

Лекция № 32

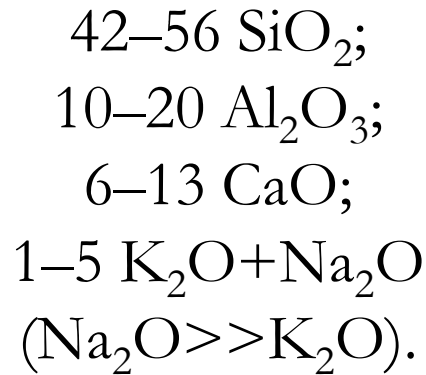
Метабазиты

Метабазиты – продукты метаморфизма вулканических пород базальтового и андезибазальтового составов, пород группы габбро, диоритов, туффитов и туфогенных песчаников, а также аналогичных им по составу осадочных образований – граувакк и некоторых разновидностей глинисто-карбонатных пород (мергелей).

Из приведенного определения следует, что метаморфические образования метабазитового ряда могут быть как орто-, так и парапородами. В связи с этим, наряду с определением условий метаморфизма, важной задачей в изучении пород метабазитового ряда является *реконструкция протолита*.

Состав метабазитов

Контуры химического состава пород (определяются особенностями состава протолита (мас.‰):



Метабазиты, образующиеся за счет метаморфизма магматических пород (ортопороды) часто обогащены такими элементами-примесями как Co, Ni, V, Ti и Cr, а продукты метаморфизма осадочных образований (парапороды) – Mn и B.

Базальты как исходная порода для метабазита

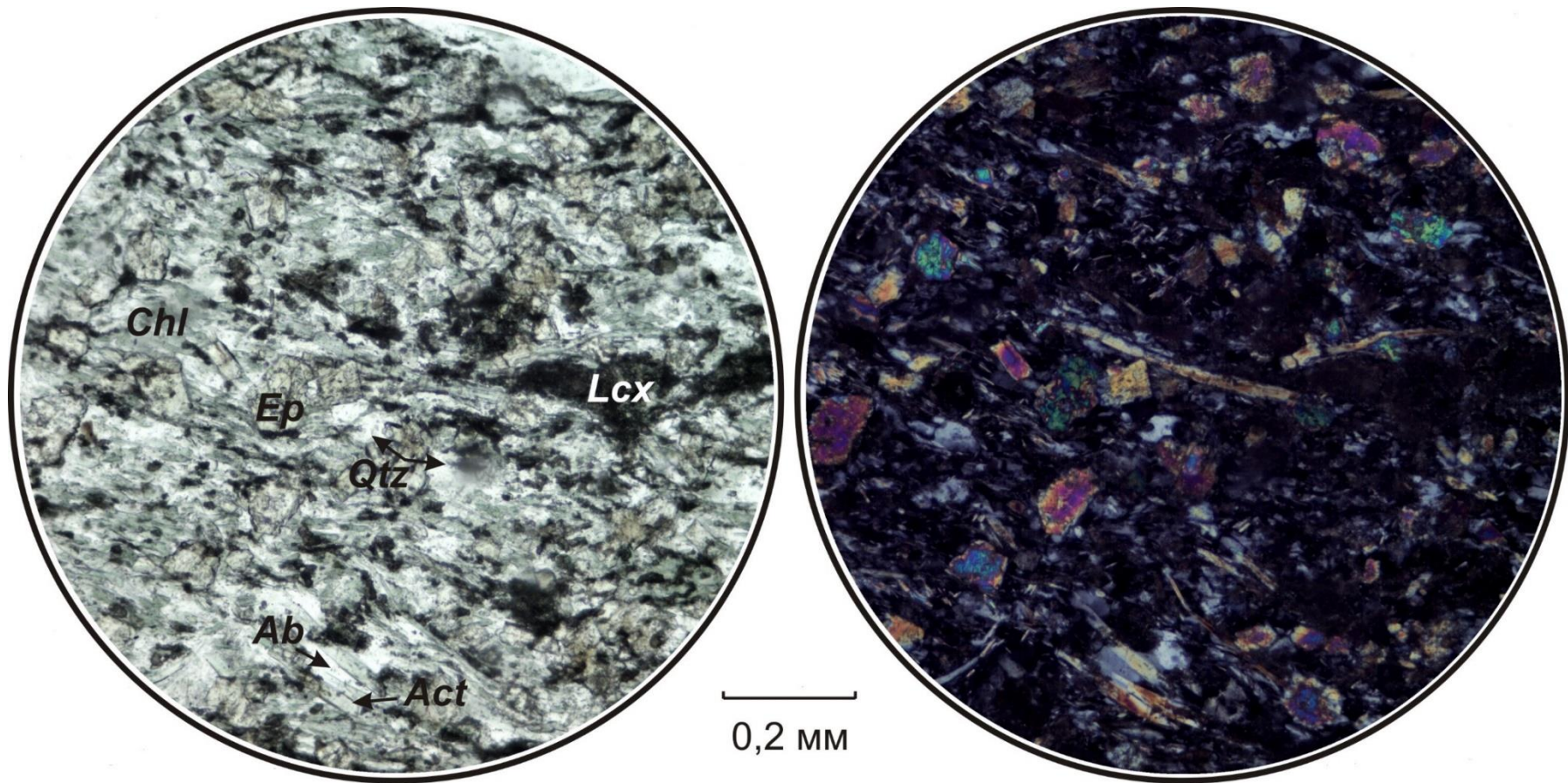


Базальты состоят из основного плагиоклаза, пироксенов, оливина, реже рудных минералов (титаномagnetита или ильменита) и содержат в различных количествах стекло.

При палеотипных изменениях базальты переходят в **базальтовые порфириты** (палеобазальты).

При палеотипных изменениях происходит разложение стекла, которое замещается главным образом хлоритом, и некоторых минералов (на месте плагиоклаза развивается соссюрит, пироксены замещаются уралитом (волокнистый агрегат тремолита-актинолита) и хлоритом, а оливин — серпентином и т.д.). Для основной массы характерно появление кварца.

Базальтовый порфирит



Chl – хлорит, *Ep* – эпидот, *Qtz* – кварц, *Ab* – альбит, *Act* – актинолит, *Lcx* – лейкоксен (тонкая полиминеральная смесь продуктов изменения титансодержащего стекла, состоящая из псевдорутила $\text{Fe}^{3+}_2\text{Ti}^{4+}_3\text{O}_9$, аморфной составляющей и рутила (реже анатаза, брукита).

