

Метасоматические горные породы



Метасоматические горные

породы

- Термин «метасоматизм» был введен в науку в середине XIX века немецким ученым К. Науманном для обозначения псевдоморфного замещения одних минералов другими.
- В современной понимании, **метасоматизм (метасоматоз)** – это процесс взаимодействия горных пород с фильтрующимися сквозь них жидкими фазами: многокомпонентными водными растворами, карбонатными, силикатными и другими расплавами. При этом сохраняется твердое состояние горных пород, а их химический состав меняется вследствие растворения ранее существовавших минералов и отложения на их месте новых минеральных фаз.
- Большое практическое значение имеют околорудные метасоматиты, пространственно связанные с рудной минерализацией.

- Наиболее распространенные метаморфические преобразования горных пород сводятся к их взаимодействию с горячими водными растворами различного происхождения, которые называют **гидротермальными**.
- Метаморфизм развивается на разных глубинах от поверхности Земли и до верхней мантии. Большая часть околорудных метасоматитов образовалась на малых глубинах, не более 3 – 4 км.

Источники гидротермальных растворов

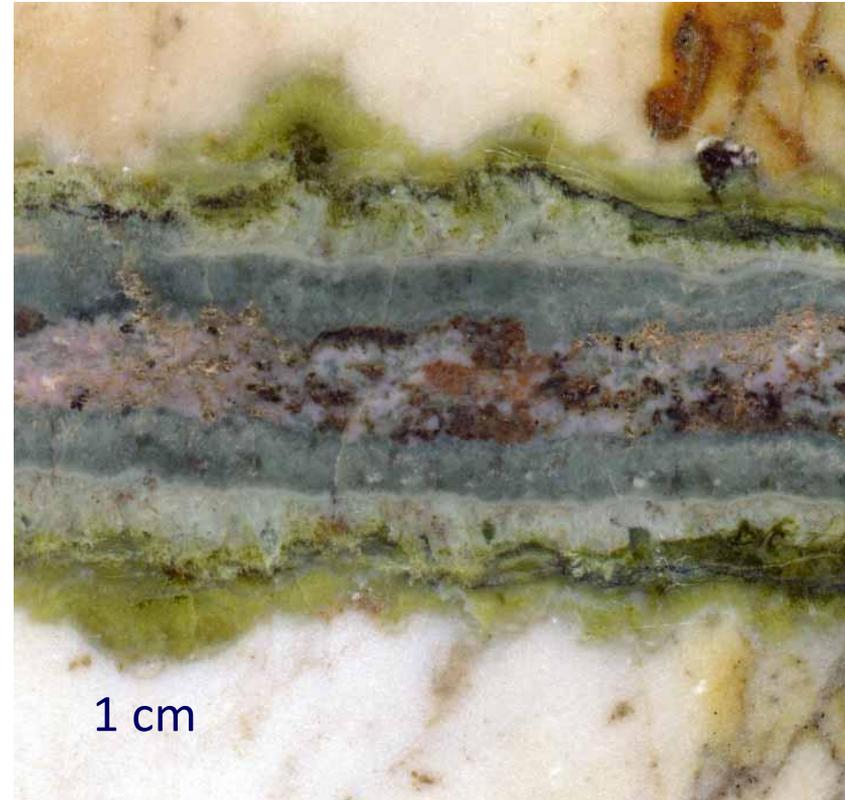
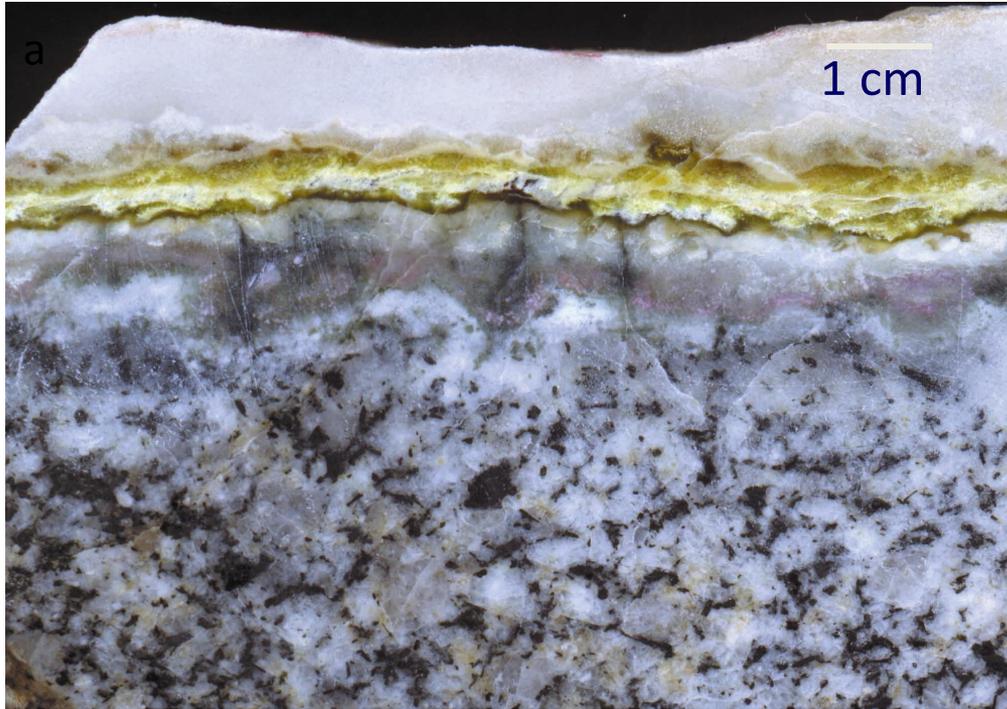
- Поверхностные воды континентов: дождевая, озерная, речная и грунтовая
- Морские (в том числе захороненные) воды
- Магматогенные растворы, которые выделяются из магм мантийного или корового происхождения при их подъеме и затвердевании
- Метаморфогенные растворы, обусловленные дегидратацией минералов при прогрессивном метаморфизме
- Гидротермальные растворы могут находиться в разном агрегатном состоянии: жидком, кипящем и надкритическом. Эти растворы часто обозначаются общим термином

Признаки метасоматических горных пород

- Псевдоморфное замещение одних минералов другими. Псевдоморфозы могут быть весьма разнообразны.
- Порфиристо- и пойкилобластовые структуры
- Рост кристаллов в направлении, перпендикулярном трещиноватости, т.е. вдоль путей фильтрации растворов.
- Коррозия субстрата, блочный характер кристаллов, цепочечное расположение кристаллов и пр.

- В 60-ые годы XX века , используя законы фильтрации и диффузии, Д.С.Коржинский разработал теорию *метасоматической зональности*. В основу этой теории им были положены следующие допущения:
- а) существование в породах тонкой и равномерной системы пор; б) постоянство объема при метасоматическом замещении; в) постоянство температуры в пределах метасоматических колонок и г) достижение химического равновесия в каждой точке колонки (скорость реакций раствора с породой выше, чем скорость просачивания раствора при инфильтрации или скорость диффузии).
- Характерная черта метасоматических образований - это зональность. По мере возрастания интенсивности процессов метасоматоза число минералов в каждой следующей зоне (в направлении оси колонки) уменьшается на один, вплоть до образования мономинеральных пород в осевой зоне колонки.

Chapter 30: Metamorphic Fluids & Metasomatism



Metasomatic zones separating quartz diorite (bottom) from marble (top). Zonation corresponds to third row from bottom in Table 30.1. **b.** Symmetric metasomatic vein in dolomite.

