Лекционный курс для студентов специальности РГ

Петрография магматических и метаморфических пород

Сироткин Александр Николаевич

профессор кафедры МКП

Метасоматоз и метасоматиты

Что это такое?

Метасоматоз

- ***Метасоматозом*** ***называется процесс преобразования горных пород под воздействием*** ***агрессивных растворов****,* ***происходящий путем замещения одних минералов другими с сохранением твердого состояния породы в целом и сопровождающийся изменением её химического состава. При метасоматозе осуществляется*** ***перекристаллизация*** ***с привносом и выносом вещества*** ***без изменения объема породы***
- ***Метасоматоз в данном случае развивается локально в различной геологической обстановке при небольшом давлении на малых, реже средних глубинах.***
- Таким образом, это процесс радикального изменения состава пород под действием гидротермальных растворов, осуществляемый при постоянстве объёма пород. Символ метасоматоза - псевдоморфозы.

Метасоматоз

- Главным фактором метасоматических процессов являются активность летучих (подвижных) компонентов, в первую очередь – H_2O и CO_2, а также температура
- Давление имеет меньшее значение, т.к. эти процессы идут на небольших глубинах
- Флюиды оказывают каталитическое воздействие на ход процессов; являются переносчиками вещества; источниками тепла

Происхождение флюидов

- Ювенильные – глубинные, поступающие из мантии и ядра. Обогащены водой и металлами
- Магматогенные – отделяются от магмы в ходе магматической кристаллизации. Их температура равна температуре магмы и может составлять от 1900 до 650°С. Содержат H_2O и CO_2, а также целый ряд химических соединений. Удаляясь от магматического тела вследствие перепада давлений, постепенно охлаждаются и переходят в растворы
- Метеорные – поверхностные воды и поровые воды горных пород

Типы метасоматоза

- Инфильтрационный метасоматоз. Совершается в процессе свободного течения флюидной фазы по трещинам, зонам дробления и тектонических нарушений
- Диффузионный метасоматоз. Осуществляется путём миграции компонентов за счёт диффузии в поровых растворах.
- Биметасоматоз. Процесс, протекающий в зоне контакта двух пород резко различного химического состава. Здесь факторами процесса являются химизм флюидной фазы и химизм контактирующих пород

Особенности процессов метасоматоза

- Проникая по трещинам, порам и межзерновым пространствам, растворы вступают в химические реакции со старыми минералами горных пород. В результате на месте старых минералов возникают новые, обогащённые теми компонентами, которые принесли растворы. Возникают новые породы – метасоматиты
- Для них характерно существенное, иногда полное преобразование химического состава горных пород в ходе привноса – выноса вещества, процессов растворения и осаждения химических компонентов
- При этом объём породы остаётся постоянным

Особенности процессов метасоматоза

- Интенсивность метасоматических процессов определяется:
- - химическим составом летучих компонентов, их температурой и давлением
- - проницаемостью горных пород и их структурно-текстурными характеристиками
- - составом горных пород
- Для метасоматических залежей свойственна зональность (смена в пространстве одного типа метасоматитов другим), что определяется химической стадийностью метасоматического процесса

Формы залегания и другие признаки метасоматитов

- Пластообразные и согласные залежи, совпадающие с формами залегания осадочных горных пород в случае их замещения
- Согласные метасоматические залежи, располагающиеся вдоль структурных и стратиграфических несогласий в толщах осадочных пород
- Секущие залежи, повторяющие конфигурацию тектонических зон
- Метасоматические столбы на пересечении тектонических зон
- Системы штокверков, повторяющих конфигурацию систем тектонических трещин
- Сложные тела на контакте магматитов с вмещающими породами

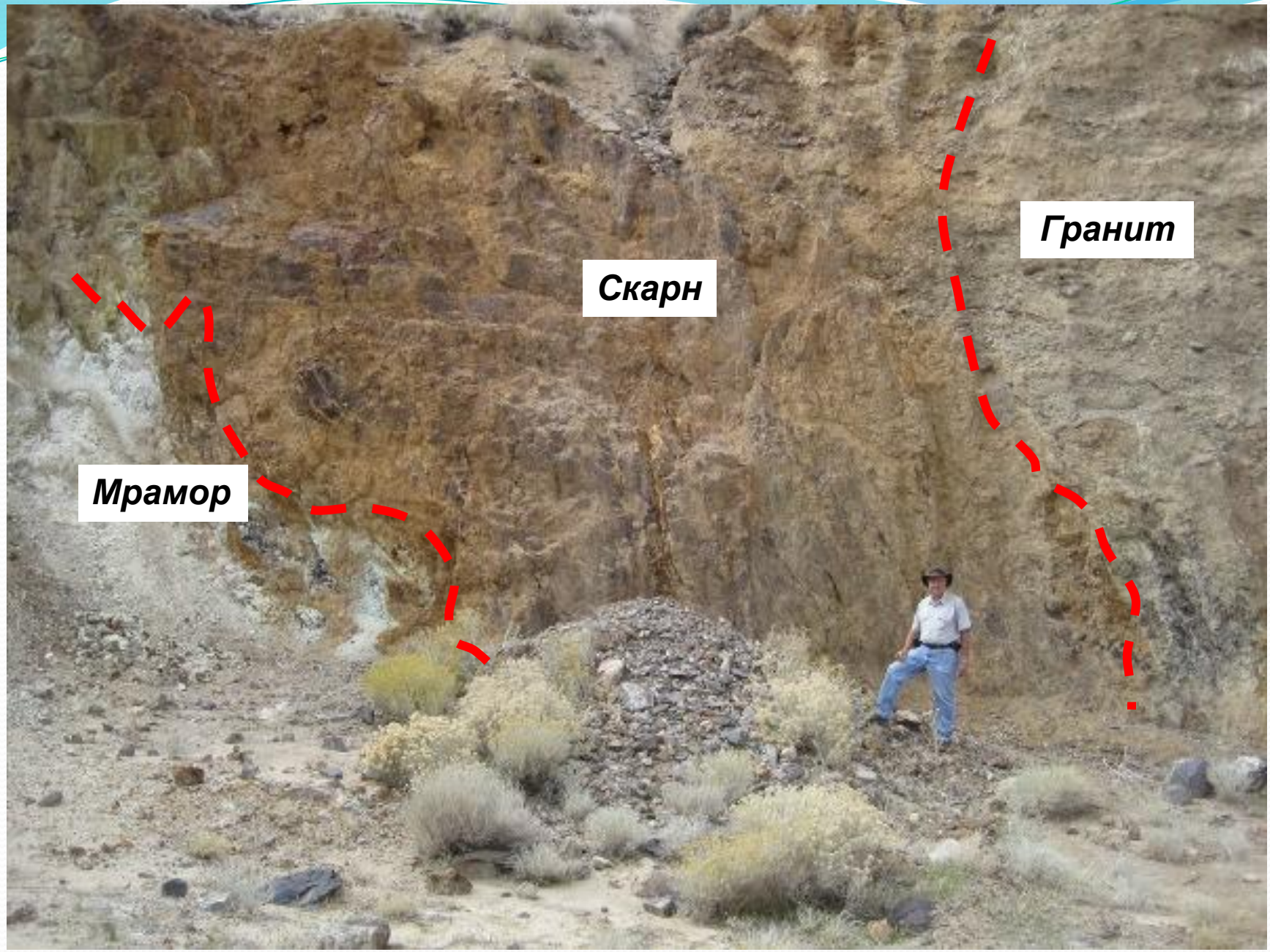
Текстуры, структуры пород. Минеральный состав

