотим
и эвксенит.
Tuftane,
Iveland,
Норвегия



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



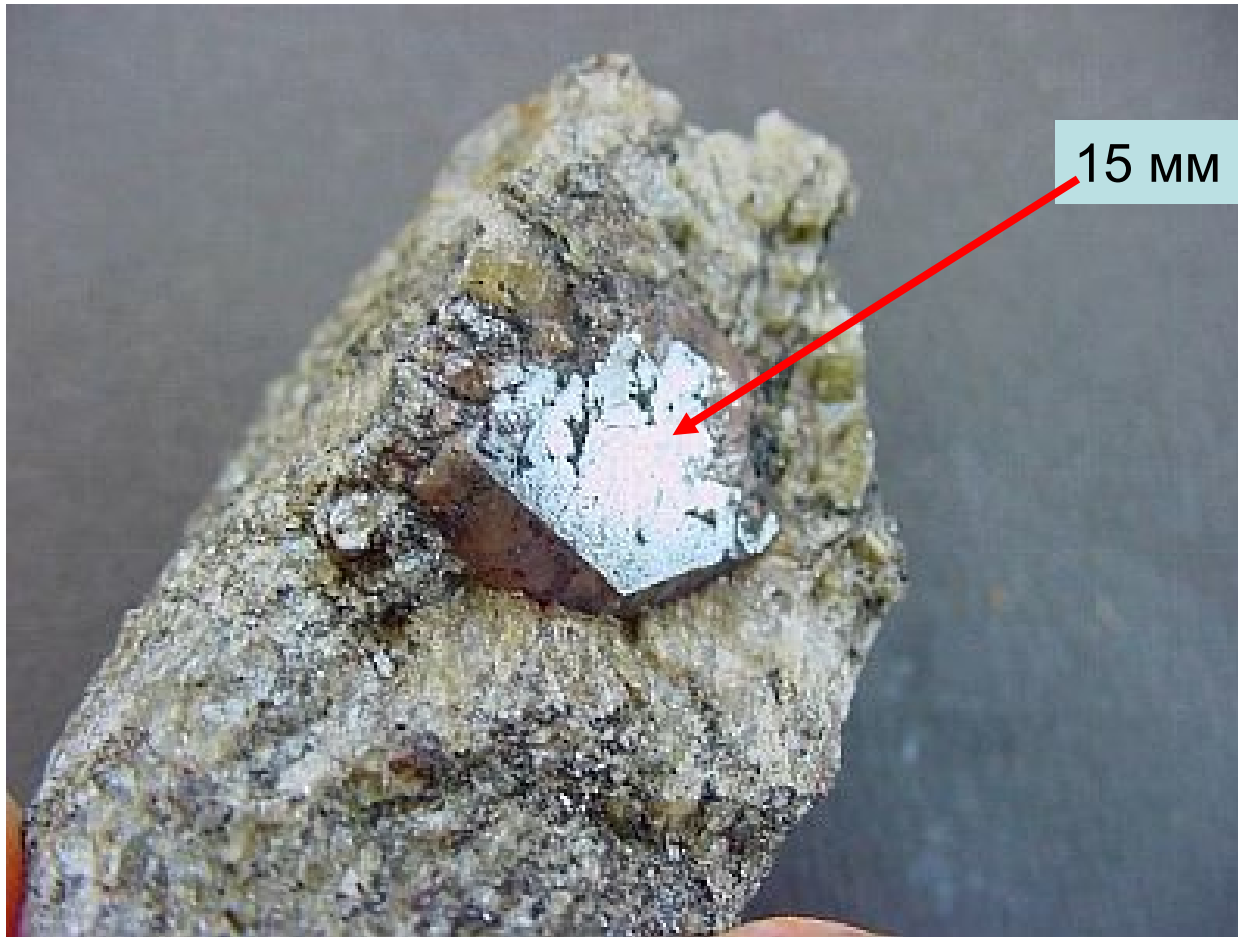
Spangereid, Норвегия

34x24 мм



Perth, Канада

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



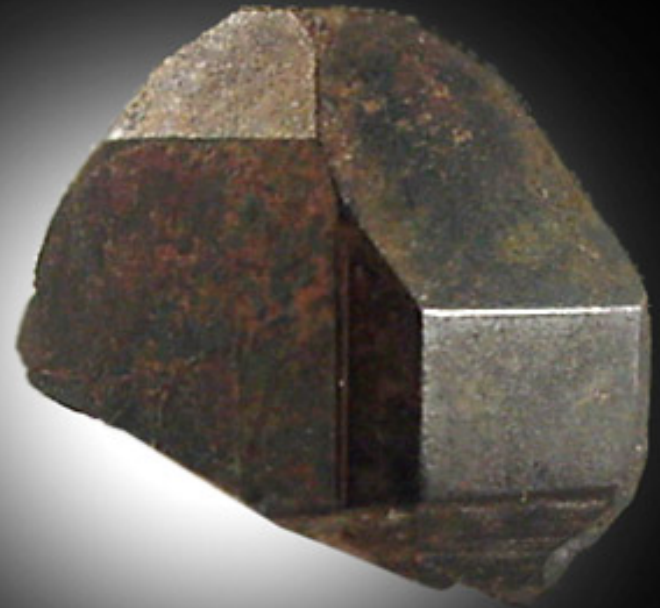
На иттрофлюорите. Tysfjord, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Гадолинит $(\text{Ce,La,Nd,Y})_2 \text{Be}_2 \text{Fe}^{2+} [\text{O}_2/(\text{SiO}_4)_2]$



