

## Лекция № 6

# КЛАССИФИКАЦИИ ГРАНИТОВ

*«... есть граниты и граниты.  
Некоторые образуются одним  
путём, некоторые другим».*

*Рид.*

Геохимическая классификация гранитов Л.В.Таусона.

М, I, S и A типы гранитоидов и условиях их образования  
(по Питчеру и Уайту).

Тектоническая классификация гранитоидов Пирса и др.

# Геохимическая классификация гранитов Л.В. Таусона.

Основана на :

гранитоиды должны иметь разную геохимическую специфику, которая отражается в различном содержании элементов-примесей, тогда как по содержанию породообразующих элементов многие типы гранитов практически не различаются.

**Средний состав гранитов по Р.А. Дэли:**

**$\text{SiO}_2$  – 70.18**

**$\text{TiO}_2$  – 0.39**

**$\text{Al}_2\text{O}_3$  – 14.47**

**$\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1.57**

**$\text{FeO}$  – 1.78**

**$\text{MnO}$  – 0.12**

**$\text{MgO}$  – 0.88**

**$\text{CaO}$  – 1.99**

**$\text{Na}_2\text{O}$  – 3.48**

**$\text{K}_2\text{O}$  – 4.11**

**$\text{H}_2\text{O}$  – 0.84**

**$\text{P}_2\text{O}_5$  – 0.19**

**Породообразующие элементы: O, Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P**  
(содержания представляют в виде оксидов, в мас.%).

**Элементы-примеси** (измеряются в г/т), наиболее важные из них:

✓ *Элементы с низким зарядом и большим ионным радиусом –*

**Ba, Rb, Sr, Cs, Li, Ga, Tl - LILE**

✓ *Высокозаряженные элементы: Ta, Nb, Hf, Zr, Y, Th, U - HFSE*

✓ *Переходные металлы: Cr, Ni, Co, Sc, V, Cu, Pb, Zn.*

✓ *Элементы характерные для гранитоидов: Bi, Cd, In, Sn, W, Mo.*

✓ *Галогены: F, Cl, Br, I, B, Be.*

✓ *Редкоземельные элементы:*

**La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.**

✓ *Прочие: Au, Ag, Hg, As, Se, Sb, Te.*

Считается, что граниты могут образоваться тремя различными путями:

- 1) дифференциация магм основного и среднего состава, образующихся в результате селективного плавления верхней мантии (берущие начало от базальтовых магм)
- 2) палингенное плавление вещества континентальной коры (большая часть фанерозойских гранитов)
- 3) ультраметаморфизм и гранитизация пород кристаллического основания земной коры (характерно для ранних этапов развития земли).

В каждой из этих групп выделяется по несколько геохимических типов.

**НУЖНО  
ЗНАТЬ!**

*Систематика А.Н. Заварицкого предусматривает разделение составов горных пород на три хим. класса (ряда):*

**I-нормальный** (содержание  $Al_2O_3$  больше общего содержания оксидов Na и K, но меньше общего содержания оксидов Ca, Na и K);

**II-плюмазитовый** (пересыщ. глиноземом, т. е. содержание  $Al_2O_3$  преобладает над общим содержанием оксидов Ca, Na и K);

**III-агпаитовый** (содержание оксидов Na и K преобладает над содержанием  $Al_2O_3$ ).

## ***I. Граниты, берущие начало от базальтовых магм:***

- а) *плагиограниты толеитового ряда* (формируются при дифференциации толеитовых базальтов);
- б) *плагиограниты известково-щелочного ряда* (формируются при дифференциации андезитовых магм);
- в) *граниты монцонитового (латитового) ряда* (формируются при дифференциации латитов и щелочных базальтов);
- г) *агпаитовые редкометальные граниты* (формируются при дифференциации щелочных оливиновых базальтов).

## **II. Гранитоиды, возникающие в результате палингенного плавления корового вещества и последующей дифференциации образующихся магм:**

*ГРАНИТООБРАЗОВАНИЕ ПАЛИНГЕННОЕ — процесс формирования гранитоидов в результате переплавления првично-магм. г. п. или г. п., прошедших стадию плавления*

- а) палингенные граниты известково-щелочного ряда (образуются при плавлении слабометаморфизованных коровых пород);*
- б) плюмазитовые редкометалльные лейкограниты (образуются при дифференциации палингенных гранитов известково-щелочного ряда);*
- в) палингенные граниты щелочного ряда (образуются при плавлении сильнометаморфизованных коровых пород)*
- г) редкометалльные граниты щелочного ряда (образуются при дифференциации палингенных гранитов щелочного ряда).*

## **III. Ультраметаморфогенные гранитоиды**

# Классификация гранитоидов Питчера, Уайта и др.

*M – мафические (mafic)*

*I – изверженные (igneous):  
(магнетитовый и ильменитовый)*

*S – осадочные (sedimentary)*

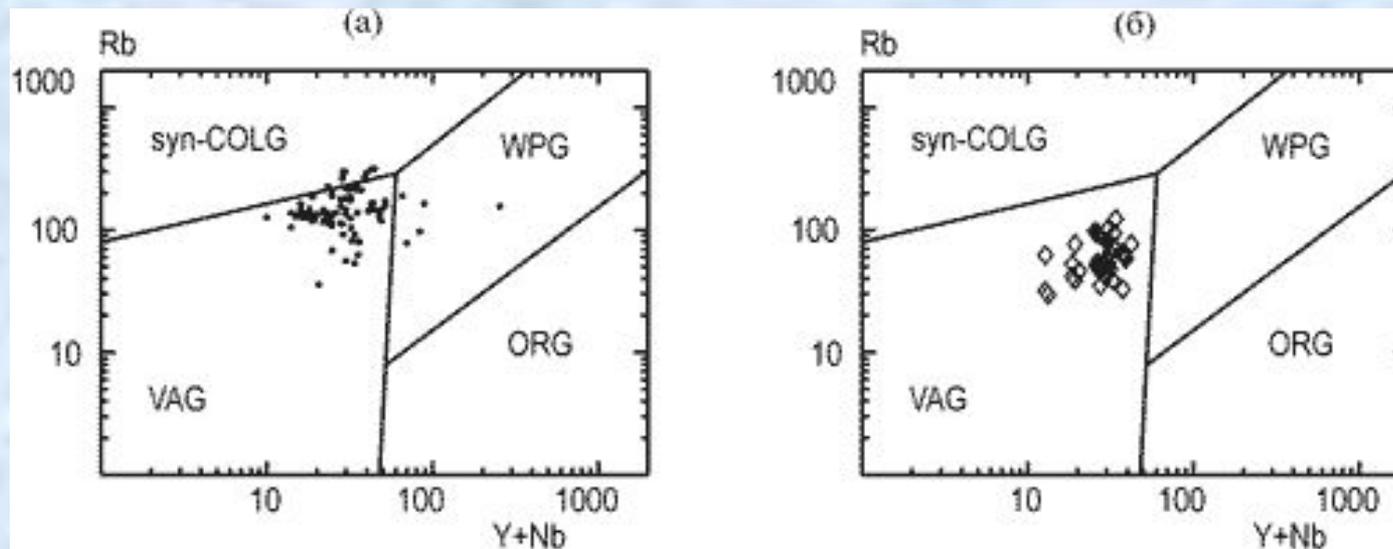
*A – анорогенные (anorogenic)*

## Классификация гранитоидов Пирса и др.

В этой классификации все гранитные породы разделены на четыре группы по тектоническому признаку, т.е. по тектоническим (геодинамическим) условиям своего формирования.

