

Различия по химизму петрохимических групп метаморфических пород:

Метабазиты - обогащены Ca, Fe, Mg, Na

Метаультрамафиты - обогащены Mg, Fe, Ni, Cr

Мраморы (карбонатно-силикатные породы) -
обогащены Ca, Mg, CO₂

Метапелиты - обогащены Al, K, Si

Кварциты - все ясно.

Кварц-полевошпатовые породы - обогащены Si, Al, K, Na,

	МЕТАБАЗИТЫ	МЕТАПЕЛИТЫ
Хим. состав	CaO > 5%!, относительно много MgO и FeO, Na ₂ O>K ₂ O, SiO ₂ < 65% Т.е. всегда присутствуют Са-минералы; Qtz нет или <20%	CaO < 5%!, много Al ₂ O ₃ и SiO ₂ , K ₂ O> Na ₂ O. Т.е. Са-минералов нет; зато есть минералы с Al и K, Qtz обычно есть
Тип. Минералы	Ep (+цизит, клиноцизит), Act-Tr, Hbl, Cpx, Pl, Grt (Са-содерж), Carb, Gl=глаукофан, Omph=омфацит	And, Sill, Ky, Stavr, Cord, хлоритоид, пирофиллит, сапфирин, Kfs, Mu=мусковит, Qtz
Бывают и в пелитах и в базитах		Chl, Grt, Bt, Pl, Qtz, (Ky (бывает в метабазитах высокобарного тренда))
Исходные породы	<u>магматические</u> (ортого-) – основного и среднего состава; <u>осадочные</u> (пара-) – глинисто-карбонатные (=мергели) и различный переотложенный магматический материал основного и среднего состава – туффиты, туфо-песчаники и граувакки. Наличие слоистости=полосчатости (сланцеватость не важна!) обычно намекает на пара-породу	<u>Осадочные</u> (пара-) – песчано-глинистые, глинистые и песчаные породы, алевролиты, аргиллиты и т.п. Чем больше кварца – тем больше было в исходной породе песчаной составляющей. С метапелитами сходны продукты метаморфизма кислых магматических пород, но в последних заметно меньше Al и следовательно Al-содержащих минералов .

	МЕТАБАЗИТЫ	МЕТАПЕЛИТЫ
Названия (вместо стандартн ых сланца, гнейса, кварцита и гранофел ьса).	<p><u>Зеленый сланец</u> – порода, сложенная Ep, Act и Chl, обычно также есть и Ab, Qtz. Никакие минералы к названию не добавляются.</p> <p><u>Амфиболит</u> - порода, сложенная Hbl и Pl (суммарно не меньше 75%), при этом Hbl>15%, Pl>5% . При наличии других минералов >5%, они выносятся в название.</p> <p><u>Эклогит</u> – порода, сложенная преимущественно Grt (Alm-Prp) и Omph, без Pl. При наличии других минералов >5%, они обычно выносятся в название.</p> <p><u>Голубой сланец</u> – порода, сложенная преимущественно Gl. Обычно никакие минералы к названию не добавляются.</p>	<p>Не приняты, кроме <u>Филлита</u> (от греческого филлитес – листоватый) – мелко или скрытозернистой сланцеватой породы, обычно имеющей шелковистый блеск, создаваемый серицитом и другими мелкочешуйчатыми слюдами, и сложенной мельчайшими зернами кварца, альбита и чешуйками серицита и хлорита.</p>
Общие устоявши еся названия	<p><u>Роговик</u> – порода, образовавшаяся при термальном воздействии на контакте с интрузией, имеет характерную гранобластовую (сотовую, роговиковую) структуру. В название выносятся характерные или все присутствующие в породе >5% минералы.</p> <p><u>Гранулит</u> (не рекомендована по современным номенклатурным правилам) – порода, образовавшаяся при условиях гранулитовой фации метаморфизма. Обычно имеет массивную текстуру и гомеобластовую гранобластовую структуру. В название выносятся все присутствующие в породе >5% минералы.</p>	

	МЕТАБАЗИТЫ					МЕТАПЕЛИТЫ					
Оценка Температур образования	<450	<600	<700	<800	800+	<400	<500	<600	<700	<850	850+
	Act, Ep, Chl, Ab, Q	Ep, Hbl зелен., сине- зелен., Pl	Hbl зелен., Pl	Cpx, Hbl буро- зелен., Pl	Cpx, Opx , Hbl бурая, Pl	Ser, Q, Chl	Mu, Chl, Q, Grt	Bt, Mu, Q, Grt,	Bt, Q, Kfs, Grt	Crd, Bt, Kfs, Q, Grt	Opx , Crd, Kfs, Q, Grt
	Зеленых сланцев	Эпидото- вых амфибо- литов	Амфи- болитов	Клино- пироксе- новых амфи- болитов	Грану- литов	Фил- литов	Хлорит- муско- витовых сланцев	2- слюдя- ных сланцев	Биотито- вых сланцев и гнейсов	Кордиер- рит- биоти- товых сланцев и гнейсов	Кордиер- ит- гипер- стено- вых сланцев, гнейсов

Примерное определение давления

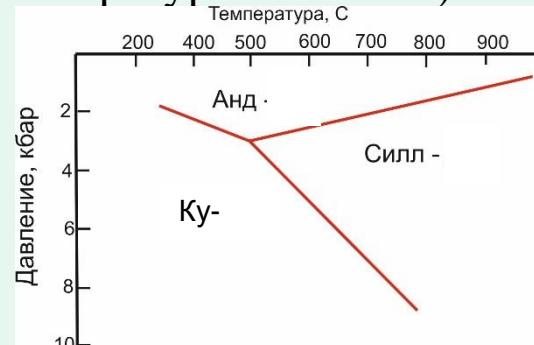
В метабазитах индикатором давления может служить **гранат**. Его отсутствие указывает на меньшее давление, а присутствие – на большее. Разделительная линия проходит примерно так:

