

Общая тема:

АКТИВНЫЕ ОКРАИНЫ КОНТИНЕНТОВ

Лекция № 24

**Геологическое строение
и общие особенности магматизма
островных дуг**

Вспоминаем Геодинамику!

Границы главных литосферных плит

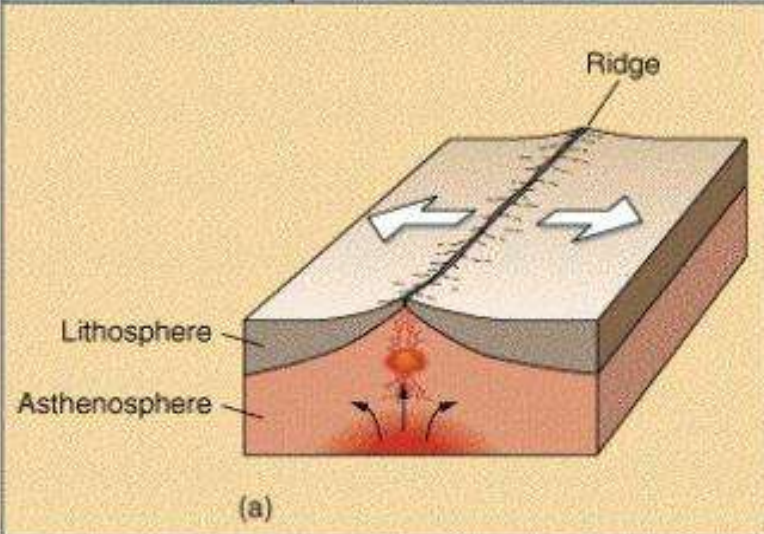
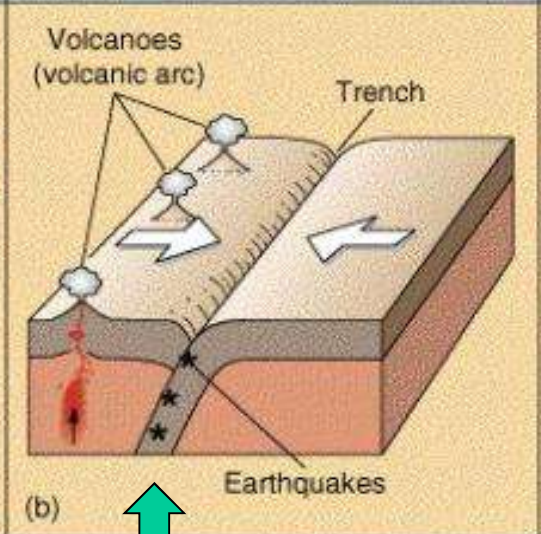
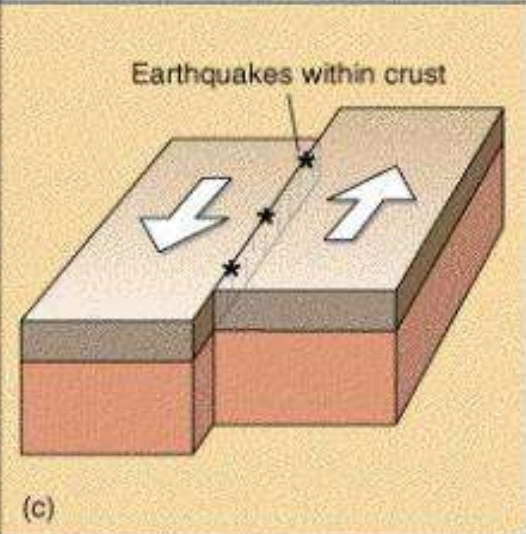


**Направления движения
литосферных плит**



Главные типы границ литосферных плит

Type of Margin	Дивергентные	Конвергентные	Трансформные
Motion	Spreading	Subduction	Lateral sliding
Effect	Constructive (oceanic lithosphere created)	Destructive (oceanic lithosphere destroyed)	Conservative (lithosphere neither created or destroyed)
Topography	Ridge/Rift	Trench	No major effect
Volcanic activity?	Yes	Yes	No

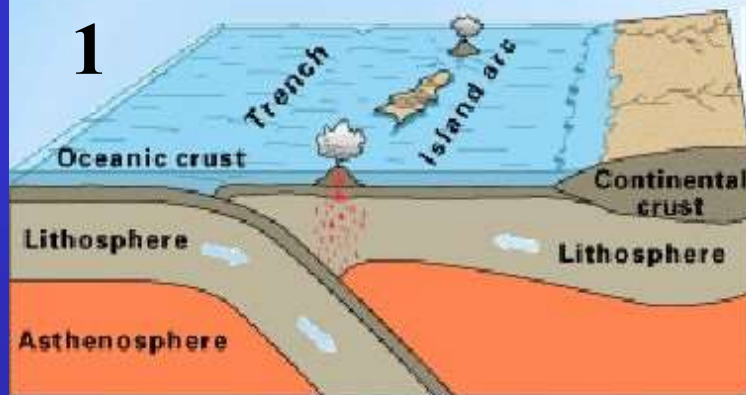
 (a)	 (b)	 (c)
---	--	---



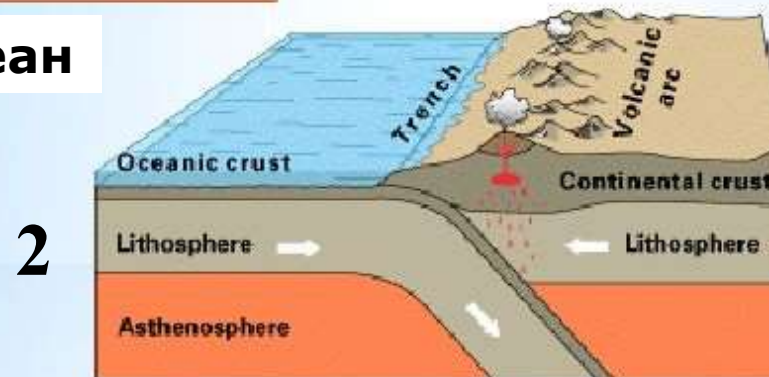
Сегодня объектом нашего интереса будут именно конвергентные границы...

Три вида конвергентных границ,
характеризующих три типа коллизий
океанических и континентальных плит

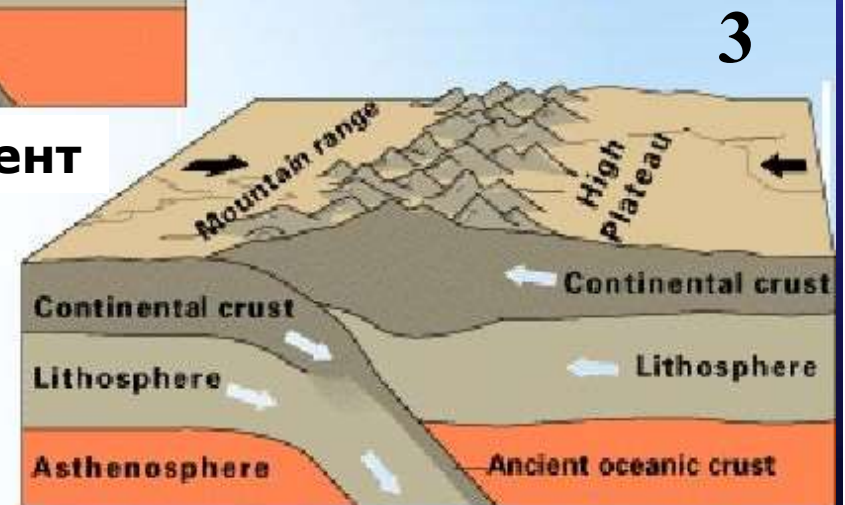
Мы будем рассматривать формации,
представляющие первые два режима
так называемых **активных окраин**
континентов.



Океан - океан



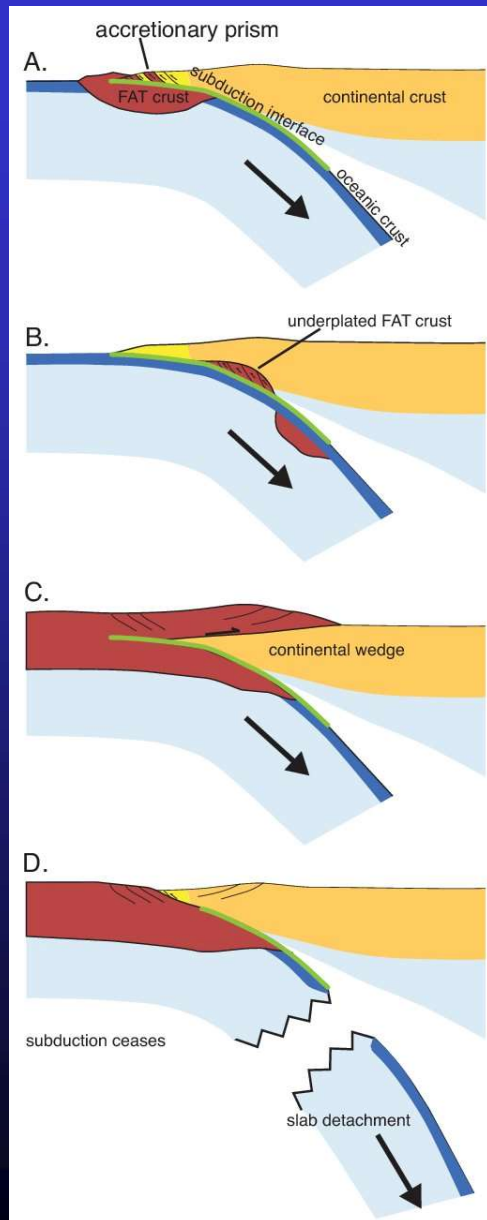
Океан - континент



Континент - континент

В действительности, вариантов
подобных коллизий больше...

... главным образом, за счет разнообразия аккреционных процессов



Solid Earth, 5, 1243–1275, 2014
www.solid-earth.net/5/1243/2014/
 doi:10.5194/se-5-1243-2014
 © Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.



Future accreted terranes: a compilation of island arcs, oceanic plateaus, submarine ridges, seamounts, and continental fragments

J. L. Tetreault¹ and S. J. H. Buiter^{1,2}

¹Geodynamics Team, Geological Survey of Norway (NGU), Trondheim, Norway

²Centre for Earth Evolution and Dynamics, University of Oslo, Oslo, Norway

Figure 1. Cartoon schematics of FAT crust in subduction zones for four accretionary processes: (a) accretion in the accretionary prism, (b) subcretion, (c) flake tectonics, and (d) collision. In (a), sediments and crustal units from the subducting oceanic plate and FAT are scraped off and accumulated in the accretionary prism in front of the fore-arc. The majority of the FAT crust is subducted. Subcretion (b) occurs below the accretionary prism, as crustal slices of the FAT are sheared and thrust onto the overriding continent. (c) Flake tectonics is the accretionary process where FAT crust is obducted onto the overriding continent, likely over a thick, strong prism of metasediments. (d) Collision occurs when subduction ceases and the subducting slab detaches. The subducting slab is then thrust onto the overriding continent, creating a collision zone.

Но прежде обсудим, чем же активные окраины континентов отличаются от пассивных...

Типы континентальных окраин



```
graph TD; A[Типы континентальных окраин] --> B[Пассивные]; A --> C[Активные];
```

Пассивные

Характерны для молодых океанов, поскольку сформировались при распаде суперконтинента Пангея, возраст от 200 млн. лет до эоцена, имеют внутриплитное положение

Активные

Наличие активной зоны субдукции, повышенная сейсмичность, активная магматическая деятельность, складчато-надвиговые деформации и метаморфизм

Положение современных пассивных окраин

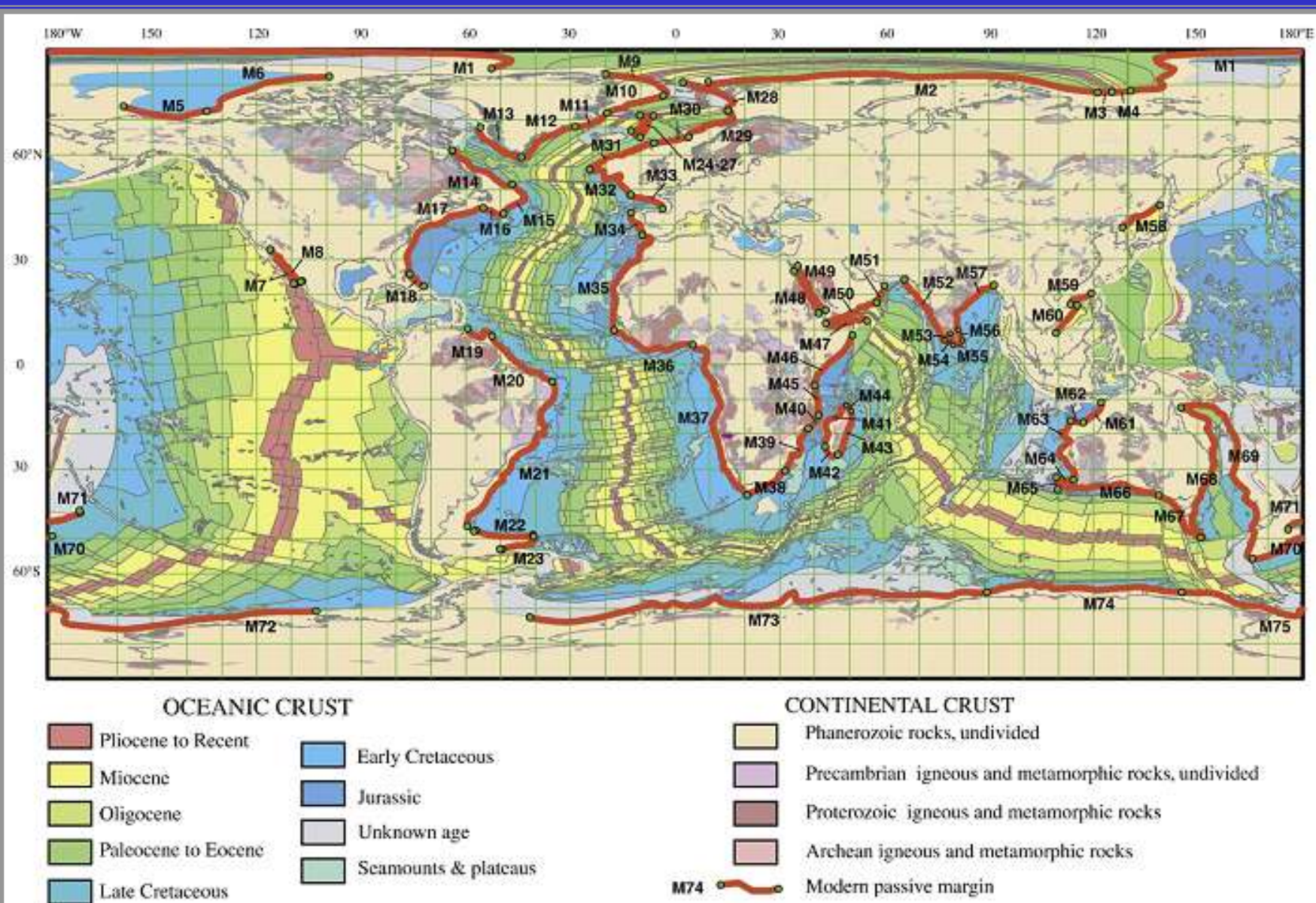


Fig. 3. World map showing modern passive margins. Base map from Commission de la Carte Géologique du Monde (2000). Green circles divide margins into age sectors.

