

# Типы осадочных бассейнов

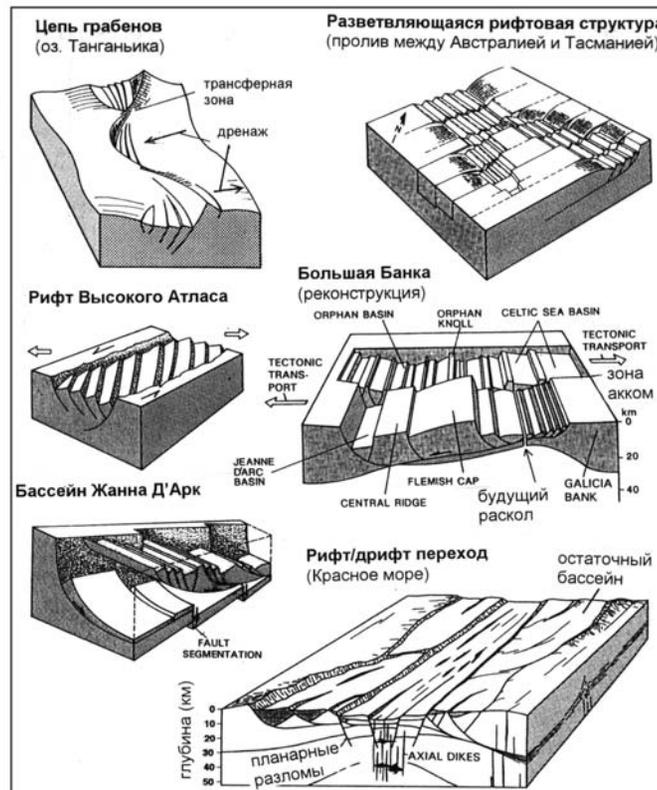
А.М. Никишин

# Рифтовые бассейны

Идеализированная  
схема строения  
рифтового  
бассейна

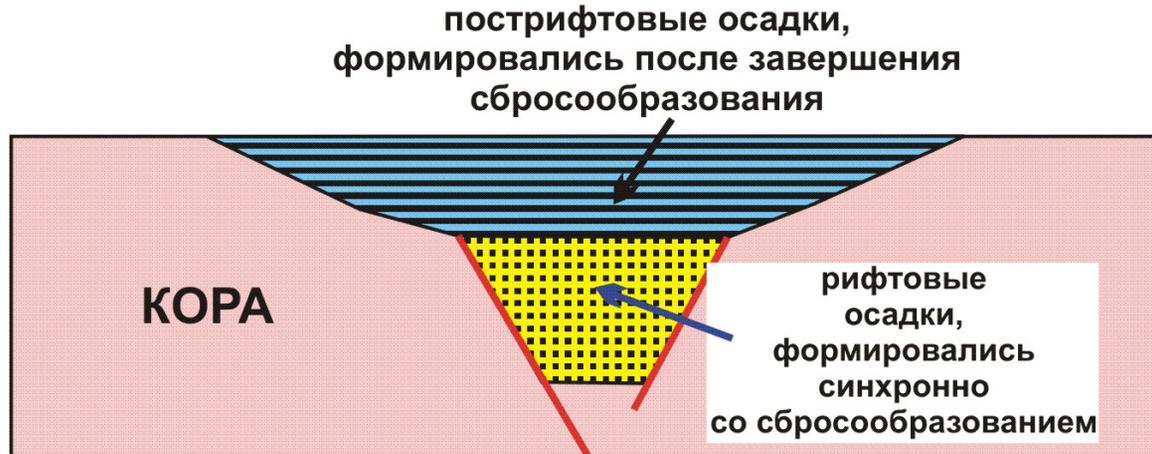


Примеры структуры континентальных рифтовых зон (Einsele, 2000)

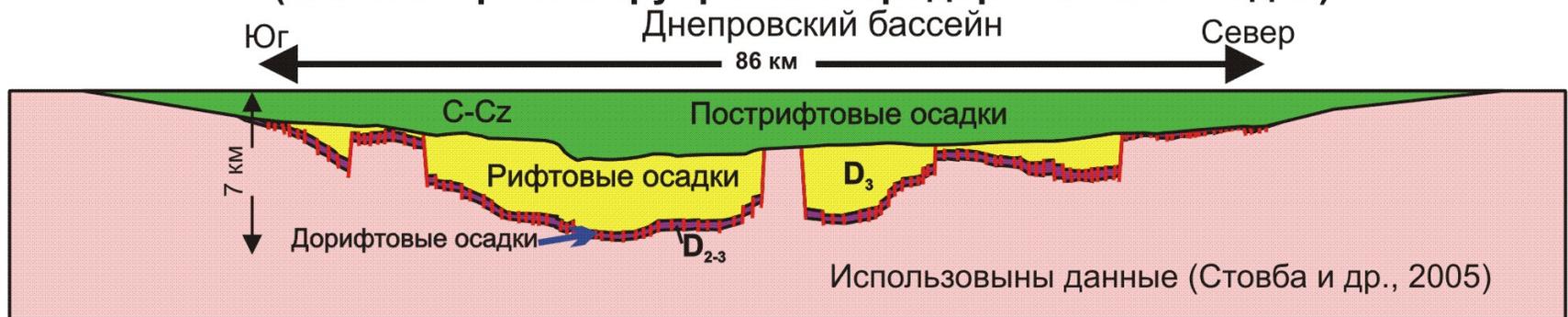


# Пострифтовые бассейны

## Схема строения пострифтового бассейна



## Схема строения Днепровского пострифтового бассейна (частично реконструированы эродированные осадки)





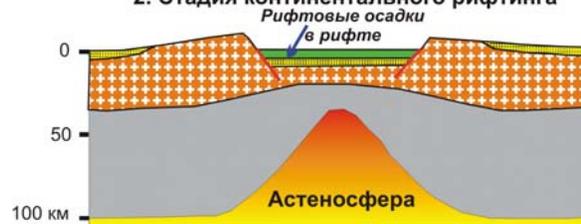
# Пассивные окраины

## ТРАДИЦИОННАЯ СХЕМА ОБРАЗОВАНИЯ ПАССИВНОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ (Никишин, 2002)

### 1. Дрифтовая стадия



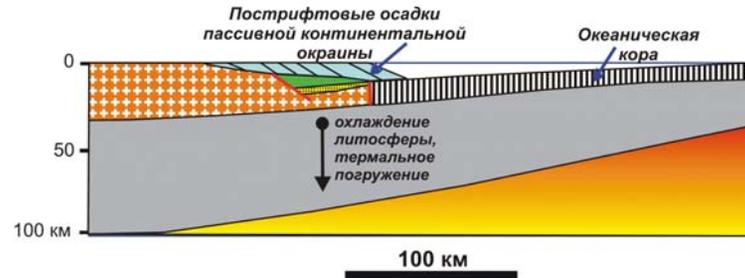
### 2. Стадия континентального рифтинга



### 3. Стадия раскола континентальной коры и начала спрединга океанической коры

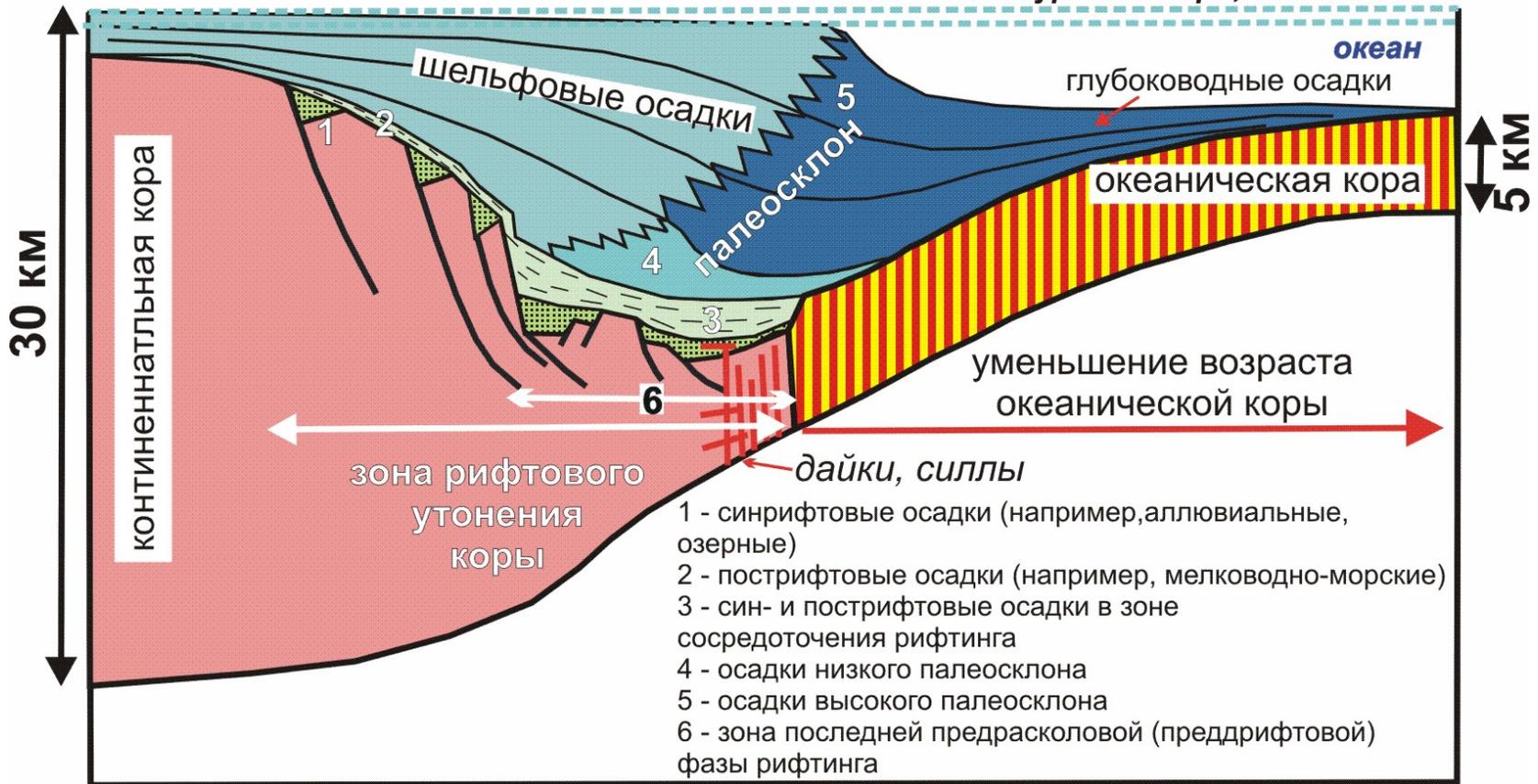


### 4. Стадия раскрытия океана и формирования пассивной континентальной окраины



# Идеализированный разрез пассивной окраины

колебания уровня моря, эвстазия



Идеализированный разрез пассивной окраины континентов.  
Составлена с использованием данных Геологической  
службы США.

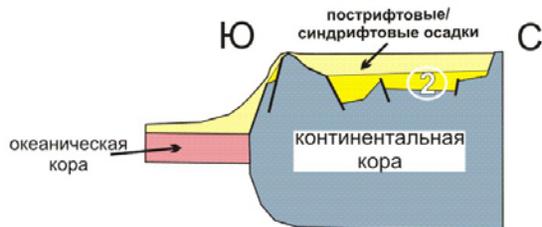
### Рифтовая авулканическая пассивная окраина (Намибия)



### Рифтовая вулканическая пассивная окраина (Намибия)



### Трансформная пассивная окраина (Кот-Д'Ивуар-Гана)

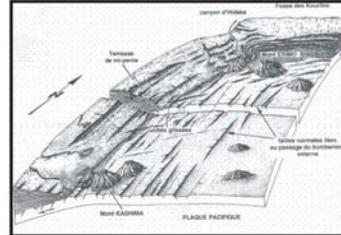


- силлы, дайки
- 1 - дорифтовые осадки
- 2 - синрифтовые осадки
- ОК - океаническая кора
- Мохо - подошва коры

# Осадочные бассейны района зоны субдукции (желоба)

## ОСАДОЧНЫЕ БАСЕЙНЫ РАЙОНА ЗОНЫ СУБДУКЦИИ (желоба)

Строение Японского желоба (Cadet et al., 1987)



Строение аккреционной призмы желоба Нанкай (Япония) (Kopf, Brown, 2003)

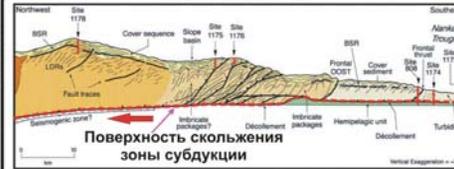
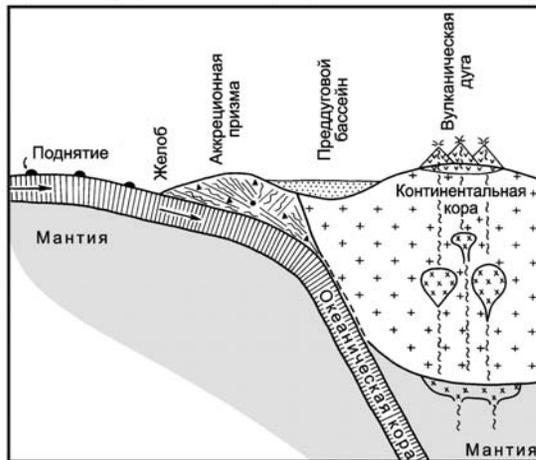


Схема строения района зоны субдукции и основная терминология

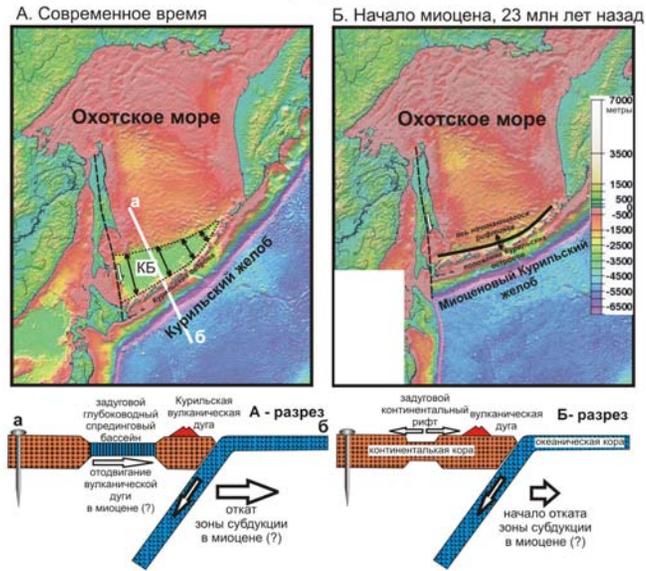


Рельеф района Индонезии с показом аккреционной призмы, преддуговой бассейна и вулканической дуги

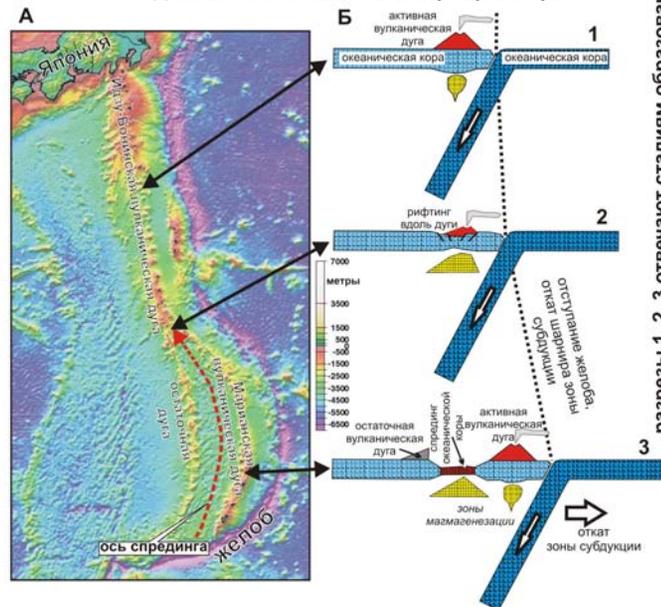


# Задуговые и междуговые бассейны растяжения

## СХЕМА ОБРАЗОВАНИЯ КУРИЛЬСКОГО ЗАДУГОВОГО БАСЕЙНА на карте рельефа



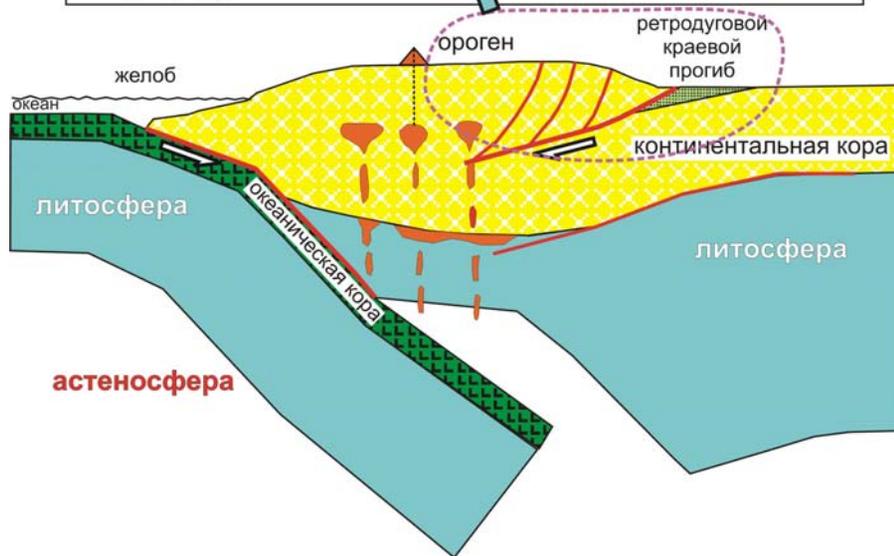
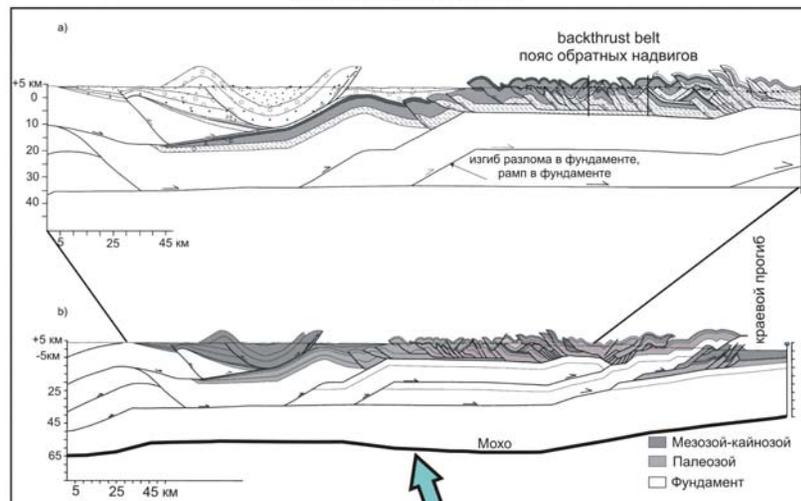
## СХЕМА СТРОЕНИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ МАРИАНСКОГО МЕЖДУГУГОВОГО БАСЕЙНА на карте рельефа



разрезы 1, 2, 3 отвечают стадиям образования междугового бассейна

# Задуговые бассейны сжатия (ретродуговые краевые прогибы)

Разрез через Анды в Боливии. Хорошо видны флексурный (изгибный) характер Предандийского краевого прогиба и геометрия коровых надвигов (McQuarrie, Davis, 2002)

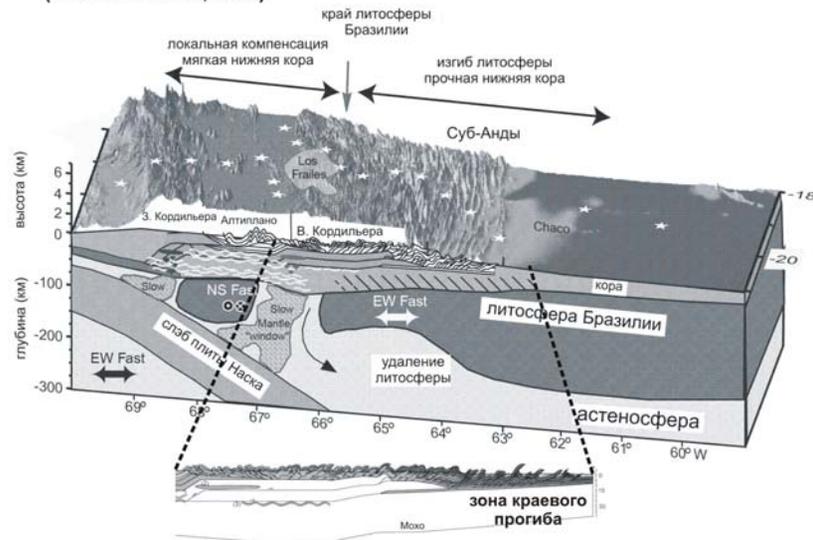


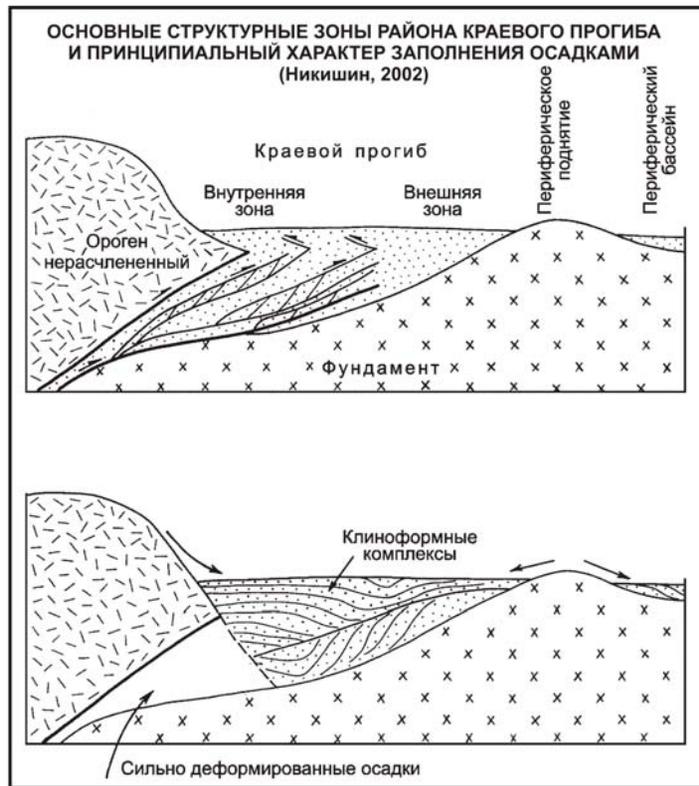
ИДЕАЛИЗИРОВАННАЯ СХЕМА СТРОЕНИЯ ОРОГЕНА АНД С ПОКАЗОМ ПОЗИЦИИ РЕТРОДУГОВОГО БАССЕЙНА (краевого прогиба)

# Краевые (флексурные) прогибы



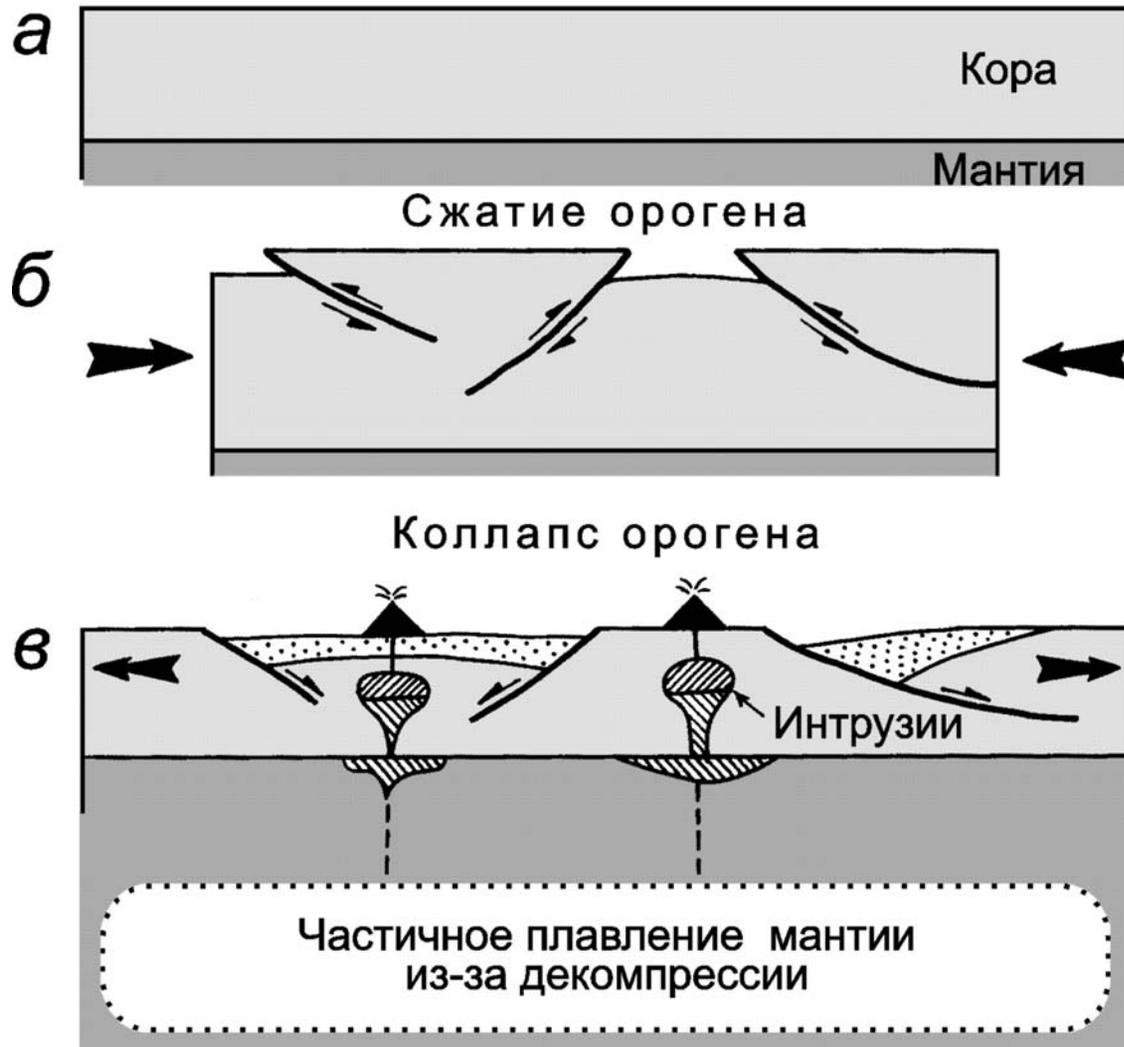
## ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПРЕДАНДИЙСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА (McQuarrie et al., 2005)



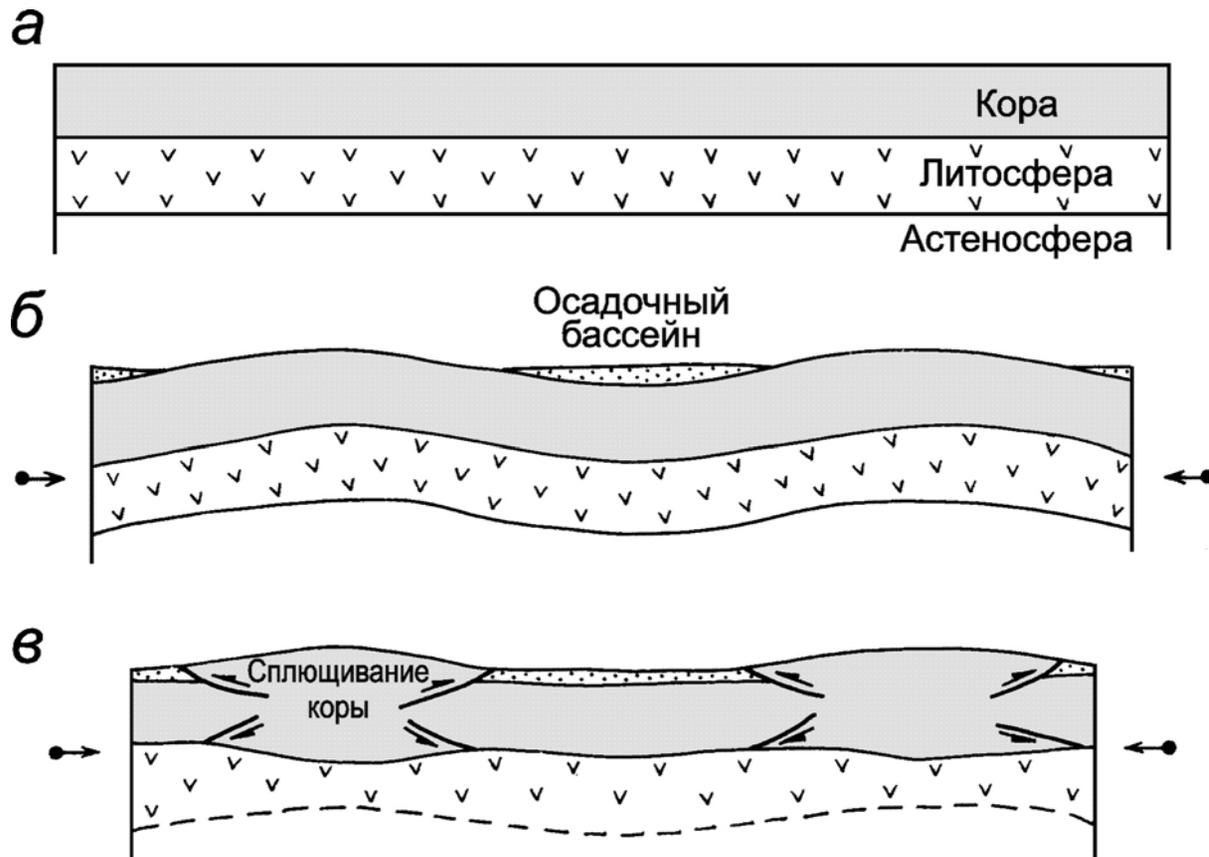


# Коллапсные бассейны

СХЕМА ОБРАЗОВАНИЯ КОЛЛАПСНЫХ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ  
(Никишин, 2002)

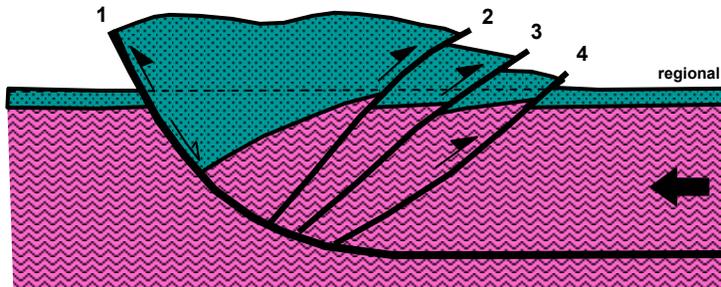


## Межгорные впадины сжатия

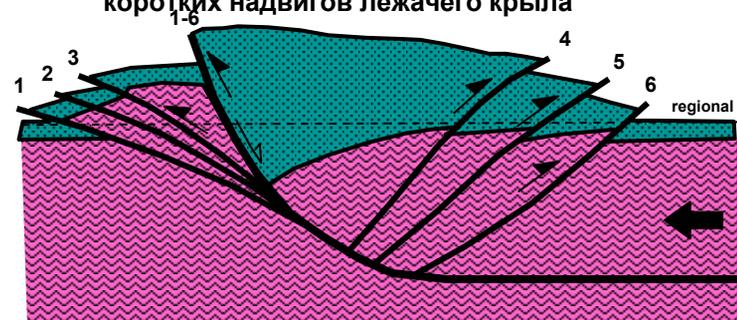


# Сининверсионные бассейны

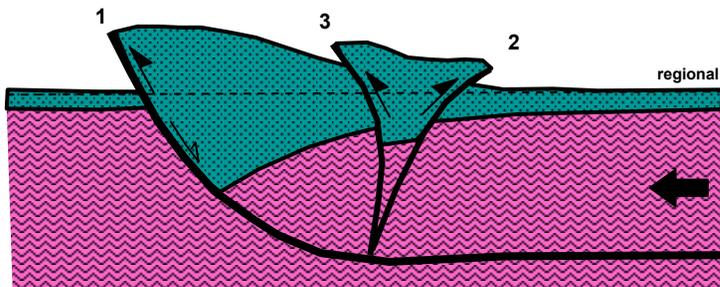
ИНВЕРСИЯ – чешуйчатый веер встречных надвигов



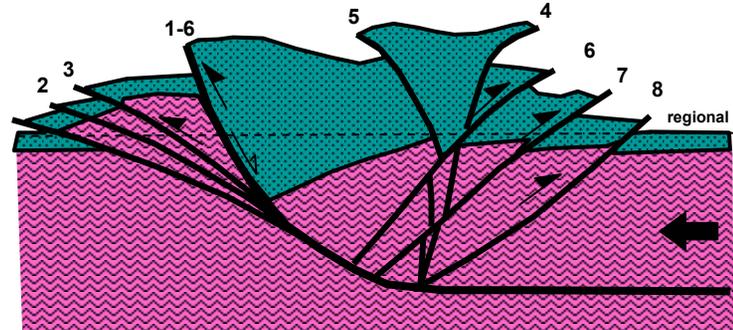
ИНВЕРСИЯ – веерообразная структура встречных надвигов и коротких надвигов лежащего крыла



ИНВЕРСИЯ – клиновидная структура выдавливания в верхней части блока



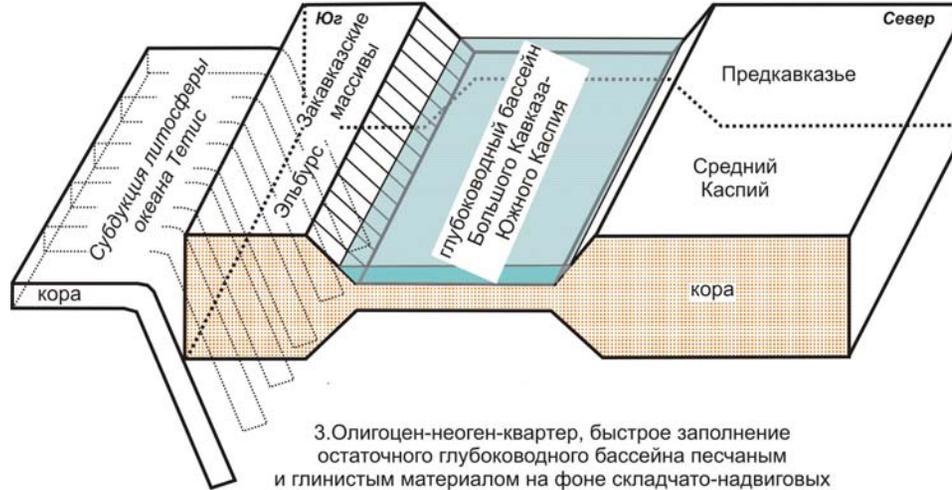
ИНВЕРСИЯ – смешанная модель



- клиновидное поднятие может вытянуться и напоминать по форме структуру цветка

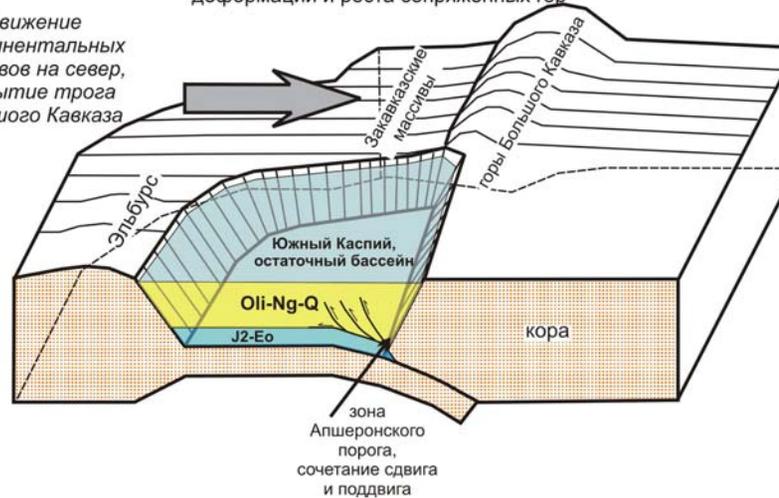
# Остаточные бассейны

1. Келловей-поздняя юра, раскрытие задугового глубоководного бассейна с океанической и утоненной континентальной корой, глубоководная седиментация. 2. Мел-эоцен, седиментация в относительно спокойном глубоководном бассейне

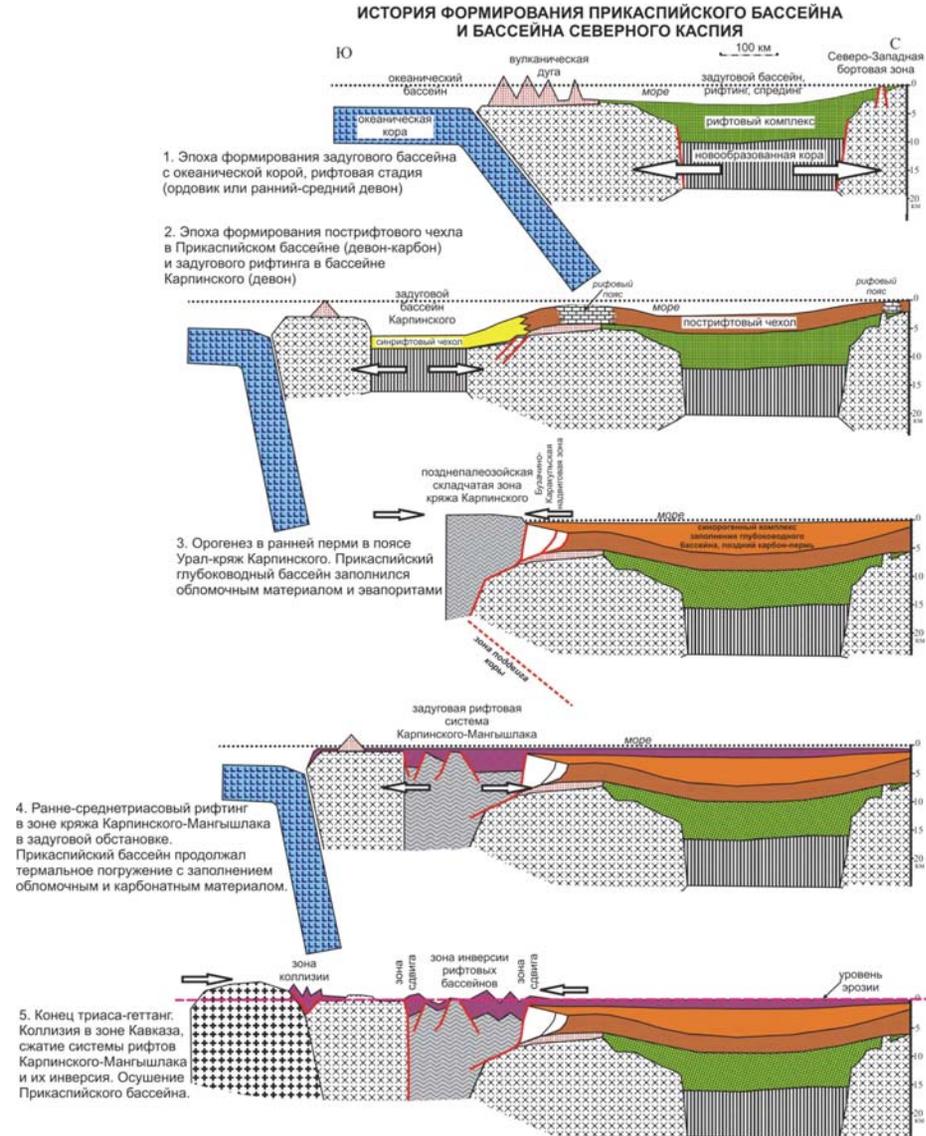


3. Олигоцен-неоген-квартер, быстрое заполнение остаточного глубоководного бассейна песчаным и глинистым материалом на фоне складчато-надвиговых деформаций и роста сопряженных гор

Движение континентальных массивов на север, закрытие трога Большого Кавказа

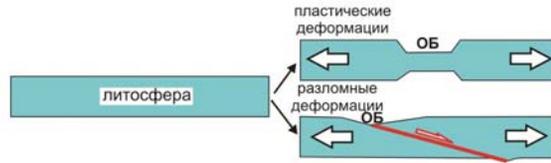


# Реальные бассейны обычно имеют несколько стадий развития

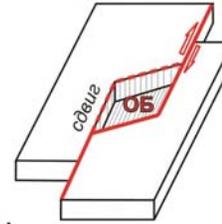


# ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

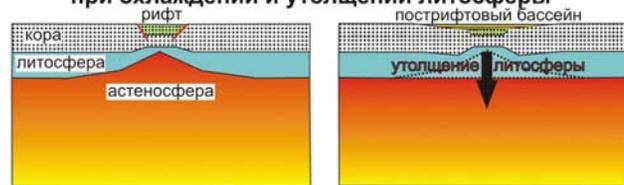
## 1. Растяжение



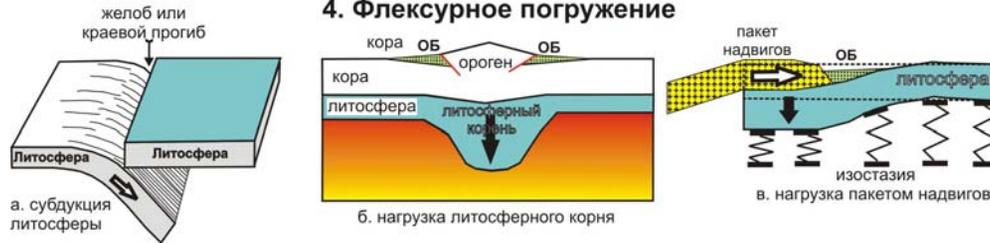
## 2. Присдвиговое растяжение (транспрессия)



## 3. Термальное погружение при охлаждении и утолщении литосферы



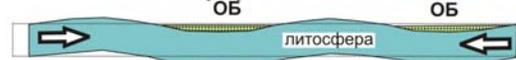
## 4. Флексурное погружение



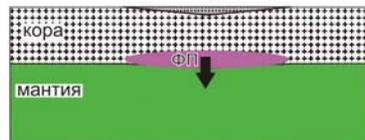
## 5. Погружение за счет нагрузки осадков



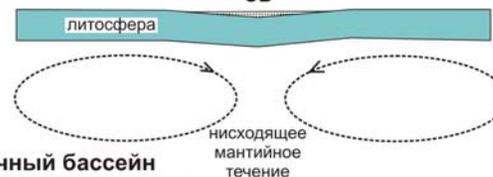
## 6. Синкомпрессионное вдавливание литосферных синклиналей



## 7. Утяжеление коры (литосферы) за счет фазовых переходов

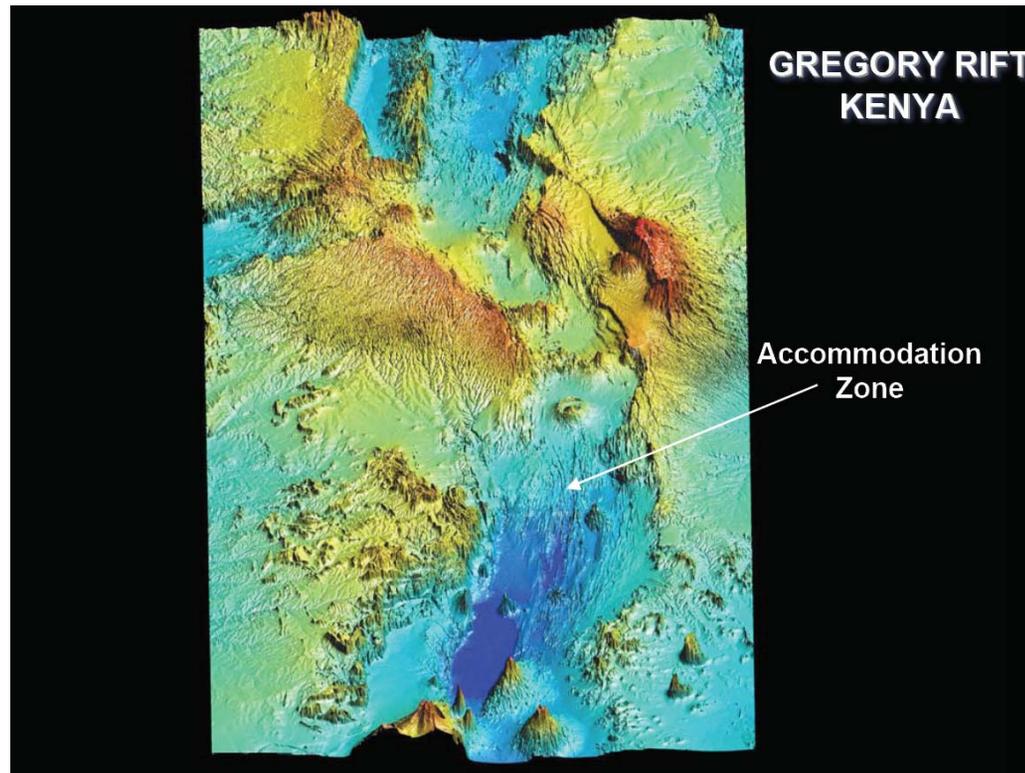


## 8. Погружение литосферы над нисходящими мантийными течениями



ОБ - осадочный бассейн  
ФП - зона фазовых переходов с утяжелением коры или литосферы

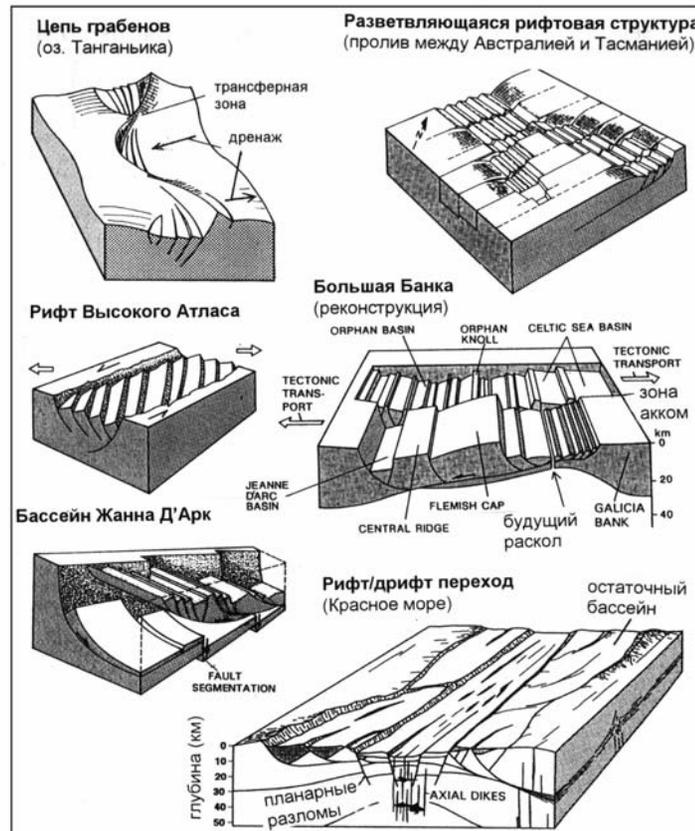
# Рифтинг



**Идеализированная  
схема строения  
рифтового  
бассейна**

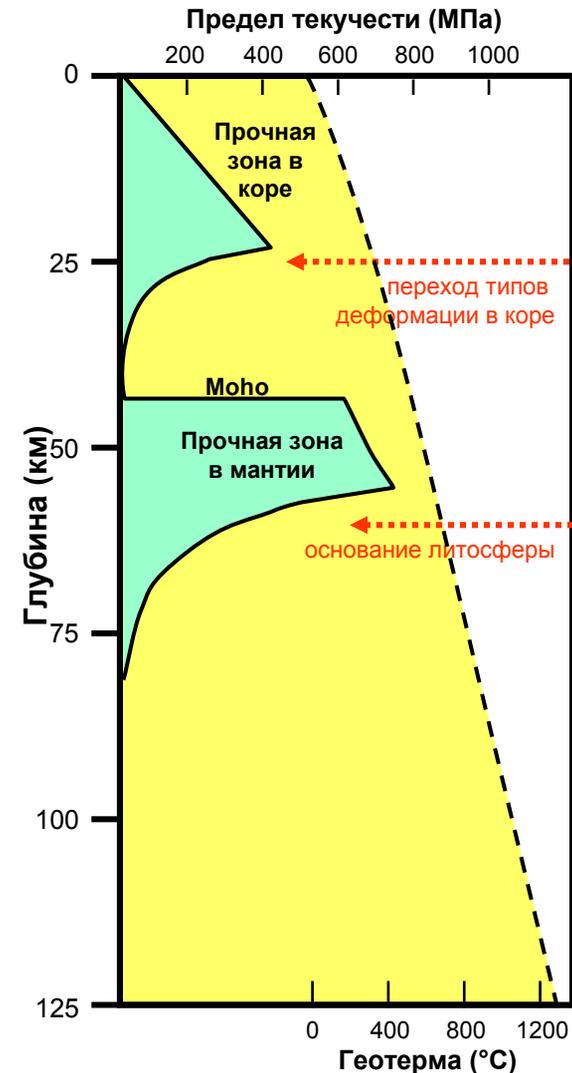


**Примеры структуры континентальных рифтовых зон (Einsele, 2000)**



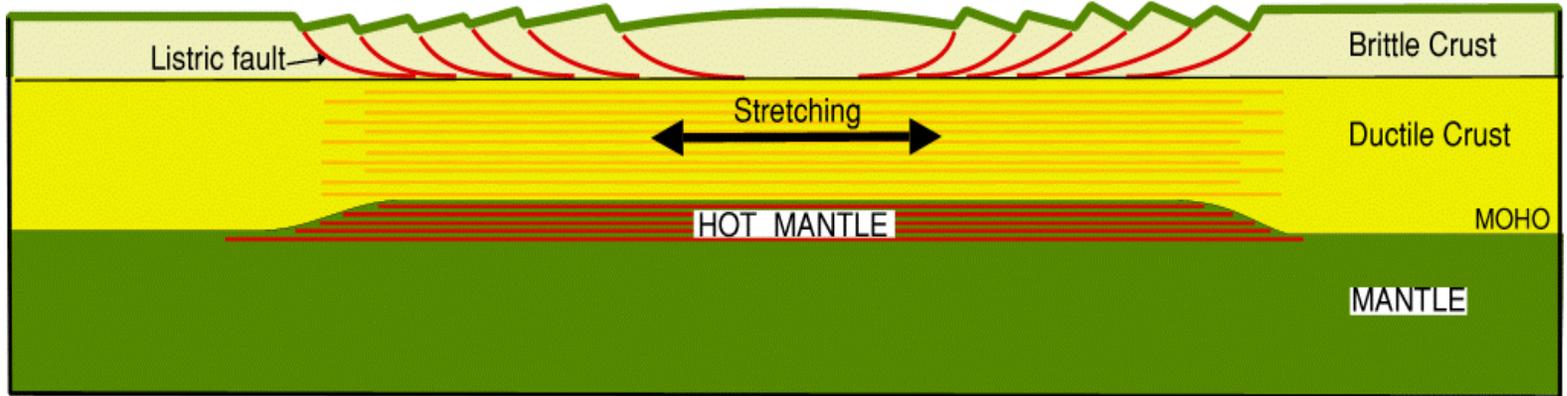
# Зоны хрупкой к пластичной деформации в коре

- Предел прочности коры на сдвиг линейно возрастает с ростом глубины (хрупкая деформация), а затем экспоненциально снижается (пластичная деформация) ниже уровня перехода от хрупкой деформации к пластичной.
- В литосфере имеются две зоны перехода от хрупкой деформации к пластичной.
  - Один переход – в коре, другой – в основании литосферы.
- Между этими переходами находится слабый слой нижней коры.