Adamello Alps. After Frisch and Helgeson (1984) *Amer. J. Sci.*, 284, 121-185. Photos courtesy of Hal Helgeson. Winter (2010) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

МЕТАСОМАТИТЫ, РАВНОВЕСНЫЕ СО ЩЕЛОЧНЫМИ РАСТВОРАМИ

Типы метасоматитов	протолит	Минеральный состав метасоматитов	Параметры гидротермального раствора		Рудная минерализация
			Т °С	рН	
ФЕНИТЫ	1,2,3	НЕФЕЛИН, К-НА ПОЛЕВОЙ ШПАТ, ЩЕЛОЧНЫЕ ПИРОКСЕНЫ И АМФИБОЛЫ, БИОТИТ, МАГНЕТИТ, КАЛЬЦИТ	800-500	10-8	Nb, Zr, Be, РЗЭ
СОДАЛИТОВЫЕ метасоматиты	1,2	СОДАЛИТ, К-НА ПОЛЕВОЙ ШПАТ, ЩЕЛОЧНЫЕ ПИРОКСЕНЫ И АМФИБОЛЫ, БИОТИТ, МЕЛАНИТ (ШОРЛОМИТ), КАЛЬЦИТ	600-300	9,5-8	

1 – КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ И ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

2 – МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ПОВЫШЕННОЙ ОСНОВНОСТИ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

3 – КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

Типы метасоматитов	протолит	Минеральный состав метасоматитов	Параметры гидротермального раствора		Рудная минерализация
			Т °С	рН	
АНАЛЬЦИМОВЫЕ метасоматиты	1,2	АНАЛЬЦИМ, К-НА ПОЛЕВОЙ ШПАТ, ЩЕЛОЧНЫЕ ПИРОКСЕНЫ И АМФИБОЛЫ, ХЛОРИТ, КАЛЬЦИТ, ФЛЮОРИТ	350-200	9-7	Nb, Zr, Be, РЗЭ
МИКРОКЛИНЫТЫ	1	МИКРОКЛИН, БИОТИТ, ЭГИРИН	600-400	8,5-7	
АЛЬБИТИТЫ	1,2	АЛЬБИТ, ЭГИРИН, РИБЕКИТ, МАГНЕТИТ	500-300	8-7	
ЭГИРИН-ФЛЮОРИТОВЫЕ метасоматиты	3	ЭГИРИН, ФЛЮОРИТ, КАЛЬЦИТ	500-300	8-7	
ЭЙСИТЫ	1,2,3	АЛЬБИТ, КВАРЦ, ХЛОРИТ, КАЛЬЦИТ, АНКЕРИТ, АПАТИТ, ТЕМАТИТ	300-150	7-6	

1 – КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ И ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

2 – МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ПОВЫШЕННОЙ ОСНОВНОСТИ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

3 – КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

МЕТАСОМАТИТЫ, РАВНОВЕСНЫЕ С РАСТВОРАМИ, БЛИЗКИМИ К НЕЙТРАЛЬНЫМ

Типы метасоматитов	протолит	Минеральный состав метасоматитов	Параметры гидротермального раствора		Рудная минерализация
			Т °С	рН	
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ	3	ФОРСТЕРИТ, ДИОПСИД, КАЛЬЦИТ, ШПИТЕЛЬ, ПЕРИКЛАЗ, ФЛОГОПИТ, БОРАТЫ	900-600	8-5,5	
ИЗВЕСТКОВЫЕ СКАРНЫ	1,2,3	ГРОССУЛЯР-АНДРАДИТ, ДИОПСИД-ГЕДЕНБЕРГИТ, ВОЛЛАСТОНИТ, ВЕЗУВИАН, ЭПИДОТ	700-450	8-5,5	Fe, В

1 – КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ И ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

2 – МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ПОВЫШЕННОЙ ОСНОВНОСТИ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

3 – КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

МЕТАСОМАТИТЫ, РАВНОВЕСНЫЕ С РАСТВОРАМИ, БЛИЗКИМИ К НЕЙТРАЛЬНЫМ

Типы метасоматитов	протолит	Минеральный состав метасоматитов	Параметры гидротермального раствора		Рудная минерализация
			Т °С	рН	
КВАРЦ-КАЛИШПАТОВЫЕ (БИОТИТОВЫЕ) метасоматиты	1,2	ОРТОКЛАЗ, МИКРОКЛИН, ФЛОГОПИТ-БИОТИТ, КВАРЦ, АНГИДРИТ	600-350	6,5-4,5	Sn, Mo, Cu
КВАРЦ-АЛЬБИТОВЫЕ (ПЛАГИОКЛАЗОВЫЕ) метасоматиты	1,2,3	ПЛАГИОКЛАЗ (АЛЬБИТ), КВАРЦ, АМФИБОЛЫ, БИОТИТ, ВЕЗУВИАН, КАРБОНАТЫ	500-300	6,5-4,5	

1 – КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ И ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

2 – МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ПОВЫШЕННОЙ ОСНОВНОСТИ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

3 – КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

МЕТАСОМАТИТЫ, РАВНОВЕСНЫЕ С РАСТВОРАМИ, БЛИЗКИМИ К НЕЙТРАЛЬНЫМ

Типы метасоматитов	протолит	Минеральный состав метасоматитов	Параметры гидротермального раствора		Рудная минерализация
			T °C	pH	
ТУРМАЛИНИТЫ	1,2	ТУРМАЛИН, КВАРЦ, СЕРИЦИТ, ХЛОРИТ	500-250	6,5-3,5	Sn, W, Cu
ПРОПИЛИТЫ	1,2	ЭПИДОТ, АКТИНОЛИТ, ХЛОРИТ, АЛЬБИТ, АДУЛЯР, ЦЕОЛИТЫ, КАЛЬЦИТ, ПИРИТ	350-150	6,5-4,5	Cu, Zn, Pb, Au, Ag
ГИДРОСЛЮДИТЫ	1,2	ГИДРОСЛЮДЫ, АНКЕРИТ, КВАРЦ	150-50	6,5-4	Au, U, As, Sb, Hg

1 – КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ И ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

2 – МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ПОВЫШЕННОЙ ОСНОВНОСТИ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

3 – КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

МЕТАСОМАТИТЫ, РАВНОВЕСНЫЕ С КИСЛЫМИ

Тип метасоматита	Породы	Минеральный состав метасоматитов	Параметры гидротермального раствора		Рудная минерализация
			Т °С	рН	
ЦВИТТЕРЫ	1	ЦИННВАЛЬДИТ (K-Li слюда), СИДЕРОФИЛЛИТ, КВАРЦ, ТОПАЗ, ФЛЮОРИТ	550-300	5-3	Mo, Sn, W, Be, Ta, Bi
ГРЕЙЗЕНЫ	1	МУСКОВИТ-ЛЕПИДОЛИТ, КВАРЦ, ТОПАЗ, АЛЬБИТ, ФЛЮОРИТ	500-300	5-3	
СЛЮДИТЫ	2,3	ФЛОГОПИТ, БИОТИТ, МУСКОВИТ, ПАРАГОНИТ, МАРГАРИТ, ФЛЮОРИТ, ТАЛЬК, ХЛОРИТ	500-300	5-3	

1 – КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ И ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

2 – МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ПОВЫШЕННОЙ ОСНОВНОСТИ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

3 – КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

МЕТАСОМАТИТЫ, РАВНОВЕСНЫЕ С КИСЛЫМИ РАСТВОРАМИ

Типы метасоматитов	протолит	Минеральный состав метасоматитов	Параметры гидротермального раствора		Рудная минерализация
			Т °С	рН	
СЕРИЦИТОЛИТЫ (БЕРЕЗИТЫ)	1	СЕРИЦИТ, КВАРЦ, КАЛЬЦИТ, ДОЛОМИТ-АНКЕРИТ, ПИРИТ	400-200	5-4	Mo, Cu, Zn, Pb, Bi, Au, Ag, U
ЛИСТВЕНИТЫ	2	ФУКСИТ, ДОЛОМИТ-АНКЕРИТ, МАГНЕЗИТ-БРЕЙНЕРИТ, КВАРЦ, ПИРИТ	400-200	5-4	

1 – КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ И ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

2 – МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ПОВЫШЕННОЙ ОСНОВНОСТИ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

3 – КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

МЕТАСОМАТИТЫ, РАВНОВЕСНЫЕ С КИСЛЫМИ

Тип метасоматитов	Породы	Минеральный состав метасоматитов	Параметры гидротермального раствора		Рудная минерализация
			Т °С	рН	
Аргиллизиты	1,2	КАОЛИНИТ, МОНТМОРРИЛЛОНИТ, ГИДРОСЛЮДЫ, ЦЕОЛИТЫ, ОПАЛ, АЛЛОФАН, ГАЛЛУАЗИТ, СИДЕРИТ, КВАРЦ	300-50	5-2	Au, U, As, Sb, Hg
ВТОРИЧНЫЕ КВАРЦИТЫ	1,2	КВАРЦ, КОРУНД, ДИАСПОР, АНДАЛУЗИТ, ПИРОФИЛЛИТ, СЕРИЦИТ, АЛУНИТ, ГЕМАТИТ, ПИРИТ, МАРКАЗИТ	500-300	4-1	-

1 – КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ И ТЕРРИГЕННЫЕ ПОРОДЫ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

2 – МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ПОВЫШЕННОЙ ОСНОВНОСТИ И ПРОДУКТЫ ИХ МЕТАМОРФИЗМА

3 – КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

Главные типы метасоматитов

- *Грейзены*
- *Вторичные кварциты*
- *Пропилиты*
- *Листвениты*
- *Березиты*
- *Скарны*

Грейзены

- **Грейзены** - это наиболее типичные метасоматические образования среднетемпературной кислотной стадии. Это кварц-мусковитовые, кварц-топазовые, существенно кварцевые породы, иногда содержащие турмалин, флюорит, касситерит, вольфрамит и другие рудные минералы. Грейзенизация представляет собою пневматолито-гидротермальный процесс, который осуществляется в кислой среде.
- Грейзены формируются в контактах ультракислых гранитов с кварцево-полевошпатовыми и глиноземистыми породами - песчаниками, гнейсами, сланцами и кварцитами. При грейзенизации частично или полностью выносятся щелочи, щелочные земли, иногда глинозем, и привносятся F, S, P, Cl, As, CO₂, NH₃, соединения Sn, W, Mo, Fe, Pb, Li, Be и другие элементы.
- Различают грейзены и грейзенизированные породы. Грейзены обладают лепидогранобластовой или гранобластовой структурами и имеют крупнозернистое сложение, массивные, иногда пористые и даже кавернозные текстуры. В грейзенизированных породах сохраняются реликтовые структуры исходных пород (бластогранитная, бластопсаммитовая и др.) со следами замещения первичных минералов таким минералами, как мусковит, топаз и флюорит.