Схема минеральных фаций метабазитов

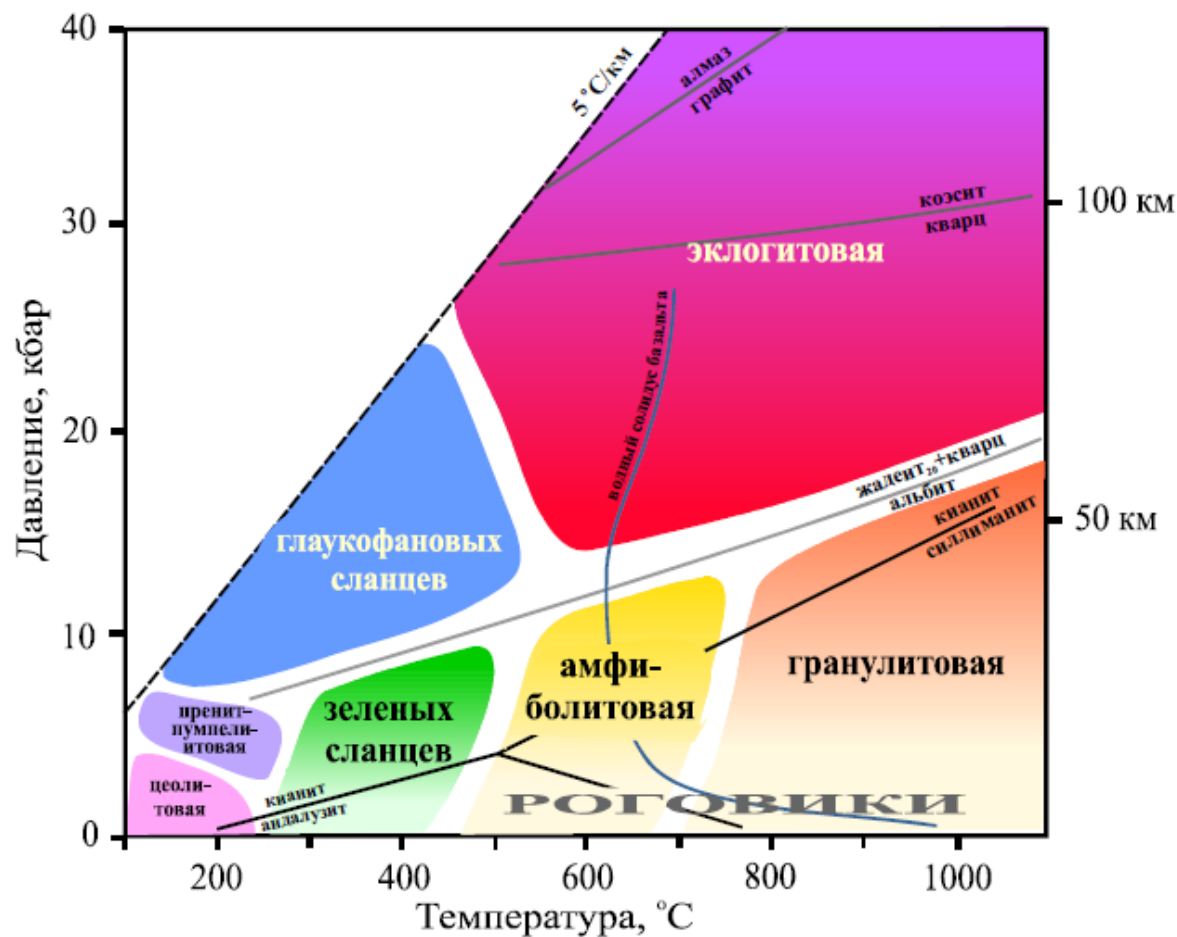
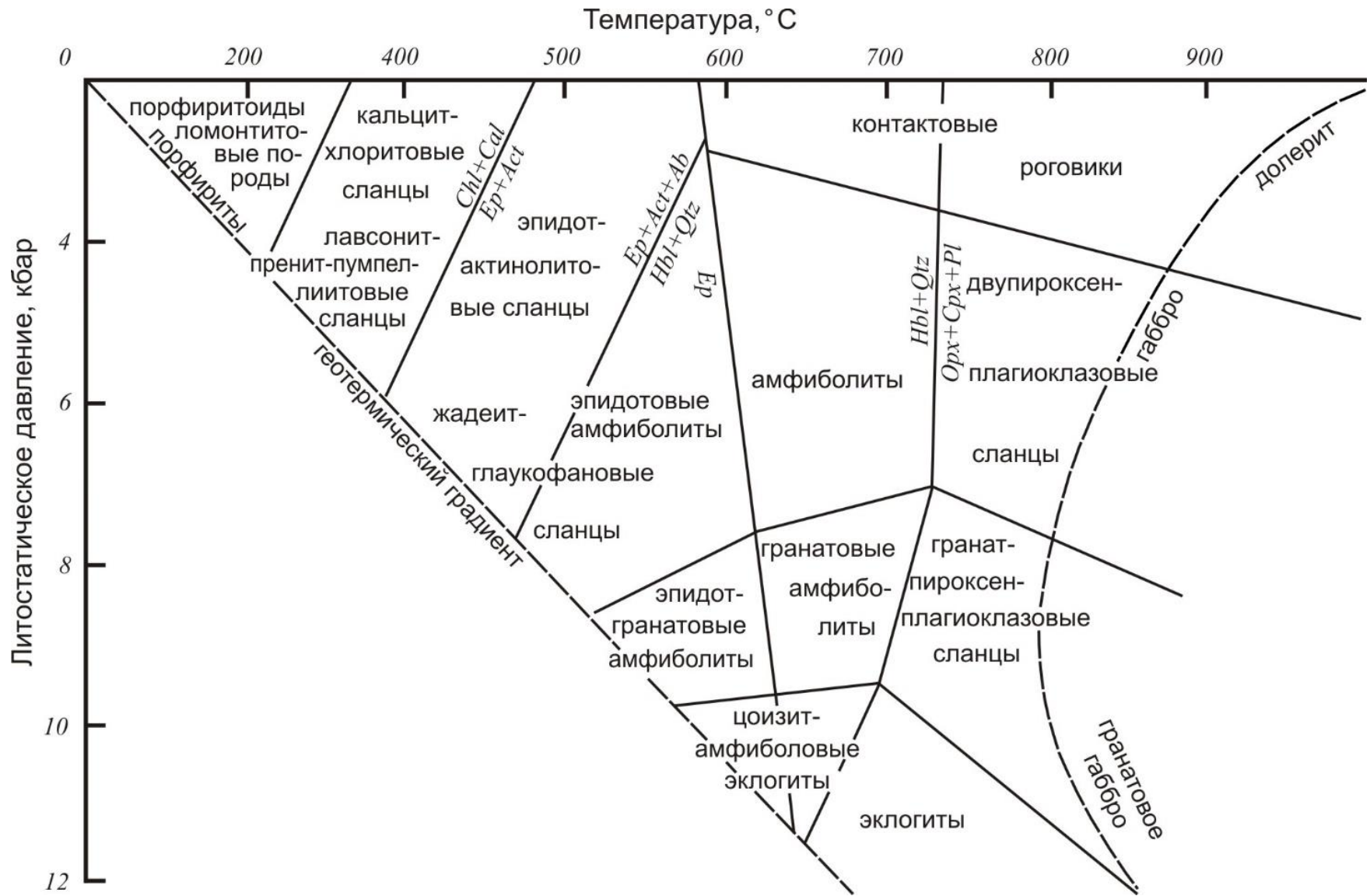


Схема минеральных фаций метабазитов



Метабазиты низшей и средней ступени

К породам **низшей ступени метаморфизма** относятся порфириитоиды, цеолитовые сланцы и ломонтитовые породы, пренит-пумпеллиитовые сланцы и зеленые сланцы, которые можно подразделить на кальцит-хлоритовые (более низкотемпературные) и эпидот-актинолитовые сланцы.

Средняя ступень метаморфизма охватывает амфиболиты, включая их эпидотовые (более низкотемпературные) и гранатовые (более глубинные разности).

Порфиритоиды

На схеме минеральных фаций А.А. Маракушева эти породы занимают самую низкотемпературную область; при использовании международной систематики их обычно относят к зеленым сланцам. Общая структура порфиритоидов всегда *бластопорфировая*. В породах сохраняются очертания вкрапленников исходных пород с порфировой структурой, а в основной массе развивается очень тонкозернистый агрегат с микролепидогранобластовой или микрофиброгранобластовой структурой и тонкосланцеватой текстурой. Часто в породах присутствует миндалекаменная текстура. Все эти признаки свидетельствуют о небольшой интенсивности бластеза при метаморфизме исходных эффузивов. Главное отличие от порфиритов: отсутствие в порфиритоидах реликтов первичной структуры основной массы вулканической породы.

К порфиритоидам также обычно относят слабо преобразованные туфы с хорошо сохранившимися реликтами обломочной текстуры.

Минеральный состав порфиритов

Вкрапленники основного плагиоклаза, свойственные базальтам, альбитизируются или замещаются соссюритовым агрегатом.

Темноцветные минералы замещаются хлоритом, реже амфиболом тремолит-актинолитового ряда и серпентином.

Стекло и микролиты основной массы преобразуются в тонкозернистый минеральный агрегат хлорита, альбита, лейкоксена, кварца, карбоната, серицита и минералов группы эпидота.

Вопрос: откуда берутся кварц и карбонат?

