

В действительности всё не так,
как на самом деле.

Антуан де Сент Экзюпери

Э.М. Спиридонов

**Минералогенез
при послемагматических
процессах.**

**064. МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ
И МЕСТОРОЖДЕНИЯ Fe, Cu, В**

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Обзор

Магнезиальные скарны – высокотемпературные (пневмато) – гидротермальные метасоматиты, состоящие в основном из силикатов Mg (форстерит, флогопит...), Mg и Ca (клинопироксены, монтичеллит...), Ca (плагноклазы), карбонатов Ca и Mg, магнезиальной и железистой шпинели. Обычно магнезиальные скарны развиты в контактовых зонах интрузивных тел гранитоидов, габброидов, долеритов и вмещающих магнезиальных карбонатных, терригенно-карбонатных, кремнисто-карбонатных, сульфатно-карбонатных пород – доломитов, ангидрито - доломитовых пород, доломитовых мергелей, магнезитов... Интрузивные тела были источниками тепла и части флюидов, источниками кремнезёма и глинозёма для образования магнезиальных скарнов. Карбонатные породы были источниками магния и кальция. Судя по составу флюидных включений в минералах скарнов, флюиды имели существенно хлоридный состав, концентрация хлоридов составляла 40-70%, - по существу это рассолы. Роль фтора второстепенна. Это и понятно - фториды кальция (флюорит) и магния (селлаит) – трудно растворимые минералы; поэтому из существенно фторидных флюидов скарны образоваться не могут.

Температуры образования ранних минеральных ассоциаций Mg скарнов по данным изучения флюидных включений и экспериментального

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Обзор

моделирования (Зарайский, 1994) обычно выше 600°C и до 800°C . Наиболее высокотемпературные скарны развиты в контактах мало глубинных интрузивов габбро-долеритов трапповых формаций. В таких скарнах, благодаря очень низкой активности CO_2 , сохраняется спуррит, устойчивый выше 700°C . Наряду с гипабассальными, широко развиты Mg скарны мезоабиссальные и абиссальные (до давления порядка 10 кбар, т.е. до глубин около 30 км).

По результатам экспериментального моделирования минеральные ассоциации Mg скарнов образуются при участии близ нейтральных растворов. При участии высоко щелочных или сильно кислотных растворов скарны не образуются.

Стандартные Mg скарны слагают биметасоматические тела замещения зонального строения на контактах разнородных по химическому составу сред. Колонка (разрез тела) стандартных ранних скарнов: доломитовые (магнезитовые) мраморы → кальцифиры (обычно двукарбонатные с форстеритом, и/или диопсидом, и/или шпинелью) [экзоскарны] → скарны форстеритовые (часто со шпинелью) → скарны фассаитовые или диопсидовые (обычно со шпинелью, часто с

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Обзор

форстеритом) [собственно скарны] → сфен – клинопироксен - плагиоклазовые породы [эндоскарны, продукты замещения интрузивных пород] → гранитоиды или габброиды. Итак, от карбонатных пород в сторону гранитоидов поток (диффузия) Mg и Ca, от гранитоидов к карбонатным породам поток (диффузия) Si, Al и Fe.

Л.И. Шабынин и его многочисленные последователи считали клинопироксен - плагиоклазовые породы магматическими, - продуктами магматического замещения доломитов... (Шабынин, 1973-1978..). Реально клинопироксен - плагиоклазовые породы – типичные гидротермальные метасоматиты, неоднородные по структуре, составу, в их минералах нет расплавных включений, есть только газово-жидкие включения. Поскольку любые колонки стандартных магнезиальных скарнов включают пироксен - плагиоклазовые эндоскарны, постольку все они являются послемагматическими метасоматитами. Не знаю ни одной доказанной колонки магнезиальных скарнов магматической стадии.

В абиссальных магнезиальных скарнах место клинопироксенов – фассаита и диопсида занимают ромбические пироксены – энстатит и гиперстен. В скарнах, связанных с интрузивными породами повышенной щёлочности- граносиенитами, монцонитами..., в составе эндоскарнов

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Обзор

плагноклаз сменяют скаполиты, при дальнейшем росте щёлочности – калишпат. Таким образом, состав эндоскарнов – индикатор щёлочности сопряжённых магматитов. В скарнах, связанных с интрузивами богатых фтором гранитоидов, в кальцифирах вместо форстерита развиты минералы группы гумита – от клиногумита до хондродита по мере роста фтористости. Характерный поздний минерал магнизиальных скарнов – флогопит. В скарнах, связанных с интрузивами богатых фтором гранитоидов, развит фторфлогопит. В скарнах, сопряжённых с бедными фтором гранитоидами, развит гидроксилфлогопит.

Mg скарны слагают также инфильтрационные – жильные тела замещения вне контактов разнородных по составу сред: в карбонатных породах, реже в вулканитах базитового состава и даже в магнетитовых скарнах. Это так называемые «автореакционные» Mg скарны (Жариков, 2005). При этом могут возникнуть штокверковые тела скарнов. Нередко замещение идёт послойно и возникают многократные тела замещения – так называемые ритмично полосчатые скарны.

Mg скарны обычно высокотемпературные и наиболее ранние из послемагматических метасоматитов. Все остальные – Ca скарны, грейзены, пропилиты, листовениты... более поздние, наложены на

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Обзор

магнезиальные скарны, замещают их. Нередко в крупных телах Са скарнов от замещённых Mg скарнов остались только кучки зёрен шпинели.

Источники флюидов. Часть флюидов несомненно выделяли активные интрузивы. Значительная часть флюидов могла происходить из вмещающих толщ, нагретых активными интрузивами гранитоидов и габброидов или даже расплавами базальтов.

Большой интерес представляют скарновые магнетитовые месторождения в трубках взрыва базальтов трапповой формации Восточно-Сибирской платформы. Это Ангаро-Илимская железорудная провинция. Трубки взрыва – продукты фреато-магматических извержений. Они возникли там, где базальтовые расплавы внедрились в K-Mg-Na-Ca хлоридные рассолы, залегающие среди многокилометровых толщ соленосных и ангидритовых пород платформенного чехла. Солёность этих рассолов 450-700 кг/т. Перегретые рассолы устремлялись в трубки взрыва, частью в около трубочное пространство и вдоль пологих срывов в осадочные толщи на расстояние до 2 км от трубок. Эти перегретые рассолы заместили породы любого состава – от аргиллитов до базальтов и редких известняков минеральными агрегатами высокоТ известковых скарнов (андрадит-гроссуляровые гранаты, диопсид-салит, волластонит,

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

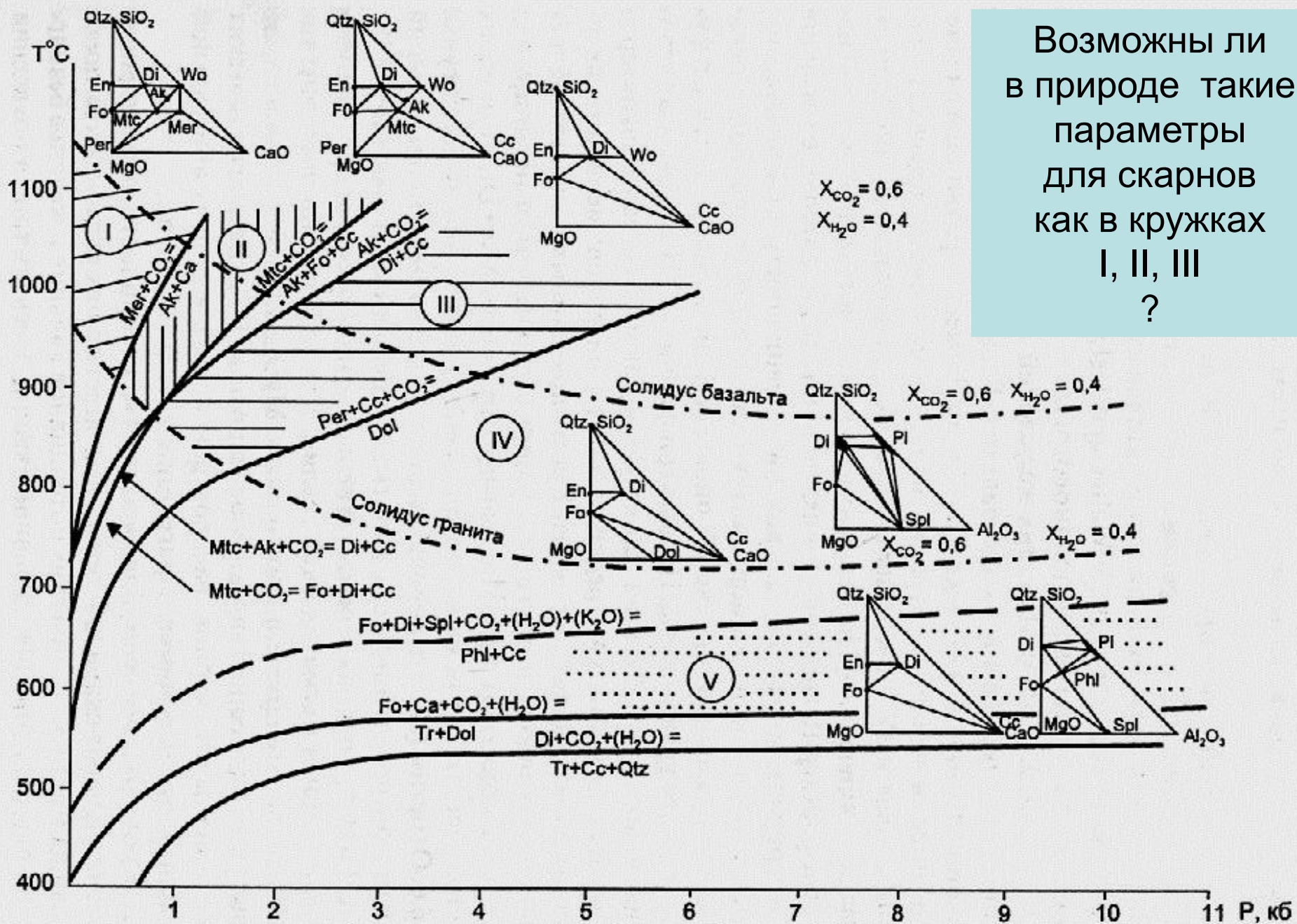
Обзор

везувиан, скаполиты) с более поздними обильными магнетитовыми и магномагнетитовыми рудами. Эти руды местами состоят поровну из магнетита и галита (натрий в отличие от кальция почти не фиксирован в минералах скарнов). Процессы образования ангаро-илимских скарнов чередовались с вулканической активностью. Во многих участках Са скарны с магнетитовым оруденением брекчированы и на их обломки выросли крупнокристаллические агрегаты форстерита, монтичеллита, фассаита с тем или иным количеством шпинели и магнетита. В данном случае магнезиальные скарны возникли позже известковых скарнов. Те и другие типы скарнов возникли без связи с интрузивами гранитоидов и без связи с известняками и доломитами.

Итак, магнезиальные скарны – это высокотемпературные послемагматические метасоматиты, продукты воздействия близ нейтральных существенно хлоридных флюидов - растворов – рассолов, богатых магнием. Источниками флюидов могут быть активные интрузивы, могут быть и вмещающие толщи, особенно эвапоритовые. Источником магния обычно являются карбонатные породы, но могут быть и сами рассолы. Минеральные и геохимические особенности скарнов во многом обусловлены типом и составом активных магматических пород.

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Обзор

Возможны ли
в природе такие
параметры
для скарнов
как в кружках
I, II, III
?



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Обзор

Минеральные
равновесия

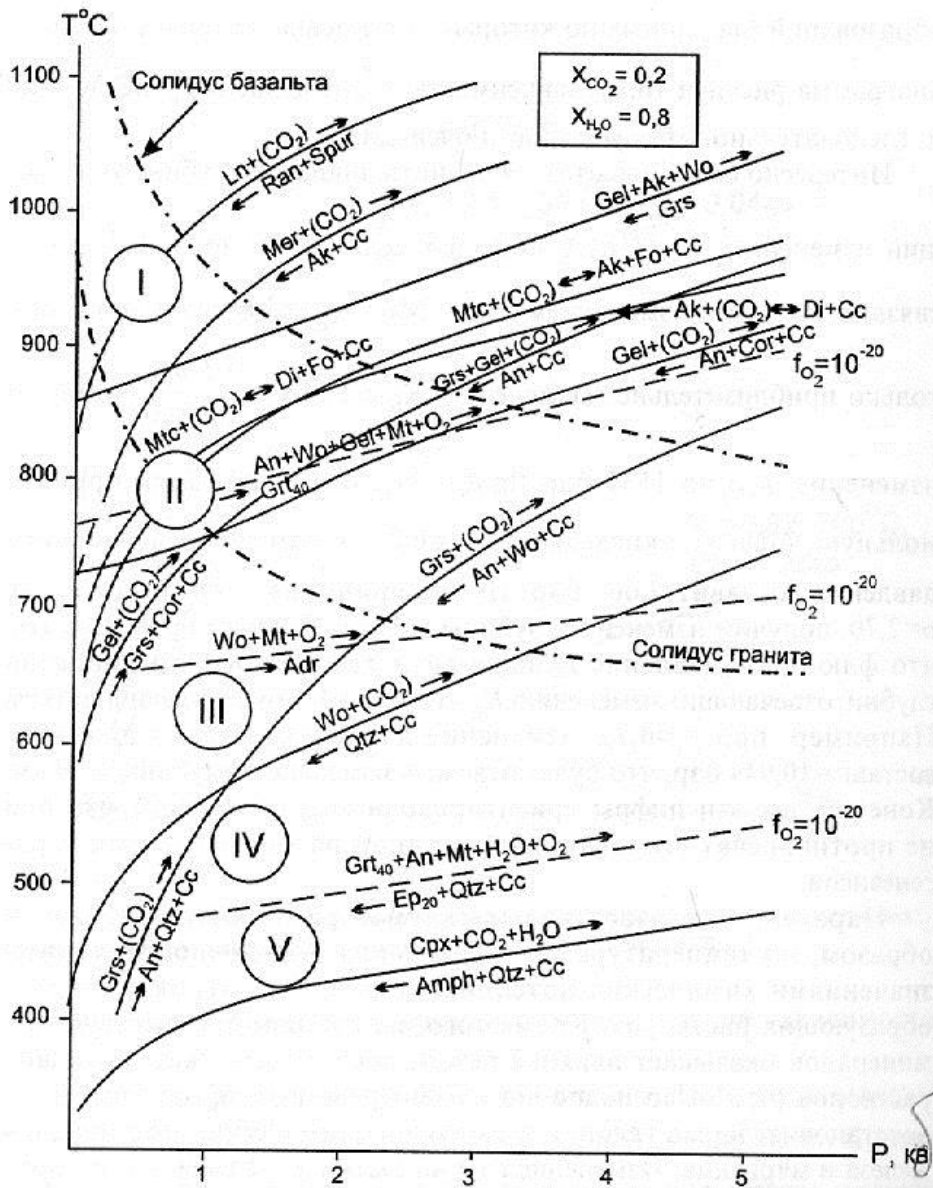


Рис. 16.15. Главные граничные минералы равновесия известковых скарнов, пересчитанные для условий $X_{H_2O} = 0,8$, $X_{CO_2} = 0,2$ из экспериментальных и расчетных данных

Уравнения реакций подписаны у моновариантных линий. Для реакции с Mt и O_2 фугитивность кислорода принята $f_{O_2} = 10^{-20}$. Положение солидусов гранитных и базальтовых расплавов рассчитано для $X_{H_2O} = 0,8$, $X_{CO_2} = 0,2$

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Экспериментальное моделирование подтвердило, что скарны возникают при высоких температурах: Ca скарны при воздействии существенно хлоридно-кальциевых растворов, Mg скарны при воздействии существенно хлоридно-магниевых растворов

Жариков В.А.,
Ходоревская Л.И.,
1997.

Докл. АН СССР. Т. 294.
С. 952-955

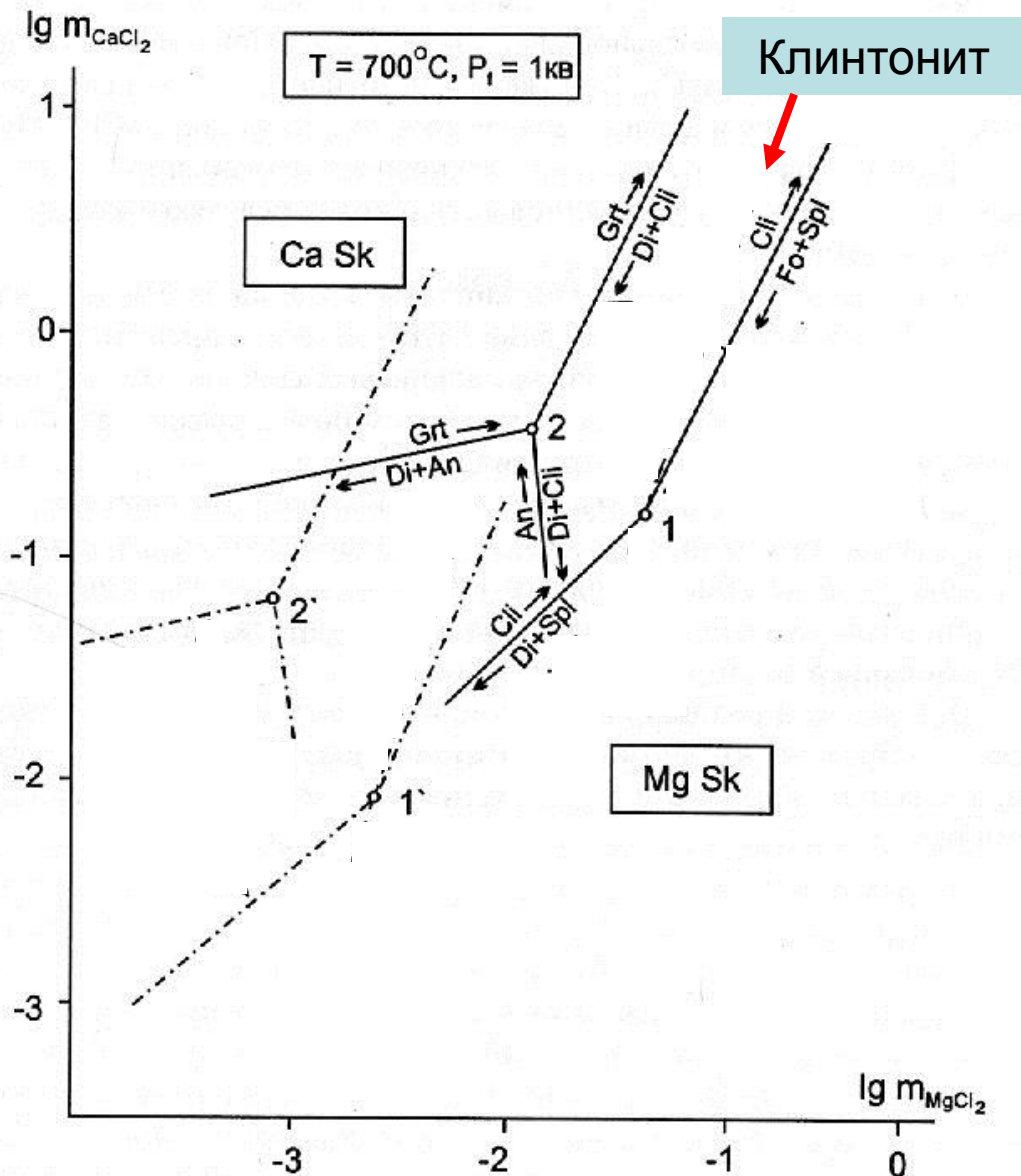


Рис. 16.17. Диаграмма зависимости парагенезисов известковых и магниевых скарнов от концентраций $CaCl_2$, $MgCl_2$ и HCl в растворах

Результаты экспериментальных исследований при $T=700^{\circ}C$ и $P=1 \text{ кВ}$ [Жариков и Ходоревская, 1987]. Сплошные и штрих-пунктирные линии – экспериментальные результаты при $m_{HCl} = 0,1 \text{ М}$ и $m_{HCl} = 0,02 \text{ М}$, соответственно. Пунктир – расчетные данные

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

СТАНДАРТНЫЕ

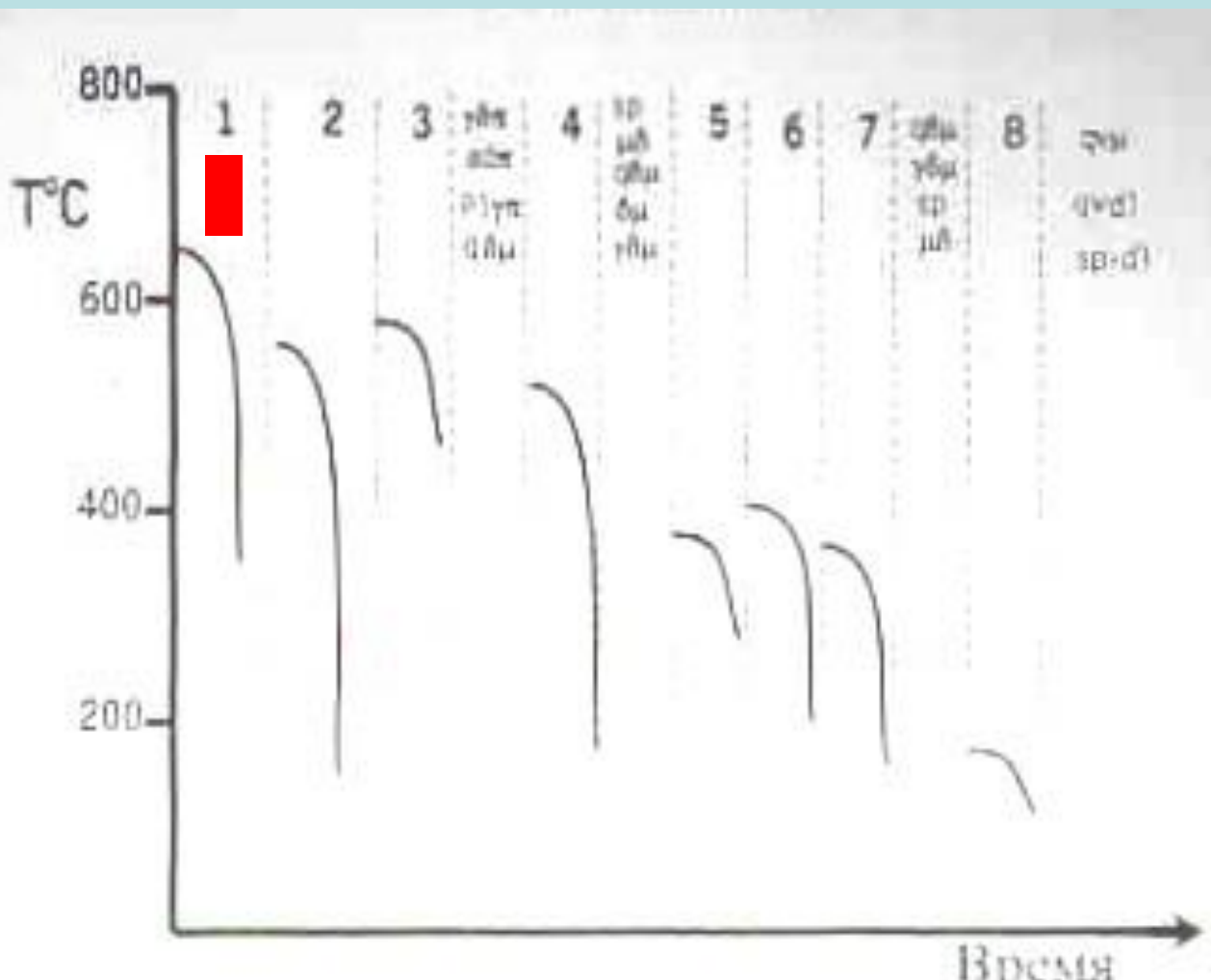
-

НИЗКО ЩЕЛОЧНЫЕ И

НИЗКО ФТОРИСТЫЕ

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Стандартная инверсионная (соскладчатая) тоналит-гранодиоритовая формация – каледонский крыккудукский комплекс севера Центрального Казахстана



Послеинтрузивные метасоматические формации :

1. Mg скарны
2. Са скарны
3. Кварц-мусковит. метасоматиты
4. К пропилиты
5. Na пропилиты
6. Гумбеиты
7. Березиты – листвениты
8. Аргиллизиты

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Колл. и фото ЭМС

Доломитовые
мраморы

Шпинель-
форстеритовые
кальцифиры с
редким
людвигитом

Шпинель-
форстеритовые
скарны

Шпинель-
фассаитовые
скарны

Габбро

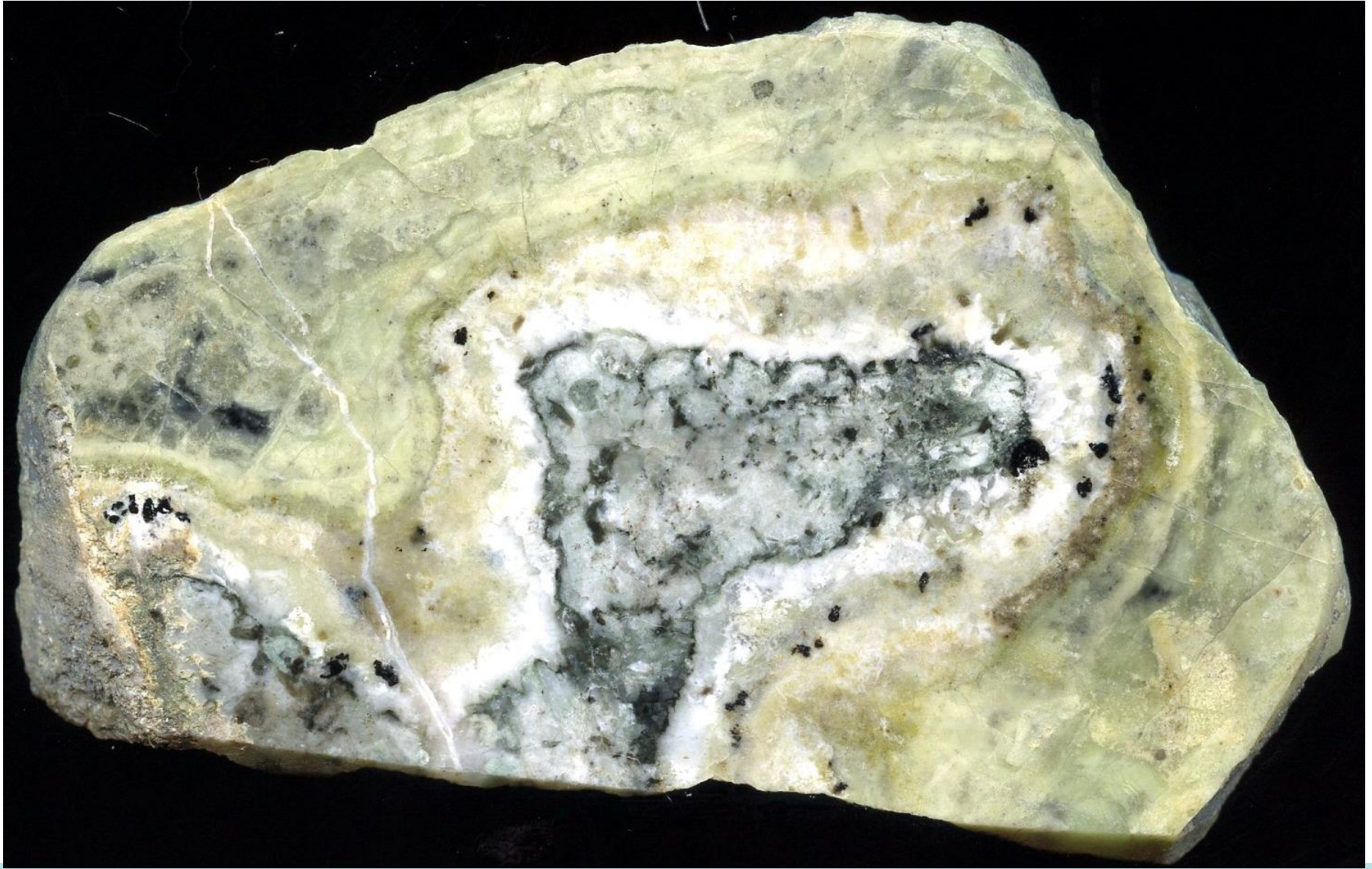
Фассаит-
плагиоклазовые
эндоскарны

103x73 мм

В скарнах тёмные полосы – серпентин+мт

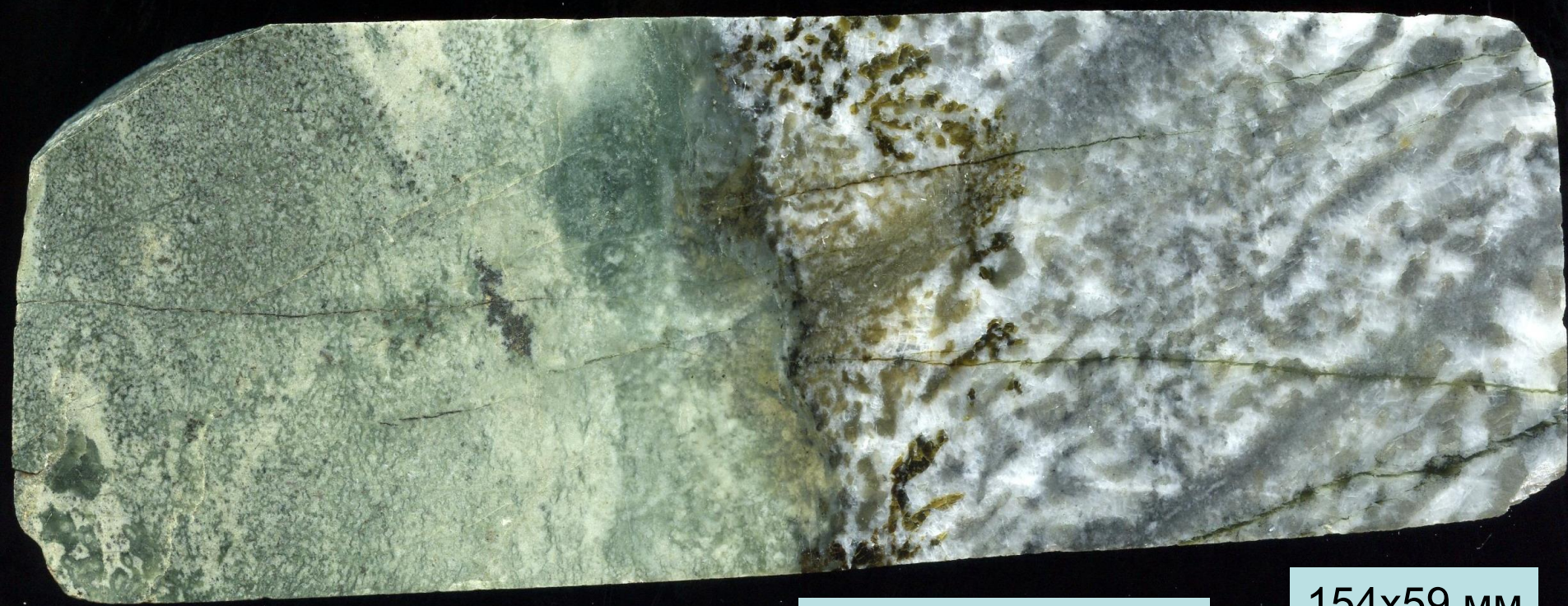
Полная колонка магнезиальных скарнов на контакте доломитов раннего рифея и габбро Кусинско-Копанского интрузива среднего рифея. Ахматовская копь. Шишимские горы, ЮЗ Урал