**Выделяются:**

граниты океанических рифтов,  
граниты островных дуг и АКО  
внутриплитные и коллизионные граниты.



*Диаграмма Пирса (Ta–Yb) для гранитных пород различных геодинамических обстановок.*

VAG - поле гранитов вулканических дуг;

syn-COLG – граниты синколлизионных областей;

WPG – внутриплитные граниты;

ORG – граниты океанических хребтов.

## Лекция № 5

# МАГМАТИЗМ **КОНВЕРГЕНТНЫХ** *(схождение)*

## ГРАНИЦ

## ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ

- ❖ Конвергентные границы наиболее информативны, так как связанные с ними комплексы, в том числе и магматические, сохраняются в почти полном объеме.
- ❖ К конвергентным границам приурочены пояса максимальной концентрации землетрясений (именно здесь происходят все катастрофические землетрясения).
- ❖ Конвергентные границы сопровождаются также поясами с максимально контрастным рельефом – от абиссальных глубин в желобах 10-11 км, до вулканических гор высотой 6-7 км. Именно к ним приурочены пояса наземного вулканизма и именно вдоль них идут молодые покровно-складчатые деформации и воздымание горных цепей.
- ❖ Вдоль конвергентных границ плиты сближаются. Различия геологического строения конвергентных границ обусловлены тем, какие плиты сближаются:  
**континентальная и континентальная,**  
**океаническая и континентальная,**  
**океаническая и океаническая**

## II. Магматизм конвергентных границ литосферных плит

### А. Субдукционные

- **А.1. Островных дуг (ОД)**  
(Западнотихоокеанский тип)

#### **океаническая и океаническая**

Когда вдоль конвергентной границы соприкасаются океанические плиты, то в результате одна из них погружается в мантию, образуя зону субдукции, а на краю другой формируется вулканическая островная дуга. Пример – самое глубокое место в Мировом океане Марианская впадина. Вещество нижней плиты попадает вглубь магмы и расплавляется там, а потом опять может подняться на поверхность, образуя гряду вулканов. Пример- цепь вулканов на востоке Карибского моря.

- **А.2. Активных континентальных окраин (АКО) (Андийский тип)**

#### **океаническая и континентальная**

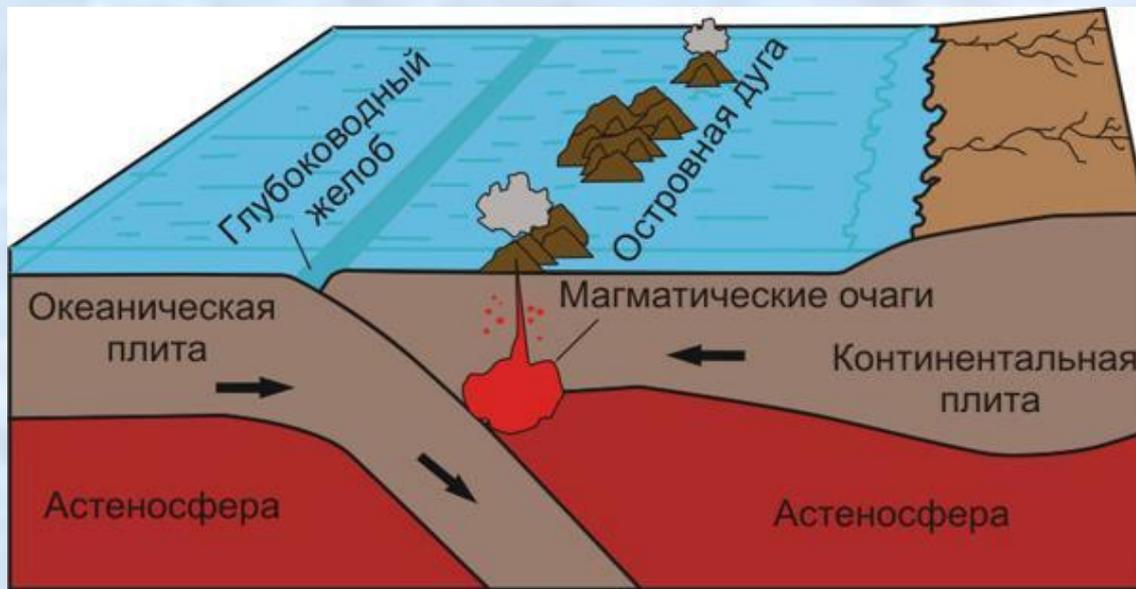
Когда океаническая плита погружается под континентальную, также образуется зона субдукции. В данном случае, вулканический пояс формируется над зоной субдукции на краю континента. Западное побережье Южной Америки.

### Б. Коллизионные

#### **континентальная и континентальная**

Коллизионные границы принципиально отличаются от субдукционных. Вдоль этих границ контактируют континентальные плиты, которые не могут, в силу своей плавучести, субдуцироваться в мантию. В результате, краевые части сближающихся плит испытывают интенсивное сжатие, на месте столкновения формируются горно-складчатые пояса, развиваются покровы и надвиги, мощность коры значительно увеличивается, вплоть до удвоения. Пример – Гималаи (Индийская с Евразийской), Альпы (Италия соединилась с Европой), Урал (европейский и азиатский массивы).

Каждый из выше перечисленных типов геодинамических обстановок, связанных с конвергентными границами литосферных плит сопровождается специфичным, свойственным только ему, типом магматизма.

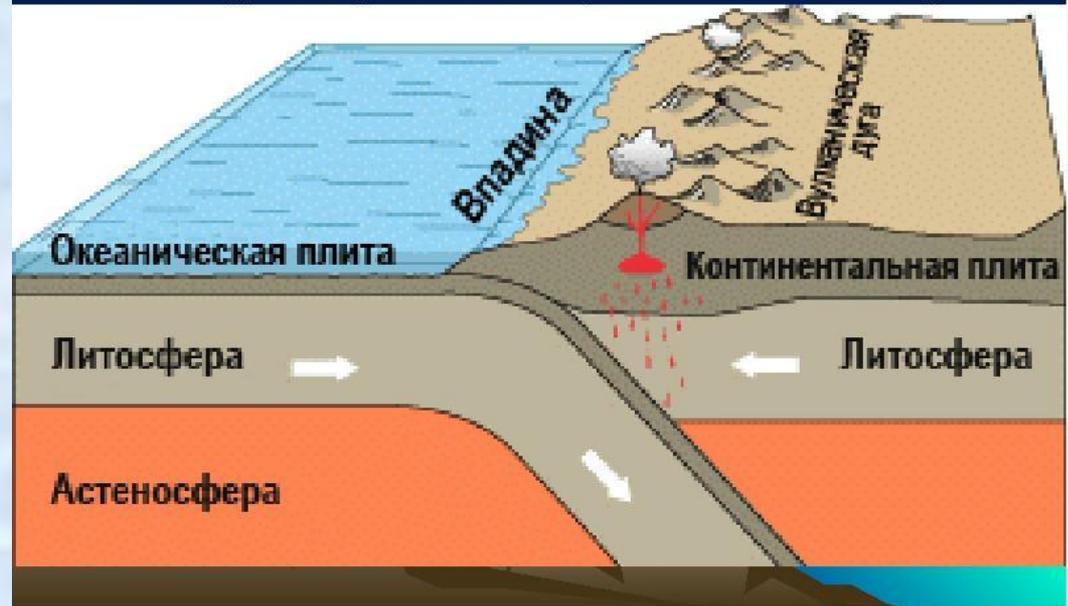


- **Островных дуг (ОД)**  
(**Западнотихоокеанский тип**)  
**океаническая и океаническая**