Грейзены

- В.А.Жариков выделяет следующую зональность для грейзенов, развивающихся по гранитам:
- 1) неизменный гранит с парагенезисом кварц + калиевый полевой шпат + олигоглаз + биотит + магнетит; 2) двуслюдяной гранит: кварц + калиевый полевой шпат + альбит + мусковит + биотит; 3) мусковитовый гранит: кварц + калиевый полевой шпат + альбит + мусковит; 4) кварц + калиевый полевой шпат + мусковит; 5) кварц + мусковит или кварц + топаз; и 6) кварц.
- К своеобразным процессам грейзенизации относится привнос бора и фтора, в результате чего формируются породы, обогащенные аксинитом - $(Ca, Fe^{2+}, Mn)_3 Al_2 (BO_3) [Si_4 O_{12}] (OH)$, а также датолитом, людвигитом и другими минералами, содержащими бор.
- По условиям залегания грейзены разделяются на околожильные и сплошной типы. В первом случае грейзенизация приурочена к зальбандам жил, во втором - развивается на участках, разбитых серией параллельных трещин, и имеет штоково-гнездовый или штокверковый характер развития. Мощность зон грейзенизации околожильного типа невелика и редко достигает 20 м. Сплошной тип грейзенизации отличается более мощным развитием. Глубина зон грейзенизации составляет 200-300 м, наибольшая глубина (1200 м) установлена в Корнуолле.

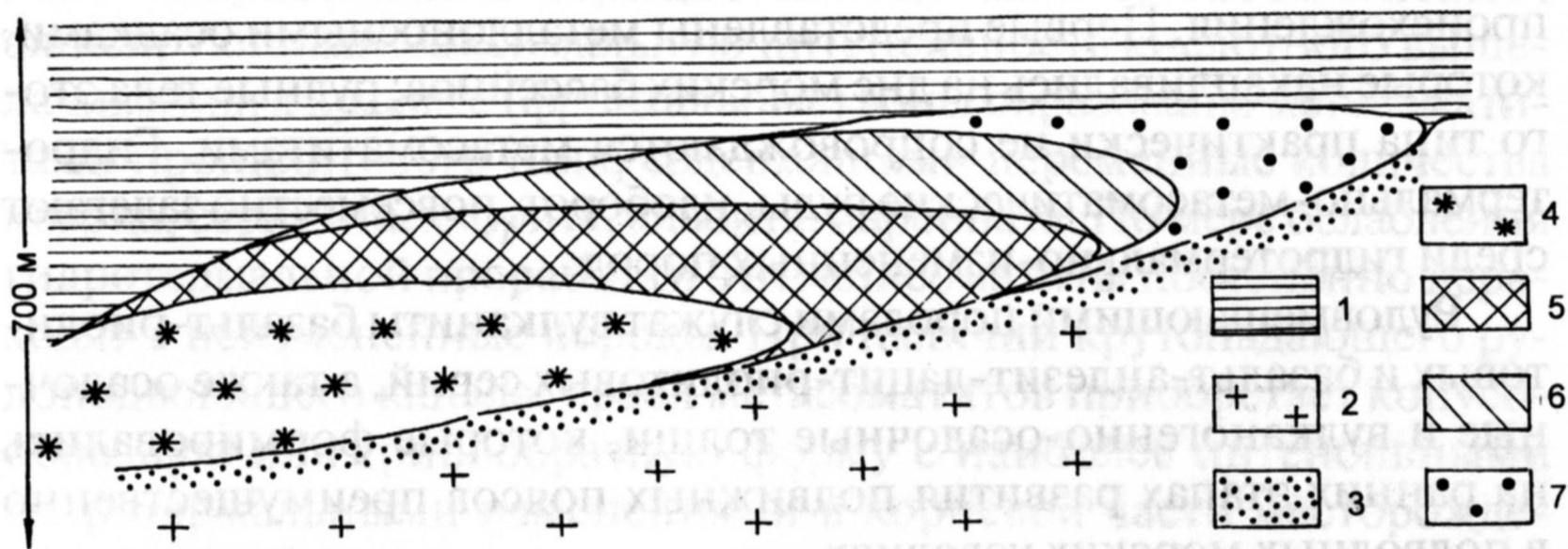
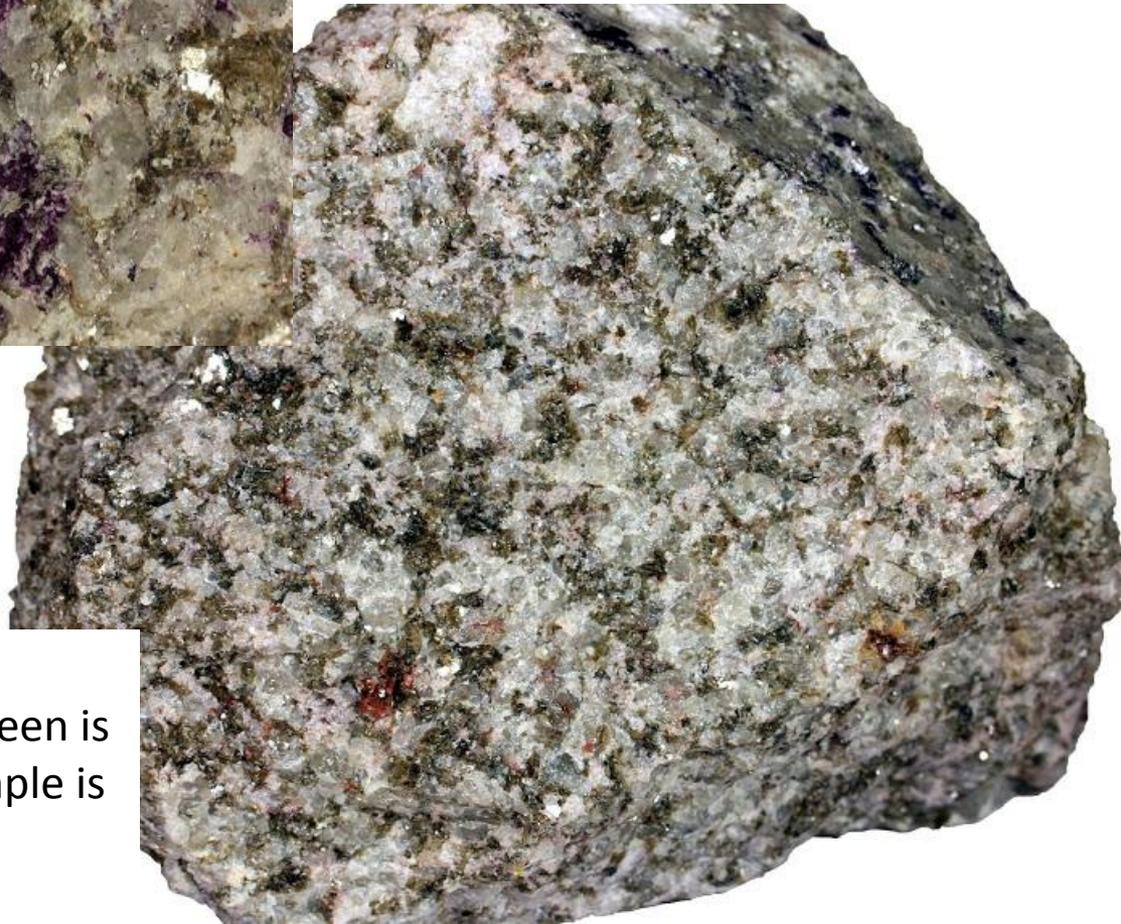


