

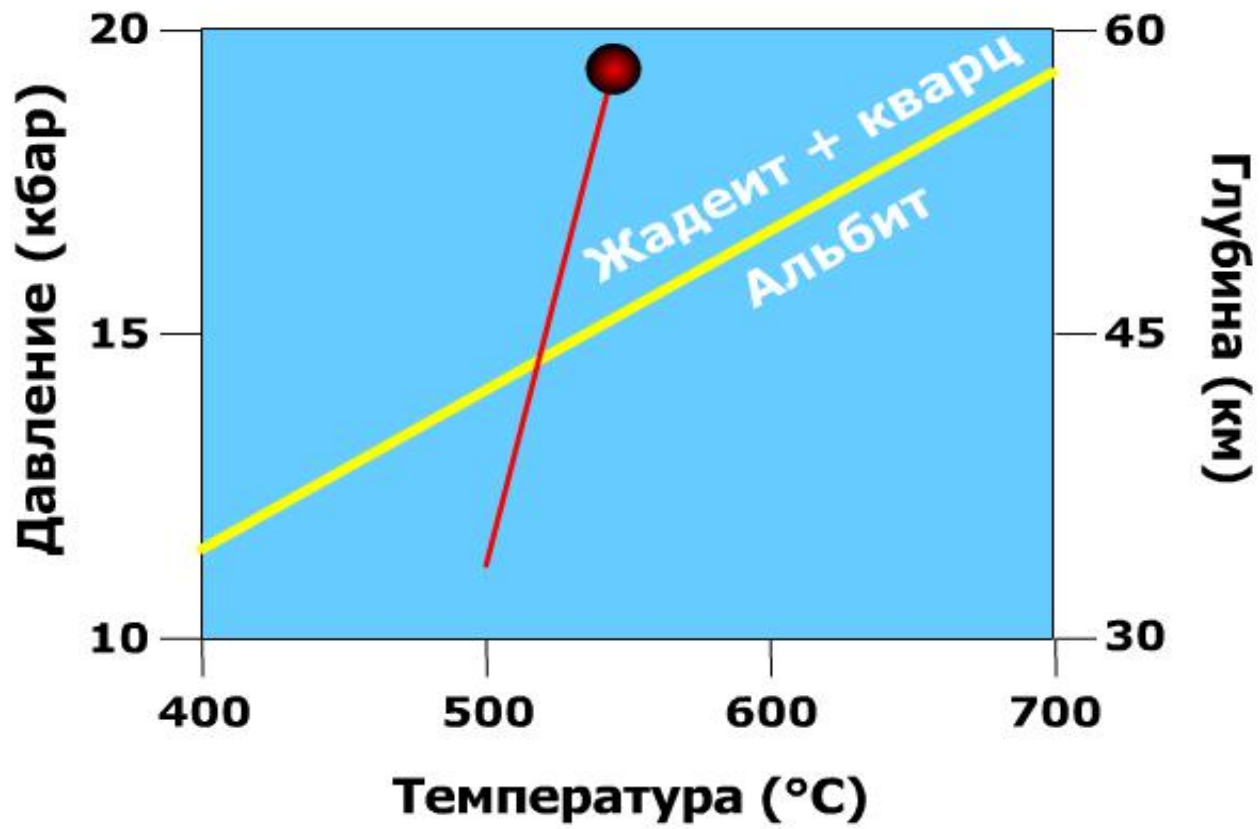
Региональная геология

Лекция 3

Метаморфизм и деформации



Реакция альбит = жадеит + кварц



Если альбит погружается на более глубокие горизонты коры, давление становится слишком высоким и его структура становится неустойчивой. В этом примере структура альбита разрушается на глубине 42 км при температуре 520°C. При этом происходит следующая реакция:

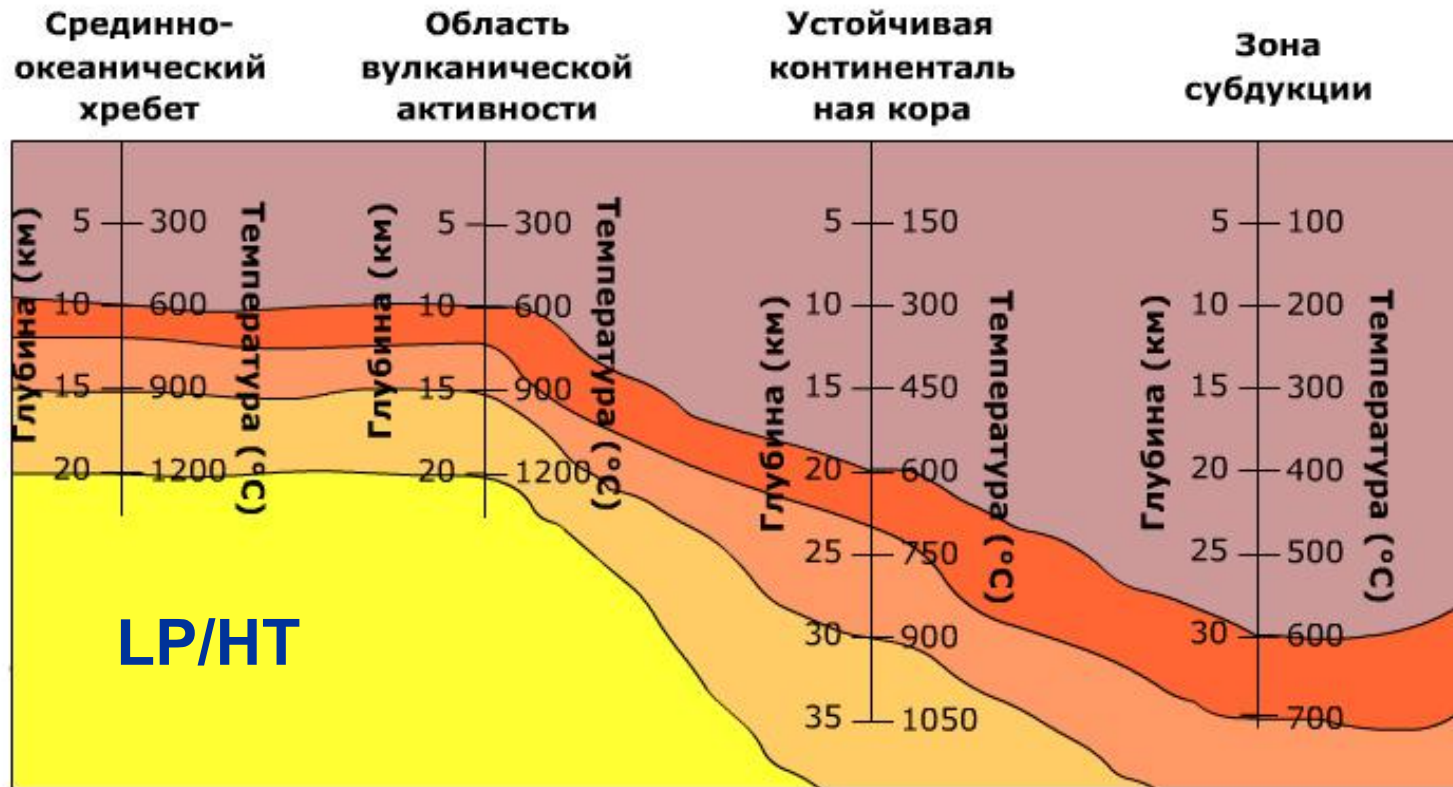


Или

Альбит = Жадеит + Кварц

Реакция происходит потому, что для атомов Na, Al, Si и O при высоких давлениях энергетически более выгодно входить в структуру двух минералов: жадеита и кварца.

Геотермальный градиент



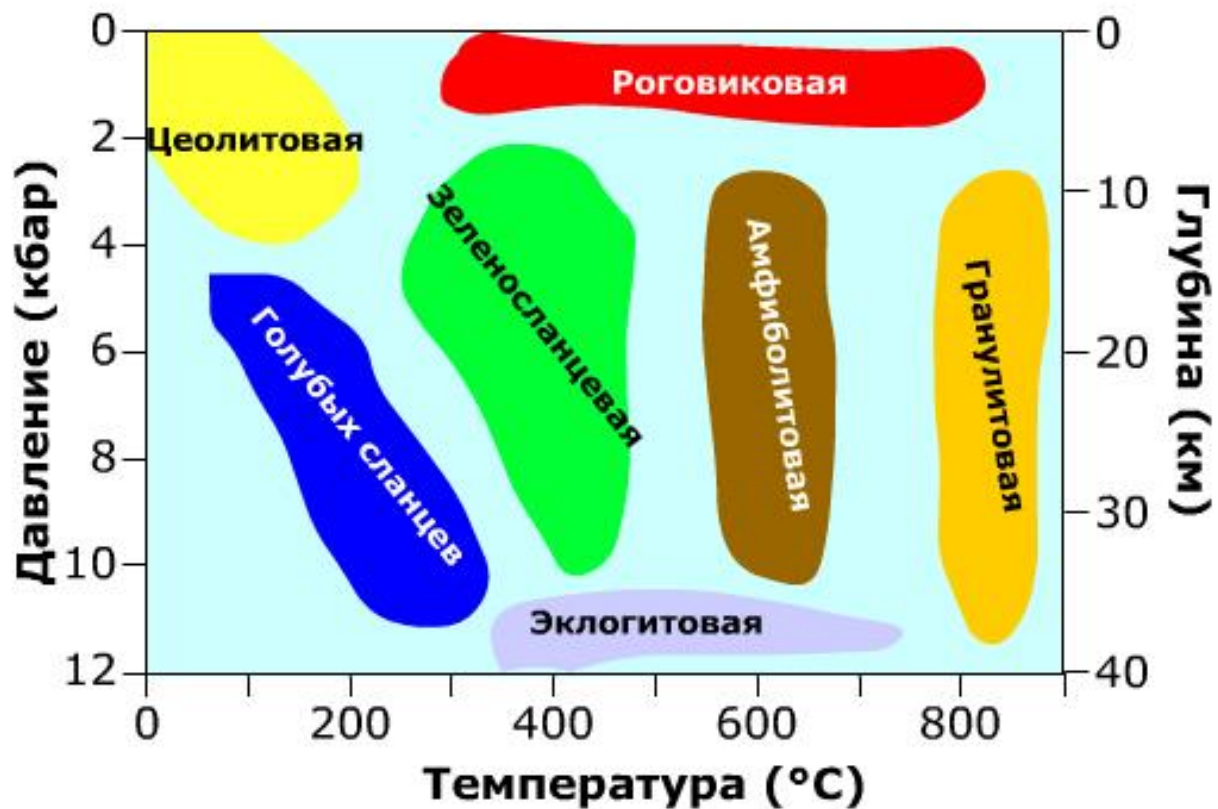
LP/HT

HP/LT

Под срединно-океаническими хребтами и в районах вулканической активности температура увеличивается с глубиной относительно быстро по сравнению с увеличением давления. Метаморфизм в этих геологических обстановках характеризуется высокими температурами и относительно низкими давлениями. Такой метаморфизм часто называется

высокотемпературным. В зонах субдукции температура увеличивается с глубиной относительно медленно по сравнению с ростом давления. Метаморфизм в этой геологической обстановке характеризуется высокими давлениями и относительно низкими температурами. Такой метаморфизм часто называется метаморфизмом высокого давления.

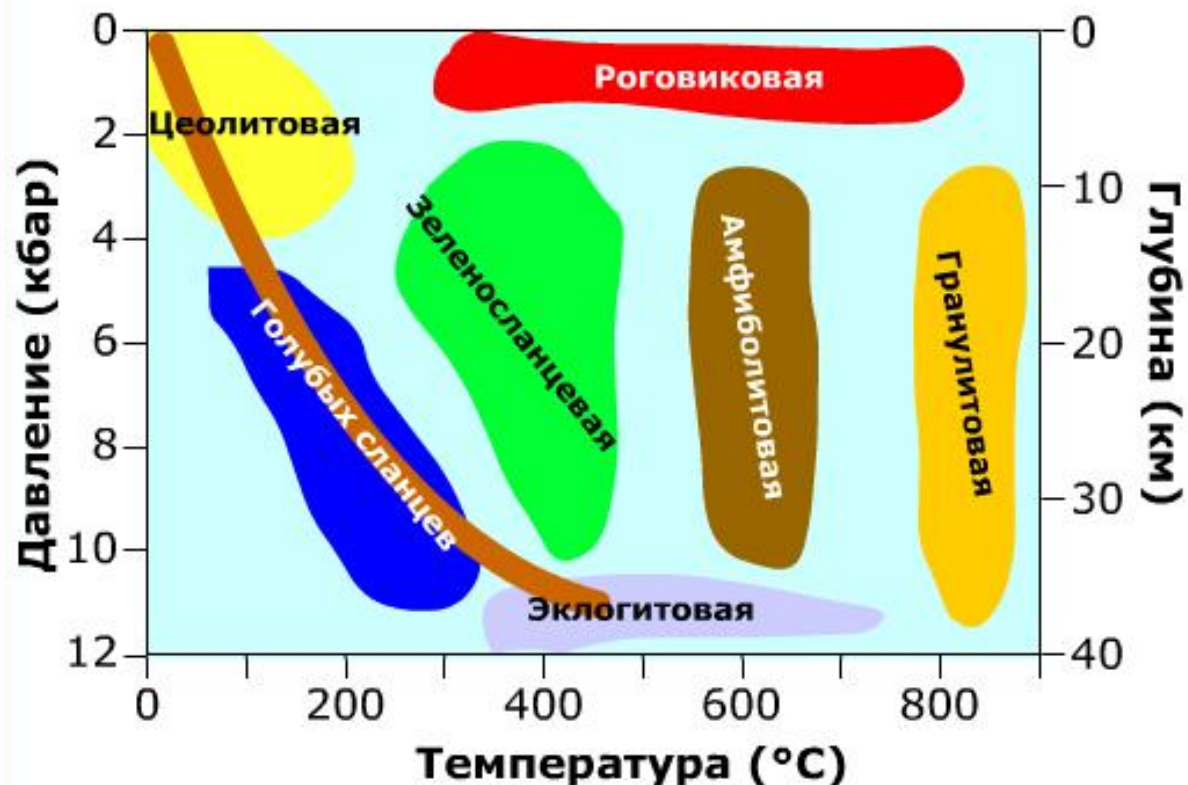
Метаморфические фации



Метаморфические породы могут быть объединены в группы по условиям, в которых они испытали метаморфические

преобразования. Породы, относящиеся к цеолитовой фации, преобразованы в условиях низких температур и давлений.