- Текстуры метасоматитов: полосчатые, брекчиевидные, прожилково-брекчиевидные, пятнистые, редко массивные
- Структуры метасоматитов: неравномернозернистые, корковые, реликтовые, неориентированные.
- Минеральный состав может быть простым (например, моно- или диминеральным), а иногда сложным из-за наложения последовательных метасоматических процессов, либо из-за сохранения реликтовых минералов первичных пород

Контакты между метасоматитами и между метасоматитами и вмещающими породами

- Могут быть резкими
- Могут быть плавными, постепенными

Метаморфические процессы



Контактово-метасоматические процессы

- Этот тип метасоматических процессов имеет место обычно на контактах интрузии с вмещающими породами
- Главные факторы: летучие компоненты из кристаллизующегося расплава; состав контактирующих пород; температура
- Типы метасоматитов: скарны, фениты и другие

Особенности контактово-метасоматических пород

- Граница между метасоматитами и неизменёнными породами – резкая
- Метасоматит не образует сплошного ореола вокруг интрузии, а образует линзы; форма и размеры линз зависят от характеристики вмещающей породы
- Минеральный состав метасоматитов простой, часто моно- или биминеральный
- Структуры и размер минеральных зёрен в метасоматитах крайне не выдержаны
- На минералы ранних парагенезисов часто накладываются низкотемпературные минералы поздних парагенезисов, что усложняет состав породы и расшифровку её генезиса

Автометасоматоз (автометаморфизм)

- Это процесс метасоматического изменения магматических горных пород под влиянием летучих компонентов, отделившихся от той же интрузии или идущих из того же очага, который образовал данную интрузию
- Главные факторы: летучие компоненты из кристаллизующегося расплава; состав магматических пород; температура
- Типы метасоматитов: серпентиниты, грейзены и другие

Околожильный (приразломный) метасоматоз

- Наблюдается в разномасштабных тектонических зонах (разломных зонах и зонах смятия), вдоль пневматолитовых и гидротермальных жил
- Очень разнообразны в своих проявлениях
- Зависят от: а) состава и структуры первичной породы; б) температуры и давления метасоматоза; в) химического состава раствора; г) физических характеристик раствора; д) способа проникновения и взаимодействия раствора с породой
- Типы метасоматитов: пропилиты, вторичные кварциты, березиты и другие

Стадийность проявления метасоматитов

Проявляется на фоне снижения температуры и изменения pH растворов

Метасоматоз

Ранняя щелочная стадия

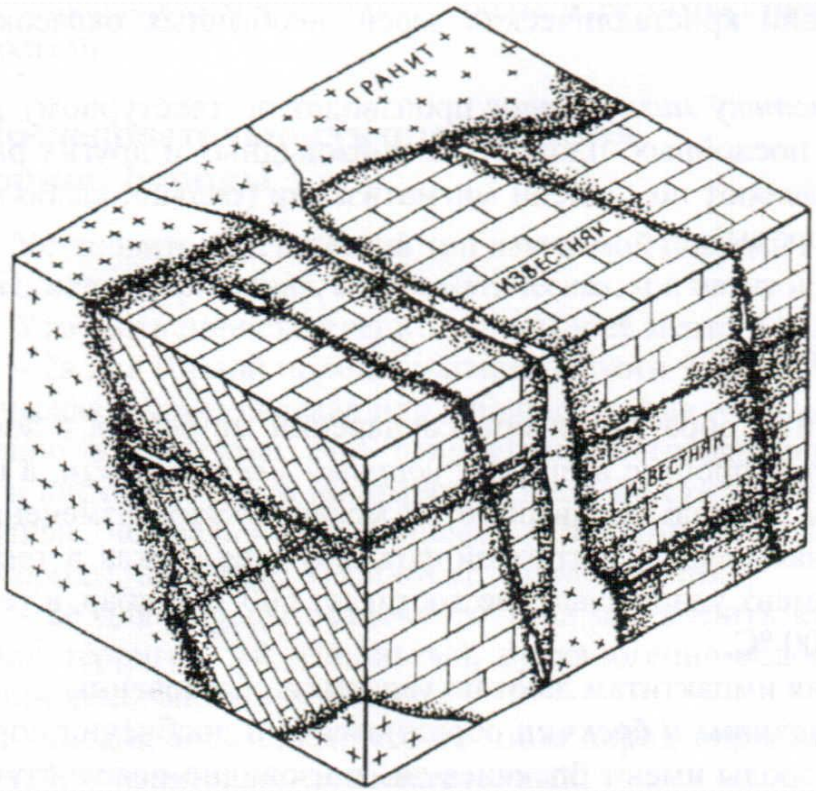
Кислотная стадия

Поздняя щелочная стадия

Метасоматиты, равновесные с нейтральными растворами

- Скарны – высоко- и среднетемпературные образования
- Пропилиты – средне- и низкотемпературные образования

1. *Скарны* – образуются на контакте интрузий и карбонатных толщ под действием постмагматических флюидов и растворов.