Рис. 6.4. Идеализированная схема строения грейзеновых тел для месторождений Казахстана, по В.Г. Боголепову и др. [1971]:

1 — роговики; 2 — граниты; 3 — область затухания грейзенизации на глубину; 4–7 — грейзены: 4 — подрудного пояса, 5 — главного рудного пояса, 6 — надрудного пояса, 7 — второстепенного рудного пояса



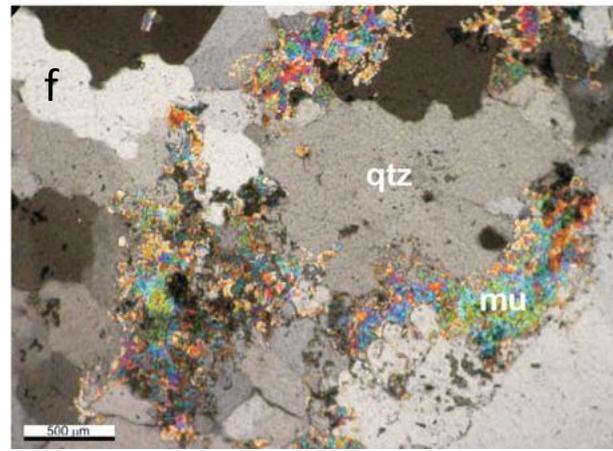
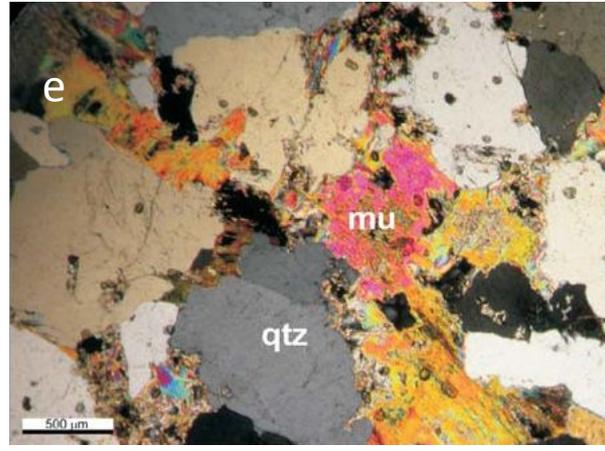
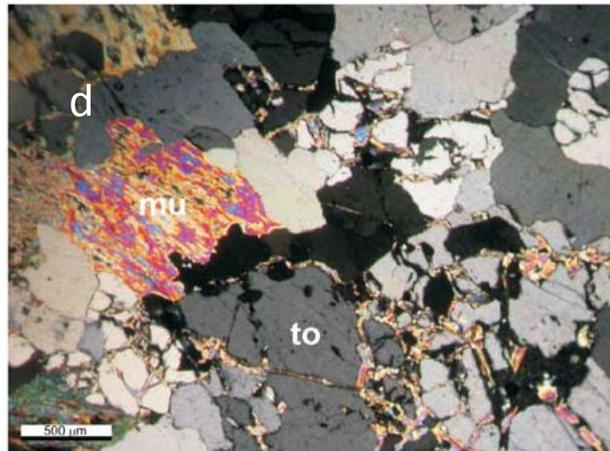
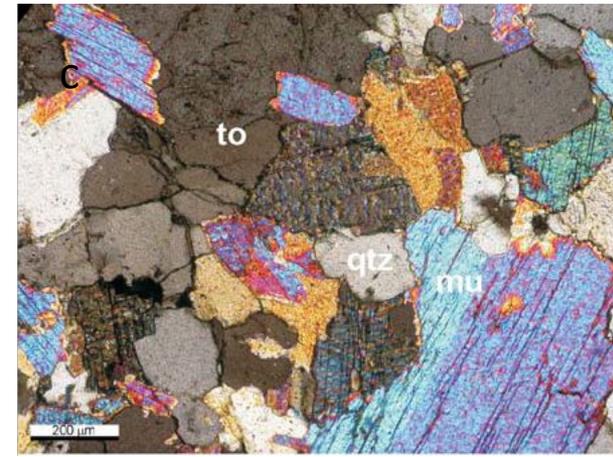
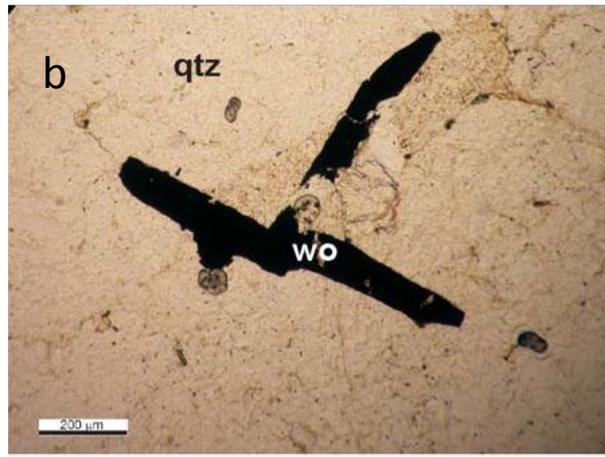
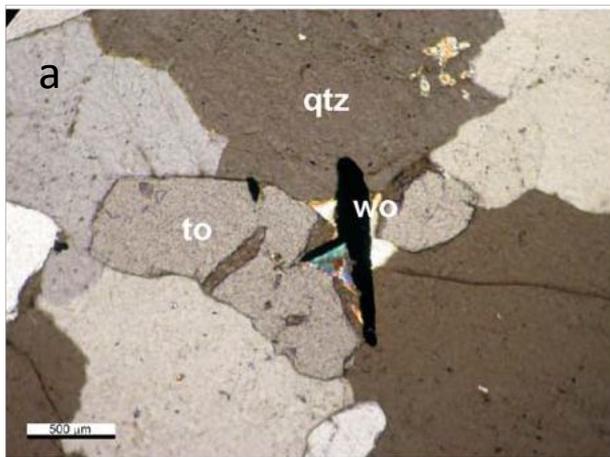
Greisen with lots of fluorite from the Ore Mountains (Erzgebirge). The width of the view is 9 cm.



Another side of the same sample. White is quartz, green is mica. The width of the sample is 12 cm.



Greisen with cassiterite from Okombahe, Namibia. The width of the sample is 10 cm.



Photomicrographs of greisen assemblages (abbreviations: qtz = quartz, pt = protolithionite, to = topaz, wo = wolframite, mu = muscovite).

- a – wolframite with topaz in quartz-topaz greisen, (cross-polarized light).
- b – wolframite crystals in clusters in quartz-topaz greisen, (plane-polarized light).
- c – quartz-muscovite-topaz greisen from the aplite, (cross-polarized light).
- d – quartz-muscovite-topaz greisen from the granite, (cross-polarized light).
- e – quartz-muscovite greisen from the granite, (cross-polarized light).
- f – quartz-muscovite greisen from the orthogneiss, (cross-polarized light).

Вторичные кварциты



ВТОРИЧНЫЕ КВАРЦИТЫ ПО
ГРАНИТ-ПОРФИРАМ С ВКРАП-
ЛЕННОСТЬЮ МОЛИБДЕНИТА И

- **Вторичные кварциты** - специфические метасоматиты, занимающие площади до десятков квадратных километров в областях активной вулканической деятельности. Они впервые были названы и описаны в 1891 году на Урале Е.С. Федоровым и В.В.Никитиным, и подробно изучены Н.И.Наковником (1954) в Казахстане. Вторичные кварциты формируются в условиях малоуглубленного, иногда приповерхностного кислотного выщелачивания за счет, главным образом, кислых и средних вулканических пород, реже они развиваются по интрузивным или осадочным породам. Они являются продуктом гидротермально-метасоматического процесса и представляют собою своеобразные породы, сложенные минеральным парагенезисом, который не встречается в других метаморфических породах.
- Вторичные кварциты имеют светлую сероватую или почти белую окраску, мелкозернистую структуру и массивную однородную или пятнистую, нередко пористую текстуру. В них часто сохраняется реликтовая обломочная или порфировая структура. Главными минералами, слагающими вторичные кварциты, являются кварц и серицит, реже присутствуют алунит - $K_2Al_6(OH)_4(SO_4)_4$, андалузит, диаспор, пирофиллит - $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$, корунд, а также рудные минералы: пирит, гематит, сульфиды меди, свинца, цинка, золота, серебра, ртути, сурьмы и мышьяка.