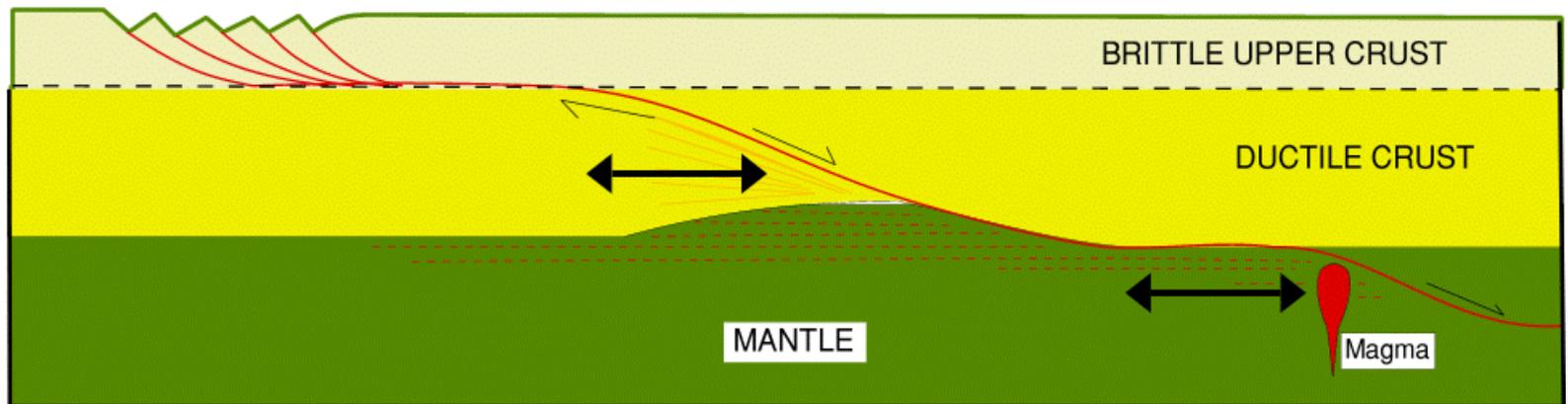
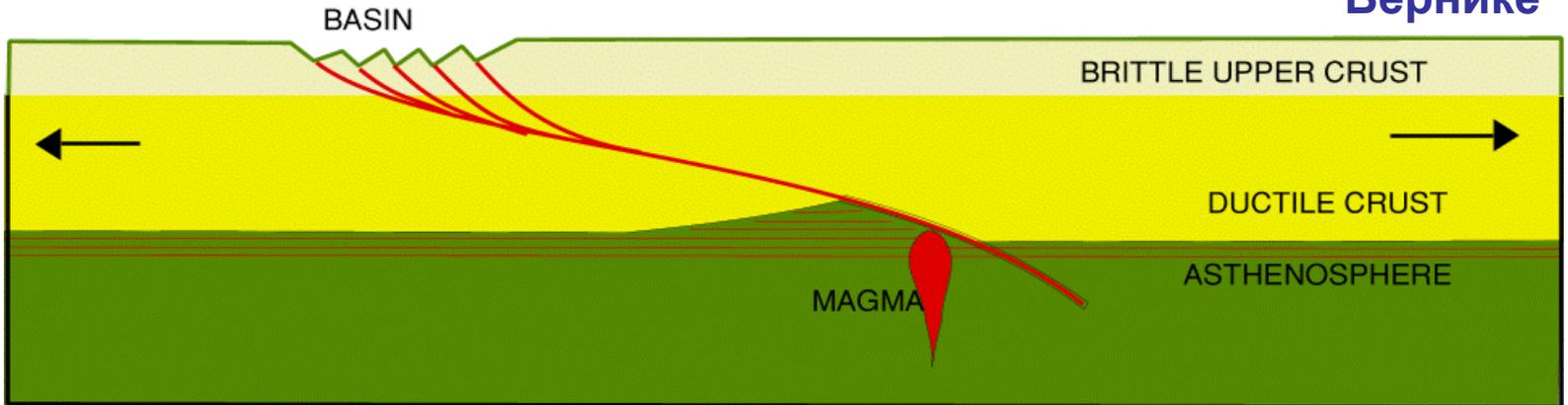


# Модели рифтинга по характеру деформаций

Маккензи



Вернике



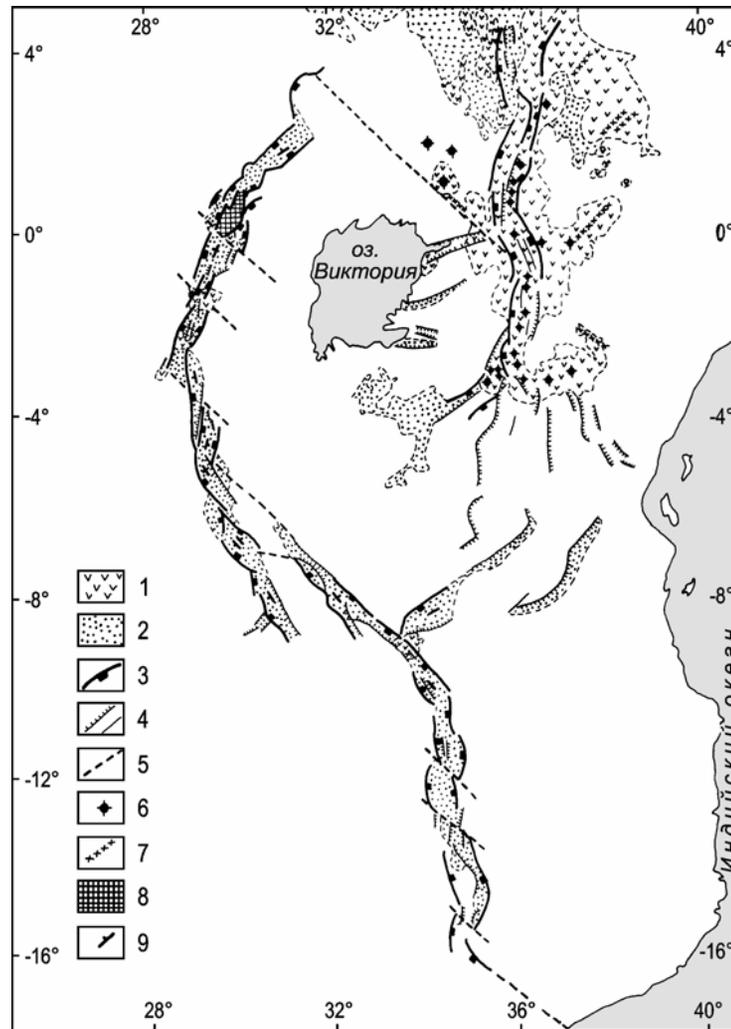
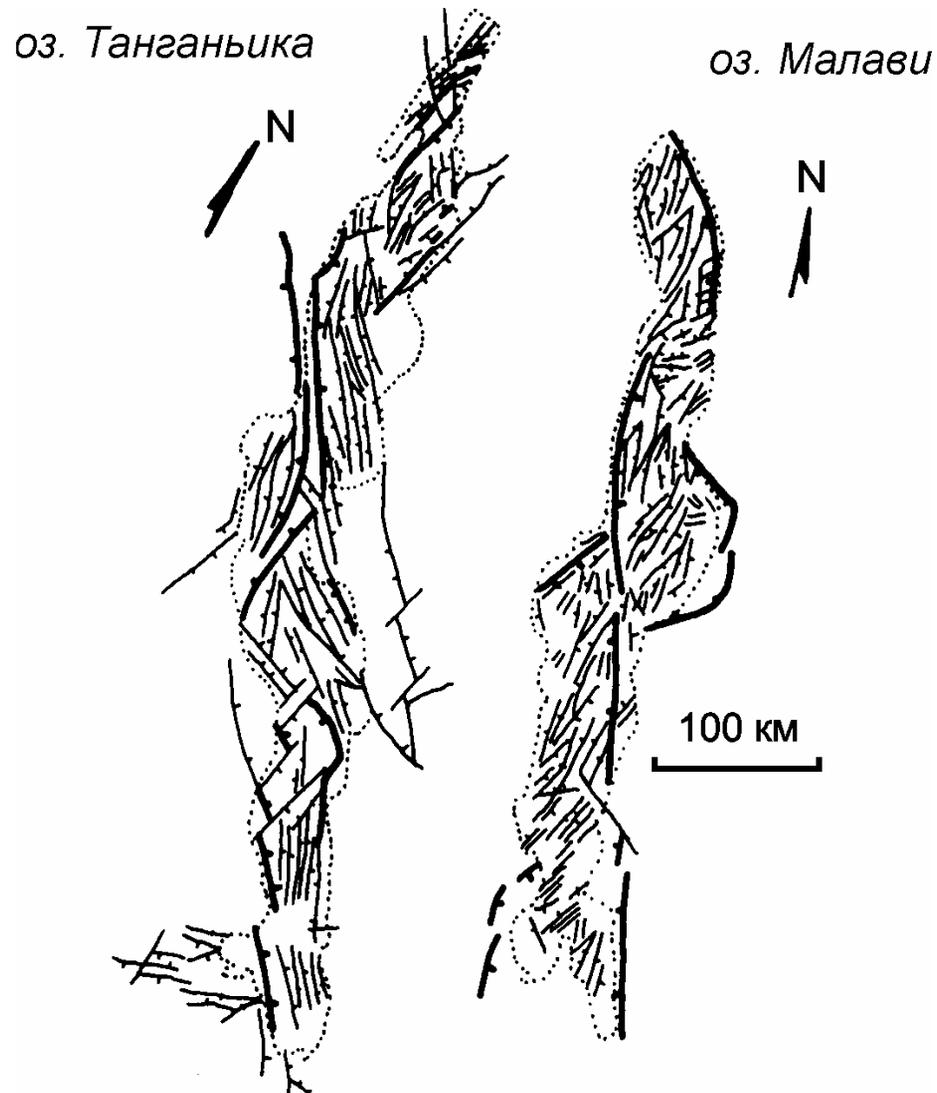
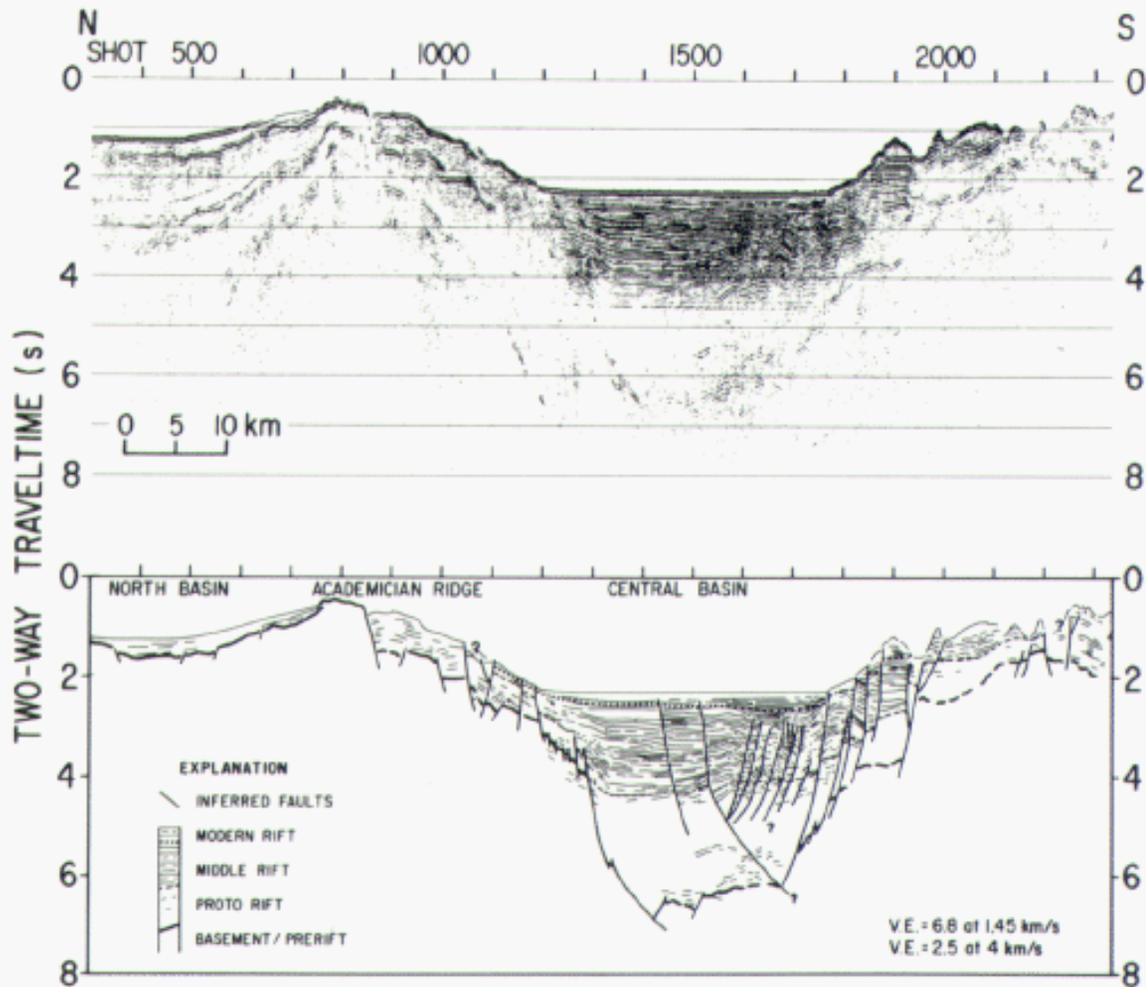


Схема строения центральной и южной частей Восточно-Африканской рифтовой системы. 1 — кайнозойские вулканиты; 2 — кайнозойские осадки; 3 — основные бассейнообразующие сбросы, 4 — сбросы меньшего ранга; 5 — сдвиговые зоны; 6 — вулканы; 7 — зоны трещинного вулканизма; 8 — горстовое поднятие Рувензори; 9 — наклон блоков фундамента в рифтовых бассейнах. Схема составлена А.М. Никишиным (1992, 1999) по данным (Милановский, 1976; Логачев, 1977; Казьмин, 1987; Rosendahl, 1987; Ebinger, 1989; Ebinger et al., 1989; Chorowicz, 1989; Morley et al., 1990 и др.).



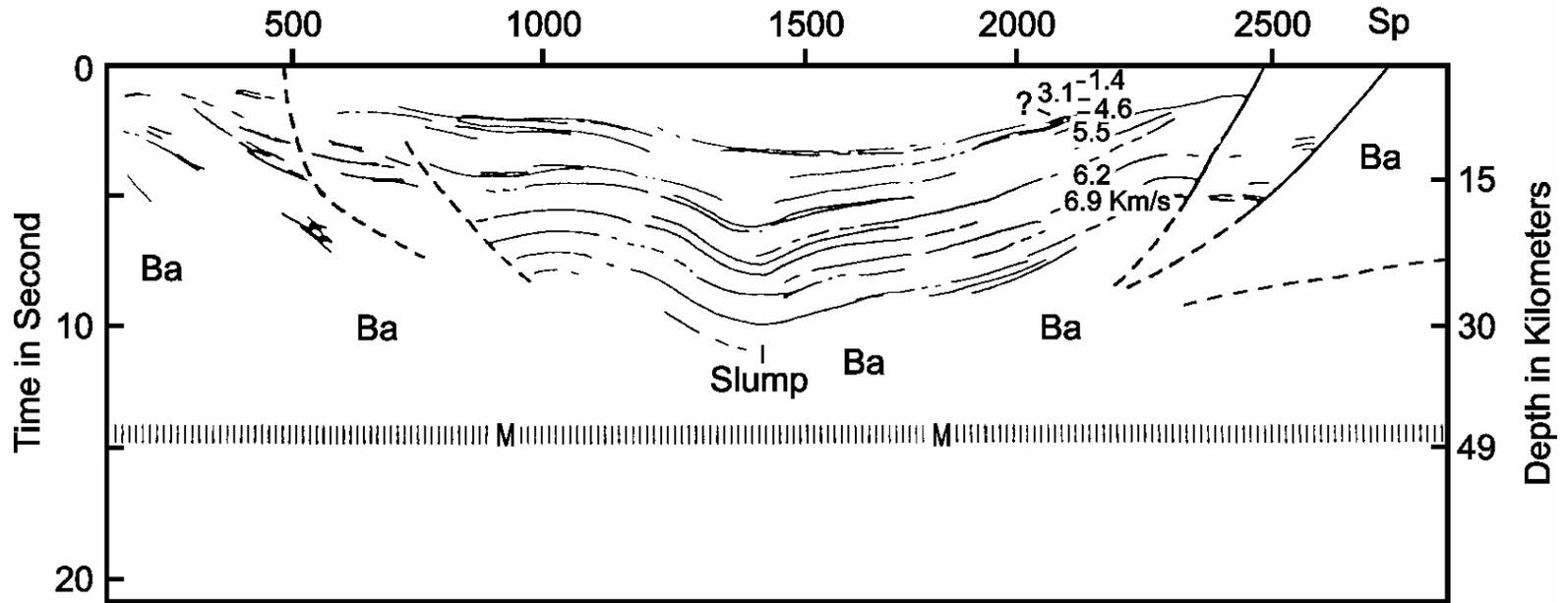
Детальные карты разломов рифтовых озер Танганьика и Малави, составленные по данным многоканального сейсмического профилирования. Жирными линиями показаны основные разломы (Versfelt, Rosenndahl, 1989).

# Байкальский рифт

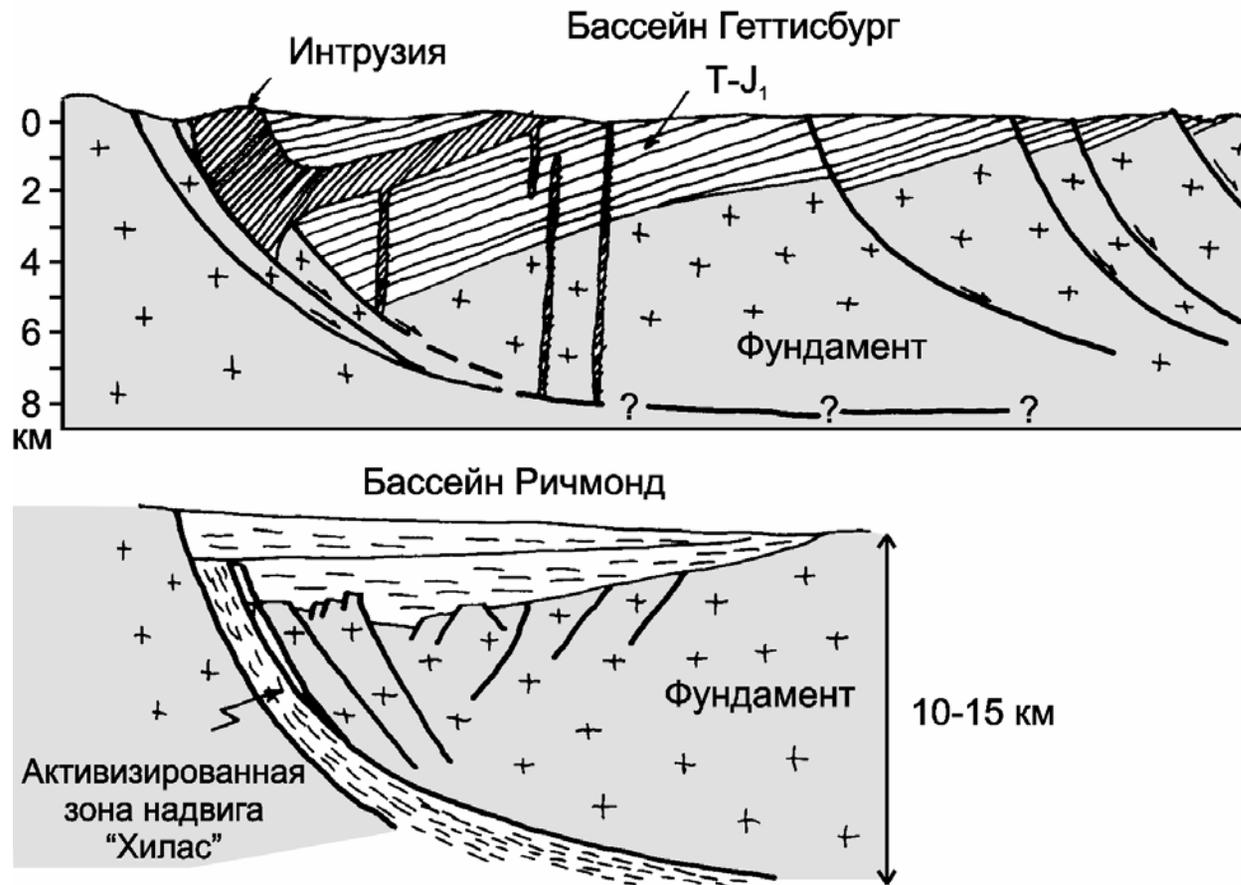


*Multichannel seismic reflection line across central part of Lake Baikal showing seismic data (top) and interpretation (bottom). The thickest deposits are confined to a narrow trough that is 15 to 20 kilometers (9 to 12 miles) wide.*

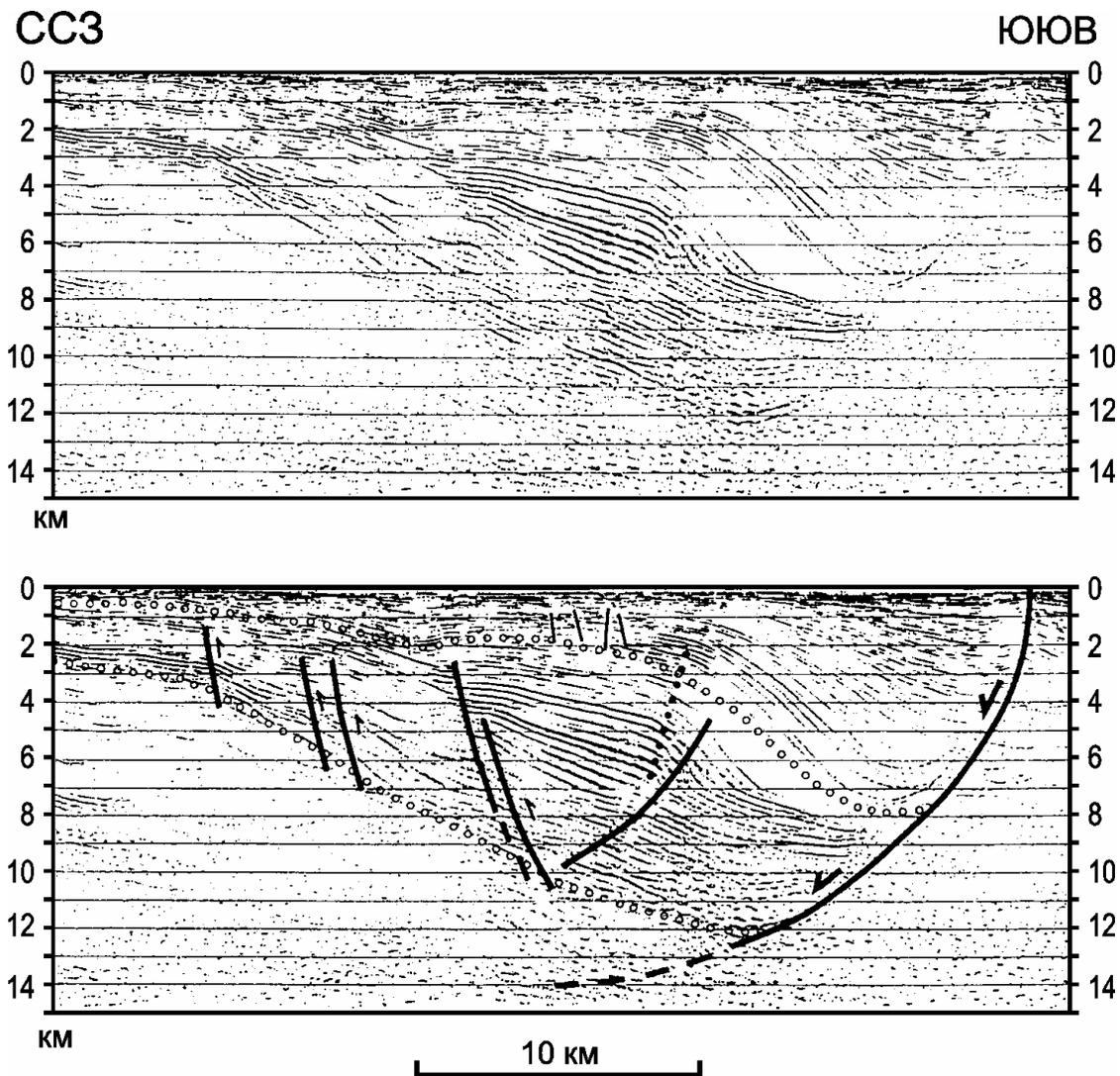
# Keweenaw Rift, Lake Superior



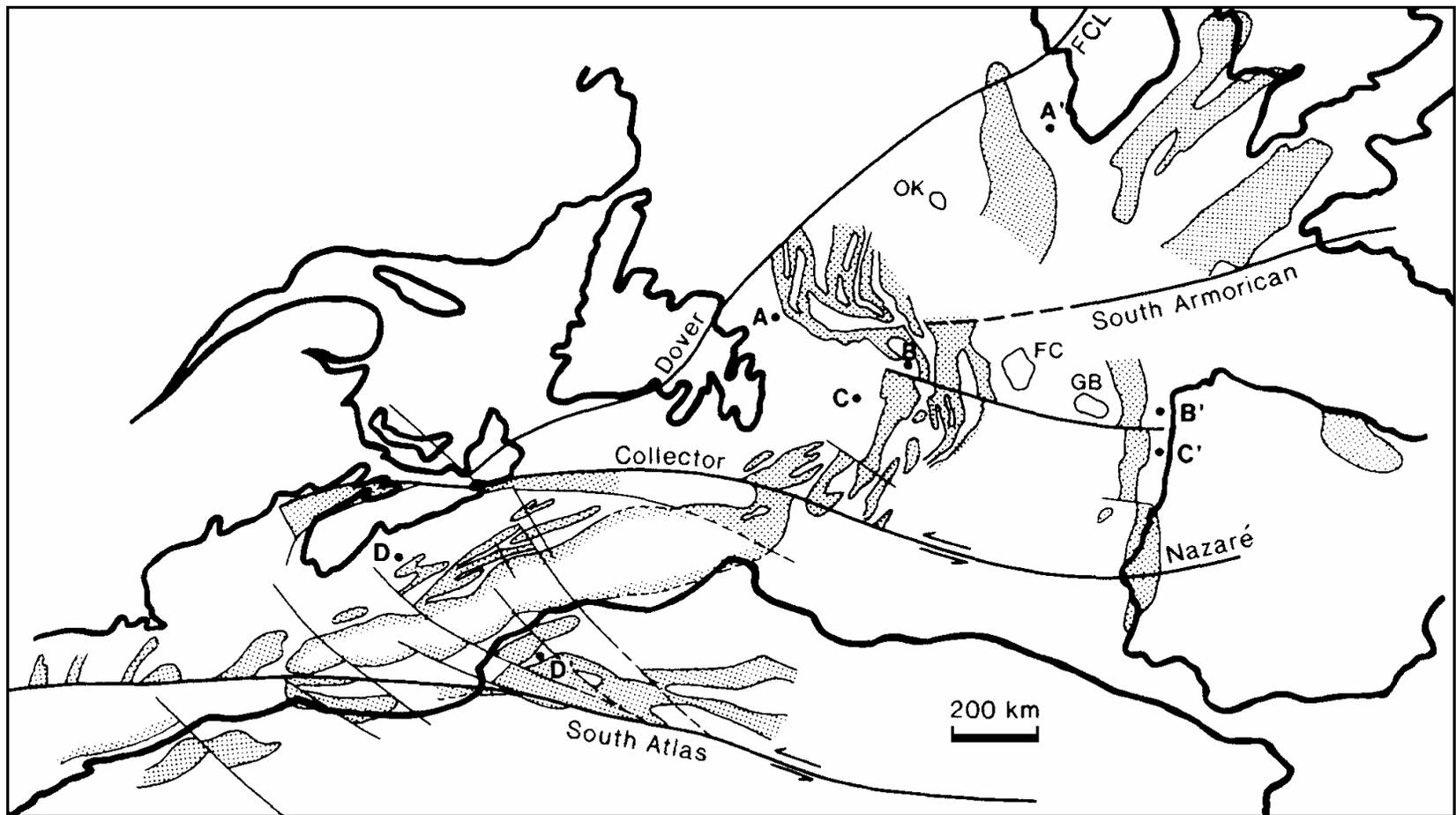
Сейсмический профиль в озере Верхнем через палеорифт Мидконтинент (Кьюиноу). Отчетливо видна мощная толща вулканических и осадочных пород (Hoffman, 1989)



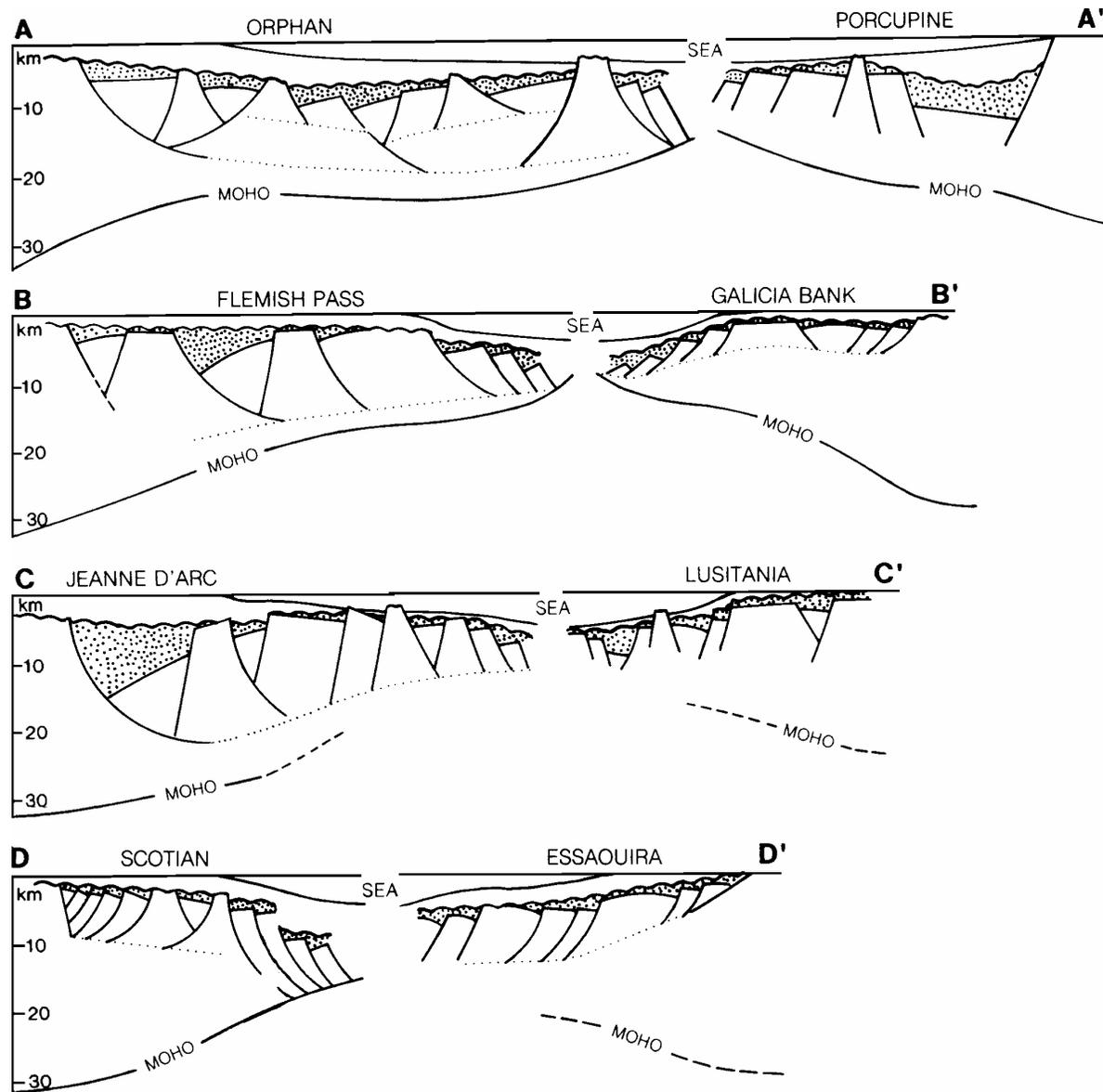
**Разрезы через аппалачские позднетриасово-раннеюрские бассейны Геттисбург (Пенсильвания) (Root, 1988) и позднетриасовый бассейн Ричмонд (Resseter, Taylor, 1988). Бассейны являются типичными для Аппалачской рифтовой системы**



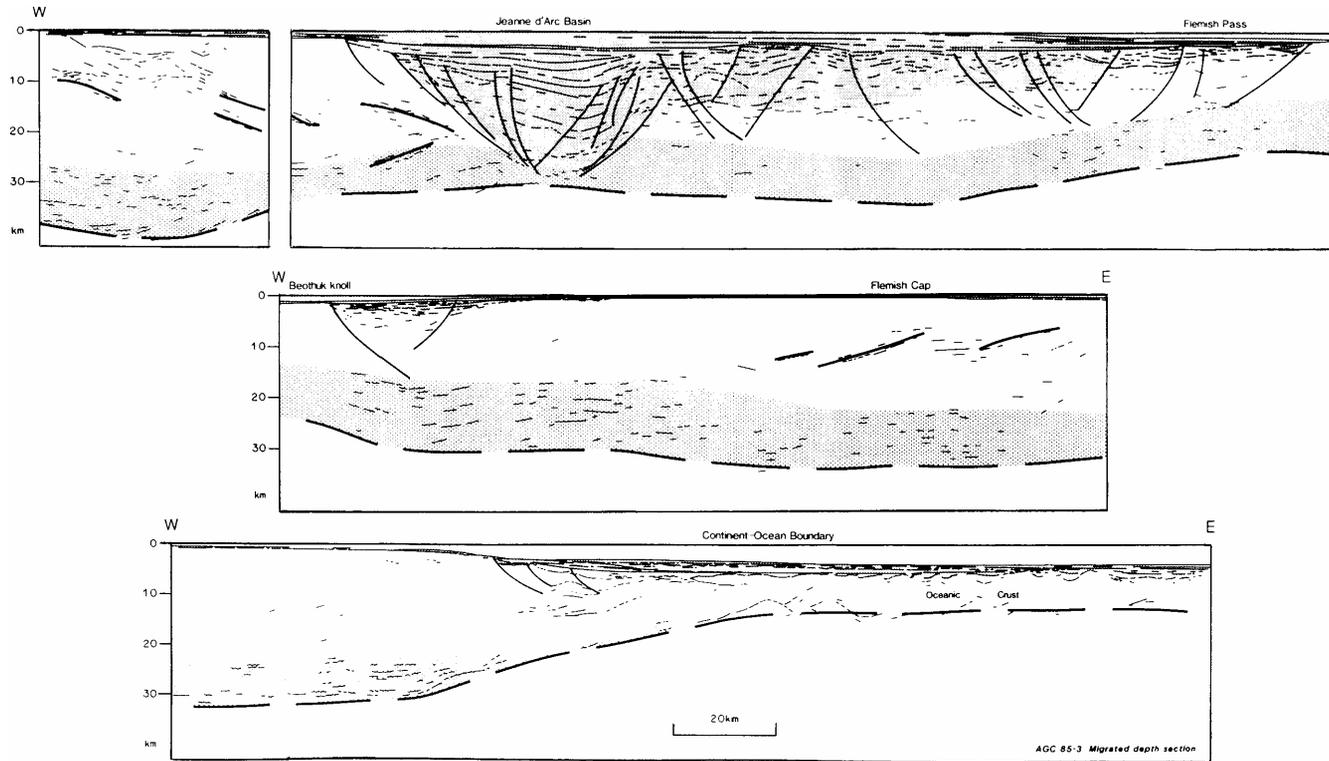
Сейсмический профиль SWAT-2 через бассейн Святого Георга и его интерпретация (Dument, 1990).



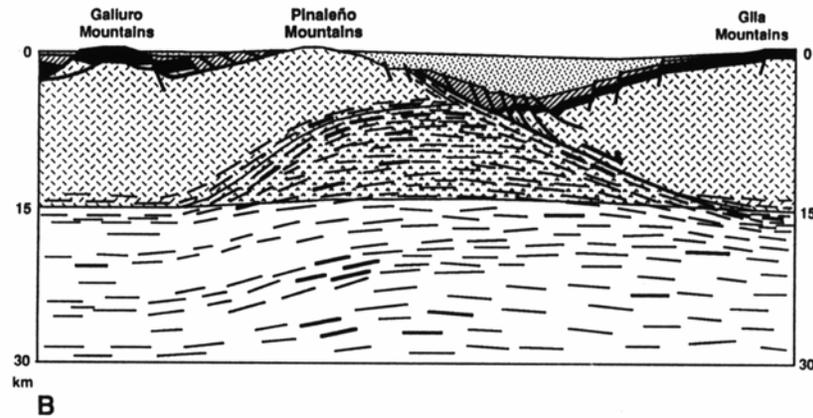
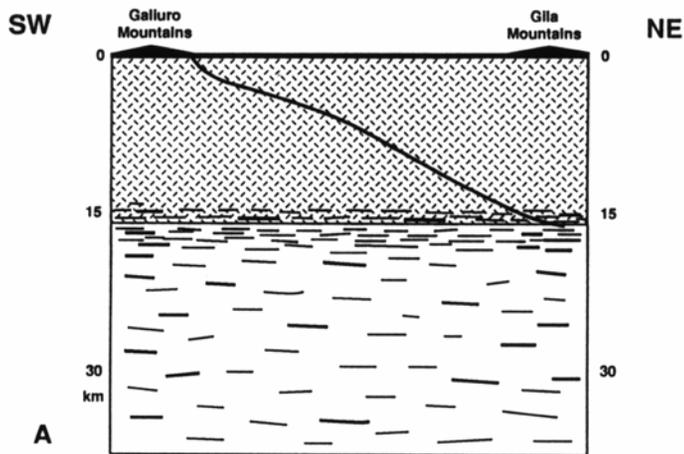
Расположение додрифтовых рифтовых бассейнов в Центральной-Северной Атлантике на додрифтовой реконструкции. Буквами показано положение профилей, изображенных на следующем рисунке (Tankard, Balkill, 1989)



Разрезы, основанные на сейсмических профилях, через реконструированную додрифтовую рифтовую систему на месте Центральной-Северной Атлантике. Положение профилей показано на предыдущем рисунке (Tankard, Balkill, 1989).

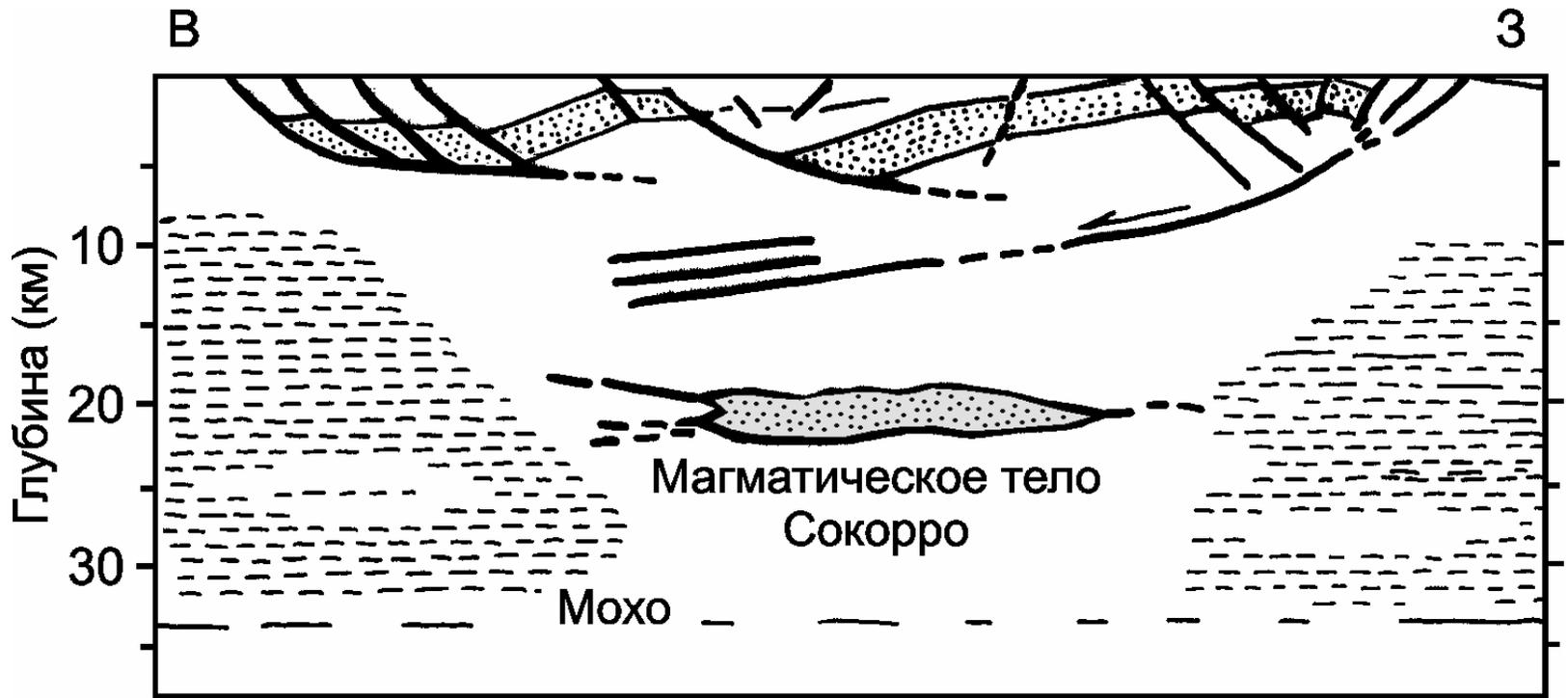


Пример сейсмического профиля через пассивную рифтовую окраину Атлантики у берегов Северной Америки, район бассейна Жанна-Дарк (по Chassy et al., 1990 из Никишин, 1999).

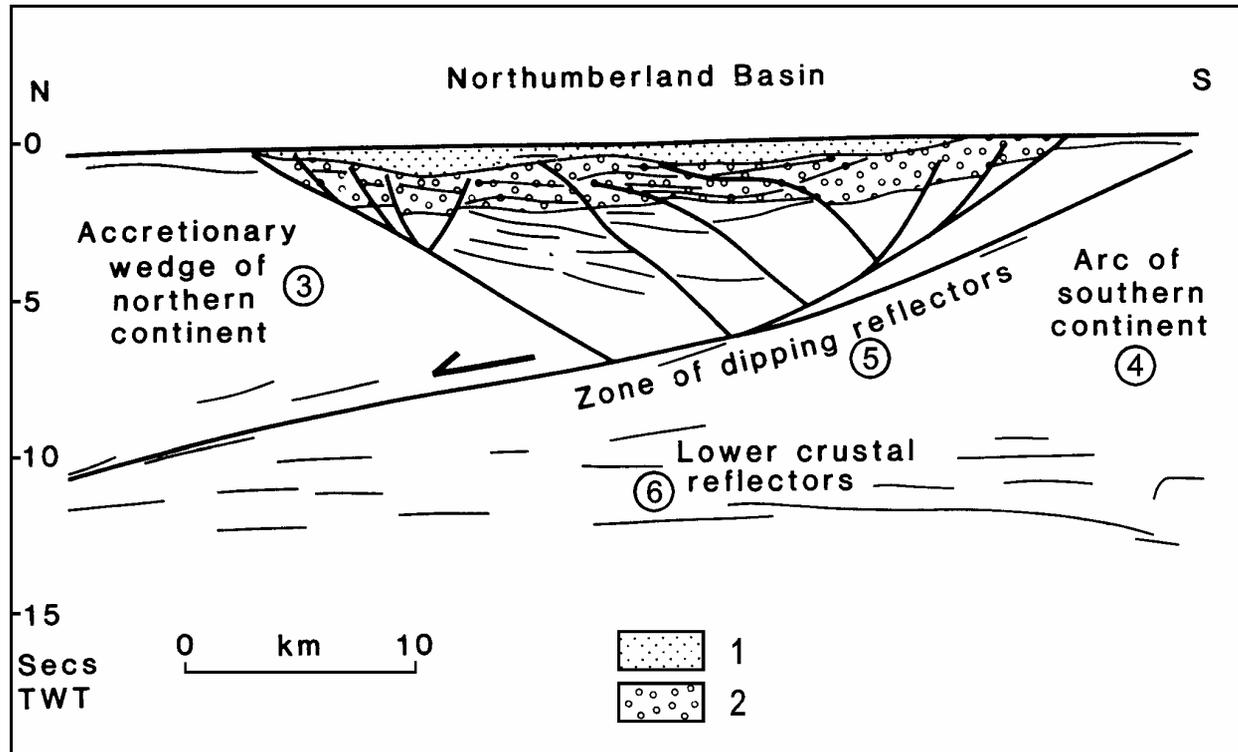


- |   |   |   |  |   |  |
|---|---|---|--|---|--|
| 1 | Late Cenozoic basin fill  | 3 | Mid-Tertiary volcanic and volcanoclastic rocks | 5 | Ductilely deformed crust; lines indicate metamorphic fabric geometry       |
| 2 | Syn-extensional mid-Tertiary sedimentary units and volcanic rocks | 4 | Brittle deformed pre-Eocene crust              | 6 | Ductilely deformed crust uplifted above present brittle-ductile transition |

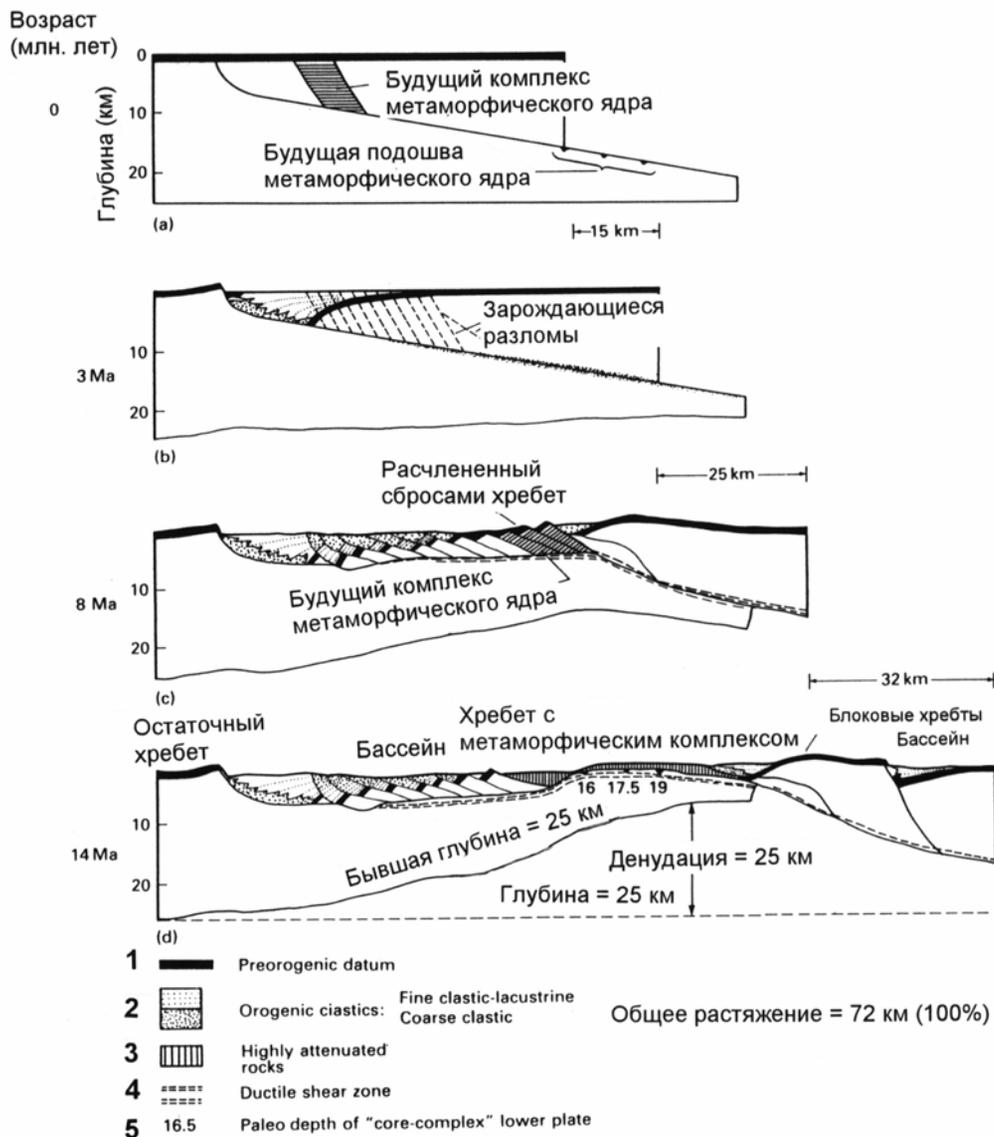
(B), интерпретация сейсмического профиля для рифтового бассейна, располагающегося между горами Галиуро (Galiuro Mountains) и Гила (Gila Mountains) в Аризоне; (A), реконструкция структуры до начала средне-третичного растяжения. Вертикальный и горизонтальный масштабы примерно совпадают. Видно, что в районе гор Пиналено (Pinaleno Mountains) породы корового фундамента из-под разлома при растяжении выведены на поверхность, а под основным рифтом коровые метаморфические комплексы изостатически всплыли на малую глубину. 1 - позднекайнозойское заполнение бассейна, 2 - синрифтовые средне-третичные осадки и вулканиты, 3 - средне-третичные вулканические и вулканокластические породы, 4 - хрупко деформированная доэоценовая кора, 5 - пластично (дуктильно) деформированная кора, линии показывают геометрию метаморфической структуры, 6 - пластично (дуктильно) деформированная кора, испытавшая подъем над современной границей хрупкой и пластичной (дуктильной) коры (бывшая нижняя кора). По (Krugen, Johnson, 1994).



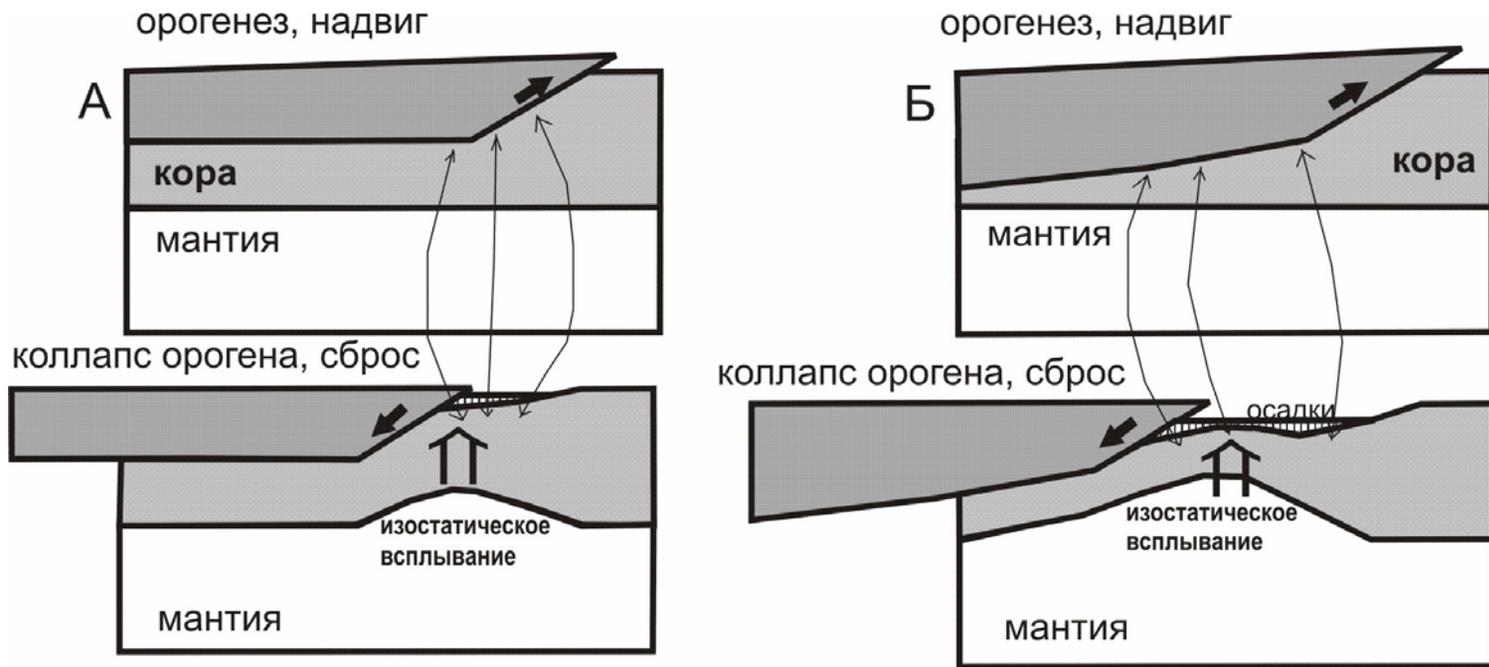
Разрез через бассейн Албукуркеу рифта Рио-Гранде, построенный по сейсмическим данным. Крапом показаны дорифтовые осадки. Штриховкой показано преобладающее положение сейсмических площадок. Вертикальный и горизонтальный масштабы совпадают (De Voogd, Serra, Brown, 1988).



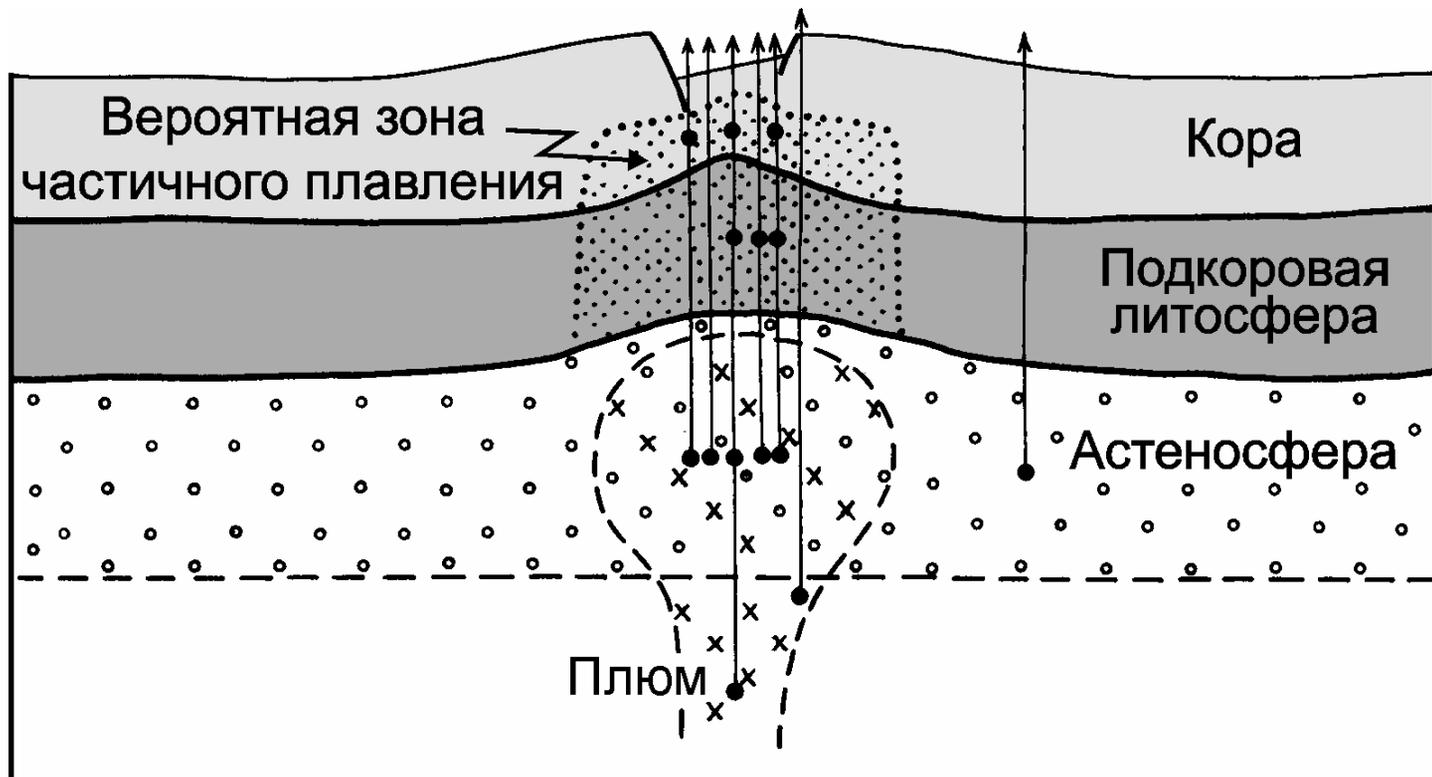
Интерпретация сейсмического профиля через бассейн Нотумберленд в районе Срединной Долины Шотландии. Главный разлом, ограничивающий бассейн, сформировался за счет скольжения по каледонской зоне надвига между комплексами аккреционной призмы и магматической дуги. 1 — пермь, 2 — карбон, 3 — аккреционный клин северного континента, 4 — комплекс магматической дуги южного континента, 5 — зона погружающегося сейсмического рефлексора (разлома), 6 — рефлексоры нижней коры (Gibbs, 1989).



Модель Вернике растяжения коры по механизму "простого сдвига" с выводом метаморфических комплексов коры на поверхность (Wernicke, 1985). 1 - преддеформационная поверхность, 2 - син-рифтовые обломочные отложения (тонкообломочные озерные и грубообломочные), 3 - сильно растянутые деформацией породы, 4 - пластичные (дуктильные) зоны срывов, 5 - бывшие (дорифтовые) палеоглубины метаморфических пород в нижнем (лежащем) блоке.

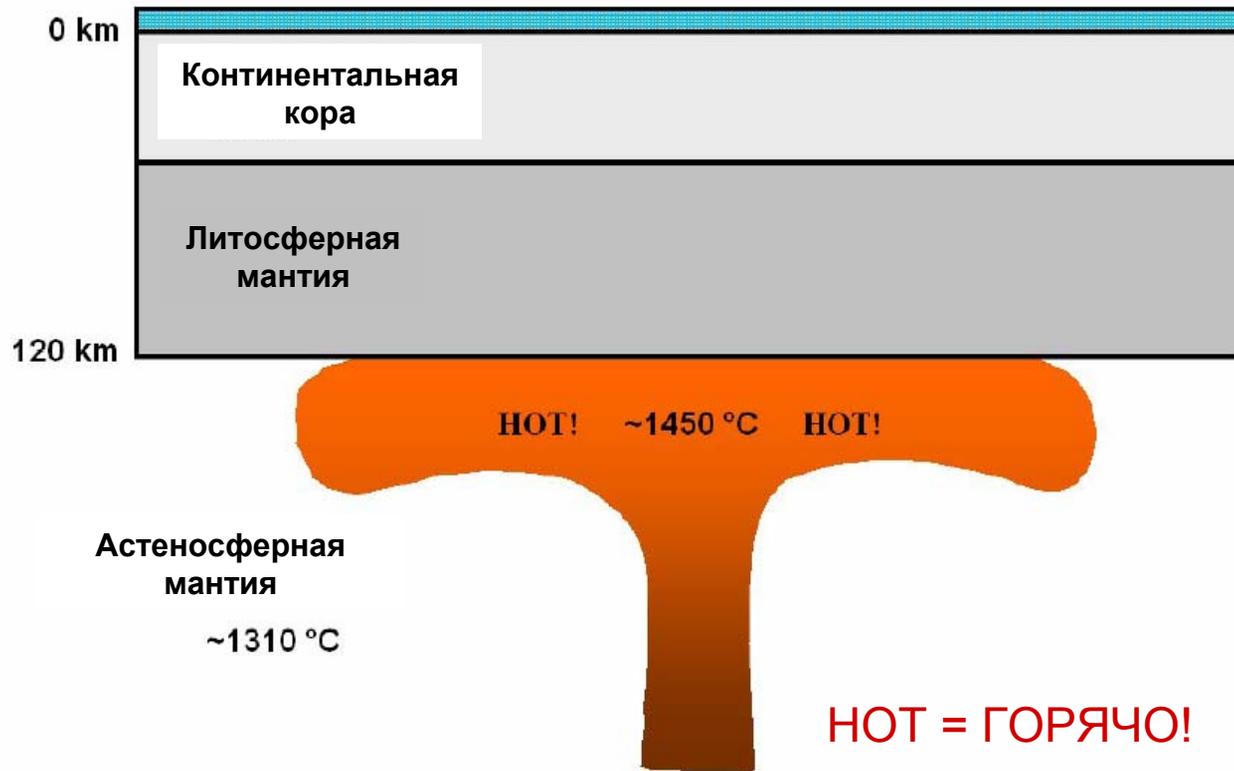


Схематические модели вывода на близповерхностные уровни метаморфических комплексов средней и нижней коры при коллапсе орогенов. А - меньший масштаб, Б - больший масштаб. Стрелки соединяют одни и те же породы на разных стадиях процесса.

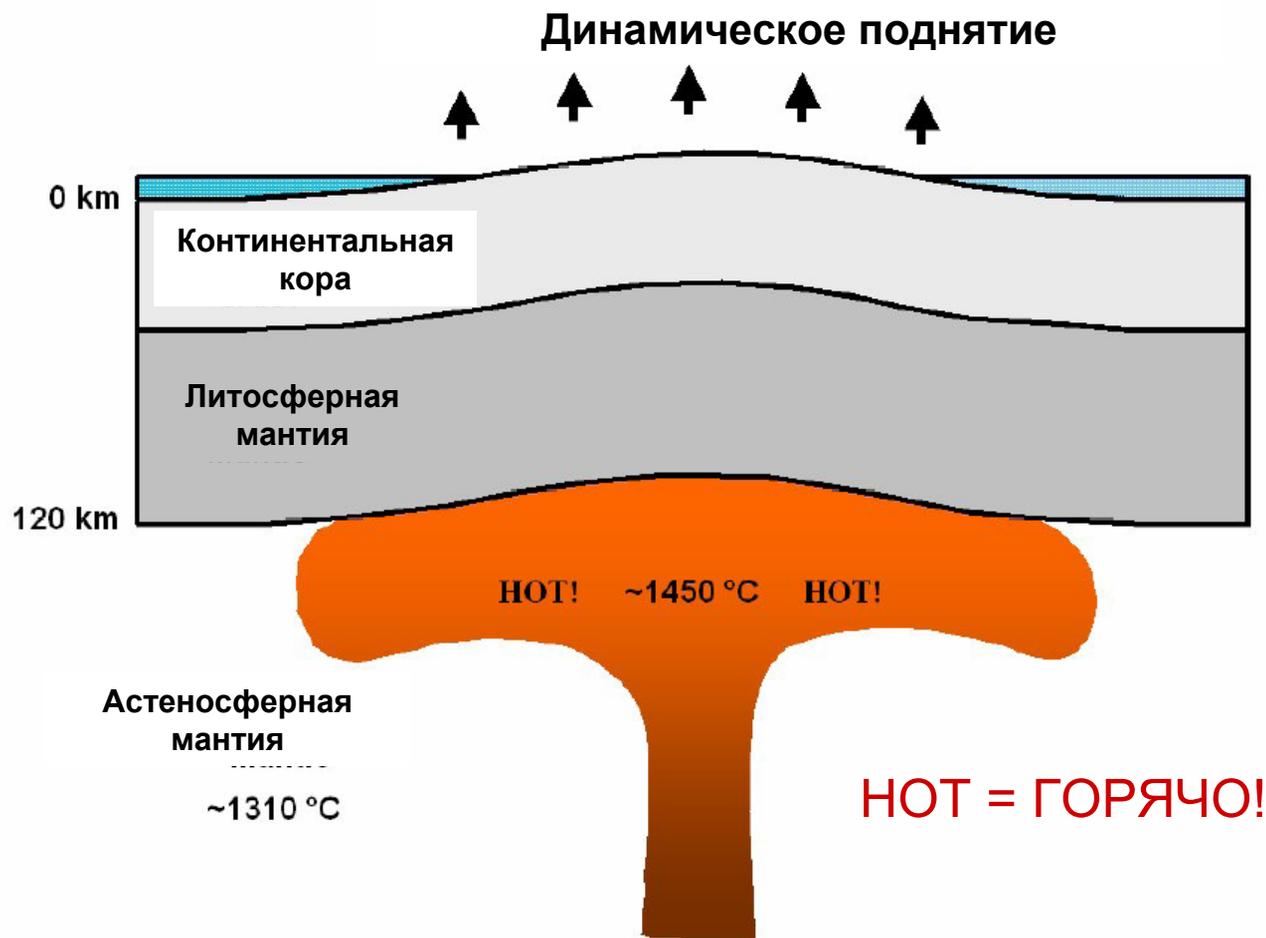


Возможные типы магматизма рифтовых зон по характеру источника выплавления магмы. Жирные точки показывают источники выплавления магмы, стрелки — типы магматизма с разными изотопно-геохимическими характеристиками (Никишин, 1992).