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ



Зональные скарны: в центре Fe-фассаит - плагиоклазовые эндоскарны, далее скарны фассаитовые (белёдые) с редкой шпинелью, далее – скарны форстеритовые. 93x58 мм. Фото Э.М. Спиридонова

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

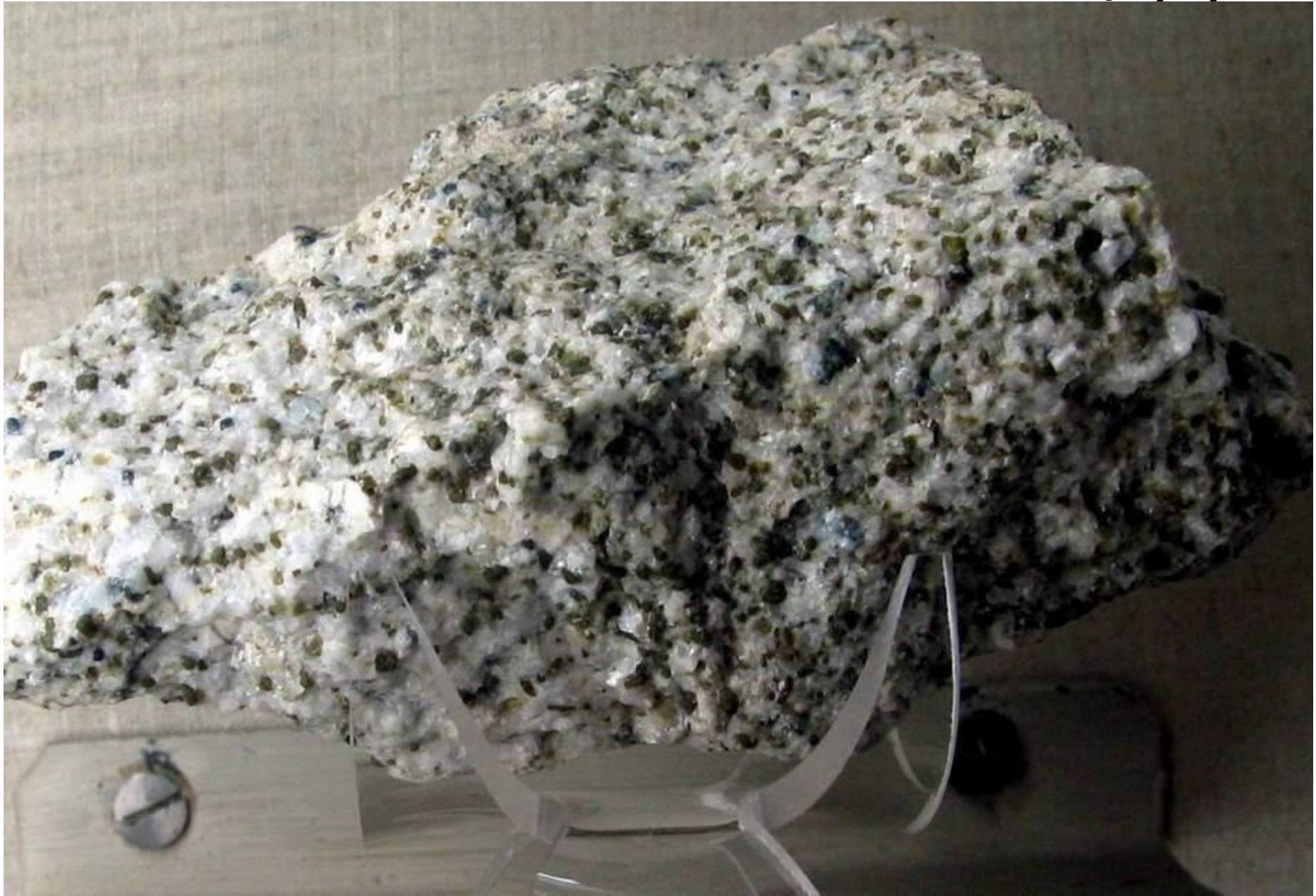


154x59 мм

Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

Зональные скарны: светлая зона – форстеритовые кальцифиры, зелёная зона – шпинель - фассаитовая. Местами наложенная серпентинизация и тонкая вкрапленность халькопирита. Ольховское, Восточный Саян.

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры



Кальцифиры с форстеритом. Река Хантасынах, Анабарский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры

92x55 мм



Крупнозернистые двукарбонатные форстеритовые кальцифиры. Кухи-Лал, Памир. Фото ЭМС

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры



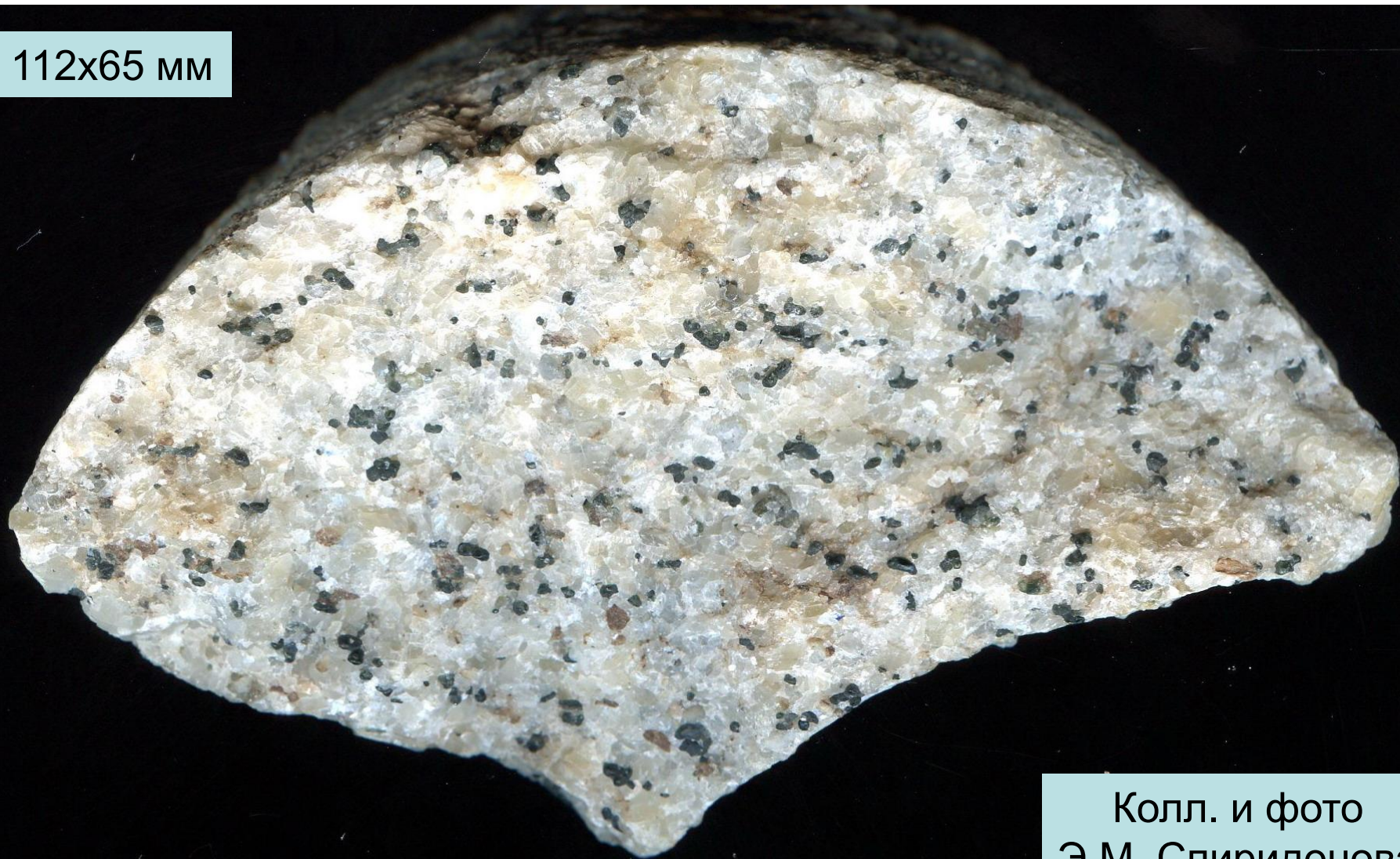
Типичные
кальцифиры
двукарбонатные
с форстеритом
и шпинелью.
Алданский щит

Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

50 мм

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры

112x65 мм



Колл. и фото
Э.М. Спиридонова

Типичные кальцифиры двукарбонатные с форстеритом, диопсидом и шпинелью. Алданский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры

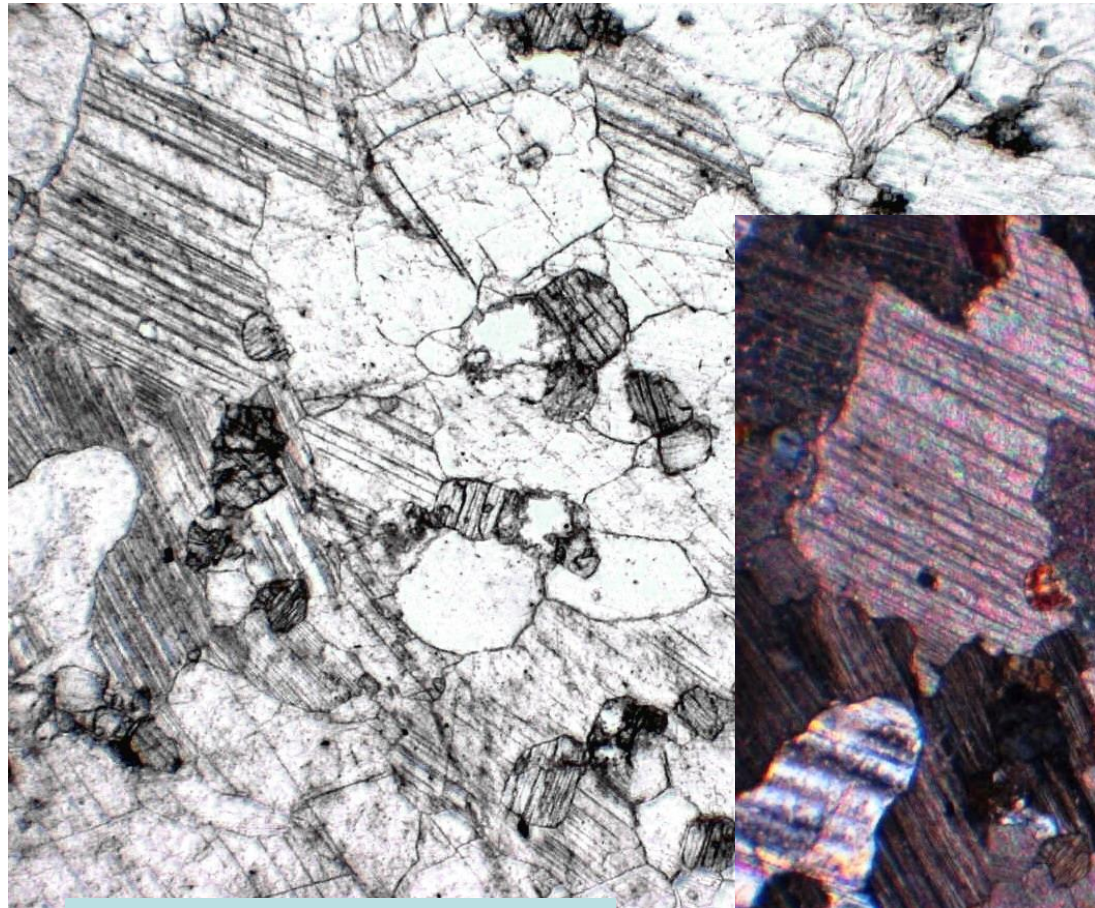
99x92 мм



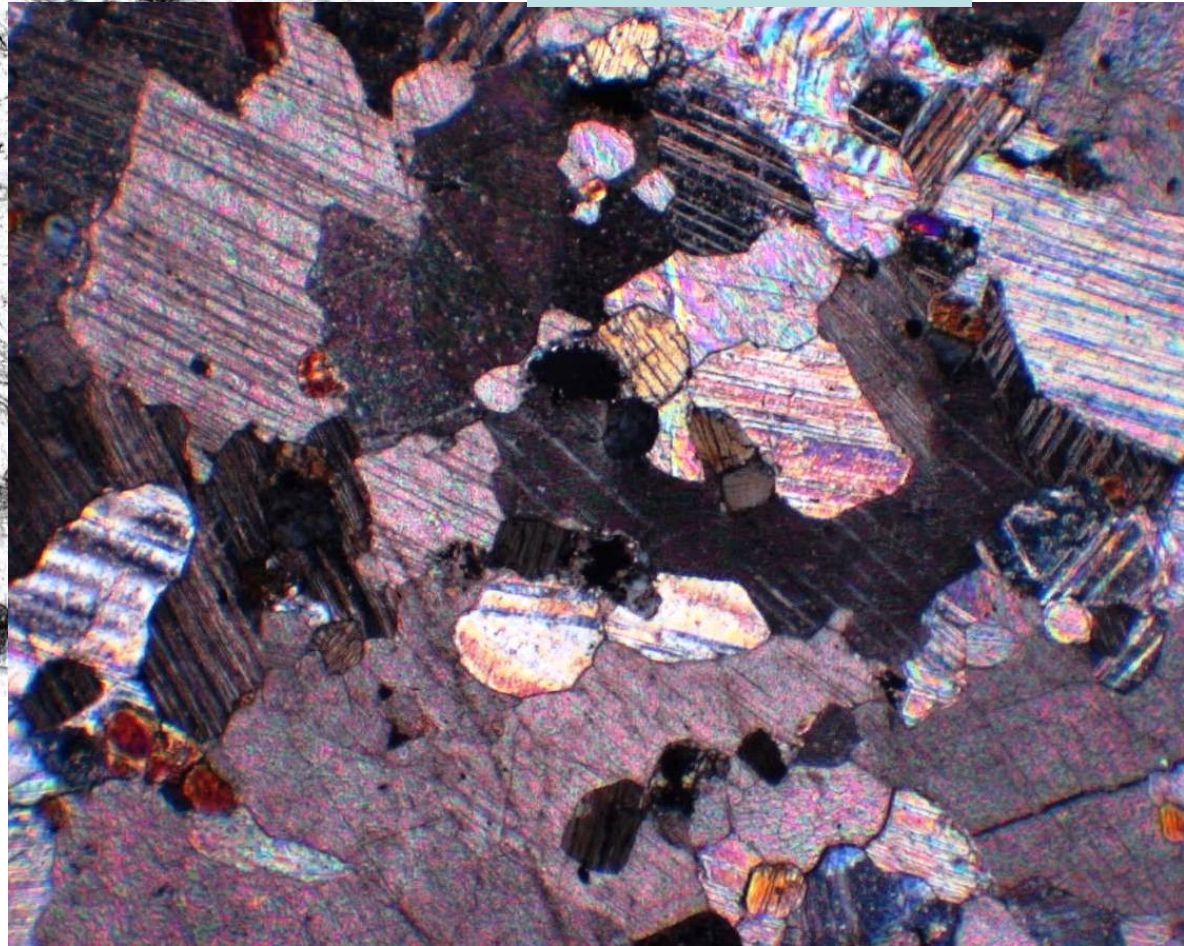
Колл. и фото
Э.М.
Спиридонова

Кальцифиры двукарбонатные с форстеритом, клиногумитом и синей шпинелью. Поздний флогопит. Белая выемка, Байкал

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры



Шлиф. Николи х



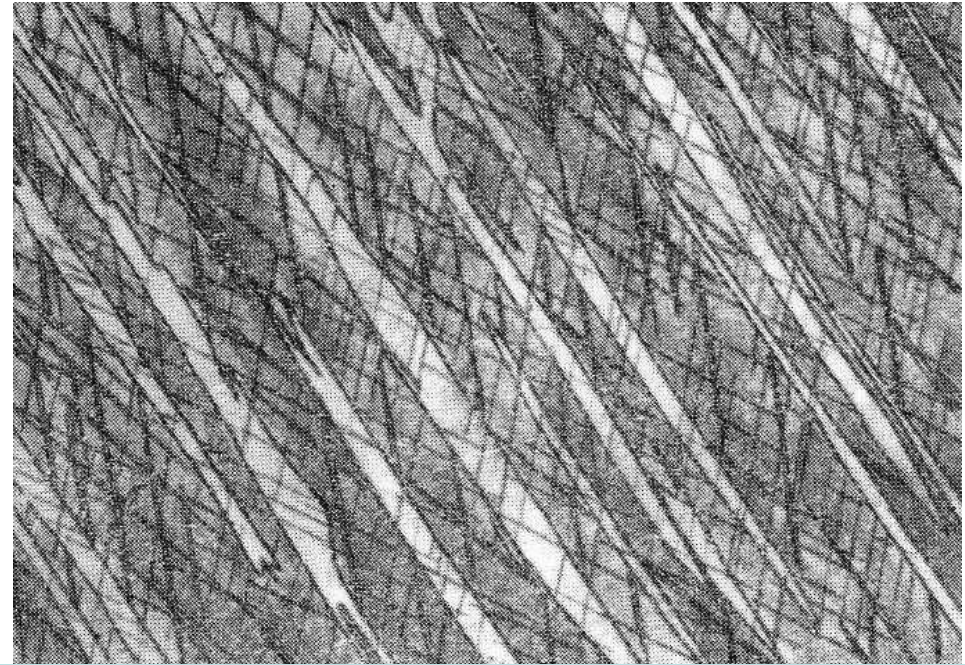
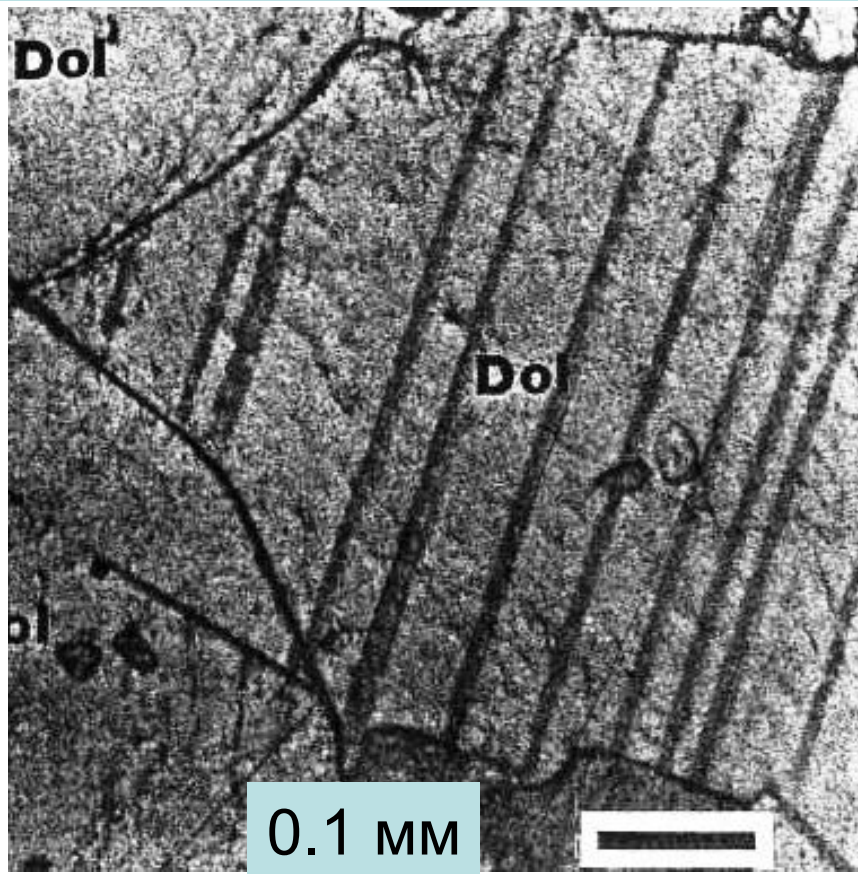
Шлиф. При 1 николе

Фото Э.М. Спиридонова

Доломит-кальцитовые кальцифиры с диопсидом.
Ермаковское, Забайкалье

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры

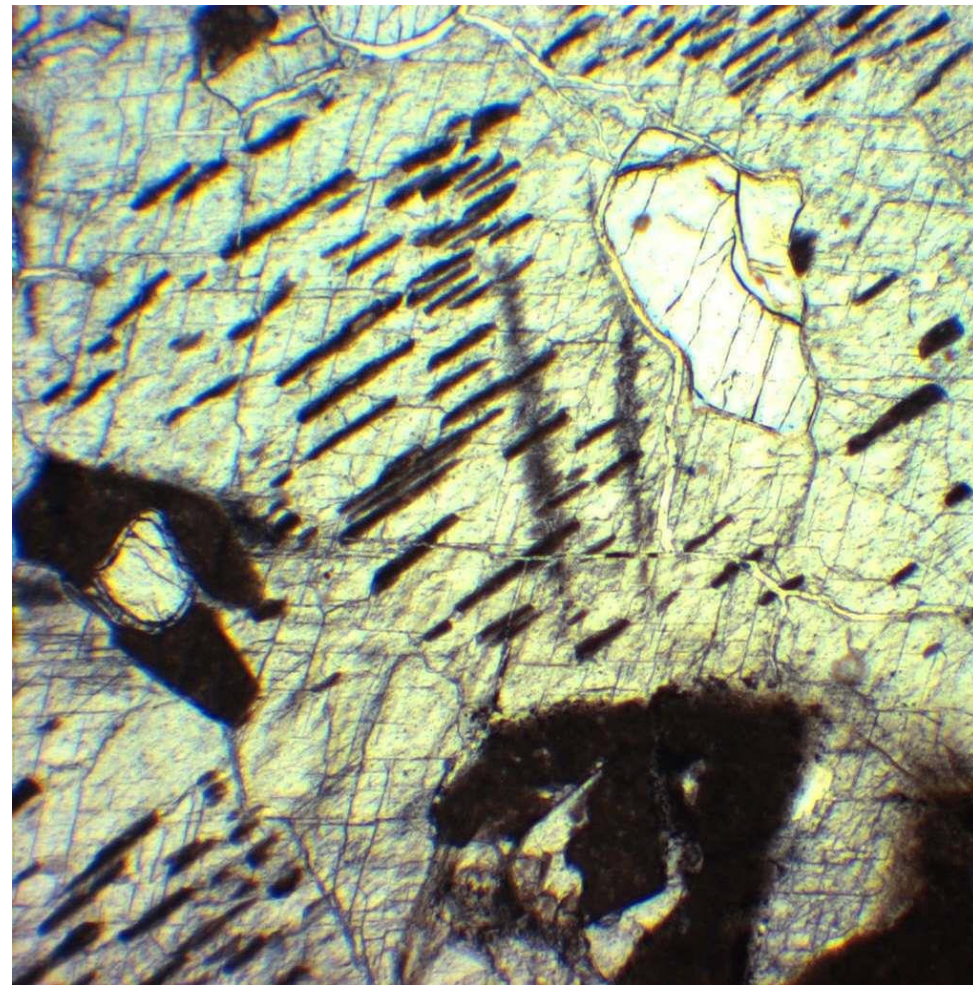
Для магнезиальных скарнов характерны двукарбонатные кальцифиры, сложенные магнезиальным кальцитом и кальциевым доломитом. Оба минерала при отжиге испытывают распад твёрдого раствора. Кальцит с ламеллями распада доломита – типоморфный минерал магнезиальных скарнов. Иногда такие структуры видны в обычных шлифах. Часто для их выявления необходимо непокрытый шлиф слегка протравить кислотой и капнуть красными чернилами, - прокрашивается только доломит.