Скарн –гранат, пироксен, эпидот, магнетит, карбонат

Скарны:

Магнезиальные – на контакте с доломитами (оливин, диопсид, шпинель, флогопит, серпентин и др.)

Известковые - на контакте с известняками (гроссуляр-андрадитовый гранат, диопсид, волластонит, эпидот и др.)

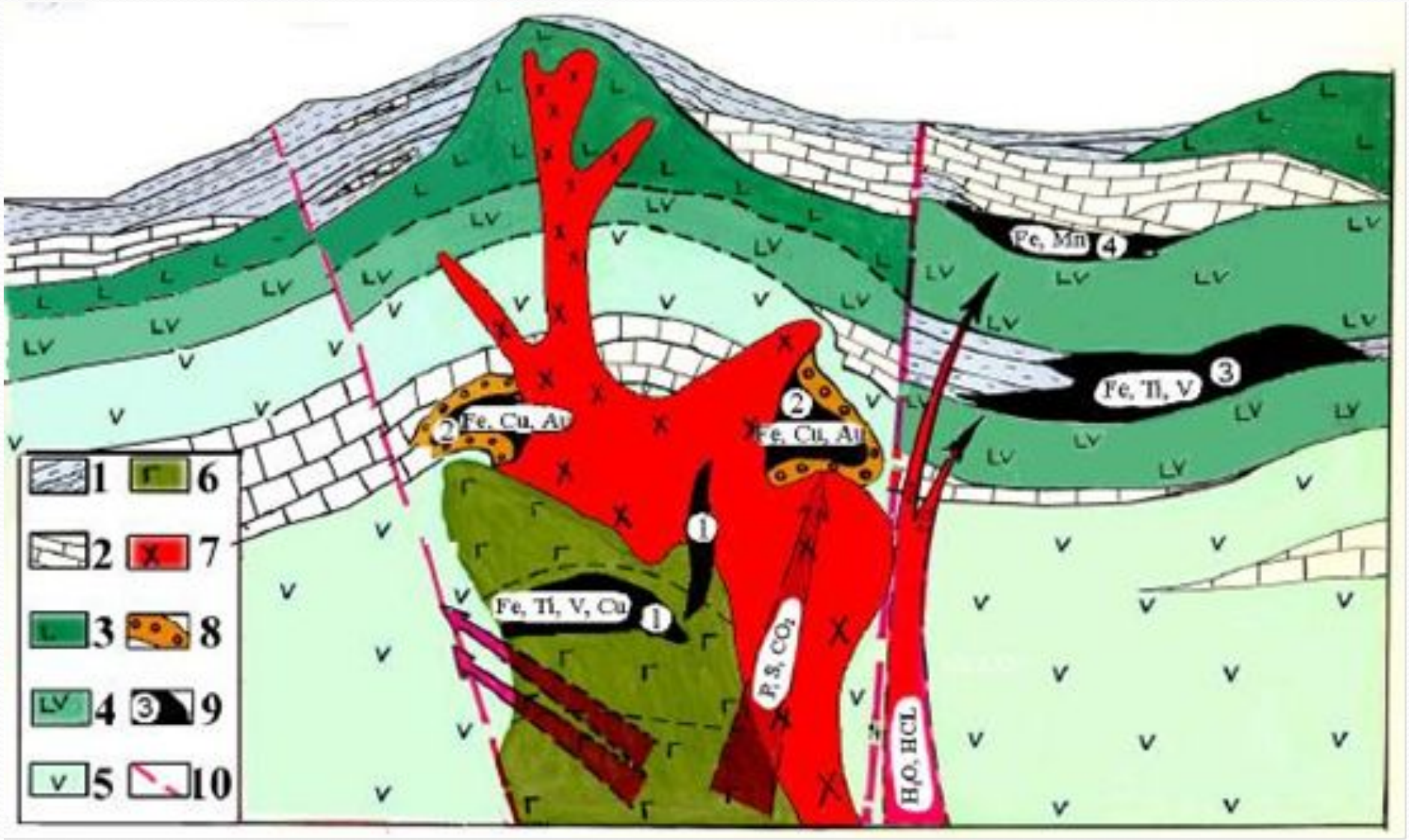
Структуры – нематогранобластовые.

- ***Текстуры*** – массивные, полосчатые, пятнистые.
- ***Состав*** – преобладают пироксены, гранат, часто содержат кальцит, эпидот, кварц, рудные минералы.