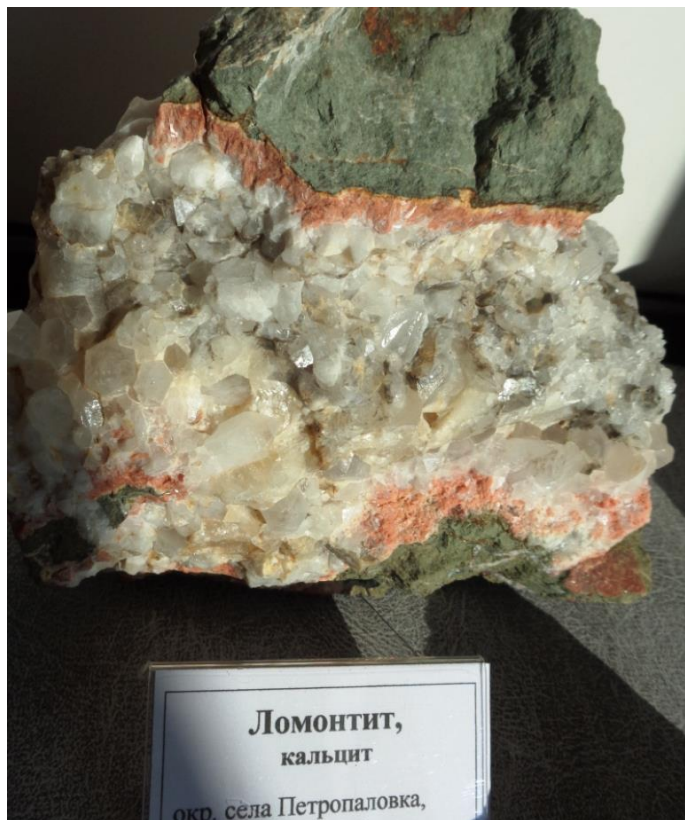
В первичных породах (базальтах) содержание SiO_2 невелико, и *кварц* отсутствует. В виде самостоятельной фазы кварц выделяется в ходе развития процесса хлоритизации пород (*Chl* содержит от 26 до 33 мас.% SiO_2).

Появление *карбоната* связано с высвобождением анортитовой (кальциевой) составляющей плагиоклаза при его альбитизации.

Цеолитовые сланцы

На международной схеме минеральных фаций метабазитов **цеолитовая фация** является самой низкотемпературной ($\sim 100\text{--}250^\circ\text{C}$), диапазон давлений 1–3 кбар. На схеме А.А. Маракушева развитие цеолитовых сланцев соответствует области ломонтитовых пород.

Для этой фации очень характерно образование гидротермальных гнезд, прожилков, и заполнение миндалин в основных вулканитах. В этих условиях образуются *агаты* (ритмично-полосчатые, узорчатые агрегаты халцедона) и *аметист*.



<http://geo.web.ru/druza/l-Petropavlov.htm>
Фото : © А.А. Евсеев



<https://www.pinterest.ru/>

Минералы группы цеолитов

Цеолиты — это водные алюмосиликаты кальция и натрия из подкласса каркасных силикатов.

Обычно по мере повышения температуры образуются цеолиты с *меньшим содержанием воды*. Так, к относительно низкотемпературным среди Са-цеолитов относят шабазит $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, стильбит $\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и гейландит $\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, а более высокотемпературные разновидности представлены ломонтитом $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и вайрацитом $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Наиболее распространенные Na-цеолиты представлены филипситом $\text{Na}_3\text{Al}_3\text{Si}_5\text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, анальцимом $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и натролитом $\text{Na}_4\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.



Гейландит



Анальцим

<https://www.pinterest.ru/>

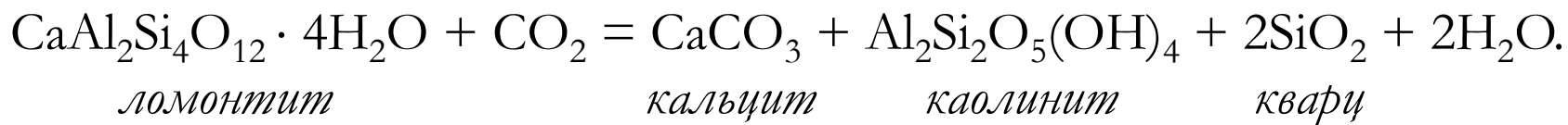


Натролит

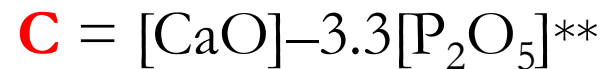
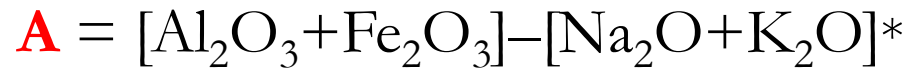
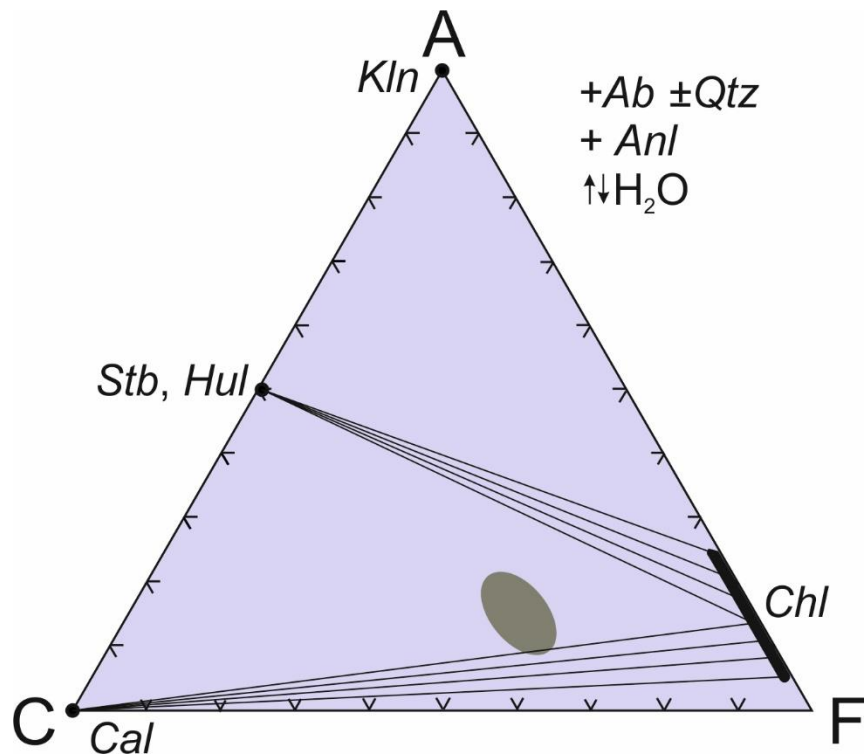
Цеолитовые сланцы

Кроме заполнения миндалин и гидротермальных прожилков, цеолиты замещают кристаллы плагиоклаза, вулканическое стекло и цемент осадочных пород.

Цеолиты стабильны лишь в присутствии существенно водного флюида с минимальным содержанием CO_2 ($X_{\text{CO}_2} < 0.01$). При $X_{\text{CO}_2} > 0.01$ они разлагаются с образованием карбонатов и глинистых минералов, например, по реакции:



Парагенезисы цеолитовых сланцев



* за вычетом Al_2O_3 в альбите и калишпате

** Ca в составе апатита

Альбит и кварц – **избыточные** минералы (могут присутствовать во всех парагенезисах и не показываются на диаграмме). H_2O – **вполне подвижный** компонент.

Chl – хлорит, *Cal* – кальцит, *Ab* – альбит, *Qtz* – кварц, *Anl* – анальцим, *Stb* – стильбит, *Hul* – гейландит, *Kln* – каолинит. Серое поле – область химического состава ортопород метабазитового ряда (состав наиболее распространенных базальтов).

Пренит-пумпеллиитовые сланцы

По сравнению с цеолитовыми сланцами, метаморфические породы пренит–пумпеллиитовой фации формируются при несколько более высокой температуре (200–300°C) на глубине 5–15 км в зонах метаморфизма низкого давления CO_2 . Для этих пород характерны пренит, пумпеллиит, хлорит, альбит, кварц; могут присутствовать ломонтит, лавсонит и кальцит. Формирование пренит-пумпеллиитовых пород близко по температурам к условиям образования филлитов.



Пренит



Пумпеллиит



Лавсонит

Яшмы пренит-пумпеллиитовой фации



Многие *яшмы* испытали метаморфизм пренит-пумпеллиитовой фации.