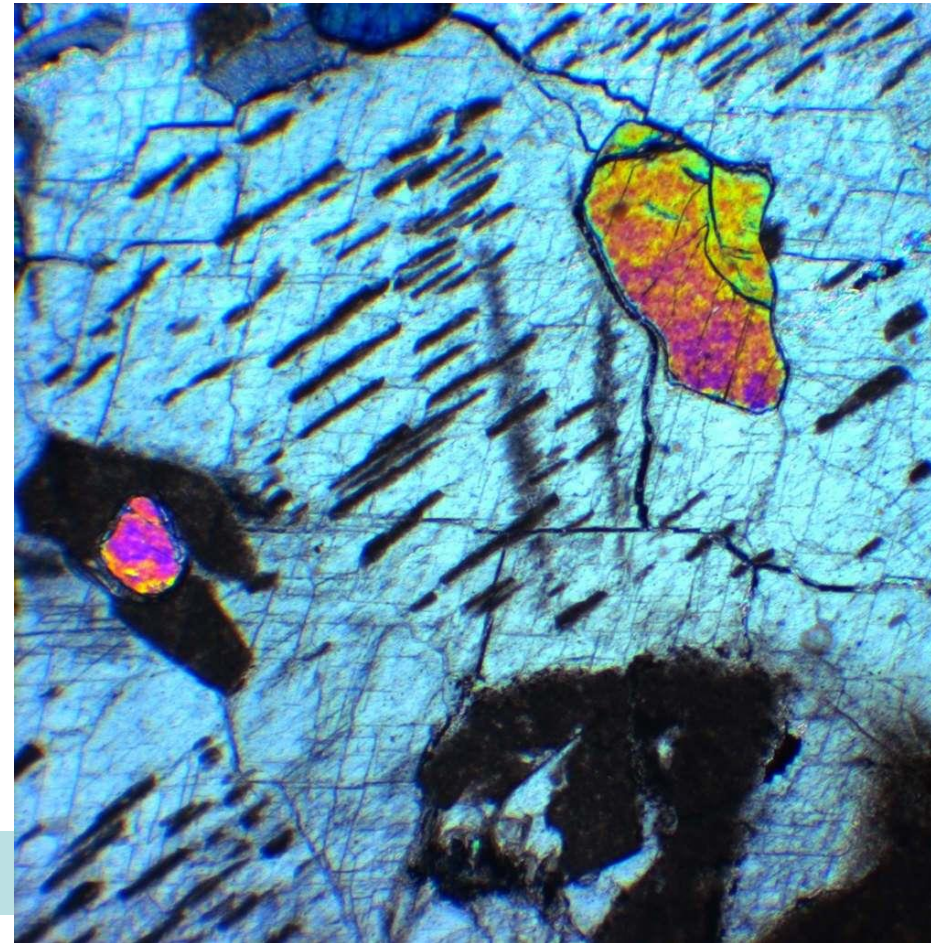
Шлифы. Николи х. Ламелли распада доломита (слева тёмные, справа светлые) в матрице кальцита

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры

Шпинель-форстеритовые
кальцифиры.
Слюдянка, Байкал



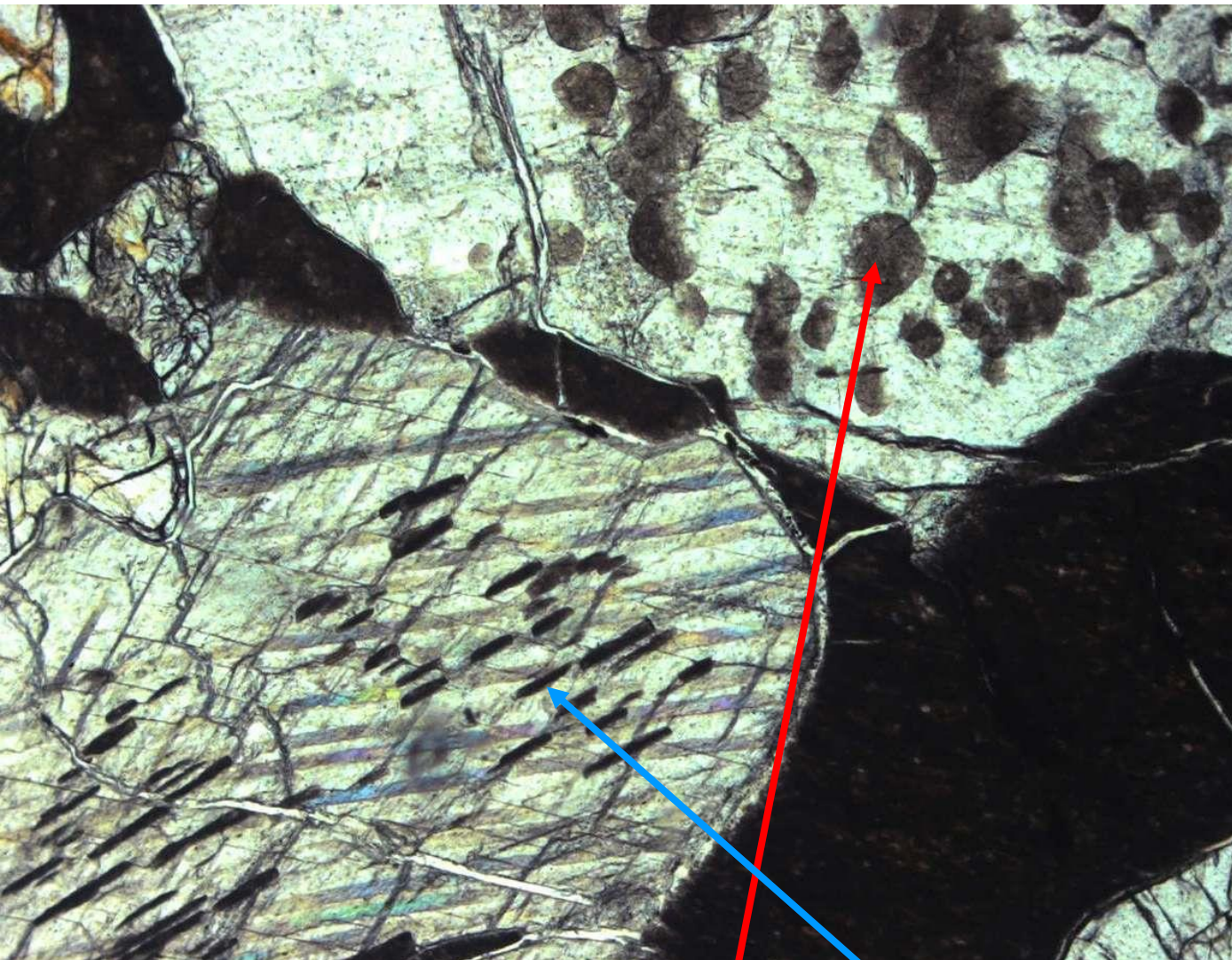
Шлиф. При 1 николе



Шлиф. Николи х

Ламелли распада доломита (тёмные) в матрице кальцита. Фото ЭМС

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры



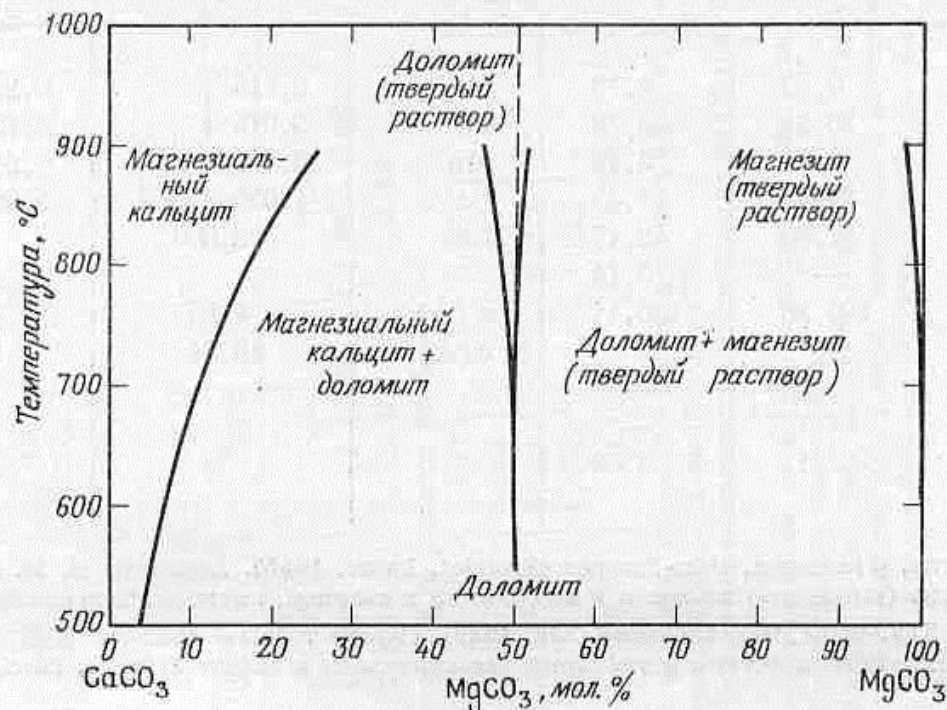
Шпинель-форстеритовые кальцифиры. Слюдянка, Байкал

Шлиф.
При 1 никеле.
Фото Э.М.
Спиридонова

Ламелли распада доломита (тёмные) в матрице кальцита. Обратите внимание на форму ламеллей в двух разных сечениях кристаллов кальцита – продольном и поперечном. Для оценки состава протокарбоната (протокальцита) годится только последнее

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Кальцифиры

Кальцит – доломитовый геотермометр



Ф и г. 53. Система CaCO₃ — MgCO₃ при давлениях CO₂, достаточных для предотвращения диссоциации карбонатов (Goldsmith, 1959).

С помощью микрозонда, анализируя площадки, можно оценить состав протоминералов — Mg кальцита и Ca доломита и получить оценку T формирования скарнов

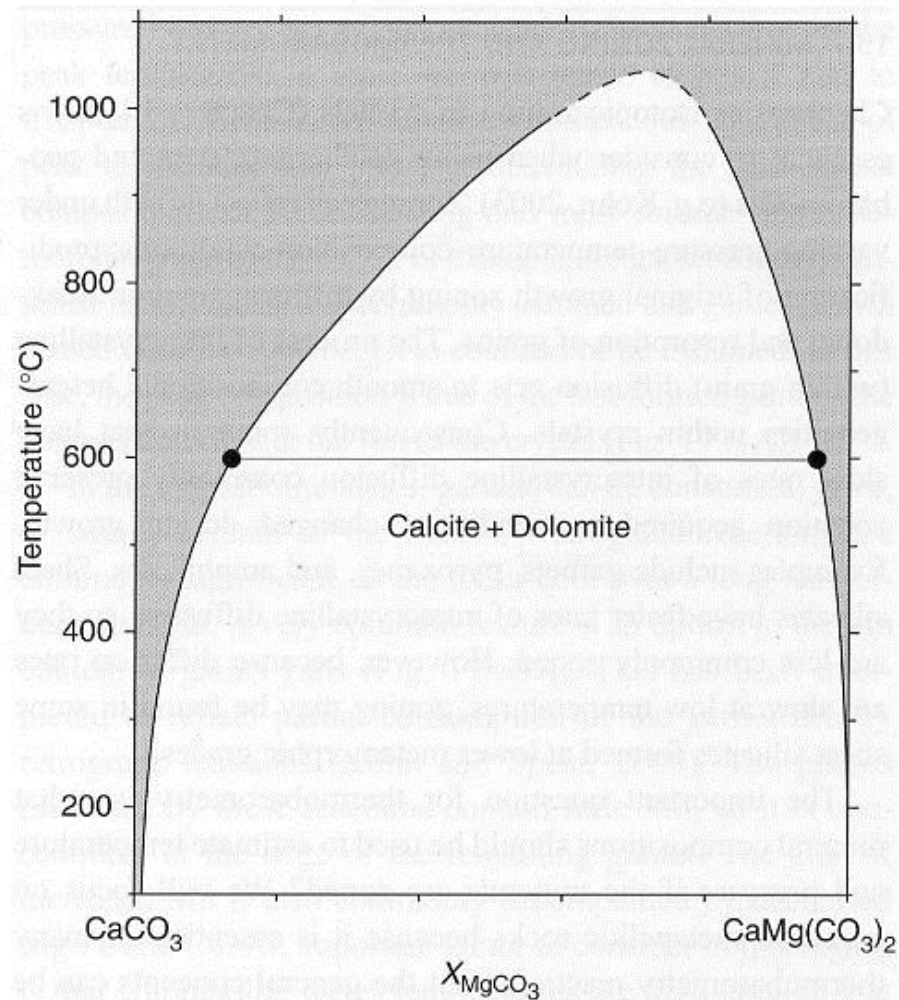


Fig. 19.4 The calcite–dolomite solvus (modified after Anovitz and Essene, 1987, and references cited therein.) Example tie-line shows compositions of coexisting calcite and dolomite at 600 °C.

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Форстеритовые



Прожилки инфильтрационных форстеритовых скарнов секут доломитовые мраморы поперёк слоистости.

Долина реки Арда, Восточные Родопы, Болгария. Фото Э.М. Спиридонова

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Форстеритовые

109x83 мм



Инфильтрационные форстеритовые скарны секут поперёк слоистости доломитовые мраморы. Внизу – шпинель-форстеритовые скарны. Долина реки Арда, Восточные Родопы, Болгария. Колл. и фото ЭМС

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Форстеритовые



Глубинные форстеритовые скарны, заместившие магнезитовые мраморы. На переднем плане кристаллы прозрачного бесцветного форстерита Mg_{100} из этих скарнов, размер кристаллов 20 мм. Кухи-Лал, Памир

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Форстеритовые

91x72 мм



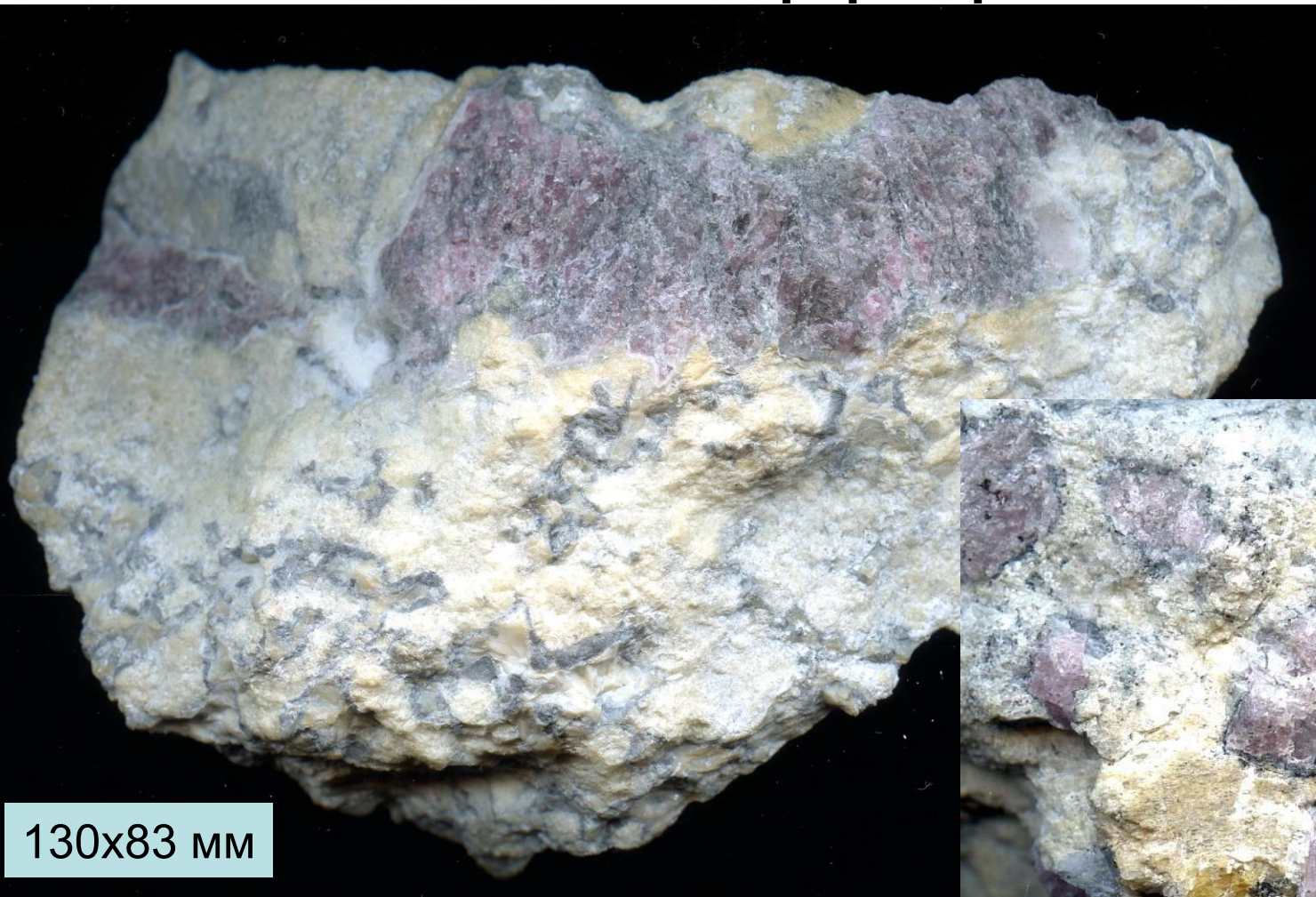
47x36 мм



Глубинные форстеритовые скарны, заместившие магнезитовые мраморы. Практически бесцветный форстерит Mg_{100} , размер кристаллов до 25 мм. Немного пирротина. Кухи-Лал, Памир. Фото Э.М. Спиридонова

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

шпинель - форстеритовые



130x83 мм

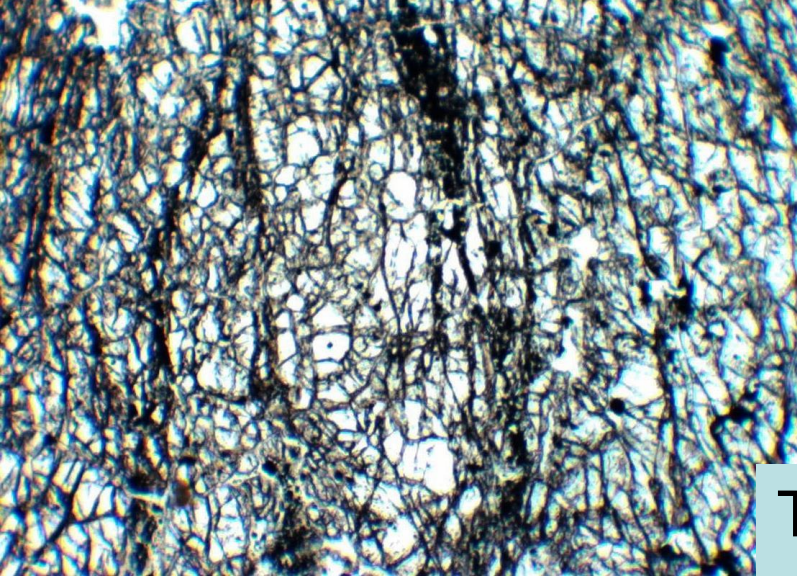


35x30 мм

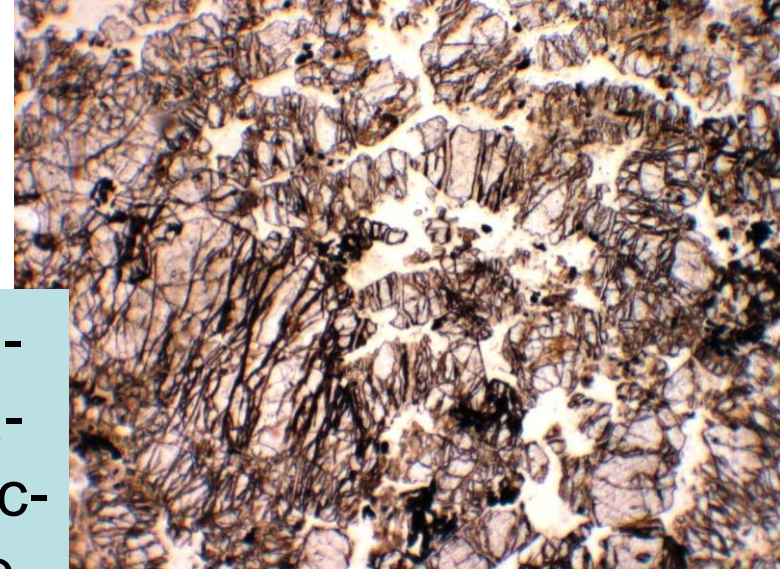
Глубинные крупнокристаллические шпинель - форстеритовые скарны, заместившие магнезитовые мраморы. Кухи-Лал, Памир. Фото ЭМС

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Форстеритовые

Состав форстерита обычно Mg_{100-94} , редко более железистый. Форстерит скарнов практически не содержит никель и хром



Шлифы.
При 1
нике



Ер-
ма-
ковс-
кое,
За-
бай-
ка-
лье

Тырны-
Ауз,
Кавказ

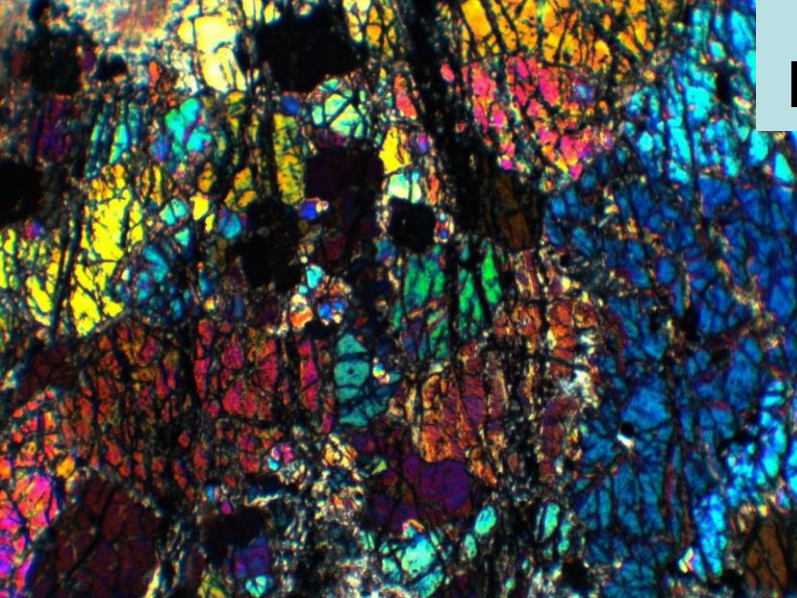
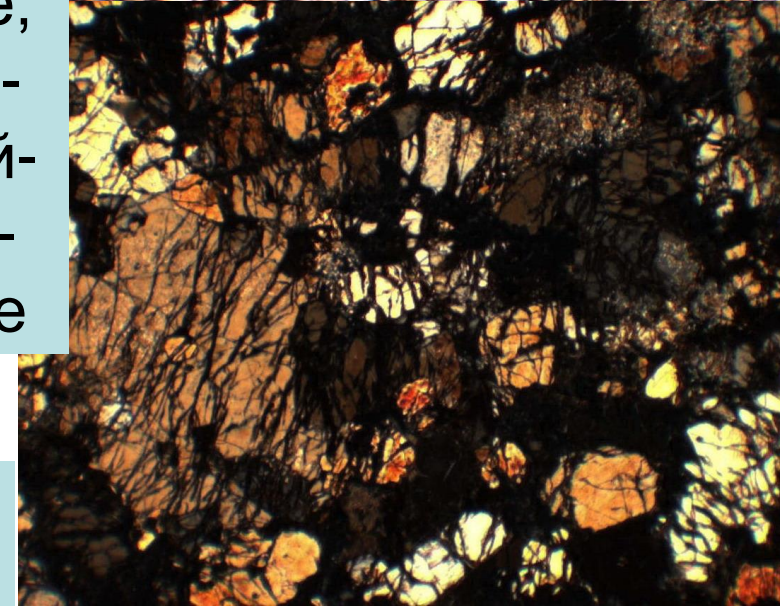


Фото
ЭМС

Шлифы.
Николи х



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Форстеритовые

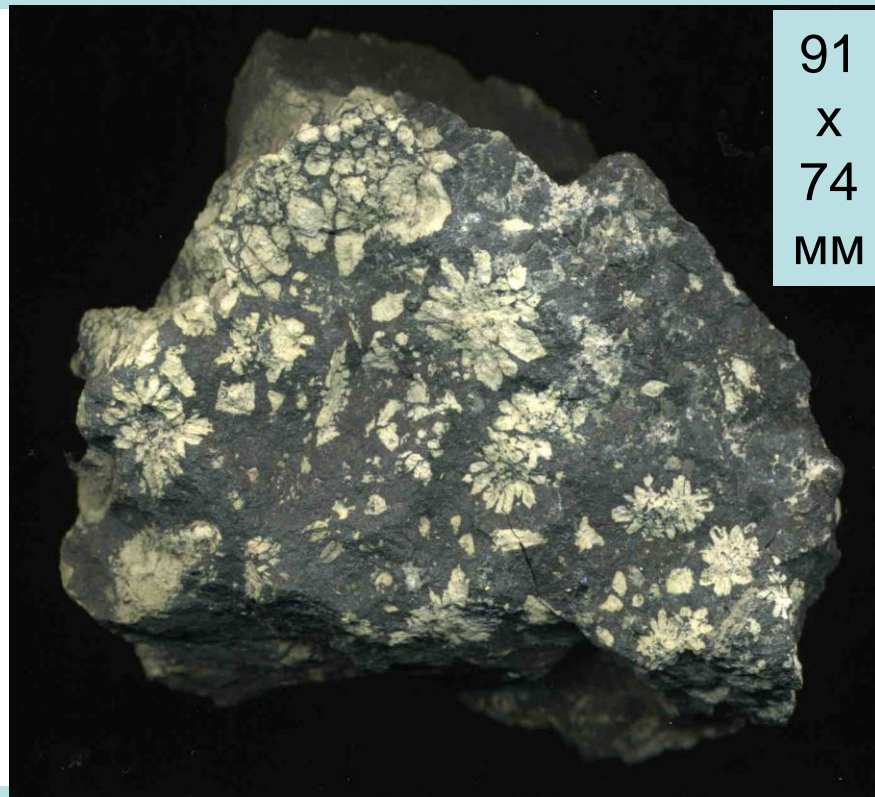
В трубках взрыва базальтов и около них.

Коршуновское, Ангаро-Илимская провинция, Вост. Сибирь

178x
125
мм



91
x
74
мм



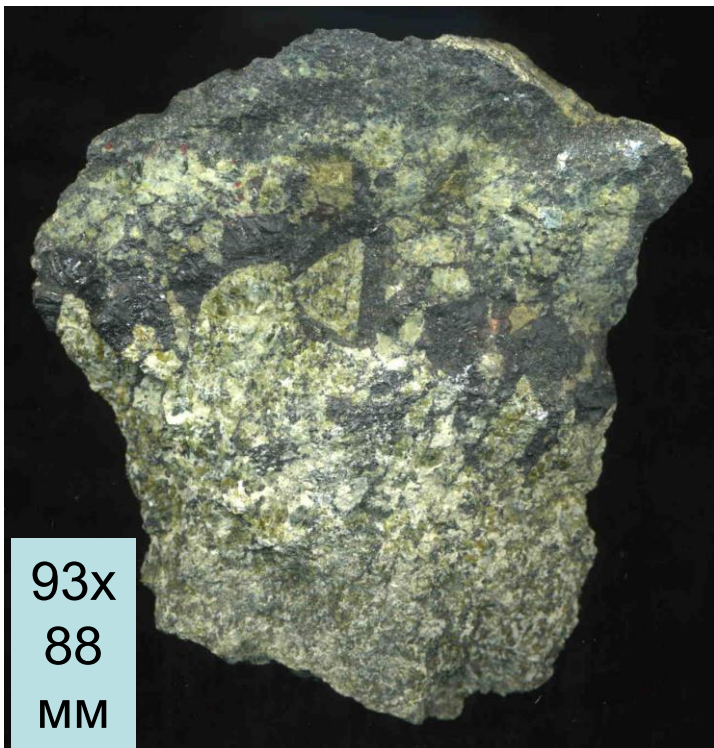
Жильные магнетит-форстеритовые скарны
(среди известковых скарнов гроссуляр-
диопсидового состава с магномагнетитовым
оруденением).

Глубокие горизонты железорудного карьера.
Колл. и фото Э.М. Спиридонова

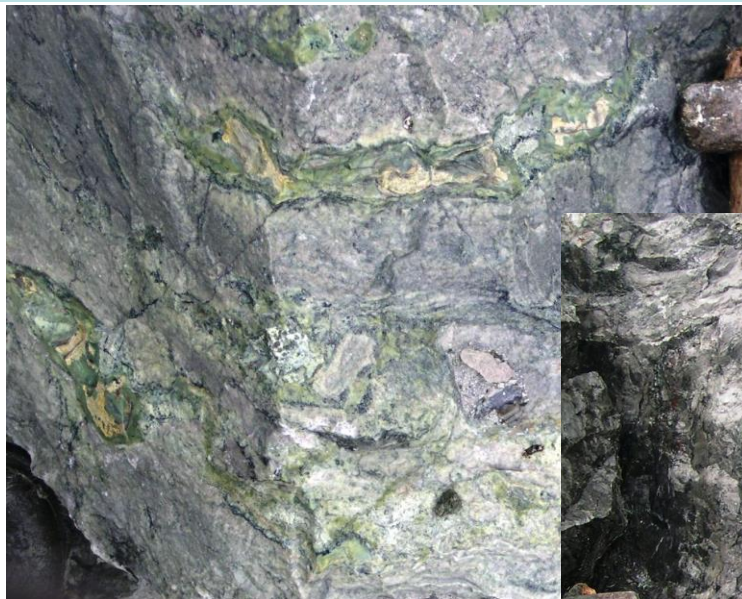
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Форстеритовые

В трубках взрыва базальтов и около них.

