

Новая тема:

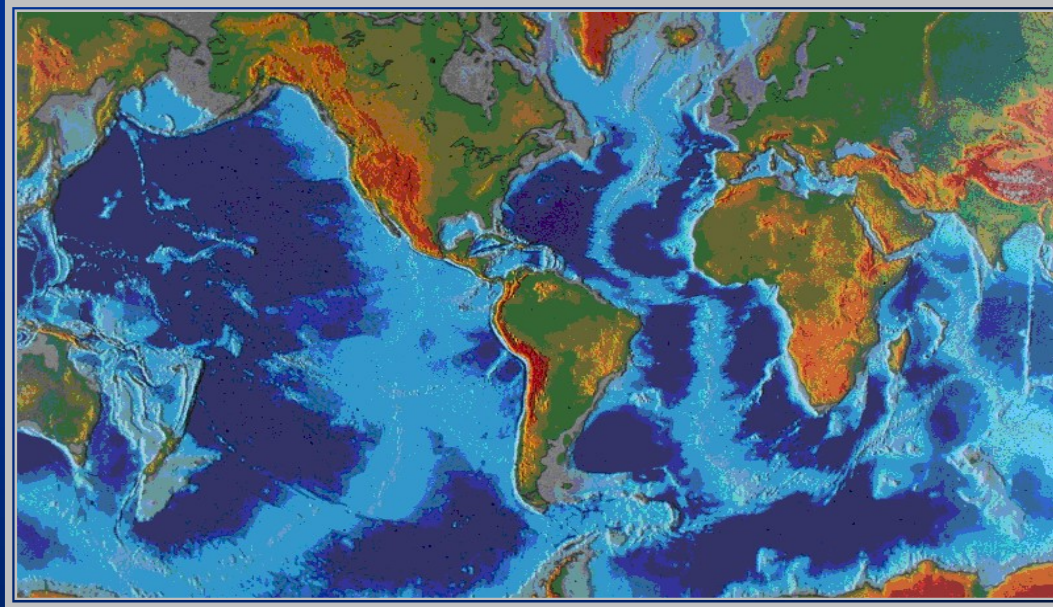
МАГМАТИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ ОКЕАНОВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ТОЛЕИТОВЫХ СЕРИЙ MORB

Лекция № 11

ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ ОКЕАНОВ И ОСОБЕННОСТИ ОКЕАНИЧЕСКОГО МАГМАТИЗМА



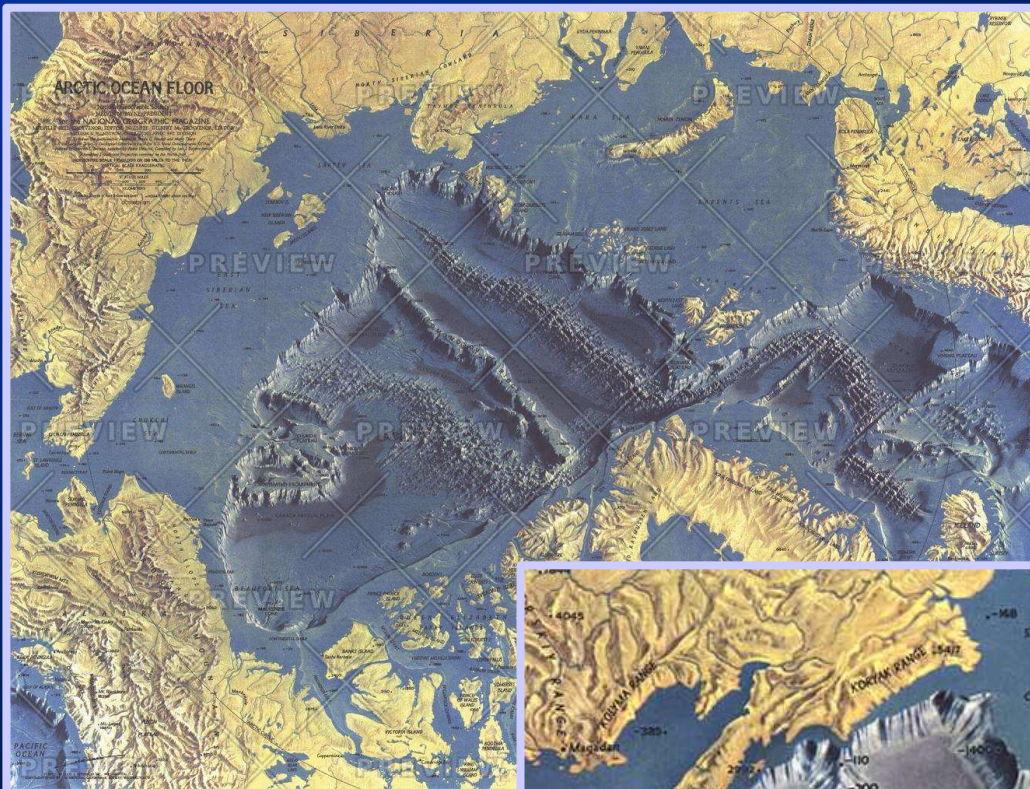
ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ ОКЕАНОВ



Главные тектоно-морфологические типы океанических областей:

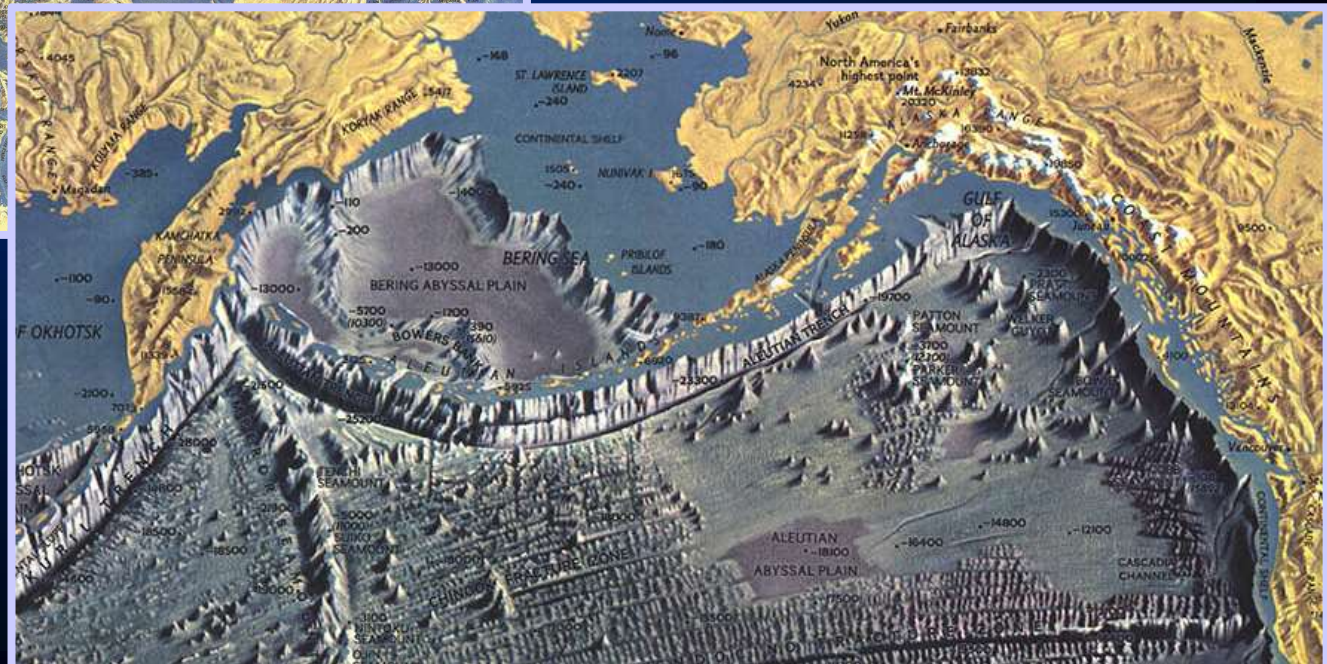
- океанические котловины (абиссальные равнины)
- океанические хребты
- глубоководные желоба в зонах сочленения
- океан-океан и
- океан-континент (континентальные окраины)

1. Океанические котловины



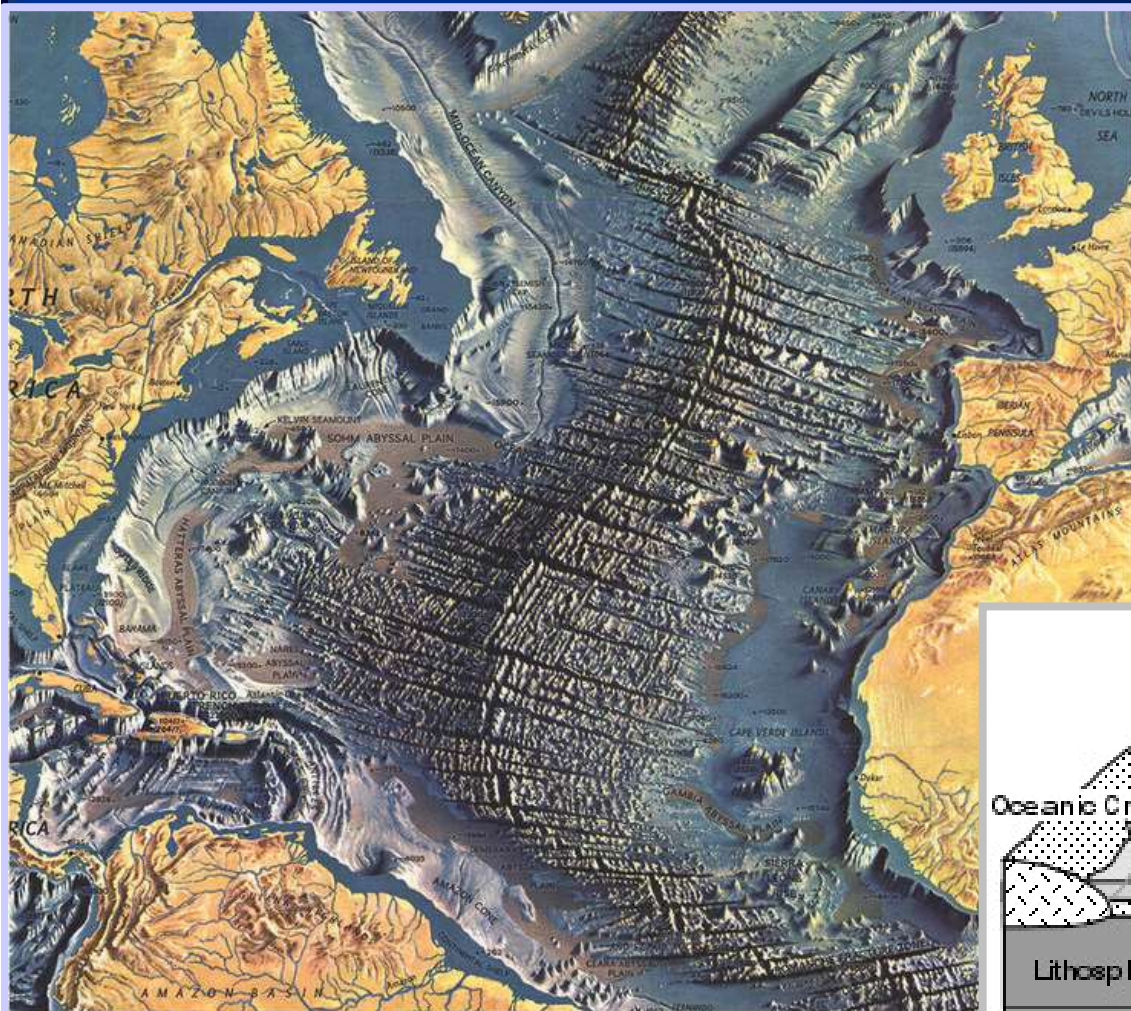
Арктический океан

Северная часть Тихого океана



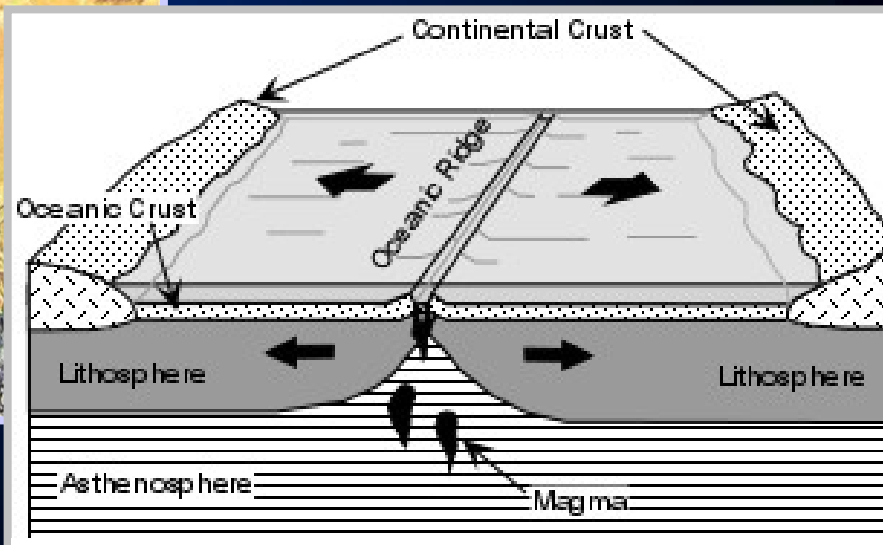
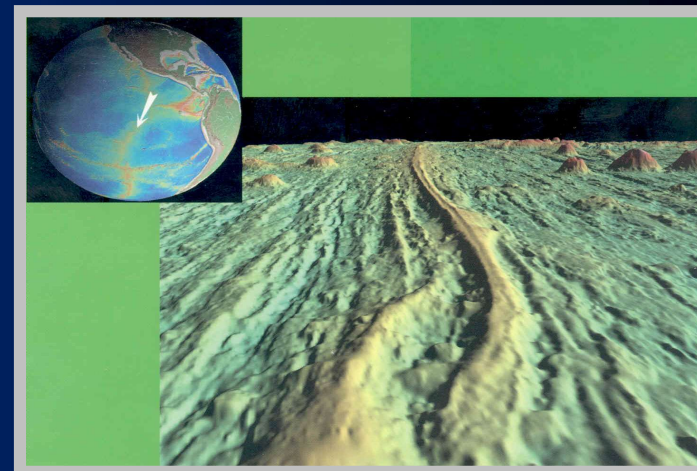
2. Океанические хребты

Морфология хребтов



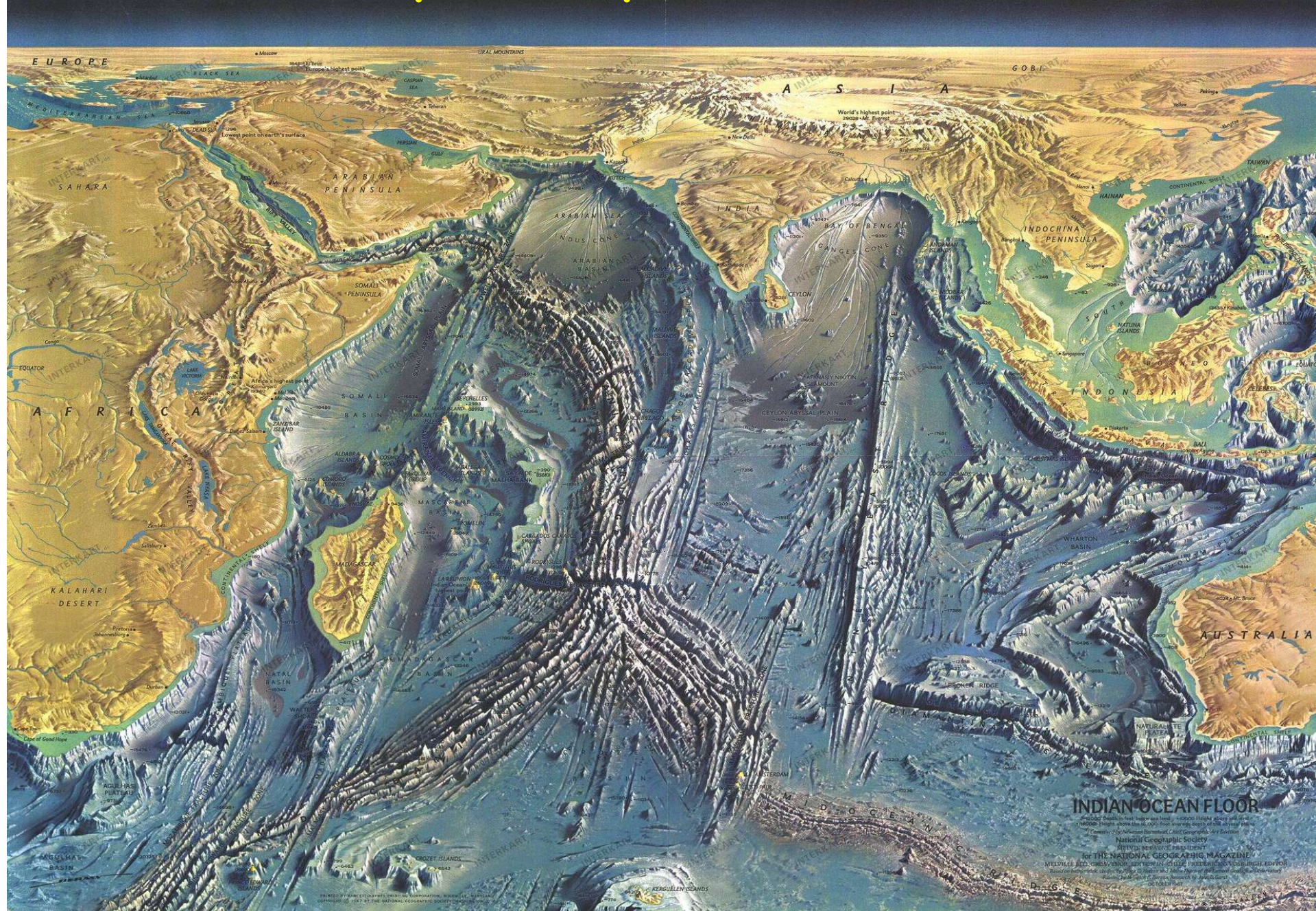
Центральная и северная часть Атлантики

Схема строения зоны спрединга



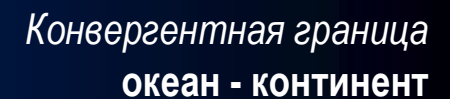
Дивергентная граница океанических плит

Океанические хребты и равнины Индийского океана



The map displays the Pacific Ocean basin with its various tectonic features. The Aleutian Trench, Kuril Trench, Japan Trench, Izu Trench, Ryukyu Trench, and the Mariana Trench are clearly visible. The Pacific Plate, North American Plate, and Australian Plate are also labeled. The inset diagram in the bottom right corner illustrates the subduction of oceanic crust under another oceanic crust, forming an island arc.

A cross-sectional diagram illustrating ocean-ocean convergence. On the left, an oceanic plate moves towards the right, indicated by a large black arrow. This plate is labeled 'Oceanic Crust' and 'Lithosphere'. It is subducting under another oceanic plate on the right, which is also labeled 'Oceanic Crust' and 'Lithosphere'. The subducting plate is labeled 'Asthenosphere' at its leading edge. An 'Oceanic Trench' is shown at the point of convergence. An 'Island Arc' is depicted on the subducting plate. The overriding plate on the right is labeled 'Continental Crust' and 'Lithosphere'. The mantle below is labeled 'Asthenosphere'. The diagram shows the process of one oceanic plate being forced beneath another, creating a trench and an island arc.