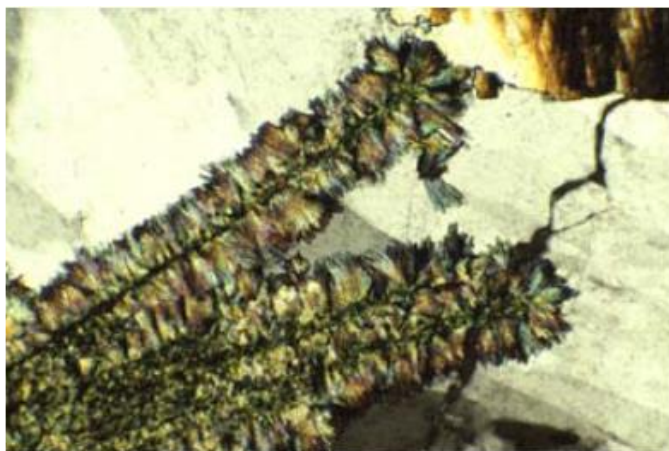
<https://old.spmi.ru/museum/884>

Причина зелёной окраски — наличие хлорита и пумпеллиита (придает полосам голубоватый оттенок), красная окраска обусловлена гематитом и гидроокислами железа. Такие полосчатые яшмы представляют собой чередование метаморфизованных кремнистых осадков и туффитов.

Пренит-пумпеллиитовые сланцы

Проявления пренит-пумпеллиитовой фации чаще встречаются среди толщ пород кайнозойского и мезозойского возрастов, чем среди более древних. Они также широко развиты в срединно-океанических хребтах.

Метаморфизм основных эффузивов связан с перекристаллизацией и замещением их основной массы пумпеллиитом, хлоритом и пренитом, а в туфогенных образованиях — с замещением тонкообломочного цемента. В породах появляются многочисленные прожилки и гнезда этих минералов.



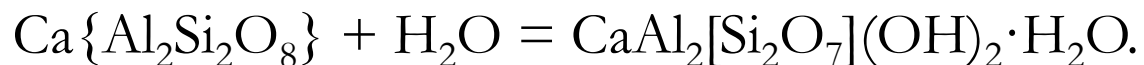
Прожилки пумпеллиита в диабазе



Пренит-кальцитовые прожилки в базальте

Лавсонит

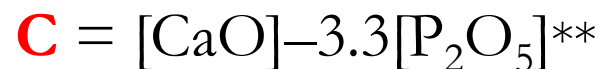
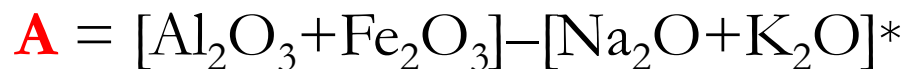
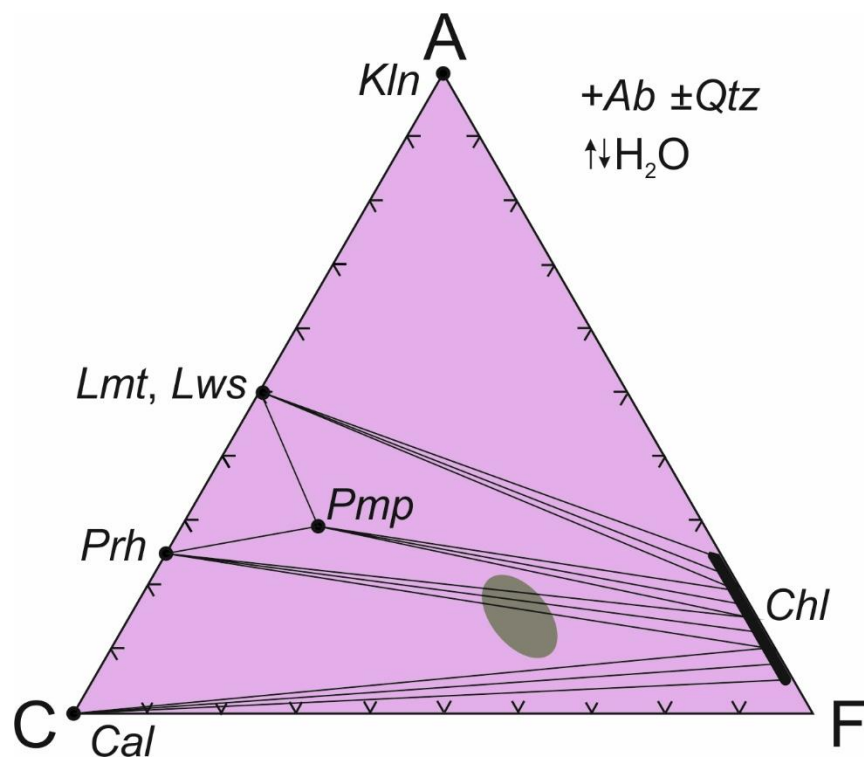
Лавсонит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ также устойчив лишь при низком парциальном давлении углекислоты. Он образуется за счет цеолитов, например, гейландита, а также в результате гидратации анортитовой молекулы плагиоклаза по реакции:



В этой реакции мы снова наглядно видим эффект *влияния давления на координационные числа элементов* (Al). Алюмосиликат Ca (анортит, Al находится в тетраэдрах) сменяется силикатом Ca и Al (лавсонит, Al в октаэдрической координации). Лавсонит – водосодержащий минерал, однако объем его кристаллической решетки очень близок объему анортитовой молекулы. Следовательно, плотность лавсонита выше.

Лавсонит встречается в пренит-пумпеллиитовых сланцах, однако является более характерным минералом глаукофановых сланцев и эклогитов.

Парагенезисы пренит-пумпеллиитовой фации



* за вычетом Al_2O_3 в альбите и калишпате

** Ca в составе апатита

Альбит и кварц – **избыточные** минералы (могут присутствовать во всех парагенезисах и не показываются на диаграмме). H_2O – **вполне подвижный** компонент.

Chl – хлорит, *Cal* – кальцит, *Ab* – альбит, *Qtz* – кварц, *Prh* – пренит, *Pmp* – пумпеллиит, *Lmt* – ломонит, *Lws* – лавсонит, *Kln* – каолинит. Серое поле – область химического состава ортопород метабазитового ряда (состав наиболее распространенных базальтов).

Зеленые сланцы

Все рассмотренные выше породы образуются в присутствии существенно водного флюида, практически не содержащего углекислоты. Увеличение парциального давления CO_2 делает цеолиты, пренит и пумпеллиит неустойчивыми, и вместо них при той же температуре и литостатическом давлении возникает парагенезис кальцит + хлорит, соответствующий низкотемпературной ассоциации **зеленых сланцев** (фа́ция *кальцит-хлоритовых сланцев* на диаграмме А.А. Маракушева). С повышением температуры эта ассоциация сменяется *эпидот-актинолитовыми сланцами*.

Зеленый сланец – общий термин для сланцеватых пород зеленого цвета, в состав которых входят хлорит, эпидот и амфибол актинолит-тремолитового ряда.

Для фации зеленых сланцев устанавливается следующий диапазон P – T параметров: температура 250–450°C, давление до 9 кбар.