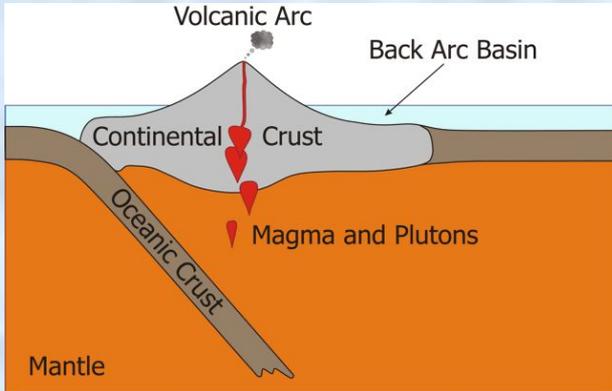
континентальные окраины

Активная континентальная окраина возникает там, где под континент погружается океаническая кора. Эталоном этой геодинамической обстановки считается западное побережье Южной Америки, её часто называют андийским

- **Активных континентальных окраин (АКО)** (**Андийский тип**)  
**океаническая и континентальная**



## А.1. Субдукционный магматизм *островодужного типа*



**В зависимости от типа фундамента ОД подразделяются на:**

- **энсиматические**, заложившиеся на океаническом фундаменте (Тонга-Кермадек, Идзу-Бонинская)
- **энсиалические**, развивающиеся на фундаменте континентального типа (часть Новозеландской, Японская)

**По характеру магматизма выделяют три стадии эволюции:**

### **•юная**

Вулканические породы - **толеитовая петрохимическая серия**. Типоморфные - базальтовая, марианит-бонинитовая, базальт-андезитобазальтовая, базальт-плагиориолитовая серии.

Плутоническими аналогами являются перидотит-габбровая, дунит-верлит-пироксенит-габбровая формации (офиолиты НЗС), габбро-долеритовая, габбро-анортозит-троктолитовая. Породы известково-щелочной и субщелочной серий в резко подчинённом количестве, либо отсутствуют вовсе.

### **•развитая**

Типоморфный признак перехода от юной к развитой стадии эволюции – **смена толеитового магматизма известково-щелочным** и начало крупномасштабного кислого магматизма как в эффузивной, так и в плутонической фации. Вулканические породы представлены базальт-дацитовой, базальт-андезит-дацит-риолитовой, андезит-дацит-риолитовой, риолитовой (игнимбритовой) формациями, плутоническими аналогами которых являются габбро-плагиогранитная, габбро-диорит-тоналит-трондземитовая (плагиогранитовая), диорит-гранитовая (гранодиоритовая) формации.

### **•зрелая**

Типоморфные признаки - **мощный сиалический фундамент**, соизмеримый, по мощности, с корой континентального типа, широко проявленные процессы метаморфизма и мигматизации, **существенно кислый коровый магматизм**. При этом, могут присутствовать породы всех петрохимических серий – от толеитовой (во фронтальной части) до щелочной (в рифтогенных структурах), но преобладающей является известково-щелочная серия. Для зрелых дуг характерны структуры растяжения, сопровождающиеся субщелочным и щелочным магматизмом. Среди вулканогенных формаций широко развиты трахибазальт-трахидацитовая (шошонит-латитовая), трахибазальт-трахиандезит-трахитовая (трахидацитовая), комендитовая субщелочная, оливин-базальтовая. Их плутоническими аналогами являются формации габбро(тешенит) – сиенитовая и щелочных габбро-трахидолеритов.

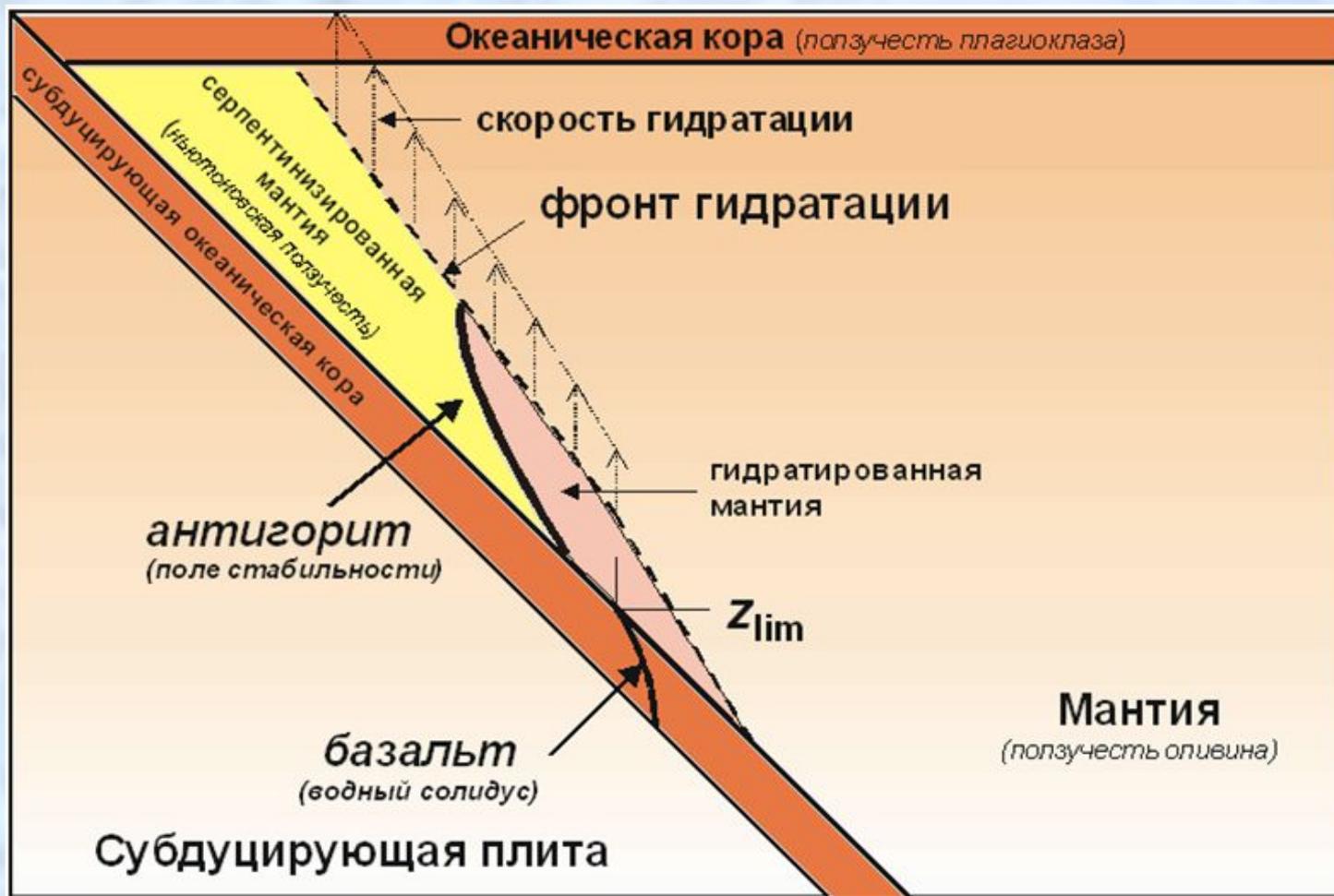
## **Формационные типы интрузивных пород островных дуг:**

***Габбро-долеритовая формация*** (габбро-диабазовая, габбро-диорит-диабазовая) - Центральный Кавказ

***Габбро-плагиогранитная формация*** (габбро-диорит-тоналит-трондьемитовая) – комплекс Финляндии (Тронхейм), комплексы Центральных Альп, Центральный Казахстан.

