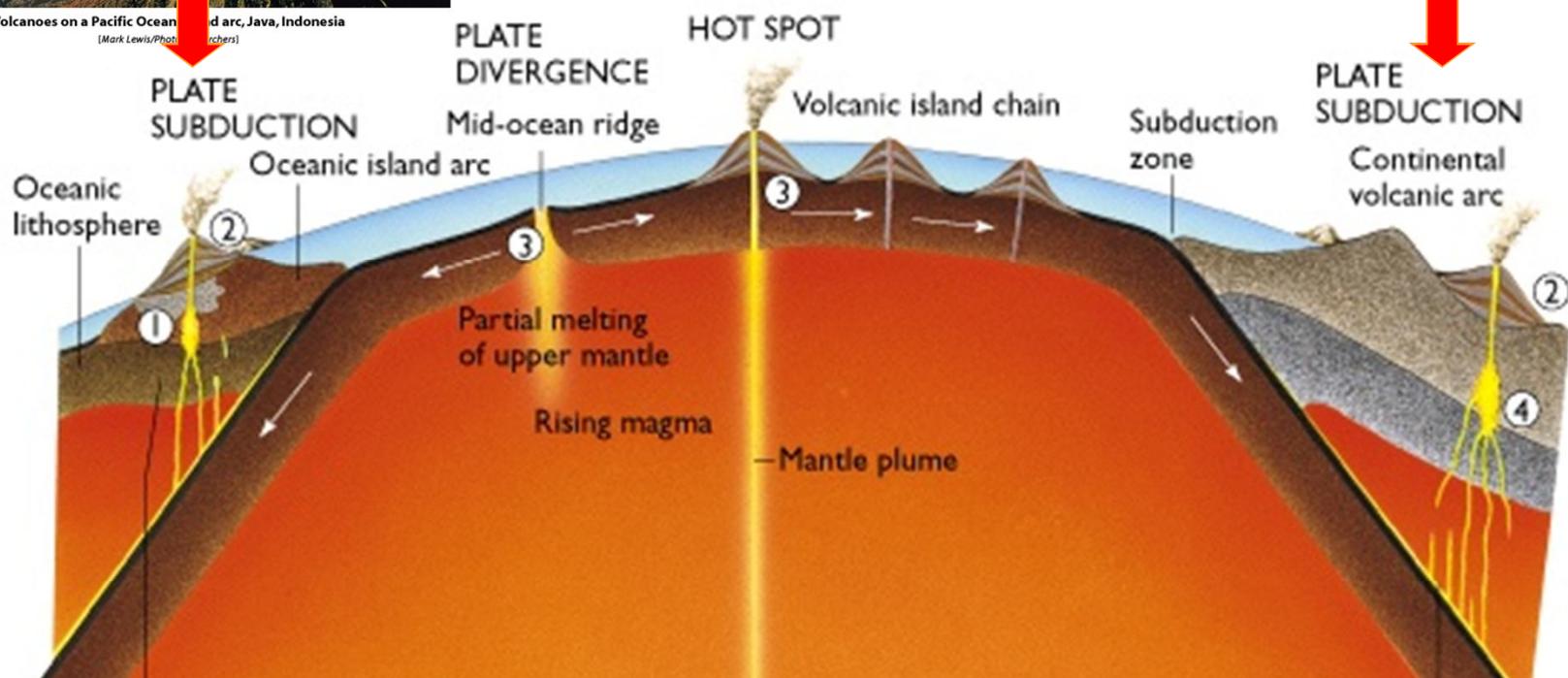
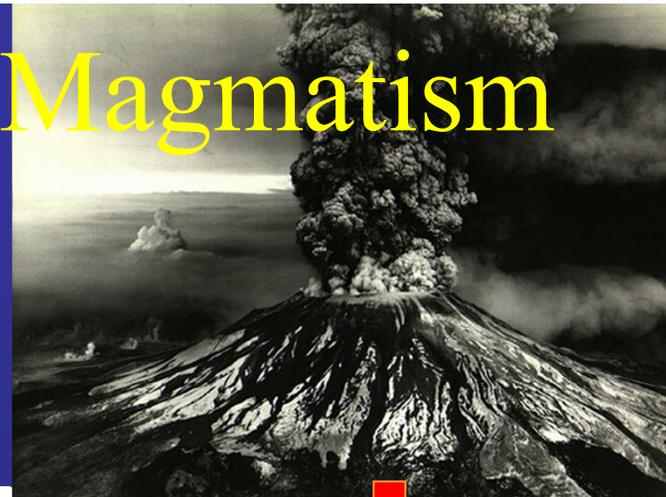


# Subduction Zone (Arc) Magmatism



Volcanoes on a Pacific Ocean island arc, Java, Indonesia  
(Mark Lewis/Photo Researchers)



## 1) Oceanic Island Arcs      2) Continental Arcs

- |   |                                   |                              |   |
|---|-----------------------------------|------------------------------|---|
| Some partial melting in mantle wedge above subducting plate | ① Mafic to intermediate plutonism | ③ Basaltic volcanism         | Some partial melting in mantle wedge above subducting plate |
|   | ② Mafic to intermediate volcanism | ④ Mafic to silicic plutonism |   |

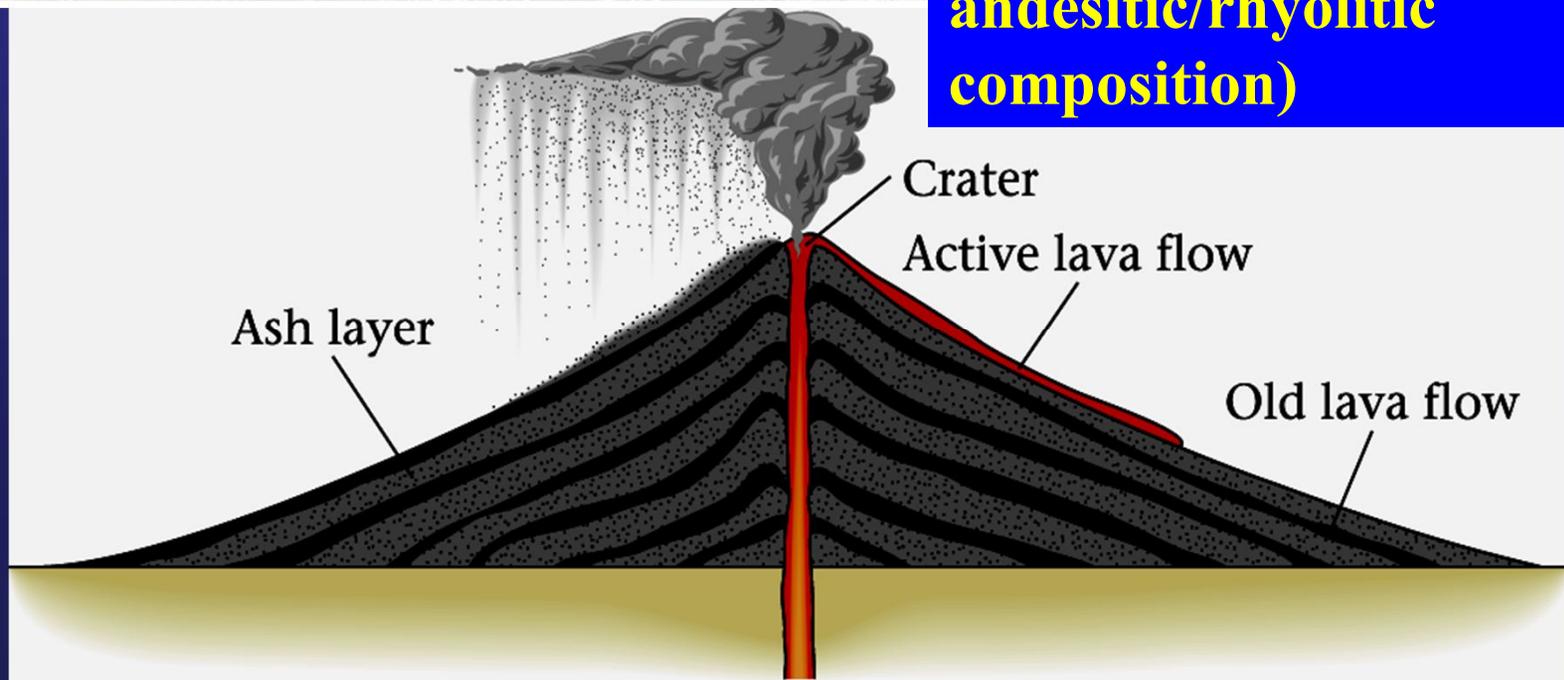
# Composite or Stratovolcano – (Mt. Fuji, Japan)



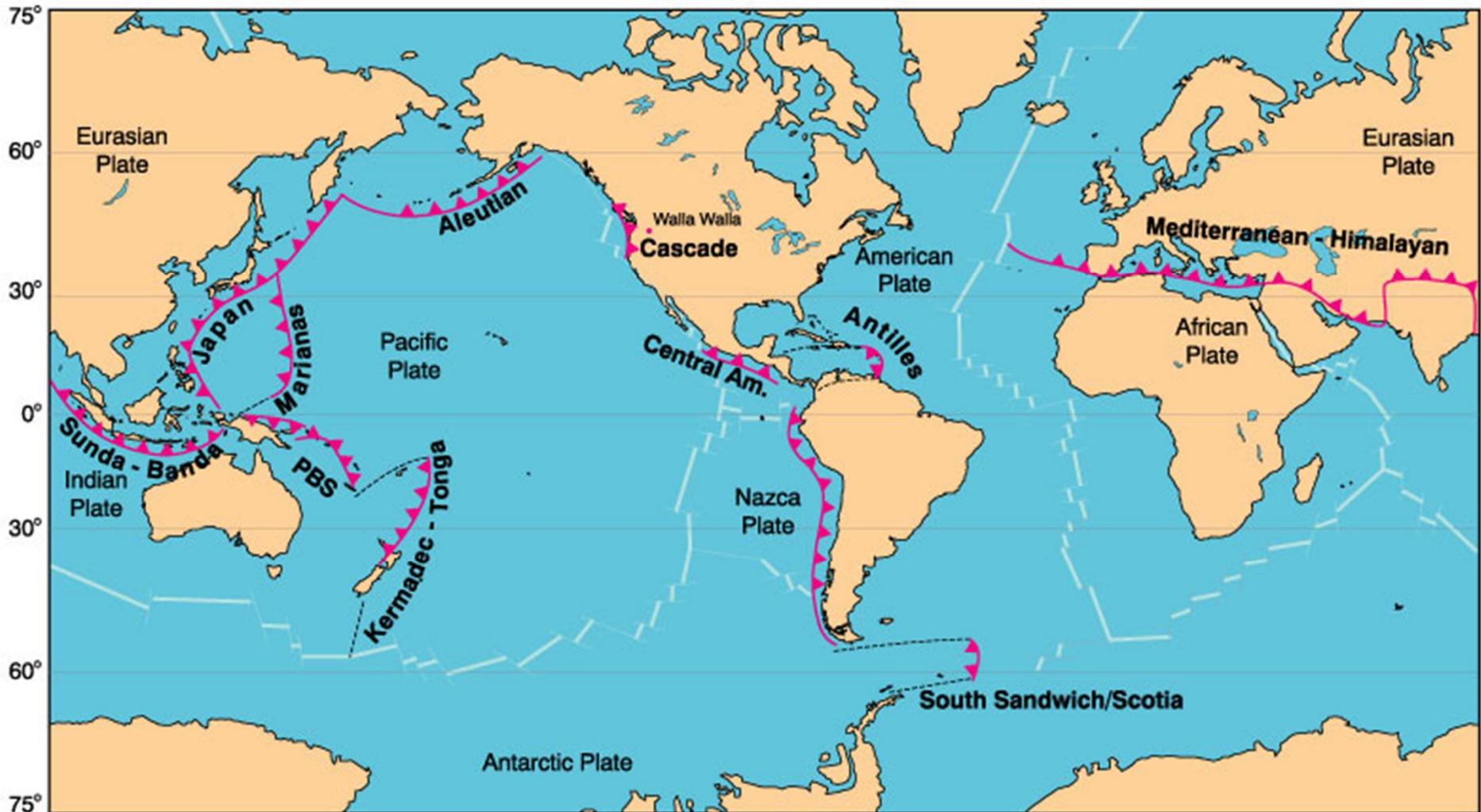
**Subduction Zones**

**Explosive Eruptions**

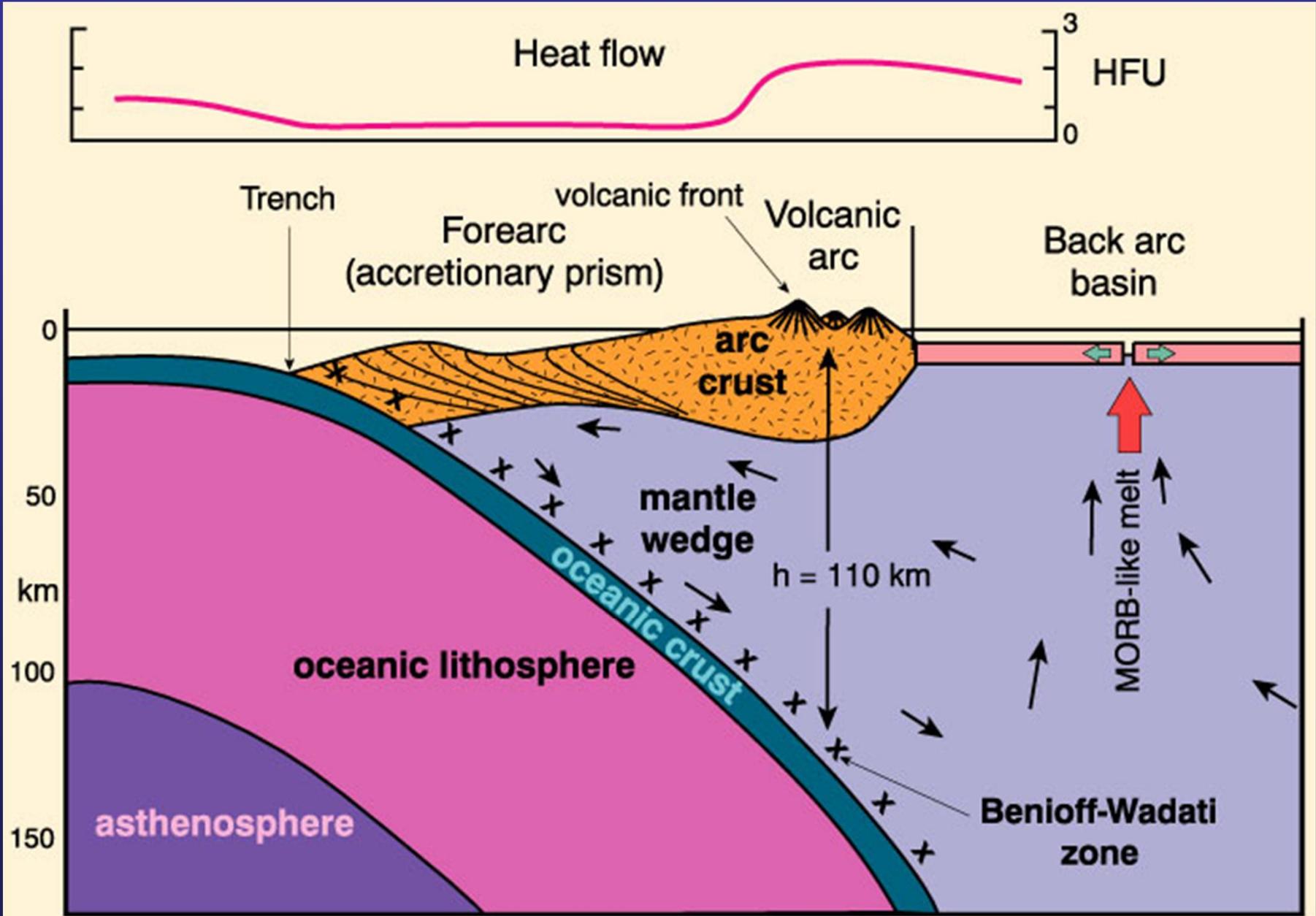
**Composed of alternating layers of tephra and lava flows (mostly of andesitic/rhyolitic composition)**