Скарны

- Диапозон температур – от 1000 до 300°С
- pH растворов – от слабощелочных и нейтральных до слабокислых (8 – 6)
- Эндоскарн – по магматической породе, экзоскарн – по вмещающей породе
- Si, Al, H_2O – поступают с магматогенными растворами; Ca, Mg – из карбонатных пород
- «Сухие» скарны – минералы с гидроксильной группой отсутствуют. С «сухими» скарнами связаны месторождения железа. Эндоскарн
- Скарны водные: амфибол, эпидот, хлорит и др. Разнообразие рудных минералов: шеелит, вольфрамит, касситерит, сульфиды меди, кобальтин, сфалерит, галенит, золото, платина, флюорит, барит и многие другие

Скарны


Fe, Mn
4
Fe, Ti, V
3
Fe, Cu, Au
2
Fe, Cu, Au
2
1
Fe, Ti, V, Cu
1
P, S, CO2
H2O, HCL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Минералогия скарнов

- Высокотемпературные: гроссуляр-андрадит, диопсид-геденбергит, магнетит, везувиан, волластонит, оливин, шпинель
- Низкотемпературные: кальцит, эпидот, хлорит, актинолит, кварц, альбит, скаполит, серпентин, сфен. Важное значение имеют минералы бора: датолит, людвигит и другие
- Процесс телескопирования – наложение низкотемпературных ассоциаций на ранее сформированные высокотемпературные

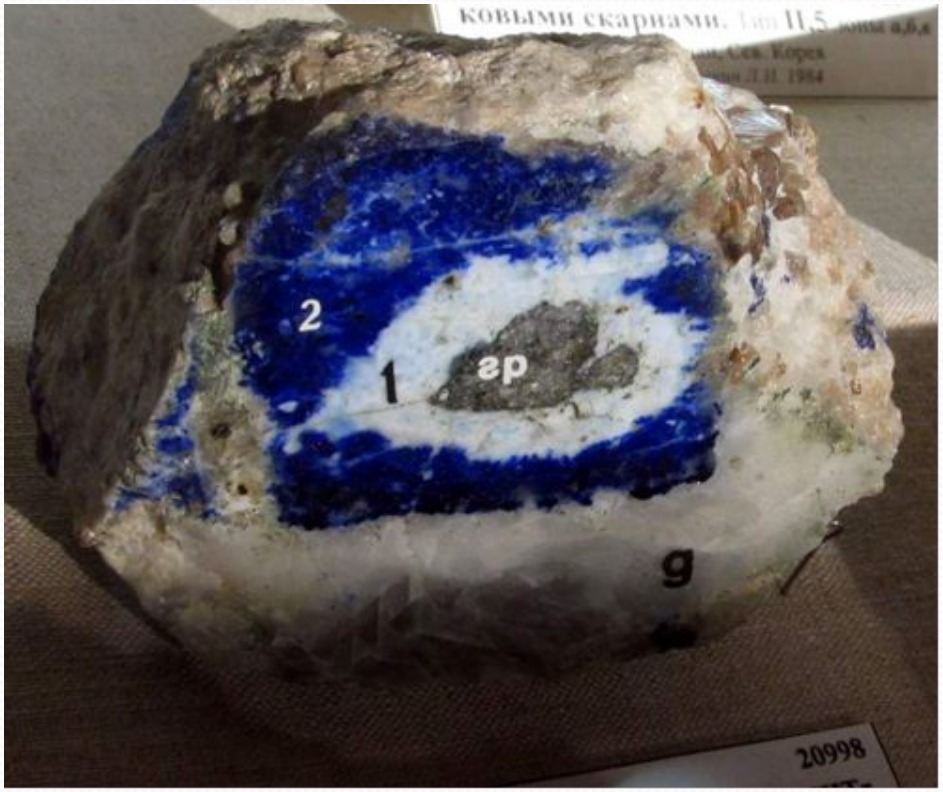
Минералогия скарнов

Гранатовый скарн

Везувиан

Везувиан-волластонитовый скарн

Минералогия скарнов



Шпинель (розовая) и **лазурит (синий)**

Минералогия скарнов

Датолит

Датолит-волластонитовый скарн

Скарны в шлифах

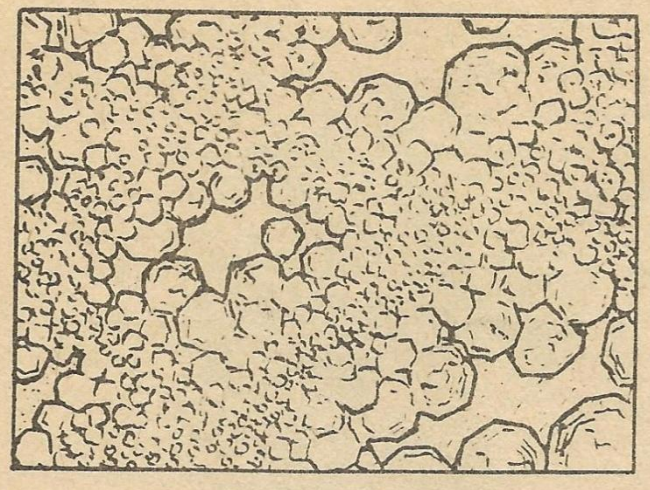


Рис.29. Друзовая структура гранатового скарна

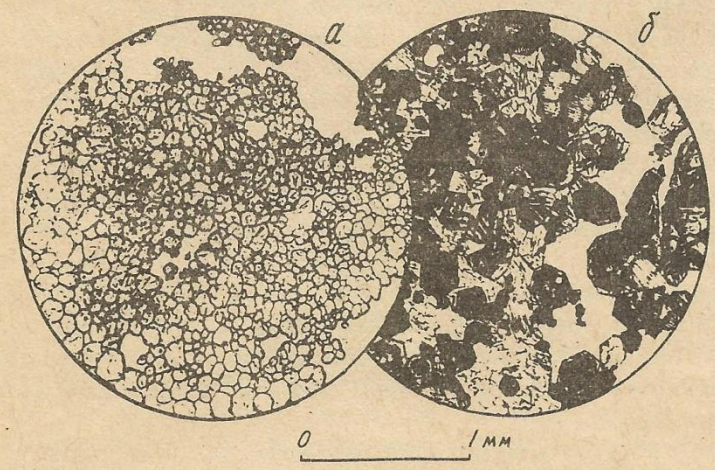


Рис.30. Скарны: а – гранатовый, Средняя Азия; б – гранато-пироксеновый, Средняя Азия [9]