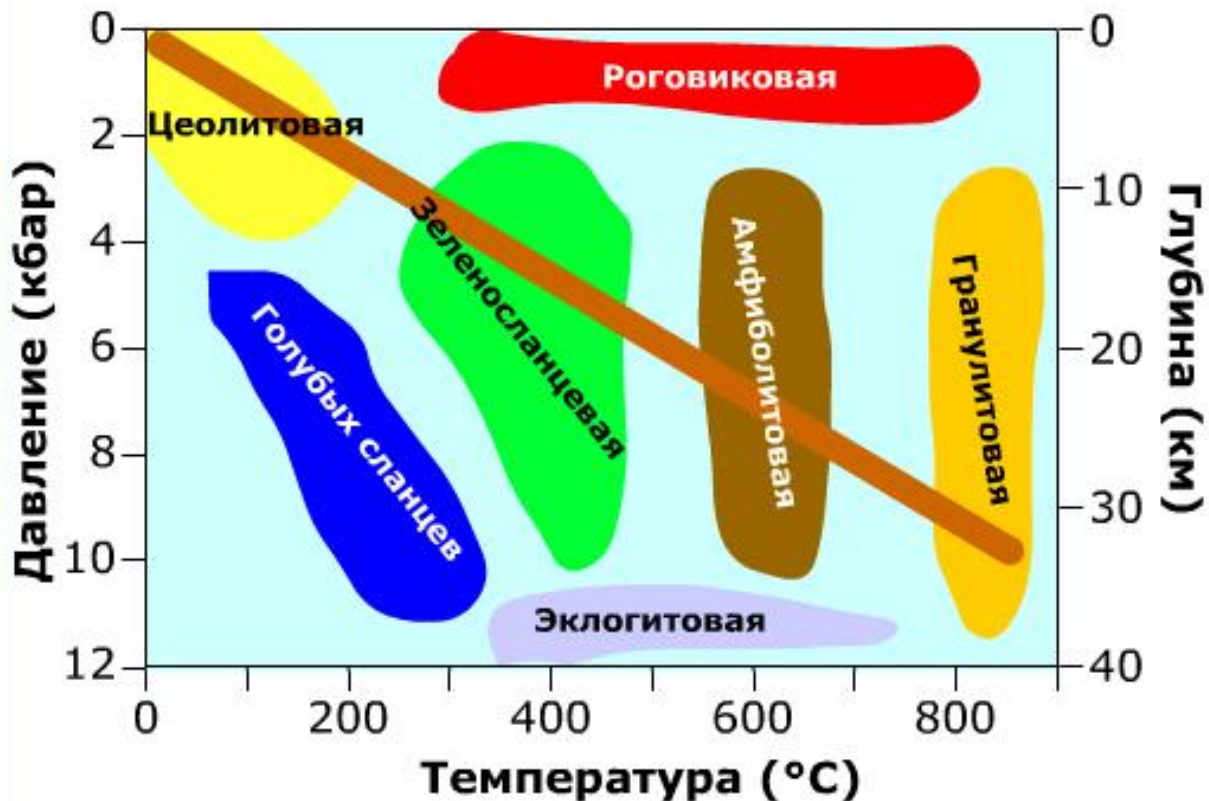
Метаморфические фации и тектоническая обстановка



В зонах субдукции температура увеличивается с глубиной относительно медленно по сравнению с ростом давления. Метаморфизм пород в зонах субдукции называется метаморфизмом высокого давления. В верхних частях субдуцирующей

плиты породы подвергаются метаморфизму цеолитовой фации. На более значительных глубинах в условиях метаморфизма высоких давлений породы преобразуются в условиях фации голубых сланцев и эклогитовой фации.

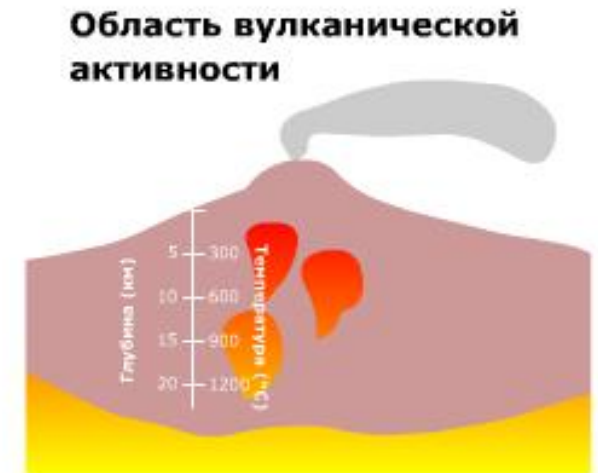
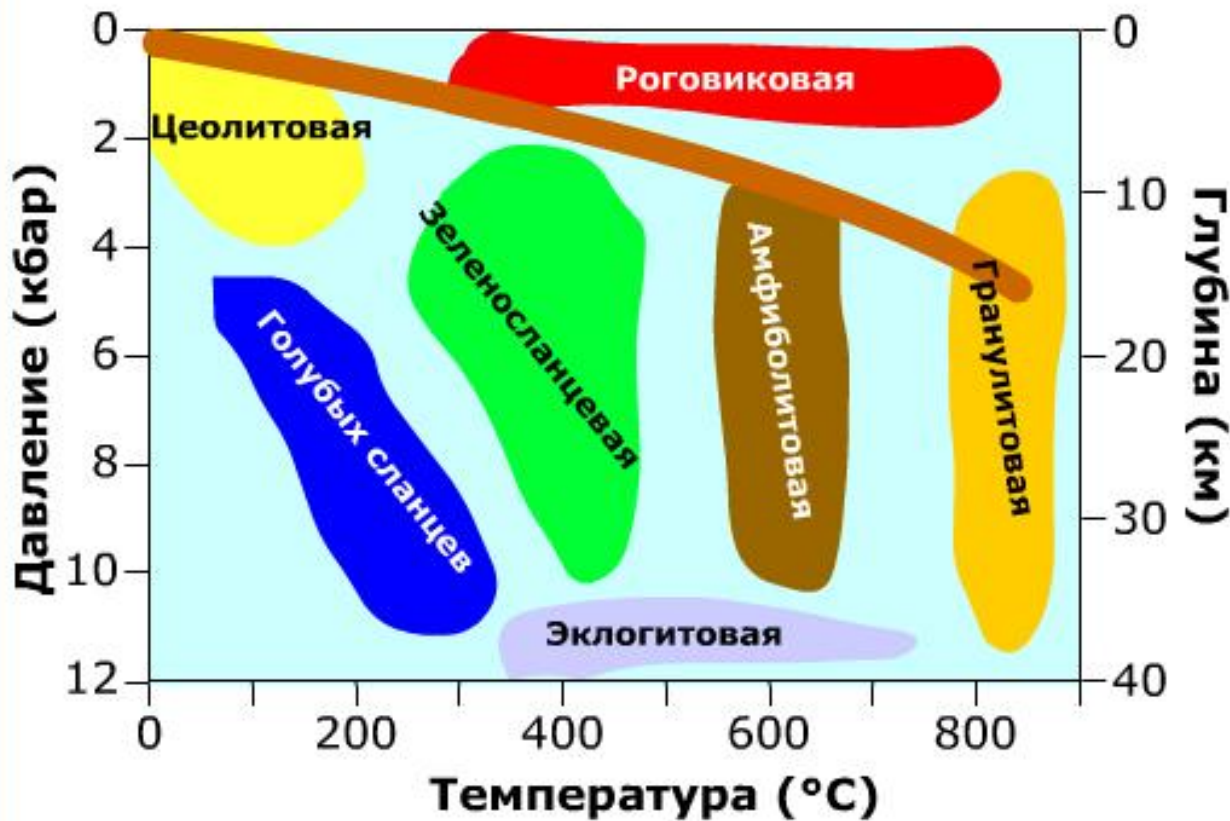
Метаморфические фации и тектоническая обстановка



В верхних частях нормальной континентальной коры породы подвергаются метаморфизму в условиях цеолитовой фации. С увеличением глубины породы континентальной коры

испытывают метаморфизм в условиях зеленосланцевой фации, амфиболитовой фации и гранулитовой фации.

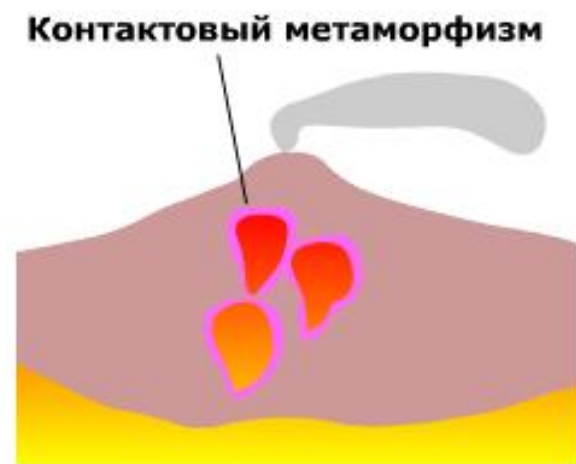
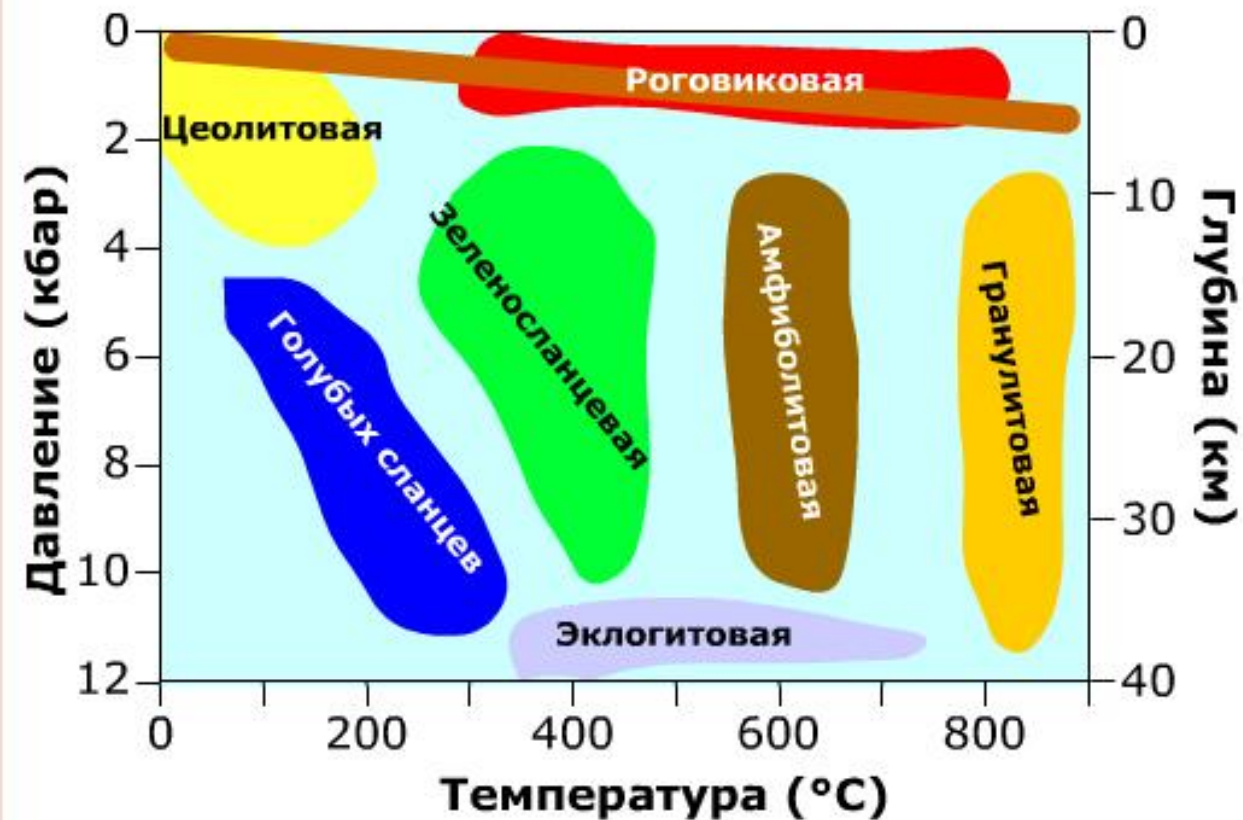
Метаморфические фации и тектоническая обстановка



В районах с активной вулканической активностью температура быстро увеличивается с глубиной. В верхних частях коры породы подвергаются метаморфизму в условиях

цеолитовой фации. С увеличением глубины породы подвергаются метаморфизму в условиях роговиковой фации, амфиболитовой фации и гранулитовой фации.

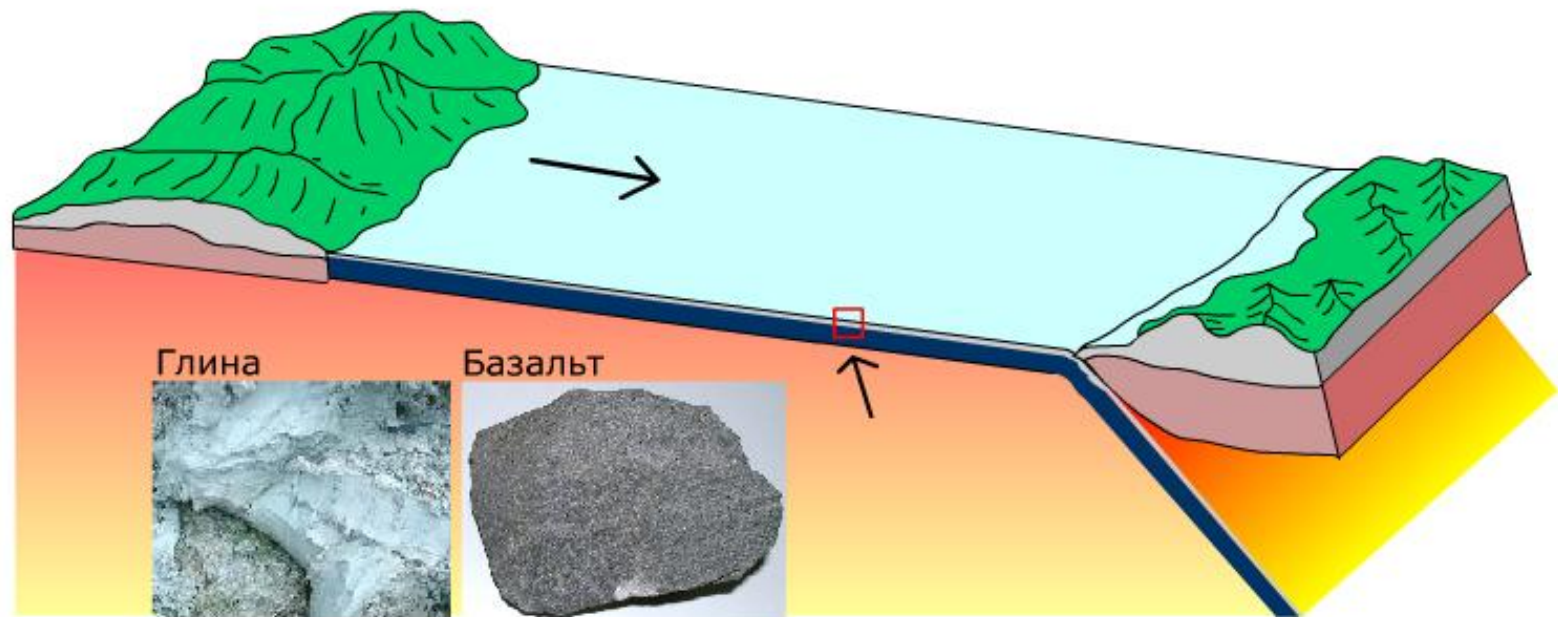
Метаморфические фации и тектоническая обстановка



Роговиковая фашия характеризуется высокими температурами и низкими давлениями. Условия

роговиковой фашии обычны для контактового метаморфизма.