# Global Distribution of Subduction Zones



# Structure of an Island Arc



# Volcanic Rocks of Oceanic Island Arcs

**Table 16-1.** Relative Proportions of Quaternary Volcanic Island Arc Rock Types

| Locality                     | B  | B-A | A  | D  | R |
|------------------------------|----|-----|----|----|---|
| Talasea, Papua               | 9  | 23  | 55 | 9  | 4 |
| Little Sitkin, Aleutians     | 0  | 78  | 4  | 18 | 0 |
| Mt. Misery, Antilles (lavas) | 17 | 22  | 49 | 12 | 0 |
| Ave. Antilles                | 17 | 42  |    | 39 | 2 |
| Ave. Japan (lava, ash falls) | 14 | 85  |    | 2  | 0 |

After Gill (1981, Table 4.4) B = basalt B-A = basaltic andesite

A = andesite, D = dacite, R = rhyolite

**High proportion of basaltic andesite and andesite**

**TABLE 8-2** Representative chemical compositions of various basalts

| Components                     | N-MORB <sup>a</sup> | E-MORB <sup>a</sup> | OIT <sup>b</sup> | OIAB <sup>c</sup> | IAT <sup>d</sup> | CFT <sup>e</sup> |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 48.77               | 47.74               | 50.51            | 47.52             | 51.90            | 50.01            |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.33                | 1.59                | 2.63             | 3.29              | 0.80             | 1.00             |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15.90               | 15.12               | 13.45            | 15.95             | 16.00            | 17.08            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.33                | 2.31                | 1.78             | 7.16              | —                | —                |
| FeO                            | 8.62                | 9.74                | 9.59             | 5.30              | 9.56             | 10.01            |
| MnO                            | 0.17                | 0.20                | 0.17             | 0.19              | 0.17             | 0.14             |
| MgO                            | 9.67                | 8.99                | 7.41             | 5.18              | 6.77             | 7.84             |
| CaO                            | 11.16               | 11.61               | 11.18            | 8.96              | 11.80            | 11.01            |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.43                | 2.04                | 2.28             | 3.56              | 2.42             | 2.44             |
| K <sub>2</sub> O               | 0.08                | 0.19                | 0.49             | 1.29              | 0.44             | 0.27             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.09                | 0.18                | 0.28             | 0.64              | 0.11             | 0.19             |

<sup>a</sup>N-MORB, normal mid-ocean ridge basalt; E-MORB, enriched MORB.

<sup>b</sup>OIT, ocean island tholeiite.

<sup>c</sup>OIAB, ocean island alkali basalt (Kohala, Hawaii).

<sup>d</sup>IAT, island arc tholeiite.

<sup>e</sup>CFT, continental flood tholeiite.

# Major Elements and Magma Series

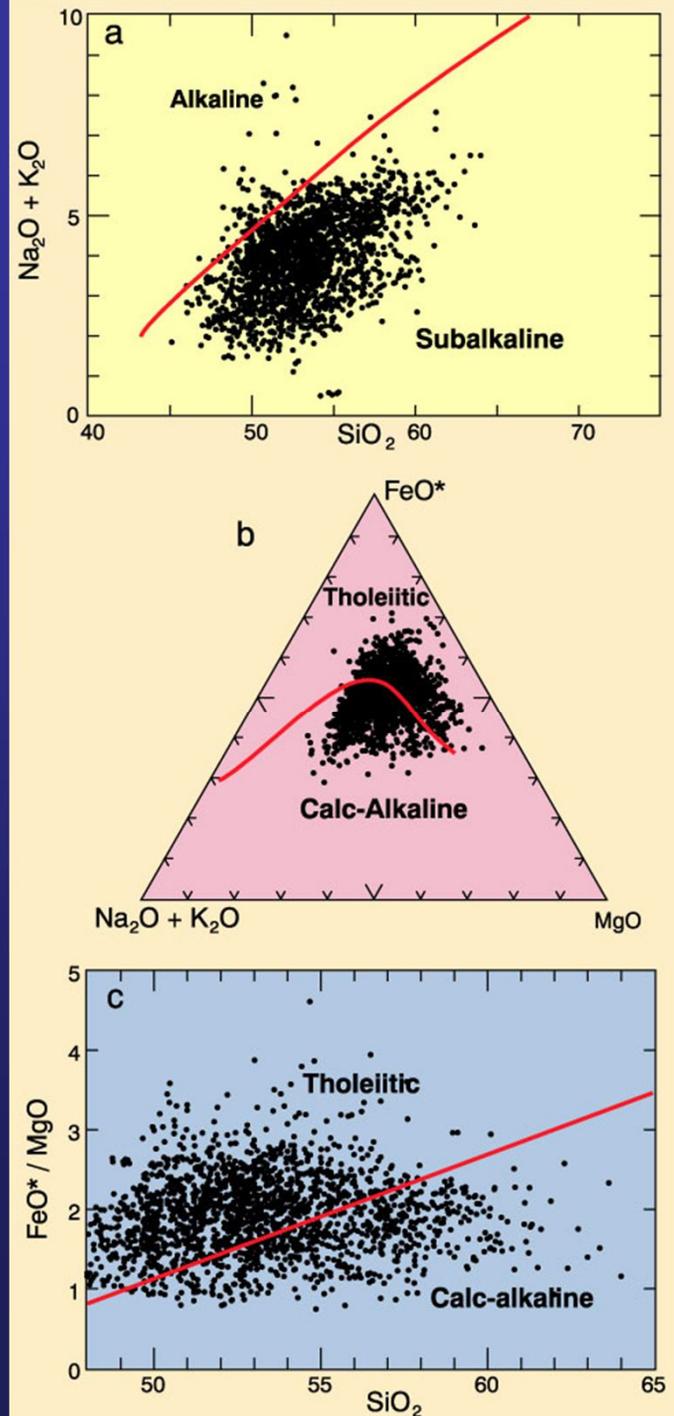
a. Alkali vs. silica

b. AFM

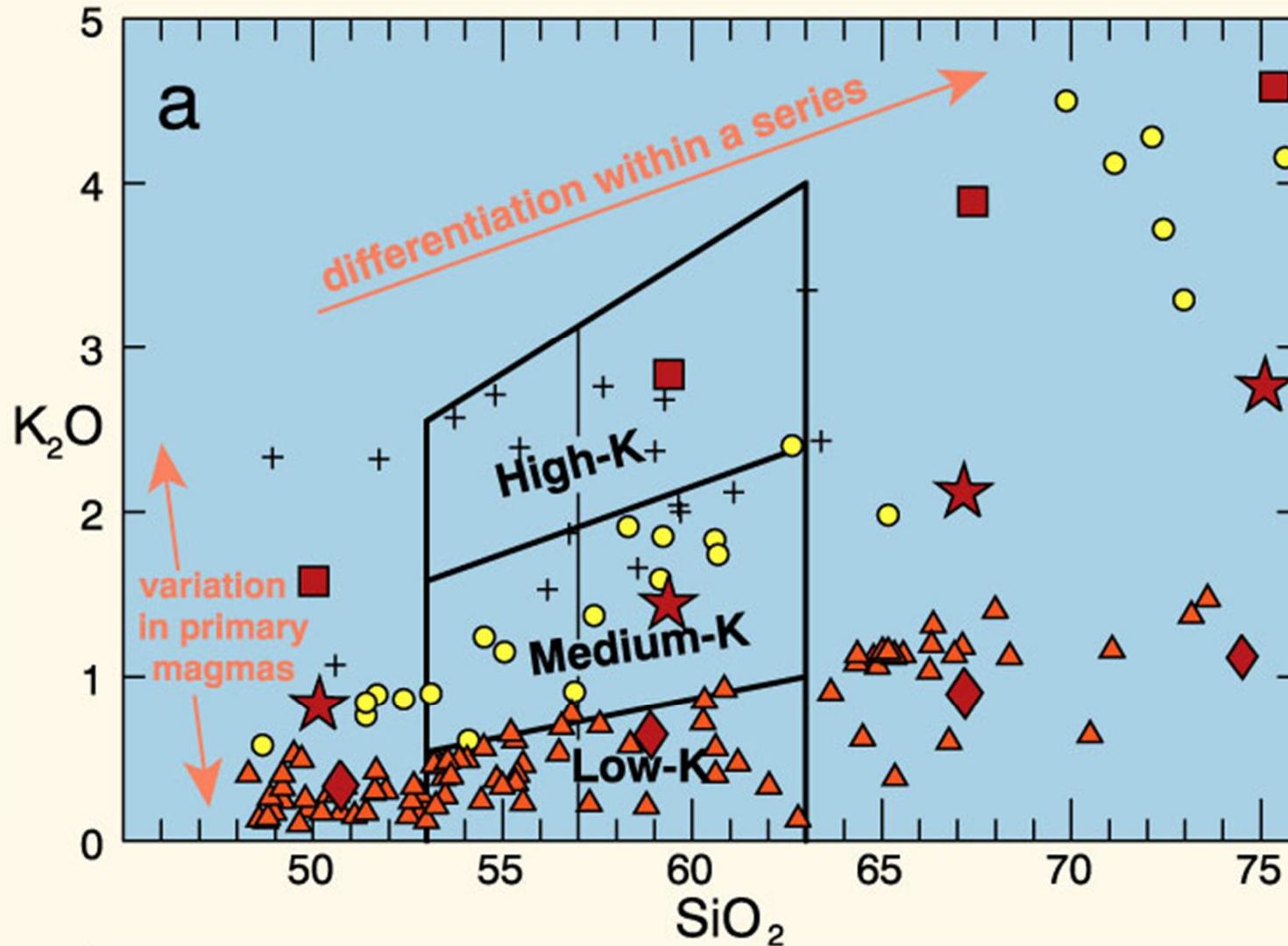
c.  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  vs. silica

diagrams for 1946 analyses from  
~ 30 island and continental arcs  
with emphasis on the more  
primitive volcanics

Figure 16-3. Data compiled by Terry Plank (Plank and Langmuir, 1988)  
*Earth Planet. Sci. Lett.*, 90, 349-370.



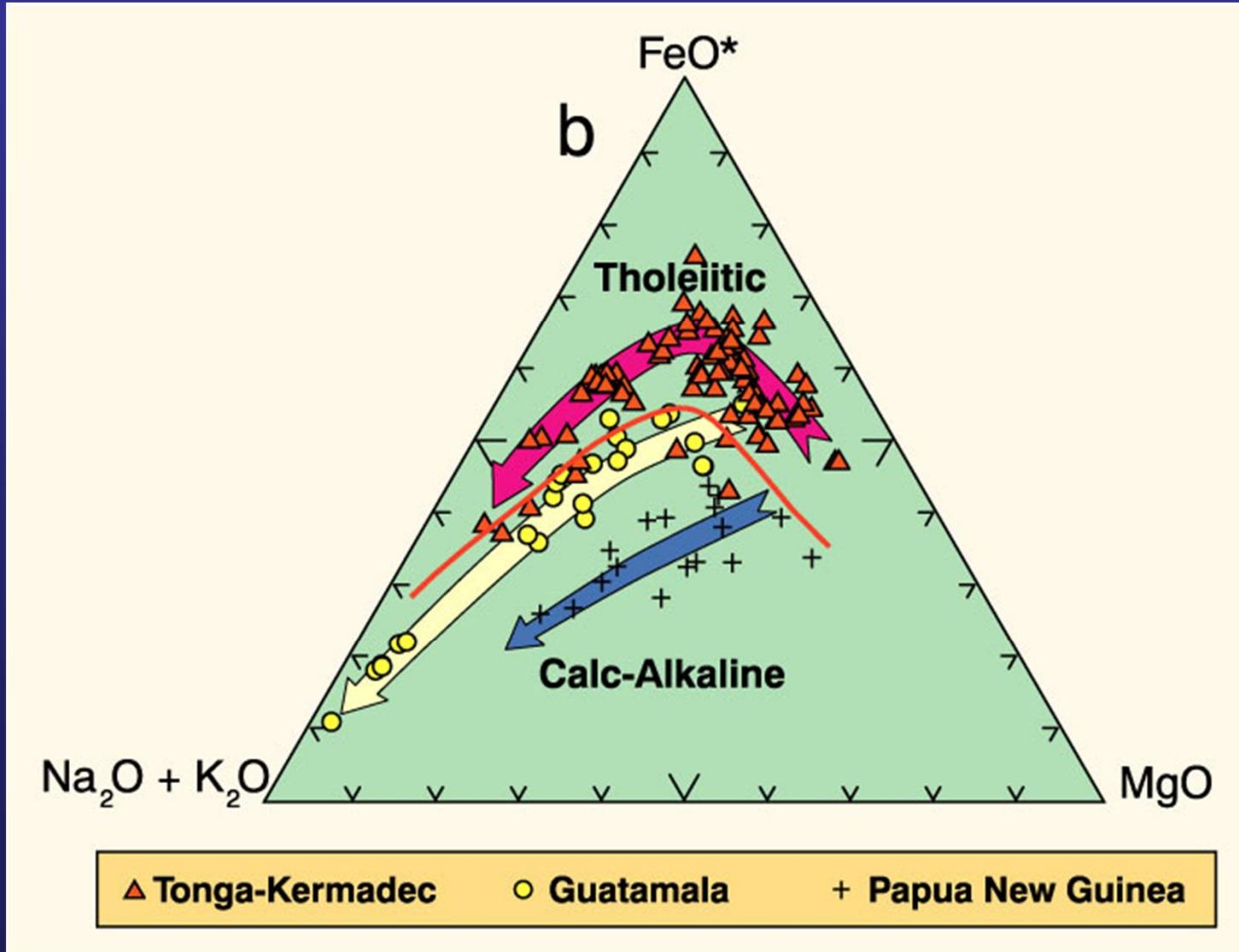
$K_2O$  is an important discriminator  $\rightarrow$  3 sub-series



▲ Tonga-Kermadec      ○ Guatemala      + Papua New Guinea

Early crystallization of an Fe-Ti oxide phase

Probably related to the high water content of calc-alkaline magmas in arcs, dissolves  $\rightarrow$  high  $f_{O_2}$



# Параметры островодужного вулканизма

- Хорошо известно, что островодужные лавы (в том числе и примитивные) наиболее окислены по сравнению с другими геотектоническими обстановками.
- Фугитивность кислорода определенная в различных островодужных перидотитах также очень высокая (вплоть до QFM+ 2).
- Предполагается строгая зависимость между степенью плавления, окислительной обстановкой и обогащением переносимыми во флюиде элементами.

