

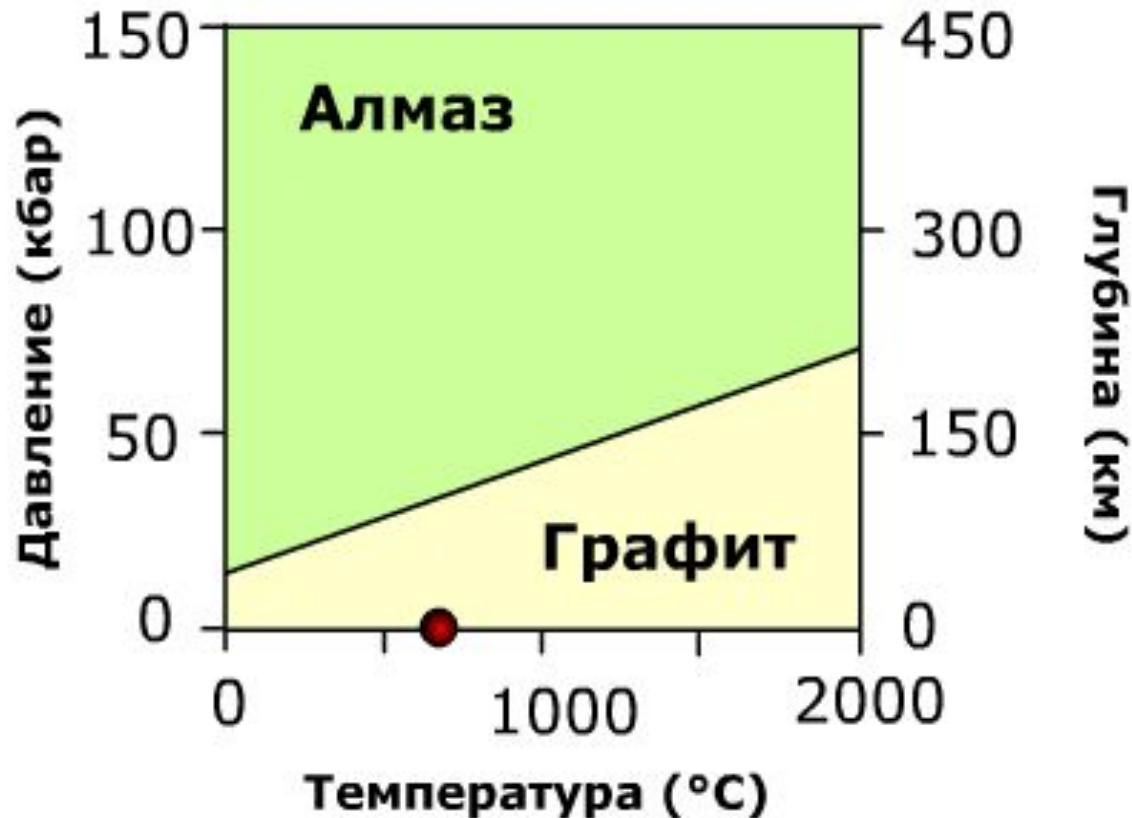
Метаморфизм

- Метаморфизм – перекристаллизация горных пород в твердом состоянии или с весьма небольшим участием расплава.

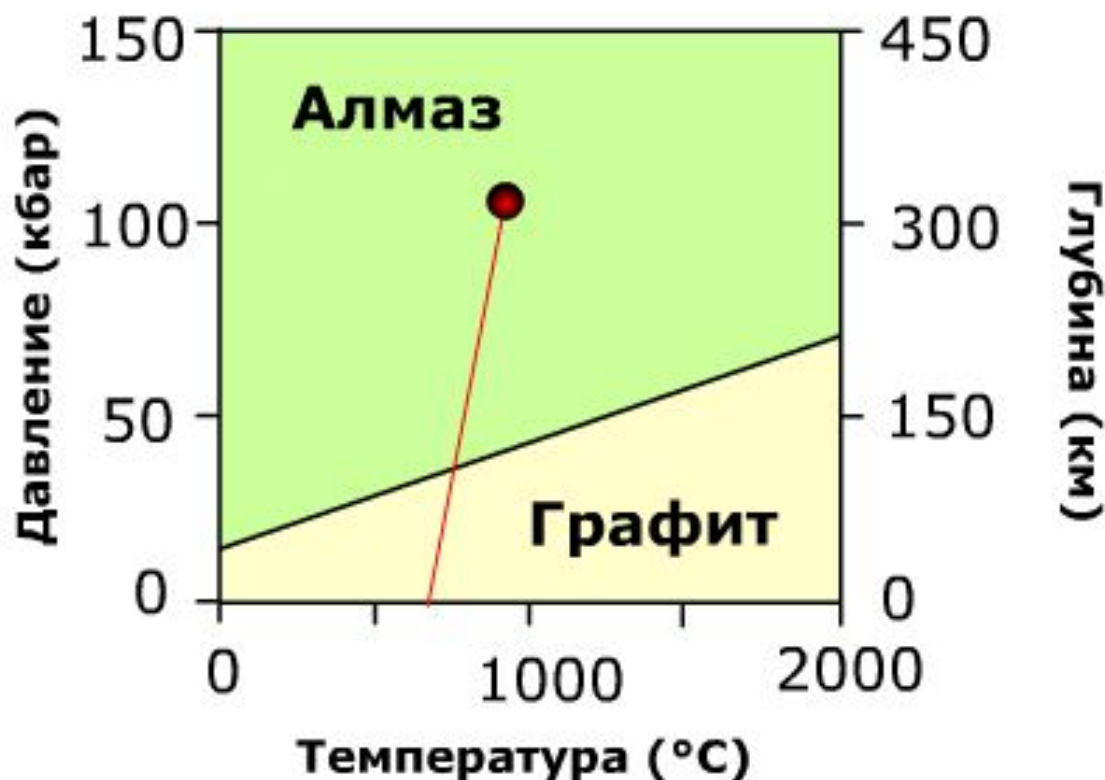
- Главными **факторами (агентами)** метаморфизма являются
 - эндогенное тепло,
 - всестороннее (литостатическое) давление,
 - химическое воздействие газов и флюидов.
-
- Процессы метаморфизма могут быть развиты на огромных площадях в десятки и даже сотни тысяч квадратных километров (**региональный метаморфизм**), но могут проявляться и на очень небольших площадях (**локальный метаморфизм**).

- Все метаморфические процессы можно разделить на две группы.
- В одной из них химический состав первичных пород не изменяется, т.е. преобразование происходит *изохимически*.
- Во второй группе наблюдается изменение состава пород за счет привноса или выноса компонентов. Такой процесс называется *аллохимическим*.
- Аллохимический процесс, который протекает без изменения объема,

- Большинство минералов стабильны только в определенных диапазонах температуры и давления.



Линия на фазовой диаграмме разделяет поля устойчивости графита и алмаза. При давлении 1 атмосфера и температуре 700 градусов атомы углерода образуют структуру графита (красный кружок)



Если кристалл графита погрузить на глубину 130 км, он будет испытывать давление в 40 килобар. При большем увеличении давления структура графита станет неустойчивой и атомы углерода образуют более плотную структуру, структуру алмаза.