***Габбро-тоналит-плагиогранитную формацию*** *Большого Кавказа*

***Габбро-гранитная формация*** - в пределах Центрально Уральской зоны, в Магнитогорском синклинории Урала, поздне меловые интрузии Сихотэ-Алиня, триасовые интрузии Казахстана, Рудноалтайская и Зайсанская складчатые области, Большой Кавказ и т.д.



**НУЖНО  
ЗНАТЬ!**

**СИАЛИЧЕСКИЙ** слой - верхний слой земной оболочки, состоящий из пород, богатых кремнием (Si) и алюминием (Al)

Сиалический магматизм - представлен продуктами кислого (в основном гранитоидного состава)

**СИМАТИЧЕСКИЙ** магматизм - продукты основного (базальтового состава)

## А.2. Магматизм активных континентальных окраин (АКО)



АКО возникает там, где под континент погружается океаническая кора. Эталоном этой геодинамической обстановки считается западное побережье Южной Америки, её часто называют *андийским* типом континентальной окраины, противопоставляя пассивной окраине. Для активной континентальной окраины характерны многочисленные вулканы и вообще мощный магматизм.

По характеру магматизма в поперечном сечении АКО, условно, можно выделить *три зоны*:

**Первая** (фронтальная и осевая части АКО)-  
*габбро-диорит-гранодиорит-гранитный формационный тип  
гранит-лейкогранитная и лейкогранит-аляскитовая ассоциации*

**Вторая** (тыловая часть АКО) –  
*габбро-монцонит-сиенитовый и  
монцонит-гранодиорит-сиенитовый формационный тип*

**Третья** - представляет собой тыловую часть АКО. Её типоморфным признаком является наличие условий **растяжения** .

# Габбро-диорит-гранодиорит-гранитный формационный тип



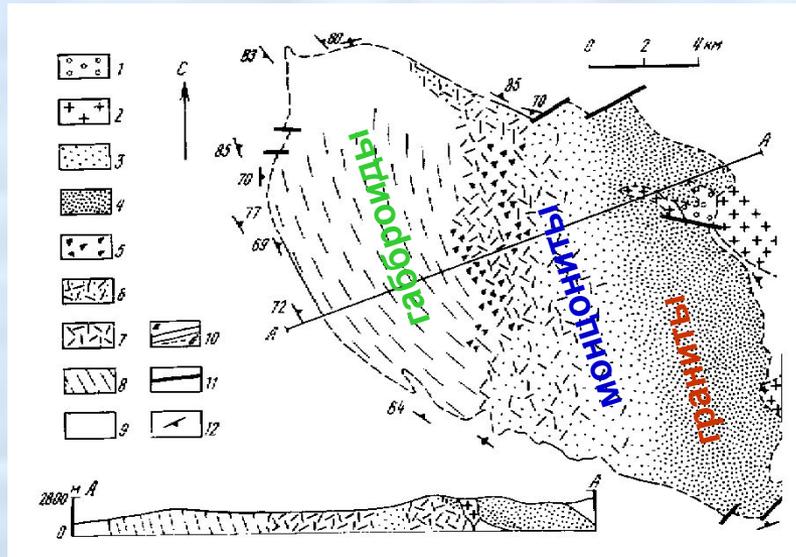
## Пример – батолит Сьерра-Невада

Горная система, хребет в западном поясе Кордильер в Северной Америке, проходящий почти через всю восточную часть штата Калифорния. Название хребта имеет испанское происхождение, буквально означающее «снежные горы»

В этот батолит входит целая серия интрузивных тел, которые можно разделить на две группы:

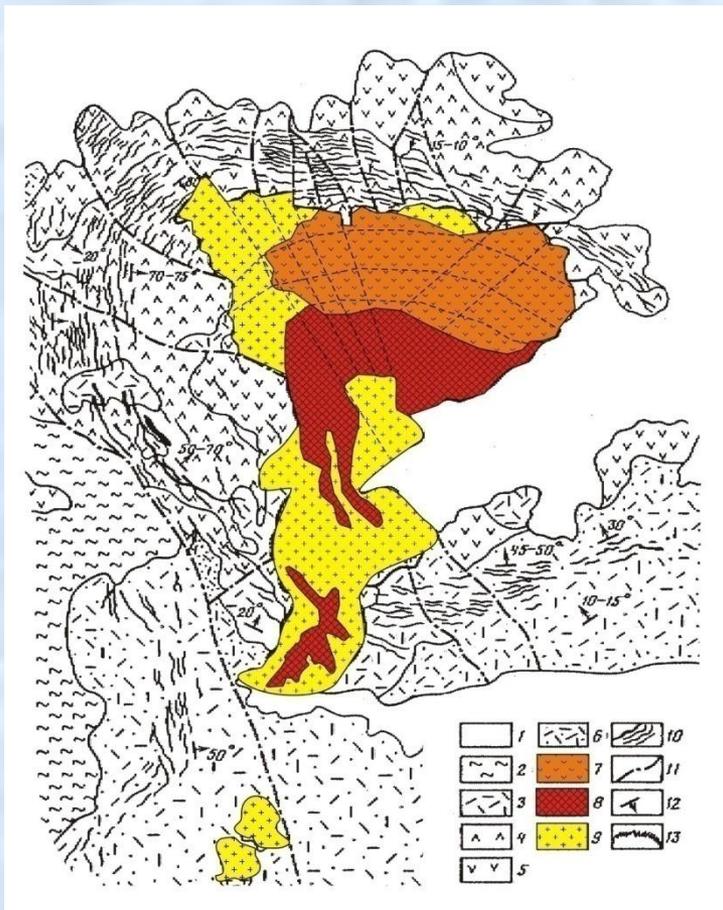
- 1) существенно базитовые мезоабиссальные плутоны тоналитового, трондjemитового и габбрового состава (пример - массив Гваделупа).
- 2) вторая группа плутонов приурочена к наиболее приподнятым частям хребта Сьера Невада. Они сложены гранитами, кварцевыми диоритами, кварцевыми монцонитами и гранодиоритами (пример – батолит Чили)