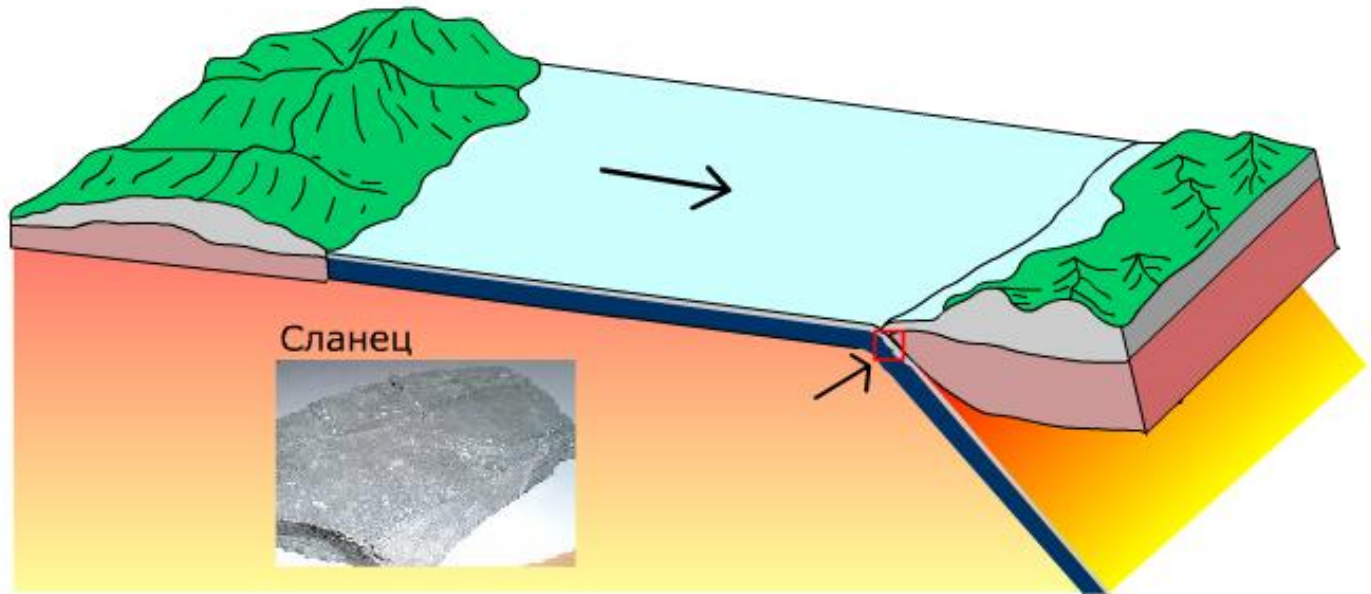
Региональный метаморфизм



Метаморфизм, который затрагивает крупные блоки земной коры, называется региональным. В зонах субдукции крупные блоки океанической коры погружаются на большие глубины. В результате увеличения температуры и давления субдуцирующая кора подвергается метаморфизму. Верхняя часть океанической

коры сложена базальтами. На базальтах обычно залегают глубоководные осадки. На этой анимации показаны метаморфические преобразования глины и базальта, при их погружении на большие глубины в зонах субдукции.

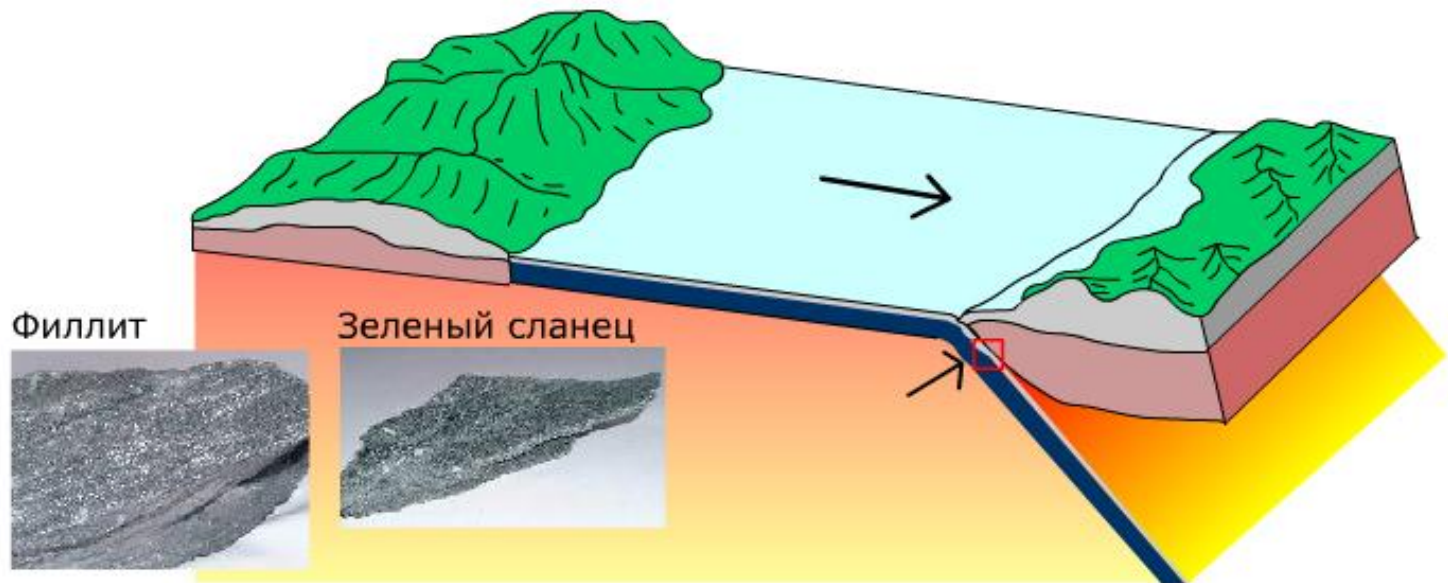
Региональный метаморфизм



На глубинах 4-5 км глины подвергаются слабому метаморфизму, который называется диагенезом.

В результате диагенеза глина превращается в сланец.

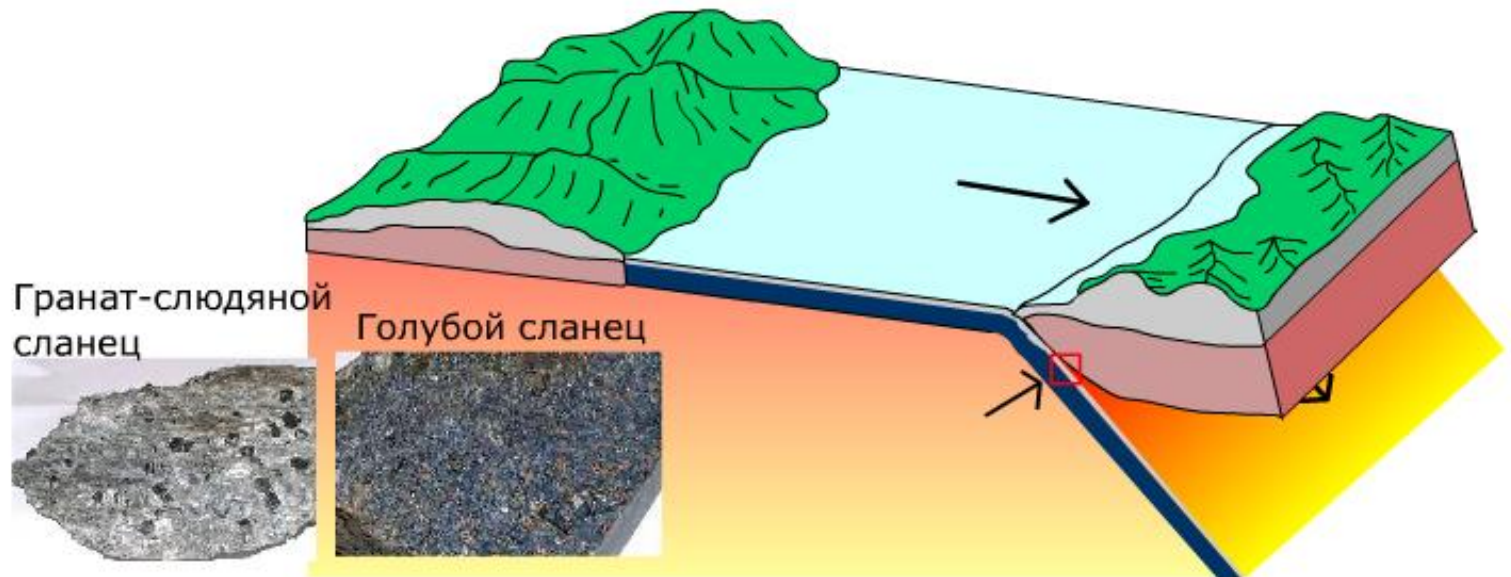
Региональный метаморфизм



Когда породы погружаются на глубины 5-10 км, они подвергаются дальнейшим метаморфическим преобразованиям. Базальт

превращается в зеленый сланец, а сланец превращается в филлит. Такой метаморфизм называется метаморфизмом низких ступеней.

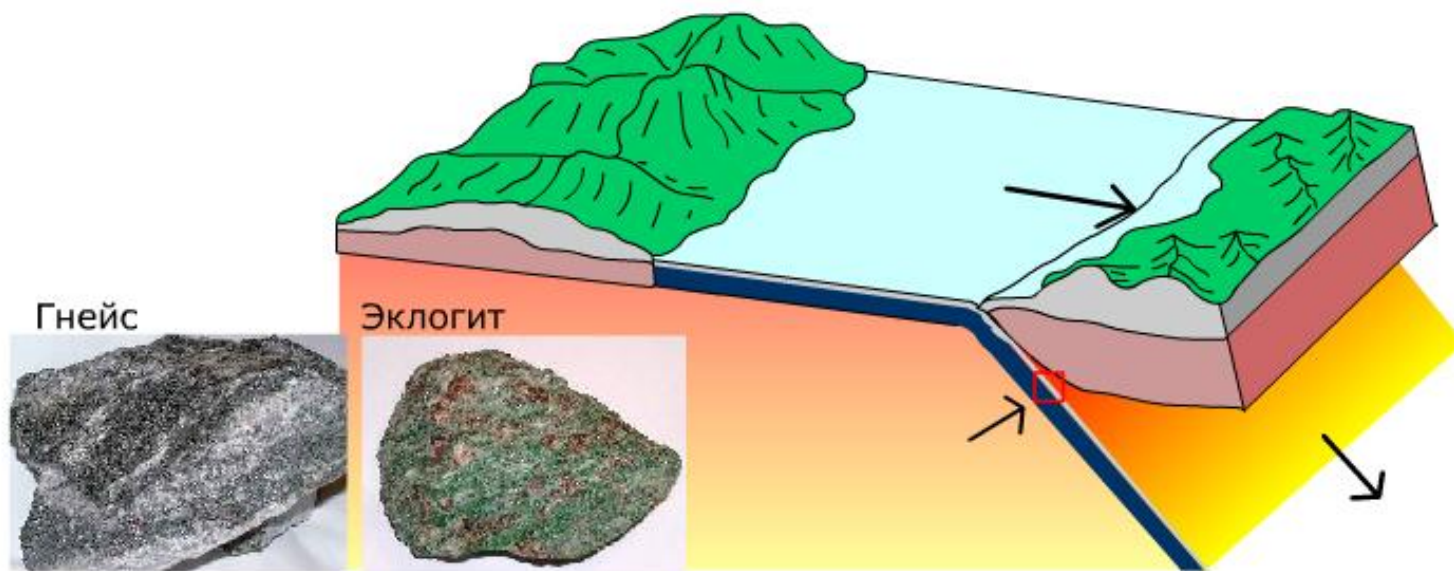
Региональный метаморфизм



На глубине 10-20 км породы продолжают подвергаться метаморфическим преобразованиям. Зеленый сланец

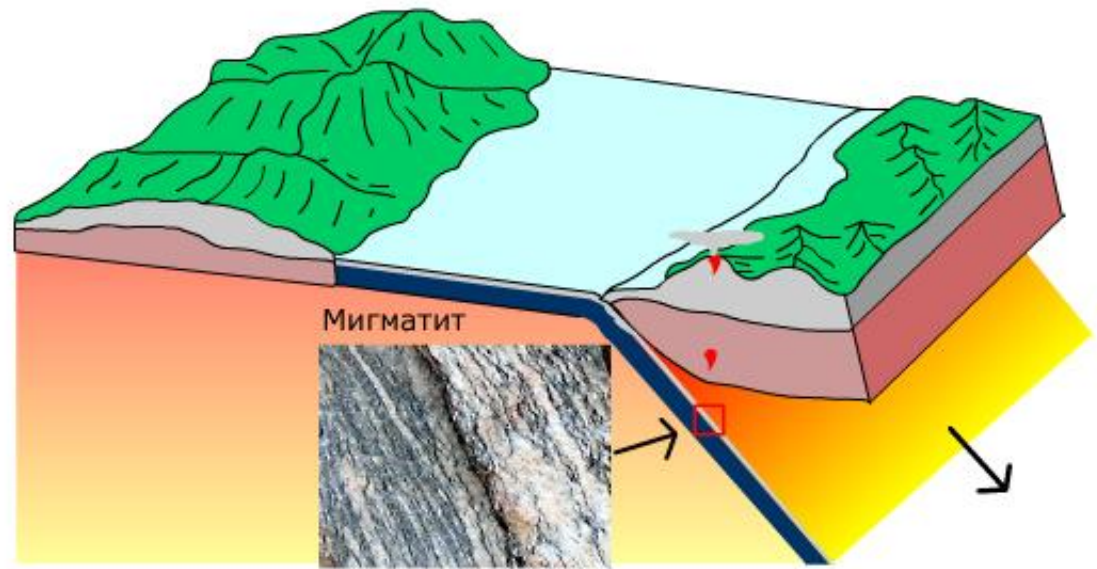
превращается в голубой сланец, а филлит – в гранат-сланцевой сланец. Такой метаморфизм называется метаморфизмом средних ступеней.