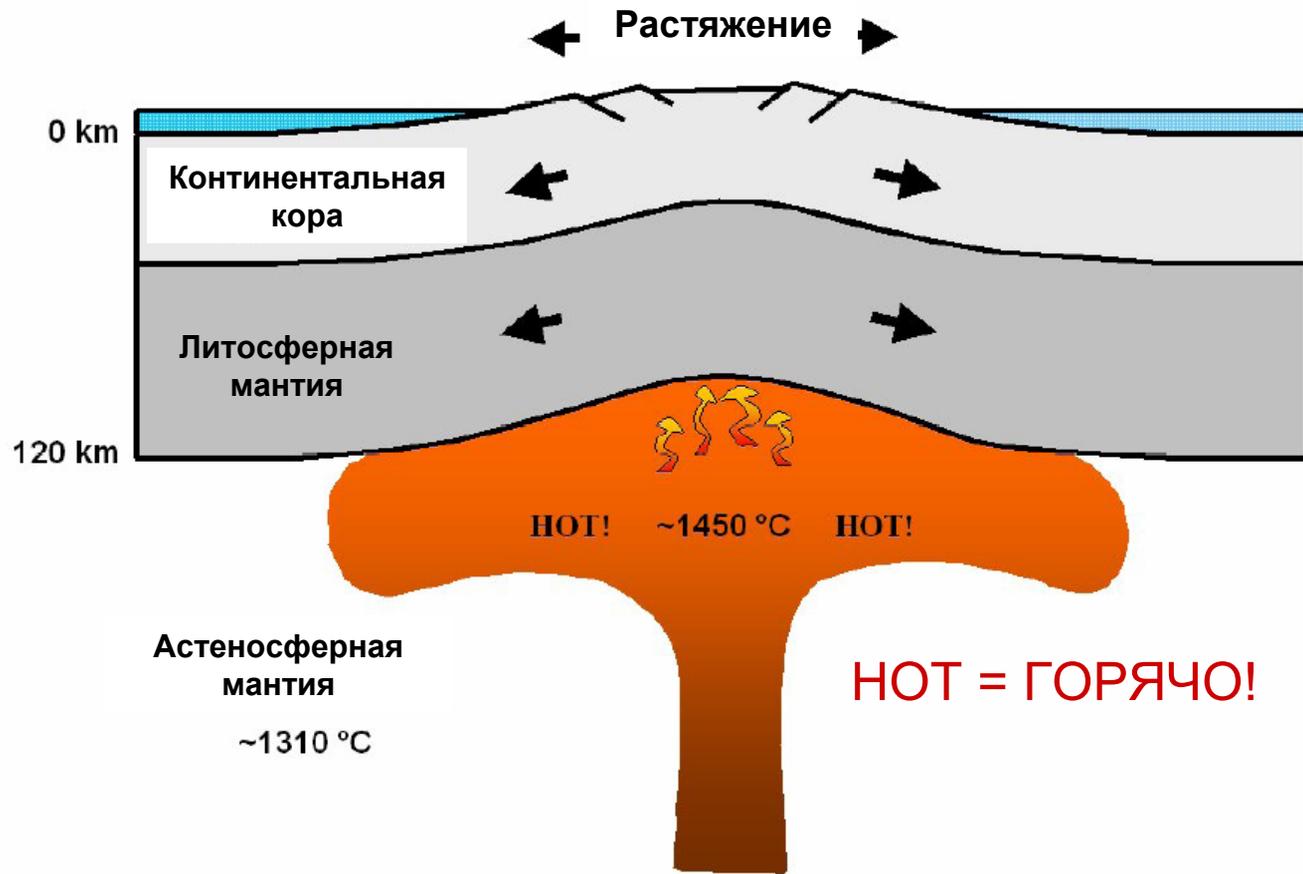
# Формирование активных рифтов



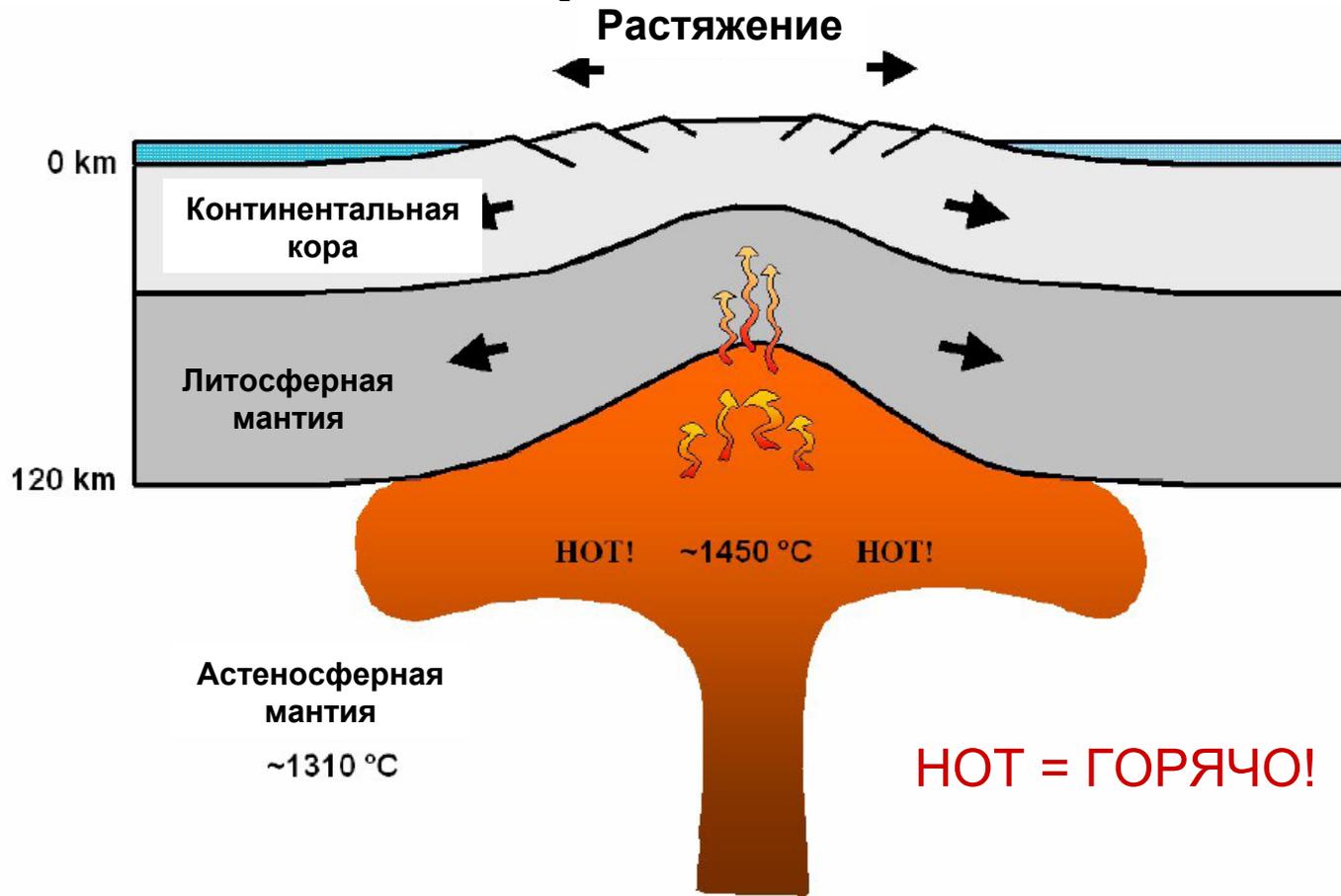
# Формирование активных рифтов



# Формирование активных рифтов

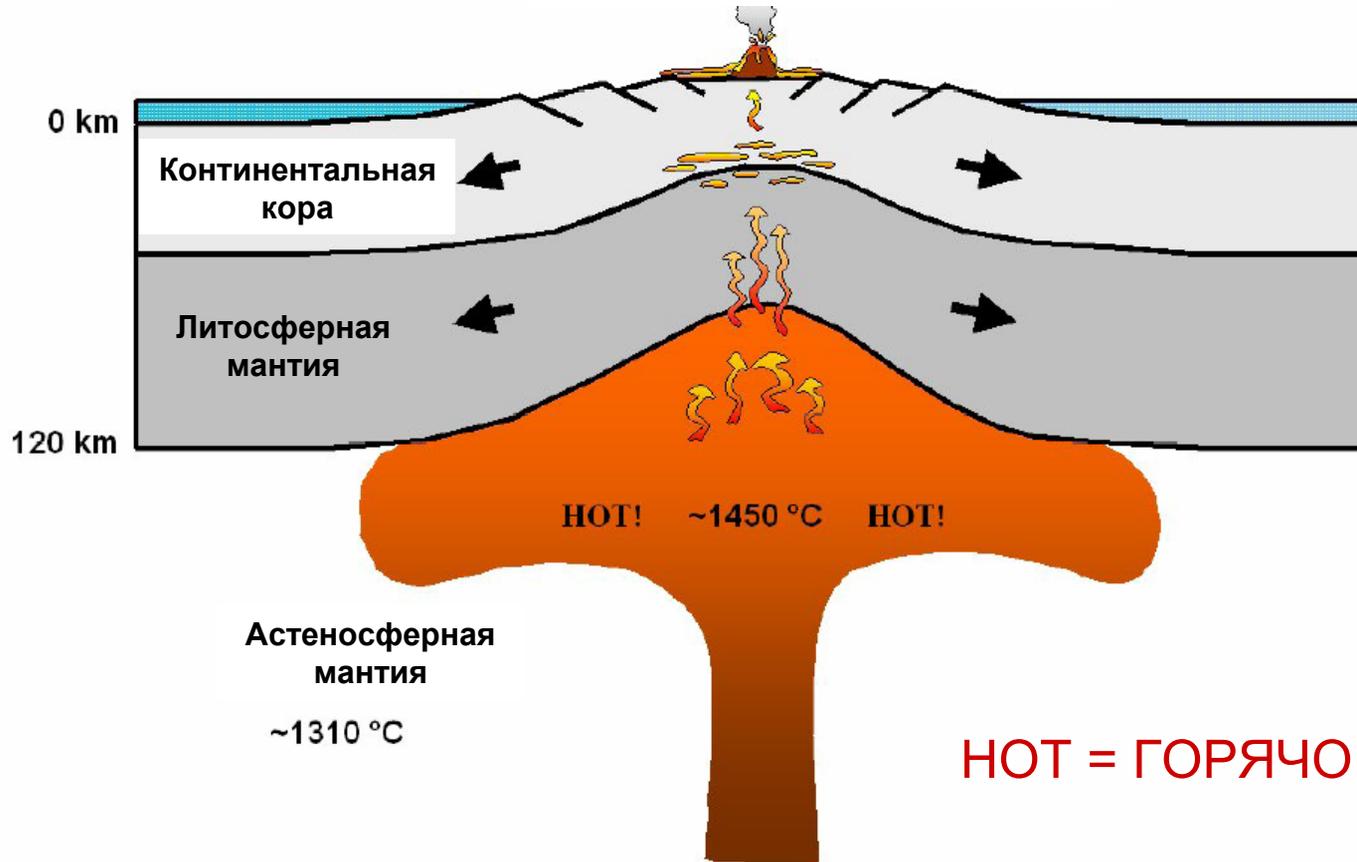


# Формирование активных рифтов



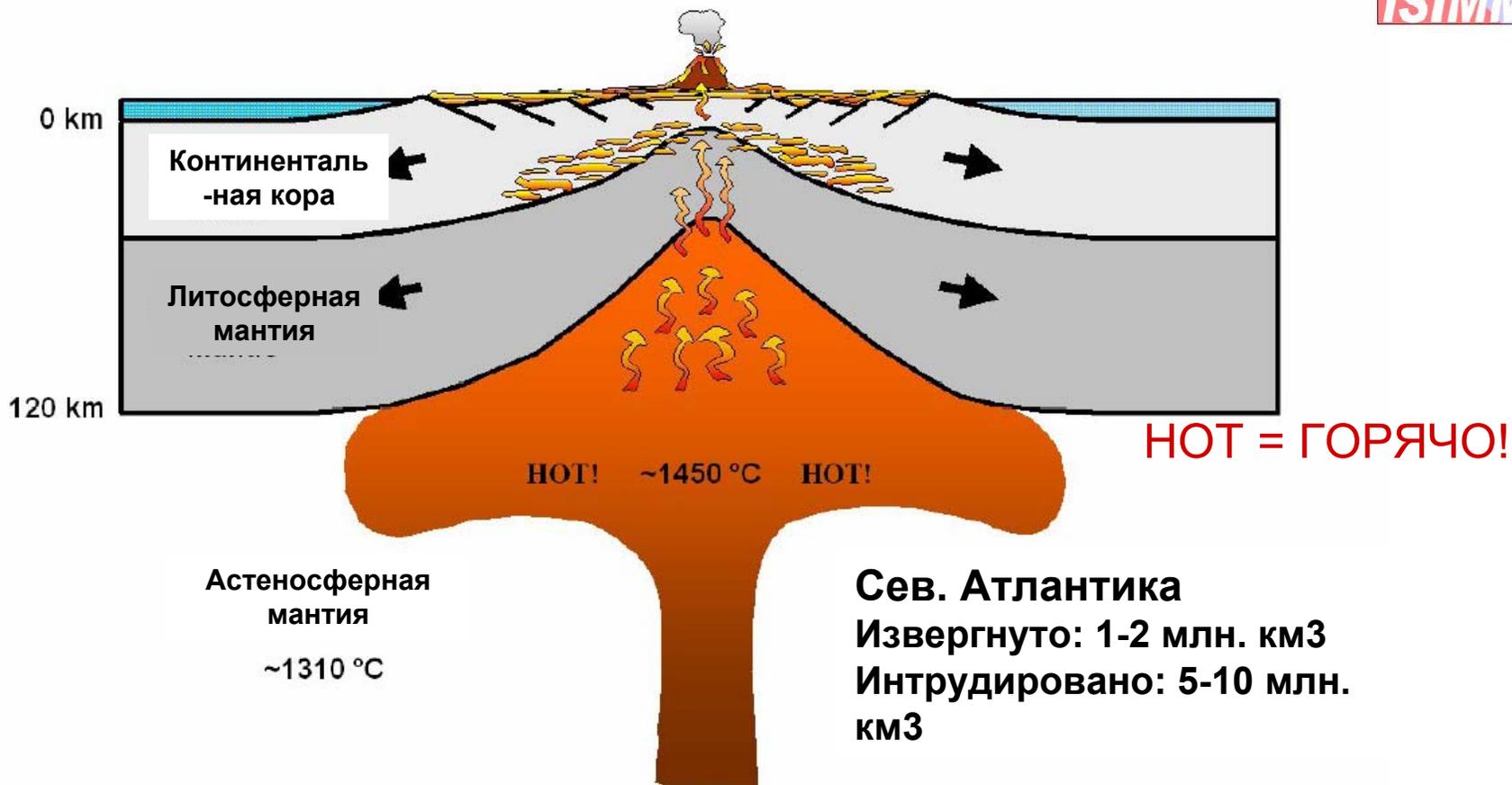
# Формирование активных рифтов

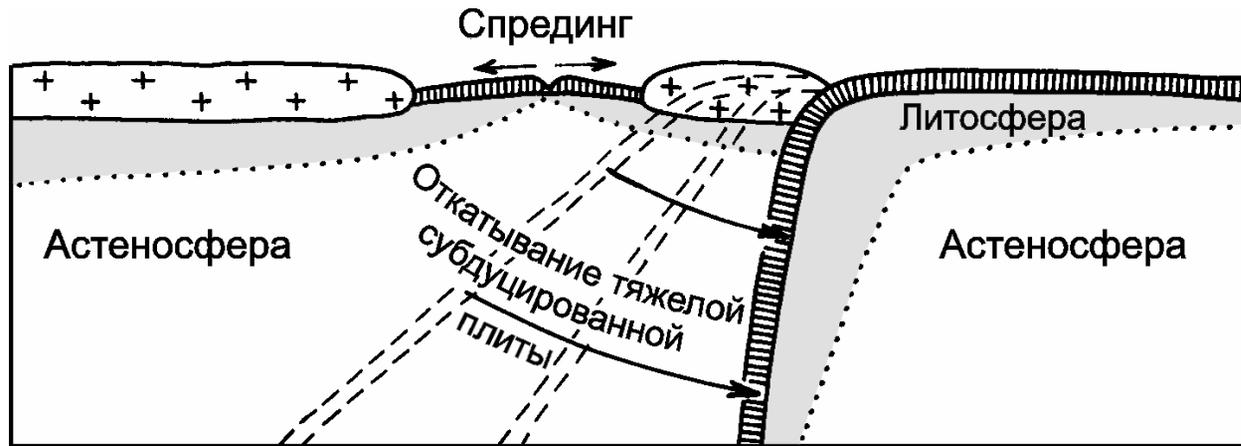
Начальный вулканизм



# Формирование активных рифтов

Массивный вулканизм



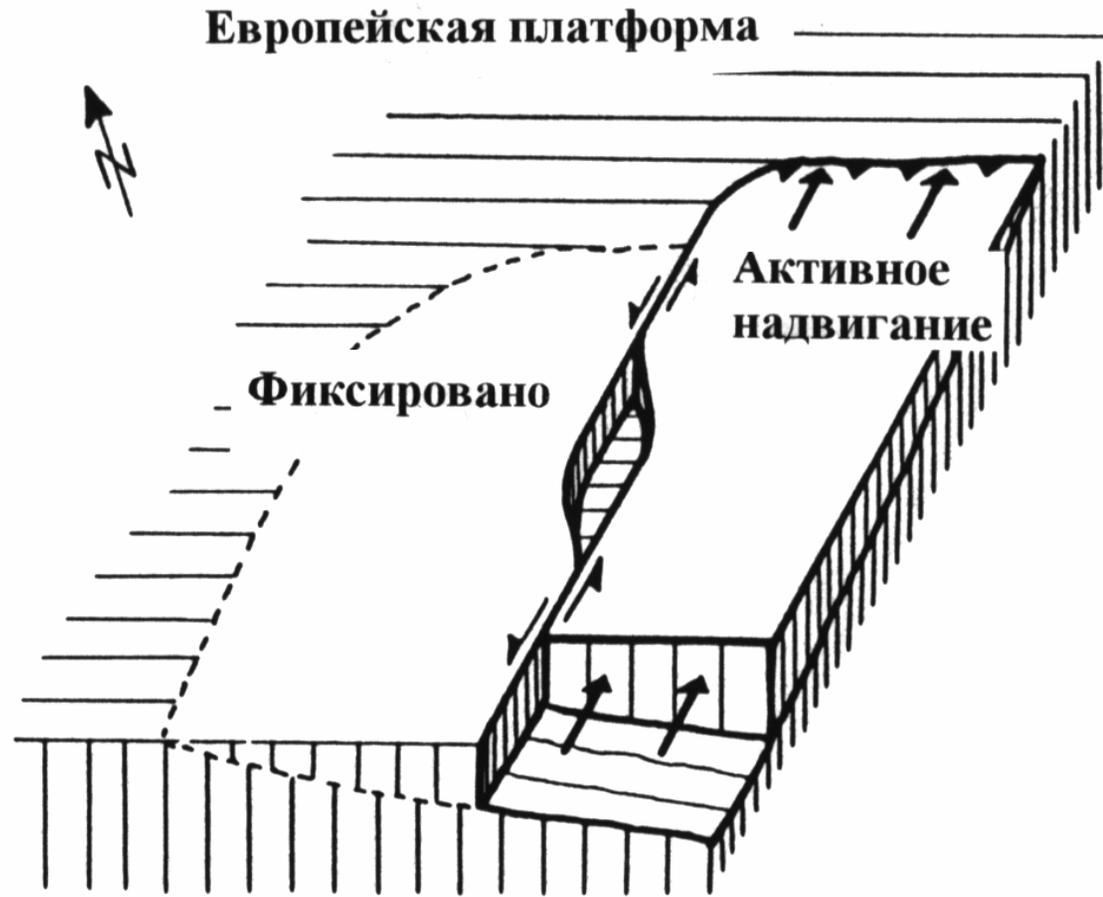


Модель формирования задугового спредингового бассейна за счет откатывания назад тяжелой субдуционной плиты (Никишин, 1992, 1999).

### Механизм формирования импактогенного рифта



Схема образования импактогенного грабена.



Схематическая диаграмма, показывающая модель раскрытия Венского грабена как бассейна типа “pull-apart”. По (Royden, 1985).

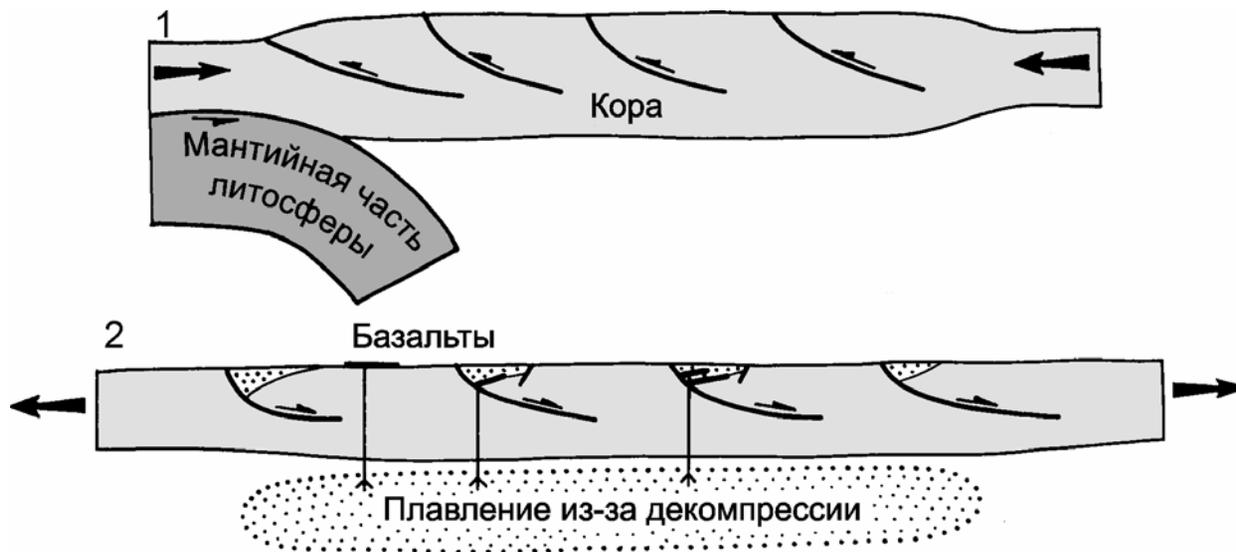
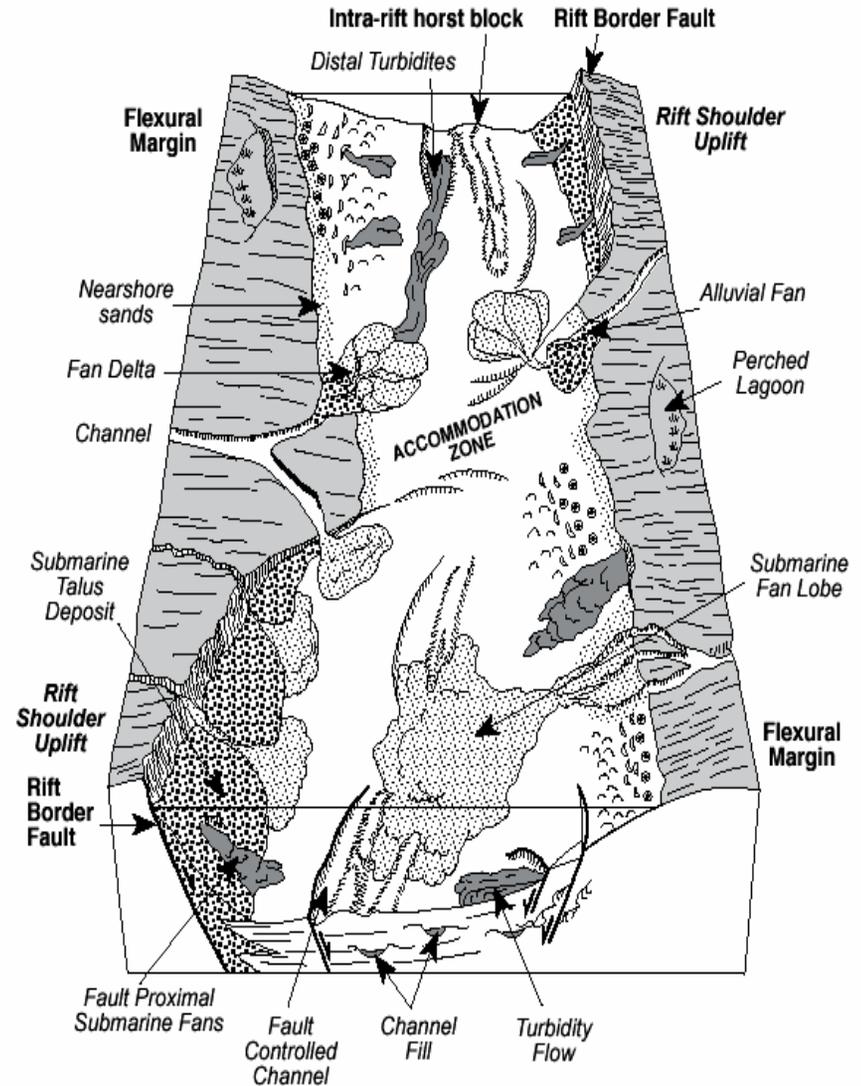


Схема образования коллапсных посторогенных рифтов (Никишин, 1992, 1999).

# Осадочные системы в рифтах

- Зоны сочленения формируют относительные возвышения во время развития бассейна, что может к образованию областей, с отсутствием син-рифтовых коллекторов.
- Трасляционные ramпы потенциально могут служить каналами доставки осадков в развивающийся бассейн.
  - По мере разрыва рампы или воздымания и реорганизации блоков, каналы доставки осадков могут значительно измениться.
  - Изменение направлений рассеивания осадков и покидание ранее существовавших депоцентров.



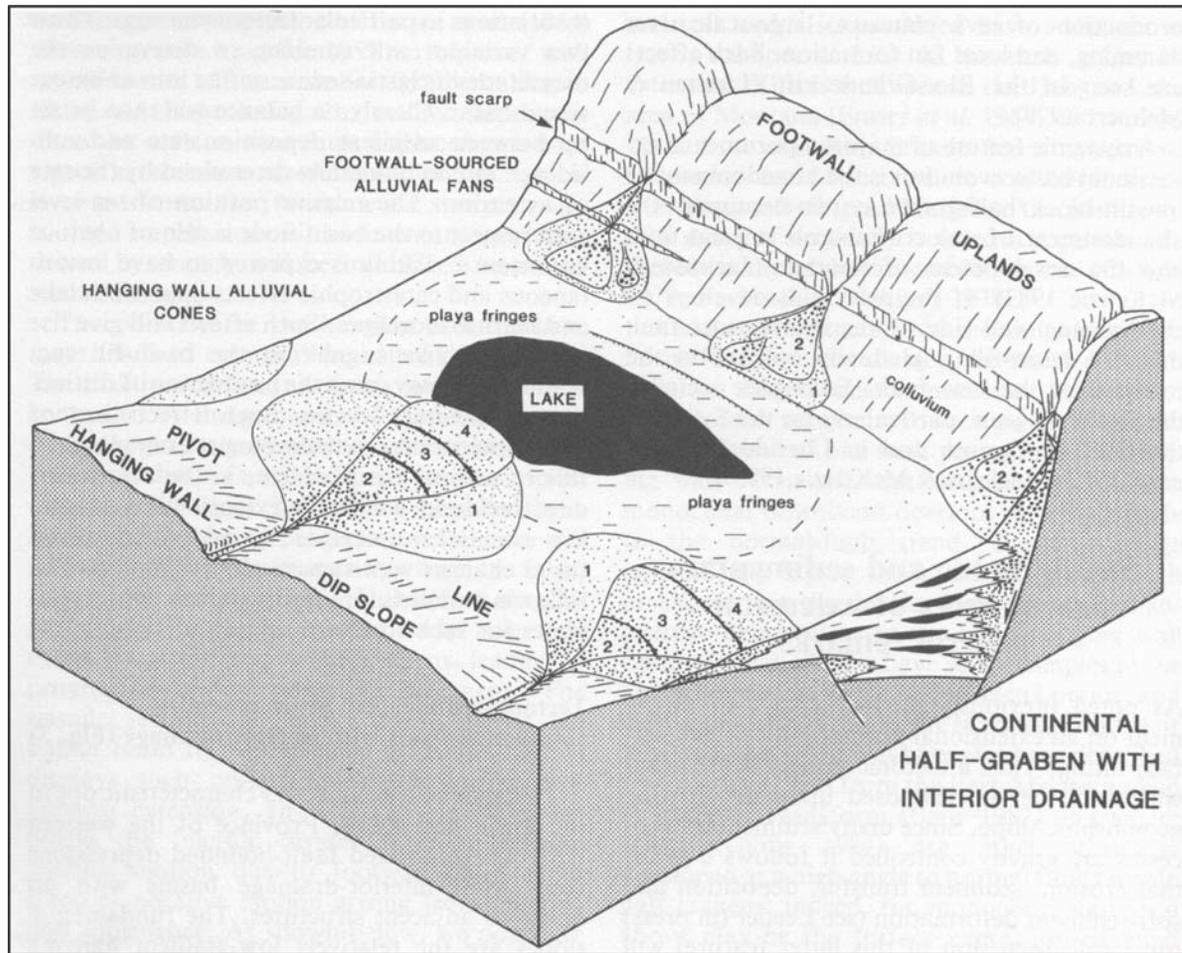


Диаграмма показывающая основные особенности седиментации в бассейне континентального полуграбена с внутренним дренажем ( Leeder, Gawthorpe, 2002). В реальности может быть несколько разломов усложняющих обстановку. 1, 2, 3, 4 показывают последовательность отложения осадков.

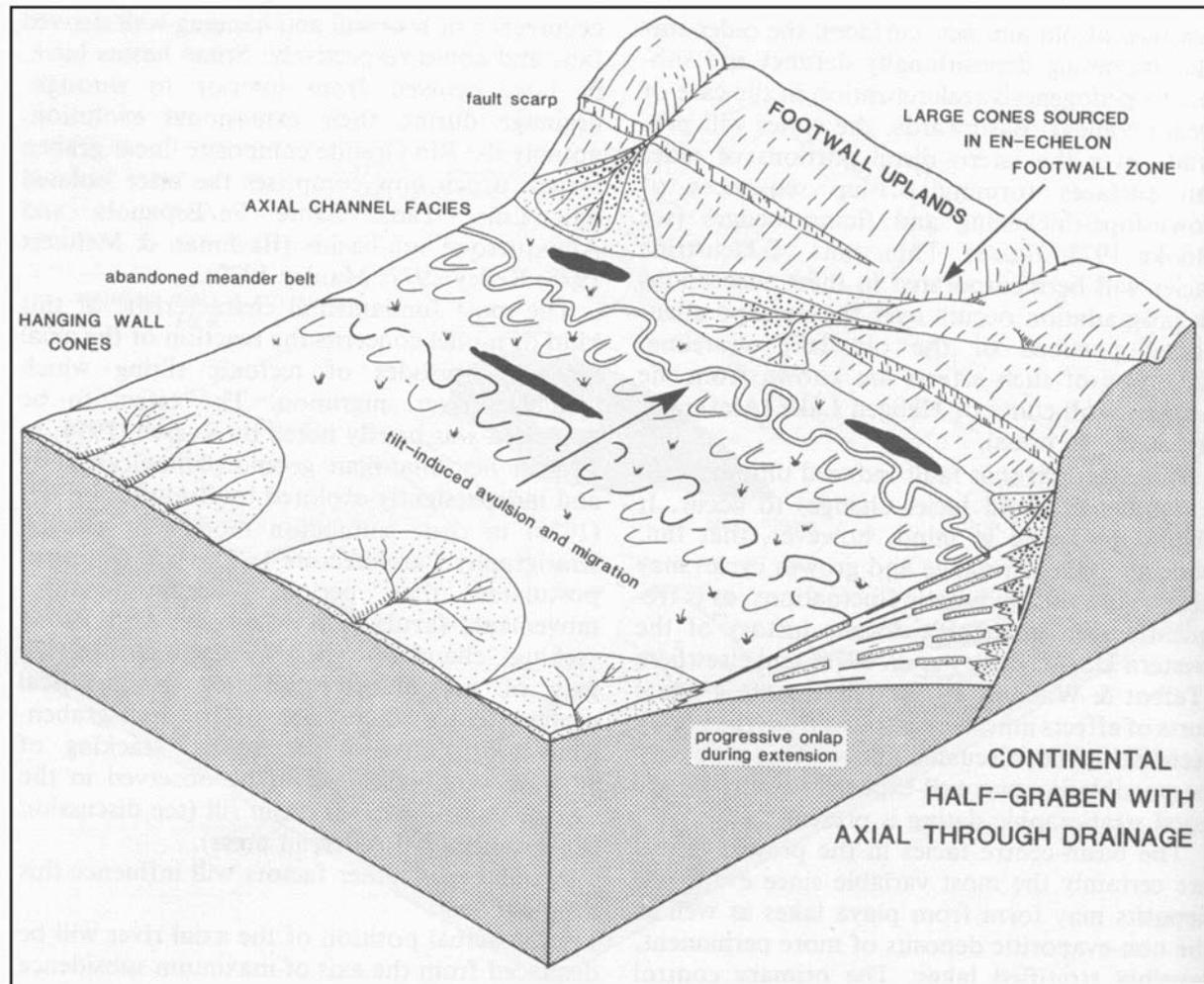


Диаграмма показывающая основные особенности седиментации в бассейне континентального полуграбена с осевым продольным дренажем ( Leeder, Gawthorpe, 2002).

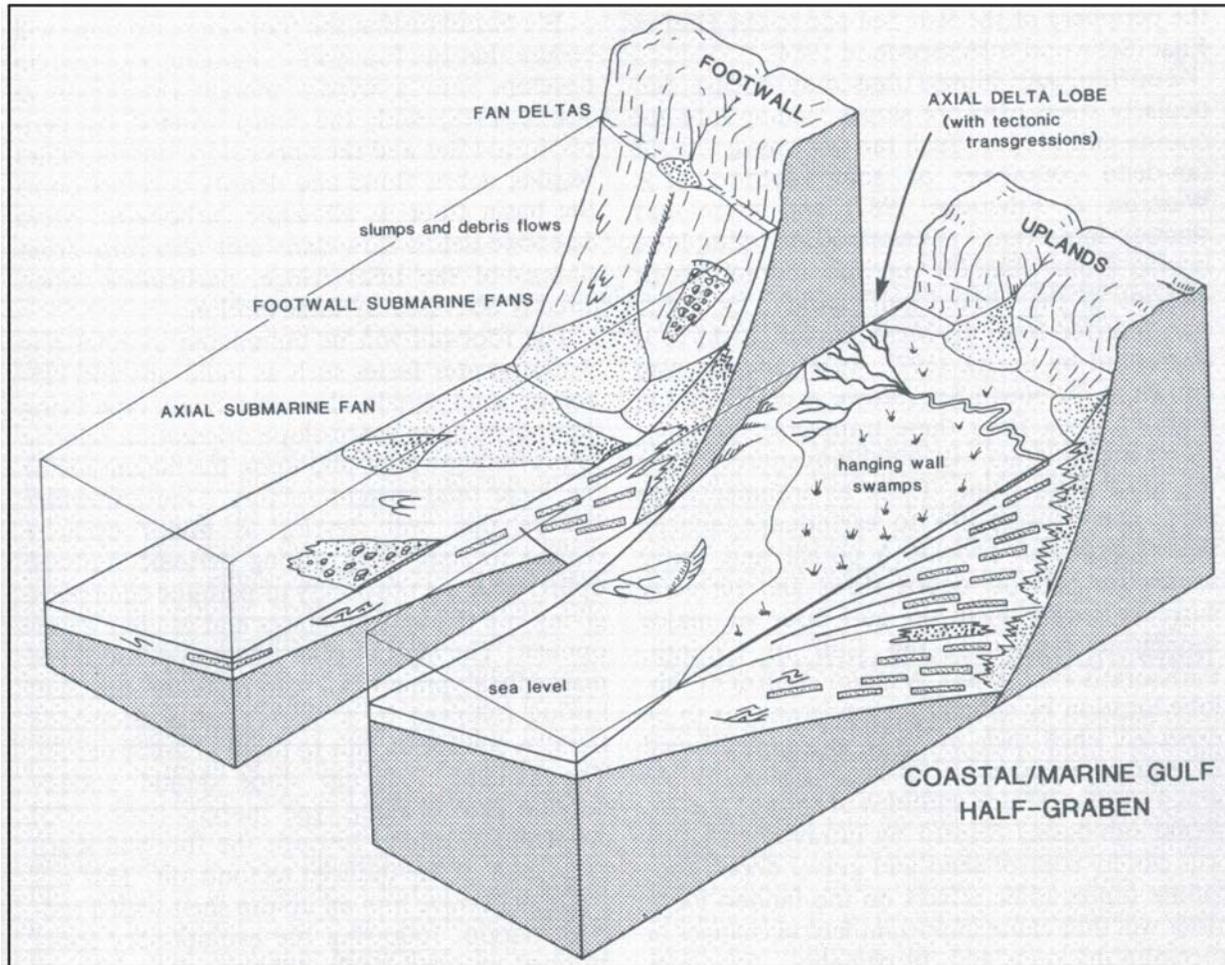
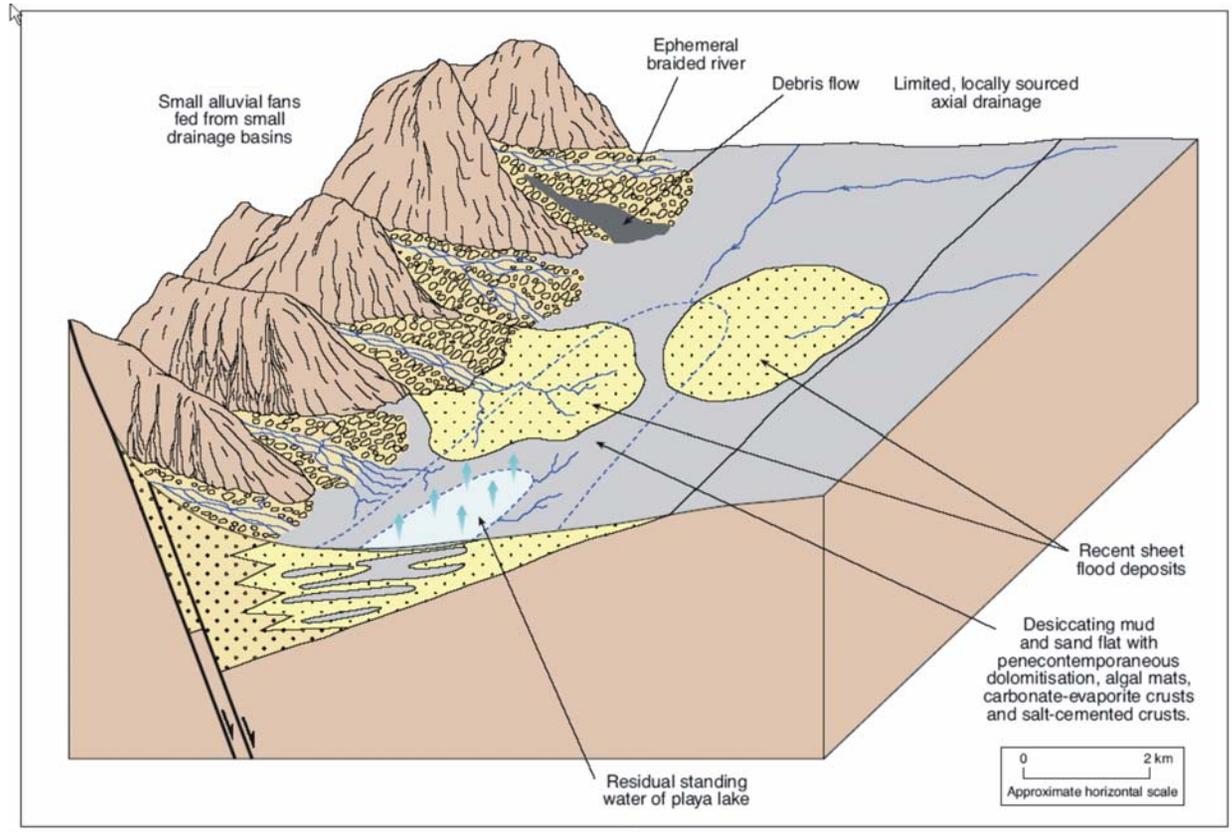


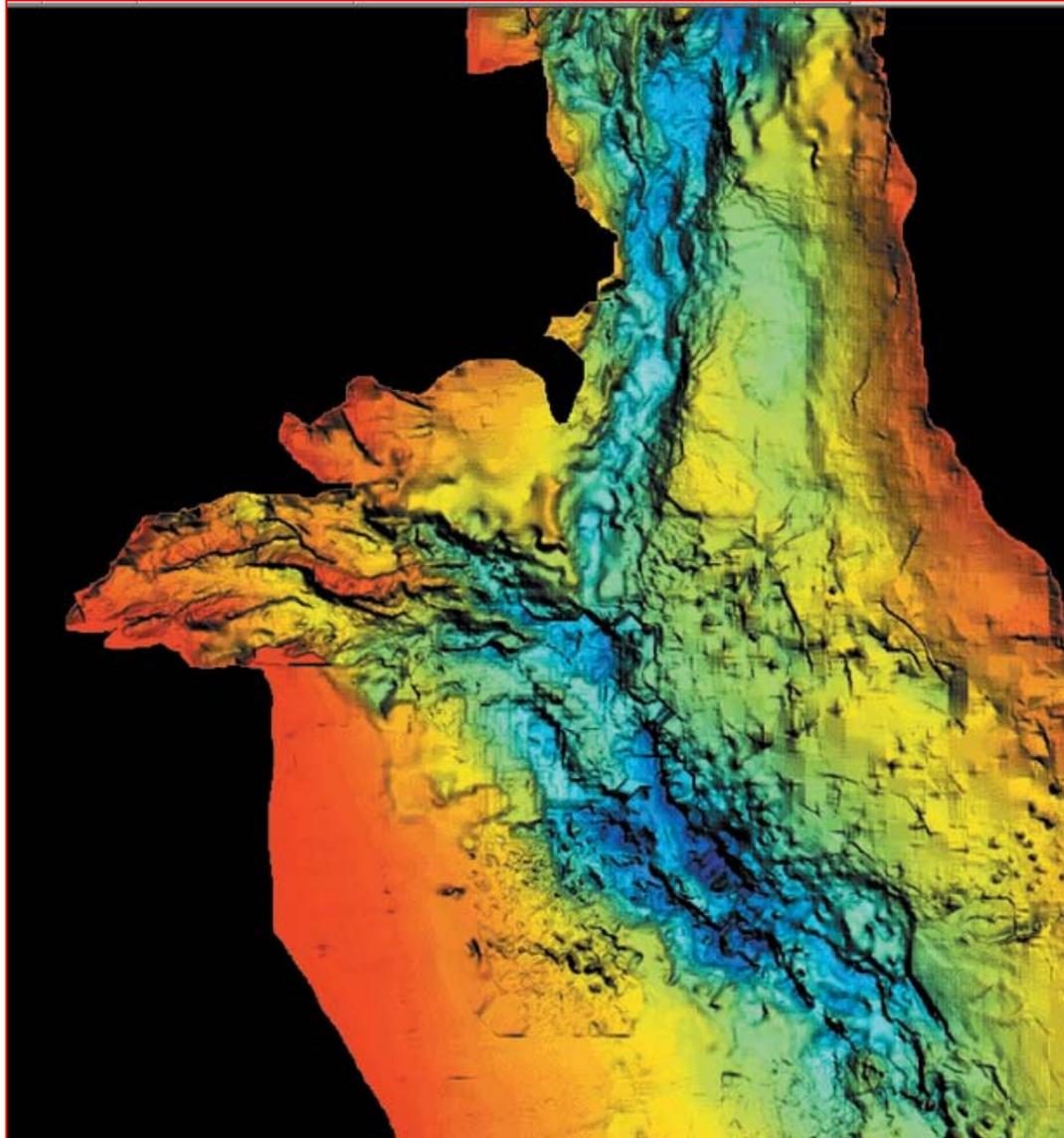
Диаграмма показывающая основные особенности седиментации в бассейне полуграбена с прибрежной и морской (морского залива) седиментацией ( Leeder, Gawthorpe, 2002).



Модель формирования девонского полуграбена с заполнением осадками Древнего красного песчаника (Rogers, 1987)

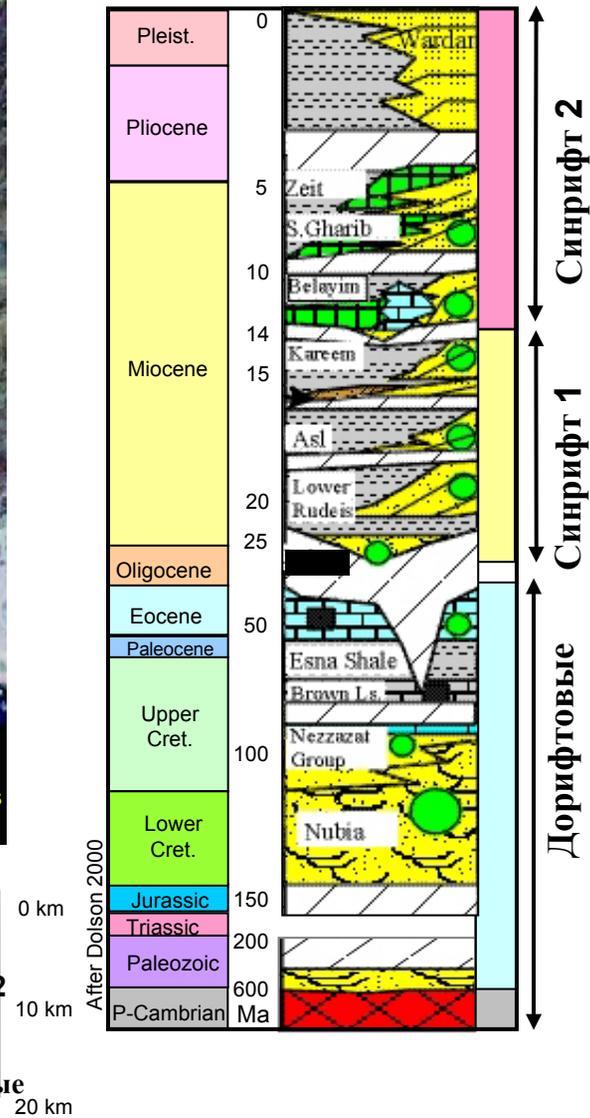
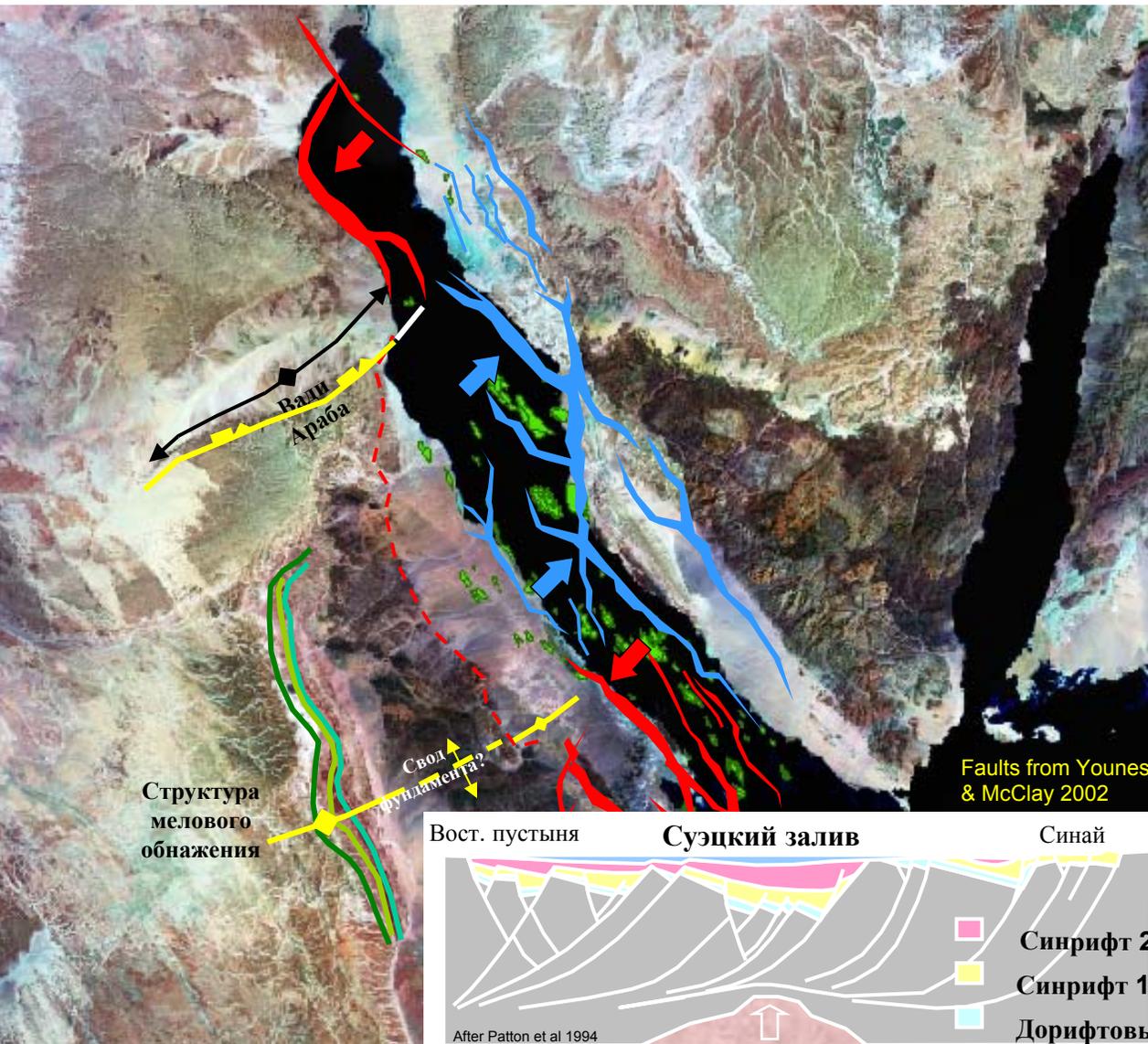
# Северное море

Кровля  
юрских  
отложений  
по двойному  
времени  
пробега  
(TWT)

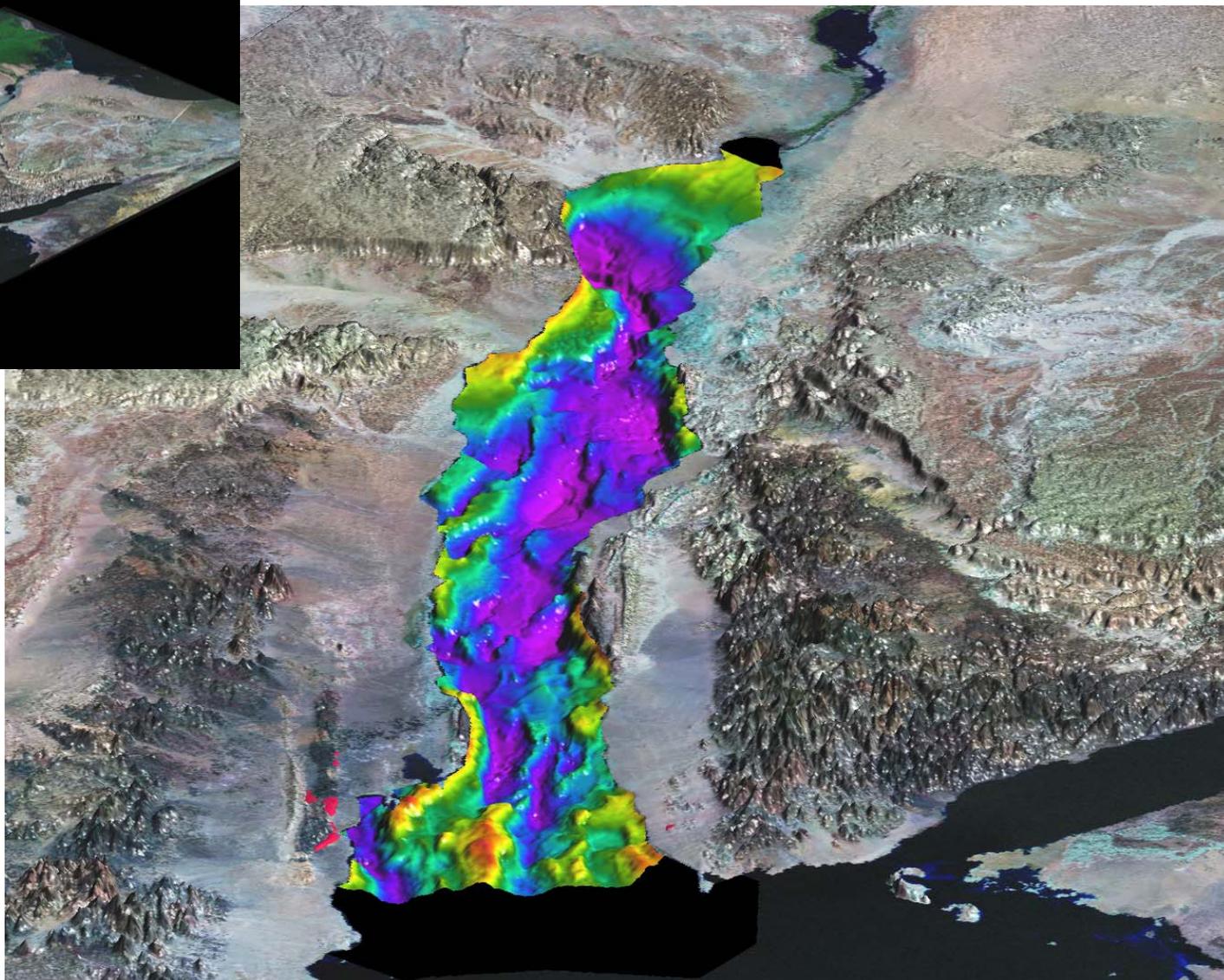
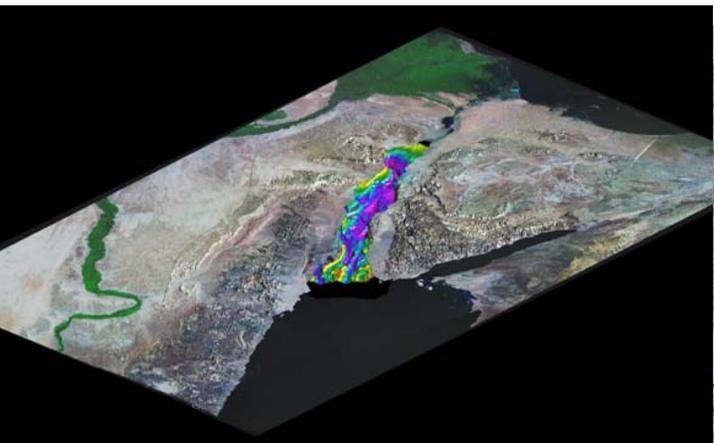