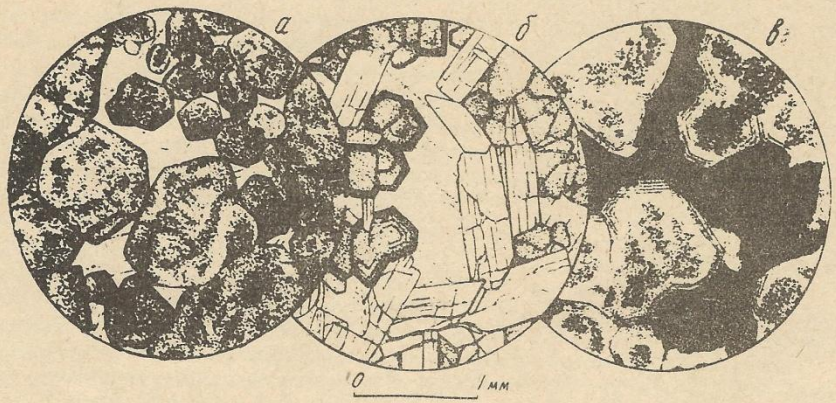
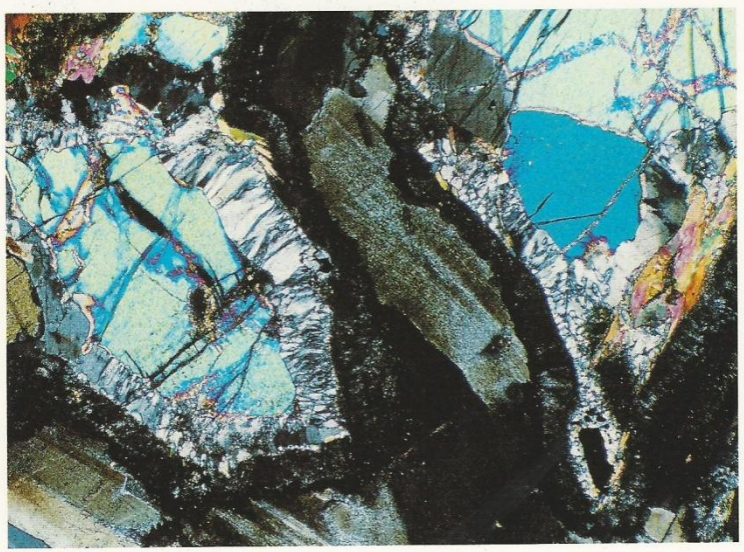
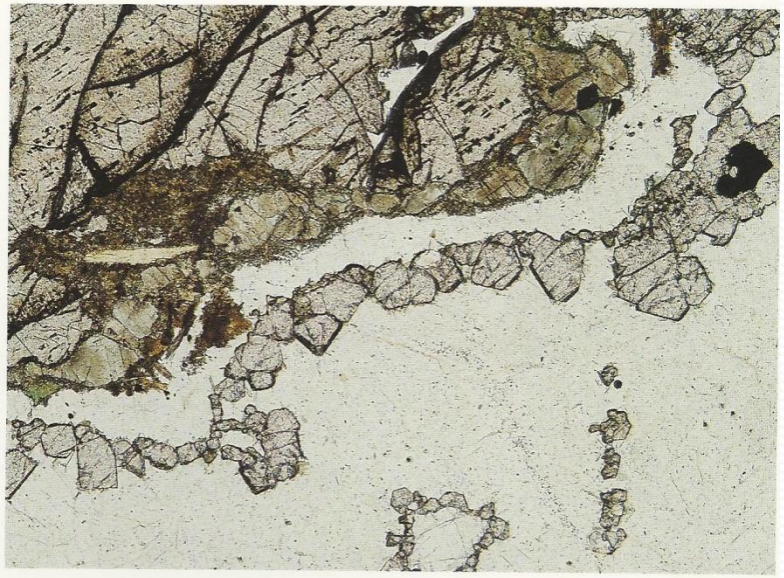


Рис.31. Скарны: а – гранатовый, о.Скай, Шотландия; б – гранатовый с аксинитом, Корнуолл, Англия; в – рудный скарн с пирротином, Осло, Норвегия [15]

Коронарные (друзитовые) стр





Пропилиты

- Пропилитизация – метасоматический процесс на малых глубинах, крупномасштабный
- Температура до 200-350°С, растворы –слабокислые, нейтральные и щелочные (pH 5-8)
- Протолит – вулканические породы основного и среднего состава, а также вулканомиктовые и полимиктовые граувакки
- Минеральный состав пропилитов: хлорит, эпидот, альбит, актинолит, биотит, кальцит, сульфиды и др.
- Это телетермальный процесс, т.к. связь с конкретными интрузиями не просматривается. Предполагается связь с крупными батолитами или комплексами даек. Также в зонах разломов
- Pb-Zn, Cu-Zn, Au-Ag и другое оруденение

равновесные с кислыми растворами

- Грейзены – высокотемпературные метасоматиты
- Лиственниты, березиты, вторичные кварциты - среднетемпературные метасоматиты
- Аргиллизиты – низкотемпературные метасоматиты

2. *Грейзены* – крупнокристаллические светло-серые породы.

Состав - кварц и светлая слюда (мусковит или лепидолит). Могут присутствовать топаз, турмалин, апатит, флюорит; рудные минералы (касситерит, вольфрамит, молибденит, пирит, арсенопирит и др.)

Структура – лепидогранобластовая.

Текстура – массивная.