Региональный метаморфизм



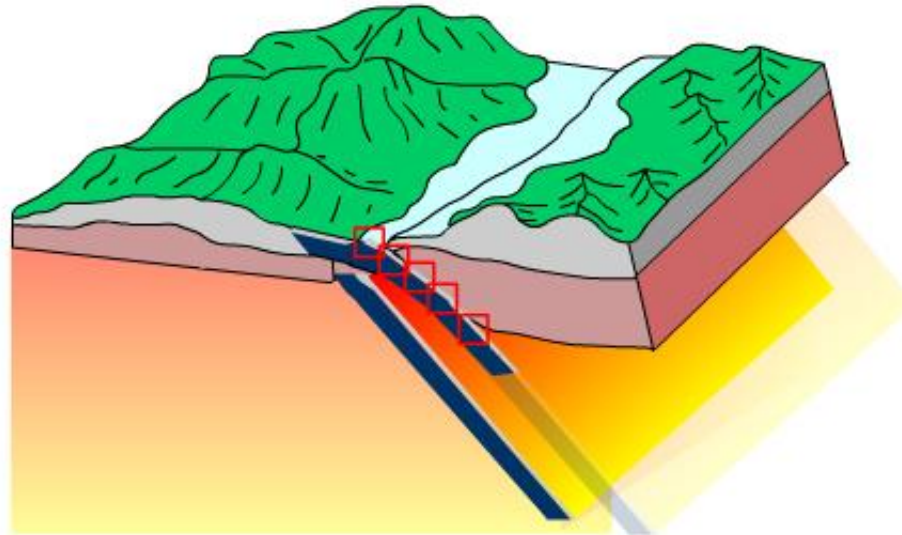
На глубине около 20 км гранат-сланцев превращается в гнейс. На глубине около 40 км голубой сланец превращается в эклогит.

Региональный метаморфизм



Если породы погружаются на большие глубины, они начинают плавиться. Породы, прошедшие стадию частичного плавления, называются мигматитами.

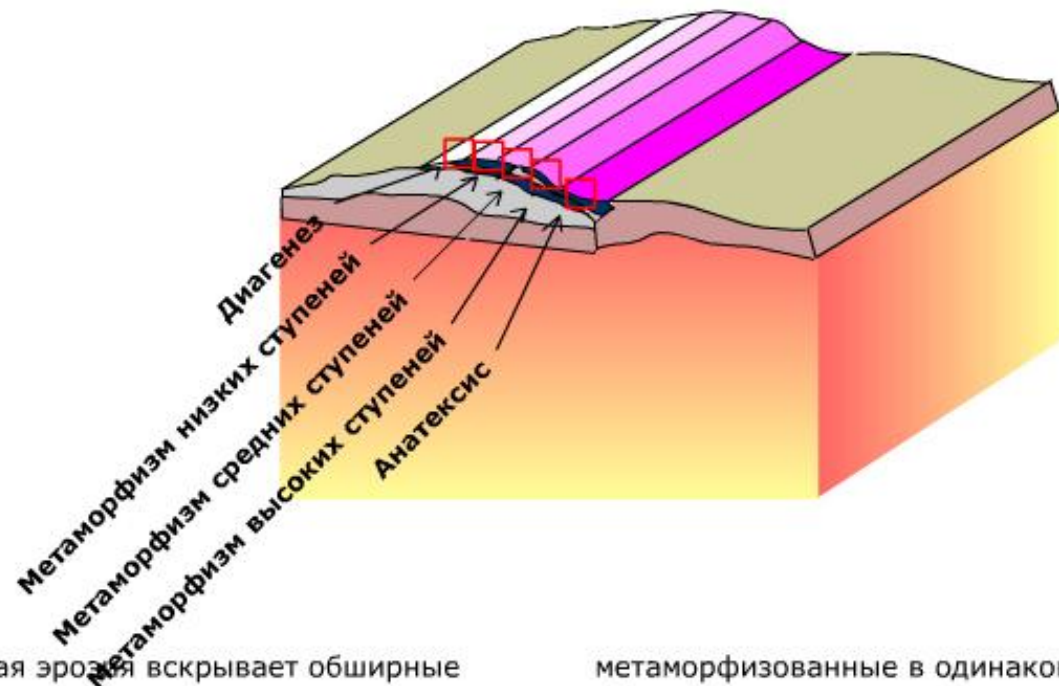
Экзгумация горных пород



На этой анимации показано, как породы испытавшие региональный метаморфизм в глубинах земной коры могут оказаться на поверхности через миллионы лет после этого.

При континентальной коллизии глубоко погруженные породы могут быть надвинуты на менее глубинные породы.

Эксгумация горных пород



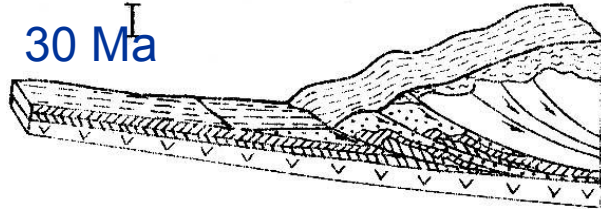
Последующая эрозия вскрывает обширные площади, сложенные породами, которые миллионы лет до этого испытали региональный метаморфизм в зонах субдукции. Породы

метаморфизованные в одинаковых условиях обычно слагают серию параллельных зон, например характерна зональность от метаморфизма низких до средних ступеней.

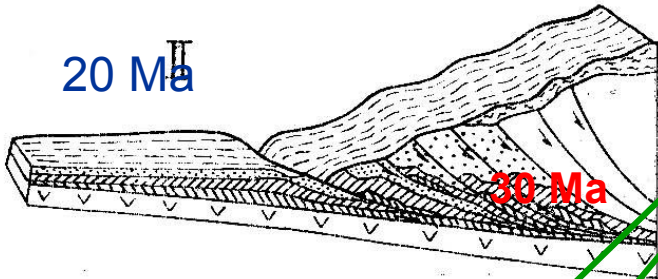
Механизм формирования глубокометаморфизованных комплексов активной окраины на аккреционно-коллизиионном этапе

Режим субдукционной аккреции

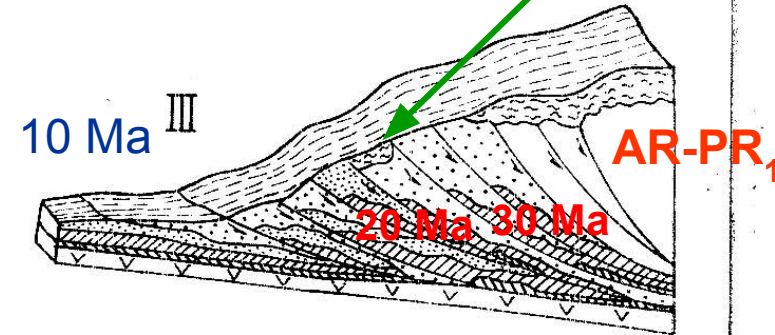
30 Ma I



20 Ma II



10 Ma III

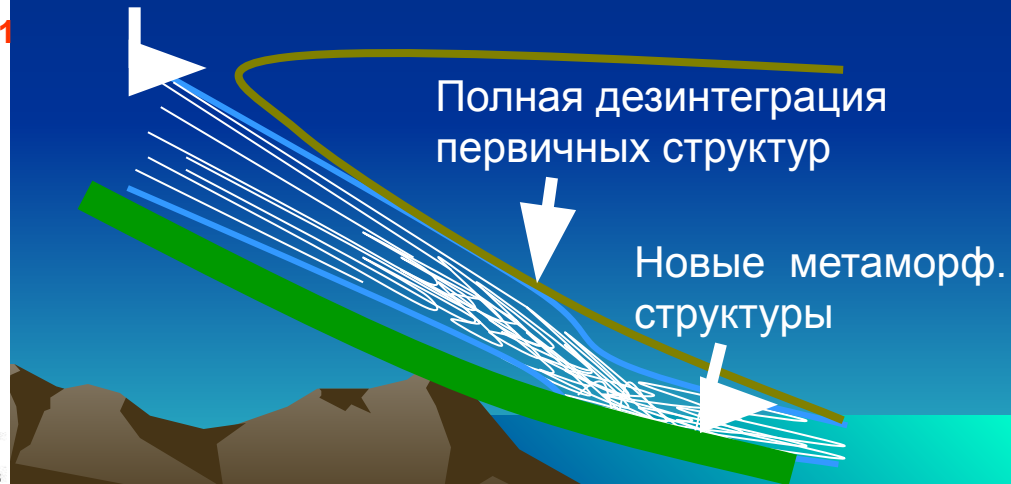


Субдукционная аккреция на активной континентальной окраине Орегона в плиоцене — квартере: последовательное пододвигание все новых клиньев осадочного материала наращивает и приподымает аккреционный массив (I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII).

Конгломераты,
грубые
терригенные осадки

Структурно-метаморфический эффект
аккреционной призмы:

Первичная структура



Индекс минералы

Метаморфизм низких ступеней
200°C

Метаморфизм средних ступеней

Метаморфизм высоких ступеней
800°C

Кварц



Сланец



Филлит



Гранат-слюдяной
сланец



Гнейс



Мигматит

Давайте рассмотрим подробнее минеральный состав этих метаморфических пород. Некоторые минералы, например кварц, стабильны в широком диапазоне температур. Поэтому все

горные породы на этих фотографиях содержат кварц. Следовательно, присутствие кварца в породе не несет информацию о температурных условиях ее образования.