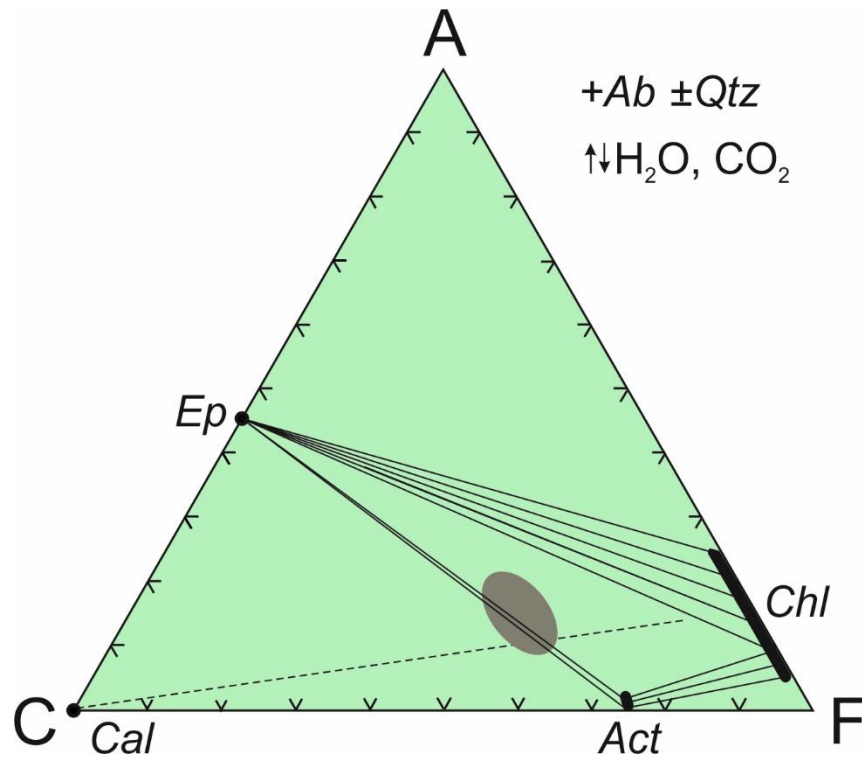
Минералы зеленых сланцев



Хлорит + амфибол тремолит-актинолитового ряда + минерал группы эпидота (эпидот-клиноцоизит) + альбит $\pm$ кварц $\pm$ кальцит

Актинолит-хлоритовый сланец

Парагенезисы зеленых сланцев



$$\mathbf{A} = [\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3] - [\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}]^*$$

$$\mathbf{C} = [\text{CaO}] - 3.3[\text{P}_2\text{O}_5]**$$

$$\mathbf{F} = [\text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO}]$$

* за вычетом Al_2O_3 в альбите и калишпате

** Ca в составе апатита

Альбит и кварц – **избыточные** минералы (могут присутствовать во всех парагенезисах и не показываются на диаграмме). H_2O – **вполне подвижный** компонент.

Chl – хлорит, *Cal* – кальцит, *Ab* – альбит, *Qtz* – кварц, *Prh* – пренит, *Pmp* – пумпеллиит, *Lmt* – ломонтит, *Lws* – лавсонит, *Kln* – каолинит. Серое поле – область химического состава ортопород метабазитового ряда (состав наиболее распространенных базальтов).

Структуры и текстуры пород

Структура альбит-эпидот-актинолитовых сланцев гранонематобластовая, реже лепидогранонематобластовая (при наличии хлорита) или гранофибробластовая, когда амфибол имеет форму игольчатых кристаллов. Текстура пород сланцеватая, иногда микроплойчатая.

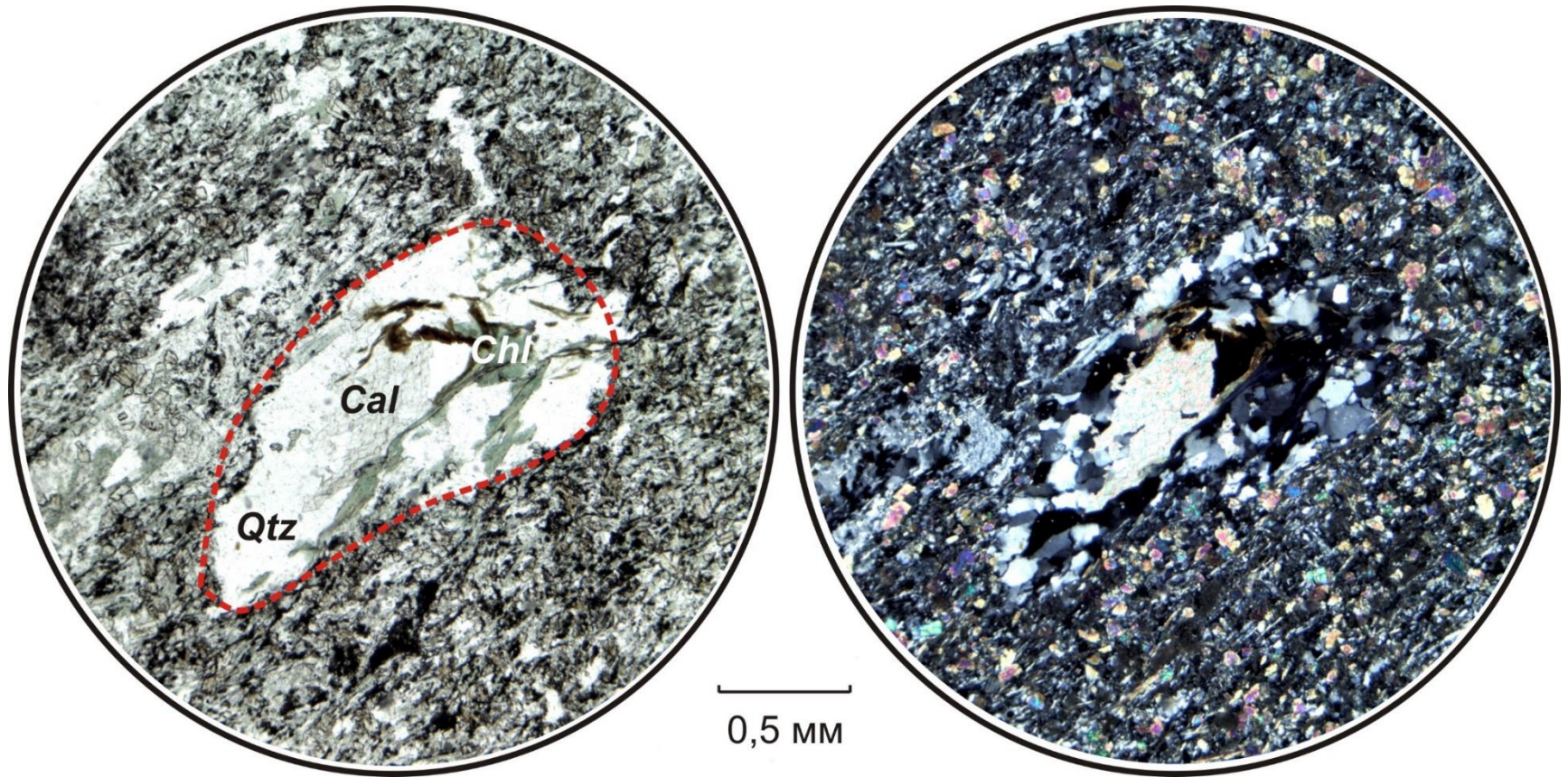
Альбит-эпидот-хлоритовые сланцы характеризуются несколько более четкой сланцеватой текстурой и гранолепидобластовой структурой.

Альбит-хлоритовые сланцы с кальцитом характеризуются еще более выраженным сланцеватым строением. Структура пород гранолепидобластовая, текстура сланцеватая, иногда полосчатая.

Полосчатость может наследовать первичную слоистость пород или развиваться в результате метаморфической дифференциации вещества.