Грейзены

Продукты интенсивного метасоматоза исходных пород кислого и среднего состава (Qtz,Mu,Fl,Top)

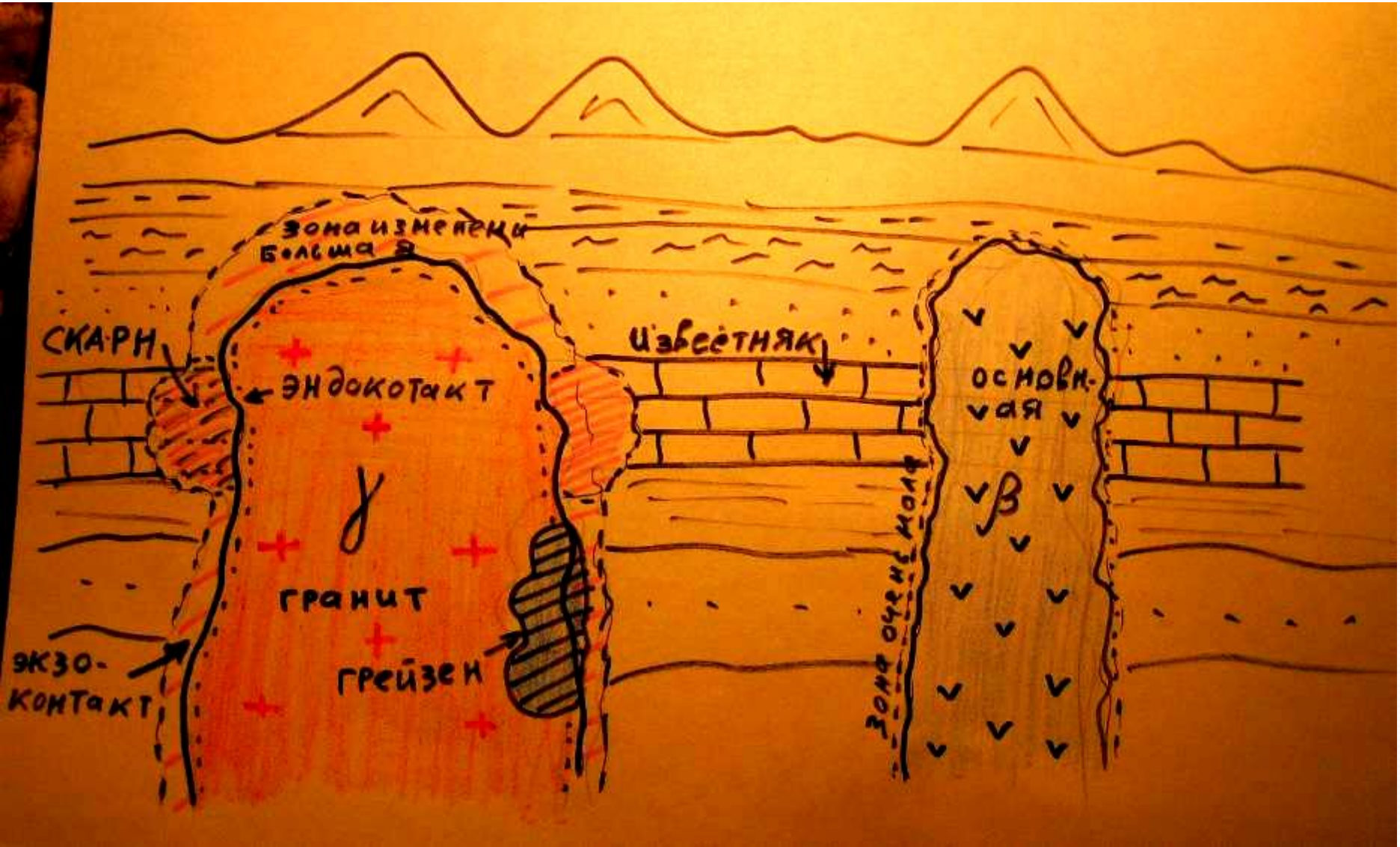
Цвиттеры – высокотемпературные грейзены со значительным содержанием Li (Qtz, Li-слюда (циннвальдит), Top).

Процесс – пневматолитово-гидротермальный, T°C - более 500° и до 300°. Идёт в кислой среде – pH 4-6

В качестве протолита выступают граниты и сходные по химизму породы.

Нередко пространственно и генетически связаны со скарнами

Положение скарна (в экзоконтакте) и грейзена (в эндоконтакте) интрузии



Грейзен – кварц, мусковит, топаз, флюорит, турмалин, вольфрамит, молибденит и др.

Грейзены

- Светлые крупнозернистые породы, возникающие при метасоматическом изменении, главным образом, магматических пород в контакте гранитных интрузий.
- Для них характерны кварц, мусковит, литиевые слюдки, турмалин, топаз, флюорит, берилл и редкометальное оруденение (вольфрамит, молибденит, касситерит, висмутовые минералы).
- Эндогрейзены – по материнским гранитам и экзогрейзены – по вмещающим породам

Вторичные кварциты

Образуются в субвулканических условиях в процессе кислотного выщелачивания эффузивов кислого и среднего составов (риолиты, дациты, андезиты) и их туфов.

По составу – серицит-кварцевые породы, в которых кварц составляет до 50-70%. Также присутствуют: каолинит, алунит, андалузит, корунд, флюорит, топаз, турмалин, пирит, гематит и др.

Структуры: реликтовая, бластопорфировая, микрогранобластовая. Могут сохраняться вкрапленники кварца и калишпата.