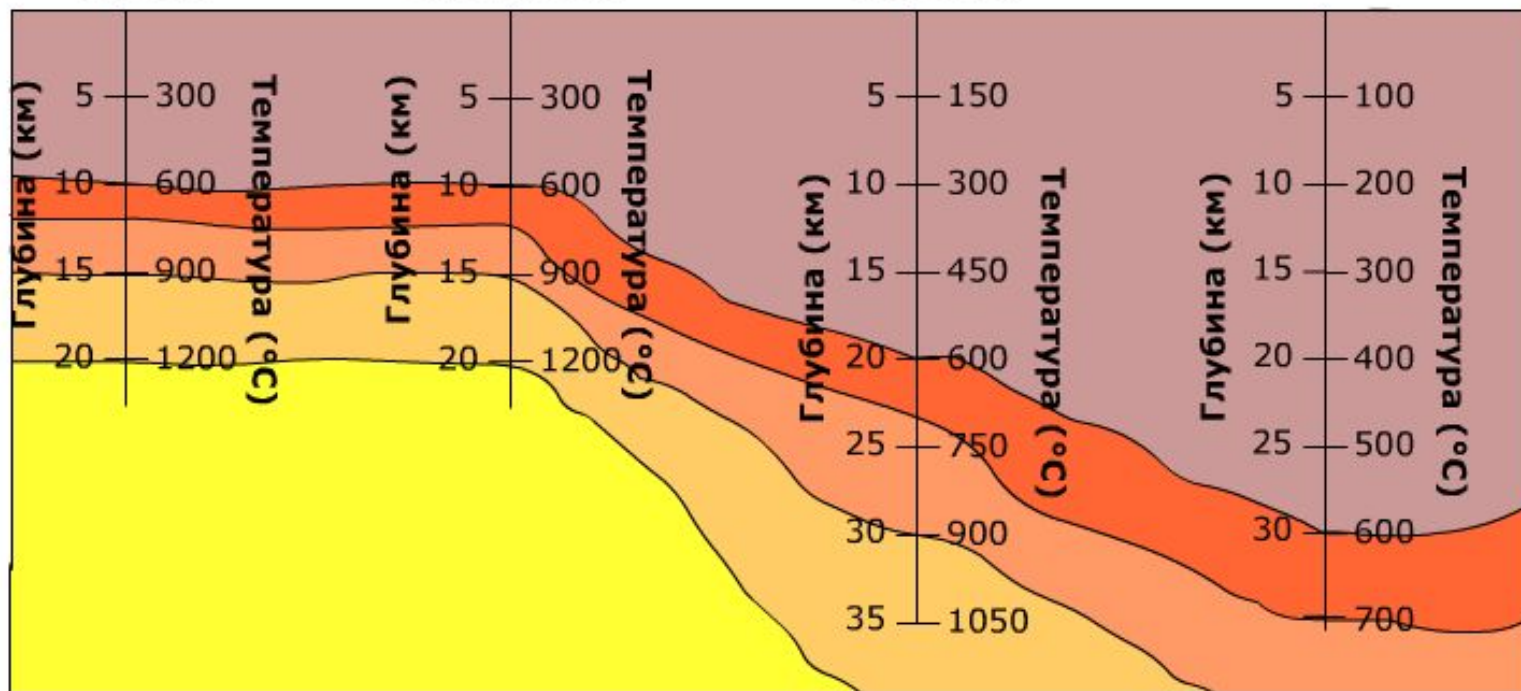
- **Температура** в значительной мере определяется геотермическим градиентом, который зависит от теплового потока и теплопроводности пород. Он варьирует от 6 до 150°C на 1 км.
- Тепловой поток складывается из: энергии гравитационного сжатия, тепла в результате распада радиоактивных элементов, тепла магматических очагов, тепла нагретых глубинных флюидов; тектонических процессов.
- В пределах устойчивых, жестких блоков земной коры, например на щитах древних платформ, геотермический градиент не превышает $6-10^{\circ}\text{C}$, в то время как в молодых растущих горных сооружениях может достигать 100°C и более.

**Срединно-
океанический
хребет**

**Область
вулканической
активности**

**Устойчивая
континенталь-
ная кора**

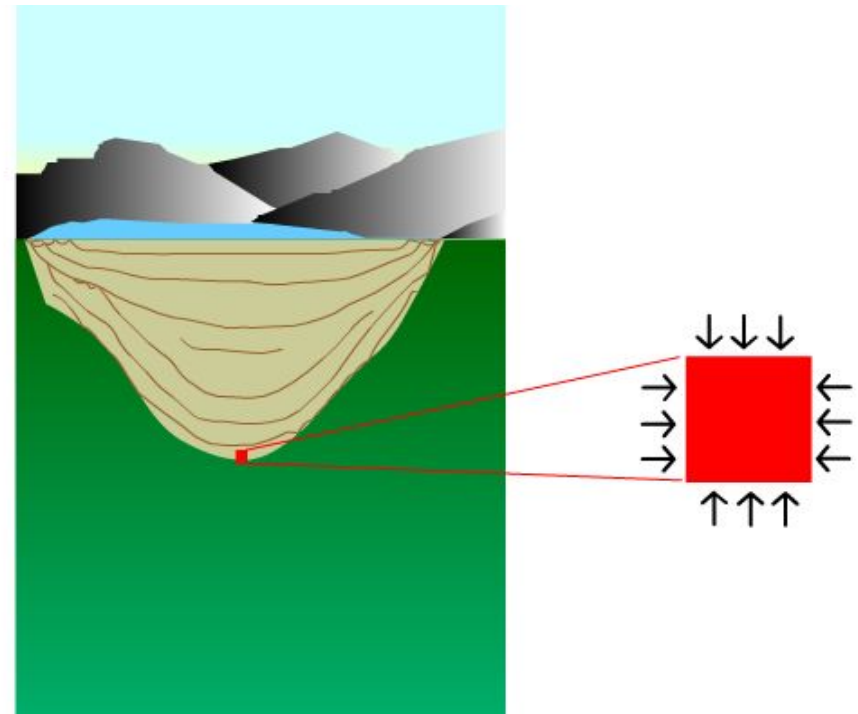
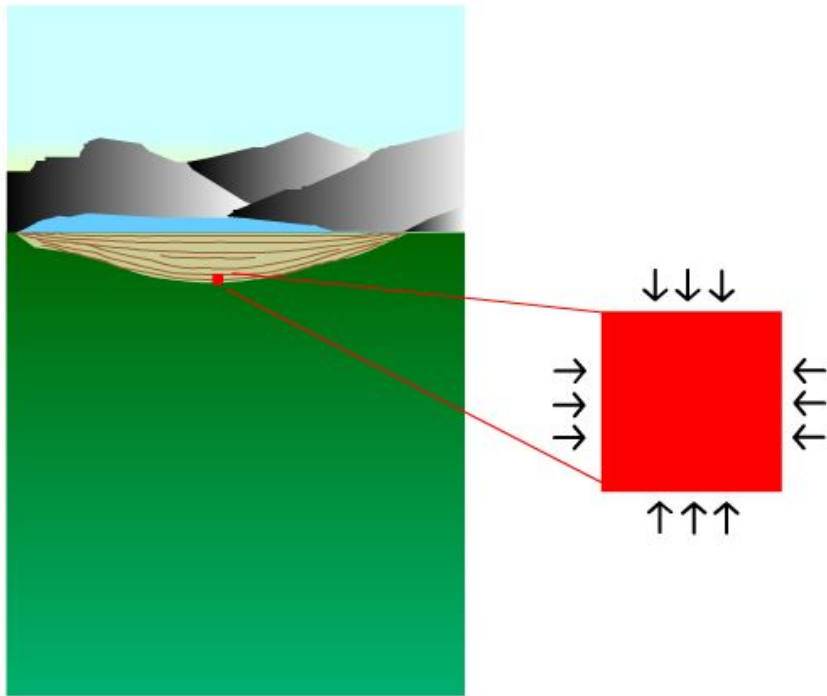
**Зона
субдукции**