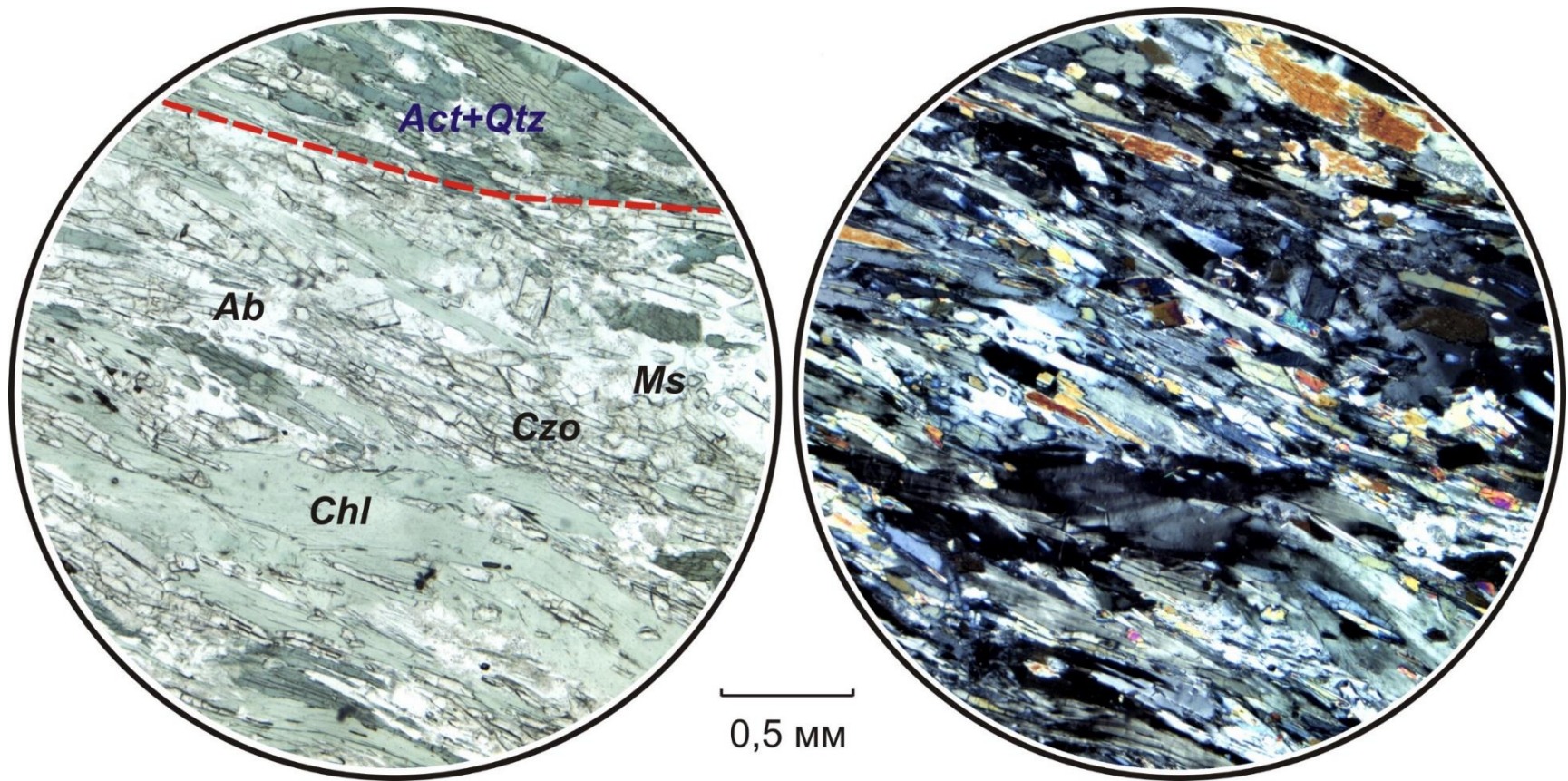
Во многих случаях зеленые сланцы наследуют структурно-текстурные особенности первичных пород, по которым *можно реконструировать их протолит.*

Реконструкция протолита зеленого сланца—1



В гранолепидобластовой массе альбит-эпидот-хлоритового сланца сохранились реликты миндалин кварц (*Qtz*)–хлорит (*Chl*)–кальцитового (*Cal*) состава. Это **ортопорода**, образовавшаяся по основному вулканиту – базальту.

Реконструкция протолита зеленого сланца—2

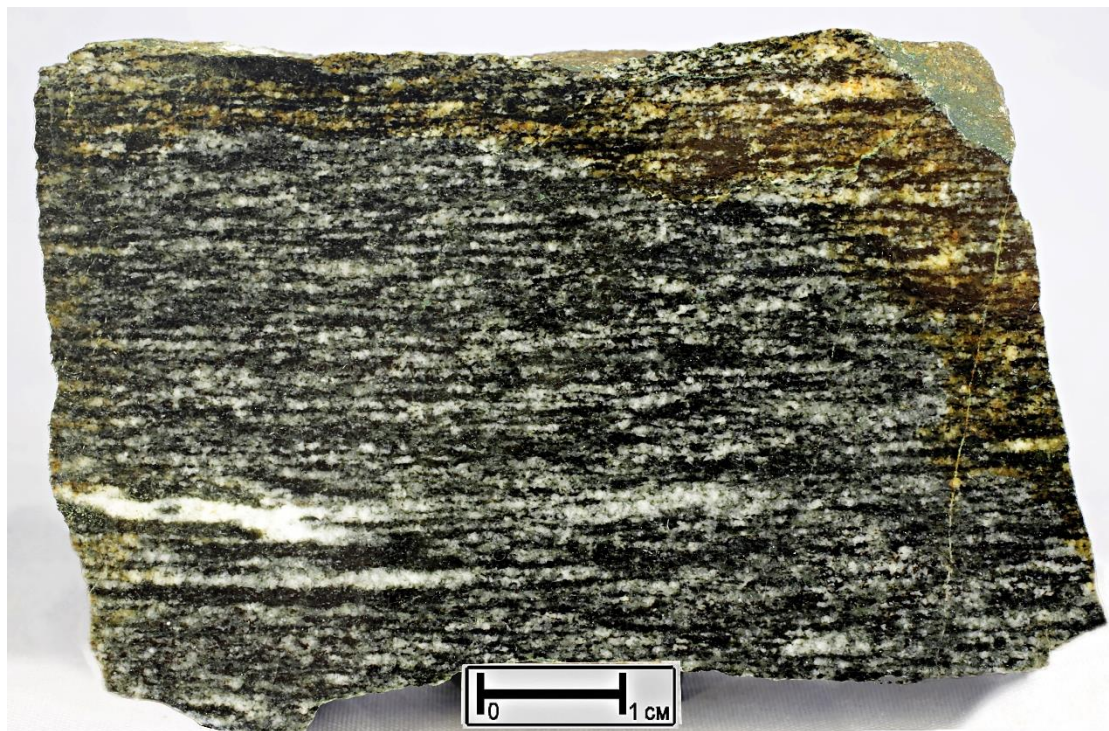


Альбит-кварц-эпидот-хлорит-актинолитовый сланец с мусковитом имеет четко выраженное полосчатое строение. Состав полос: (1) актинолит (*Act*) + кварц (*Qtz*) [богатый Ca, Fe и Mg субстрат]; (2) альбит (*Ab*) + хлорит (*Chl*) + мусковит (*Ms*) + клиноцоизит (*Czo*) [много Al]. Это **парапарода** – чередование глинистых и карбонатных осадков (полосчатость – наследованная слоистость!).

Амфиболиты

Амфиболиты – продукты средней степени метаморфизма metabazитов. Для амфиболитовой фации характерны температуры 450–700°C и давления до 12 кбар.

На схеме метаморфических фаций А.А. Маракушева амфиболитам соответствуют *эпидот-амфиболитовая* (более низкотемпературная) и собственно *амфиболитовая* (более высокотемпературная) **фации**.