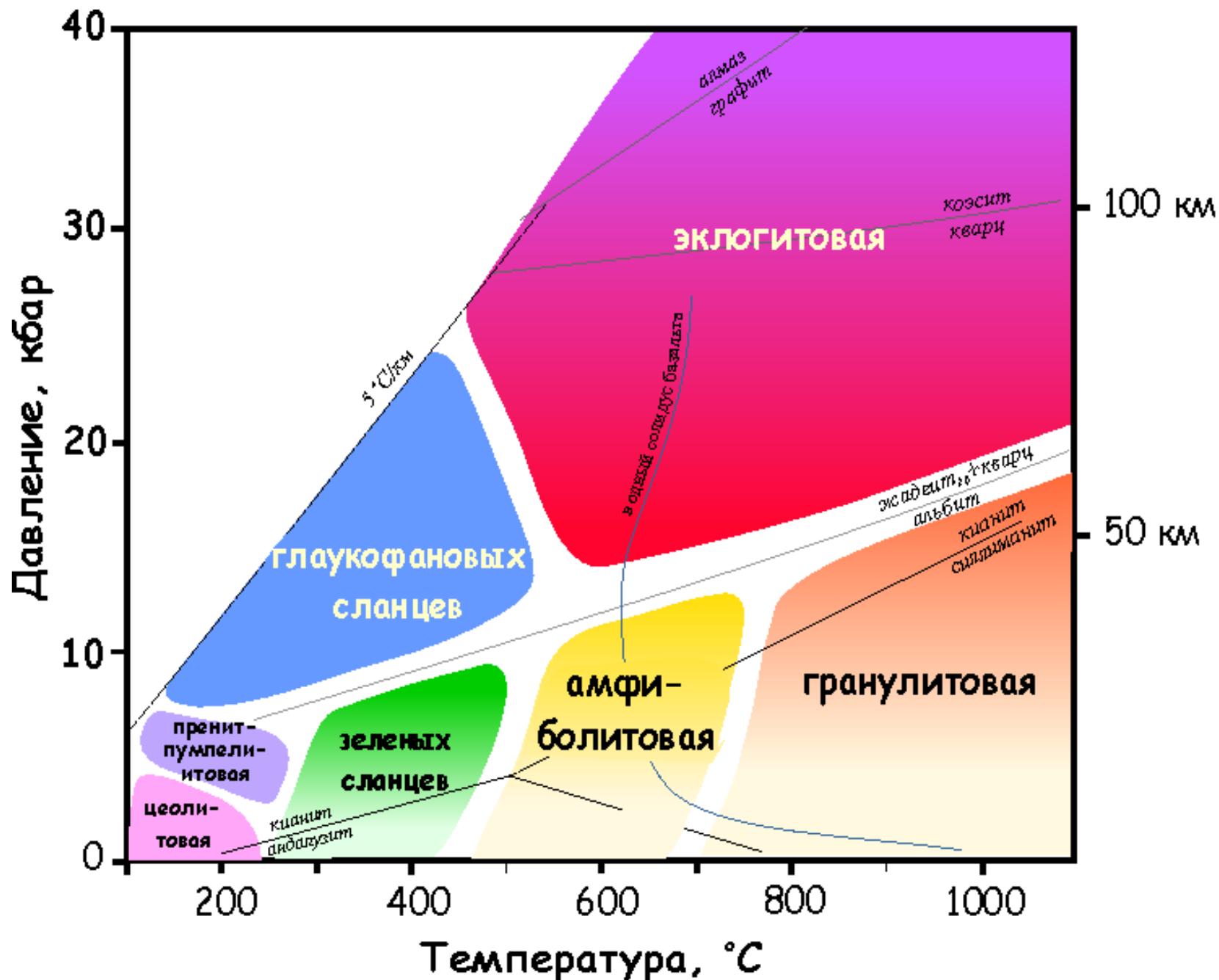
до 600С – 3 кбар,
 600-700С – 4-5 кбар,
 700-800С – 5-6 кбар,
 800-1000С – 6-8 кбар

Индикаторами высокобарного субдукционного тренда являются глаукофан, омфацит и отсутствие плагиоклаза