Составное 3D  
изображение

# Ассиметрия в районе Суэцкого залива

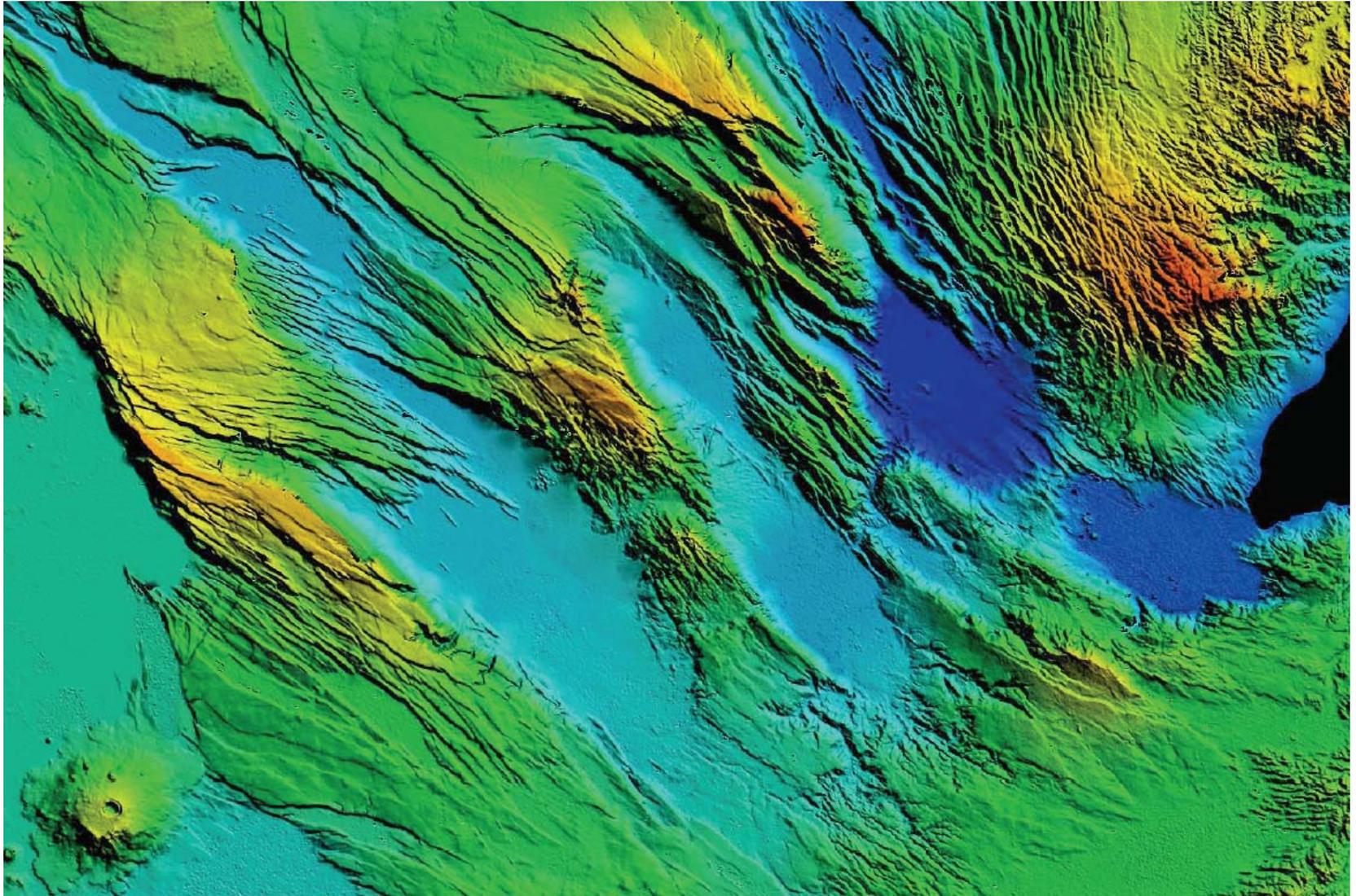


# Структура фундамента в районе Суэцкого залива

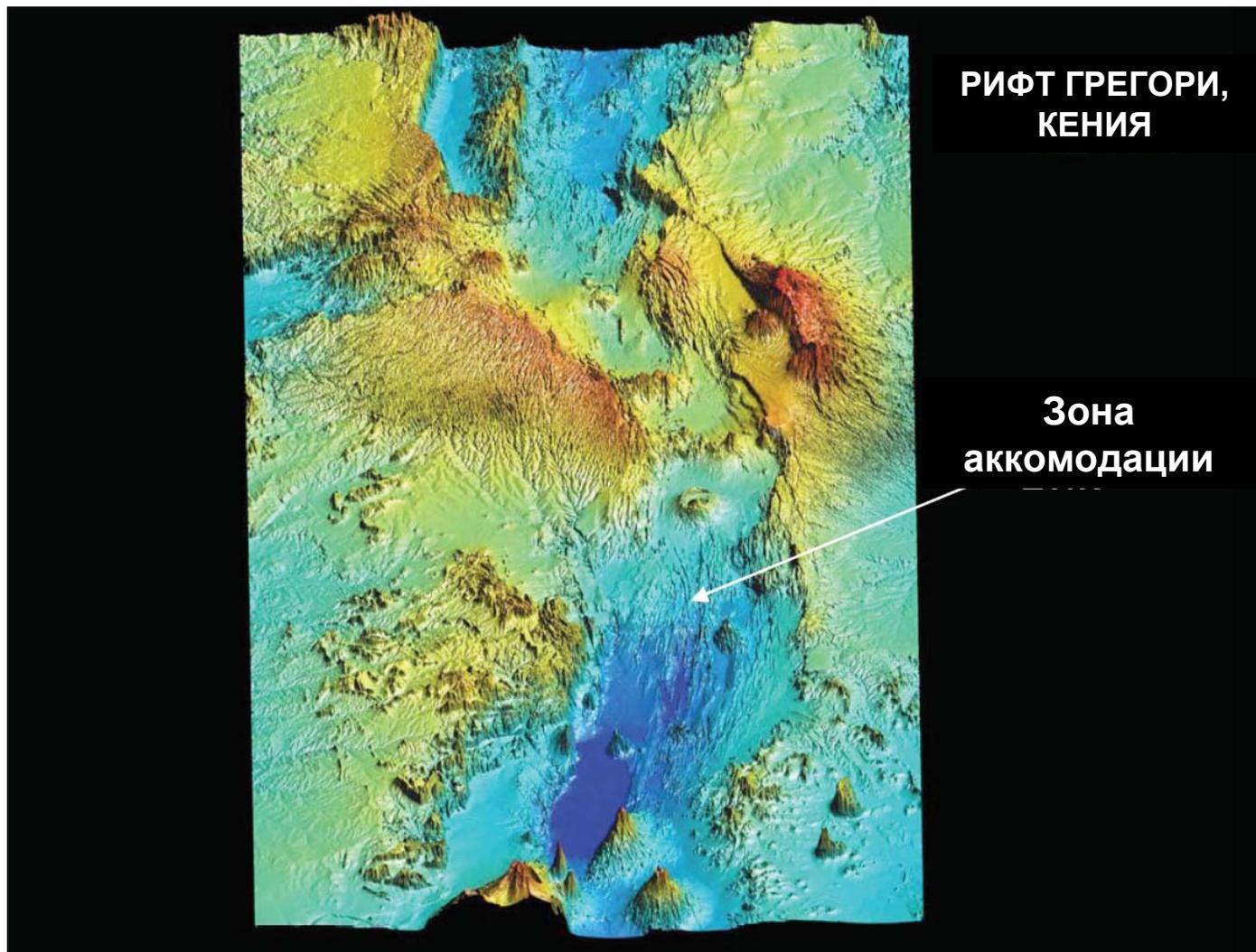


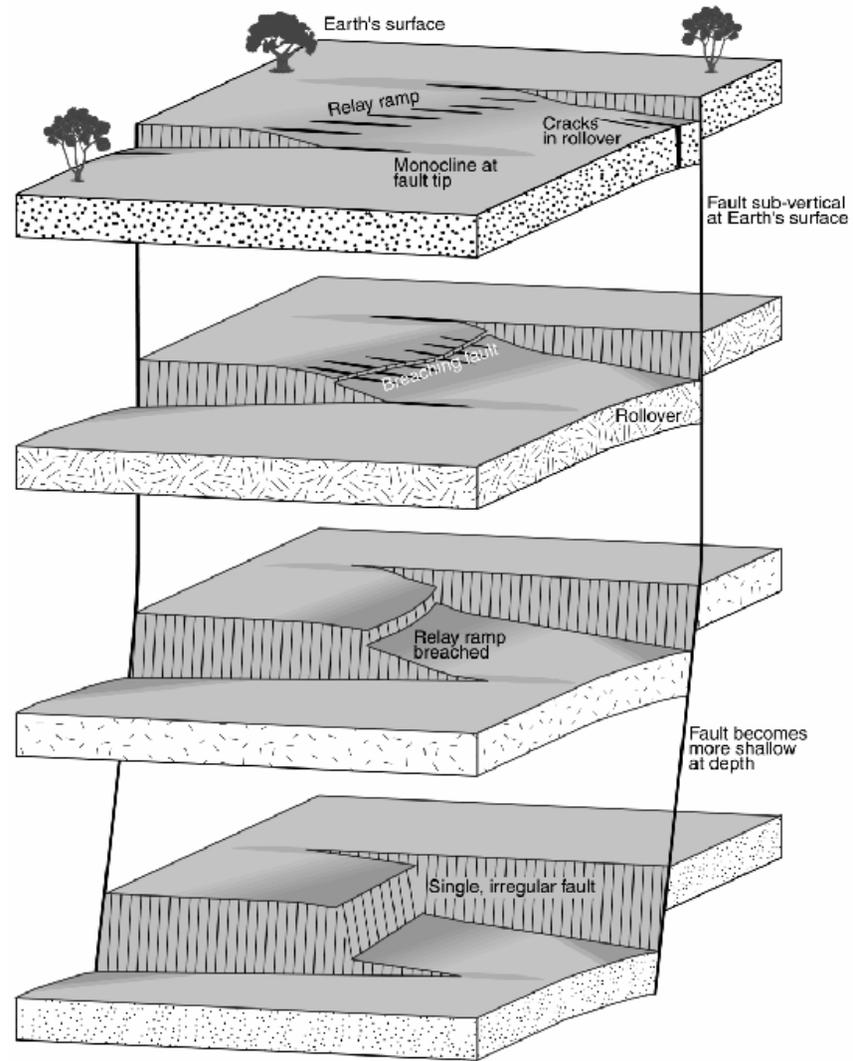
Глубинная поверхность получена путем интеграции аэромагнитных данных (BP & Archimedes)

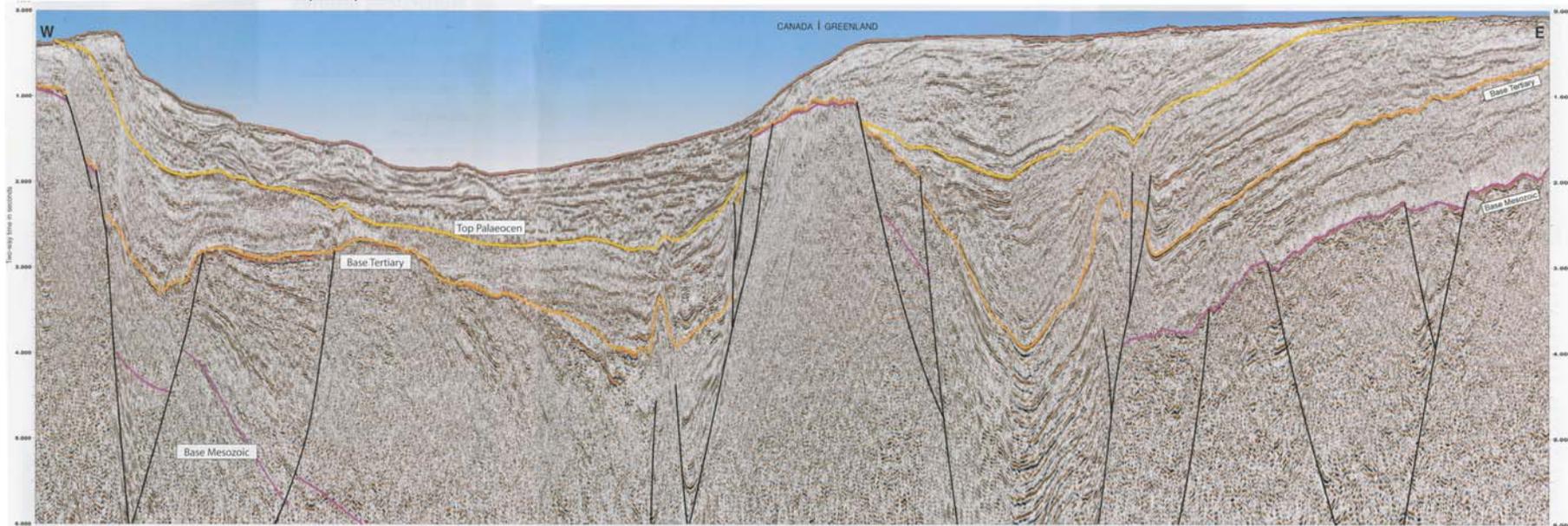
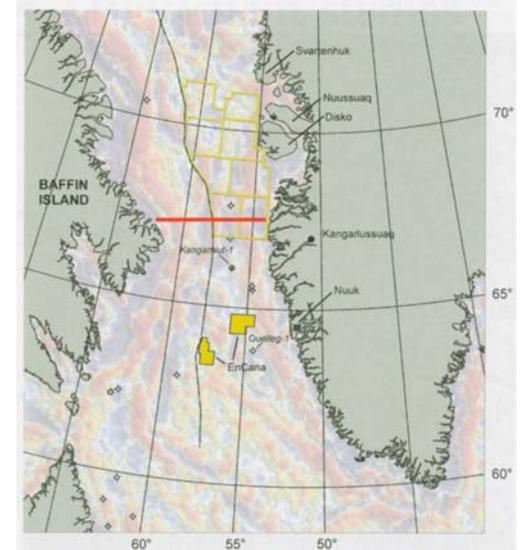
# Рифт Джибути, Афар

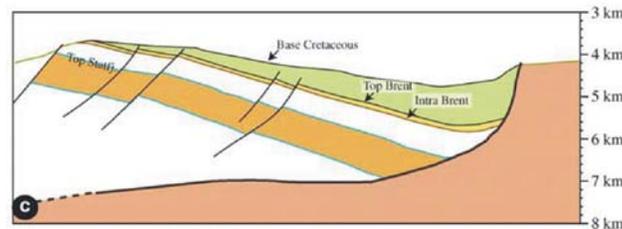
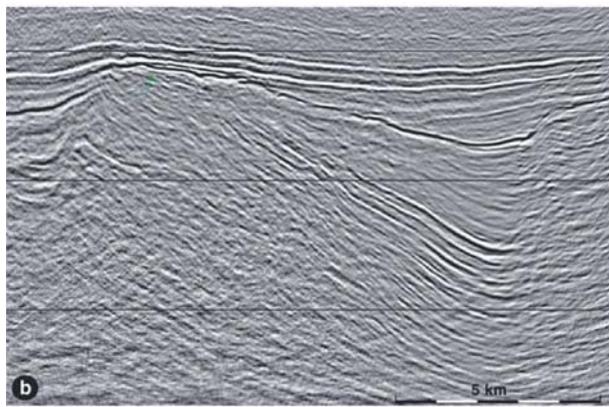
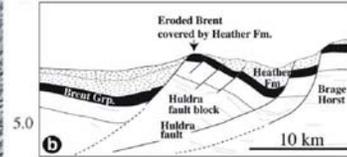
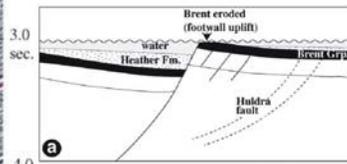
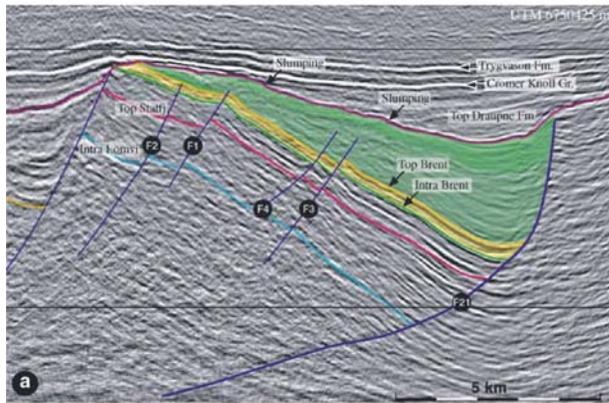
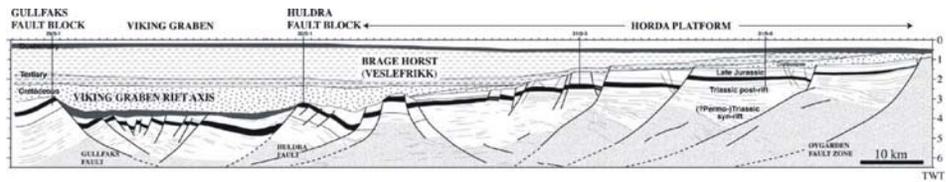


# Аккомодационные зоны, восточно-африканский рифт





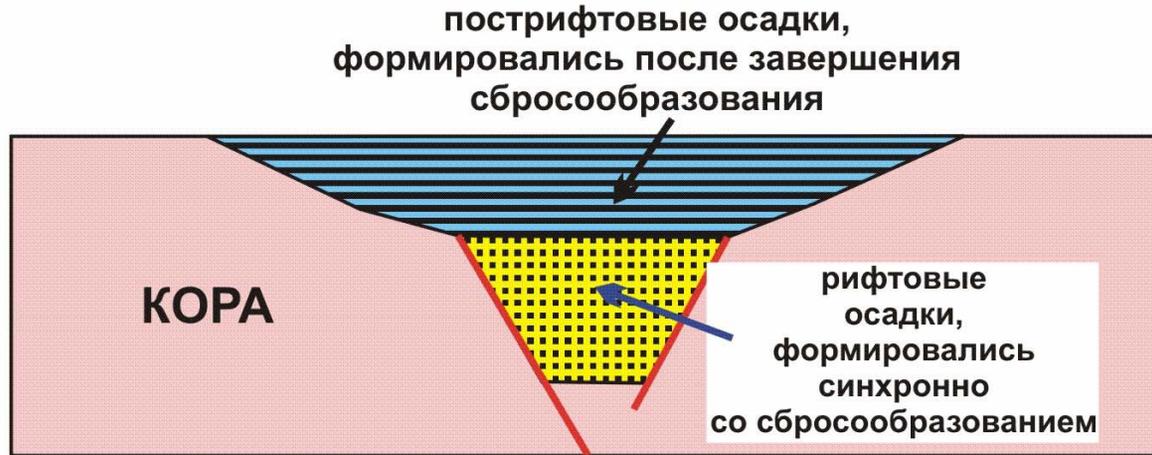






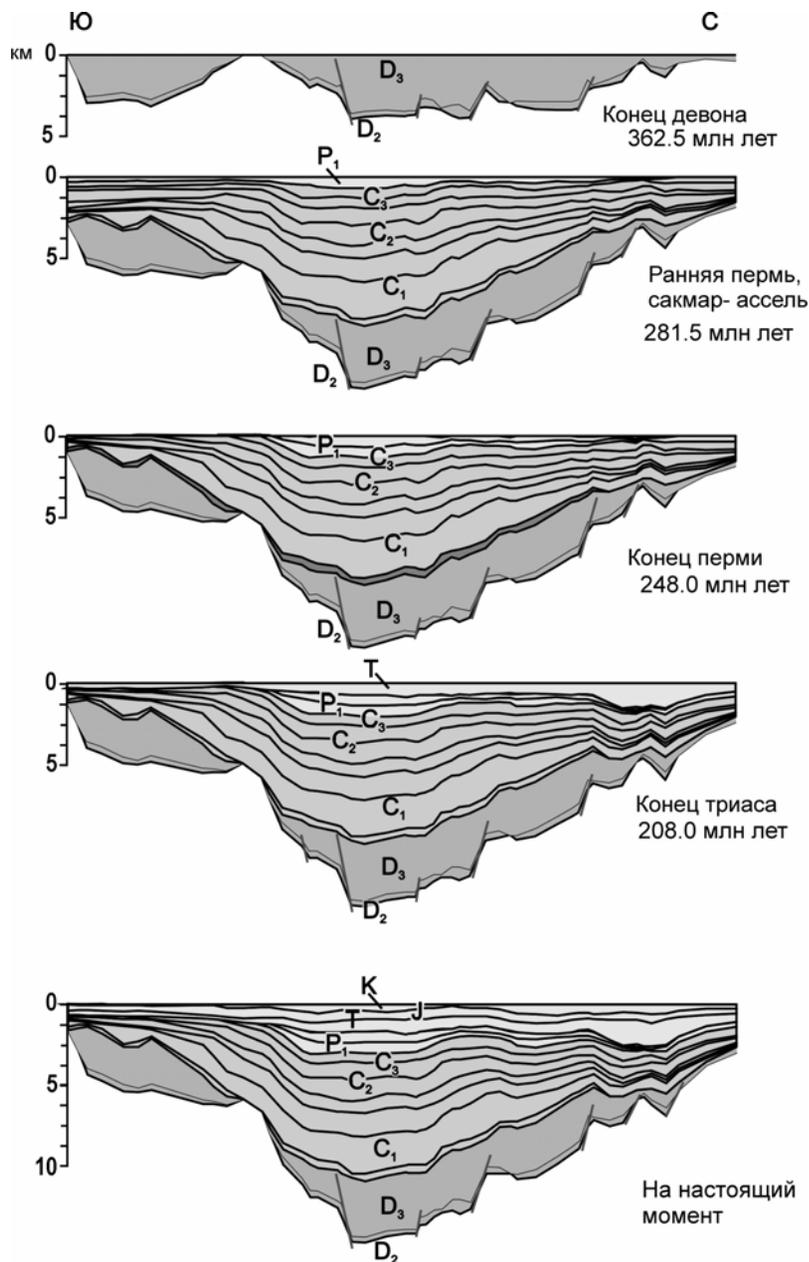
# Пострифтовые осадочные бассейны

## Схема строения пострифтового бассейна

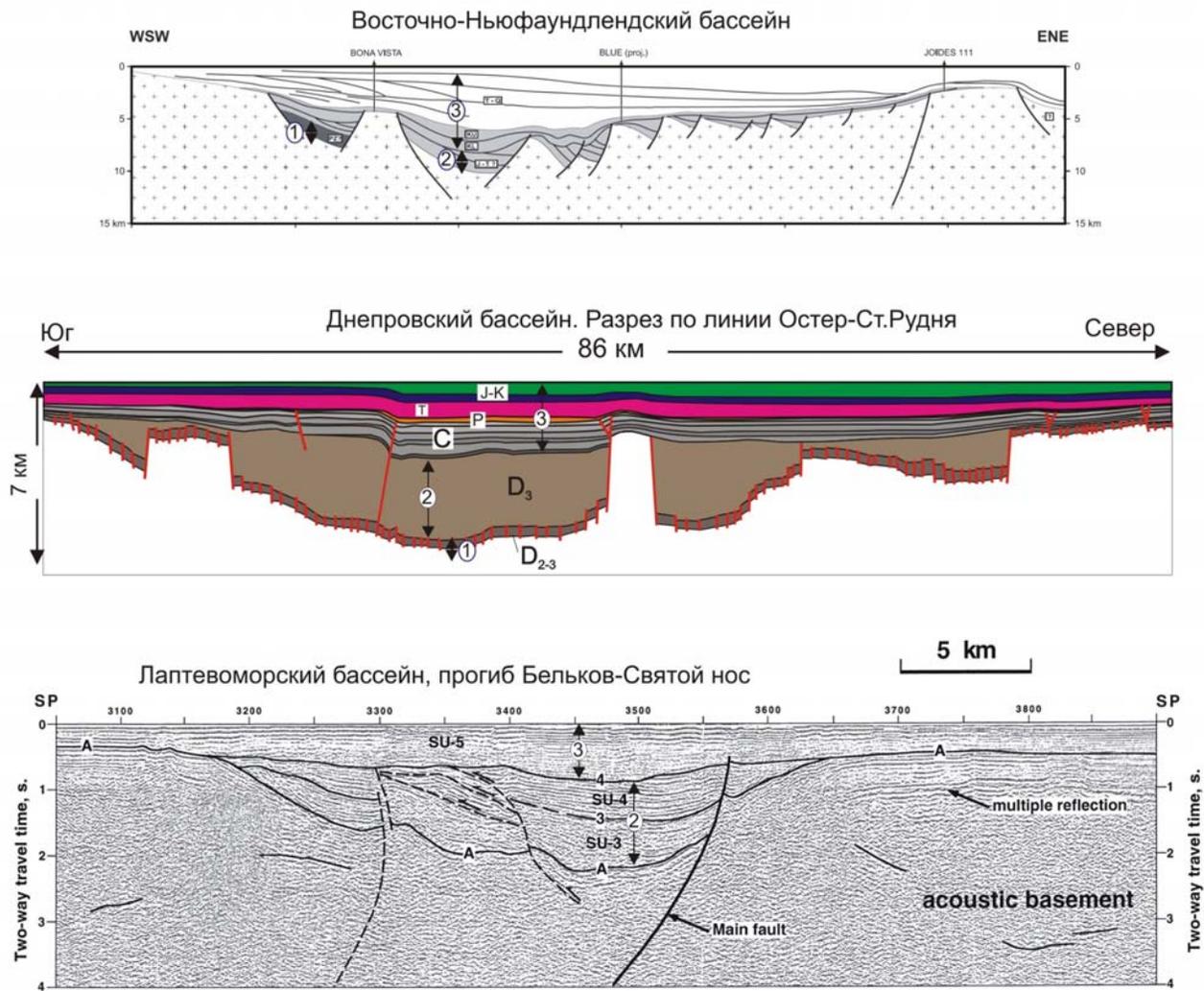


## Схема строения Днепровского пострифтового бассейна (частично реконструированы эродированные осадки)



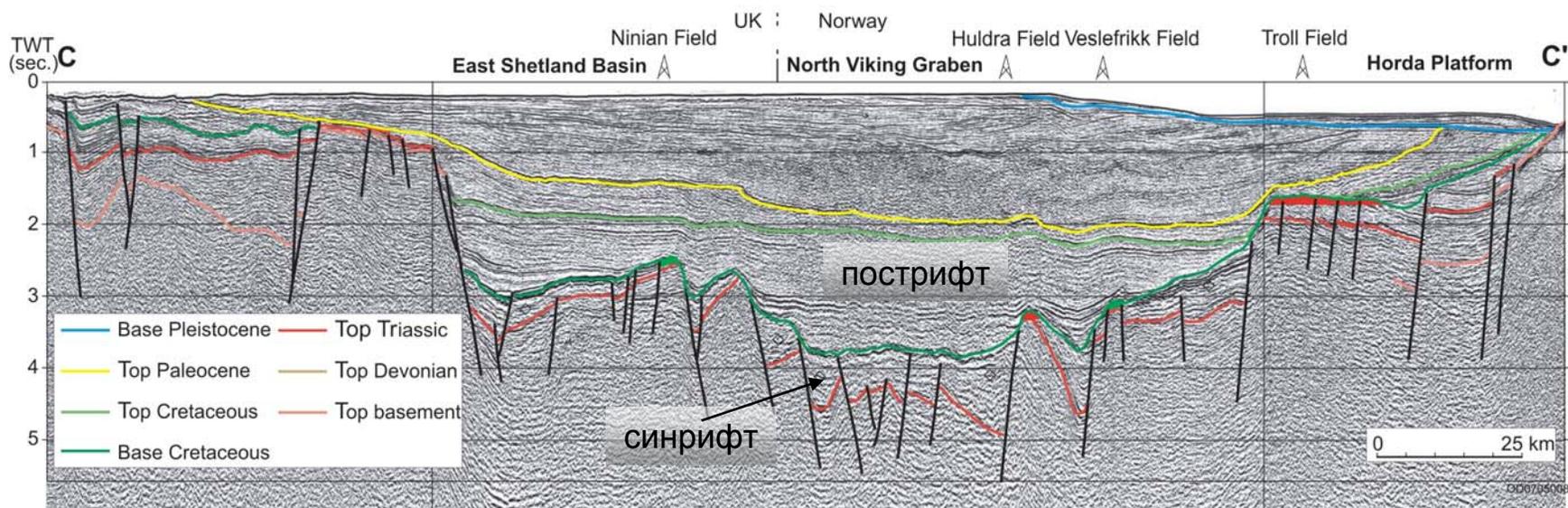
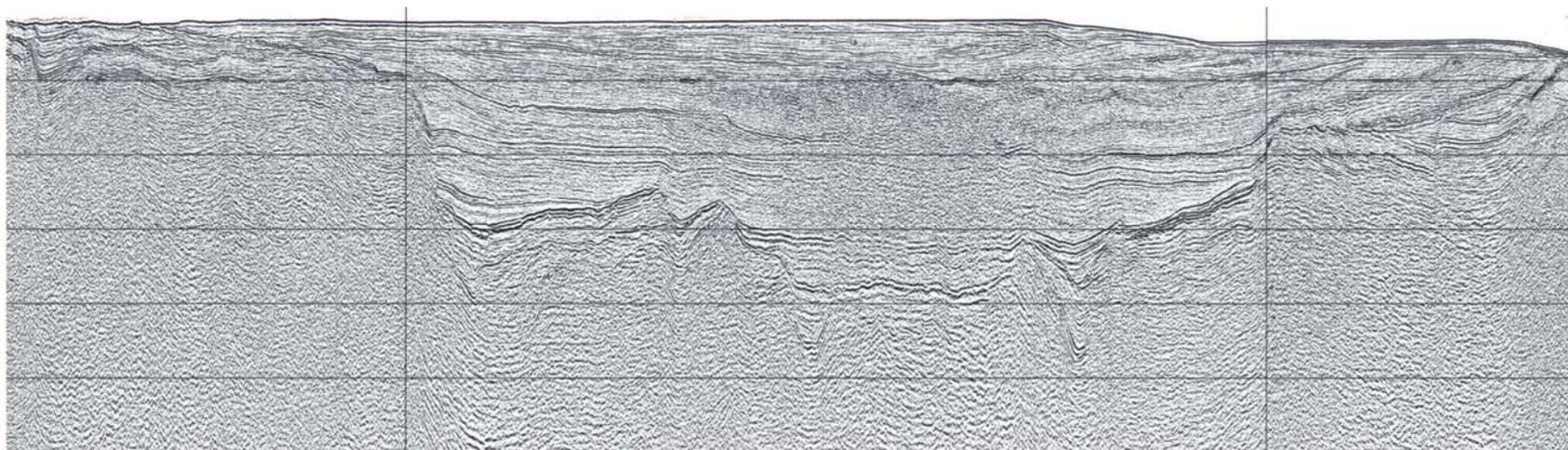


Реконструкция истории Днепровского бассейна (Никишин и др., 1999). В девоне была рифтовая стадия развития, в карбоне-мелу – эпоха пострифтового термального погружения. Разрез по линии ...

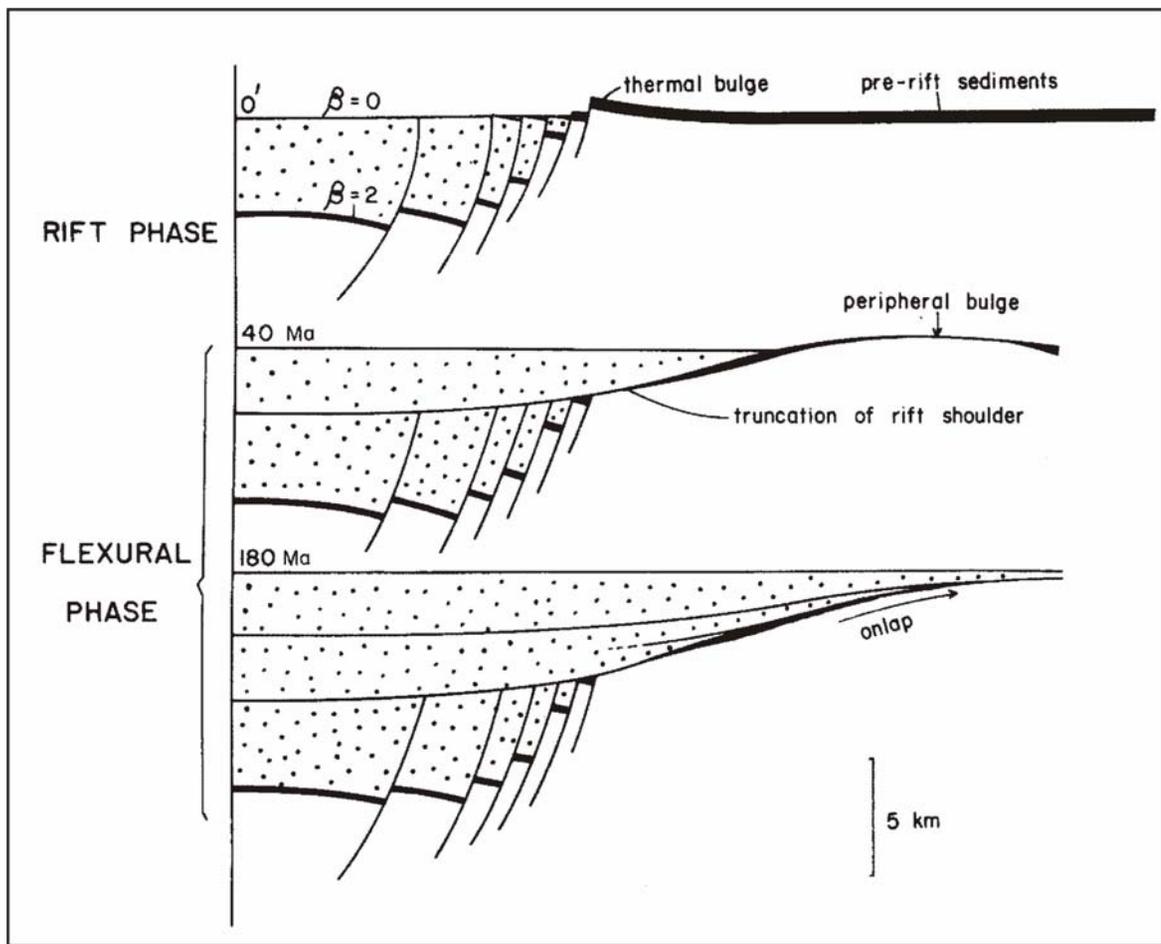


Разрезы типичных пострифтовых бассейнов. Восточно-Ньюфаундлендский бассейн по (Ziegler, Cloetingh, 2004), Днепровский бассейн по (Стобва и др., 2006), Лаптевоморский бассейн по (Drachev et al., 1998). 1 – дорифтовые осадки, 2 – рифтовые (синрифтовые) осадки, 3 – пострифтовые осадки.

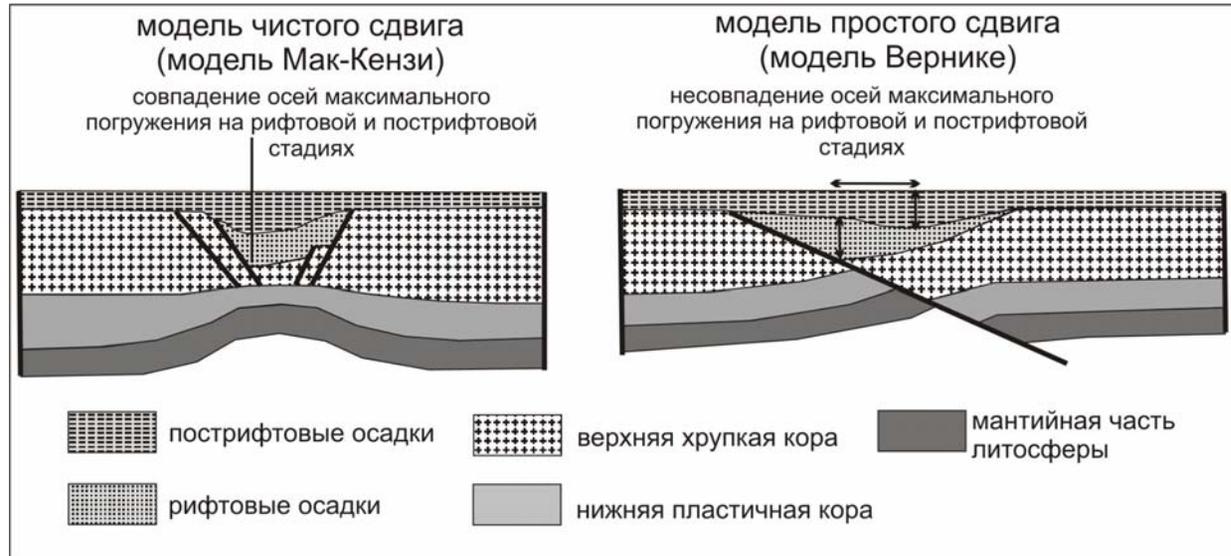
# Северное море, грабен Викинг



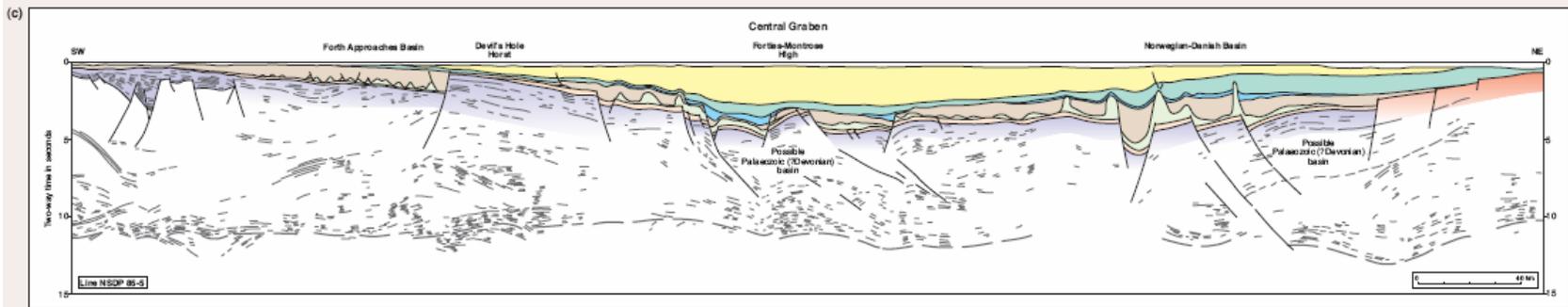
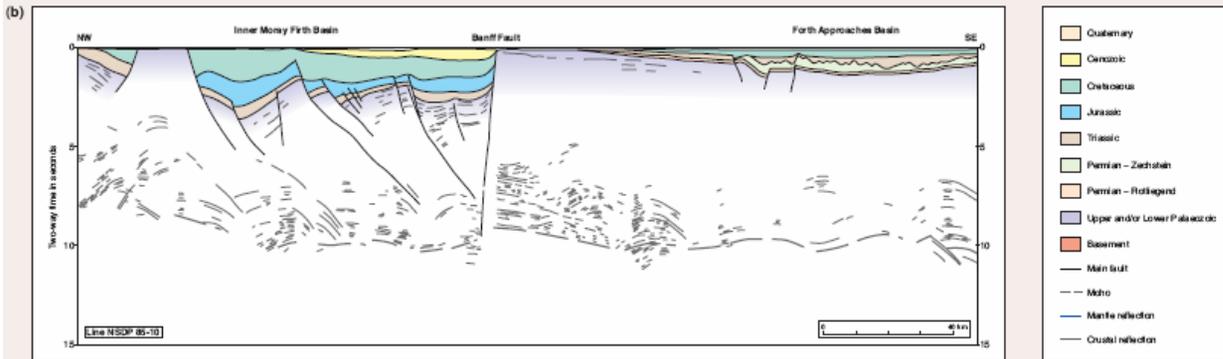
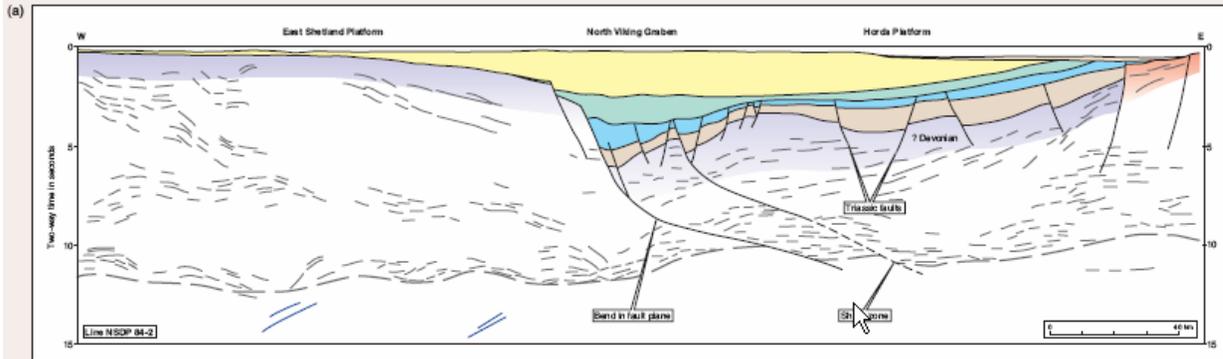
(Spencer 2008, Episodes)



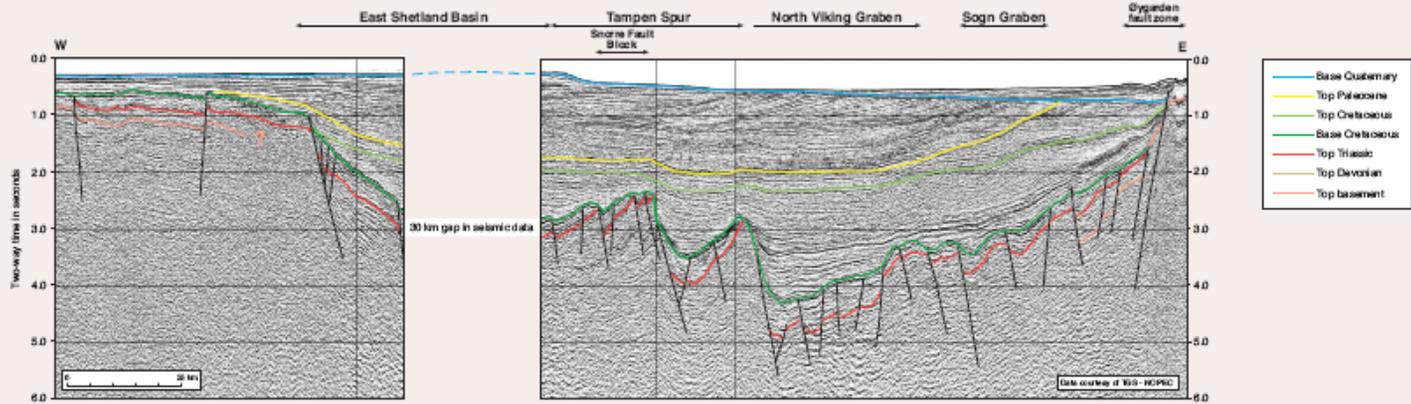
Эволюция осадочного бассейна на рифтовой и пострифтовой (флексурной) стадиях согласно модели синрифтового растяжения литосферы (McKenzie, 1978).



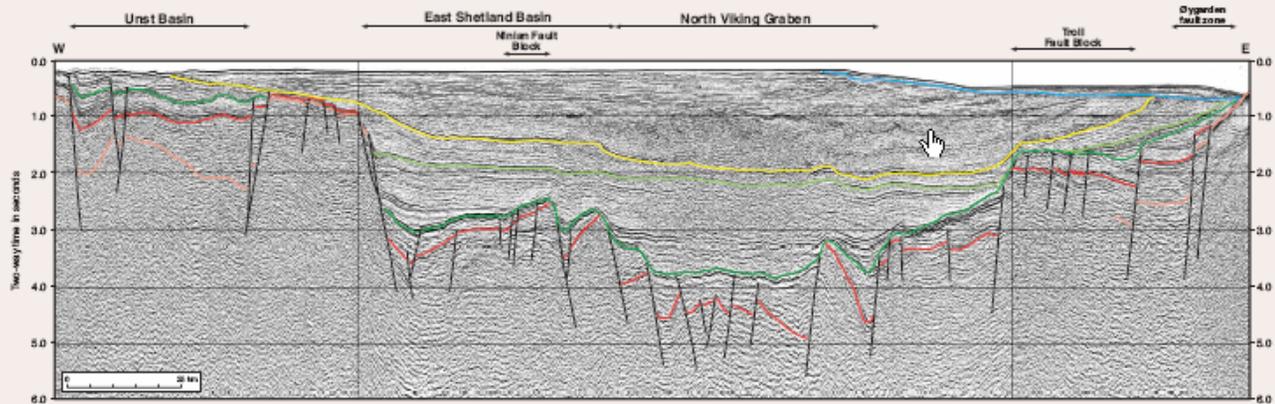
Теоретические совпадения и несовпадения осей максимального погружения на рифтовой и пострифтовой стадиях согласно разным моделям рифтинга.



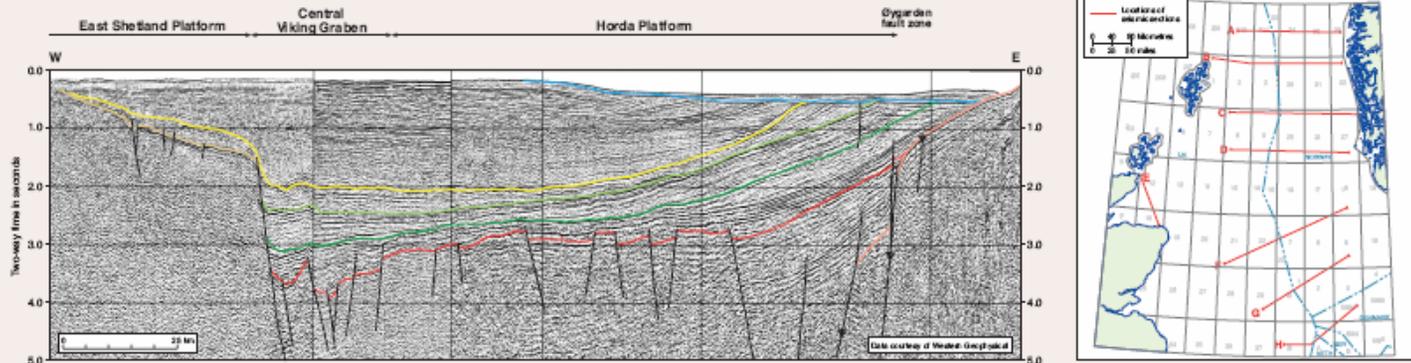
Section A

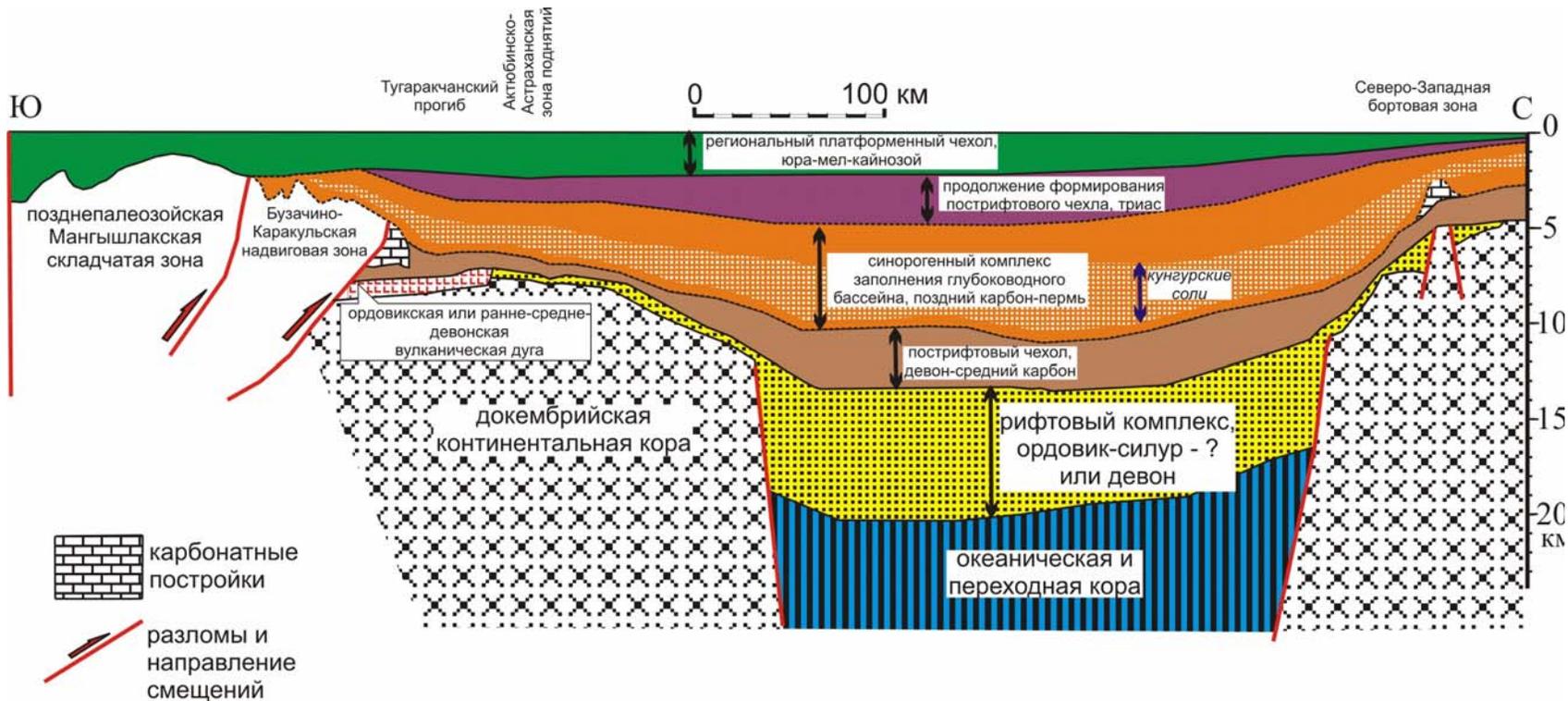


Section B

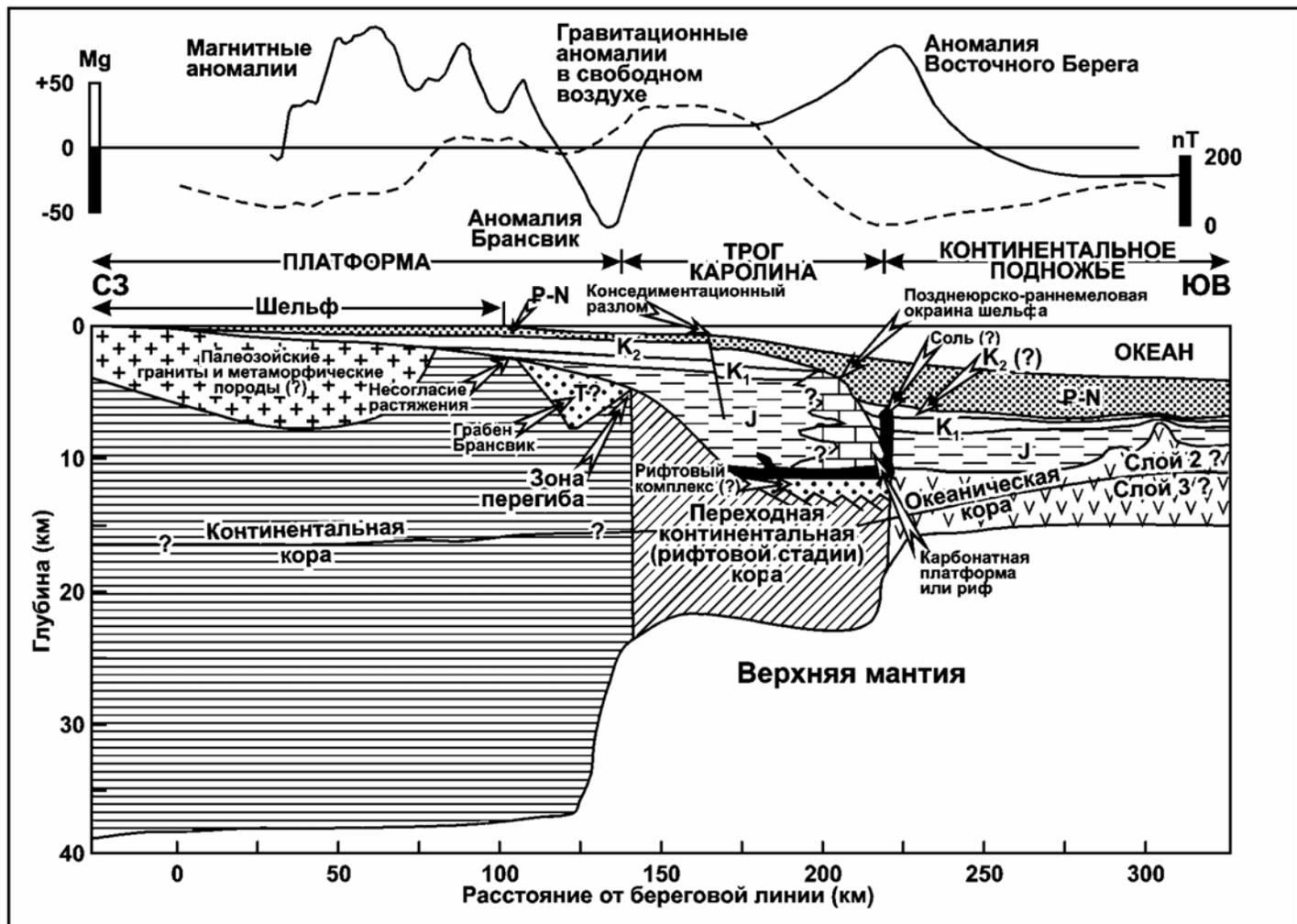


Section C





# Пассивные окраины континентов



Строение современной пассивной окраины рифтового типа на примере Атлантического побережья США в районе штата Северная Каролина, трог Каролина, профиль USGS Line 32 (Sheridan, Grow 1988; Bond et al. 1995, Худолей, 200).

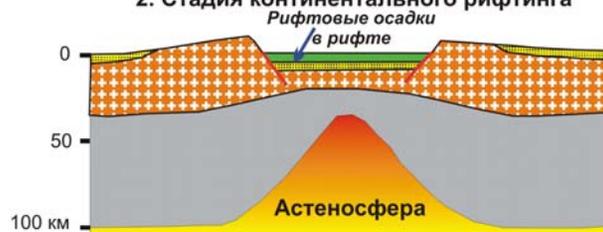
Вертикальный масштаб увеличен относительно горизонтального в 4,1 раза

ТРАДИЦИОННАЯ СХЕМА ОБРАЗОВАНИЯ ПАССИВНОЙ  
КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ (Никишин, 2002)

1. Дрифтовая стадия



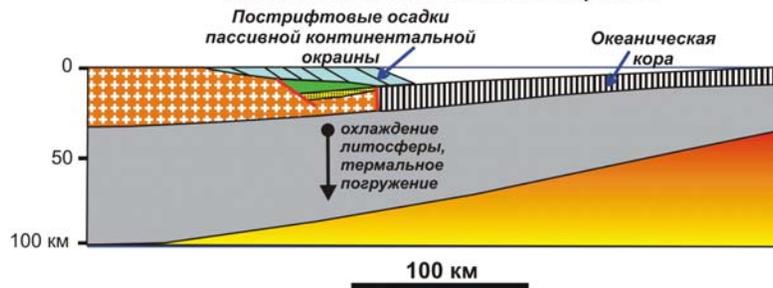
2. Стадия континентального рифтинга



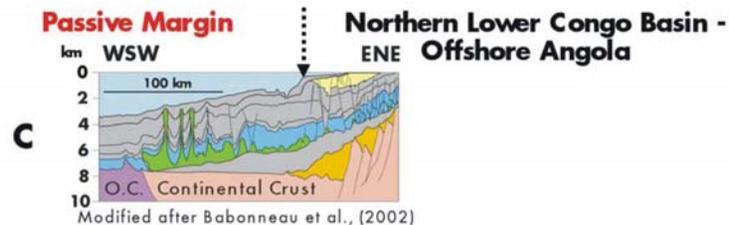
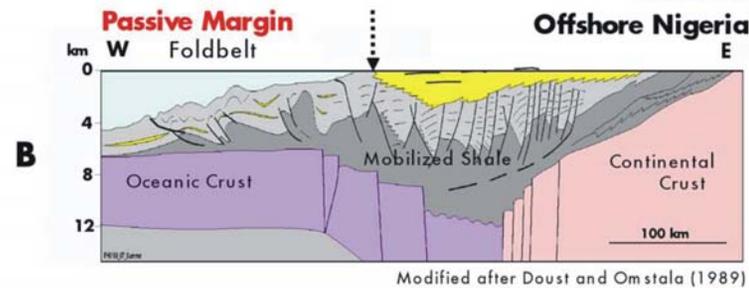
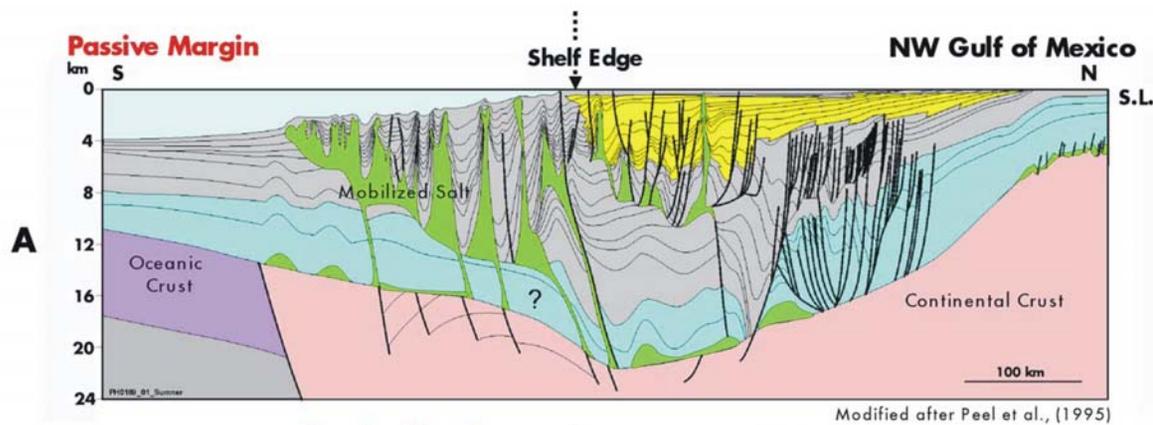
3. Стадия раскола континентальной коры  
и начала спрединга океанической коры



4. Стадия раскрытия океана и формирования  
пассивной контанентальной окраины



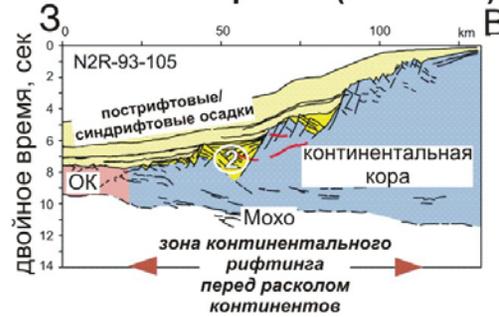
Традиционная схема образования  
пассивной континентальной окраины  
(Никишин и др., 1999).



Regional cross-sections of the Northwest Gulf of Mexico, Nigeria, Angola, and Northwest Borneo continental margins are displayed at the same scale for direct comparison. Gulf of Mexico and offshore Angola are salt-based systems while offshore Nigeria and Northwest Borneo are shale-based systems. Gulf of Mexico, Angola, and Nigeria are passive margin settings, dominated by gravitationally driven extensional–contractual tectonic systems detaching on mobile substrates (thin-skinned). In contrast, Northwest Borneo is an active margin setting underlain by the Crocker thrust belt and mobilized shale; much of the compressional deformation is basement related (thick-skinned) and is pervasive throughout the margin (slope, shelf, and hinterland).

Региональные разрезы для континентальных окраин Мексиканского залива, Нигерии и Анголы в одном масштабе (Steffens et al., 2003).

### Рифтовая авулканическая пассивная окраина (Намибия)



### Рифтовая вулканическая пассивная окраина (Намибия)



### Трансформная пассивная окраина (Кот-Д'-Ивуар-Гана)

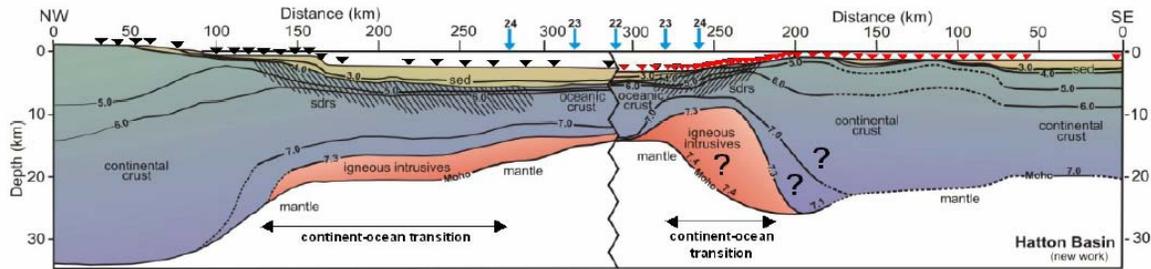


Три типа пассивных континентальных окраин: рифтовая вулканическая, рифтовая вулканическая и трансформная. А и Б – окраины Намибии, Западная Африка (Skogseid, 2001), В – окраина Кот-Д'Ивуар-Гана, Западная Африка (составлена с использованием данных в (Wagner, 2002)).