Вторичные кварциты

Вторичные кварциты

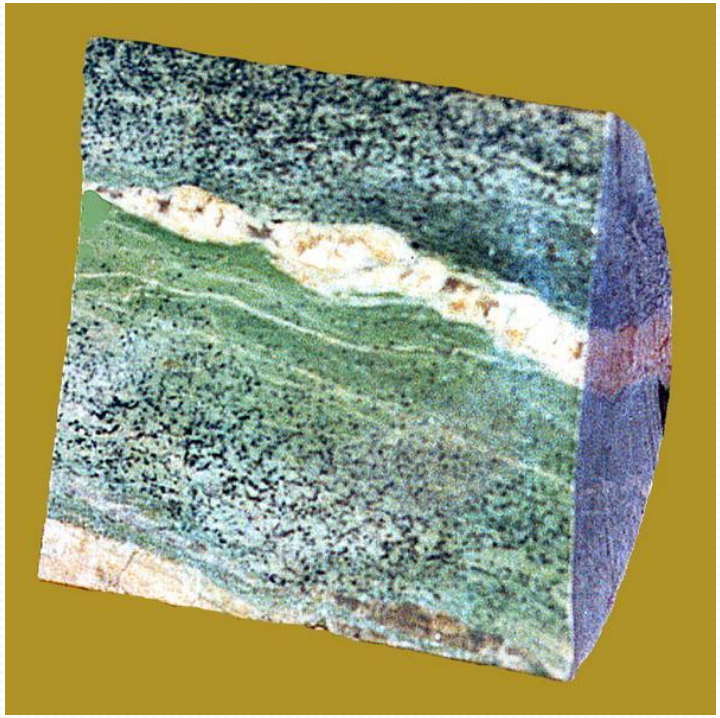
- Образуются в широком интервале температур:
- - корунд-андалузитовые – 450-400°С
- - алунитовые – около 300°С
- - каолинитовые – около 200°С
- - серицитовые – 100-150°С
- Формируются в приповерхностных условиях, давление низкое
- По генезису: автометасоматические, контактовые, околожильные

Аргиллизиты

- Гидротермально измененные каолиновые породы, имеют эндогенное происхождение. Светлоокрашенные породы.
- Глинистые минералы: каолинит, монтмориллонит, галлуазит, иллюит, дикит. Также присутствуют: кварц, опал, барит, карбонаты, пирит, гематит, хлорит, флюорит и другие.
- Обрамляют рудные жилы, часто зональны (рудная жила - кварц - шамозит - каолинит - монтмориллонит - хлорит)

Аргиллизиты

- В качестве протолита могут быть кислые, средние и щелочные породы, обычно эффузивные.
- Низкотемпературный гидротермальный процесс, T°C от 250 до 50°C. Кислая среда, pH < 5.



Березиты

Массивные светлоокрашенные мелкозернистые породы, всегда с зёрнышками пирита

Минеральный состав – серицит-кварцевый (Qtz,Ser,Cal,Prt), также присутствуют хлорит и разнообразные сульфиды

Структура микролепидобластовая, бластопорфировая; характерны реликтовые структуры и текстуры

Березиты

- В качестве протолита – различные гранитоиды и вмещающие породы
- Гидротермальный метасоматоз – околотрещинный, околожильный, региональный. Связан с постмагматическими процессами
- T°C – 350-250°C, pH 4-5
- С березитами связана широкая сульфидизация

Листвениты

- Лиственизация – процесс, сходный с березитизацией, но проходит по основным, ультраосновным породам и доломитам
- Листвениты – зеленоватые породы (отсюда и название), состоящие из Qtz,Carb и фуксита
- Фуксит – хромсодержащий мусковит; карбонаты представлены доломитом и магнезитом. Также могут присутствовать тальк, пирит, лимонит и др.

Листвениты

Метасоматиты, равновесные со щелочными растворами

- Фениты – высокотемпературные метасоматиты
- Фельдшпатолиты – высоко- и среднетемпературные метасоматиты
- Эйситы – средне- и низкотемпературные метасоматиты
- Чароит - высокотемпературные метасоматиты

Фениты

- Образуют ореолы вокруг интрузивов щелочных магматических горных пород. В частности, комплексы УЩК окружены ореолами фенитов
- В качестве протолита – кислые кварц-полевошпатовые магматические и метаморфические породы
- Лейко- и мезократовая массивная либо сланцеватая порода с гранонематобластовой или порфиробластовой структурой.
- Состав: альбит, нефелин, эгирин, микроклин, арфведсонит, чароит, сфен, апатит, монацит и другие

Фенитизация

- Высокотемпературный (500-900°С) контактовый щелочной (pH 8-10) метасоматический процесс
- Высокая активность натрия, реже калия
- Хлоридно-фторидно-калий-натровые флюиды – производные щелочных интрузий; воздействуют на граниты, гнейсы, песчаники (кварц-полевошпатовые породы)
- Плагиоклаз замещается альбитом и нефелином; темноцветные минералы (биотит, амфибол) – эгирином, арфведсонитом; микроклин сохраняется и увеличивается количественно, а кварц исчезает

Фельдшпатолиты

- Образуются за счёт гранитов в экзоконтактах гранитоидных интрузий
- Под действием растворов повышенной щёлочности (pH до 8,5) и высокой температуры (400-600°C).
- Обычно зональные: внутренние зоны, прилегающие к гранитоидам и их захватывающие, и внешние, периферийные, во вмещающих породах
- По преобладанию полевого шпата выделяют альбититы, микроклиниты и т.д.
- Состав: альбит, микроклин, кварц, лепидолит, рибекит, мусковит, биотит, акцессории.

Эйситы

- Продукт низкотемпературного и слабощелочного натриевого метасоматоза при высоком потенциале CO_2.
- Протолит – гранитоиды, гнейсы, песчаники, иногда базальтоиды
- Телетермальный процесс: предполагается связь с постмагматической стадией становления гранитоидных интрузий, но прямая связь с интрузией не устанавливается
- Часто развиваются по зонам разломов, формируя тела в сотни метров мощностью
- Породы буровато-красного цвета, массивные; структура лепидогранобластовая, гранобластовая

Эйситы

- Минеральный состав: альбит, хлорит, кальцит, гематит; также встречаются кварц, адуляр, серицит, анатаз, апатит, лейкоксен и др.
- Встречаются урановые минералы