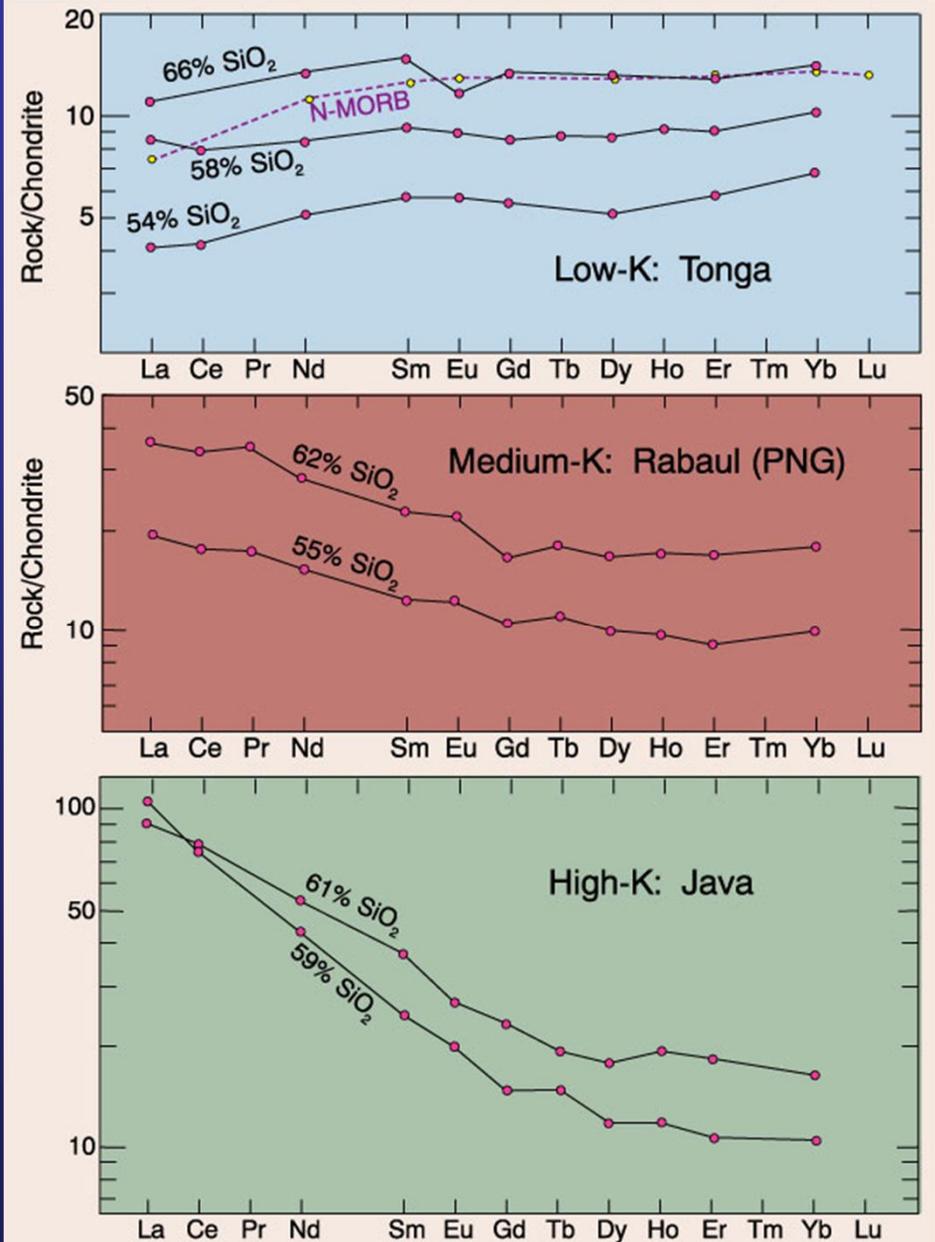
# Параметры островодужной мантии

- предполагают, что степень плавления мантии под островными дугами сходна с СОХ-обстановками, т.е.  $> 15\%$ . предлагают интервал  $10-25\%$ , считают, что островодужная мантия претерпевает плавление  $15-35\%$ .(1988-1994)

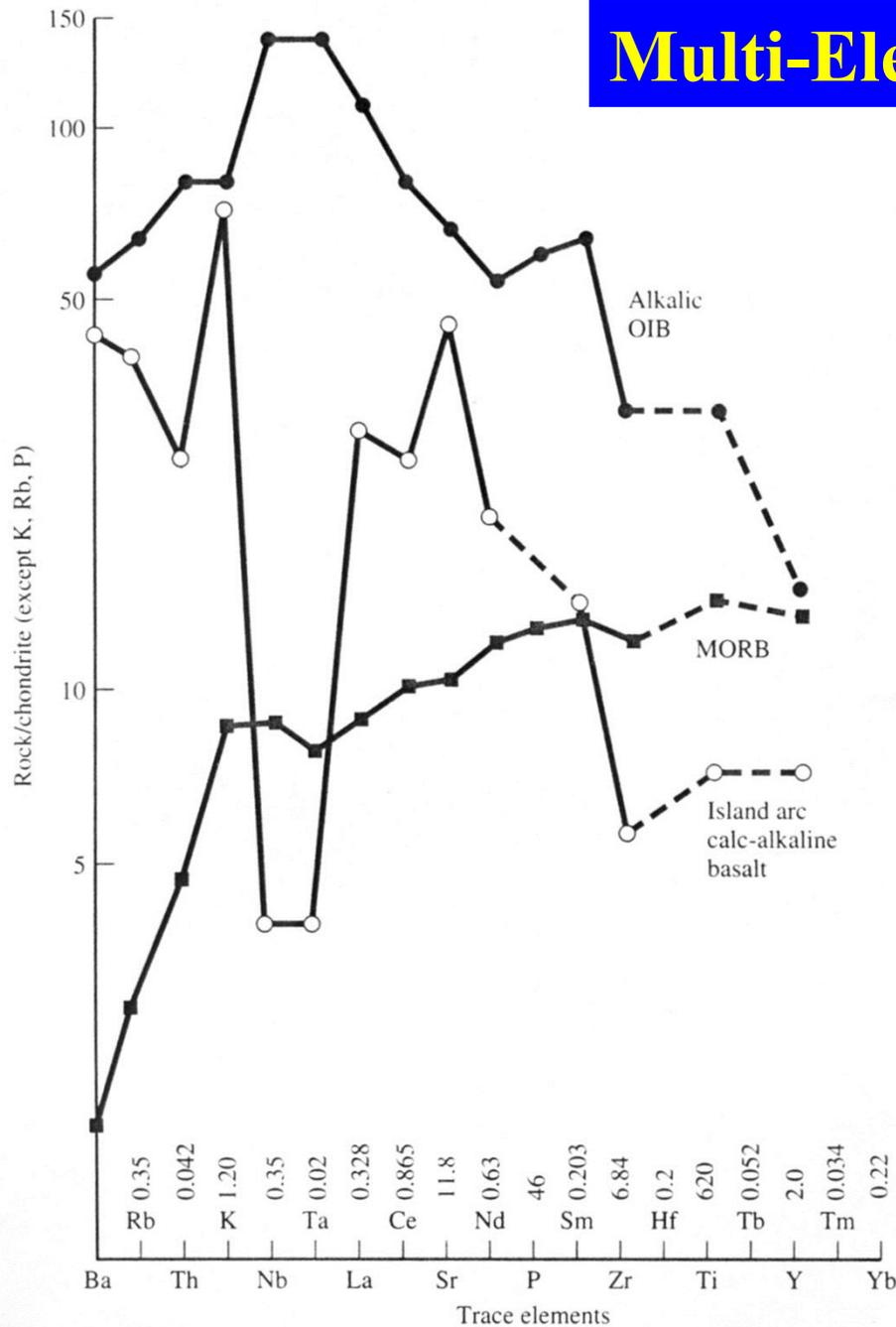
# Trace Elements

- REEs

- Slope within series is similar, but height varies with FX due to removal of Ol, Plag, and Pyx
- (+) slope of low-K → DM
  - Some even more depleted than MORB
- Others have more normal slopes
- Thus heterogeneous mantle sources
- HREE flat, so no deep garnet

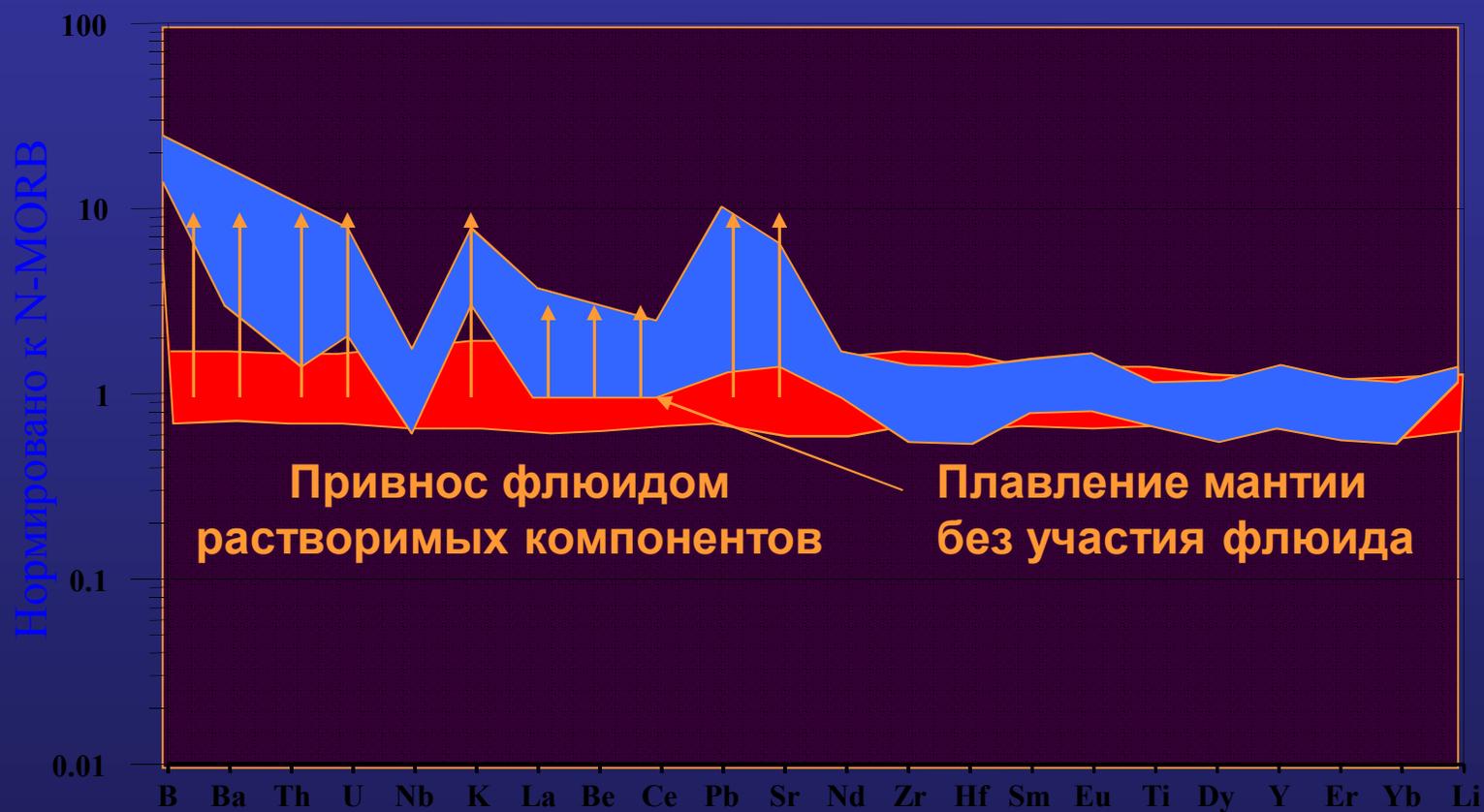


# Multi-Element Diagrams

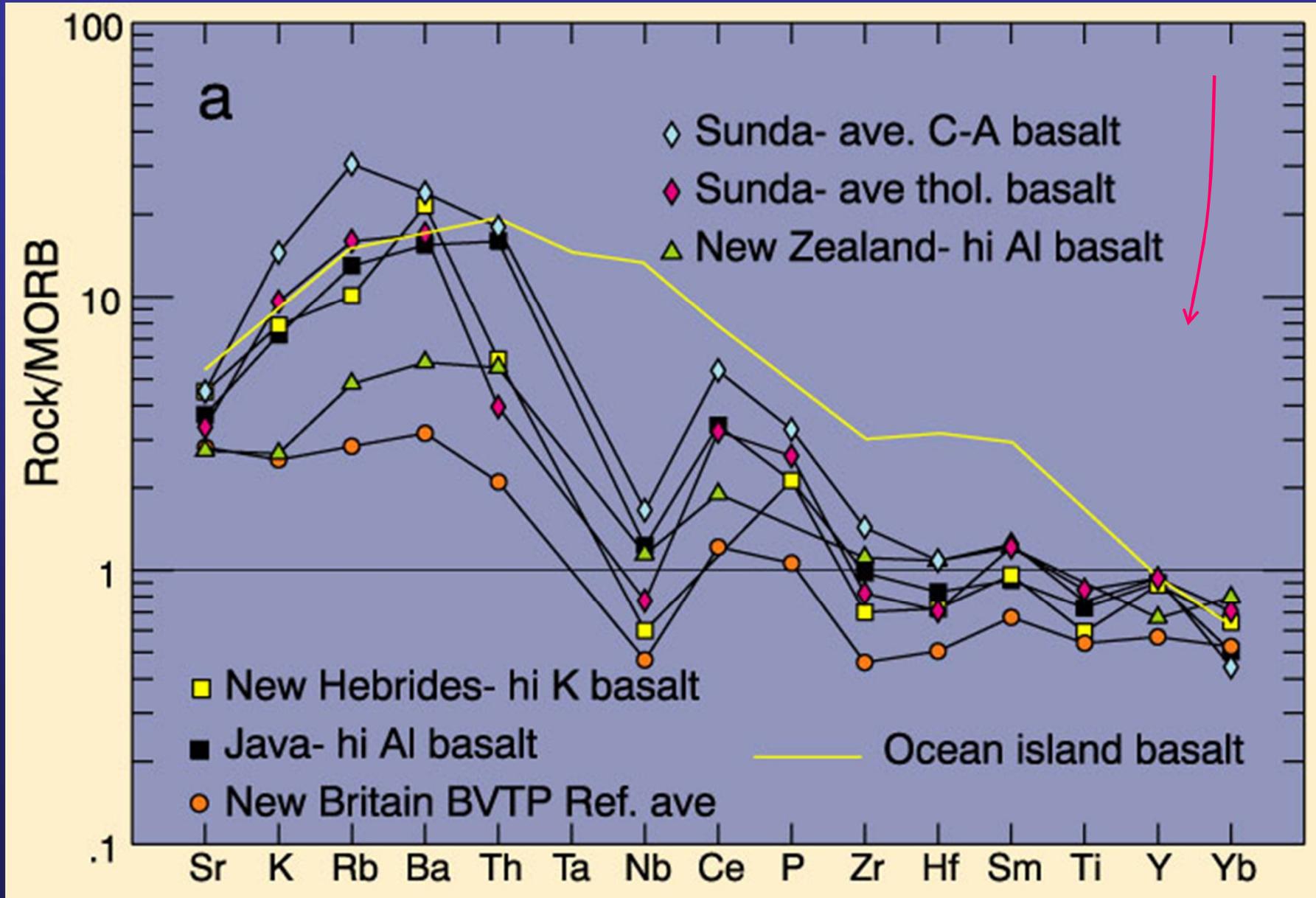


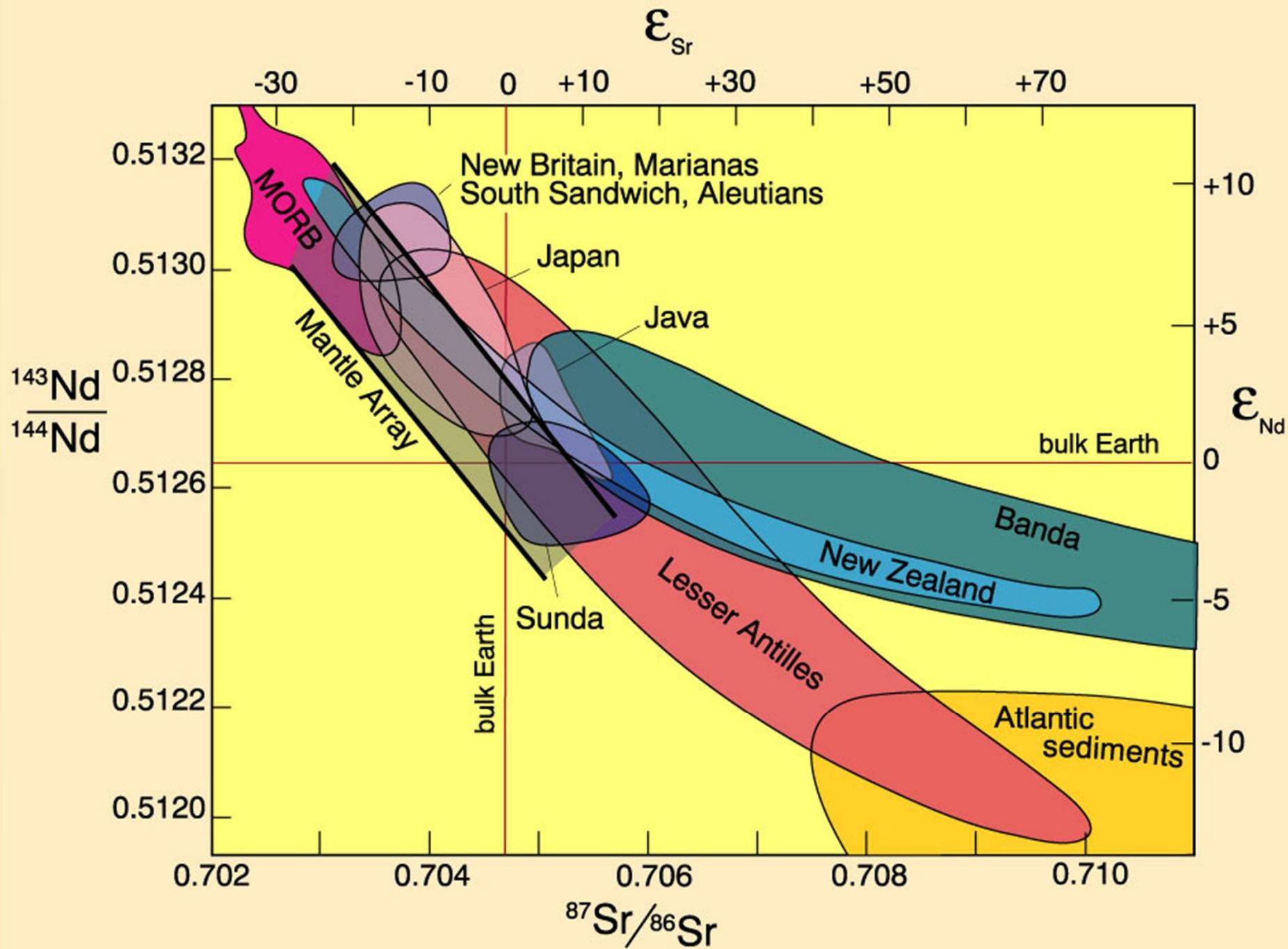
**Tectonic Setting from distinctive trace element patterns**