Коршуновское, Ангаро-Илимская провинция, Вост. Сибирь



Жильные шпинель-
монтичелит-
форстеритовые скарны
(среди известковых
скарнов)

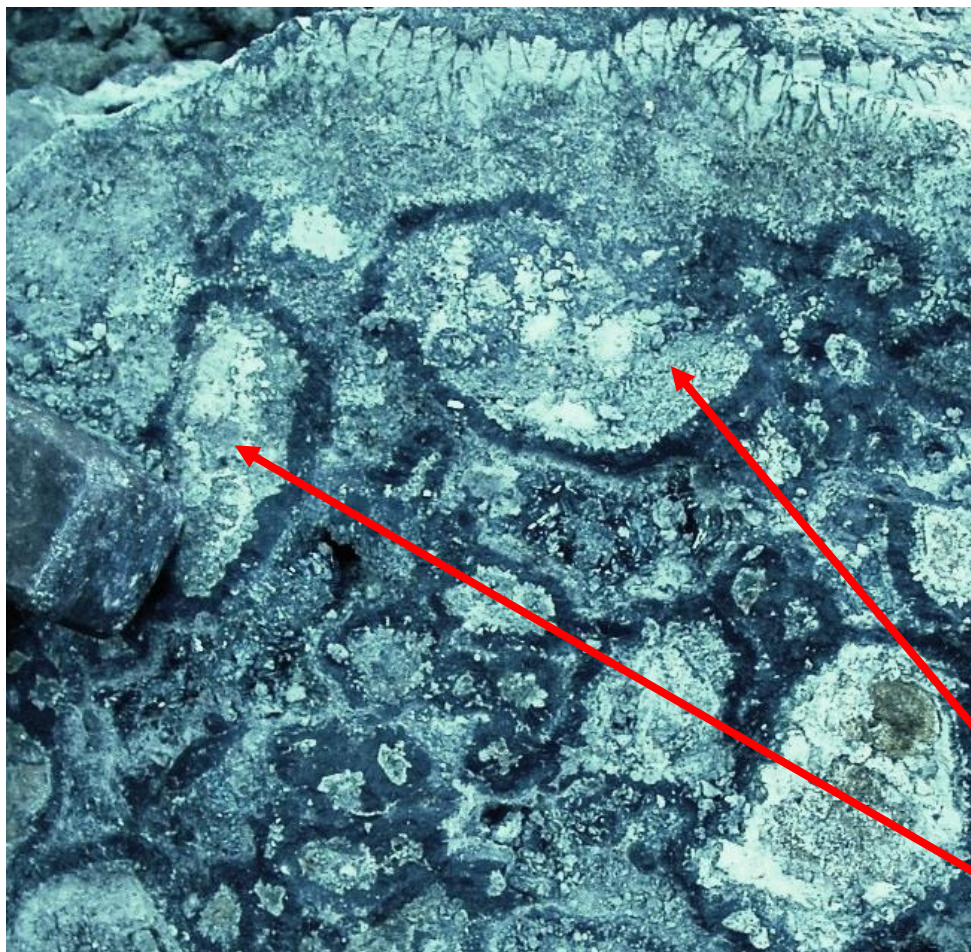


Колл. и
фото ЭМС

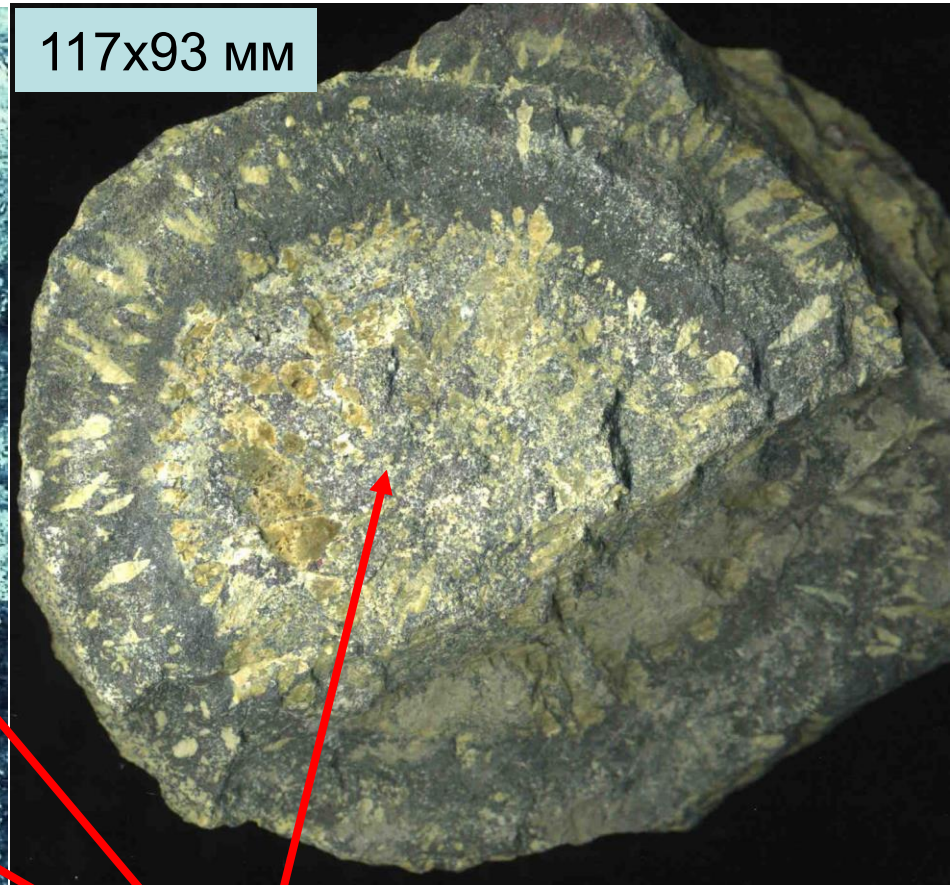
Жильные, в том числе ритмично полосчатые, магнезиальные скарны в околотрубочных доломитах кембрия. Форстеритовые скарны часто замещены серпентином – лизардитом с примесью тонкодисперсного магнетита (тёмные полосы)

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Форстеритовые

В трубках взрыва базальтов и около них



117x93 мм



Колл. и фото ЭМС

На обломки известковых гроссуляр-диопсидовых скарнов с магнетитом и везувианом выросли крупнозернистые шпинель-монтичелит-магнетит-форстеритовые магнезиальные скарны

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ



101x71 мм

Глубинные энстатит-форстеритовые скарны. Практически безжелезистый состав форстерита и энстатита обусловлен тем, что скарны заместили чистые магнезитовые мраморы, остатки железа связаны в сингенетичном пирротине. Кухи-Лал, Памир. Фото ЭМС

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Энстатитовые

В магнезиальных скарнах абиссальной фации вместо
клинопироксенов развиты ромбопироксены



Мульводж, ЮЗ Памир,
Таджикистан



81x
69 мм

Практически безжелезистый состав энстатита обусловлен тем,
что скарны заместили магнезитовые мраморы.
Остатки железа связаны в сингенетичном пирротине. Фото ЭМС

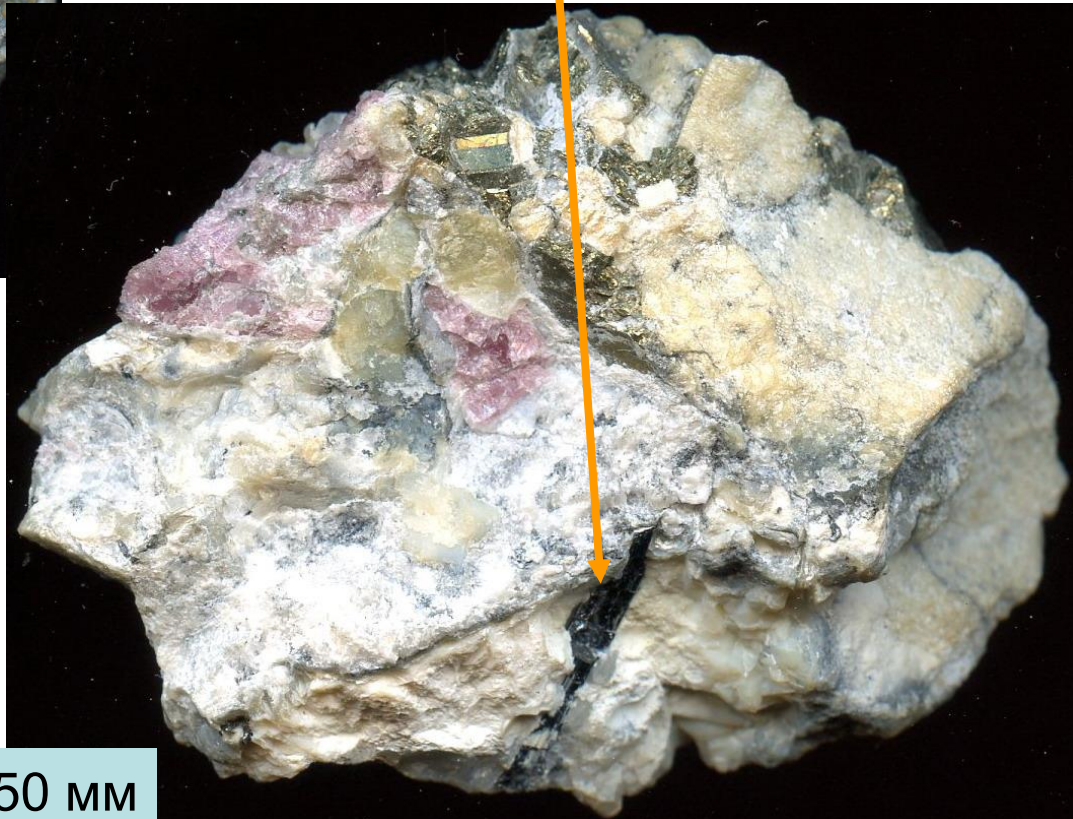
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Энстатитовые

В магнезиальных скарнах абиссальной фации вместо клинопироксенов развиты ромбопироксены. Кухи-Лал, Памир



Крупнокристаллические
шпинель-энстатитовые
скарны. 63x42 мм

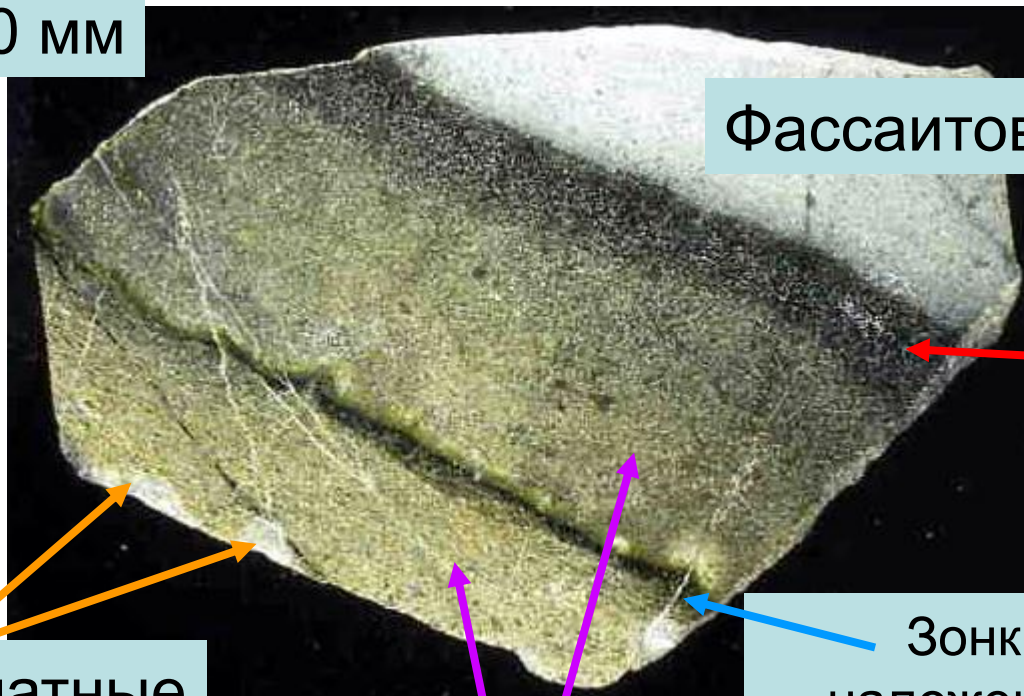
Крупнокристаллические
шпинель-форстеритовые
скарны с ильменитом и пирротинном



66x50 мм

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

130 мм



Фассаитовые скарны

Шпинель-форстеритовые скарны

Зонка наложенной серпентинизации

Форстеритовые скарны

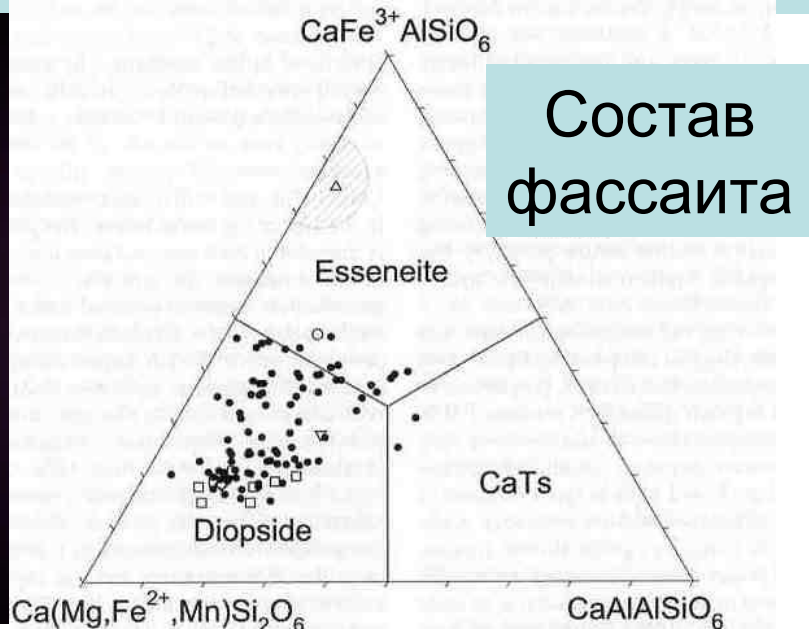
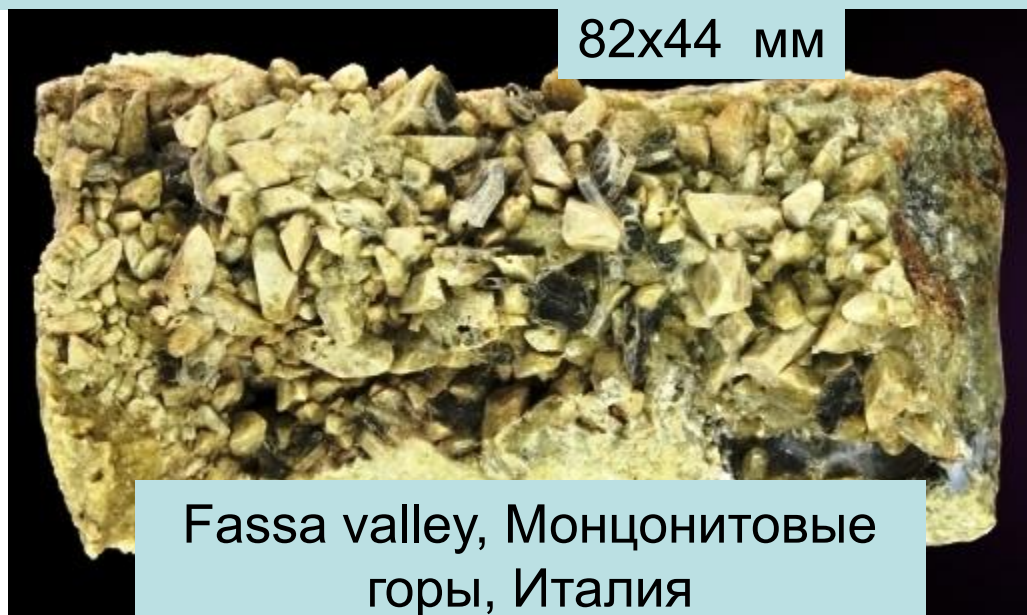
Колл. и фото ЭМС

Двукарбонатные кальцифиры

Стандартные магнезиальные скарны. Развиты на контакте доломитов венда и гранодиоритов Южноаксуйского интрузива позднего ордовика. За фассаитовой зоной – сфен-салит-лабрадоровые эндоскарны. Аксу, Северный Казахстан

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Фассаитовые

Фассаит – высокотемпературный твёрдый раствор диопсида $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (или железистого диопсида = салита) – Ca-Al- Чермак CaAlAlSiO_6 и Ca- Fe^{3+} - Чермак $\text{CaAlFe}^{3+}\text{SiO}_6$. Содержание миналов – молекул Чермака обычно 10-30% и до 45%. На пироксеновой трапеции Ca-Mg- Fe^{2+} точки состава фассаита расположены выше линии Ca50. Иногда фассаит определяют как глинозёмистый диопсид, но это не верно. Это особый клинопироксен, бедный кремнезёмом и богатый глинозёмом и кальцием. Макро- и микроскопически фассаит не отличим от диопсида и салита. Фассаит магнезиальных скарнов отличается от фассаита магматитов низкими содержаниями титана и натрия. Фассаит магнезиальных скарнов практически постоянно ассоциирует с зелёной шпинелью.



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ

СКАРНЫ. Фассаитовые

135x99 мм



Кр/крист. шпинель (синяя) –
фассаитовые магнезиальные
скарны. Белая Выемка, Байкал

90 мм

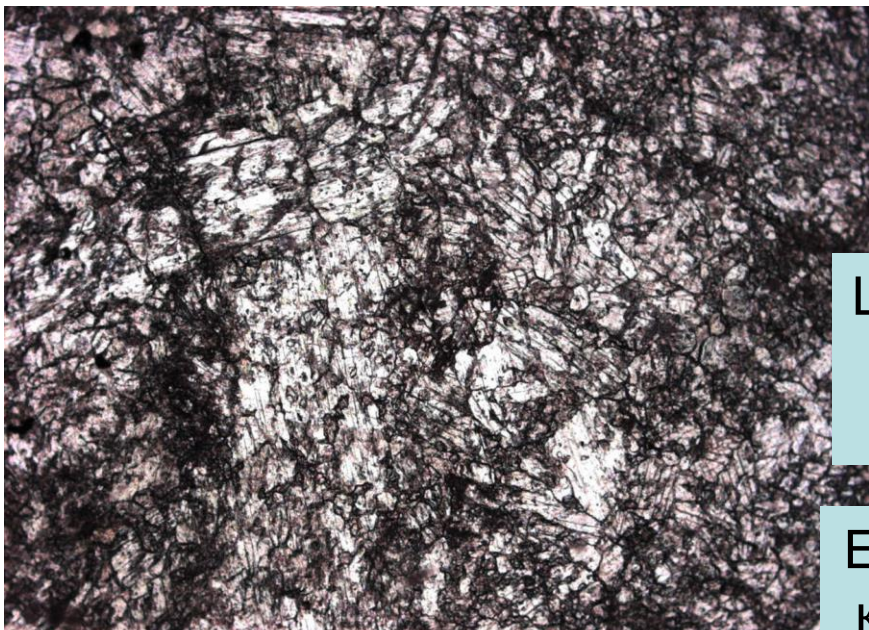
ФОТО
ЭМС



98x
86
мм



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Фассаитовые

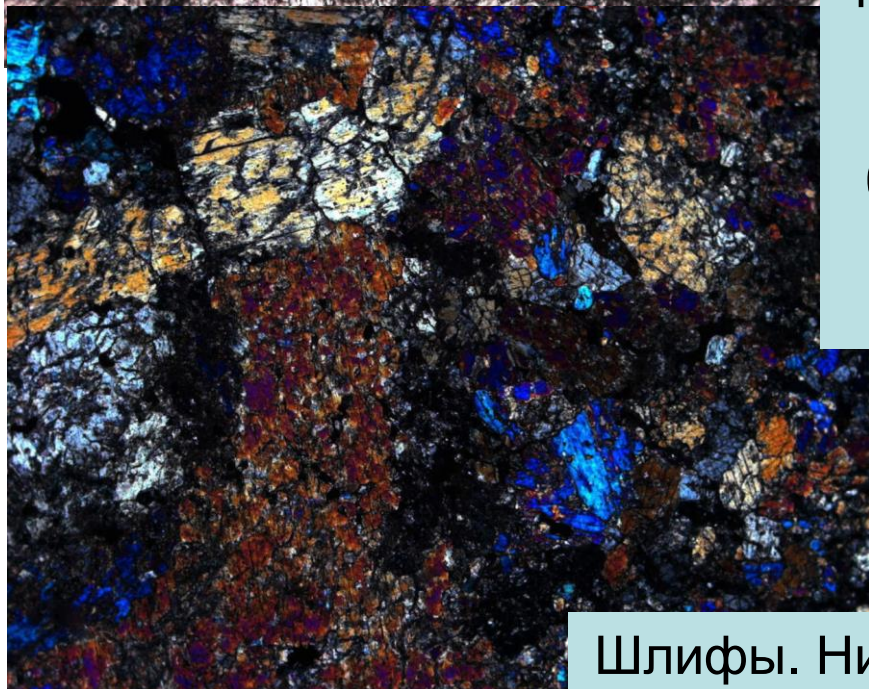


Шлифы.
При 1
нике

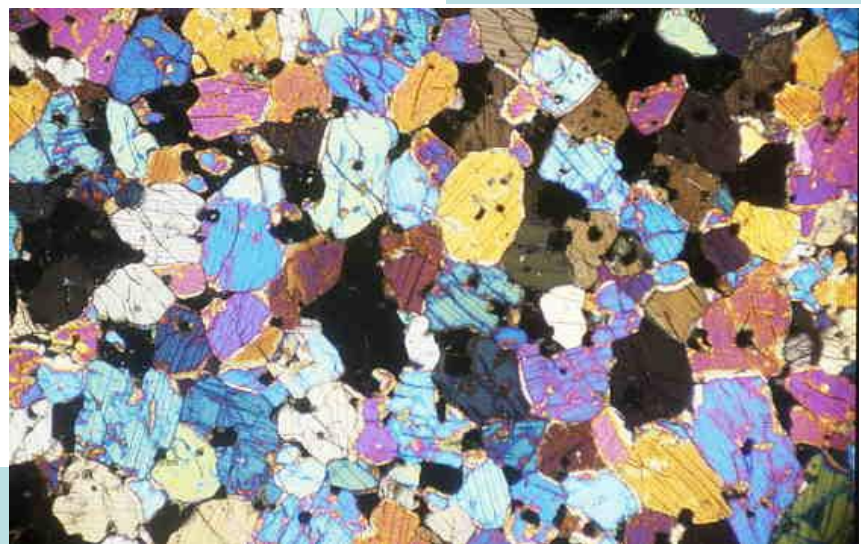


Фото
ЭМС

Со шпинелью.
Таёжное,
Алданский щит



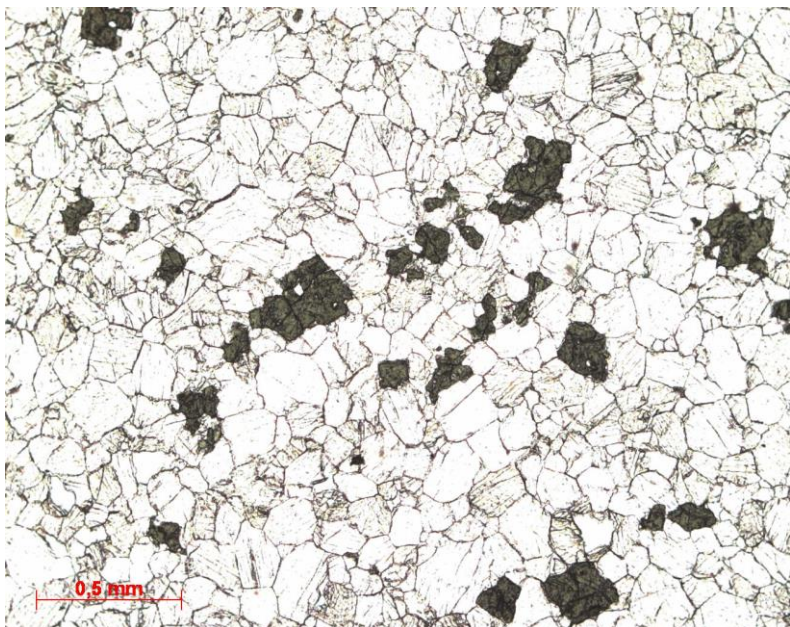
Ерма-
ковс-
кое,
За-
бай-
ка-
лье



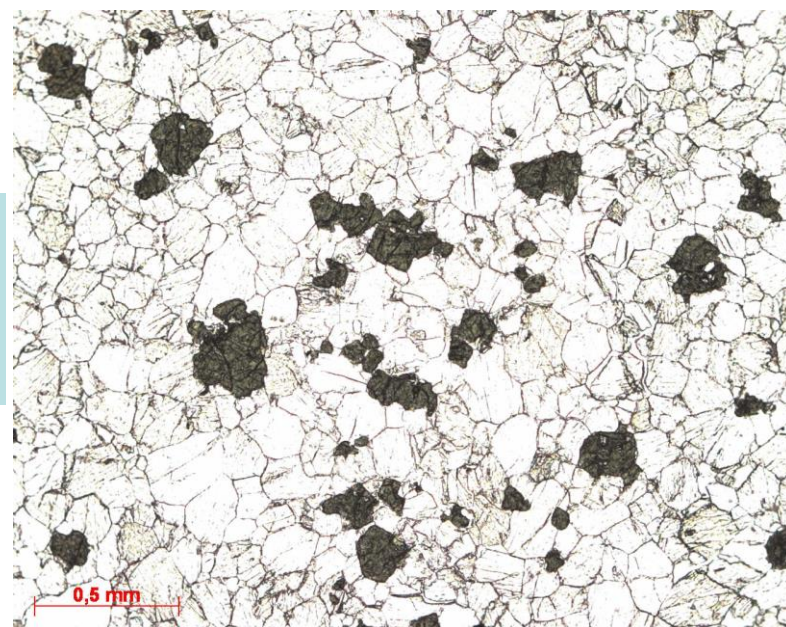
Шлифы. Николи х

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

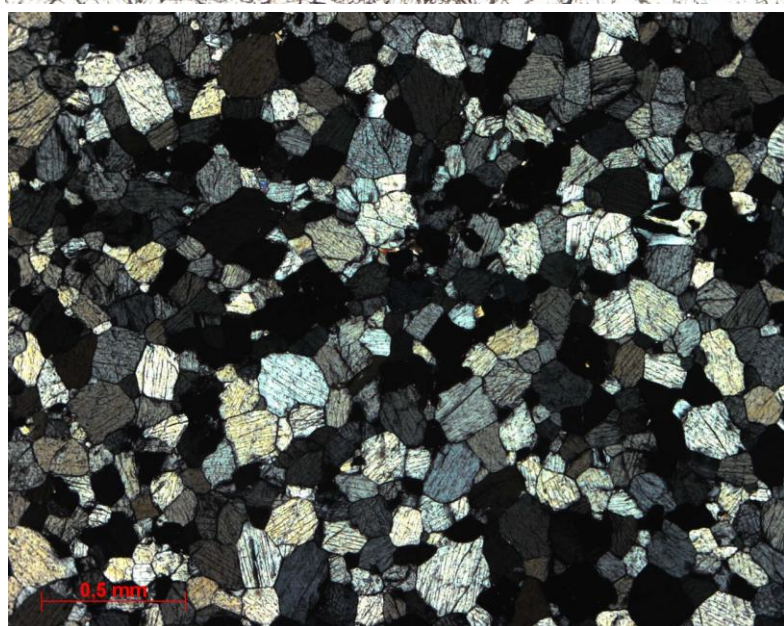
шпинель-фассаитовые. Талнах, Норильское рудное поле