# Conjugate margins

SE Greenland

Hatton Bank



Greenland

Irminger Basin

Iceland Basin

Hatton Bank

Hatton Basin (new work)

After Hopper *et al.* 2003

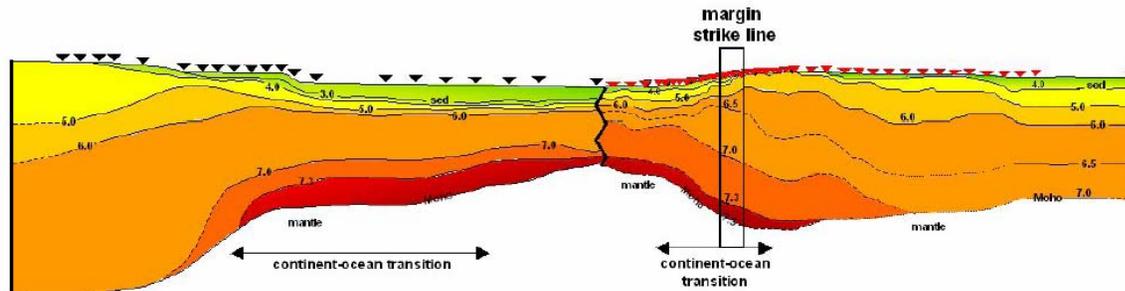
After Fowler *et al.* 1989

# Conjugate margins

SE Greenland

Hatton Bank

Hatton Basin



Greenland

Irminger Basin

Iceland Basin

Hatton Bank

Hatton Basin

After Hopper *et al.* 2003

New modelling

# ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ПАССИВНЫЕ ОКРАИНЫ

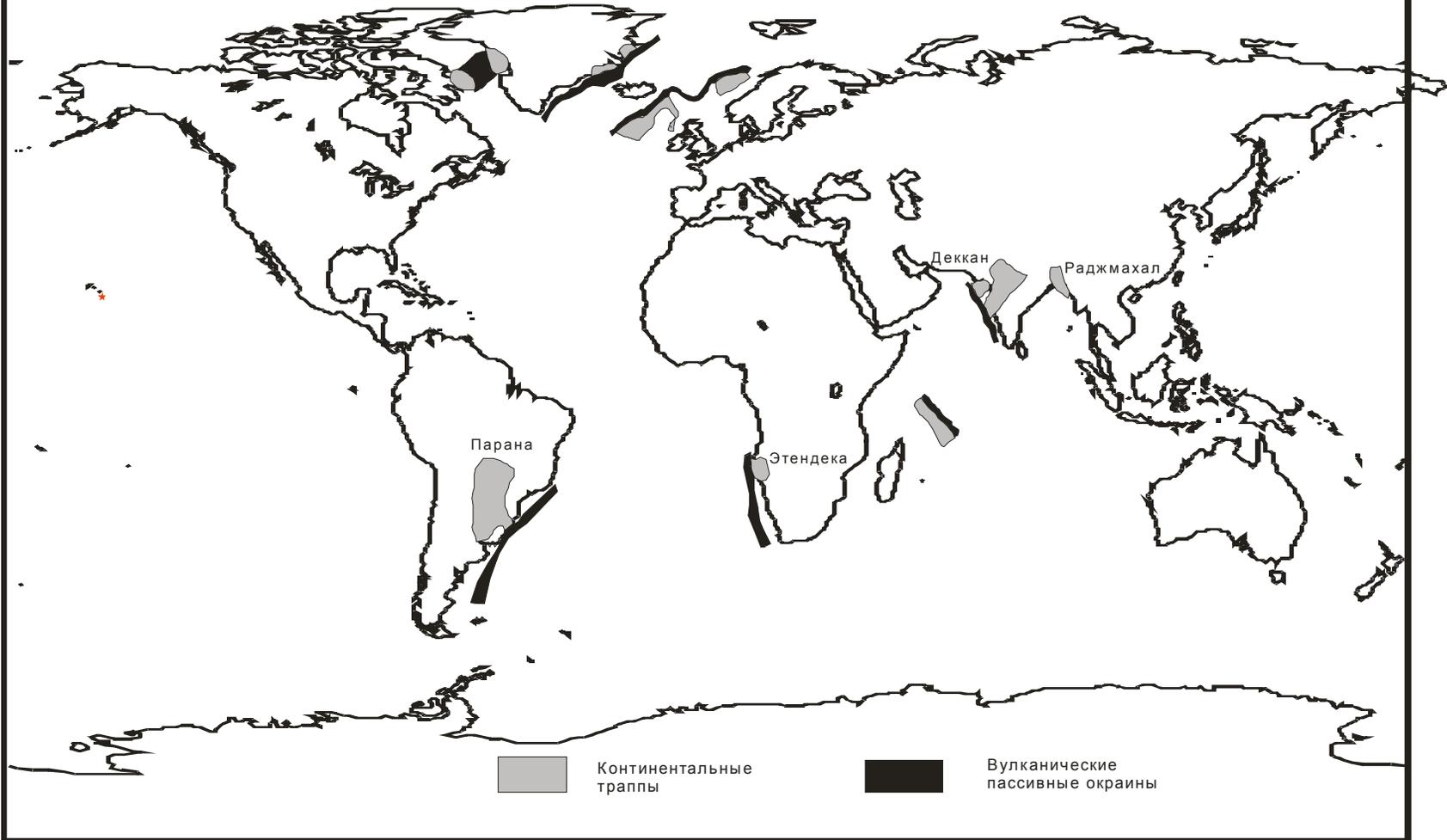


Схема расположения вулканических пассивных окраин (Никишин, 2002).

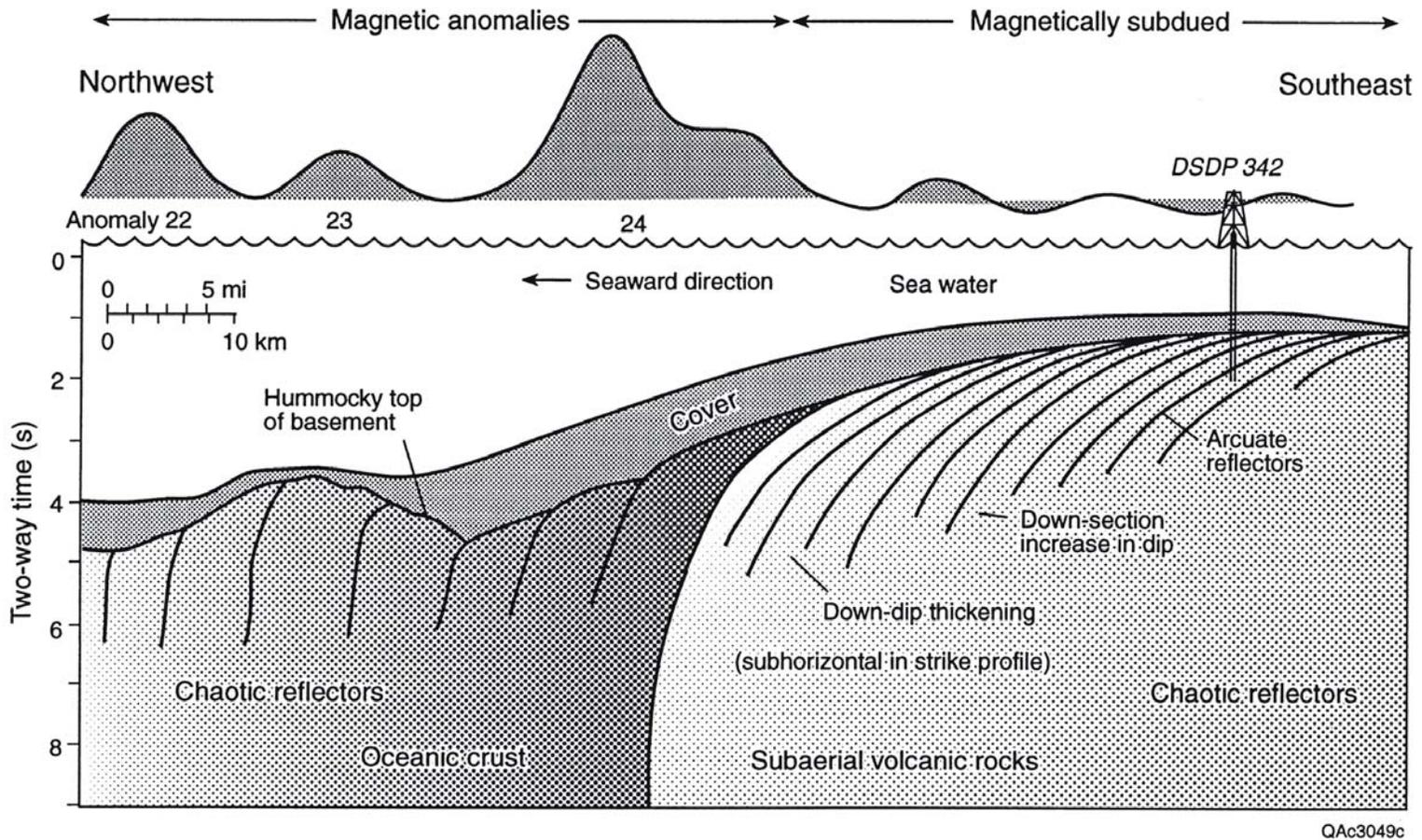
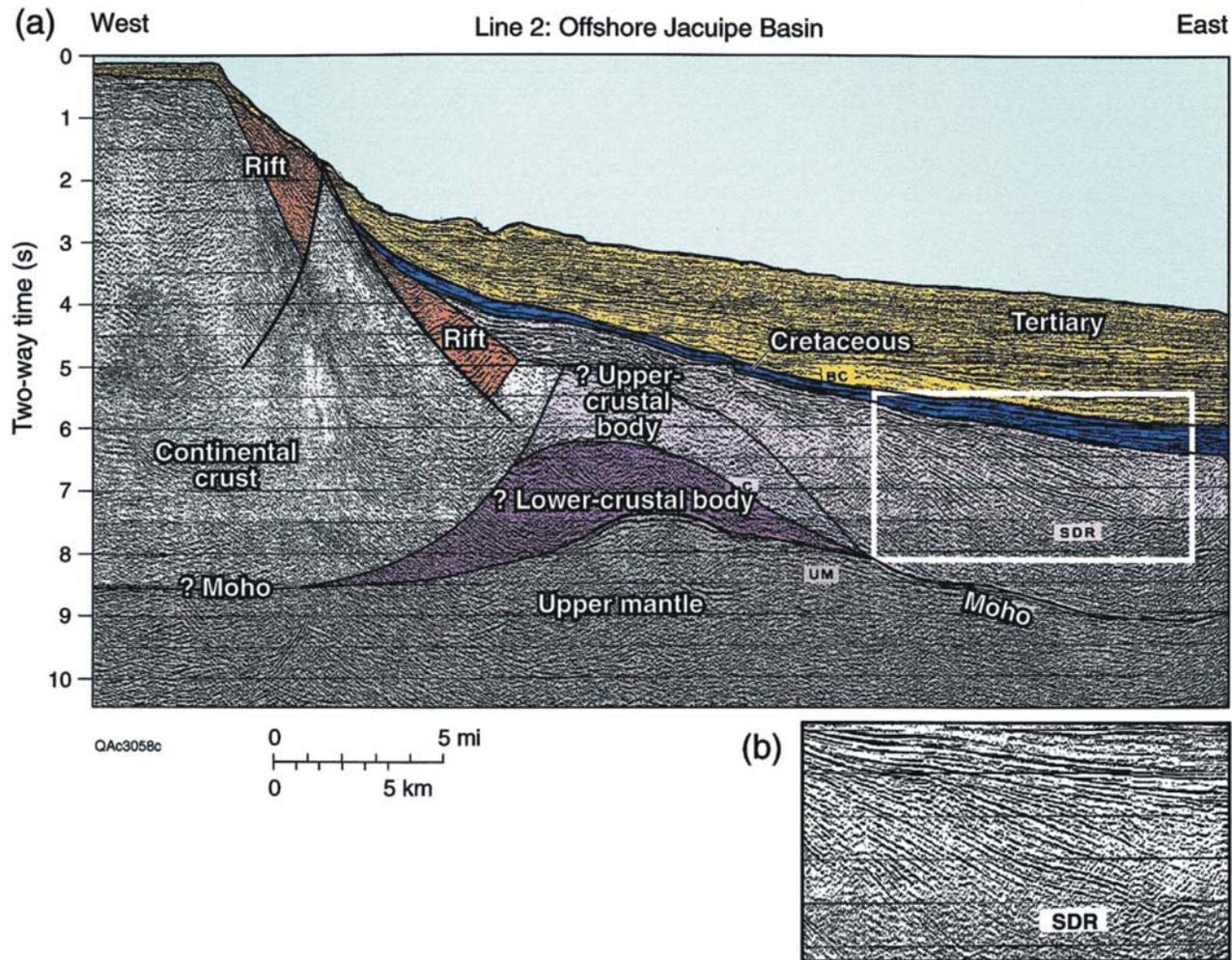


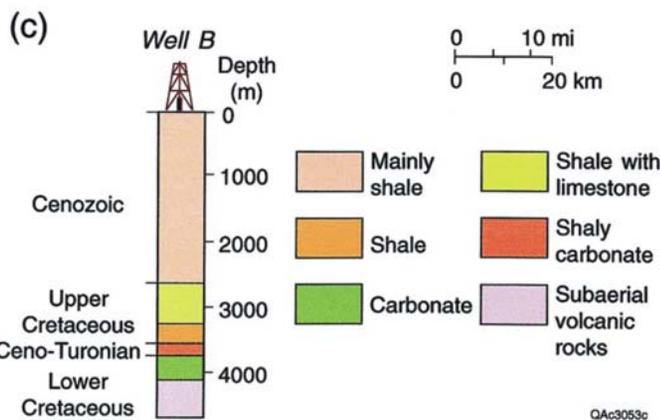
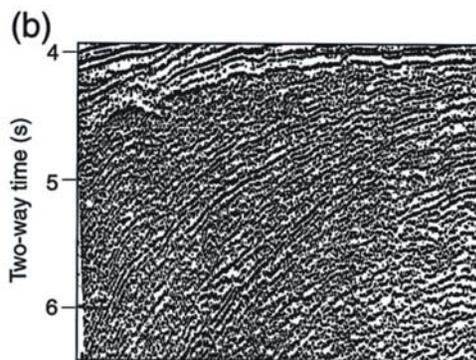
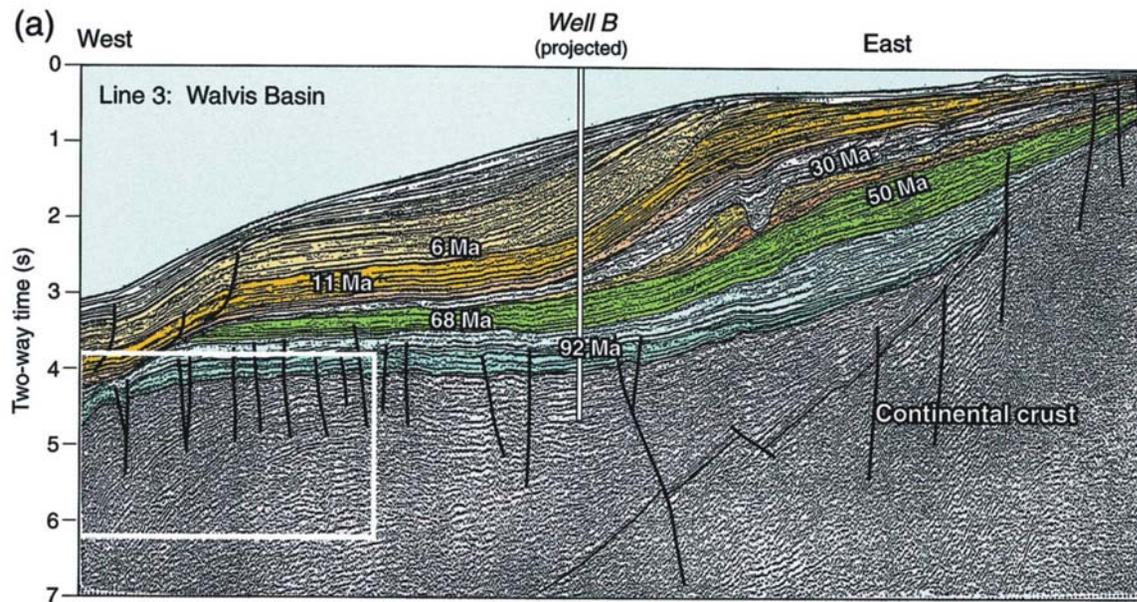
Fig. 2. Schematic features of SDRs on the Outer Vøring Plateau, offshore Norway (after Mutter et al. 1982). Magnetic anomalies are based largely on lines C165±166. Chron 24 at 56 Ma roughly dates the SDR sequence.

Схема характера сейсмических рефлекторов на вулканической пассивной окраине плато Веринг (Норвегия); также показаны магнитные аномалии. По (Mutter et al., 1982 из Jackson et al., 2000)



Seismic profile of line 2 in the Jacuibe Basin of northeastern Brazil. (b) Seismic detail of SDRs from the area outlined in white in profile (a). Data from Mohriak et al. (1998).

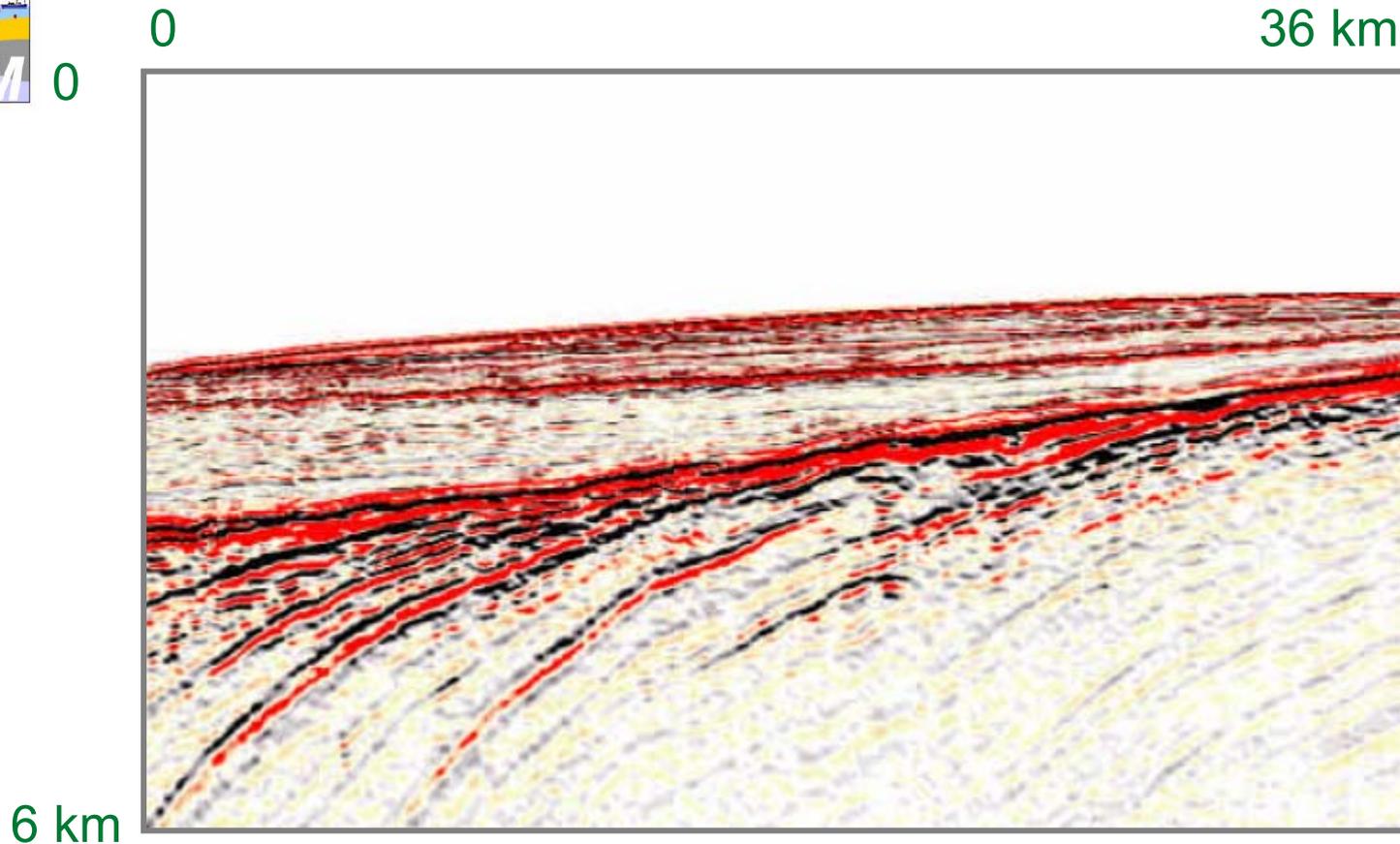
Разрез вероятной вулканической пассивной континентальной окраины северо-восточной Бразилии (бассейн Джакуипе) (a) и деталь сейсмопрофиля с SDR рефлекторами (Jackson et al. 2000)



Seismic profile of line 3 in the Walvis Basin, onshore Namibia. (b) Seismic detail of SDRs from the area outlined in white in profile (a). (c) Projected well data, showing subaerial volcanic rocks. This region is south of the Aptian salt basins. Data from TotalFina

Разрез вероятной вулканической пассивной континентальной окраины Намибии (бассейн Китового хребта) (а), деталь сейсмопрофиля с SDR рефлекторами и (в) разрез предполагаемой скважины (Jackson et al. 2000).

# Формирование SDR (A Roberts, Cambridge)



- Плиты расходятся
- Лава извергается на поверхность
- По мере дальнейшего расхождения плит извергается большее количество слоев
- Вес в районе точек извержения вызывает опускание материала

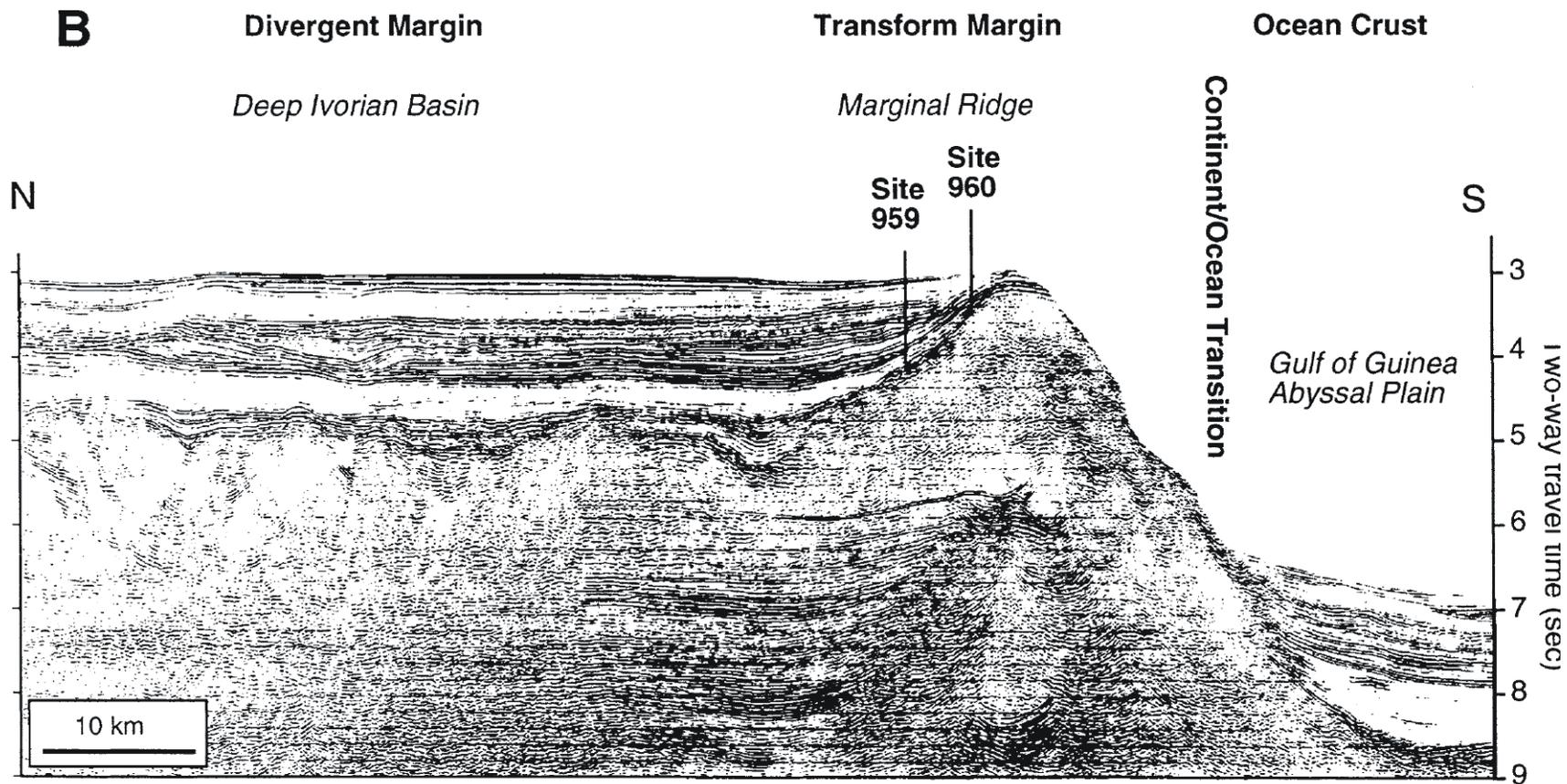
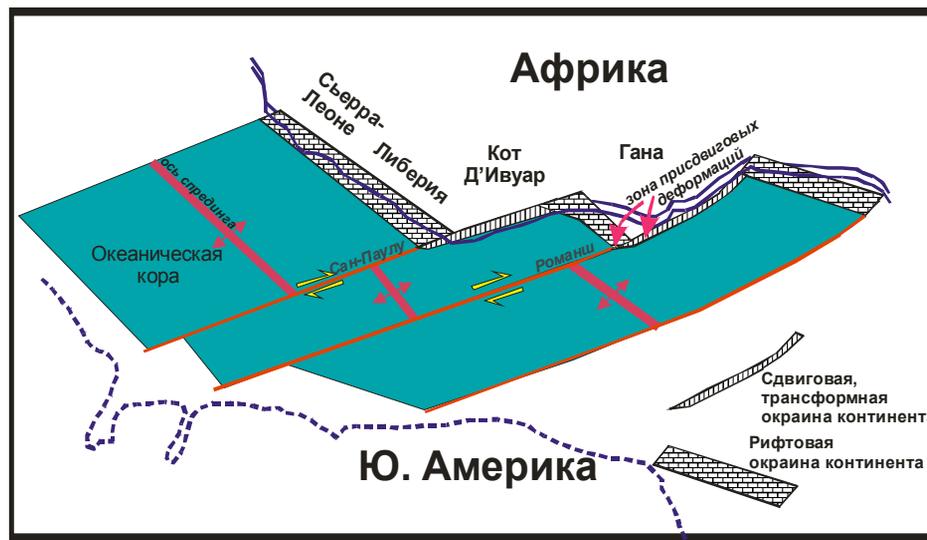


Fig. 1. (A) Location, stratigraphy, and generalized lithology of drill sites of ODP Leg 159 along the CIGTM (from Pletsch et al., 2001). (B) Migrated multichannel seismic line across the CIGTM and the Deep Ivorian Basin (from Mascle et al., 1996).

Сейсмический профиль для трансформной континентальной  
окраины Ганы-Кот-Д'Ивуар (Wagner, 2002).

## Модель формирования континентальных окраин Западной Африки в меловое время

А. Около 100 млн. назад. Начало раскрытия океанических бассейнов с сочетанием зон раздвигов и сдвигов



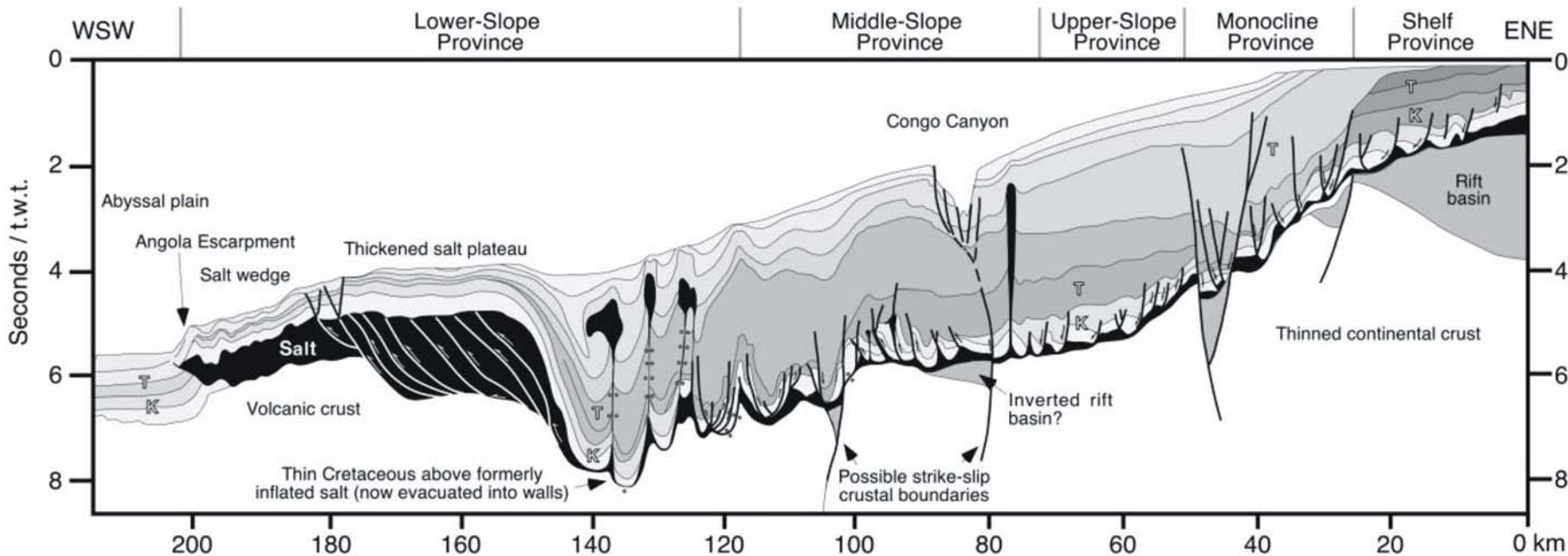
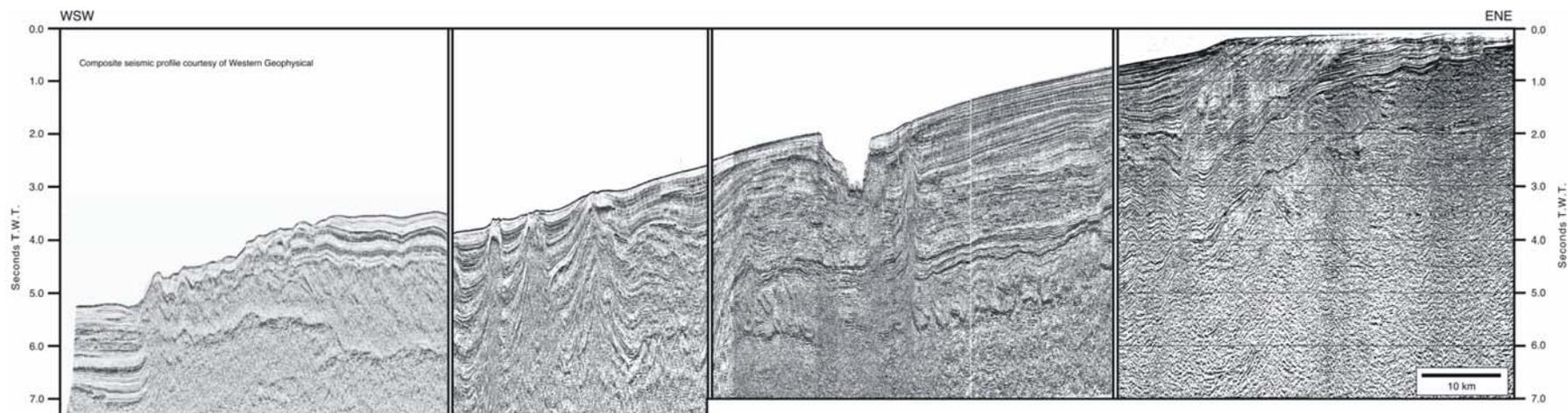
А. Поздний мел. Расширение океанического бассейна и объединение океанических ванн, обособление и развитие рифтовых и сдвиговых (трансформных) пассивных окраин Африки.

Модель составлена с использованием работы (Attoh et al., 2004, Tectonophysics, 378, 1-16.)

Модель формирования континентальных окраин Западной Африки в меловое время. Составлена с использованием модели (Attoh et al., 2004).



Реконструкция тектонической истории формирования бассейна Кот-Д'Ивуар в альбе и сеномане.

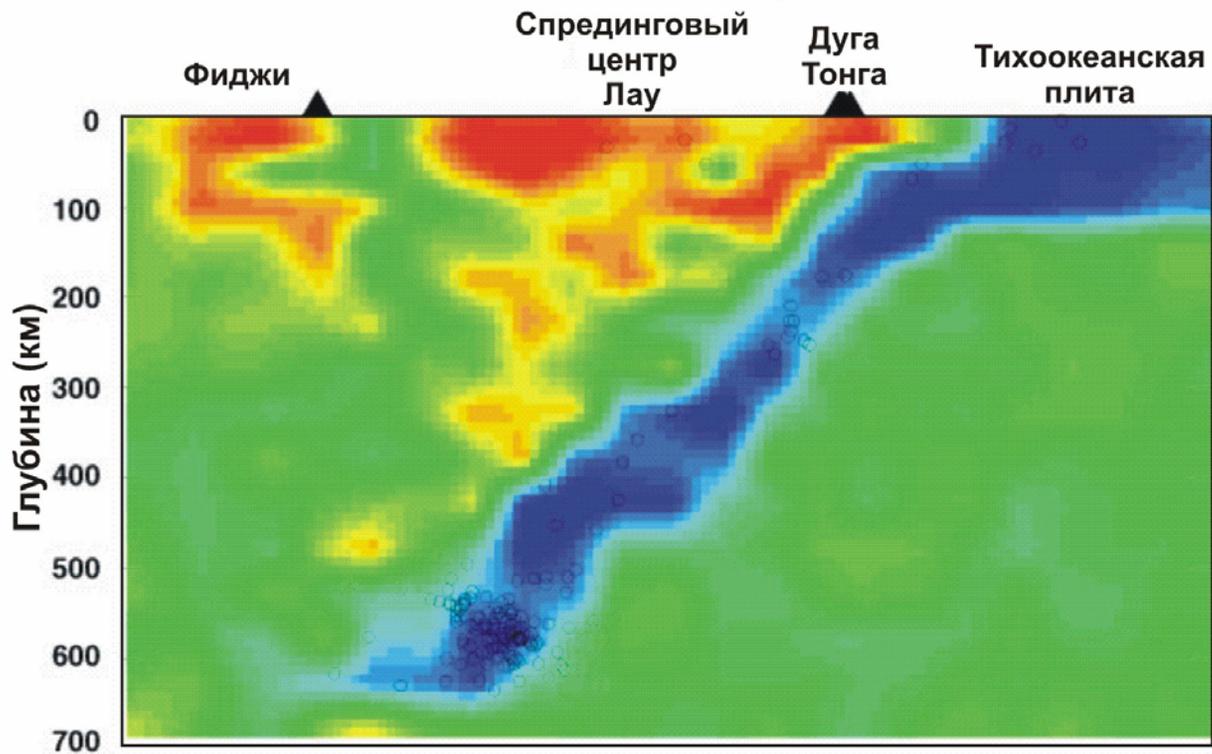


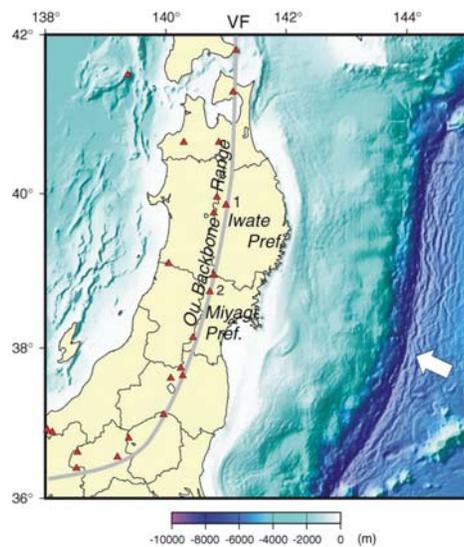
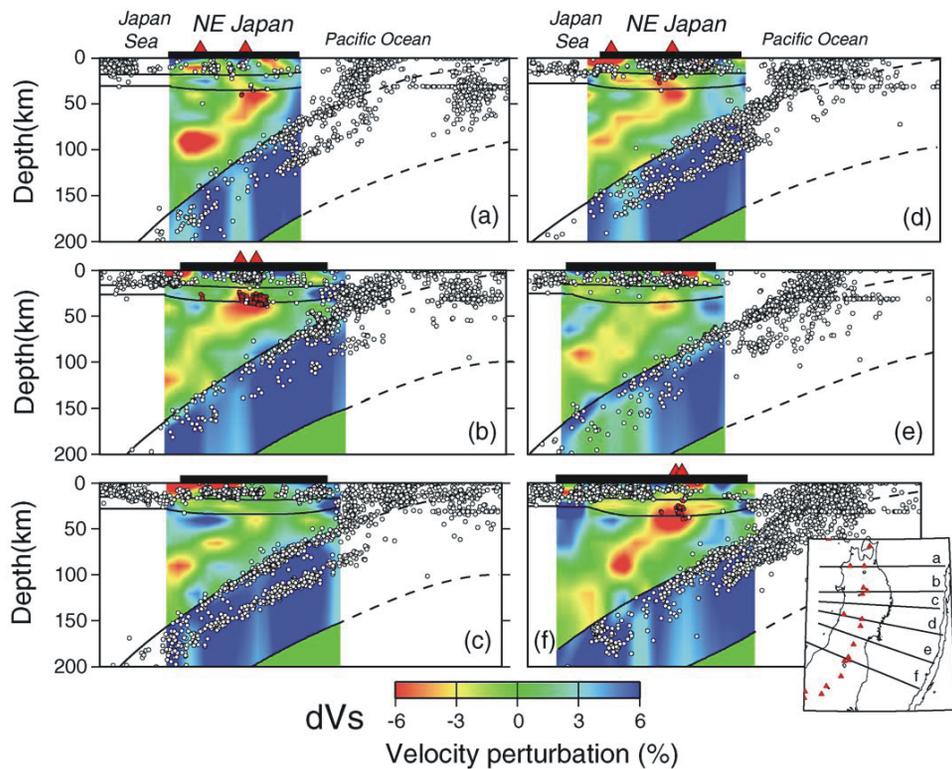
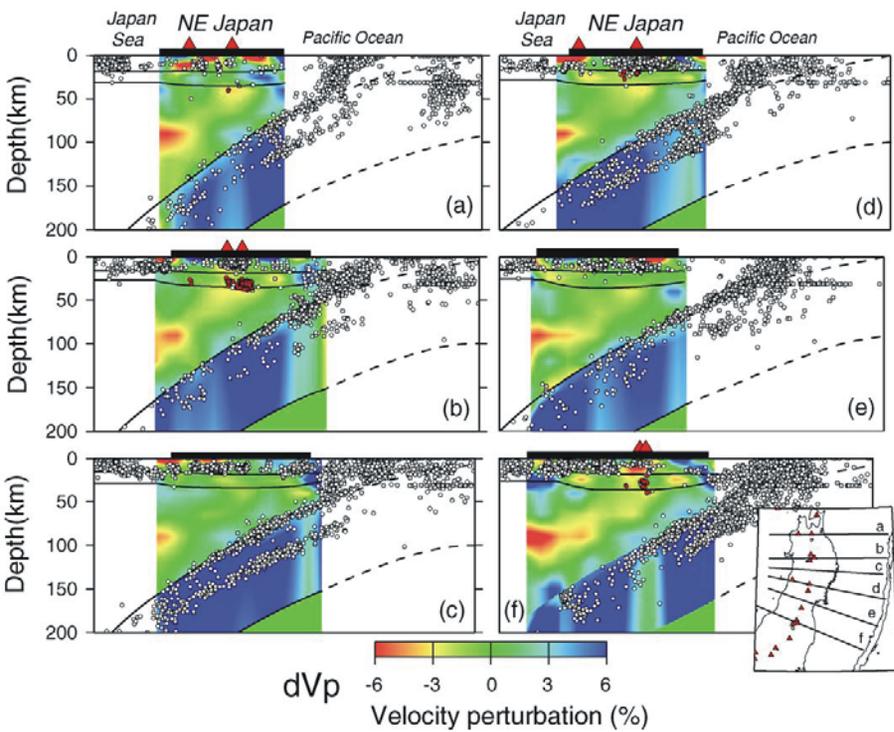
Seismic examples in following figures were all extracted from this uninterpreted composite seismic profile (foldout). The locations of the component segments are shown in Fig. 1. The westernmost segment is from the Kwanza Basin. The remaining segments are from the Lower Congo Basin about 300 km to the north. Seismic data courtesy of Western Geophysical. (B) Composite regional profile schematically showing the main features interpreted from four seismic profiles. K=Cretaceous; T, Cenozoic. Aptian salt is black in all illustrated cross sections.

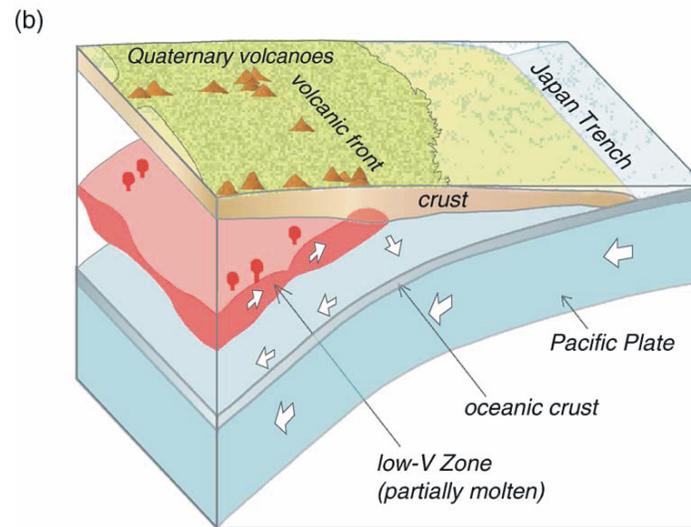
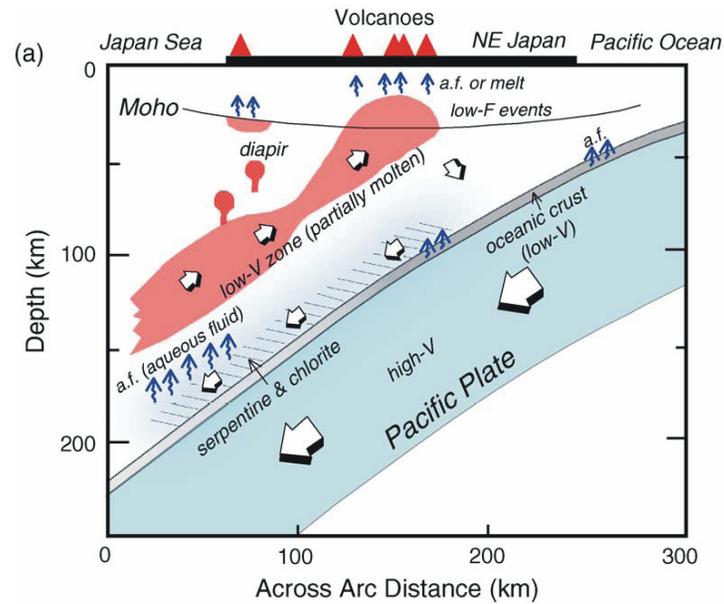
Сейсмический профиль для континентальной окраины Анголы (бассейн Нижнего Конго) и его интерпретация. К- мел, Т- третичные отложения, аптские соли показаны черной заливкой (Cramez, Jackson, 2000)

# Активные окраины

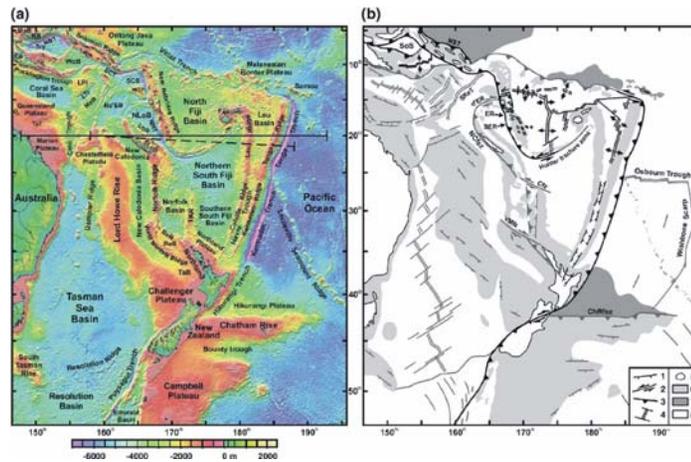
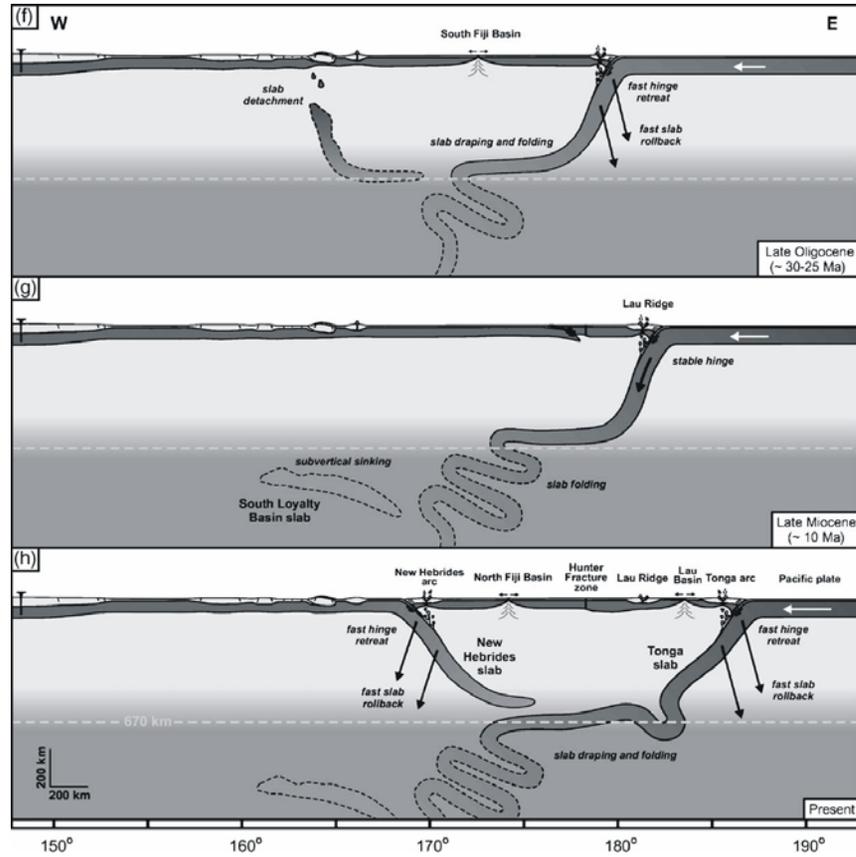
Сейсмотомография района  
зоны субдукции (Р-волны).  
Тихий океан, зона островов Тонга







Schematic diagram of vertical cross-section of the crust and upper mantle of NE Japan, showing the inferred transportation paths of aqueous fluids. (b) Schematic 3D structure of the crust and upper mantle of NE Japan showing the upwelling flow with varying thickness in the mantle wedge.



Неаккреционные окраины (21 000 км)

100% осадков пододвигается



Промежуточные аккреционные окраины (16 000 км)

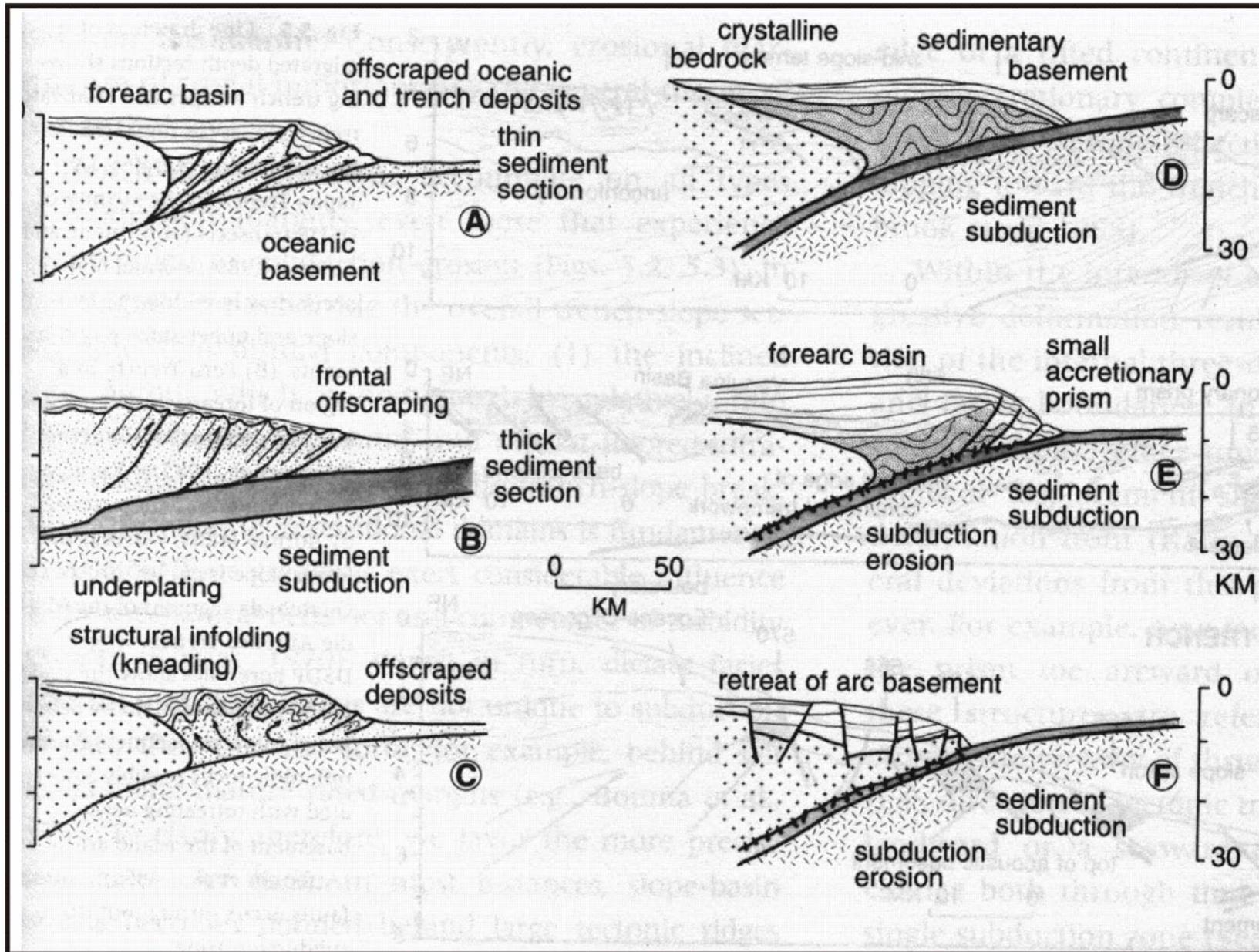
80% осадков пододвигается

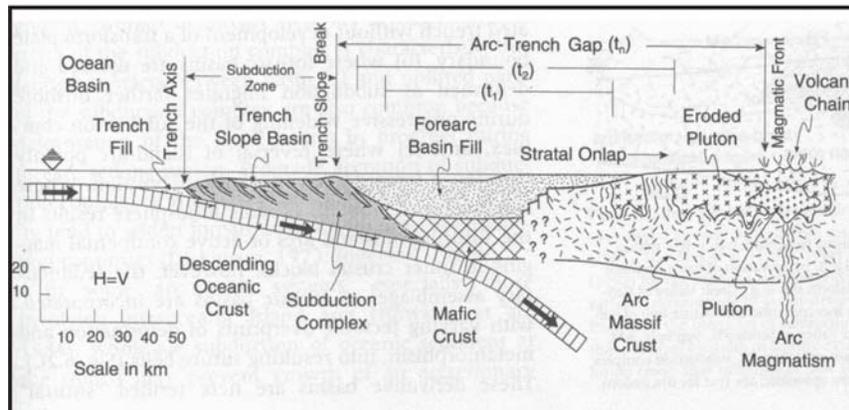
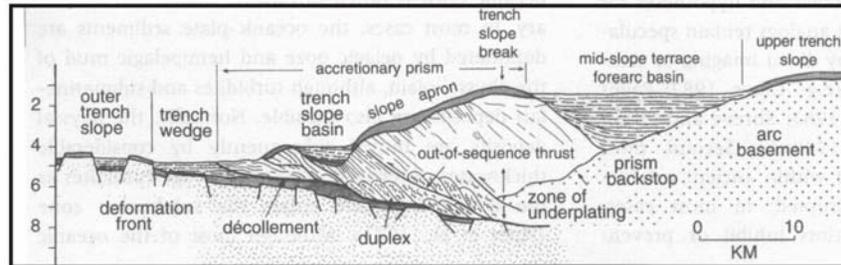
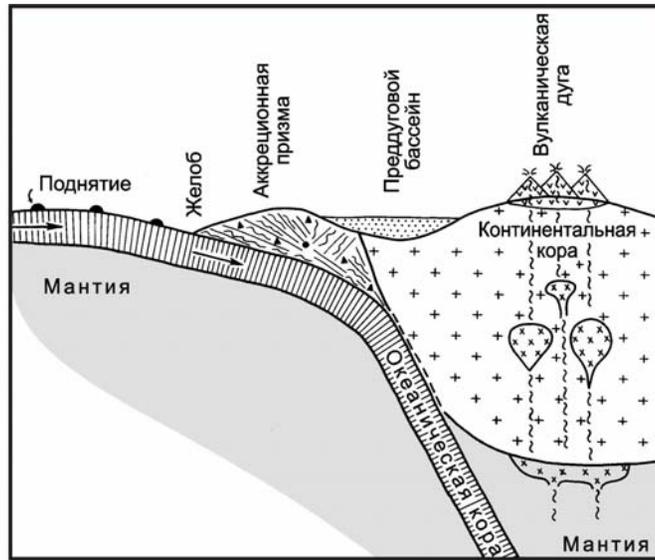


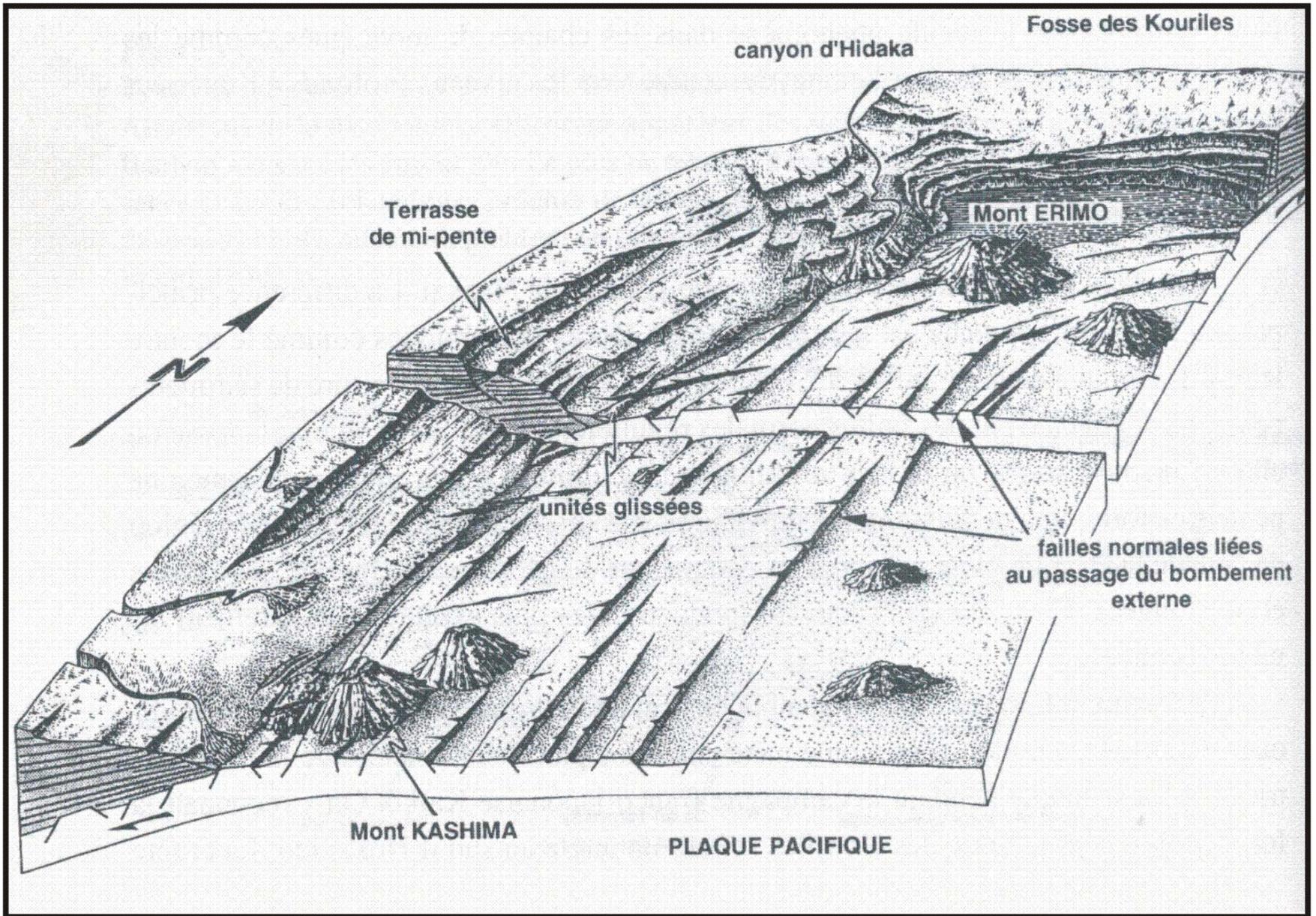
Типичные аккреционные окраины (7000 км)