# Островодужная геохимическая специфика



# What is it about subduction zone setting that causes fluid-assisted enrichment?





$^{10}\text{Be}/\text{Be}_{\text{total}}$  vs.  $\text{B}/\text{Be}_{\text{total}}$  diagram ( $\text{Be}_{\text{total}} \approx ^9\text{Be}$  since  $^{10}\text{Be}$  is so rare)

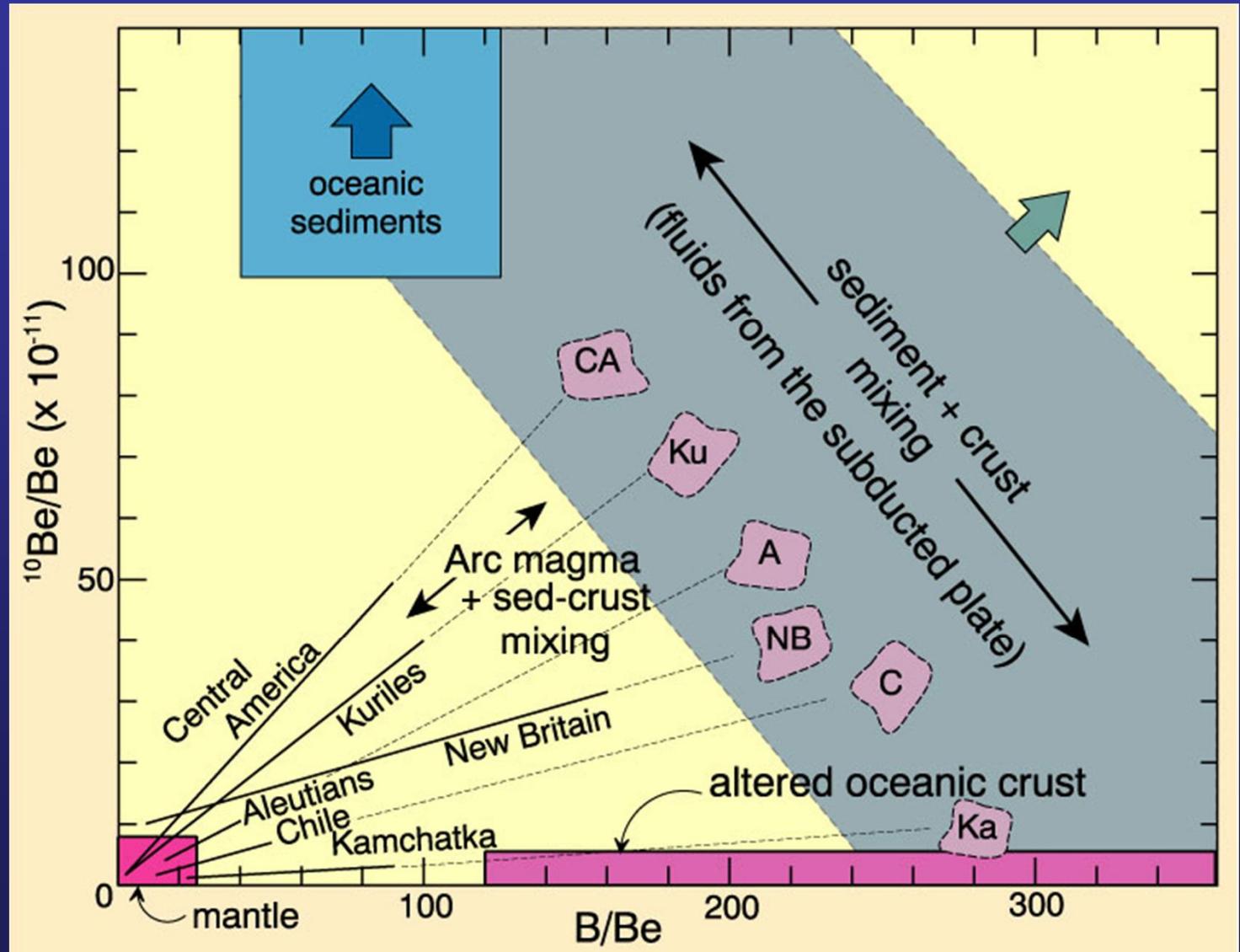
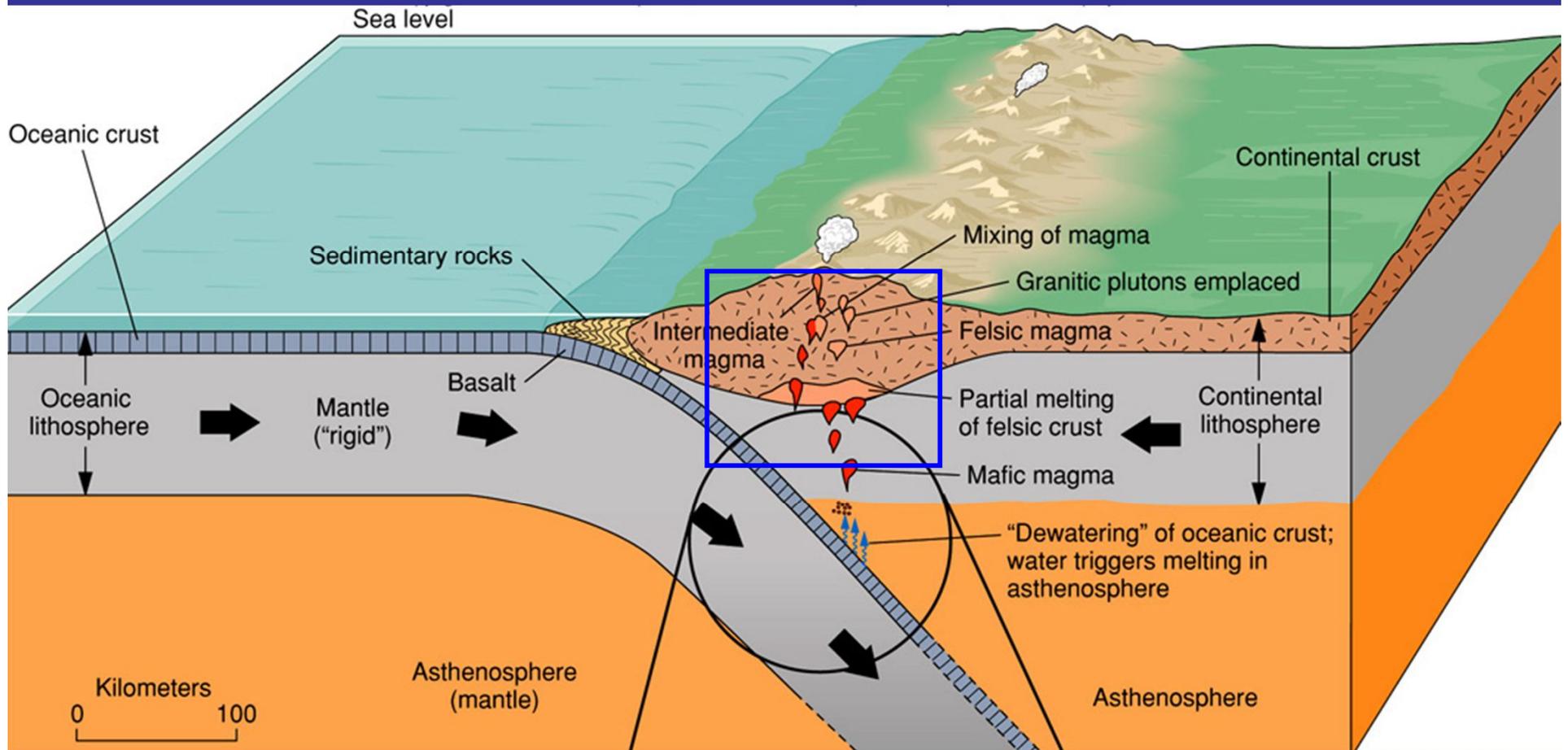


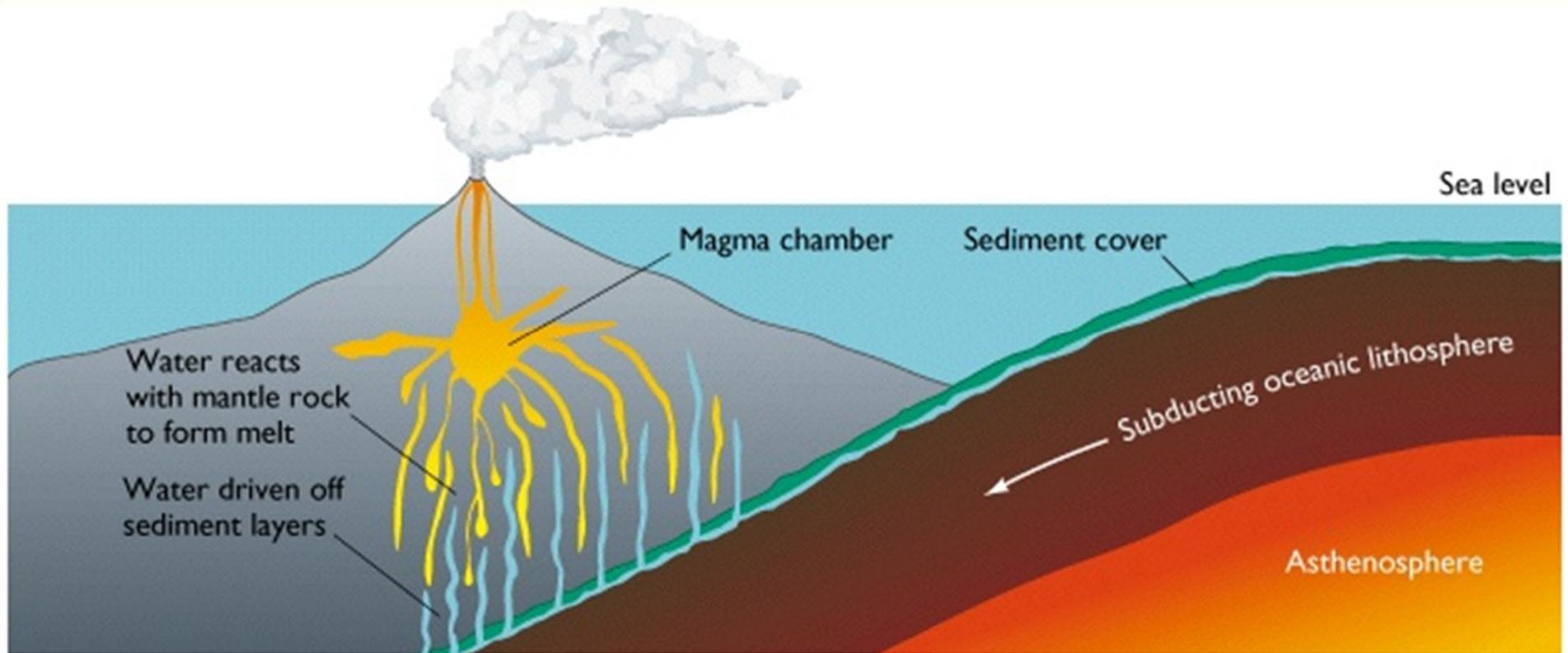
Figure 16-14.  $^{10}\text{Be}/\text{Be}(\text{total})$  vs.  $\text{B}/\text{Be}$  for six arcs. After Morris (1989) *Carnegie Inst. of Washington Yearb.*, 88, 111-123.