Конвергентная граница океан - океан

Главные направления исследований океанов



- Глубинные батиметрические исследования
- Измерения теплового потока
- Опробование океанических пород
(драгировки дна и бурение океанической коры)
- Состав и условия образования пород

Международные проекты бурения океанического дна: DSDP (1968)

→ ODP (1985)

→ IODP (2013)

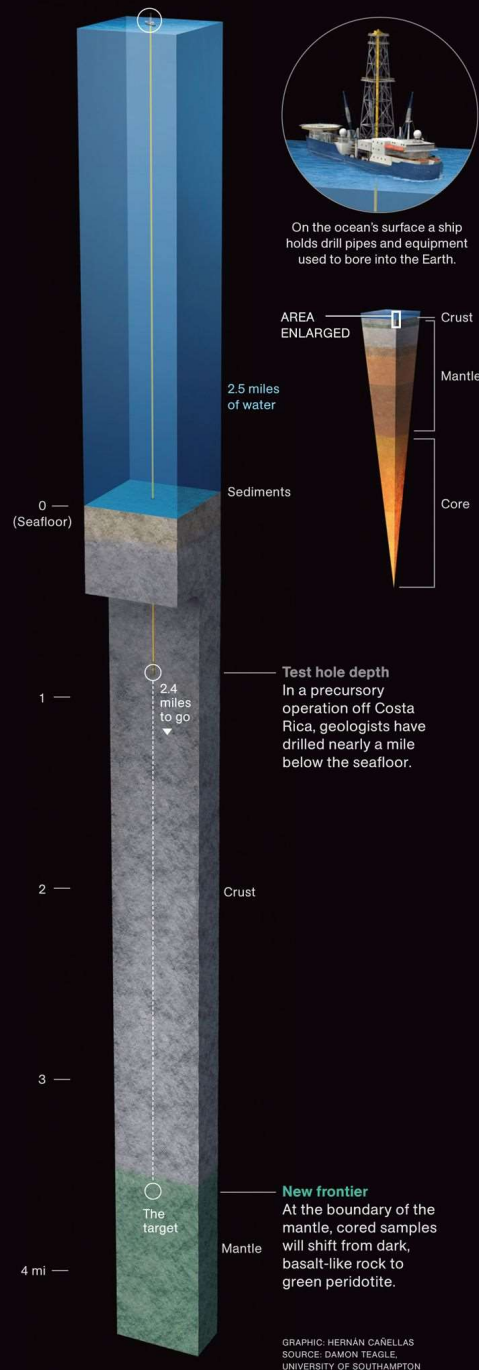
Deep Sea Drilling Project (более 40 лет)

Glomar Challenger (1967)



*JOIDES
Resolution*

Опробование океанического фундамента определило
лавинообразное накопление данных о петрографии и
геохимическом разнообразии базальтов
океанической коры



Ocean BlackLion



Ocean BlackHawk



Современные буровые суда

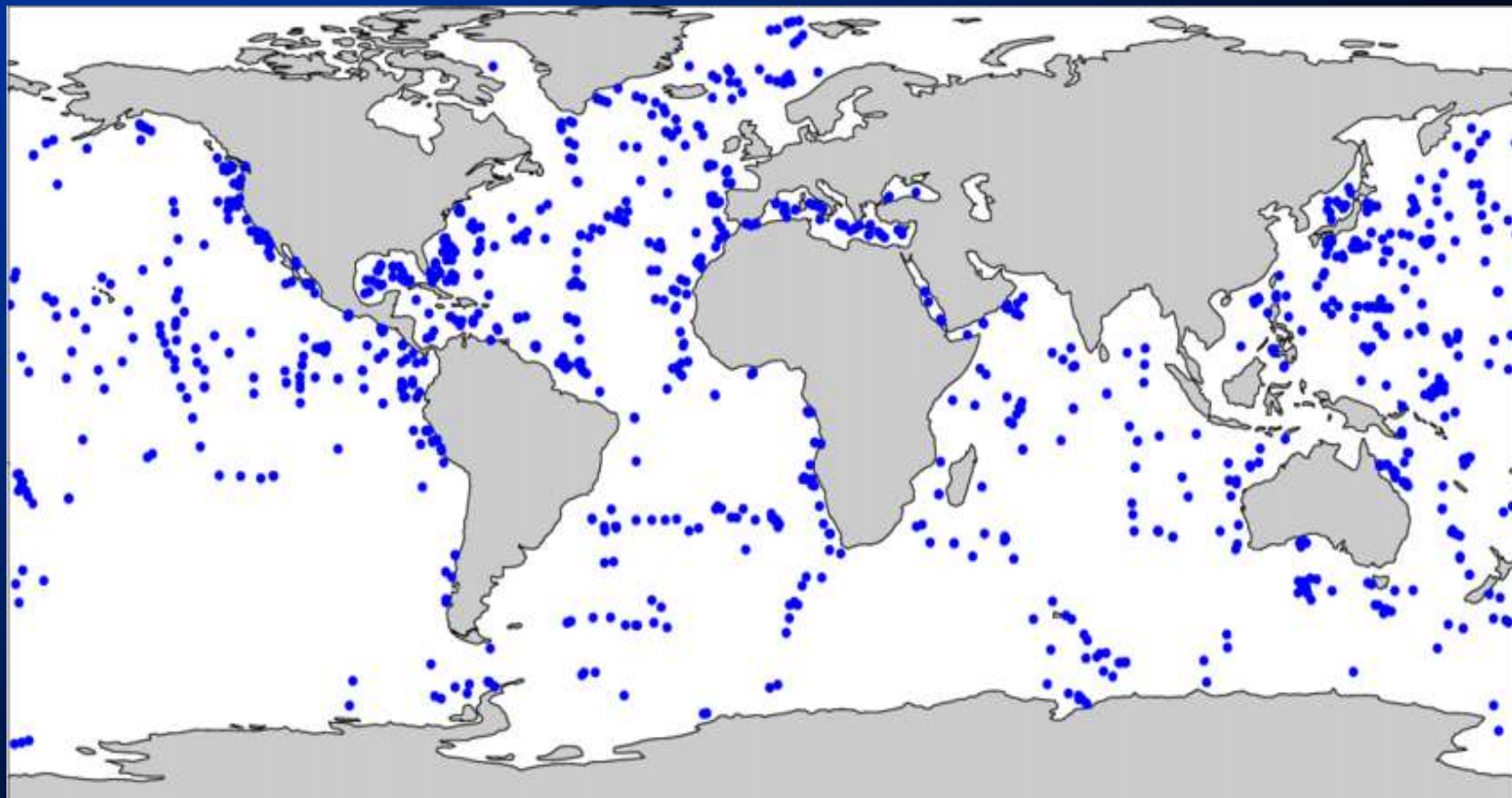
К лучшим относится серия из четырех буровых судов *Ocean BlackHawk*, *Ocean BlackHornet*, *Ocean BlackRhino* и *Ocean BlackLion*, построенных на верфи Hyundai Heavy Industries по заказу американской компании DIAMOND Offshore - в период с 2013 по 2014 год.

Эти суда оборудованы по самому последнему слову науки и техники в отрасли судостроения.

Технические характеристики *Ocean BlackHawk*:

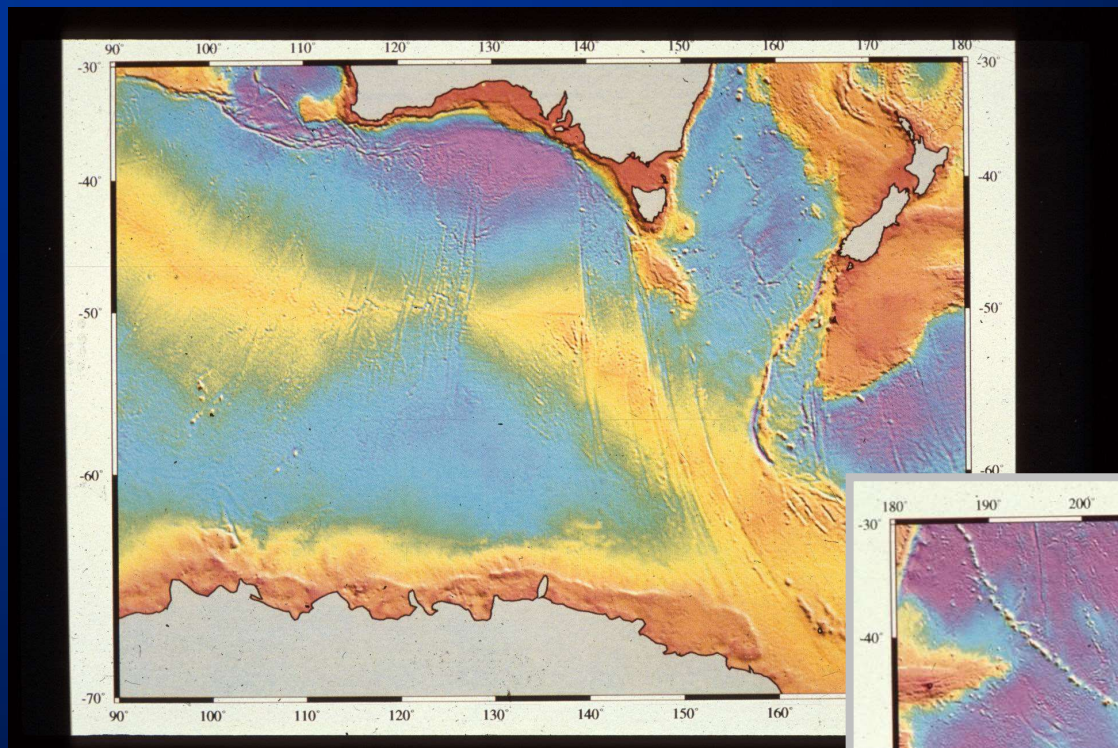
Водоизмещение — 70455 тонн; Длина — 229 м; Ширина — 36 м; Осадка — 18 м; Глубина бурения — до 12 км;
Высота буровой вышки — 64 м; Экипаж — 210 человек

Распределение скважин DSDP и ODP в акваториях Мирового океана



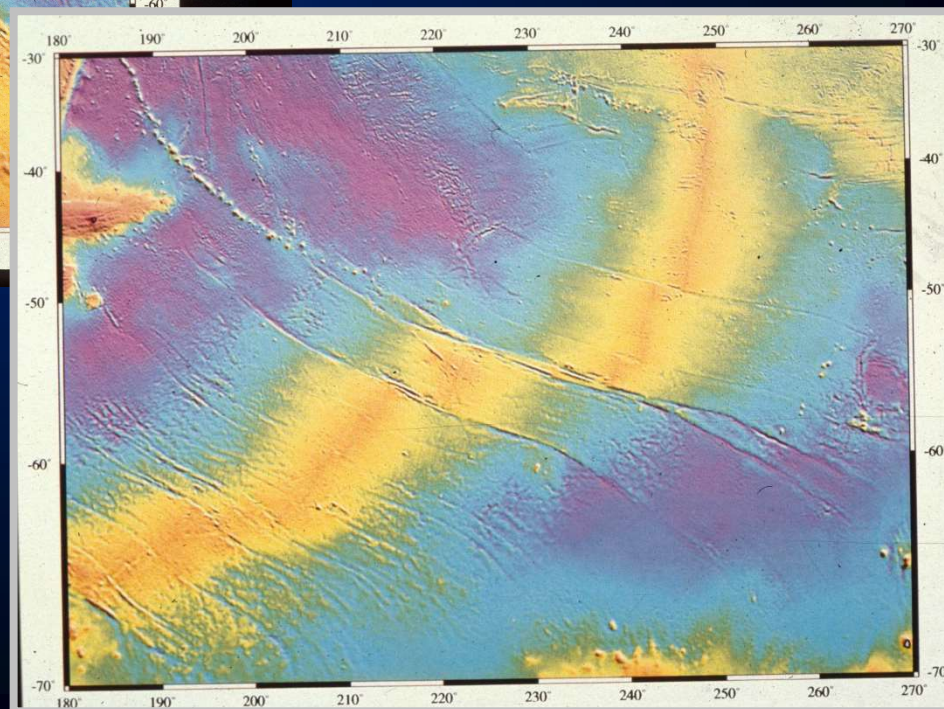
Большая часть этих скважин
проникла в “базальтовый слой”

Примеры батиметрии океанических областей

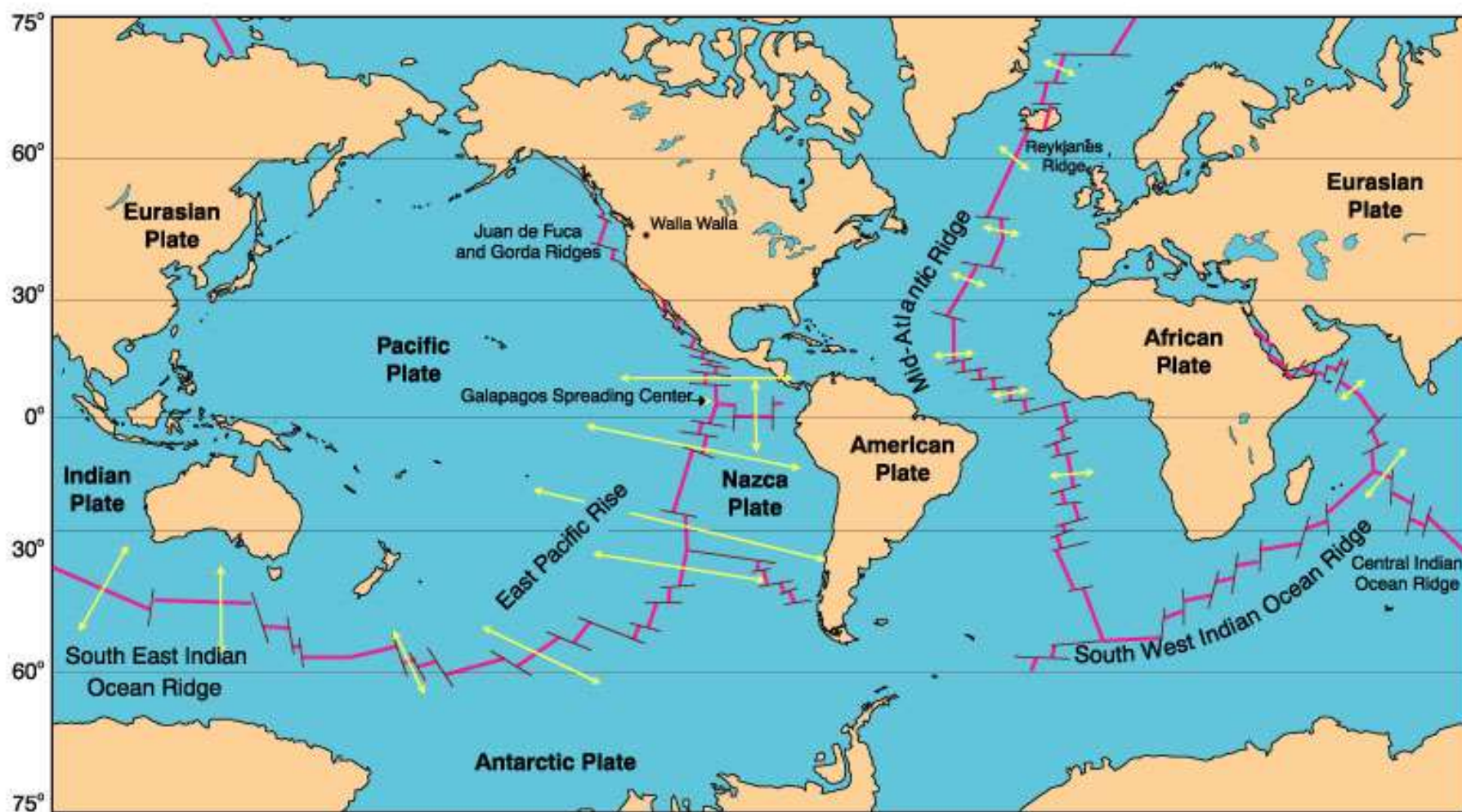


Рельеф дна антарктических морей Тихого океана

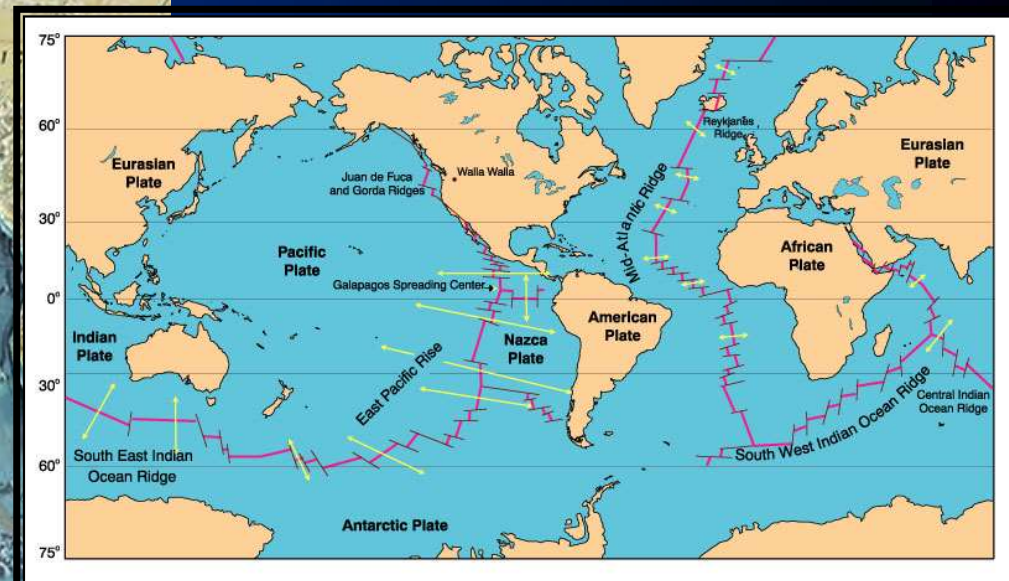
Трансформные разломы
Восточно-Антарктического
хребта



Мировая Система срединно-океанических хребтов

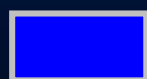


Срединно- Атлантический хребет

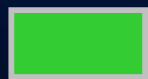


Мировая система Срединно-океанических
хребтов

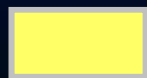
Базальтовые лавы и возраст пород Атлантического океана