Hitteroe, Норвегия

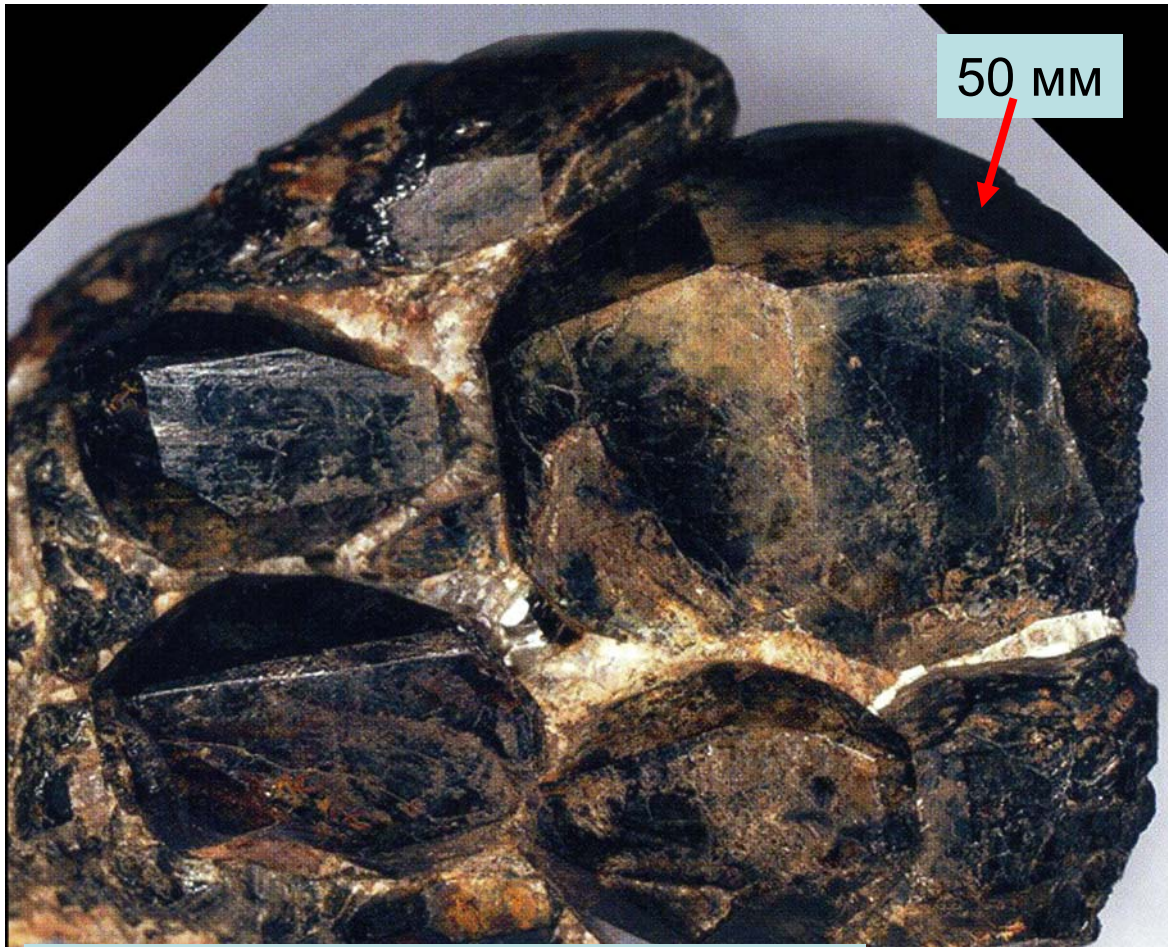
18x14 мм



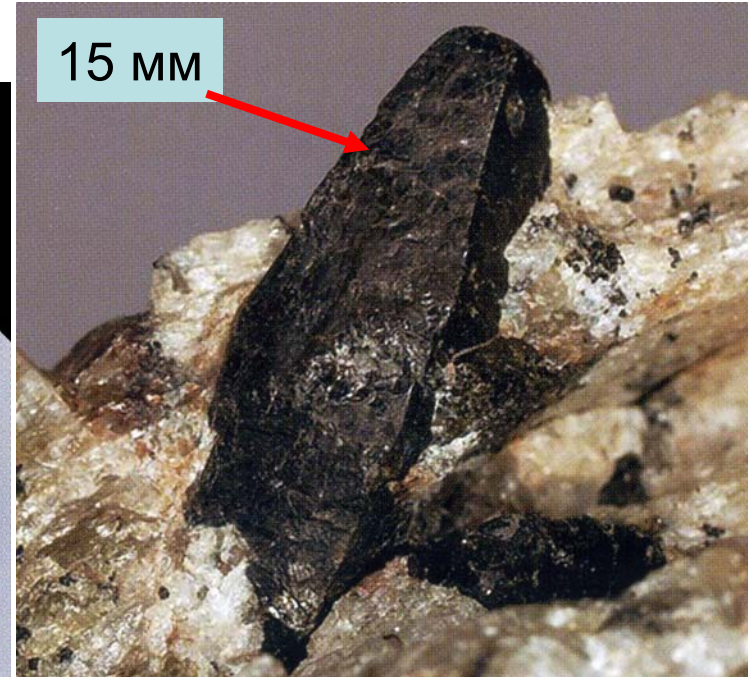
Skien, Норвегия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Гадолинит - (Y)



Frikstad, Iveland, Норвегия



Tysfjord, Норвегия



Иттерби, Швеция

Монобериллосилликат

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Тортвейтит - $(\text{Sc}, \text{Y})_2 [\text{Si}_2\text{O}_7]$



Iveland, Норвегия



40x10 мм

2507
Тортвейтит $(\text{Sc}, \text{Y})_2 \text{Si}_2\text{O}_7$ Thortveitite
Бефанаму (Befanamo), Мадагаскар
Lacroix A. 1925



65x15 мм



Бефанаму, Мадагаскар

**ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Иттротанталлит (Y,Yb,U,Fe²⁺) (Ta,Nb,Ti) O₄**



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. Мусковитовые пегматиты бедны фтором, литием, рубидием, цезием. Крупнолистоватый мусковит входит в состав кварц-мусковитового комплекса, - продукта высокотемпературного $580-420^{\circ}\text{C}$ при $P = 3.9-2.6$ кбар гидролиза полевых шпатов (легче замещается олигоклаз) (таковы же параметры формирования кварцевых ядер этих пегматитов – чему эти параметры отвечают ?). Размер кристаллов мусковита определяется размером замещаемого кристалла полевого шпата и достигает 1-3, изредка 5-6 и даже 8-10 м в поперечнике, обычно не превышает 30 см. Известные месторождения в Карелии, Мамские (СВ Забайкалье), в Индии... В кварц-мусковитовом комплексе обычен апатит, турмалин, Mg-Mn альмандин до спессартина, монацит... Турмалин и гранат 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