# Petrogenesis of Island Arc Magmas

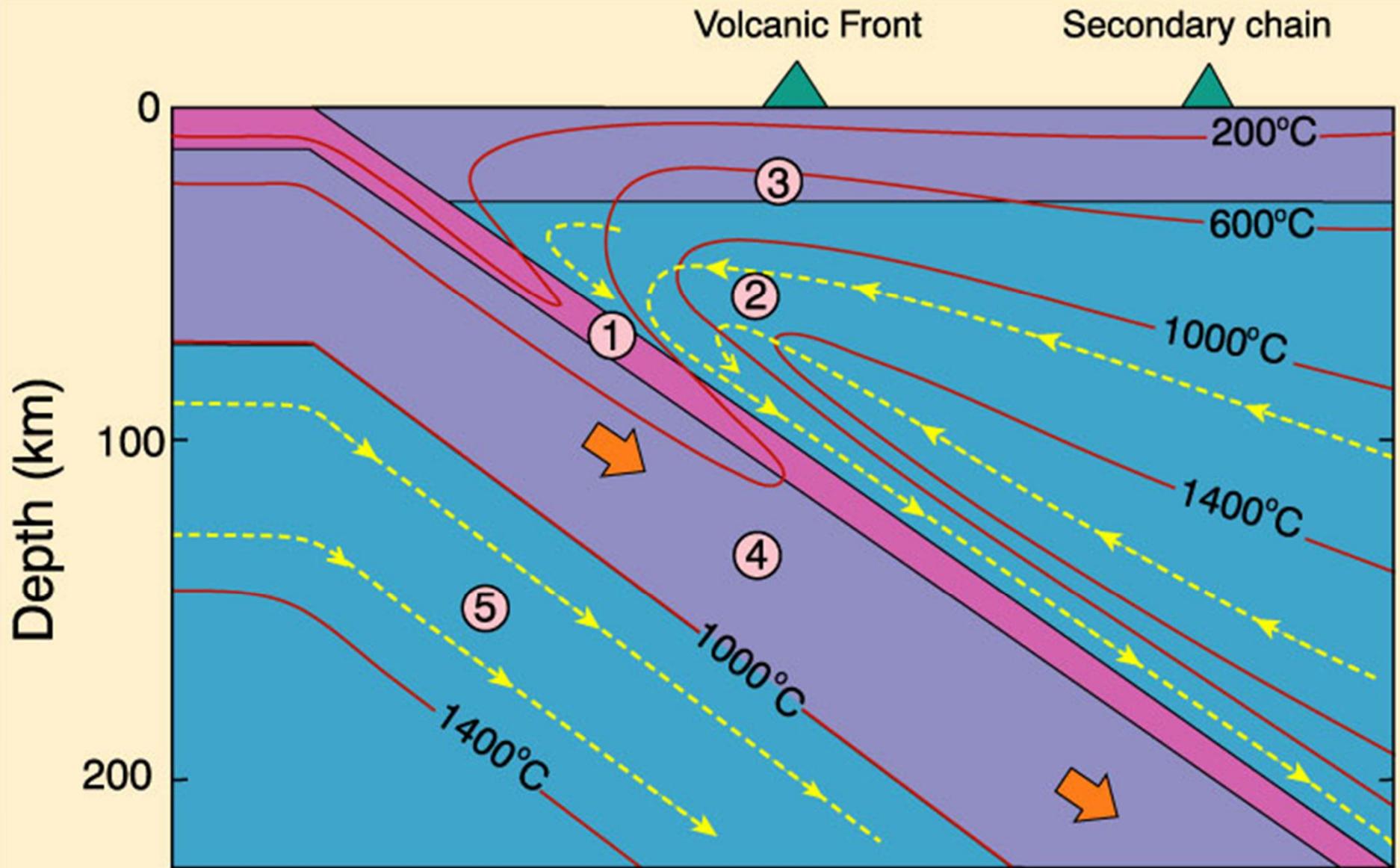


**“Flux melting” of mantle above subducting plate produces basaltic magmas**

# “Flux Melting” at a Subduction Zone



# Typical thermal model for a subduction zone

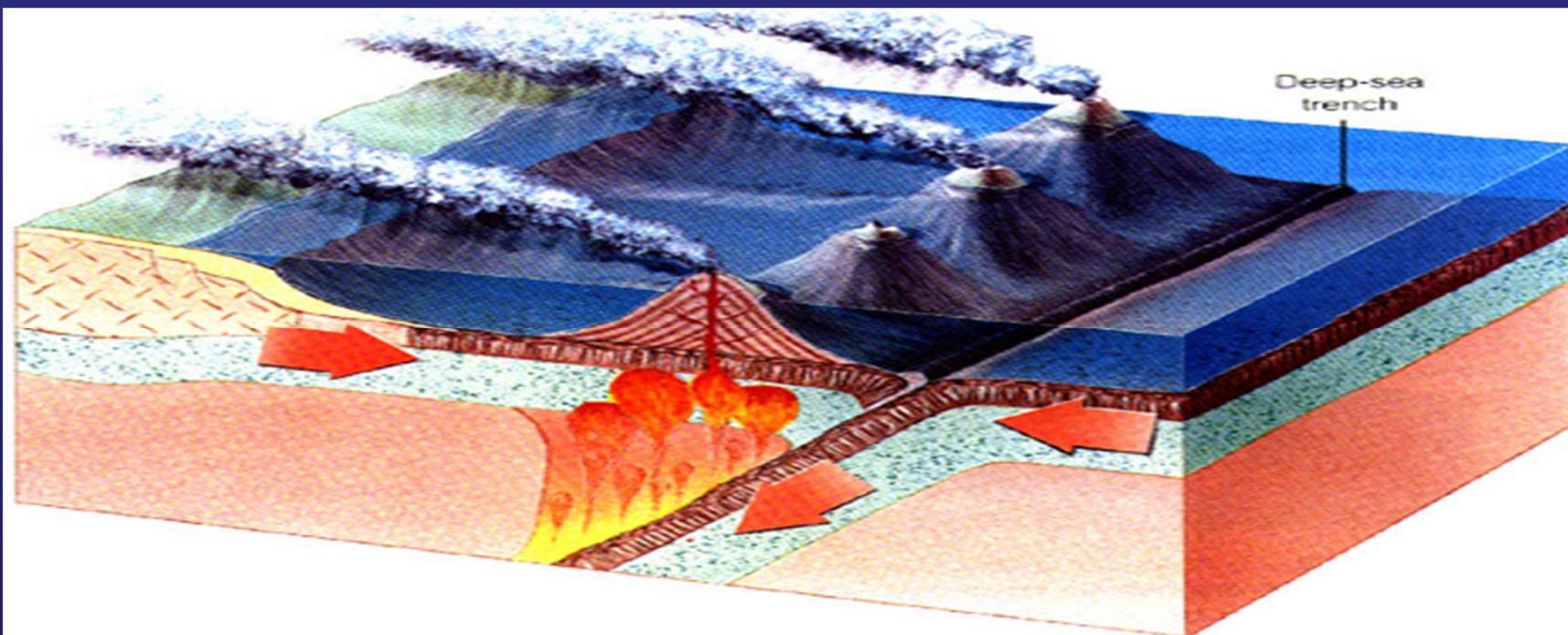


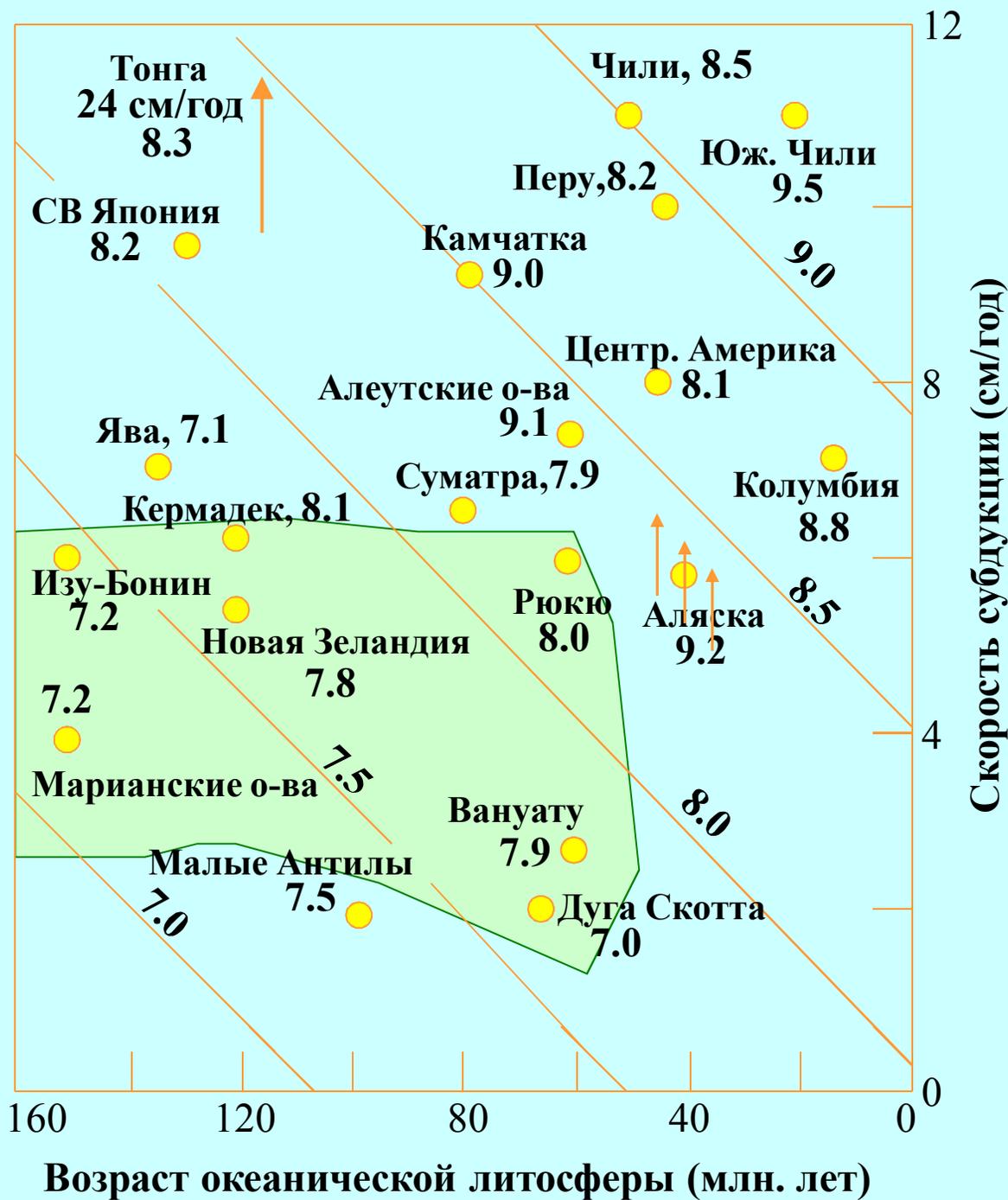
# Зональность островных дуг.

задуговые бассейны  
(Южно-Китайское море,  
Охотское море и т.д.)

Вулканический фронт

Преддуговые обстановки





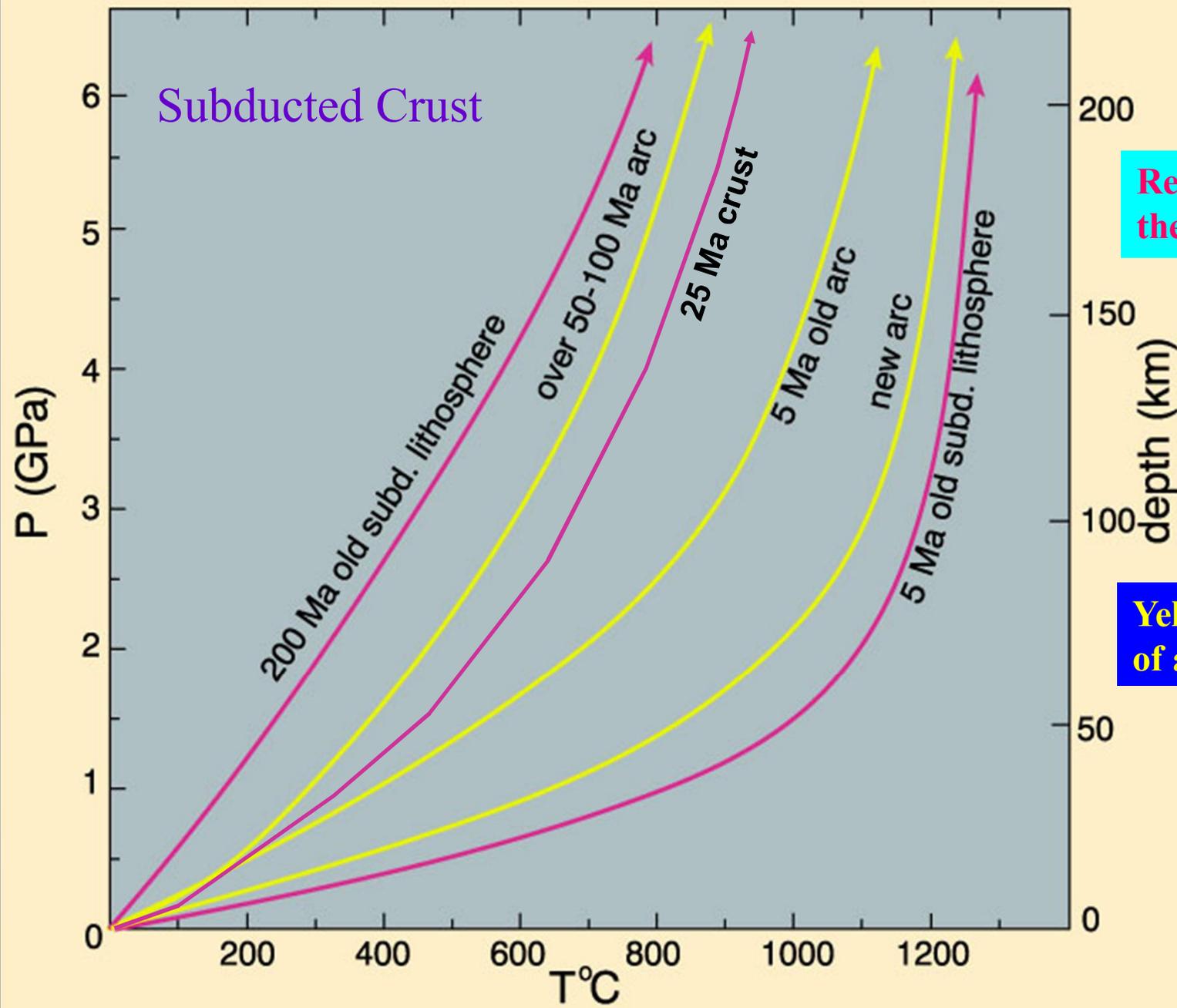
## Связь сейсмичности и скорости субдукции

По Stern, 2002

Чем моложе океаническая плита и выше скорость субдукции, тем выше сейсмичность и больше вероятность крупных землетрясений.

Чем старше океаническая плита, тем больше угол наклона сейсмофокальной зоны.

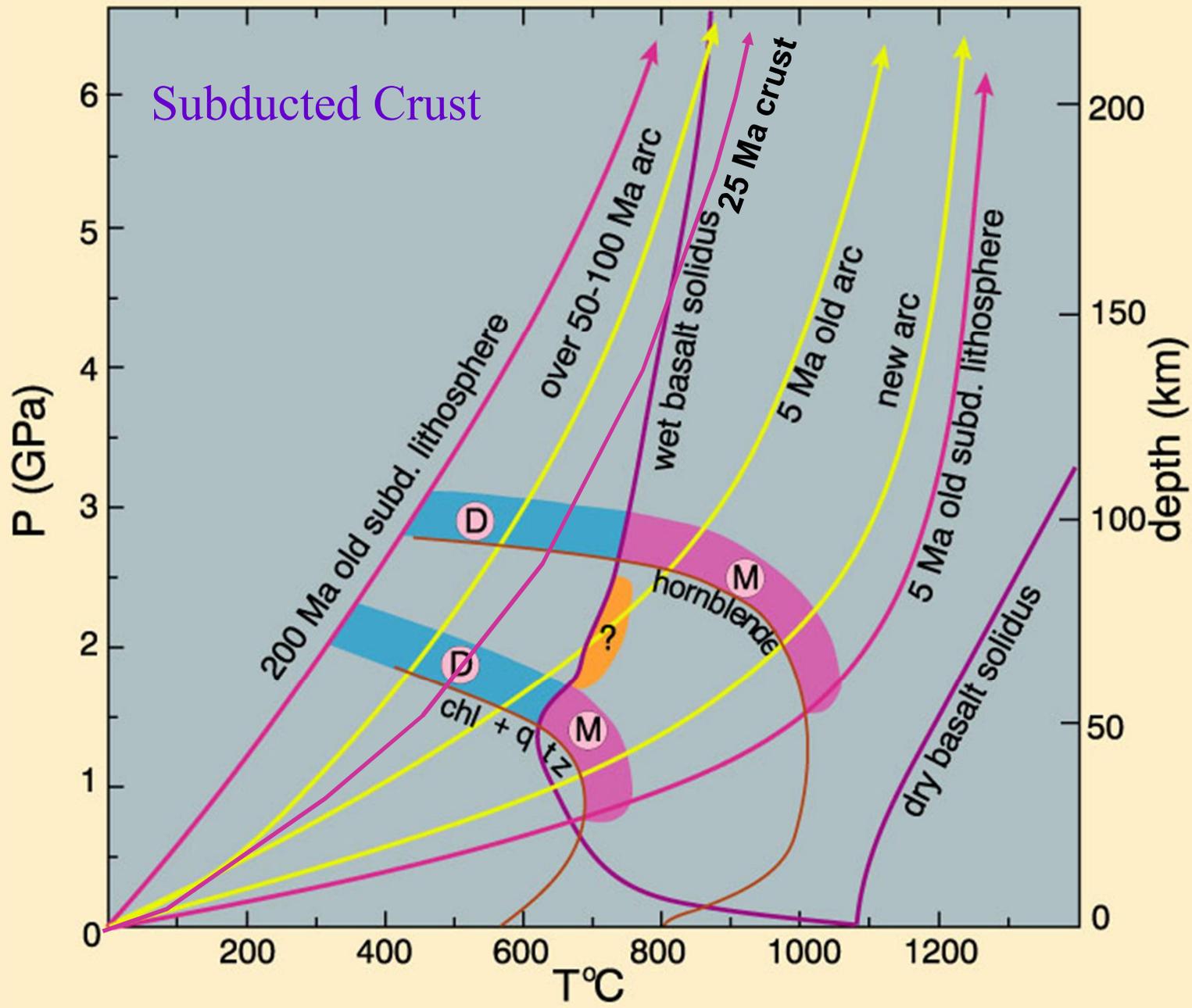
Образование задуговых бассейнов характерно для невысоких скоростей субдукции плит, возрастом более 50 млн. лет