70% осадков пододвигается

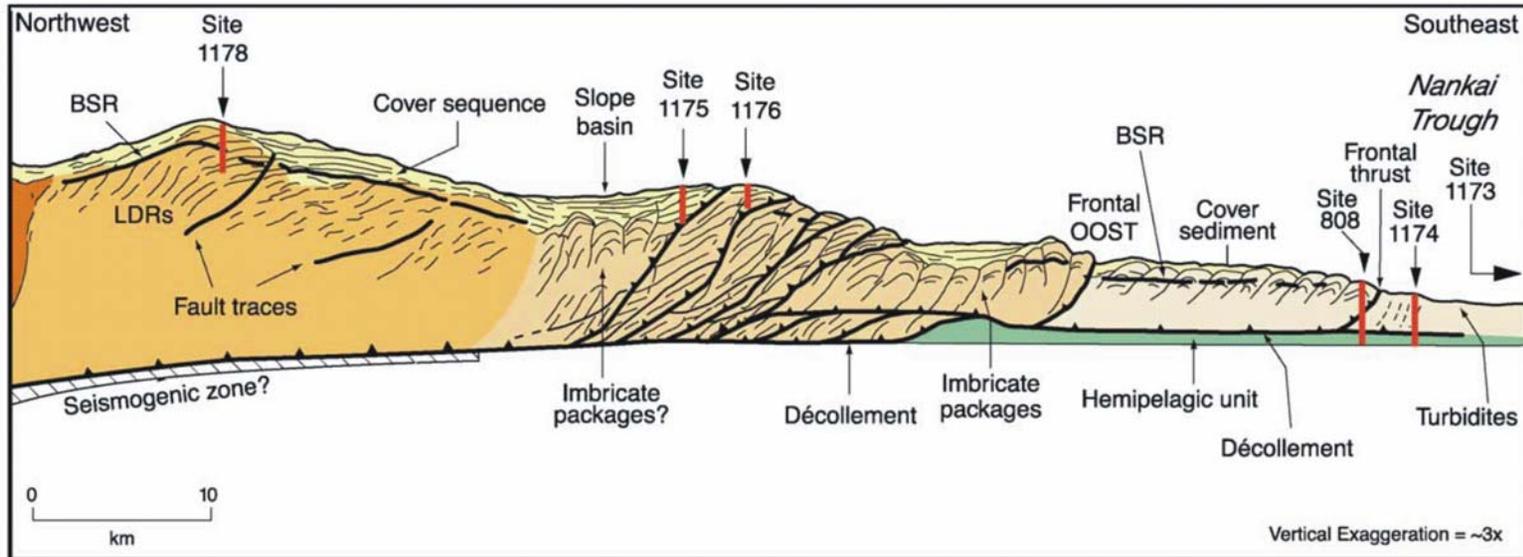




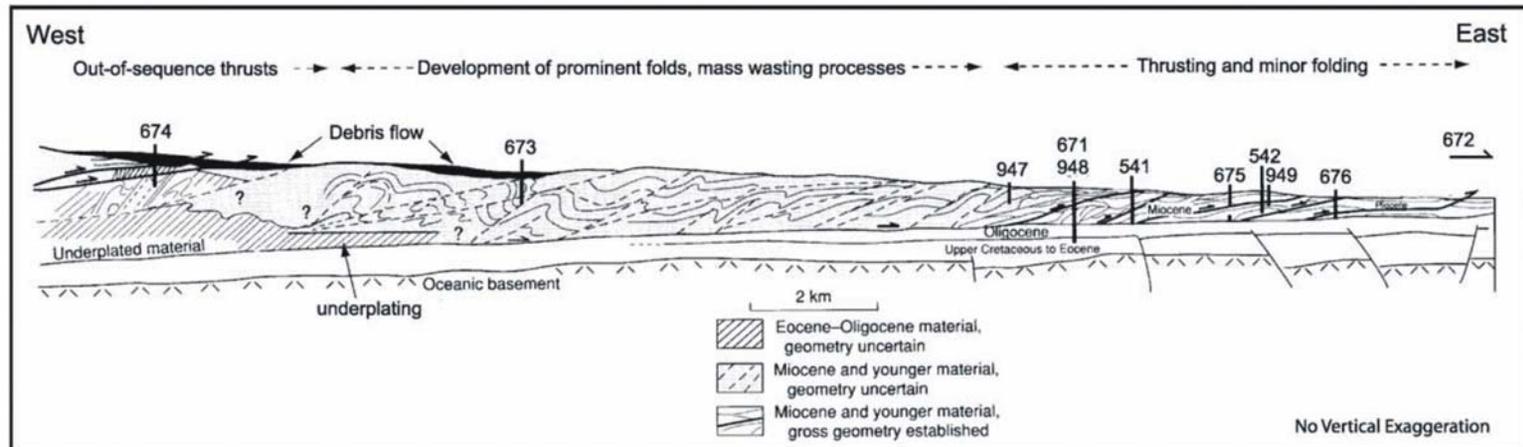


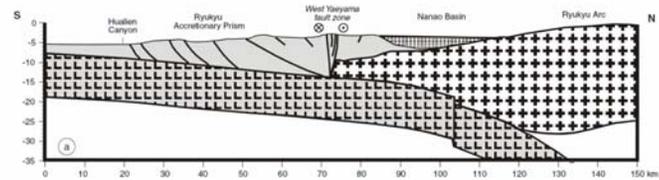
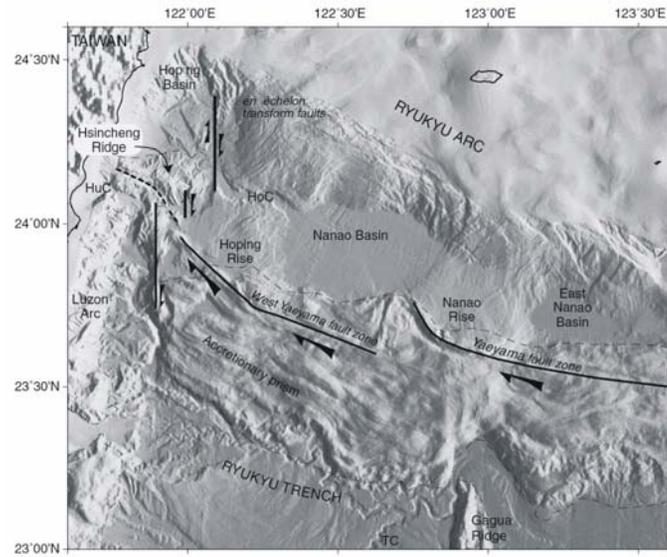
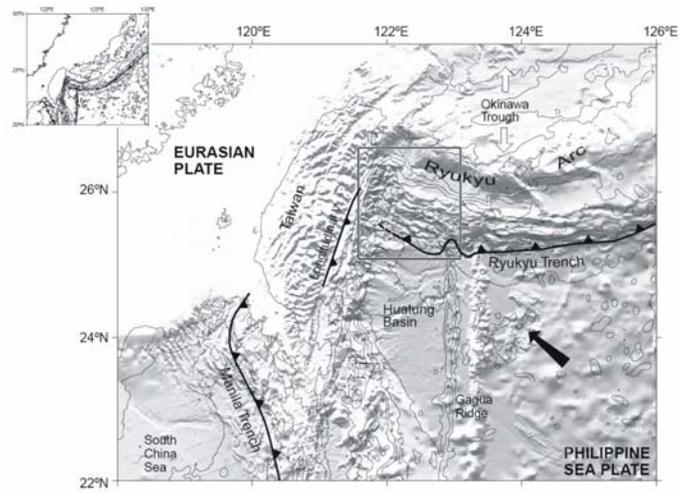


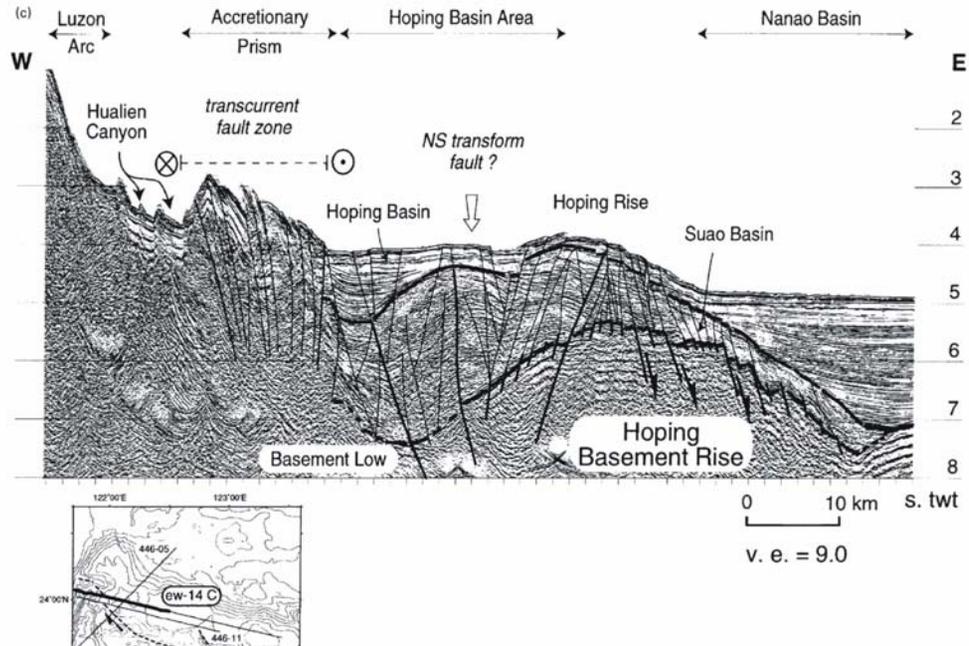
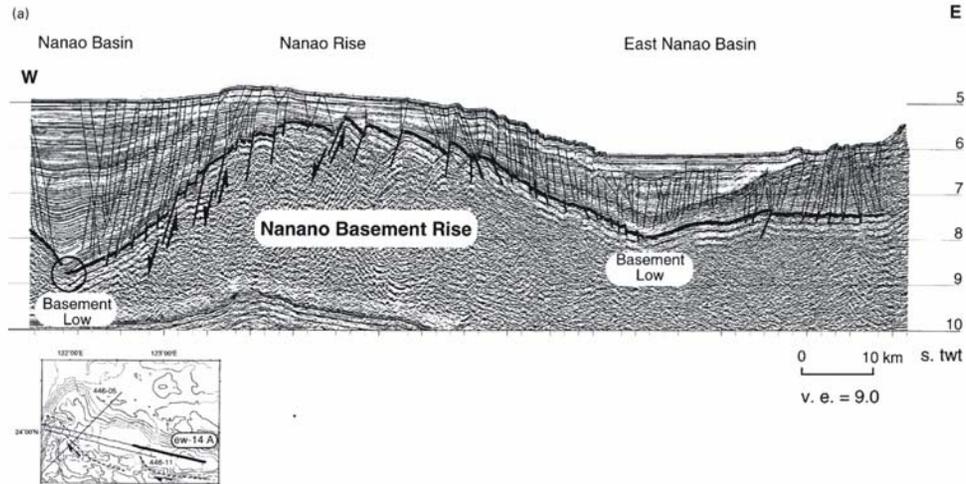
# A) Nankai

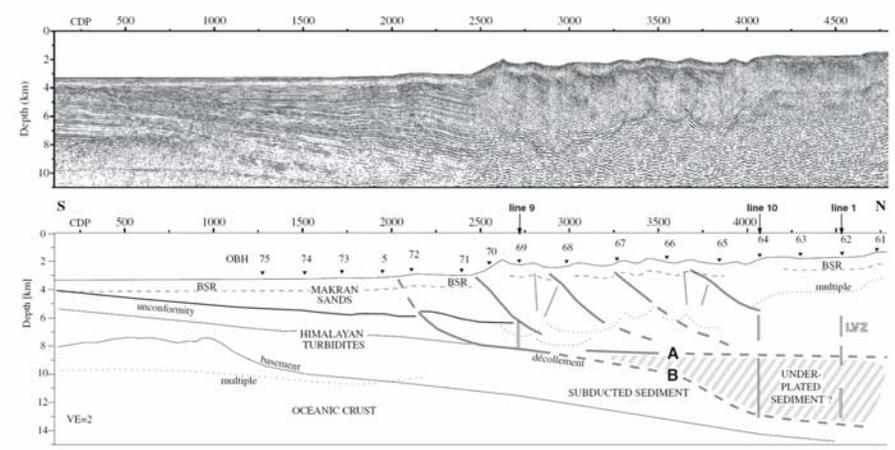
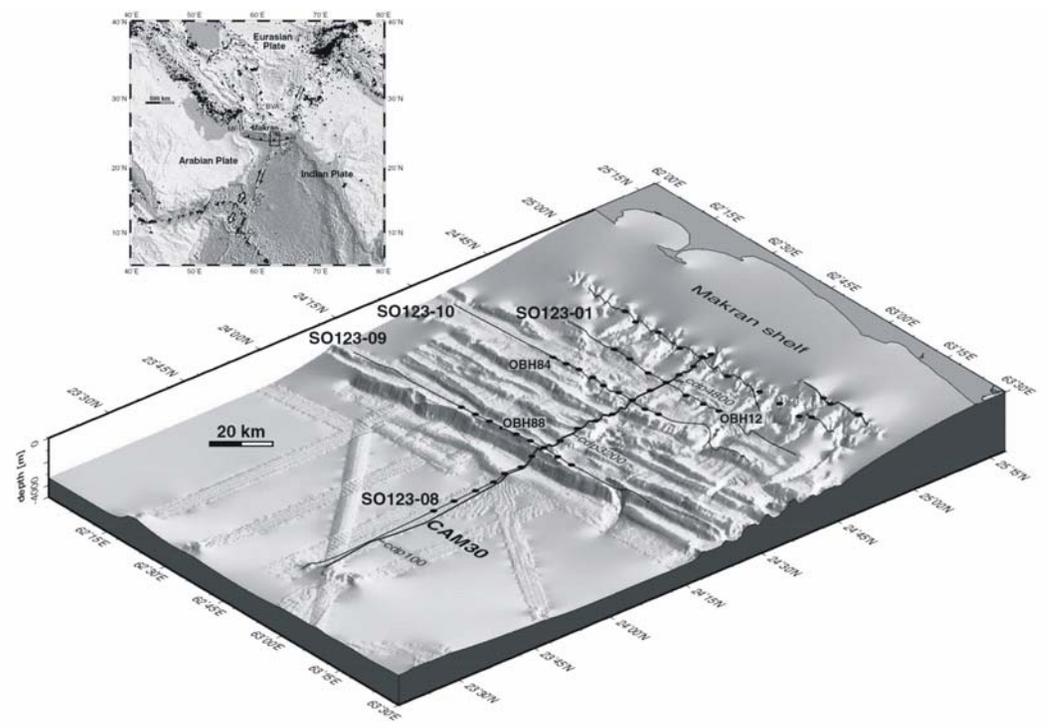


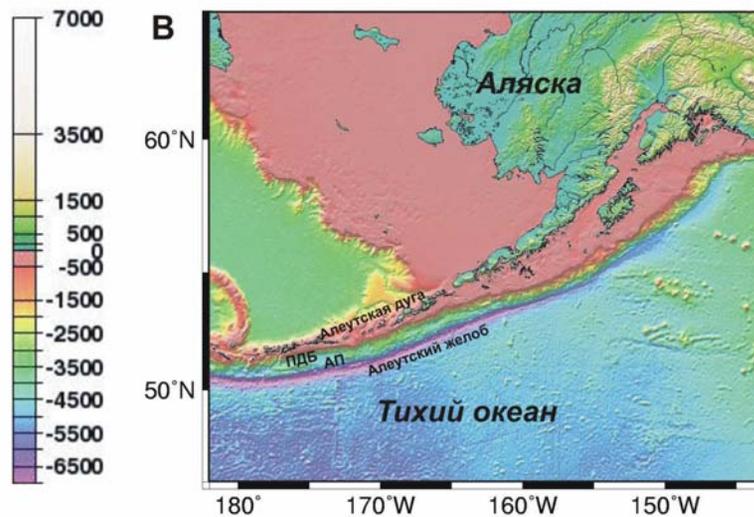
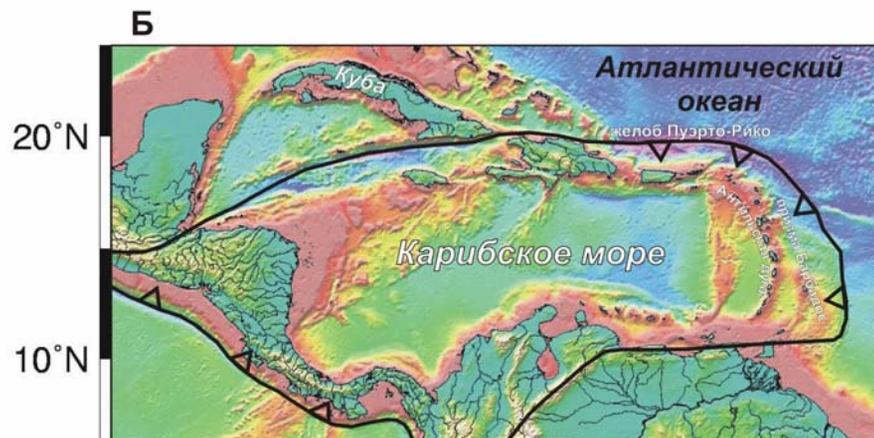
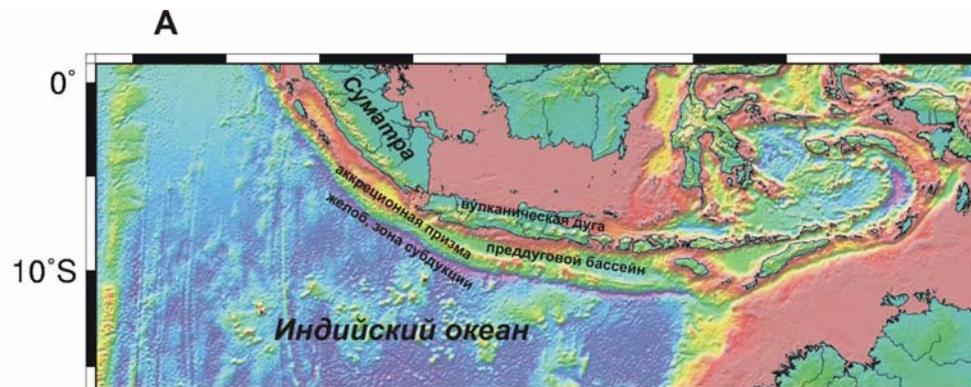
# B) Barbados

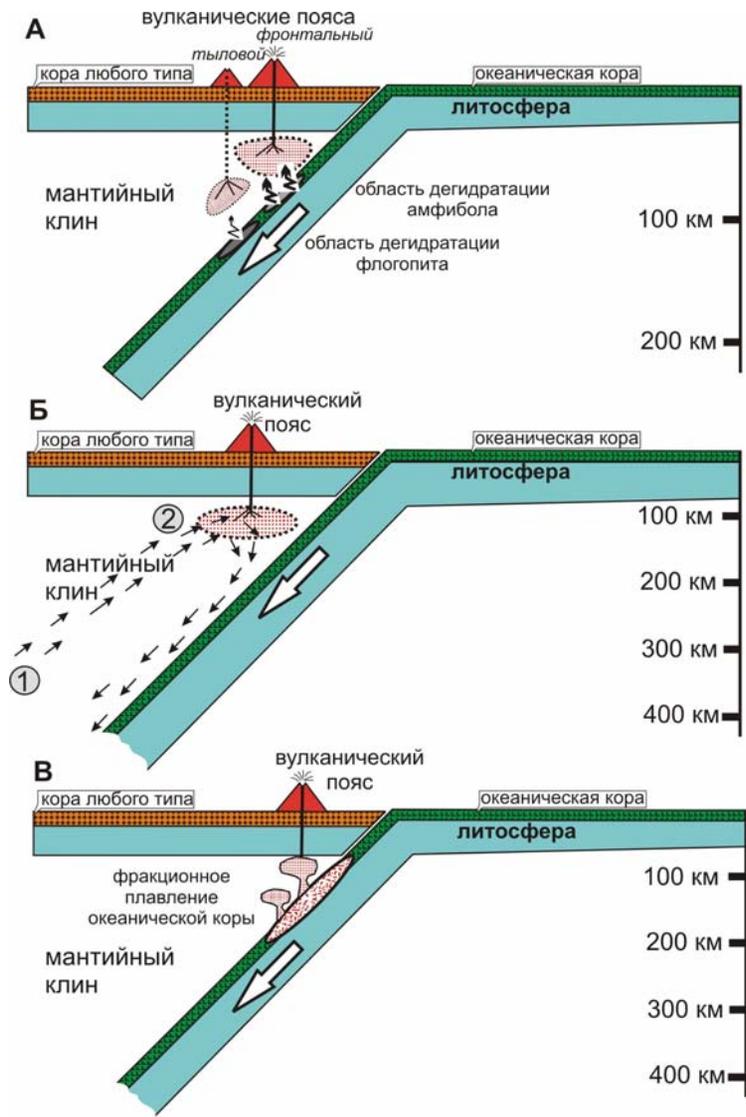




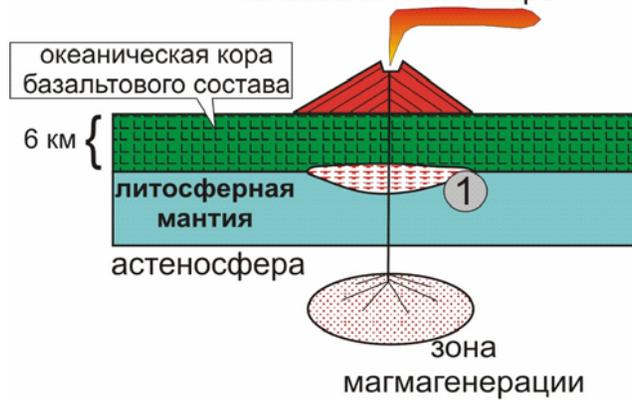




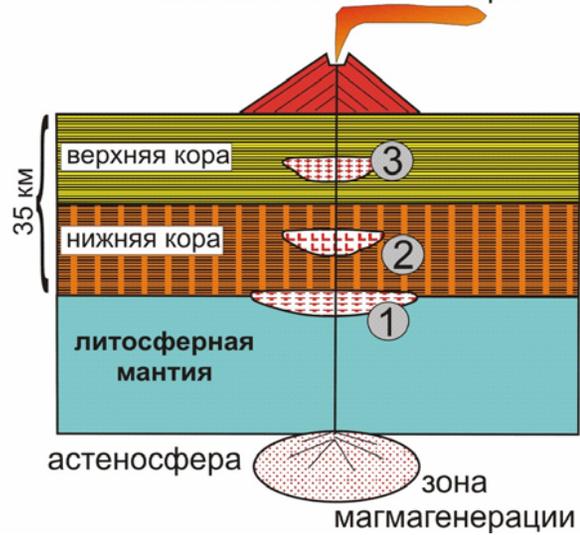




А. Вулканическая дуга на океанической коре



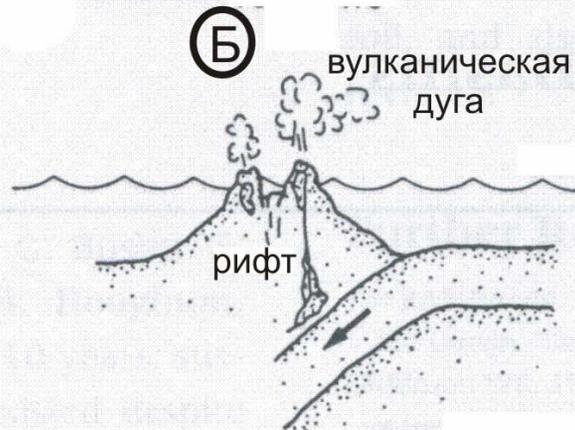
Б. Вулканическая дуга на континентальной коре



А



Б

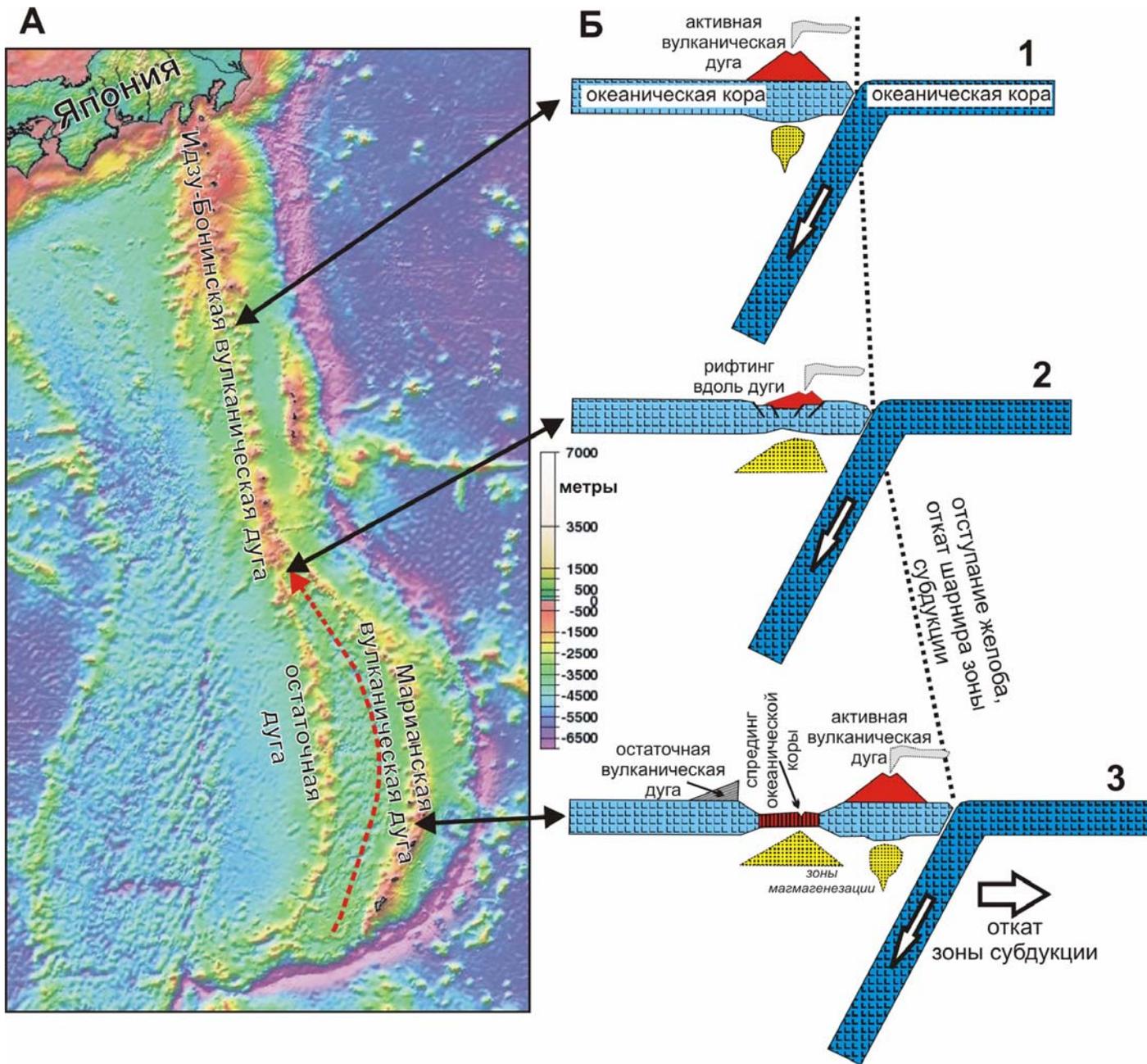


В

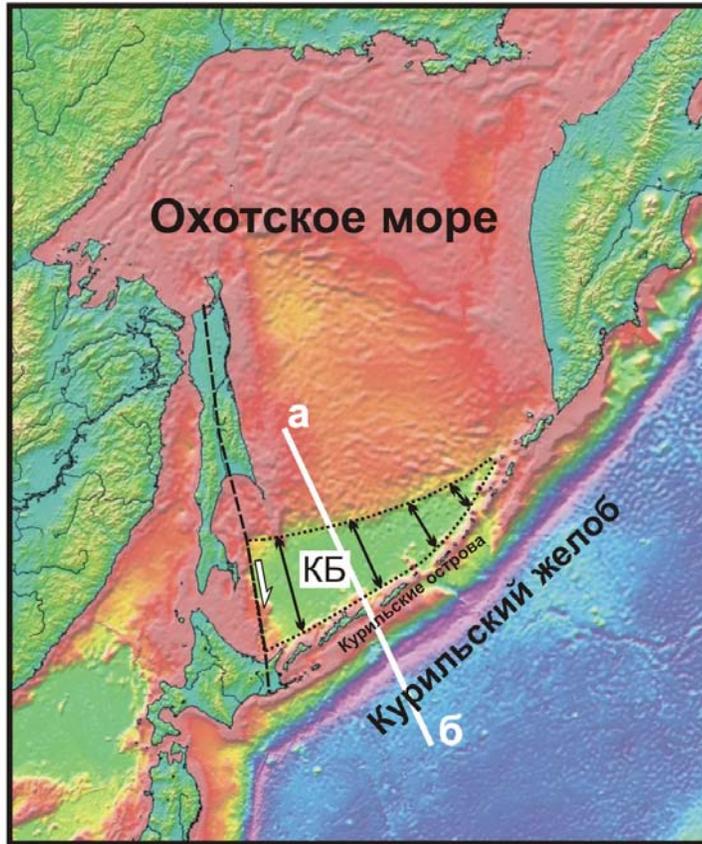


Г

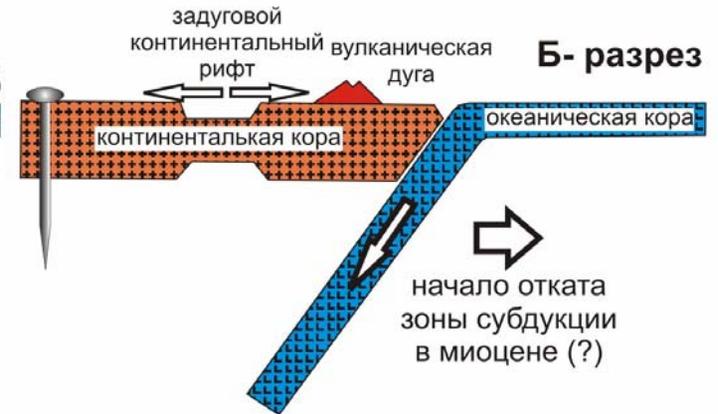
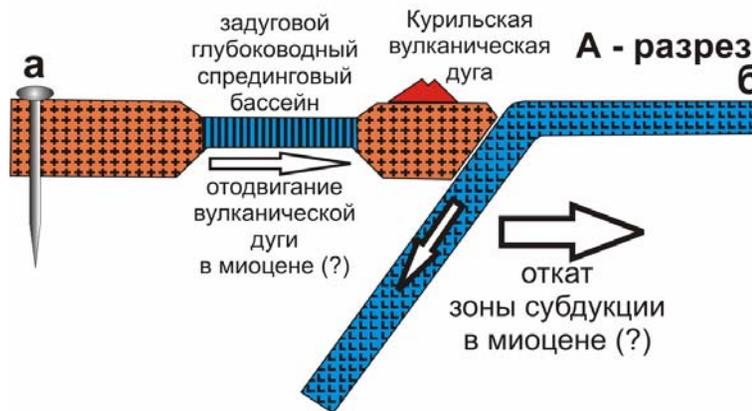
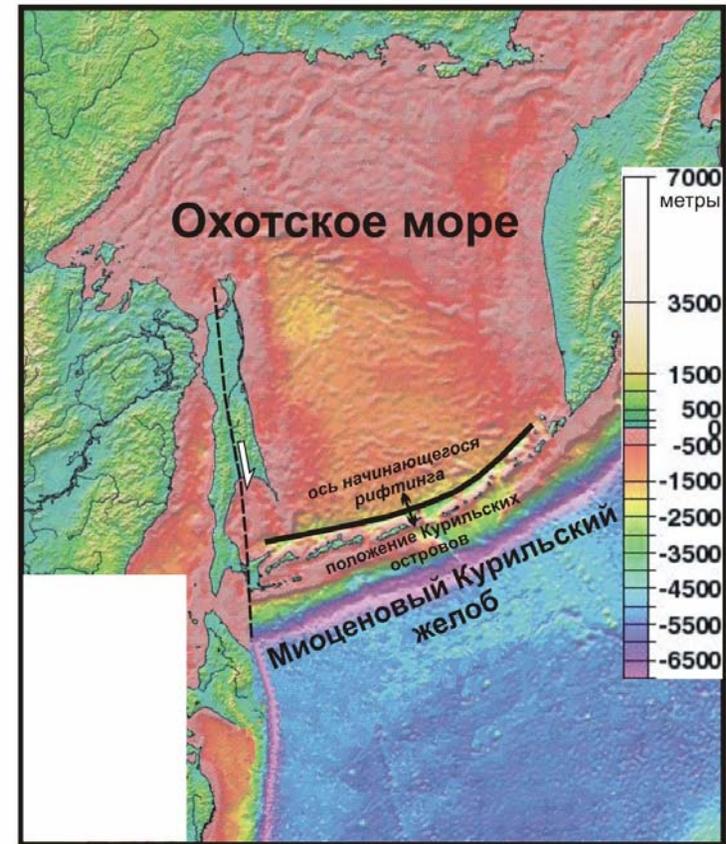


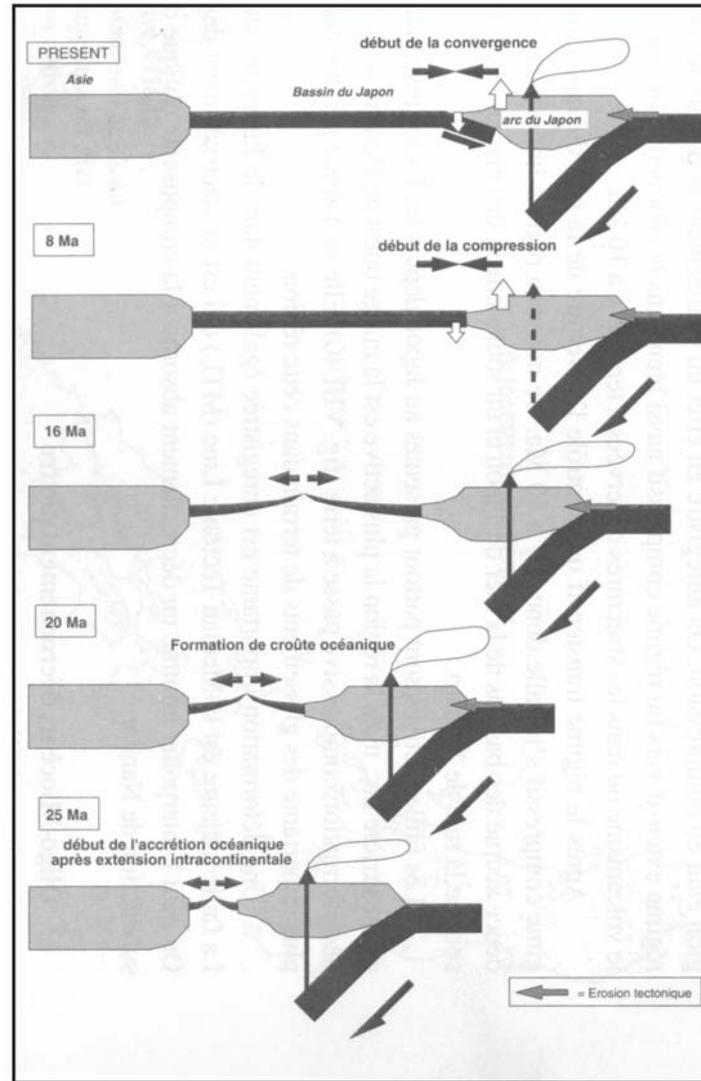


А. Современное время

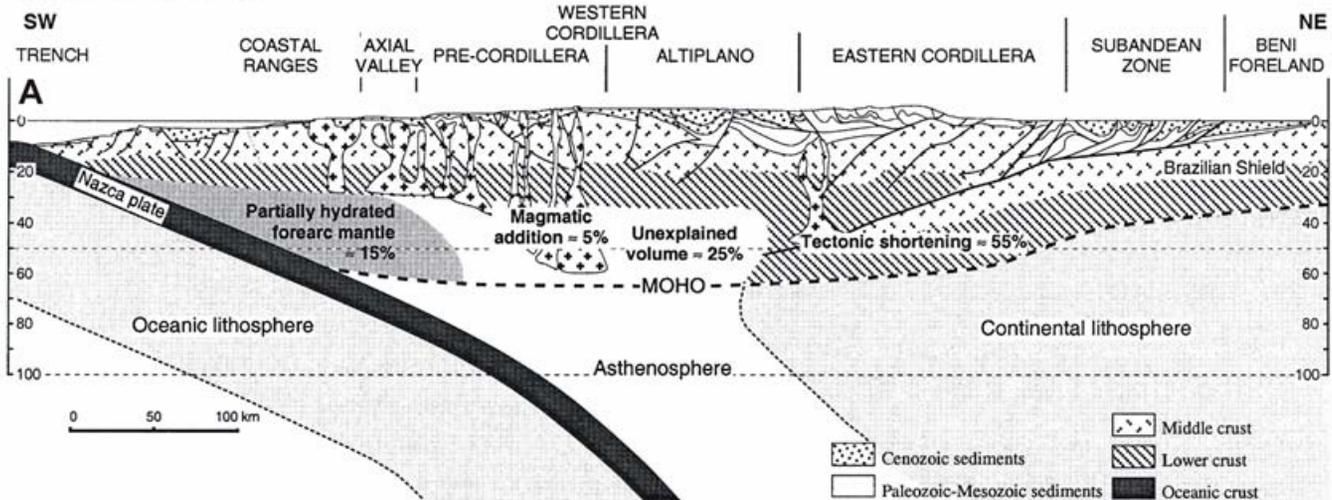


Б. Начало миоцена, 23 млн лет назад

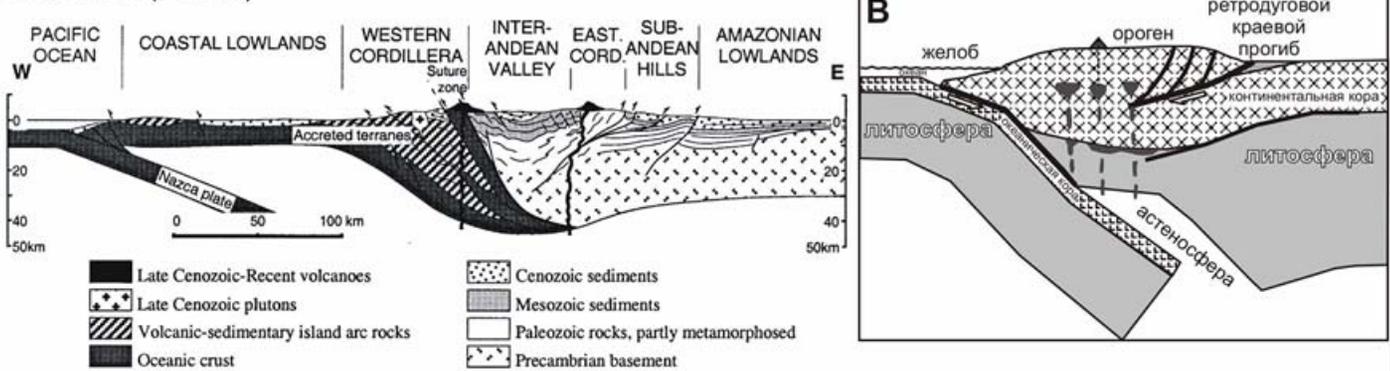


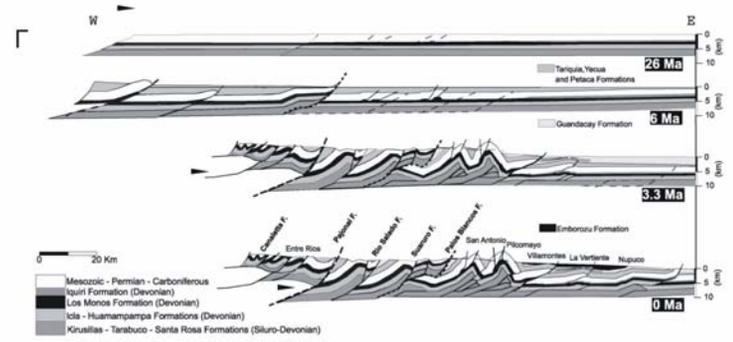
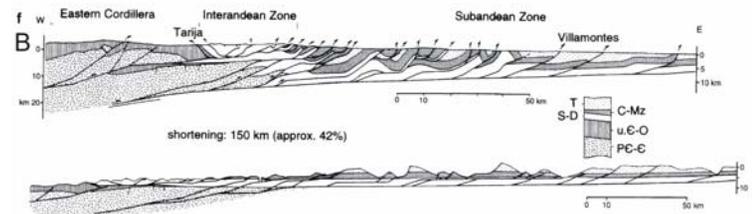
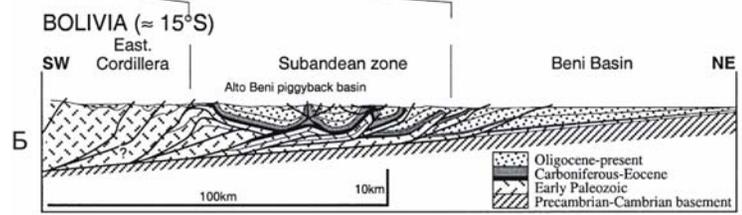
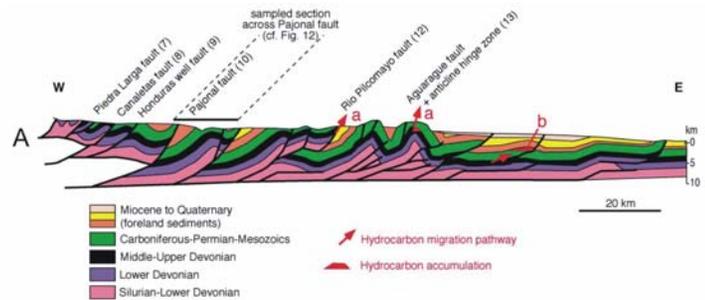


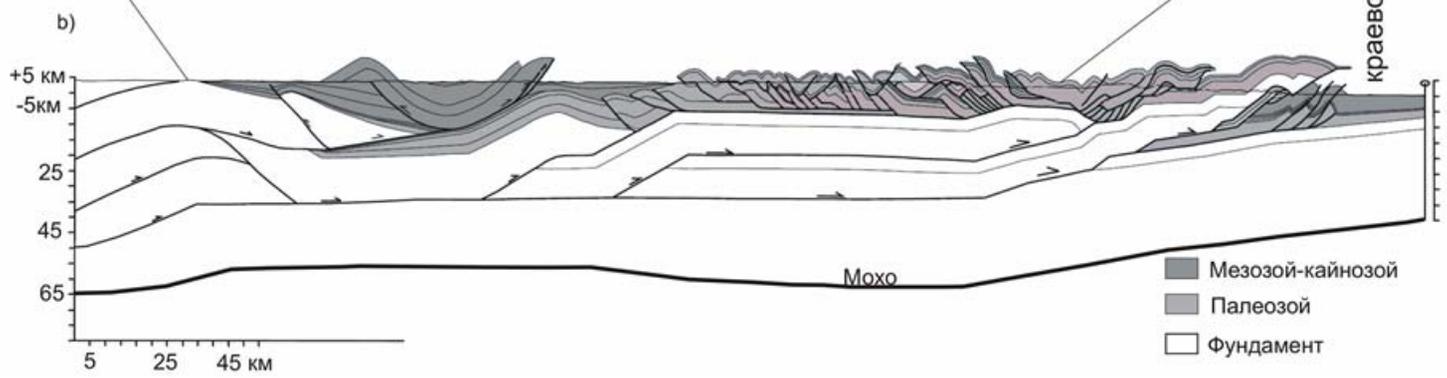
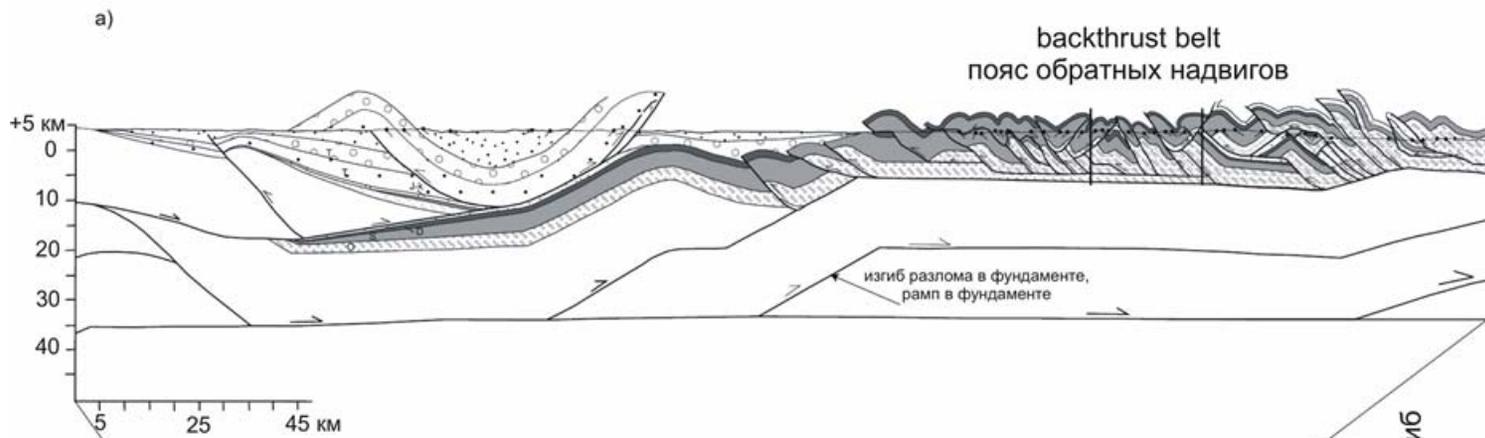
**BOLIVIA ( $\approx 17-21^{\circ}\text{S}$ )**



**Б ECUADOR ( $\approx 0-2^{\circ}\text{S}$ )**

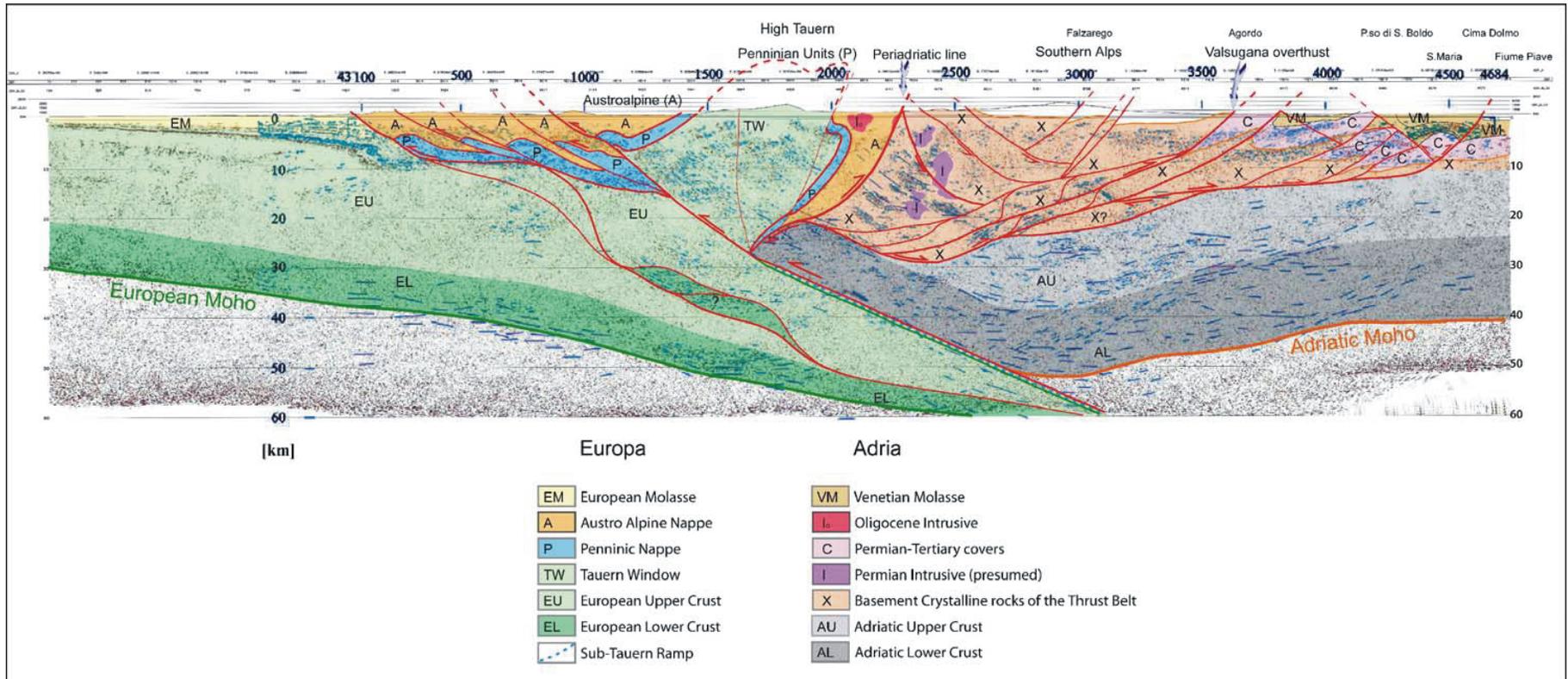




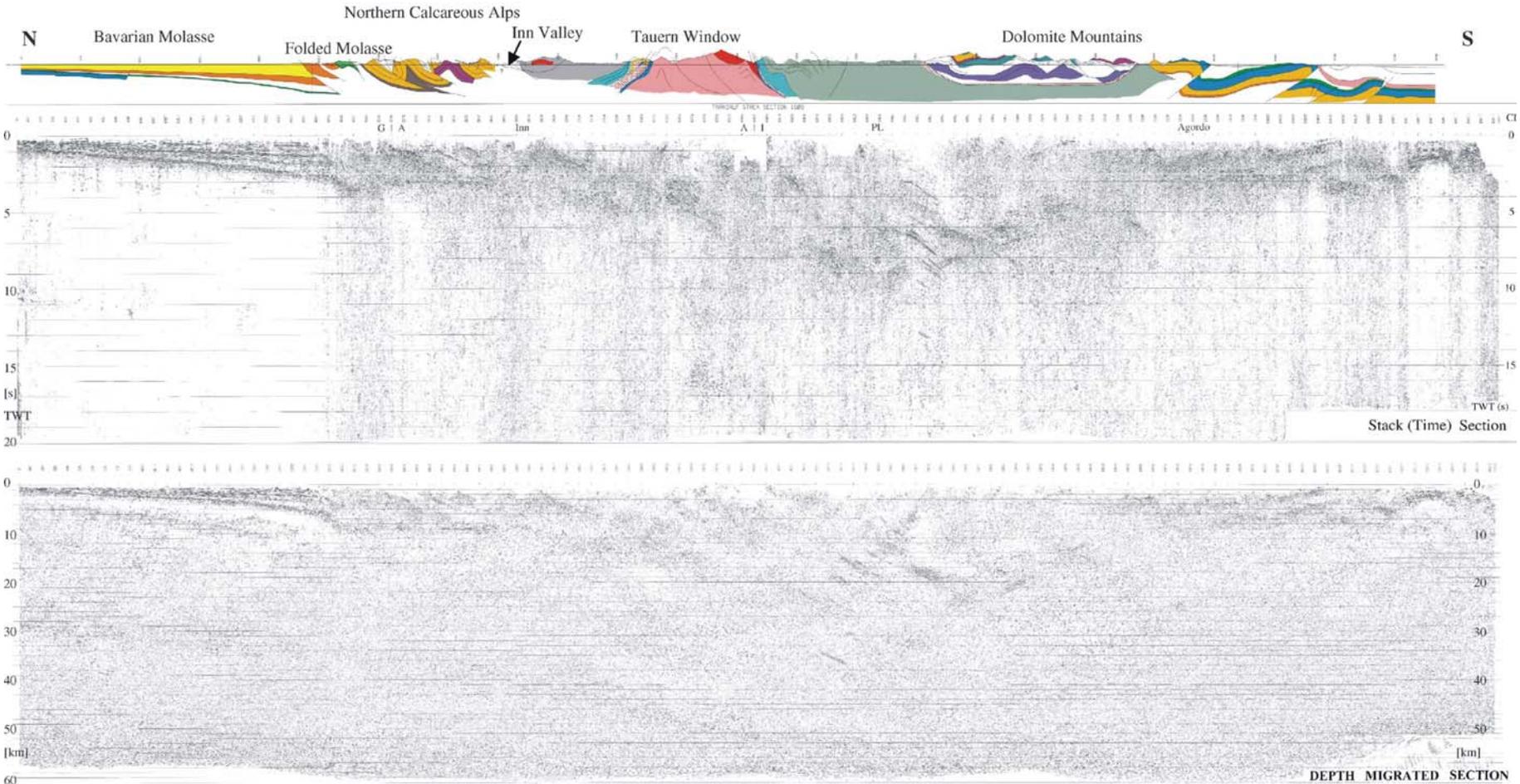


Краевые (флексурные)  
прогибы

# A. Castellarin et al. / Tectonophysics 414 (2006) 259–282

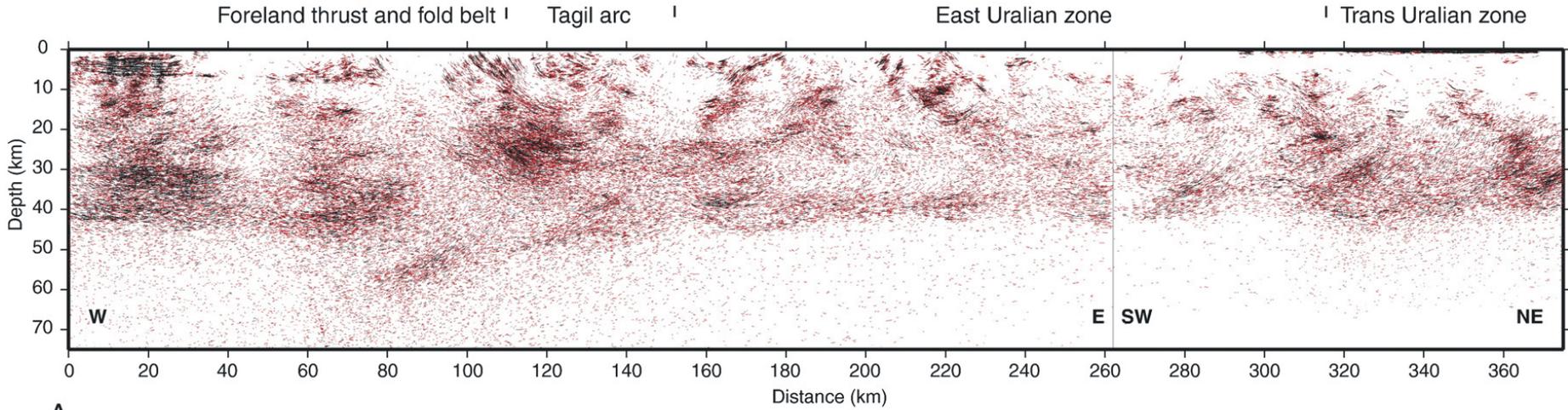


Simplified general interpretation of the TRANSALP profile. Line-drawing obtained from vibroseis and explosive data (from Lu'schen et al., 2005).

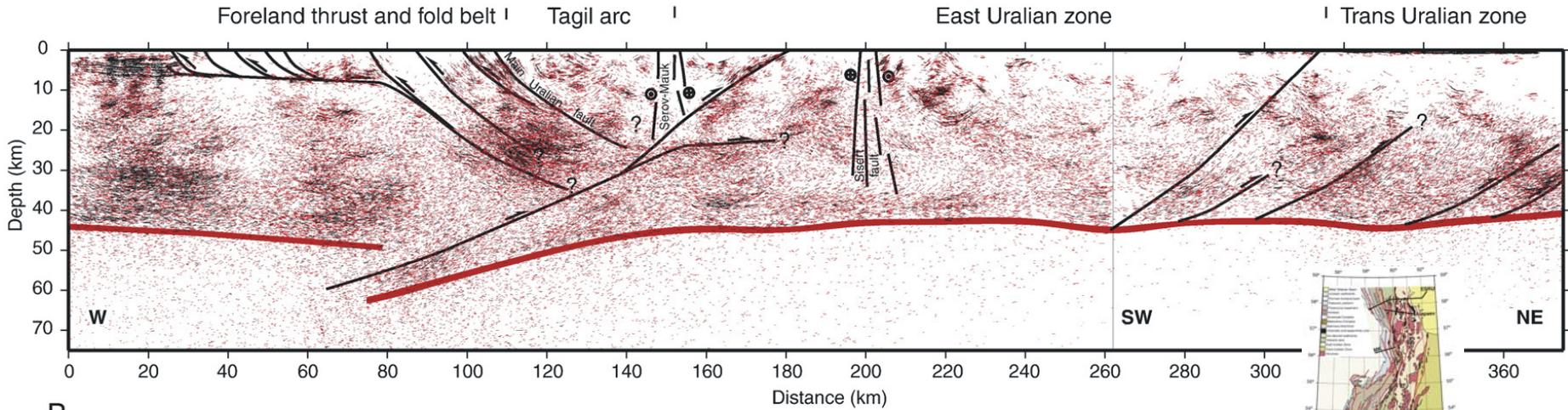


Compilation of complete Vibroseis sections of the TRANSALP transect.

Top: Stack section, bottom: depth-migrated section. The stack section has been produced by using a 20 s long AGC window before stacking in order to maintain relative amplitudes. A 2 s long AGC window was used for input into the migration scheme in order to make the wavefield more coherent. Scale 1: 1, length of sections: 300 km.