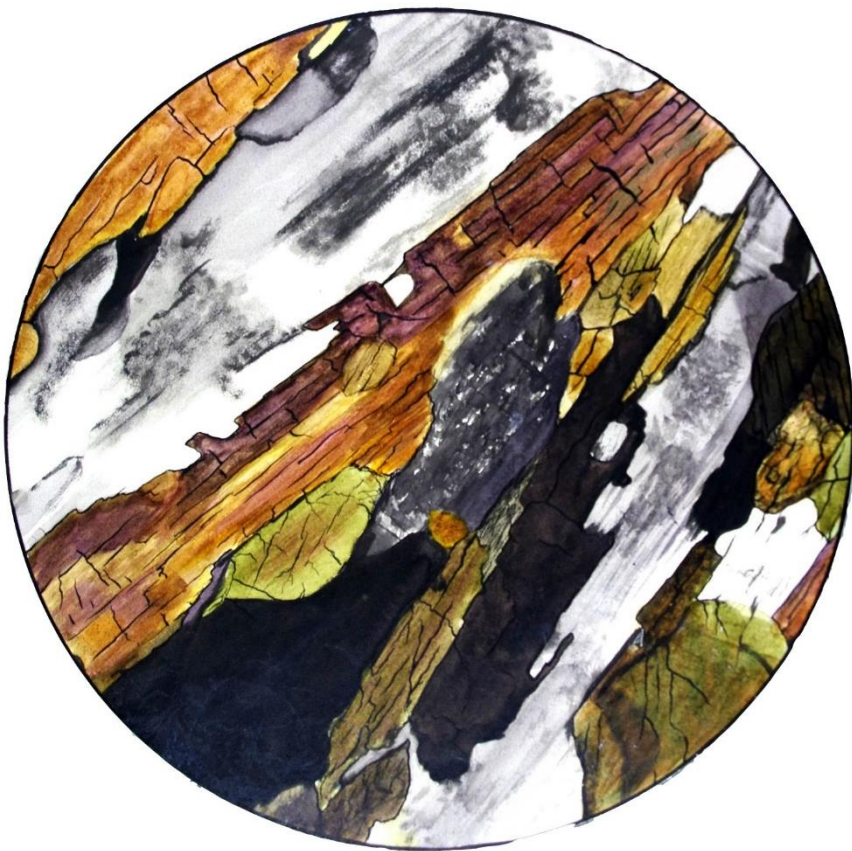


Амфиболиты



Амфиболит – метаморфическая порода с массивной или реже гнейсовидной текстурой, состоящая на $\geq 75\%$ из амфибола и плагиноклаза (среднего состава); при этом на долю амфибола приходится $\geq 30\%$, а плагиноклаза $\geq 5\%$ от общего количества минералов в породе.

Минеральный состав амфиболитов



Плагиоклаз амфиболитов имеет достаточно широкие вариации состава — от An_{10} до An_{50} и выше. В целом, основность плагиоклаза растет с температурой.

Могут присутствовать эпидот, гранат, кварц, биотит, пироксены, реже мусковит.

Важное отличие амфиболитов от зеленых сланцев — смена амфибола тремолит-актинолитового ряда Na—Ca амфиболом (сложный твердый раствор, представленный эденитом, паргаситом, роговой обманкой и чермакитом, — часто называют собственно *роговой обманкой*).

Минеральный состав амфиболитов

Переход от зеленых сланцев к амфиболитам связан со следующими ключевыми метаморфическими реакциями:

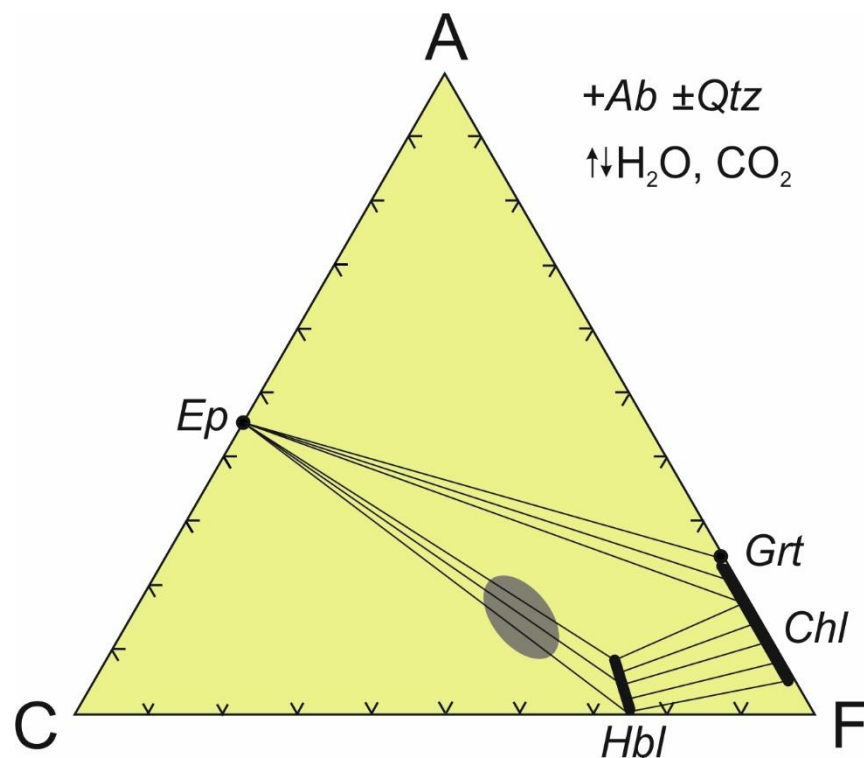
Альбит + актинолит $\rightarrow$ роговая обманка + кварц
(данная реакция объясняет широкую распространенность кварца в амфиболитах – метаморфических производных пород основного состава, в т. ч. базальтов);

Актинолит + хлорит + эпидот + кварц $\rightarrow$ роговая обманка + H_2O
(реакция дегидратации с повышением температуры);

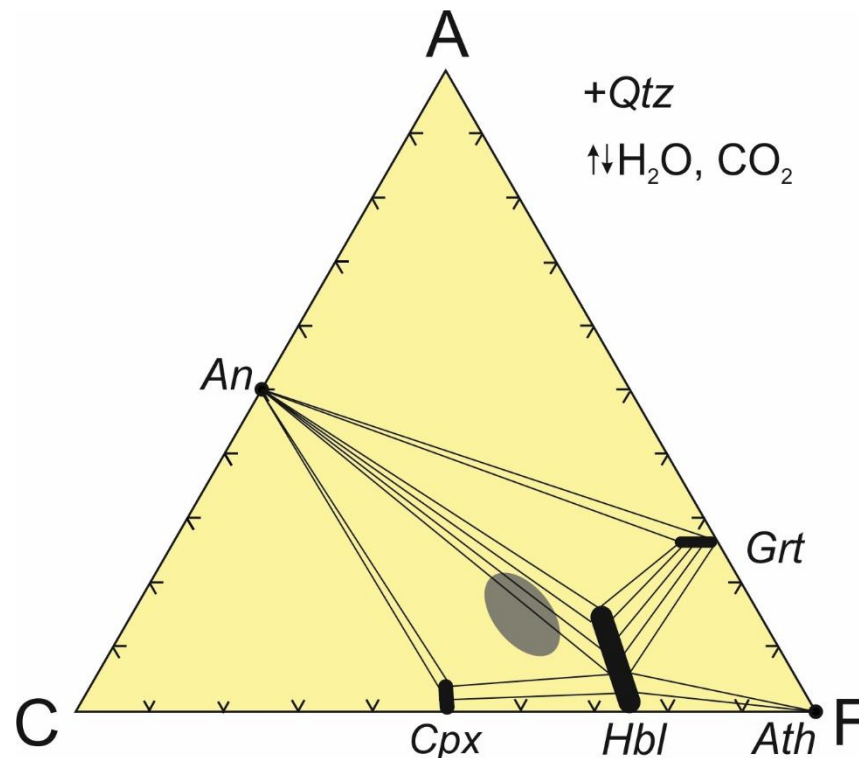
Хлорит + альбит + эпидот + кварц $\rightarrow$ альмандин + роговая обманка + H_2O

(появление граната в метабазитах связано именно с амфиболитовой фацией; на схеме А.А. Маракушева выделяются **фации эпидот-гранатовых** и **гранатовых амфиболитов**, свойственных условиям высокого давления).