Subducted Crust

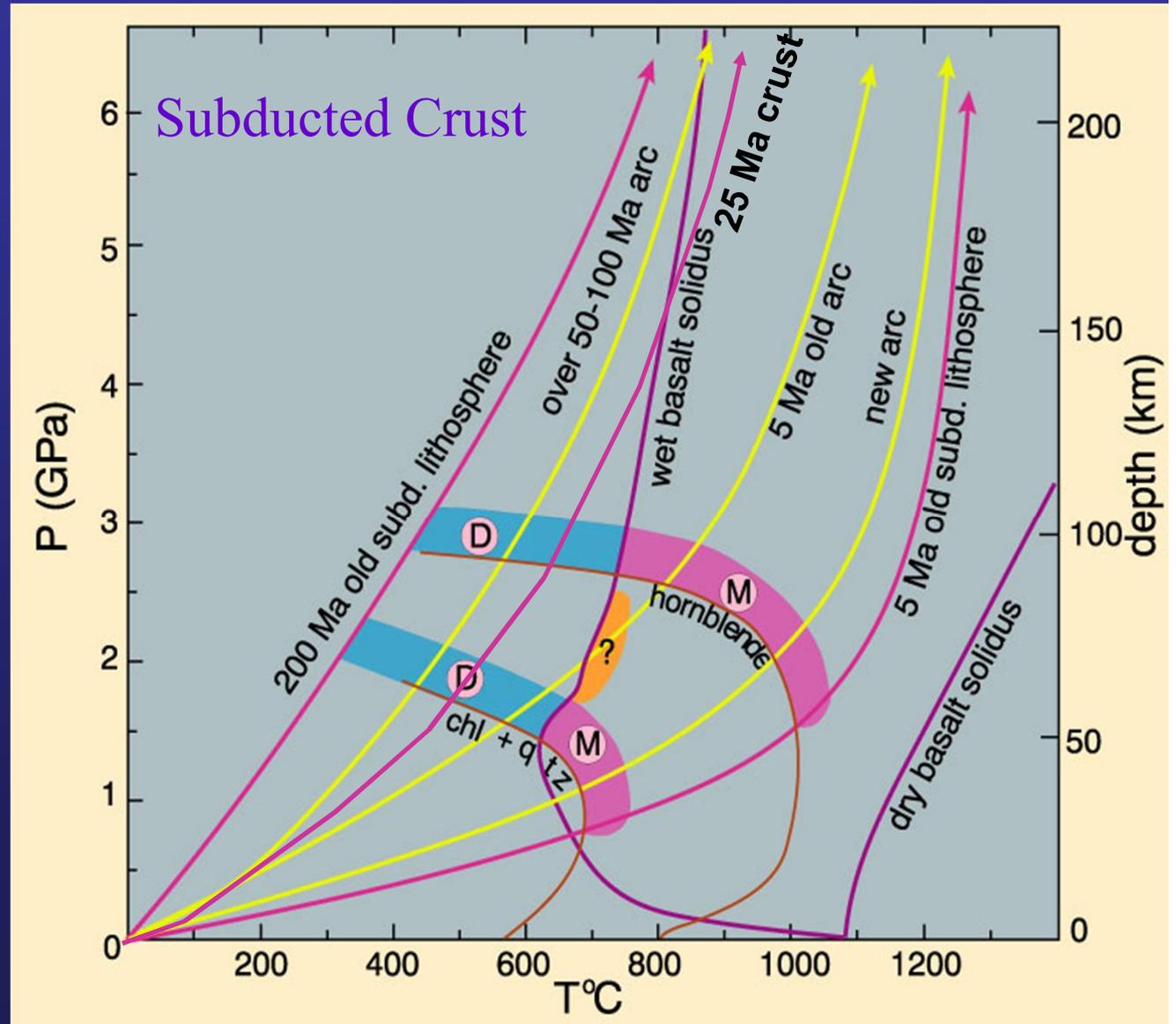
Red curves = age of the subducted slab

Yellow curves = age of arc system

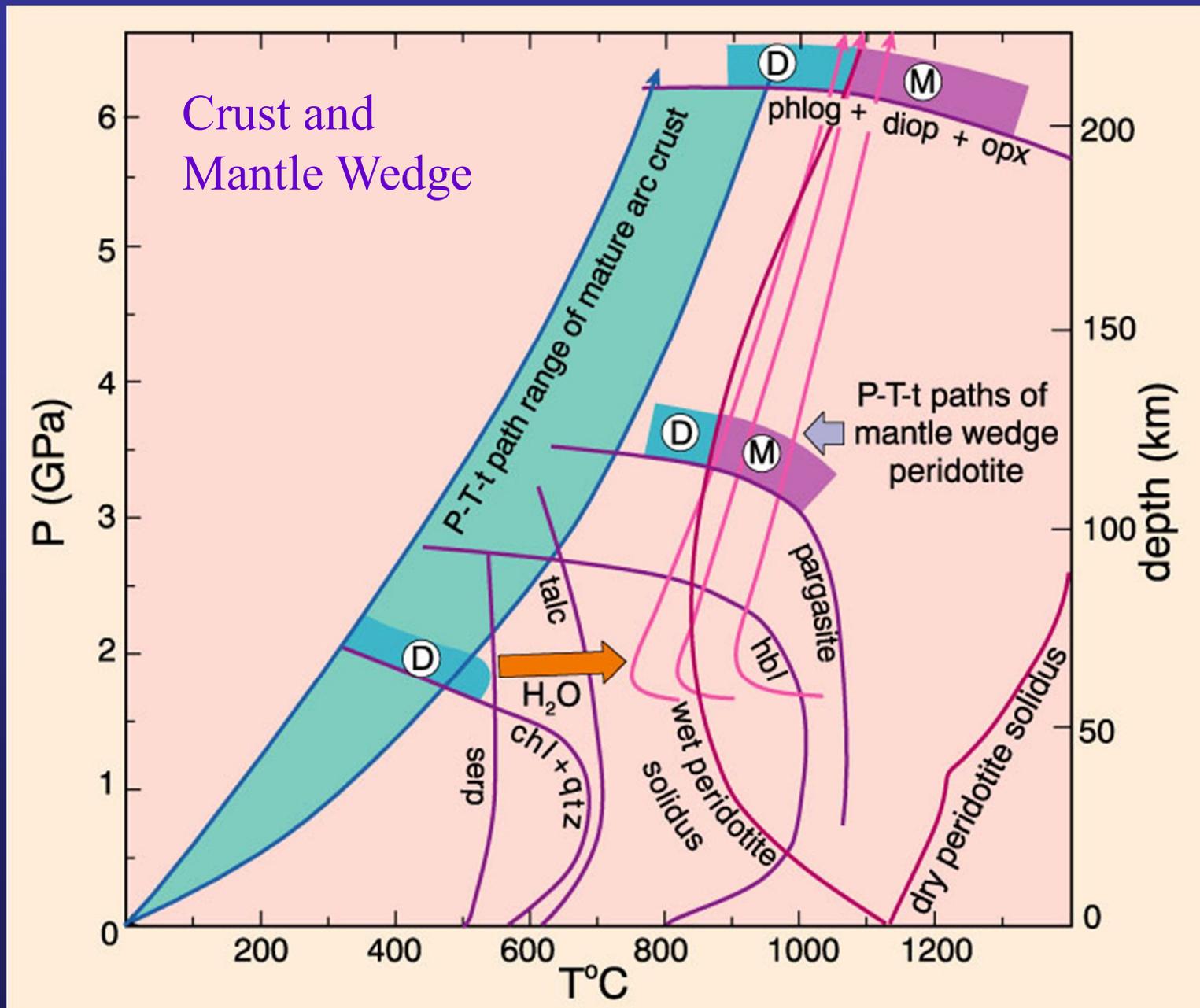


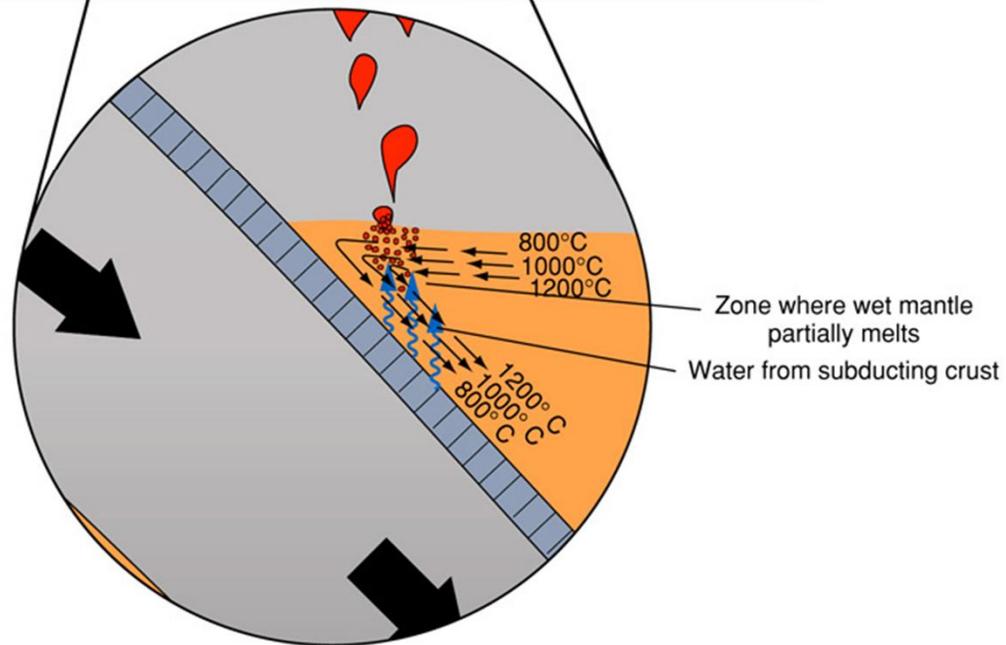
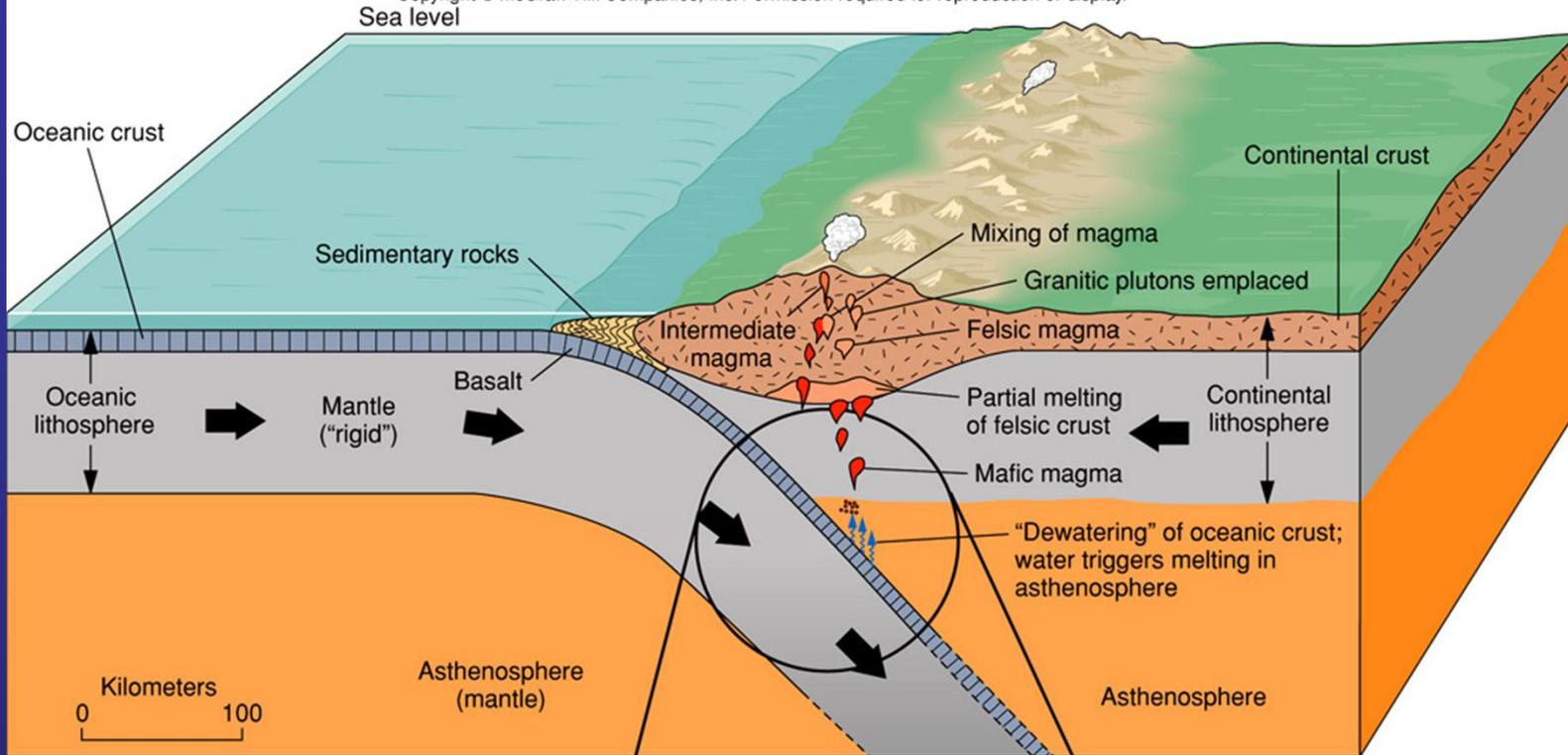
1. Dehydration (D) and liberation of water takes place (mature arcs with lithosphere > 25 Ma old)

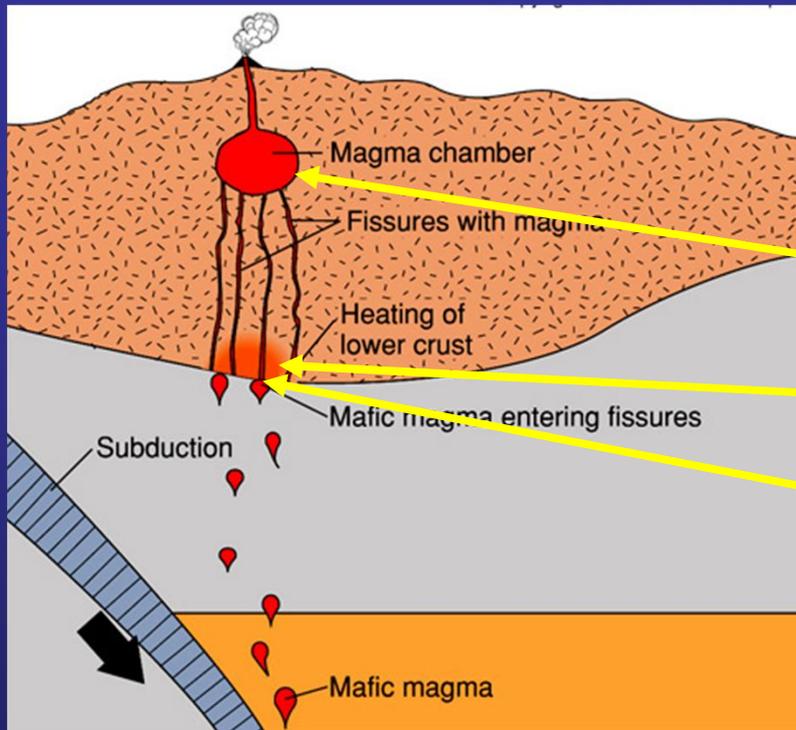
2. Slab melting (M) ONLY occurs in arcs subducting young lithosphere, as dehydration of chlorite and/or amphibole release water above the wet solidus to form Mg-rich andesites directly.