Строение пассивных окраин

(Атлантика, Северный Ледовитый океан, Индийский океан)

Включают **шельф, материковый склон и материковое подножие**

Кора под шельфом
меньше мощнос

Полный перехо
до 200 км

Отсутствие гл

Отрицательные
континентальн
подножием указ
шельфа.

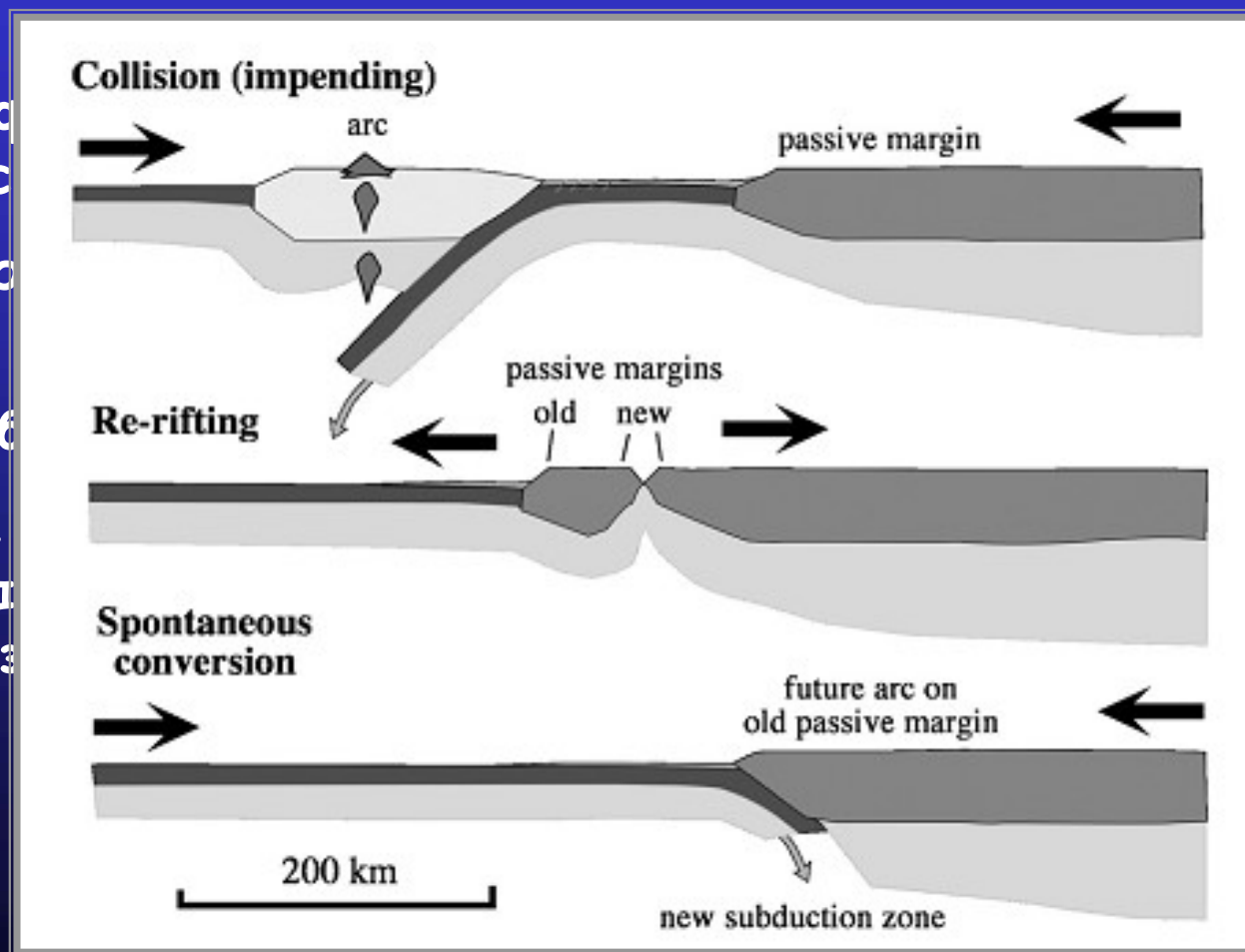


Fig. 1. The three common fates of passive margins. (a) Collision between a passive margin and an arc. For the aims of this study, the nature of this arc—whether intraoceanic or continental, and whether extensional or compressional—is not important. (b) Re-rifting of a preexisting passive margin by separation of a ribbon microcontinent. (c) Spontaneous conversion of a passive margin to a convergent margin by initiation of a subduction zone at or near the ocean–continent boundary.

Хронология формирования пассивных окраин



Contents lists available at ScienceDirect

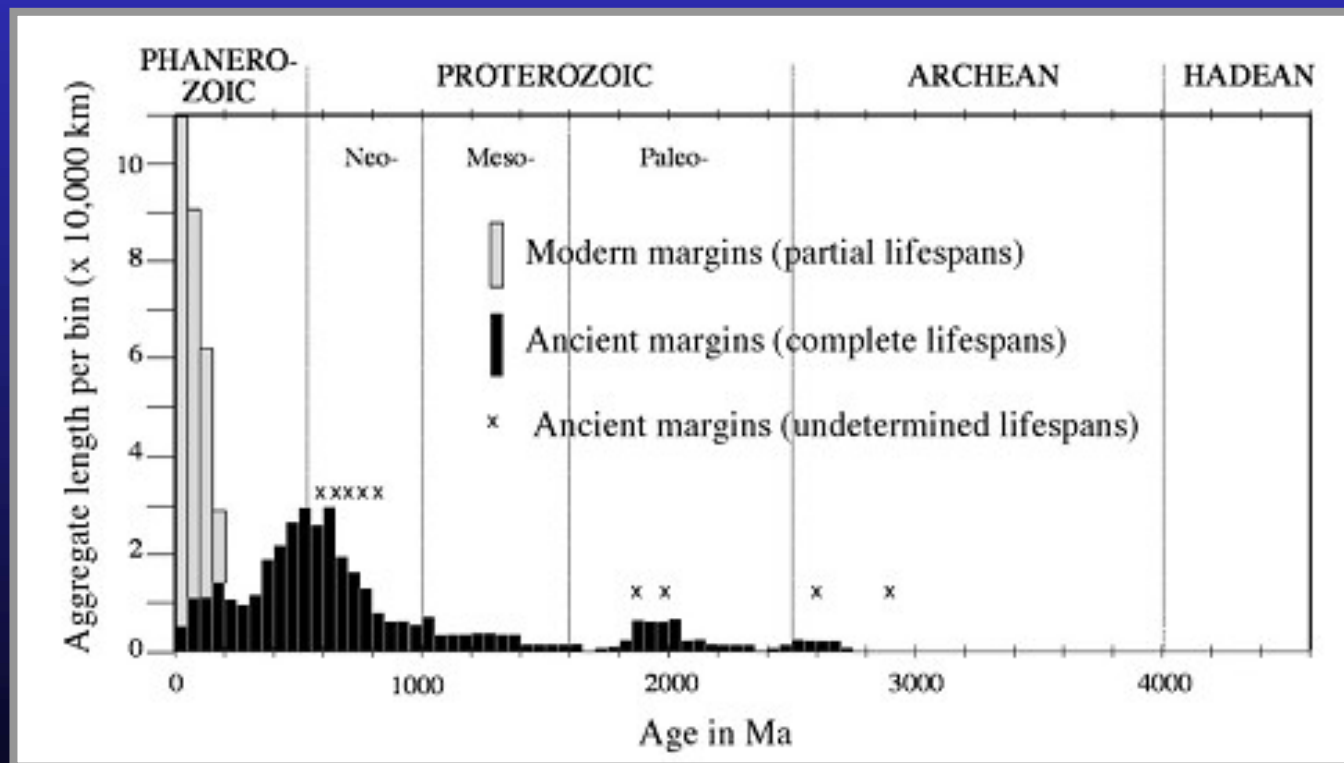
Earth-Science Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/earscirev