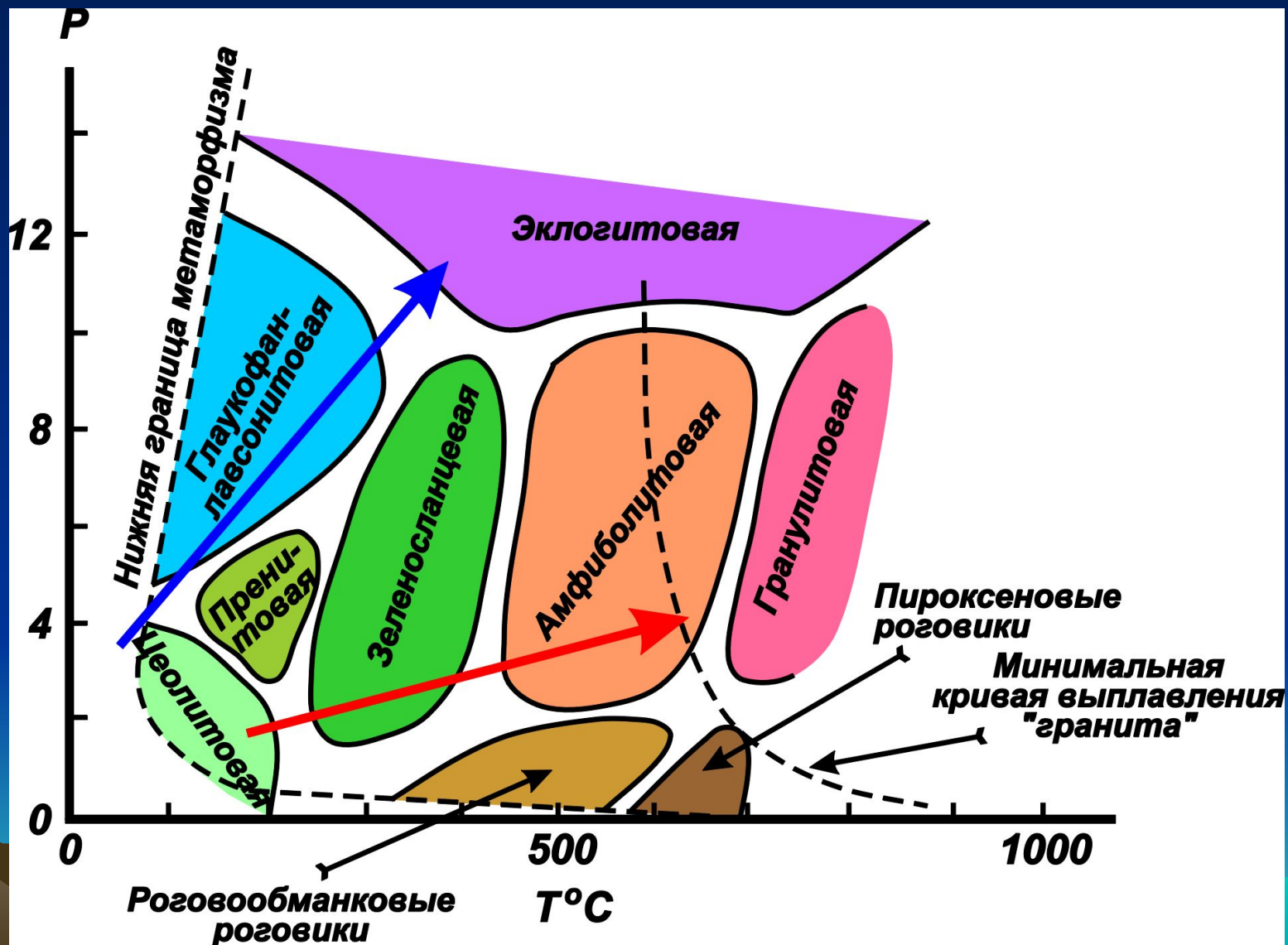
Индекс минералы

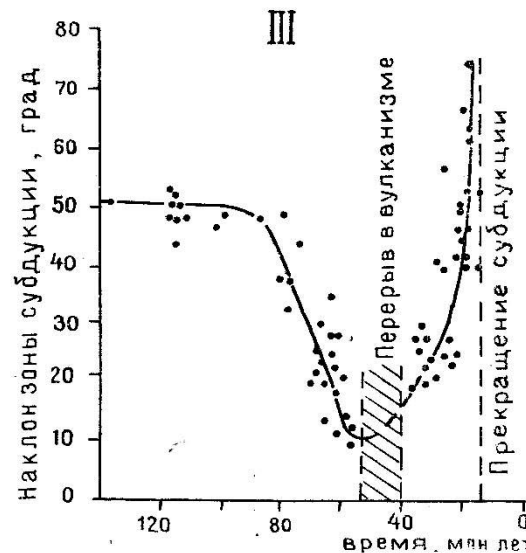
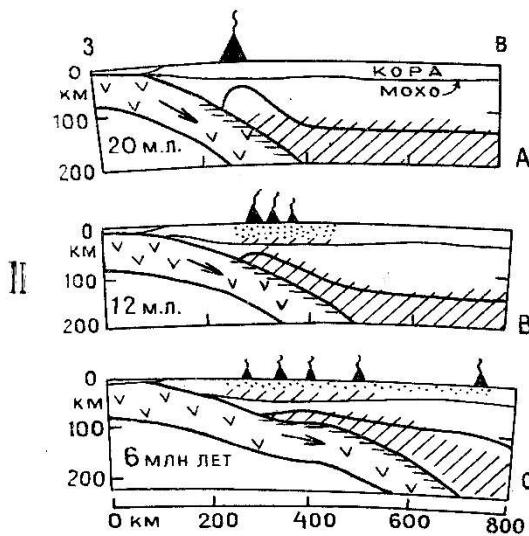
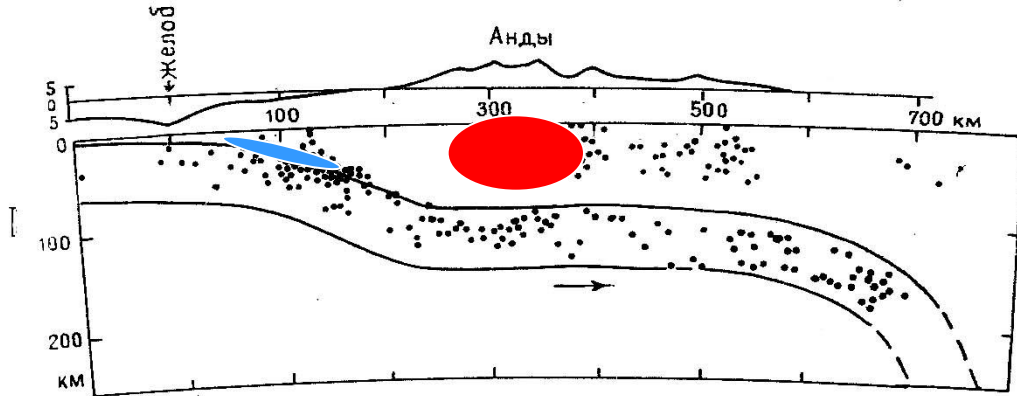


Красный прямоугольник подскажет вам ответ на этот вопрос. Если метаморфизованная пелитовая порода содержит кварц, полевого шпата, хлорит,

мусковит и гранат, значит она испытала метаморфизм низких-средних ступеней.

Типы метаморфической зональности (Turner, 1968)



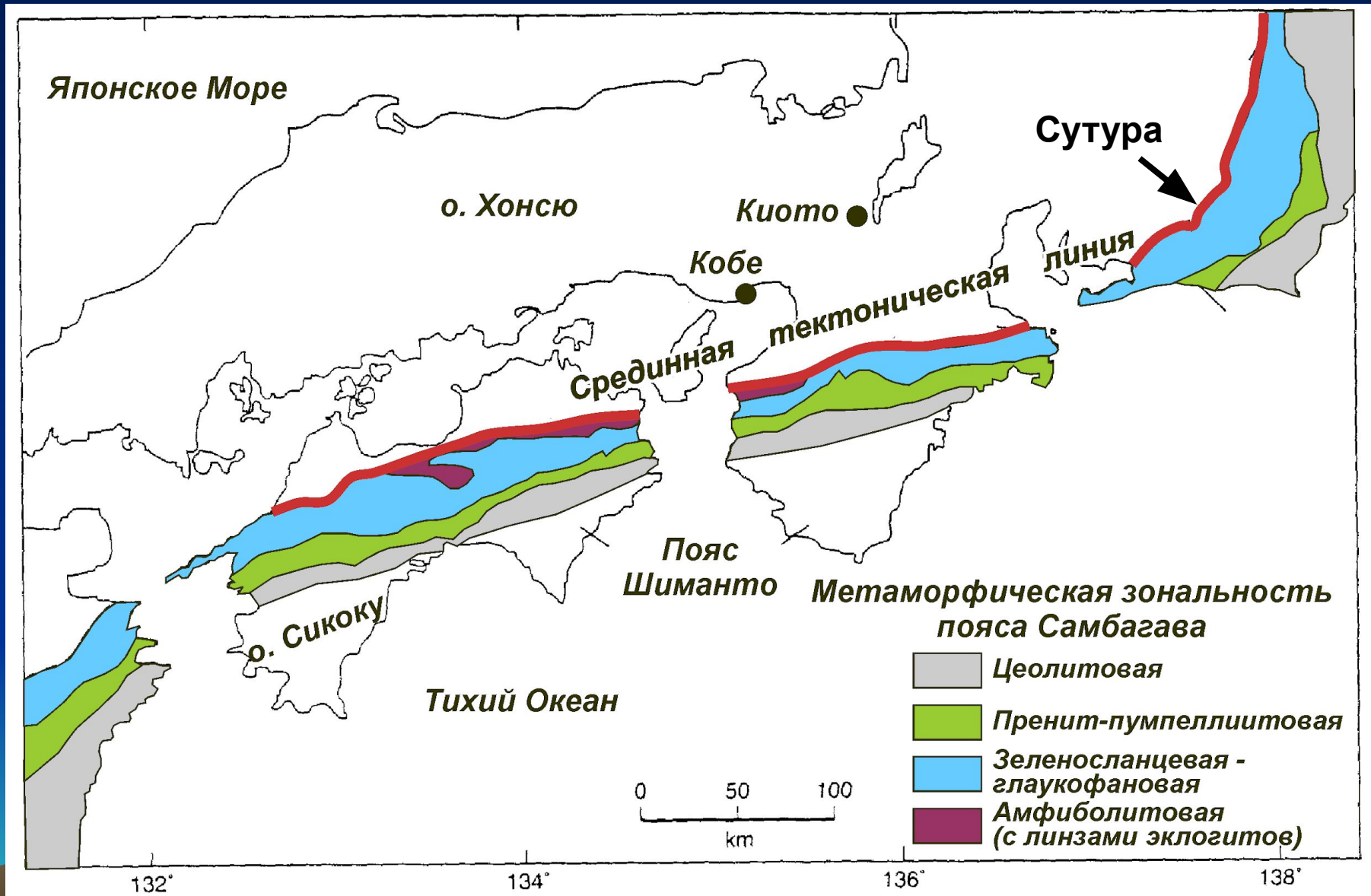


Метаморфизм

Парные метаморфические пояса о. Хонсю по А. Миширо (Миясиро):

Голубые (глаукофановые) сланцы зоны субдукции и аккреционной призмы
Амфиболиты под вулканическим фронтом.

Метаморфические комплексы островных дуг



Меловая активная окраина, зеленосланцевый метаморфический комплекс



Метаморфизм высоких давлений (HP/LT):

Зеленые сланцы -> голубые (глаукофановые) сланцы ± эклогиты – зона субдукции, сутура (даже если нет ультрамафитов и серпентинитового меланжа)

Метаморфизм высоких температур – низких давлений (LP/HT)

Амфиболиты, гранито-гнейсы ± гранулиты – вулканический фронт (островная дуга, андийская окраина)

Сутура разделяет две эти области метаморфизма



Метаморфизм и гранитообразование

Граниты S-типа: анатектическое плавление метаморфизованных осадочных горных пород – глубинные части коллизионных орогенов.

Граниты I-типа: анатектическое плавление апобазальтовых амфиболитов – надсубдукционный магматизм, глубинные части коллизионных орогенов.

Граниты A-типа: анатектическое плавление гранулитов и сухого остатка от выплавления предшествующих гранитоидов – предрифтогенный магматизм.



Деформация горных пород



В результате тектонических движений горные породы подвергаются воздействию напряжений, что в конечном итоге приводит к изменению их пространственного положения, а также объема и формы.

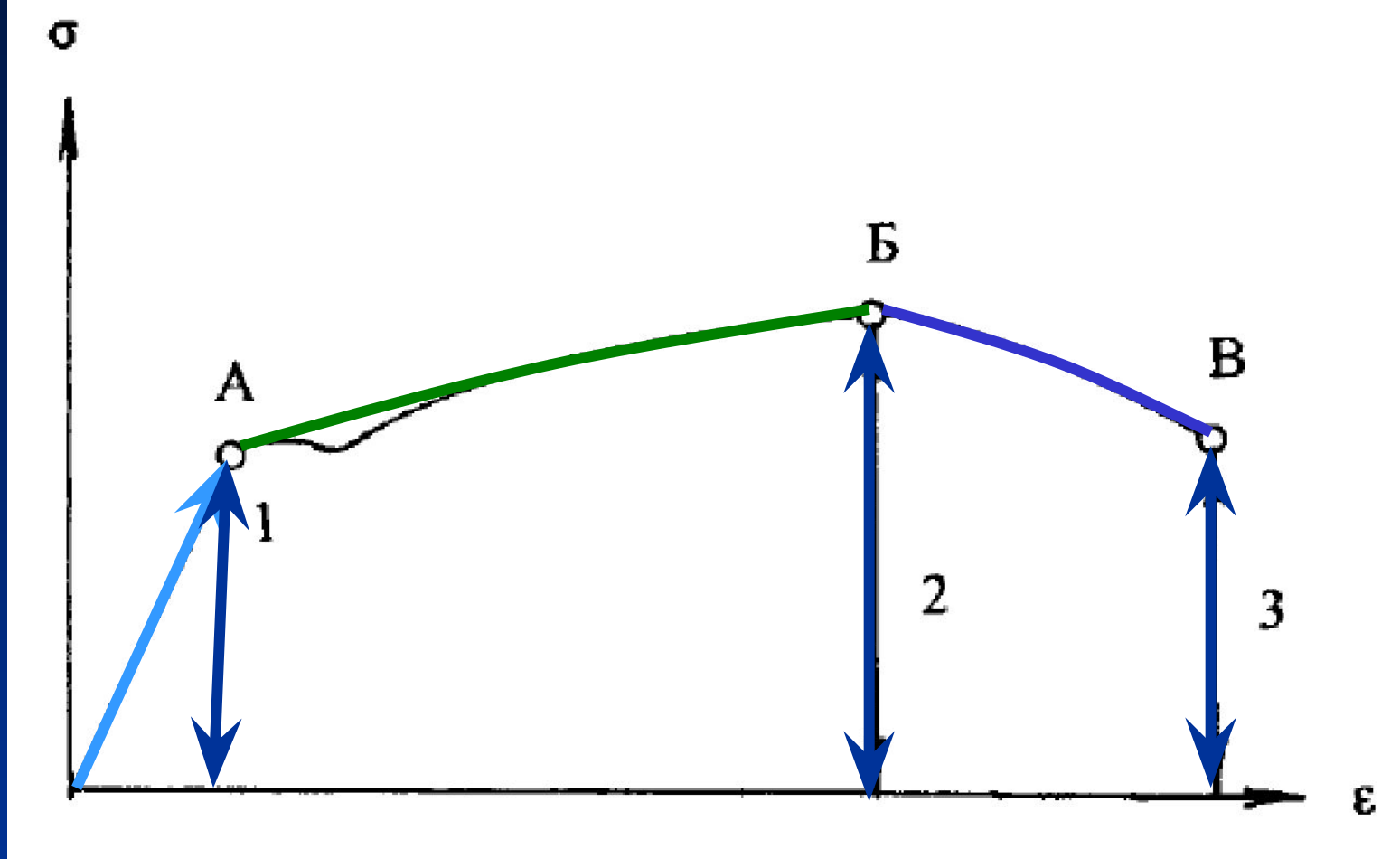
Типы деформации:

Упругая деформация – объект деформации возвращается к исходной форме и размеру.

Пластическая деформация – сохранение размеров и формы, приобретенных в ходе деформации.

Хрупкая деформация – разрушение целостности объекта деформации.

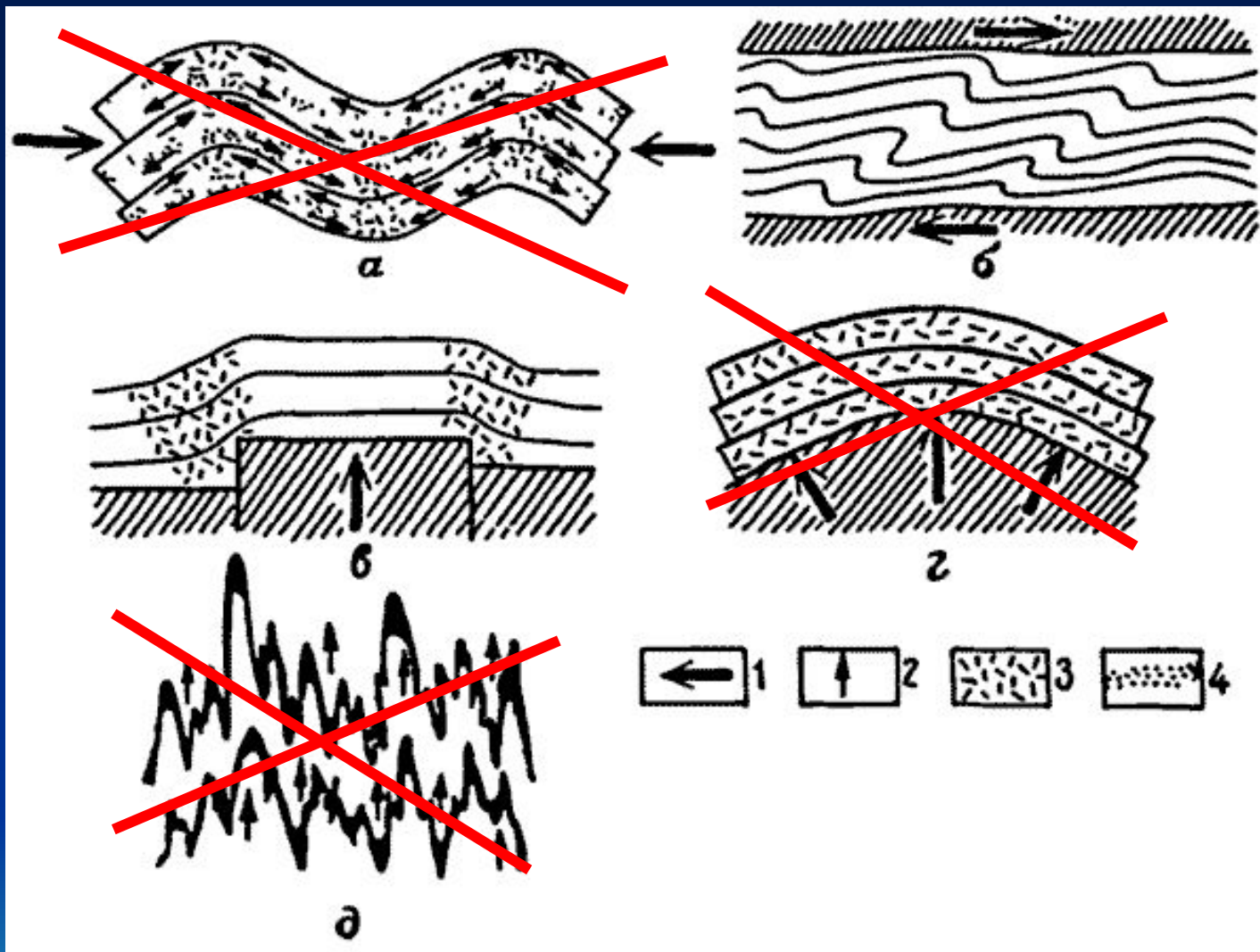




Общая кривая деформации:

OA — упругая деформация; AB — пластическая деформация с упрочением; BB — пластическая деформация с ослаблением тела перед разрывом. B — точка разрыва. 1 — предел упругости, 2 — предел прочности, 3 — конечная прочность.

