

*Геодинамический анализ  
нефтегазоносных бассейнов  
(Галушкин Ю.И.)*

*Численный анализ истории  
погружения, термической эволюции  
и процессов генерации углеводородов  
в осадочных бассейнах*

*(« Моделирование Бассейнов »)*

# *Необходимость и задачи моделирования*

## **Основная задача:**

Поиски новых и доразведка старых месторождений в пределах освоенных неосвоенных бассейнов

## **Бурение:**

конечный этап поиска залежей УВ – очень дорогое мероприятие.

Предварительное изучение бассейна геологическими, геофизическими или геохимическими методами, а также методами физико-математического моделирования процессов нефтегазообразования, способно заметно сузить площадные и глубинные границы предполагаемого бурения и тем самым существенно снизить затраты на поиски месторождений.

## **Моделирование**

использует геолого-геофизическую базу данных о строении и развитии бассейна

и

**позволяет численно восстанавливать:**

температуру пород,  
степень катагенеза ОВ  
реализацию потенциала генерации УВ  
материнских свит  
в процессе погружения бассейна

и на этой основе оценивать  
перспективы нефтегазоносности  
изучаемой площади бассейна

# **Содержание курса (1)**

- 1. Геодинамические обстановки формирования осадочных бассейнов, типы осадочных нефтегазоносных бассейнов**
- 2. Численное восстановление истории погружения бассейнов.**
- 3. Численная реконструкция термической истории осадочной толщи и подстилающей литосферы бассейнов.**
- 4. Анализ тектонического погружения бассейнов.**
- 5. Расчёт изменения степени метаморфизма органического вещества осадочной толщи бассейнов.**
- 4. Реконструкция истории реализации нефтегазогенерационного потенциала бассейна и оценка порога первичной эмиграции жидких УВ.**
- 5. Восстановление спектра химико-кинетических реакций, управляющих процессами созревания ОВ материнских свит бассейна.**
- 6. Примеры моделирования бассейнов**

# **Нефтегазоносные осадочные бассейны**

**Это сравнительно крупные геологические осадочные образования, в которых реализуются процессы генерации, миграции, аккумуляции, консервации и разрушения углеводородов (УВ), приводящие к формированию, а иногда и к разрушению месторождений нефти и газа.**

**Генерация УВ в таких бассейнах осуществляется за счет разложения (термического крекинга) органического вещества (ОВ), захваченного погружающимися осадками.**

**Нефтегазоносность есть свойство осадочного бассейна на определённой стадии его развития.**

*Эволюция осадочных бассейнов - их возникновение, развитие, преобразование или разрушение - составляет часть общей глобальной эволюции литосферы Земли.*

# Геосинклинальная теория

основана на признании ведущей роли двух исторических геологических категорий: геосинклиналей и платформ с доминирующим влиянием вертикальных движений.

Формирование геосинклиналей представлялось как процесс интенсивного прогибания коры с компенсационным накоплением мощных толщ осадочных и магматических образований и с последующей инверсией тектонического режима и возникновением на месте геосинклинальных прогибов горноскладчатых сооружений.

Платформы рассматривались как крупные структуры земной коры с более спокойным нежели у геосинклиналей тектоническим режимом развития.

Эта теория основана на изучении геологии континентов и признавала развитие геосинклиналей главным образом за счет вертикальных движений, практически не учитывая горизонтальные перемещения литосферных плит.

*Движение плит, вулканизм,  
сейсмичность, тепло-  
вой поток и изменение  
температуры пород с глубиной - всё  
это  
отражение современного  
энергетического состояния Земли и,  
в частности, конвективных  
движений вещества мантии*

Земля нагревается изнутри, в основном за счёт выделения гравитационной энергии роста ядра и энергии, выделяющейся при распаде радиоактивных элементов.

*Остывает Земля за счет теплопотерь с поверхности.*

Среднее значение термической диффузии пород Земли ( $\kappa = K/\rho \cdot C_p$ ) не более  $0.01 \text{ см}^2/\text{сек}$  и тогда характерное время остывания Земли за счёт кондуктивной теплопроводности имеет порядок  $\Delta t = (0.1 - 1) \cdot R^2/\kappa \approx 10^{11} - 10^{12}$  лет, т.е. на порядки величины больше возраста Земли. Следовательно, несмотря на высокую теплопроводность ядра, средняя теплопроводность мантии  $0.01 - 0.03 \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{K})$  недостаточна, чтобы объяснить наблюдаемое остывание Земли кондуктивным переноса тепла.

**Чтобы избежать перегрева внутренних областей в мантии, должен существовать эффективный механизм теплопереноса -**

**– это конвекция в мантии и ядре Земли.**

**Конвективная теплопроводность -  
единственный механизм,  
обеспечивающий эффективный перенос  
тепла из любой внутренней области  
Земли к поверхности за времена, заметно  
меньшие возраста нашей планеты.**

# *Конвекция-эффективный механизм теплопереноса*

Для Релей-Тейлоровской конвекции в верхней мантии с ячейками, длиной  $L$  и глубиной  $d$  отношение конвективного теплопереноса к кондуктивному, т. е. число Нуссельта  $Nu$  (или Пекле,  $Pe$ ), имеет вид

$$Nu \approx Ra^{1/3} \cdot (d / L)^{2/3}$$

Для значений кинематической вязкости; · термической диффузии; коэффициента термического расширения и разности температур, характерных для мантии, число Релея может превосходить  $10^3$ .

Тогда значение  $Nu$  может превосходить 10.

*Таким образом, конвективную теплопроводность следует рассматривать как единственный механизм, обеспечивающий эффективный перенос тепла из любой внутренней области Земли к ее поверхности за времена, заметно меньшие возраста нашей планеты.*

**Эволюция температурного режима Земли тесно связана с развитием конвективных движений в её недрах.**

**Конвективные перемещения вещества мантии определяли, в свою очередь, историю движения литосферных плит и блоков – элементов твёрдой внешней оболочки Земли**

# Конвекция, управляющая глобальной эволюцией Земли, определяется взаимодействием процессов в трёх основных динамических оболочках Земли

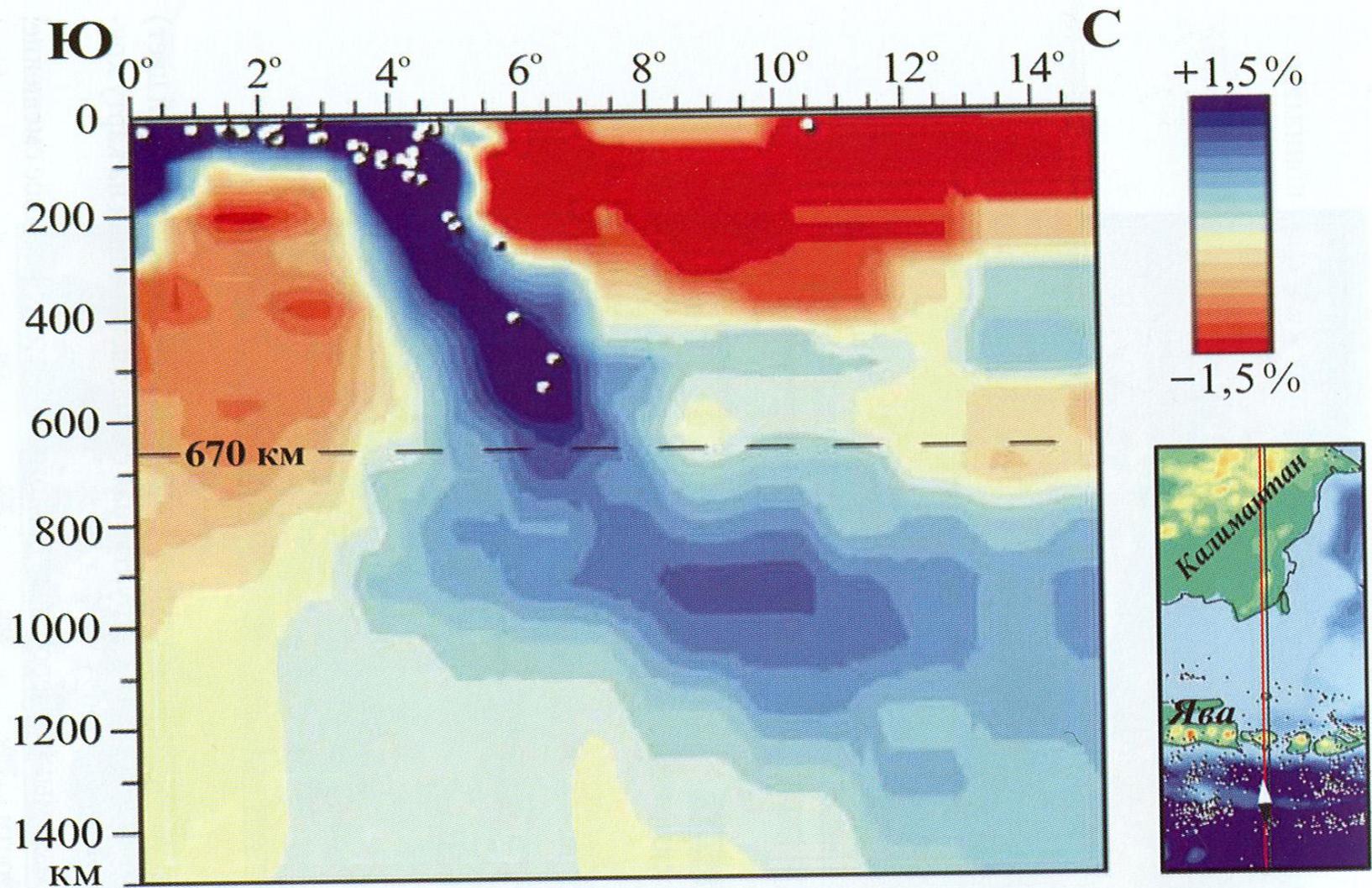
(Maruyama, 1994; Fukao et al., 1994) :

**верхней оболочке**, где доминирует механизм тектоники плит,  
**средней оболочке** (включающей целиком нижнюю мантию и часть подлитосферной верхней мантии), где развивается так называемая плюм-тектоника, и  
**нижней оболочке**, совпадающей с ядром Земли, где превалирует тектоника роста ядра Земли (гравитационно-химическая конвекция).

**Движущий механизм глобальной конвекции – это механизм накопления тяжёлого вещества субдуцируемых плит на границе между верхней и нижней мантией (670 км) и его внезапного прорыва в нижнюю мантию в виде глобального нисходящего плюма (аваланша), который приводит к образованию компенсирующего глобального восходящего плюма.**

**Если такой наведённый восходящий плюм окажется под суперконтинентом - Пангеей, то он вызывает распад последнего на отдельные континенты с образованием между ними океанов.**

**Далее снова накопление тяжёлого вещества уже от новых зон субдукции, которое вновь завершается лавинным прорывом его критической массы в нижнюю мантию в виде нового глобального нисходящего плюма. Над ним постепенно формируется новый суперконтинент – Пангея, затем цикл Вильсона повторяется вновь.**



**Рис. 6.** Глубинный разрез через Зондскую зону субдукции по данным сейсмической томографии (Э. Хафкеншайд и др., 2001). Цветом показаны положительные и отрицательные аномалии скорости продольных волн относительно «нормальных» для соответствующих глубин (шкала справа). Белые точки — сейсмические очаги. На глубине 670 км — поверхность нижней мантии

Таким образом, в глобальной конвекции основная генерация положительной плавучести (создание относительно лёгкого вещества) происходит на границе ядро-мантия в результате химико-гравитационной дифференциации вещества мантии, тогда как основная генерация отрицательной плавучести (создание тяжёлого вещества) происходит в верхней мантии в результате процесса эклогитизации океанской коры в зонах субдукции (Лобковский, Котёлкин, 2004).

При этом текущая конвекция имеет две основные моды: **двухярусную**, когда ячейки в нижней и верхней мантии развиваются без обмена веществом через фазовую границу раздела (670 км), и **одноярусную**, которая характеризуется прорывом через фазовую границу вещества нижней мантии в верхнюю и наоборот.

*Тепловая конвекция имеет место на фоне глобальной*

*Благодаря конвекции в мантии устанавливается градиент температуры, близкий к адиабатическому*

$$(dT / dz)_s = (g \cdot \alpha_f \cdot T) / C_p$$

**T – абсолютная температура, g – ускорение силы тяжести,  $\alpha_f$  – коэффициент термического расширения,  $C_p$  – теплоёмкость при постоянном давлении.**

**Для градиента в восходящем течении базальтового расплава ( $g = 9.81 \text{ м/сек}^2$ ,  $\alpha_f = 6.8 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ ,  $T = 1500^\circ\text{K}$ ,  $C_p = 1000. \text{ Дж / кг}^\circ\text{K}$ ) получим  $(dT / dz)_s \approx 1^\circ\text{C / км}$**

**Для градиента в восходящем течении нерасплавленного (твёрдого) материала мантии ( $\alpha_f = 3.2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ ,  $T = 1500^\circ\text{K}$ ,  $C_p = 1047. \text{ Дж / кг}^\circ\text{K}$ ) получим  $(dT / dz)_s \approx 0.5^\circ\text{C / км}$ .**

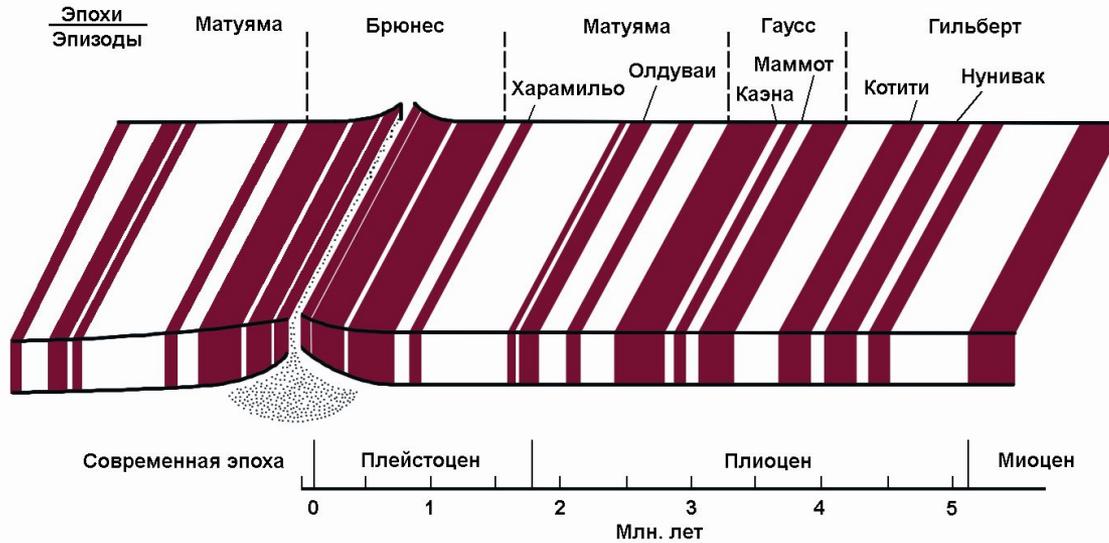
**Тектоника литосферных плит органично связывает горизонтальные движения литосферных плит и блоков с вертикальными перемещениями поверхности литосферы в пределах плит и на их границах.**

**Тектоника литосферных плит помогает объяснить природу формирования рельефа Земли, поясов вулканизма и сейсмичности на её поверхности деформациями краёв плит вдоль разнообразных границ литосферных плит и блоков.**

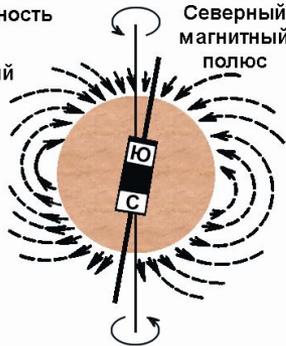
**Работы по изучению природы полосовой структуры аномального магнитного поля дна океана, проведённые в рамках международного проекта в 1958-1962 гг., показали, что значительные горизонтальные перемещения литосферы играли существенную роль в формировании рельефа Земли, распределении поясов вулканизма и сейсмичности на её поверхности.**

**Так родилась теория тектоники литосферных плит, которая органично связывает горизонтальные движения литосферных плит и блоков с вертикальными перемещениями поверхности литосферы в пределах плит и на их границах.**

# ИНВЕРСИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ПРИРОДА ЛИНЕЙНЫХ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ

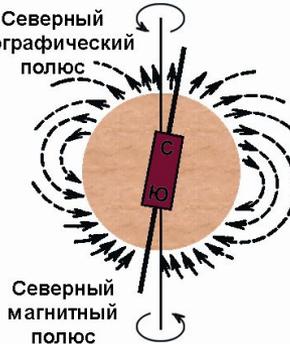


Нормальная полярность  
Северный географический полюс



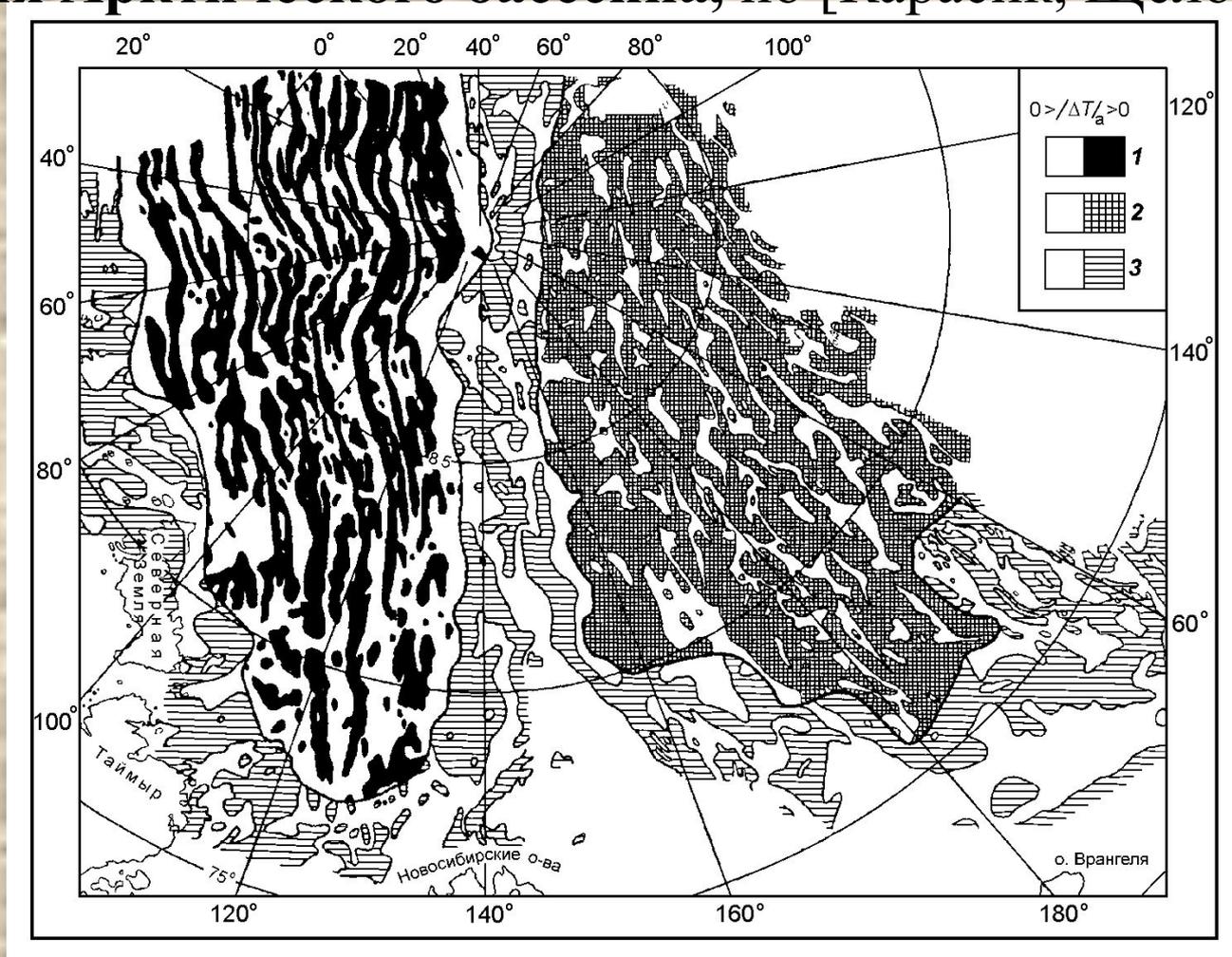
Обратная полярность

Северный географический полюс



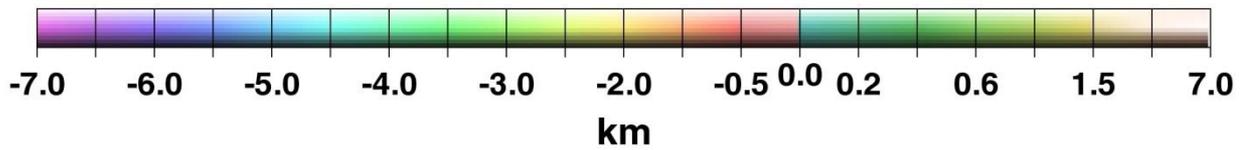
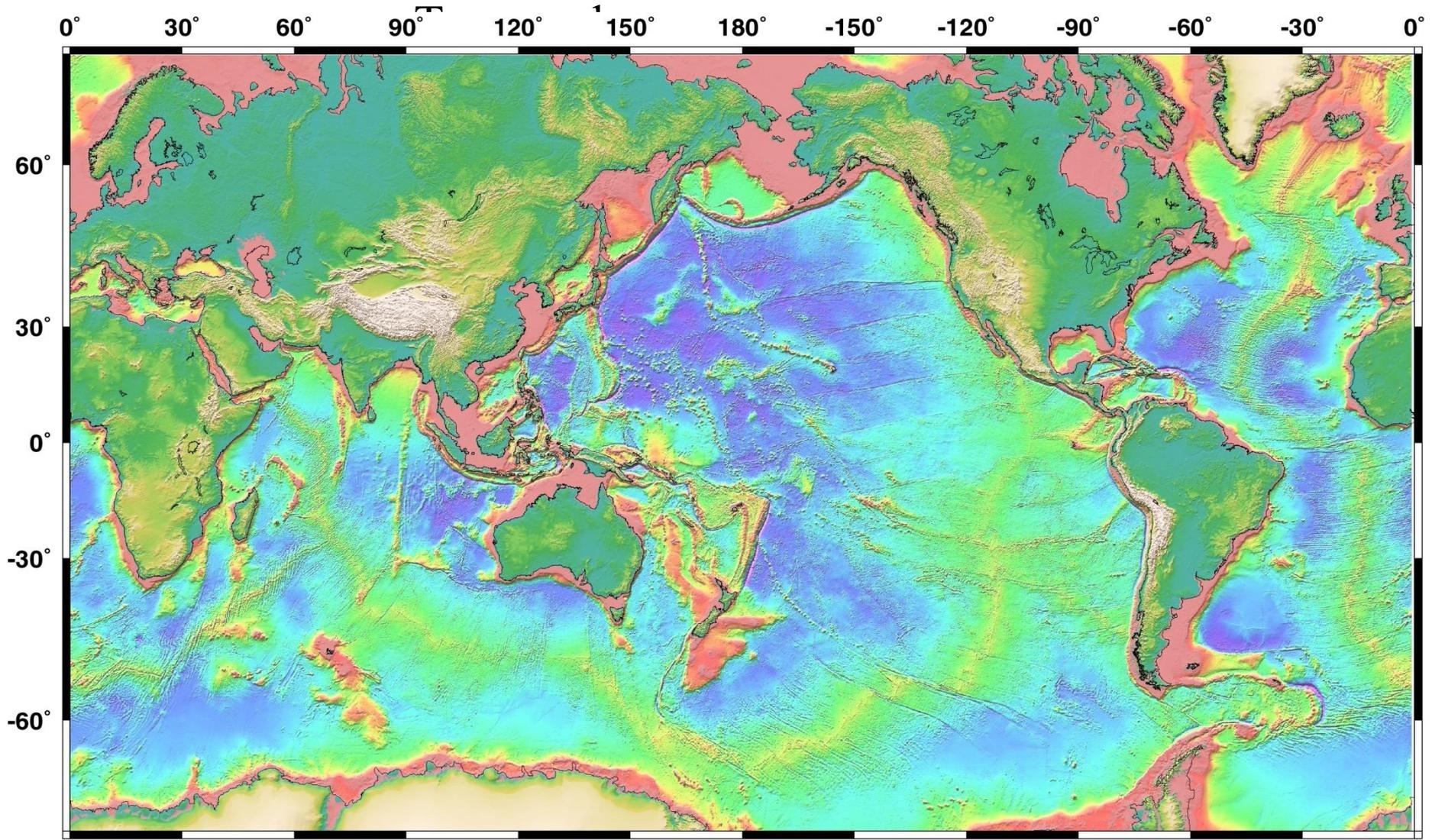
Северный магнитный полюс