## Схематическая геологическая карта массива Гваделупа



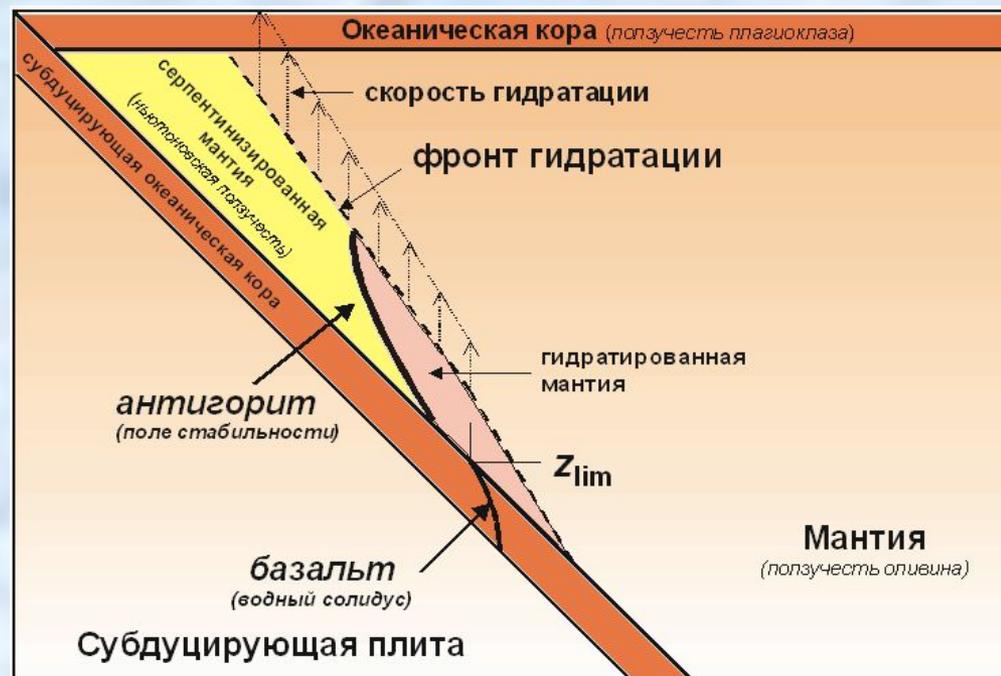
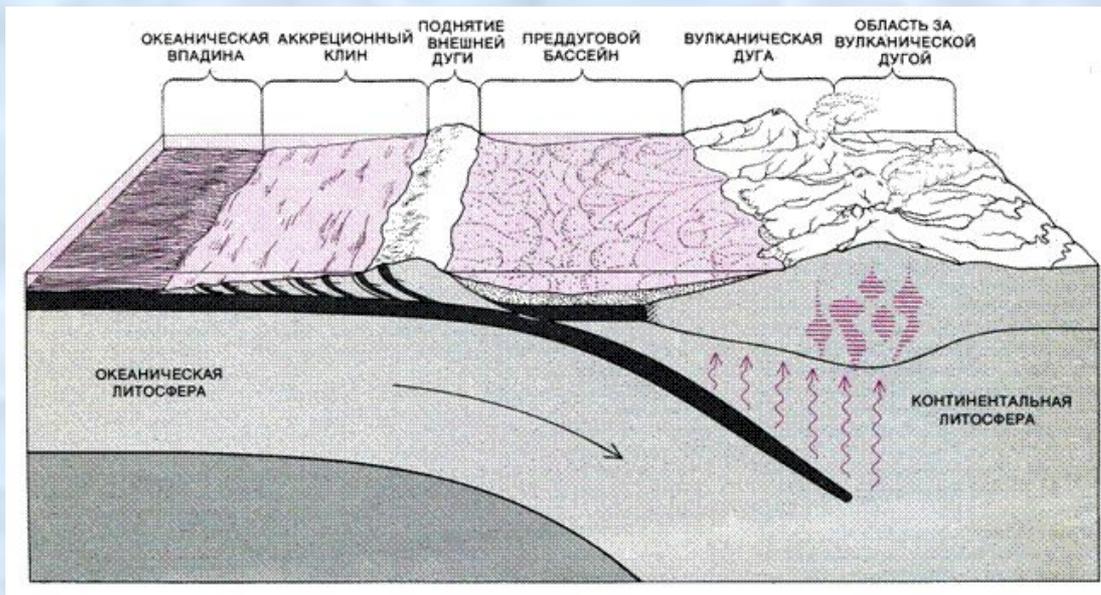
- 1 - аллювий;
- 2 – габбро, диориты;
- 3 - гранофиры;
- 4 - граниты;
- 5 - кварцевые монцониты; б - агматиты;
- 7 - мелодиориты;
- 8 - расслоенные габброиды (штриховкой показано направление расслоенности);
- 9 - метаморфические породы;
- 10 - геологические границы: (а прослеженные, б - предполагаемые) ;
- 11 - тектонические нарушения;
- 12 - элементы залегания полосчатости.

## Лейкогранит-аляскитовая ассоциация



**Рис. Геолого-структурная карта аляскитового массива Майтас.**

- 1 - четвертичные отложения;
- 2 - трахириолиты (трахилипаритовые порфиры) верхнего карбона;
- 3 – 5 - средне-, верхнекарбоновые вулканы: 3 - кислые эффузивы, 4 - диабазы, 5 - метаандезиты (андезитовые порфиры);
- 6 - туфы метариолитов (липаритовых порфиров) среднего карбона;
- 7 - крупнозернистые аляскиты I фазы;
- 8 - средне-, крупно зернистые аляскиты I генерации дополнительных фаз внедрения;
- 9 - средне- и мелкозернистые редкопорфировидные аляскиты II и III генераций дополнительных фаз внедрения;
- 10 - дайки гранит-порфиров;
- 11 - разрывные нарушения;
- 12 - элементы залегания вмещающих пород и даек гранит-порфиров;
- 13 - зоны распространения даек аплитов и пегматитов.

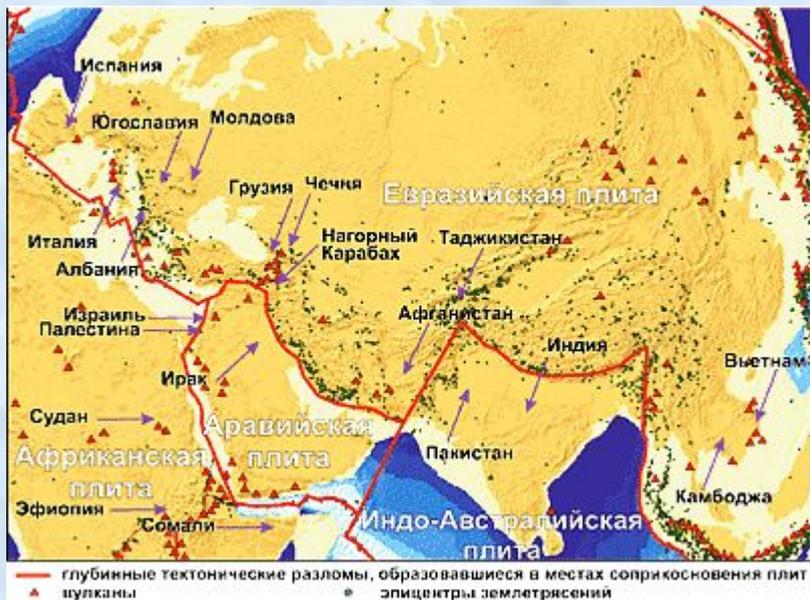


## II. Магматизм конвергентных границ литосферных плит

### Б. Коллизионные



Коллизионные границы принципиально отличаются от субдукционных. Вдоль этих границ контактируют континентальные плиты, которые не могут, в силу своей плавучести, субдуцироваться в мантию. В результате, краевые части сближающихся плит испытывают интенсивное сжатие, на месте столкновения формируются горно-складчатые пояса, развиваются покровы и надвиги, мощность коры значительно увеличивается, вплоть до удвоения. Аналогичная ситуация возникает и при столкновении островных дуг или иных литосферных блоков, сложенных лёгкой сиалической корой с континентами или между собой. Такие зоны получили название «континентальные зоны коллизии».