Пропилиты

- **Пропилиты** образуются в процессе метасоматических изменений вулканогенных пород преимущественно андезитового, а также основного, реже кислого состава. Они окрашены в зеленые цвета различных оттенков, имеют мелкозернистую, нередко реликтовую структуру и сложены эпидотом, альбитом, уралитом, хлоритом, серицитом, карбонатами и цеолитами, иногда присутствуют кварц, адуляр, пренит и пирит. От зеленокаменно-измененных пород пропилиты отличаются наличием адуляра и сульфидов в ассоциации с карбонатами. Пропилиты развиваются самостоятельно или сопровождают вторичные кварциты. В последнем случае они отделяют вторичные кварциты от неизменных пород.
- С пропилитами связаны месторождения золота, серебра, свинца, цинка, меди, сурьмы, ртути и других металлов на Урале, в Средней Азии, Казахстане, Карпатах, США, Японии и Индонезии.

Березиты

- **Березиты** - это светлые мелкозернистые породы, состоящие из кварца, серицита, карбоната анкеритового ряда - $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$, пирита, реже хлорита и альбита. Они образуются по кислым породам, подвергшимся воздействию растворов, богатых CO_2 и S. Процесс березитизации является широко распространенным типом околотрещинного метасоматоза. По В.А.Жарикову в березитизированных породах около кварцевых жил выделяется следующая зональность:
 - 1) березитизированный гранит-порфир: кварц + ортоклаз + серицит + альбит + хлорит + кальцит + пирит; 2) кварц + серицит + альбит + хлорит + кальцит + пирит; 3) кварц + серицит + альбит + анкерит + пирит; 4) кварц + серицит + анкерит + пирит; 5) кварц + серицит + пирит; 6) кварц + серицит; 7) кварц.
- С березитами связаны месторождения золота. Наиболее известным из них является Березовское месторождение на Урале, впервые описанное в 1842 году Г.Розе.

Листвениты

ы



- **Листвениты** образуются при изменении ультраосновных, реже основных и карбонатных пород под воздействием растворов, обогащенных CO_2 . Они состоят из кварца, карбоната брейнеритового типа - MgCO_3 , хромовой слюдки - фуксита и пирита. Встречается также хлорит, тальк, серпентин и хромит (последние три минерала - явно реликтовые от серпентинитов, подвергавшихся лиственизации). Внешняя окраска их может быть светлой желтовато-зеленоватой. Часто за счет разложения карбонатов появляются гидроокислы железа, придающие лиственитам бурые оттенки. Листвениты обладают массивной, иногда кавернозной текстурами и гетеробластовой, мелко- и среднезернистой структурами. Характерная их форма проявления - это околотрещинные зональные изменения мощностью до 1.5 м. С лиственитами связаны месторождения золота и полиметаллов.

Скарны

- Скарны формируются на контактах карбонатных и алюмосиликатных пород под воздействием растворов, пришедших в зону контакта. Они развиваются преимущественно на малых и средних глубинах в контактовых ореолах интрузивных тел кислого состава с известняками. В зависимости от проникновения растворов метасоматоз может быть контактово-фильтрационным и биметасоматическим. Иногда эти процессы происходят одновременно, но в целом преобладает инфильтрационный механизм образования скарнов.
- Скарнами называются породы, сложенные известково-магнезиально-железистыми силикатами и алюмосиликатами: клинопироксенами диопсид-геденбергитового ряда, гранатами гроссуляр-андрадитового ряда (Ca-Al-Fe), волластонитом, везувианом, магнезиальным оливином, флогопитом и шпинелью. Контактново-реакционные породы, содержащие в составе полевые шпаты, скаполиты, эпидот, называют околоскарновыми породами.
- Скарны имеют крупнозернистое строение и гетерогранобластовую, иногда фибро- и нематобластовую структуры, пятнистые или полосчатые текстуры.
- Скарны по алюмосиликатным породам называются эндоскарнами, а по карбонатным - экзоскарнами. По минеральному составу выделяются магнезиальные и известковистые скарны.

Магнезиальные скарны

- *Магнезиальные скарны* образуются в контактах доломитов и магнезитов с магматическими породами преимущественно гранитных интрузий. Магнезиальные скарны образуются в две стадии: более высокотемпературную магматическую и послемагматическую. Внедрение гранитного расплава сопровождается выносом во вмещающие карбонатные породы кремнезема, что сопровождается замещением доломита форстеритом и диопсидом. Если из интрузива выносятся и глинозем (или его примесь была в карбонатах), то в скарнах может кристаллизоваться шпинель.
- Для подобных скарнов установлены следующие метасоматические зоны:
- 1) пироксен-плагиоклазовые породы (или околоскарновые породы); 2) пироксеновый скарн (типичный скарн со шпинелью): пироксен + шпинель + кальцит; 3) форстерит-пироксеновый скарн: форстерит + пироксен + шпинель + кальцит; 4) форстеритовый скарн: форстерит + шпинель + кальцит; 5) зона минерализованных мраморов (или кальцифиры): кальцит + форстерит + шпинель + пироксен.
- В магнезиальных скарнах послемагматической стадии добавляется флогопит. Снижение температуры приводит к гидратации, и вся шпинель во всех зонах замещается флогопитом. Нередко в эту стадию происходит замещение и самой интрузивной породы, в результате чего образуются эндоскарны. С послемагматической стадией магнезиальных скарнов связано образование месторождений железа, бора и флогопитов. Флогопитовые месторождения известны на Алданском щите, в Канаде и на о. Шри-Ланка.

Известковые скарны

- *Известковые скарны* образуются в контактах интрузивных тел с известняками в послемагматическую стадию или накладываются на магнезиальные скарны. Главными минералами известковых скарнов являются клинопироксен диопсид-геденбергитового ряда и гранат гроссуляр-андрадитового ряда. Эти минеральные парагенезисы появляются в результате прохождения растворов, вызывающих биметасоматоз. При этом кальций выносятся из карбонатных пород, а кремнезем и глинозем - из алюмосиликатных.
- Один из наиболее характерных типов зональности известковых скарнов на контакте алюмосиликатной породы и известняка имеет следующую последовательность:
- 1) пироксен-плагиоклазовая околоскарновая порода; 2) пироксен-гранатовый эндоскарн; 3) гранатовый эндоскарн; 4) пироксеновый экзоскарн; и 5) волластонитовый экзоскарн.
- Биметасоматические скарны дают плащеобразные оторочки сложной морфологии мощностью до первых десятков метров, повторяющие все особенности морфологии контактов алюмосиликатных и карбонатных пород. Наиболее распространенными являются инфильтрационные тела жиллообразной и трубообразной формы мощностью до 10-20 м и протяженностью до сотен метров.
- Скарны являются средой, которая, нейтрализуя кислые растворы, благоприятствует осаждению рудных компонентов. Известны скарновые месторождения вольфрама, молибдена, меди, железа, полиметаллов, золота, а также флогопита, бора, мышьяка и других элементов. Такие месторождения находятся в Приморье и Забайкалье, на Урале и Алдане, в Средней Азии, Югославии, Южной Австралии, США и Канаде.

Chapter 30: Metamorphic Fluids & Metasomatism

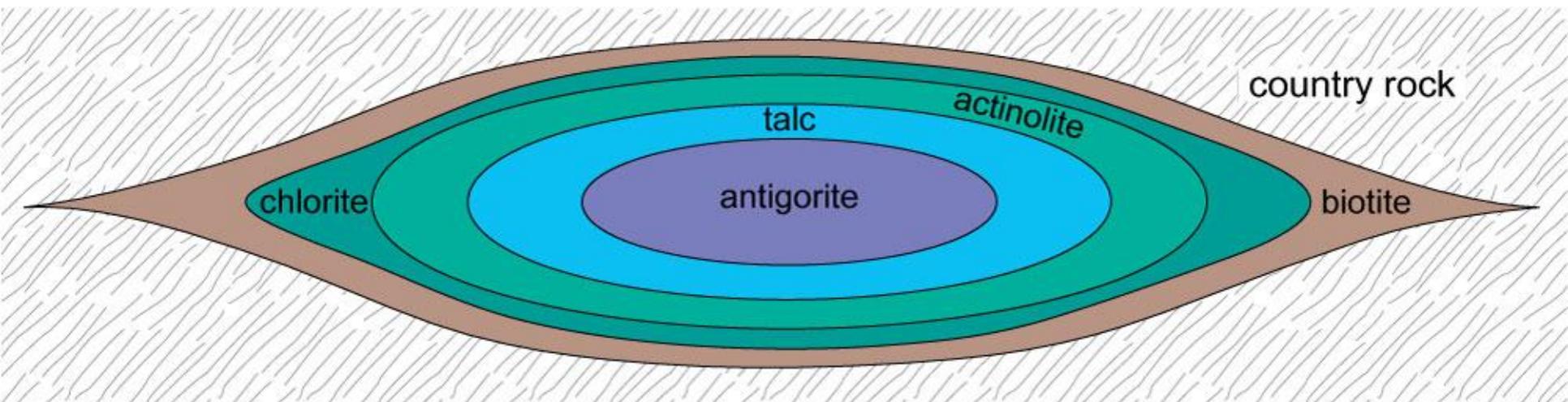


Figure 30.16. “Ideal” mineral zonation due to metasomatism in < 3-m long ultramafic pods in low-grade regionally metamorphosed pelites at Unst, Shetland Islands. After Read (1934) *Mineral. Mag.*, 23, 519-540. Winter (2010) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