# Сводная схематическая карта аномального магнитного поля Арктического бассейна, по [Карасик, Щелованов]



1 – котловины Амундсена и Нансена с хр. Гаккеля, 2 – хр. Менделеева и котловина Макарова, 3 – прибрежный шельф и хр. Ломоносова

**Согласно теории тектоники литосферных плит, относительно тонкие протяжённые области на поверхности Земли, характеризующиеся повышенной тектонической активностью, сейсмичностью и вулканизмом, контрастным рельефом и тепловым потоком, разбивают верхнюю твёрдую оболочку Земли на ряд плит, перемещающихся по поверхности Земли друг относительно друга. Конвекция в мантии Земли является основным двигателем этих перемещений.**

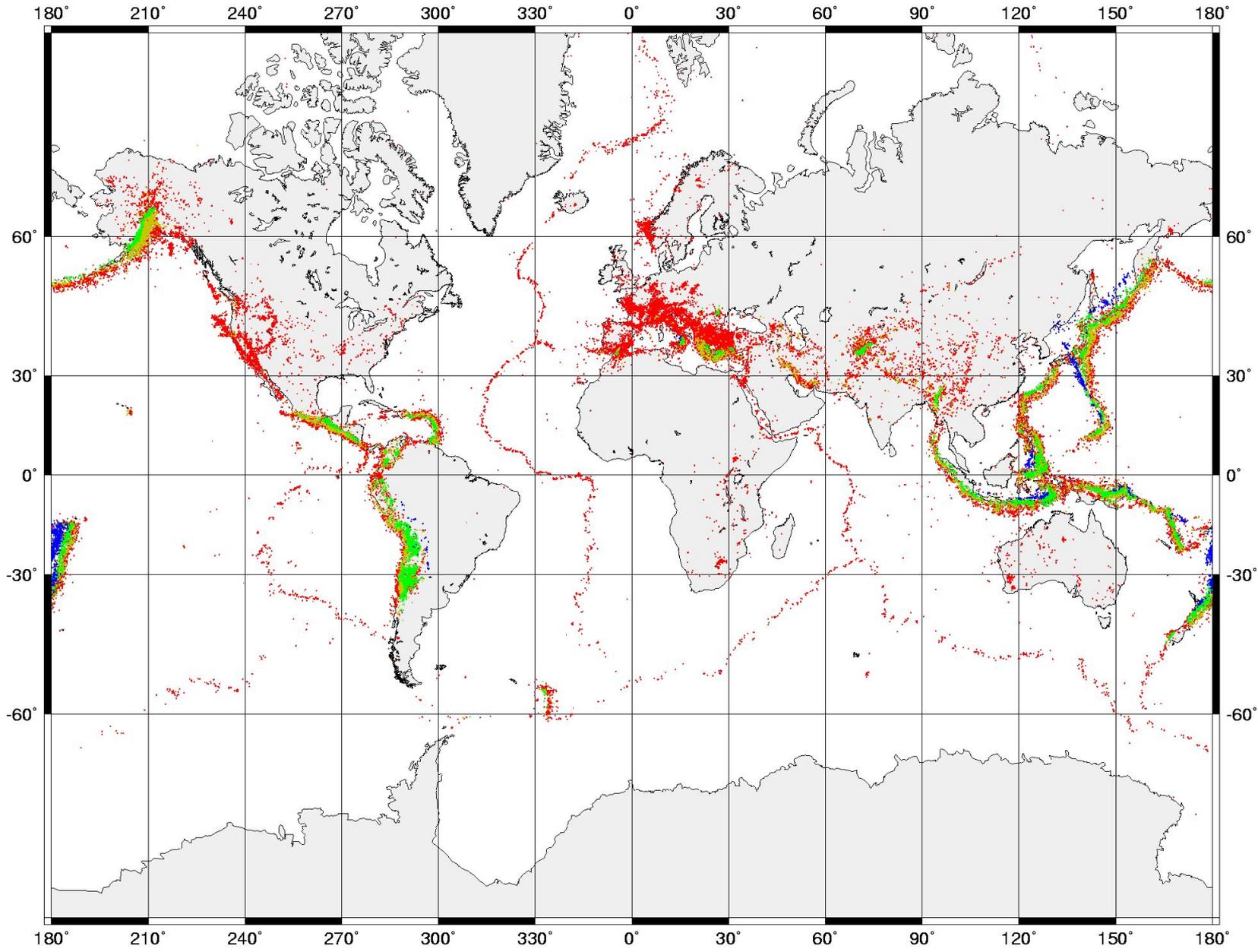


## SCIENTIFIC SPECIALTY: SEISMOLOGY

Earthquake Locations 1990 - 1996 (Magnitudes 4 and greater)

Color indicates depth: Red 0-33 km, Orange 33-70 km, Green 70-300 km, Blue 300-700 km

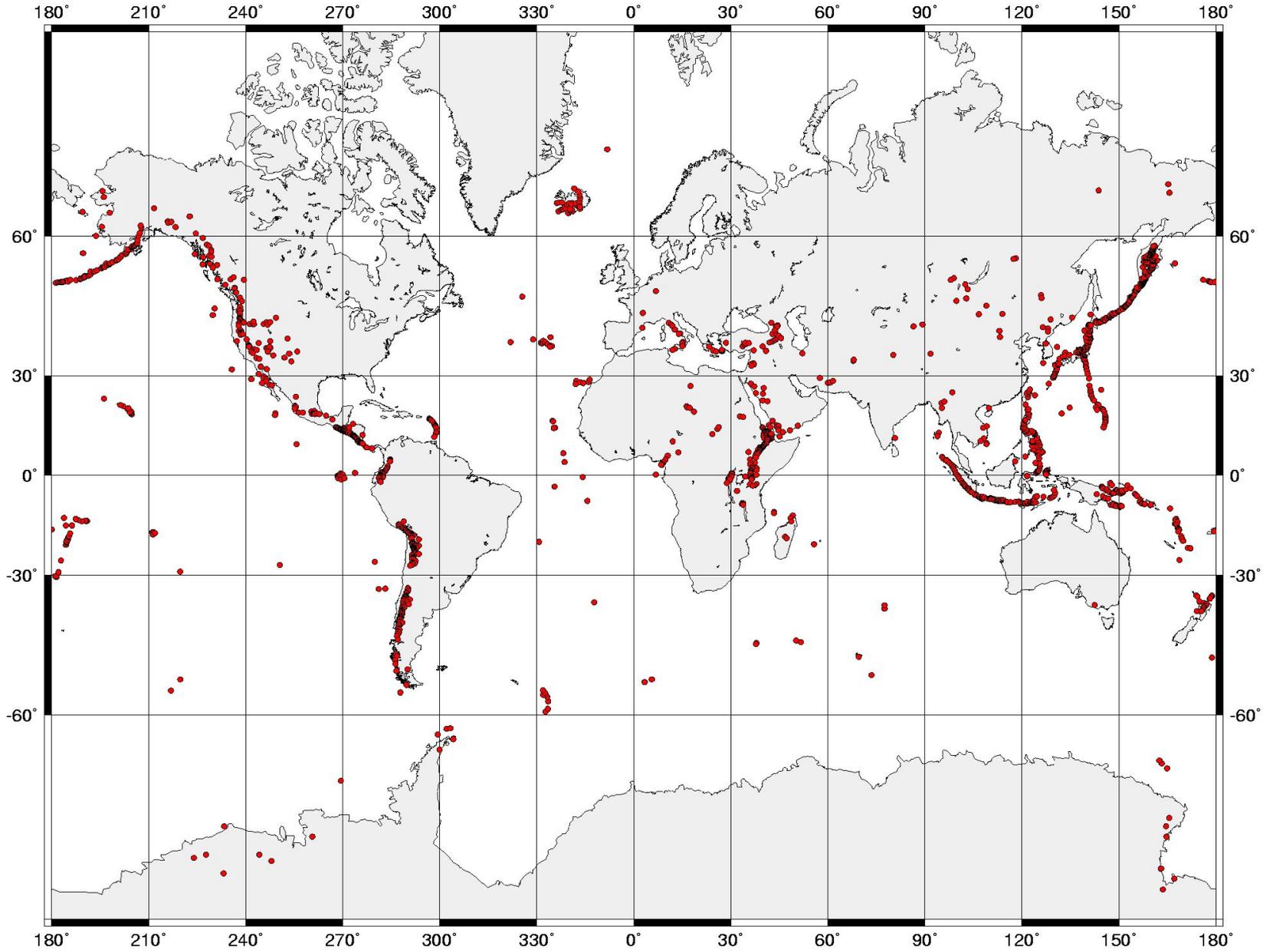
This map is part of "Discovering Plate Boundaries," a classroom exercise developed by Dale S. Sawyer at Rice University (dale@rice.edu). Additional information about this exercise can be found at <http://terra.rice.edu/plateboundary>.



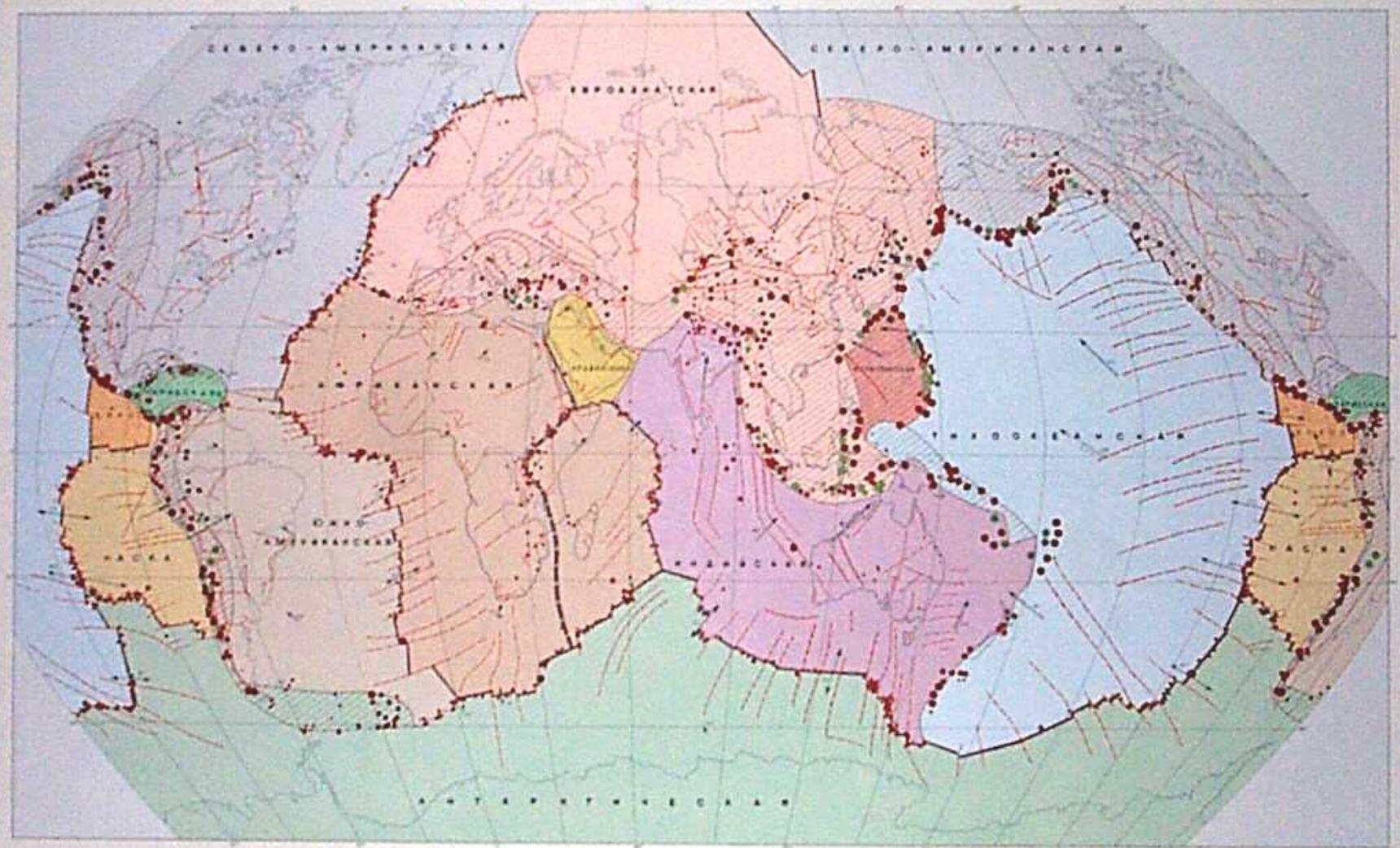
## SCIENTIFIC SPECIALTY: VOLCANOLOGY

Red dots indicate currently or historically active volcanic features  
This list obtained from the Smithsonian Institution

This map is part of "Discovering Plate Boundaries," a classroom exercise developed by Dale S. Sawyer at Rice University (dsaw@rice.edu). Additional information about this exercise can be found at <http://terra.rice.edu/plateboundary>.



# ЛИТОСФЕРНЫЕ ПЛИТЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ



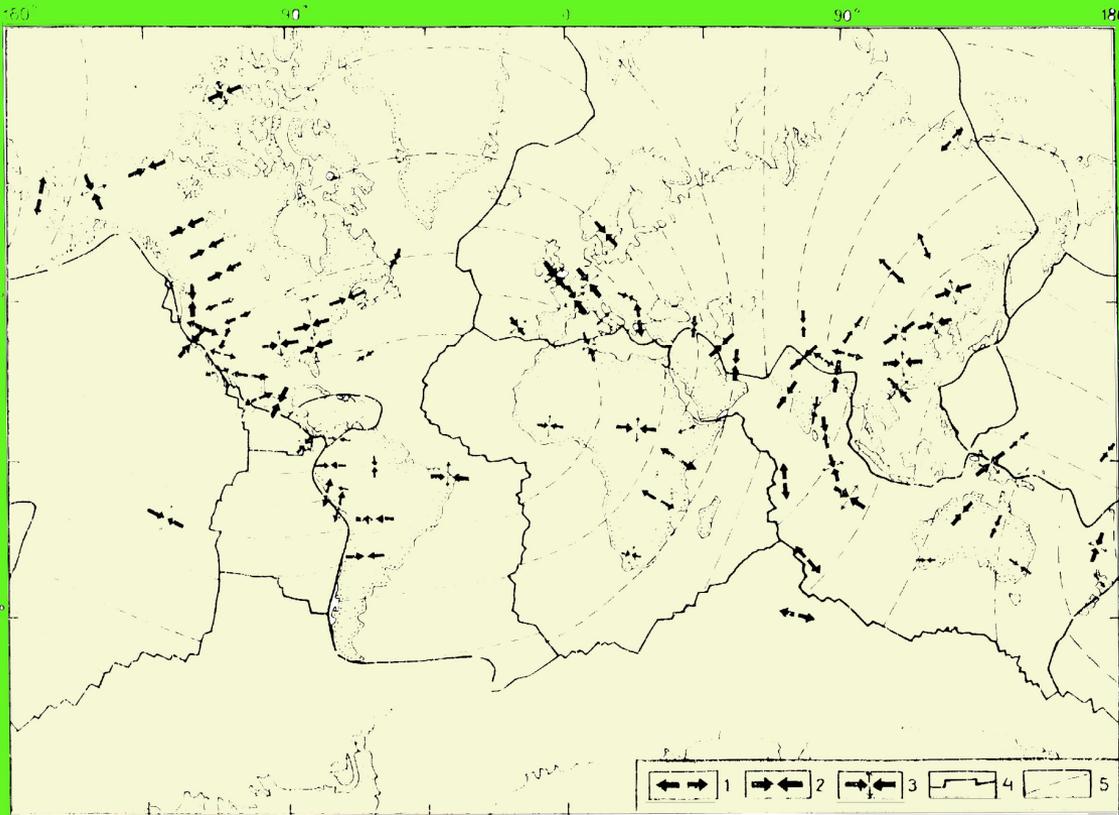


## ***ПРОВЕРКА ТЕОРИИ ТЕКТОНИКИ ПЛИТ***

- 1. Глубоководное морское бурение позволило установить возраст дна океана и его увеличение от осей СОХ к окраинам материков. Возраст по бурению хорошо совпадал с результатами интерпретации линейных магнитных аномалий. Толщина слоя осадков также увеличивается с возрастом.**
- 2. Наблюдения с ПОА обнаружили следы растяжения в рифтовых зонах.**
- 3. Данные космической геодезии количественно подтвердили движение литосферных плит.**
- 4. Данные сейсмической томографии подтвердили реальность погружения холодных литосферных плит в мантию.**

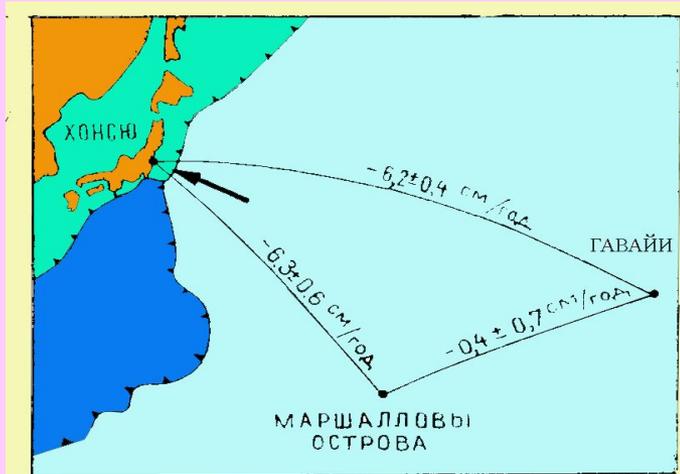
# Прямые измерения современных горизон- тальных перемещений литосферных плит Земли

Высокоточное измерение  
расстояний между радио-  
телескопами методами  
радиоинтерферометрии и  
оценки относительных  
скоростей движения плит  
(Хаин, 1989)

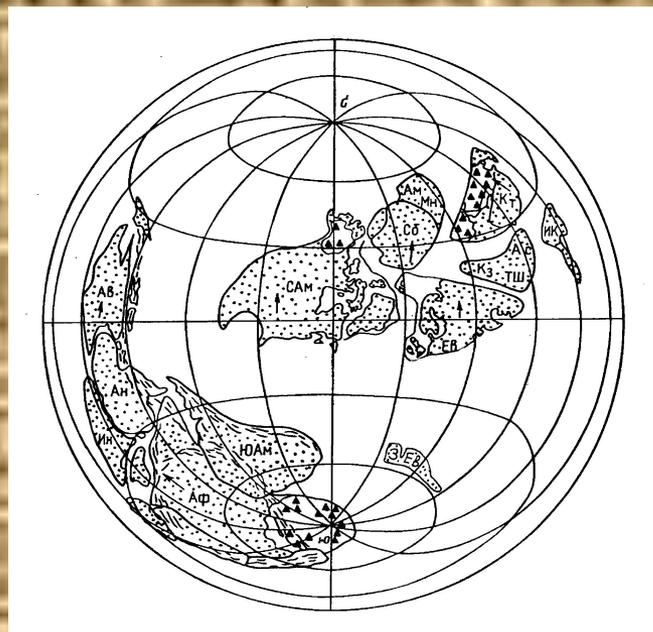


**Обобщённая карта напряжений в литосфере  
Земли, составленная из анализа механизмов  
землетрясений и скважинных наблюдений  
(Zoback, 1992; Хаин, Ломизе, 1995).**

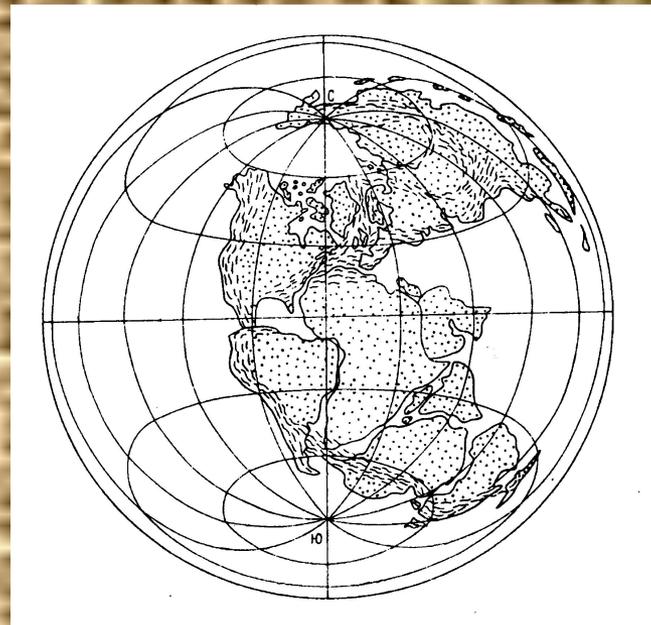
- 1-растяжение, образование сбросов
- 2-сжатие с образованием взбросов и надвигов
- 3-сжатие с образованием диагональных сдвигов
- 4-границы литосферных плит
- 5-траектории абсолютного движения плит



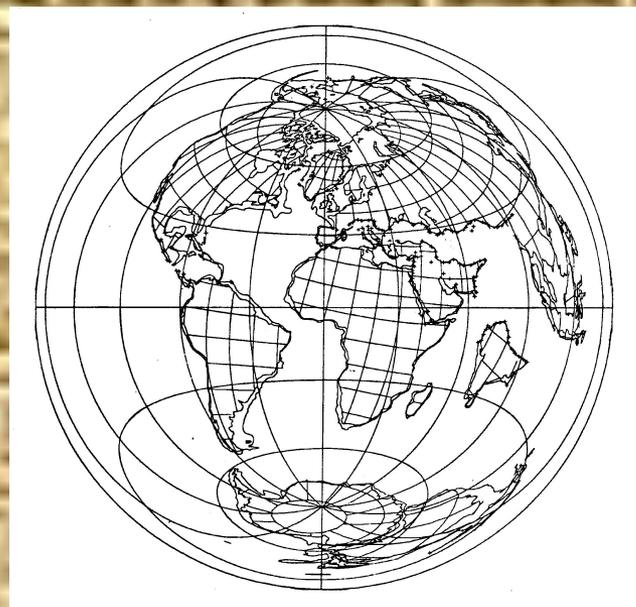
550  
M.J.



200  
M.J.



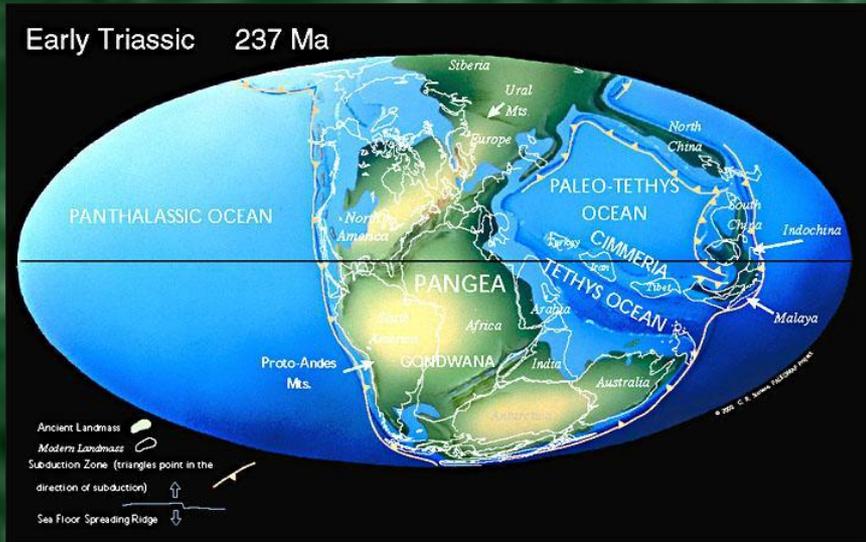
60  
M.J.



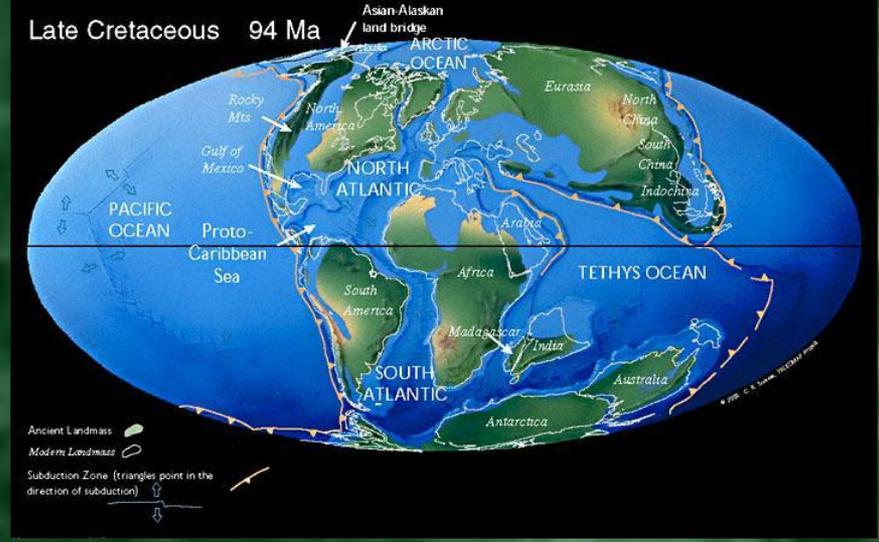
0  
M.J.