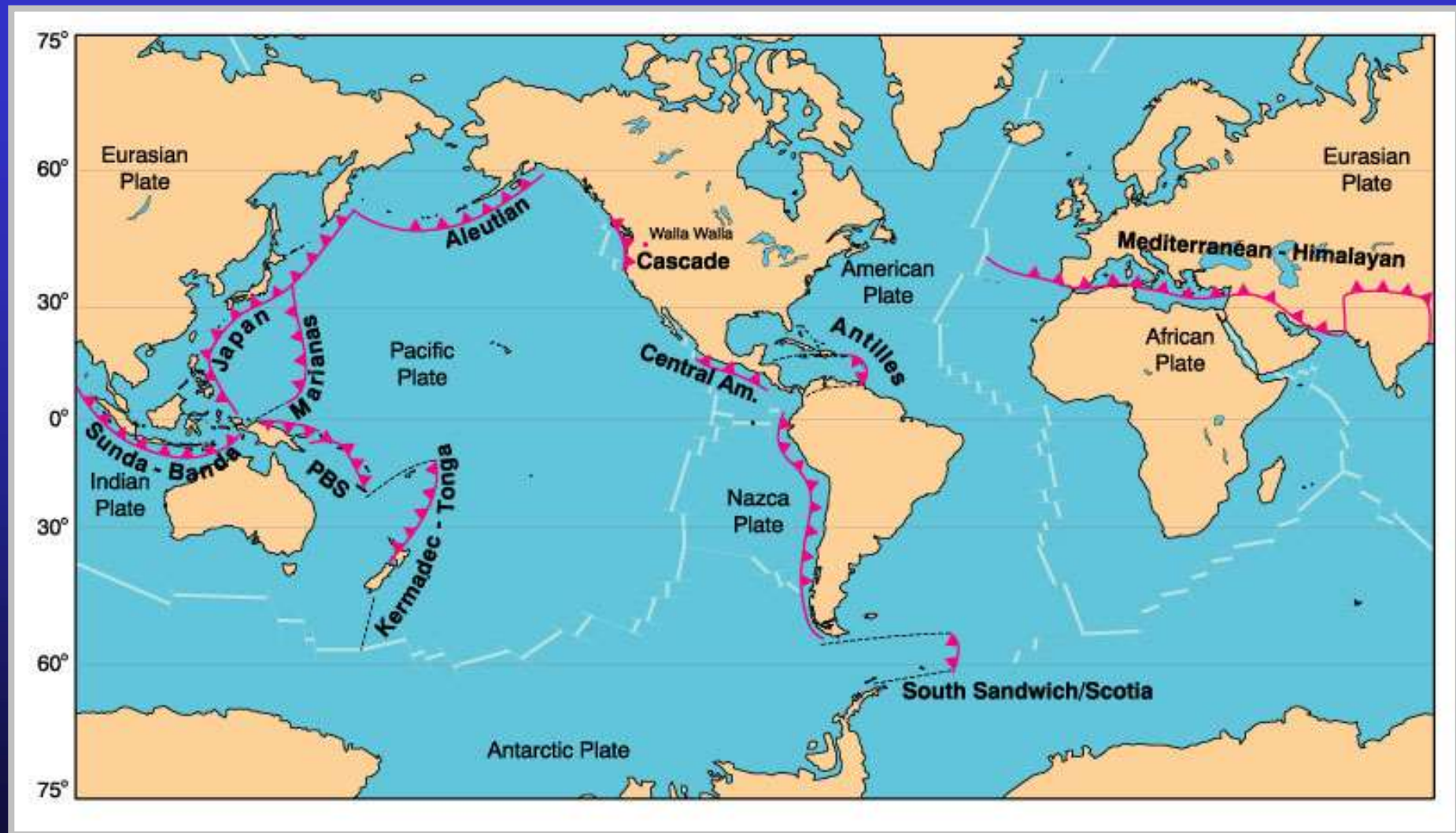


Passive margins through earth history

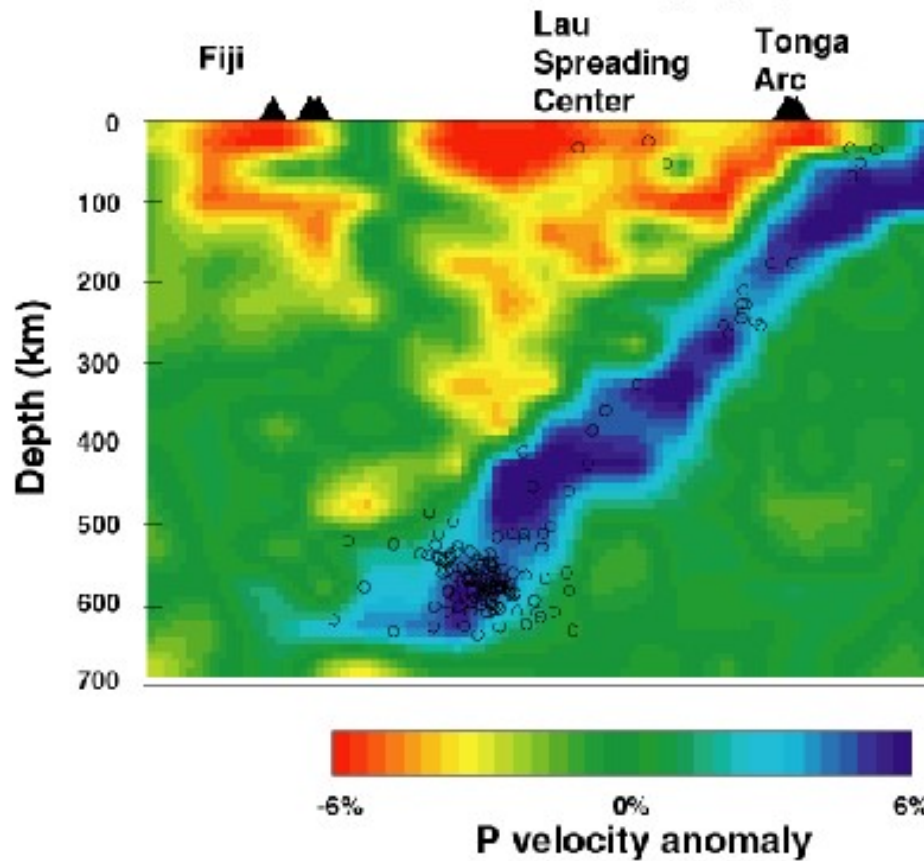
Dwight C. Bradley



Распределение активных окраин Земли

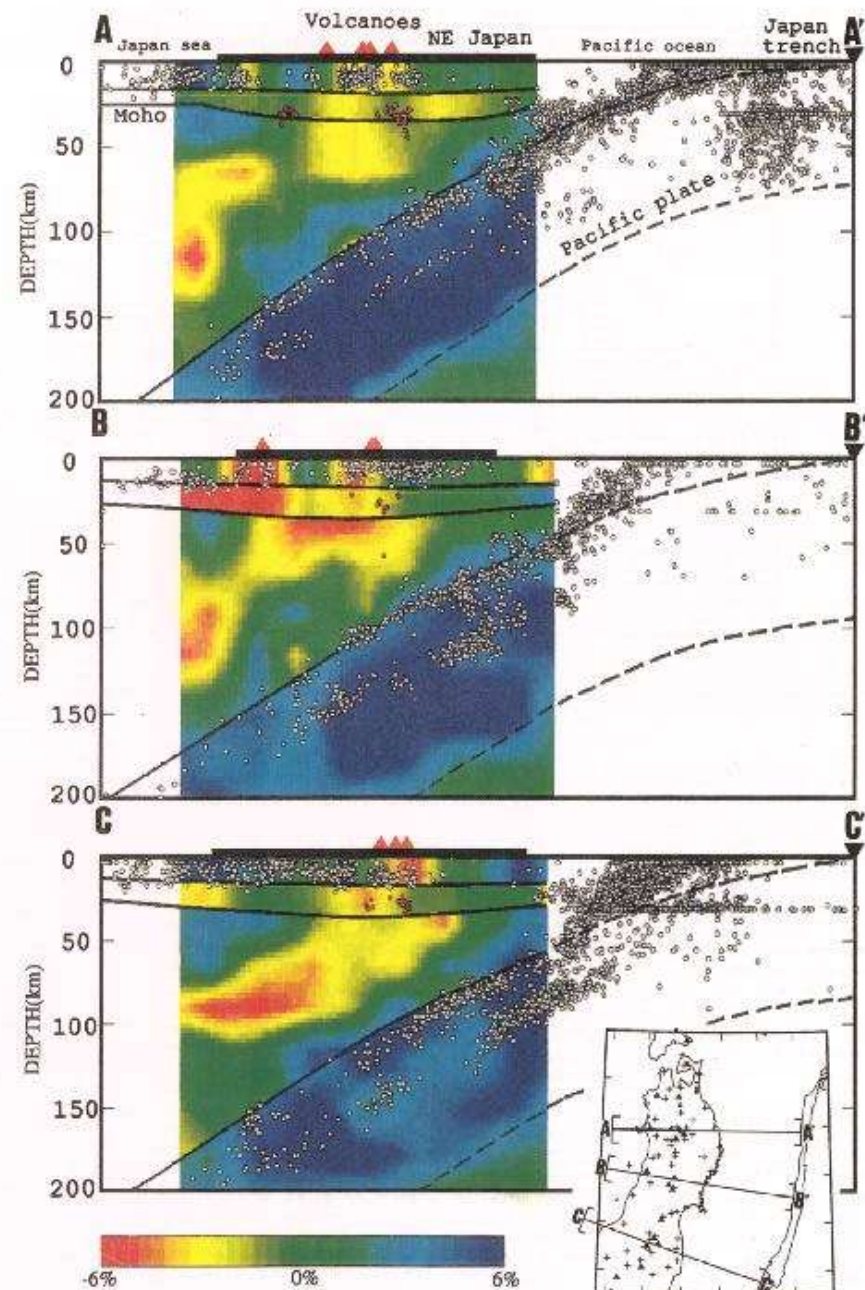


P-wave Tomography



Западно-Тихоокеанский тип
или "островодужный"

Восточно-Тихоокеанский тип
"андийский" и
"калифорнийский"

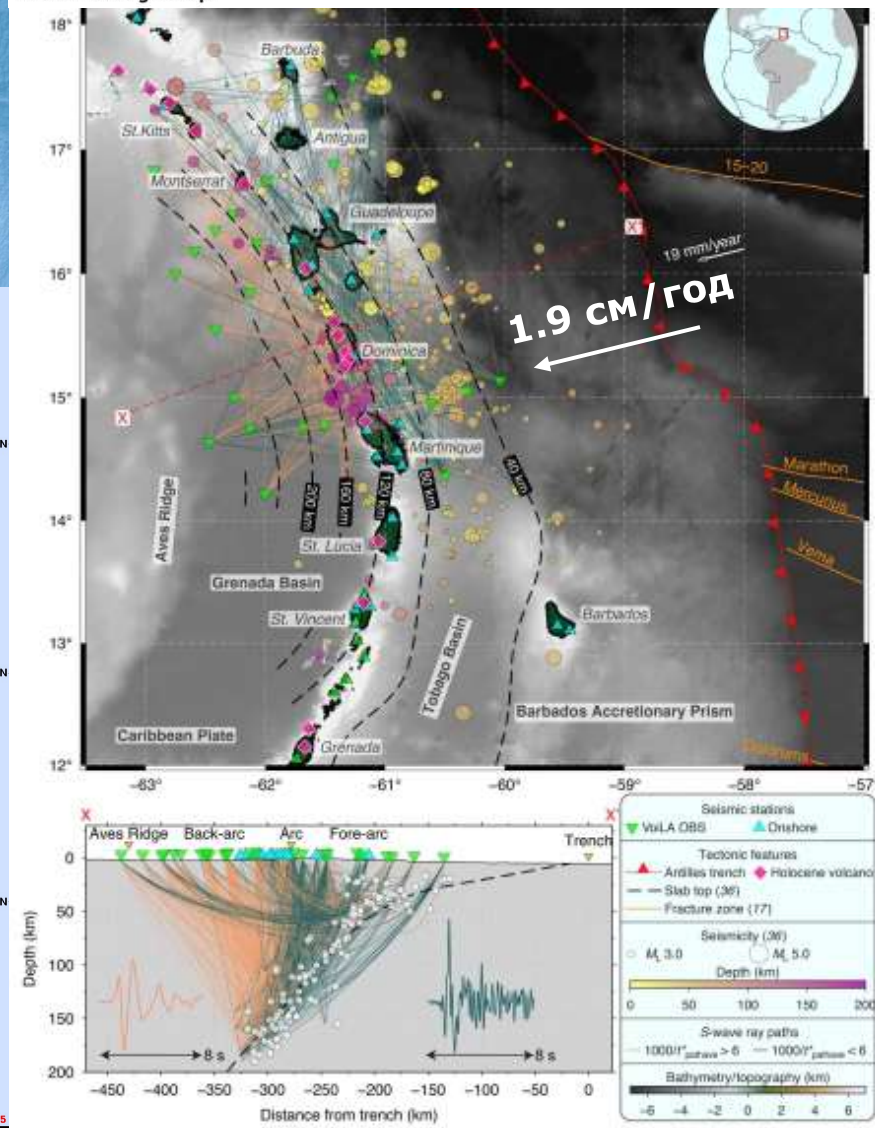




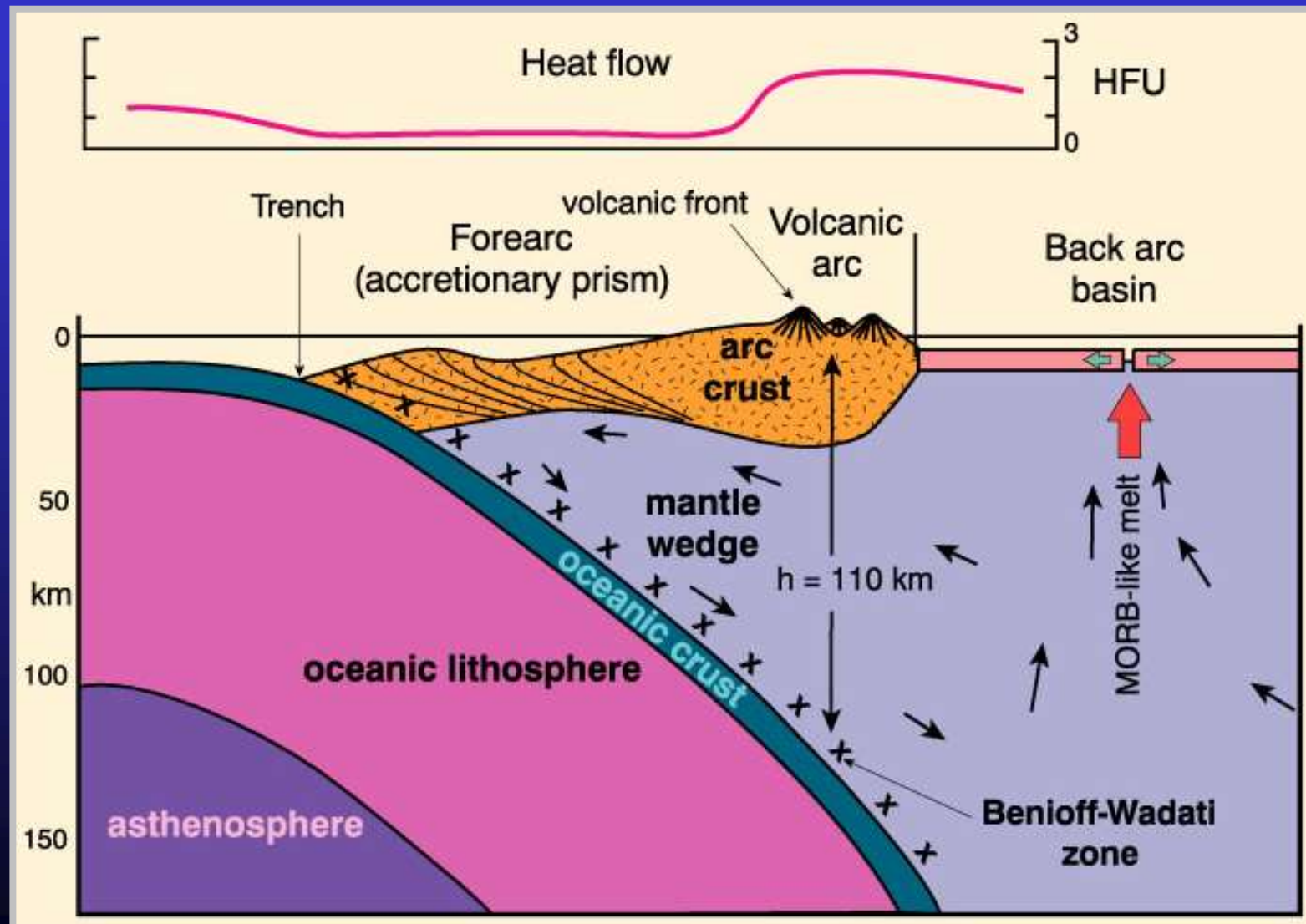
GEOPHYSICS

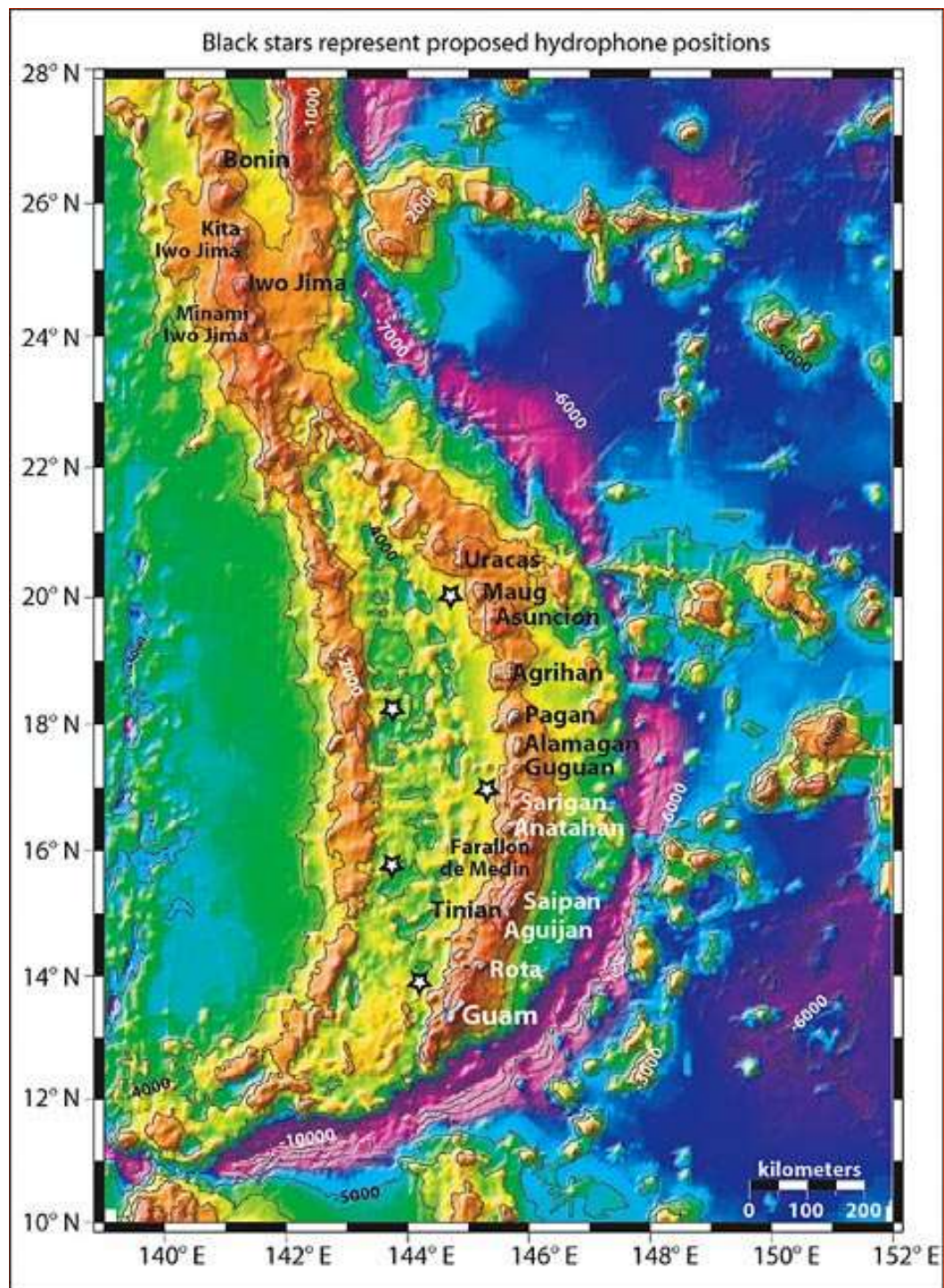
Slab to back-arc to arc: Fluid and melt pathways through the mantle wedge beneath the Lesser Antilles

Stephen P. Hicks^{1*}, Lidong Bie², Catherine A. Rychert^{3,4}, Nicholas Harmon^{3,4}, Saskia Goes¹, Andreas Rietbrock⁵, Songqiao Shawn Wei⁶, Jenny S. Collier¹, Timothy J. Henstock³, Lloyd Lynch⁷, Julie Prytulak⁸, Colin G. Macpherson⁹, David Schlaphorst⁹, Jamie J. Wilkinson^{10,11}, Jonathan D. Blundy¹¹, George F. Cooper¹², Richard G. Davy¹, John-Michael Kendall¹¹, VoILA Working Group[‡]

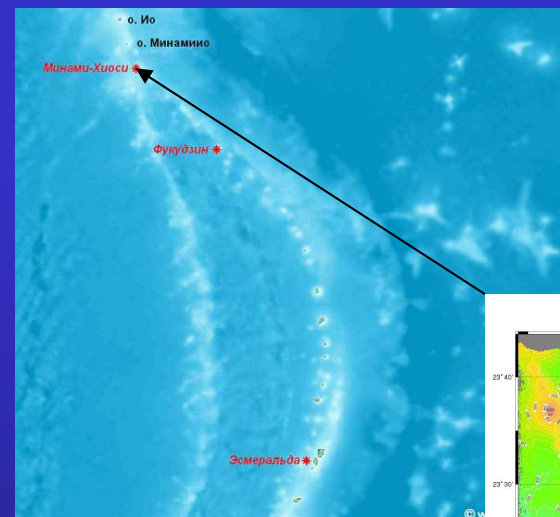


Типичное строение островодужных окраин (Западно-Тихоокеанского типа)