Чароит

- Породы с чароитом – результат калиевого щелочного метасоматоза

Чароит

- Формируется на контакте щелочных пород и прорванных ими мраморов
- Калиевый метасоматоз, Т°С = 750-400°С
- Массивные плотные породы с сиреневыми прожилками, линзами, агрегатами самой разной формы
- По текстуре бывают лучистые, прожилковатые, сноповидные, параллельно-шестоватые и др.
- Главный минерал – чароит (силикат калия и кальция, с большим количеством летучих)
- Также в породах встречаются эгирин, микроклин, кварц, арфведсонит, карбонат и другие минералы, среди которых очень много редких

Чароит

- Единственное место в мире: Мурунский ультракалиевый щелочной массив на реке Чаре (граница Якутии и Иркутской области). Здесь выходы чароитовых пород, площадь около 150 км^2
- Чароит встречен также в Австралии и США, но только в виде акцессорных минералов в некоторых щелочных метасоматитах

Серпентиниты

- Самый распространённый процесс изменения ультраосновных пород
- Серпентинизация – гидротермальный процесс, при котором магнезиальные минералы в результате гидратации превращаются в серпентин
- Различаются по генезису, геолого-тектонической позиции и температурам формирования

Серпентиниты – образованы под влиянием флюидов на ультраосновные породы, содержащие оливин.

Состав - серпентин с примесью магнетита и хлорита, часто с прожилками волокнистого хризотил-асбеста.

Структура – лепидобластовая.

Текстура – массивная, пятнистая.

Серпентиниты

- Автометасоматическая серпентинизация – оливин-содержащие породы (дуниты, перидотиты и др.) изменяются под действием собственных растворов
- Контактово-метасоматическая серпентинизация – перидотиты или другие ультраосновные породы прорваны гранитной интрузией, и на контакте формируются зоны серпентинитов
- Метасоматическая серпентинизация по тектоническим зонам – по зонам тектонических трещин поступают метеорные воды (атмосферные), образуя серпентиниты
- Экзогенная серпентинизация – на поверхности, в условиях тропического климата и действия поверхностных вод

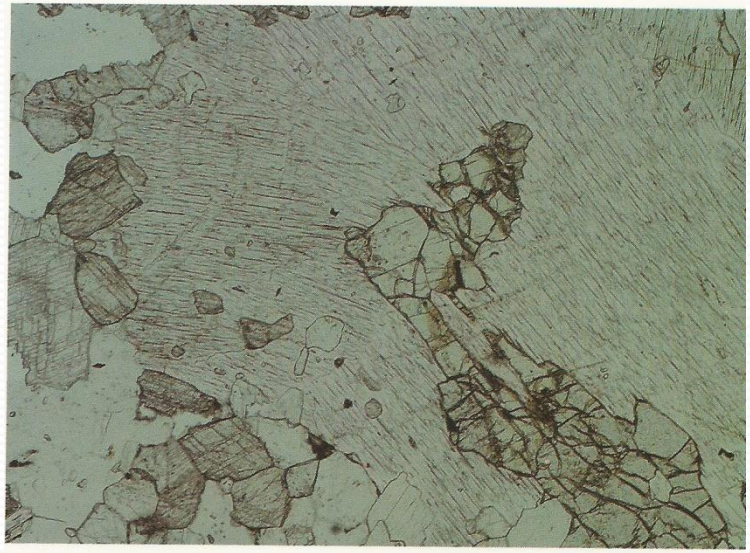
Серпентиниты

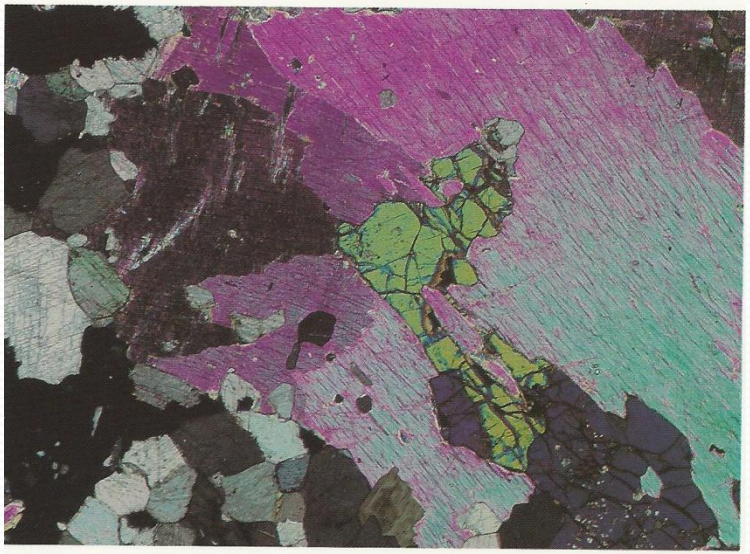
- В зависимости от генезиса, температура процесса серпентинизации может меняться от 400-650°С до 25-80°С
- Отсюда разновидности серпентина: лизардит (низкотемпературный), хризолит (средне-температурный), антигорит (высокотемпературный)
- Развивается по оливину, ромбическому и монклинному пироксену, ромбическому амфиболу, хромшпинелидам
- Другие минералы: хлорит, тремолит, тальк, брусит, магнезит, доломит, кальцит, магнетит, гарниерит и т.д.

Метаультрабазиты

Серпентинит

Ол-Тальк-Карб порода





Полезные ископаемые, связанные с метасоматитами

- Скарны. Рудные: железо, вольфрам, олово, молибден; медь, свинцово-цинковые; золото, платина, мышьяк. Нерудные: графит, апатит, тальк, асбест. Минералы бора.
- Грейзены: олово, вольфрам, молибден, медь, золото, висмут, мышьяк; графит, флогопит, корунд.
- Среднетемпературные метасоматиты: свинец, цинк, медь, олово, молибден, золото, серебро; асбест, магнезит, флюорит, горный хрусталь
- Низкотемпературные метасоматиты: золото, серебро, ртуть, сурьма, медь, свинец, цинк; флюорит, барит, исландский шпат, алунит