Юра



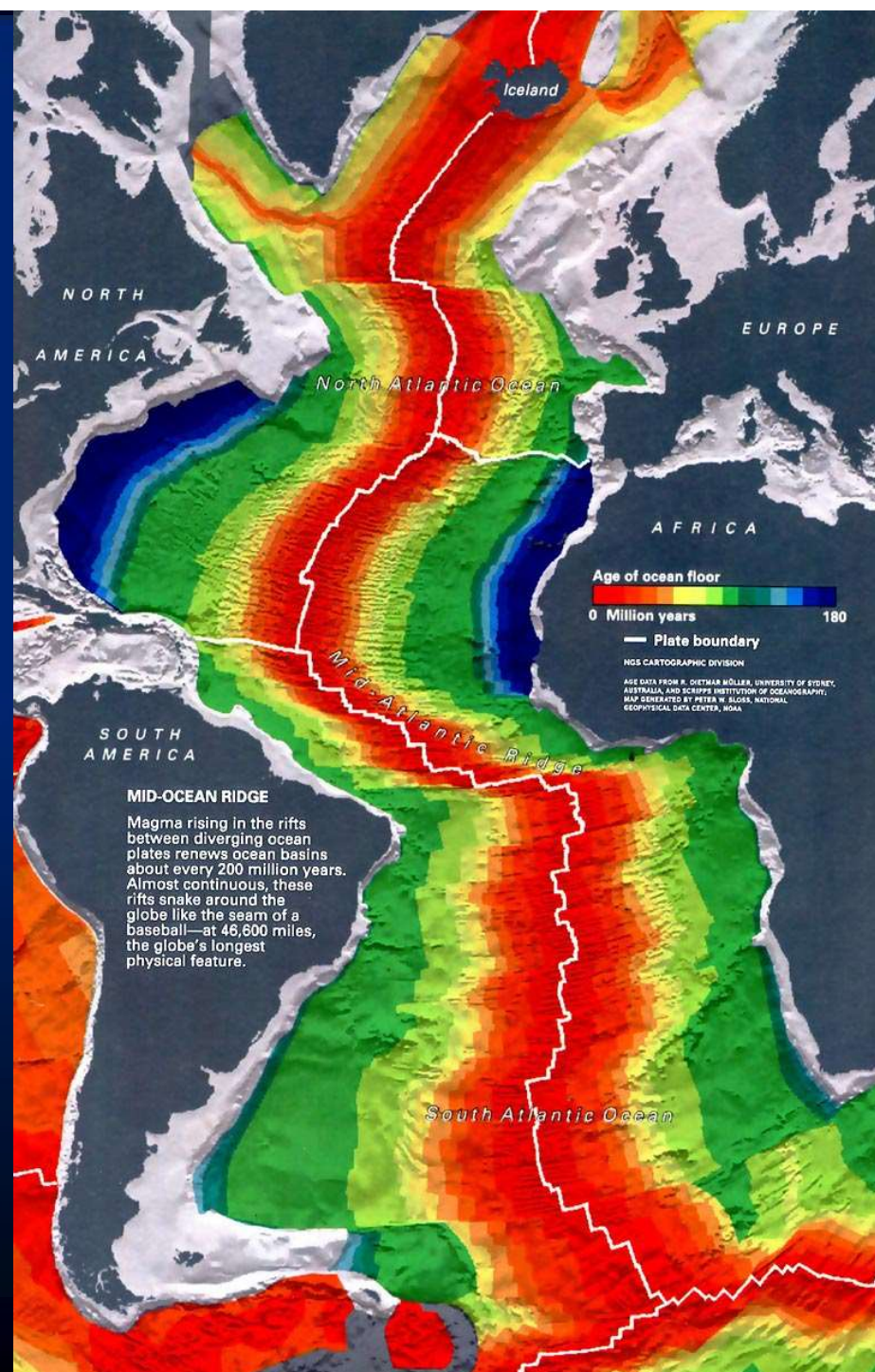
Мел



Палеоген

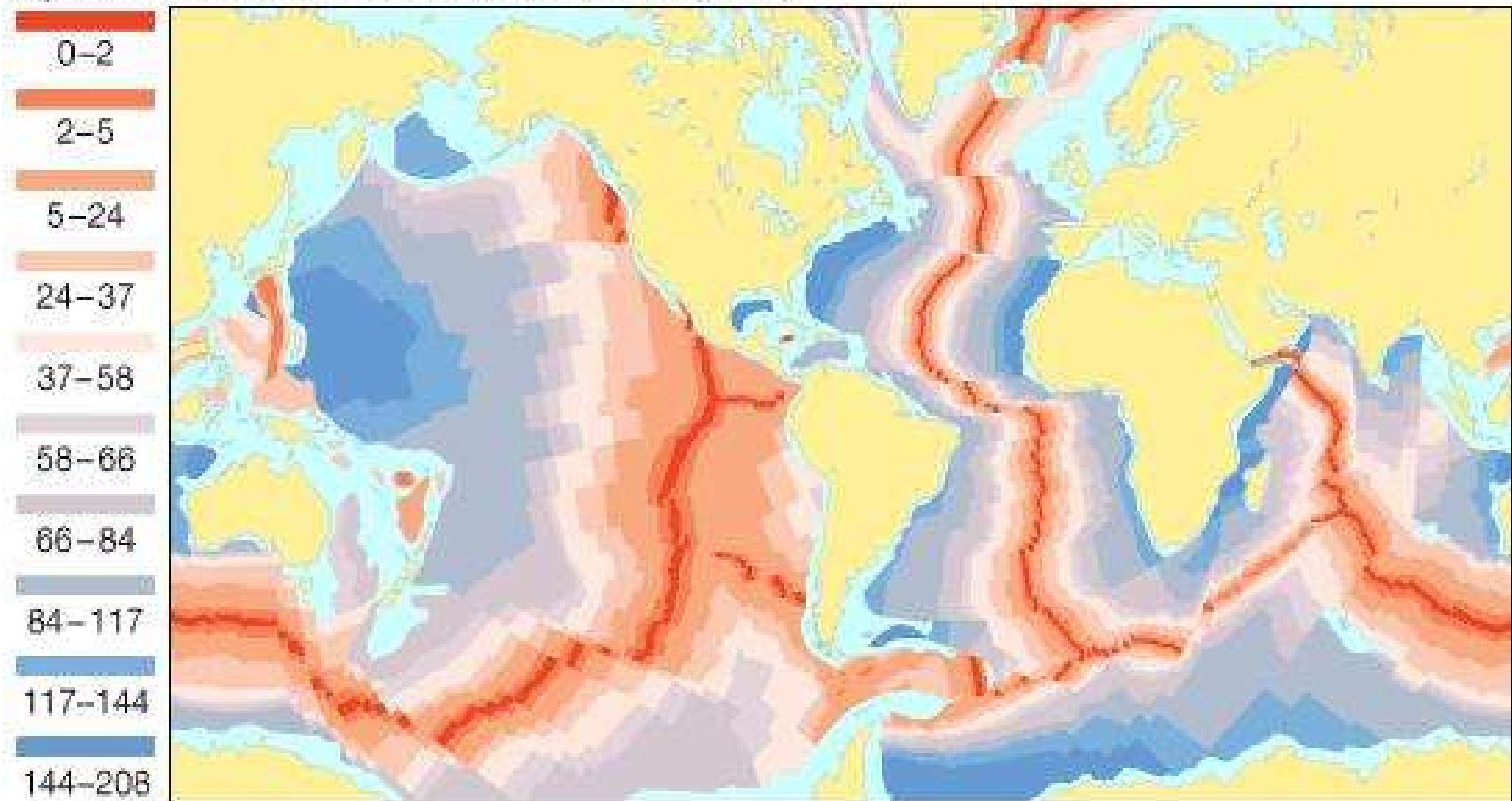


N+Q



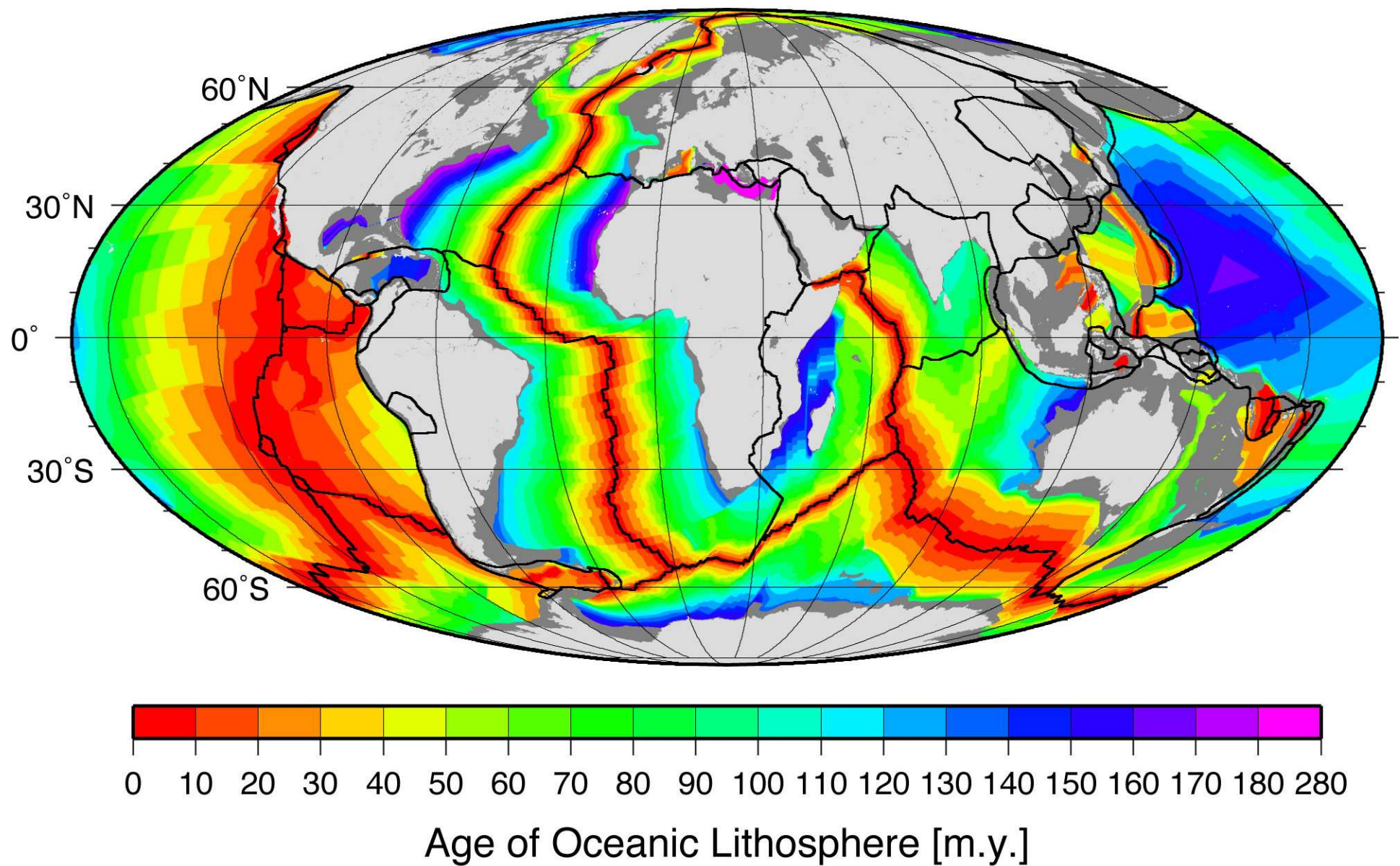
Возраст пород Мирового океана

Age of Earth's oceanic crust (in millions of years)



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Возраст пород Мирового океана



Каноническое строение океанической коры

I. Глубоководные осадки

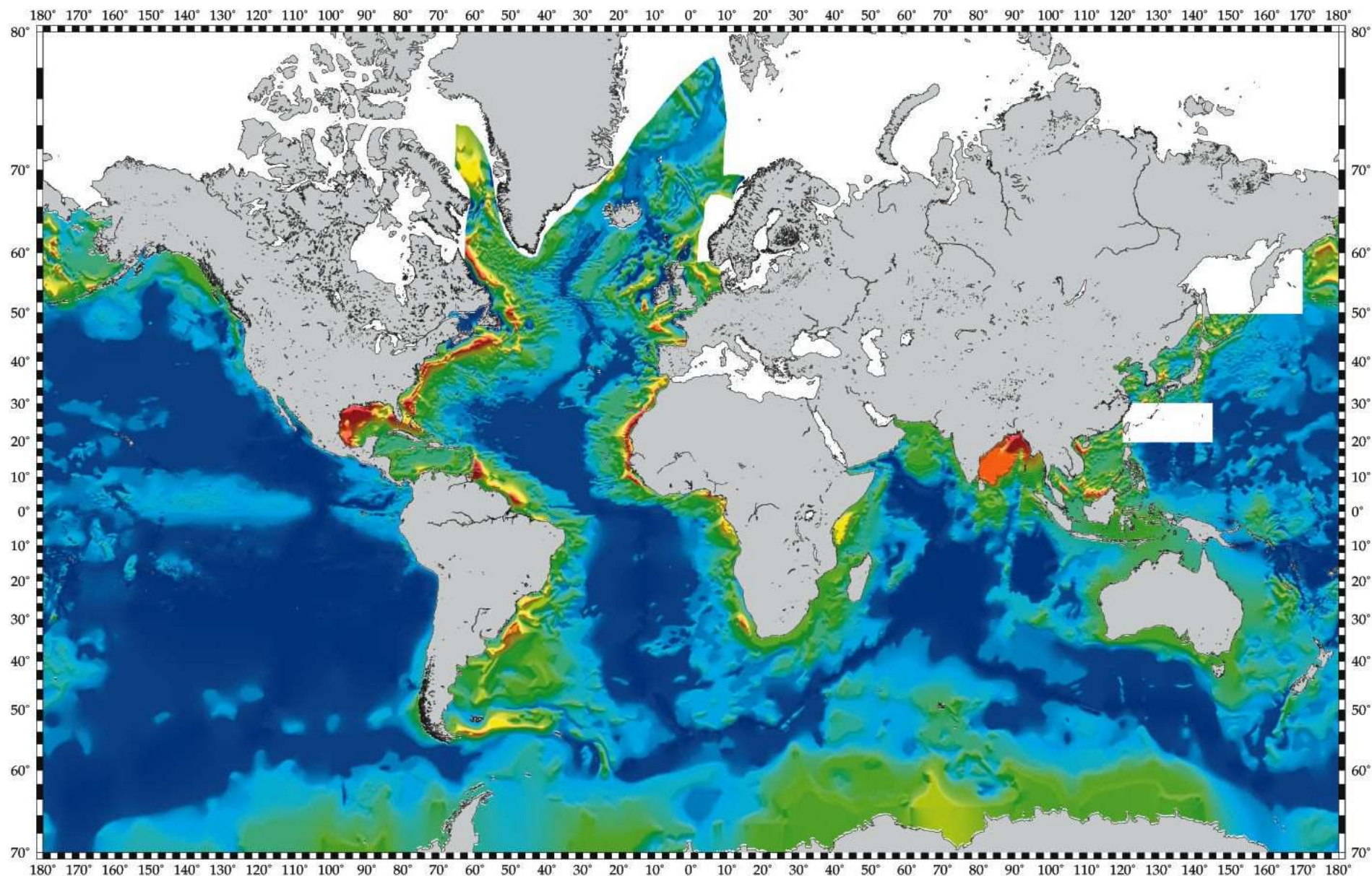
II. Пиллоу-лавы и дайковый комплекс

III. Изотропные и расслоенные габбро

IV. Расслоенные и тектонизированные перидотиты

Lithology		Ocean Crustal Layers	Typical Ophiolite	Normal Ocean Crust	
			Thickness (km)	ave.	P wave vel. (km/s)
Deep-Sea Sediment		1	~ 0.3	0.5	1.7 - 2.0
Basaltic Pillow Lavas		2A & 2B	0.5	0.5	2.0 - 5.6
Sheeted dike complex		2C	1.0 - 1.5	1.5	6.7
Gabbro		3A	2 - 5	4.7	7.1
Layered Gabbro		3B			
Layered peridotite		4	up to 7		8.1
Unlayered tectonite peridotite					

Total Sediment Thickness of the World's Oceans & Marginal Seas



Каноническое строение океанической коры

I. Глубоководные осадки

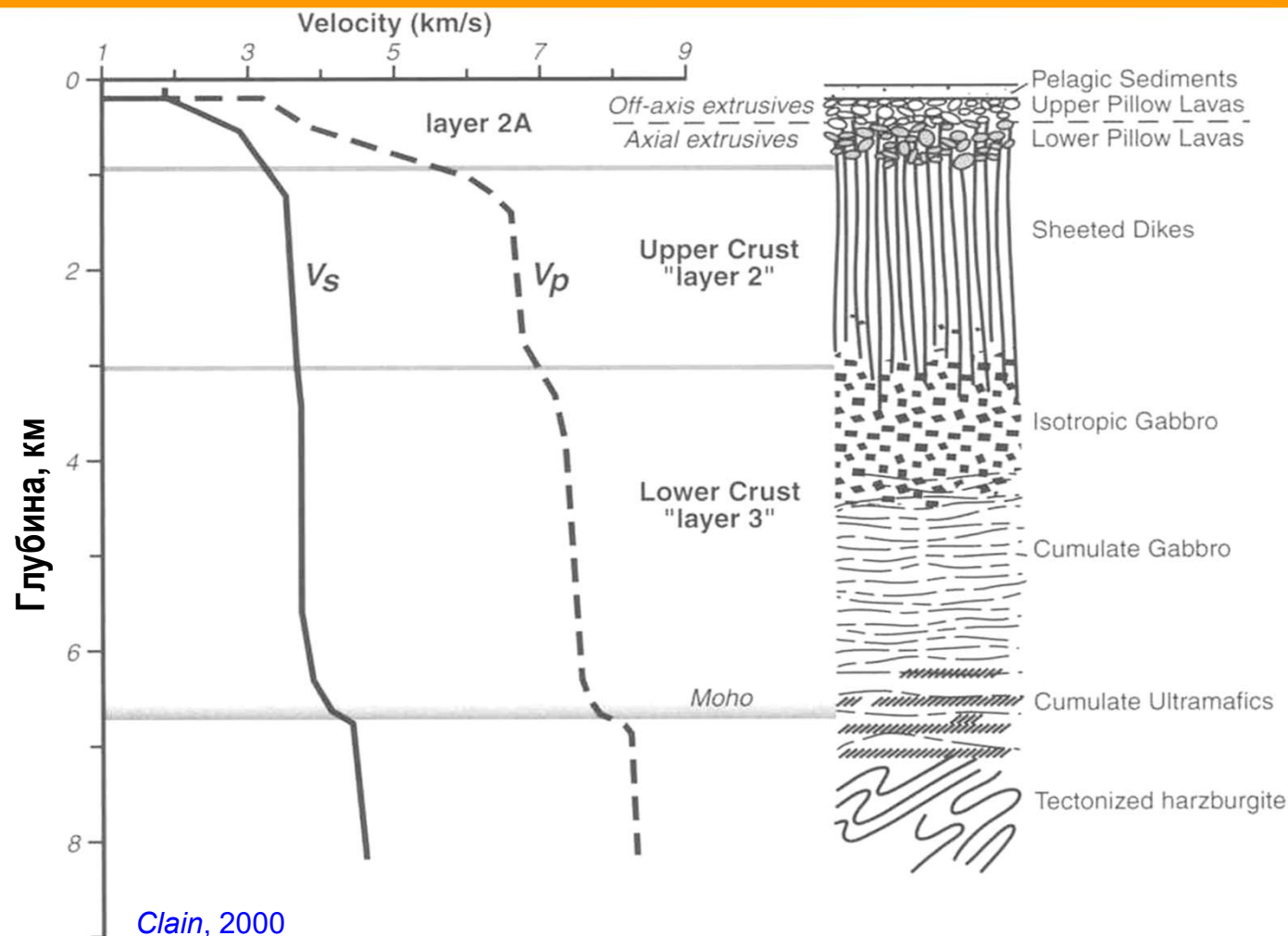
II. Пиллоу-лавы и дайковый комплекс

III. Изотропные и расслоенные габбро

IV. Расслоенные и тектонизированные перидотиты

Lithology		Ocean Crustal Layers	Typical Ophiolite	Normal Ocean Crust	
			Thickness (km)	ave.	P wave vel. (km/s)
Deep-Sea Sediment		1	~ 0.3	0.5	1.7 - 2.0
Basaltic Pillow Lavas		2A & 2B	0.5	0.5	2.0 - 5.6
Sheeted dike complex		2C	1.0 - 1.5	1.5	6.7
Gabbro		3A	2 - 5	4.7	7.1
Layered Gabbro		3B			
Layered peridotite		4	up to 7		8.1
Unlayered tectonite peridotite					

Источники информации о строении коры: Скорости сейсмических волн



I (осадки)

IIa

IIb

III

IV

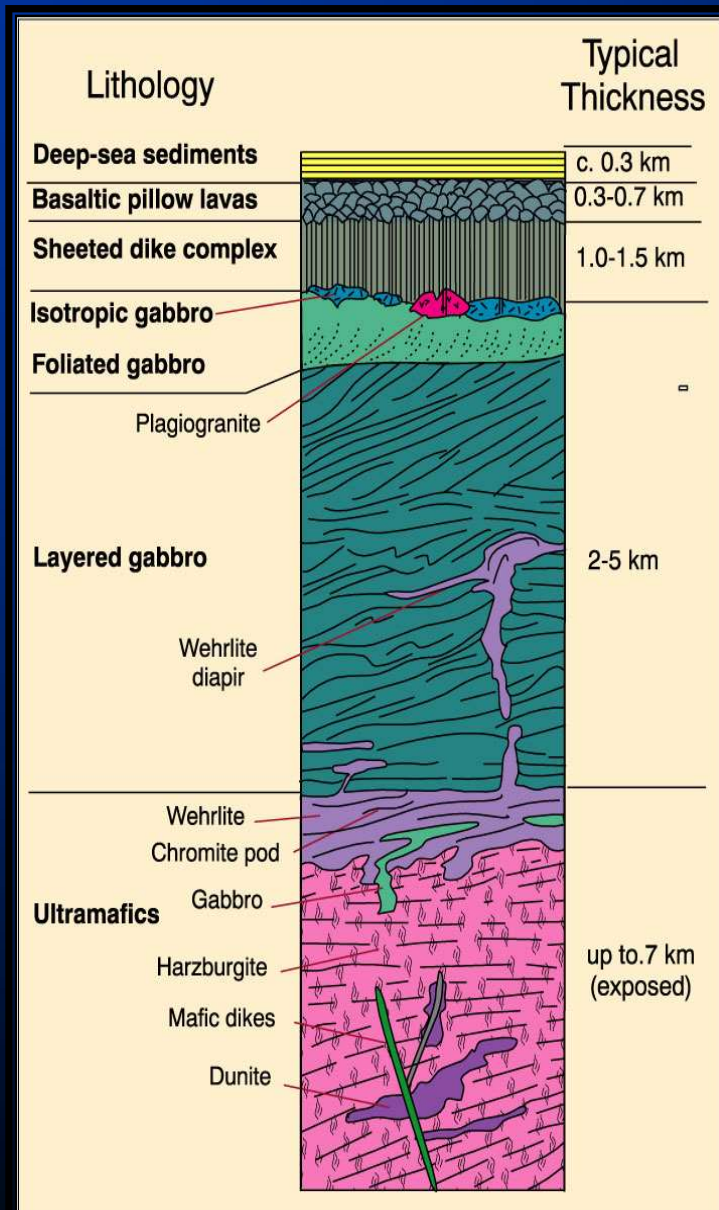
Магматический комплекс

океанической коры

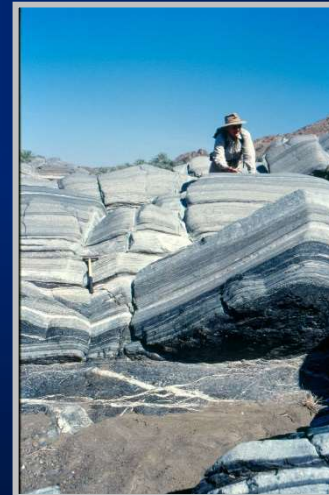
Источники информации: Офиолитовый комплекс
Омана как модель строения океанической коры