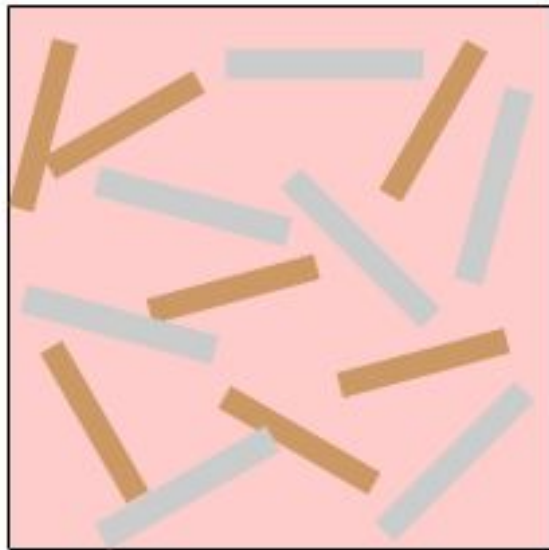


- Температура
 - резко ускоряет протекание химических реакций,
 - способствует перекристаллизации вещества
 - влияет на процессы минералообразования.
-
- Возрастание температуры приводит
 - к обезвоживанию (дегидратации) минералов
 - формированию более высокотемпературных минеральных ассоциаций, лишенных воды,
 - декарбонатизации известняков и т. д.
-
- Обычно метаморфические преобразования начинаются при T выше 300°C , а прекращаются, когда T достигает точки плавления развитых в данном месте горных пород.

- Давление может быть различным.
- Литостатическое давление одинаковое во всех направлениях
- Направленное (стрессовое) давление действует в определенном направлении и приводит к деформации горных пород

Литостатическое давление



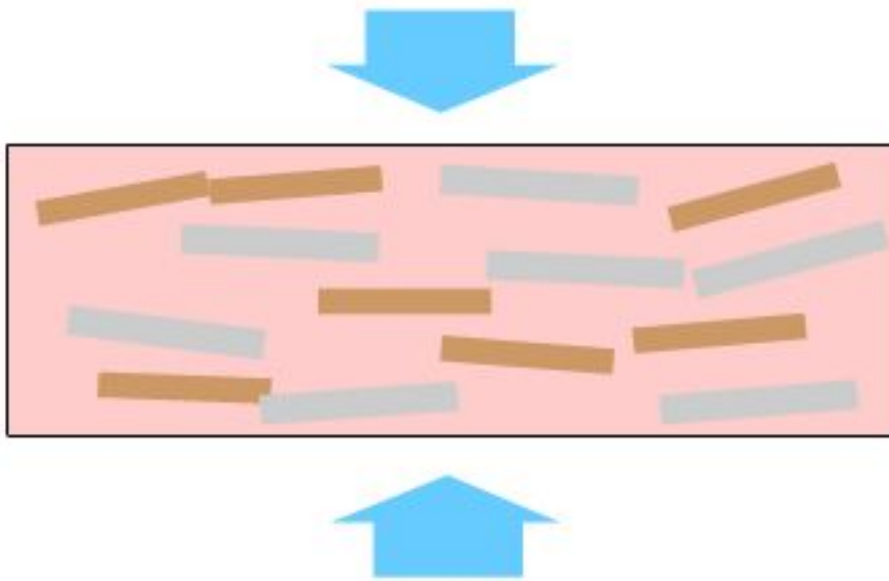


Однородная порода

Направленное давление



Гранит



Гнейсовидная порода

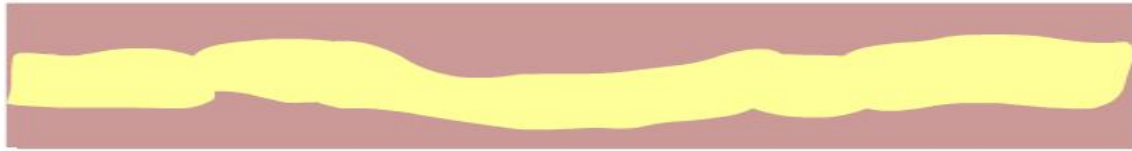


Гранит



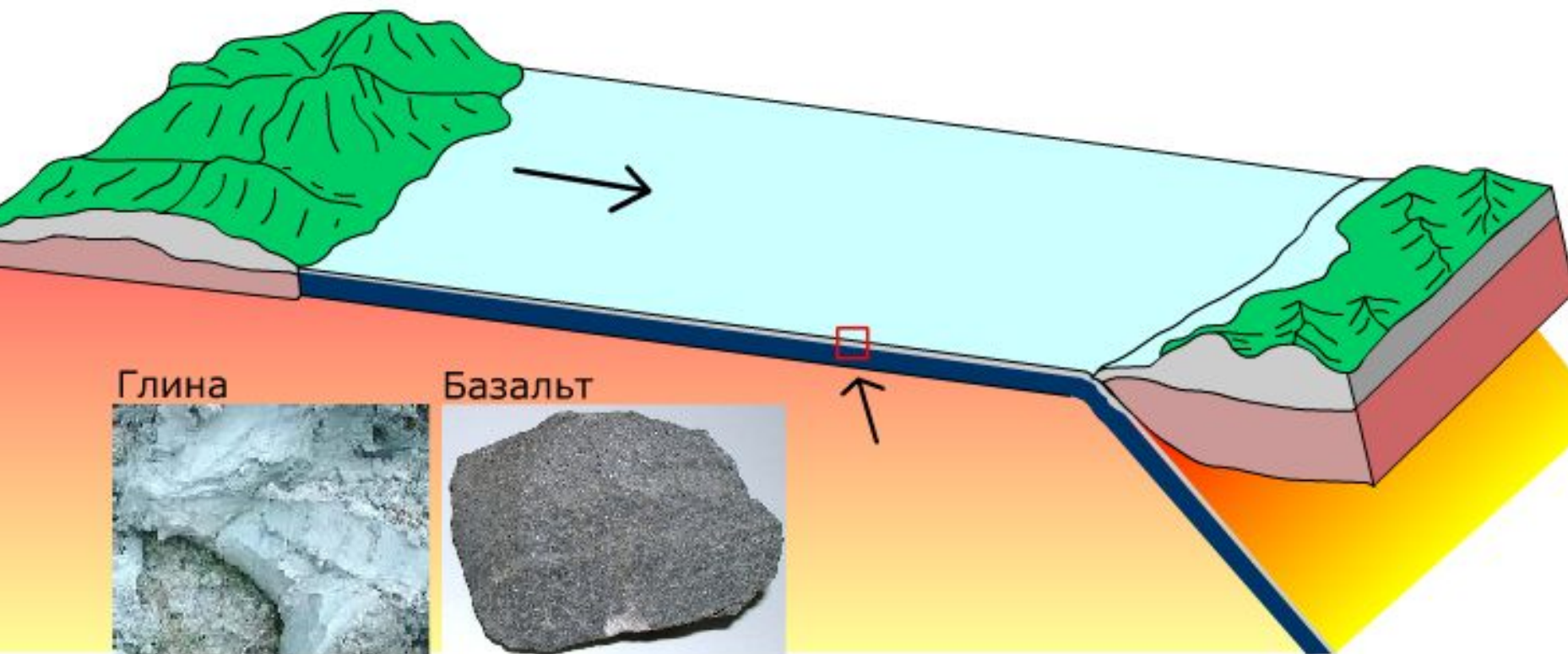
Гранито-гнейс

Одностороннее стрессовое давление лучше всего проявляется в верхней части земной коры складчатых зон, с глубиной ослабеваает и на глубине свыше 10 км практически отсутствует.