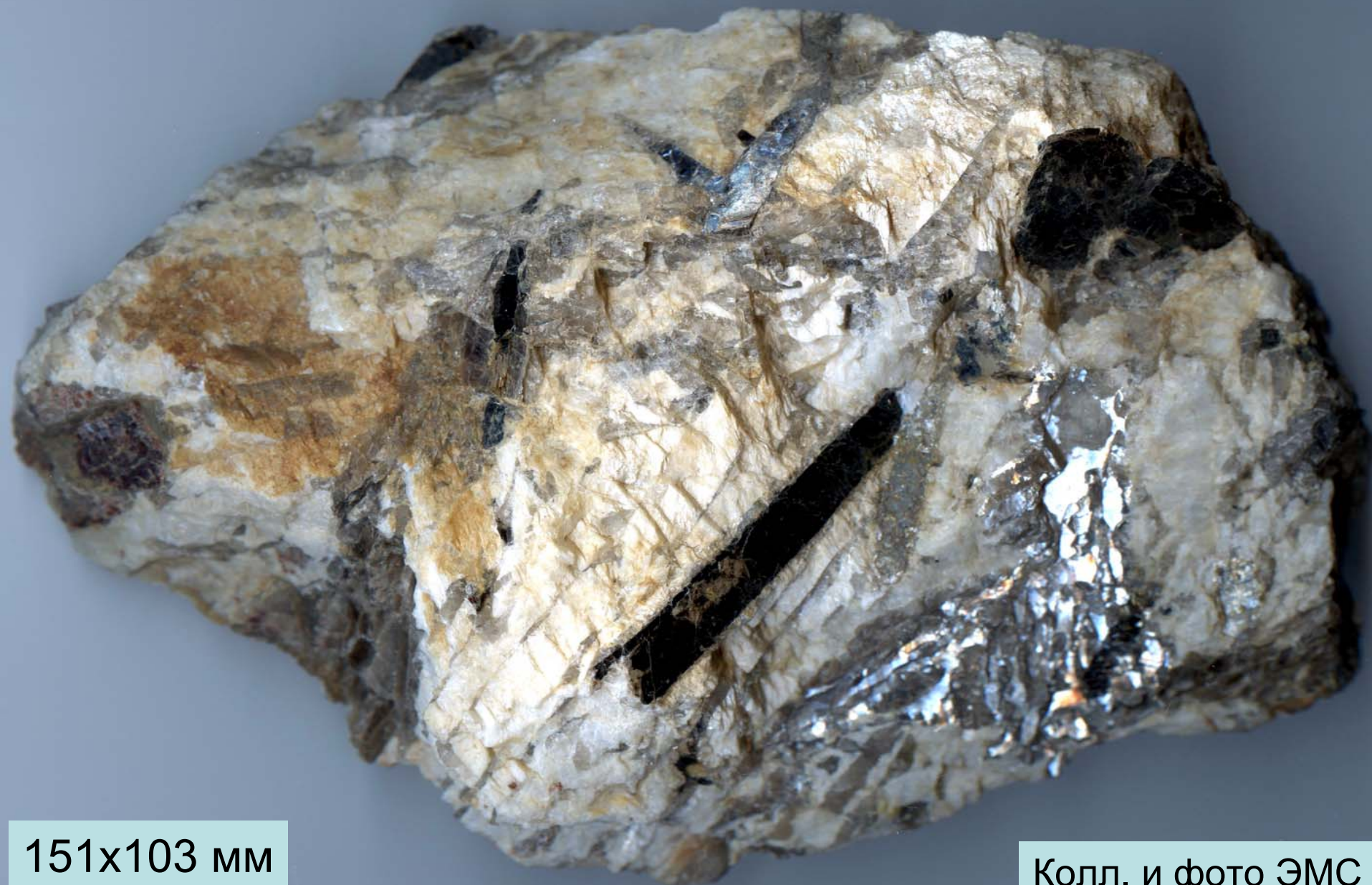
Для глубинных пегматитов характерны синтаксические срастания мусковита и биотита



86x48 мм.
Мама, СВ Забайкалье

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Биотит – кинжалы в графике. Метасомы мусковита с гранатом



151x103 мм

Колл. и фото ЭМС

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Мусковит с реликтами биотита

Риколатва. Кольский п-ов

ГИМ 3177



Фото Н.Н. Жукова

140 мм

Мусковит без реликтов биотита.
Ёна, Кольский п-ов



ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Мусковит. Индия



Фото
Н.Н. Жукова

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Мусковит

Фрагмент кристалла
мусковита.

Purdy Mica mines,
Онтарио, Канада.

Крупнейший кристалл
пегматитового мусковита
размером 4.6x3.1x3 м,
объёмом 27.6 м³, весом 57 т
добыт в Индии
Holland T.H., 1902.
Mem. Geol. Surv. India.
Vol. 34. Part 2

В нашей стране пластины
мусковита до 2 м добывали
из пегматитов Чупы,
Северная Карелия



Fig. 11. The largest authenticated *PHYLLOSILICATE* crystal by length. Purdy Mica Mines. Ontario, Canada. This cleavage slab is in the Royal Ontario Museum, Toronto, Canada and the

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Мусковит

Мусковит низко фтористый до крайне низко фтористого. Содержит 0.5-1 масс. % Na_2O , ранние зарождения 3000 г/т Ва и 300 г/т Rb, поздние зарождения 200 г/т Ва и 2000 г/т Rb. Характерен изоморфизм $\text{Al} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$. Содержание Fe_2O_3 0.5 – 4 масс. %. Богатый железом – зелёный.



Часть большого кристалла.
Evje, Норвегия



Jose Pinto Mine. Минас Жераис,
Бразилия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Мусковит - метасомы в олигоклазе



Риколатва.
Архей.
Кольский
полуостров.