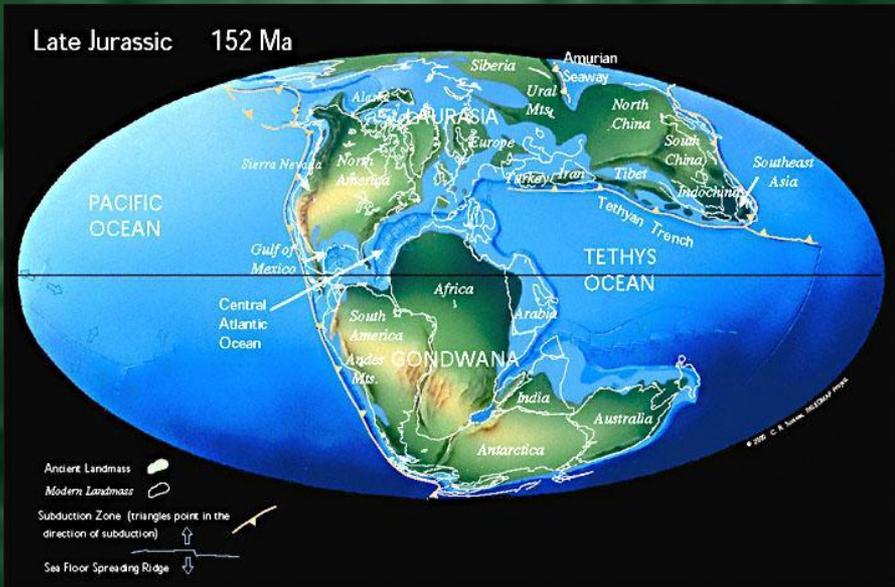
# Палеорекоkonструкции движения литосферных плит



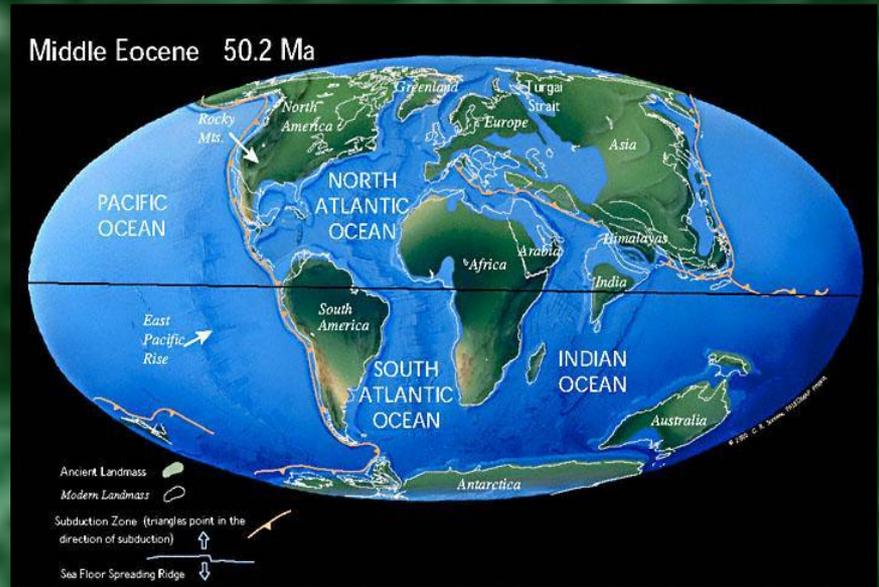
-237 млн. лет



-94 млн. лет



-152 млн. лет



-50.2 млн. лет

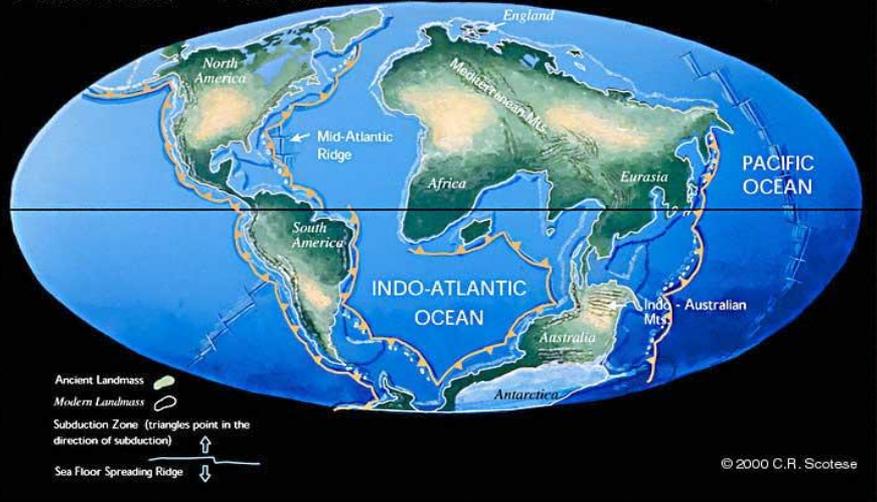
# Положение литосферных плит в настоящем и будущем

Modern World



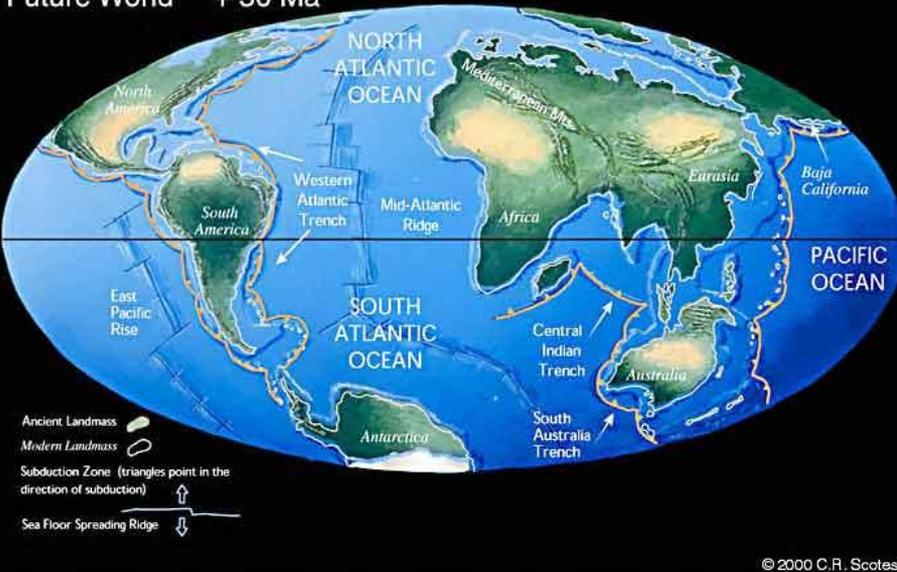
0 млн. лет

Future World + 150 Ma



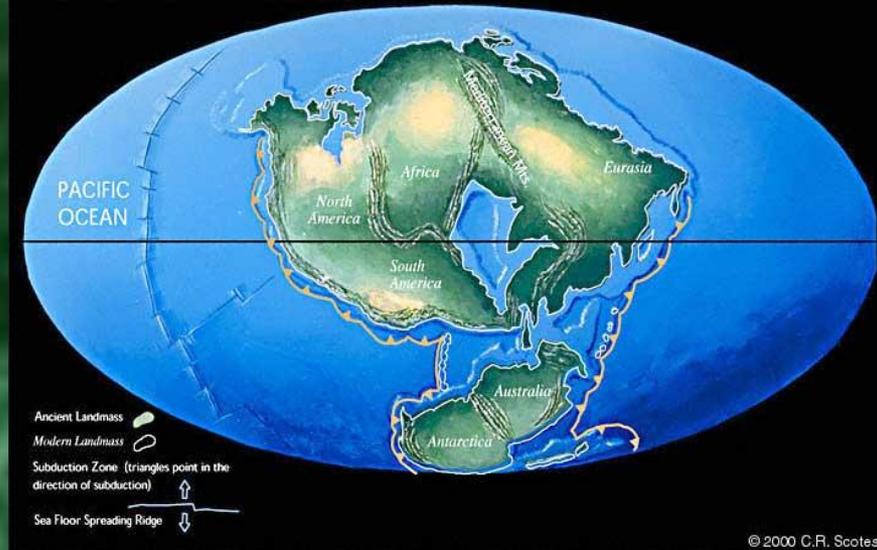
+150 млн. лет

Future World + 50 Ma



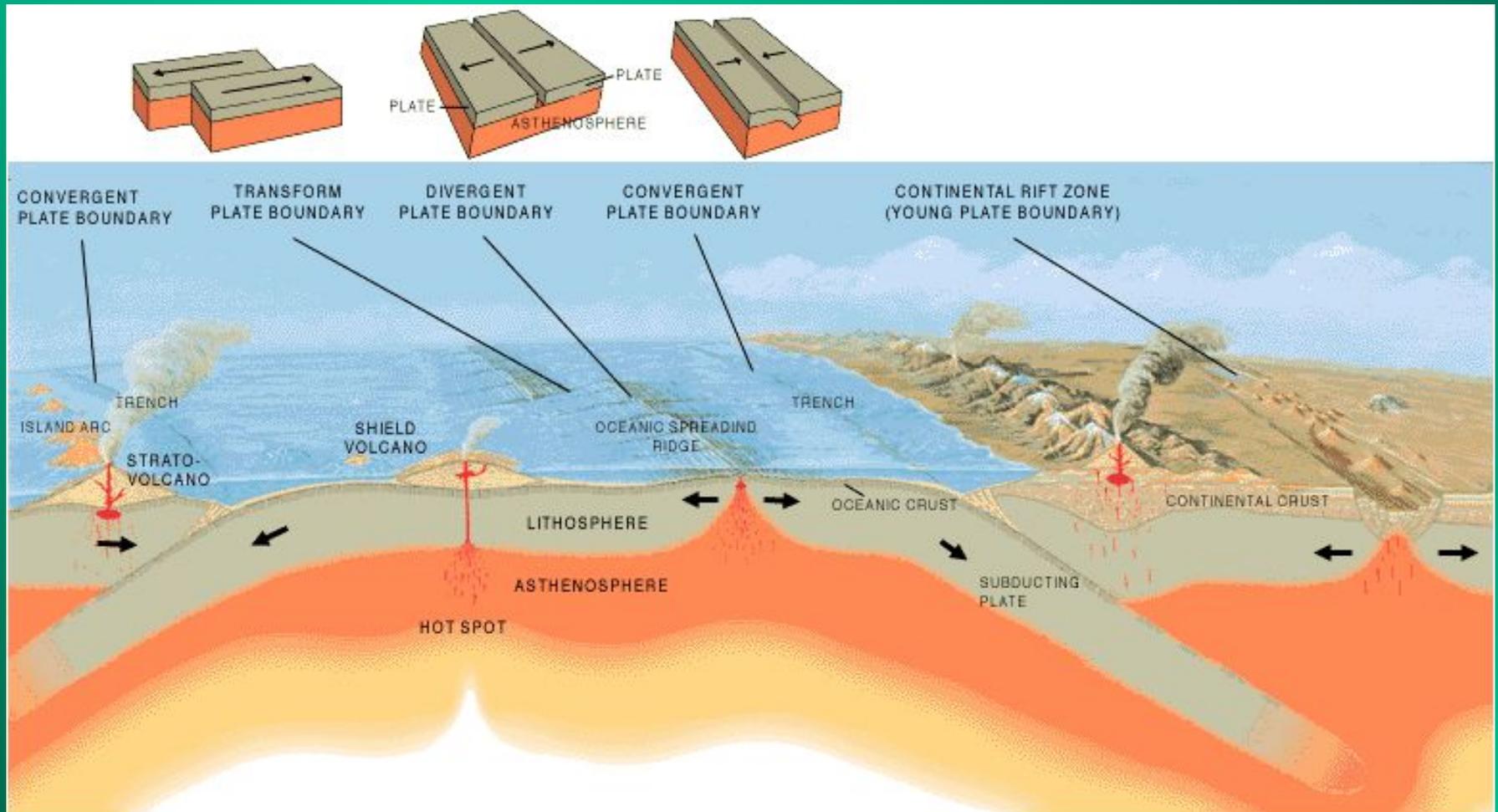
+50 млн. лет

Future World + 250 Ma



+250 млн. лет

# Типы границ литосферных плит



# Эволюция литосферы и типы осадочных бассейнов

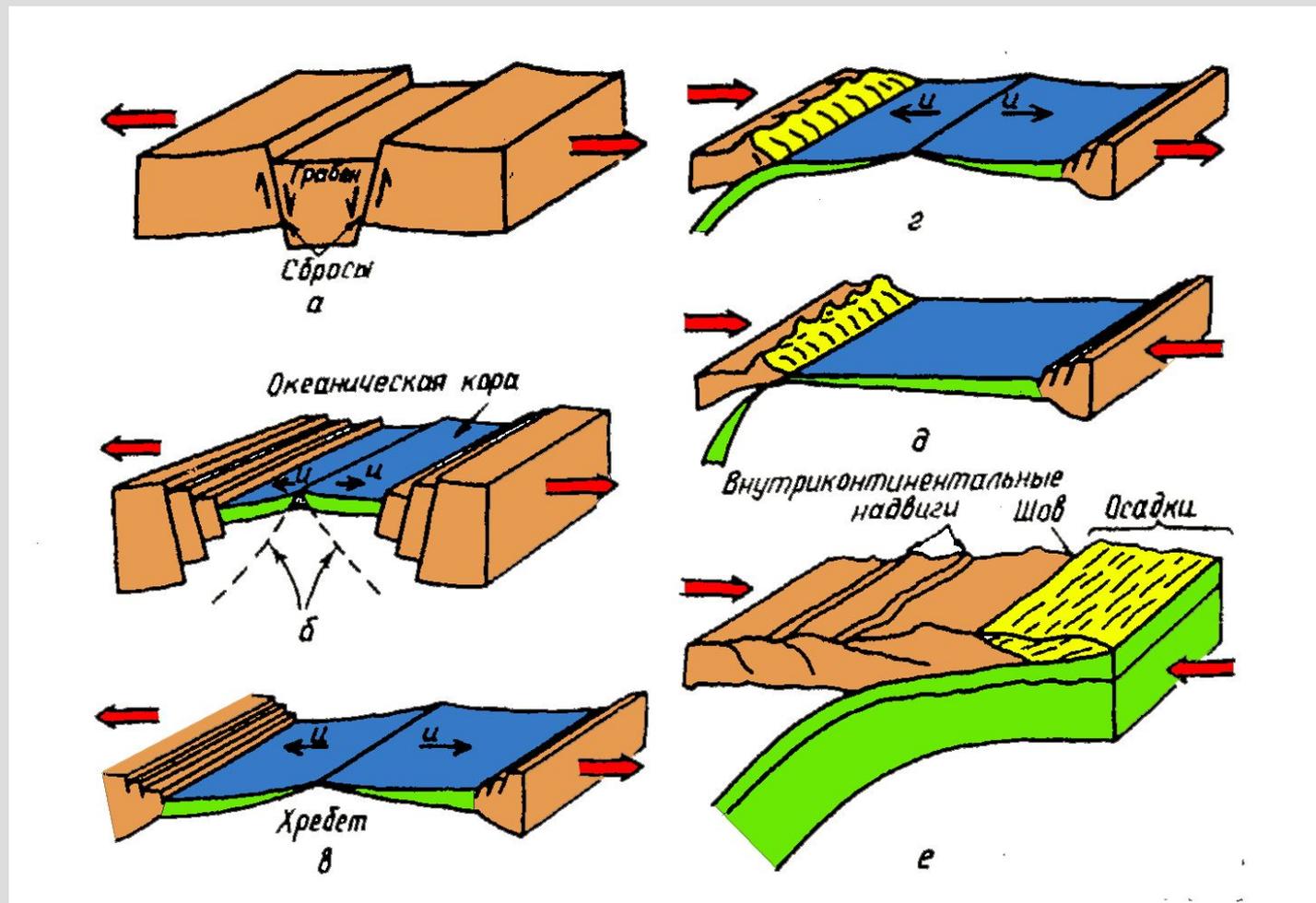
В теории тектоники литосферных плит формирование и развитие осадочных бассейнов, а также их классификация, базируются на эволюционном ряду, включающем следующие **стадии развития литосферы:**

- 1) раскол континентов
- 2) образования новых дивергентных границ плит через разрастание молодой океанической впадины
- 3) развитие процессов субдукции
- 4) постепенное сокращение площади впадины океана
- 5) конвергенции краёв литосферных плит и их столкновение
- 6) формирование орогенов и шовных зон

# Эволюция литосферы Земли

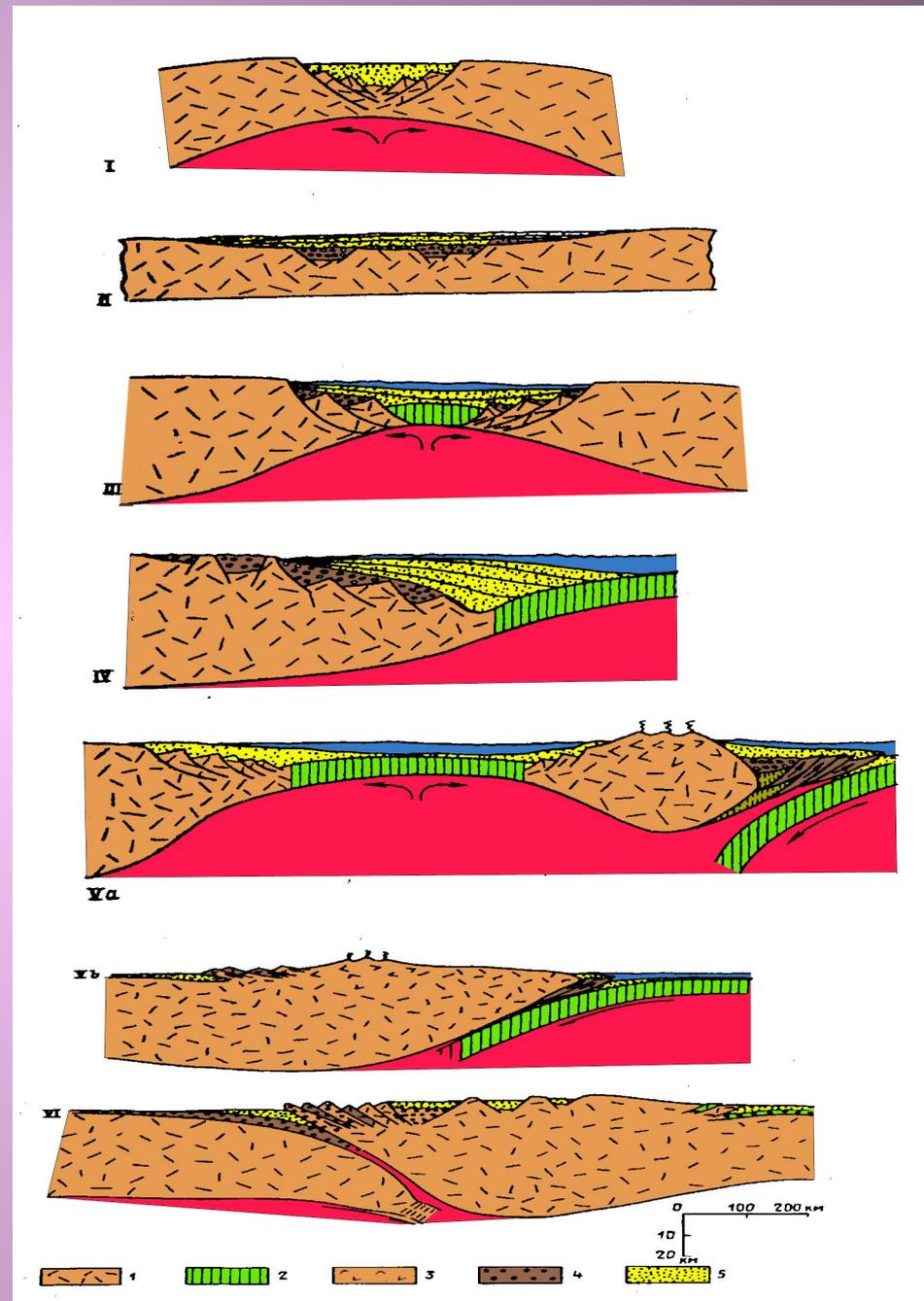
## Цикл Вильсона

(Тёркот, Шуберт, 1985).



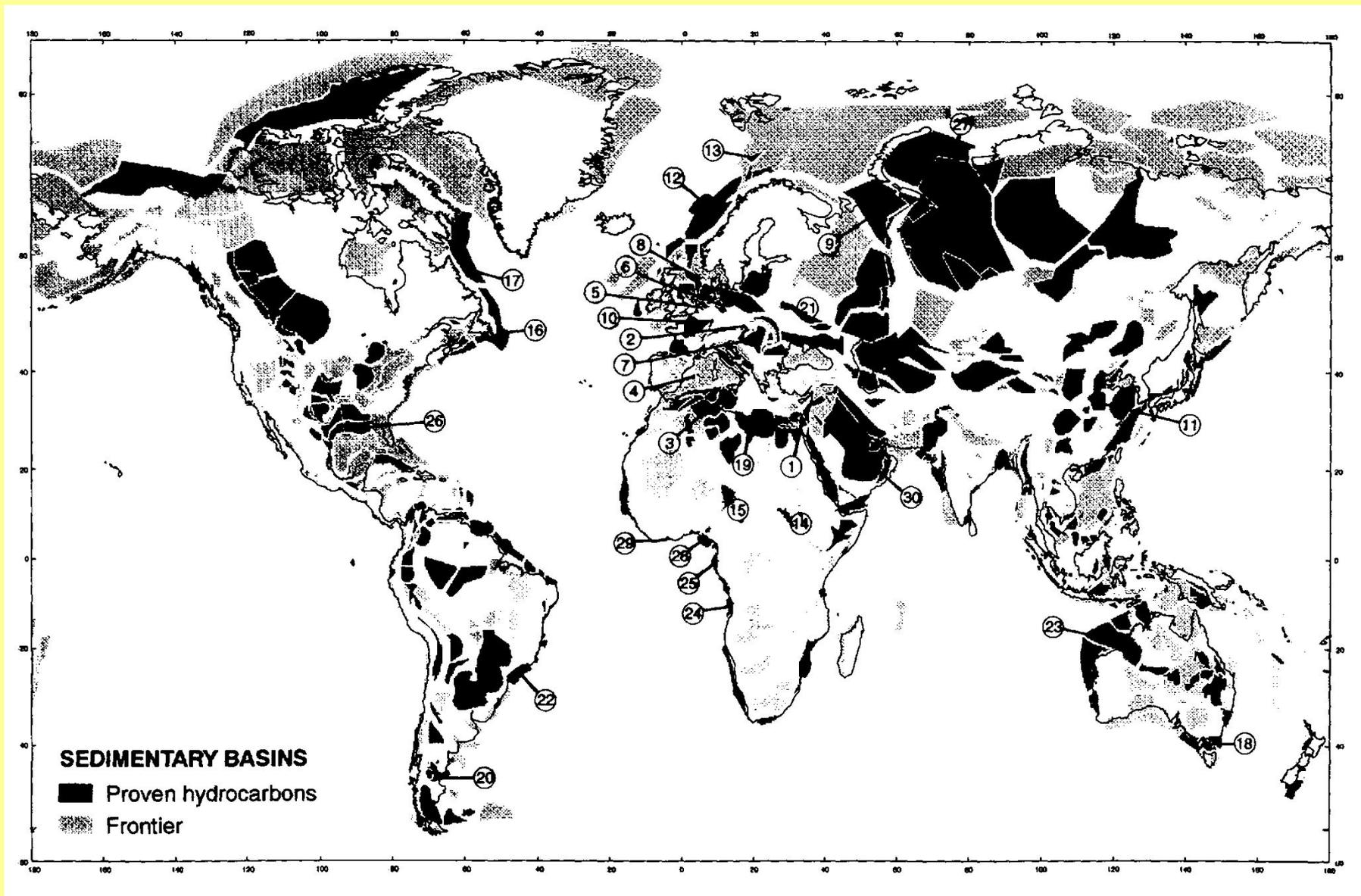
# Главные стадии эволюции литосферы (Dewey, 1969).