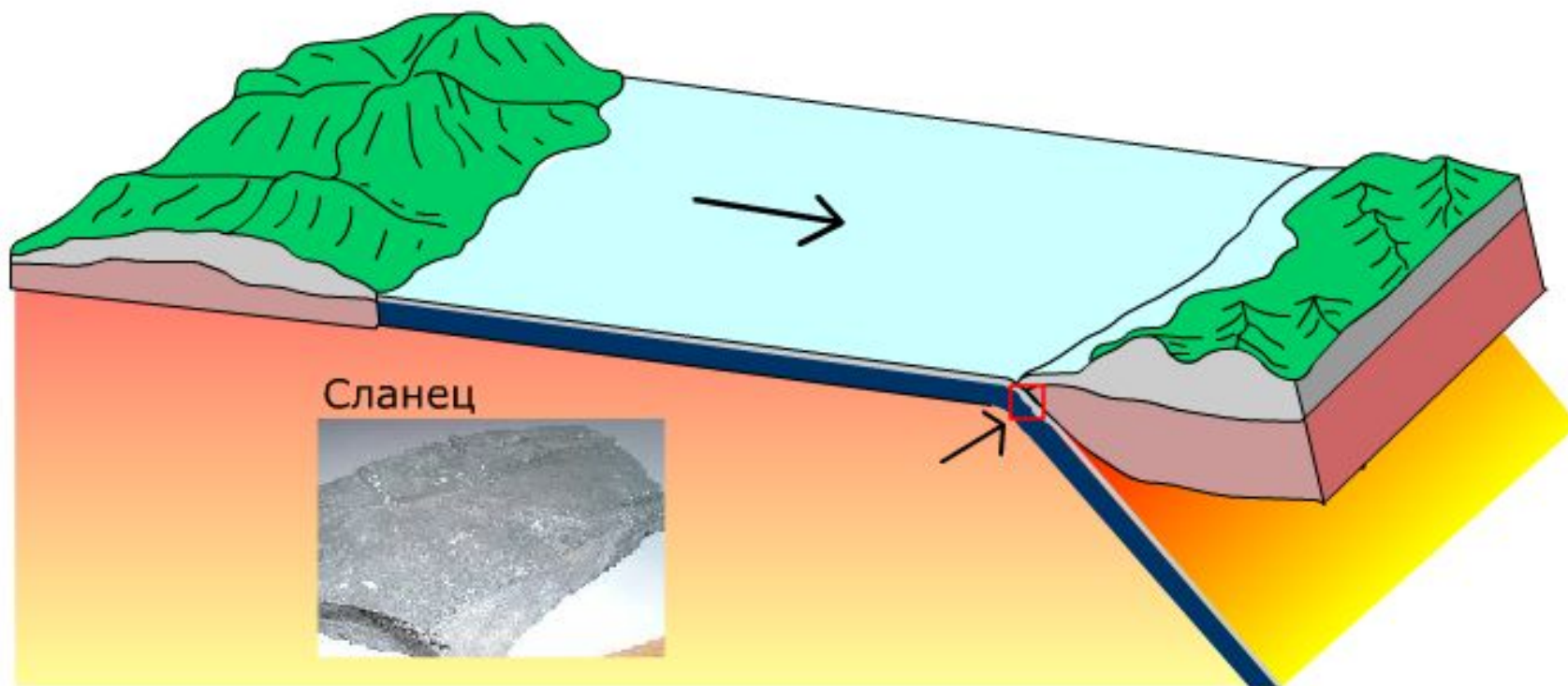
- **Флюиды**, к которым относятся H_2O , CO_2 , CH_4 , H_2 , H_2S , SO_2 и другие, переносят тепло, растворяют минералы, переносят химические элементы, активно участвуют в химических реакциях и играют роль катализаторов.
- В <сухих системах>, т. е. лишенных флюидов, даже при наличии высоких давлений и температур метаморфические изменения почти не происходят.