Chapter 30: Metamorphic Fluids & Metasomatism

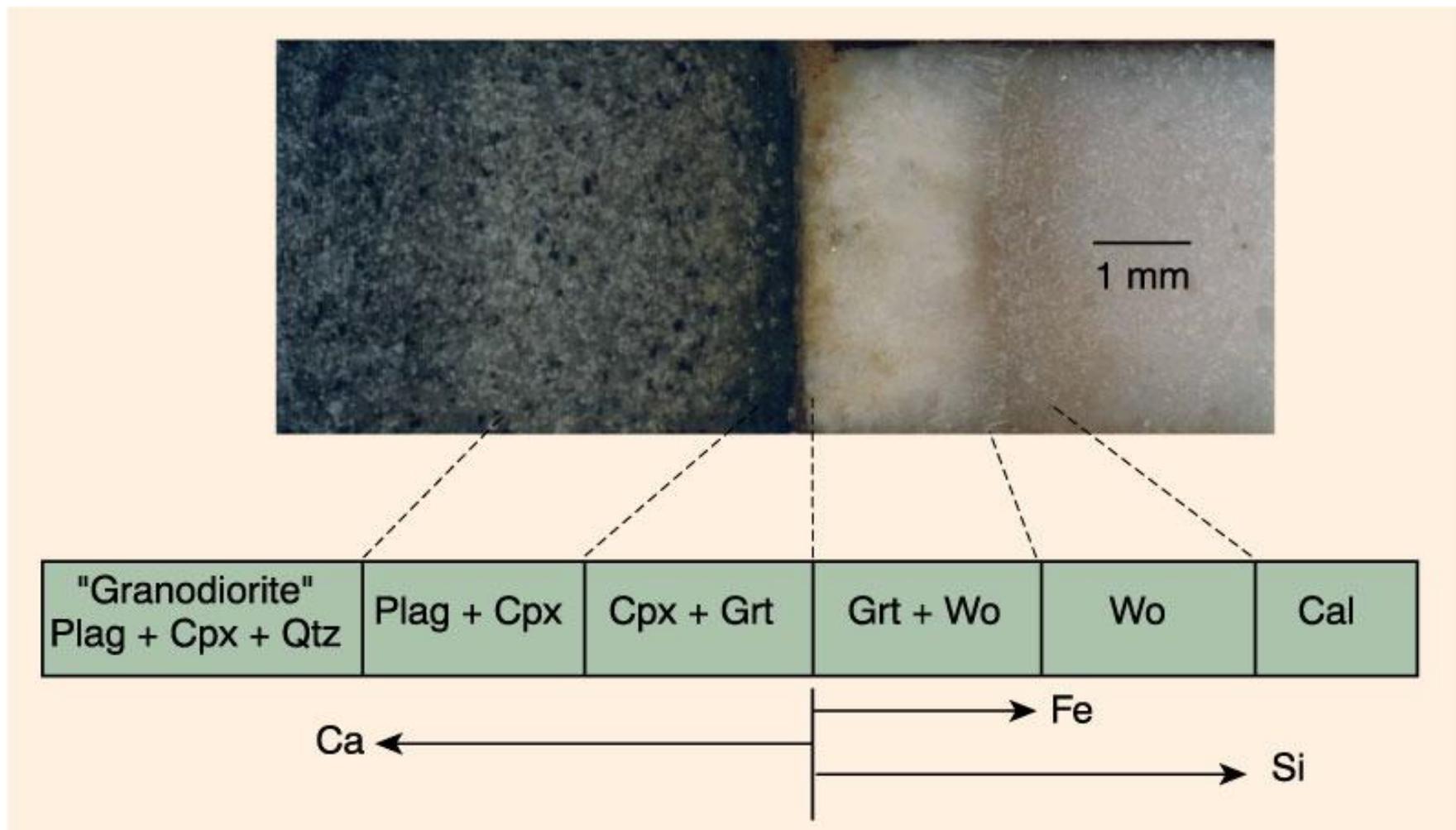


Figure 30.31. Zonation in an experimental skarn formed at the contact between granodiorite and limestone at 600°C , $P_{\text{fluid}} = 0.1 \text{ GPa}$ ($X_{\text{CO}_2} = 0.07$). After Zharikov, V.A. and G.P. Zarskiy (1991) Experimental modeling of wall-rock metasomatism. In L. L. Perchuck (ed.), *Progress in Metamorphic and Magmatic Petrology. A Memorial Volume in Honor of D. S. Korzhinskii*. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 197-245. Photo courtesy G. Zarskiy. Winter (2010) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

Chapter 30: Metamorphic Fluids & Metasomatism

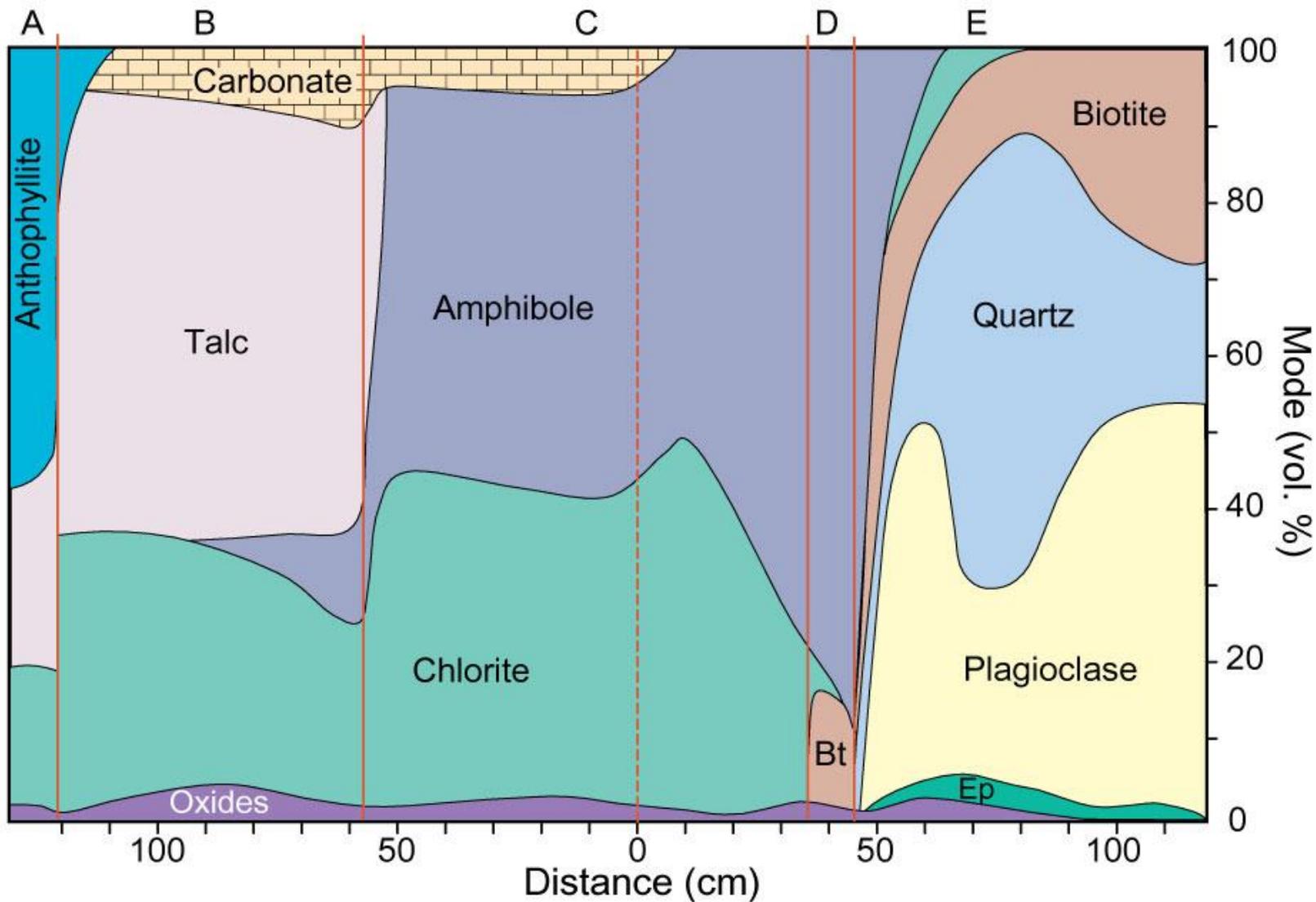


Figure 30.17. Variation in mineral proportions across the zones between the ultramafic and quartzo-feldspathic gneiss contact at Grafton, Vermont, after Sanford (1982). Zone letters at the top correspond to the zones listed in the text. Zone letters at the top are: A = Tlc + Ath, B = Tlc, C = Act + Chl, D = transitional, E = quartzo-feldspathic country rock. The vertical dashed line represents the estimated initial contact. After Sanford (1982) *Amer. J. Sci.*, 282, 543-616. Winter (2010) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