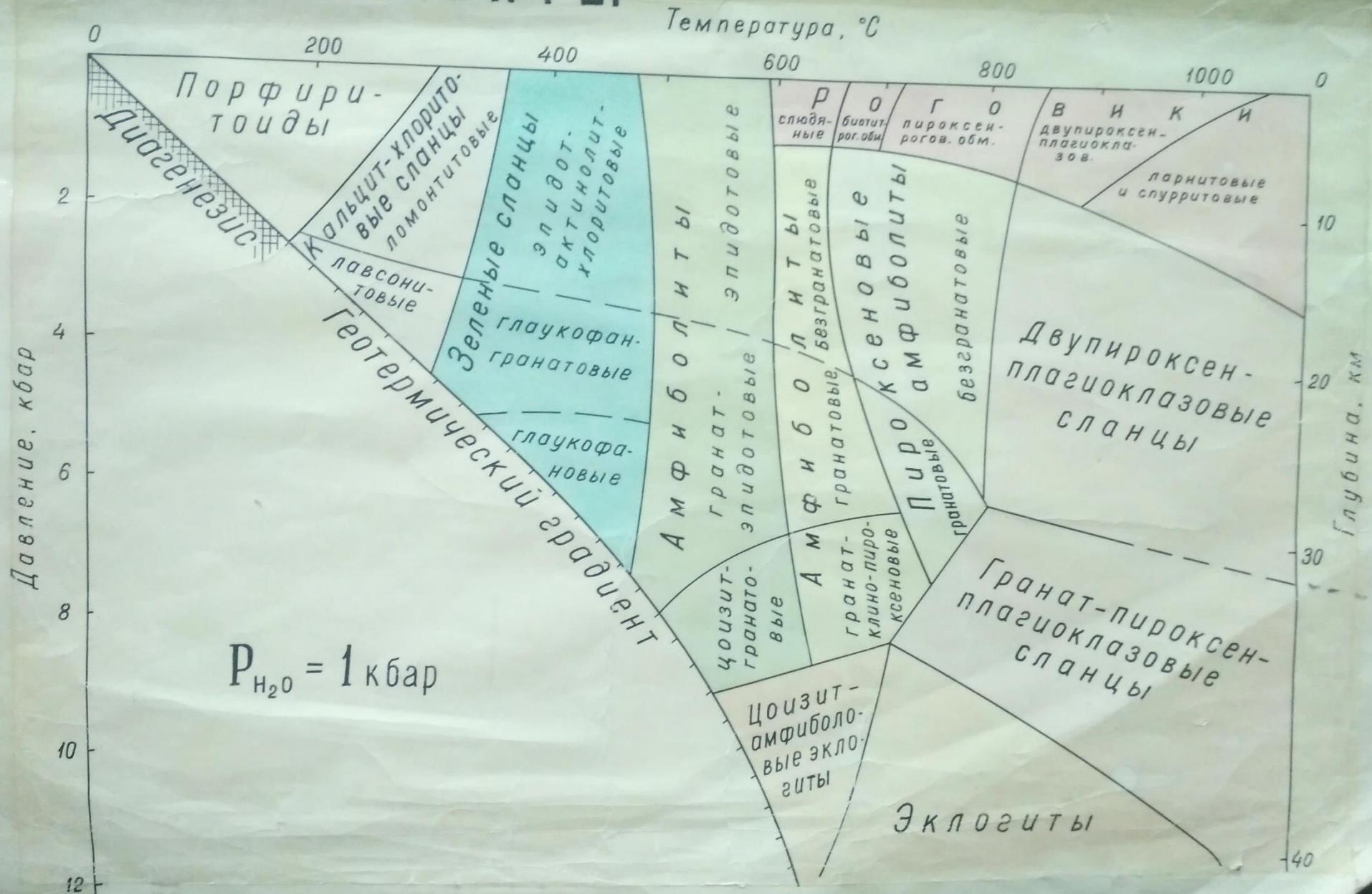
В метапелитах гранат, как и кварц, может быть при любых условиях.

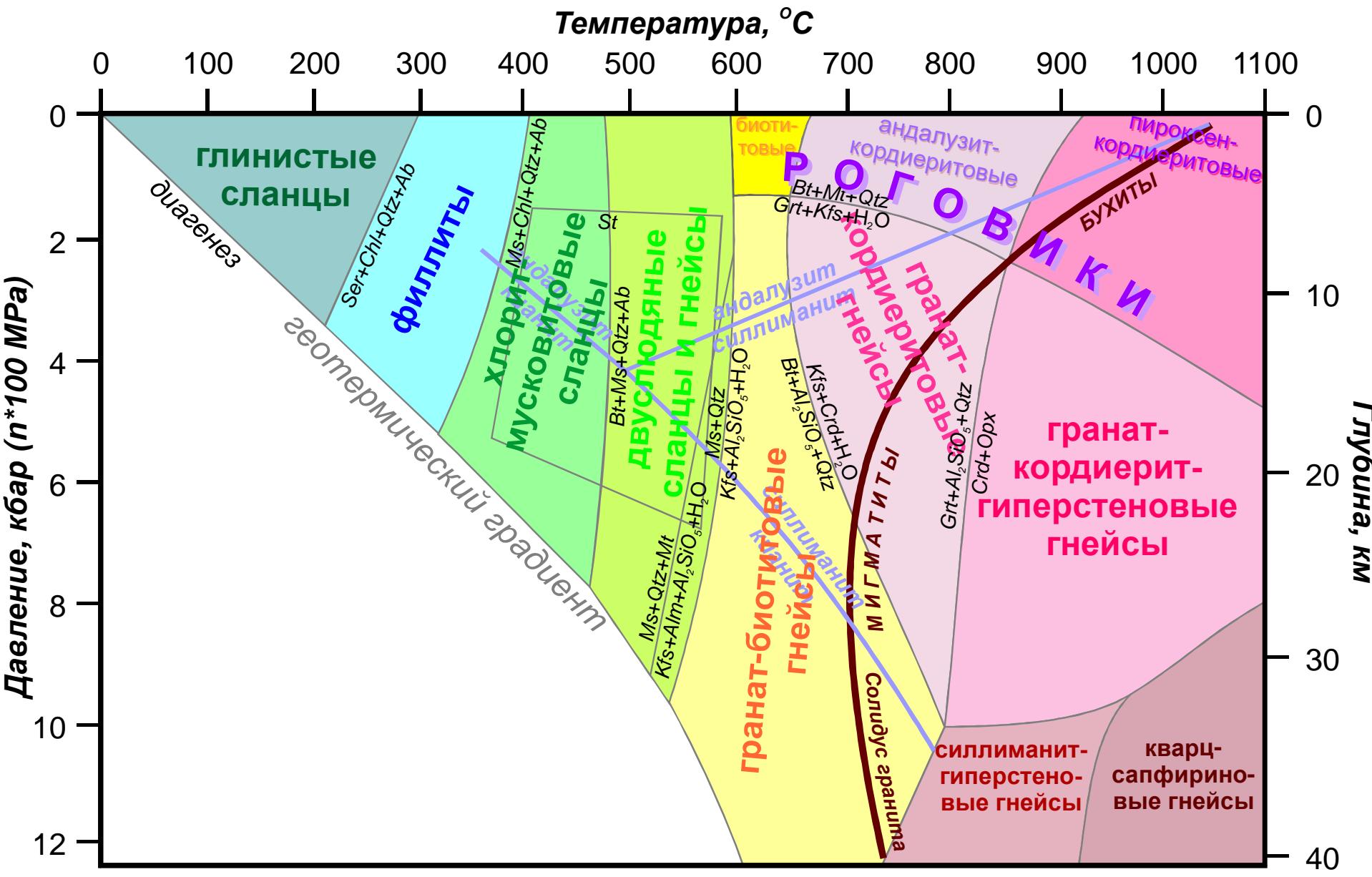
Индикаторами давления (и температуры тоже, что не указано на схеме выше) в метапелитах могут служить And-Sill-Ky и St (поле стабильности последнего по давлению примерно 1-6 кбар, по температуре 400-600С)