Типы метаморфизма

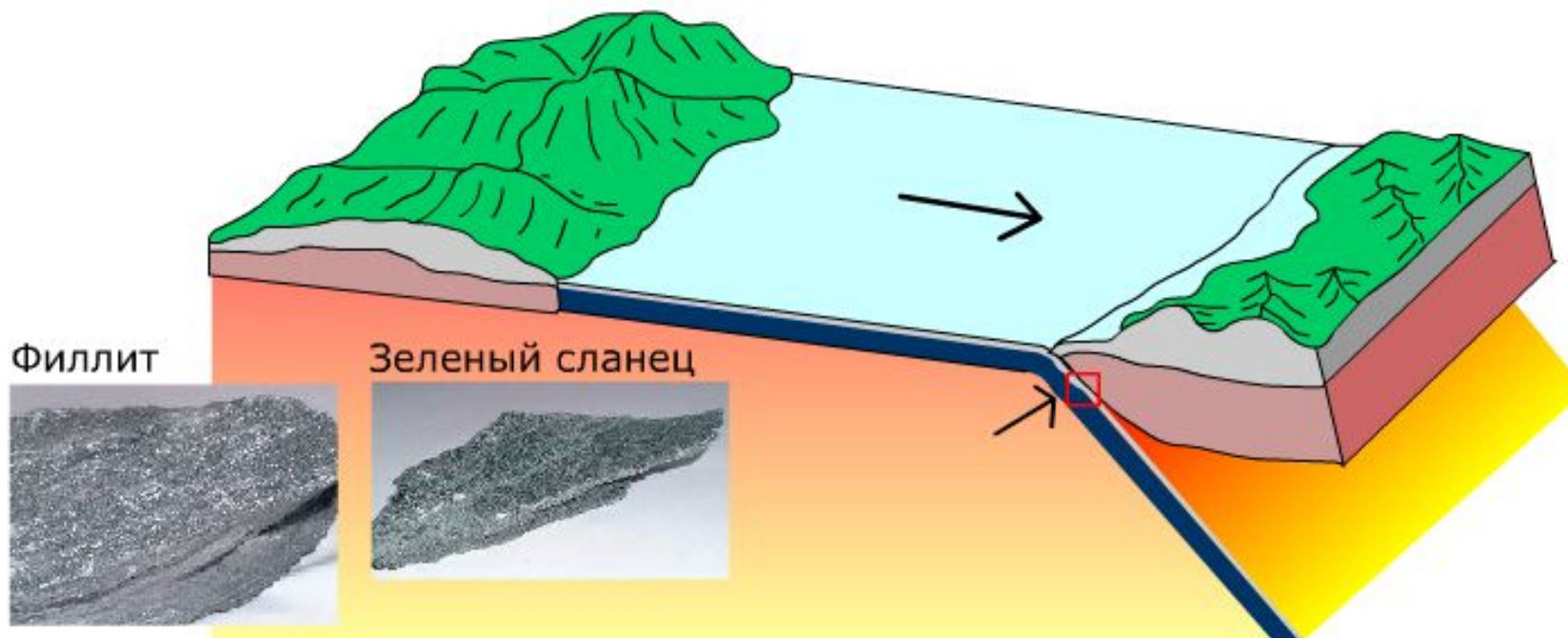


Региональный метаморфизм

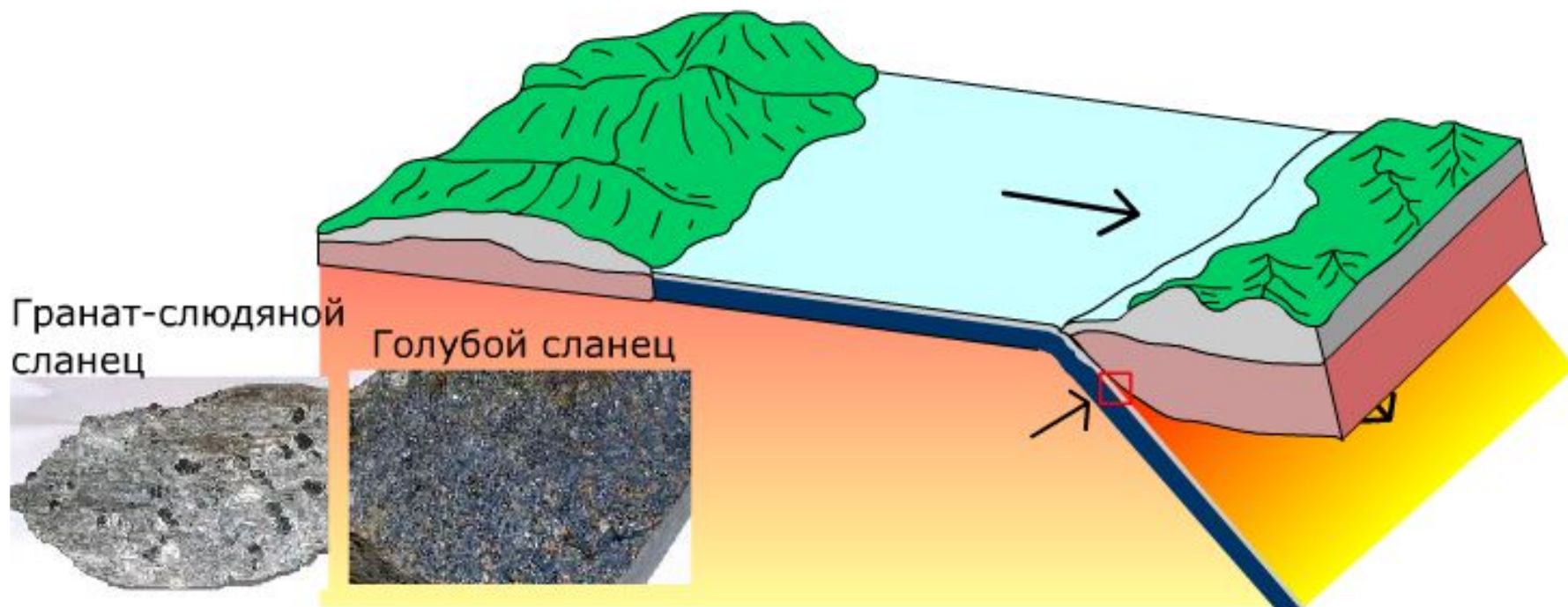
Верхняя часть океанической коры сложена базальтами, на которые залегают глубоководные осадки (глина)



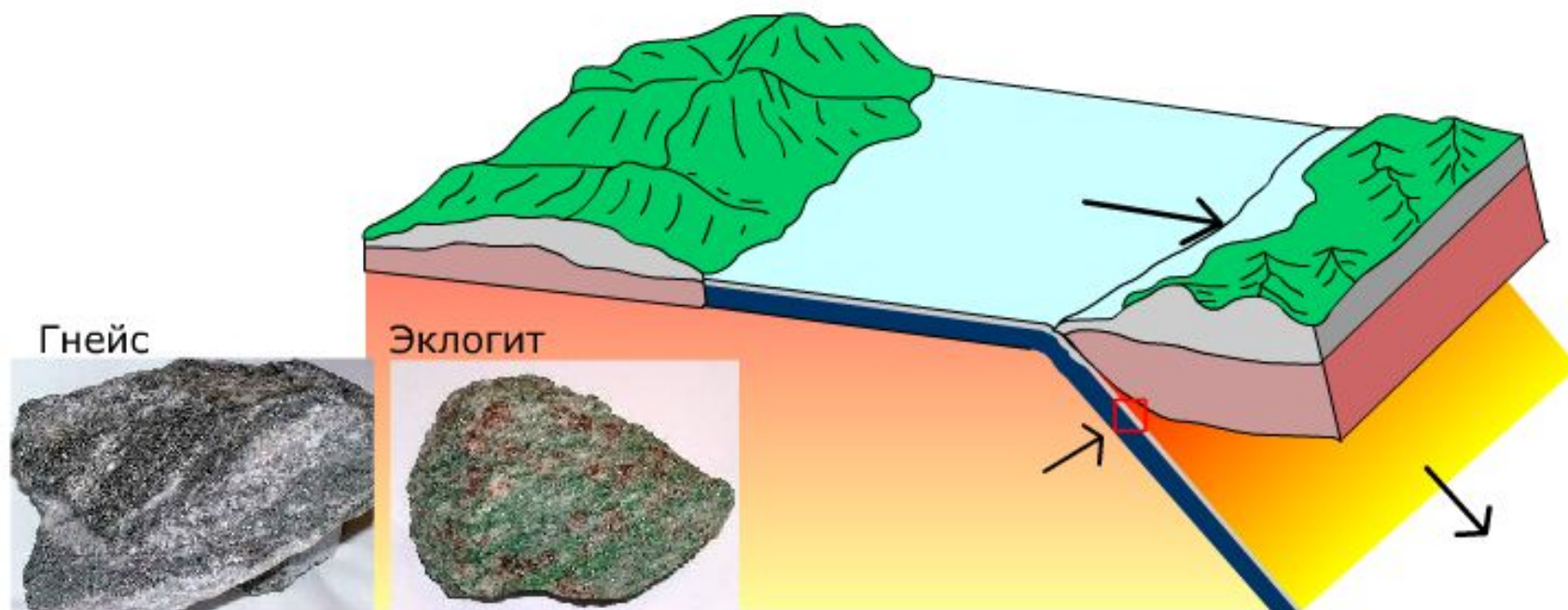
На глубине 4-5 км глина превращается в аргиллит – стадия катагенеза



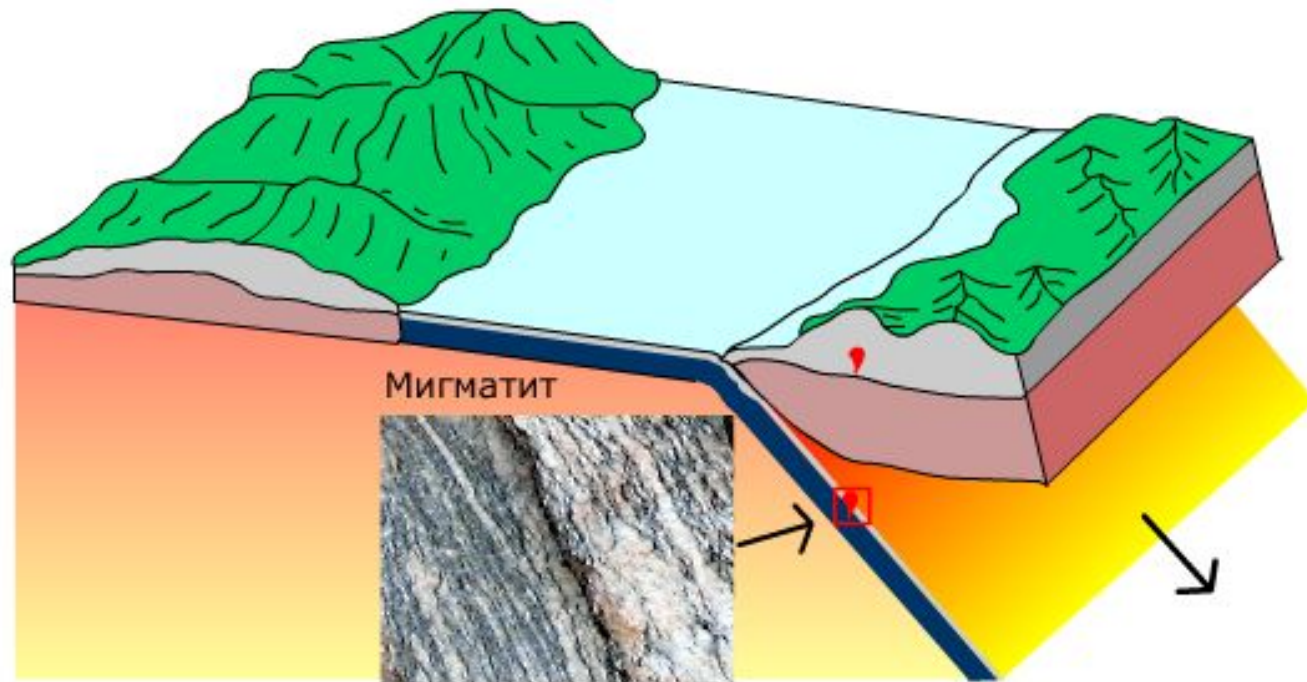
Метаморфизм низких ступеней на глубине 5-10 км начинается перекристаллизация, аргиллит превращается в филлит, а базальт в зеленый сланец