Chapter 30: Metamorphic Fluids & Metasomatism

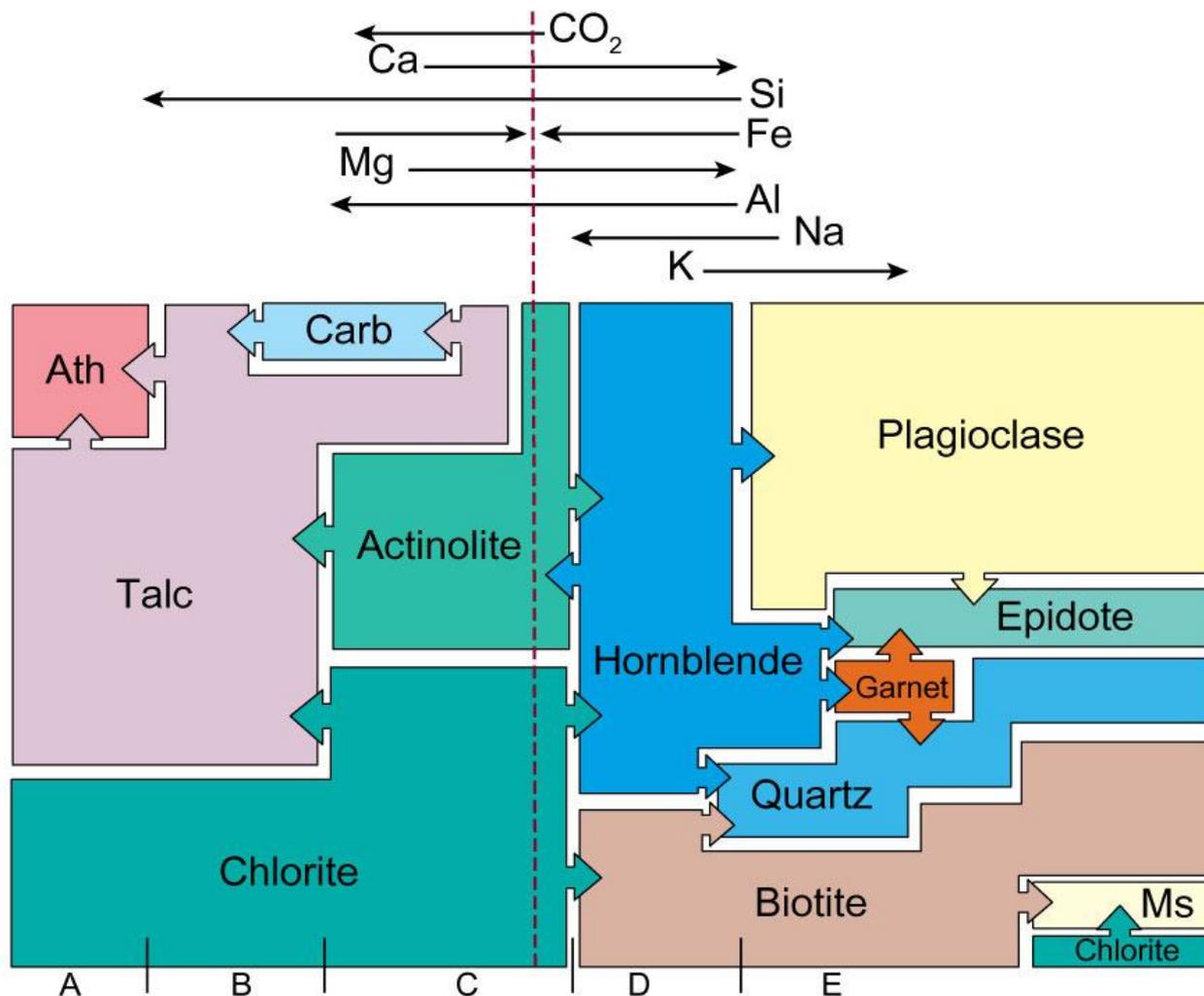


Figure 30.21. Schematic representation of major silicate mineral reactions and component fluxes associated with metasomatism of the ultramafic body at Grafton, Vt. Elemental fluxes across various zones are indicated by the arrows at the top. Arrows between mineral boxes (somewhat distorted from the true modes in Figure 30.15) indicate reactions. When horizontal, these arrows involve metasomatic reactions; when vertical they are approximately isochemical. The zones listed at the bottom correspond to those in Figure 30.15, and the heavy dashed line is the estimated original contact. After Sanford (1982) *Amer. J. Sci.*, 282, 543-616. Winter (2010) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