- I - начальная стадия разрыва континентальной литосферы.
- II - прекращение разрыва – образование авлакогена .
- III - полный разрыв континентальной литосферы; начало образования океанической.
- IV - формирование пассивной окраины молодого океана
- Va - поддвиг океанической литосферы, формирование вулканической гряды и краевого моря.
- Vб - формирование активной окраины андийского типа при поддвиге океанической литосферы под континентальную.
- VI - столкновение материковых краев плит, формирование орогена в условиях сжатия континентальной литосферы



*Эволюция осадочного бассейна есть часть общей глобальной эволюции литосферы Земли*

Эволюционный ряд литосферы	Бассейны, формирующиеся при активном процессе	Бассейны, формирующиеся при затухании процесса
РАСКОЛ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРЫ	Отдельные рифты на жесткой древней континентальной литосфере (Африканские, Байкальский, Суэцкий)	Авлкогены, синеклизы (Печёрско-Баренцевоморский, Московский, Днепрово-Донецкий, Западно-Сибирский, Волго-Уральский, Сирт, Северное море)  Авлакогены в пределах отмерших ветвей тройного сочленения (устьевые части рек (Нигер, Нил, Амазонка, Маханади и Годавари в Индии )
	Серии рифтовых грабен и горстов на месте недавнего орогена (Провинция Бассейнов и Хребтов, США)	
	Рифтовые структуры, связанные с мегасдвигами (Калифорнийский, Мёртвое море, Кайман)	
ПОЛНЫЙ РАЗРЫВ ЛИТОСФЕРЫ, НАЧАЛО РАЗРАСТАНИЯ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ВПАДИНЫ	Красное море, Аденский залив, Калифорнийский залив, бассейны молодых континентальных окраин	Затухание на ранней стадии раскрытия океана (Лабрадорское и Тасманово моря)
ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗРАСТАНИЕ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ВПАДИНЫ	Бассейны пассивных окраин (Сантос, Пелотес, Австралийский сектор окраины Антарктиды)	
	Дельтовые бассейны на контакте пассивной окраины и отмершей ветви тройного сочленения (авлакогена) дельты Нигера, Нила, Амазонки)	
РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА СУБДУКЦИИ, СОКРАЩЕНИЕ ПЛОЩАДИ ОКЕАНА	Бассейны активных континентальных окраин и островных дуг	Прекращение субдукции из-за перескока оси спрединга (пассивная окраина моря Беллинсгаузена)
	Задуговые бассейны с растяжением литосферы (бассейны Филиппинского моря, Эгейское море, Командорская котловина)	
ЗАХЛОПЫВАНИЕ ОКЕАНА СТОЛКНОВЕНИЕ МАТЕРИКОВ, ОБРАЗОВАНИЕ ОРОГЕНОВ И ШОВНЫХ ЗОН	Предгорные бассейны (Предкавказский)	
	Межгорные бассейны с локальным растяжением (Рейнский грабен, Панонский и Черноморский бассейны)	



Мировая система нефтегазоносных провинций мира, ассоциированных с рифтовыми бассейнами (Ziegler, 1996b)

# *Осадочные бассейны рифтового типа*

## **Бассейны активной стадии рифтинга:**

- 1) На жесткой древней континентальной литосфере - отдельные рифты (Африканские, Байкальский, Суэцкий)**
- 2) На ослабленной континентальной литосфере - серии рифтовых грабенов и горстов (Провинция Бассейнов и Хребтов)**
- 3) Рифтовые структуры, связанные с мегасдвигами (Калифорнийский, Мёртвое море, Кайман)**

## **Бассейны, формирующиеся после затухания рифтинга**

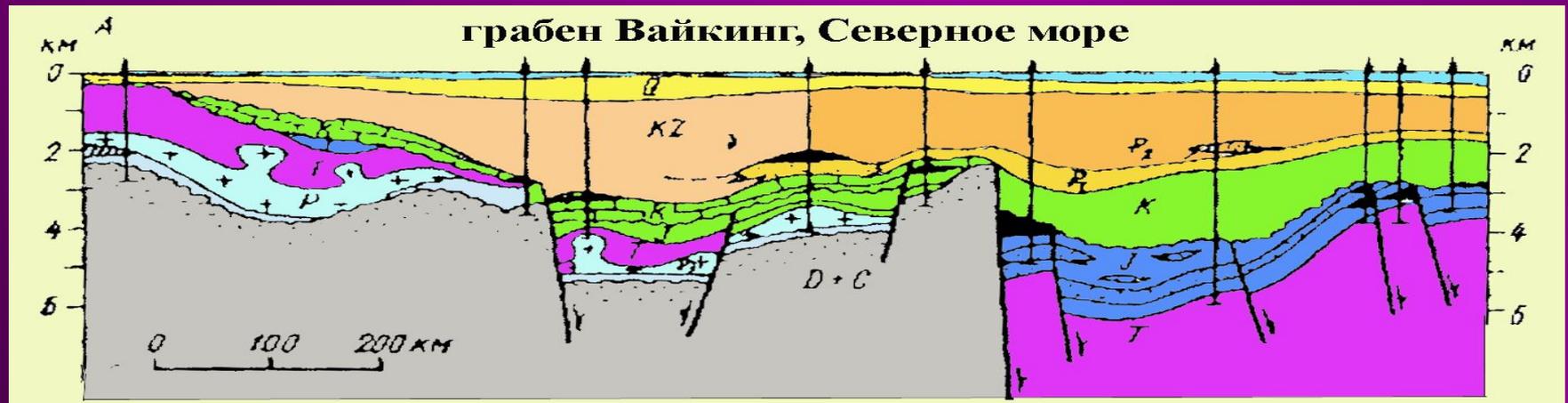
- 1) Авлвогены, синеклизы (Печёрско-Баренцевоморский, Московский, Днепрово-Донецкий, Западно-Сибирский, Волго-Уральский, Сирт, Северное море)**
- 2) Авлакогены в пределах отмерших ветвей тройного сочленения (устьевые части рек Нигер, Нил, Амазонка, Маханади и Годавари в Индии )**

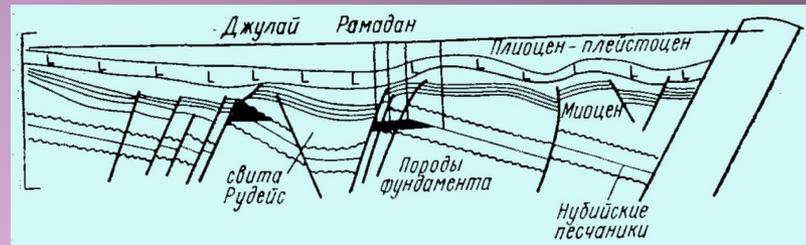
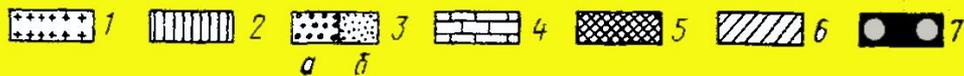
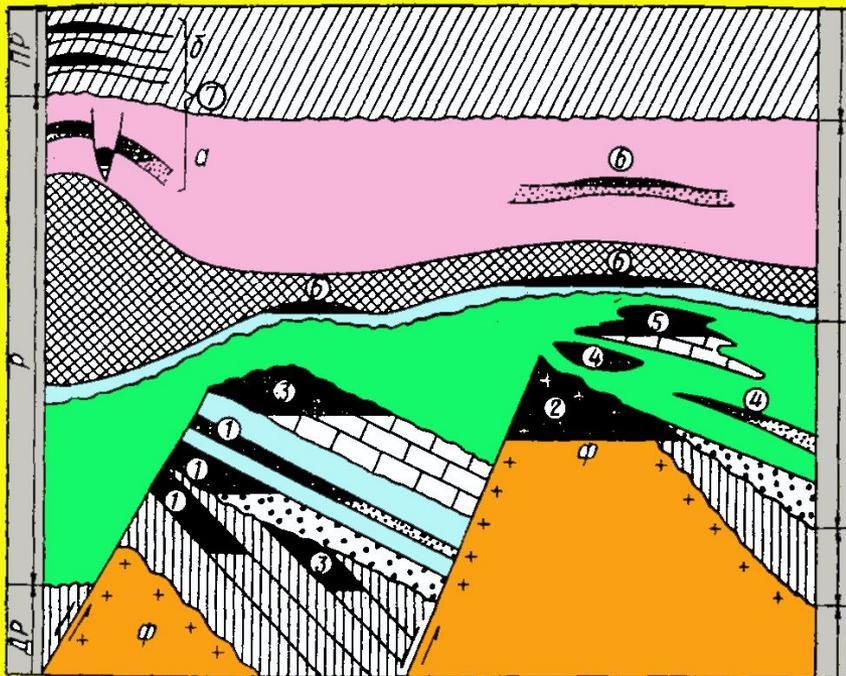
**Рифтогенные бассейны составляют абсолютное большинство осадочных нефтегазоносных бассейнов мира, если учесть что бассейны пассивных континентальных окраин, также как и задуговых морей относятся к рифтогенным.**

## Осадочное выполнение рифтовых бассейнов

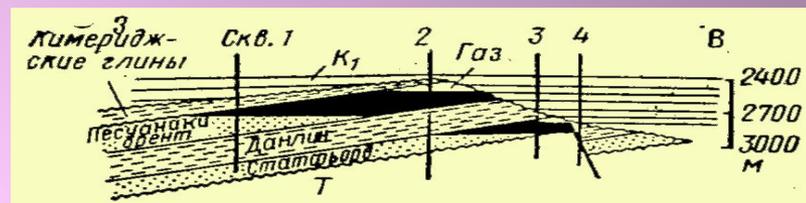
- 1) Накопление осадков большой мощности (4—7 км) за короткий (5—20 млн. лет) промежуток времени (терригенные континентальные или озерные красноцветы с терригенно-вулканогенными породами в низах разреза). Источники сноса - как «плечи» рифта, так и внутренние горсты.
- 2) Выше по разрезу, в течении первых морских трансгрессий, часто накапливаются мощные соленосные толщи.
- 3) Для поздних стадий характерно накопление морских терригенных и карбонатных пород.

Послерифтовый комплекс формируется в условиях равномерного опускания региона на площади, значительно превышающей площадь проявления рифтогенеза. Как правило, он отделен от рифтового комплекса региональным несогласием и характеризуется относительно спокойным, ненарушенным залеганием слагающих его осадочных толщ.





Геологический профиль через Суэцкий грабен (Perrodon, 1980).



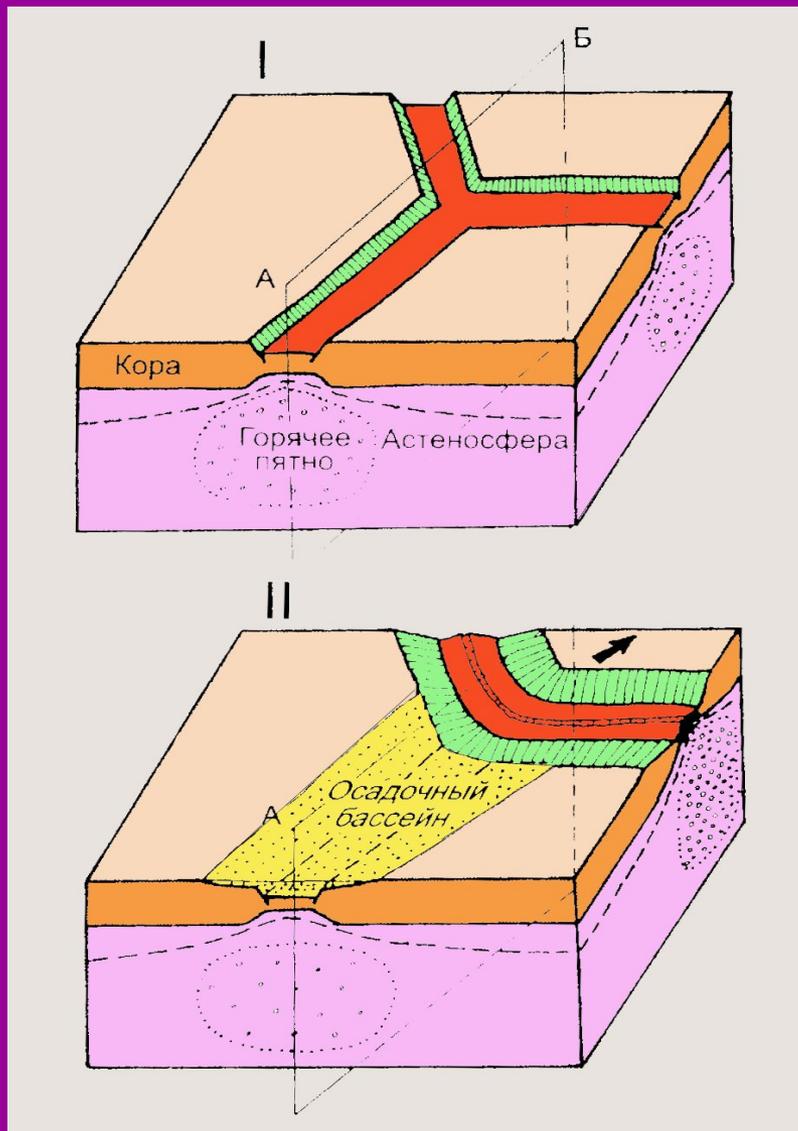
Геологический разрез м-ия Брент (грабен Вайкинг, Северное море)

## Принципиальная модель основных залежей нефти и газа в бассейнах, прошедших рифтовую стадию (Кучерук, Алиева, 1980).

1 – породы фундамента, 2 – дорифтовый комплекс, рифтовый комплекс: 3 – песчаники континентальные (а) и морские (б), 4 – карбонаты, 5 – соленосные отложения. 6 – послерифтовый комплекс, 7 – основные типы залежей (1-тектонические, 2-тектонические и литологические, 3-литологические экранированные, в том числе в эрозионных останцах; 4-7 - в вышележащих отложениях)

# Благоприятные факторы формирования скоплений УВ в рифтовых бассейнах

Подвижки по разломам, резкие изменения мощностей и фаций отложений, локальные несогласия и перерывы способствуют формированию хороших коллекторов за счет процессов выветривания и выщелачивания (как в отложениях рифтового и дорифтового комплексов, так и в породах фундамента (Кучерук, Ушаков, 1985). Все это в сочетании с регионально развитыми глинистыми и соленосными покрывками способствует формированию сингенетичных залежей УВ (слайд 20). Одни и те же глинистые морские толщи могут служить как материнскими породами, так и покрывками. Миграция УВ по разломам и несогласиям может сформировать скопления и в расположенных выше, но более древних по возрасту отложениях в основании рифтового и дорифтового комплексов, а также и в выветрелых и трещиноватых породах фундамента (грабен Сирт, Северо-Китайский бассейн, Западно-Сибирский бассейн и др.). Тектоническая расчлененность и фациальная невыдержанность отложений в рифтовых бассейнах затрудняют дальнюю латеральную миграцию УВ, предполагая доминирующую роль вертикальной миграции .



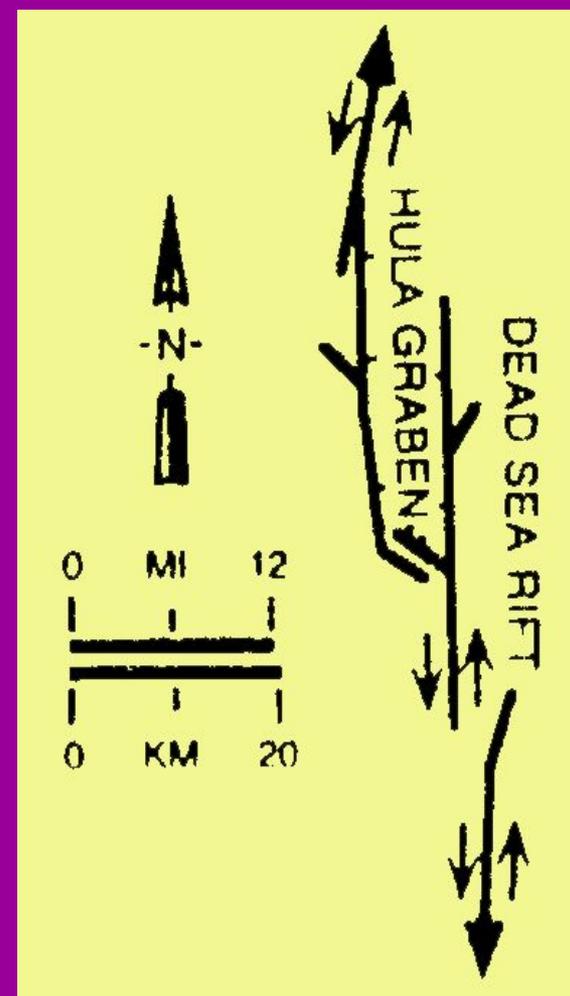
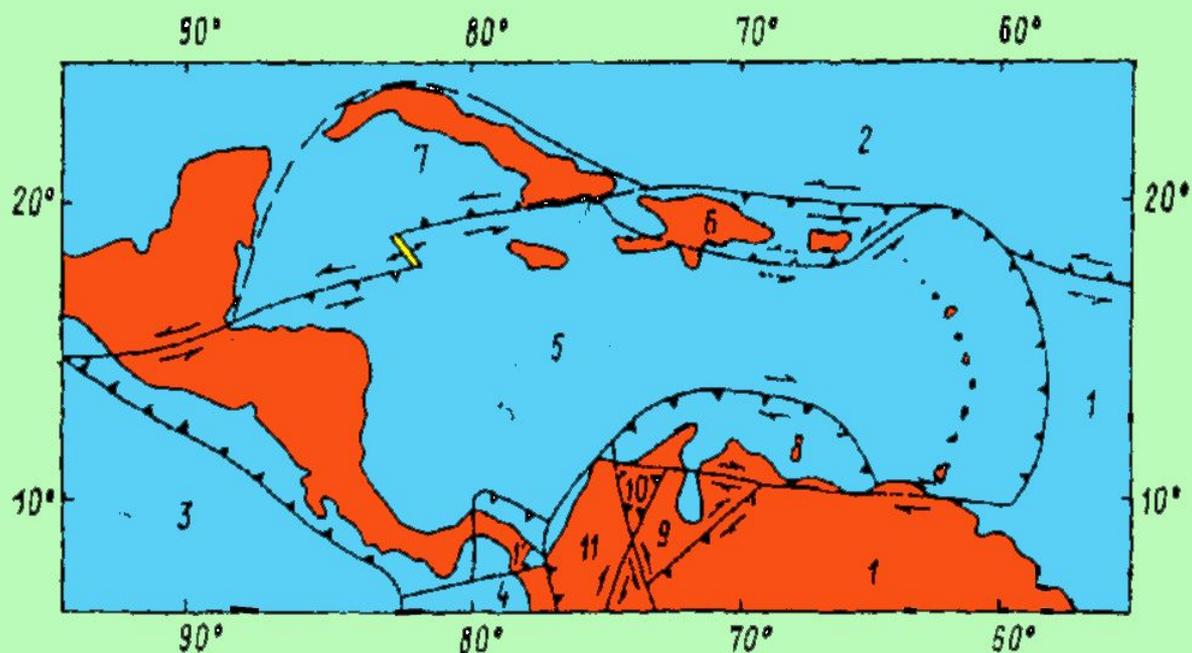
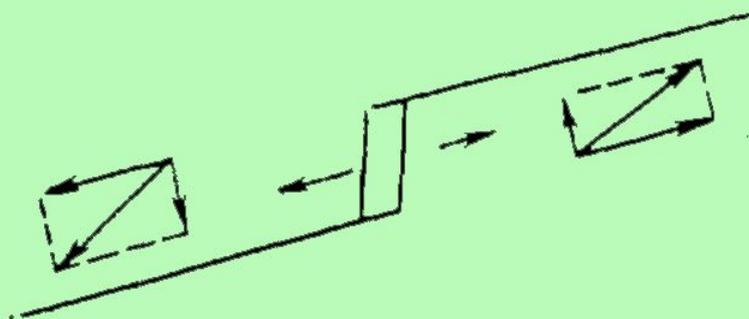
## Авлакогены в пределах отмерших ветвей тройного сочленения

Устьевые части рек Нигер, Нил, Амазонка, Маханади и Годавари в Индии

Модель формирования пострифтового осадочного бассейна на неудавшейся ветви тройного сочленения рифтов (Никишин, 1992)

# Рифтовые структуры, связанные с мегасдвигами

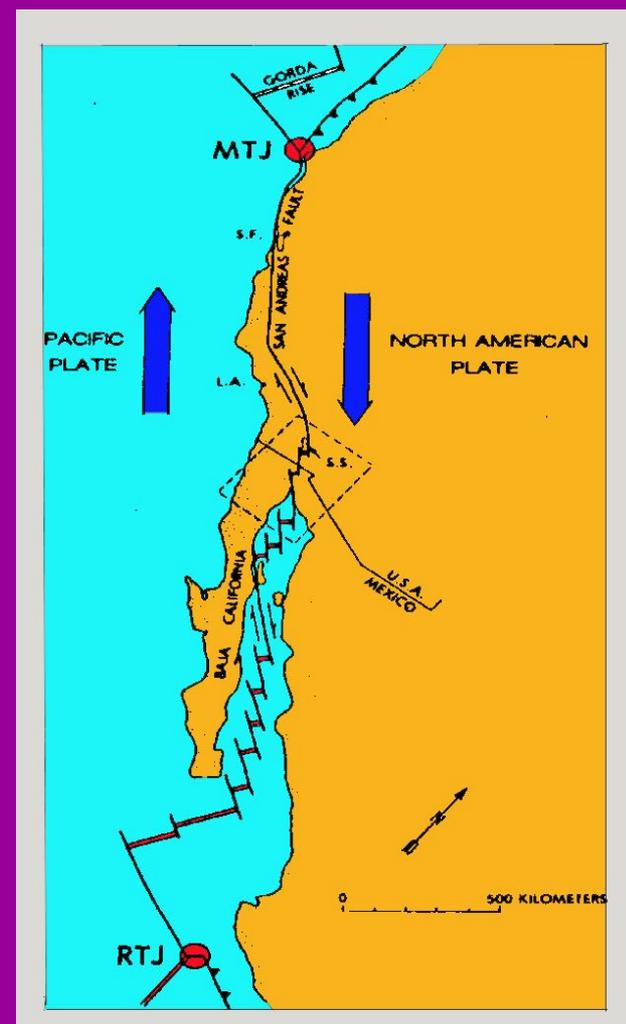
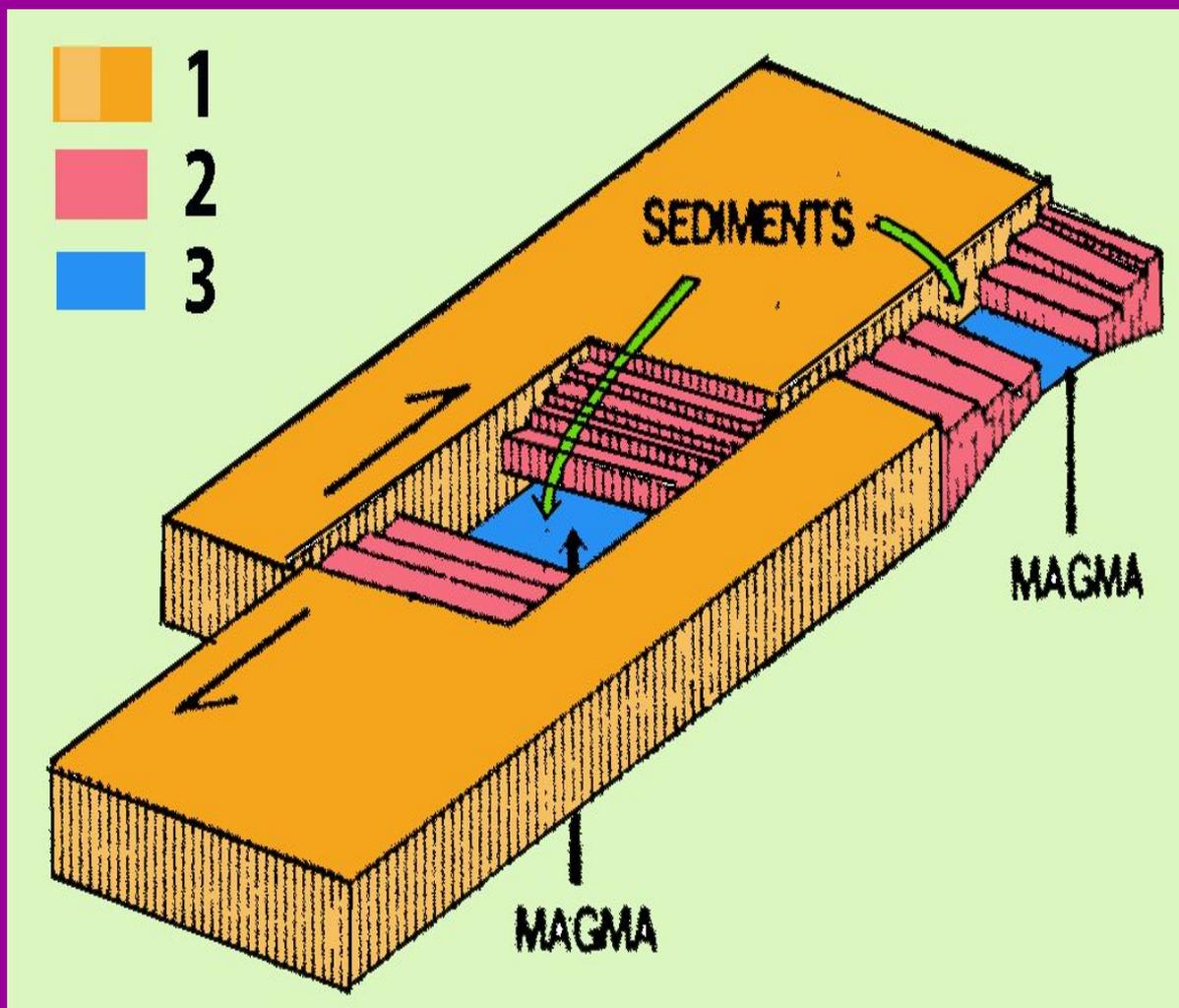
## Жёлоб Кайман