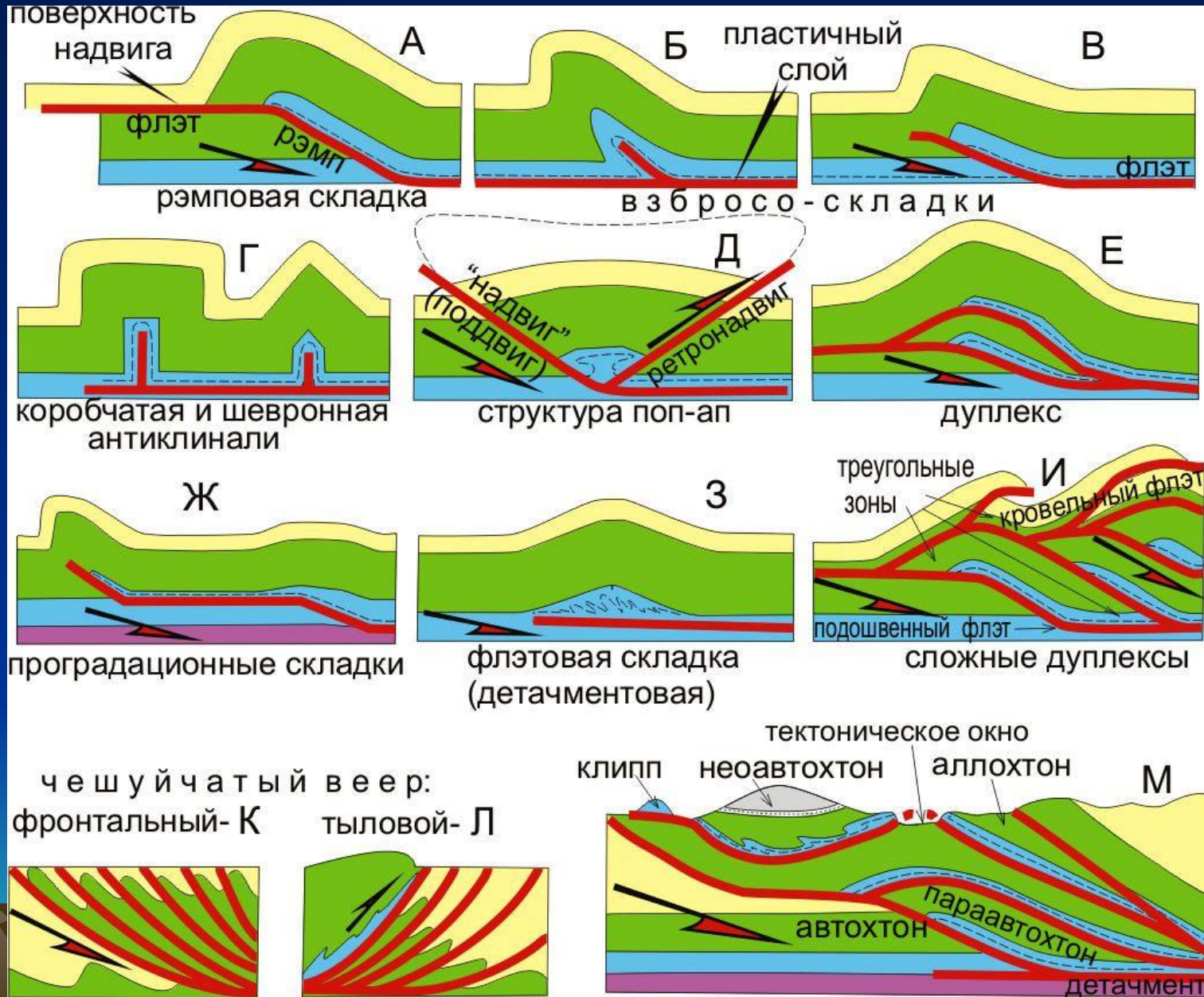
Образование складок



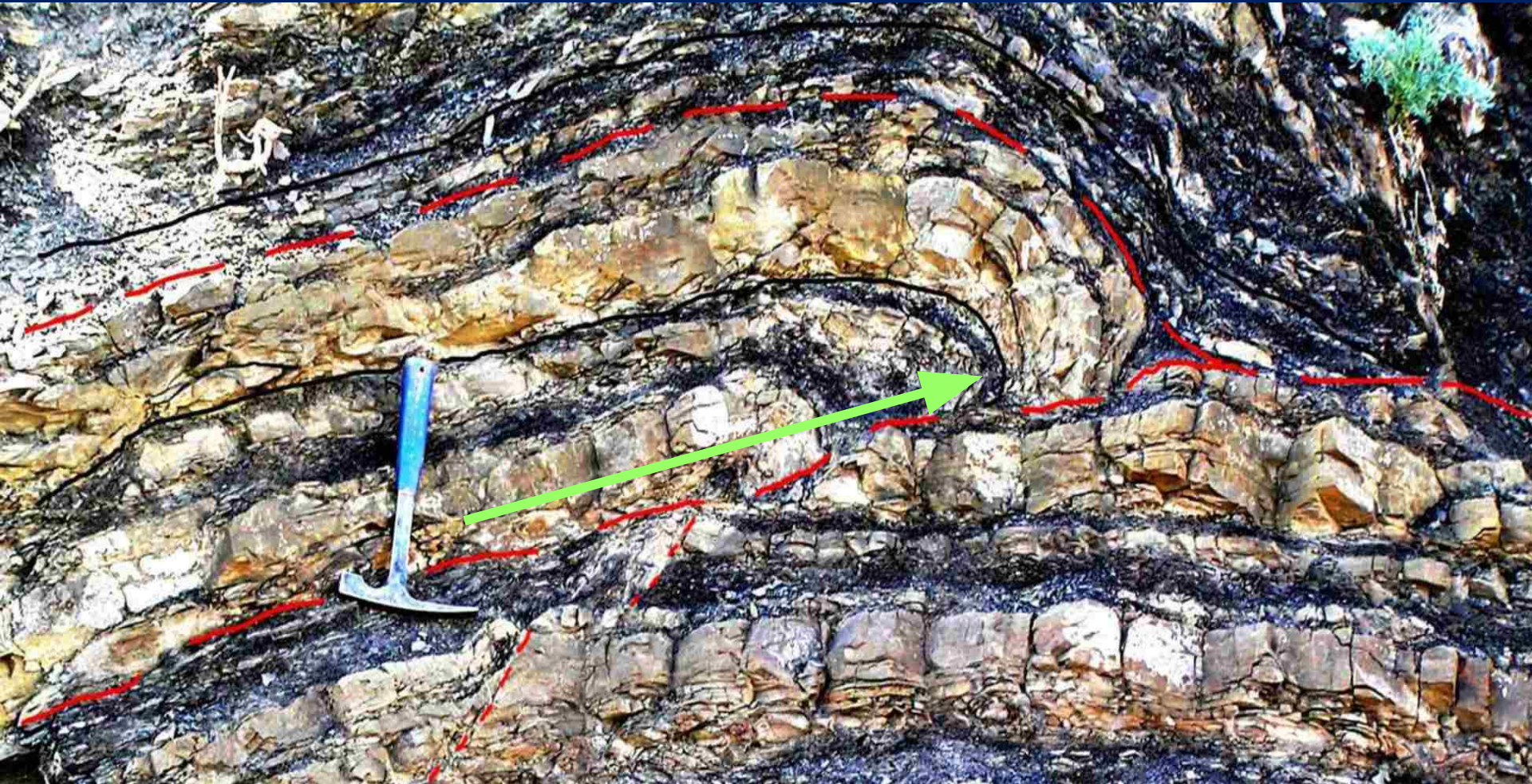
Кинематические типы складок: а, б — продольного изгиба; в, г — поперечного изгиба; д — течения. По А.Е. Михайлову (1973):

1 — направление действующих сил; 2 — направление перемещения пород; 3 — участки растяжения; 4 — участки сжатия

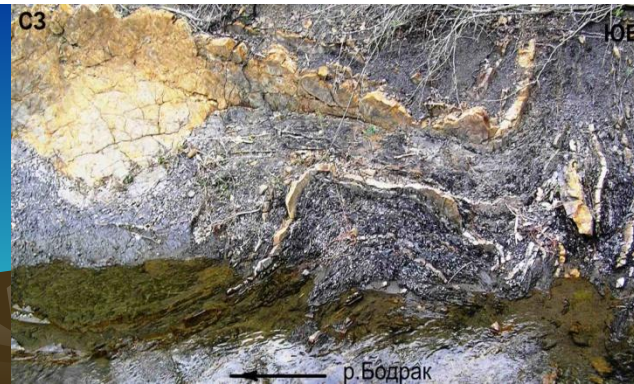
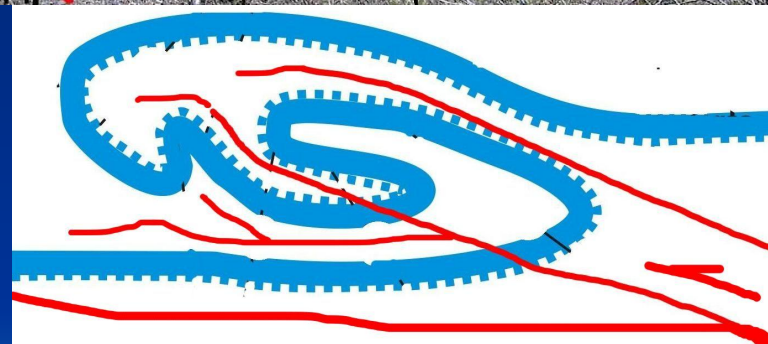
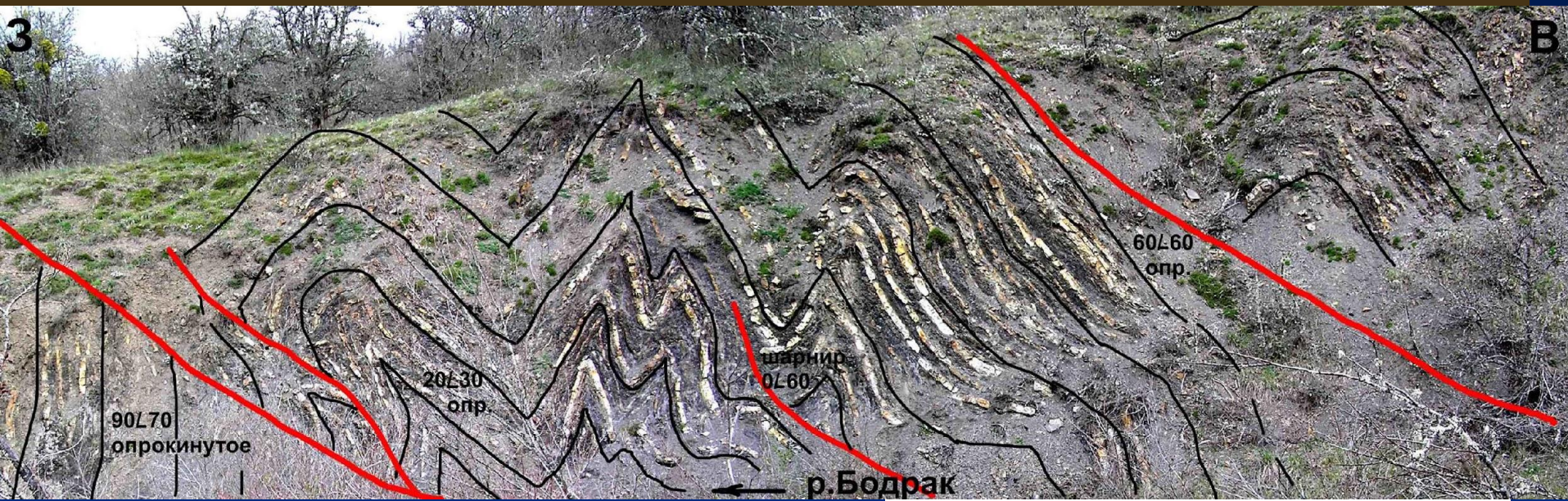
Образование надвигов и складок



Антиклиналь формируется при движении по надвигу

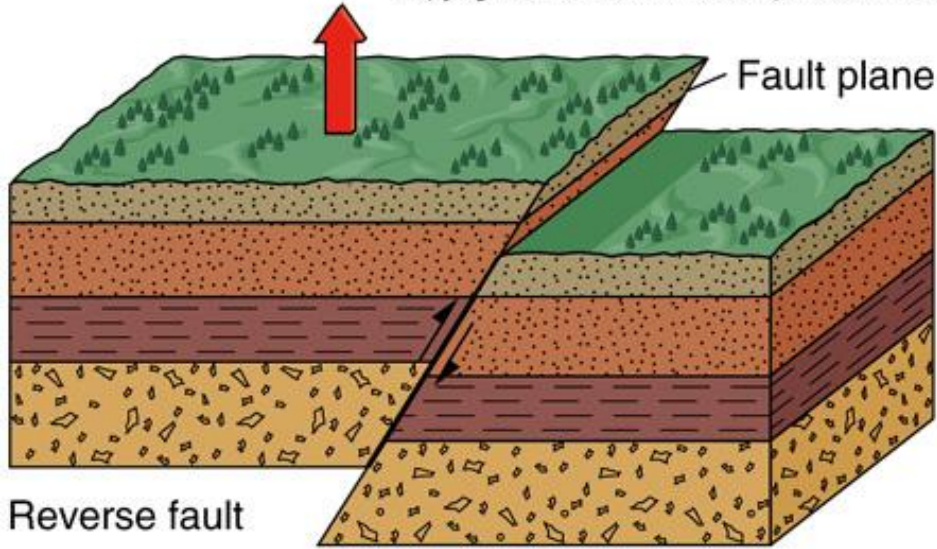


Шарьяжные складки (принадвиговые и присдвиговые)