Офиолиты Омана: лавы, дайки, габбро, плагиограниты



Пиллоу-лавы



Расслоенные габбро

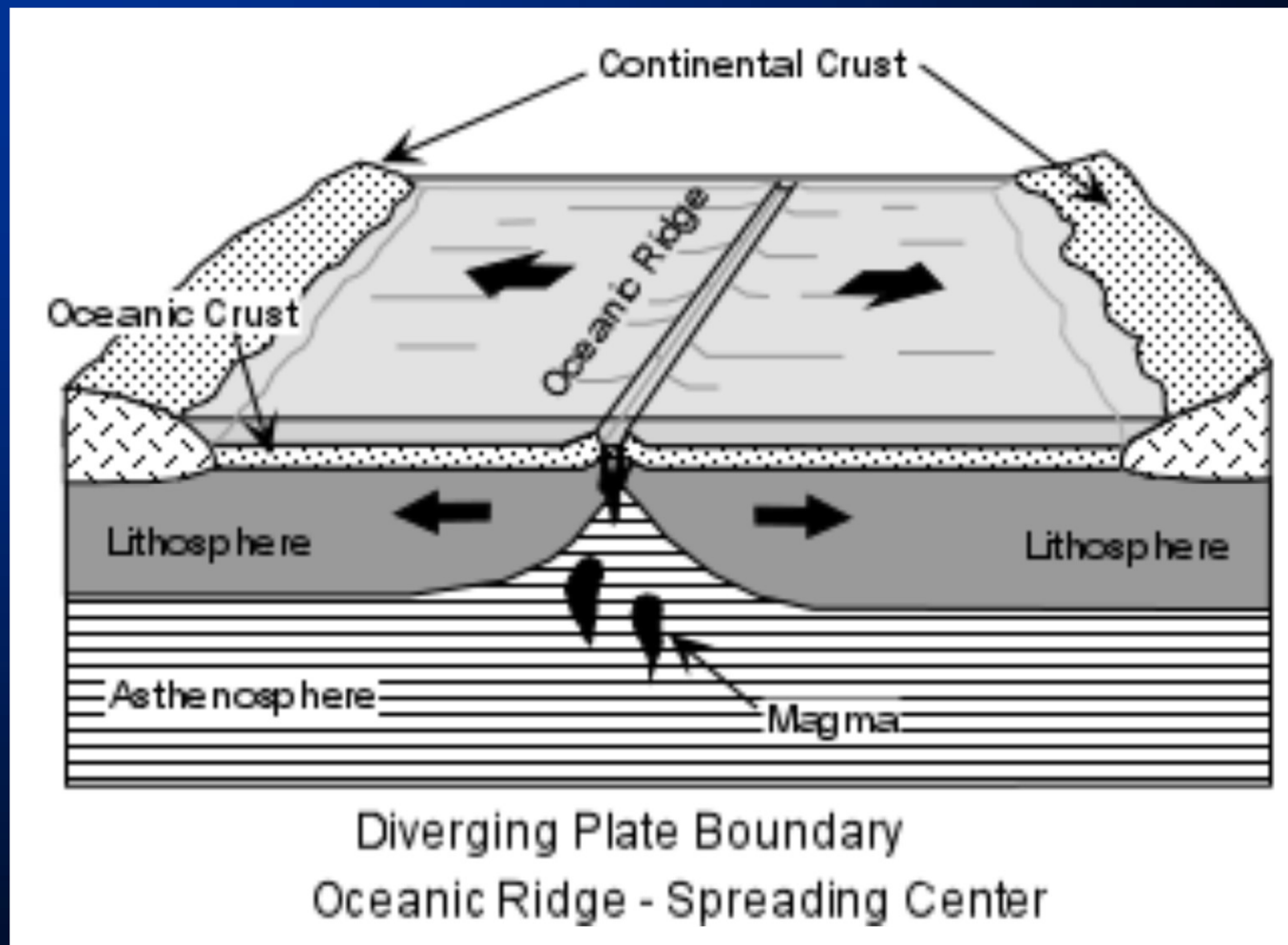


Дайки

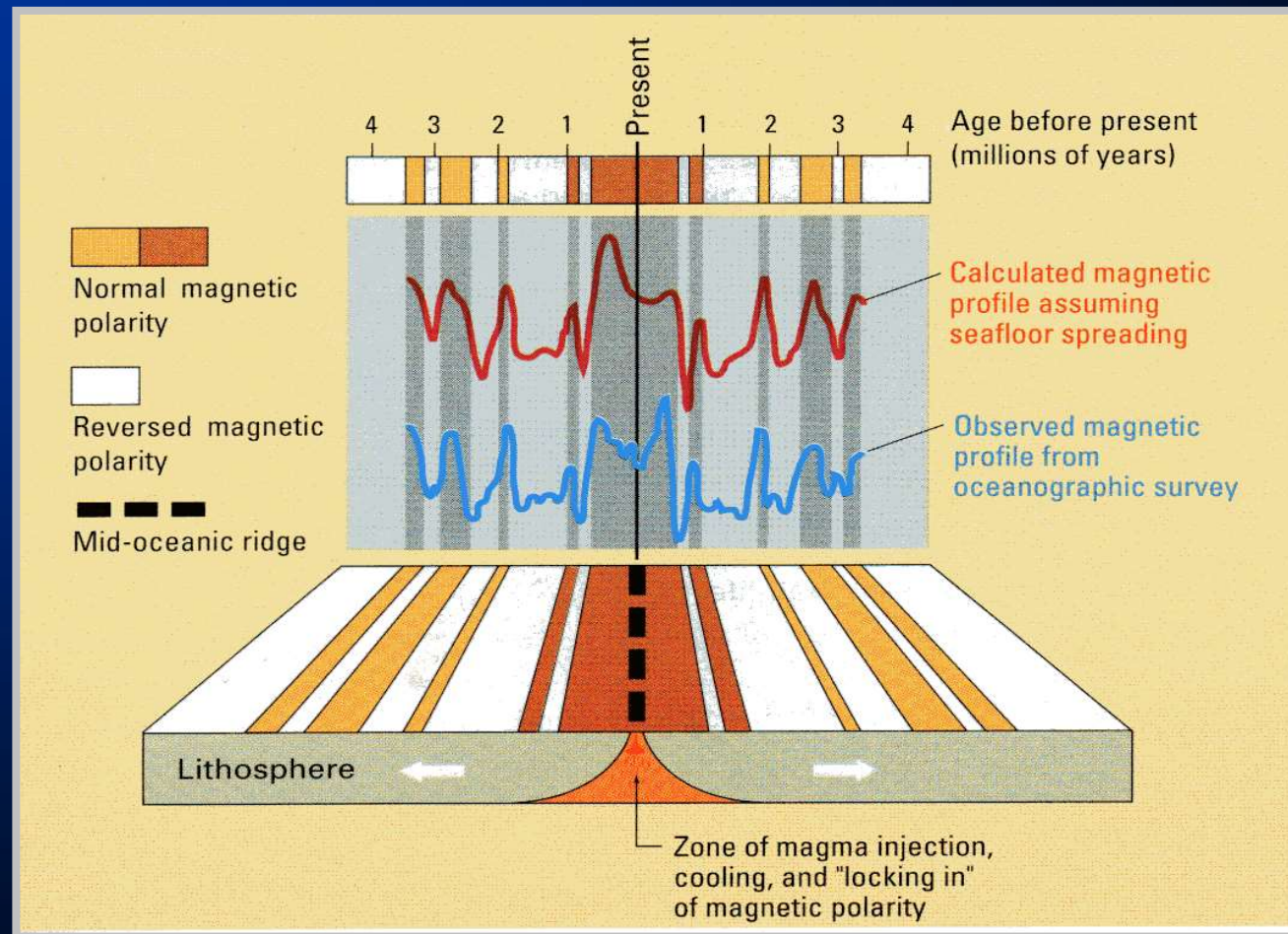


Жильные
плагиограниты

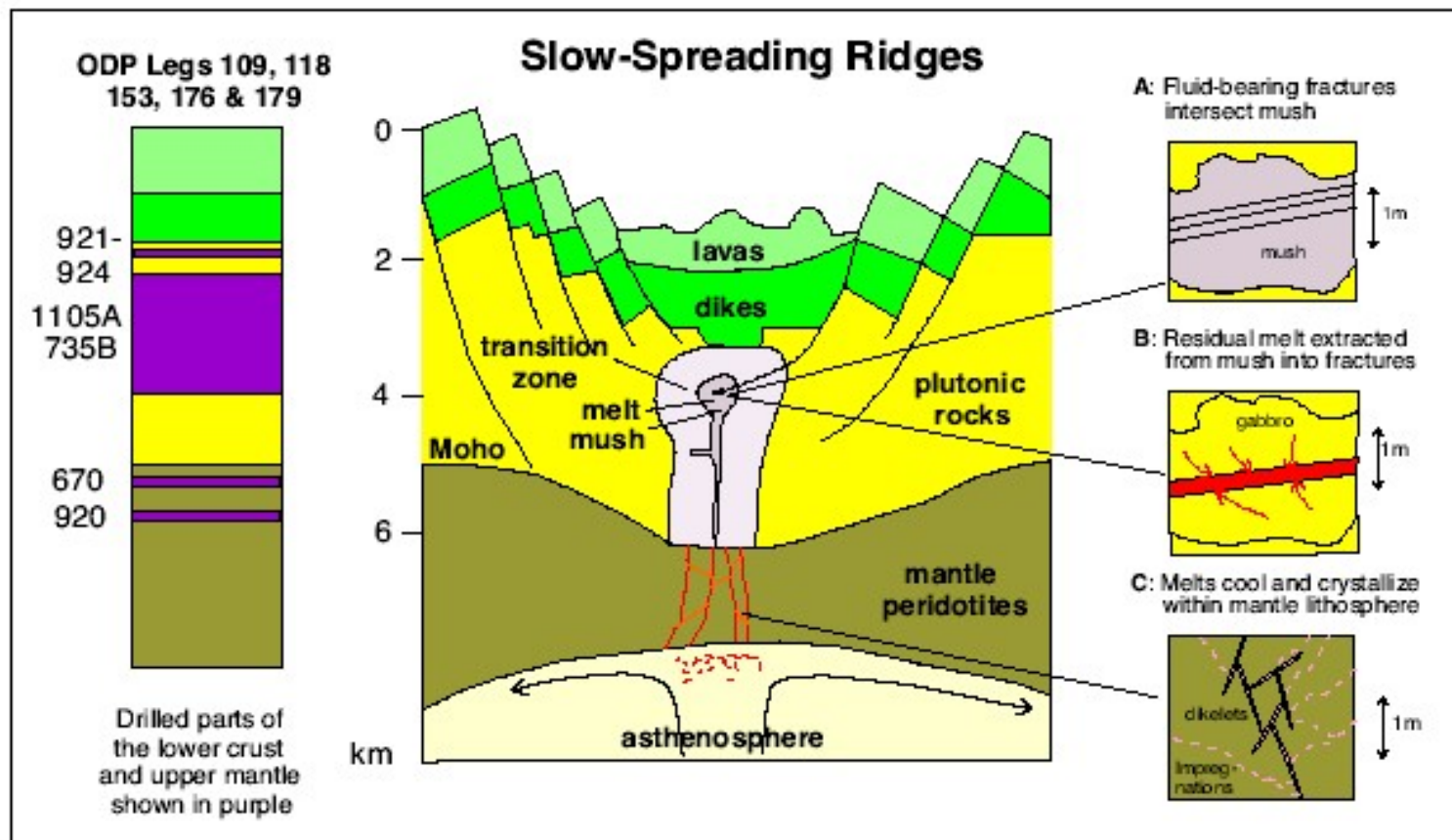
Классическая схема океанического спрединга



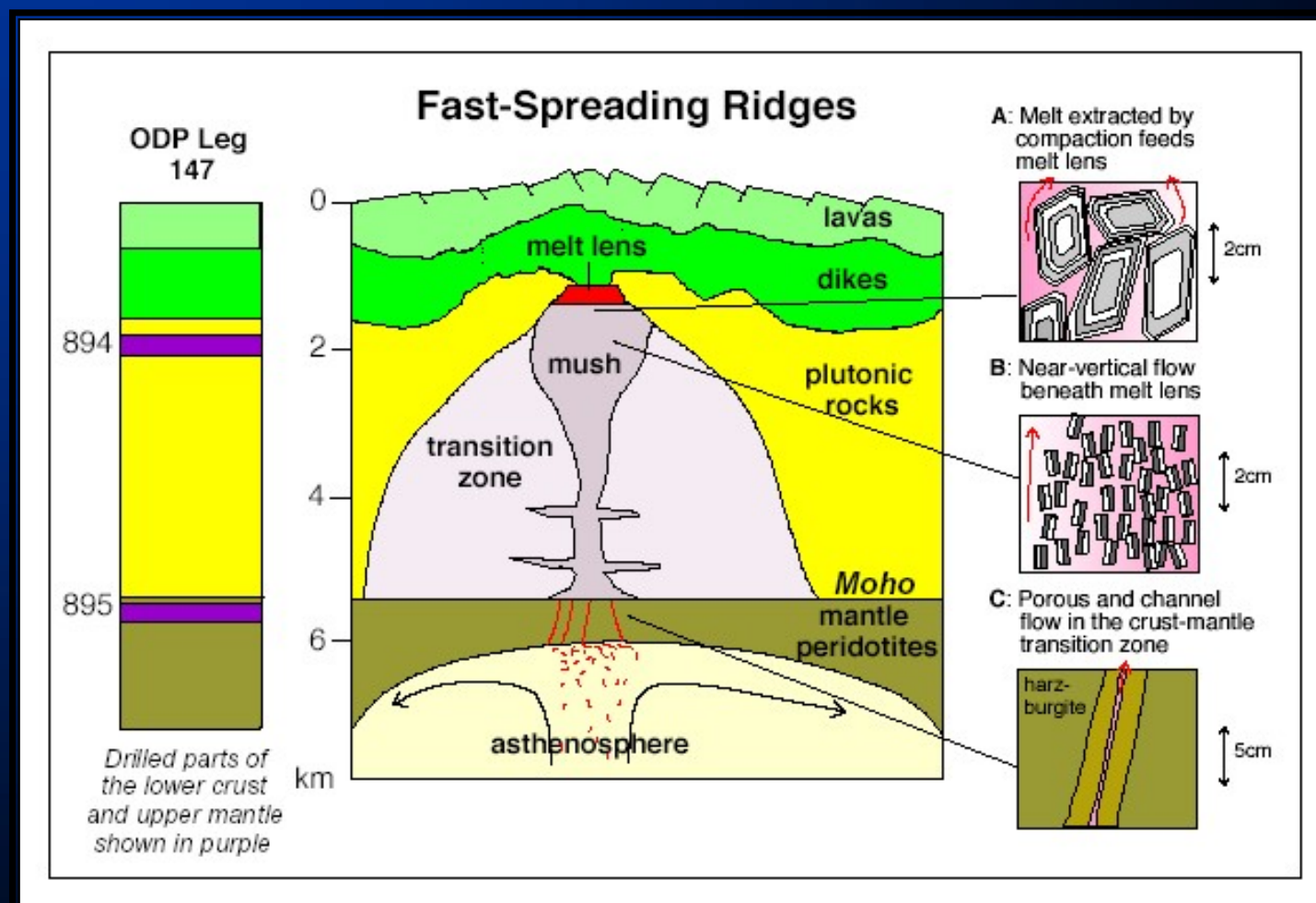
Остаточная намагниченность океанических базальтов в зоне океанического спрединга



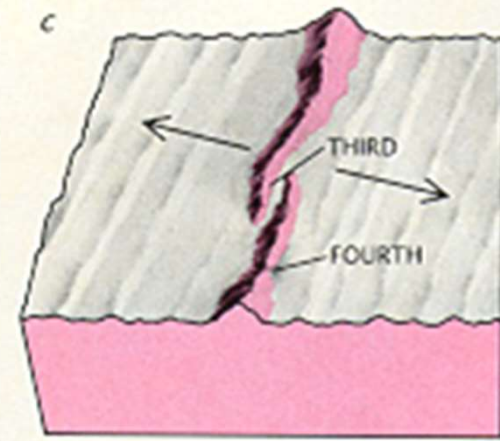
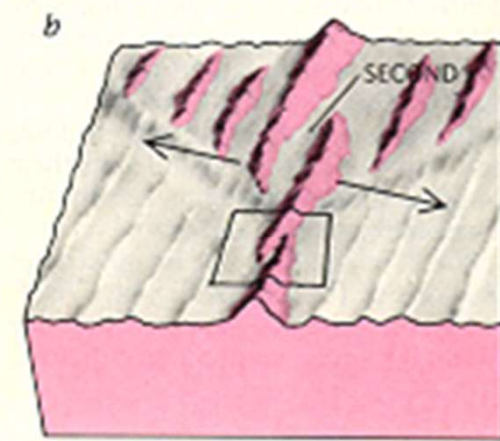
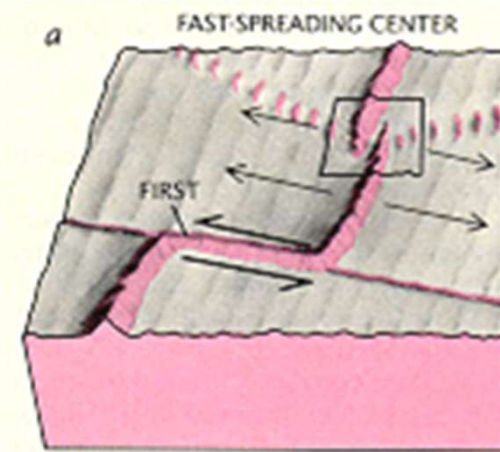
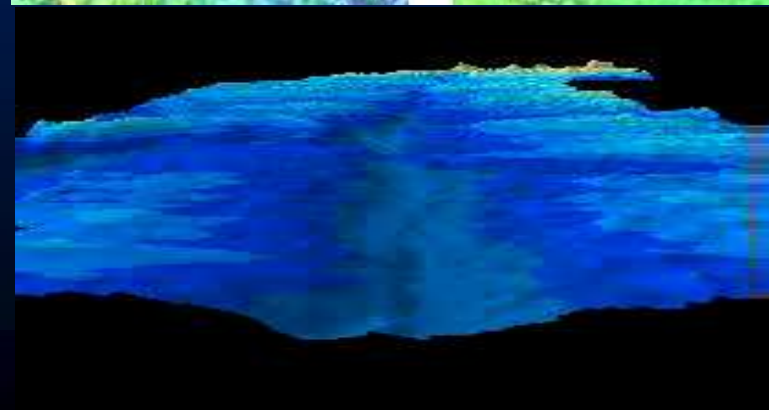
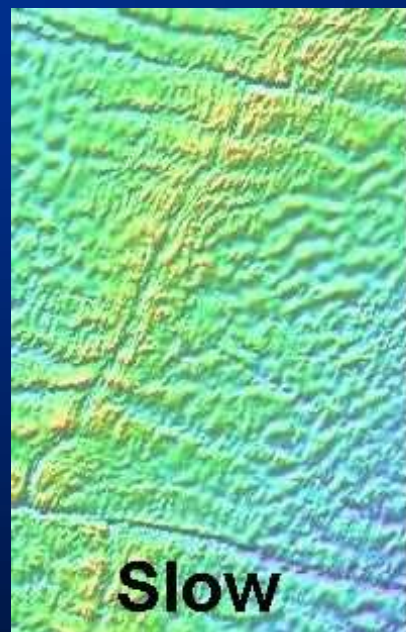
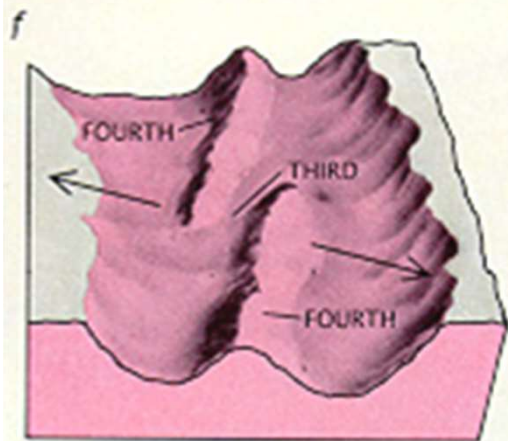
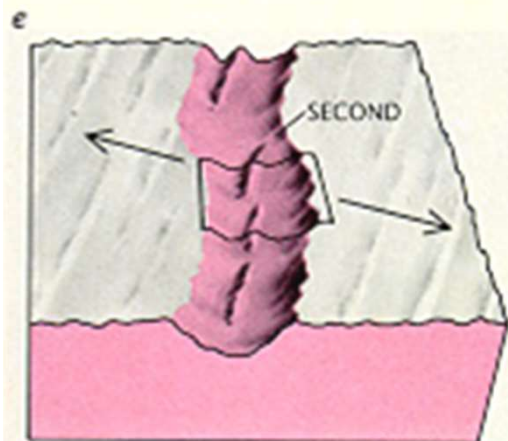
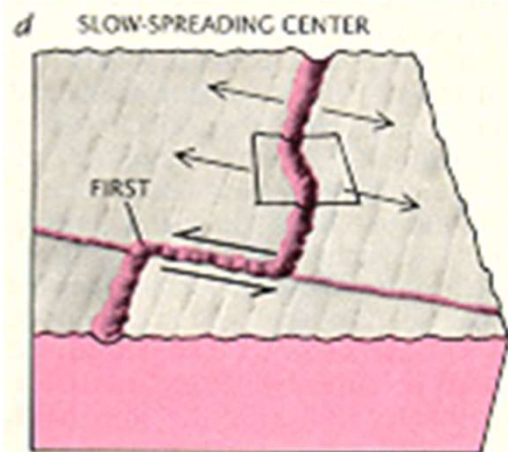
Строение низкоскоростных спрединговых зон



Строение высокоскоростных спрединговых зон



Морфология низко- и высокоскоростных спрединговых зон



Мировая Система срединно-океанических хребтов



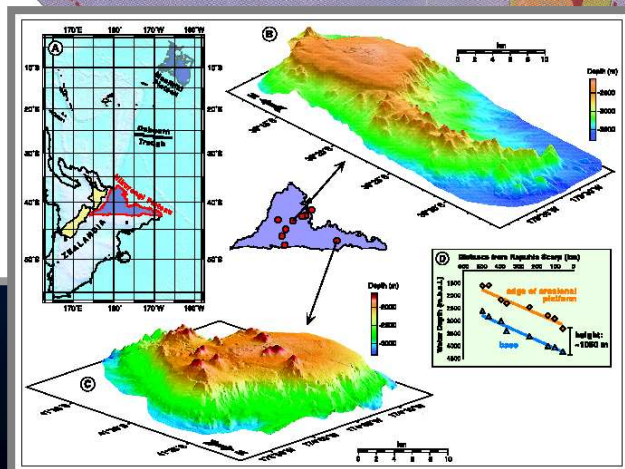
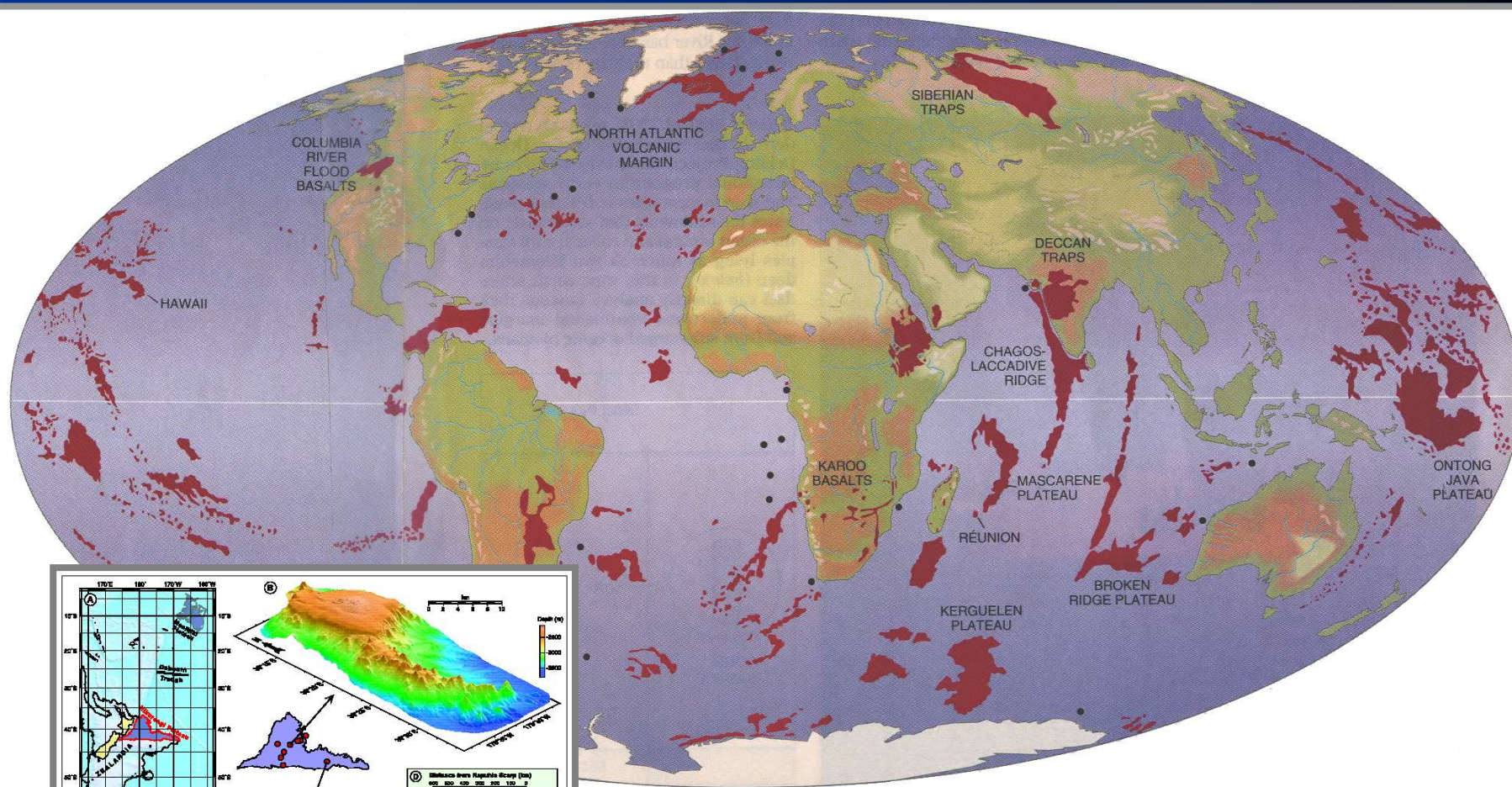
Главные структуры океанических плит