На глубине 10-20 км



На глубине 20 км – гнейс,
На глубине 40 км – глаукофановый
сланец – в эклогит



Еще глубже начинается частичное плавление

Индекс минералы

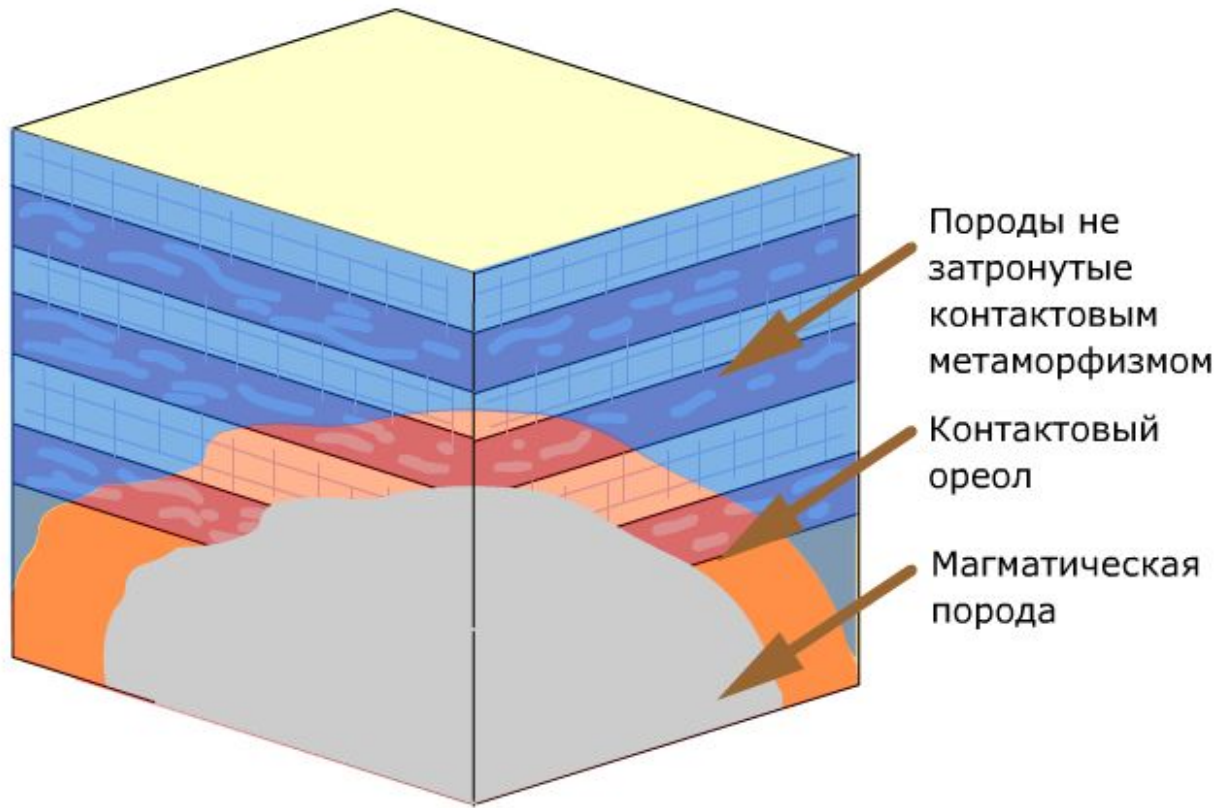


Хлорит стабилен только в условиях низких ступеней, мусковит – низких и средних, биотит – средних, гранат – средних и высоких, ставролит – средних и высоких, силлиманит – средних и высоких



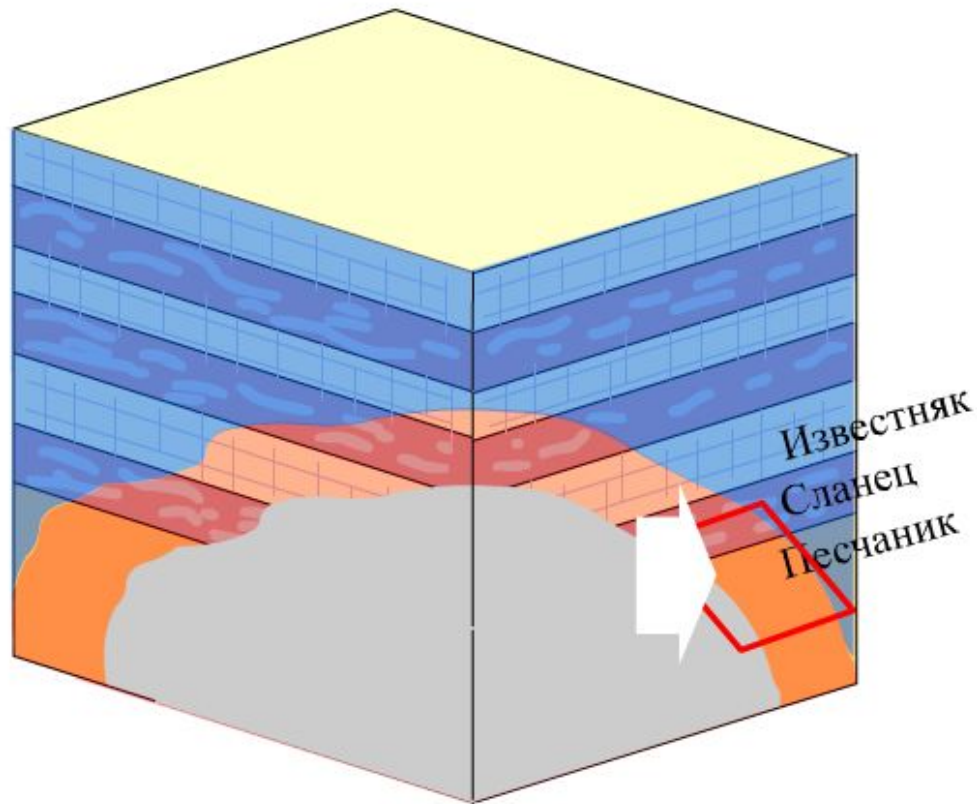
Если порода содержит кварц, полевой шпат, хлорит, мусковит, биотит, гранат – она испытала метаморфизм средних ступеней.