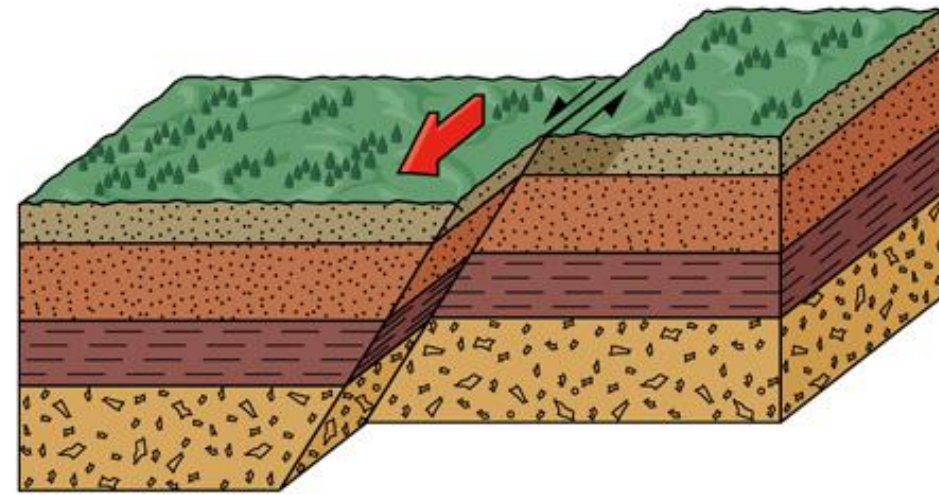


Типы разрывов: взброс, сдвиг, сброс, взбросо-сдвиг

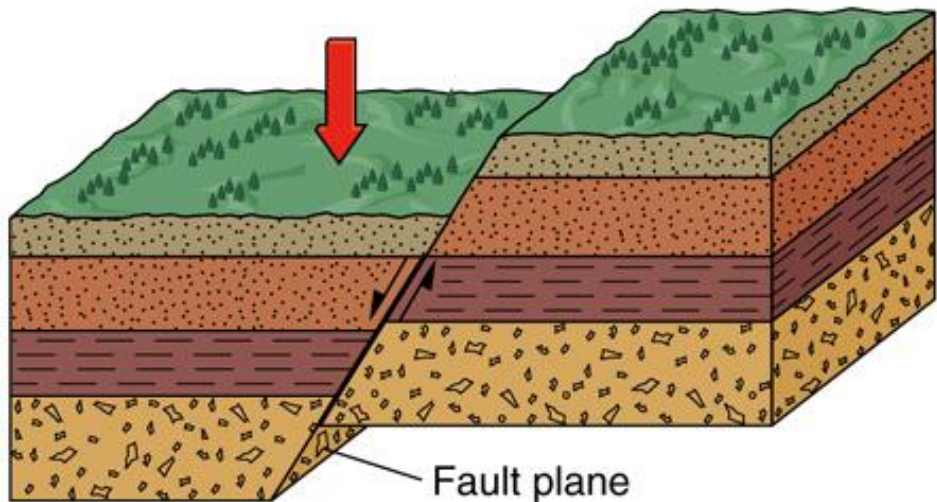
Copyright © McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Reverse fault

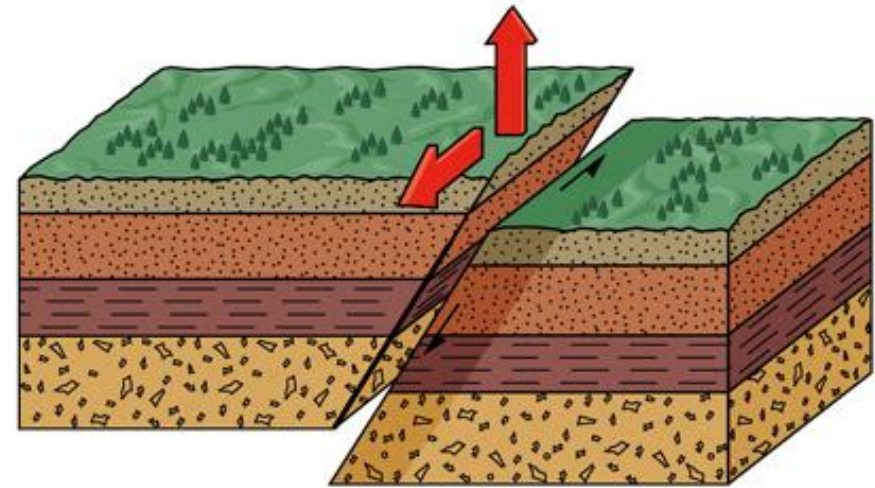


B Strike-slip faults



Normal fault

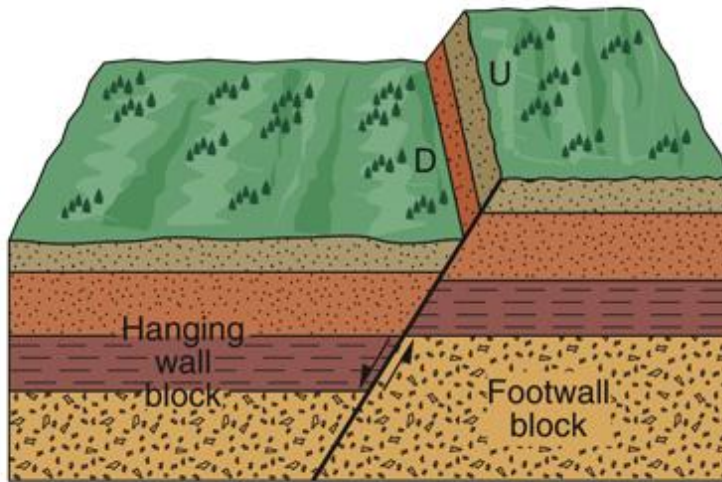
A Dip-slip faults



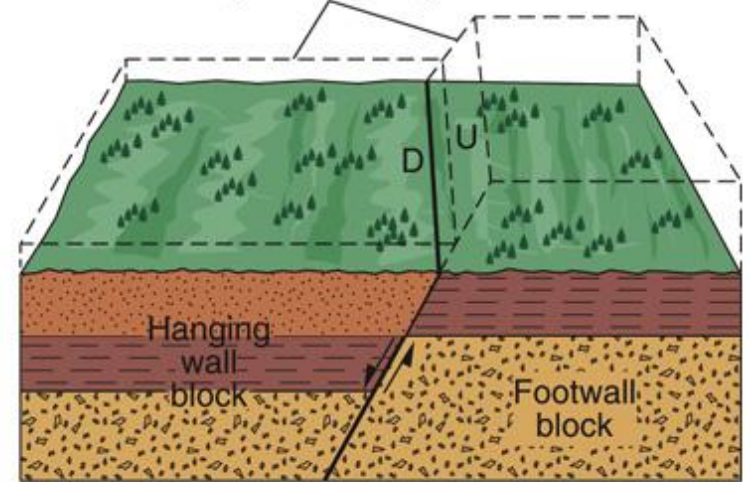
C Oblique-slip fault

Сбросы образуют грабен и горст

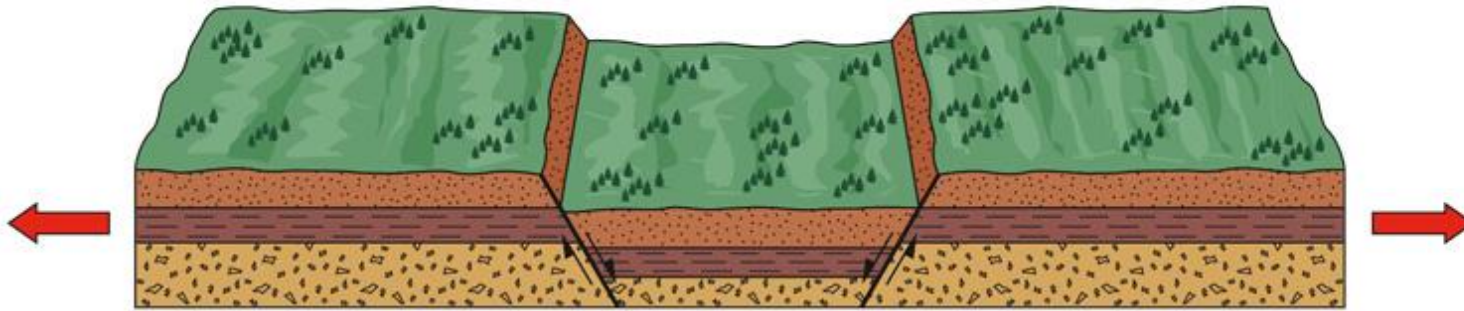
production or display.
Dashed part eroded
away after faulting