- Глубоководные равнины (котловины)



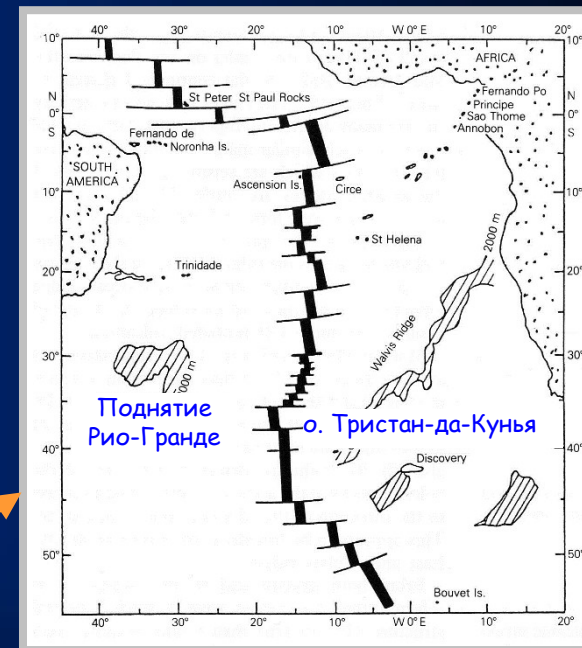
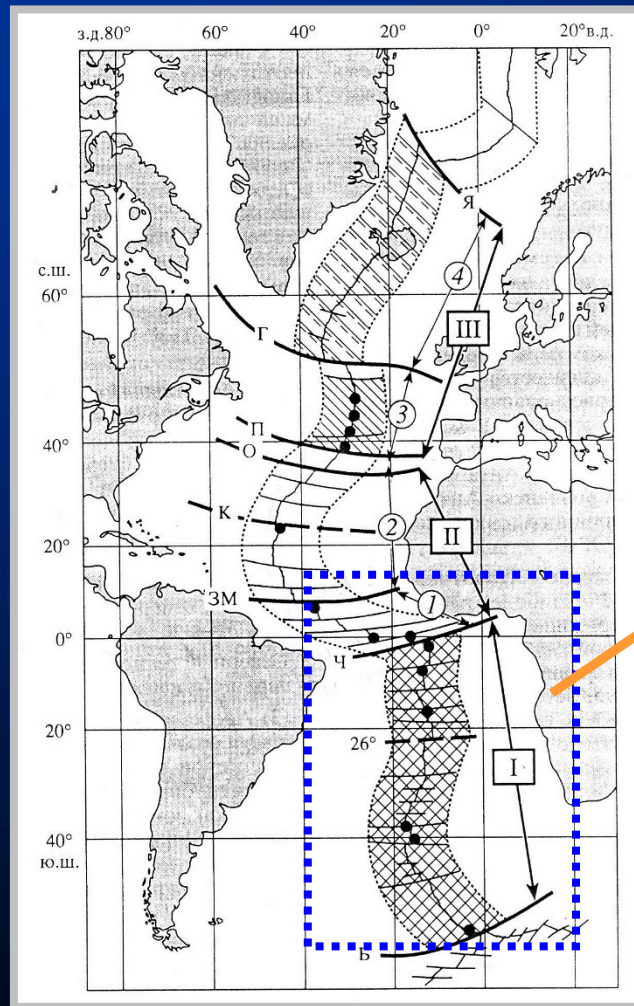
- Положительные структуры океанических плит
Океанические плато
Асейсмичные хребты
Подводные горы и океанические о-ва
Микроконтиненты

Положительные структуры океанических плит: океанические плато



Морфология плато Хикुरанги
(к востоку от Новой Зеландии)

Положительные структуры океанических плит: асейсмичные хребты



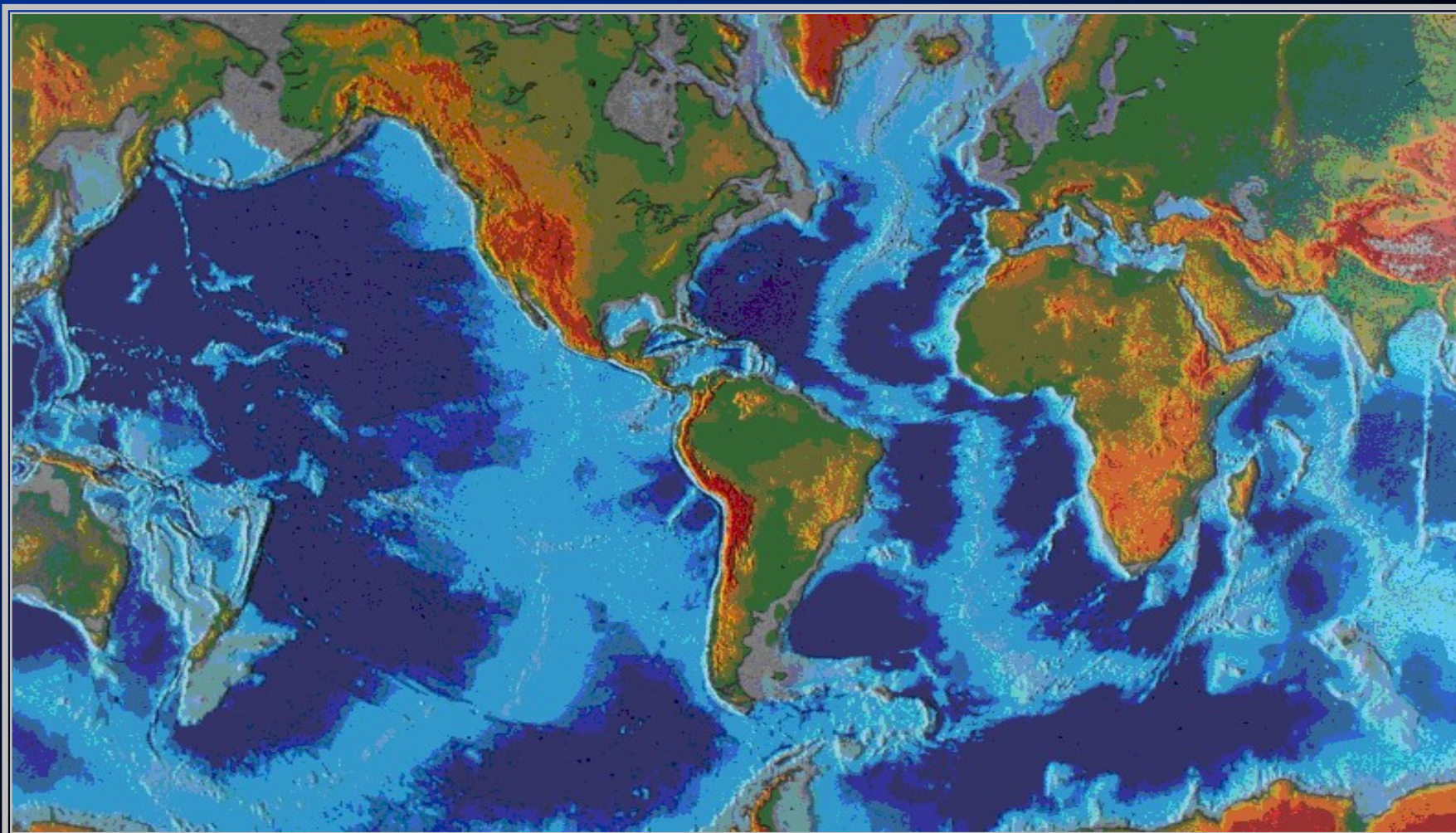
Асейсмичные хребты
Южной Атлантики

Сегментация
САХ

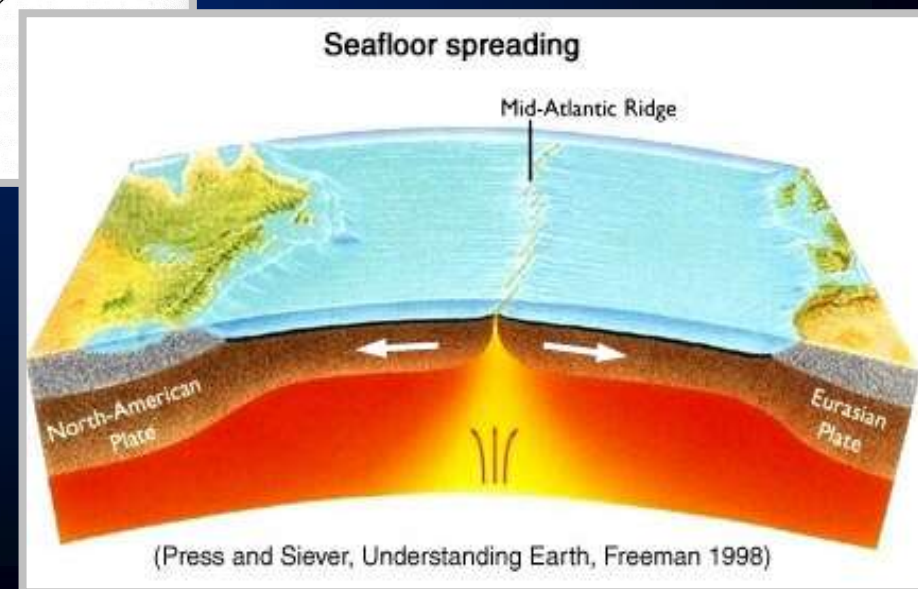
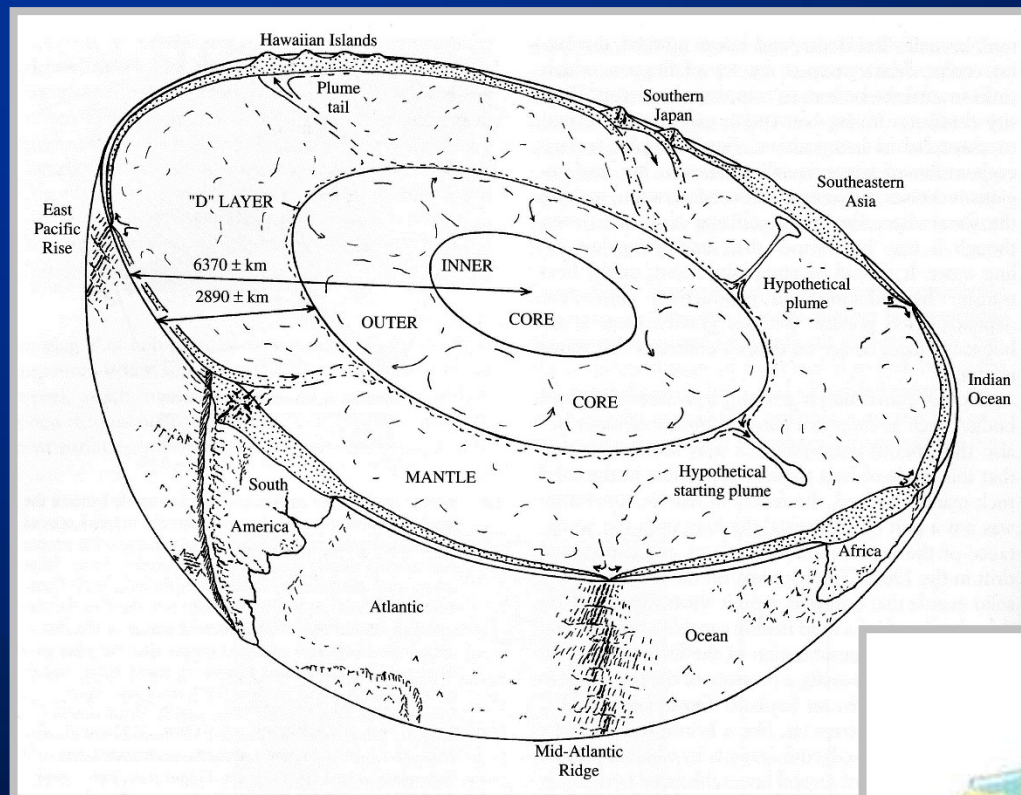
Положительные структуры океанических плит:

Подводные горы и океанические о-ва

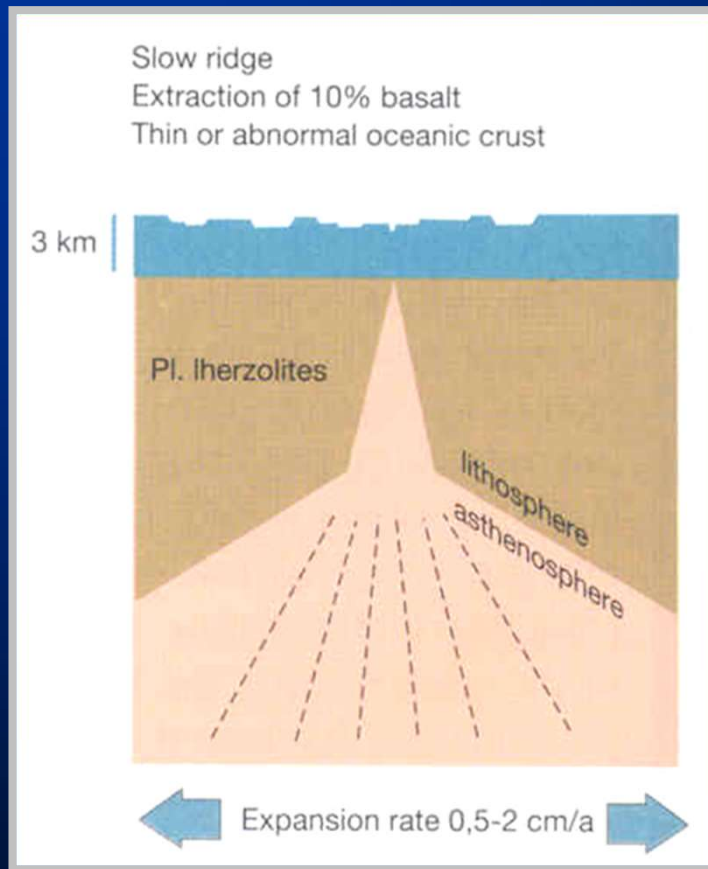
Микроконтиненты



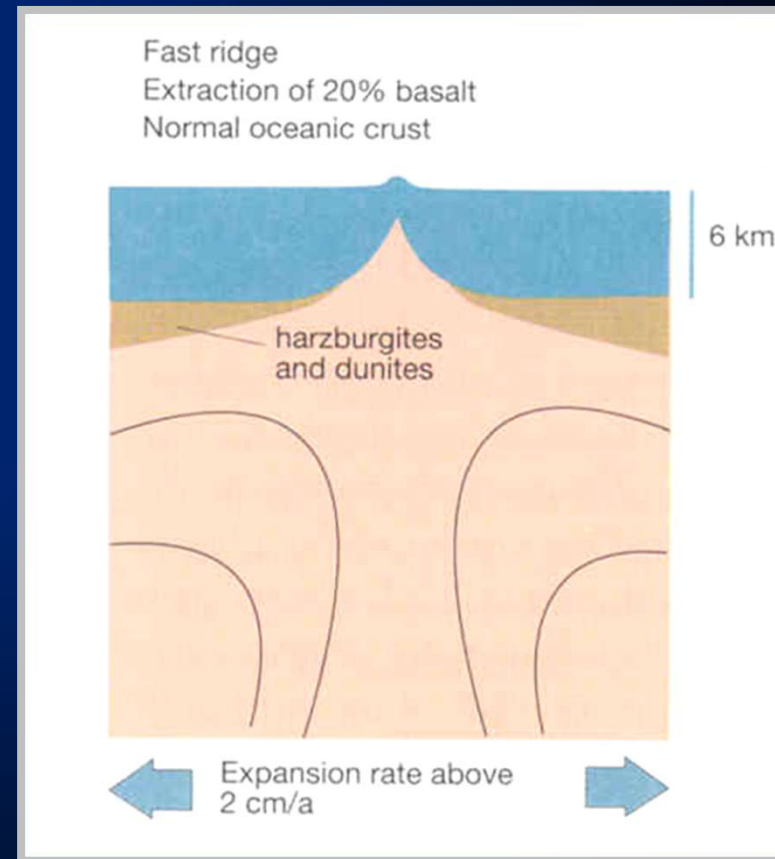
РОЛЬ МАНТИИ В ЭВОЛЮЦИИ ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ



Различия мантии в низко- и высокоскоростных спрединговых зонах



Низкоскоростная
спрединговая зона

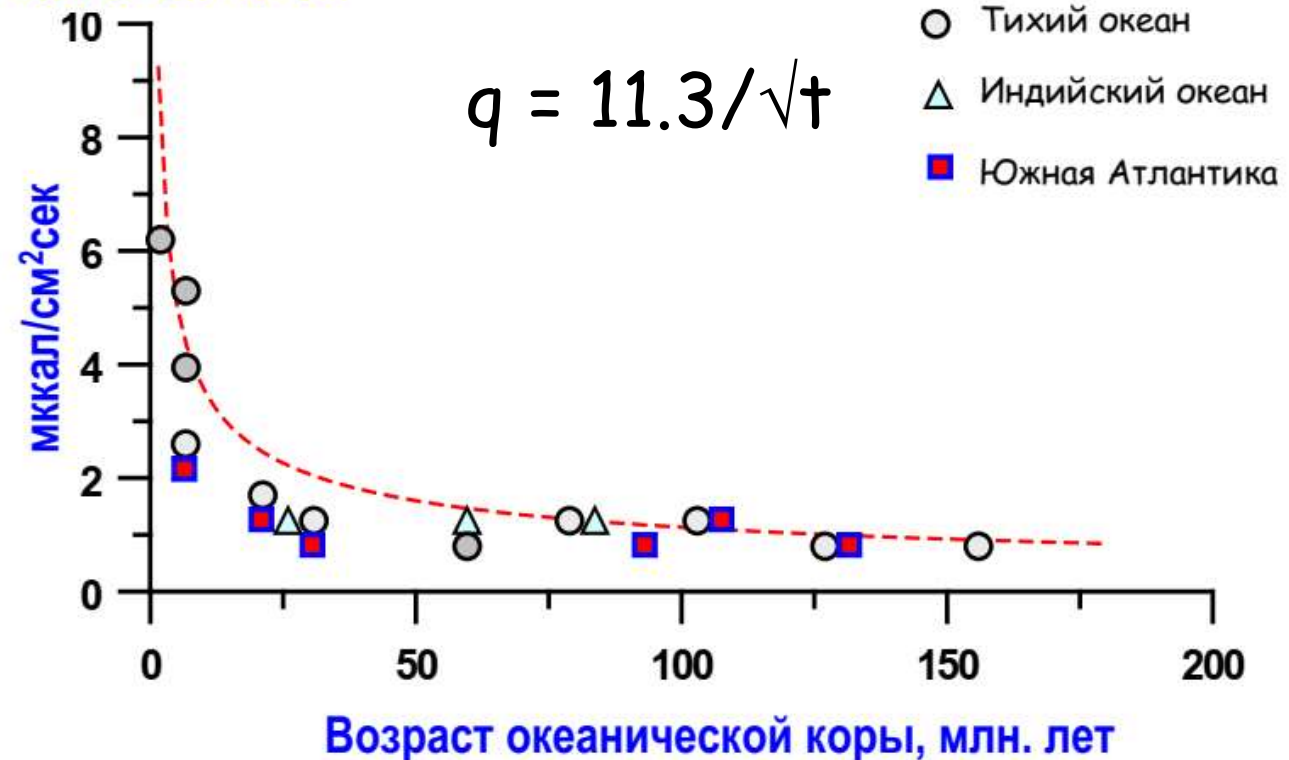


Высокоскоростная
спрединговая зона

Тепловой поток в океанической мантии

Тепловой поток	мВт/м ²
Средний поток на континентах	65±1,6
Средний поток в океанах	101±2,2