МЕТАБАЗИТЫ





МЕТАСОМАТОЗ



Скарн из экзоконтакта Бердяушского массива гранитов рапакиви (Ю.Урал)

Под воздействием **агрессивных растворов и летучих компонентов** образуются **метасоматические** горные породы. При этом происходит существенное изменение минерального и химического составов, а также структур пород с сохранением твердого состояния.

Метасоматоз - это метаморфизм с **изменением химического состава** (аллохимический), с привносом и выносом вещества **без изменения объема**.

Метасоматоз развивается **ЛОКАЛЬНО** в различных геологических обстановках при небольшом давлении на малых, реже средних глубинах. Агрессивные флюиды с течением времени теряют кислотные или щелочные свойства и становятся нейтральными. Поэтому масштабы метасоматоза ограничены.

Мощности метасоматических пород обычно составляют от долей метра до несколько метров, редко они достигают первых десятков метров.

Псевдоморфозы – «образ» метасоматоза;
полиморфные модификации – «образ» метаморфизма



Примеры различных псевдоморфоз

Псевдоморфоза минералов кремнезема по стволу дерева



механизмы процессов метасоматоза

инфилтрационный

диффузионный

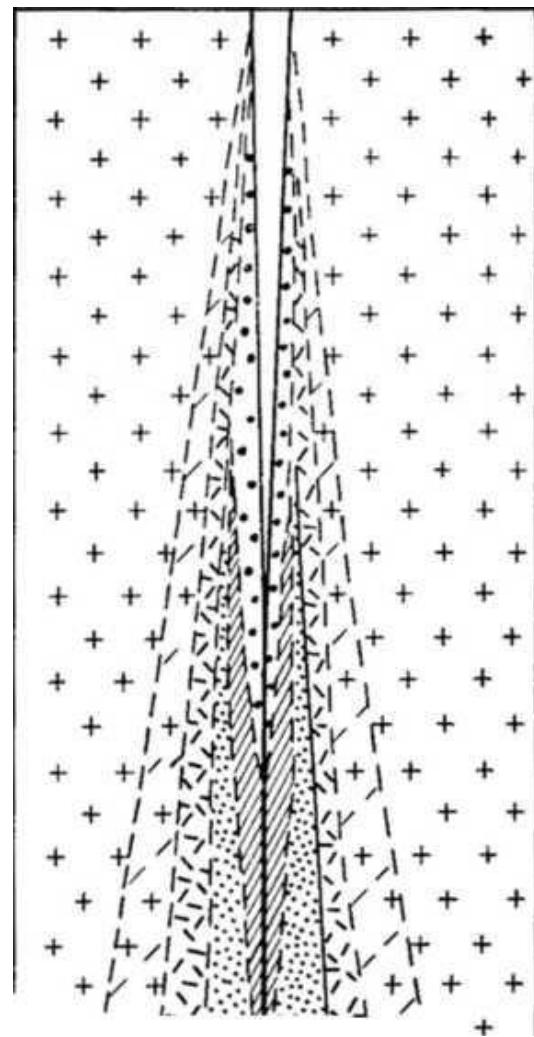
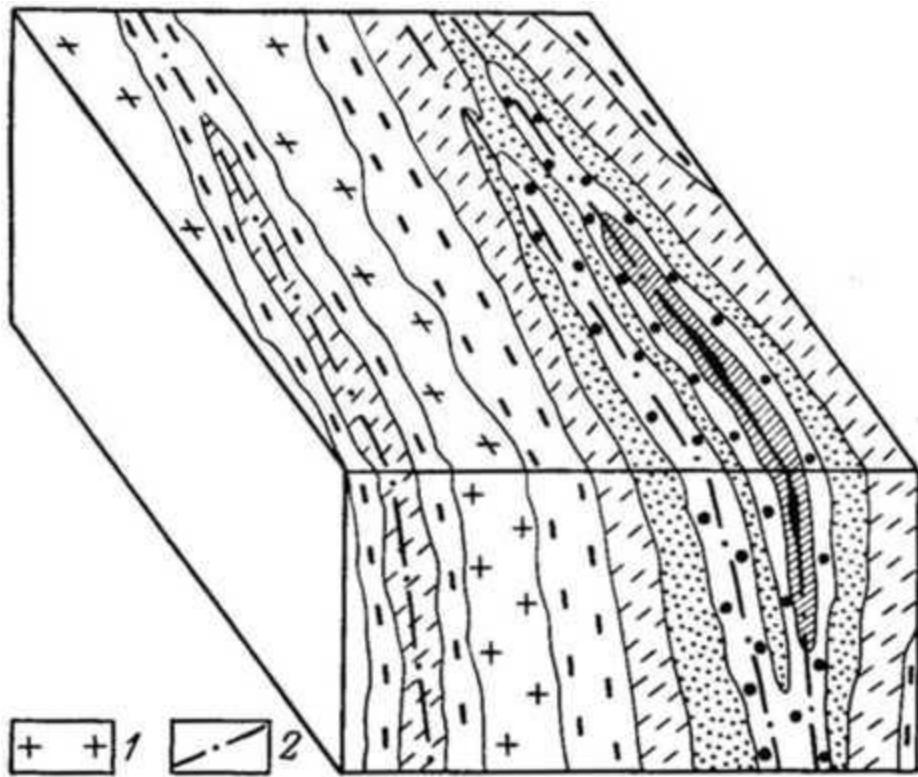
растворенные компоненты
переносятся раствором,
циркулирующим по трещинам
и межзерновым пространствам,
что приводит к одностороннему
переносу компонентов
растворами