Chapter 30: Metamorphic Fluids & Metasomatism

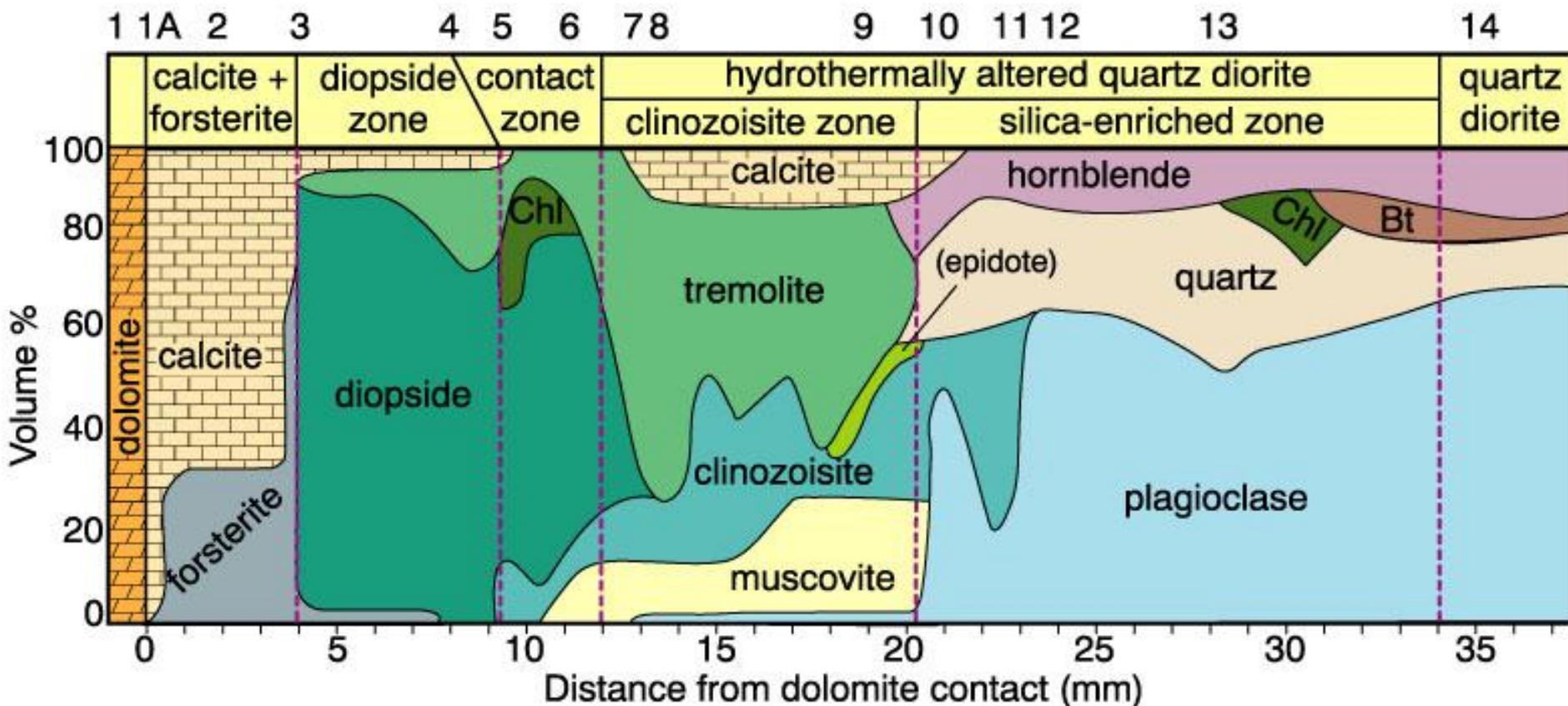


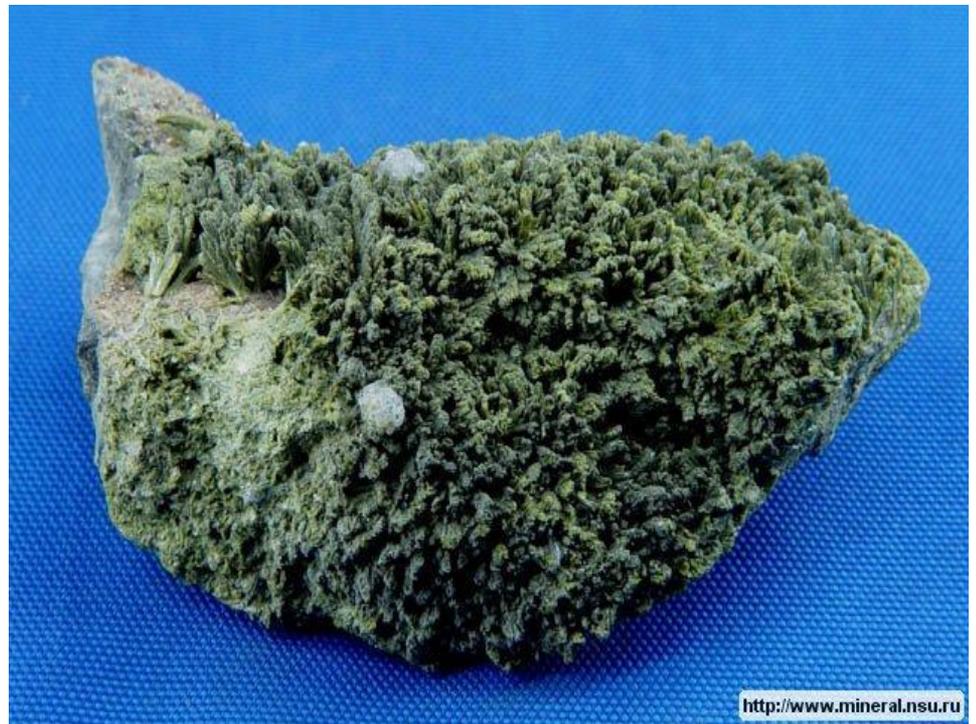
Figure 30.29. Mineral zones and modes developed at the contact between quartz diorite and dolomitic marble in Figure 30.26a. Initial contact may be at either side of the contact zone. Index numbers at the top indicate the locations of bulk chemical analyses. After Frisch and Helgeson (1984) *Amer. J. Sci.*, 284, 121-185. Winter (2010) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.



<http://www.mineral.nsu.ru>

Геденберг

ИТ шестоватые агрегаты с
ильваитом.
место отбора: Кавказ.
Тырныауз.



<http://www.mineral.nsu.ru>

Эпидот. Друза расщепленных
кристаллов.
место отбора: Азербайджан.
Дашкесан.

**Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск**

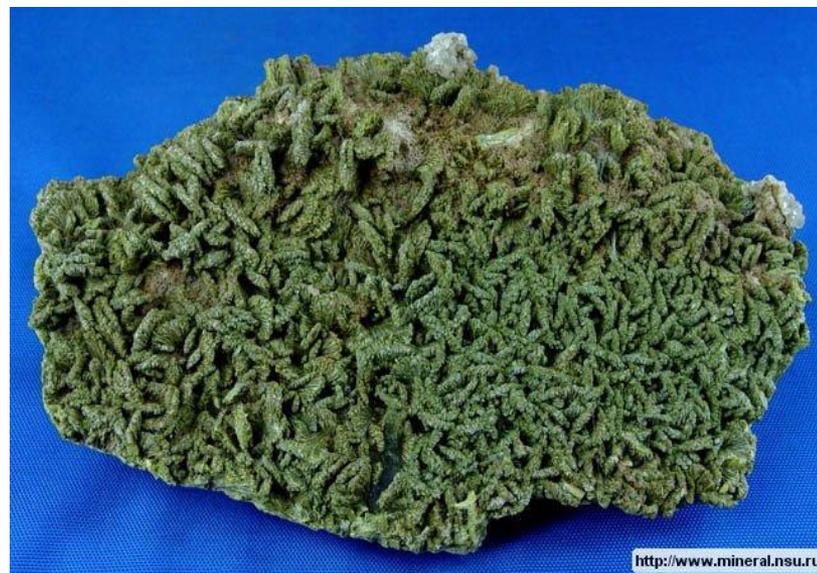


Эпидо

Г

Друза веерообразных расщепленных кристаллов кварца и эпидота.

место отбора: Азербайджан.
Дашкесан.



Эпидот

Друза расщепленных, веерообразных кристаллов эпидота

место отбора: Азербайджан.
Дашкесан.

**Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск**



Гематит,

кварц

Друза окисленных пластинчатых кристаллов гематита с кварцем.

"Гематитовая роза"

место отбора: Азербайджан.

Дашкесан.



Кальцит, магнетит,

эпидот

Скаленоэдрические кристаллы кальцита на друзе магнетита и расщепленных кристаллов эпидота.

место отбора: Азербайджан.

Дашкесан.

Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск



<http://www.mineral.nsu.ru>

**Сфалерит, халькопирит, кальцит,
кварц, эпидот**

Крупный кристалл сфалерита с
вросшими кристаллами халькопирита и
малахитом на друзе кальцита, кварца,

эпидота
Место отбора: Азербайджан.
Дашкесан.



<http://www.mineral.nsu.ru>

**Магнети
т**

место отбора: Урал. г.
Магнитная.

**Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск**



Андради

Андра^Тдит. Кристаллы на
скарне.
место отбора: Казахстан.
Соколовское.



Андради

Кристаллы^Т андрадита на
скарне.
место отбора: Казахстан.
Соколовское.

Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск



Стильбит

(десмин)

друза кристаллов
стильбита.

род.

цеолиты

место отбора: Казахстан.

Соколовское.



Лазури

Т

место отбора: Памир. Гор.

Бадахшан.

Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск



Шпинел

Шпинель с форстеритом и кальцитом.

место отбора: Памир. Кух-и-Лал.



Шпинел

Кристаллы шпинели с клиногумитом в форстеритовом скарне.

место отбора: Памир. Кух-и-Лал.

Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск



Апатит,
кальцит

Кристаллы голубого апатита в
кальците
место отбора: Байкал.
Слюдянка.



Диопси

Друза кристаллов
диопсида.
место отбора: Байкал.
Слюдянка.

**Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск**



Апати

Голубой апатит с
кальцитом.

место отбора: Байкал.

Слюдянка.



Тремол

^{ИТ}
Тремолит в
мраморе
место отбора: Байкал.
Слюдянка.

**Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск**



Диопси

Д
Друза короткопризматических
кристаллов диопсида

место отбора: Байкал.
Слюдянка.



Скаполит,

диопсид

Друза кристаллов скаполита и
диопсида
Место отбора: Байкал.
Слюдянка.

Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск



Диопси

д

Кристалл хром-ванадиевого диопсида в мраморе

место отбора: Байкал.
Слюдянка.



Пирит, магнетит, кальцит, флюорит

Пирит-магнетитовая руда с кальцитом и флюоритом.

место отбора: Хакасия.
Тейское.

Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск



<http://www.mineral.nsu.ru>

Морион, кальцит,

магнетит

Кальцитовая жеода в магнетитовой руде с крупными кристаллами мориона.

место отбора: Хакасия.
Тейское.



<http://www.mineral.nsu.ru>

Кальцит, флюорит, магнетит,

хлорит

Кальцит-флюоритовая жеода в магнетитовой руде с хлоритом

место отбора: Хакасия.
Тейское

Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск



<http://www.mineral.nsu.ru>

Хлори

Розетки хлорита на пирит-магнетитовой руде

место отбора: Хакасия.
Тейское.



<http://www.mineral.nsu.ru>

Борнит,

кальцит
Борнит с

кальцитом

место отбора: Хакасия.
Тейское

Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск



Молибденит

- Розетки молибденита в эпидот-гранатовом скарне.

место отбора: Хакассия. Юлия.

•

Молибденит в скарне.

место отбора: Кавказ. Тырнауз.

Геологический музей ГГФ (НГУ ул.
Пирогова, д. 2, Новосибирск