Тепловой поток



Общая тема:

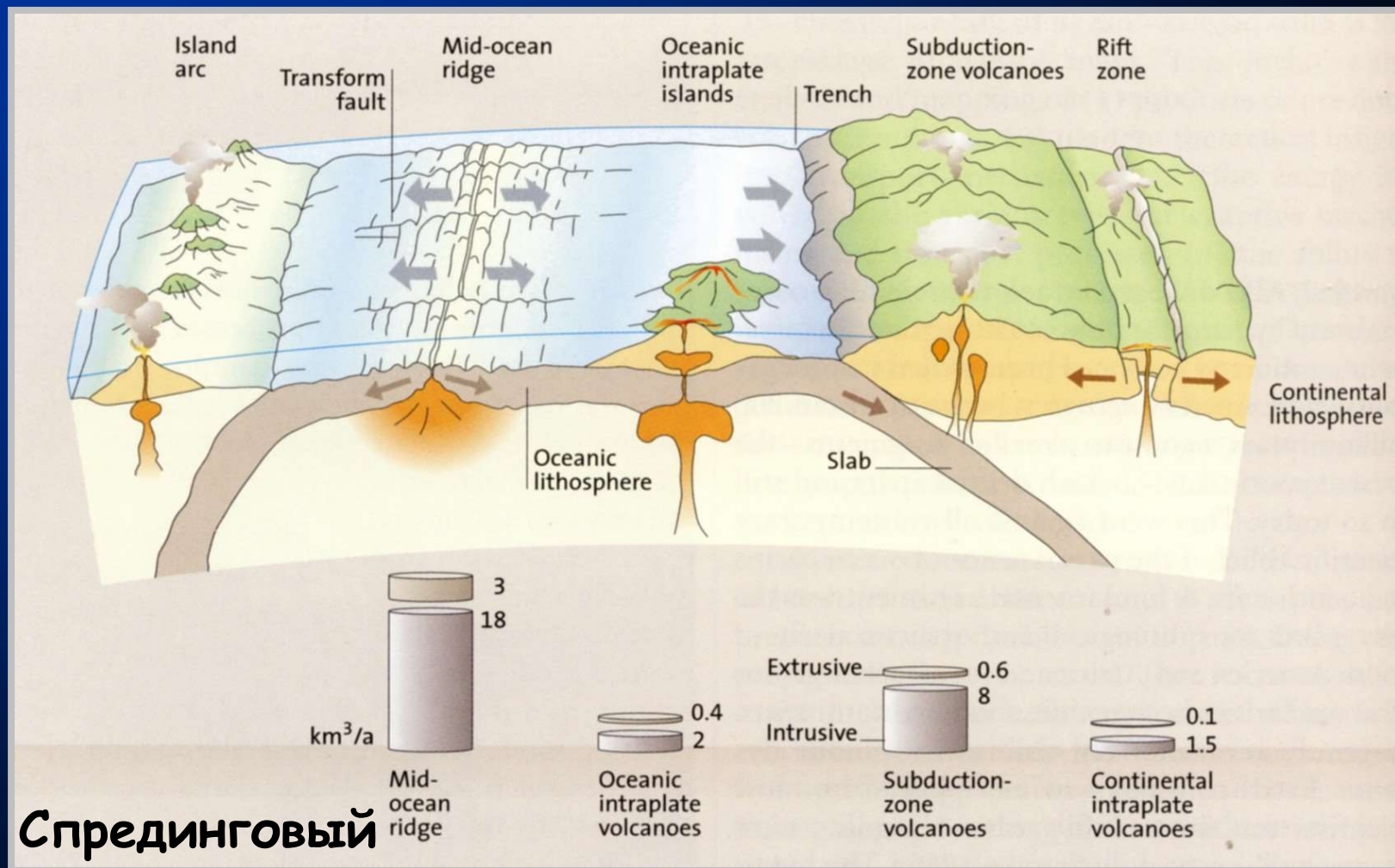
МАГМАТИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ ОКЕАНОВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ТОЛЕИТОВЫХ СЕРИЙ MORB

Лекция № 12

ТОЛЕИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ ОКЕАНОВ



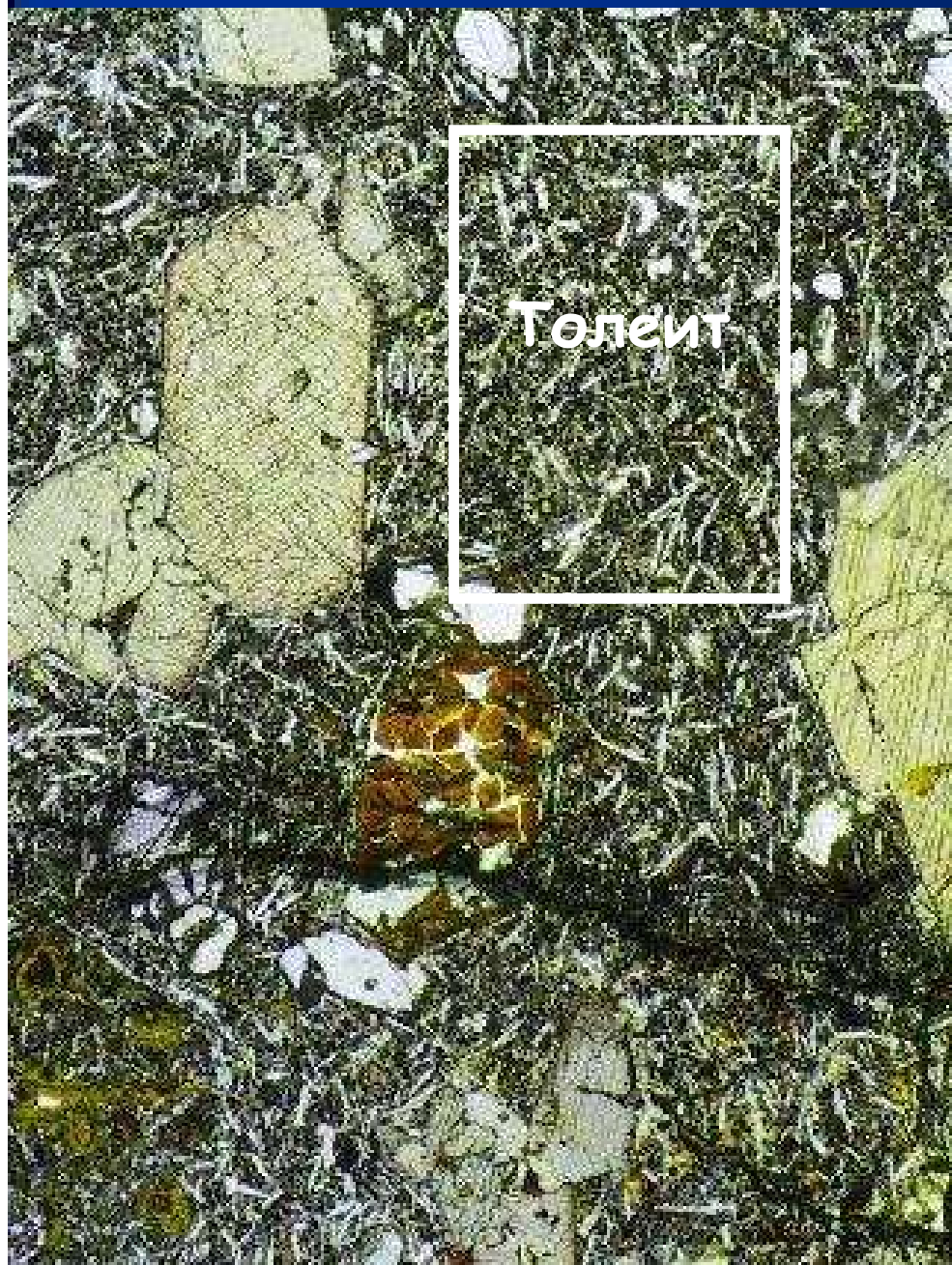
ПРОДУКТИВНОСТЬ ОКЕАНИЧЕСКОГО МАГМАТИЗМА



Срединговый

Внутриплитный: Океанических плато, асейсмичных хребтов, подводных гор и океанических о-вов

“Толеитовая структура базальта”



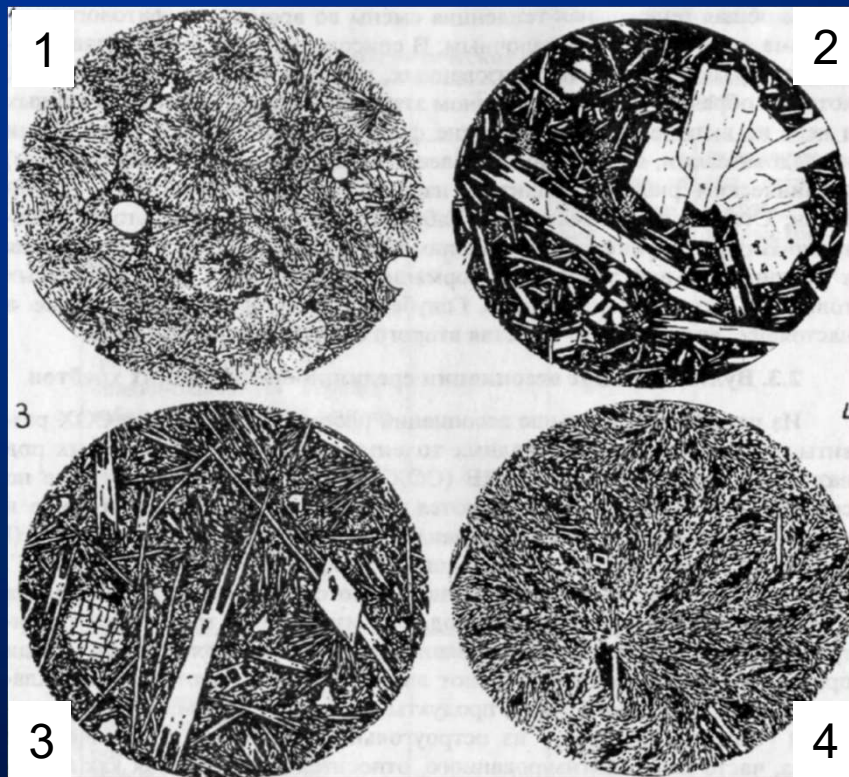
Происхождение термина “толеит” связано с особенностями базальтов из местечка **Tholey** (Толей или Толай) в земле Саар, ФРГ, недалеко от границы с Францией.

Фактически, это - афировая разновидность базальтов или долеритов, состоящая из основного плагиоклаза, пироксенов (пижонит, авгит, гиперстен) и базальтической роговой обманки.

Характерной чертой является присутствие небольших обособленных участков стекла (чаще девитрифицированного), что явилось основанием для выделения особой структуры - **толеитовой...**

Напомнить про толеит и толеитовый базальт Малла.

"Толеитовая" специфика океанического магматизма: минералогия



1 - Базальт толеитовый (d=0,9 мм).
Тихий океан, хр. Хуан-де-Фука.

2 - Базальт толеитовый (d=3,1 мм).
*Тихий океан, Восточно-Тихоокеанское
поднятие.*

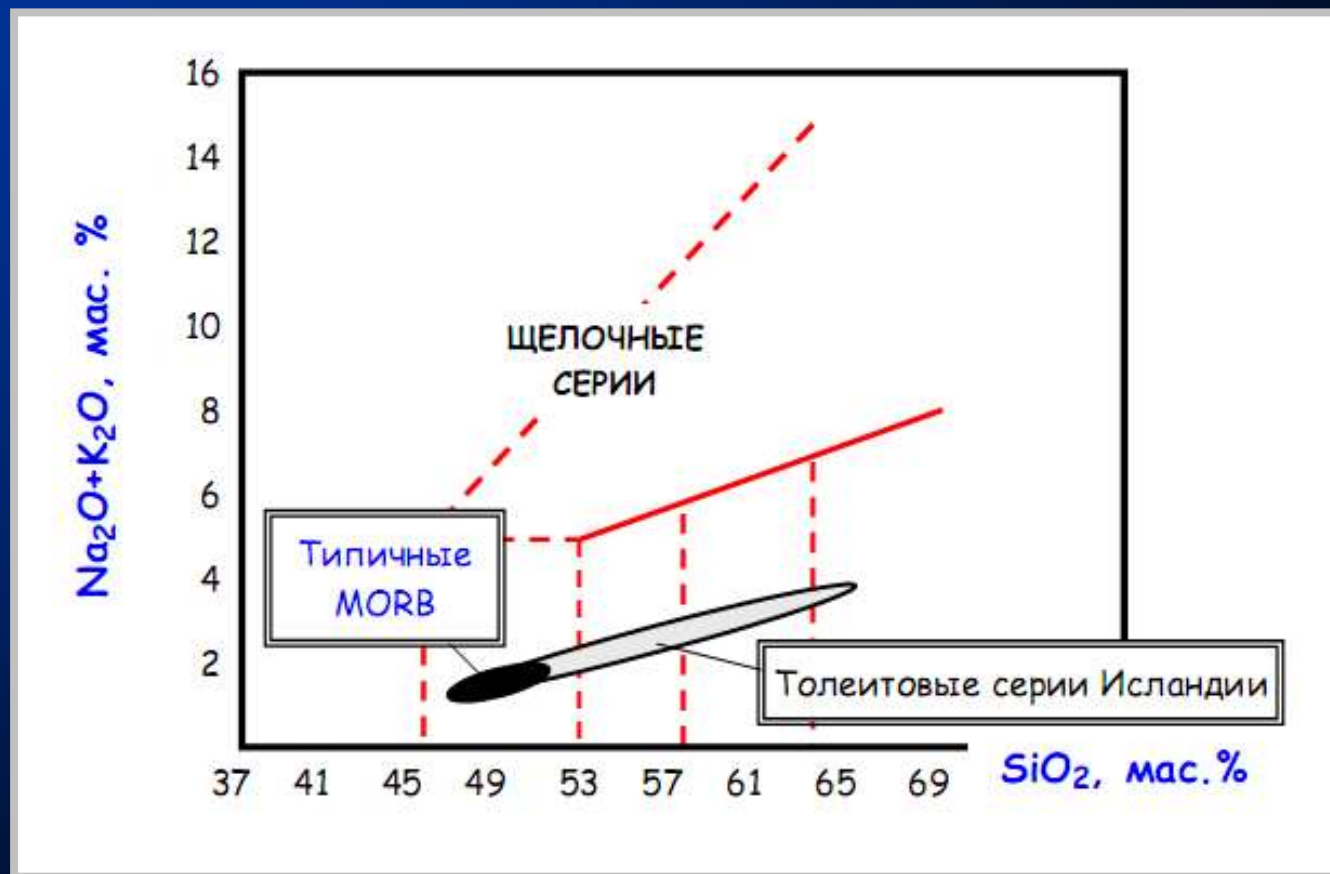
3 - Базальт толеитовый (d=1,8 мм).
Атлантический океан, трог Ройял.

4 - Базальт толеитовый (d=3,1 мм).
*Индийский океан, Аравийско-
Индийский хребет.*

Порядок кристаллизации

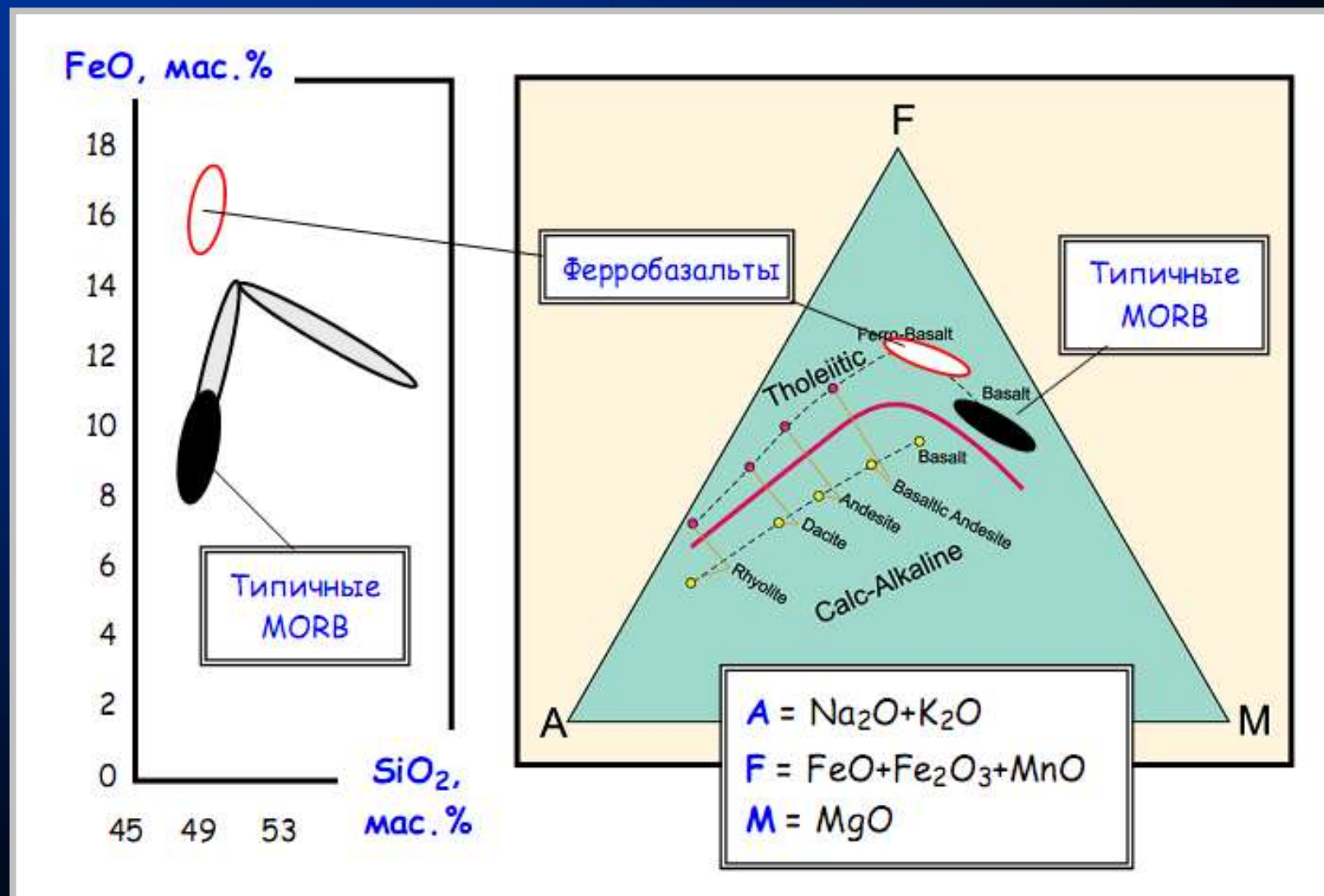
$OI \rightarrow OI + Pl \rightarrow OI + Pl + \text{высоко-Са СРх (авгит)} \rightarrow$
 $Pl + Aug + \text{низко-Са СРх (пижонит, реже Орх)}$

“Толейтовая” специфика океанического магматизма: петрохимия



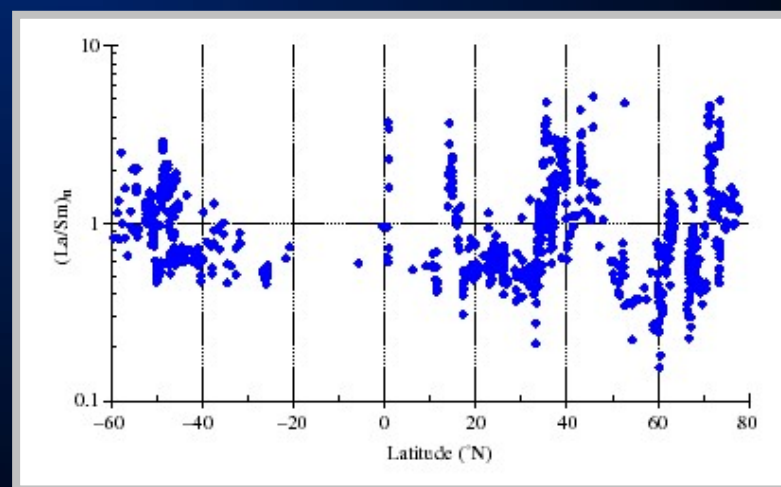
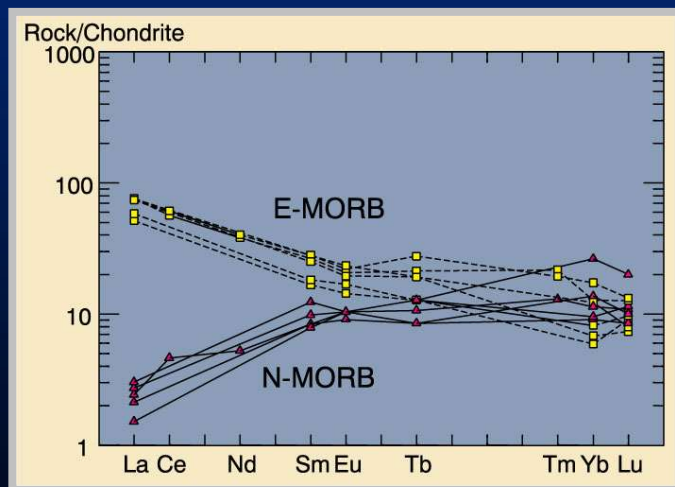
От типичных континентальных и островодужных толейтов MORB отличаются пониженными содержаниями щелочей (особенно калия)

"Толеитовая" специфика океанического магматизма: петрохимия



ОСОБЕННОСТИ ТОЛЕИТОВОГО МАГМАТИЗМА СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИХ ХРЕБТОВ

- Объем и характер извержений
- Особенности структуры и минерального состава
- Петрохимические и геохимические характеристики
- “Обогащенные” и “обедненные” MORB
- Схемы образования базальтов СОХ



Объем и характер извержений БСОХ

Общий объем извергаемого в срединных хребтах вулканического материала составляет 3-4 км³ в год

Тип извержений трещинный и центральный при спокойном экструзивно-эффузивном характере. Среди продуктов вулканизма преобладают лавовые купола и потоки

Поскольку глубины СОХ (3-4 км) характеризуются высоким гидростатическим давлением, превышающим давление растворенных в магме газов, то гиалокластиты редки (*это продукты дробления и распыления базальтовой лавы и состоящие из остроугольных обломков вулканического стекла*)

Вследствие несопоставимых скоростей осадконакопления и вулканизма роль осадочных пород в толщах вулканитов незначительна

Структура базальтов СОХ

В толеитовых базальтах широко развиты афировые и серийно-порфировые, реже порфировые структуры. Также варьирует и степень кристалличности - от стекловатых пород до полностью раскристаллизованных. Эти породы слагают дайки и силлы 2-го слоя коры (IIb).