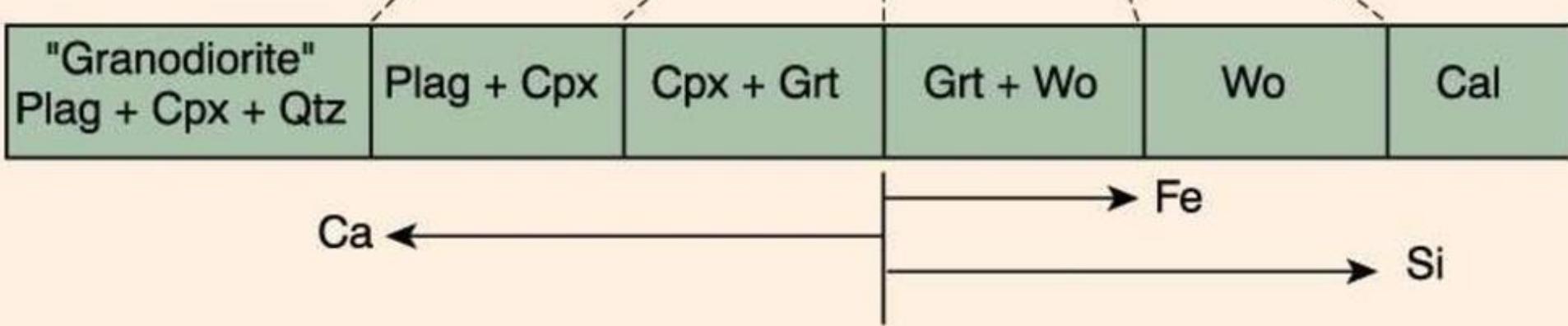
привнос и вынос вещества
перемещение компонентов
происходит благодаря различию
их концентраций в поровых
растворах, при этом часто
развиваются биметасомати-
ческие процессы

В природе инфильтрационный
способ метасоматоза
проявляется шире, чем
диффузионный.

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.