Мёртвое море

# Рифтовые структуры, связанные с мегасдвигами

## Клифорнийский залив, бассейн Гуаймос

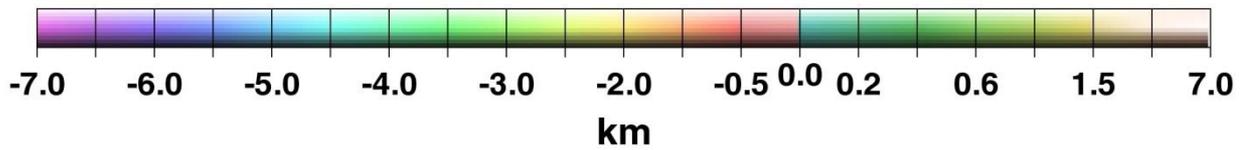
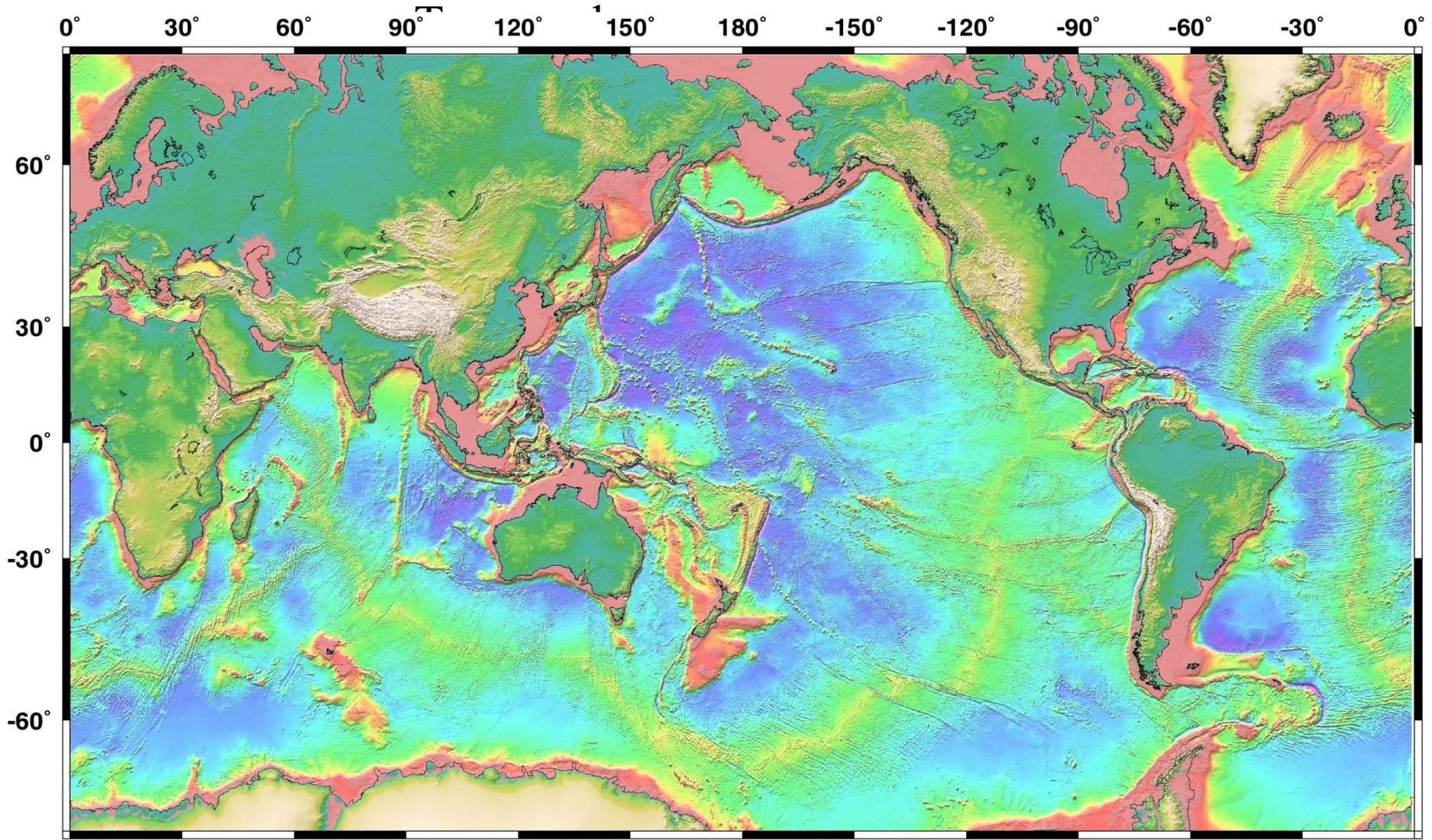


1, 2 – нормальная и растянутая континентальная л-ра; 3 – океаническая л-ра

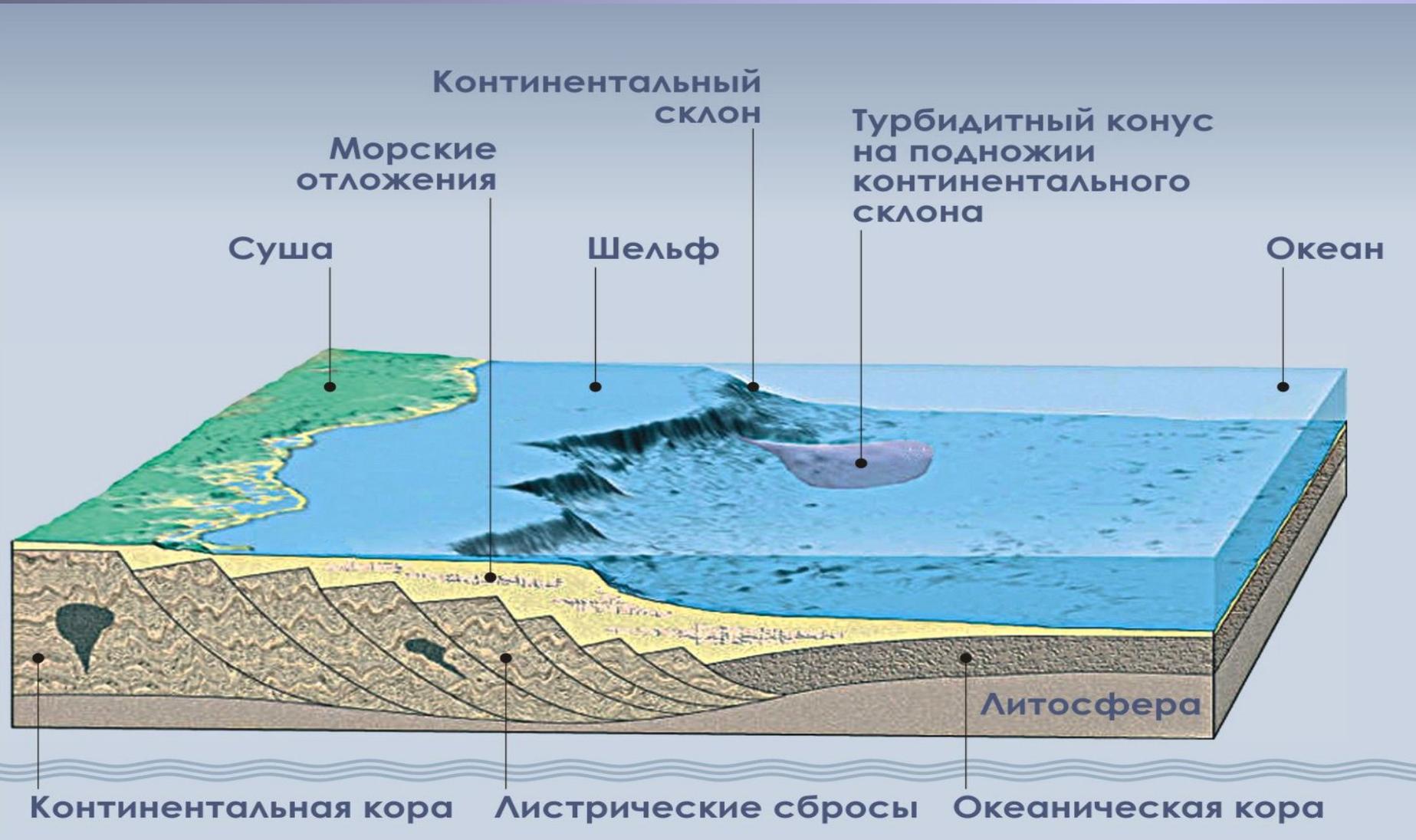
# Бассейны пассивных окраин

Разрастание океанической впадины и удаление центра спрединга от рифтогенных континентальных окраин обуславливает переход рифтогенных бассейнов на следующую «пассивную» стадию их эволюции. Постепенное остывание океанической и прилегающей к ней континентальной литосферы имеет следствием понижение уровня дна океана в области, непосредственно примыкающей к окраине континента, и в краевой зоне материка. Образующееся понижение, заполняясь осадками, определяет продвижение осадконакопления в сторону океана. Осадочные бассейны пассивных переходных зон часто подразделяются на два параллельных бассейна, разделенных краевым поднятием фундамента (Слайды 28, 29) - один преимущественно в области шельфа, другой — вдоль континентального подножья, частично или полностью на океанической коре.

*С этими бассейнами, располагающимися на глубинах моря от 100 до 4000 м, связаны около 45% конечных мировых извлекаемых запасов нефти и газа и основные перспективы открытия крупных месторождений в ближайшем будущем*



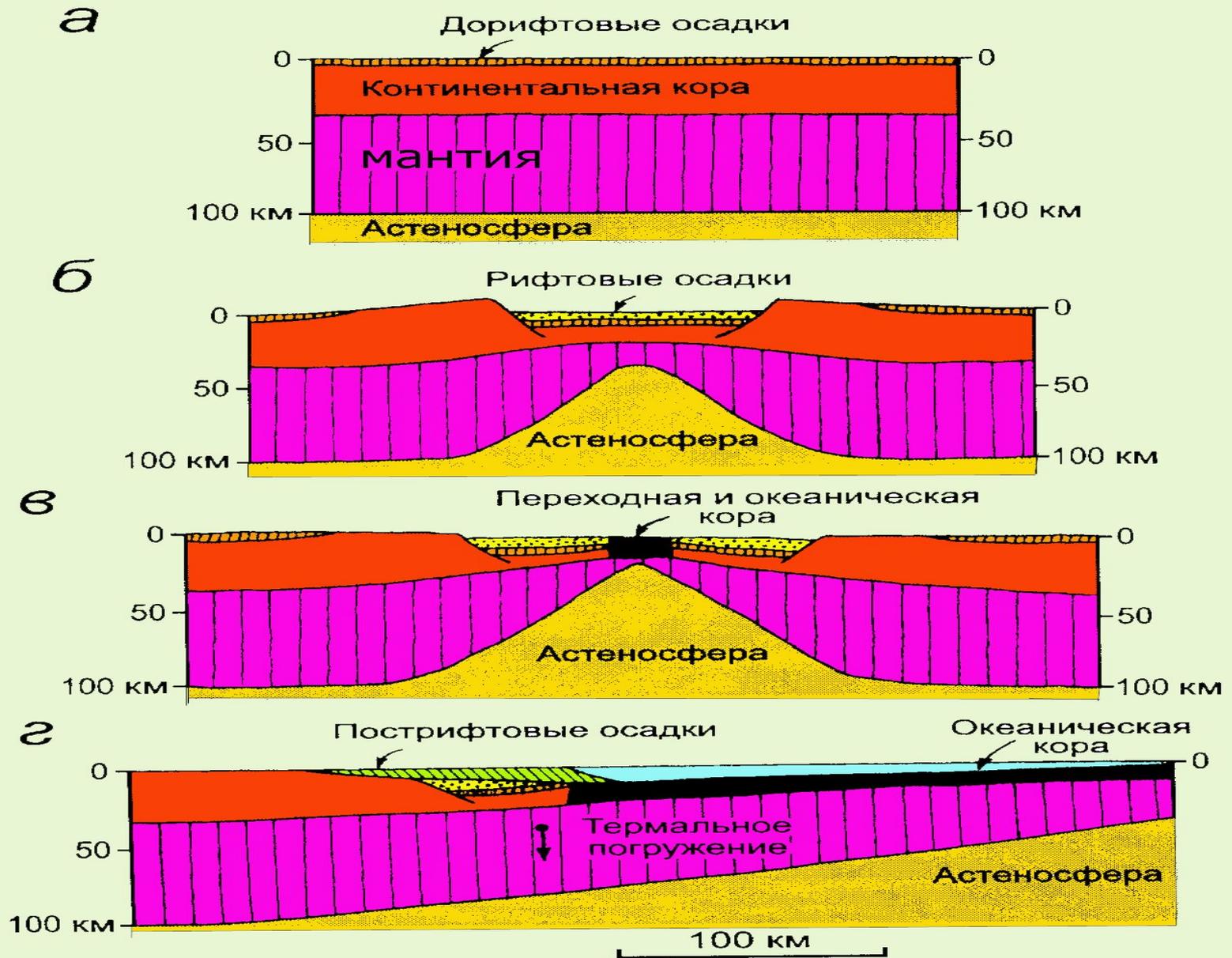
# Бассейны пассивных окраин

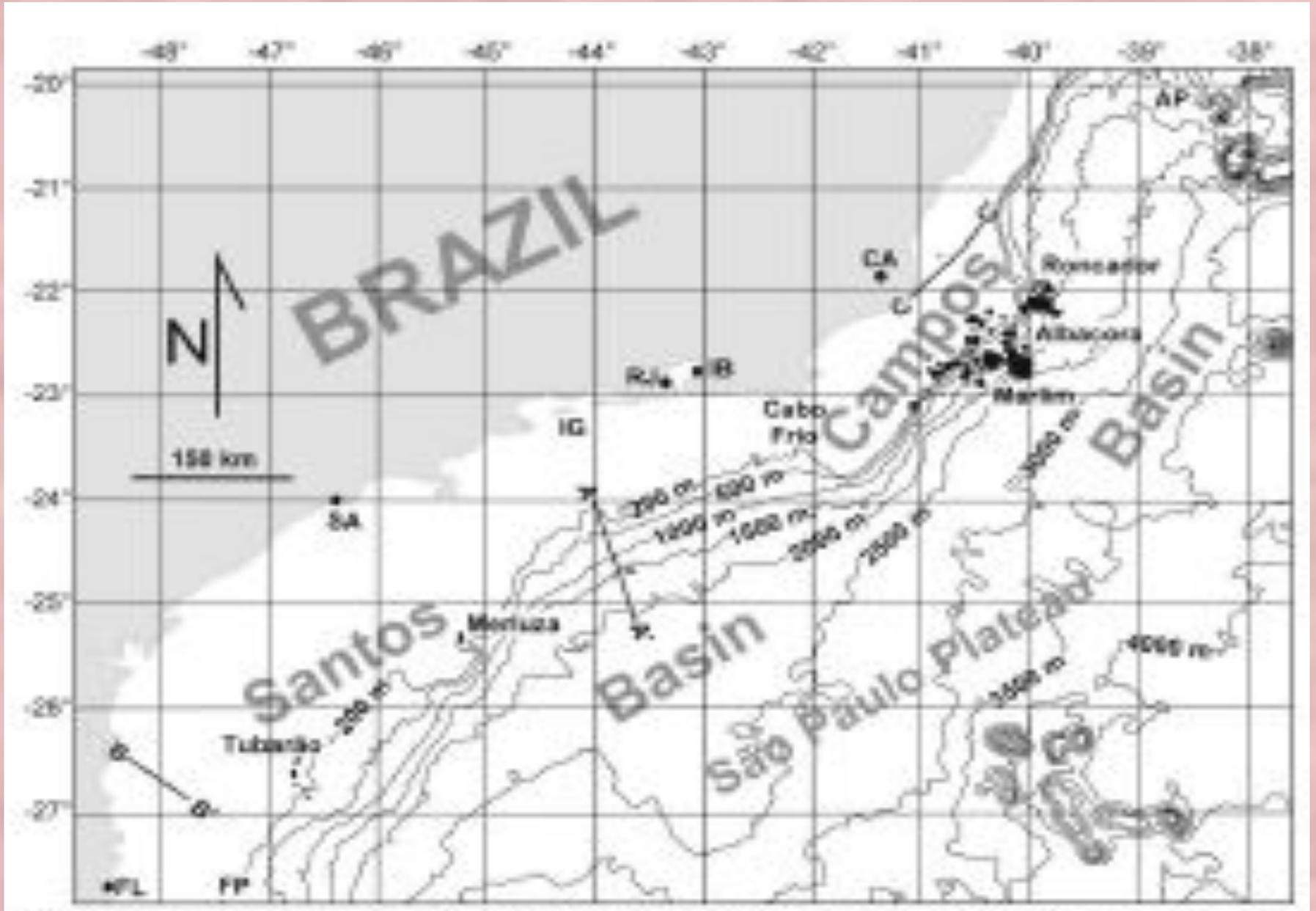


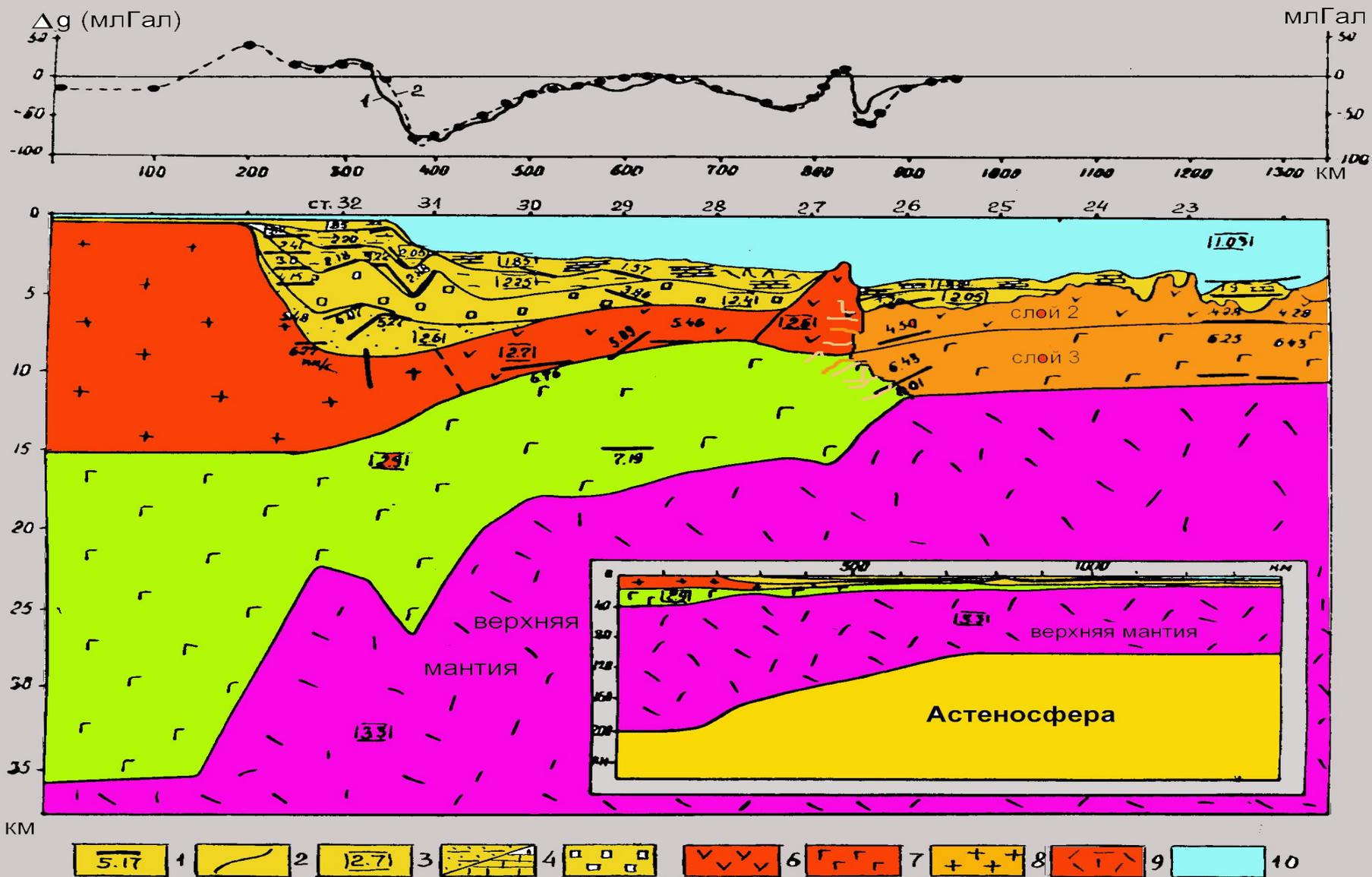
**Схематическая модель пассивной континентальной окраины – зона перехода от континента к океану (по А.А.Андрееву)**

# Формирование бассейнов пассивных окраин

(Никишин и др., 1999)