- Amphibole-bearing hydrated peridotite should melt at ~ 120 km







## Origin of Andesitic Magmas

### Modification of a Basaltic "Parent"

1. Crystallization in Magma Chambers

2. Assimilation of Continental Crust

3. Magma Mixing:

(basalt + rhyolite = andesite)

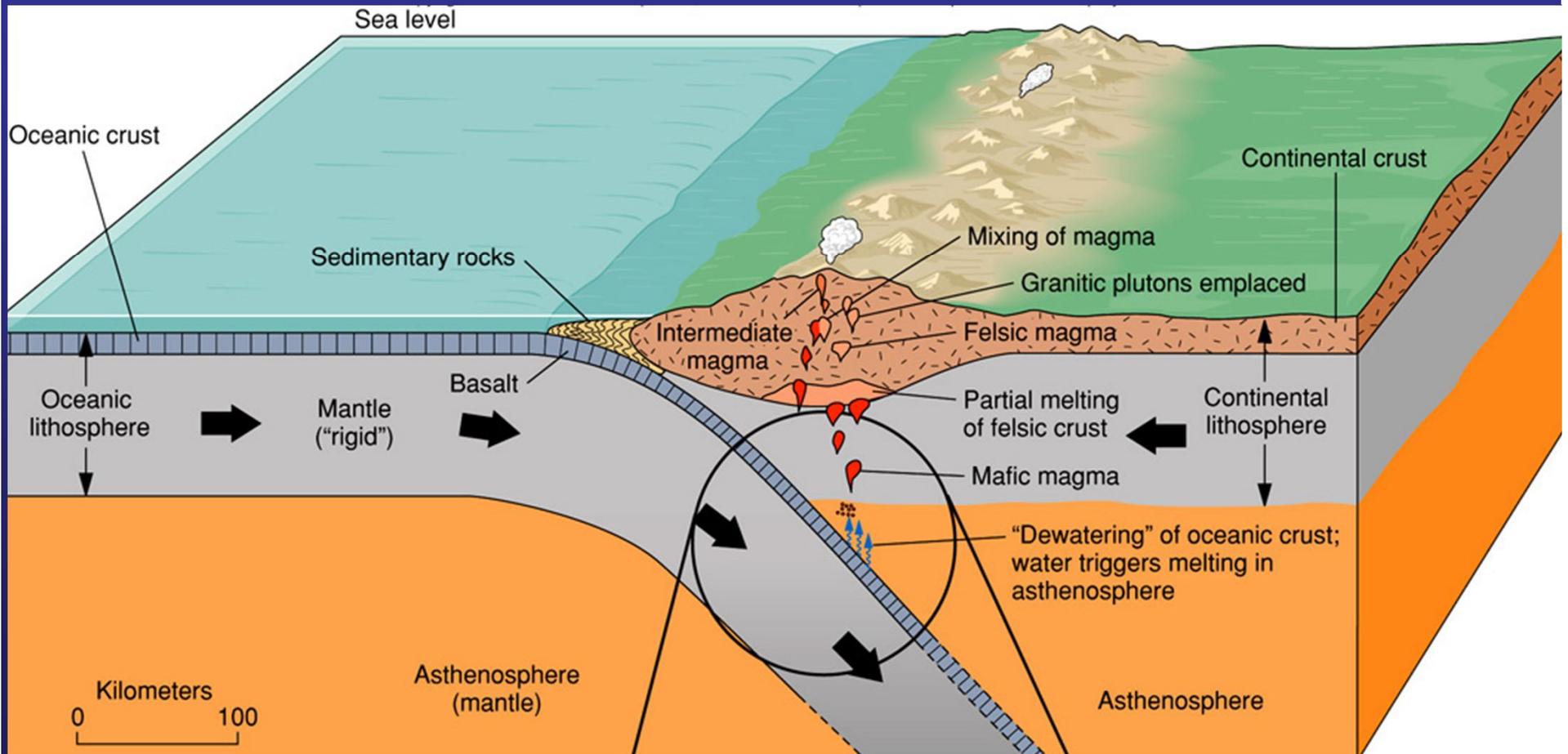
**AFC Process = Assimilation Fractional Crystallization**

# Андезитовый вулканизм

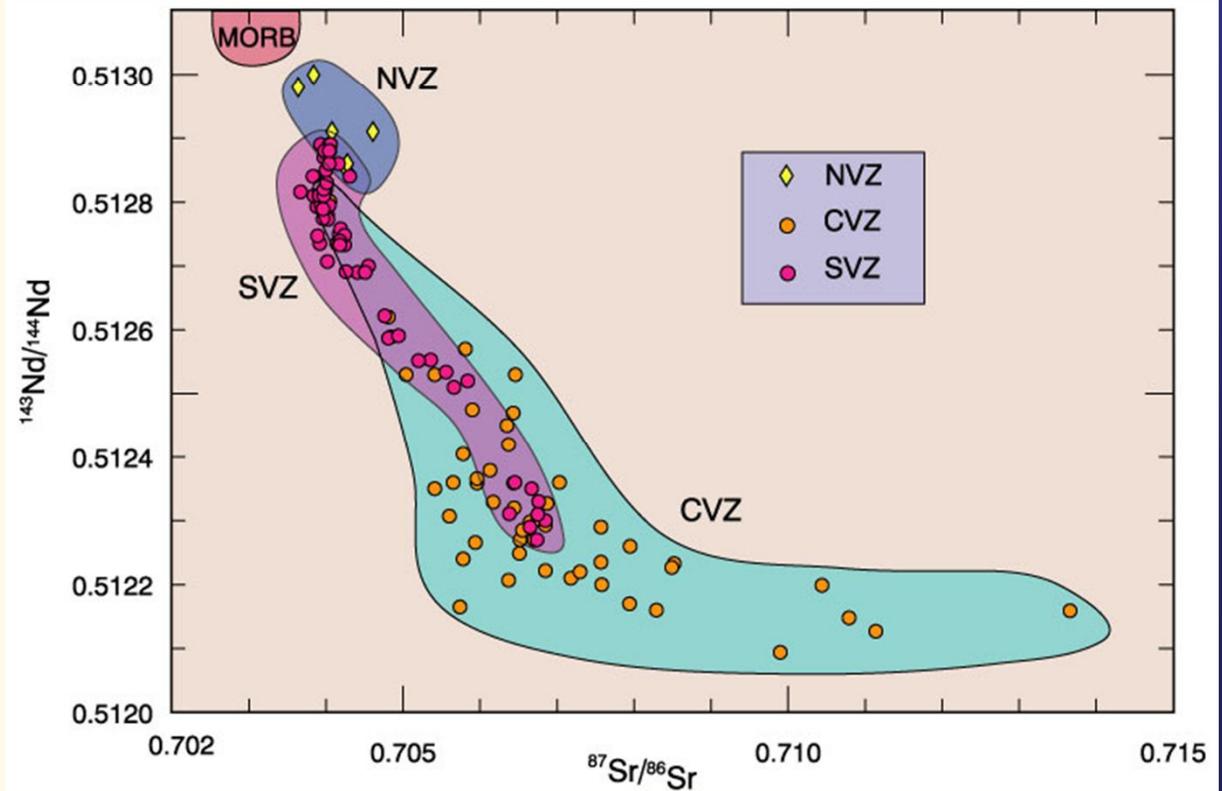
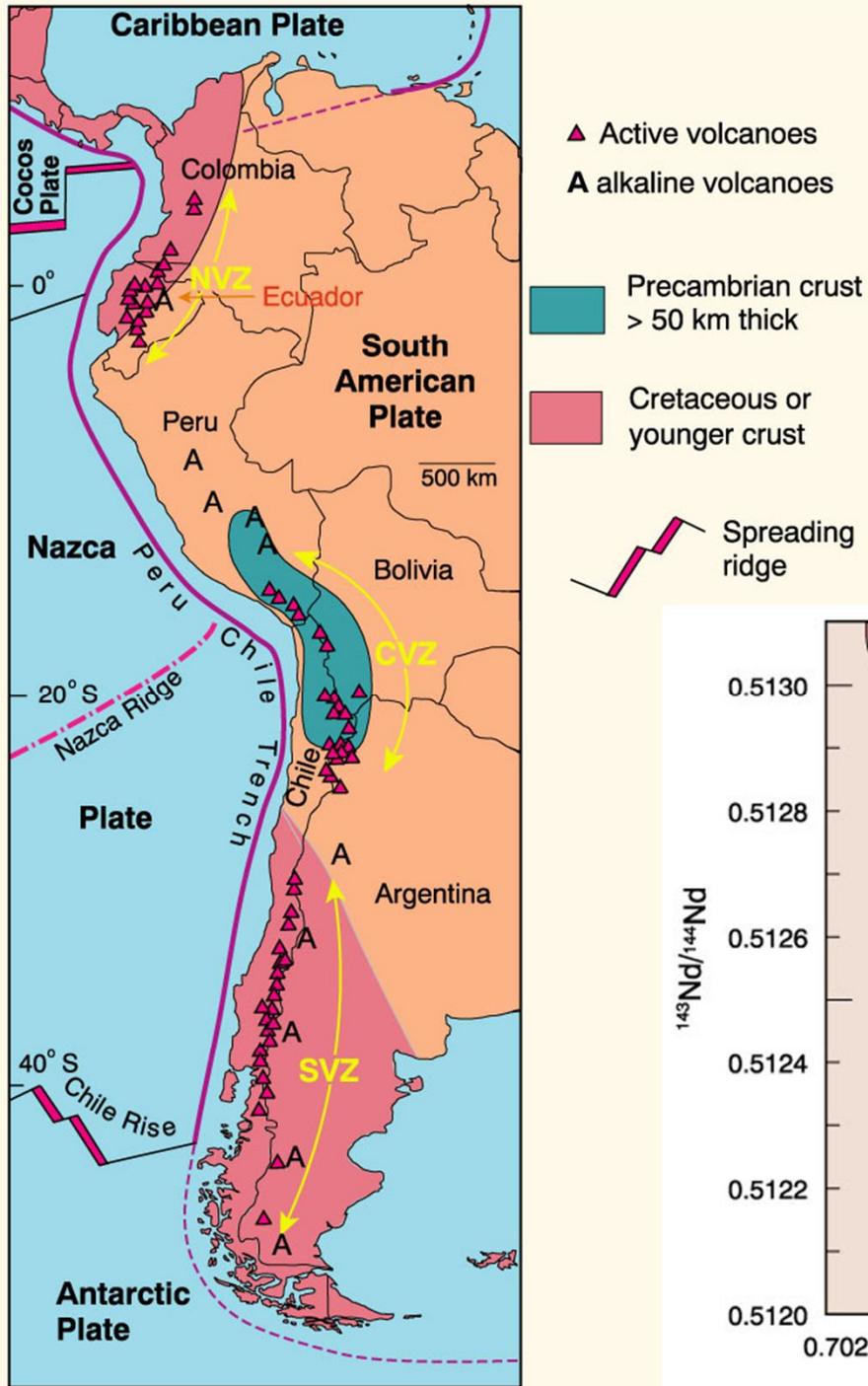
- Андезиты наиболее характерны для островных дуг. Их обилие вызывает многочисленные дискуссии по поводу механизмов их образования. Ключевая проблема островодужных андезитов заключается в том, что для мантийных выплавок они слишком богаты кремнеземом и маломагнезиальны, а для коровых, наоборот, содержат слишком мало кремнезема. По всей видимости, появление андезитов требует специфических условий, которые реализуются в пределах островодужной геотектонической обстановки.

- 1. Модель плавления гидратированной верхней мантии [например, Green, 1973]. Добавление воды при умеренных давлениях в системе CMAS смещает составы выплавов в более кремнеземистую сторону по сравнению с базальтами. Однако, образовавшиеся расплавы должны быть высокомагнезиальными, что не соответствует природным андезитам.
- 2. Частичное плавление коровых пород [например, Beard&Longfren, 1991] .
- 3. Дифференциацию исходных базальтовых магм наиболее часто привлекают для объяснения происхождения андезитовых серий .[например, Tatsumi, 1995]
- 4. Смешение между базальтами и дацитами [Anderson, 1976; Sakyama, 1981].
- 5. Смешение между базальтами и коровыми расплавами [Eichelberger, 1978]
- 6. Для образования некоторых андезитов (адакитов) привлекают плавление субдуцированной плиты [Defant&Drummond, 1990]

# Continental Arc Magmatism

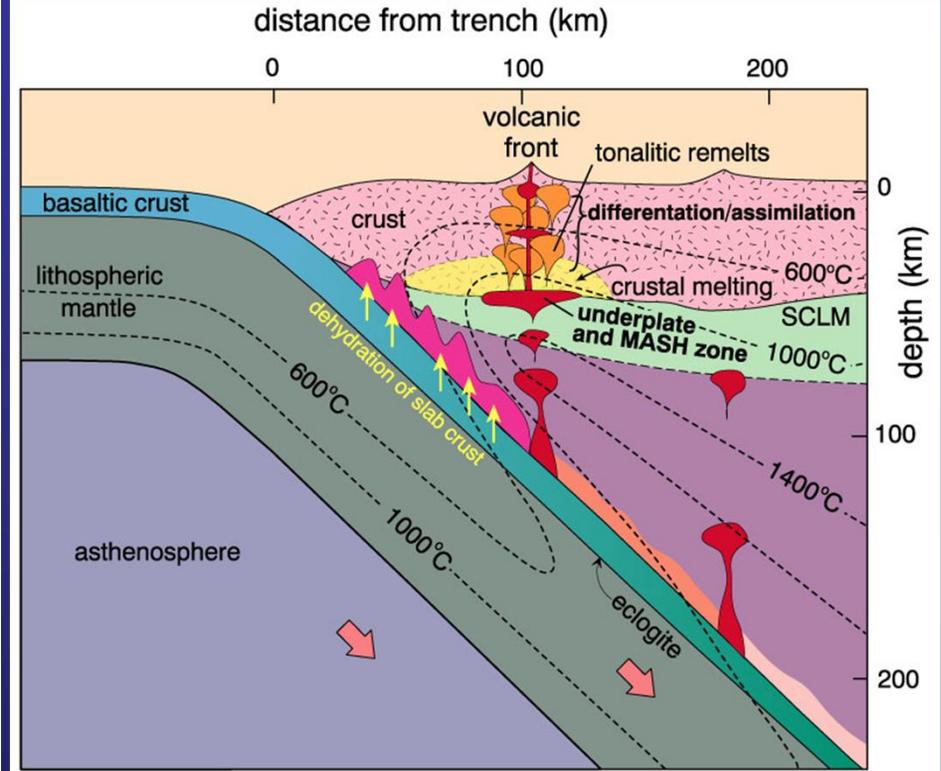
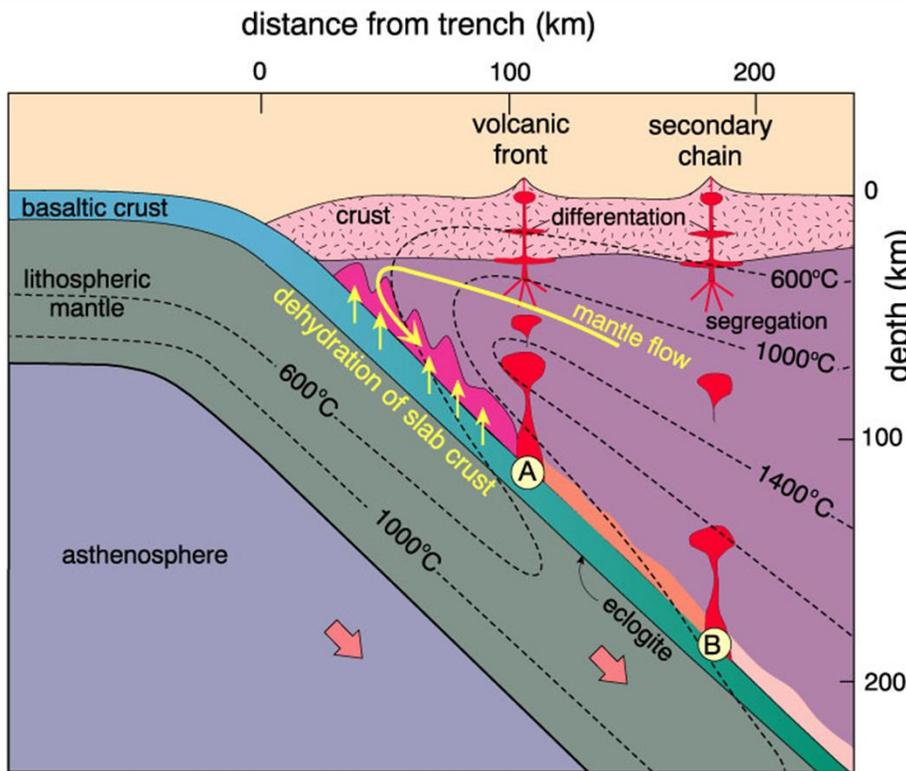