Альпийско-Гималайский пояс включает покровно-складчатые горные сооружения, сформированные в пределах мезозойского океана Неотетис в кайнозойскую эру. Он охватывает юг Европы, крайний северо-запад Африки, Юго-Западную, Южно-Центральную и запад Юго-Восточной Азии, протягиваясь на расстояние 16 тыс. км от Гибралтара до Индонезии

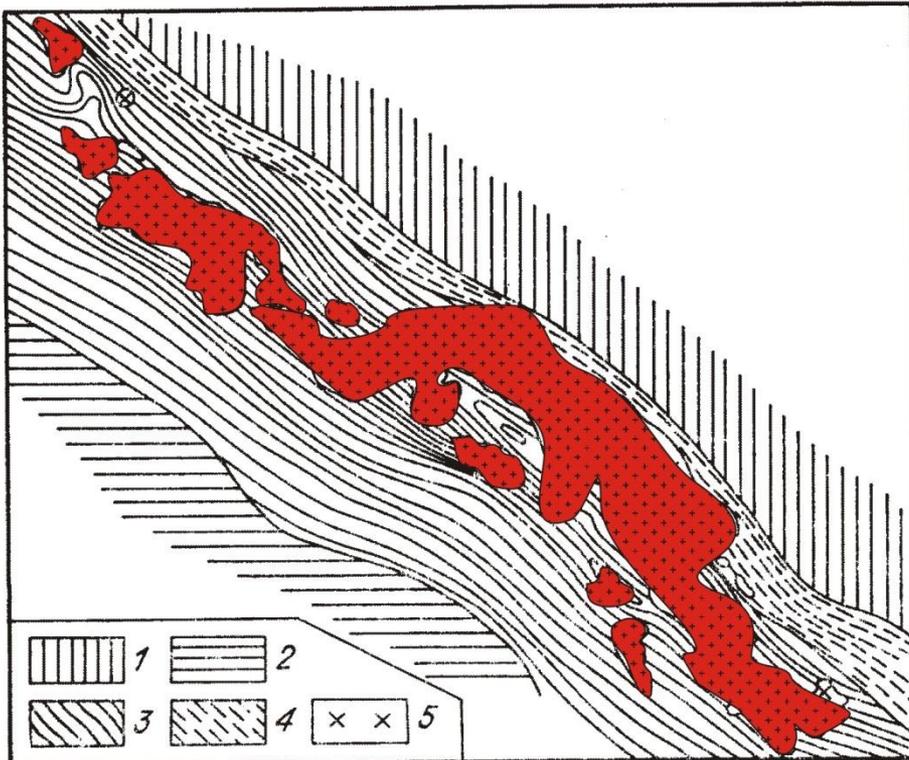


Расположение	<a href="#">Индия</a> Индия, <a href="#">Непал</a> Индия, Непал, <a href="#">Китай</a> Индия, Непал, Китай, <a href="#">Пакистан</a> Индия, Непал, Китай, Пакистан, <a href="#">Бутан</a>
Протяжённость	2900 <a href="#">км</a>
Ширина	350 <a href="#">км</a>
Период создания	<a href="#">меловой</a>

## Формация гранитных батолитов

### Калбинский батолит (Восточный Казахстан).

- 1 – антиклинорий Рудного Алтая;
- 2 – Чарский антиклинорий;
- 3 – песчано-сланцевые толщи Калбинского синклинория;
- 4 – Иртышская зона смятия;
- 5 – калбинские граниты.



**Granitoids of the  
Western  
Transbaikalia**

$S \approx 200\,000 \text{ km}^2$

$h \approx 10 - 15 \text{ km}$

$V \approx 2-3 \text{ million km}^3$

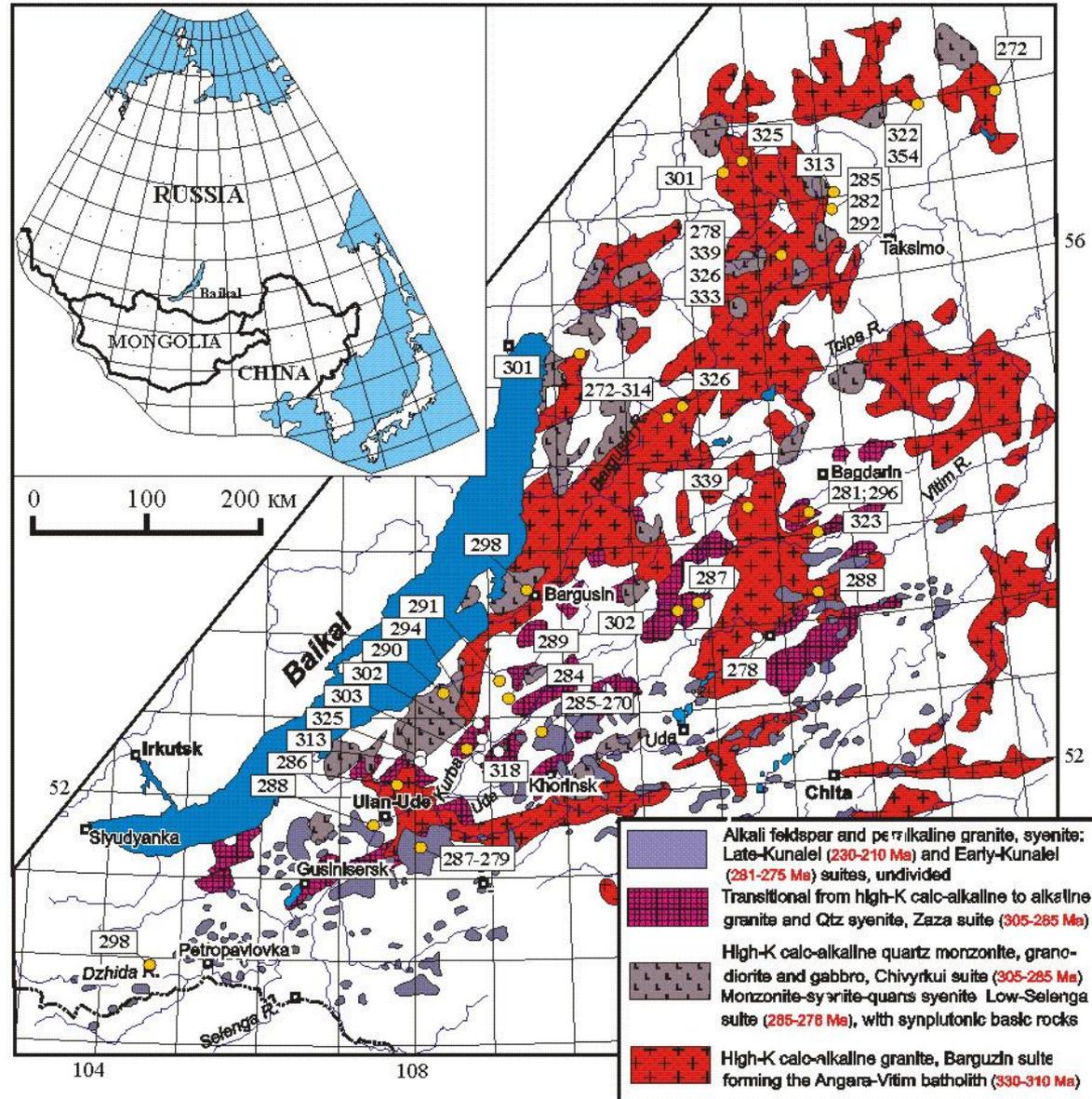
Age: C – K

Baikal lake



# АНГАРО-ВИТИМСКИЙ БАТОЛИТ (Забайкалье)

114



104

108

52

56

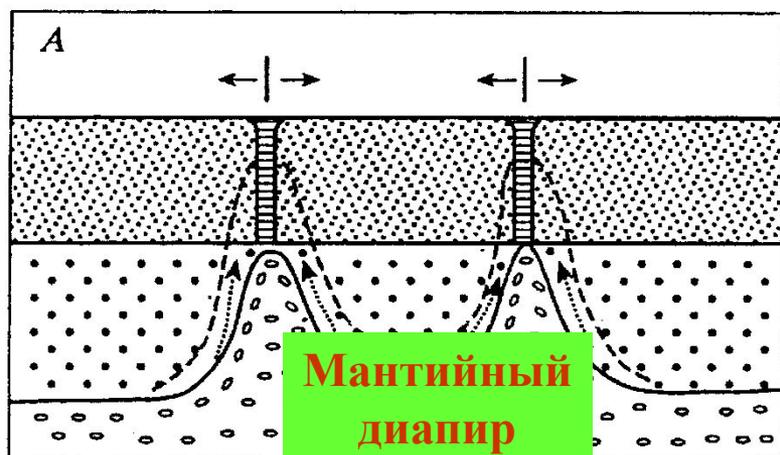
(Ярмолюк и др., 1997)