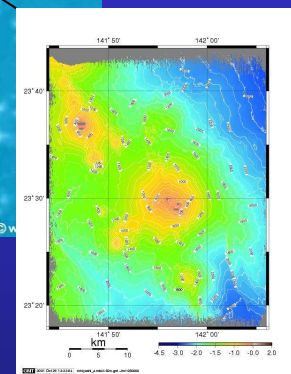




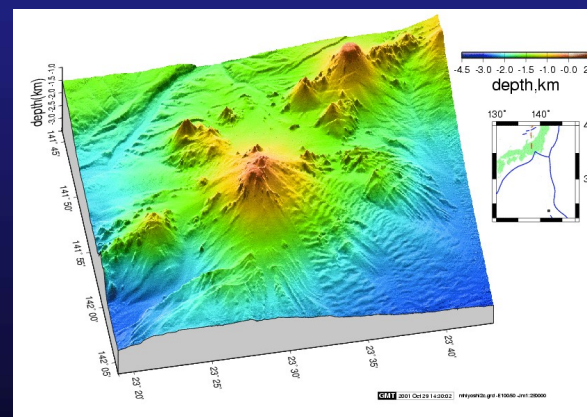
Внешние и внутренние дуги



Марианская дуга



Батиметрия подводного вулкана Минами-Хиоси

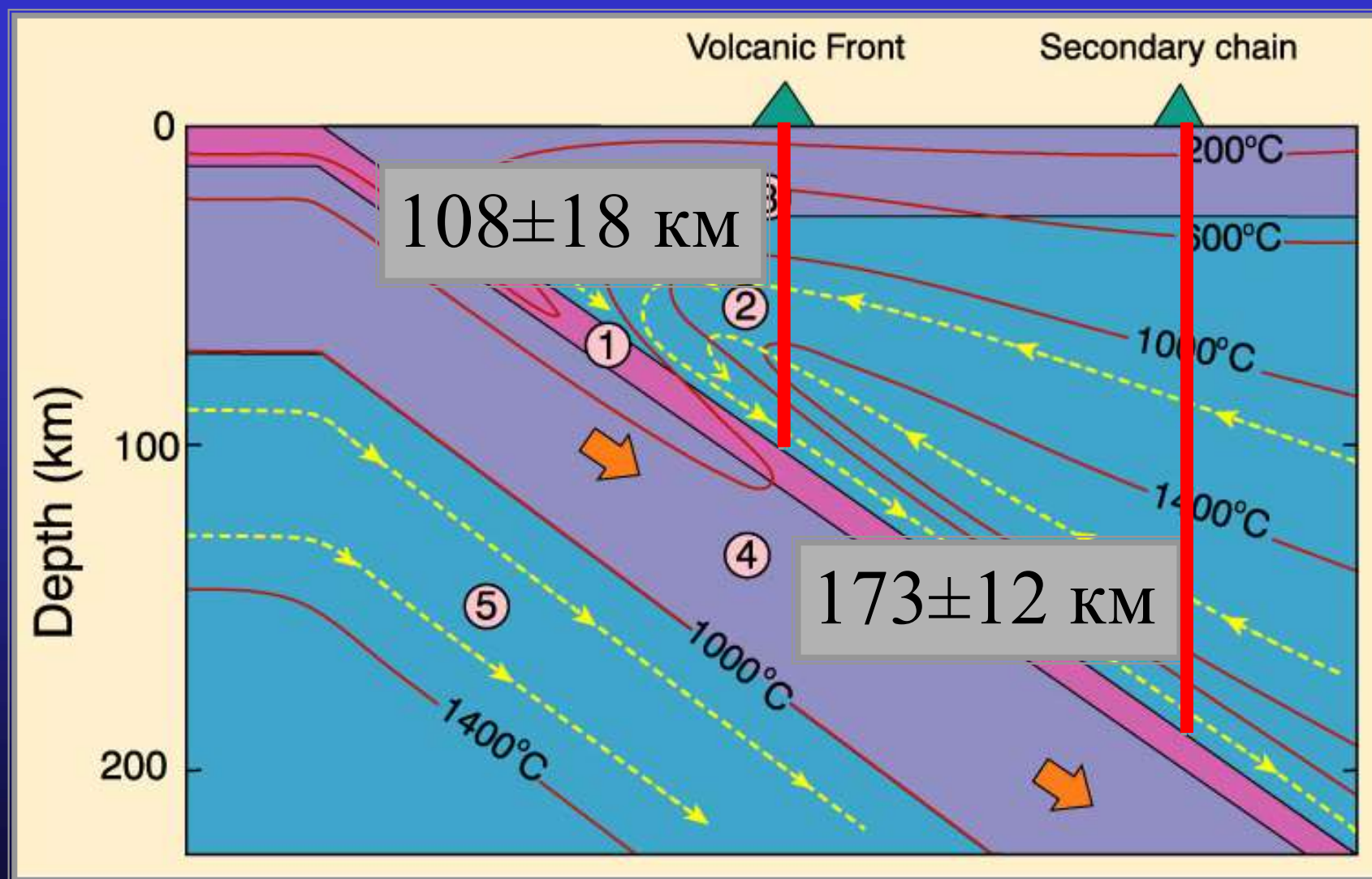


Объемная модель рельефа подводного вулкана Минами-Хиоси

Аномальное строение недр в островных дугах

- **нет резкой границы Мохо** (*чередование высоко- и низкоскоростных слоев*)
- **повышена мощность и поднята кровля астеносферы** (*разуплотнение мантии до 400 км*)
- **изостатическая неуравновешенность**
- **высокий тепловой поток**
- **промежуточные магматические камеры в коре**

Двойные вулканические фронты



Глубины магмогенерация - от 100 до 200 км

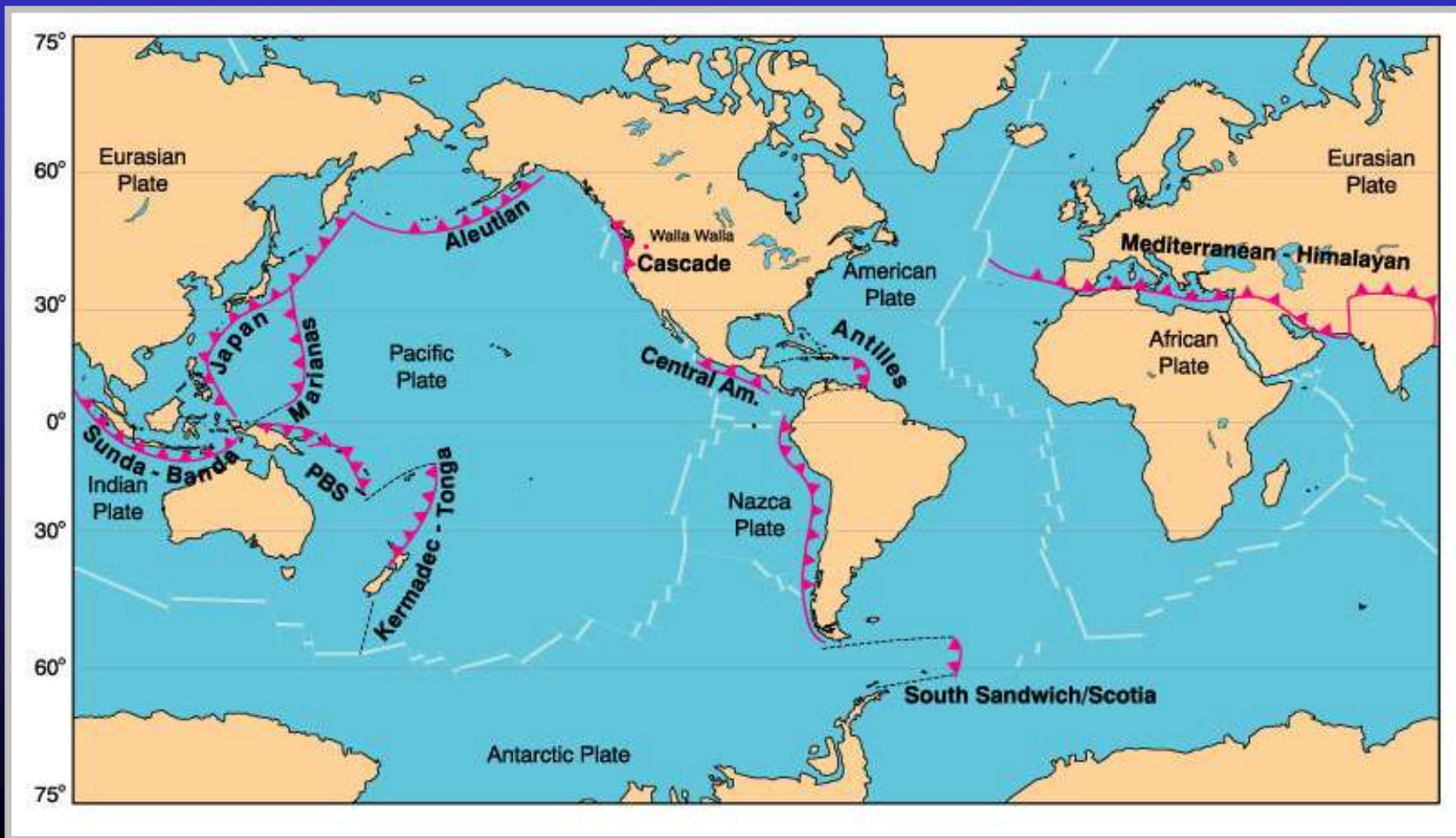
Разделение островных дуг по "зрелости"

Энсиалические

("зрелые")

Энсиматические

(океанические, "юные")



Примеры крупных островодужных вулканов



Shishaldin (Алеутские о-ва)



Anak Krakatau (Индонезия)



Sakurajima (Япония)

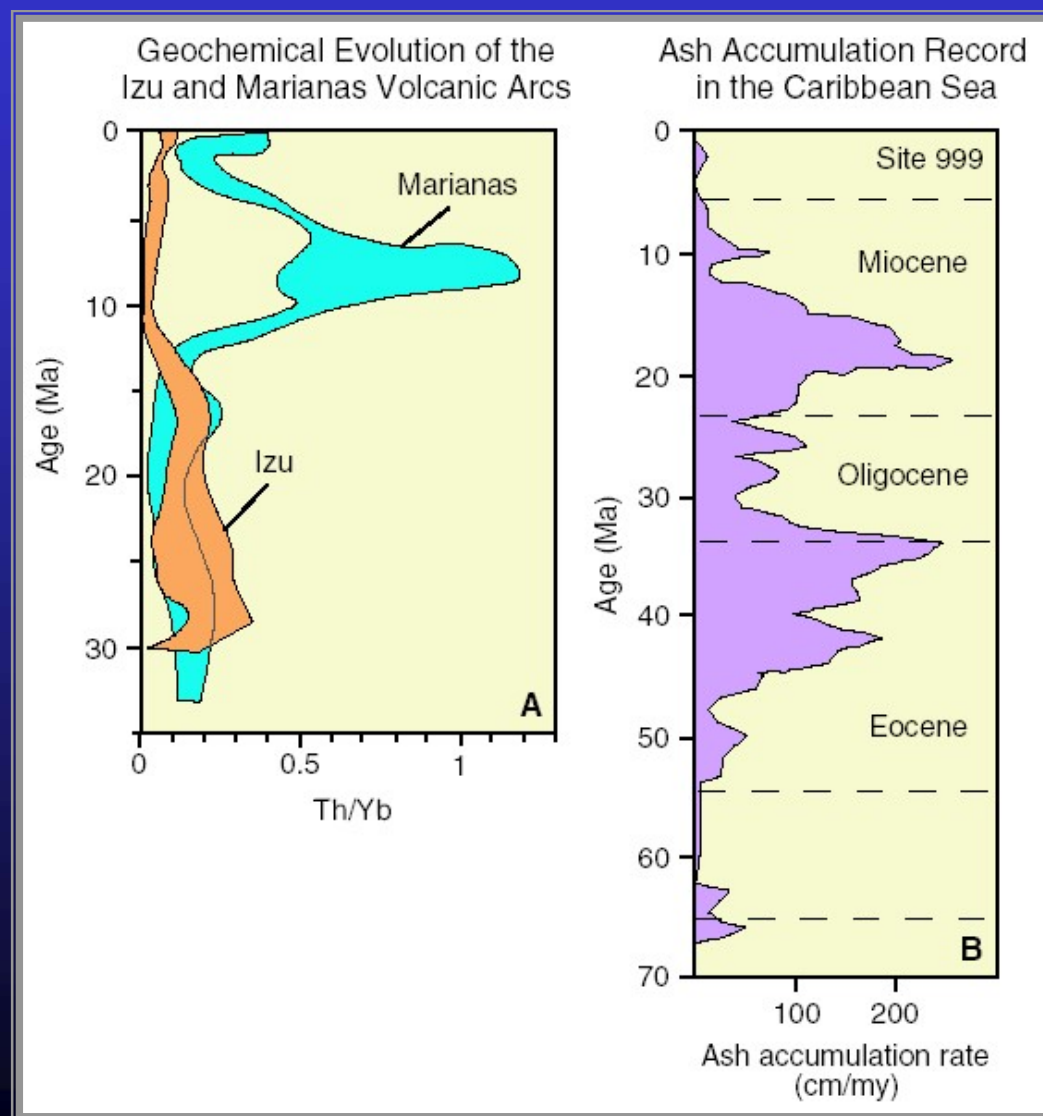


Ulawun volcano (PNG)

Палящая туча во время извержения влк. Unzen в Японии (nuee ardente)



Геохимическая эволюция островных дуг и скорость формирования пепловых отложений



ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ОСТРОВНЫХ ДУГ

Островодужный комплекс

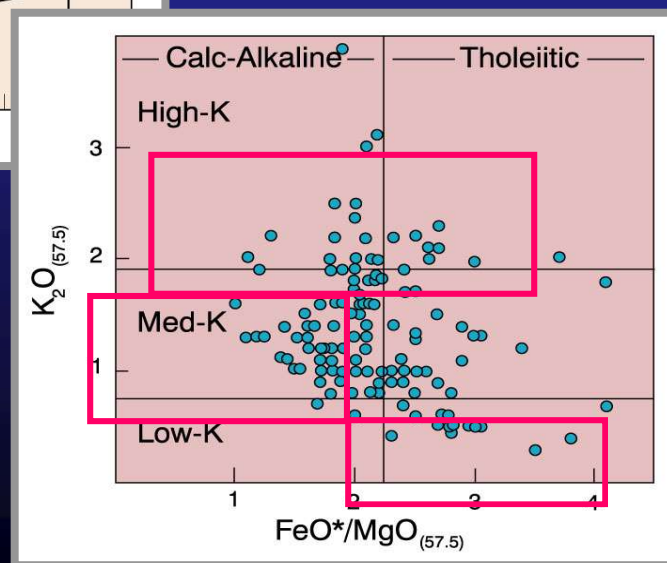
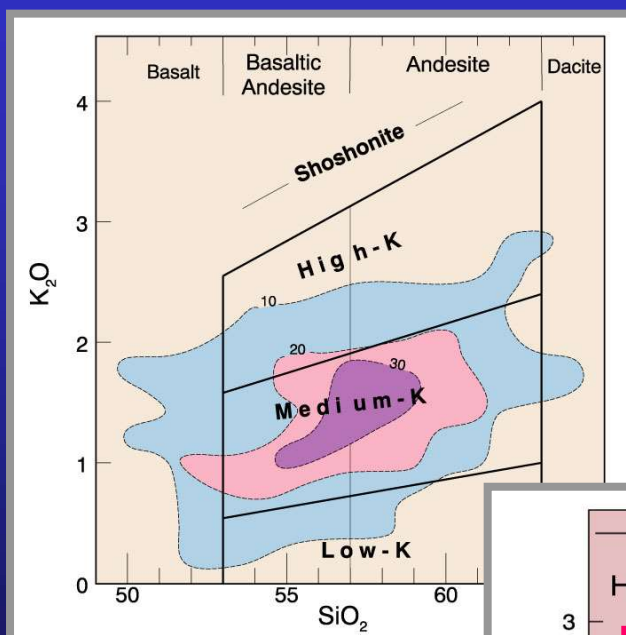