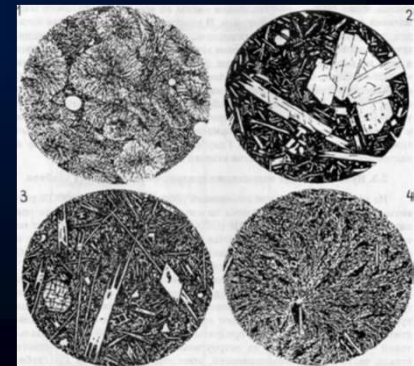
Во вкрапленниках преобладают следующие парагенезисы:

Ol + Chr-Sp, Pl + Ol + Chr-Sp, Pl + Ol + Aug

Основная масса сложена Pl, Срх (авгит, пижонит) и поздним Ti-Mt, реже ильменитом. В отличие от толеитов других обстановок пироксен во вкрапленниках относительно редок

Вулканические стекла двух разновидностей:

- чистые прозрачные *гиаломеланы* и
- темно-бурые непрозрачные *сидеромеланы*



Особенности минерального состава БСОХ

Оливин: состав обычно варьирует от Fo90 в пикритах до Fo80 в менее магнезиальных разностях.

Плагиоклаз: содержание анортита (An) во вкрапленниках плагиоклаза составляет от 90 до 60%, в основной массе присутствуют микролиты кислого плагиоклаза An 60-50.

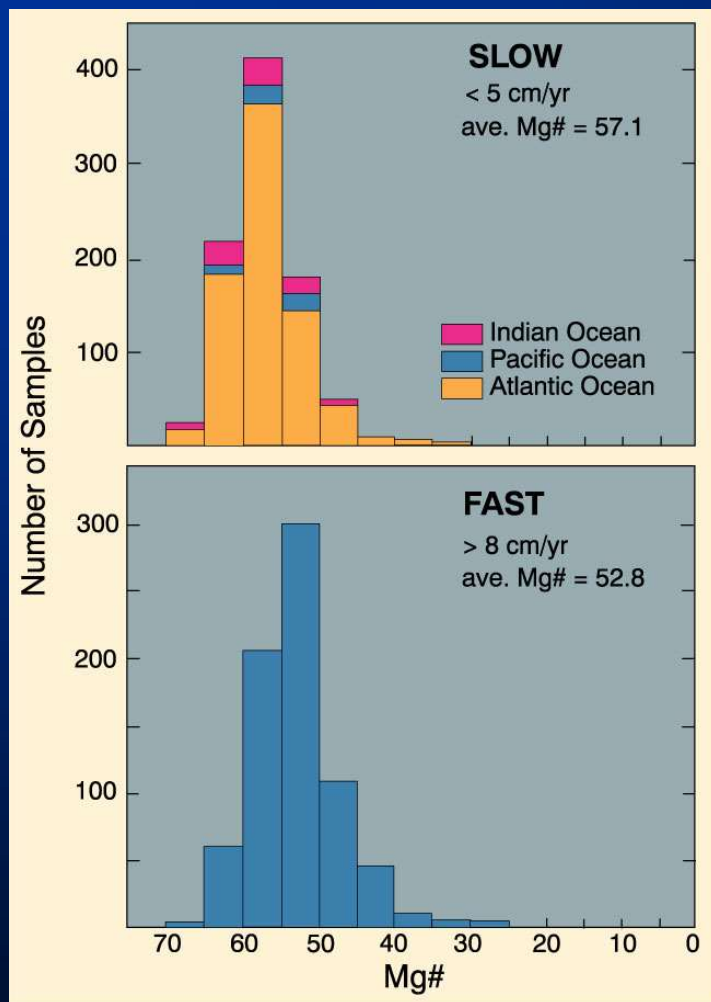
Шпинели:

- *Магнезиально-хромистые и хромистые* обычны в пикритах и высокомагнезиальных базальтах. Содержание Cr_2O_3 в них достигает 25-45%, а Al_2O_3 — 12-20%.
- *Высокоглиноземистые шпинели* включают до 40% Al_2O_3 при содержаниях окиси хрома около 20%.

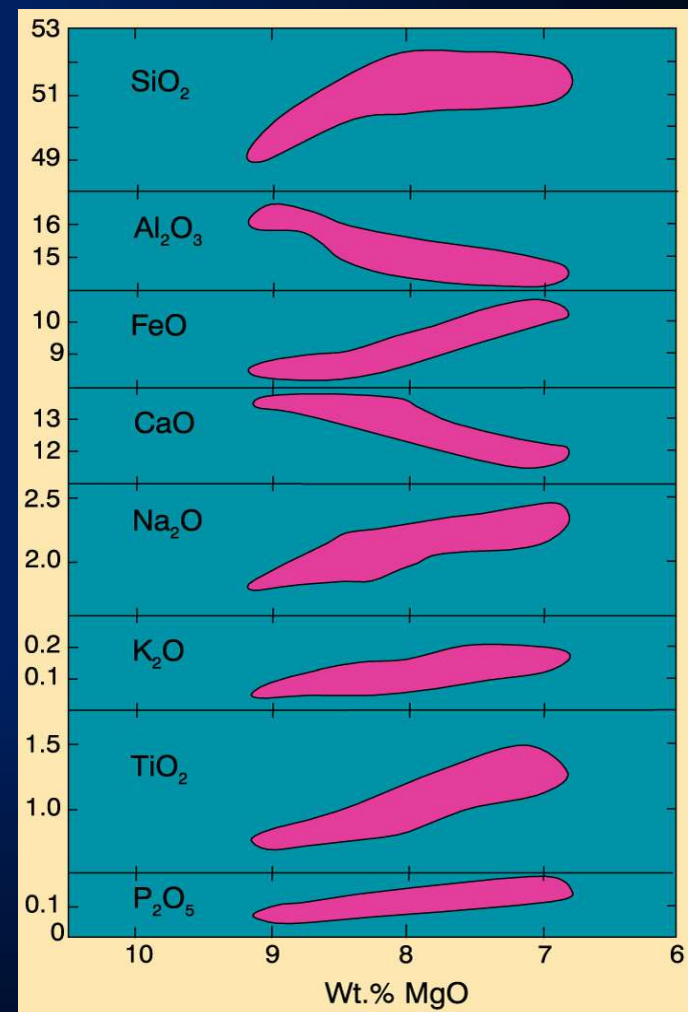
Летучие компоненты базальтах COX

1. Состав летучих (H_2O , CO_2 , S) изучался посредством декрипитации газов, заключенных в интрателлурических фазах, и при исследованиях состава расплавных включений.
2. **Содержания воды** в закаленных стекловатых разностях базальтов обычно не превышают десятых долей процента, а в расплавных еще ниже - порядка **0,05-0.1% H_2O** .
3. Существует положительная корреляция микросодержаний воды во включениях и концентрации K_2O , то есть **вода ведет себя как несовместимый компонент**.
4. **Содержание CO_2** в расплавах океанических толеитов составляет **0.2-0.4 мас.%**.
5. **Относительно низкое давление кислорода**, отвечающие интервалу буферных равновесий **WM - QFM** (вюстит-магнетит FeO/Fe_3O_4 - кварц-фаялит-магнетит).

Признаки фракционирования MORB магм



Вариации магнезиальности толеитовых стекол из высоко- и низкоскоростных спрединговых центров



Вариации составов толеитовых стекол из спрединговых зон Срединно-Атлантического хребта

Research

Cite this article: Lissenberg CJ, MacLeod CJ, Bennett EN. 2019 Consequences of a crystal mush-dominated magma plumbing system: a mid-ocean ridge perspective. *Phil. Trans. R. Soc. A* **377**: 20180014.



Consequences of a crystal mush-dominated magma plumbing system: a mid-ocean ridge perspective

C. Johan Lissenberg, Christopher J. MacLeod and Emma N. Bennett

School of Earth and Ocean Sciences, Cardiff University, Park Place, Cardiff CF10 3AT, UK

CJL, 0000-0001-7774-2297

Возможная причина ограниченных масштабов фракционирования океанических толеитов

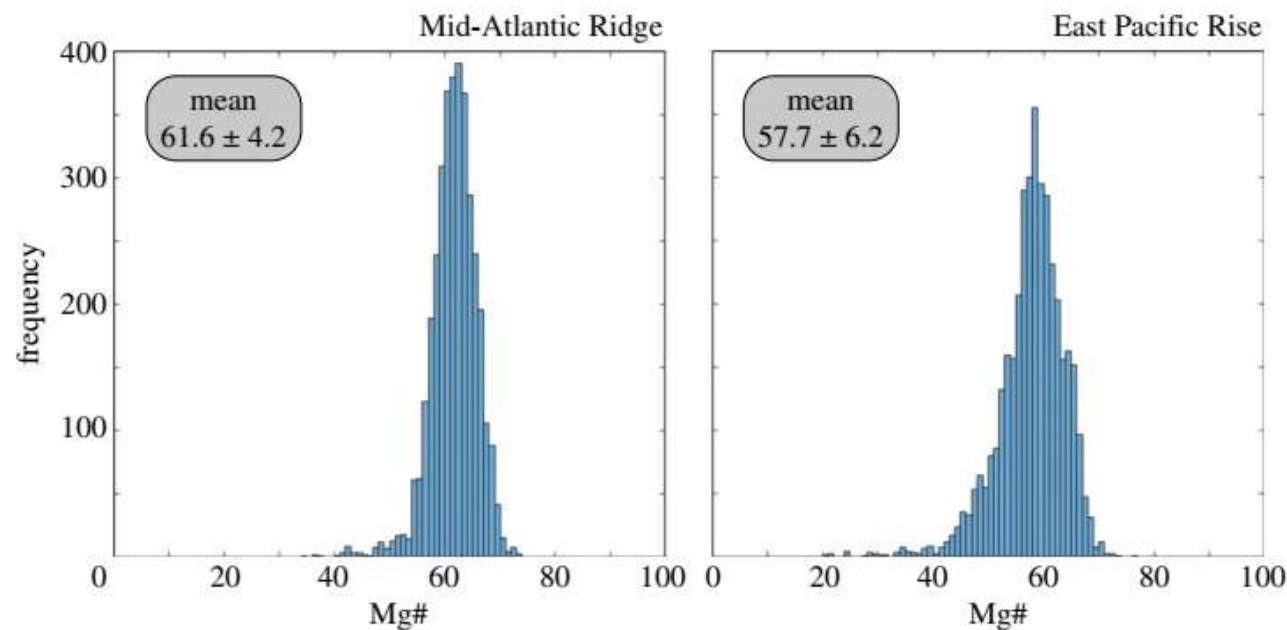


Figure 3. Histograms of Mg#, calculated using $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{\text{T}} = 0.12$, for Atlantic (a) and Pacific (b) glass data from the PetDB database [97,98]. (Online version in colour.)

Обновленные данные о магниальности тоеитовых стекол
(по данным базы данных PetDB)

Research

Cite this article: Lissenberg CJ, MacLeod CJ, Bennett EN. 2019 Consequences of a crystal mush-dominated magma plumbing system: a mid-ocean ridge perspective. *Phil. Trans. R. Soc. A* **377**: 20180014.



Consequences of a crystal mush-dominated magma plumbing system: a mid-ocean ridge perspective

C. Johan Lissenberg, Christopher J. MacLeod and

Emma N. Bennett

School of Earth and Ocean Sciences, Cardiff University, Park Place, Cardiff CF10 3AT, UK

[CJL, 0000-0001-7774-2297](https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0014)

Возможная причина ограниченных масштабов фракционирования океанических толеитов

mid-ocean ridge magmatic system. One of these is that melt migration by porous flow plays an important role, in addition to rapid, channelized flow. Facilitated by both buoyancy and (deformation-enhanced) compaction, porous flow leads to reactions between the mush and migrating melts. Reactions between melt and the surrounding crystal framework are also likely to occur upon emplacement of primitive melts into the mush. Furthermore, replenishment facilitates mixing between the replenishing melt and interstitial melts of the mush. Hence, crystal mushes facilitate reaction and mixing, which leads to significant homogenization, and which may account for the geochemical systematics of mid-ocean ridge basalt (MORB). A second

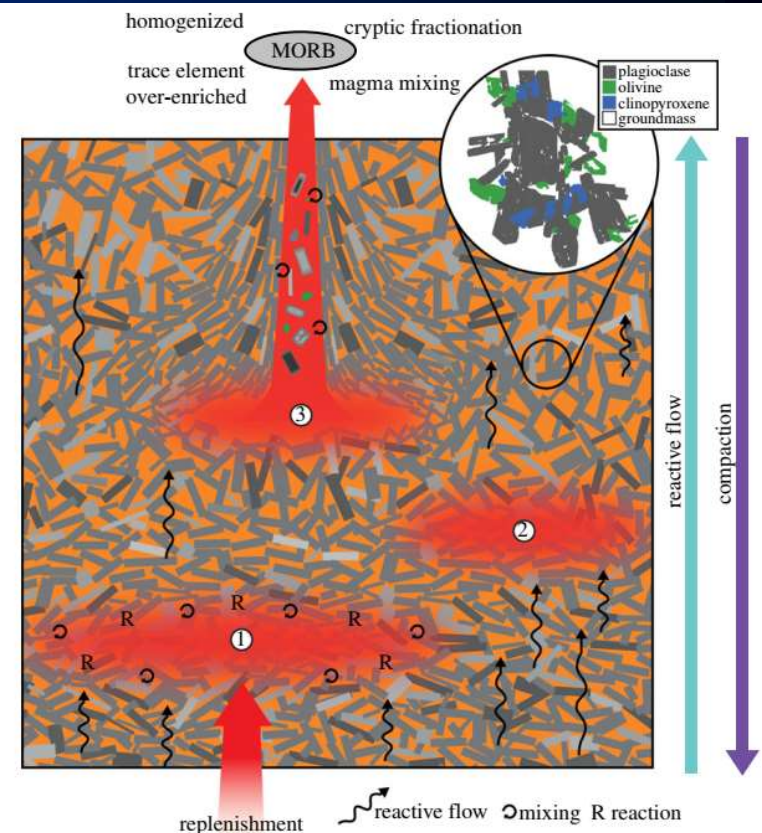


Figure 8. Schematic of a lower oceanic crustal crystal mush. Melt lens 1 is formed by replenishment of the crystal mush by primary melt, leading to reaction with the surrounding mush and mixing of interstitial melts into the melt lens. Melt lens 2 forms by the segregation of interstitial melts in the mush. Melt transport occurs both by reactive porous flow, aided by compaction, and by channelized focused flow. The latter, which drains melt lens 3, feeds eruptions of MORB, picking up crystal cargo and producing fabrics in the mush en route. (Online version in colour.)

Общие геохимические особенности базальтов СОХ

1. **Обедненность крупноионными литофильными элементами** (Cs, Rb, Ba, Pb, Sr, La) по сравнению с толеитами других обстановок

Все они являются несовместимыми элементами, накапливаются в расплаве и поэтому отражают состав и степень плавления мантийного субстрата. Однако крайне чувствительны ко вторичным изменениям

2. **Аномально высокие K/Rb отношения** - до 1500.

3. Наиболее **примитивные БСОХ характеризуются повышенными содержаниями Ni (>300 ppm) и Cr (>500 ppm)**. В более дифференцированных разностях концентрации этих элементов быстро снижаются до 50-100 ppm. При этом содержания V и Co закономерно возрастают

4. **Содержания высокозарядных элементов (HFSE - Zr, Hf, U, Th, Ta, Ti, Y, P) варьируют не так сильно** как крупноионные литофилы и обычно возрастают параллельно увеличению содержаний щелочей (K, Rb и др.)

Различия толеитов СОХ "по степени обедненности"



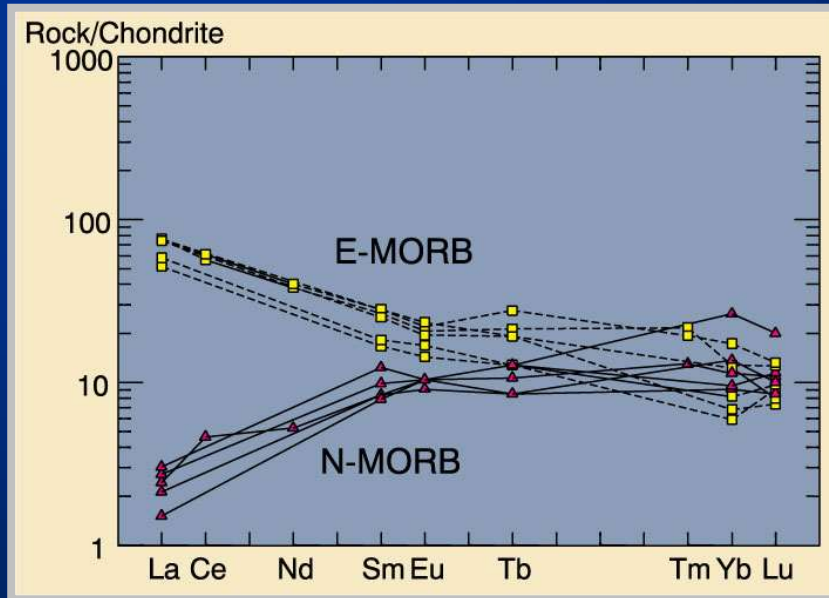
Базальты E-MORB по сравнению с N-MORB заметно богаче Ti, K и P, а по содержаниям крупноионных литофильных элементов отличаются от 5 до 10 раз.

Заметно обогащение и легкими лантаноидами, тогда как вариации Y, Yb и Lu весьма незначительны

Представительные составы N-MORB и E-MORB

Компо- нент	N-MORB	E-MORB	Микро- элементы, ppm	N-MORB	E-MORB
SiO ₂	50.4	49.2	Rb	0.56	5.04
TiO ₂	1.36	2.57	Ba	6.3	57
Al ₂ O ₃	15.2	12.8	Th	0.12	0.6
FeO	9.31	11.4	Nb	2.33	8.3
MnO	0.18	0.17	La	2.5	6.3
MgO	8.96	10.0	Ce	7.5	15
CaO	11.4	10.8	Sr	90	155
Na ₂ O	2.3	2.12	Y	28	22
K ₂ O	0.09	0.51	Yb	3.05	3.37
P ₂ O ₅	0.14	0.25	Lu	0.46	0.35

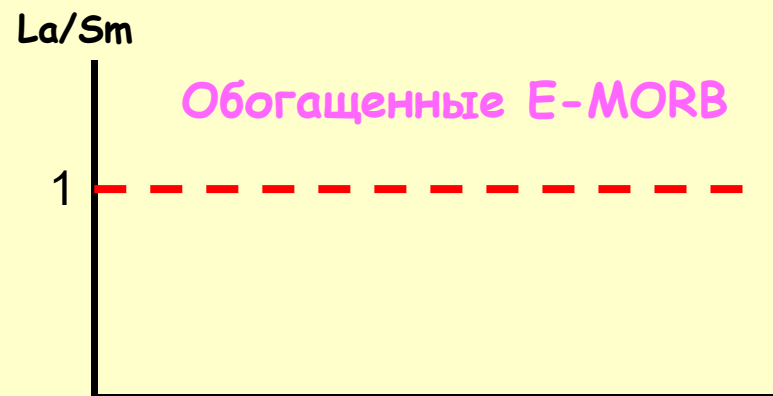
Геохимические параметры N-MORB и E-MORB



- Для базальтов N-типа характерно примерно 5-ти кратное обеднение La относительно Yb и Lu

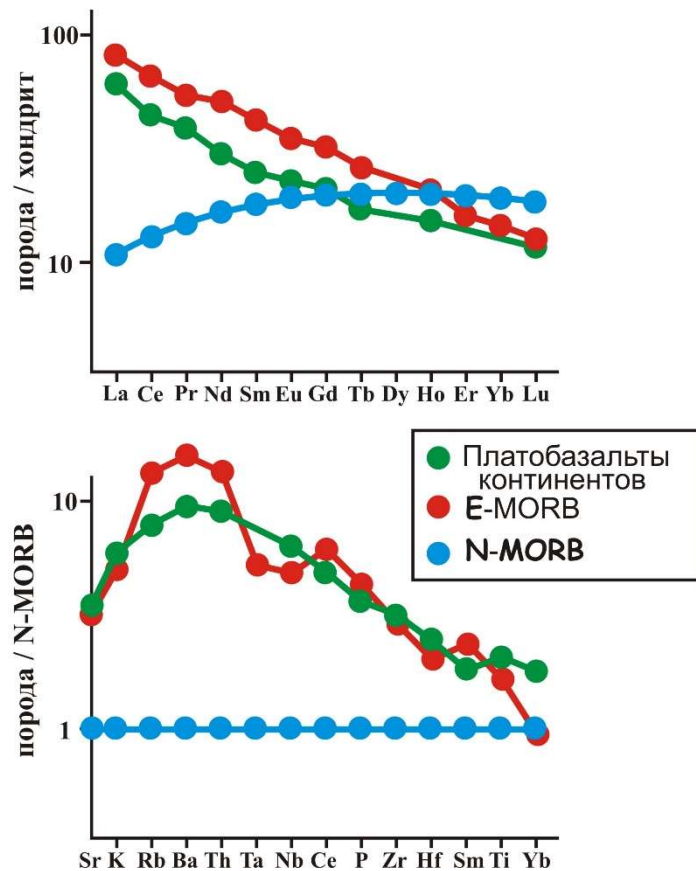
- Для обогащенных толеитов наблюдается 4-5-ти кратное накопление.