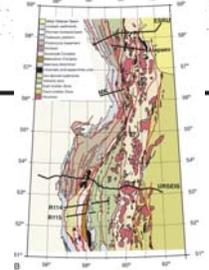


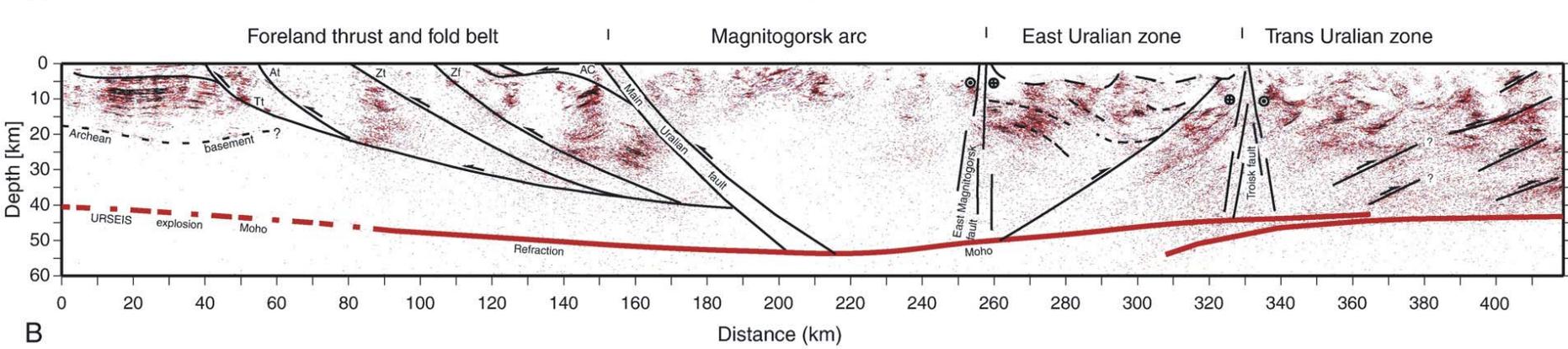
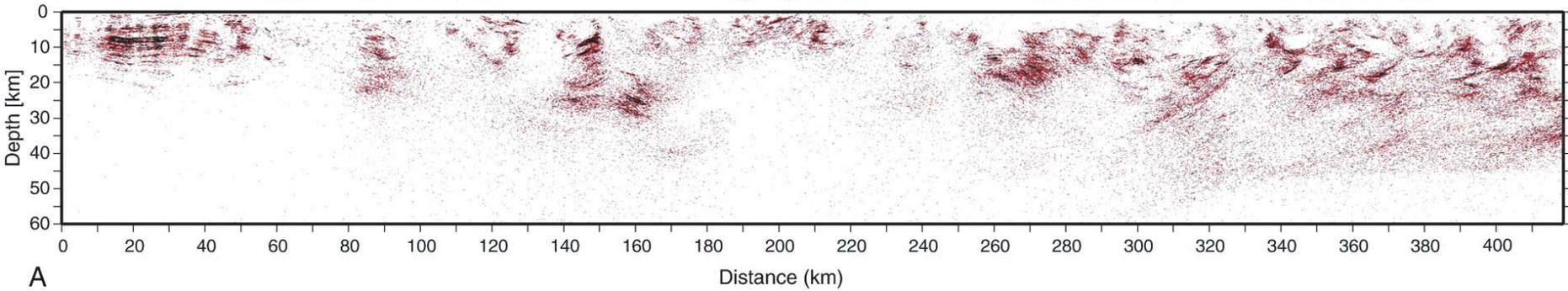
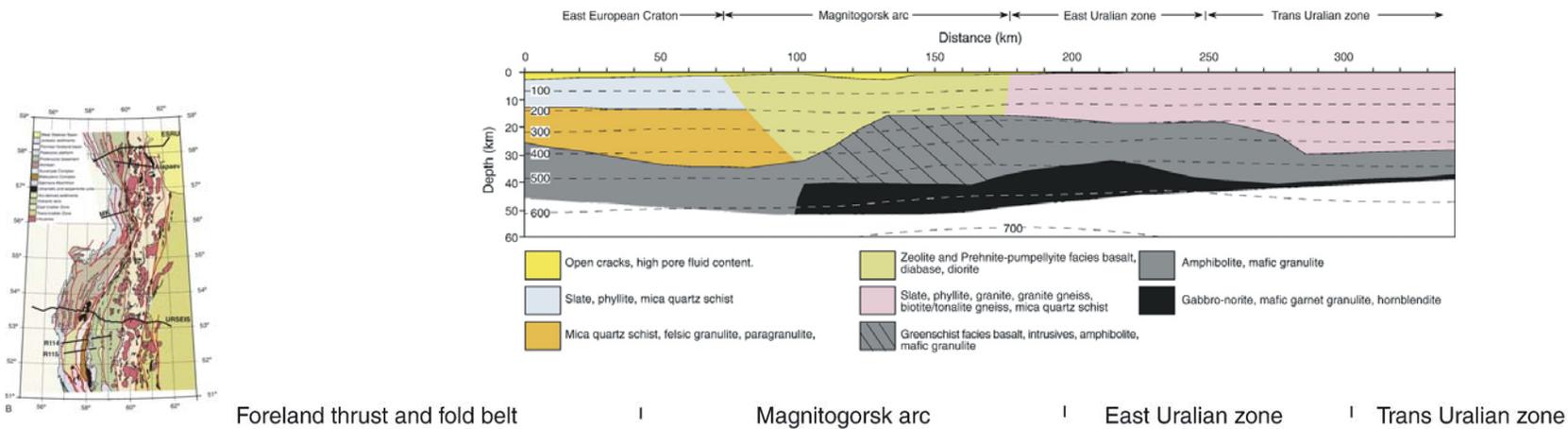
A



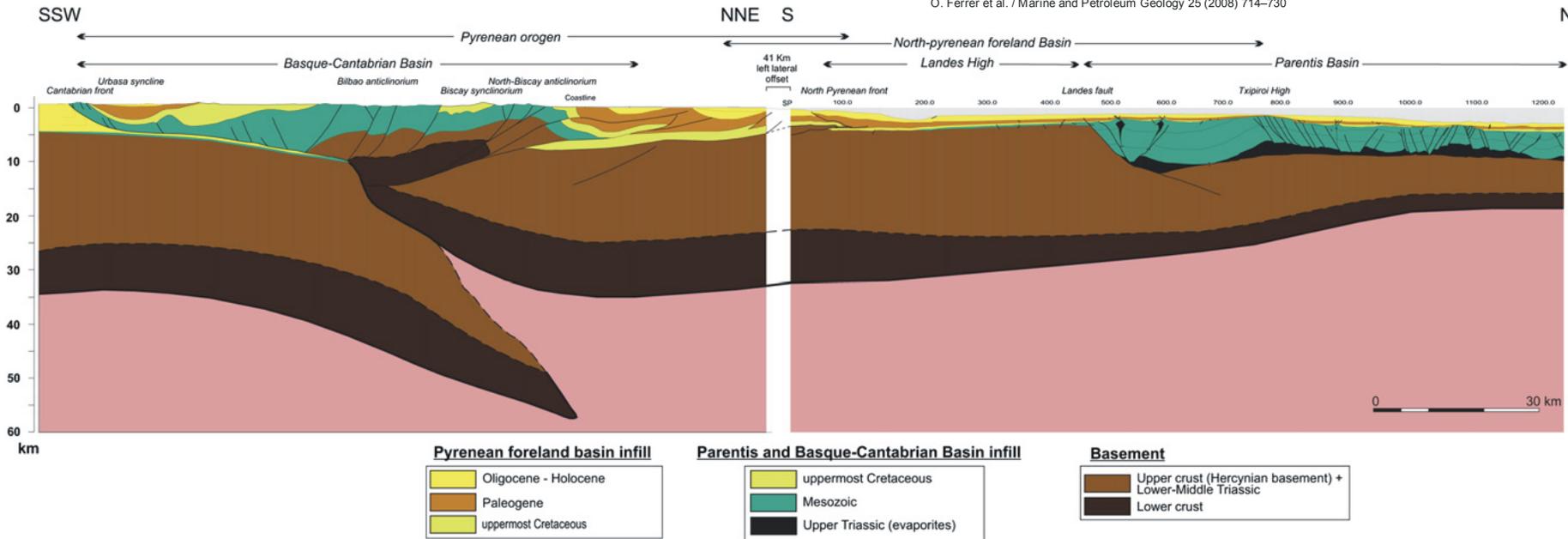
B

A) Uninterpreted and, B) interpreted line drawings of the coherency filtered, depth-migrated ESRU data. See Fig. 1B for location.

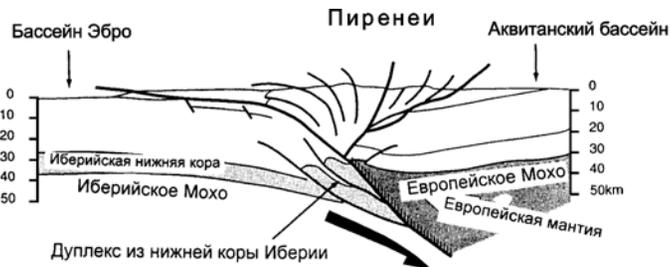




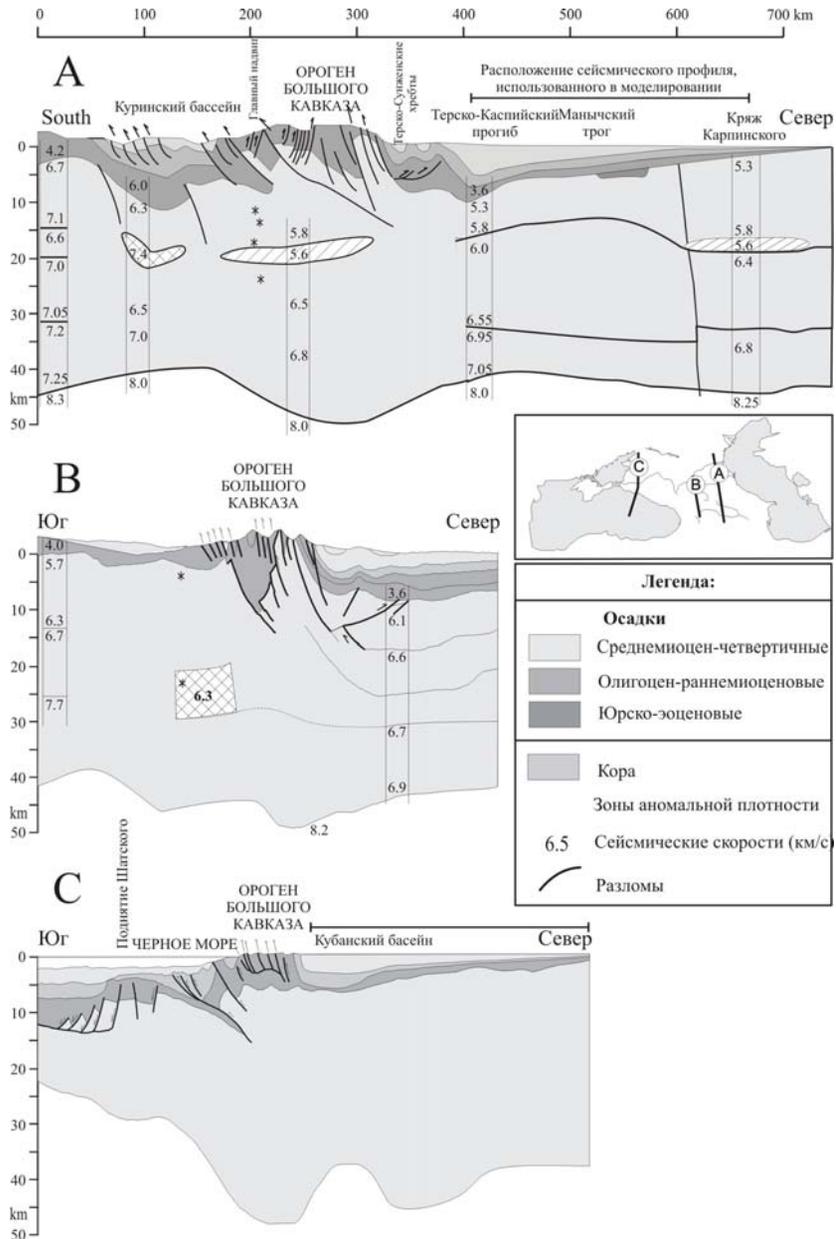
A) Uninterpreted and, B) interpreted line drawings of the coherency filtered, depth-migrated URSEIS vibroseis data. See Fig.1B for location. The location of the URSEIS explosion-source reflection Moho ( Steer et al., 1998 ) and the refraction Moho (Carbonell et al., 1998 ) are shown.



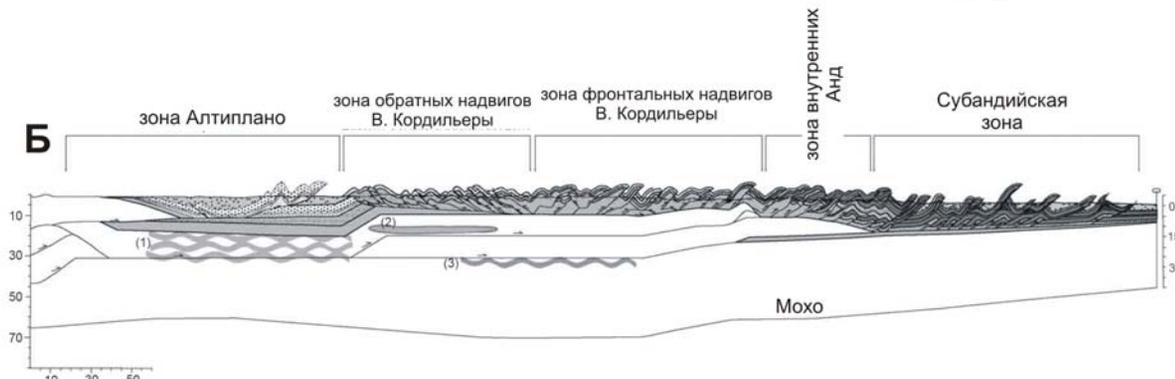
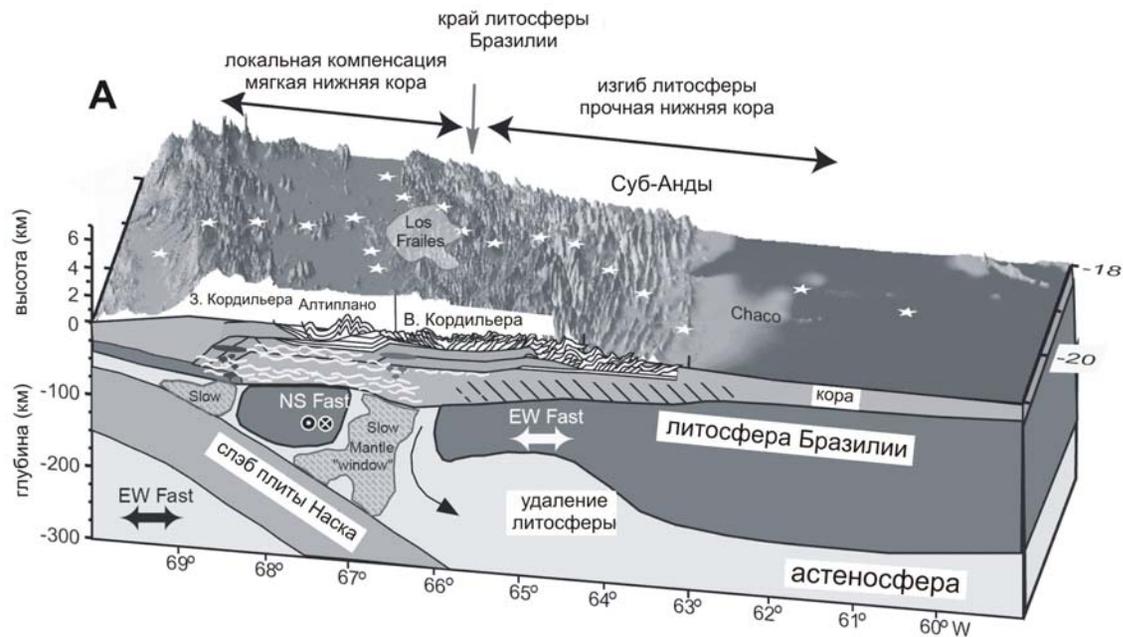
Upper crustal transect through the eastern Bay of Biscay and adjoining northern part of the Basque Pyrenees based on MARCONI-3 profile interpretation and the crosssection made by Pedreira (2004) immediately southwards. See locations in Fig. 2.



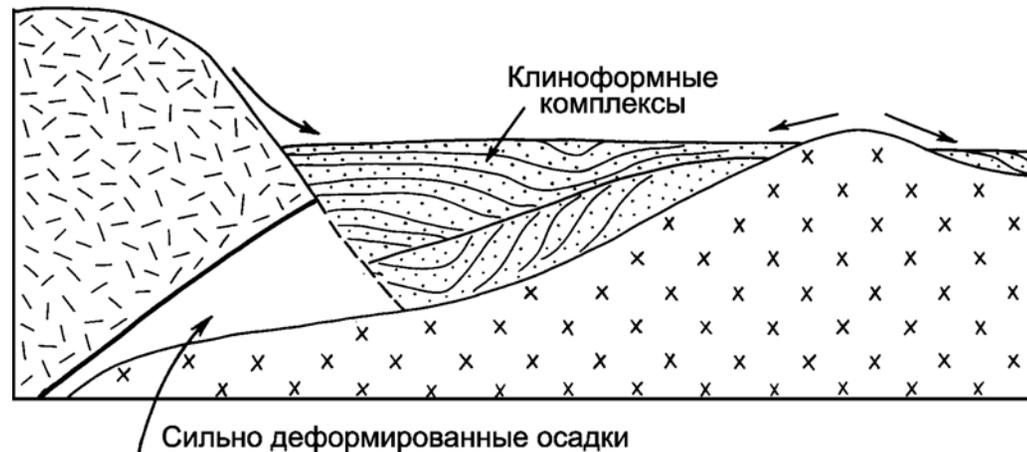
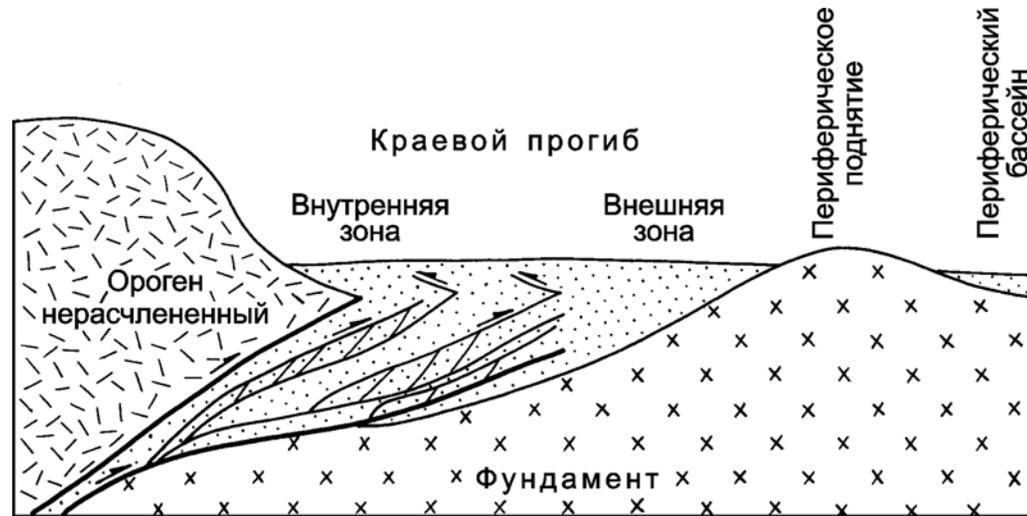
**Разрезы коры через Пиренеи, Альпы и Апеннины, построенные на основе сейсмических профилей и показывающие позицию краевых прогибов. Отчетливо видно, что краевые прогибы прогнуты вместе со всей корой. (Ziegler, Roure, 1996)**



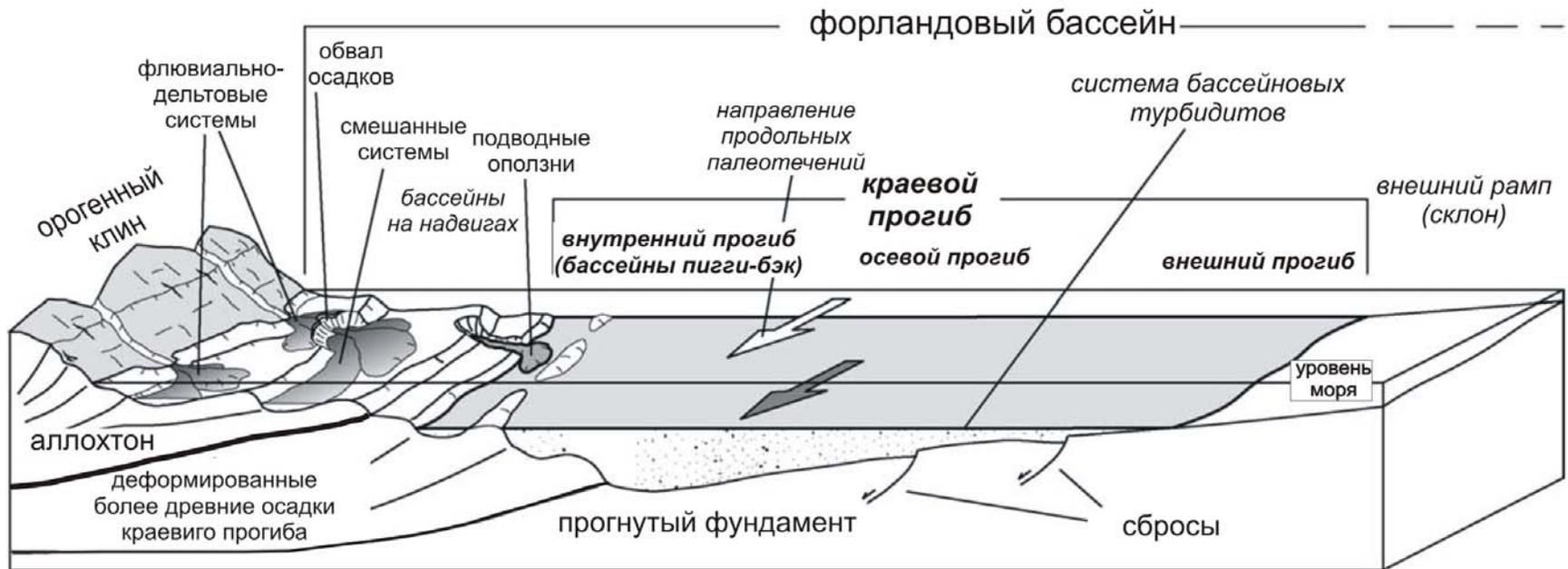
**Коровые разрезы через Восточный Кавказ (А), Центральный Кавказ (В) и Западный Кавказ (С). Позиция профилей показана на карте. По (Ershov et al., 1999)**



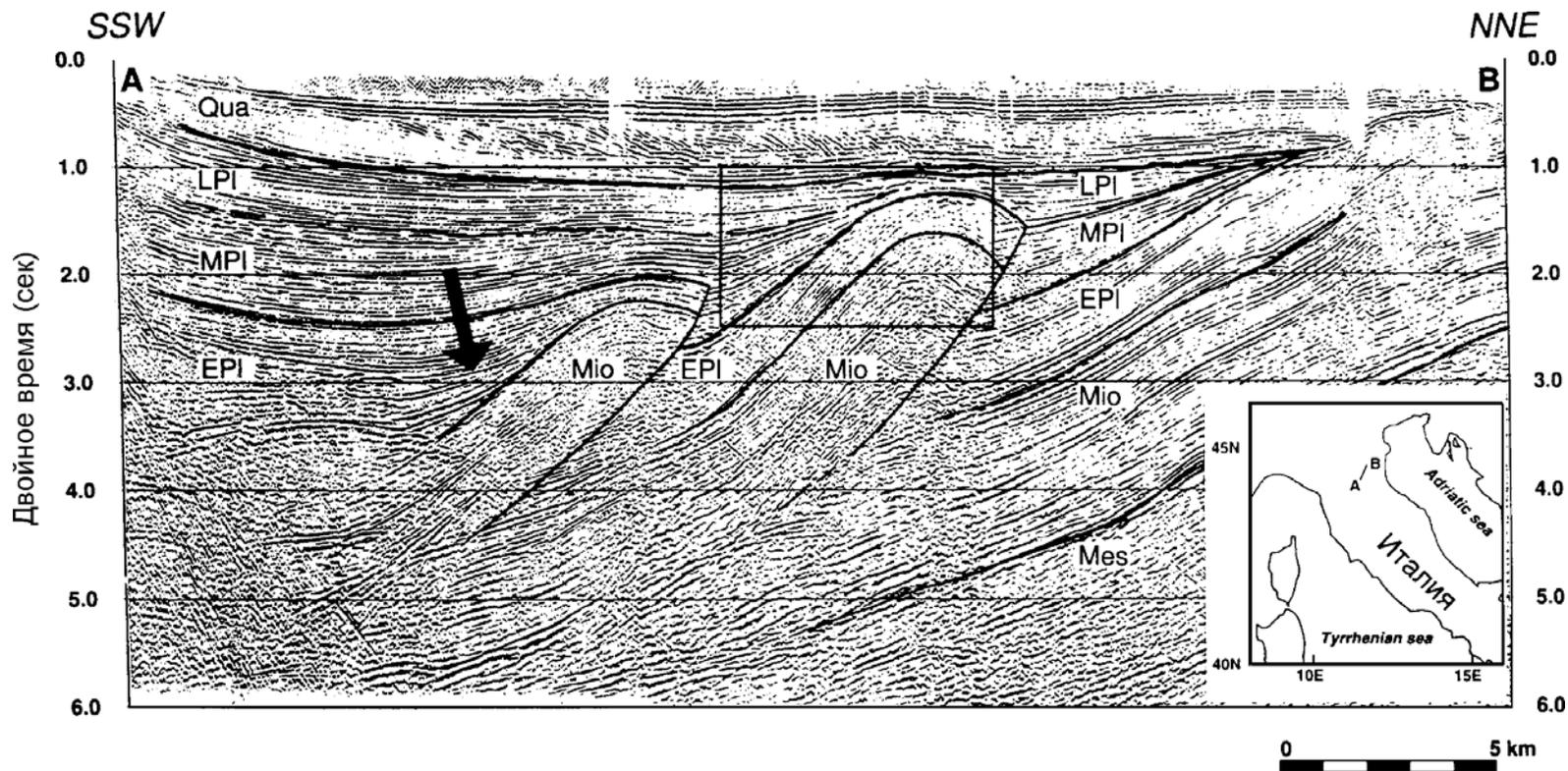
**А.** Блок-диаграмма литосферы Центральных Анд (McQuarrie et al., 2005). Звездами показаны пункты сейсмостанций. Темно-серая литосфера указывает на высокие скорости Р-волн в верхней мантии, а белая и серая мантия указывает на замедление Р-волн скоростей. Коровые низкоскоростные зоны показаны белыми волнами. Низкоскоростные зоны вероятно связанные с коровым плавлением показаны черным для Западной Кордильеры и темно-серым для вулканического комплекса Los Frailes (Лос-Фраилес). Коровая структура показана на основе сбалансированного разреза; надвиги фундамента показаны серым, надвиги в чехле – белым. **Б.** Геологический разрез через Центральные Анды (McQuarrie et al., 2005), тот же район. 1-3 – низкоскоростные зоны Альтиплано (1), Лос-Фраилес (2) и Восточной Кордильеры (3)



**Основные структурные зоны района краевого прогиба и принципиальный характер заполнения прогиба осадками (Никишин, 1999, 2002)**

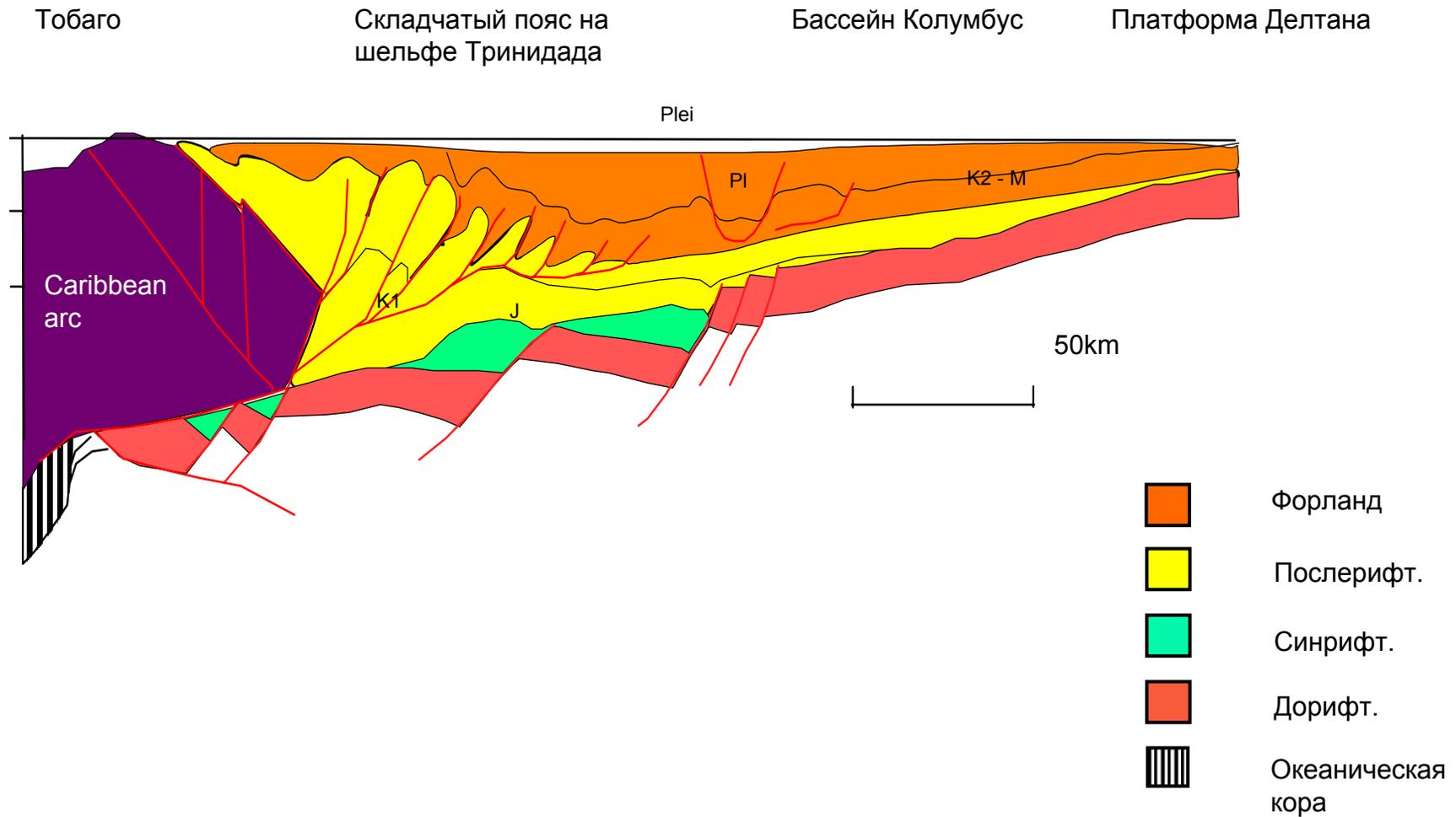


**Схема, показывающая основные структурные и седиментационные элементы краевого прогиба средиземноморского типа (Mutti et al., 2003)**

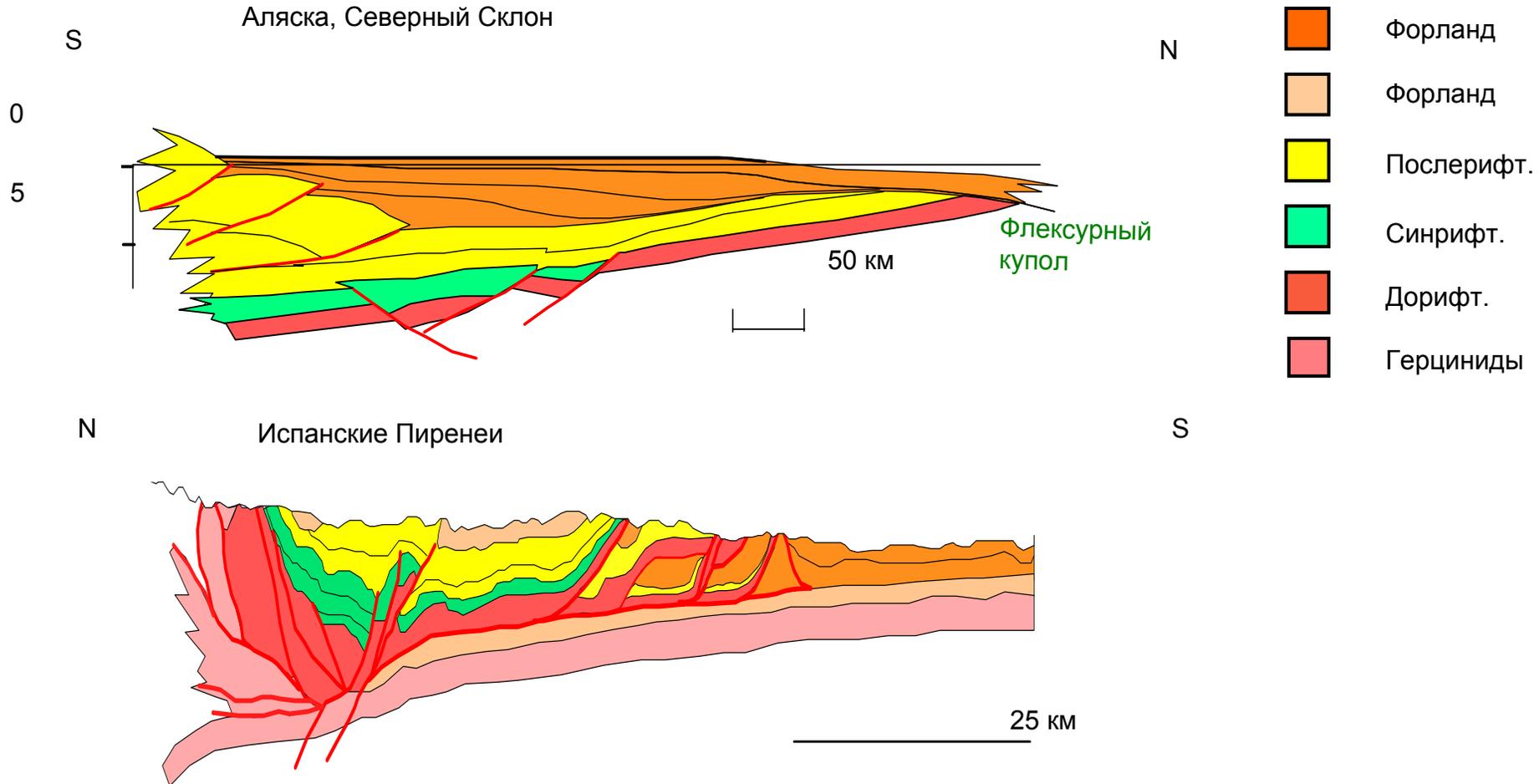


Сейсмический профиль через надвиговую дугу Феррара-Ромагна в Италии в полосе границы Апеннин и молассового бассейна По. Mes - мезозой, Mio - миоцен, EPI - нижний плиоцен, MPI - средний плиоцен, LPI - поздний плиоцен, Qua - квартал. Отчетливо видны надвиги, формировавшиеся одновременно с осадконакоплением. Деформированные толщи перекрываются недеформированным чехлом, образуя бассейн типа пиггибэк. Стрелка указывает на срезание, интерпретируемое как результат активизации надвига. По (Zoetemeijer, 1993).

# Мегасиквенсы форландового бассейна

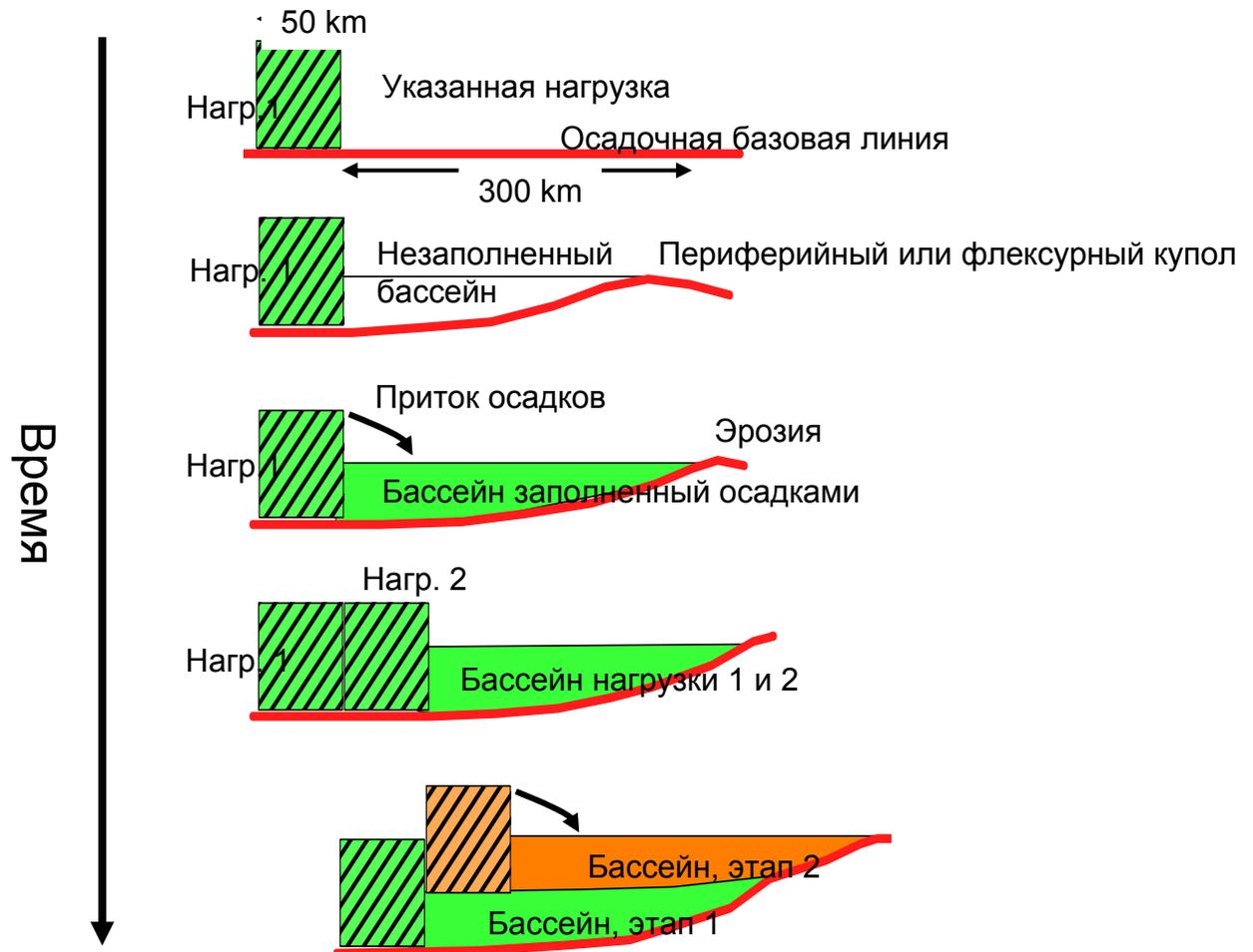


# Мегасиквенсы форландового бассейна

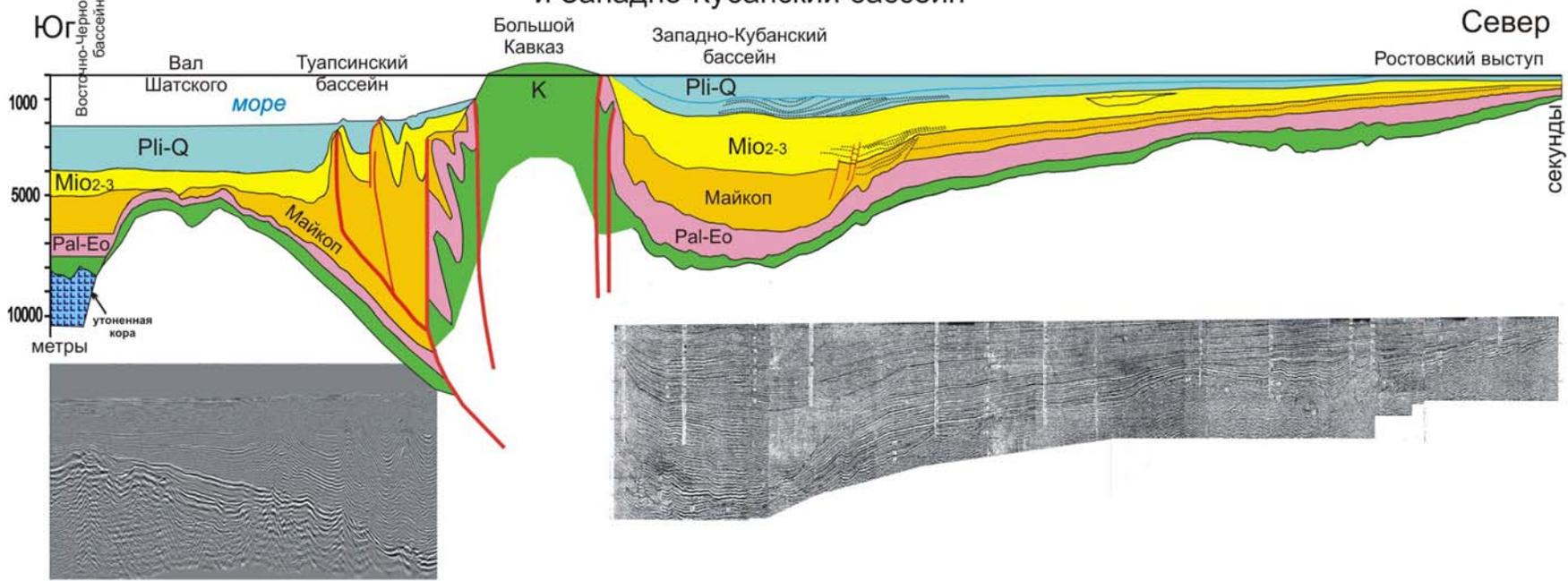


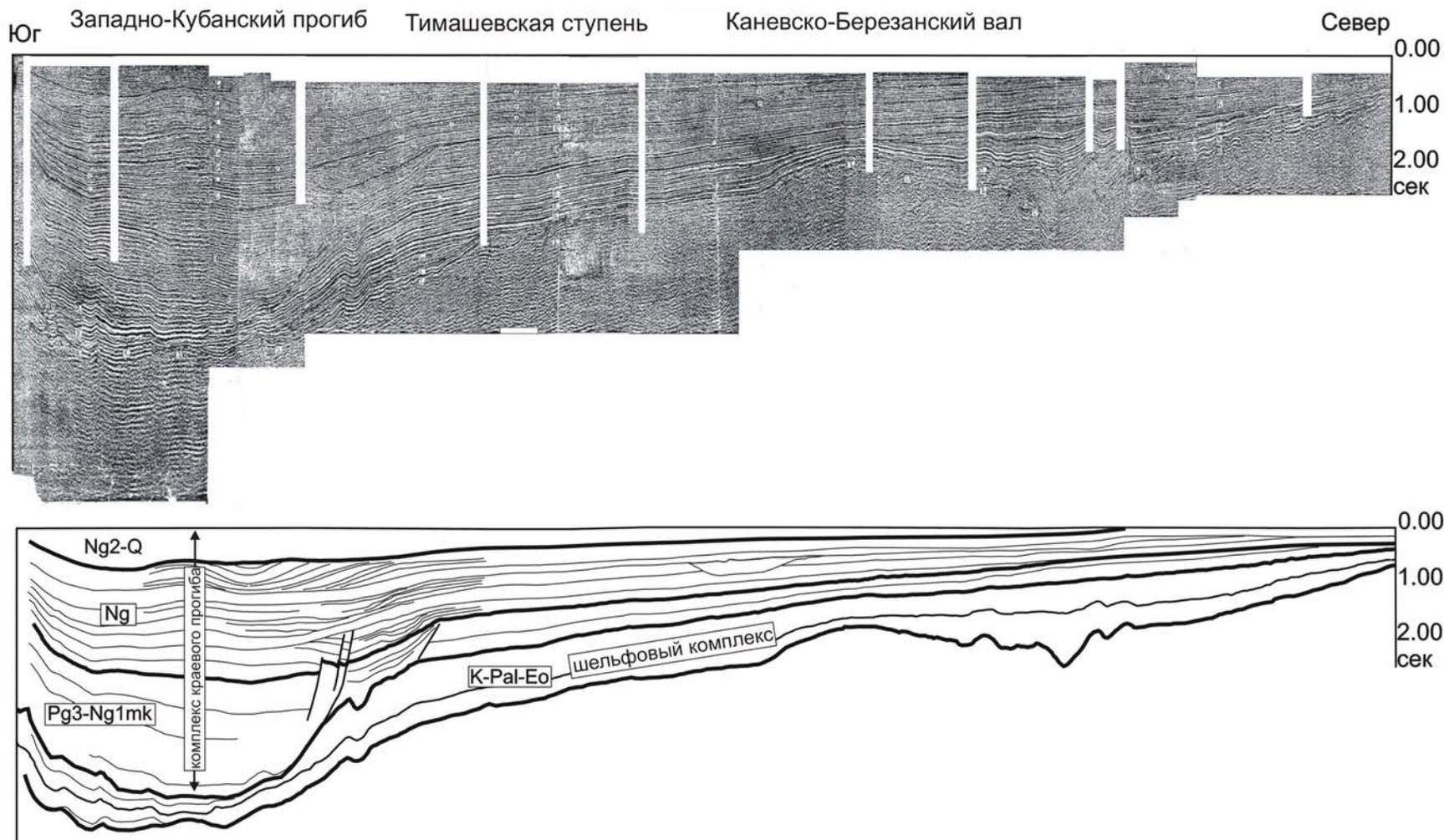
# Прогрессия суши и форландовый бассейн Сиквенсов

Флексурная модель



# Региональный разрез через вал Шатского, Туапсинский бассейн, Большой Кавказ и Западно-Кубанский бассейн



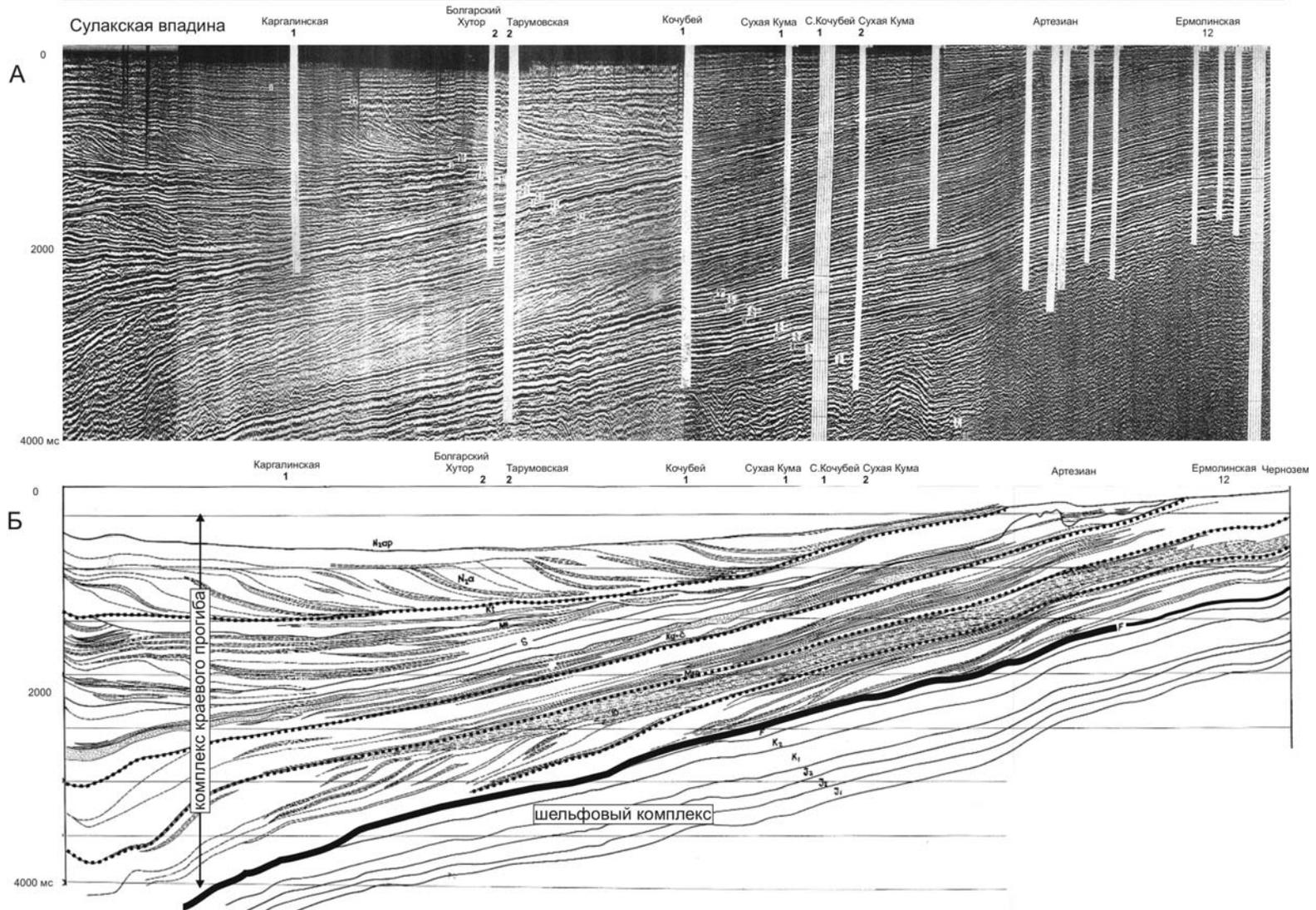


**Сейсмический профиль и его интерпретация для Западно-Кубанского Предкавказского краевого прогиба. На профиле отчетливо видно, что главная фаза погружения прогиба была в олигоцене. Прогиб выполнен терригенными песчано-глинистыми отложениями с олигоценовыми турбидитами в осевой части. Отчетливо виден неогеновый молассовый комплекс с клиноформами**

# Региональный сейсмический и сейсмогеологический разрез через Терский прогиб

(Шерафутдинов и др., 1999, Шерафутдинов, 2002)

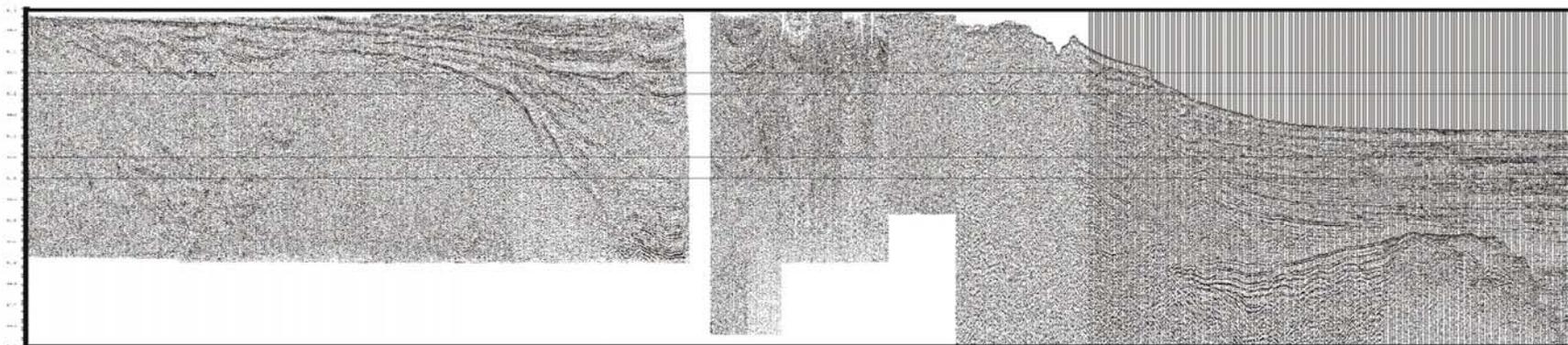
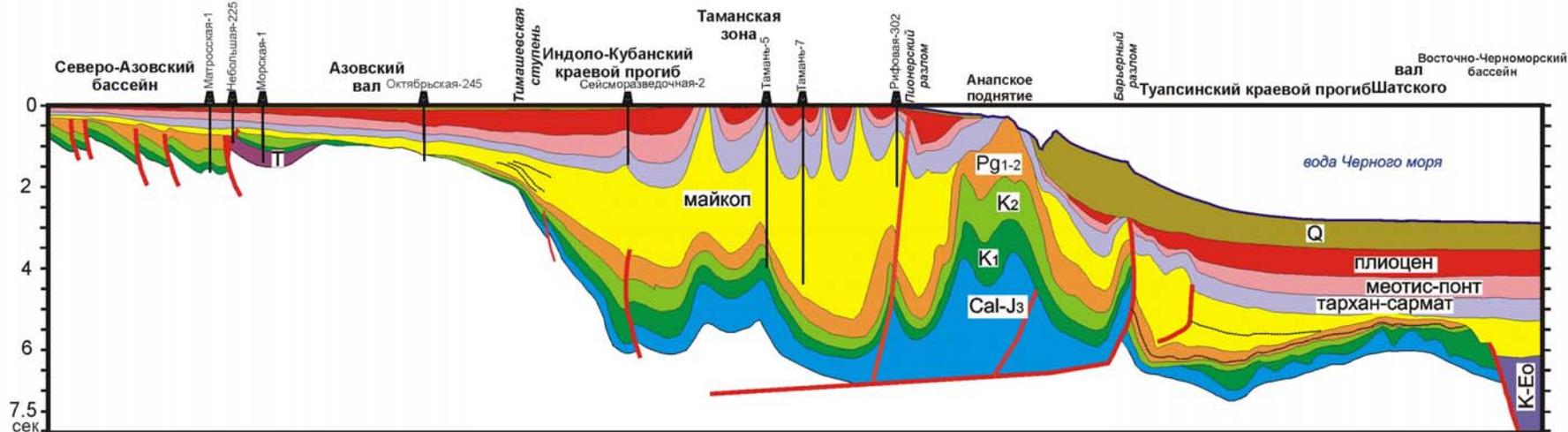
Терско-Каспийский передовой прогиб    Ногайская ступень    Прикумская система поднятий    Маньчский прогиб    Кряж Карпинского



Сейсмический профиль и его интерпретация для Терского Предкавказского краевого прогиба (Шерафутдинов и др., 1999, Шерафутдинов, 2003).

# Региональный разрез через район Анапского выступа

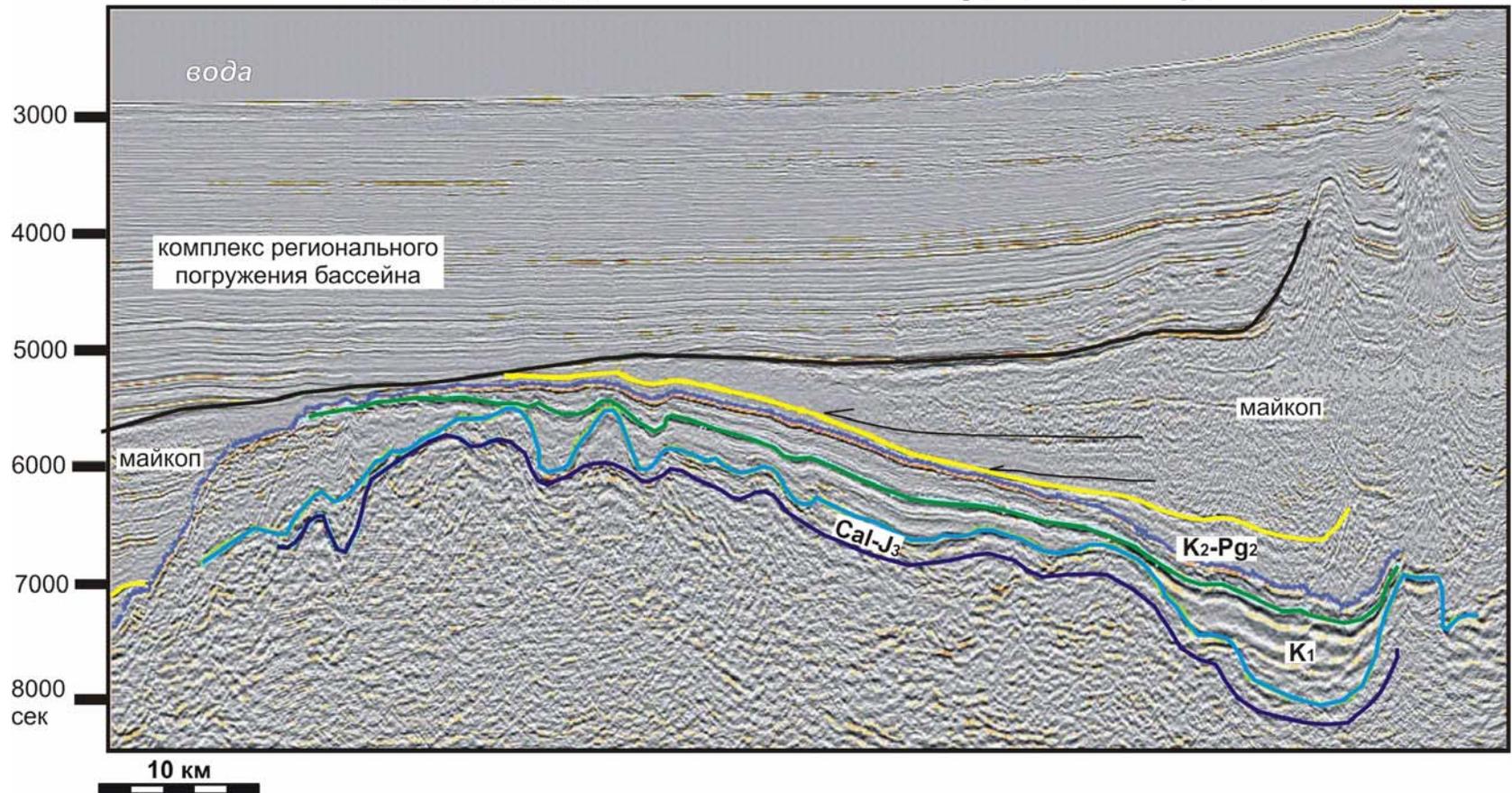
Сейсмический разрез и его интерпретация для зоны Анапского выступа и сопряженных прогибов



вал Шатского

WBS-02-14

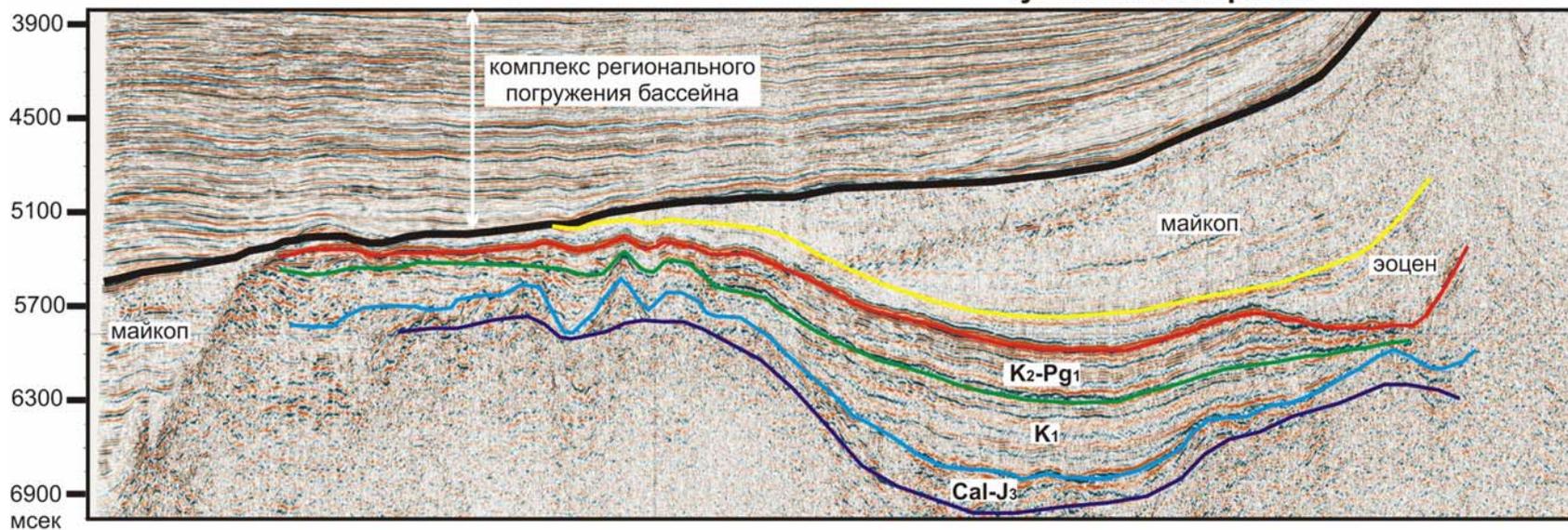
Туапсинский прогиб



вал Шатского

WBS-02-38

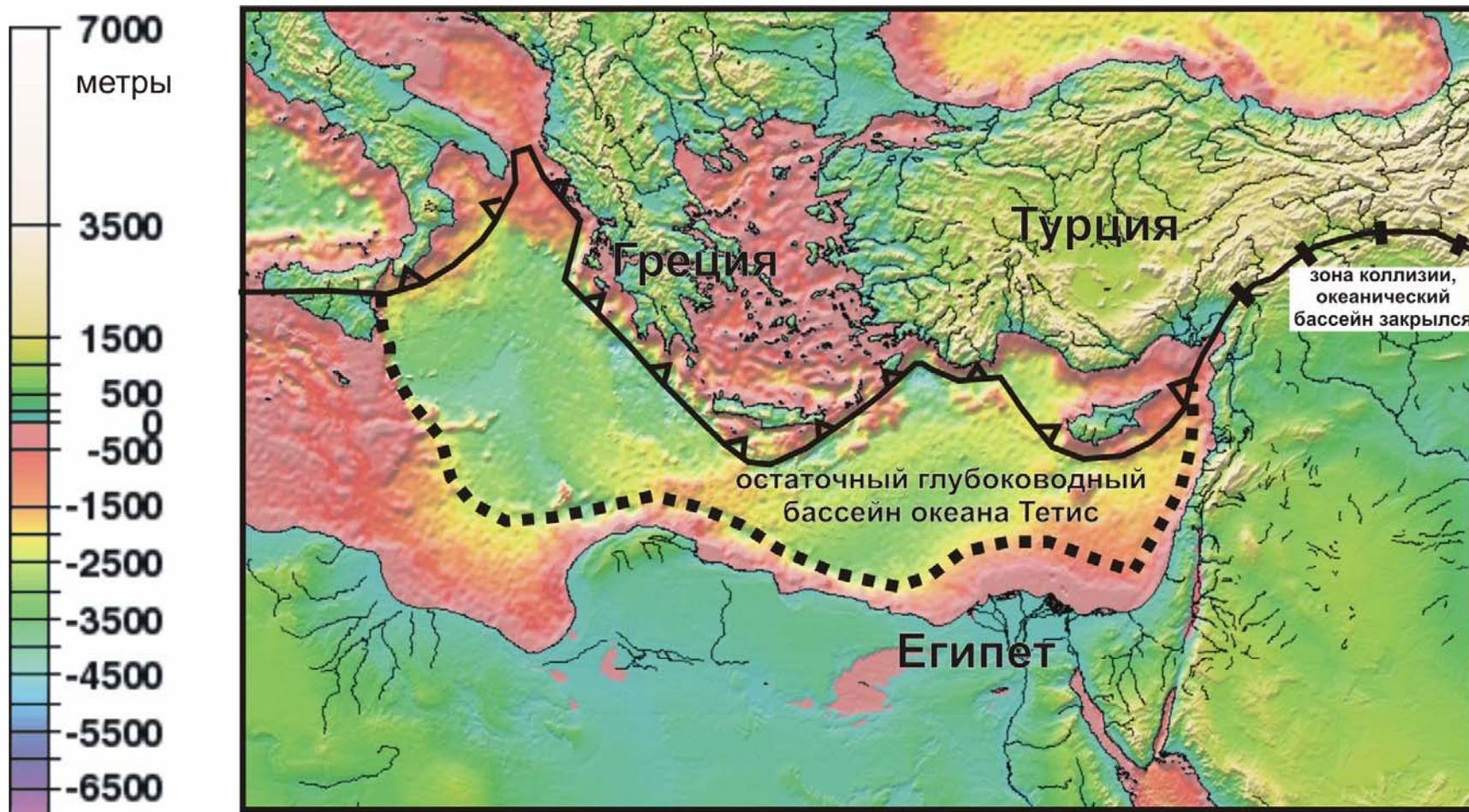
Туапсинский прогиб



10 км

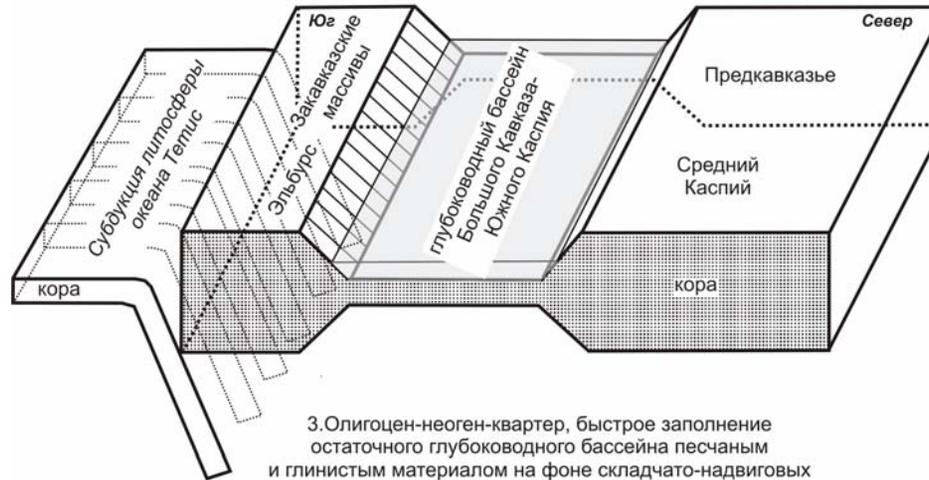
# Остаточные бассейны

Пример современного остаточного осадочного бассейна. Показана карта рельефа Восточно-Средиземноморского региона. Восточно-Средиземноморский бассейн является остаточным бассейном океана Тетис. Основная часть литосферы океана субдуцировала под Евразию. Бассейн является хорошей ловушкой для осадочного материала.