# Andean Arc



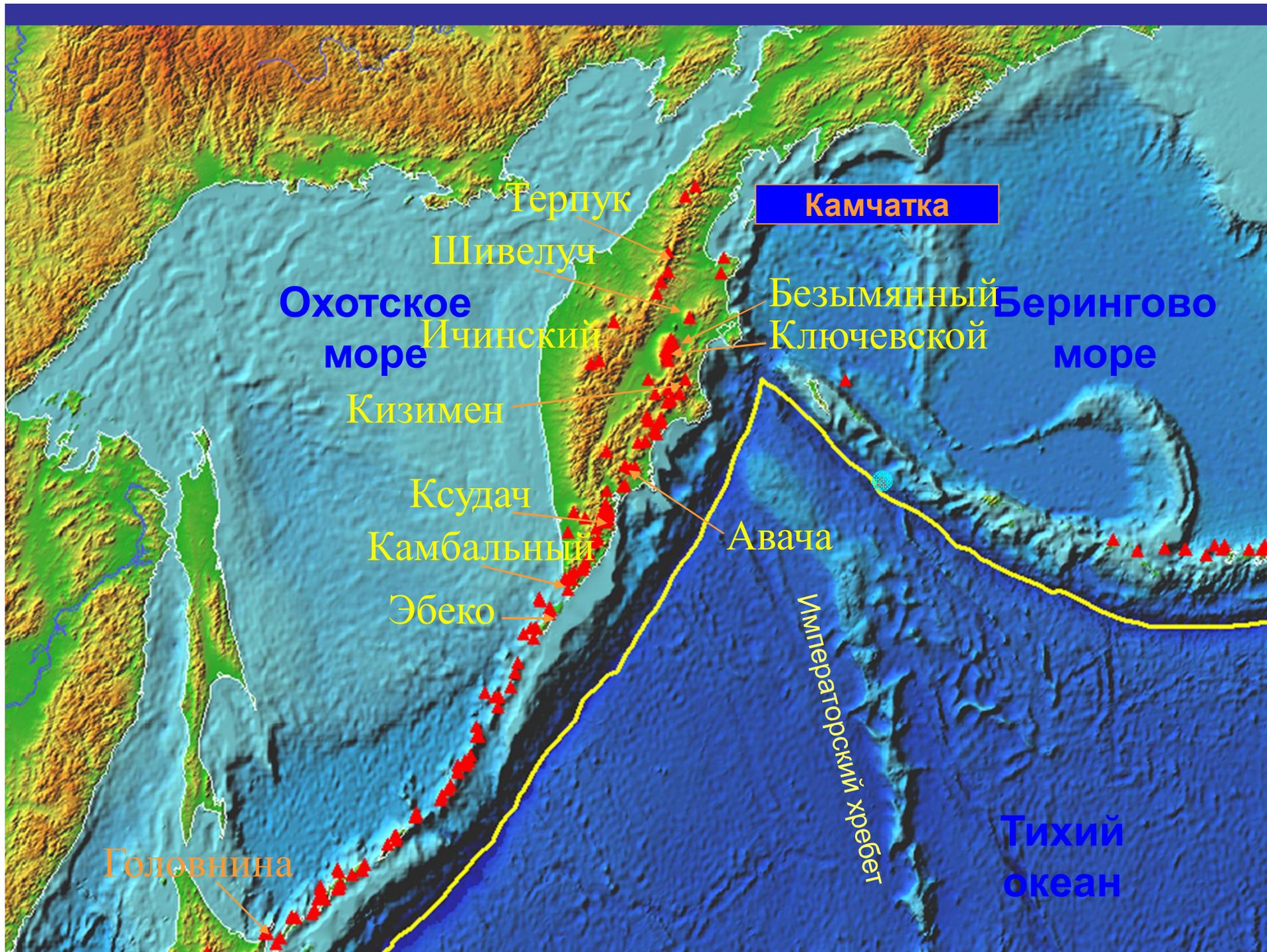
# Oceanic Island Arcs

# Continental Arcs



Basaltic andesite  
Less crustal influence

More silicic rocks,  
intrusive suites  
more crustal influence



# Вулканические пояса

- Неоген
- Четвертичный

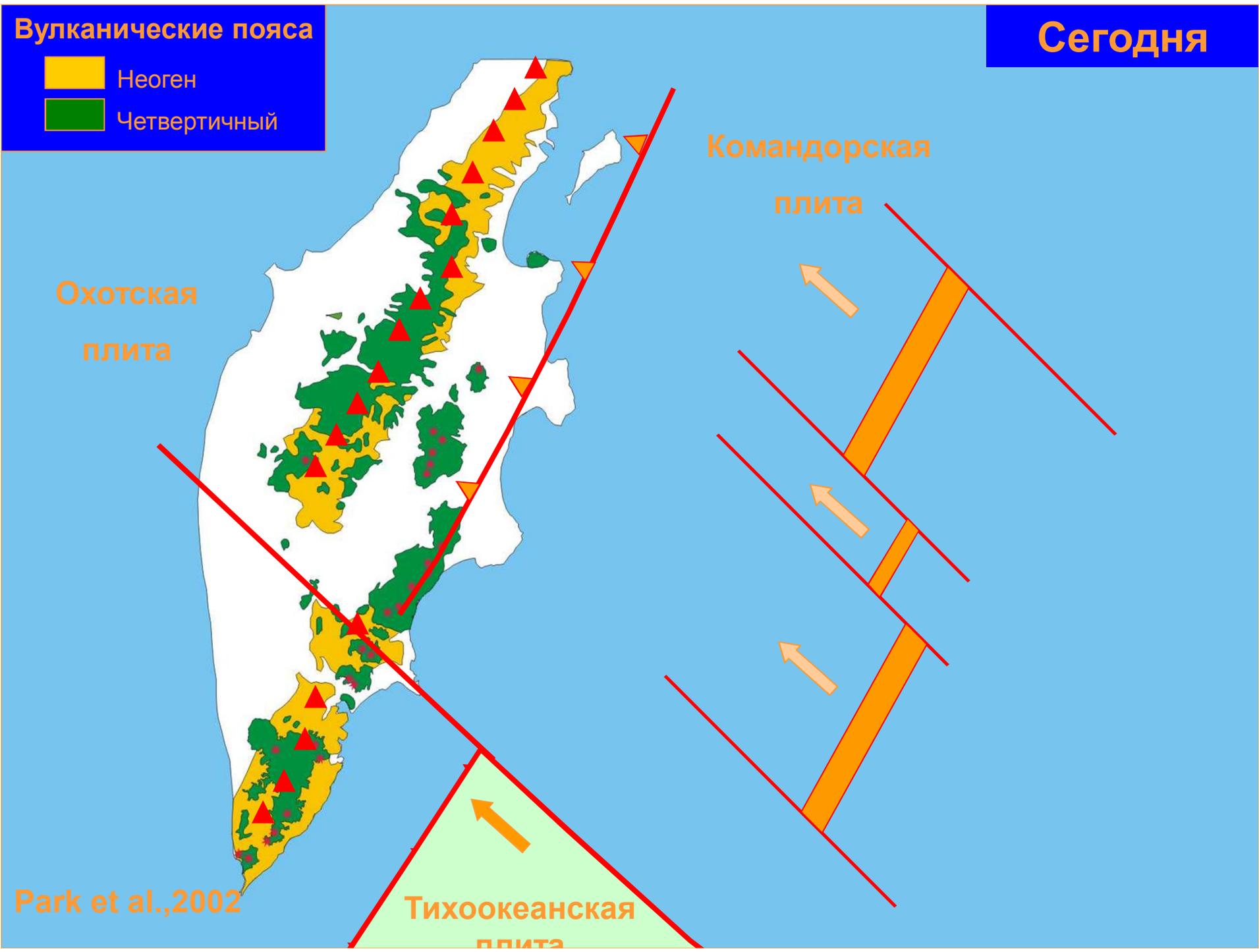
# Сегодня

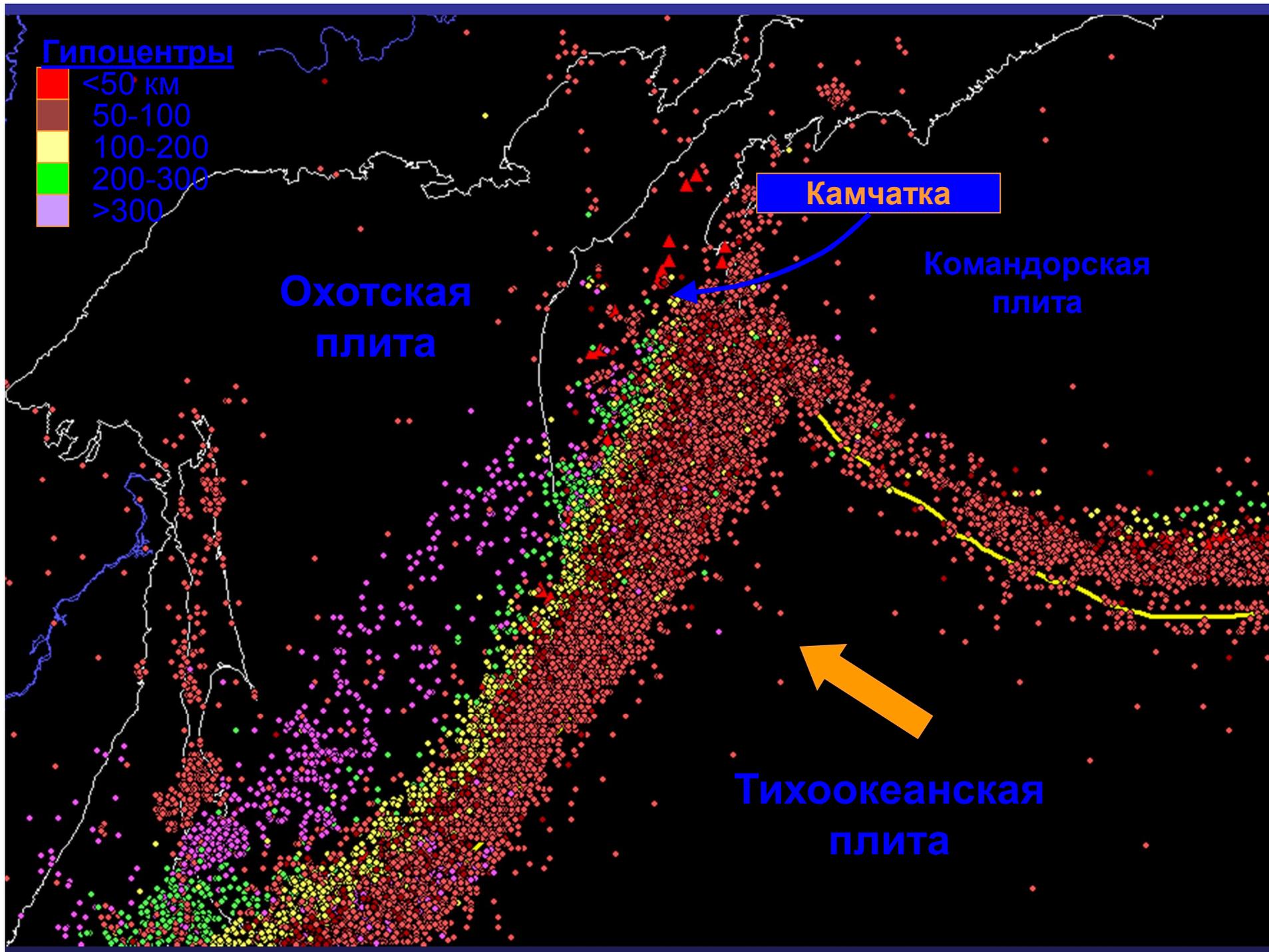
Охотская  
плита

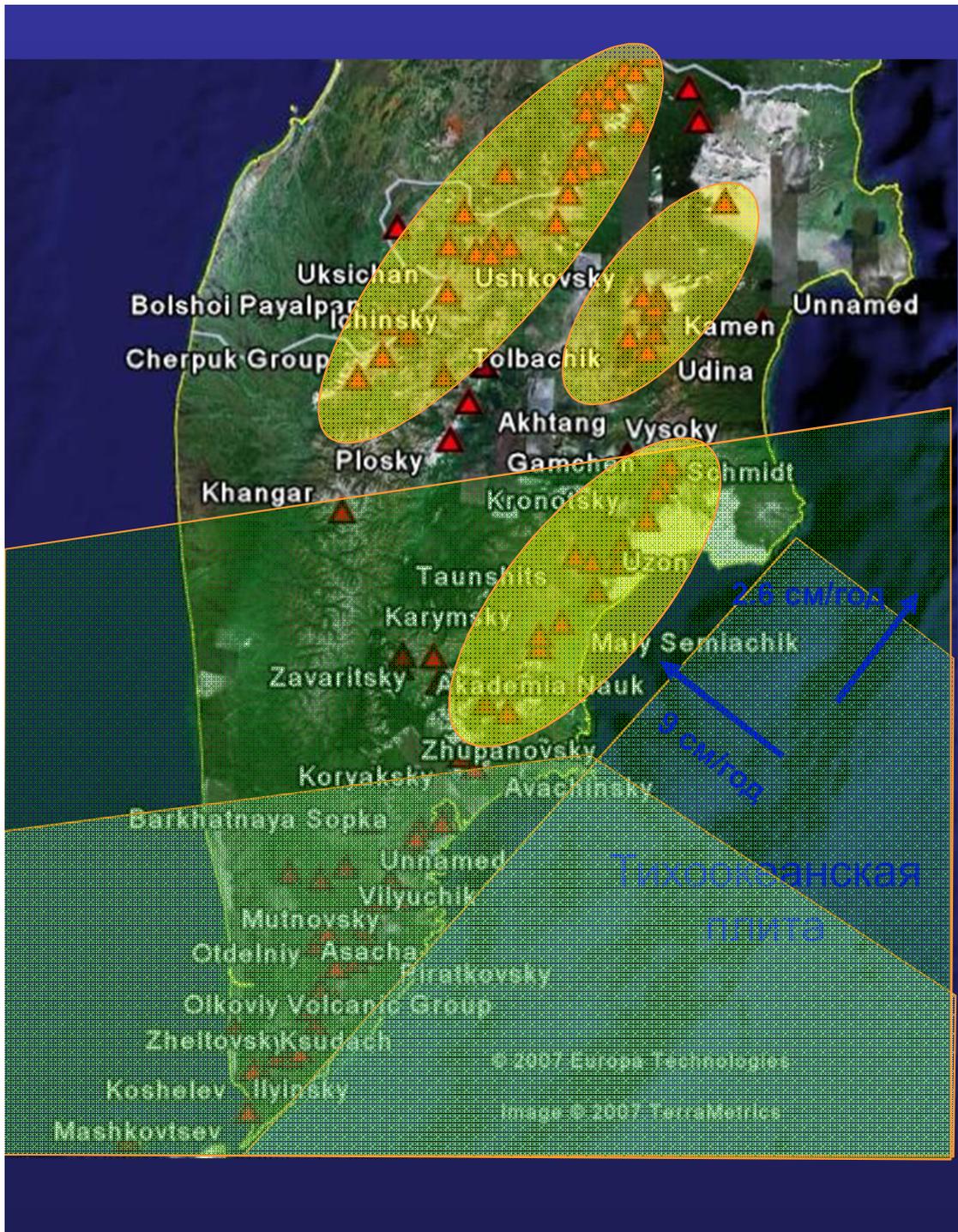
Командорская  
плита

Тихоокеанская  
плита

Park et al., 2002







За 15 млн. лет Алеутская дуга сдвинулась на 400 км на север, т.е. ~2.6 см в год.

Для попадания субдуцированной плиты под вулканический фронт необходимо около 2.5 млн. лет

Для создания современной сейсмофокальной зоны на уровне Шипунского мыса достаточно 5 млн. лет

**Настоящее время**

# Распределение рассеянных элементов в различных типах островодужных базальтов