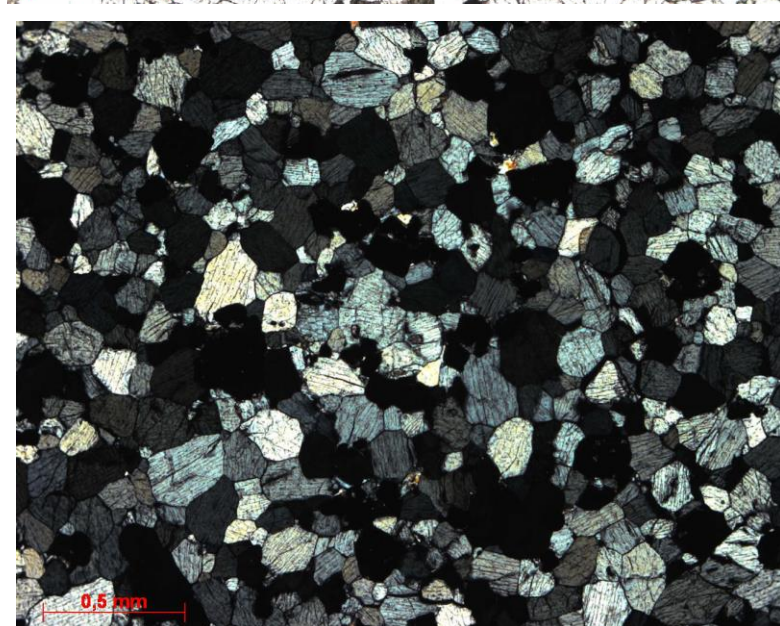
Шлифы.
При 1
нике



Колл.
и фото
ЭМС

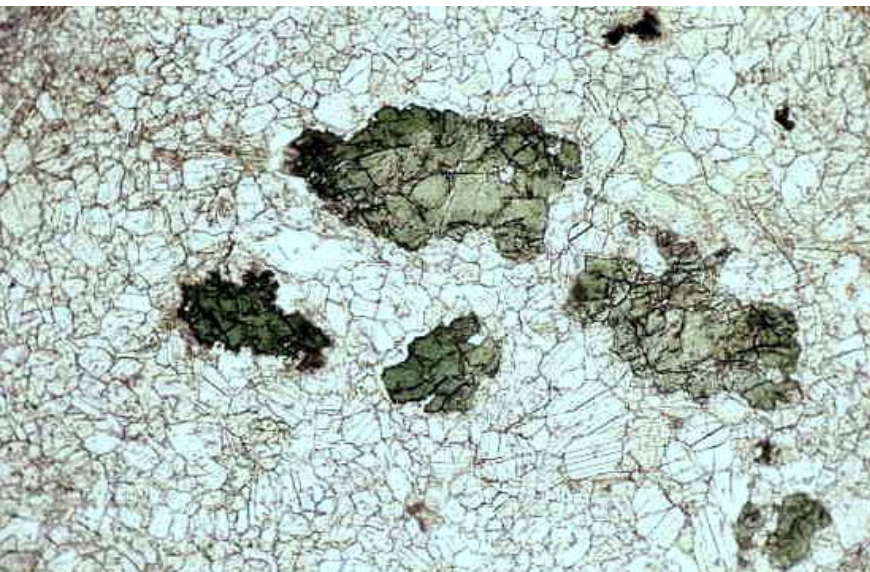


Шлифы.
Николи
x



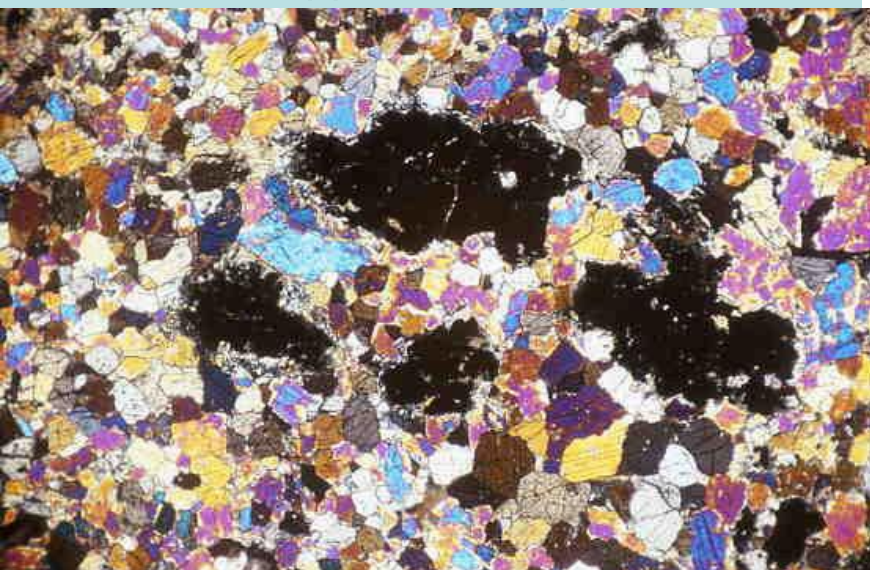
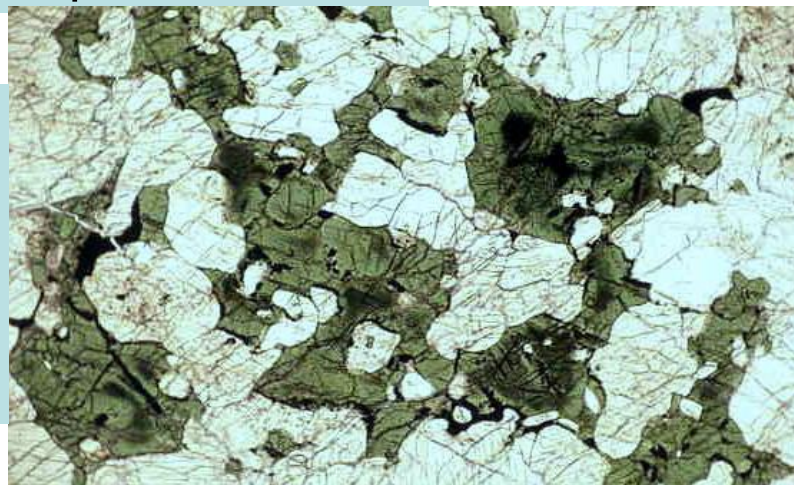
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Фассаитовые

Шлифы. При 1 николе



Со шпинелью. Таёжное,
Алданский щит

Колл.
Н.Н.
Перцева
Фото
ЭМС



Шлиф. Николи х



Ламелли распада магнетита
в зелёной шпинели

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Монтичеллитовые

Монтичеллит $MgCa[SiO_4]$ – кальциевый аналог форстерита, - типичный минерал высокоТ скарнов, существенно недосыщенных кремнезёмом. Монтичеллит обычен в кальцифирах в ассоциации со шпинелью, нередко и с перовскитом. Распространены и шпинель - монтичеллитовые скарны. Одна из возможных реакций образования монтичеллита :



Колл. М.А. Богомолова

70
мм



Крупнокристаллические кальцифиры.
Кондёр, Алданский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Монтичеллит $\text{MgCa}[\text{SiO}_4]$

46x
32
мм



Колл.
М.А.
Богомолова

Фото
Э.М.
Спиридонова

Средне-крупнокристаллические шпинель - монтичеллитовые кальцифиры. Кондёр, Алданский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Монтichelлит $\text{MgCa}[\text{SiO}_4]$

113x83 мм

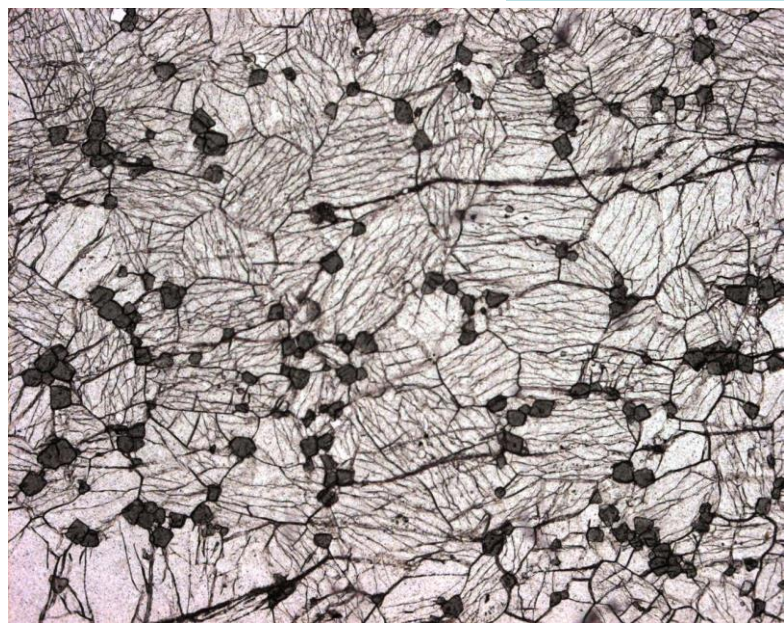
Колл.
М.А.
Богомолова

Фото
Э.М.
Спиридонова

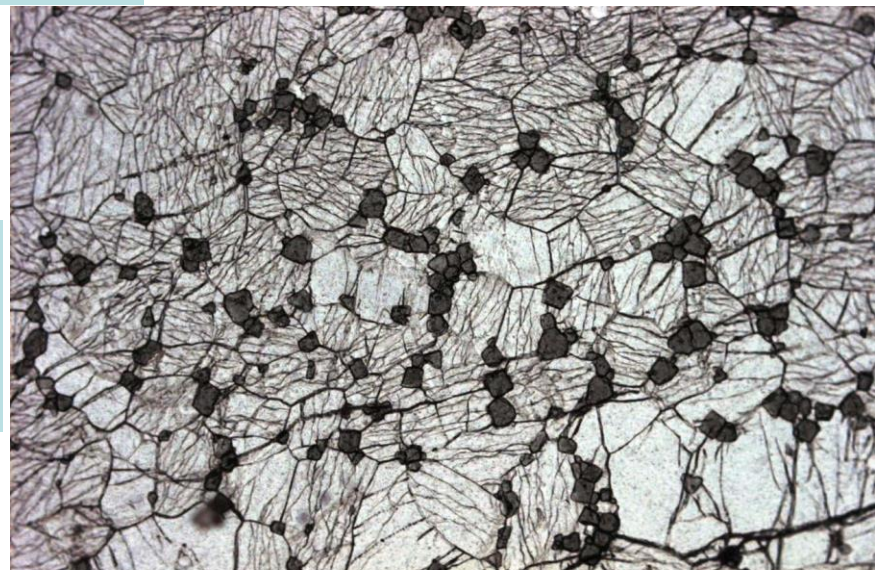
Прожилки монтichelлита (коричневатый) со шпинелью секут форстерит - фассаитовые скарны. Таёжное, Якутия

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Монтичеллитовые

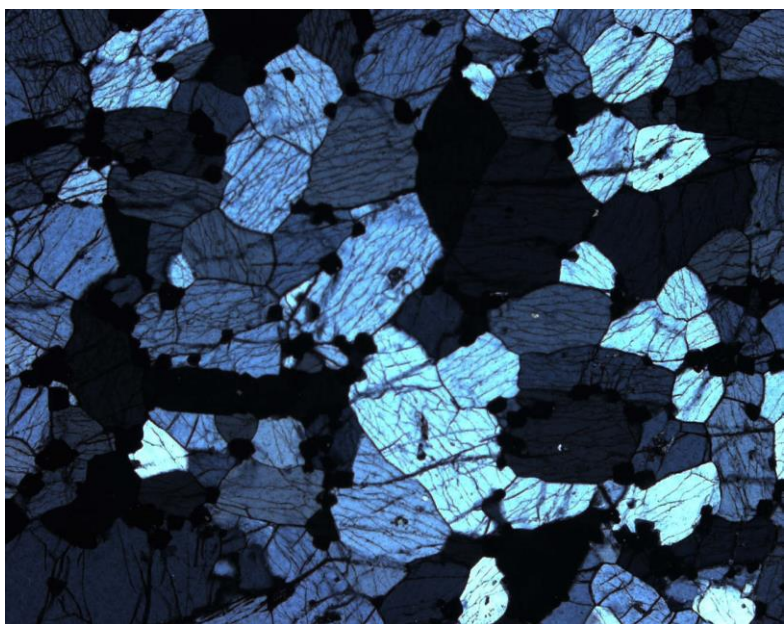
С зелёной шпинелью



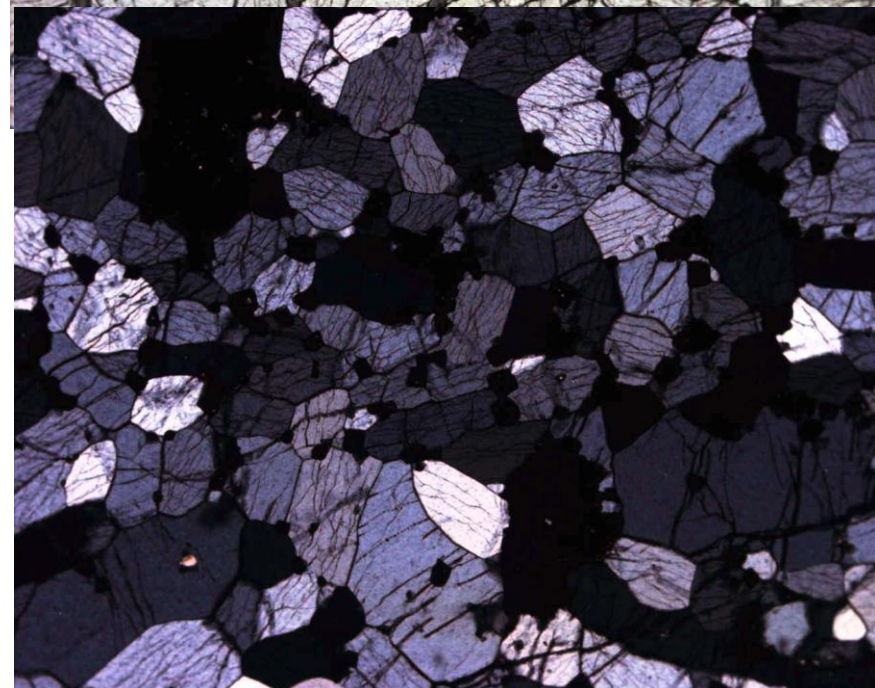
Шлифы.
При 1
никеле



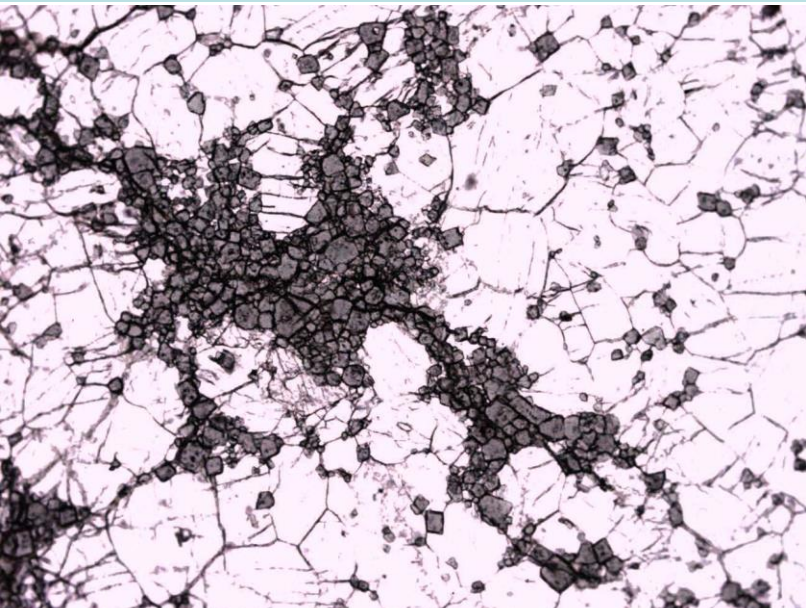
Колл.
и фото
ЭМС



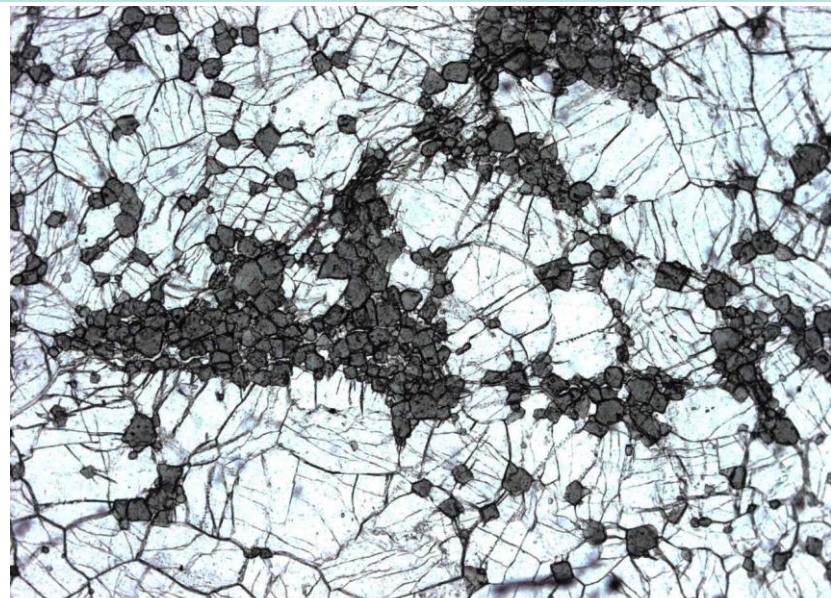
Шлифы.
Николи
x



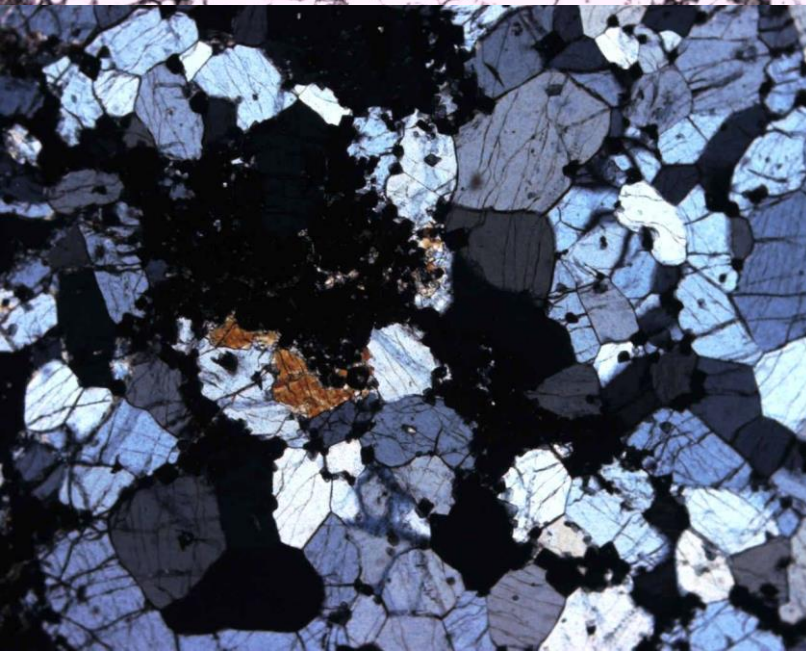
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Монтичеллитовые с зелёной шпинелью. Талнах, Норильское рудное поле



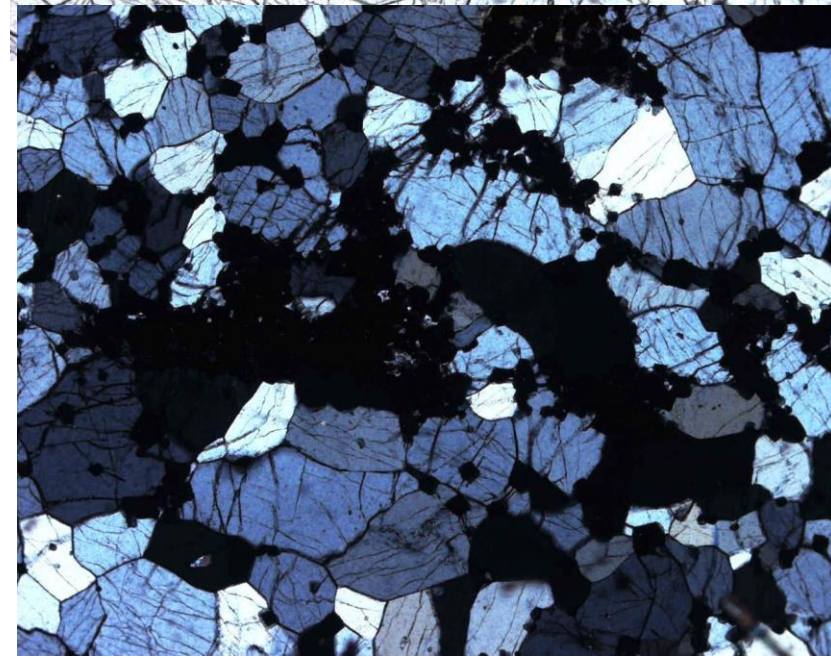
Шлифы.
При 1
никеле



Колл.
и фото
ЭМС

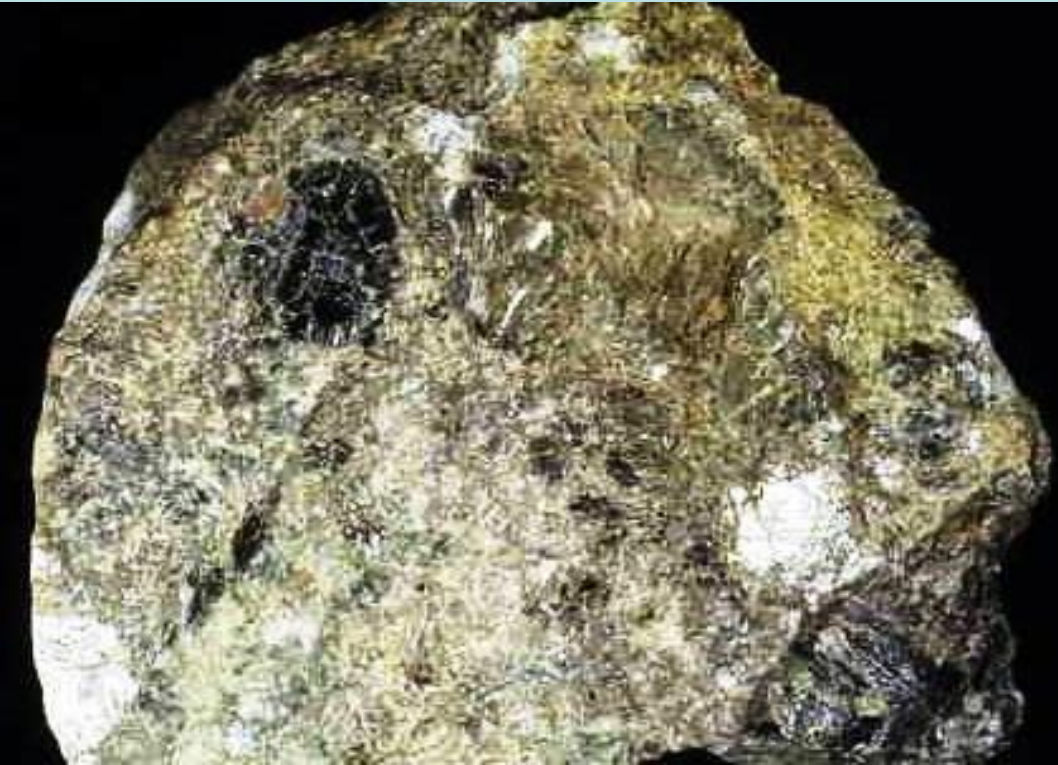


Шлифы.
Николи
х

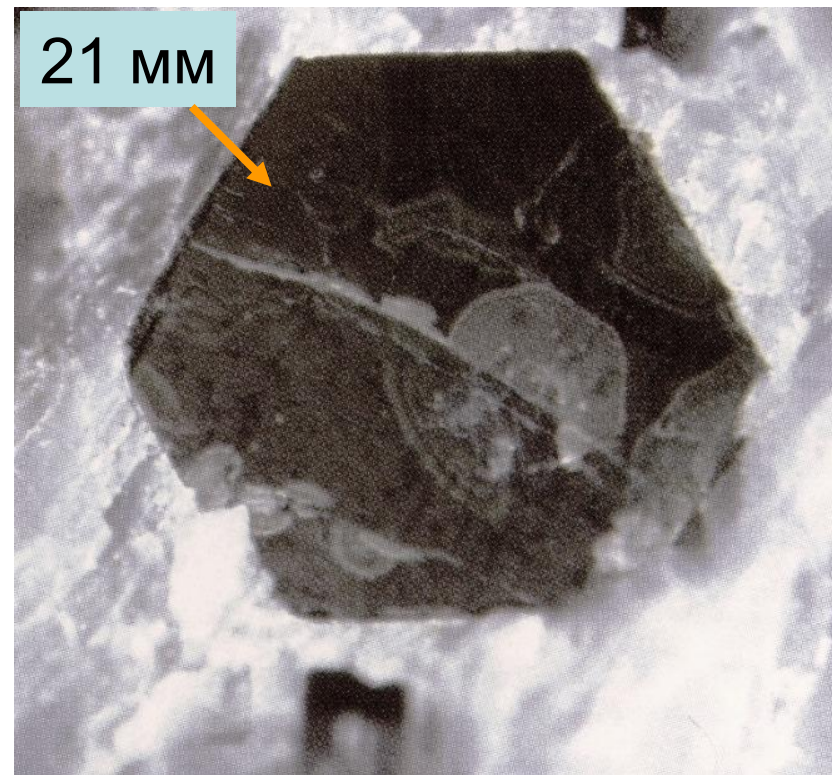


МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. С клинтовым

Клинтовит – триоктаэдрическая хрупкая слюда, крайне богатая глинозёмом $\text{CaMg}_2\text{Al}[\text{Al}_3\text{SiO}_{10}]$, развит в весьма высокоТ скарнах, существенно не насыщенных кремнезёмом. Такие скарны по составу уже не просто магниальные, а магниально-глинозёмистые. Клинтовит обычен в кальцифирах в ассоциации с монтичеллитом.



Крупнокристаллические кальцифиры с клинтовым и монтичеллитом.
Кондёр, Алданский щит



Crestmor,
Калифорния

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Клинтонит $\text{CaMg}_2\text{Al}[\text{Al}_3\text{SiO}_{10}]$



Монтichelлит-
форстеритовые
скарны с
высокоглинозёмистой
хрупкой слюдой -
клинтонитом.

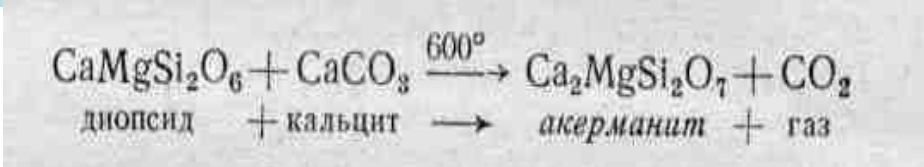
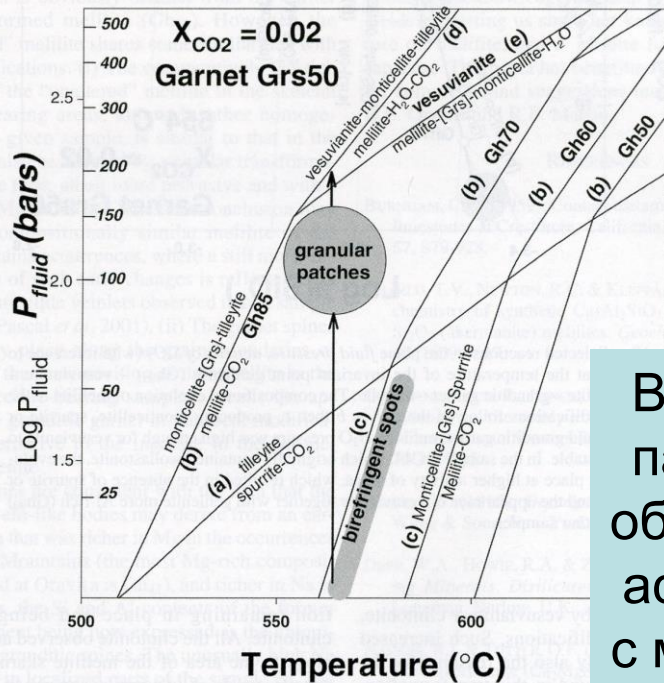
Кондёр,
Алданский щит.

Колл. М.А. Богомолова

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Мелилитовые

Твёрдые растворы минералов группы мелилита – геленит $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{AlSiO}_7]$, окерманит $\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{SiSiO}_7]$, мелилит $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Mg},\text{Al},\text{Fe})[(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7]$, - характерные минералы весьма высокоТ магнезиальных (магнезиально – глинозёмистых) скарнов, обычно сильно недосыщенных кремнезёмом.