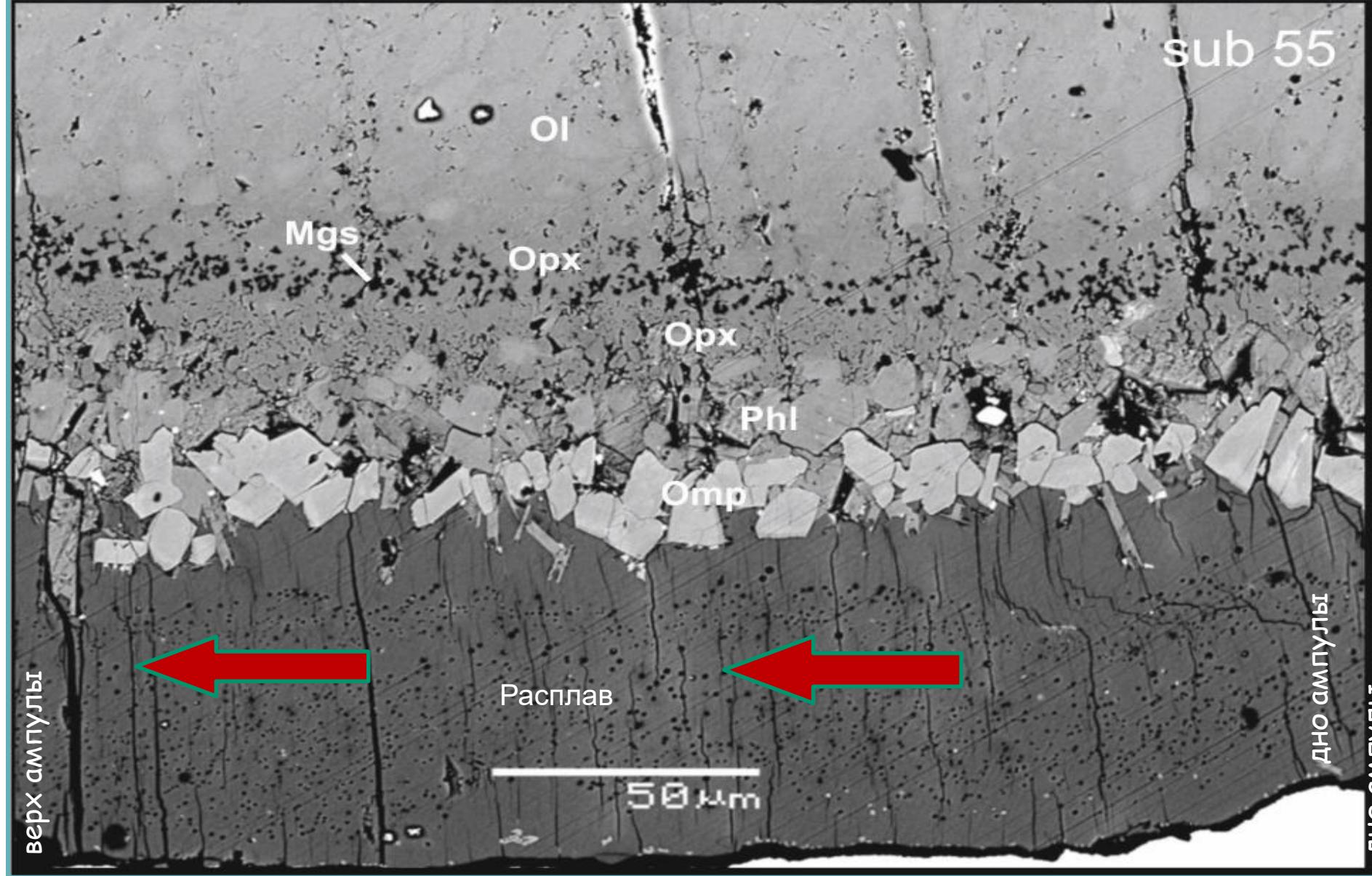




Пример скарновой диффузационной (биметасоматической) зональности, полученной при эксперименте. Фото образца, схема зональности и направление миграции компонентов.

Все зоны образуются одновременно и в дальнейшем просто увеличивается мощность каждой из них.

sub 55



Пример инфильтрационной зональности (по одну сторону от жилы),
полученной при эксперименте. Фото в обратнорассеянных электронах, получено
при помощи электронного микроскопа.

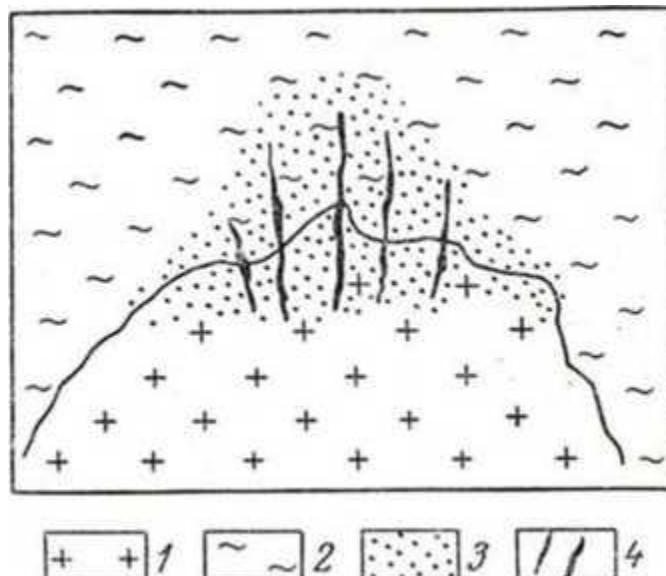
Среди метасоматических пород по генетическому признаку выделяются классы метасоматитов, связанные с

гранитным,

основным,

щелочным ,

ультраосновным щелочным магматизмом.



Д.С.Коржинским разработана концепция кислотно-основного взаимодействия (или кислотности - щелочности). Согласно ей, из очага остивающего магматического расплава поднимается поток восходящих растворов, которые находятся в надкритическом состоянии и *имеют первоначально щелочной состав.*

Растворы взаимодействуют с породами застывшей апикальной части интрузии, а также вмещающими образованиями.

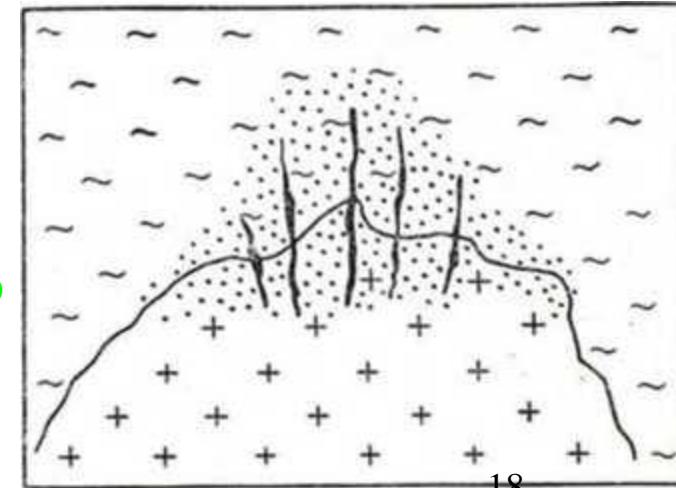
Постепенно в растворах *повышается кислотность, достигается максимум, а затем она снижается.*

Эта стадия прохождения через породы кислых растворов обозначена как «волна кислотности».

Таким образом, в соответствии

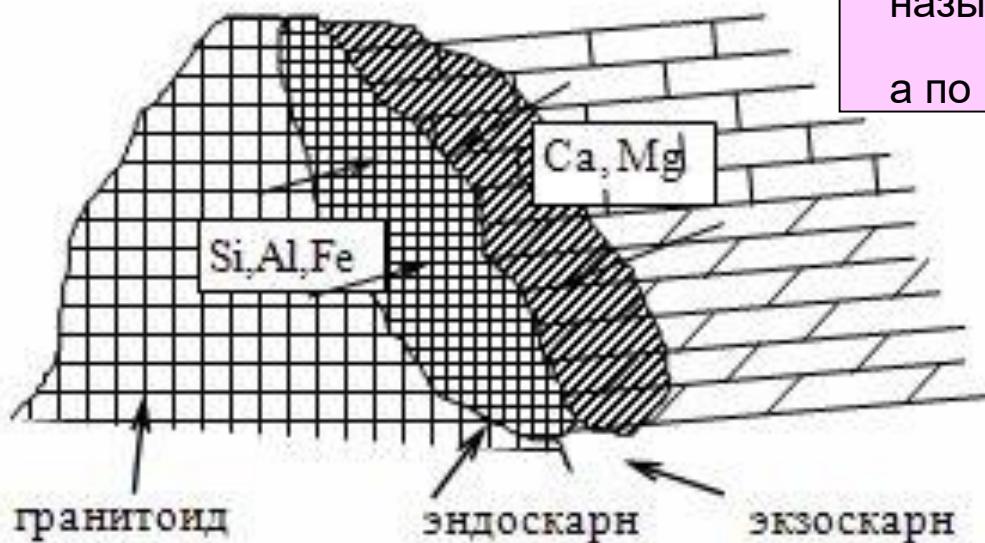
следует выделять:

- 1) **породы ранней щелочной стадии;**
- 2) **породы кислотной стадии (стадии кислотного выщелачивания);**
- 3) **породы поздней щелочной стадии.**



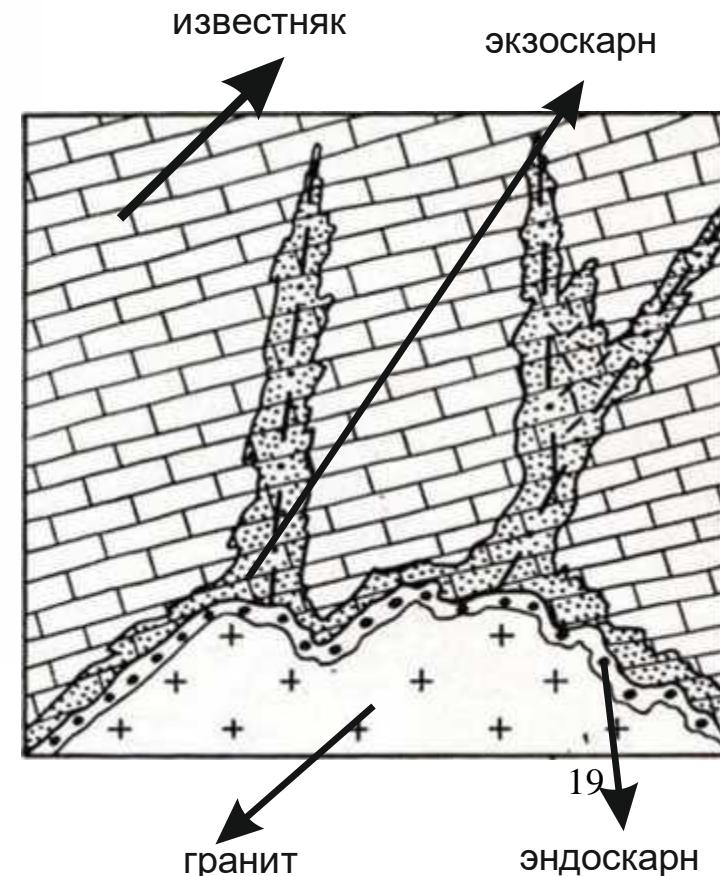
Ранняя щелочная стадия (или стадия пониженной кислотности)

является наиболее высокотемпературной - температуры **500-750°C**. Часть метасоматических процессов этой стадии относится к магматической (например, формирование магнезиальных скарнов), а другая часть - к постмагматической (образование известковистых скарнов).



Скарны формируются на контактах карбонатных и алюмосиликатных пород под воздействием растворов, пришедших в зону контакта.

Скарны по алюмосиликатным породам называются **эндоскарнами**,
а по карбонатным - **экзоскарнами**.



Скарны сложены известково-магнезиально- железистыми силикатами и алюмосиликатами:

- **клинопироксеном ряда диопсид- геденбергит,**
- **гранатом ряда гроссуляр-андрадит (Ca-Al- Fe),**
- **волластонитом,**
- **везувианом,**

В магнезиальных скарнах:

- **магнезиальным оливином,**
- **флогопитом,**
- **шпинелью.**

Скарны часто имеют пятнистые или полосчатые текстуры.



Геденбергит-волластонитовый скарн



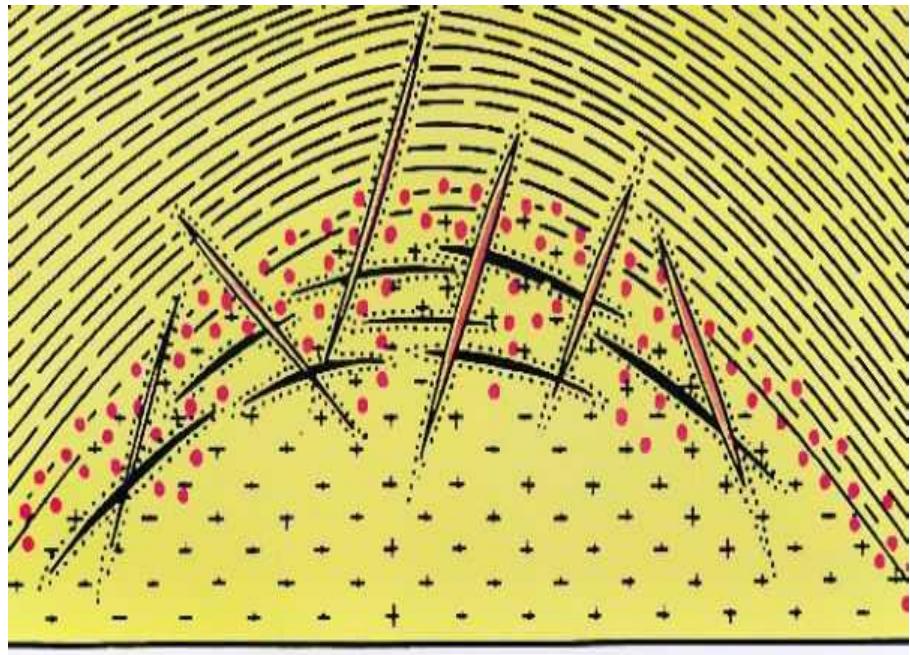
Скарн преимущественно клинопироксен (геденбергит) – гранатового (андрадит) состава

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.