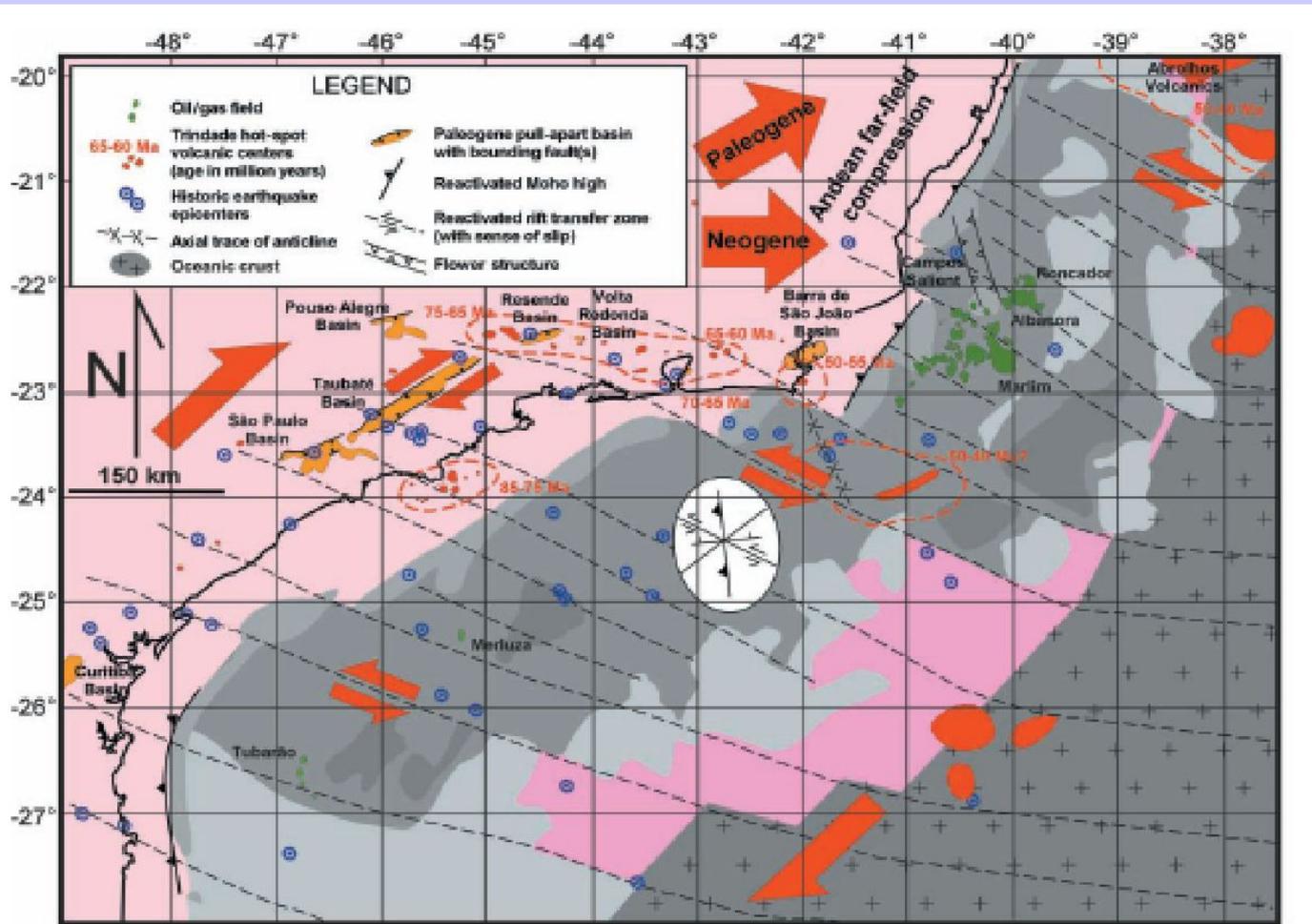






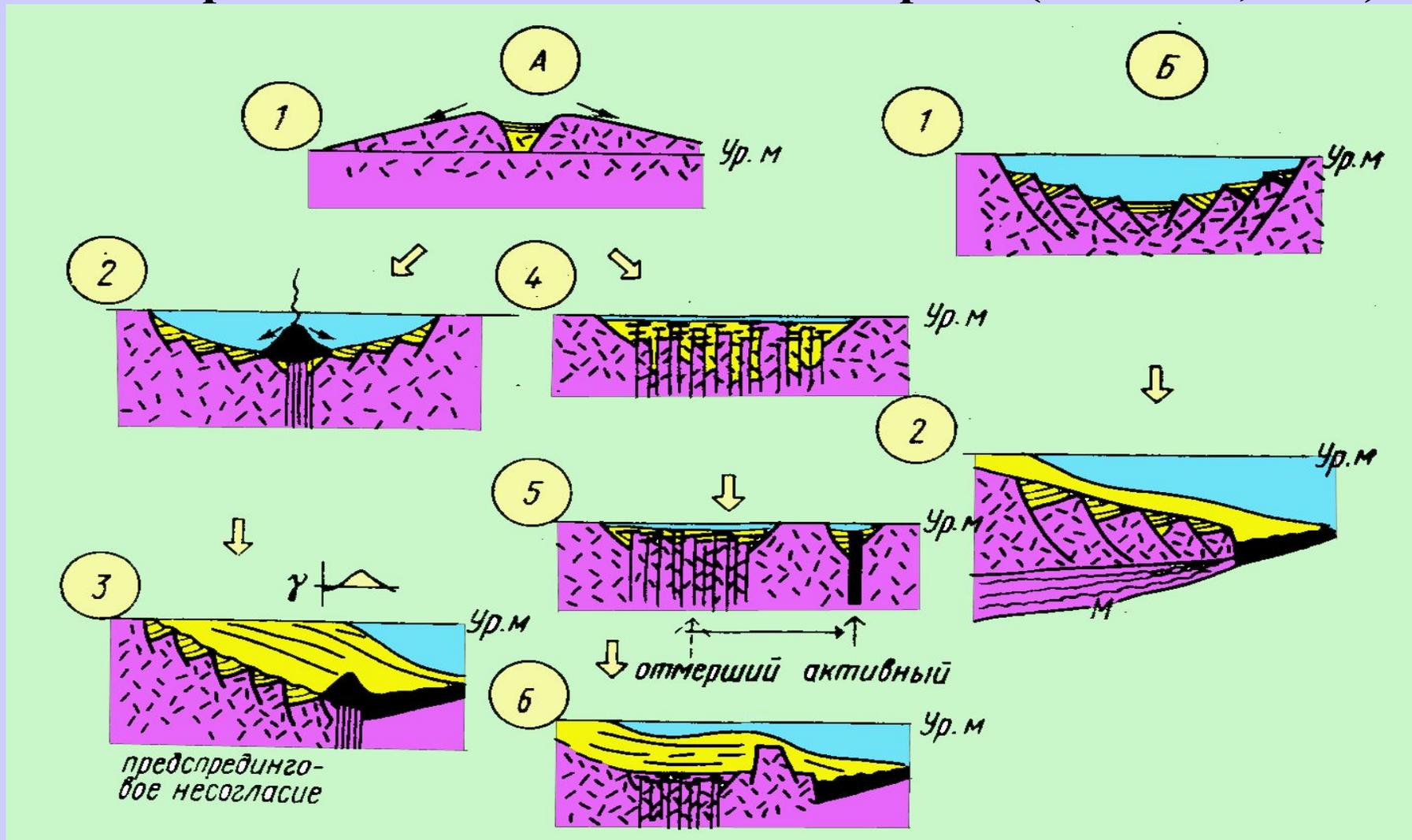
Глубинное сечение литосферы переходной зоны Южной Бразилии бассейна Сантос (по гравитационным и сейсмическим данным, Leyden et al, 1971; 1978).

**Часто разломные структуры пассивных окраин реактивизируются в ответ на изменения в направлении движений по границам плит. Пример: Реактивизации в позднем мелу – кайнозое ранне-меловых и более древних структур на наклонной рифтовой окраине юго-восточной Бразилии. Реактивизация вызвана комбинированным эффектом изменения региональных напряжений и активности горячего пятна Тринидад.**



**Серия континентальных бассейнов «pull-apart» появилась в палеогене в ответ на переход от наклонного поддвига ТИХ плиты в палеогене к более ортогональному в неогене. Сейсмическая активность продолжается и сейчас**

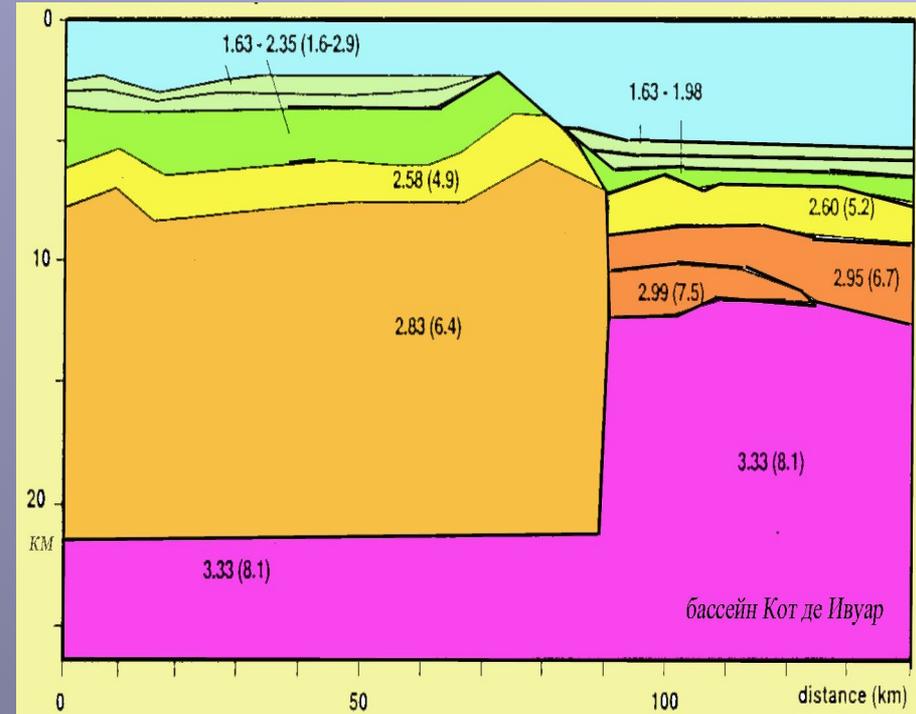
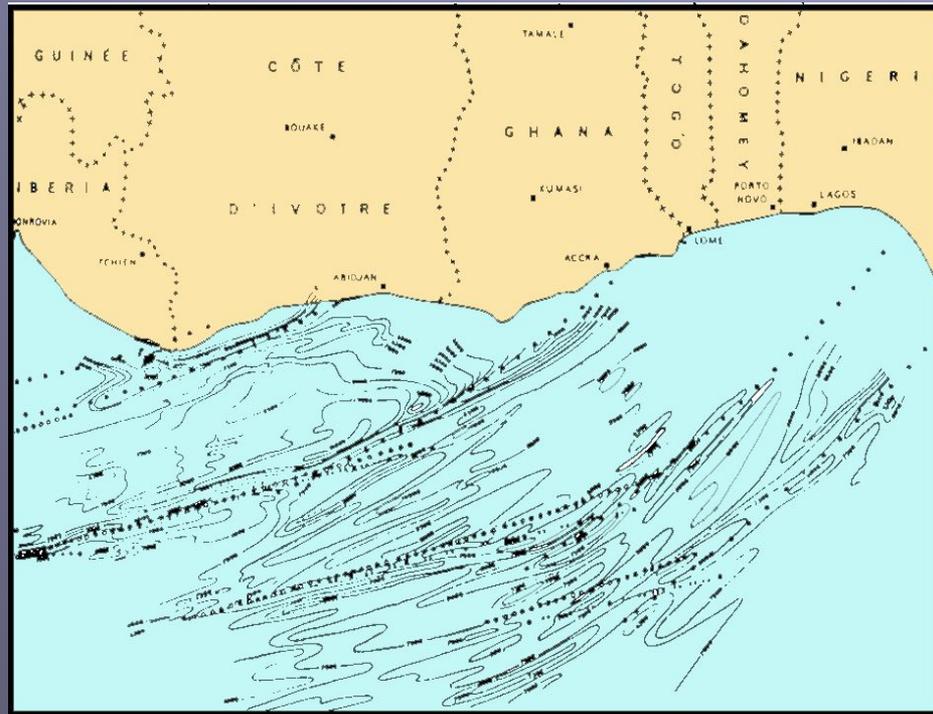
# Разнообразие бассейнов пассивных окраин (Sheridan, 1981)



*A:* 1 – сводовое поднятие, рифт и эрозия; 2 - вулканизм в узкой зоне, хребет; 3 – погружение, мощные осадки над краевым хребтом; магнитная аномалия; 4 - серия даек и силлов в рифтовых отложениях, «переходная» кора; спокойная магнитная зона; 5 - перескок оси спрединга; 6 — окраинное плато; краевой хребет; *B:* 1 – нет свода, отсутствие поднятия, рифт; листрич. нормал. сбросы; 2 – отсутствие вулканизма, краевого хребта; погружение с маломощным осадочным чехлом.

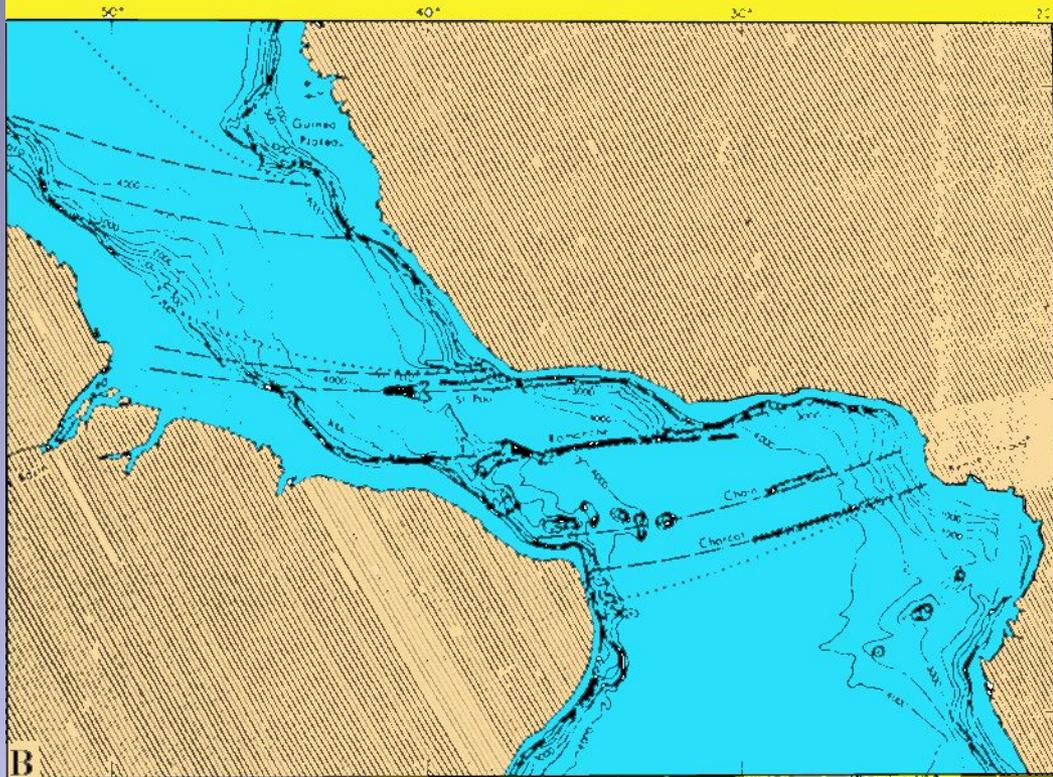
# Сложные типы бассейнов пассивных окраин

**Бассейны «трансформного» типа.** При большой амплитуде горизонтальных смещений трансформные разломы могут служить границами пассивных континентальных окраин и их бассейнов (Агульяс и Мальвинский в южной Атлантике; сев. побережья Гвинейского залива и северо-восточной Бразилии).





*бассейн Кот де Ивуар  
разломы: Сан-Пауло,  
Романш, Чейн и Чаркотт*



**Приразломные  
вулканические хребты  
«подпруживают»  
осадочные бассейны со  
стороны океана,  
формируя мощные  
толщи осадков,  
богатые ОВ. В  
бассейнах  
«трансформного» типа  
возможны  
«оперяющие» разломы  
и связанные с ними  
складки, образующие  
потенциальные  
ловушки для  
углеводородов**

# Сложные типы бассейнов пассивных окраин

*Осадочные структуры микроконтинентов.* Микроконтиненты - это фрагменты континентальной литосферы, отколотые и далеко «отъехавшие» от материнского континента в процессе рифтогенеза и спрединга. В процессе эволюции они могут частично наращиваться вулканогенными образованиями (плато Ермак, Мадагаскарское) и служить фундаментом внутриокеанических осадочных бассейнов, морфологически выраженных в виде банок, отмелей, подводных плато, хребтов, островов и архипелагов (Роколл, Кергелен, Сейшельско-Маскаренский и др.). Осадочный чехол включает доспрединговые (рифтовые и, возможно, дорифтовые) и раннеспрединговые отложения, а также и менее глубоководные по сравнению с прилегающими океаническими котловинами отложения последующих стадий эволюции.

# Бассейны стадии субдукции

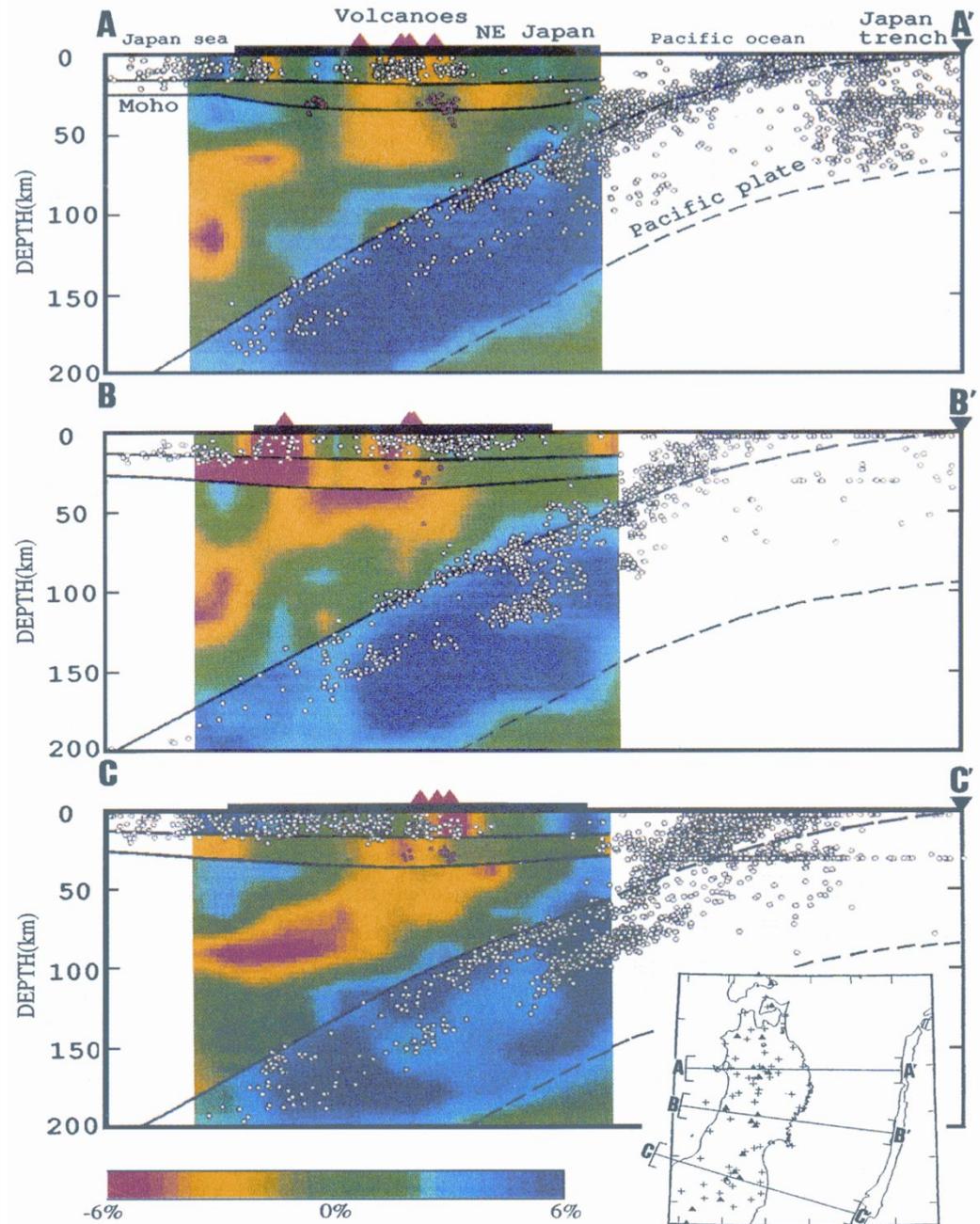
Следующая фаза развития литосферы связана с сокращением площади океана, формированием зон субдукции океанической литосферы и связанных с ними осадочных бассейнов активных континентальных окраин и островных дуг).

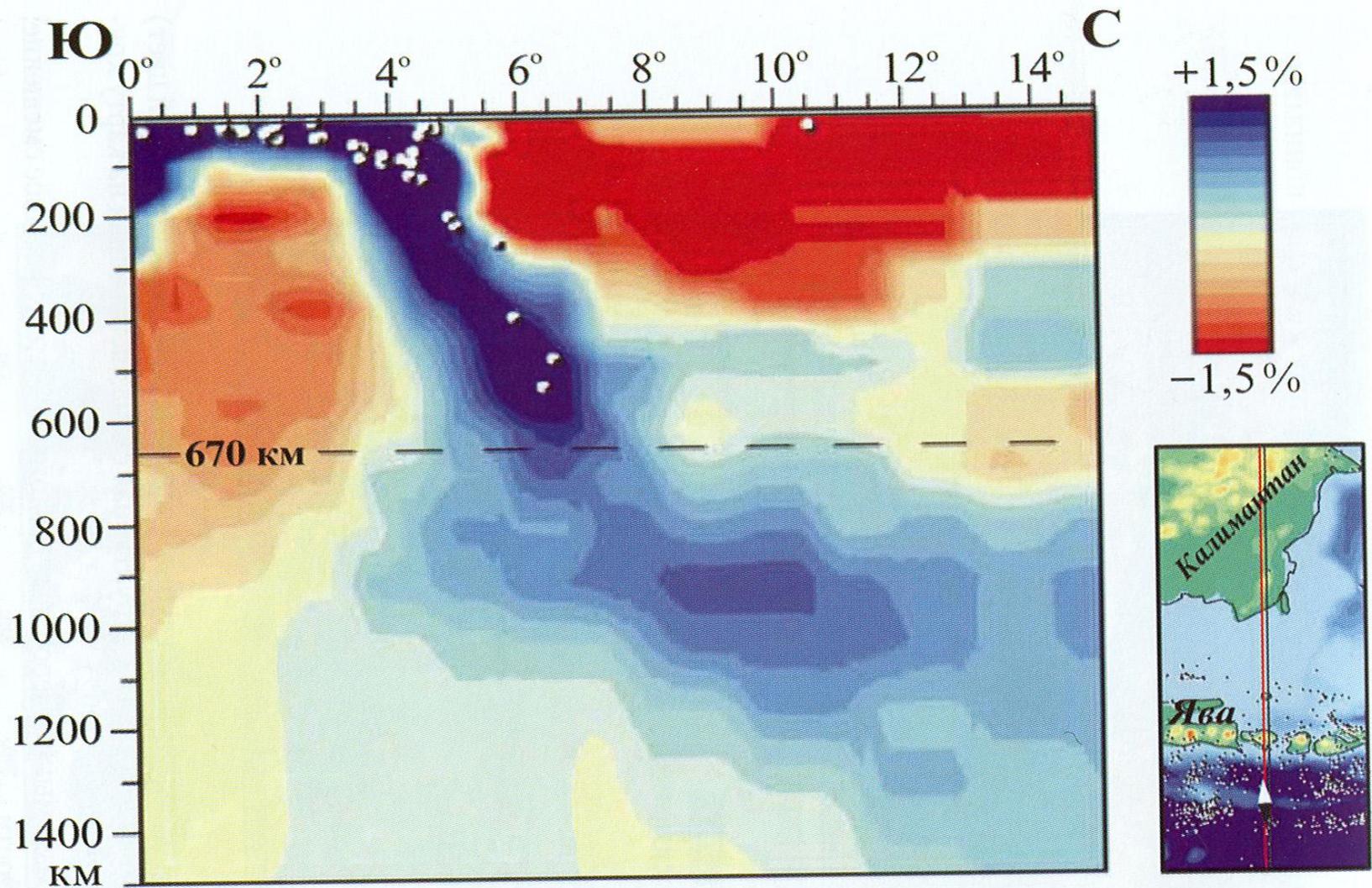


**Причины субдукции** - потеря плавучести литосферной плиты или (менее вероятно) затаскивание плиты мантийной конвекцией. Субдукция начинается с пологого пододвигания плиты под осадочные бассейны пассивной окраины континента (возможный современный аналог - в районе Багамской плиты). Затем угол погружения плиты в мантию увеличивается, а жёлоб и дуга при этом отступают в океан и формируются задуговые бассейны (современные окраины Тихого океана).