Одна из возможных реакций образования окерманита :



Вероятные параметры образования ассоциаций с МЕЛИЛИТОМ

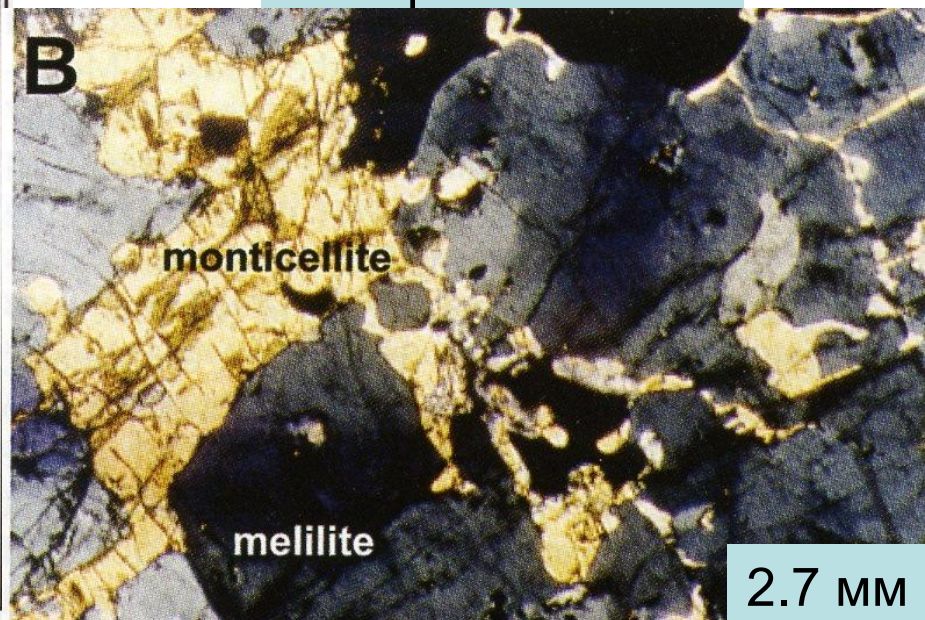
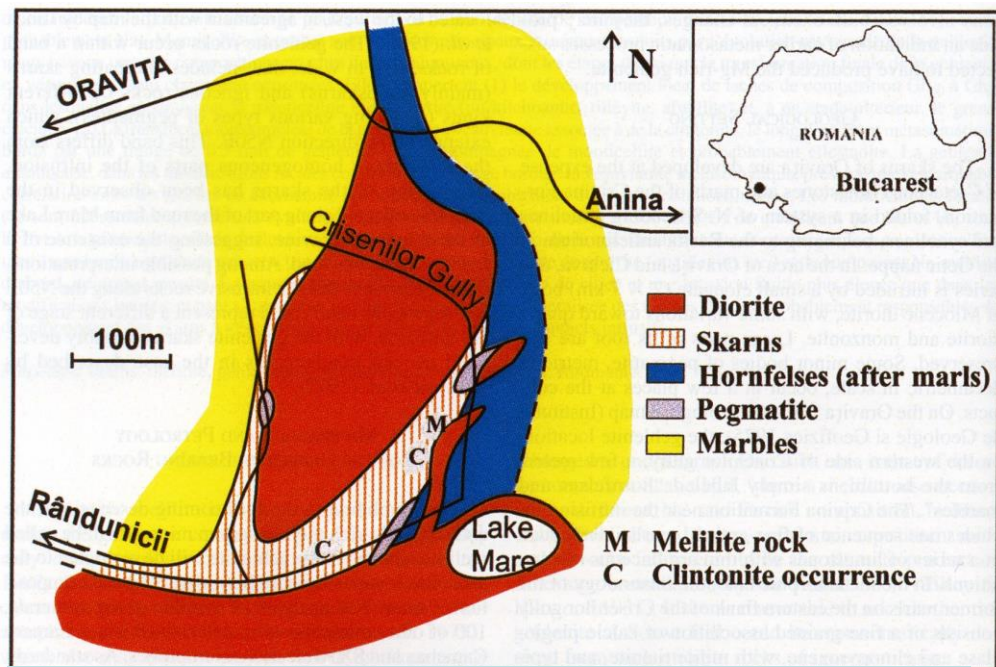


Агрегат кристаллов геленита

FIG. 9. Calculated fluid pressure versus temperature conditions of stability of gehlenite-bearing associations. The mole fraction of CO_2 was set to a value allowing for the successive appearance of spurrite, then tilleyite in the local modifications. Reaction stoichiometries in Table 2. Either temperature decrease or fluid pressure increase (arrow) drive the composition of gehlenite toward the Gh end-member. The smaller, earlier birefringent spots have compositions consistent with a lower fluid pressure than the later-formed, larger granular patches. The probable temperature is inferred from the appearance of vesuvianite together with gehlenite Gh₈₅ in most granular patches. Final replacement of gehlenite by vesuvianite occurs under further increase in fluid pressure (and associated metasomatism). Calculation from Thermocalc database and software. Symbols: Ak: åkermanite, Gh: gehlenite, Grs: grossular, Mtc: monticellite, Spu: spurrite, Til: tilleyite; Ves: vesuvianite. Square brackets indicate end-member in a solid-solution series.

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Мелилитовые

Шлифы. Николи х

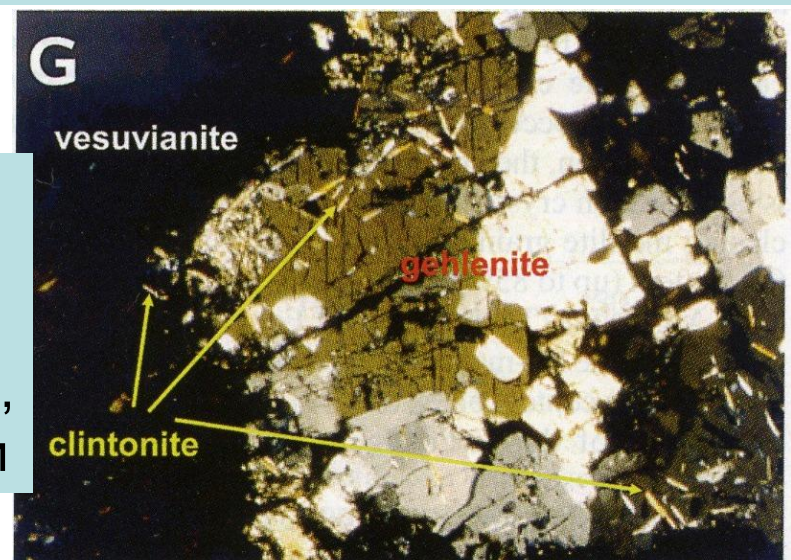


Геологическая схема района размещения скарнов с мелилитом в горах Баната, Румыния

Монтичеллит-мелилитовые скарны



Скарны с геленитом, везувианом, клинтоном, кальсилитом



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Мелилитовые

Весьма высокотемпературные магнезиальные скарны гор Банат, Румыния

Состав мелилита

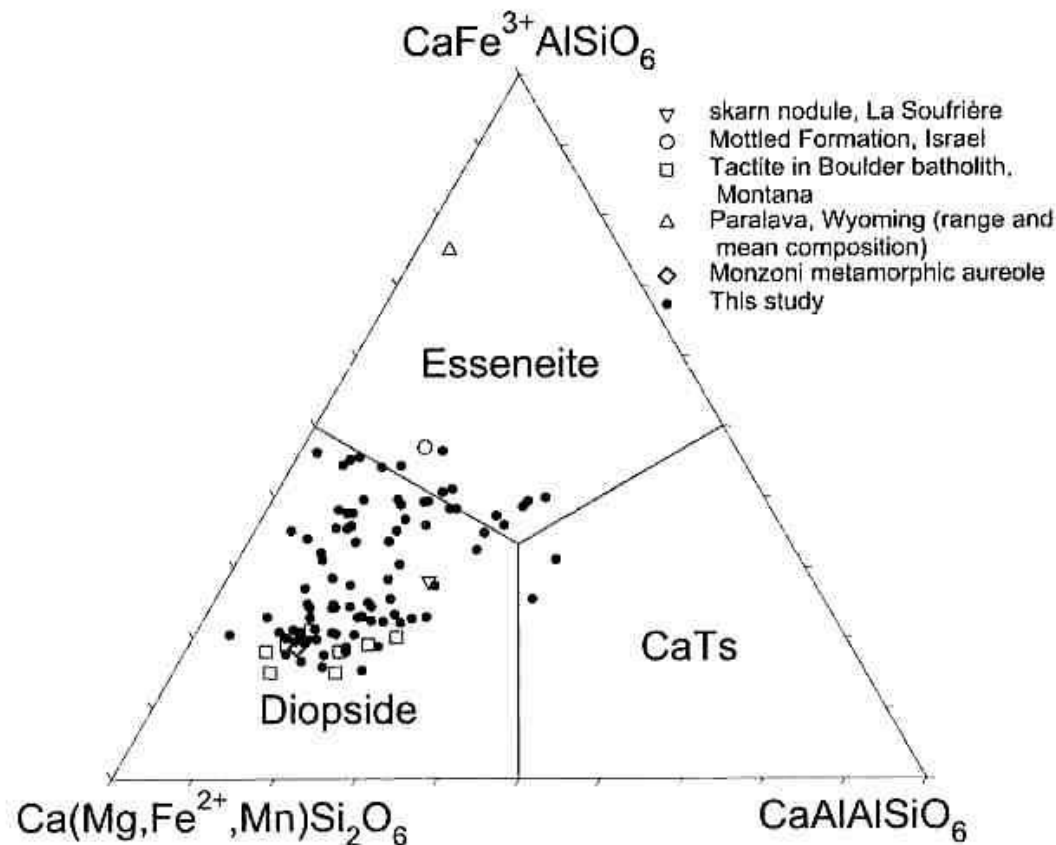


Fig. 1. Representative compositions of natural pyroxene projected in the system $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn})\text{Si}_2\text{O}_6$ – CaAlAlSiO_6 – $\text{CaFe}^{3+}\text{AlSiO}_6$. This projection (Cosca & Peacor 1987) shows the fields corresponding to dominant Fe^{3+} (esseneite) and Al (CaTs) in the M1 site. Data from Gross (1977), Shedlock & Essene (1979), Arculus & Wills (1980), Peacor & Cosca (1987), Foit *et al.* (1987), Povoden *et al.* (2002).

Состав фассаита (чёрные точки)

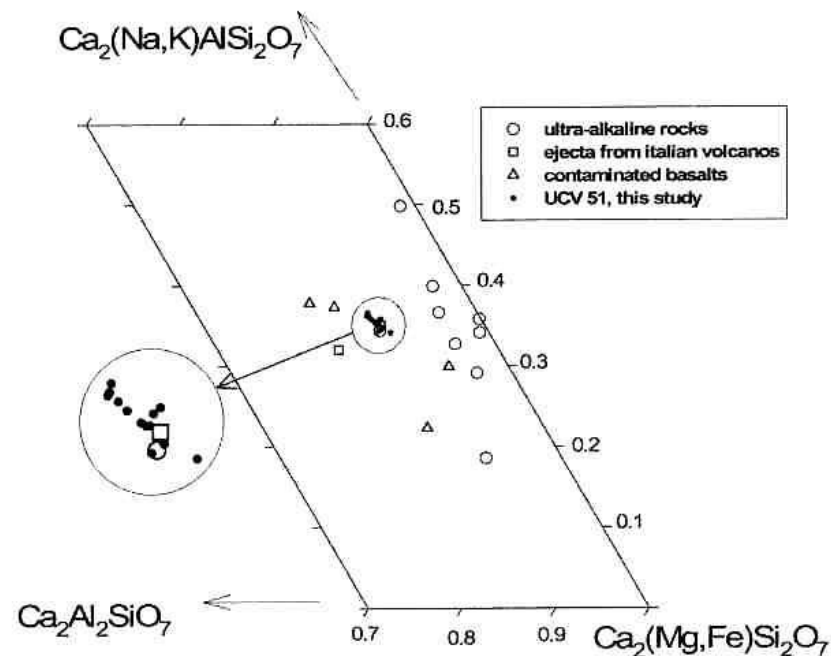
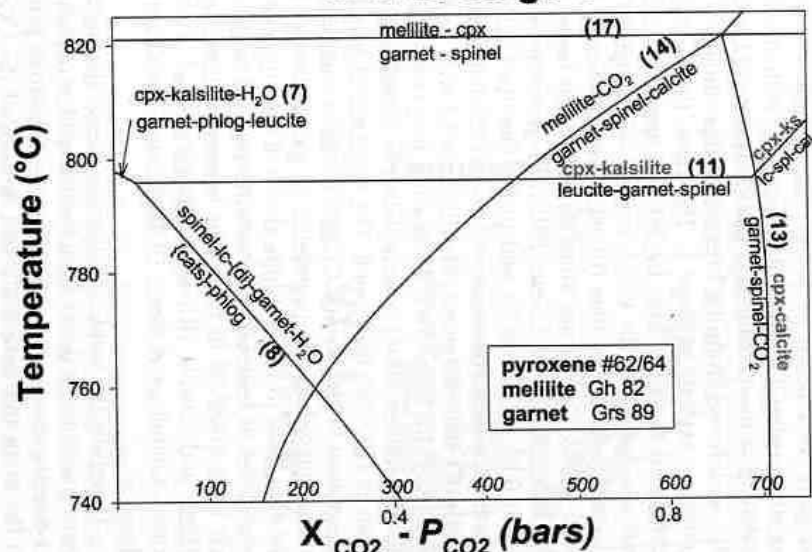


Fig. 10. Compositions of melilite from marble UCV51, contaminated basalts from Scawt Hill (Tilley & Harwood 1931), Carneal (Sabine 1975), and La Réunion (Havette *et al.* 1982), ejected blocks from Vesuvius and Albano, and various melilite-bearing rocks from ultra-alkaline complexes (data taken from Deer *et al.* 1986). The two compositions close to melilite UCV51 are from the Albano (Italy) ejected block and Oka ultra-alkaline complex, Quebec.

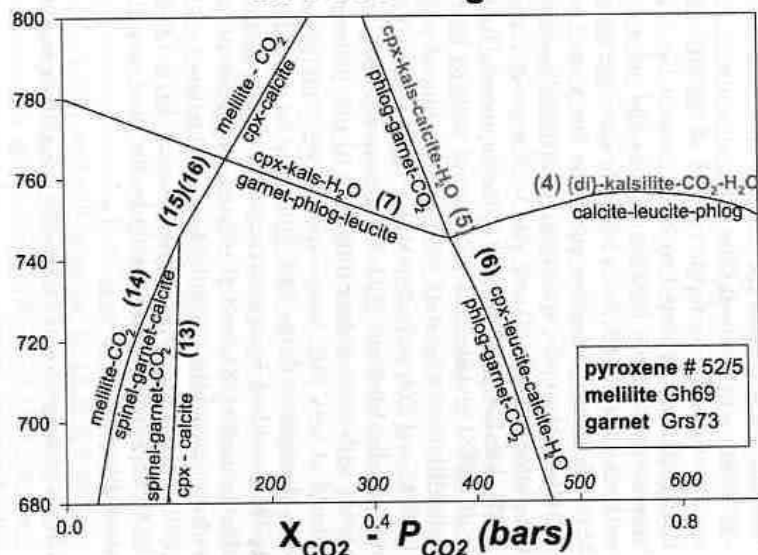
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Мелилитовые

Параметры формирования магнезиальных скарнов гор Банат, Румыния

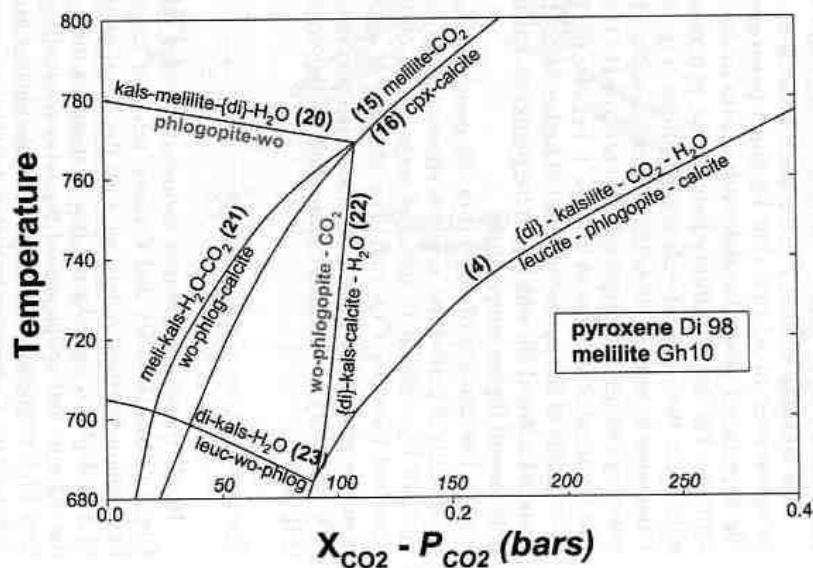
a. CHX Stage 1



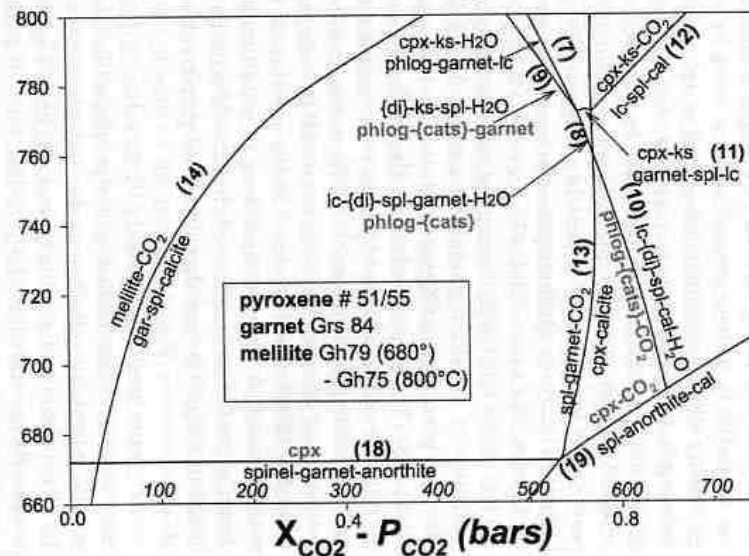
b. VT55 Stage 1



c. VT55 Stages 2-W



d. VT55 Stage P



Крайне высокотемпературные магнезиальные скарны, возникшие на контактах оливиновых долеритов трапповой формации и доломитовых мергелей при участии хлоридных рассолов

Хлоргранатоиды (протофазы ахтарандита) –

вадалит $(\text{Ca},\text{Mg})_6 (\text{Al},\text{Fe})_4 \text{Si}_2 \text{O}_{16} \text{Cl}_3$,

майенит $\text{Ca}_{12} \text{Al}_{14} (\text{O},\text{Cl})_{33}$.

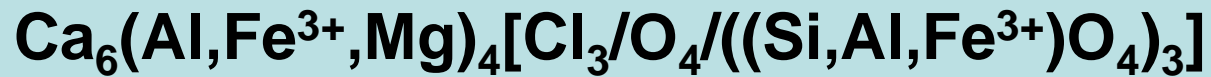
Скандиевые гранаты.

Вилюит. Гроссуляр. Перовскит

Магнезиальные скарны крайне высокотемпературные.

Река Ахтаранда, приток Вилюя, Восточная Сибирь

Ахтарандит – тонкозернистые псевдоморфозы гидрогроссуляра, серпентина, магнезиального хлорита по тригонритетраэдрам хлоргранатоида = вадалита



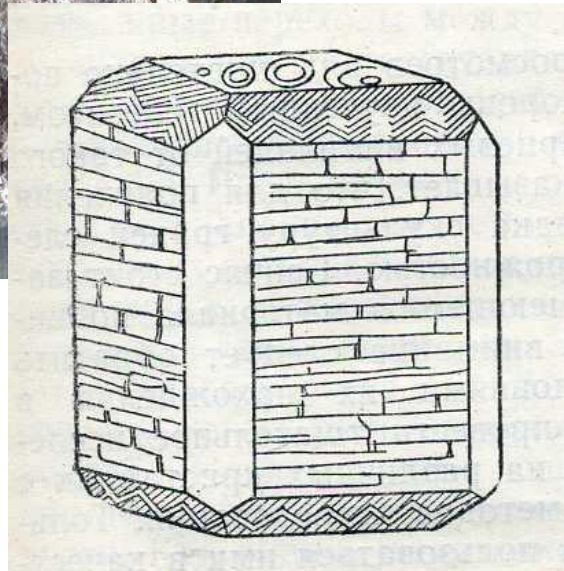
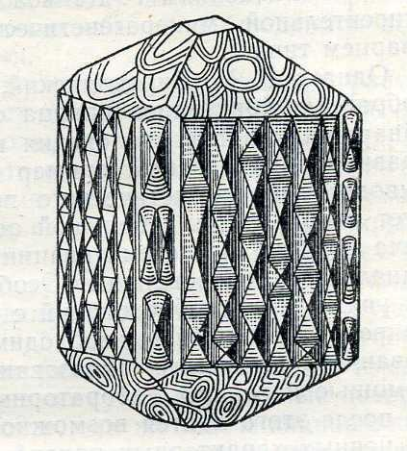
В дальнейшем
Магнезиальные
скарны
были захвачены
эпигенетическим
низкоградным
метаморфизмом

120 мм

Магнезиальные скарны.

Река Ахтаранда, приток Вилюя, Восточная Сибирь

Вилюит – богатый бором везувиан и гроссуляр в магнезиальных скарнах



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Спурритовые

Спуррит – своеобразный карбонат-ортосиликат кальция $\text{Ca}_5[\text{CO}_3/(\text{SiO}_4)_2]$, - развит в наиболее высокоТ и малоглубинных магнезиальных скарнах на контактах интрузивов оливиновых габбро-долеритов и доломитов.

Образуется при Т выше 700°C . Вероятные реакции аго образования :



31 мм



55
мм

Слоистые спурритовые скарны из контактовой зоны габбро-долеритов трапповой формации $\text{P}_2\text{-T}_1$ и доломитовых известняков силура. Река Кочумдек, Восточно-Сибирская платформа

South Sister Peak, New Mexico, США

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Эндоскарны

Эндоскарны – продукты скарнирования силикатных пород. Обычно это гранитоиды или габброиды активных интрузивов. Как правило, эндоскарны – агрегаты незональных клинопироксена и плагиоклаза с разномзернистой структурой, близкой к гранобластовой. Второстепенные минералы – сфен, апатит, магнетит. .. Иногда особо много сфена, если протолит богат титаном.

Состав плагиоклаза варьирует от анортита до лабрадора, преобладают анортит и битовнит, крайне бедные калием. Состав плагиоклаза эндоскарнов в основном обусловлен соотношением концентраций CaCl_2 и NaCl в скарнирующих флюидах. Очевидно, что во флюидах, породивших Mg скарны, преобладал CaCl_2 . В колонках Mg скарнов диффузионного типа на фронте замещения эндоскарнами интрузивных пород часто развиты симплектитовые срастания клинопироксена и плагиоклаза, в них состав плагиоклаза промежуточный между андезином-лабрадором магматитов и анортитом эндоскарнов.

Состав клинопироксена в эндоскарнах обычно отвечает диопсиду, железистому диопсиду, салиту. В более глубинных и в более высокоТ эндоскарнах клинопироксен чаще представлен глинозёмистым диопсидом и фассаитом, иногда титанистым фассаитом. С ростом температуры существенно возрастает содержание молекулы Чермака - CaAlAlSiO_6 ,-

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Эндоскарны

в составе клинопироксена растут содержания алюминия и кальция и снижаются содержания кремния и железа.

Умеренно высокотемпературные эндоскарны Малко Тырново, Странжа, Болгария, содержат фассаит состава

Ca 50.4 - 52.3 Mg 36.9 - 40.2 Fe 7.8 - 12.5

с 3.9-10.2 % Al_2O_3 , 48-50 % SiO_2 (Шабынин, Иванова-Панайотова, 1982).

Более высокотемпературные эндоскарны Кедабека, Азербайджан, содержат фассаит состава Ca 54.2 - 57.8 Mg 34.6 - 38.5 Fe 7.3 - 9.8 с 8.3-14.0 % Al_2O_3 , 44-47 % SiO_2 (Шабынин, Унанова, 1972).

Весьма высокотемпературные эндоскарны Баната, Румыния, связанные с мелилитовыми скарнами,

содержат фассаит состава Ca 56.1 - 59.7 Mg 33.9 - 38.4 Fe 5.5 - 7.0 с 11.2-16.4 % Al_2O_3 , 41-46 % SiO_2 (Pascal et al., 2005).

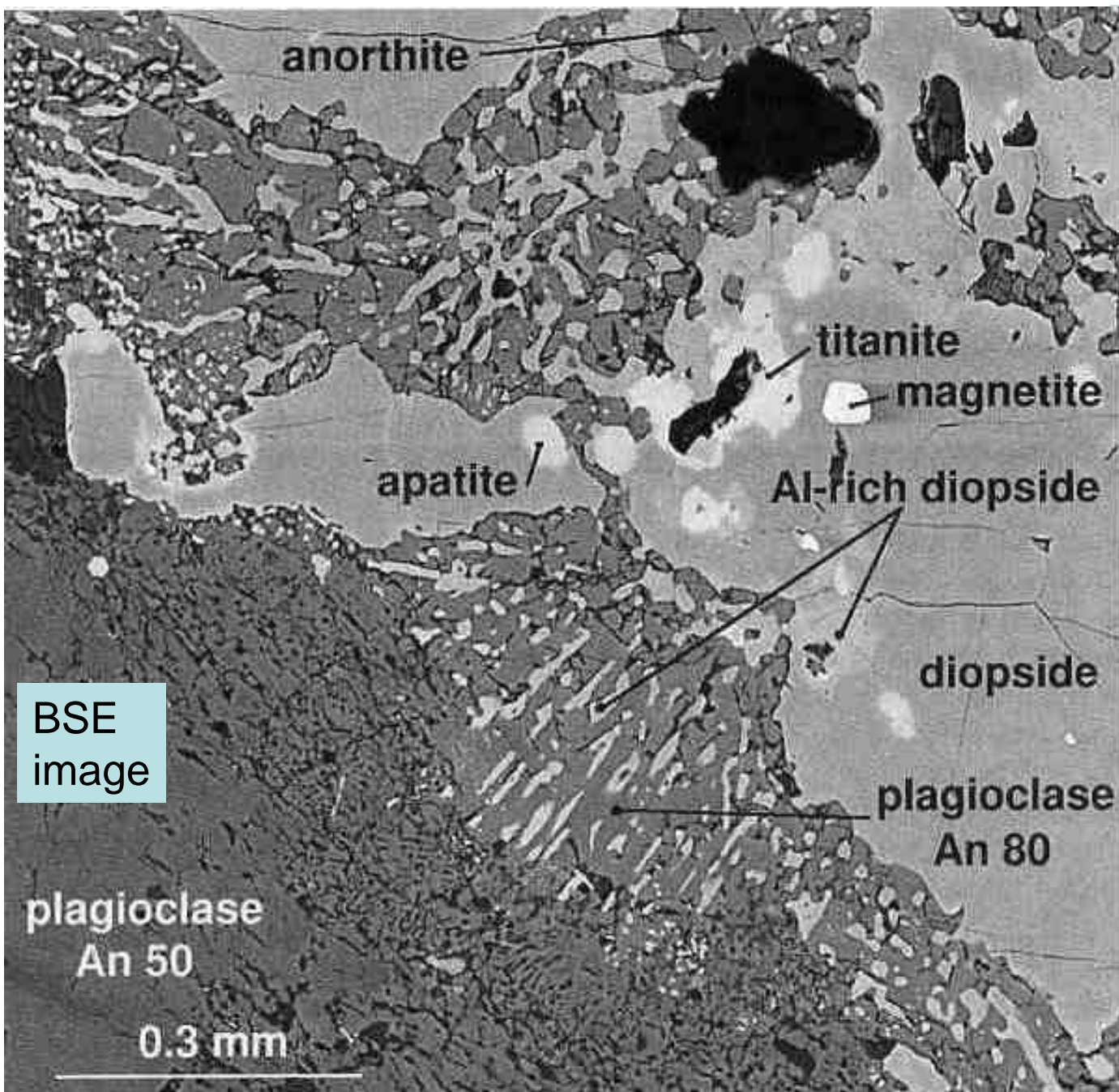
Все эти фассаиты бедны Mn, содержат < 1 % Ti и следы Na.

Весьма высокотемпературные эндоскарны Довыренского габбро-перидотитового плутона, СВ Прибайкалье, в парагенезе с мелилитом

содержат фассаит состава Ca 57.2 Mg 38.1 Fe 3.7

с 13.1 % Al_2O_3 , 7.2 % TiO_2 , 41 % SiO_2 (Ефимов и др., 1986).