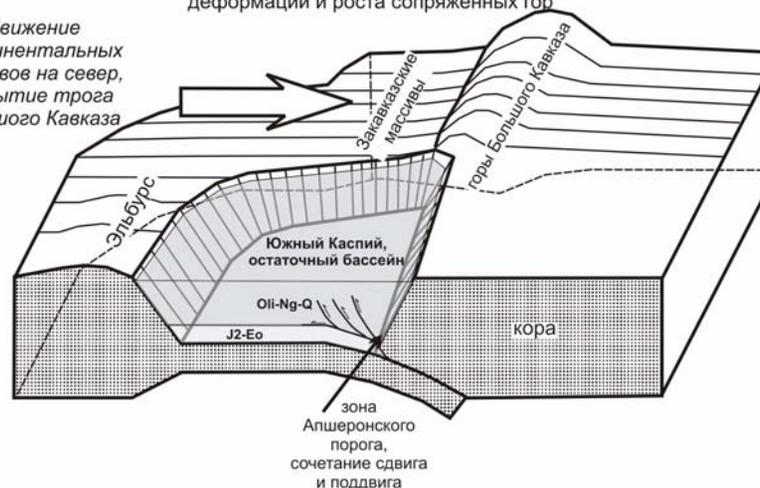
# Схема формирования осадочного бассейна Южного Каспия

1. Келловей-поздняя юра, раскрытие задугового глубоководного бассейна с океанической и утоненной континентальной корой, глубоководная седиментация. 2. Мел-эоцен, седиментация в относительно спокойном глубоководном бассейне

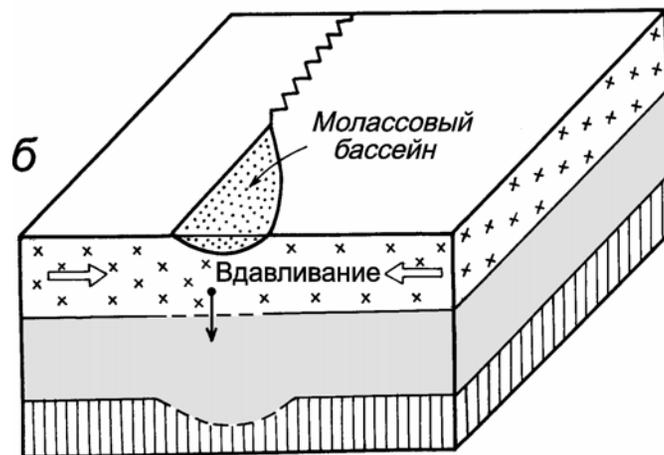
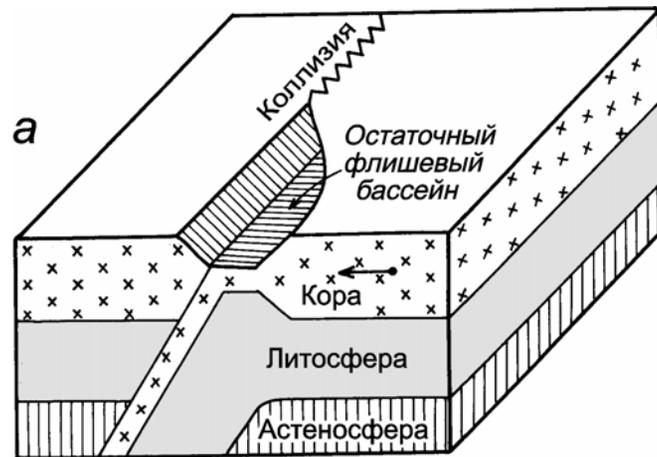


3. Оligocen-неоген-квартер, быстрое заполнение остаточного глубоководного бассейна песчаным и глинистым материалом на фоне складчато-надвиговых деформаций и роста сопряженных гор

Движение континентальных массивов на север, закрытие трого Большого Кавказа



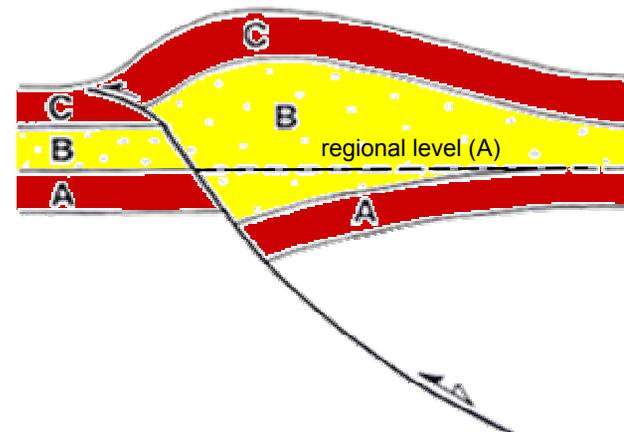
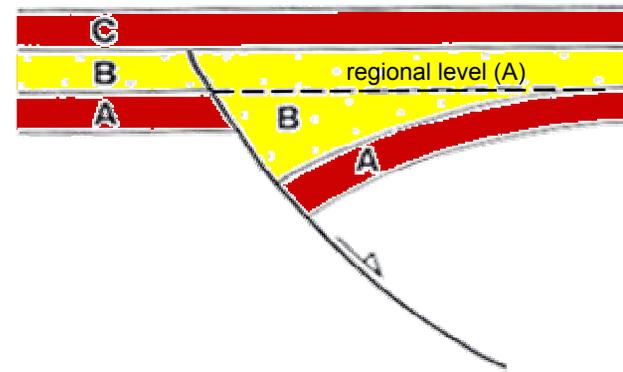
# Модель образования остаточных молассовых впадин



# Структурная инверсия

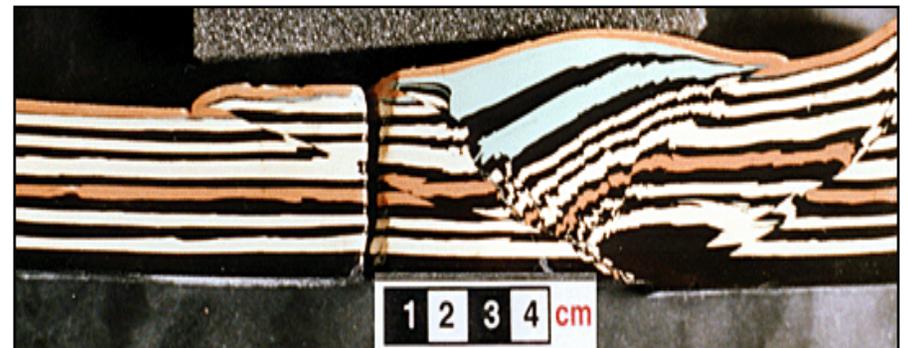
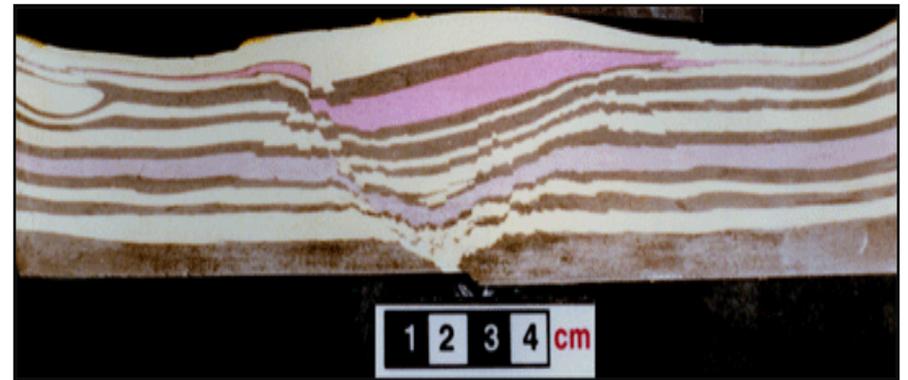
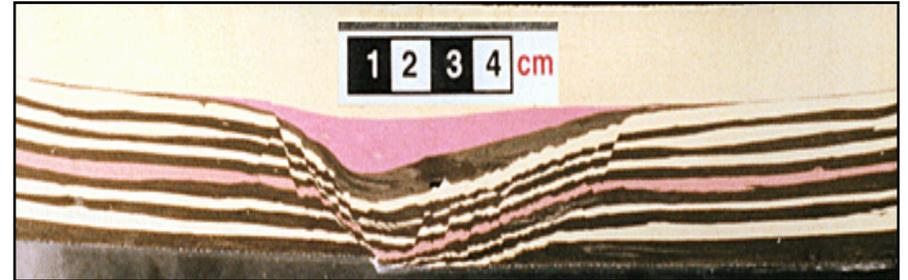
# Основные понятия

- Переключение тектонического режима со структур растяжения на структуры сжатия таким образом, чтобы бассейны растяжения стали областями позитивного структурного рельефа.
  - Частичная или полная экструзия синрифтового заполнения бассейна.
- Обращение движения ранних сбросов растяжения таким образом, чтобы ранние сбросы могли стать взбросами.



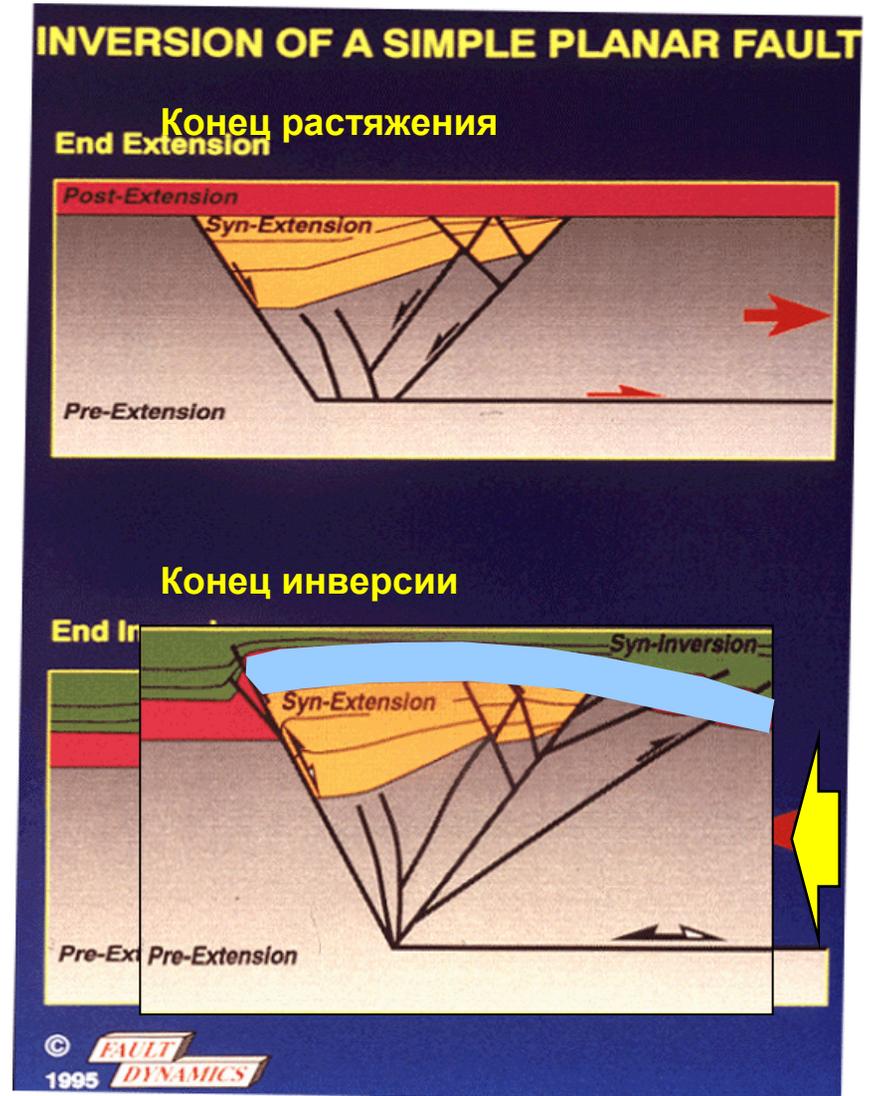
# Основные понятия (продолжение)

- Во время инверсии ранние сбросы, ограничивающие грабены, могут не быть вновь активизированы.
- Возникают разные структурные изменения.
  - Для приема на себя части сжатия часто образуются новые взбросы лежачего бока.
  - В ответ на сжатие подстилающего слоя геологического фундамента может начаться широкое изгибание структуры бассейна.
    - Незначительный укрепляющий эффект ограничивающих бассейн массивов.



# Планарные сбросы

- Широкое выпуклое воздымание и соответствующая экстррузия ранней структуры бассейна.
- Ярко выраженный укрепляющий эффект ограничивающего бассейн сброса может привести к развитию крупномасштабных обратных надвигов.

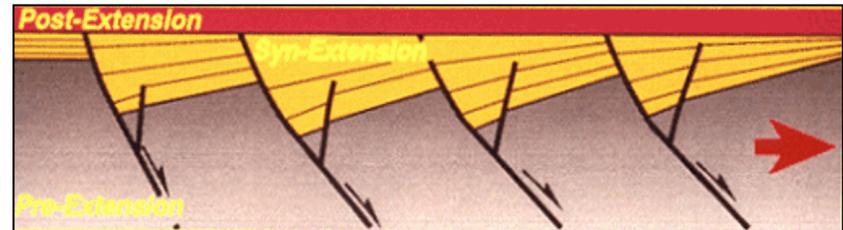


# Планарные сбросы типа

## “ДОМИНО”

- Инверсия серии связанных небольших полуграбенов приводит к тому, что инверсионные системы характеризуются классической ‘гарпунообразной’ геометрией.
- Полная инверсия приводит к образованию выпуклого линзообразного тела с плоским основанием, связанного с экструдированными синрифтовыми отложениями.

Конец растяжения



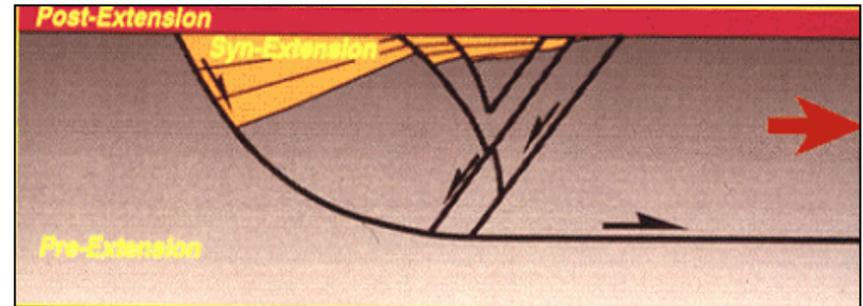
Конец инверсии



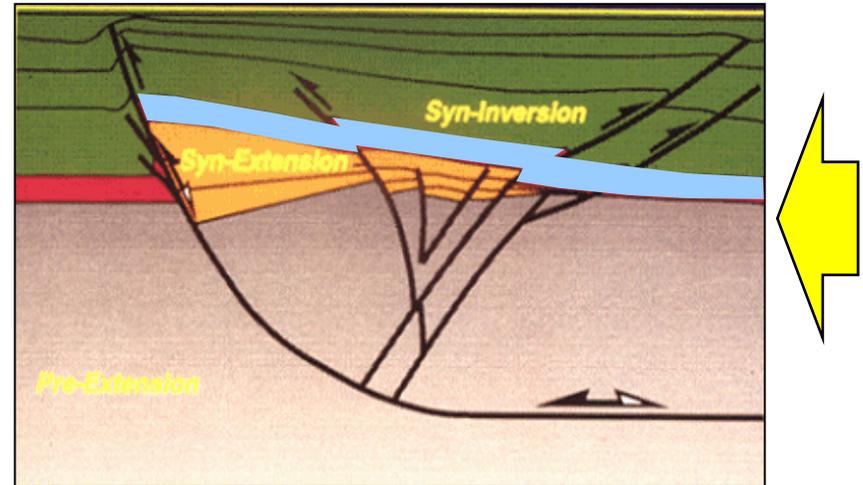
# Листрические сбросы

- **Широкое, более пластообразное** вздымание и связанная с ним экструзия синрифтовых отложений.
- Инверсия полуграбенов приводит к тому, что инверсионные системы характеризуются классической 'гарпунообразной' геометрией.
- Возможный укрепляющий эффект от основания листрического сброса может привести к развитию крупномасштабных обратных надвигов

Конец растяжения



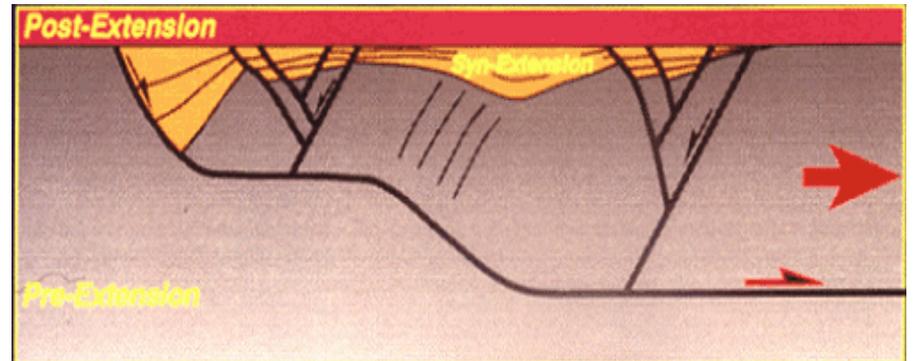
Конец инверсии



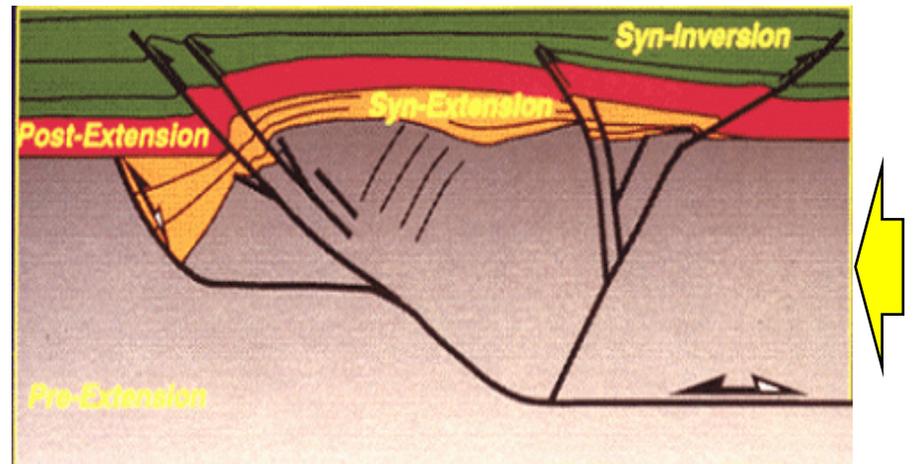
# Сбросы с рампами и флэтами

- Широкое вздымание и экструзия рифтового бассейна.
- Возможное развитие нового флэта-надвига на продолжении более раннего флэта.\*
- Возможное развитие обратных надвигов.

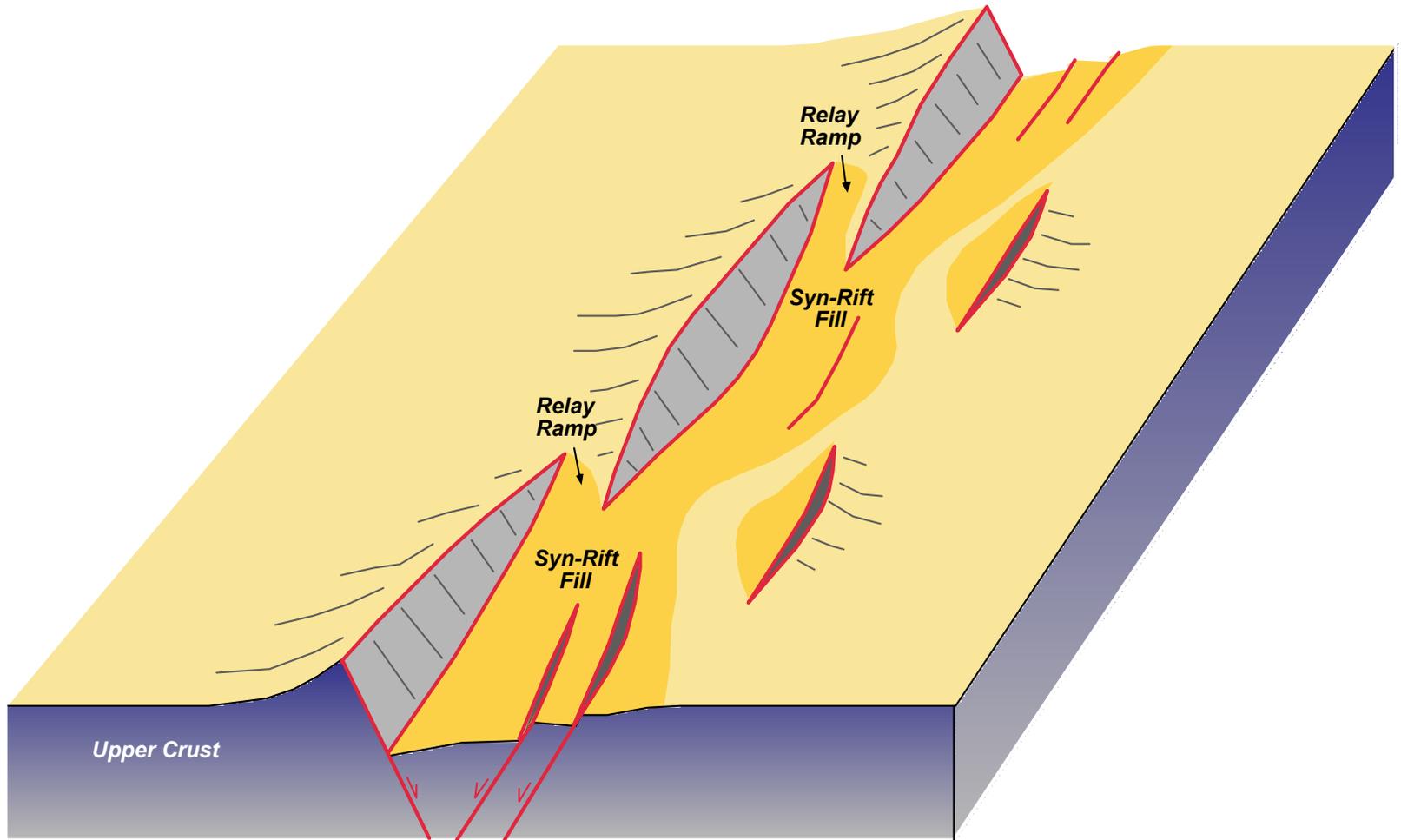
Конец растяжения



Конец инверсии

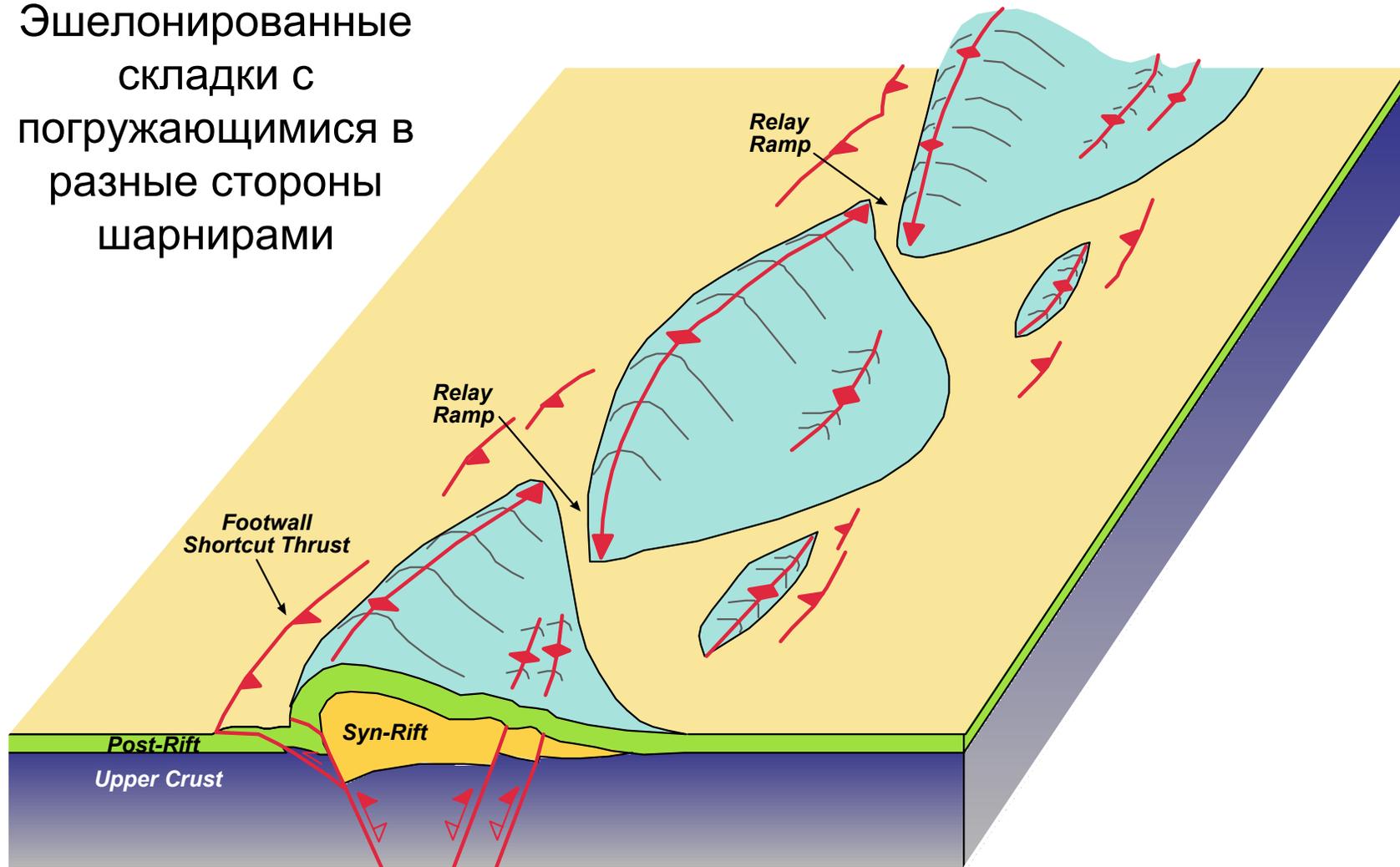


# Асимметричный рифт



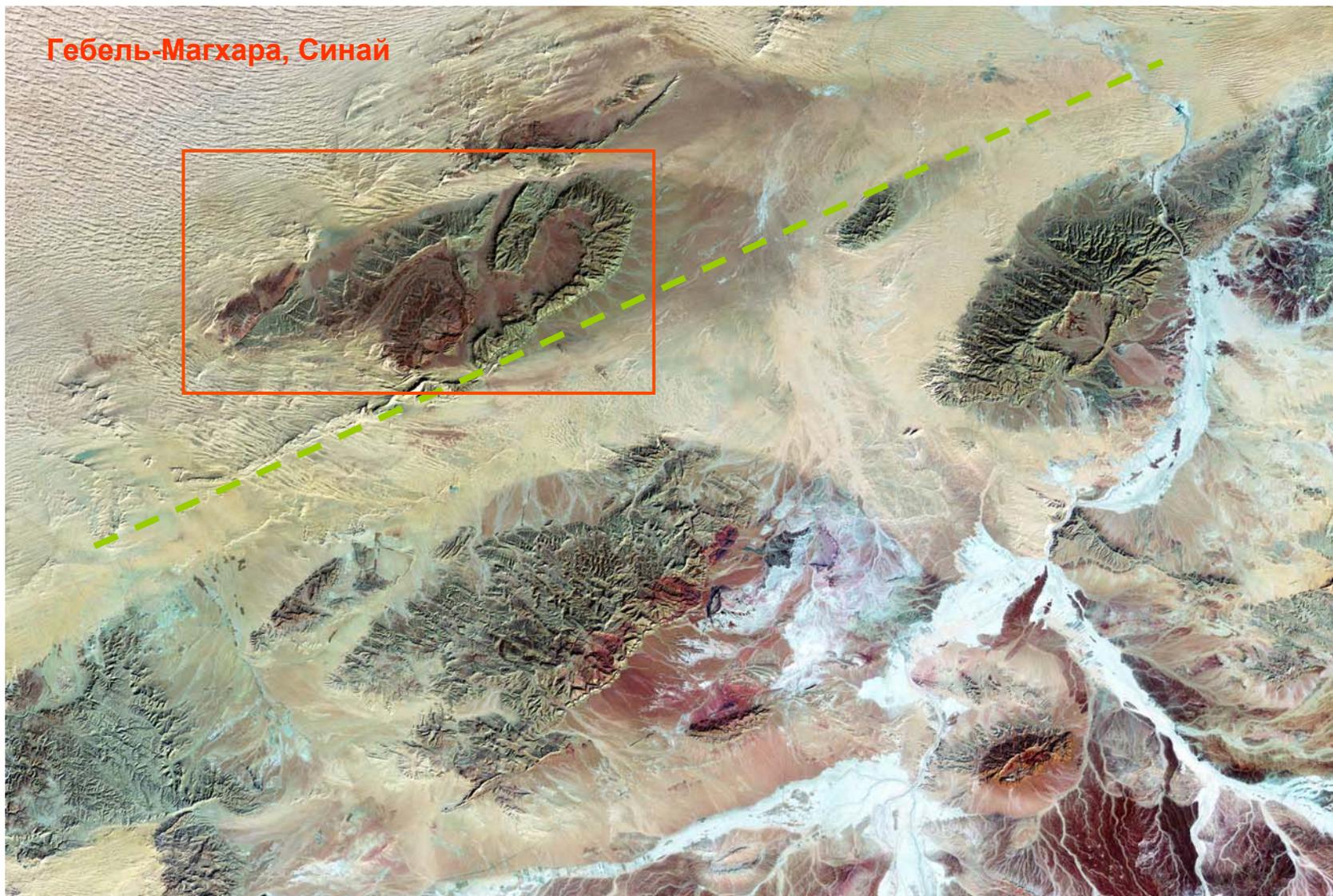
# Инверсированный асимметричный рифт

Эшелонированные складки с погружающимися в разные стороны шарнирами

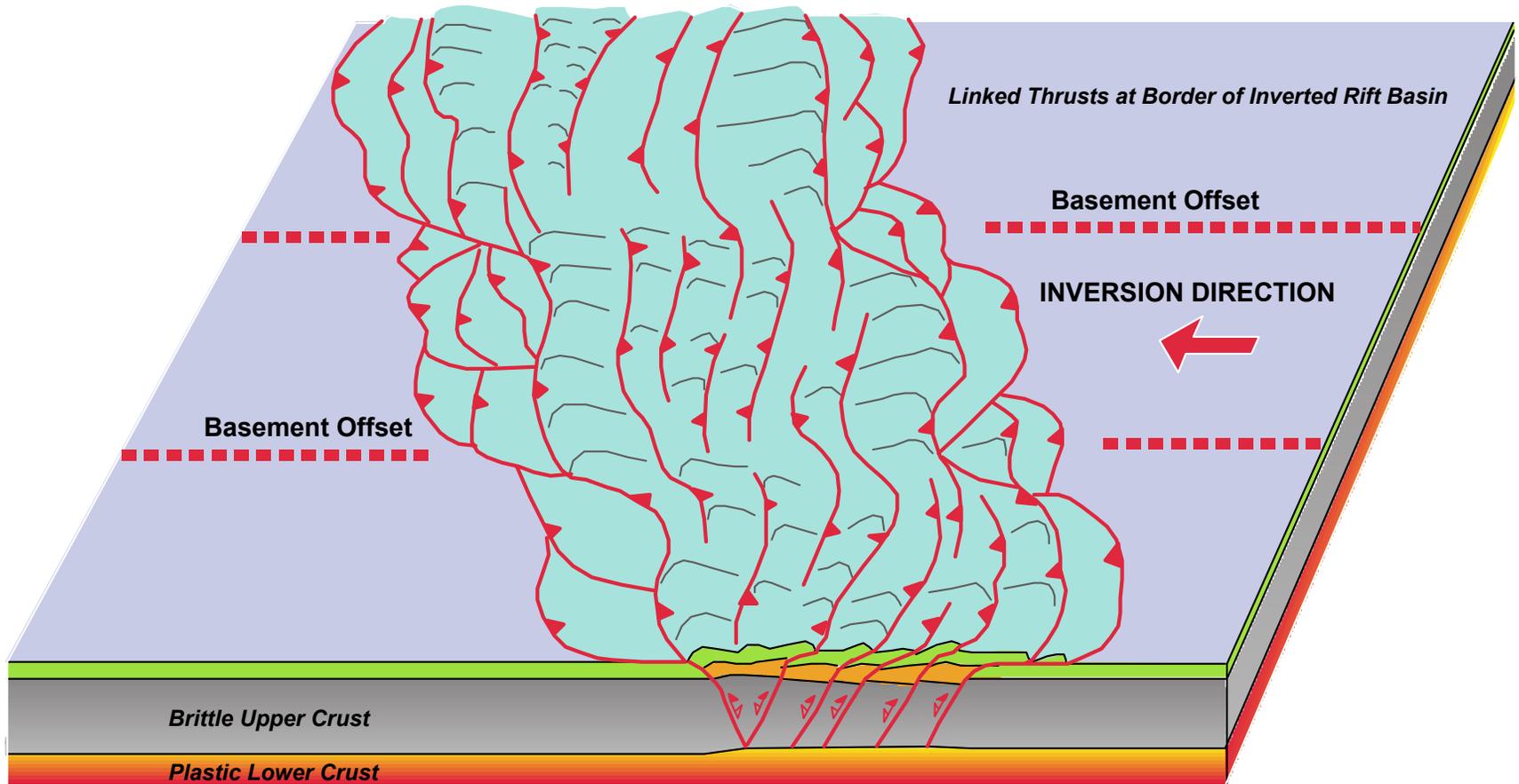


# Инверсионные бранхиантиклинали

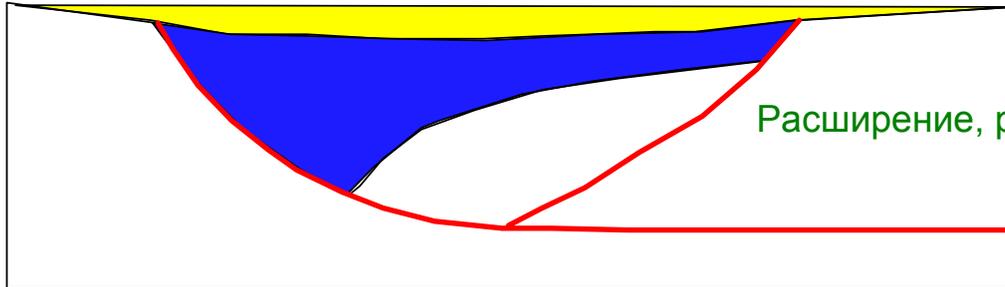
Гебель-Магхара, Синай



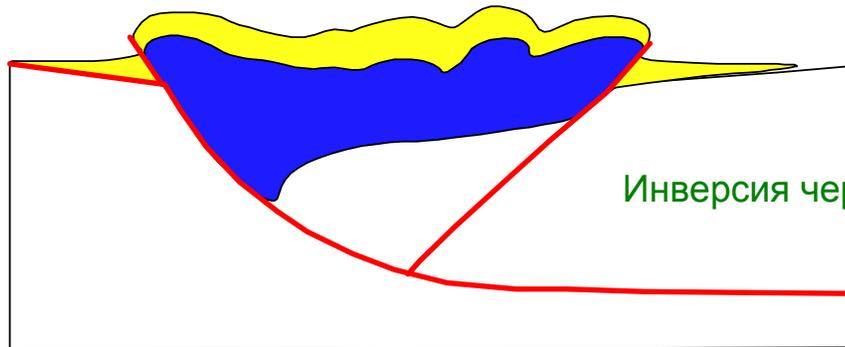
# *Atlas - Oblique Inversion*



# Инверсия бассейна



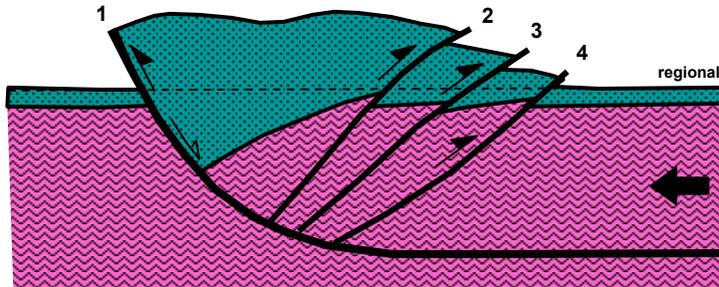
Расширение, рифтовая фаза



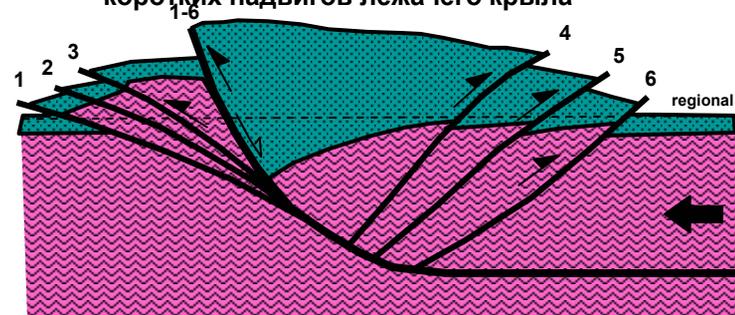
Инверсия через укорочение

# Концептуальные модели инверсии бассейнов

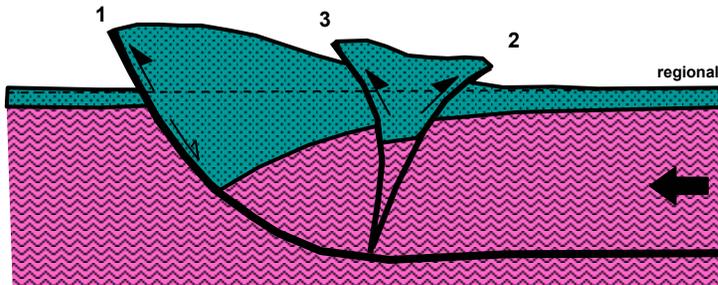
ИНВЕРСИЯ – чешуйчатый веер встречных надвигов



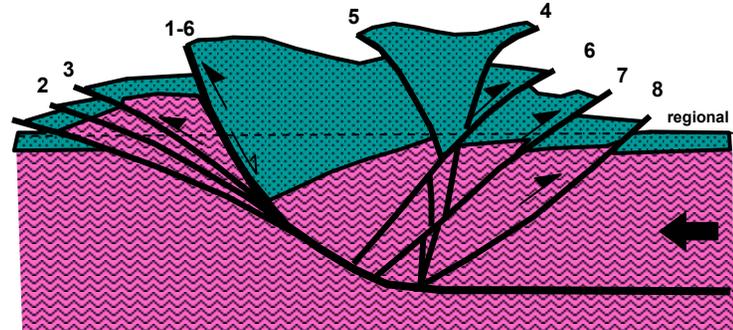
ИНВЕРСИЯ – веерообразная структура встречных надвигов и коротких надвигов лежащего крыла



ИНВЕРСИЯ – клиновидная структура выдавливания в верхней части блока

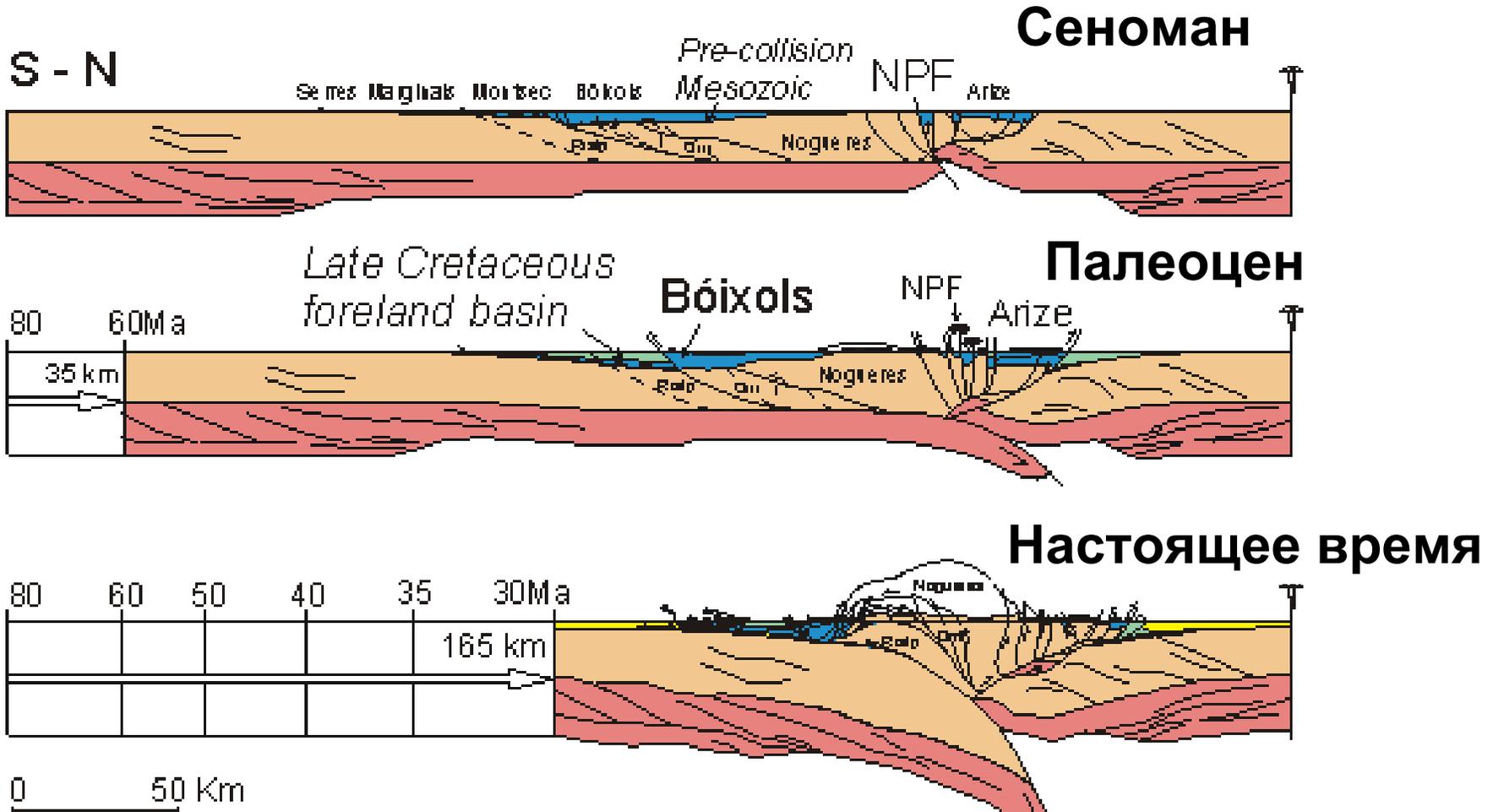


ИНВЕРСИЯ – смешанная модель

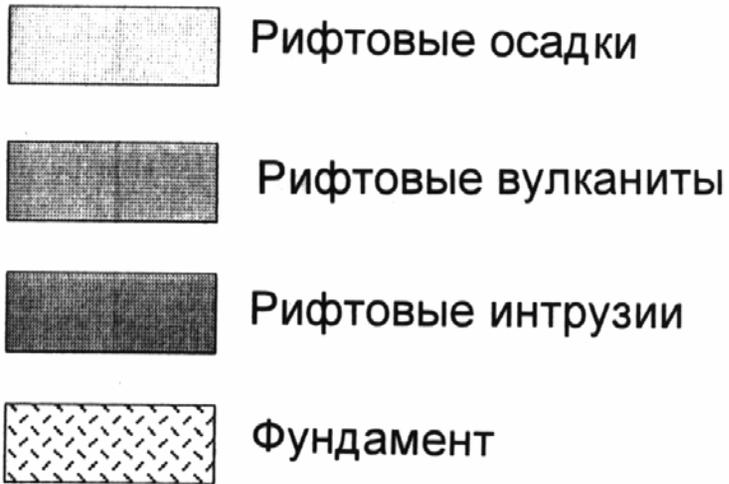
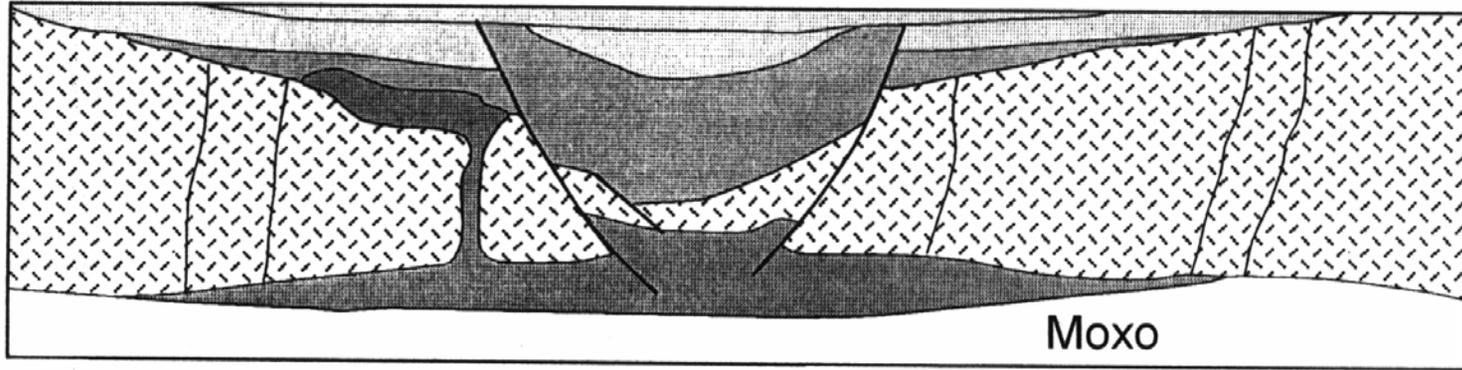


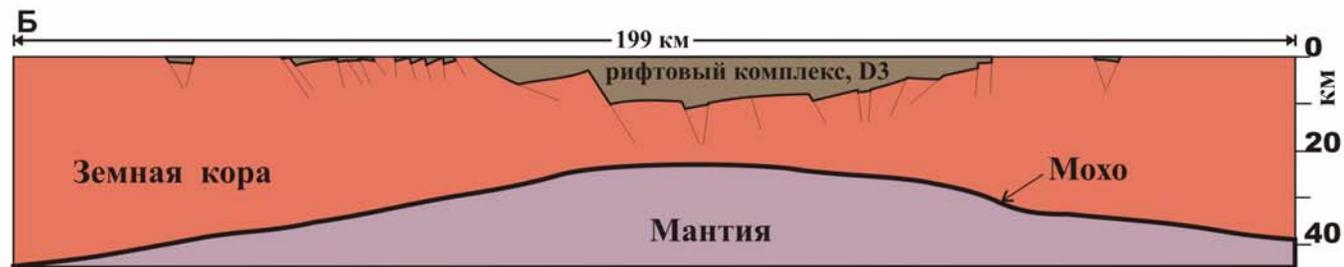
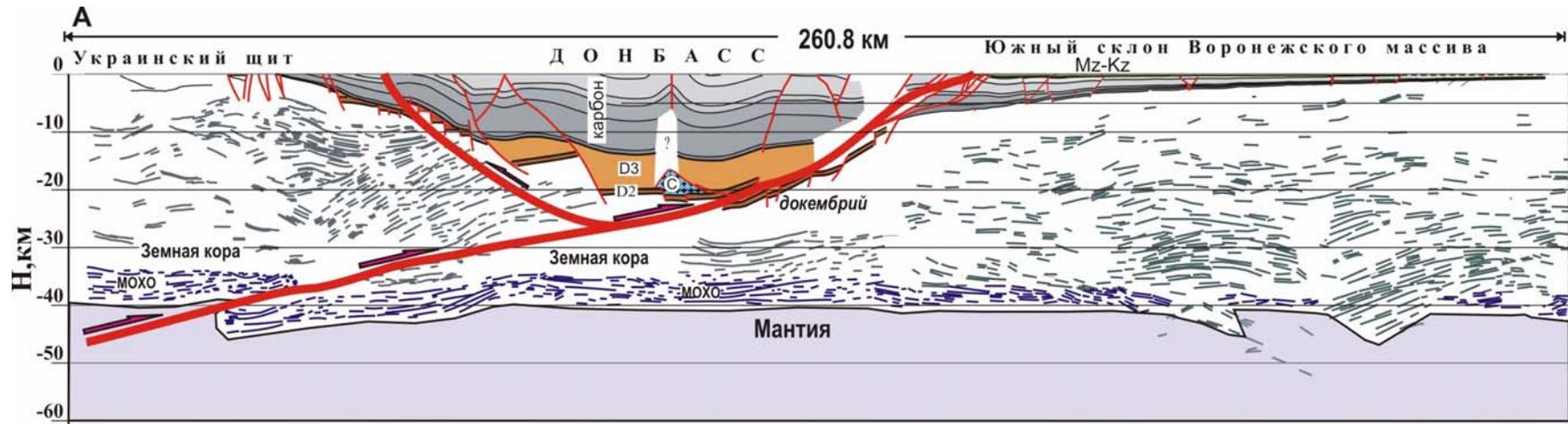
- клиновидное поднятие может вытянуться и напоминать по форме структуру цветка

# Инверсия бассейнов в Пиренеях



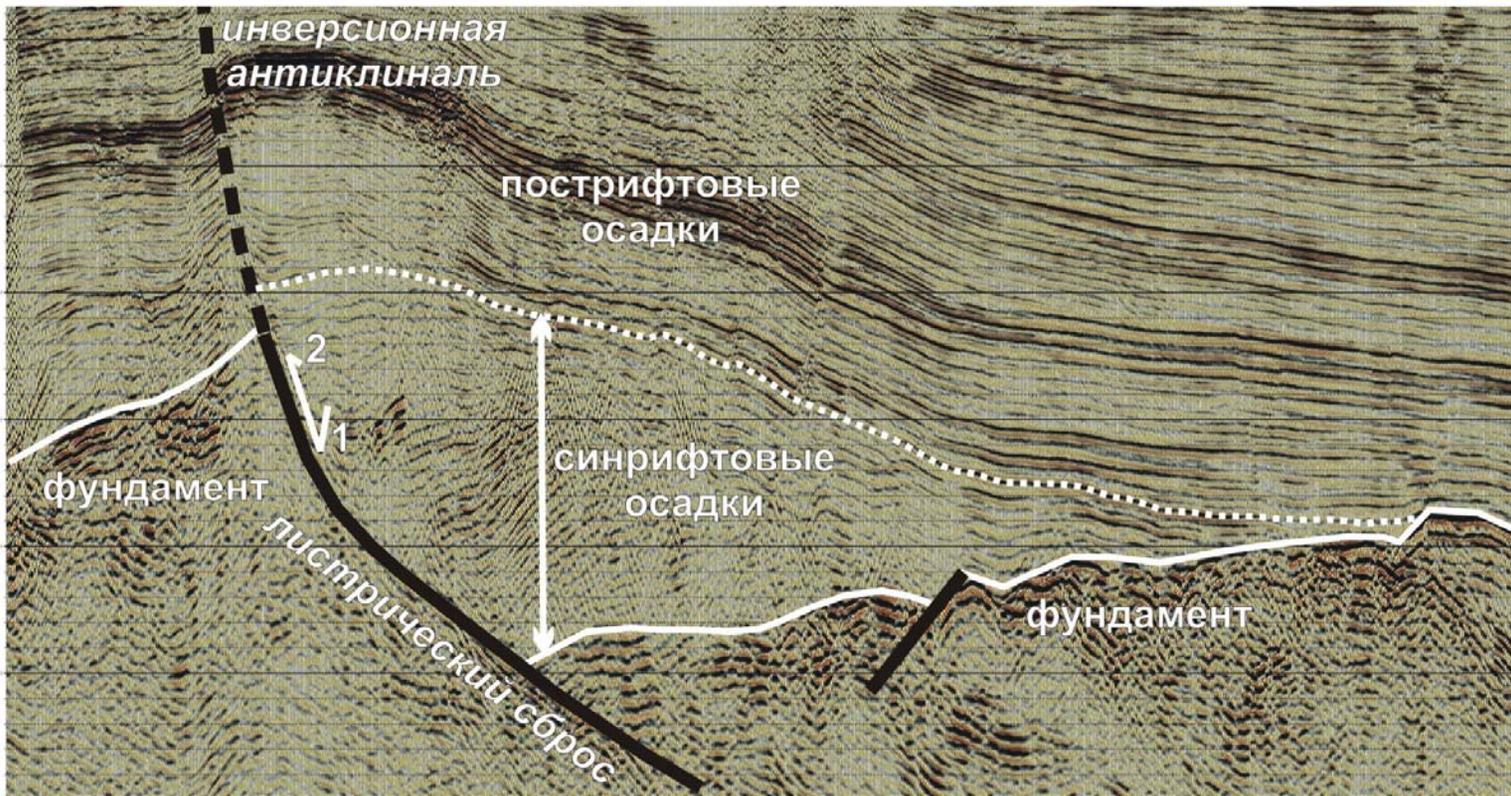
Последовательно восстановленный разрез через Пиренеи (профиль ECORS). Меловые бассейны растяжения показаны синим, турбидитовые прогибы – темно-зеленым, третичные форландовые бассейны – желтым.





© девонская соль





**МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕРСИРОВАННОГО ПОЛУГРАБЕНА (Охотское море).**  
 Цветами показаны различные тектоностратиграфические единицы