А если кварц, полевой шпат, биотит, гранат, ставролит, силлиманит – средних-высоких



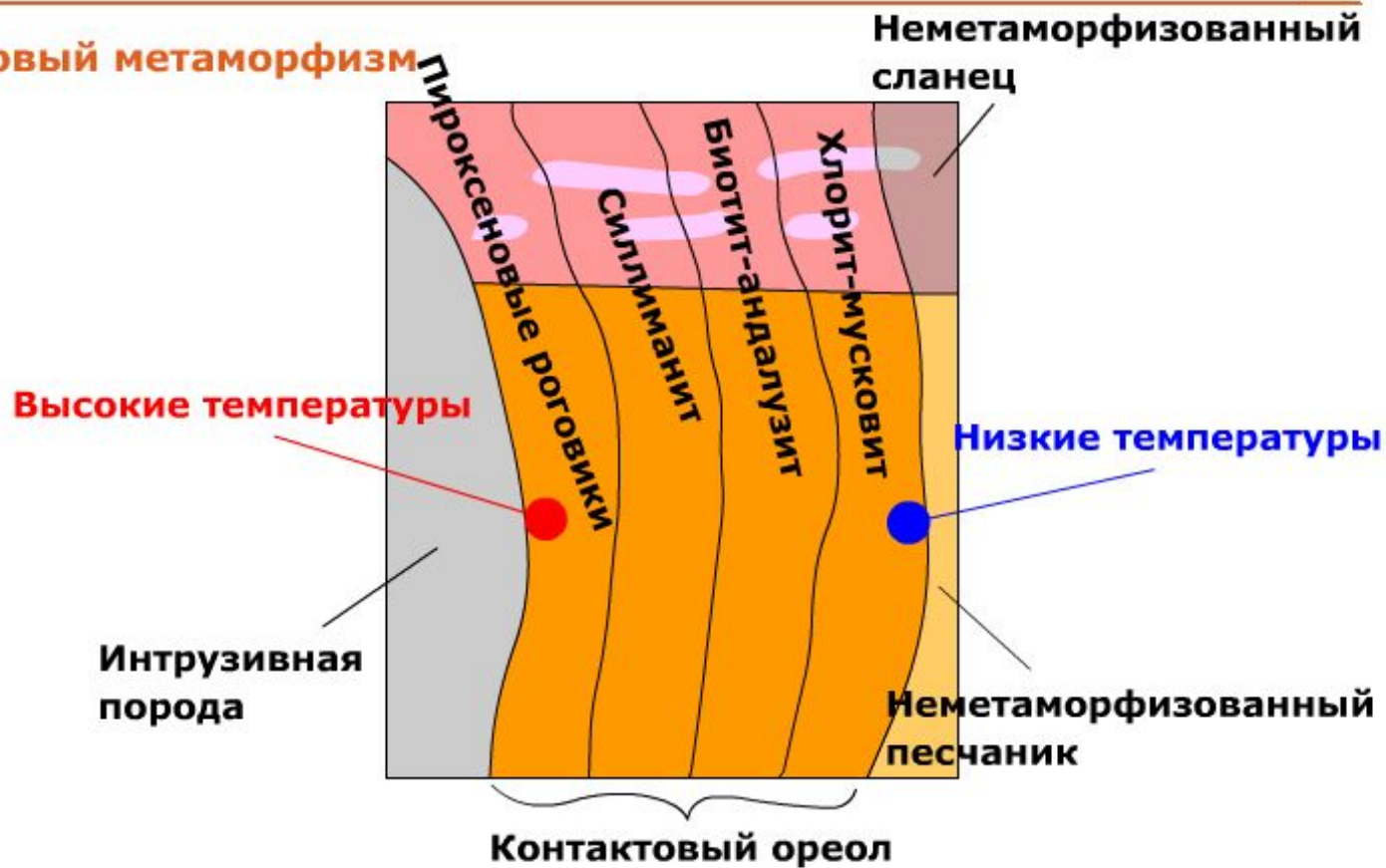
Контактовый метаморфизм

Допустим, температура осадочных пород 150 градусов. В них внедряется магма с температурой 800. Осадочные породы нагреваются и подвергаются метаморфизму (в пределах контактового ореола). Увеличивается температура, а давление не меняется



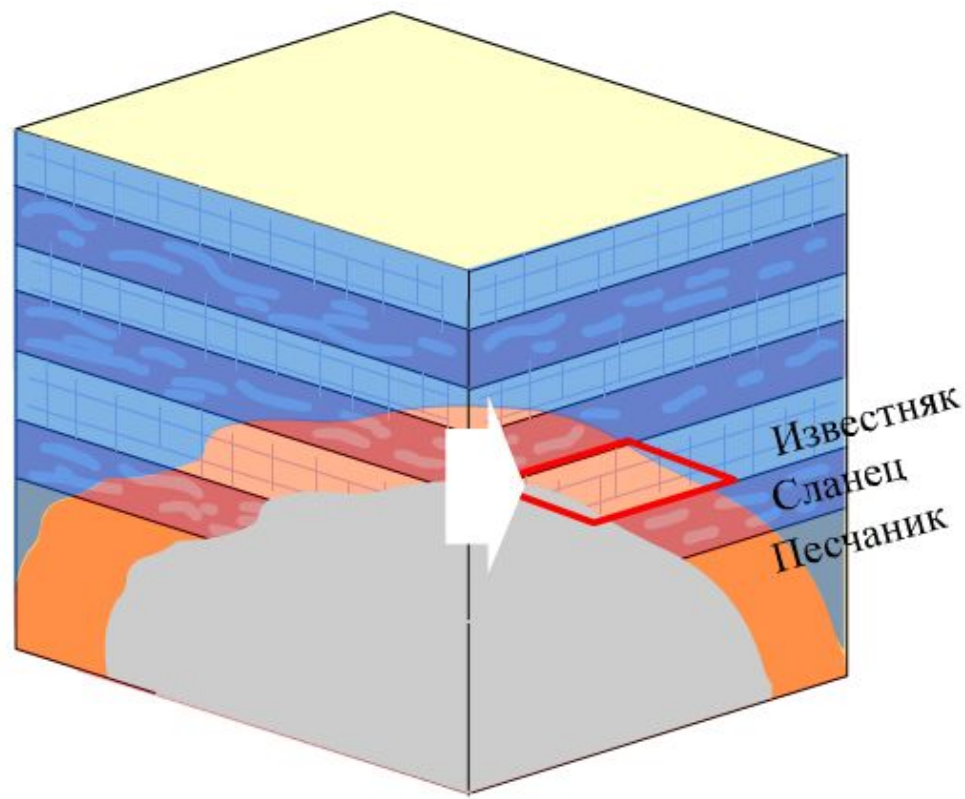
Взаимодействие магмы с глинистыми и песчаными породами: *контактово-термальный метаморфизм* происходит главным образом под влиянием прогрева пород рамы и не сопровождается существенным изменением их химического состава. Осуществляется одновременно с внедрением магматических масс.