Фундамент:

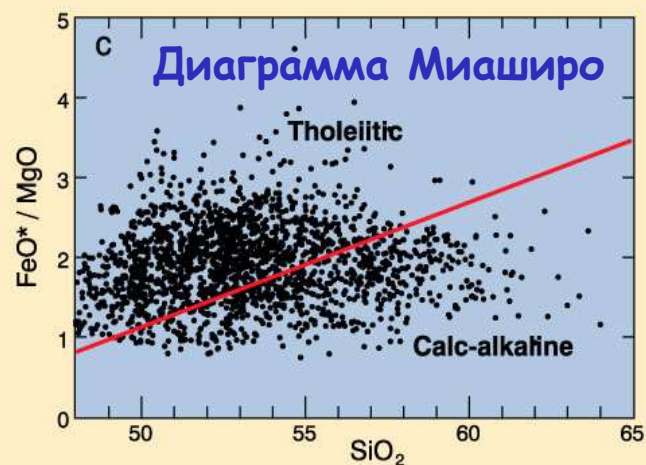
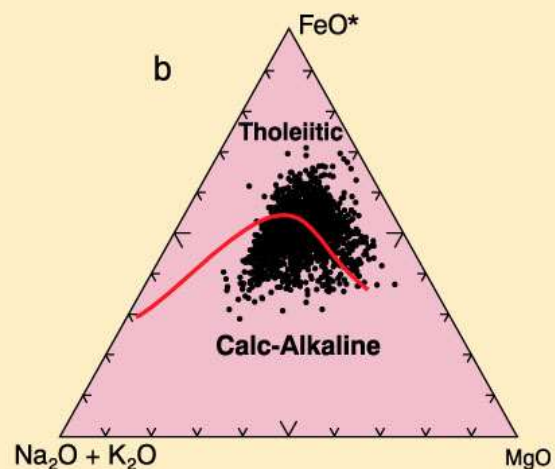
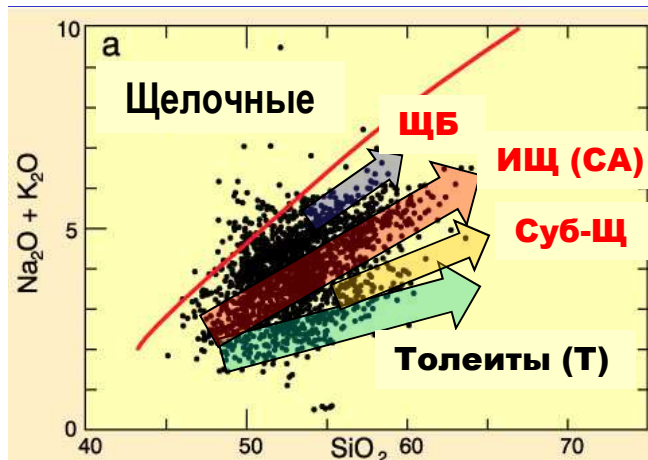
- **субконтинентальное основание** обычно палеозойского возраста (энсиалические дуги, напр. Япония - до Докебрия?)
- **офиолитовый комплекс** (энсиматические дуги)

Петрохимическая классификация пород островодужного комплекса

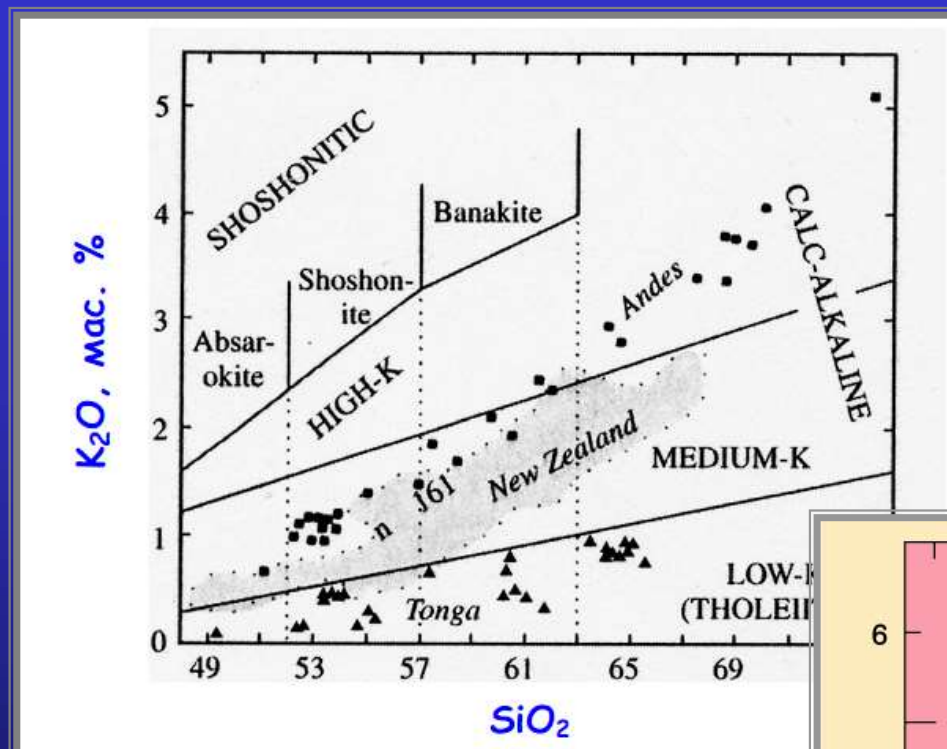
Значение калиевости пород



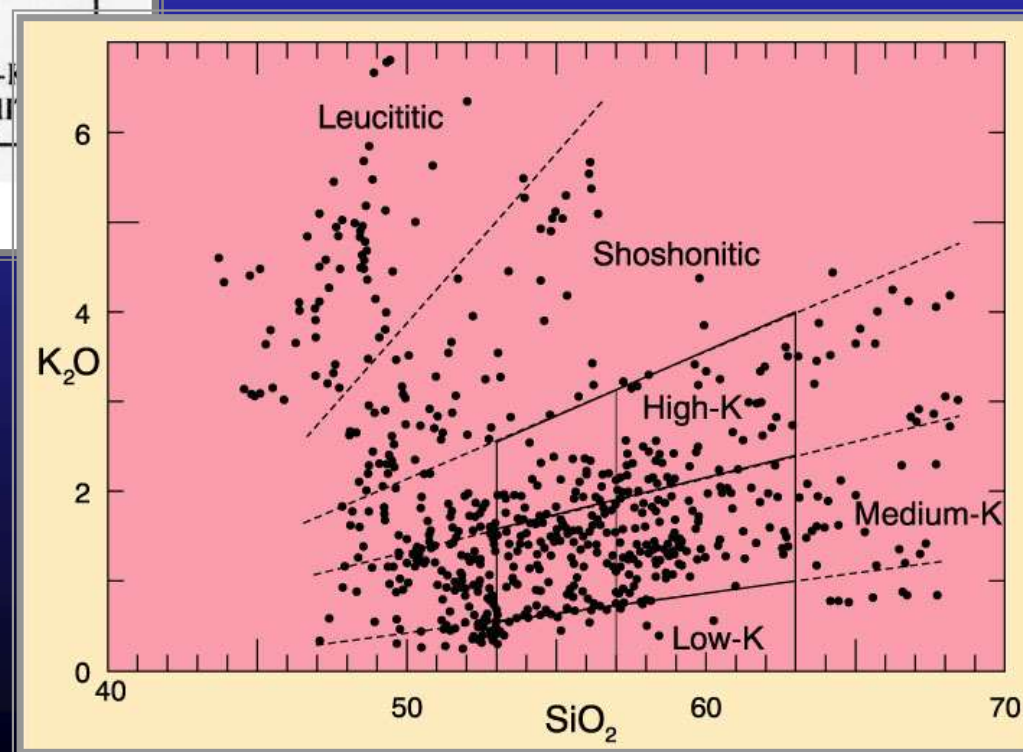
6 серий по соотношению $K_2O - FeO/MgO$



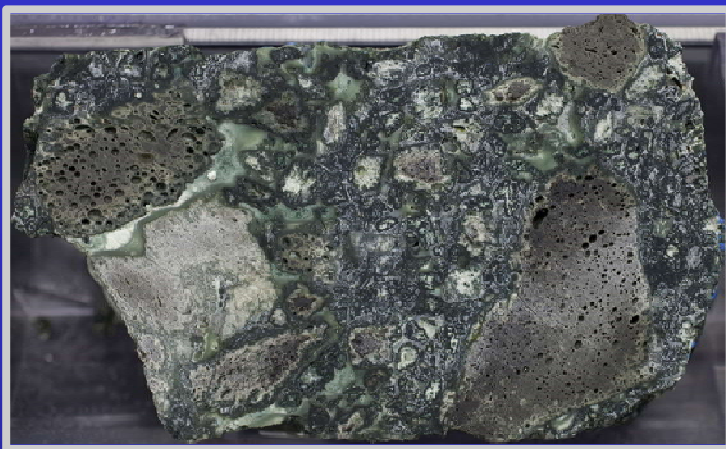
Примеры толеитовых и известково-щелочных серий



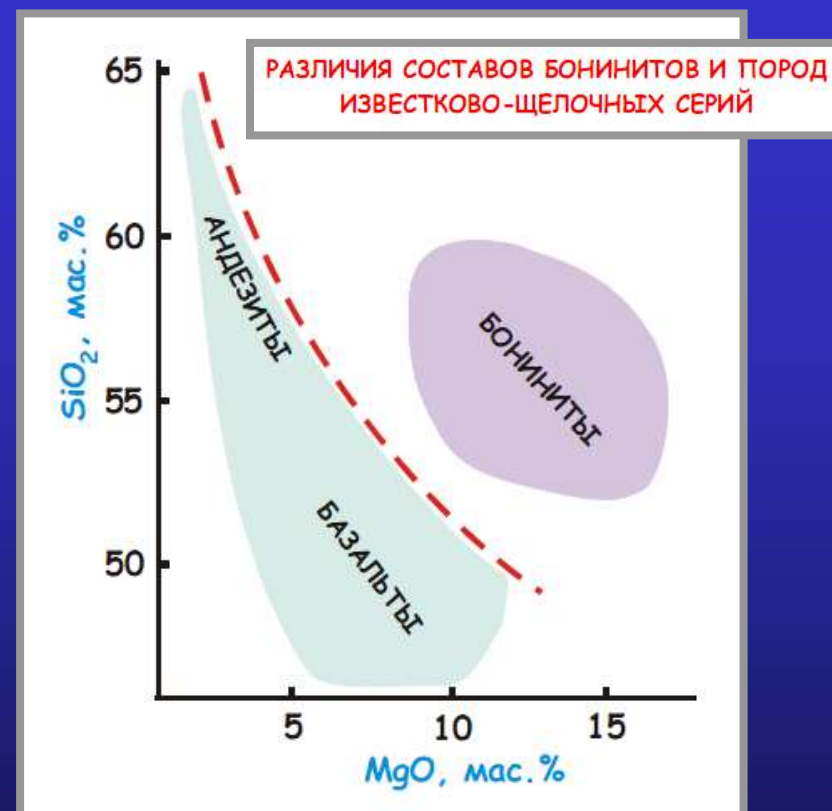
**700 анализов вулканитов
дуг Банда и Зондской**



БОНИНИТЫ: особенности состава



Образец брекчированного
бонинита



Klingenberg & Kushiro (1996)

По сути – это разновидность **высокомагнезиальных андезитов**, обладающих признаками ультраосновных и одновременно средних пород.

Петрографические особенности

Толеиты – более дифференцированные, чем в океанах (до дацитов)

- порфиновые

фенокристы: $An_{50-90} + Aug \pm Pig \pm Ol$ (редко) $\pm Ti-Mt$

- часто неравновесные с расплавом Ol и Pl – смешение?

ИЦ – доминируют андезиты;

- обилие фенокрист: $Pl + Orx + Aug + Ti-mt + Amph$
- ксенокристы
- включения
- признаки смешения магм

Бониниты (марианиты-бониниты-дациты)

- без Pl фенокрист, парагенезы $Pig(Cen) + Ca-aug \pm Ol, Sp$
- основная масса – до спинифекса; стекла часто дацитовые, неравновесные с расплавом