## «Плюмовая модель»

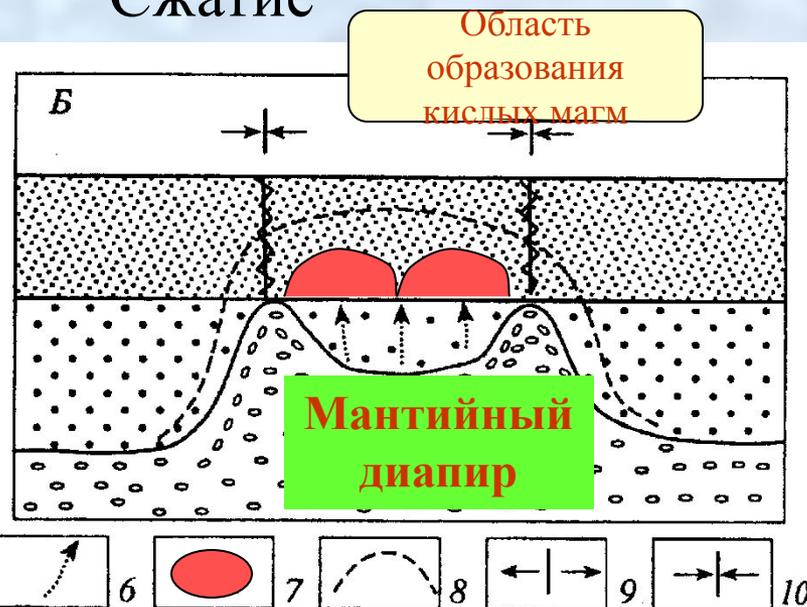
.... базитовые магмы, связанные с мантийными плюмами, .....

Ангаро-Витимский батолит сформировался во второй половине карбона (330 - 290 Ма) в условиях регионального сжатия над мантийным диапиром.

Растяжение



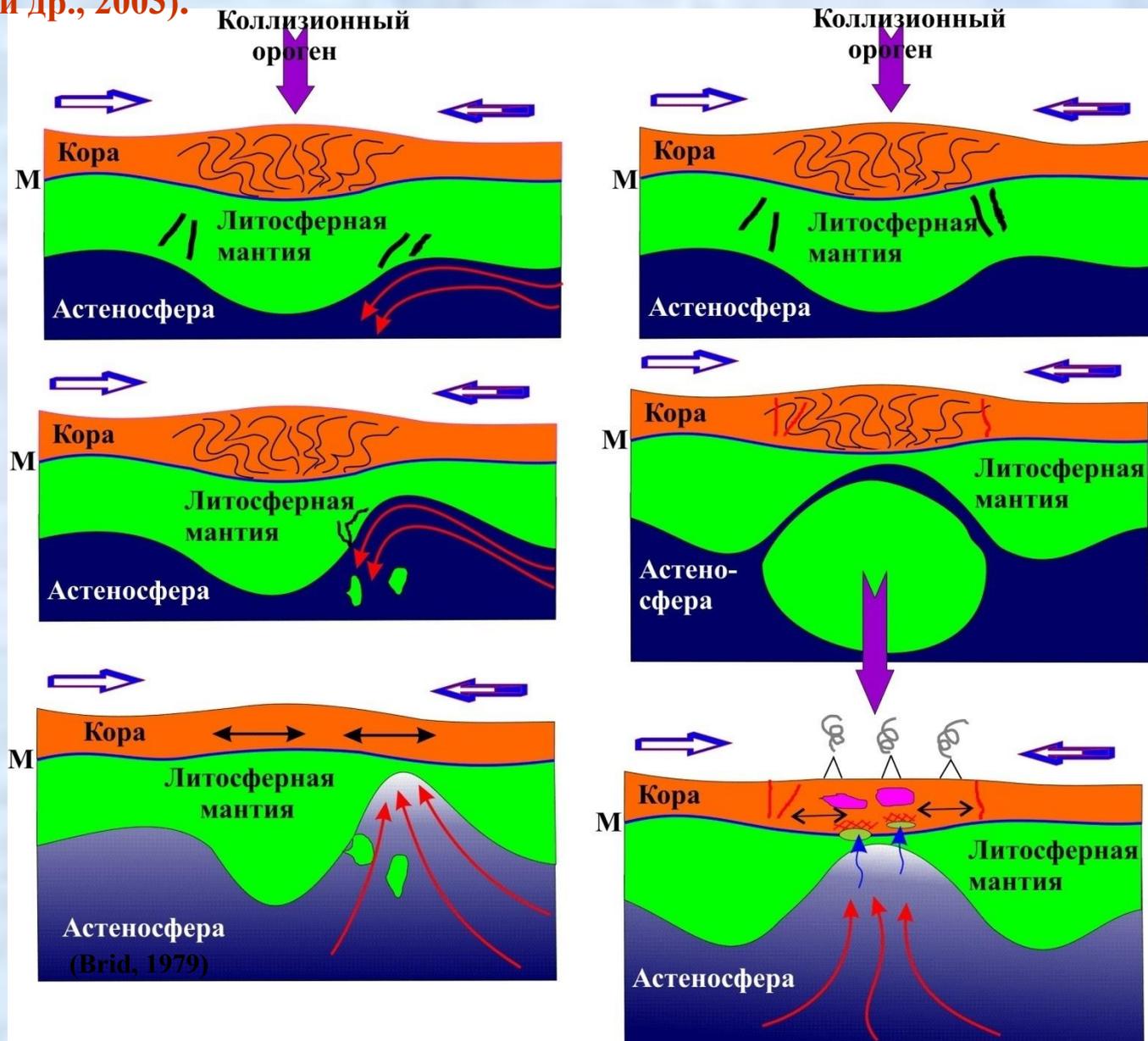
Сжатие



**Модель возникновения условий для батолитообразования над мантийным плюмом в обстановках литосферного растяжения (А) и сжатия (Б).**

1 - кора; 2 - литосферная и 3 - астеносферная мантия; 4 - 5 сутурные зоны в режиме: 4 - растяжения, 5 - сжатия; 6 - тепло и массопотоки; 7 - области анатексиса; 8 - условная изотерма; 9 - зоны растяжения, 10 - зоны сжатия.

..... базитовые магмы, связанные с деляминацией утолщенной (удвоенной) коры (Гордиенко и др., 2003).