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Эндоскарны



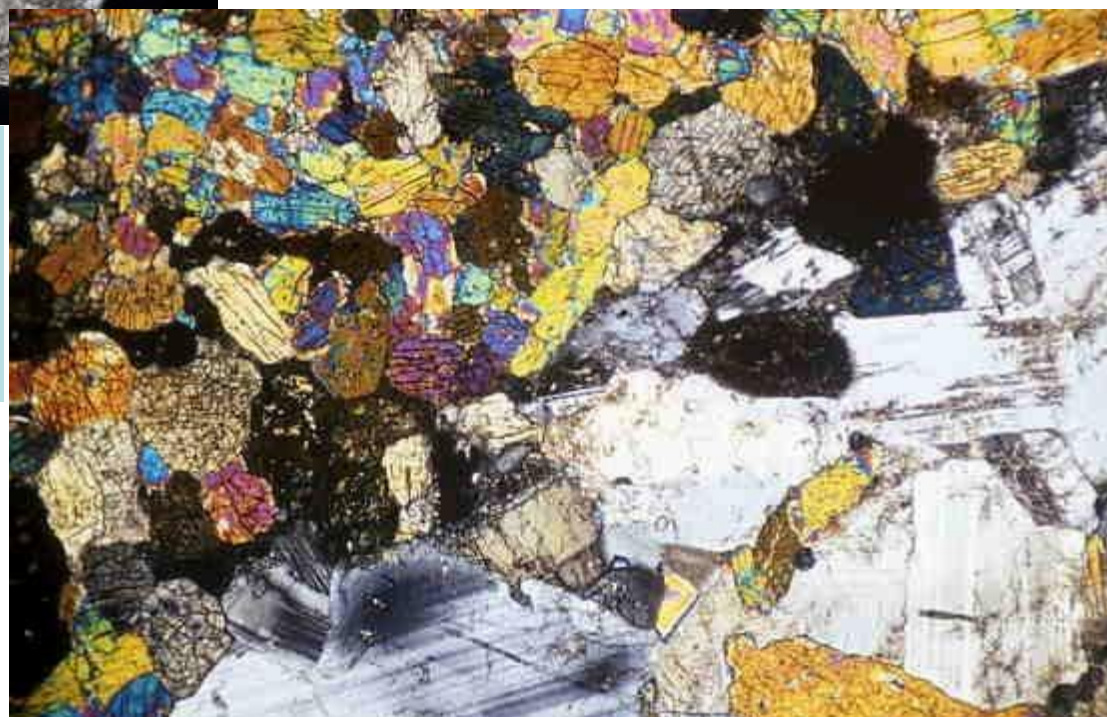
ВысокоТ
эндоскарны
фассаит
(diopside) –
анортитовые
эндоскарны
Баната, Румыния.
На фронте
замещения
плагиоклаза
кварцевых
габбро-диоритов
(An 50)
развиты
симплектитовые
срастания
высокоAl
фассаита
(Al-rich diopside)
и
битовнита (An 80)

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Эндоскарны



90 мм. Белёсого цвета
фассаит - анортитовые
эндоскарны.
Белая Выемка, Байкал

Контакт фассаитовых
скарнов и фассаит -
битовнитовых эндоскарнов.
Таёжное, Алданский щит.
Шлиф. Николи х



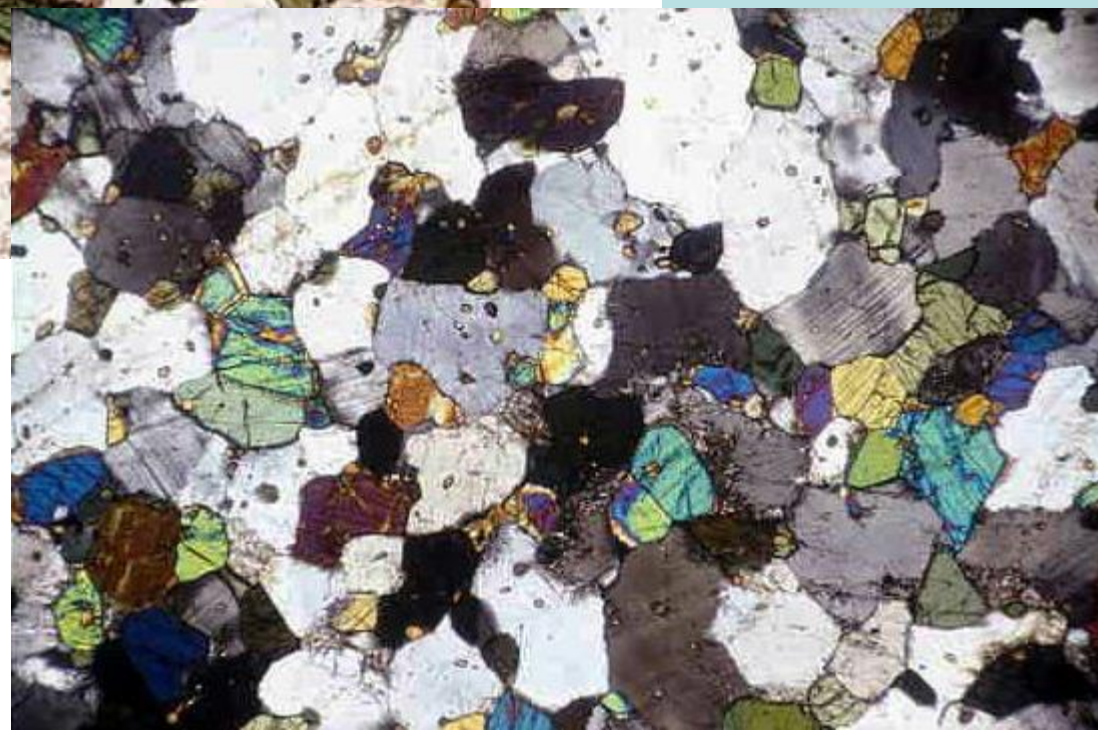
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Эндоскарны



Шлиф. При 1 николе

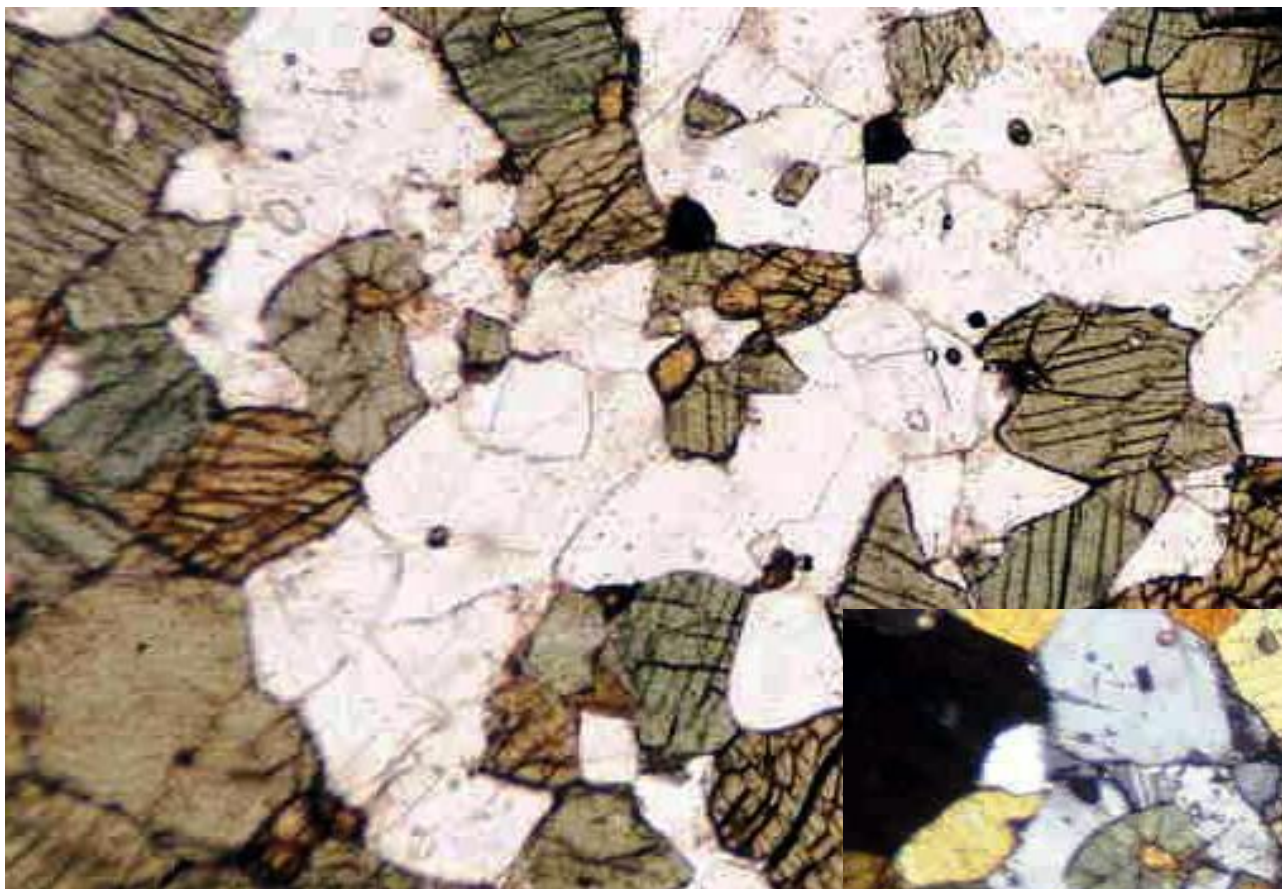
Колл. Н.Н. Перцева
Фото
Э.М. Спиридонова

Шлиф. Николи х



Салит - плагиоклазовые
эндоскарны. Структура
близкая к гранобластовой.
Таёжное,
Алданский щит

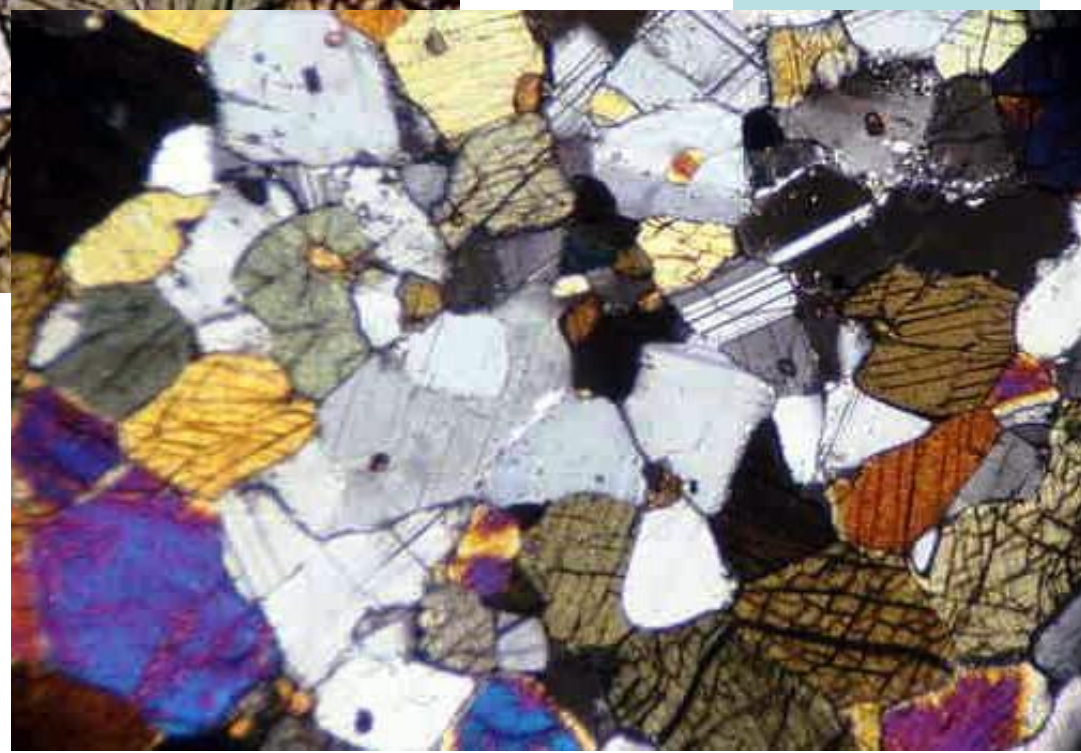
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Эндоскарны



При 1 николе

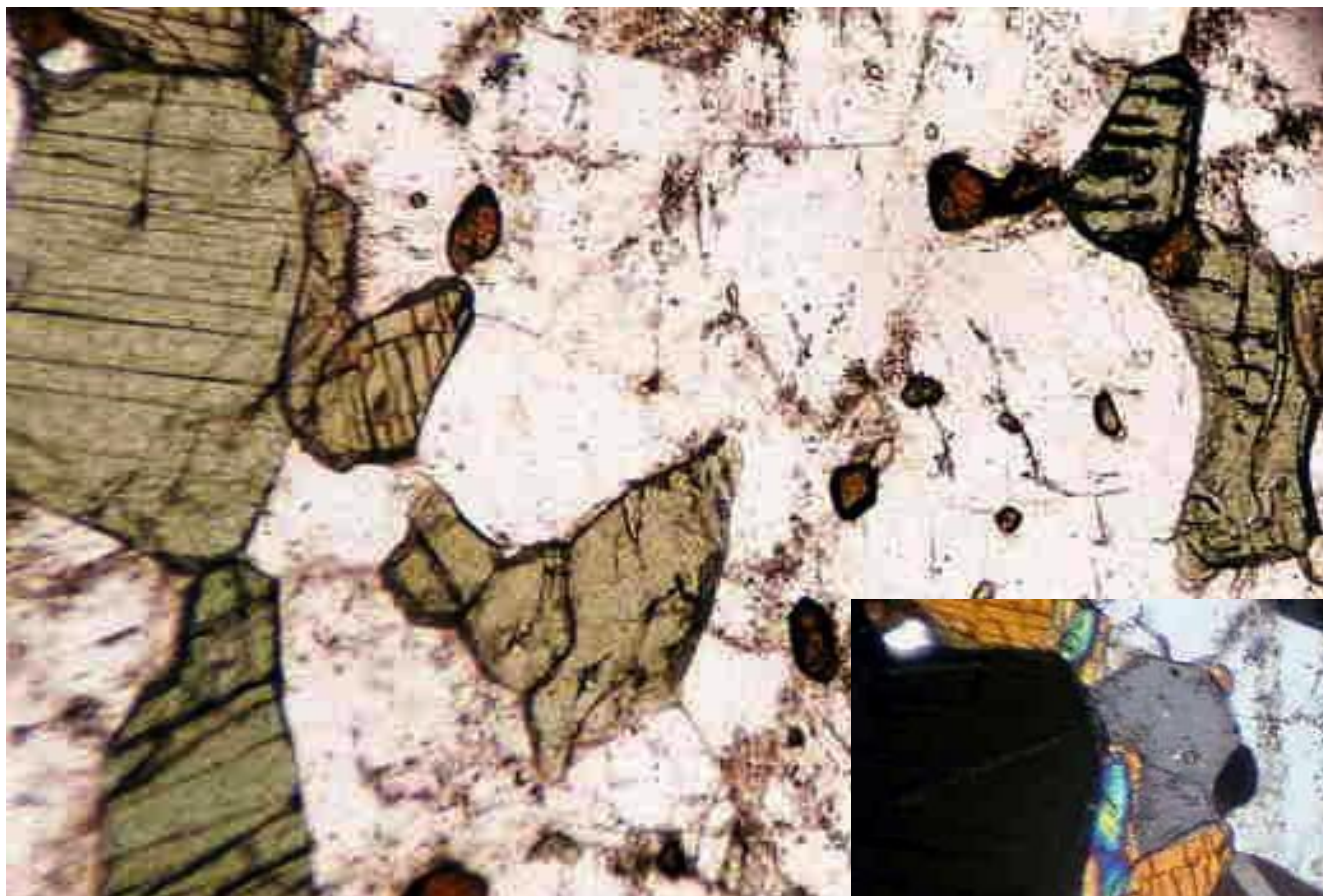
Колл. Н.Н. Перцева
Фото
Э.М. Спиридонова

Николи х



Сфен-салит-плагиоклазовые
эндоскарны. Структура
близкая к гранобластовой.
Таёжное,
Алданский щит

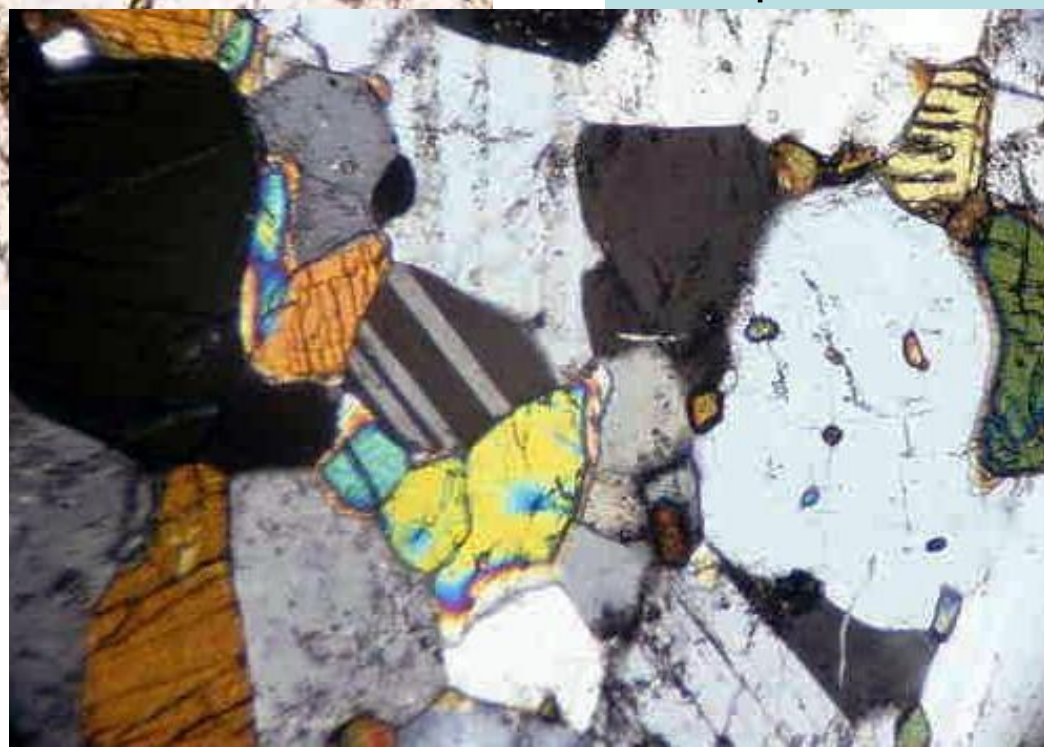
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Эндоскарны



Шлиф. При 1 николе

Колл. Н.Н. Перцева
Фото
Э.М. Спиридонова


Шлиф. Николи х



Сфен – салит - плагиоклазовые
эндоскарны. Структура
близкая к гранобластовой.
Таёжное,
Алданский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Позднескарновые образования. Часто это флогопит. Состав флогопита обусловлен составом флюидов. В скарнах, связанных с бедными фтором гранитоидами – тоналитами, гранодиоритами..., развит гидроксилфлогопит



Шпинель-
фассаитовые
скарны

Колл.
и
фото
ЭМС

Южное
Аксу,
Север.
Казахстан

Форстеритовые
скарны

99x66 мм

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Позднескарновые образования. Часто это флогопит. Состав флогопита обусловлен составом флюидов. В скарнах, связанных с богатыми F гранитоидами, развит фторфлогопит



61x54 мм

Шпинель - форстеритовые скарны с фторфлогопитом и титанистым клиногумитом. Кухи-Лал, ЮЗ Памир



Фото ЭМС

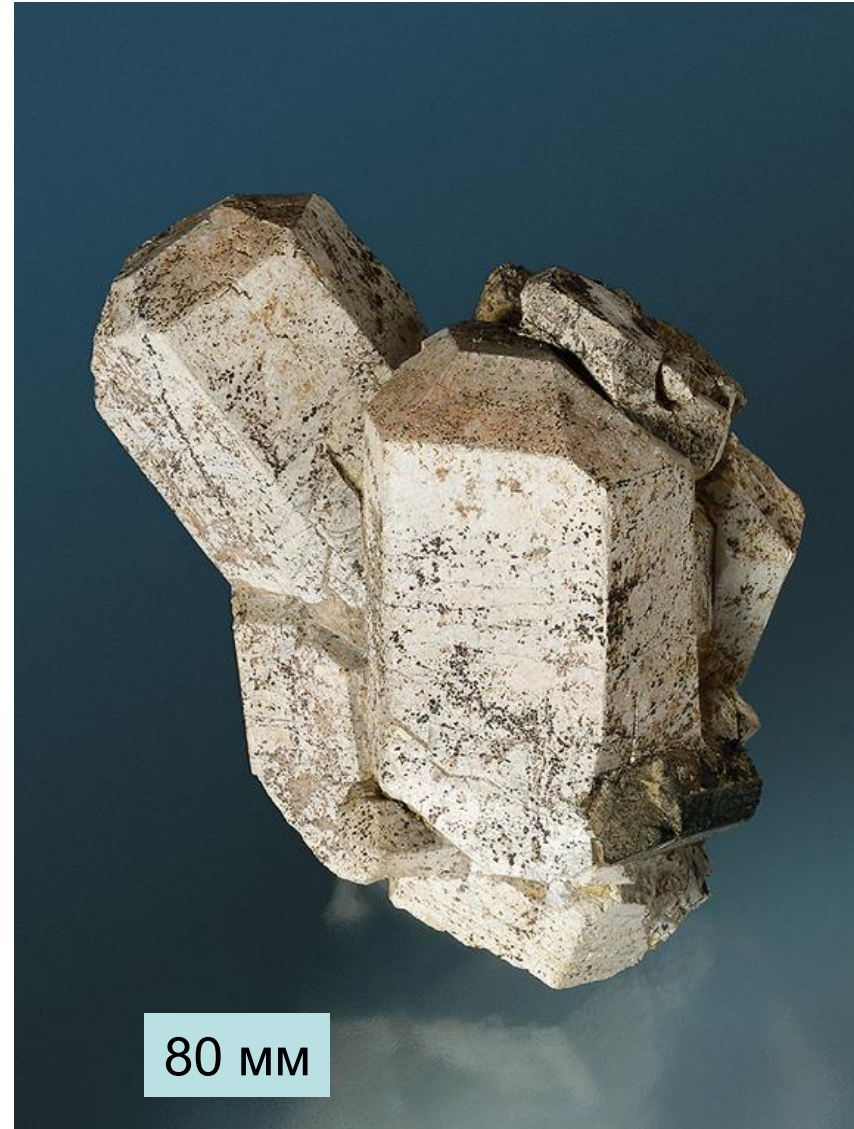
84x71 мм

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

Позднескарновые образования. Нередко это апатит. Состав апатита зависит от состава флюидов. Часто это хлорапатит



Хлорапатит из форстеритовых
скарнов. Snarum, Норвегия



80 мм

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ

НИЗКО ЩЕЛОЧНЫЕ

с Fe, Cu и В ОРУДЕНЕНИЕМ

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. С Fe оруденением



Колл. Н.Н. Перцева
Фото
Э.М. Спиридонова

77x72 мм

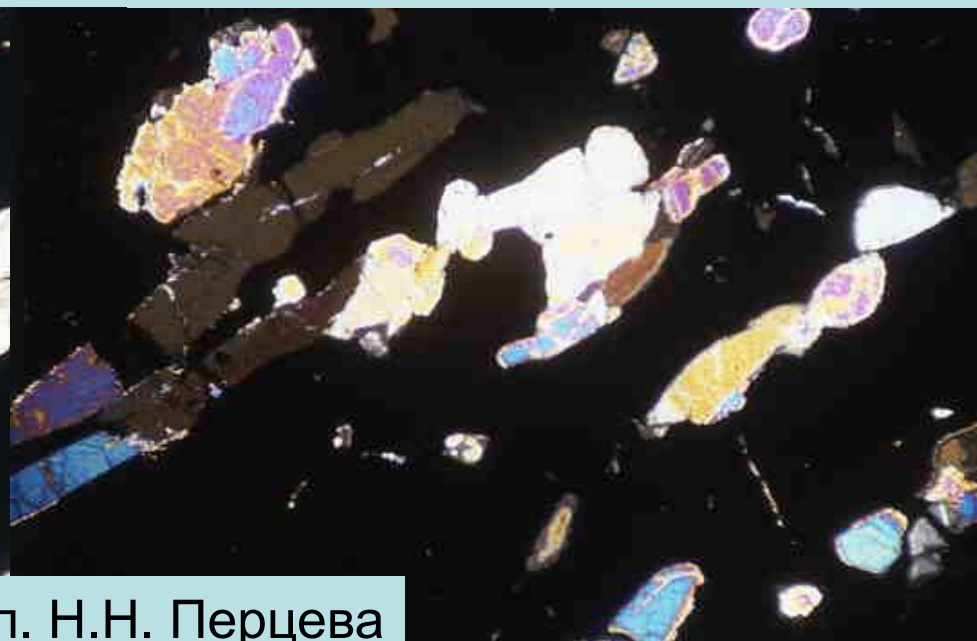
Шпинель - клиногумитовые кальцифиры. Таёжное, Алданский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. С Fe оруденением

При широком развитии поздних более низкотемпературных минеральных ассоциаций с флогопитом, амфиболами (тремолит...), минералами группы гумита, серпентином..., входящих в состав гидросиликатных скарнов, наряду с ними образуется магнетит, нередко в значительных – промышленных количествах. Прежде всего потому, что железистость минералов гидросиликатных скарнов ниже железистости минералов ранних скарнов.



Шлиф. При 1 николе

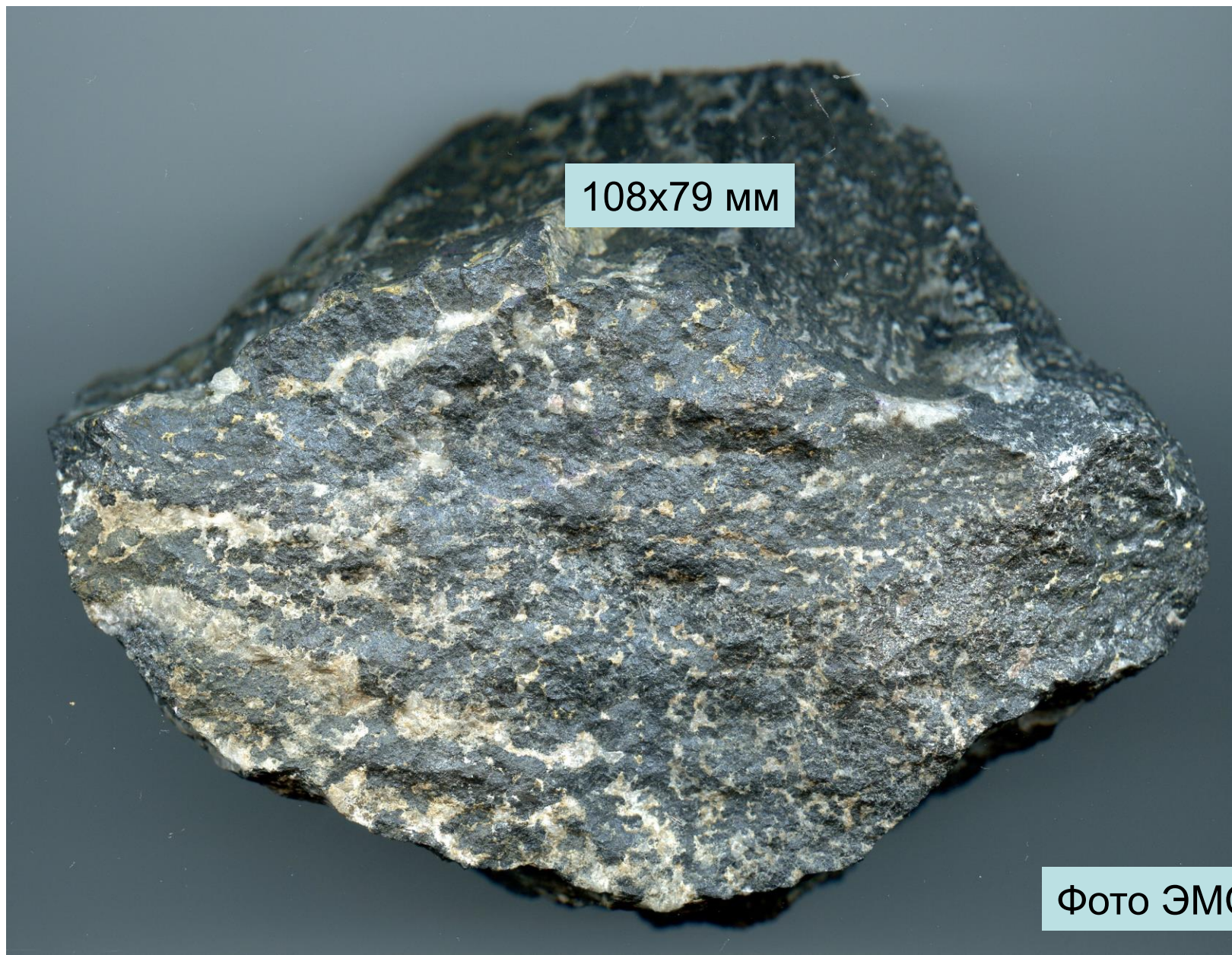


Шлиф. Николи x

Колл. Н.Н. Перцева
Фото
Э.М. Спиридонова

Клиногумит-магнетитовые скарны. Таёжное, Алданский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. С Fe оруденением



108x79 мм

Фото ЭМС

Хондродит - магнетитовые скарны. Ипполитовское, Вост. Сибирь

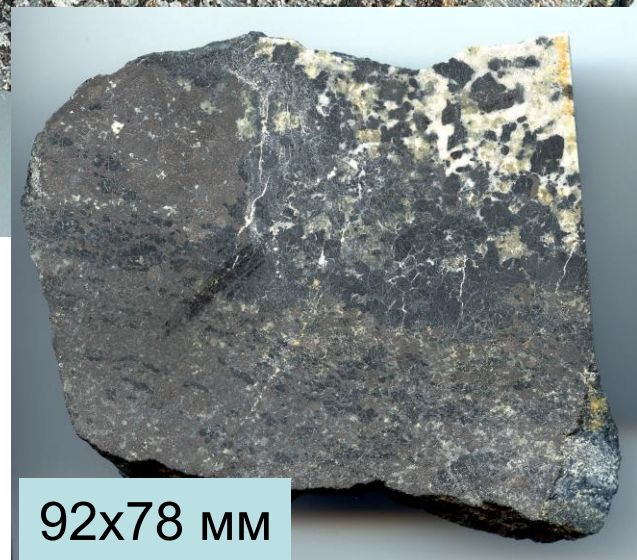
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. С Fe оруденением

86x44 мм



Колл. Н.Н. Перцева
Фото
Э.М. Спиридонова

38x36 мм



92x78 мм

Людвигит – пирротин - магнетитовые скарны. Таёжное, Алданский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. С Fe оруденением