Магматические серии островодужных комплексов



Сочетание продольной и поперечной зональности

- СВЯЗЬ С ТИПОМ И МОЩНОСТЬЮ КОРЫ

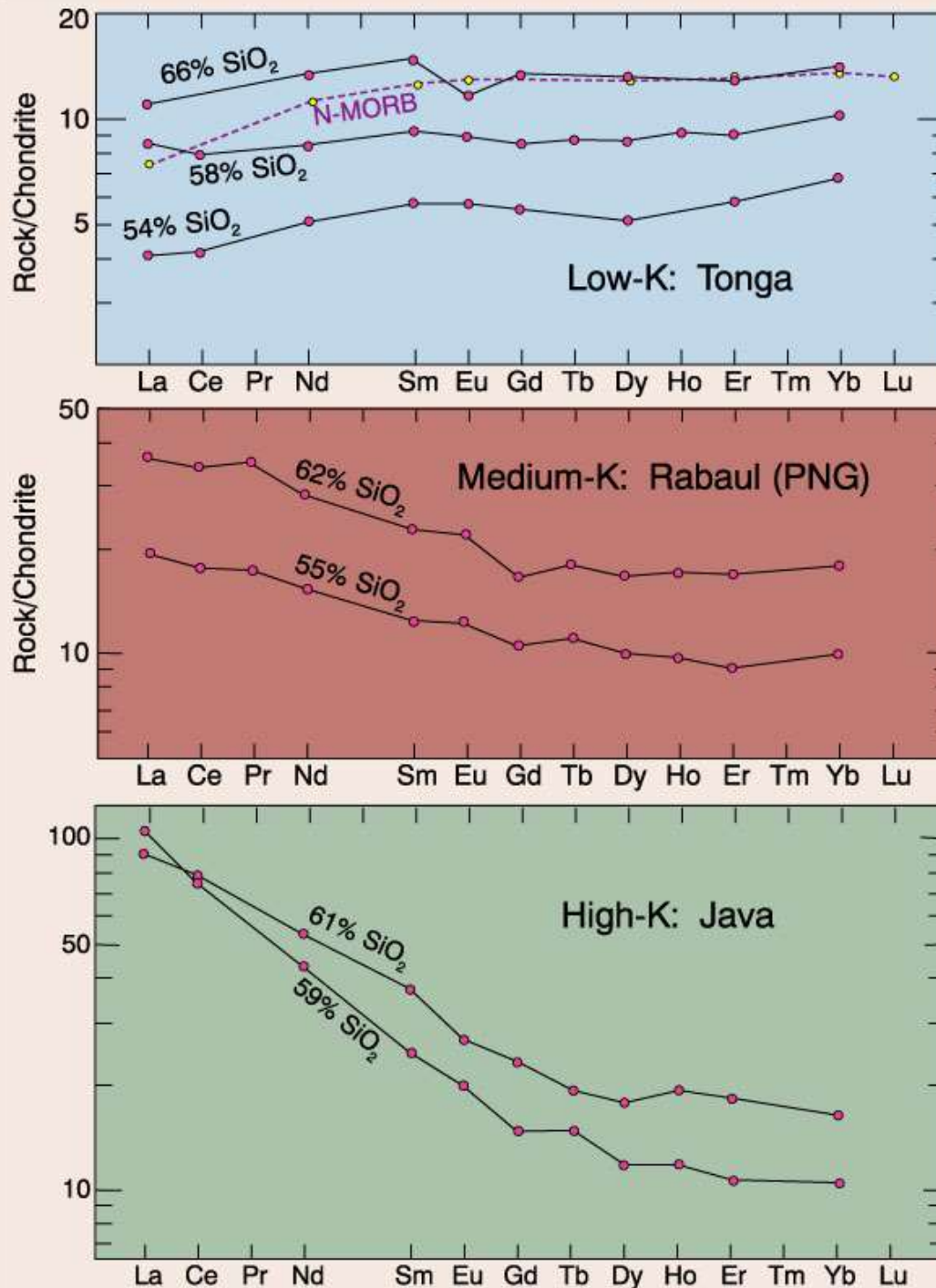
Поперечная зональность островных дуг

От фронта к тылу:

- снижение объемов вулканитов
- увеличение доли базальтов,
- снижение кремнекислотности
- рост содержаний несовместимых элементов
- снижение $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})^i$
- рост вариаций ε_{Nd} (> гетерогенный источник)

ГЕОХИМИЯ ИЗВЕСТКОВО-ЩЕЛОЧНЫХ СЕРИЙ

Сравнение серий разной калиевости



Параллельность трендов
различной кремнекислотности
(фракционирование *OI-PI-Px*)

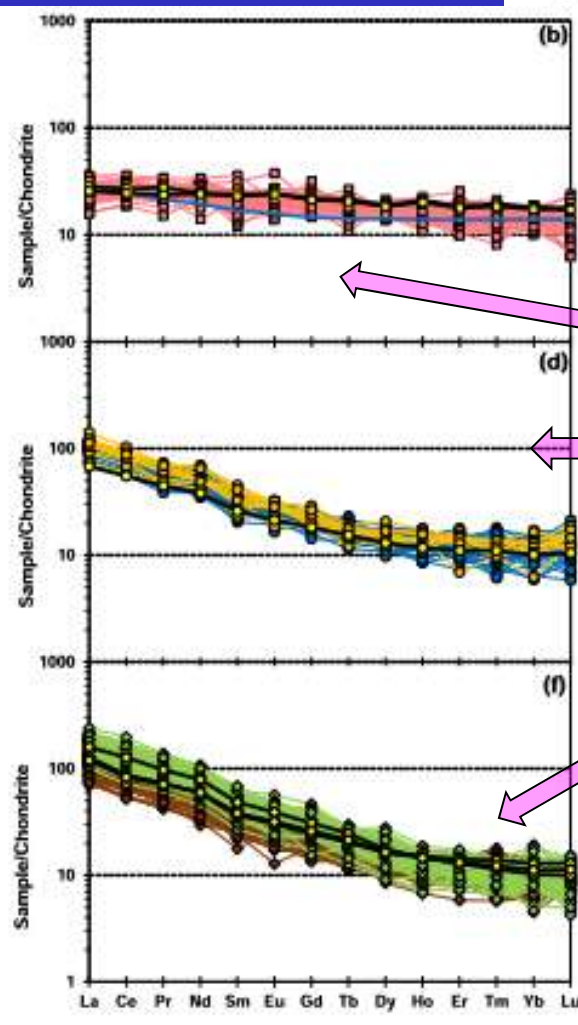
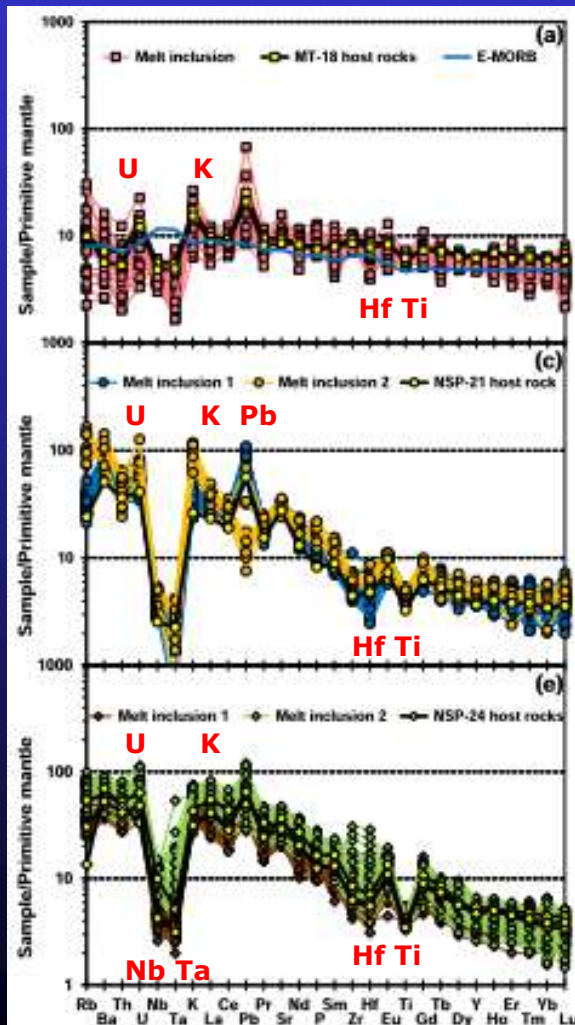
Отсутствие гранатовой метки
(зарождение выше области
стабильности гранатовых
перидотитов)

Сравнение РЗЭ и полных спайдердиаграмм

Sun and McDonough (1989) ordering

Fig. 2 | Trace element compositions of samples investigated in this study. Trace element patterns normalized to primitive mantle concentrations (a, c, e), and rare earth element patterns normalized to chondritic values (b, d, f) for melt inclusions

and their host whole rocks. Normalized-primitive mantle and -chondrite values are from ref. 94. There are two different groups of melt inclusions in NSP-21 and NSP-24, respectively.



nature communications



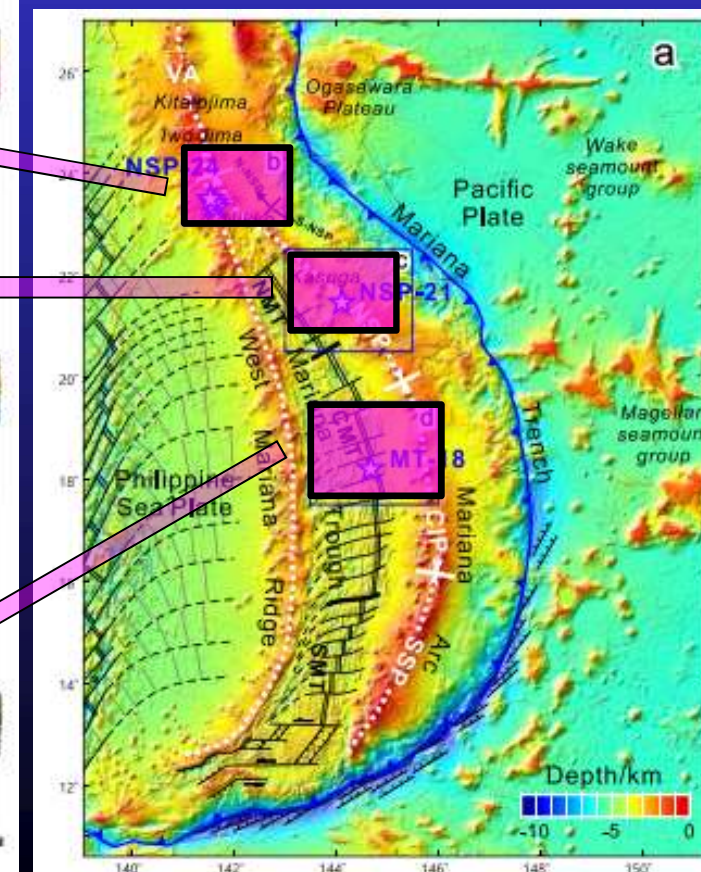
Article

<https://doi.org/10.1038/s41467-024-48308-y>

A HIMU-like component in Mariana Convergent Margin magma sources during initial arc rifting revealed by melt inclusions

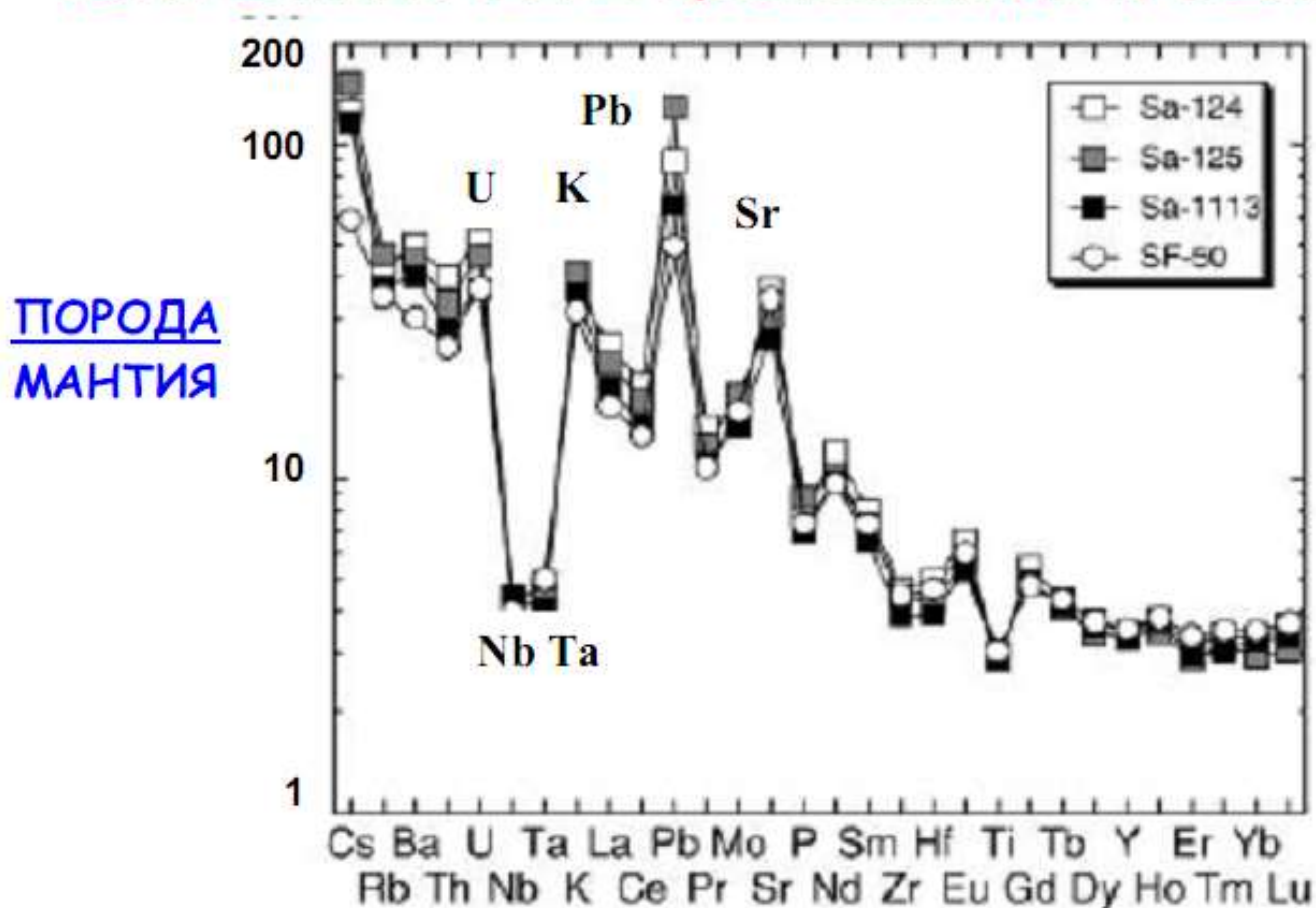
tober 2023
April 2024

Xiaohui Li^{1,2,3}, Osamu Ishizuka^{4,5}, Robert J. Stern⁶, Sanzhong Li^{1,2},
Zhiqing Lai¹, Ian Somerville⁷, Yanhui Suo^{1,2}, Long Chen^{1,2} & Hongxia Yu⁸