Фото Н.Н. Жукова и
Э.М. Спиридонова

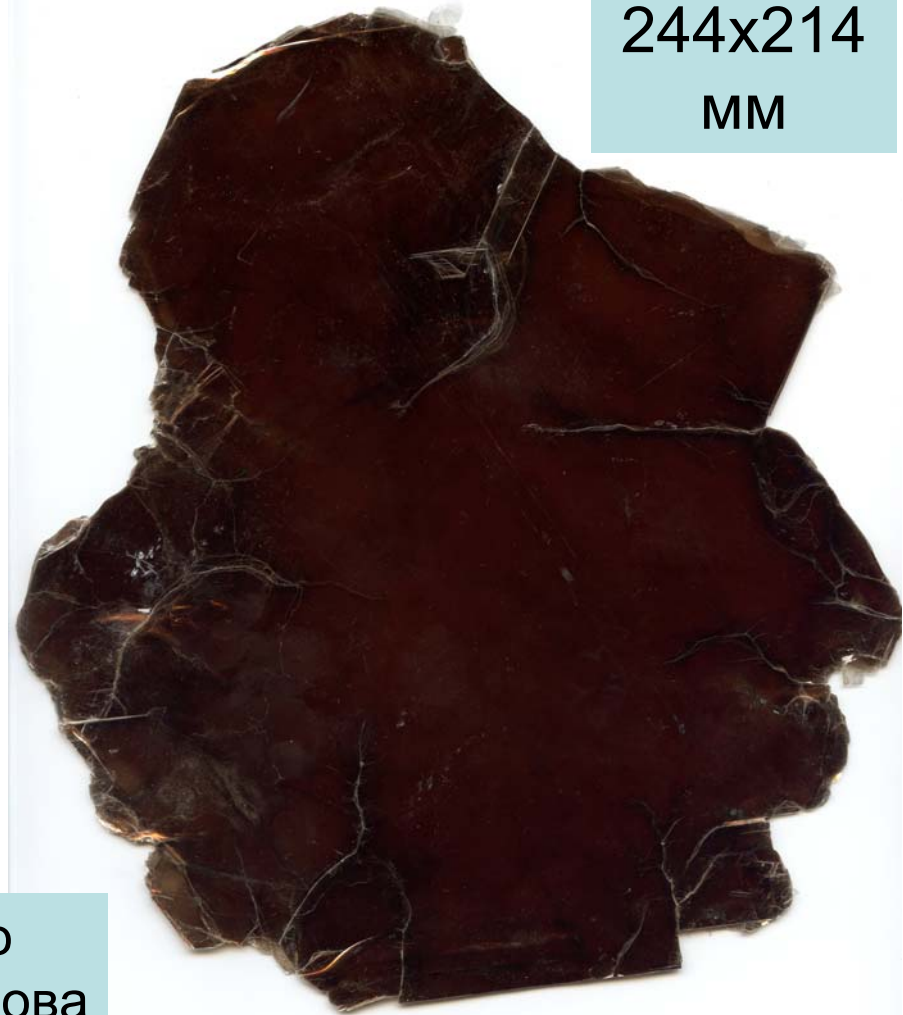
ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Мусковит $KAl_2[(OH,F)_2/AlSi_3O_{10}]$

247x213 мм

Чупа, Северная Карелия

244x214
мм



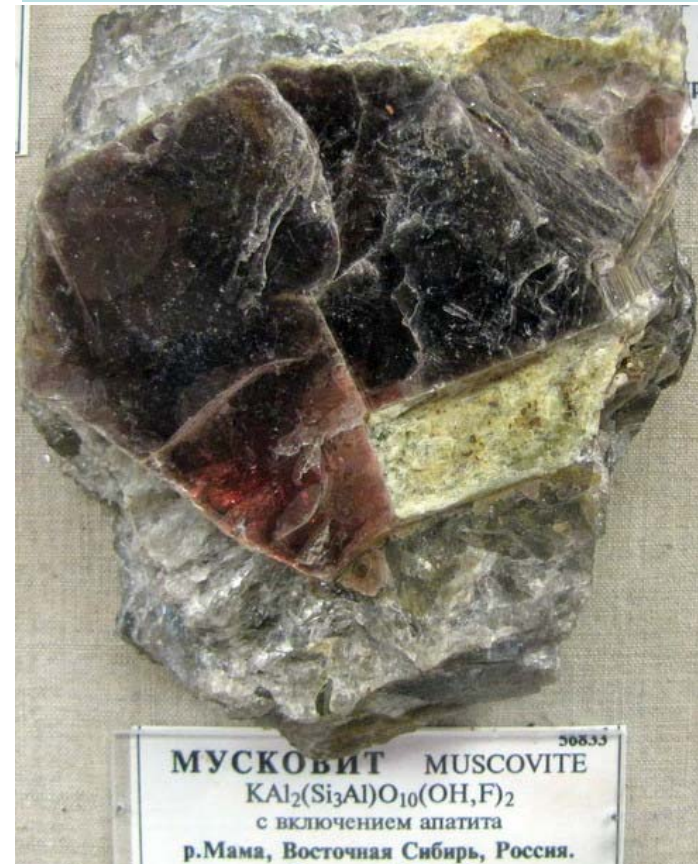
Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Мусковит. Рудник Лимуэйру,
Минас Жераис, Бразилия



Апатит в мусковите.
Мама, СВ Забайкалье



50833
МУСКОВИТ MUSCOVITE
 $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$
с включением апатита
р.Мама, Восточная Сибирь, Россия.

**ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Фторапатит с ~ 0.5 % La+Ce+Nd., ~ 0.2 % Y**



Панфилова Варака, Чернореченская губа, Северная Карелия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Альмандин и спессартин - альмандин. Риколатва. Кольский полуостров



Фото Н.Н. Жукова и
Э.М. Спиридонова

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Альмандин и спессартин-альмандин

Ёна. Кольский полуостров



Кристалл
альмандина
47x37 мм.
Pau Caida,
Marimbonda,
Rio Grande do Sul,
Бразилия

Фото Н.Н. Жукова и Э.М. Спиридонова

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Альмандин $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}, \text{Mg})_3 (\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2 [\text{SiO}_4]_3$



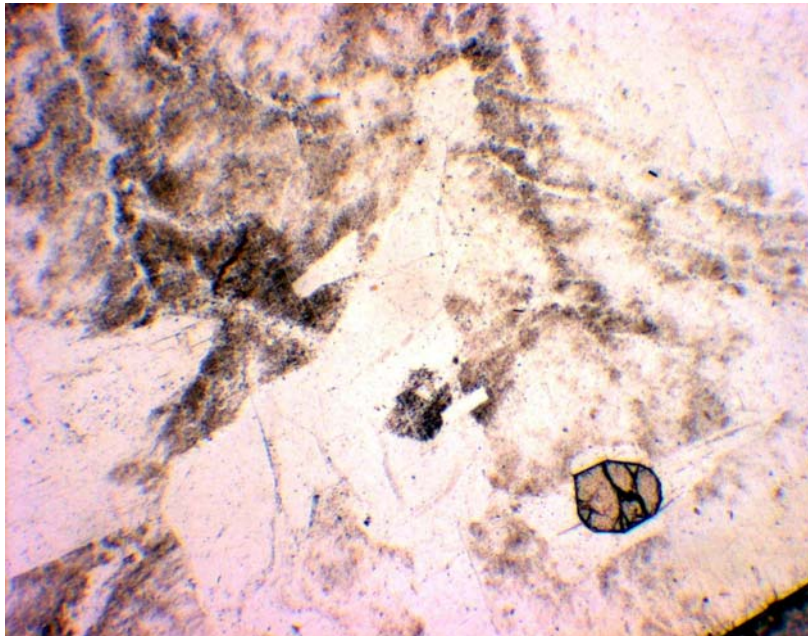
Мама, СВ Прибайкалье

Обычно содержит 40-75 % минала альмандина, 15-50 % минала спессартина, 3-17 % (чаще менее 7) минала пироба, 5-10 % минала андрадита, 0.2-0.6 масс. % Y, 0.1-0.2 масс. % LREE, > 30 г/т Yb и Sc