54x43 мм

Таёжное,
Алданский
щит

Колл. Н.Н. Перцева
Фото
Э.М. Спиридонова

Пирротин - магнетитовые скарны



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ с Fe оруденением

38x32 мм

115 мм

Колл. Н.Н. Перцева
Фото
Э.М. Спиридонова

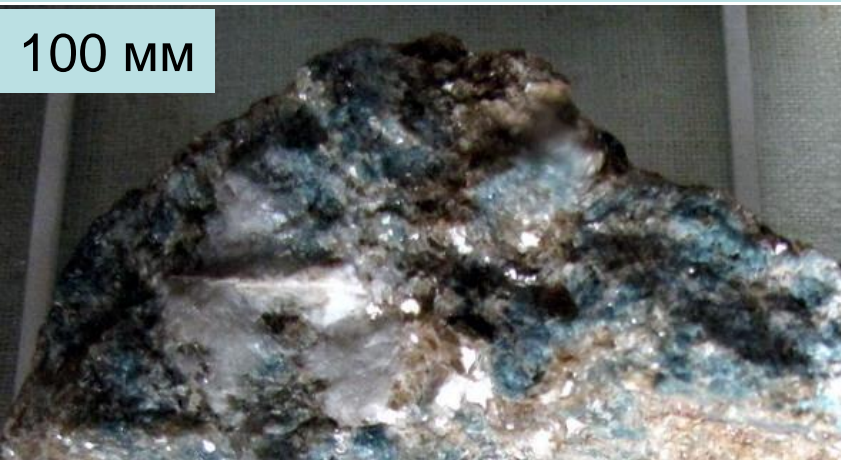
Магнетитовые скарны с серендибитом. Таёжное, Алданский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. С Fe оруденением

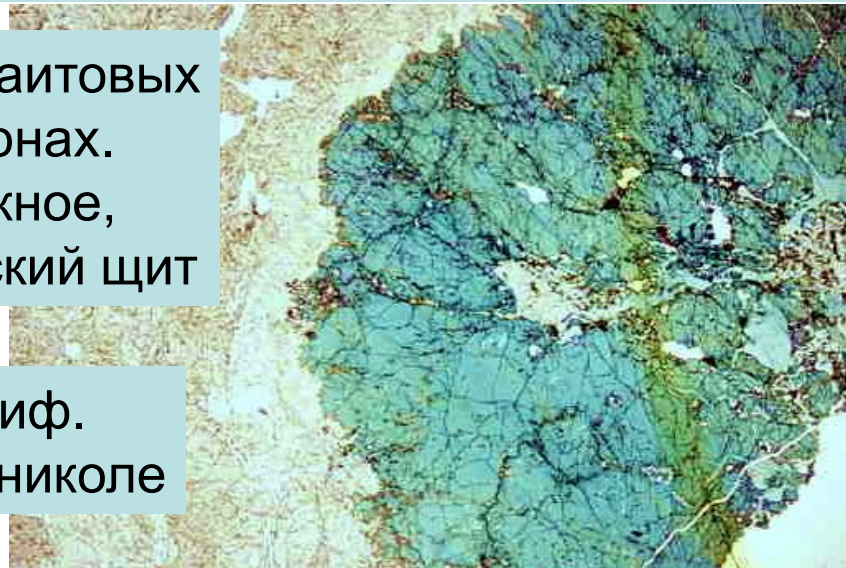
Серендибит $(Ca,Na)_2(Mg,Fe^{2+})_3(Al,Fe^{3+})_3[O_2/(Si,Al,B)_6O_{18}]$

макроскопически от синего до сине-чёрного, микроскопически один из эффектных минералов с великолепными полисинтетическими двойниками

100 мм



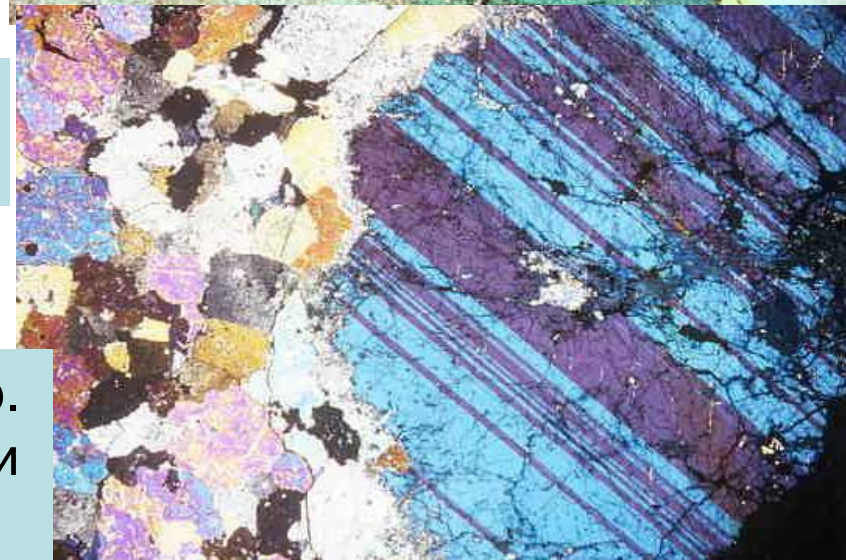
В фассаитовых
скарнах.
Таёжное,
Алданский щит



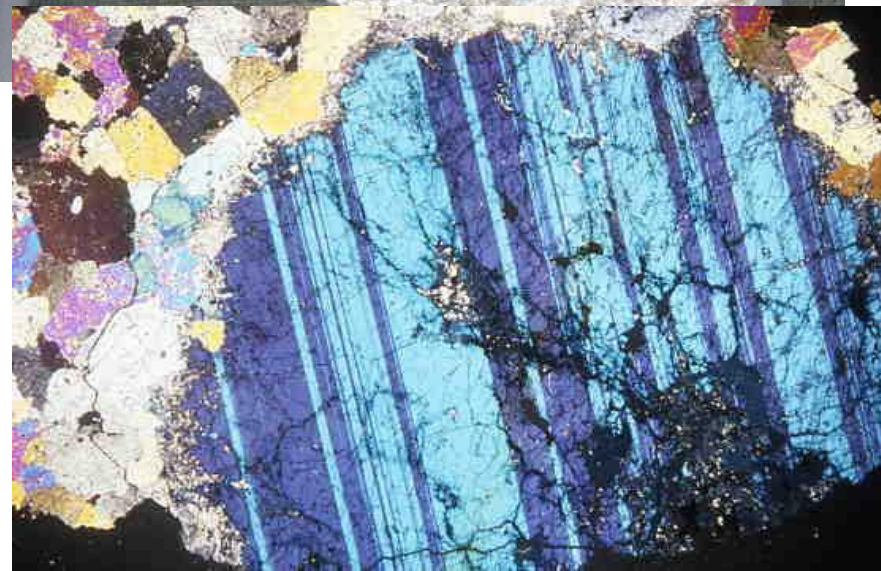
Шлиф.
При 1 николе

Warren county, Нью-Йорк, США

Фото
ЭМС



Шлиф.
Николи
x



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. с Si оруденением

Магнезиальные скарны с обильными магнетитом и кубанитом.

Люпико, Питкяранта, Карелия

64x55 мм



Колл. Е.Н. Граменицкого
Фото Э.М. Спиридонова

Скопления халькопирита в магнезиальных скарнах. Форстерит серпентинизирован, халькопирит частью замещён борнитом. Хол -Тон, Корея

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Mg скарны часто содержат борную минерализацию. Источников бора несколько. Бор – характерный элемент гранитоидных флюидов. Заметное количество бора содержат рассолы в осадочных толщах. Возможно, основной источник бора иной – при крупномасштабных процессах метасоматоза разрушаются большие массы плагиоклаза магматитов, а это основной минерал-носитель бора в магматитах. Са плагиоклазы габброидов, не захваченных послемагматическими процессами метасоматоза и не метаморфизованных, по данным В.Г. Хитрова содержат 150-170 г/т бора; продукты их замещения содержат первые г/т бора. Мобилизации бора, возможно, способствуют несколько повышенные концентрации фтора во флюидах, породивших бороносные магниезиальные скарны. Поскольку скарны магниезиальные, постольку наиболее распространены бораты Mg : в скарнах – турмалин - увит и реже серендибит, в кальцифирах - людвигит и реже котоит, флюоборит, суанит, магнизохалсит... и продукт их замещений – ссайбелиит (ашарит). Скопления боратов магния, в основном людвигита, достигают многих тысяч тонн, но они представляют главным образом научный, а не промышленный интерес, поскольку данные бораты трудно и дорого перерабатывать.

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Людвигит $(\text{Mg,Fe}^{2+})_2(\text{Fe}^{3+},\text{Al})[\text{O}_2/\text{VO}_3]$. Поскольку в составе людвигита и Fe^{2+} , и Fe^{3+} , постольку этот минерал и макро-, и микроскопически чёрный, непрозрачный. Лишь наиболее магнезиальные людвигиты в шлифах просвечивают зелёным цветом

145x68 мм

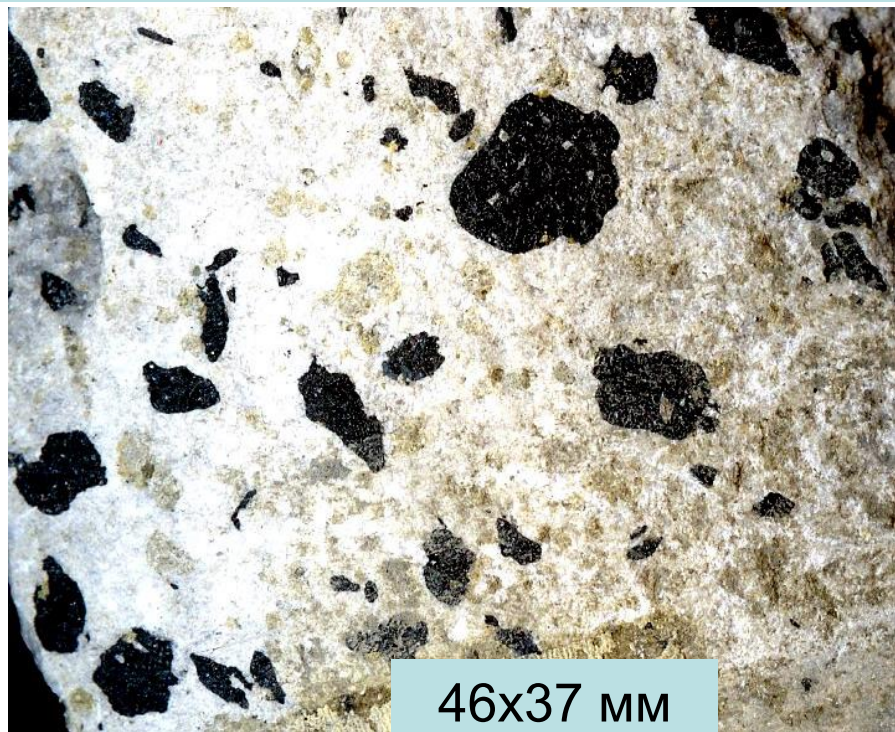
Колл. М.А. Богомолова
Фото Э.М. Спиридонова



Крупнокристаллические форстеритовые кальцифиры с алюмолюдвигитом. Его скопление на контакте с мраморами. Верхоянье

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Людвигит $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})[\text{O}_2/\text{VO}_3]$. Поскольку в составе людвигита и двух-, и трёхвалентное железо, постольку этот минерал и макро-, и микроскопически практически всегда чёрный, непрозрачный

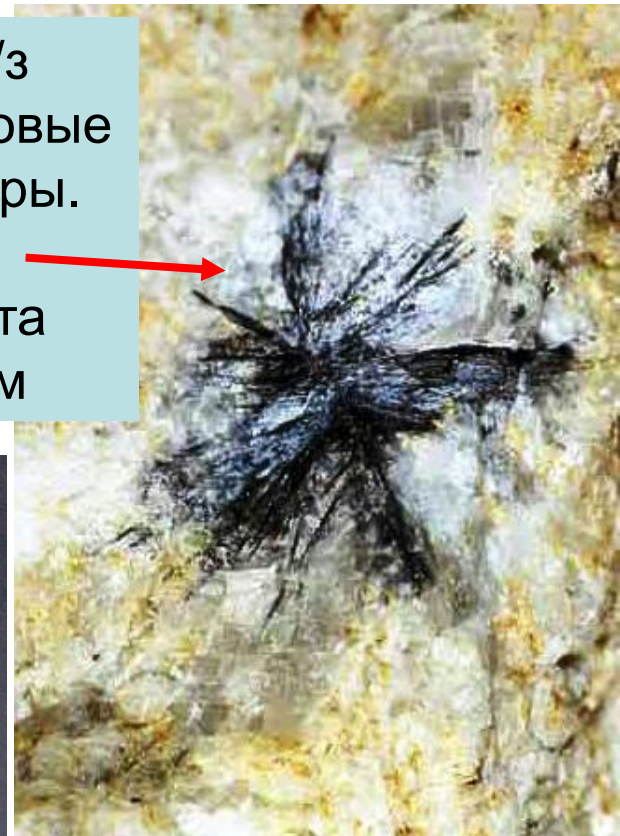
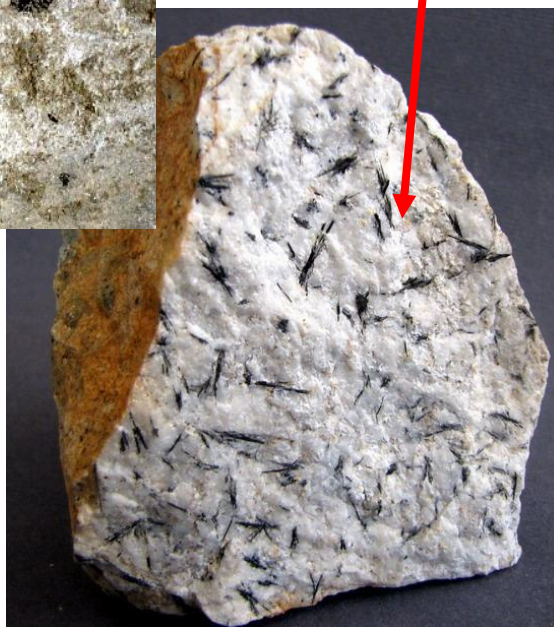


46x37 мм

Форстеритовые
кальцифы.
Таёжное.
Алданский щит

Фото ЭМС

Средне/з
форстеритовые
кальцифы.
Иглы
дюдвигита
до 10 мм



Ахматовская копь.
Шишимские горы,
Южный Урал

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Людвигит $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})[\text{O}_2/\text{BO}_3]$

64x46 мм

Колл. М.А. Богомолова
Фото Э.М. Спиридонова



Крупные кристаллы в форстеритовых кальцифирах. Таёжное, Алдан

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Людвигит $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})[\text{O}_2/\text{BO}_3]$

51 мм



Кальцифиры.
Крестмор, Калифорния



Кальцифиры. Шлиф при 1 никеле

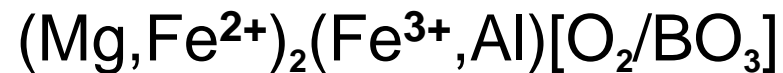


Призмы до 200x20 мм.
Титовское, хребет Тас-Хаятах, Верхоянье



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Людвигит

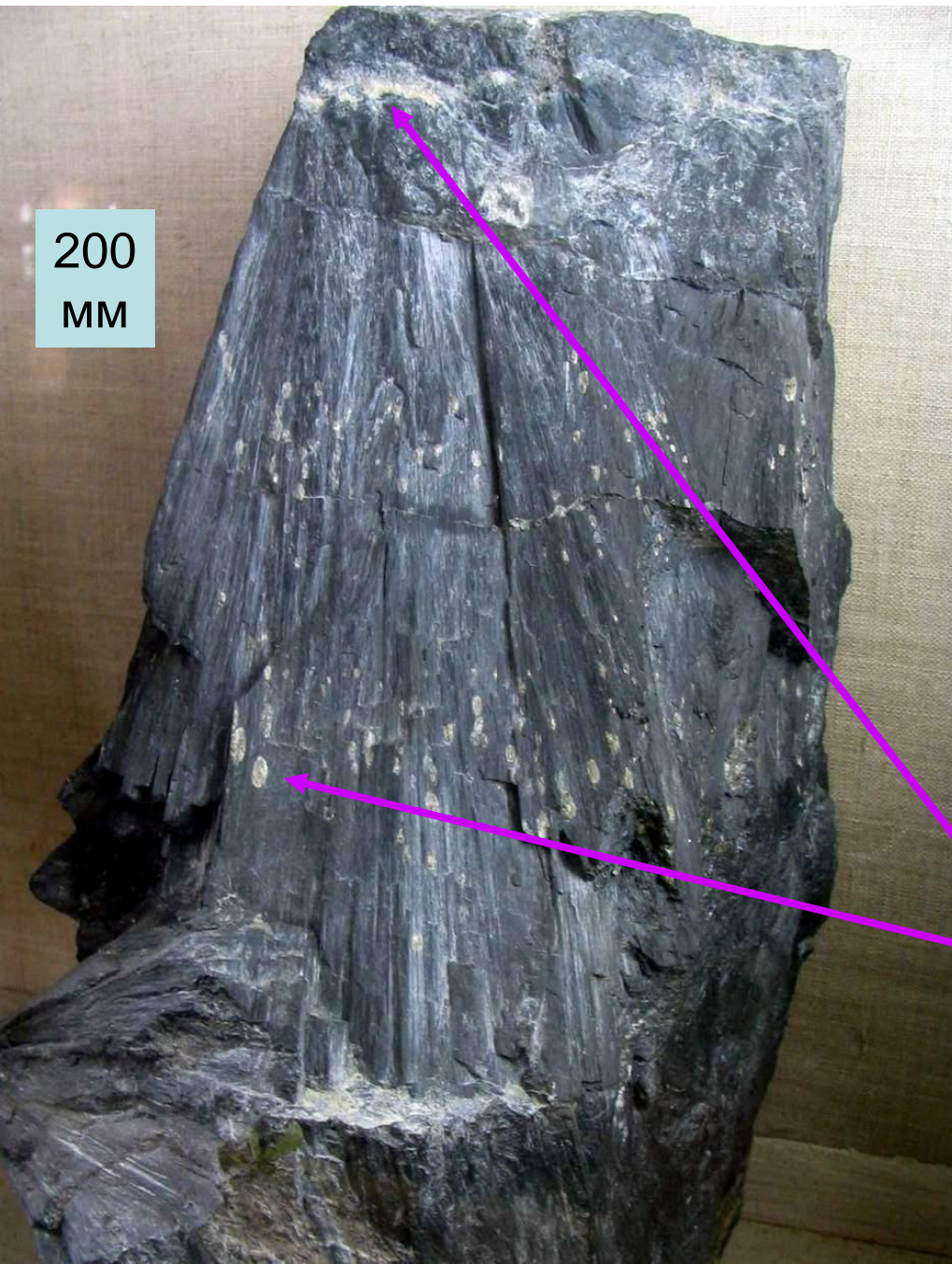


200
мм

Людвигит в агрегатах макроскопически похож на турмалин. На кристаллах людвигита нет продольной штриховки, как у турмалина. Людвигит зачастую в той или иной степени замещён белёсым ашаритом (это особо заметно в шлифах), чего никогда не наблюдается у турмалина

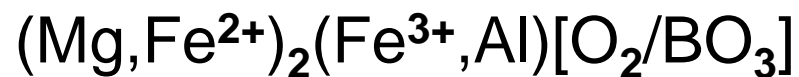
Ссайбелиит – ашарит
 $\text{Mg}_2[\text{OH}/\text{B}_2\text{O}_4\text{OH}]$

Темир-Тау, Горная Шория



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Людвигит



Людвигит в агрегатах макроскопически похож на турмалин. На кристаллах людвигита нет продольной штриховки, как у турмалина. Людвигит зачастую в той или иной степени замещён белёсым ашаритом (это особо заметно в шлифах), чего никогда не наблюдается у турмалина

Ссайбелиит – ашарит
 $\text{Mg}_2[\text{OH}/\text{B}_2\text{O}_4\text{OH}]$

Таёжное, Алданский щит

Колл. М.А. Богомолова
Фото Э.М. Спиридонова

129
x 64
мм



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Вонсенит (ферролюдвицит) $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})[\text{O}_2/\text{BO}_3]$

64x63 мм



Колл. М.А. Богомолова
Фото Э.М. Спиридонова

Агрегаты длиннопризматических кристаллов. Хол -Тон, Корея

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Котоит $Mg_3[BO_3]_2$

В отличие от людвигита котоит снежно-белый до бледно-жёлтого.
Обычно слагает мелко- и среднезернистые агрегаты



Котоит в ассоциации
с людвигитом.
Титовское, Верхоянье

50x24 мм

Колл. М.А. Богомолова
Фото Э.М. Спиридонова

Котоит в ассоциации
с людвигитом.
Таёжное, Алдан



МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Котоит $Mg_3[BO_3]_2$

Хол-Кол,
Суан,
Корея



70x66 мм. Мелкокристал.
хондродит - котоитовые
агрегаты

Колл. Е.Н. Граменицкого
Фото Э.М. Спиридонова



60x55 мм



39x18 мм



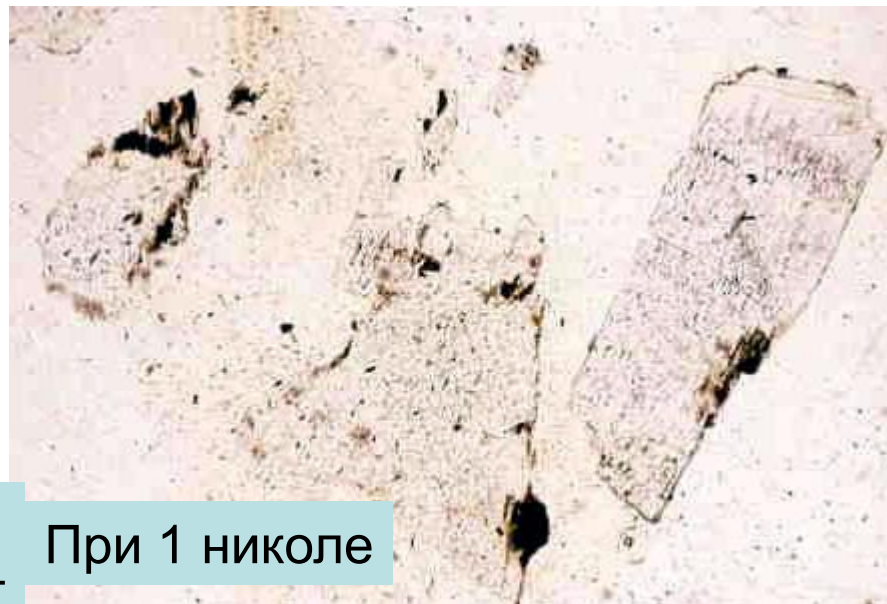
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Флюоборит $Mg_3[BO_3](F,OH)_3$



57x43
мм

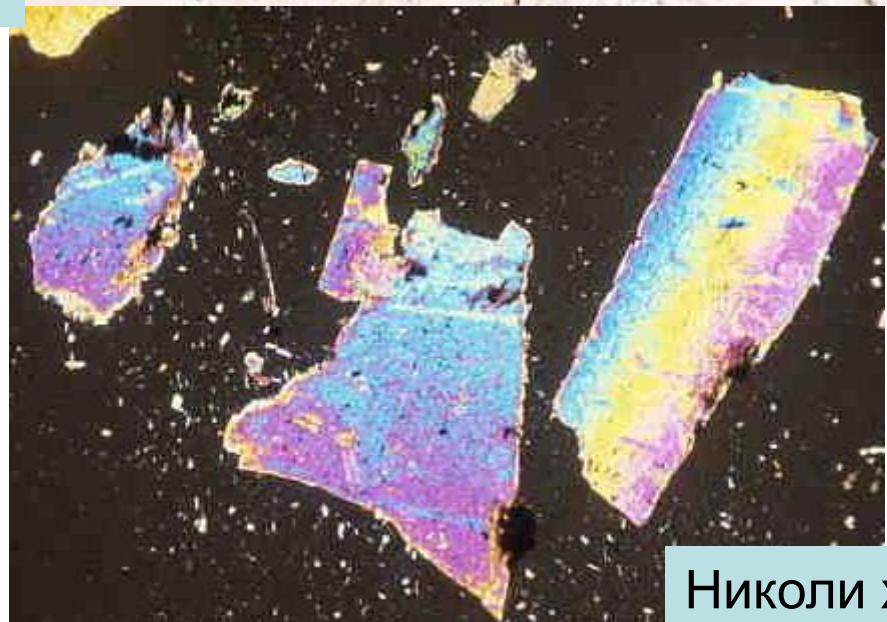
Таёжное,
Алдан. щит



При 1 николе



Гнездо флюоборита
в форстеритовых скарнах.
Питкьяранта, Карелия



Николи х

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Суанит $Mg_2[B_2O_5]$

Сахаит $MgCa_3[CO_3/(BO_3)_2] \cdot n(H_2O, HCl)$



Титовское, Верхоянье



С реликтами
людвигита

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Сахаит $MgCa_3[CO_3/(VO_3)_2] \cdot n(H_2O, HCl)$

Колл. М.А. Богомолова. Фото Э.М. Спиридонова

Характерная корка выветривания



101x62 мм

Сахаит (с реликтами людвигита). В значительной степени замещён ссайбелиитом и бруситом.

Таёжное, Алданский щит

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

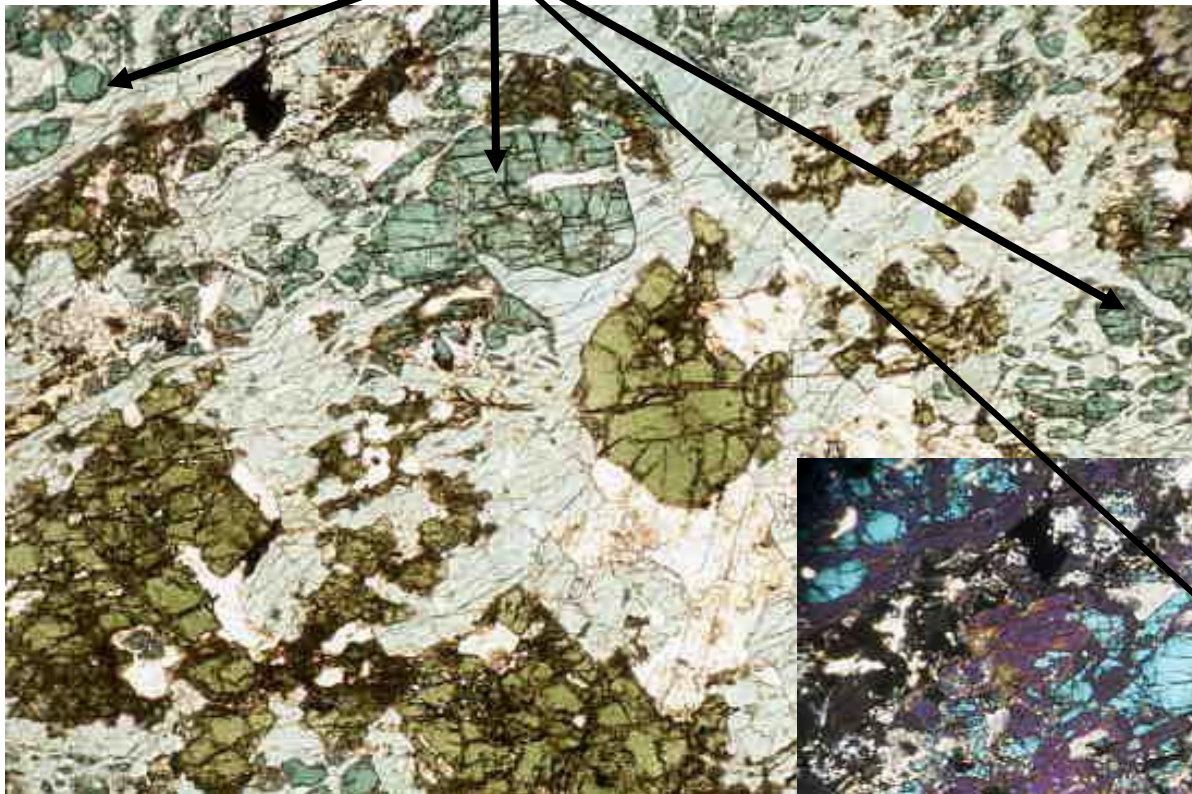
Турмалин - увит $\text{Ca Mg}_3\text{Al}_5\text{Mg} [(\text{OH})_4/(\text{BO}_3)_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}]$



В кальцифирах.
Декальб, Сент-Лоренс

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ. Бороносные

Турмалин - увит $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_5\text{Mg}[(\text{OH}, \text{F})_4/(\text{BO}_3)_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}]$



Колл. М.А. Богомолова
Фото Э.М. Спиридонова

Шлиф. Николи х

Шлиф. При 1 николе

В шпинель-фассаитовых
скарнах.
Таёжное,
Алданский щит