- Другой важный критерий для разделения обогащенных и обедненных толеитов – по отношению La/Sm



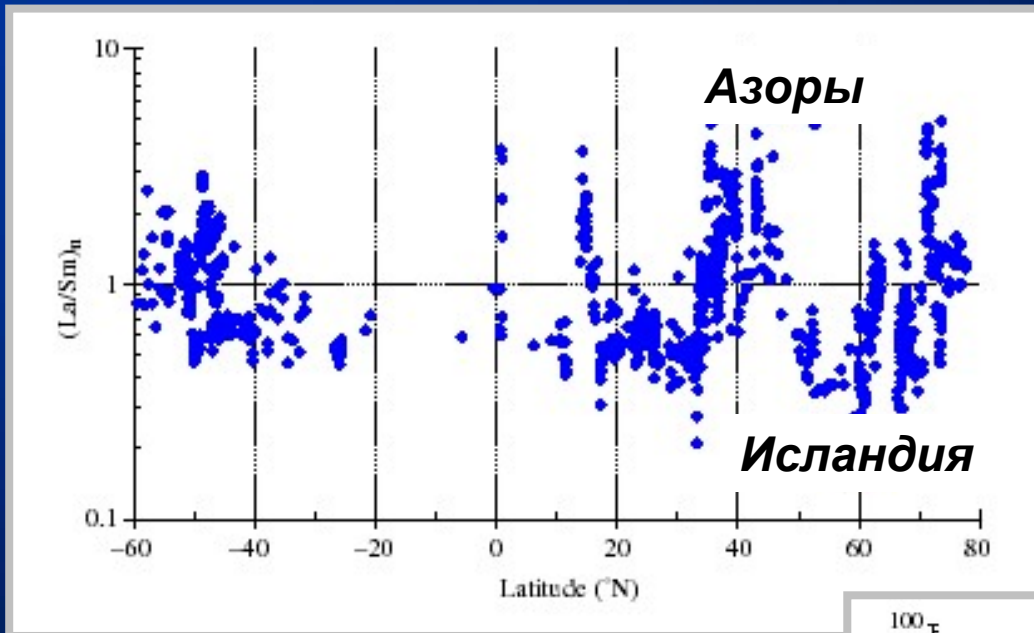
Сравнение с континентальными платобазальтами и нормализация на N-MORB

СОПОСТАВЛЕНИЕ ОКЕАНИЧЕСКИХ ТОЛЕИТОВ И ПЛАТОБАЗАЛЬТОВ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ТРАППОВ



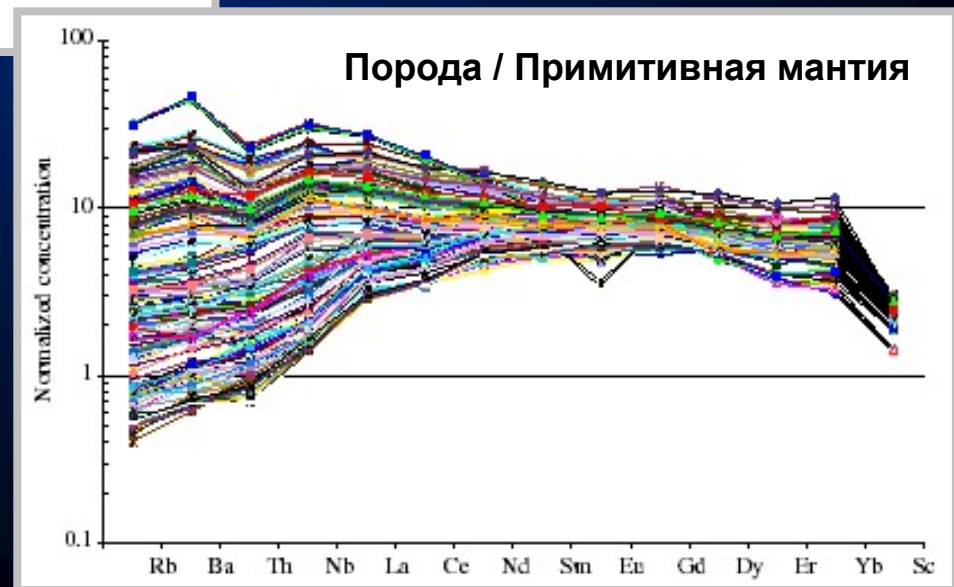
- Базальты E-MORB по своим параметрам приближаются к толеитам океанических островов, которые дают пример не спредингового, а типично плюмового магматизма горячих точек
- Есть подобие наиболее обогащенных E-MORB континентальным платобазальтам, условия зарождения и эволюции которых также обусловлено поднятием глубинных диапиров, связанных с мантийными плюмами

Сравнение с континентальными платобазальтами и нормализация на N-MORB

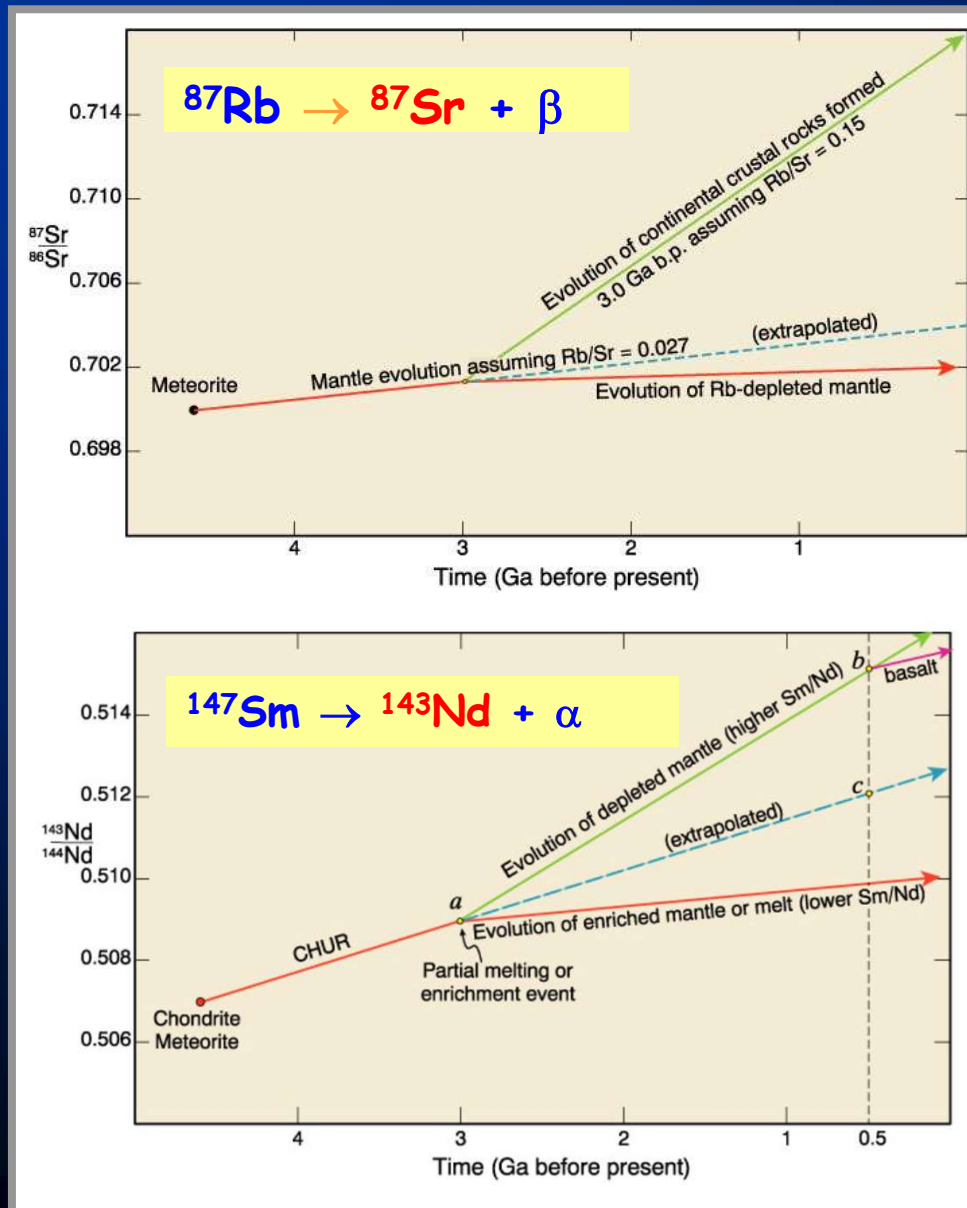


La/Sm отношение в зависимости от широты вдоль оси САХ

250 составов MORB в интервале 40-55° ю.ш. вдоль оси САХ



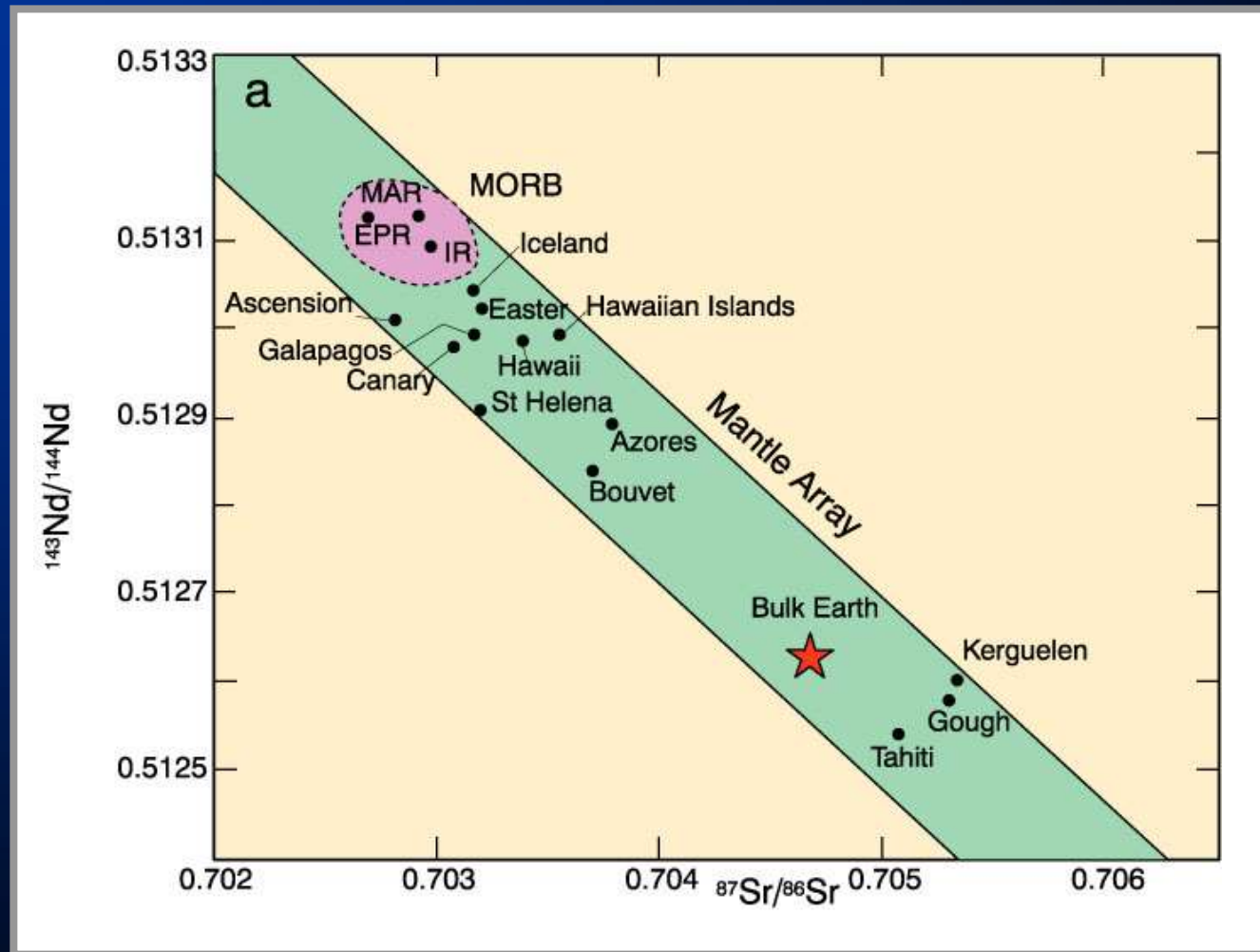
Схемы эволюции изотопного состава Sr и Nd с учетом ранней дифференциации примитивной мантии



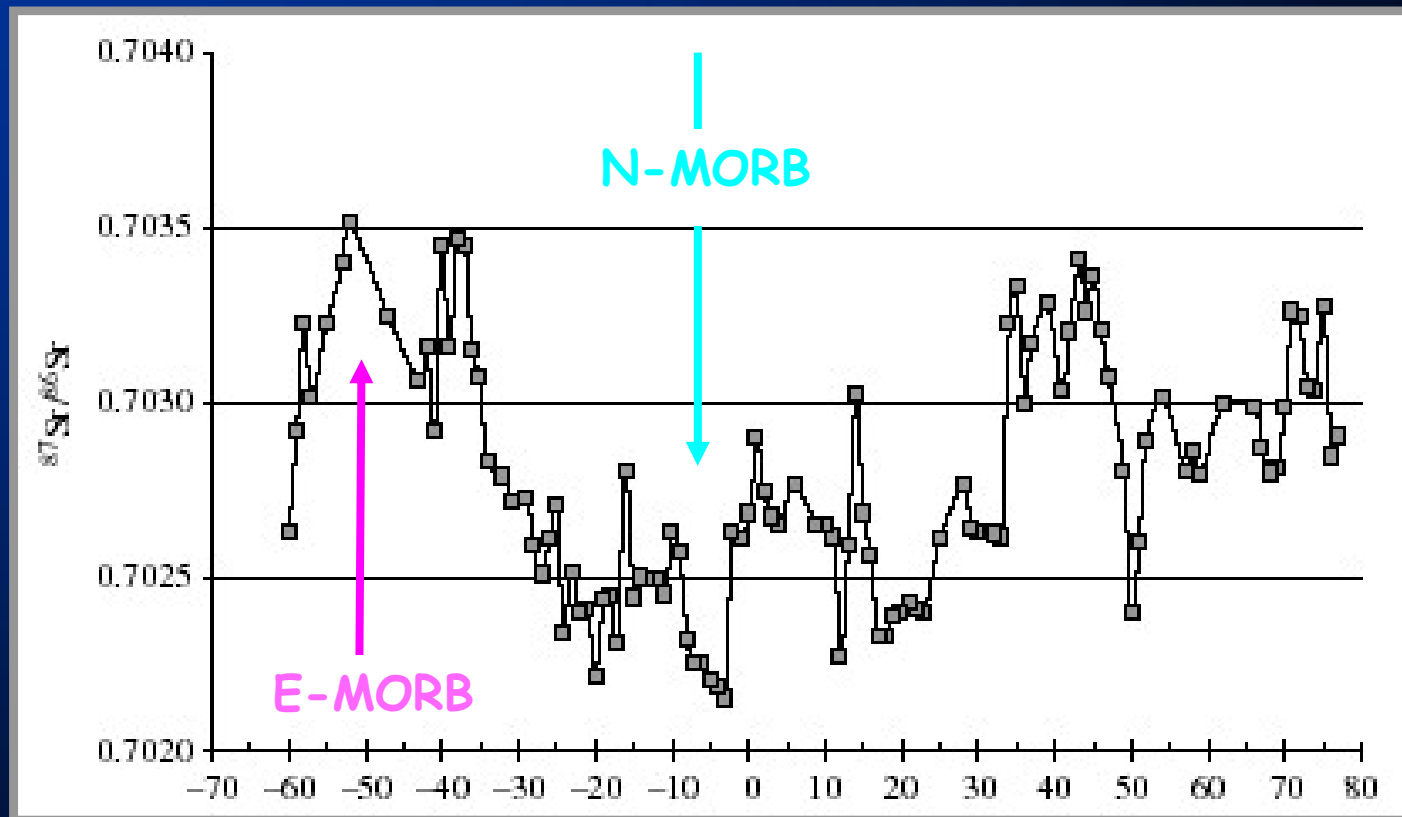
- Деплетированная мантия и ее производные в форме базальтов должны иметь **наиболее низкое отношение $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$**

- Базальты, выплавляющиеся **из деплетированного мантийного источника**, на современном этапе развития Земли должны иметь **максимальный радиогенный ^{143}Nd**

Линия мантийной корреляции



Широтные вариации отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (СAX)



Вариации в составах базальтов различных океанов

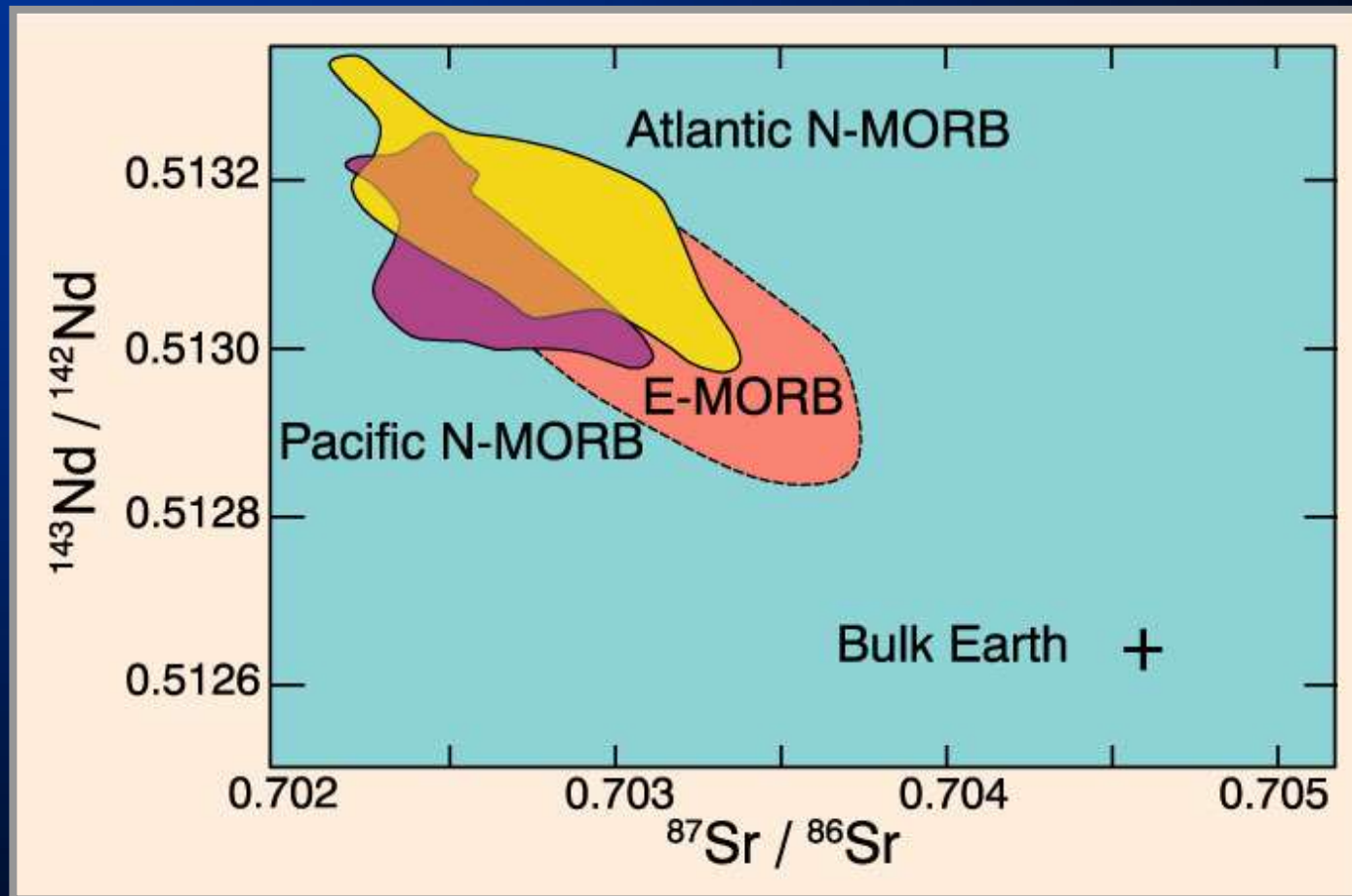


Схема генетических соотношений N-MORB и E-MORB