Плоские кристаллы в мусковите. Мама

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Альмандин с альбитом и мусковитом



При 1
николе

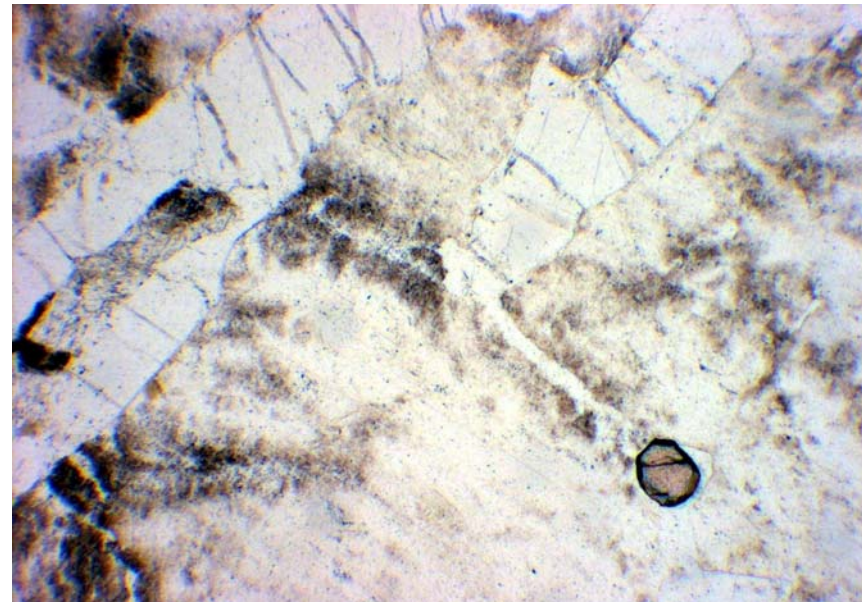
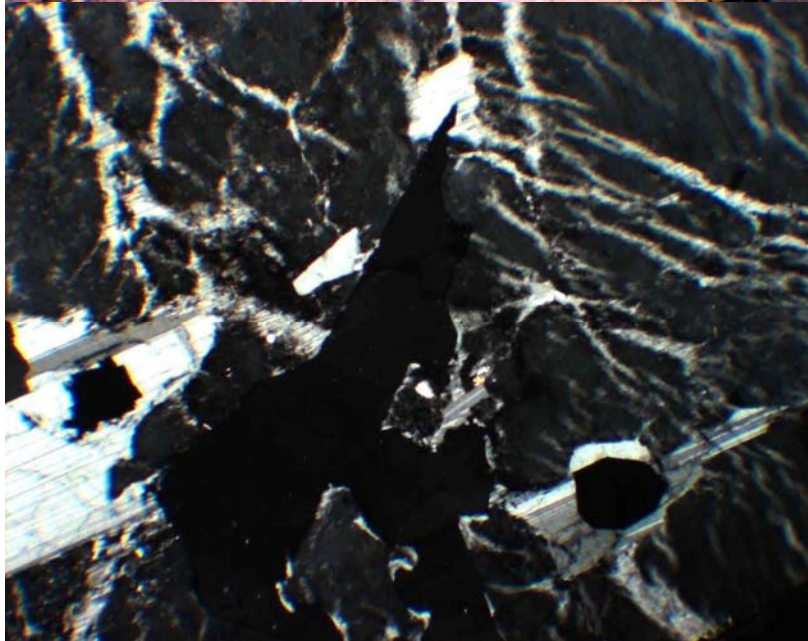
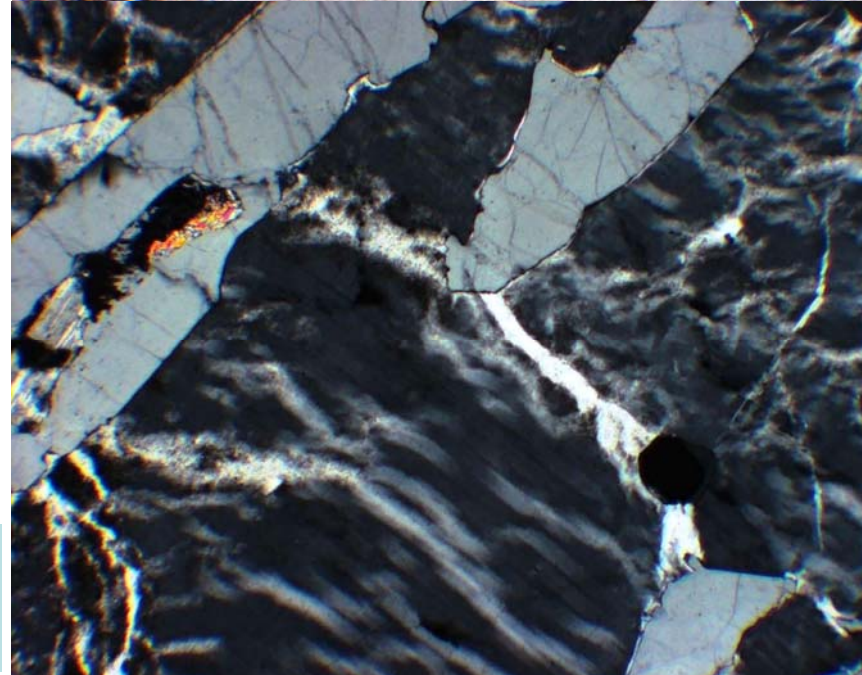


Фото
ЭМС



Николи
x



**ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.
Спессартин $(\text{Mn,Fe}^{2+})_3 (\text{Al,Fe}^{3+})_2 [\text{SiO}_4]_3$**