Кислотная стадия проявляется в условиях средних температур - 600- 400°C. Она характеризуется общим выщелачиванием и выносом всех оснований. На этой стадии формируются **грейзены, вторичные кварциты** и **пропилиты**



1 - грейзенизация гранитов и вмещающих пород;

2 - жильные и штокверковые грейзены ранней стадии;

3 - жильные грейзены поздней стадии

Грейзены - это наиболее типичные метасоматические образования среднетемпературной кислотной стадии. Это **кварц-мусковитовые**, **кварц- топазовые**, существенно кварцевые породы, иногда содержащие турмалин, флюорит, кассiterит, вольфрамит и другие рудные минералы. Наиболее часто грейзены развиваются по гранитам



Зональность для грейзенов, развивающихся по гранитам:

1) неизмененный гранит	2) двуслюдяной гранит	3) мусковитовый гранит	4) кварц-калишпат-мусковитовый грейзен	5) кварц-мусковитовый или карц-топазовый грейзен	6) кварцевая метасоматическая жила
кварц+ КПШ+ олигоклаз+ биотит+ магнетит	кварц+ КПШ+ олигоклаз+ биотит+ мусковит	кварц+ КПШ+ олигоклаз+ мусковит	кварц+ КПШ+ мусковит	кварц+ мусковит или кварц+топаз	кварц
Fe+3	Fe+2	Na	K	Al	



Агрегат кристаллов топаза из грейзенов Шерловой горы.

$(\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2)$, примеси Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ti , Cr , V и др



Кварц-мусковитовый грейзен с топазом

Грейзены и грейзенизированные породы представляют большой промышленный интерес.

В грейзенах сосредоточены ресурсы олова в форме касситерита, вольфрама, гл. обр. в виде вольфрамита, лития в литиевых слюдах, бериллия в форме берилла, фенакита, берtrandита и гельвина.



Касситерит в грейзене.



Грейзен. Мусковит, берилл, топаз

Голец Сохондо. В. Забайкалье.

Кристаллы 3-4 см.

Фото А.А. Евсеева

Кварцит вторичный - метасоматическая горная порода, состоящая в основном из кварца с примесью серицита, алюнита, корунда, топаза, рутила и др.. Вторичные кварциты образуют неправильной формы грибообразные тела, жилы, псевдослоистые массивы (до нескольких км. в поперечнике). Месторождения вторичных кварцитов формируются в результате относительно низкотемпературного метасоматического преобразования кислых и средних эфузивных, реже интрузивных кислых пород и их туфов. С вторичными кварцитами связаны месторождения алюнита, пирофиллита, самородного золота, меди, молибдена, полиметаллов и колчеданов.

Пропилит метасоматическая порода, состоящая из щелочных полевых шпатов (альбит или адуляра), калиевой гидрослюды, хлорита, кварца, пирита, кальцита. Обычны эпидот, актинолит, цеолиты. С пропилитами связано возникновение многих руд, но главным образом Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Mo, Sb, Hg. Коржинский рассматривает пропилиты как продукты регионального процесса, связанного с рудообразованием и обусловленного внедрением гипабиссальных интрузий. Возникают по лавам, интрузивам, пирокластическим или терригенным породам различного состава.

Кислотная стадия сменяется **поздней щелочной**, наиболее низкотемпературной - **400-100°С**. В результате нейтрализации растворов происходит осаждение карбонатов и образование березитов и лиственитов.

березитизация, и лиственитизация вызываются одними и теми же углекислыми растворами

Березиты - породы, сложенные кварцем, серицитом, пиритом и карбонатом. Образуются они за счет магматических пород **кислого** состава.



Листвениты —породы, состоящие из кварца, хромовой слюды (фуксита), брейнерита $((Mg, Fe)C0_3)$ и пирита. Они образуются при изменении **ультраосновных** пород



Процесс березитизации является типичным окологильным изменением. Развивается он вдоль трещин, тектонических зон, зон рассланцевания, а также вдоль контактов даек. В центральной части зоны березитизации обычно располагается **кварцевая жила**. Среди лиственитов вместо кварцевой жилы присутствует **карбонатная жила**.

Наиболее типична для березитов следующая зональность.

1. Измененный 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 процессом березитизации связаны многие типы рудных месторождений, а именно, месторождения **золота, полиметаллов, меди, молибдена, редких металлов**.

Особые случаи метасоматоза:



Чароитит -
метасоматическая порода,
образующаяся среди
фенитов и скарнов на
контакте с щелочной ультра-К
интрузией.



Сиреневый минерал – чароит, темно-зеленый, почти черный – эгирин и белый – кпш



Нематобластовые кристаллы эгирина (высокие инт. окраски), фибробластовые чароита (серые и белые инт. окраски) и гранобластовые (бесцветные без анализатора) калиевого полевого шпата. Слева фото без анализатора, справа – с.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ
(ИГЕМ РАН)

Чтения им. академика Д.С. Коржинского

Г.П. Зарайский

**ЭКСПЕРИМЕНТ
В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ
МЕТАСОМАТИЗМА**

Москва
ГЕОС
2007

Все о геологии
<http://geo.web.ru/>



ПРОБЛЕМЫ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ
ПЕТРОЛОГИИ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Институт геохимии и минералогии

Г.П.Зарайский
Зональность
и
Условия
образования
метасоматических
пород

Научно-исследовательский
институт
академик Г.А. Кильдин



Спасибо за внимание!



33

Медово-желтый тинаксит, черно-зеленый эгирин и фиолетовый чароит в чароите
(Мурунский массив, Якутия, Россия)