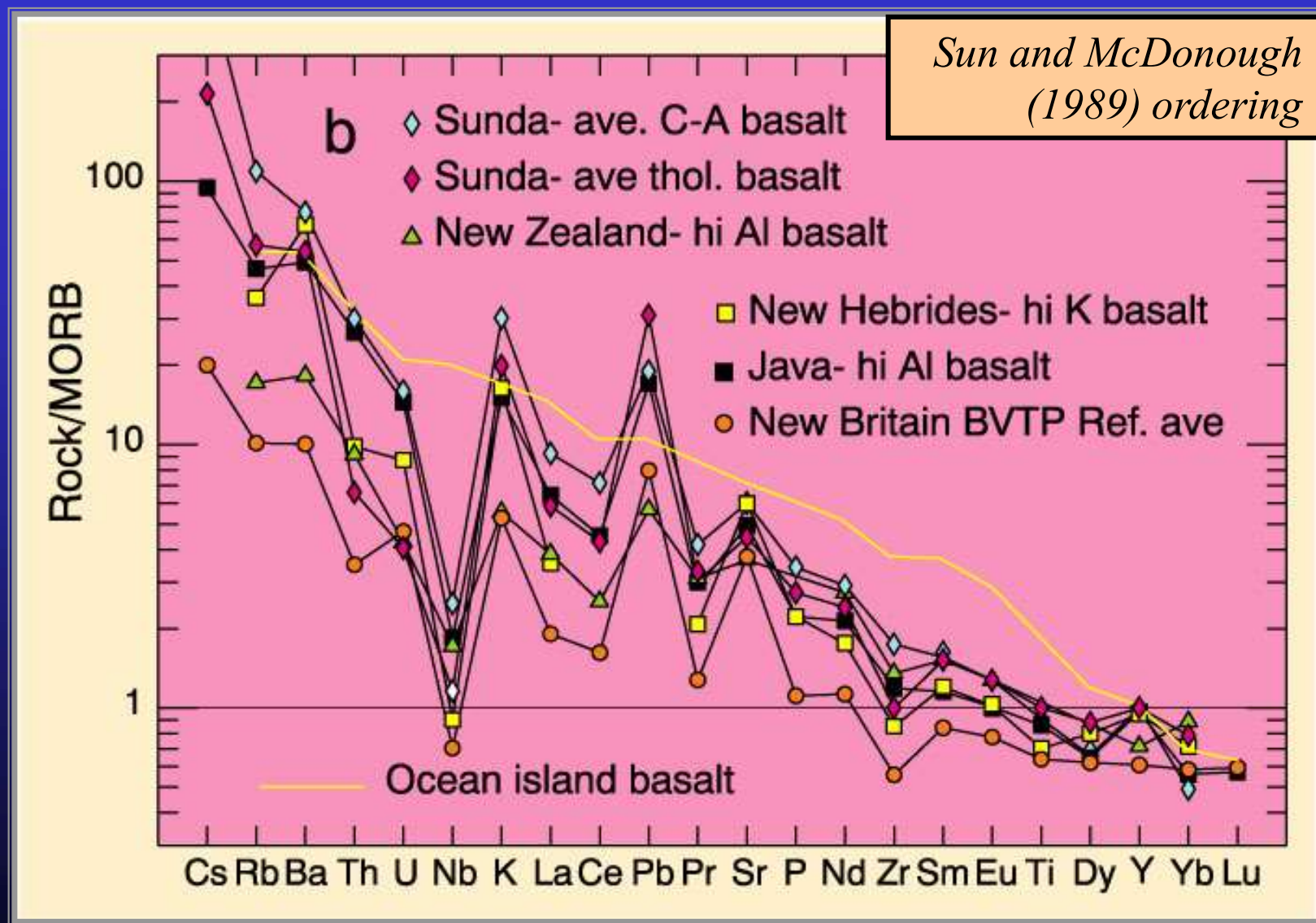
Геохимия пород известково-щелочных серий

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОРОДАХ ИЗВЕСТКОВО-ЩЕЛОЧНОЙ СЕРИИ ВУЛКАНА САЛИНА (ЭОЛИЙСКАЯ ДУГА, СИЦИЛИЯ)



Sun and McDonough (1989) ordering

Другие примеры известково-щелочных серий



Сравнение геохимических спектров ОИВ и известково-щелочных серий островных дуг

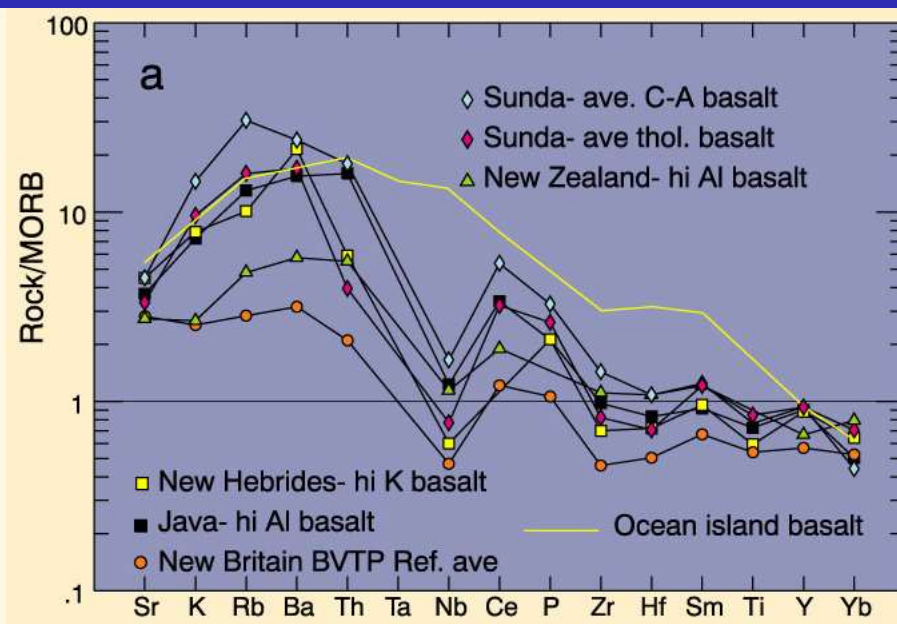
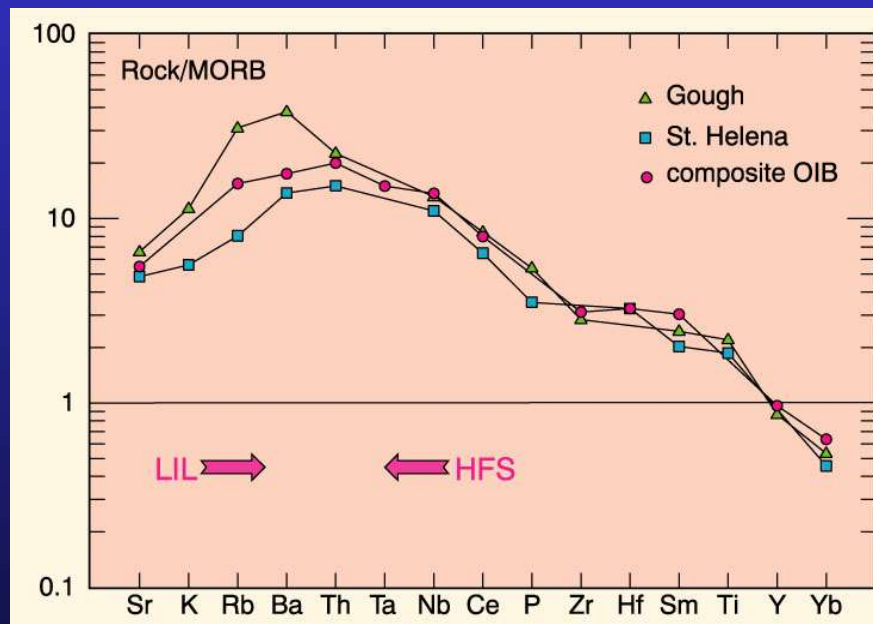
Океанические острова

$n = 2500$

Островные дуги

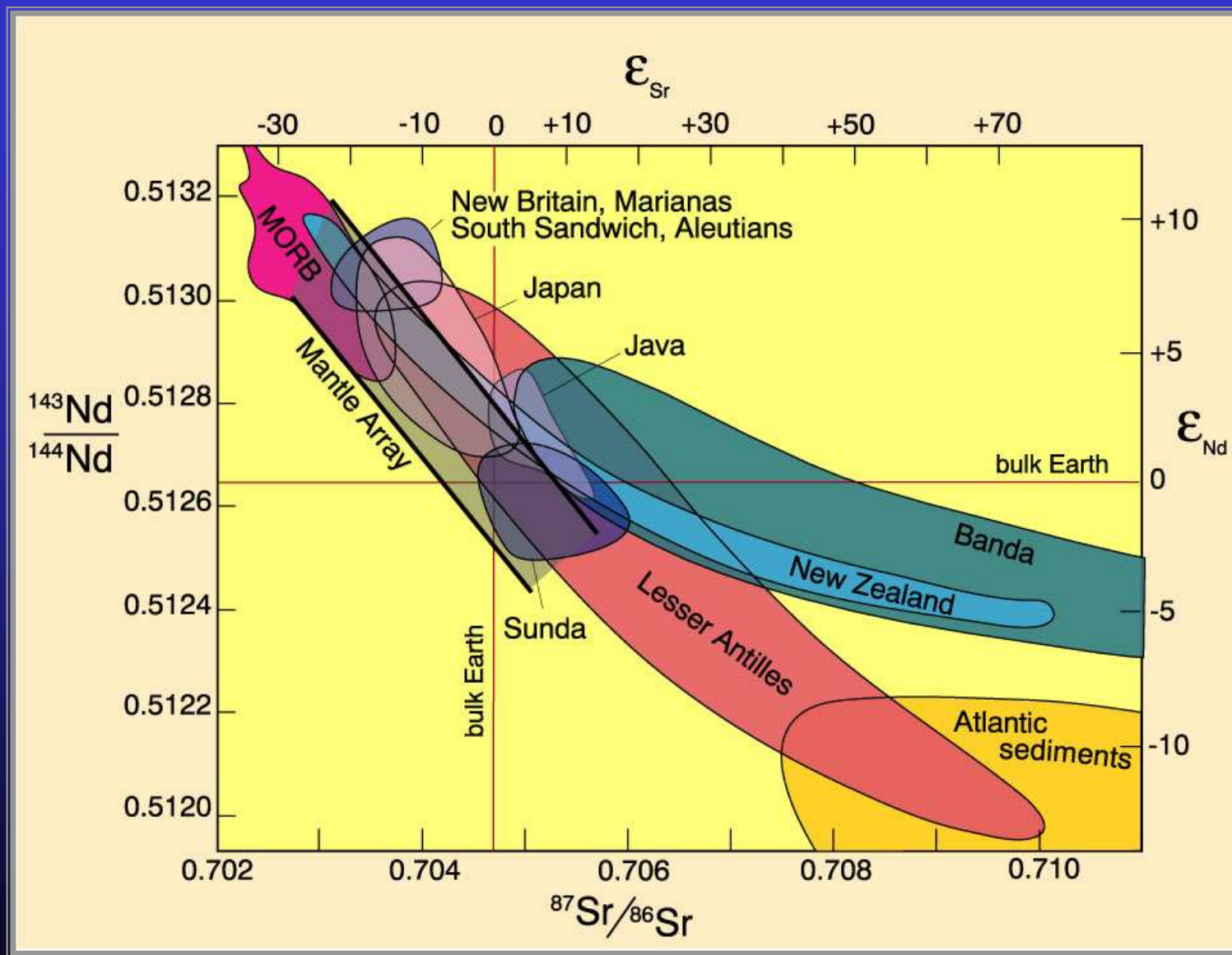
Nb минимум !