Медведка, Северная Карелия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

n	core 20	rim 5	core 21	rim 3	core 22	rim 6	core 7	rim 21	30	core 6	rim 19	core 19	rim 6
SiO ₂ wt. %	36.00	36.44	35.94	35.94	35.65	35.86	36.00	36.34	35.45	35.28	36.48	35.45	35.20
TiO ₂	<0.02	<0.02	0.11	0.06	0.07	0.05	0.11	0.20	0.09	0.21	0.02	0.19	0.09
Al ₂ O ₃	20.52	20.49	19.80	19.83	20.27	20.35	20.26	20.28	20.32	20.17	20.56	19.97	20.22
Na ₂ O	0.06	<0.03	0.09	0.07	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	0.10	0.07	0.03	0.04	<0.03
CaO	1.57	2.12	2.74	1.86	0.55	0.41	0.53	0.54	0.47	0.59	0.46	0.34	0.33
FeO	27.95	28.08	17.78	17.98	26.47	26.98	21.77	22.65	17.62	17.70	17.66	15.05	16.16
MnO	12.39	12.52	20.75	21.36	15.11	14.85	19.92	19.88	23.84	23.05	24.95	26.61	25.69
MgO	0.51	0.47	0.91	0.93	0.58	0.56	0.89	0.68	0.29	0.46	0.37	0.59	0.56
Sc ₂ O ₃	0.04	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.07	0.04	<0.01	0.10	0.01	0.05	0.01
Y ₂ O ₃	0.98	0.23	1.73	1.49	<0.03	0.20	0.53	0.12	2.31	1.95	0.59	1.15	0.06
Dy ₂ O ₃	<0.07	<0.07	0.11	0.08	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
Er ₂ O ₃	0.24	0.13	0.17	0.15	0.10	0.10	0.09	0.10	0.17	0.19	<0.05	0.08	0.07
Yb ₂ O ₃	0.26	0.08	0.15	0.12	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	0.20	0.88	0.10	0.11	<0.05
Total	100.56	100.62	100.31	99.89	98.25	98.95	100.29	100.88	100.93	100.67	101.19	99.67	98.47
Si apfu	2.963	2.980	2.958	2.970	2.964	2.975	2.959	2.970	2.931	2.936	2.976	2.947	2.947
^{VI} Al	0.037	0.020	0.042	0.030	0.036	0.025	0.041	0.030	0.069	0.064	0.024	0.053	0.053
total Z	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
^{VI} Al	1.954	1.955	1.878	1.902	1.944	1.965	1.921	1.922	1.911	1.915	1.953	1.904	1.940
Ti	0.001	0.001	0.007	0.004	0.005	0.003	0.007	0.012	0.005	0.013	0.001	0.012	0.005
Sc	0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.005	0.003	0.000	0.007	0.001	0.004	0.001
Zr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.045	0.056	0.089	0.065	0.081	0.047	0.083	0.078	0.061	0.038	0.046	0.076	0.100
Fe ²⁺	0.002	0.000	0.026	0.029	0.000	0.002	0.000	0.000	0.023	0.025	0.002	0.009	0.000
total Y	2.004	2.012	2.000	2.000	2.031	2.017	2.016	2.016	2.000	2.000	2.004	2.005	2.046
Fe ²⁺	1.878	1.865	1.109	1.149	1.786	1.823	1.413	1.470	1.136	1.168	1.156	0.962	1.031
Mn ²⁺	0.864	0.867	1.447	1.495	1.060	1.044	1.387	1.376	1.670	1.625	1.724	1.874	1.819
Mg	0.063	0.058	0.111	0.115	0.074	0.069	0.109	0.082	0.035	0.057	0.045	0.073	0.070
Ca	0.138	0.185	0.242	0.165	0.049	0.036	0.047	0.047	0.041	0.052	0.040	0.030	0.030
Na	0.010	0.003	0.015	0.011	0.000	0.002	0.005	0.003	0.016	0.012	0.005	0.006	0.001
Y	0.043	0.010	0.076	0.065	0.000	0.009	0.023	0.005	0.102	0.086	0.026	0.051	0.003
total X	2.996	2.988	3.000	3.000	2.969	2.983	2.984	2.984	3.000	3.000	2.996	2.995	2.954
"yttrigarnet" mol. %	1.2	0.3	1.4	1.0	0.0	0.3	0.8	0.2	2.3	2.1	0.7	1.5	0.1
"schorlomite-Al"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3
morimotoite	0.0	0.0	0.7	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	1.2	0.1	0.5	0.0
Sc garnet	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0
spessartine	28.8	28.9	48.2	49.8	35.3	34.8	46.2	45.9	55.7	54.1	57.5	62.5	60.6
pyrope	2.1	1.9	3.7	3.8	2.5	2.3	3.6	2.7	1.2	1.9	1.5	2.4	2.3
almandine	62.6	62.2	37.0	38.3	59.3	60.7	45.4	47.3	36.4	37.6	37.9	28.8	33.9
grossular	3.0	4.4	3.6	2.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
andradite	1.4	1.7	3.8	3.0	1.3	0.8	0.9	0.8	0.8	0.2	1.2	0.2	0.6
"skiagite"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	1.7	1.7	1.4	1.3	0.6	3.1	0.5

**Состав
граната –
спессартин -
альмандин и
альмандин -
спессартина в
пегматитах
южной
Норвегии.
Ядра
кристаллов
обогащены
иттрием
и
иттербием**

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Минералы группы турмалина

Турмалины керамических, мусковитовых и редкоземельных пегматитов выделяются повышенными содержаниями магния 3-10 масс. % MgO , кальция 0.5 – 1.5 масс. % CaO , титана 0.3-1.6 % TiO_2 , низкими содержаниями марганца и лития – до 0.1 масс. % MnO и Li_2O , обычно низко фтористые. Во многих турмалинах трёхвалентное железо преобладает над двухвалентным. Турмалины представлены железистым дравитом (до дравита) и магнезиальным шерлом (25-50 % минала дравита, 40-60 % минала шерла) (до шерла), дравитом – бюргеритом, шерлом – бюргеритом, магнезиофойтитом. Цвет большинства образцов чёрный (поэтому, как правило, используют название – шерл), бурый с коричневым и зелёным оттенком, изредка сине-голубой (у некоторых дравитов).

Данные турмалины бедны Ga, Sn, Ta.