**Зоны поддвига** :  $q$   
в районе желоба  
понижен, так что на  
внутреннем склоне  
жёлоба  $q=30-40$  мВт/м<sup>2</sup>,  
в районе вулканичес-  
кой дуги и окраинного  
моря высокие  $q=80-120$   
мВт/м<sup>2</sup>

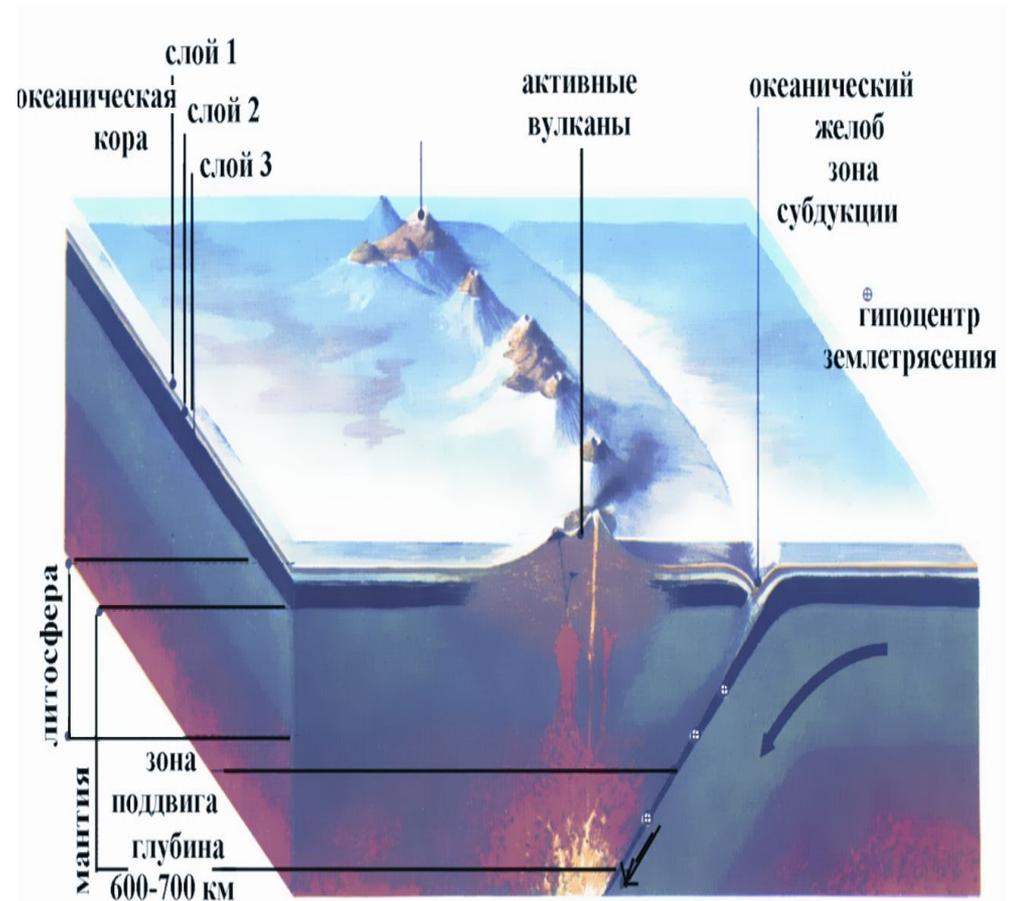
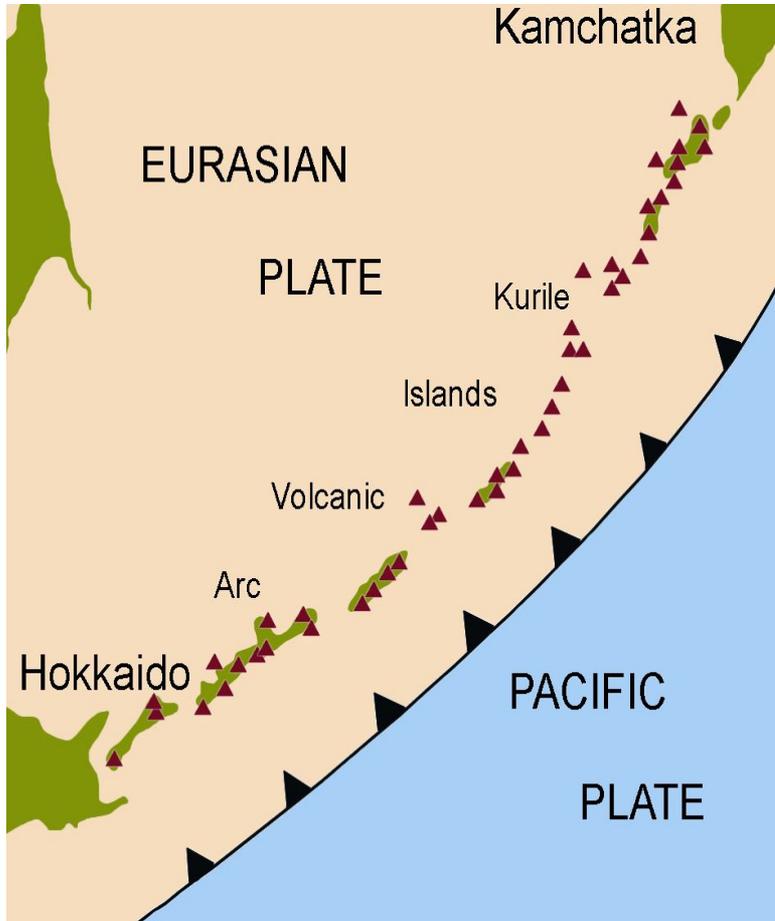
Протяжённные пояса  
**сейсмичности и**  
**вулканизма** связаны с  
зонами пододвигания  
(субдукции)  
океанической  
литосферы





**Рис. 6.** Глубинный разрез через Зондскую зону субдукции по данным сейсмической томографии (Э. Хафкеншайд и др., 2001). Цветом показаны положительные и отрицательные аномалии скорости продольных волн относительно «нормальных» для соответствующих глубин (шкала справа). Белые точки — сейсмические очаги. На глубине 670 км — поверхность нижней мантии

# МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЗОН СЕЙСМИЧНОСТИ И ВУЛКАНИЗМА В ЗОНАХ СУБДУКЦИИ

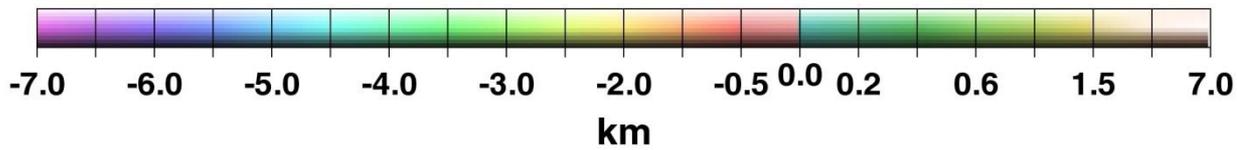
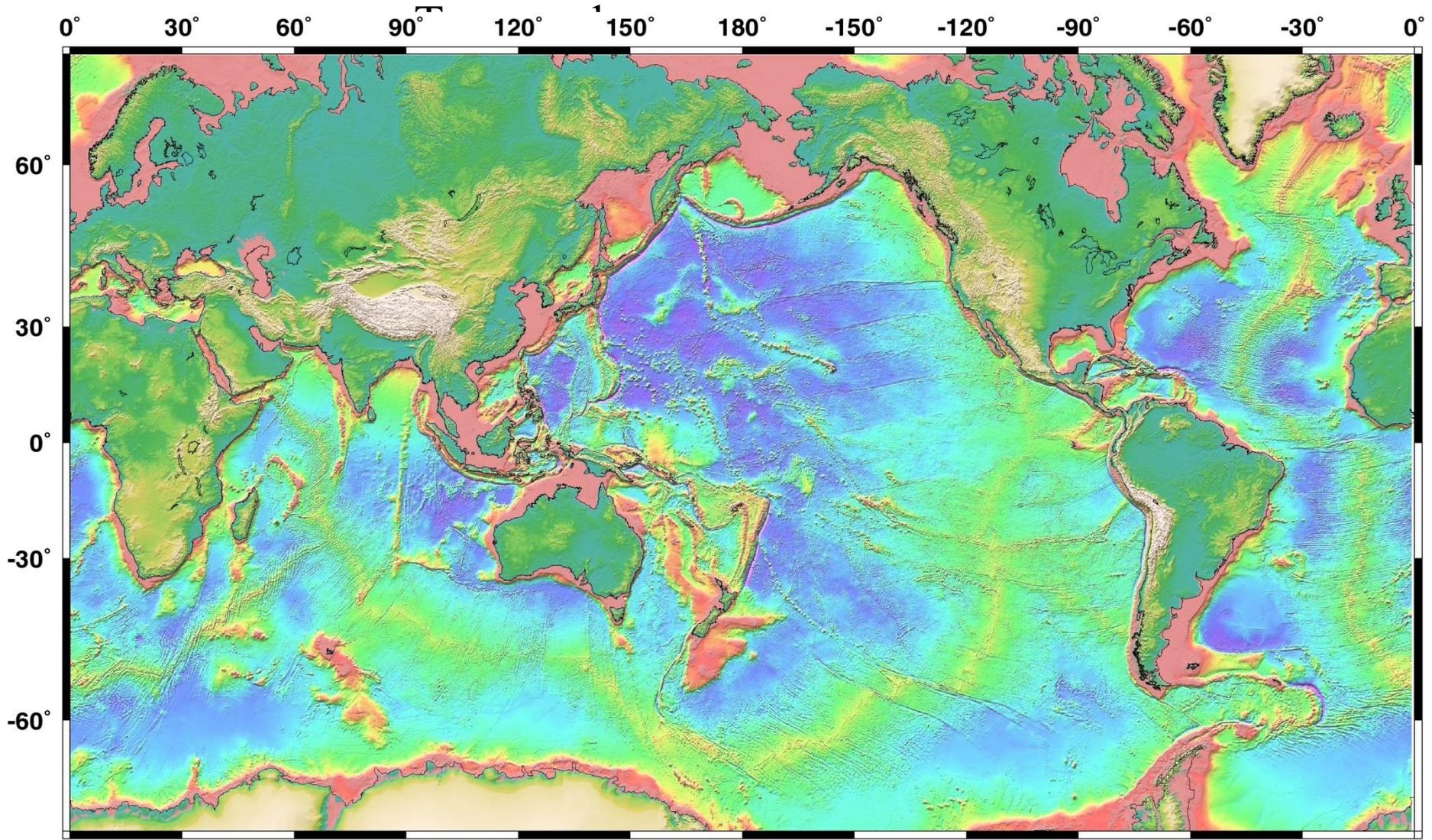


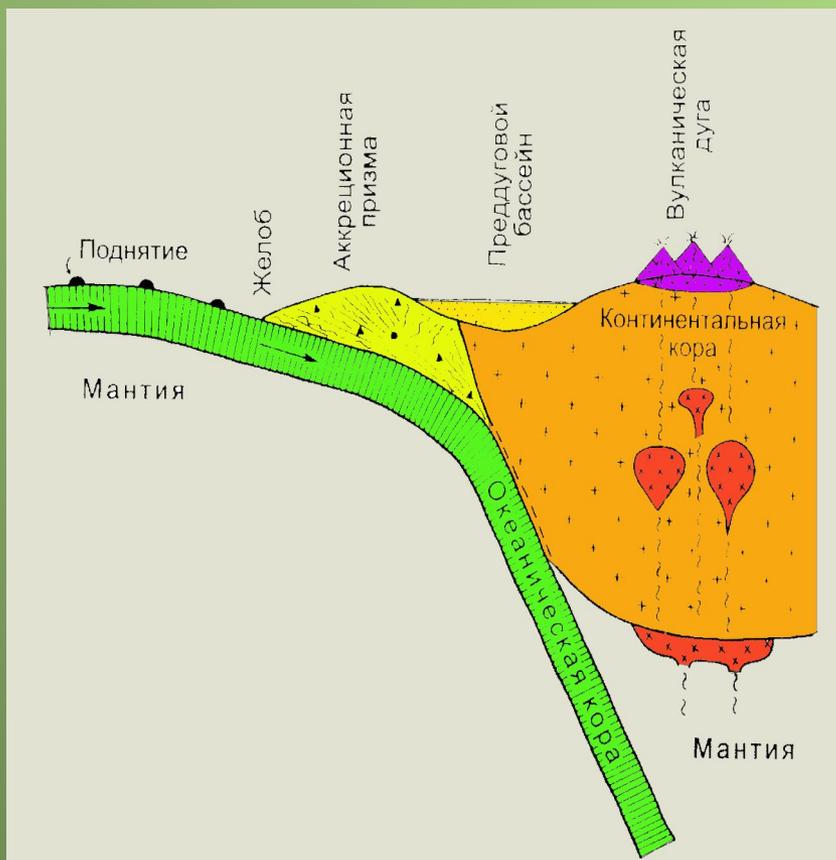
Субдукция океанической литосферы может происходить как внутри океана, с образованием **внутриокеанической системы глубоководного желоба и вулканической дуги**, так и под континент, с образованием **окраинно-континентальной системы желоб — вулканическая гряда**

В пределах дуговой системы и в промежутке дуга — желоб могут сформироваться **преддуговые** бассейны дуговой области, **задуговые и междуговые** осадочные бассейны, а также **осадочные бассейны окраинных морей**

**Островные** (Япония, Филиппины) или **окраинно-континентальные** (Перуанские Анды) дуги сжатия - мощная континентальная кора, высокогорный рельеф, континентальное основание преддуговой области с тектонической эрозией внутреннего борта желоба, надвигами и осадочными бассейнами в задуговой области.

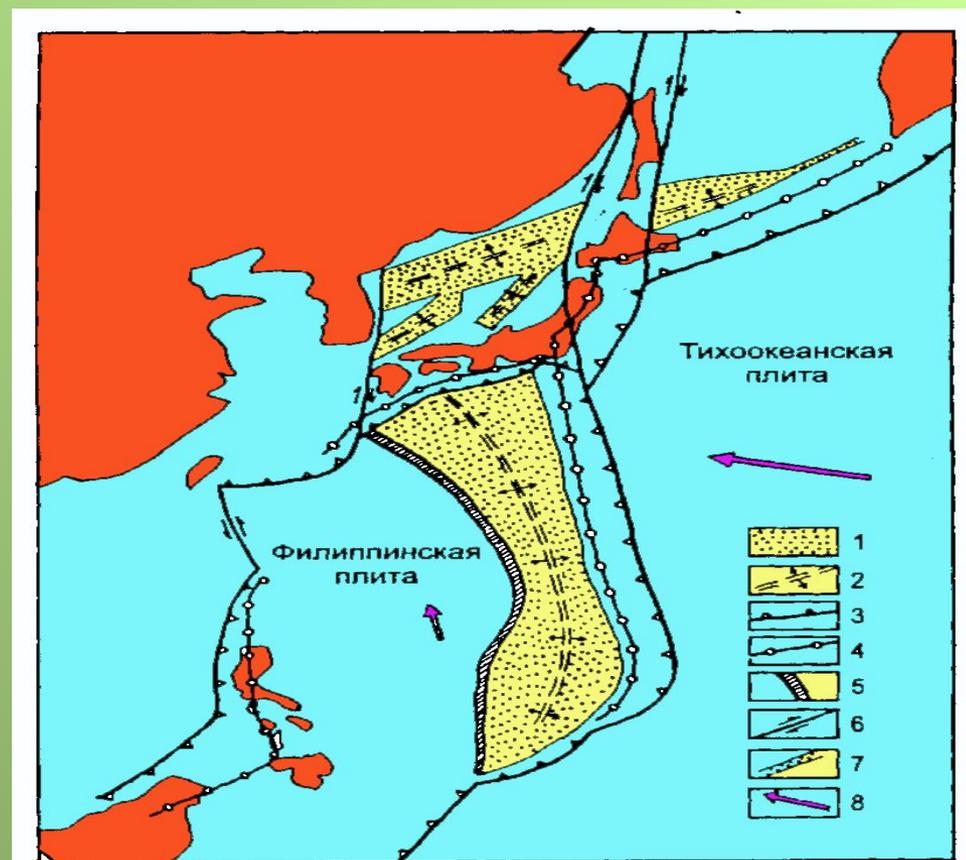
Растяжение в задуговой области формирует **окраинные моря** с утоненной континентальной или с океанической корой.





**Модель формирования преддугового бассейна при островном типе дуг сжатия (Япония, Алеуты, Филиппины; Никишин и др., 1999).**

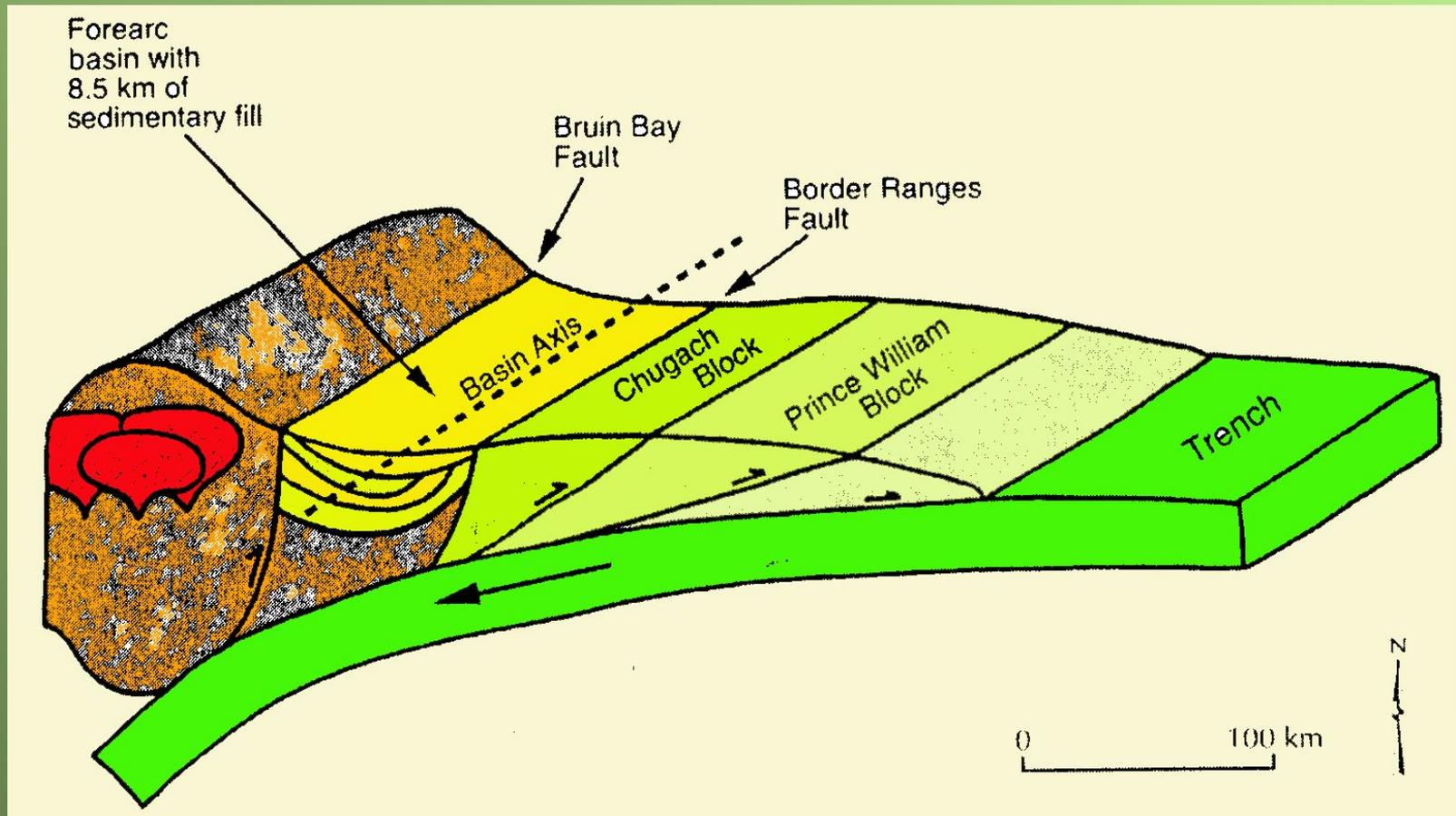
(высоко-горный рельеф, континентальное основание преддуговой области, надвиги и осадочные бассейны в задуговой области.



**Тектоническое положение задуговых бассейнов в западной части тихоого океана в раннем миоцене (Курильский, Японский, Сикоку и Пересе-Вела; Никишин и др., 1999).**

1-новые бассейны с океанической корой, 2- оси спрединга, 3-зоны субдукции, 4-вулканические дуги, 5-отмершие вулканические дуги, 6-сдвиги, 7- континентальные рифты.

**Положение преддугового бассейна с мощностью осадочного заполнения 8.5 км в центральной части южной Аляски (блок-схема; Montgomery et al., 2003)**



# Типы субдукции

**марианский** - задуговое растяжение, субдуцирующая и нависающая плиты с океанической корой, осадки в жёлобе не нарушены, аккреционная призма отсутствует, известково-щелочной магматизм, в тылу островной дуги за счёт расщепления предыдущей дуги формируется линейный спрединговый бассейн, остаточная дуга отмирает и отодвигается.

**Японский** - субдуцирующая плита – океаническая, а нависающая – континентальная. В тылу дуги сформировался «эпиконтинентальный» глубоководный бассейн с океанической корой.

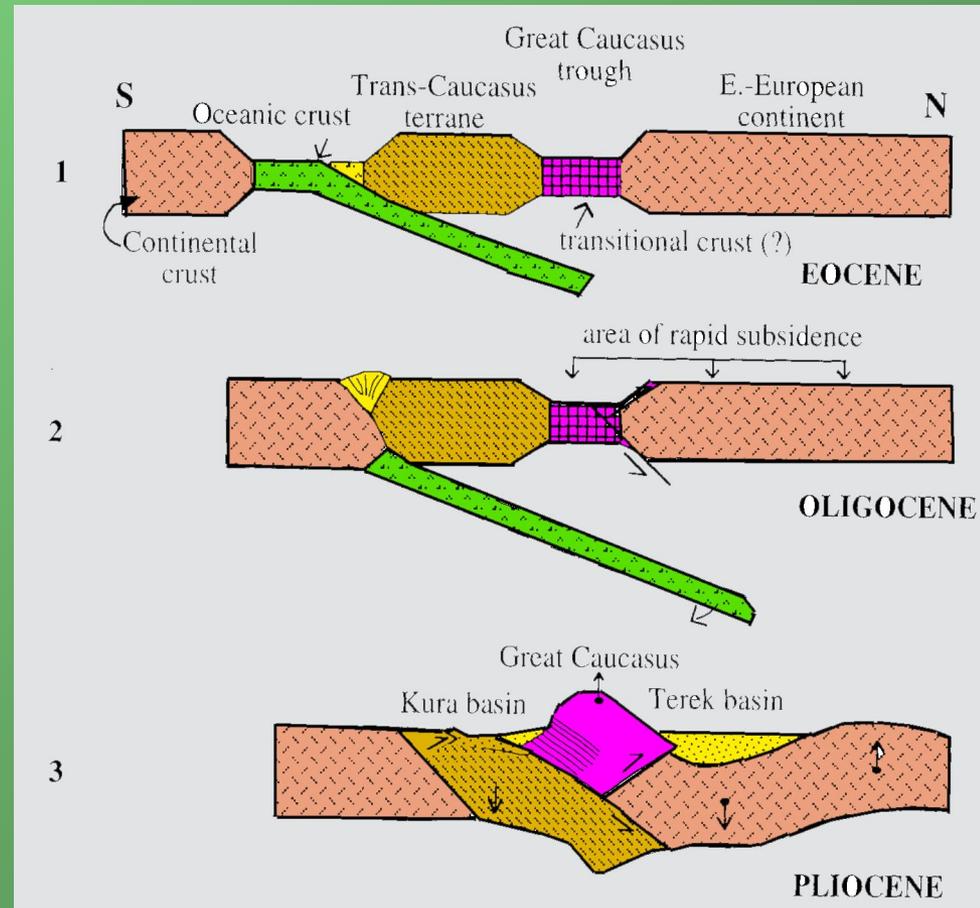
**чилийский** - как и в японском, субдуцирующая плита – океаническая, а нависающая – континентальная, но субдуцирующая плита более молодая и сейсмофокальная зона более пологая. Сцепление между плитами более сильное, чем в первых двух типах.

**Калабрийский** - в целом подобен японскому, но проявляется в пределах коллизионного пояса.

**Гималайский** – субдукция континентальной литосферы под континентальную (Гималаи, Загрос). Масштабы субдукции пока не ясны, но с ней связаны крупные зоны сжатия. В качестве желобов - предгорные (краевые) прогибы.

**Междуговые спрединговые бассейны** характерны только для марианского типа дуг (расщепление Марианской и Тонга-Кермадекской дуги). **Задуговое растяжение** с образованием **задугового осадочного бассейна** характерно для японского и калабрийского типов субдукции.

Геологические данные показывают, что задуговые бассейны проходят сначала стадию раскрытия (рифтинга, перерастающего в спрединг), а затем подвергаются сжатию. Поэтому жизнь большинства осадочных бассейнов островных дуг и активных континентальных окраин относительно коротка. Многие современные складчатые зоны - это сильно смятые бывшие задуговые бассейны (например, ороген Большого Кавказа; Ershov et al., 1999).