Парагенезисы амфиболитовой фации



Эпидотовые амфиболиты



Амфиболиты

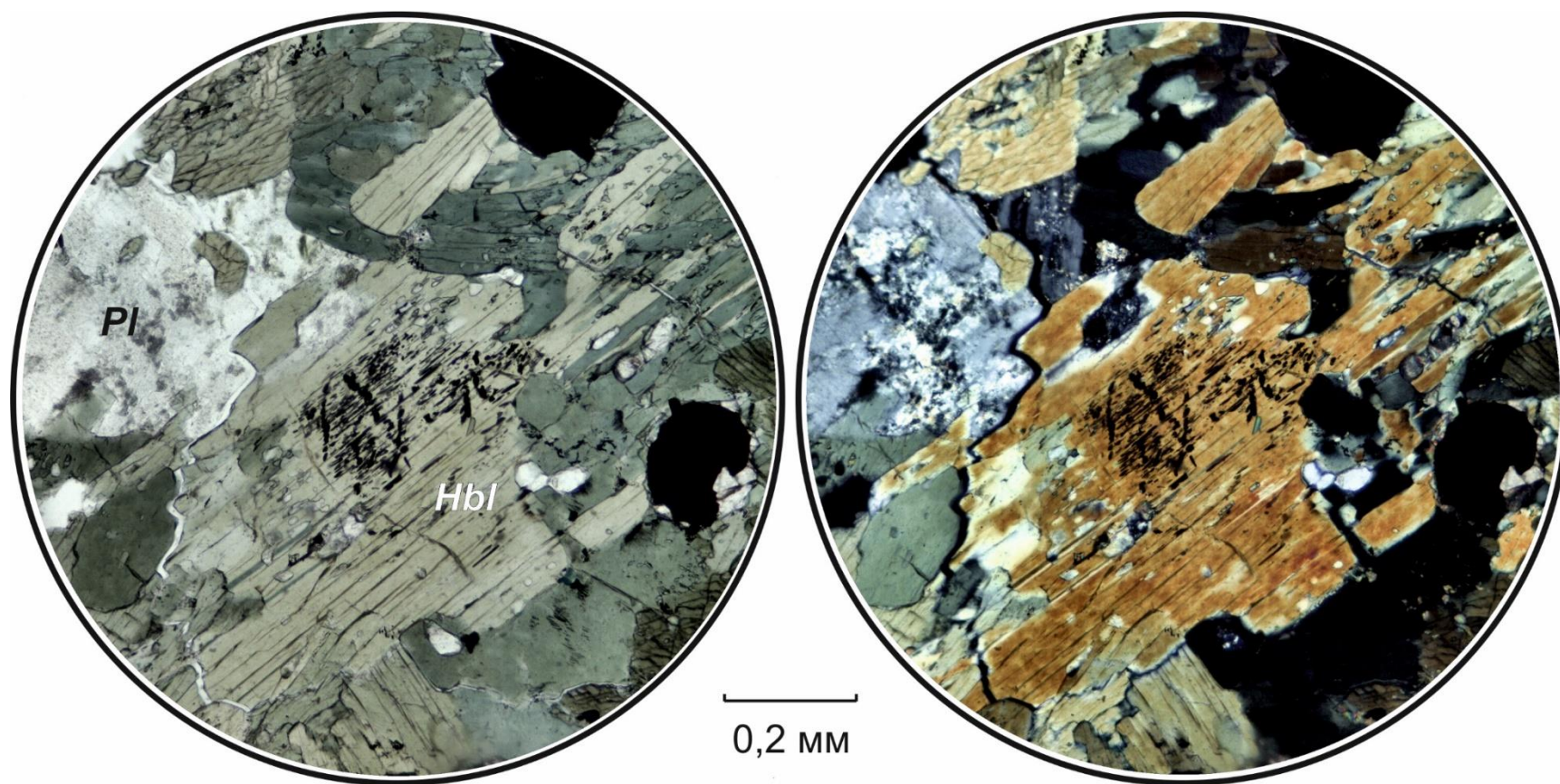
Chl – хлорит, *Ab* – альбит, *An* – анортит, *Qtz* – кварц, *Ep* – эпидот, *Hbl* – роговая обманка, *Ath* – антофиллит, *Grt* – гранат, *Cpx* – клинопироксен. Серое поле – область химического состава ортопород метабазитового ряда (состав наиболее распространенных базальтов).

Структуры и текстуры пород

По структурно-текстурным признакам различают (1) амфиболиты с *реликтами магматических структур и текстур*, (2) амфиболиты с *реликтами слоистости или первичной крупнообломочной структуры* и (3) амфиболиты, *полностью утратившие следы первичных структур и текстур*, в том числе содержащие порфиробласты.

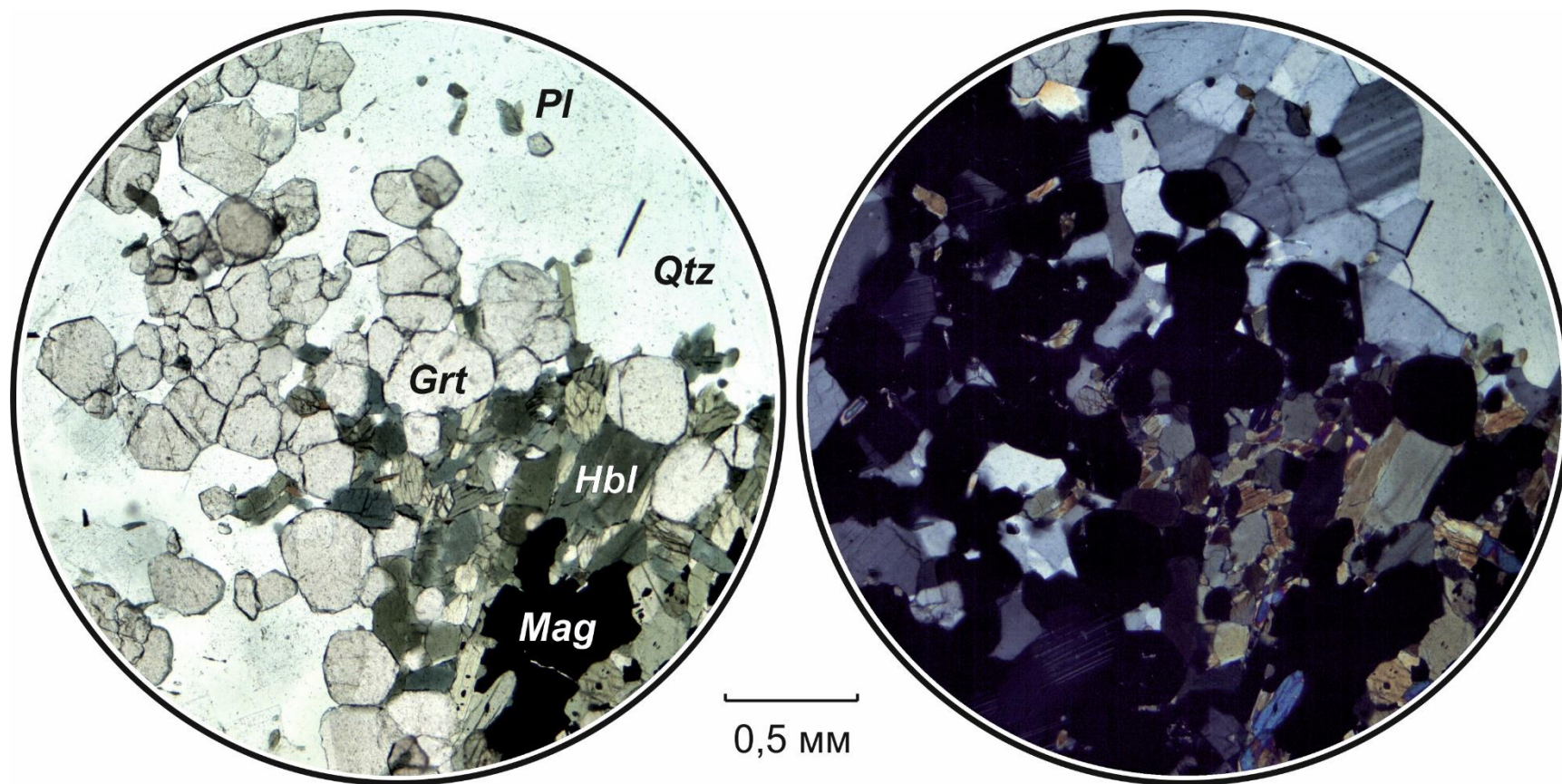
В амфиболитах лишь в некоторых случаях можно наблюдать структурно-текстурные особенности первичных пород, по которым *можно реконструировать их протолит*.

Реконструкция протолита амфиболита–1



Ядерные части зерен роговой обманки (*Hbl*) в амфиболите содержат ориентированные пластинчатые врослки рудного минерала (ильменита), выделившиеся в результате распада авгита. Это **ортопорода**, образовавшаяся по основному вулканиту – базальту.

Реконструкция протолита амфиболита–2



В кварц (*Qtz*)-гранатовом (*Grt*) амфиболите зерна граната образуют скопления, местами вытягиваются в цепочки. Это **парапорода** – в глинисто-карбонатной исходной породе присутствовали линзы и слойки существенно глинистого материала. *Mag* – магнетит.