Контактовый метаморфизм

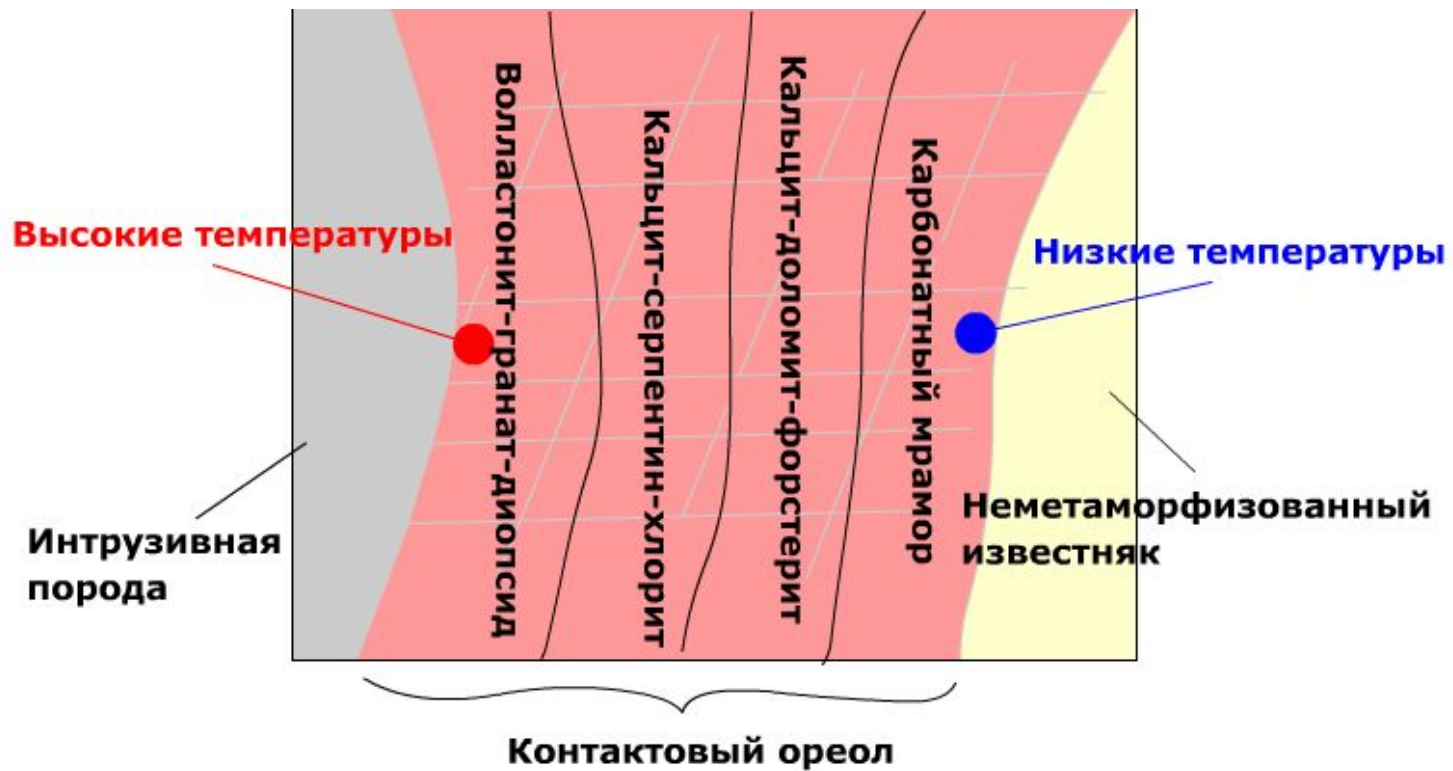


Главная порода контактовые роговики.

- Степень *термального метаморфизма* определяется глубиной формирования магматических тел.
- Субвулканические образования обладают высокой температурой, но оказывают кратковременное воздействие на окружающие породы, вызывают спекание, обжиг, но мощность ореола незначительна.
- Относительно глубинные (гипабиссальные) интрузии большего объема оказывают длительное температурное воздействие. Контактные роговики имеют большую мощность.
- В абиссальных условиях термальное воздействие опять меньше из-за небольшой разности температур и вмещающих пород.
- Теплопроводность вмещающих пород зависит от состава и структуры. Крупнозернистые и мономинеральные породы (например, песчаники и карбонатные породы) имеют большую теплопроводность, они прогреваются сильнее по сравнению с мелкозернистыми и полиминеральными.

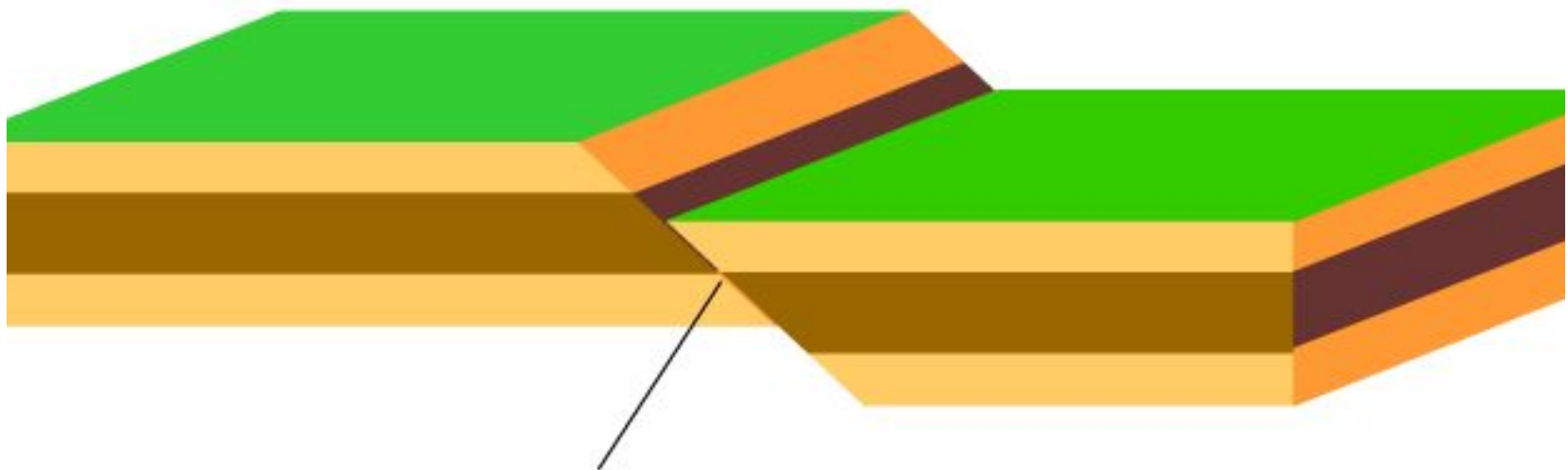


Контактово-метасоматические изменения связаны не только с повышением температуры, но и с интенсивным воздействием постмагматических растворов и эманаций, в результате в существенной степени меняется химический состав пород, как рамы, так и внешней части магматической массы. Происходит уже в постмагматический период, после консолидации интрузивного тела..



Метасоматоз развивается по трещинам и тектоническим и ослабленным зонам, наиболее благоприятным для циркуляции растворов и газов. Скарны и грейзены не образуют сплошного контактового ореола вокруг интрузии, как роговики.

Метасоматоз такого рода происходит в условиях низких температур и давлений, постмагматические растворы воздействуют не только на вмещающие, но и на породы самого интрузивного тела.



Катакластический метаморфизм

В узких зонах разломов возникает резкое увеличение давления, происходит катаклаз (дробление) пород, не сопровождающийся, как правило, повышением температуры, а если последняя увеличивается, то могут возникнуть новые низкотемпературные минералы - хлорит, серицит, тальк и др. Подобный метаморфизм называется *динамометаморфизмом, стрессовым или дислокационным метаморфизмом.*



Брекчия, Дален, Телемарк



Брекчия, Шпицберген

Тектоническая брекчия и катаклазит



Тонко измельченные
зерна минералов

Милонит, Лейрдален, Йотунхаймен

- Следует отметить еще один тип метаморфизма - *ударный*, возникающий при воздействии на горные породы мощной ударной волны, вызванной падением на землю крупных метеоритов, при котором мгновенно выделяется огромная энергия.
- При образовании метеоритного кратера (астроблемы) породы разрушаются, дробятся, перемещаются, плавятся и испаряются. Кратковременно создаются очень высокие температуры (10 000 °C) и давления (до 1000-10 000 кбар).
- Характерными новообразованиями ударного метаморфизма высокобарические и высокотемпературные модификации кварца