# Три состояния зон субдукции (Otsuki, 1989) :

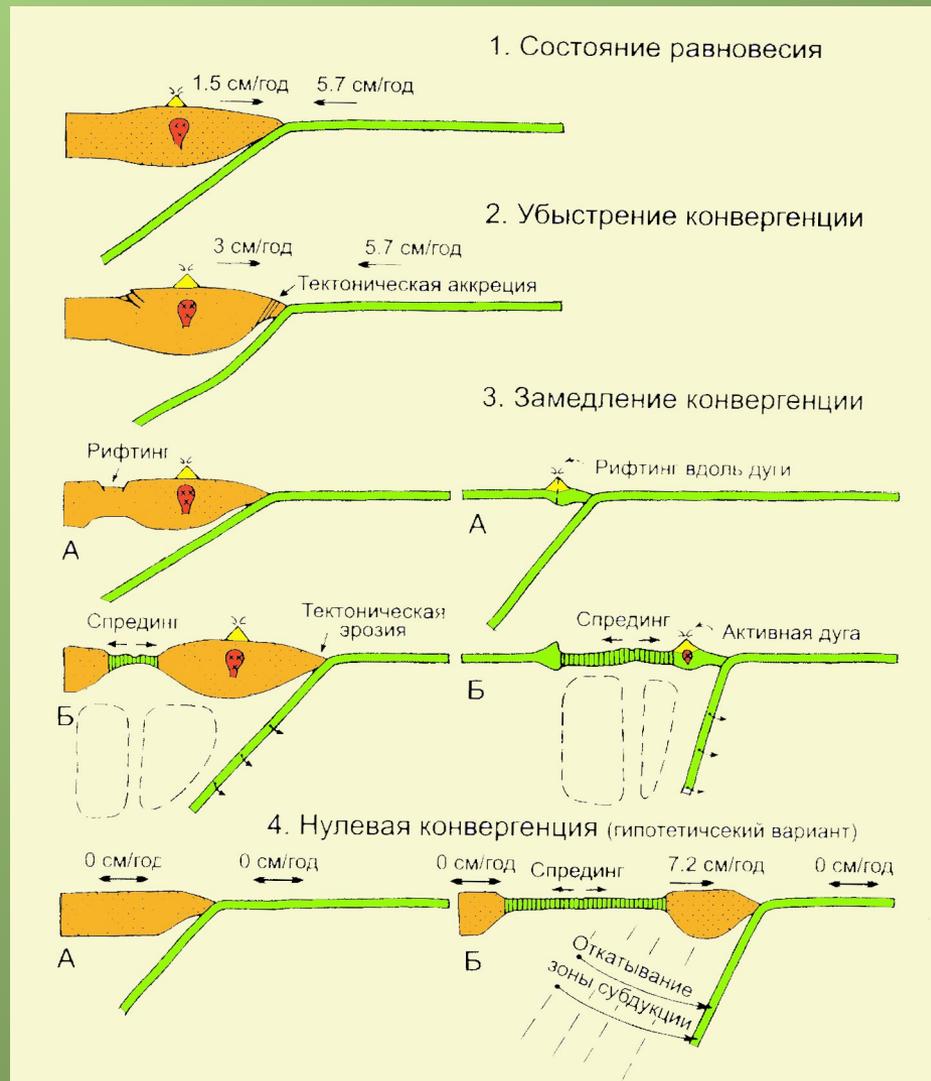
**равновесие, сжатие и растяжение.**

**Равновесие** - скорость схождения плит около  $v=7.2$  см/год,

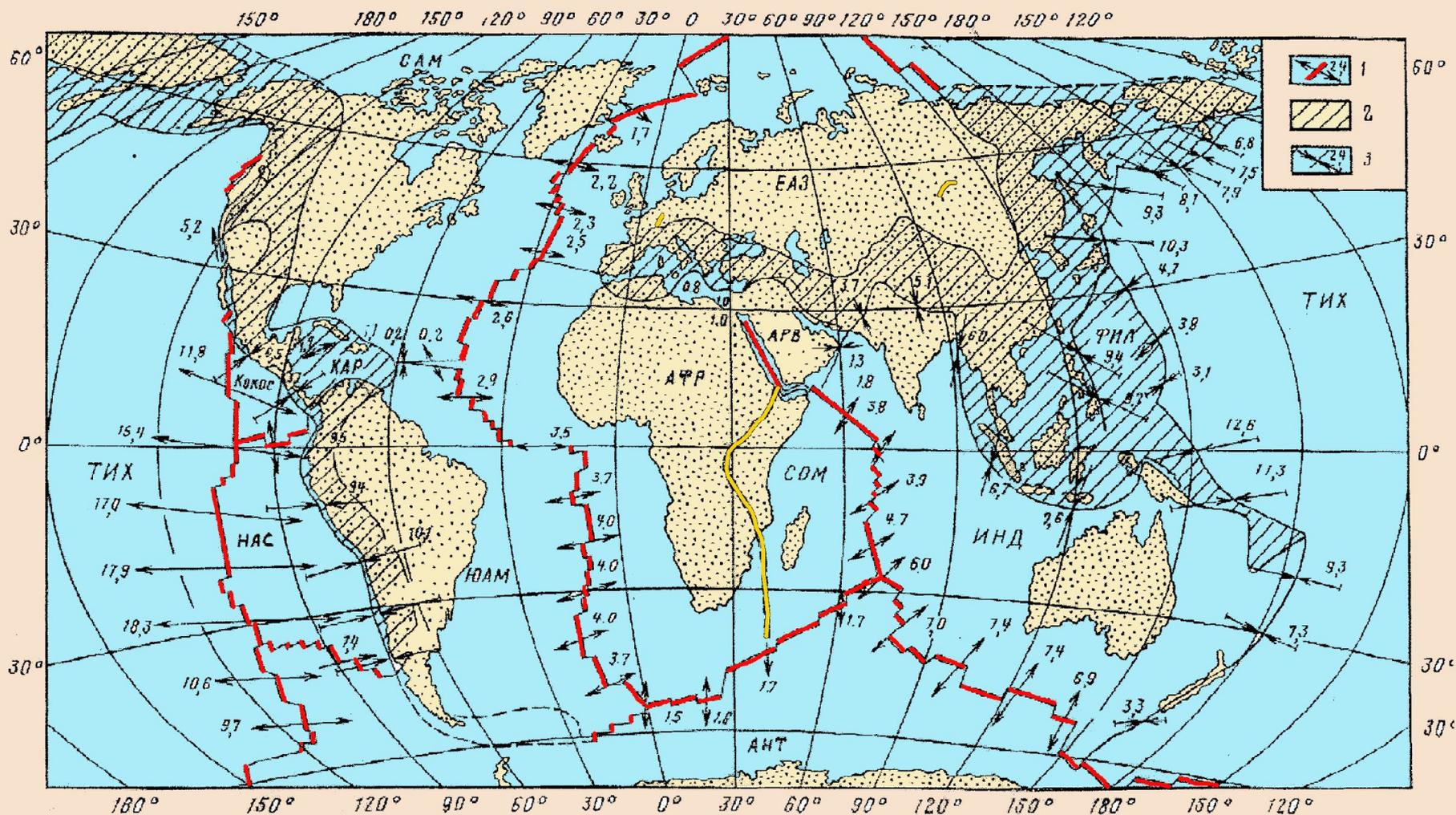
**Над зоной субдукции** - вулканический пояс, нет ни сжатия, ни растяжения.

При  $v > 7.2$  см/год – **сжатие**, зона субдукции выполаживается, образуются аккреционная призма и преддуговой бассейн, а также задуговой молассовый (краевой) прогиб.

При  $v < 7.2$  см/год – **растяжение**, зона субдукции становится круче и откатывается назад (в сторону океана). Если **наклон** субдуцирующей плиты в мантии  $\alpha < 45-60^\circ$ , то при её погружении (откатывании) **рвётся** задуговая часть литосферы (японский тип задугового бассейна). Если  $\alpha > 45-60^\circ$ , то **разрыв** происходит по оси вулканической дуги, как наиболее пластичной её части и формируется **междуговой бассейн** типа **марианского**.



# Скорости относительных движений на границах литосферных плит (в см / год)



1 – дивергентные и трансформные границы плит; 2 – планетарные пояса сжатия; 3 – конвергентные границы плит.

**Замедление скорости схождения плит резко увеличивает вероятность формирования задуговых бассейнов** (Otsuki, 1989)

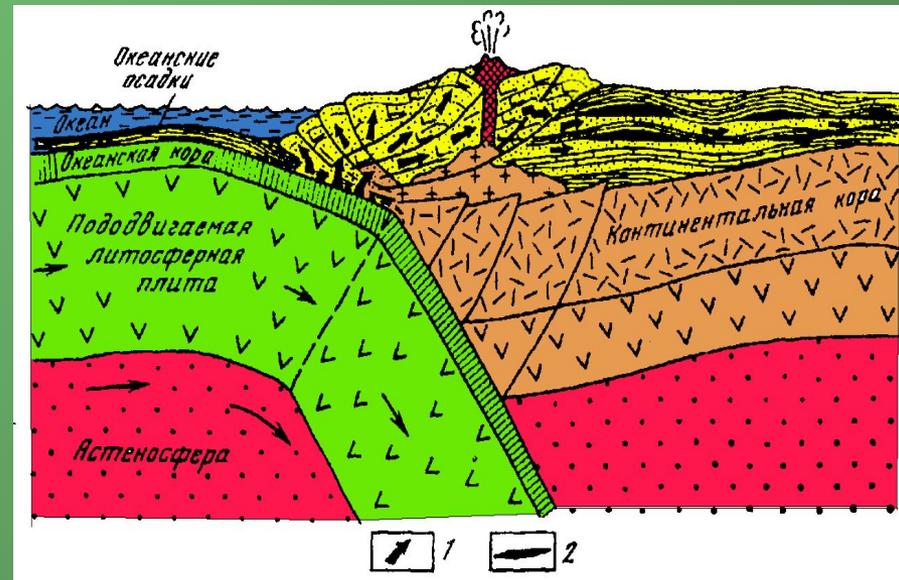
Примеры – экзотическое раскрытие задуговых бассейнов в Альпийском поясе на фоне коллизии и медленного сближения Африканской и Евразийской плит (бассейны Алжиро-Прованский, Тирренский, Эгейский и частично Панонский).

**Если скорость схождения плит уменьшится до нуля, будет иметь место самооткат субдуцирующей плиты со скоростью около 7.2 см/год (слайд 38).**

**Предполагаемые механизмы генерации УВ в активных зонах поддвига (Сорохтин, Ушаков, 2002).**

Принципиальная схема механизма генерации УВ в зонах поддвига океанических плит.

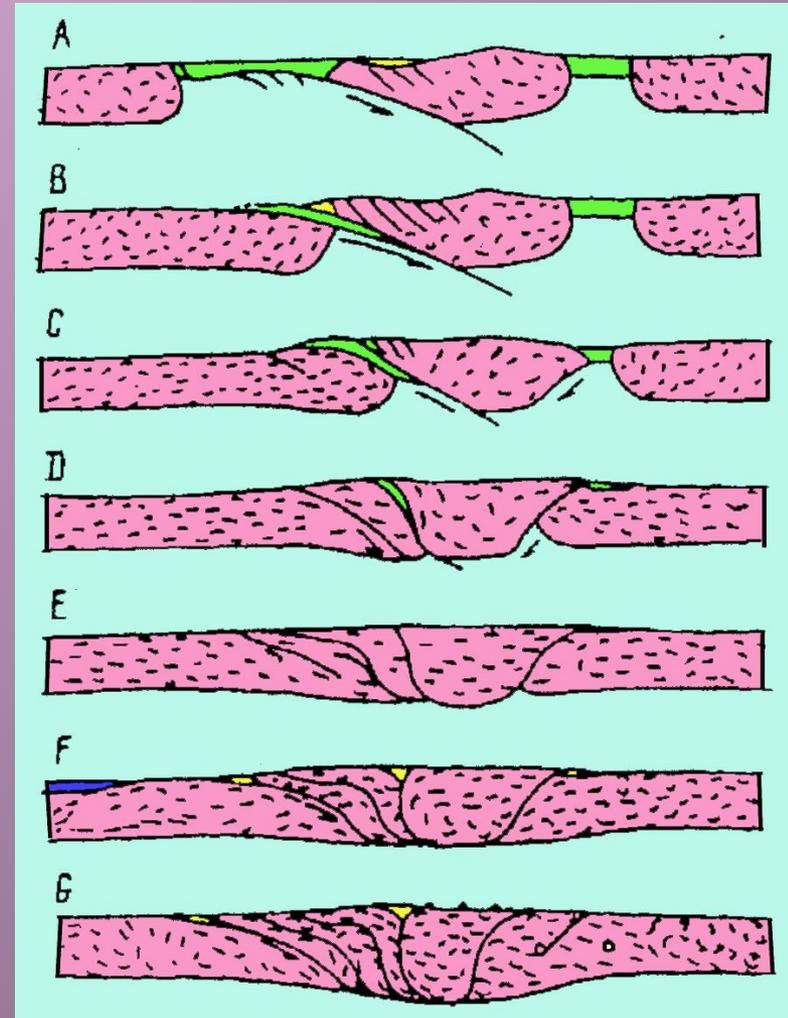
1-пути миграции, 2-зоны аккумуляции УВ



Если длина современных зон поддвига - 40 тыс. км, средняя толщина слоя океанских осадков - 500 м, среднюю скорость поддвига плит - 7 см/год, то вес осадков, затачиваемых ежегодно в зонах поддвига - около 3 млрд т. При среднем Сорг около 0,5% и эффективности генерации УВ из ОВ около 30% получается ежегодная генерация УВ в зонах поддвига плит около 5 млн т УВ (Сорохтин, Ушаков, 2002). На единицу площади это немного. И только, если считать, что процесс непрерывным, то за последние 600-500 млн лет таким путем могло образоваться около  $(2,5-3) \cdot 10^{15}$  т нефти и газа, что в 1000 раз больше, чем масса общих запасов горючих ископаемых, выявленных на Земле к началу 70-х годов. Однако, остаются проблемы миграции, аккумуляции и сохранения УВ. Из общих соображений ясно, что генерированные УВ будут в основном рассеяны по времени и, главное, по площади – ведь островные дуги, а вместе с ними и центры генерации мигрируют, а в моменты перестройки границ плит, меняют своё положение скачкообразно. Возможно, с этим обстоятельством и связан тот факт, что почти отсутствуют свидетельства о накоплениях УВ, приуроченных к современным зонам активного поддвига. Там же, где они казалось бы есть (Яванская зона поддвига), месторождения связаны с задуговым или внутридуговым рифтингом и хорошо объясняются в рамках механизма локального рифтогенеза. Логично предположить, что механизм термической деструкции ОВ пелагических осадков в зонах поддвига вносит вклад в генерацию метана и что часть этого метана выходит с вулканическими газами в атмосферу.

# *Бассейны предороговой, раннеороговой и постороговой стадий эволюции литосферы*

Сокращение площади океана при сжатии материковых краев литосферных плит приводит к полному «захлопыванию» океанической впадины, столкновению краев плит и орогенезу. Этот этап длительный и включает множество более мелких столкновений пассивных окраин, островных дуг, цепочек подводных гор и микроконтинентов (современная граница между Австралийской и Евразийской плитами). В течении этого этапа развития осадочные бассейны преобразуются или частично разрушаются, а их реликты входят в состав орогенных бассейнов предгорного или межгорного типа.



# Схематическое представление зоны надвигания комплекса островной дуги на пассивную окраину континентальной платформы.

а-докембрийский фундамент

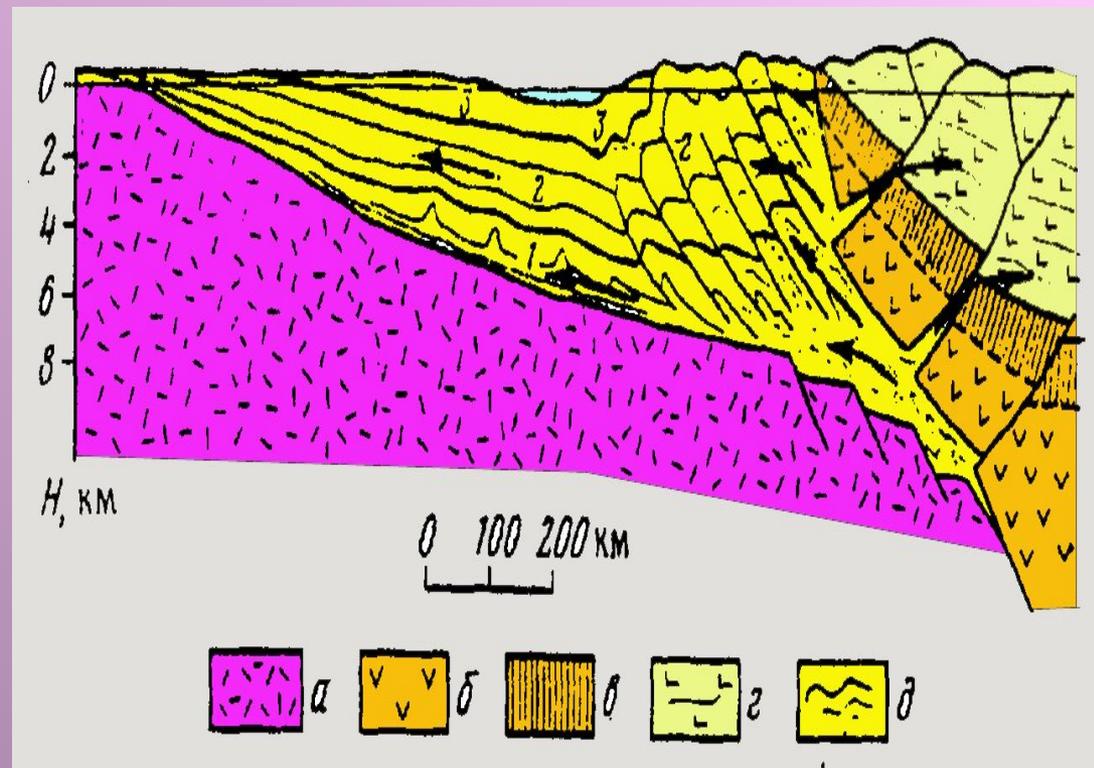
б-фундамент островной дуги

в-породы океанической коры

г-осадочно-вулканогенная толща островной дуги

д-смятые осадки предгорного прогиба

Стрелки-пути миграции УВ.



Для шовных зон, сформированных в условиях сжатия, характерно наличие систем надвигов со значительными горизонтальными перемещениями; причем под надвинутыми сложноскладчатыми пластинами горных гряд могут сохраняться относительно слабо деформированные и практически неметаморфизированные осадочные отложения пассивной переходной зоны.

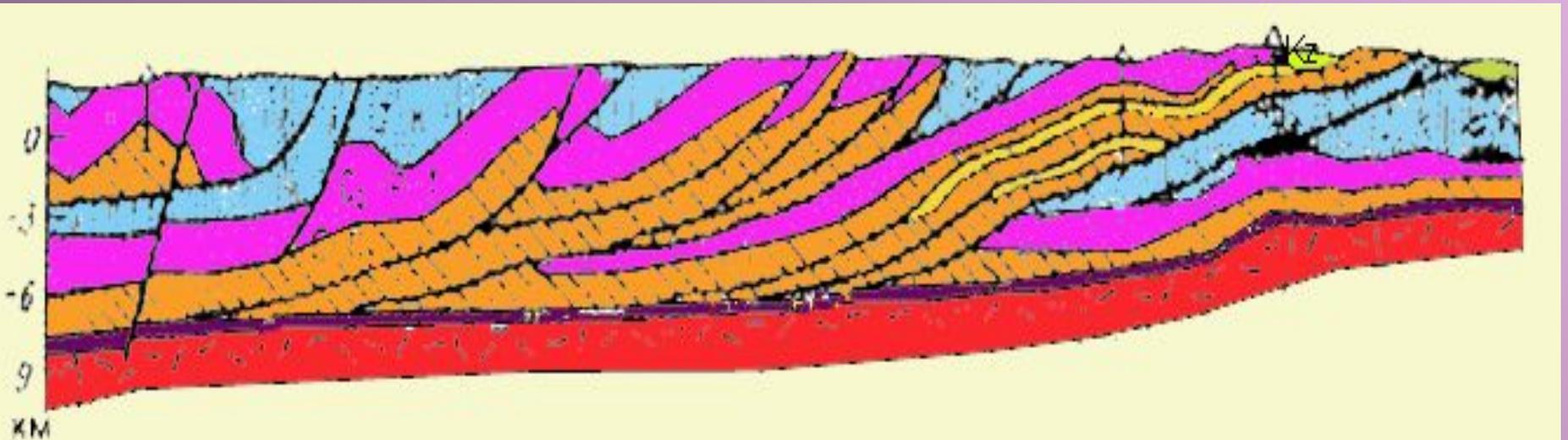
Иногда комплексы отложений пассивной окраины прослеживаются на больших расстояниях (до 160 км в Аппалачах) под надвинутыми на них комплексами отложений бывшей активной окраины («эвгеосинклинали») или породами кристаллического фундамента.

**Нефтегазоносность комплексов пассивной окраины** в пределах внешней зоны складчатого сооружения известна в Загросе, в надвиговых пластинах и под надвигами (в том числе под породами красталлического фундамента) — в Кордильерах США и Канады (Кучерук и др., 1982), в «фундаменте», сложенном тектоническими покровами, - в Венском бассейне. **Наиболее крупные месторождения передовых (предгорных) прогибов** связаны с их нижним, «платформенным» этажом, т. е. всё с тем же комплексом отложений **пассивной окраины** (Месопотамский, Западноканадский, Аквитанский, Предкавказские бассейны). По мере захоронения комплекса отложений **пассивной окраины** под молассами предгорного прогиба и их пододвигания под формирующийся ороген происходит дополнительная генерация УВ и их региональная латеральная миграция вверх по восстанию.

Обилие активных разломов, складок и литологических несогласий определяет преимущественно вертикальные или относительно короткие горизонтальные пути миграции. Просачивание и выходы нефти на поверхность, её биодеградация – довольно частые явления для активных орогенных областей. Но к их преимуществам относится обилие антиклинальных ловушек, приуроченных к складкам, сформированным в обстановке сжатия (слайд 43). Поэтому большую роль, особенно на складчатом борту передового прогиба, будет играть вертикальная миграция УВ по разломам из отложений **пассивной окраины** в перекрывающие отложения передового прогиба (Месопотамский бассейн; Кучерук и др., 1982).

Часть нефти и газа сохраняется **в поднадвиговых зонах**, образуя там крупные скопления. Примером могут служить обнаруженные в конце 70-х годов XX в. богатейшие месторождения нефти и газа **под надвигами Скалистых гор и Аппалачей, под офиолитовым покровом на Кубе, в Швейцарских Альпах, Новой Зеландии, провинции Загрос и других районах мира.** В России это прежде всего район Урала, где по результатам бурения и сейсмическим данным **под складчатым комплексом** Уральских гор на глубинах 3-4 км находятся слабодислоцированные и почти горизонтальные платформенные комплексы.

*Пояс надвигов фронтальной части Кордильер на активизированную платформу Скалистых гор  
(зона надвигов Айдахо-Вайоминг, США)*



## Происхождение Месторождений Персидского залива

- 1) - исключительно тектоническое влияние зоны Загрос (Сорохтин, Ушаков, 2002).
- 2) -исключительно благоприятное стечение обстоятельств, среди которых тектонический фактор Загроста, хотя и имел влияние, но не был решающим. В самом деле, ширина передовых прогибов (области влияния орогенов) не превышает, как правило, 200 км, тогда как месторождения рассматриваемой области распределены в зоне шириной 400-800 км от границы Загроста (Kamen-Kaye, 1970; Murriss, 1981; Артюшков, 1993). ,,,,

**Благоприятные факторы:** обширность, длительность и непрерывность прогибания, отсутствие длительных инверсионных воздыманий, присутствие материнских пород почти во всем разрезе и наиболее широко в мезозойских отложениях, Широкое развитие мощных карбонатных толщ с высокой матричной пористостью и интенсивной вторичной трещиноватостью, а также мощных пачек высокопористых песчаников, суммарный объем природных резервуаров всех комплексов отложений только до глубины 7 км превышает 1,5 млн. км<sup>3</sup>, а в целом для бассейна превышает 2,5 млн. км<sup>3</sup>. Максимальный генерационный потенциал имеют нижнемеловые материнские отложения. Заполнению ловушек способствовала ранняя генерация УВ.

Таким образом, благоприятная история осадконакопления, относительно высокий тепловой поток, характерный для района в течение мела и кайнозоя, вместе с обилием нефтематеринских пород и резервуаров явились основными факторами формирования уникальных месторождений Персидского залива.

# *Многоэтапность истории развития осадочных бассейнов*

Развитие бассейна может быть прервано на любом этапе эволюции литосферы (слайд 15 - 17). При этом осадочный бассейн либо вступает в «пассивную» стадию развития, либо испытывает стадию регенерации активного тектонического режима. Важно учитывать не только сохранившиеся и явно выраженные осадочные бассейны, но и те области палеоосадочных бассейнов, которые оказались сильно преобразованными в ходе эволюции: например, вошли в состав фундамента (мезозой и палеозой Венского бассейна, дорифтовый комплекс Северного моря) или образовали горно-складчатое обрамление современного осадочного бассейна (внешняя зона Загроса рядом с бассейном Персидского залива). Эволюционный мобилистский подход позволяет объяснить причину обнаружения крупных осадочных нефтегазоносных бассейнов под надвигами кристаллических пород.

*Таким образом, современная структура осадочных бассейнов является результатом длительной, часто многоэтапной эволюции, причем переход от этапа к этапу может сопровождаться такими перестройками, которые приводят к изменению тектонического типа бассейна, его термобарических условий, а следовательно, и характерных для него особенностей нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Тогда успешный поиск месторождений нефти и газа во многом предопределяется правильным пониманием геологической истории бассейна в рамках эволюционной теории развития литосферы.*