Rock / MORB

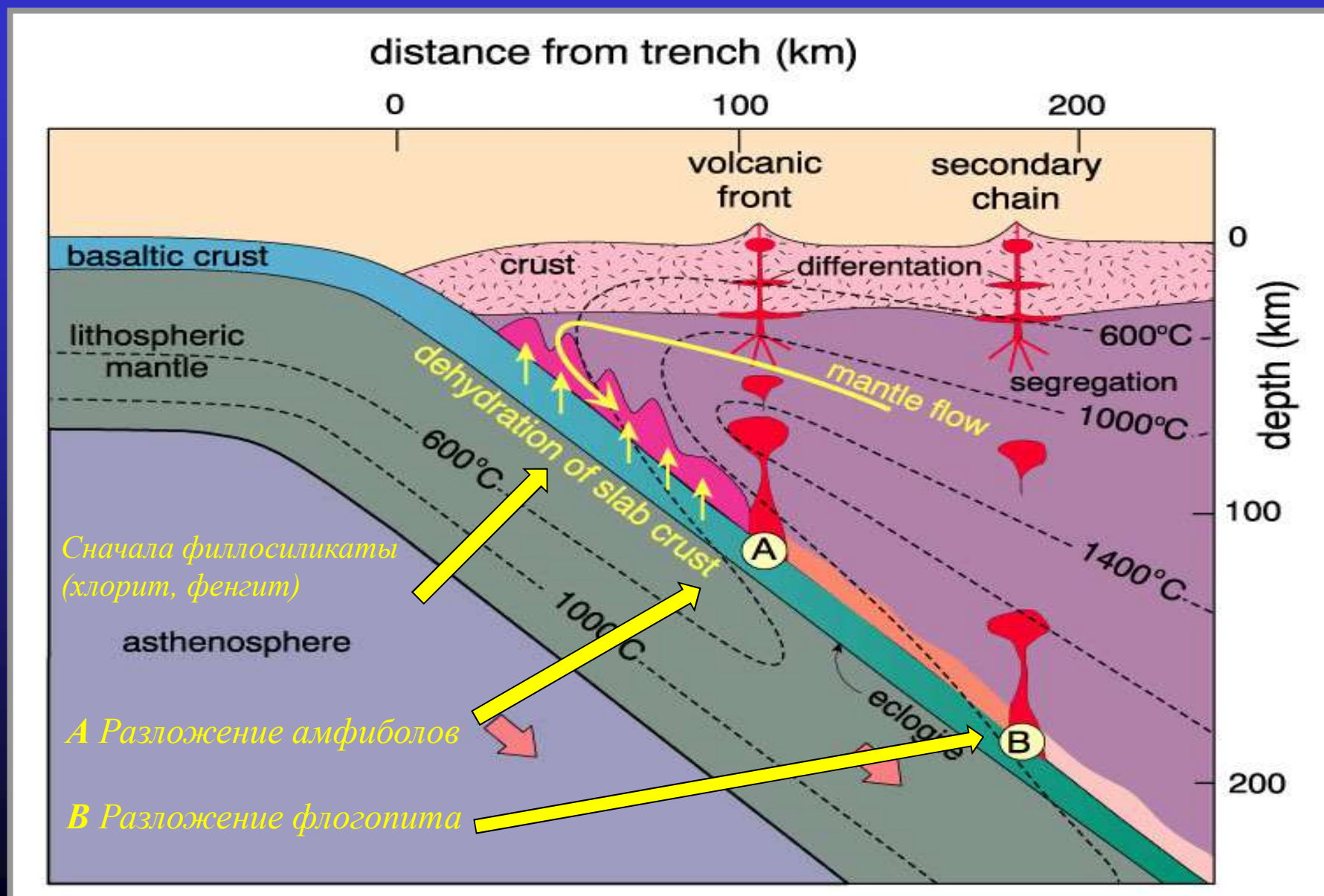


Pearce (1983) ordering

Sr-Nd систематика островодужных серий



Термическое строение и роль мантийного клина



Земные геотермы и условия начального плавления мантийных перидотитов

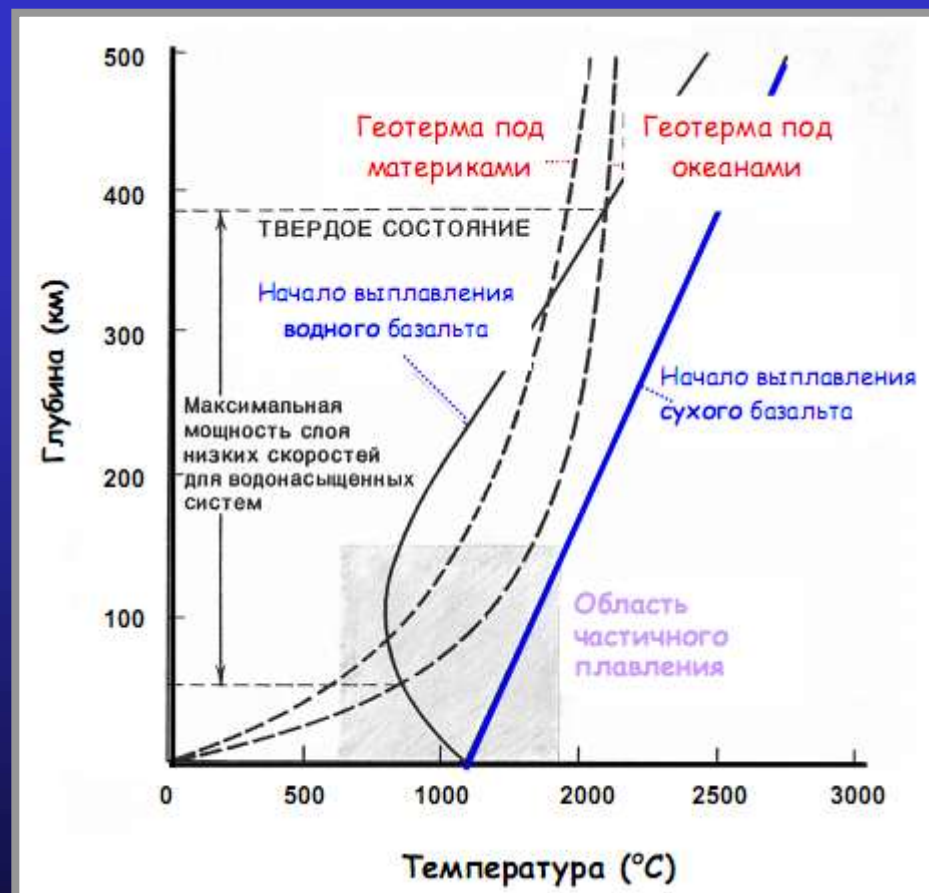
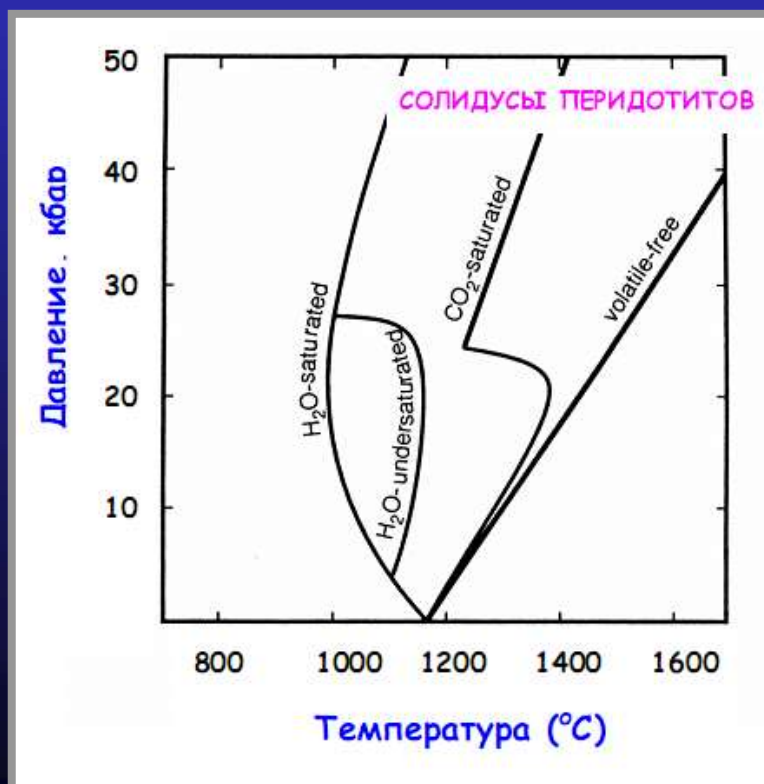
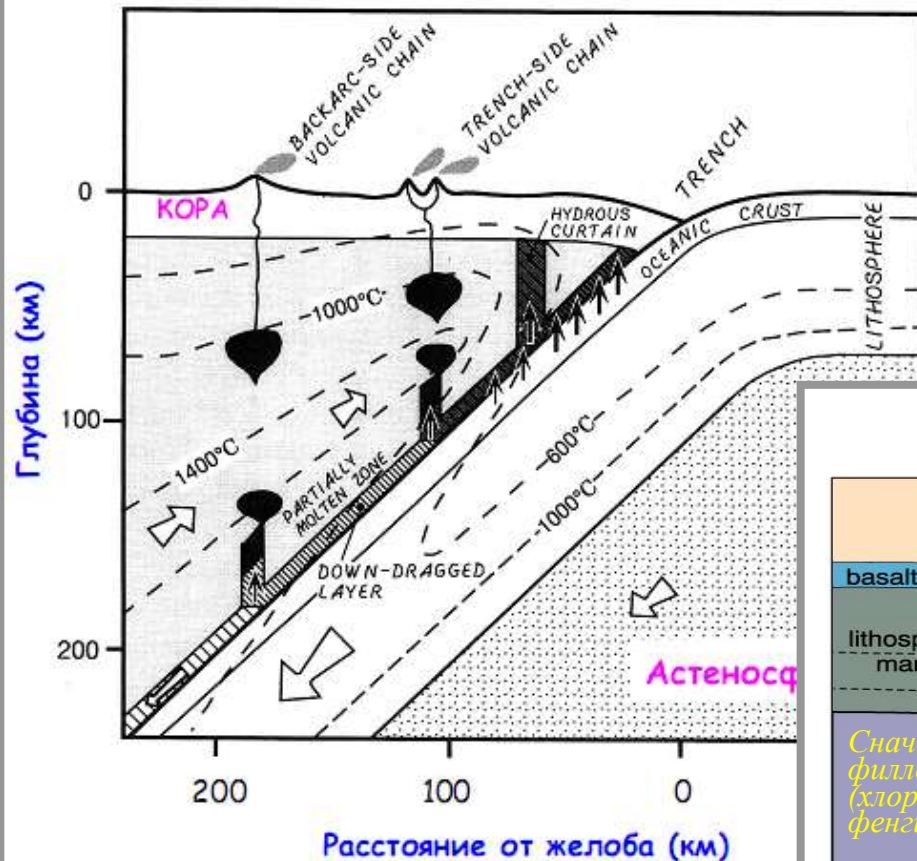


Схема влияния H_2O и CO_2

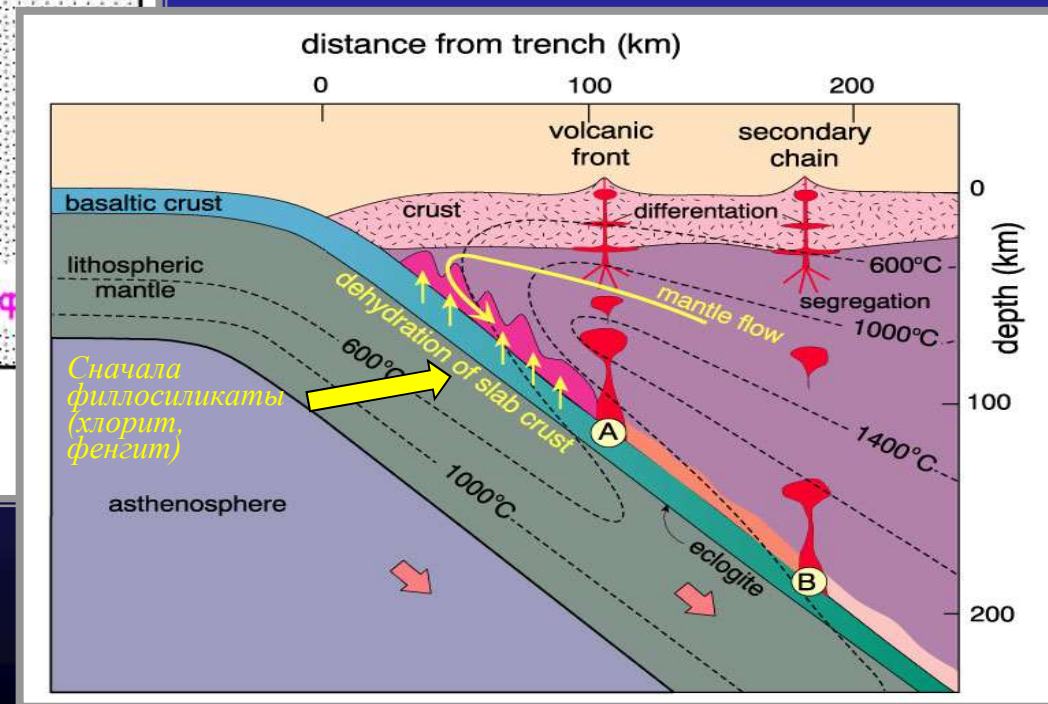


Гипотеза плавления "мантийного клина"

СХЕМА УСЛОВИЙ МАГМОГЕНЕРАЦИИ В СУБДУКЦИОННЫХ ЗОНАХ



Объясняет наличие двух главных фронтов и некоторые (но далеко не все!) особенности химизма вулканитов вкост островных дуг – как на океаническом, так и континентальном основании.



А – разложение амфибола,
В – разложение флогопита
(Tatsumi, 1989)

Присутствие летучих как главный фактор магмообразования

Таким образом,

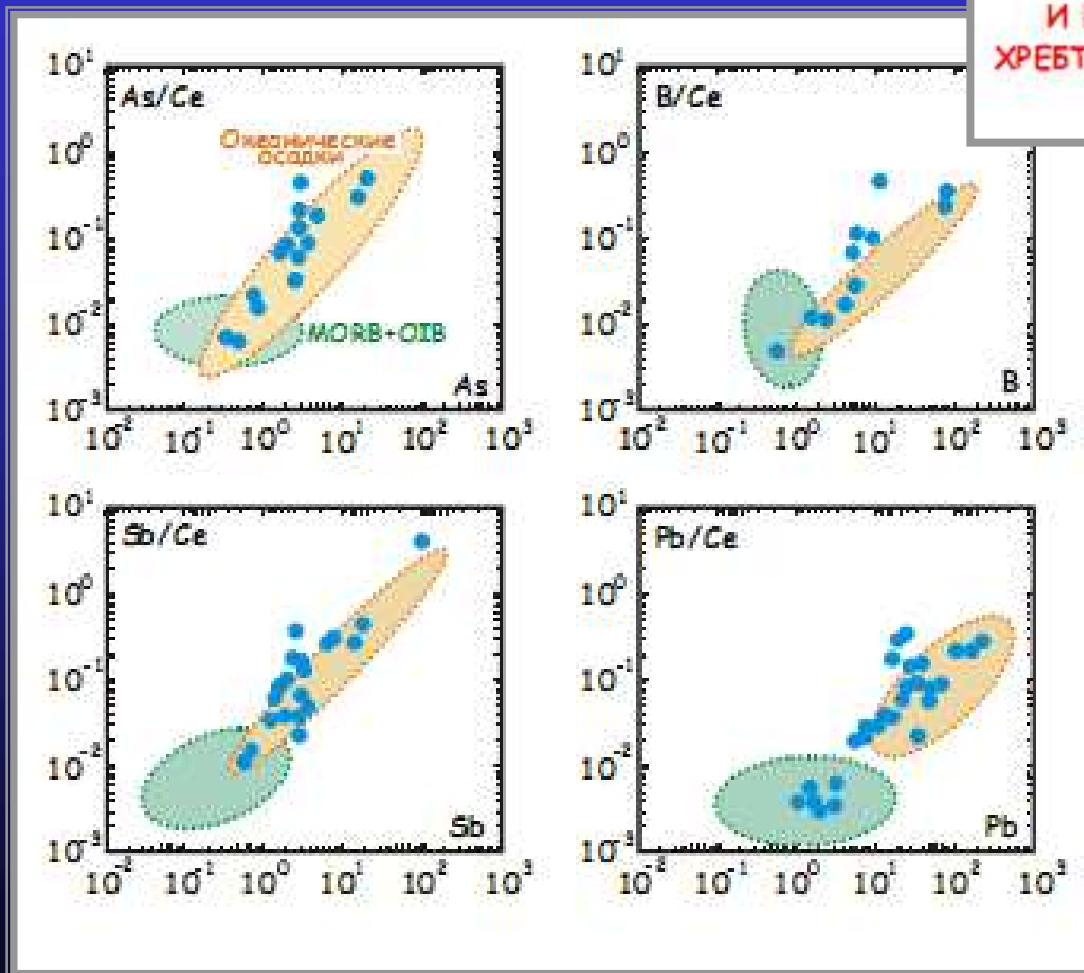
именно “летучие” компоненты и связанные с ними флюиды, образованные при субдукции океанических плит, способствуют зарождению долгоживущих областей плавления мантийного клина.

Эти источники островодужных магм неоднородны – гетерогенны по природе, поскольку формируются на разных глубинах под действием флюидов разного состава.

Расшифровка природы этих взаимосвязей состава магм и специфики надсубдукционных флюидов – одна из наиболее актуальных проблем современной петрологии.

Геохимические сигналы присутствия компонентов осадочного материала в источнике надсубдукционных магм

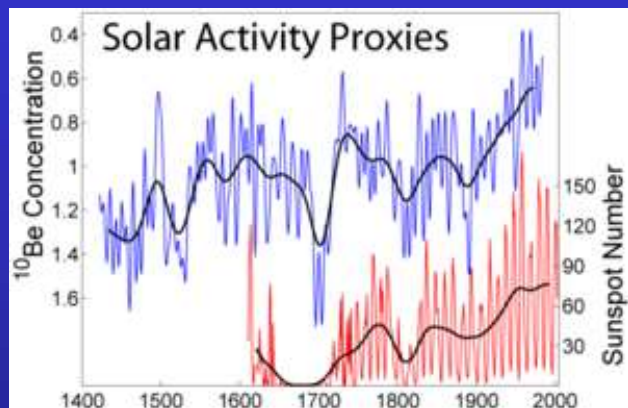
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ AS, B, SB И PB В МЕТАОСАДКАХ
И ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОДАХ СРЕДИННЫХ
ХРЕБТОВ (MORB), ОКЕАНИЧЕСКИХ О-ВОВ (OIB) И
ОСТРОВНЫХ ДУГ (●)



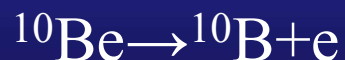
В – подвижный элемент

- в современных осадках 50-150 г/т
- в измененной океанической коре 10-300 г/т
- в MORB и OIB редко выше 2-3 г/т

Признаки присутствия компонентов осадочного материала в источнике магм



Plot showing variations in solar activity, including variation in ^{10}Be concentration which varies inversely with solar activity. (Note that the beryllium scale is inverted, so increases on this scale indicate lower beryllium-10 levels).



Beryllium-10 has a half-life of 1.39×10^6 years.

- ^{10}Be - продукт воздействия космических лучей на кислород и азот верхних слоев атмосферы
- концентрируется в глинистых глубоководных осадках ($^{10}\text{Be}/^9\text{Be} = 5000 \times 10^{-11}$)
- полураспад - 1.5 млн лет (через 10 млн лет - ниже предела обнаружения)
- в MORB и OIB: $^{10}\text{Be}/^9\text{Be} < 5 \times 10^{-14}$

	N-MORB	IAT	Med-K CA	Bon
SiO ₂	50	49	49	56
TiO ₂	1.5	0.5	0.58	0.2
Al ₂ O ₃	17	15	12.4	10.5
FeO	9.0	9.0	10.0	8.0
MnO	0.11	0.2	0.18	0.15
MgO	6.3	10.3	15.3	11.2
CaO	11.8	12.6	11.1	7.4
Na ₂ O	2.9	1.5	2.0	1.5
K ₂ O	0.15	0.20	0.9	0.4
P ₂ O ₅	0.14	0.06	0.15	0.02
Ba	6ppm	20	60	30
Nb	3.5ppm	0.6	0.8	1.0