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – Mg-шерл



100 мм



Г-ШЕРЛ в кварце
g-schorl in quartz
 $(\text{O}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
Северный голец 1988

100 мм



2322
Шерл 3620
отг. кристаллы.
рудн. Чуя, тс. Миллионный
Майское и-е свадь
вост. Сибирь

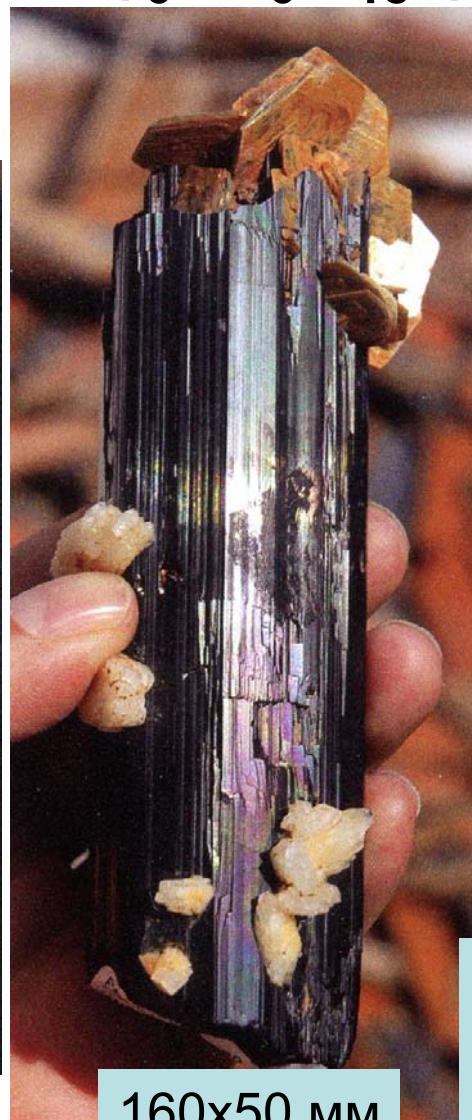
Чуя, Мама, СВ Прибайкалье

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – Мг-шерл

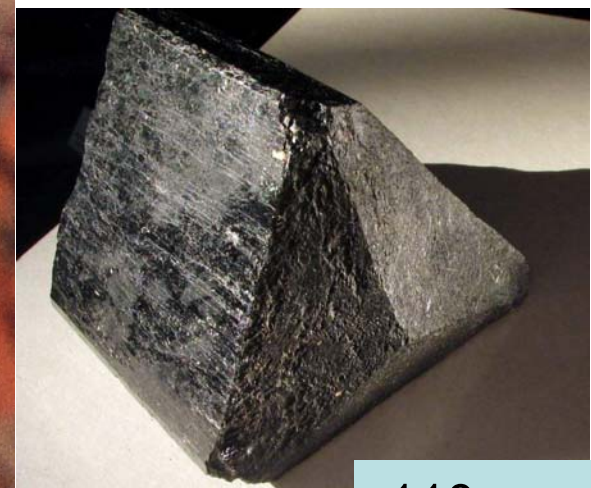


Риколатва, Кольский п-ов



160x50 мм

Бразилия



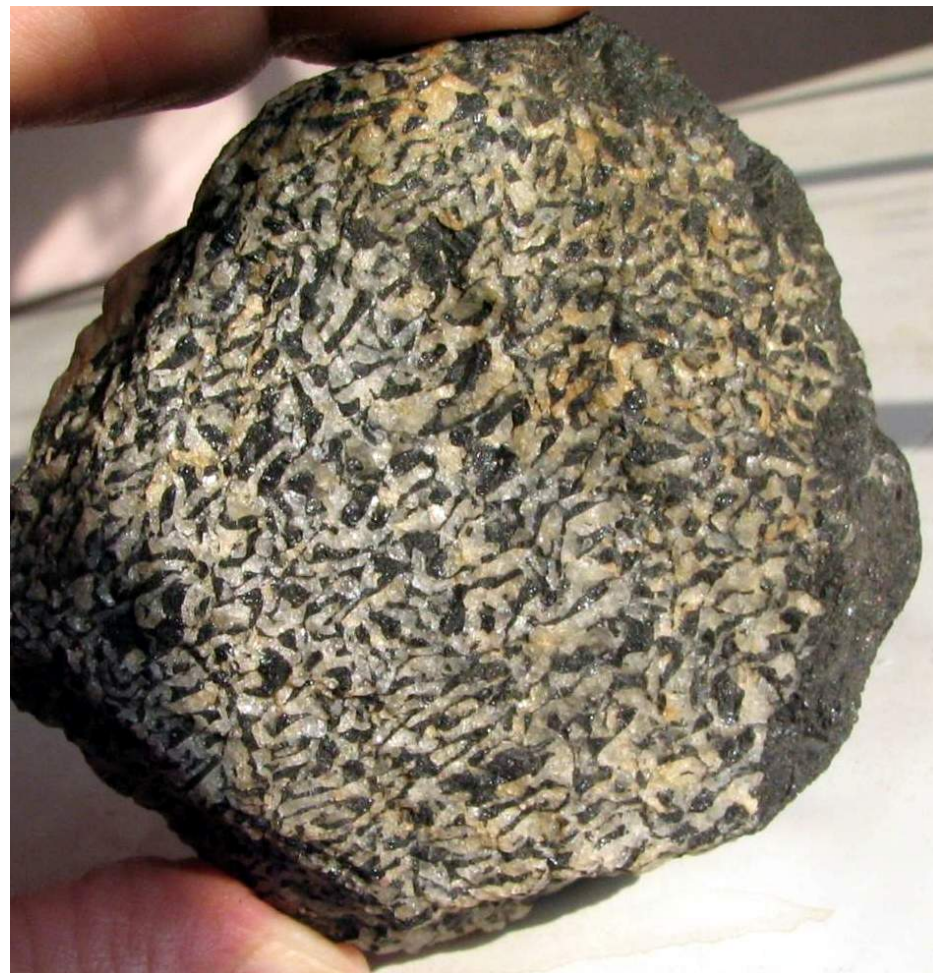
110 мм

Шерл и мусковит.
Divino das Larajeiras,
Минас Жераис

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ. Турмалин – Мг-шерл



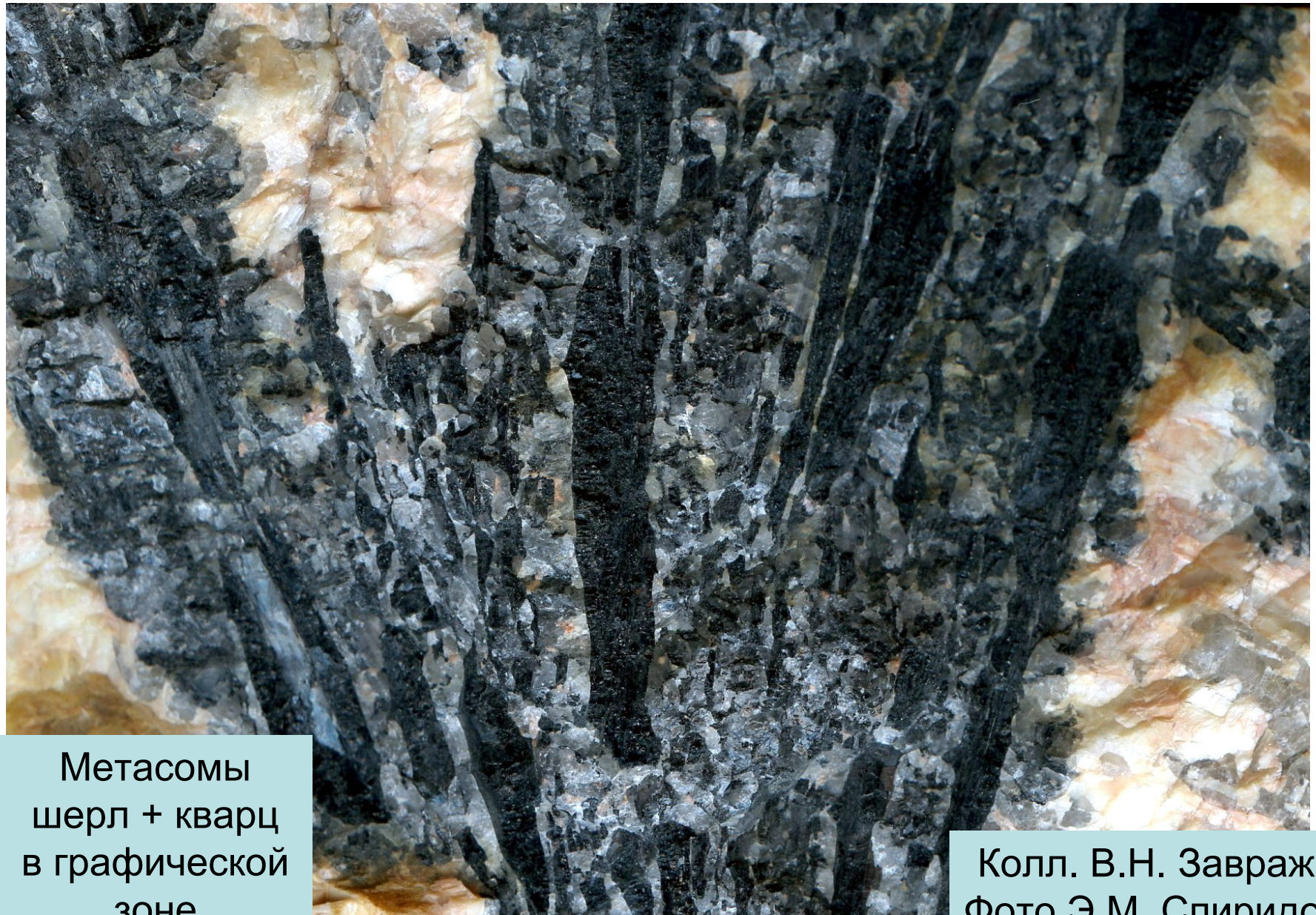
Шар-озеро,
Северная Карелия



Псевдографическое срастание
шерл + кварц.
Чупа, Северная Карелия

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин – шерл. Сарысу-Тениз, Центр. Казахстан



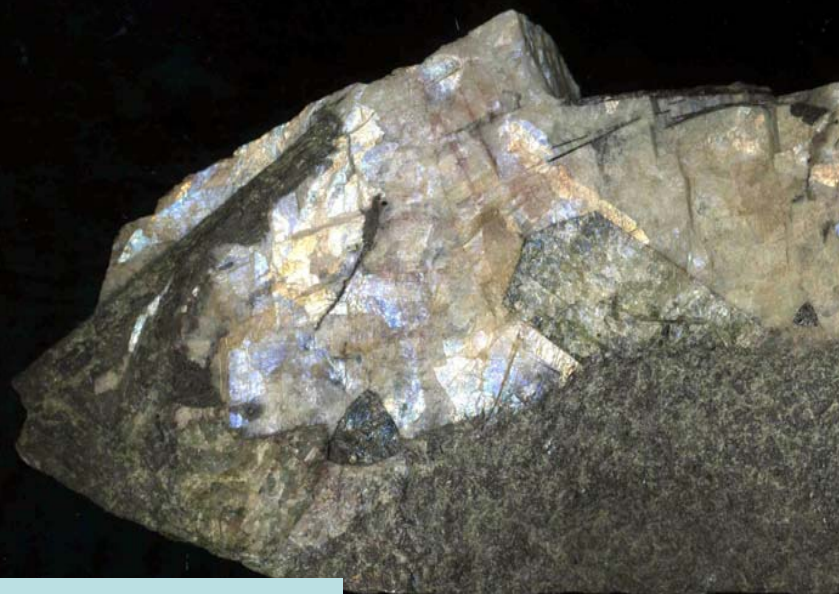
Метасомы
шерл + кварц
в графической
зоне

Колл. В.Н. Завражного
Фото Э.М. Спиридонова

Поскольку основной объём гранитных пегматитов слагают полевые шпаты и кварц, постольку в ходе кристаллизации гранит-пегматитовой 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 Ba, значительно менее Rb, Li; б) остаточные «отходящие воды», сопутствовавшие «рождению» пегматитов, которые были насыщены хлоридами натрия, кальция, калия и железа, углекислотой и борной кислотой, покинули пегматитовые залежи. Около пегматитовых тел местами развиты ореолы с метасомами андезина или олигоклаза (беломорита) и/или микроклина (в гнейсах и кристаллических сланцах) и флогопита – биотита в метабазах. Неподалёку от пегматитовых залежей из этих вод образовались жилы гематит-шерл-скаполит-кальцитового состава. Такие жилы, например, широко развиты около керамических и слюдяных гранитных пегматитов Чупы, Северная Карелия. Более поздние около пегматитовые образования – метасомы мусковита и кварца.

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



190x100 мм

Колл. и фото ЭМС



200x110 мм

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