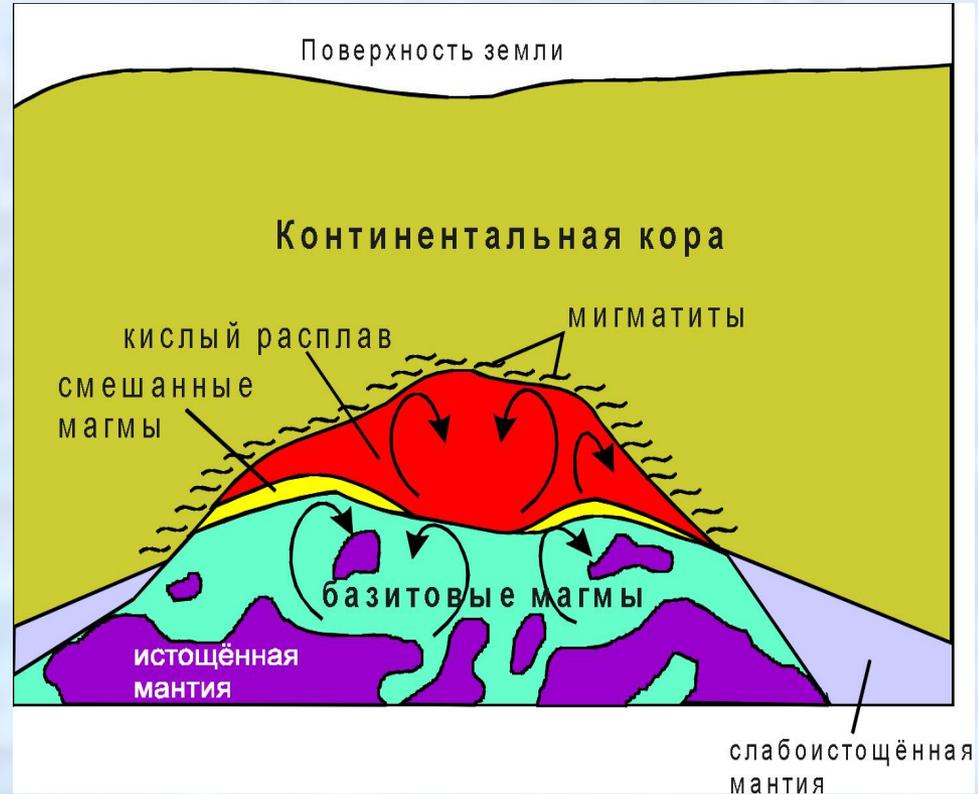


(Houseman et.al., 1981)

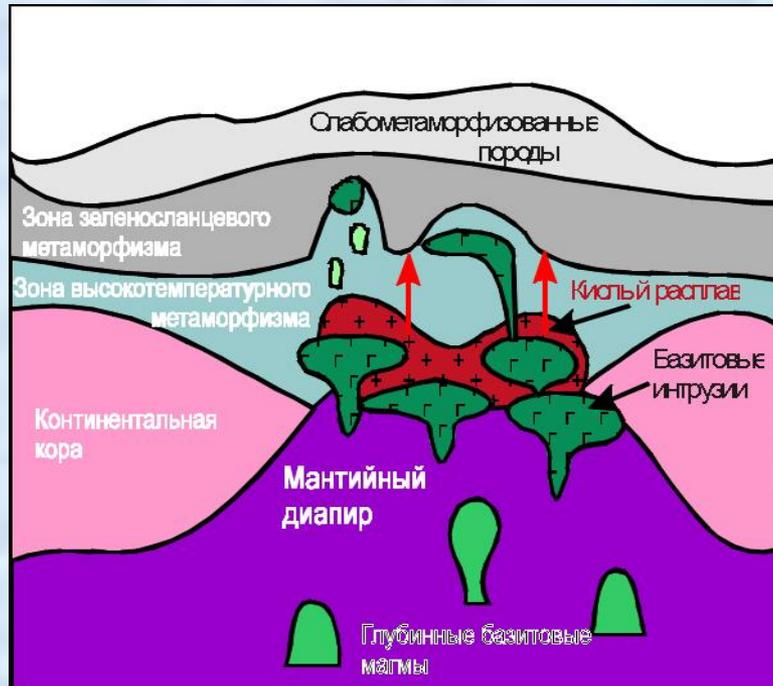
# Модель формирования гранитоидных плутонов в зоне континентальной коллизии (на примере Ангаро-Витимского батолита) (Литвиновский и др., 1993)

Модель магмообразования в открытой неводонасыщенной системе (аллохимический анатексис).

Генерация кислых магм происходит в условиях привноса воды и некоторых петрогенных элементов, источником которых являются базитовые магматические очаги, сосуществующие и активно взаимодействующие с гранитоидными расплавами.



Поступление воды из остаточного обогащённого водой базитового очага в кислый расплав происходит по диффузионному механизму при условии активной конвекции в базитовой магме.



**Диапир мантийный** (англ. – **mantle diapir**) - сводообразный выступ, сложенный высокотемпературной и низкоплотной мантией, всплывающей из-под литосферы, способный вызвать растяжение в перекрывающих слоях и высокий тепловой.



*Комбинированные базит-аплитовые дайки из Усть-Хилокского кварц-сиенит-щелочногранитного массива (Западное Забайкалье, Россия)*



*Габбро-диоритовые глобулы в субвулканических щелочно-полевошпатовых гранитах Джерси (Великобритания)*

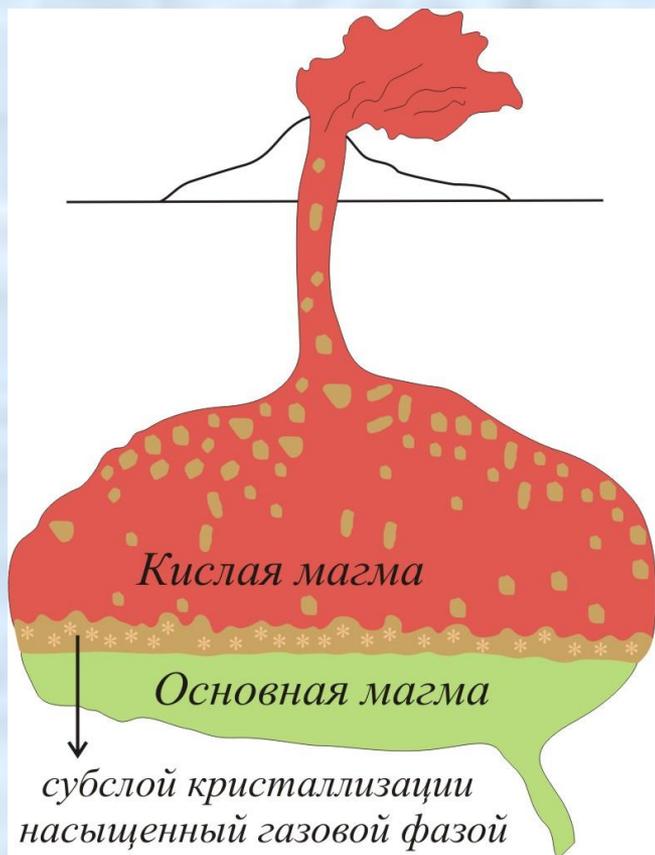


*Смешение между синплутонической базальтовой дайкой и тоналитами Моруа (Австралия)*



*Базальтовое включение в сиенитах Усть-Хилокского кварц-сиенит-щелочногранитного массива (Западное Забайкалье, Россия)*

[Биндеман, 1995]



[Arvin et al., 2004]