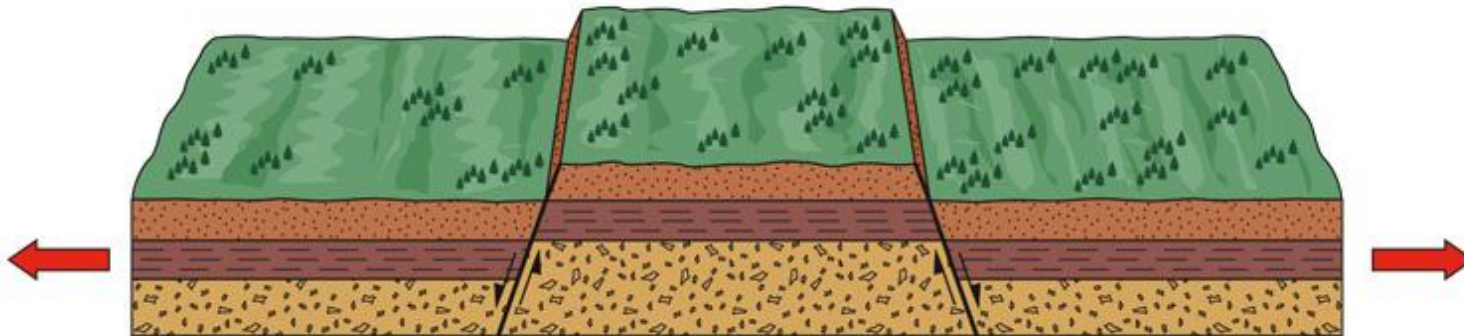
A Normal fault



B Eroded normal fault

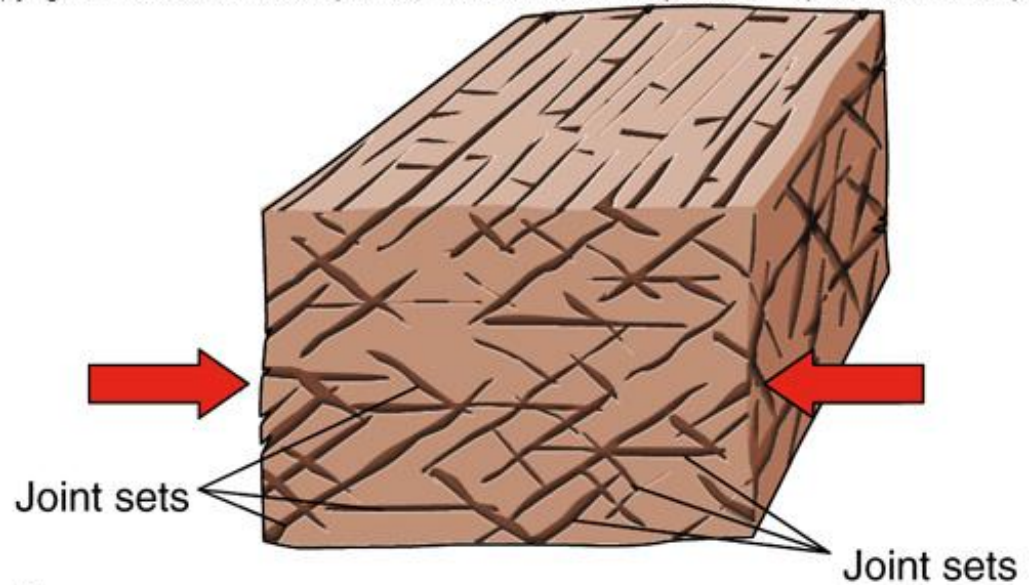


C Graben

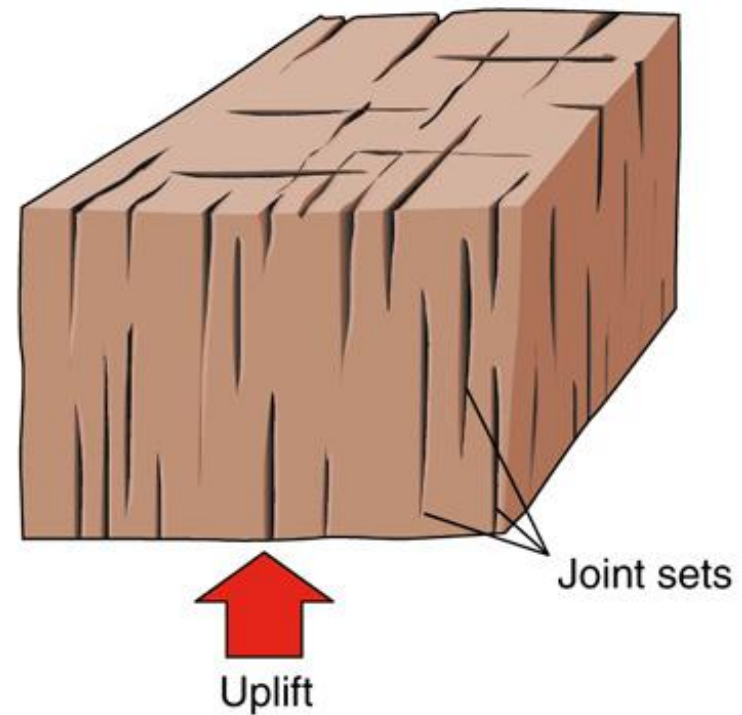


D Horst

Диаклазы –
трещины
без видимого
смещения



A



B

КЛИВАЖ

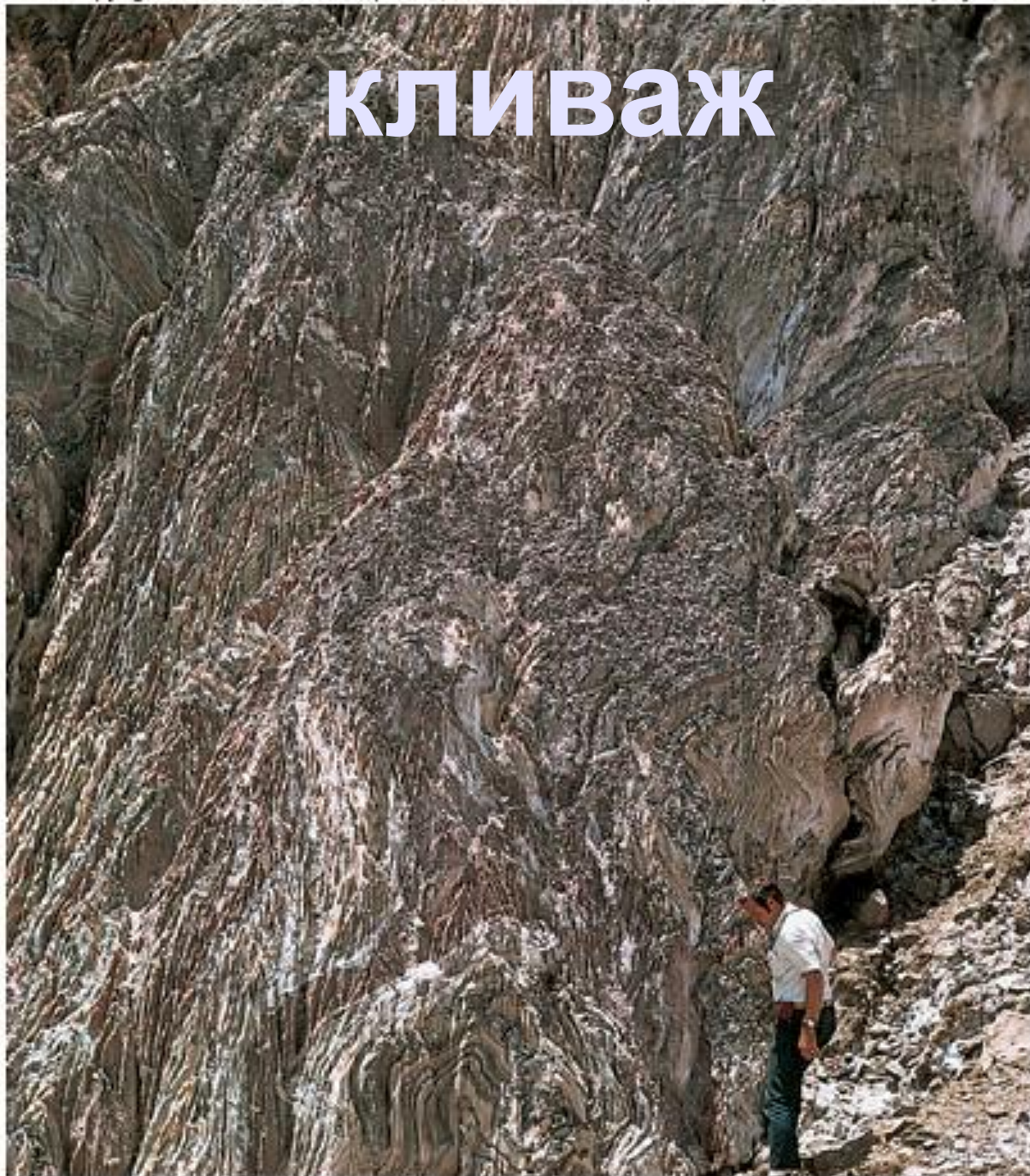
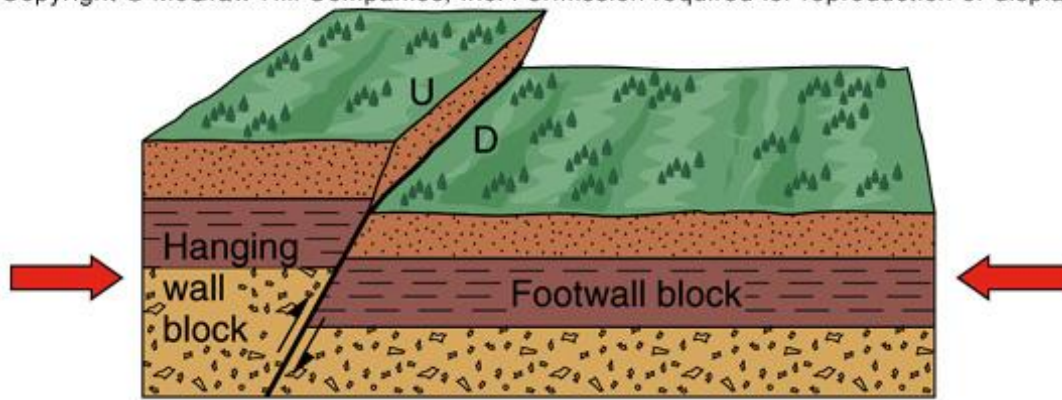
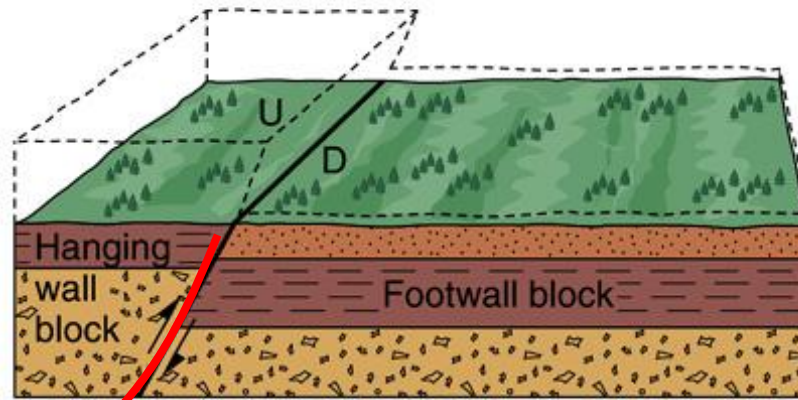


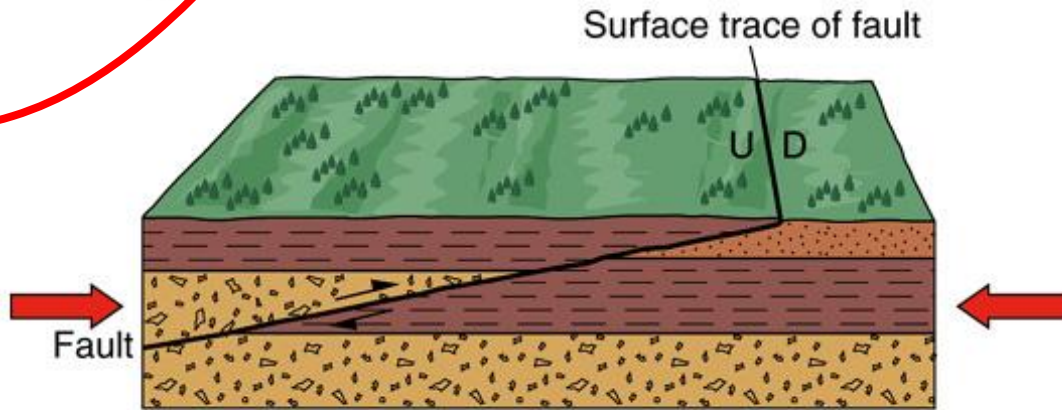
Photo by C. C. Plummer



A



B



C

Взброс

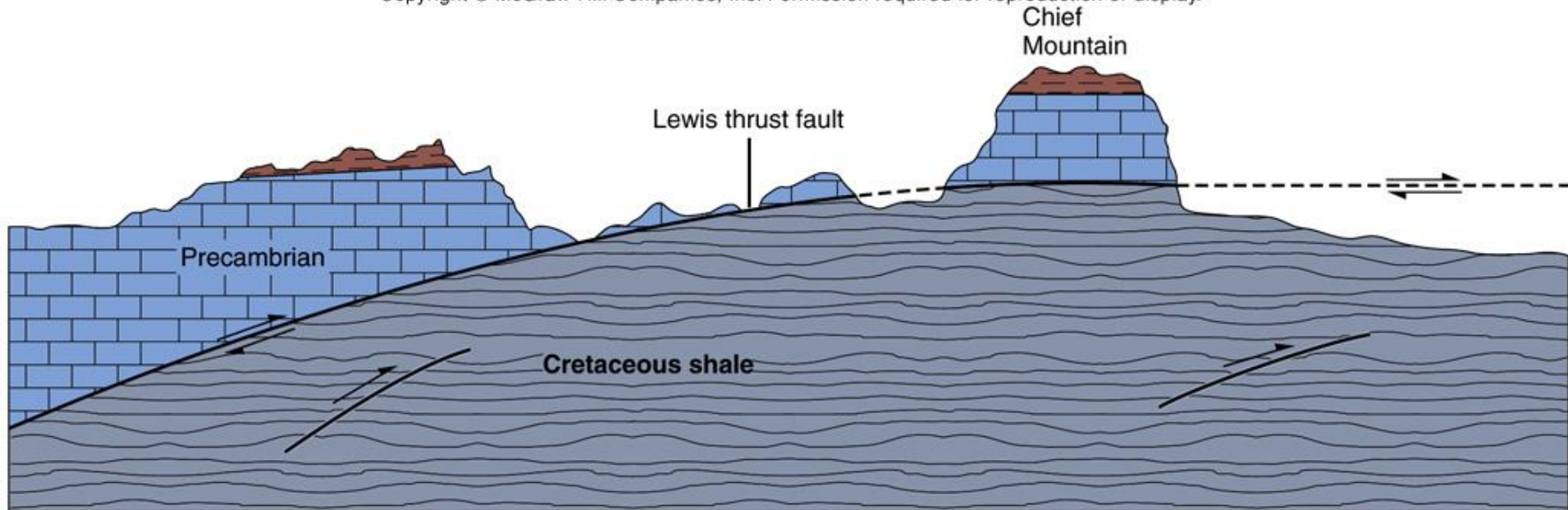
надвиг

Надвиг у с. Рыбачье



Шарьяж- высокоамплитудный надвиг

Copyright © McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



B



Правые сдвиги

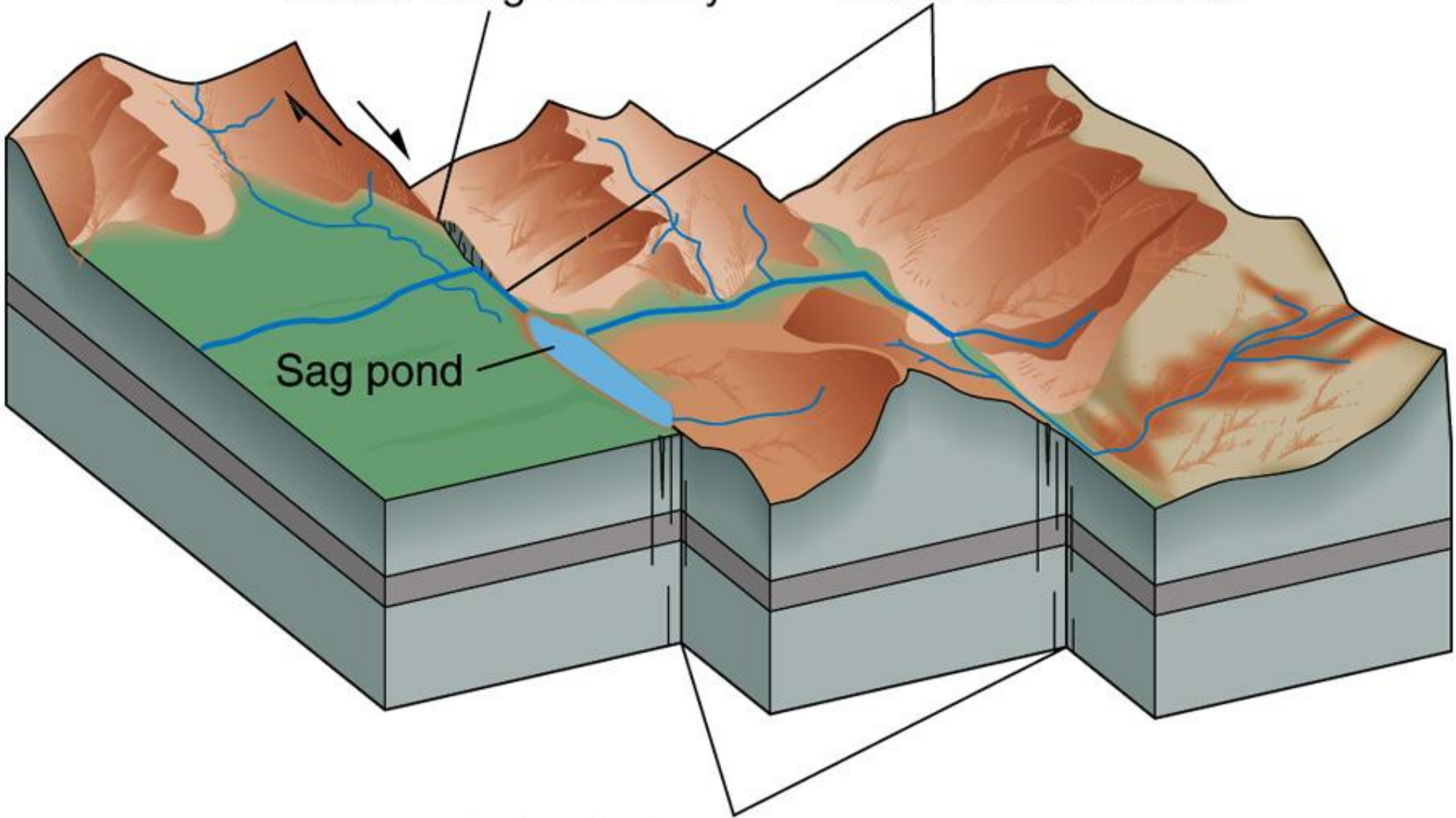
Copyright © McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Linear trough or valley

Offset stream course

Sag pond

Active fault traces



**Смещение
сдвигом
русел
оврагов**



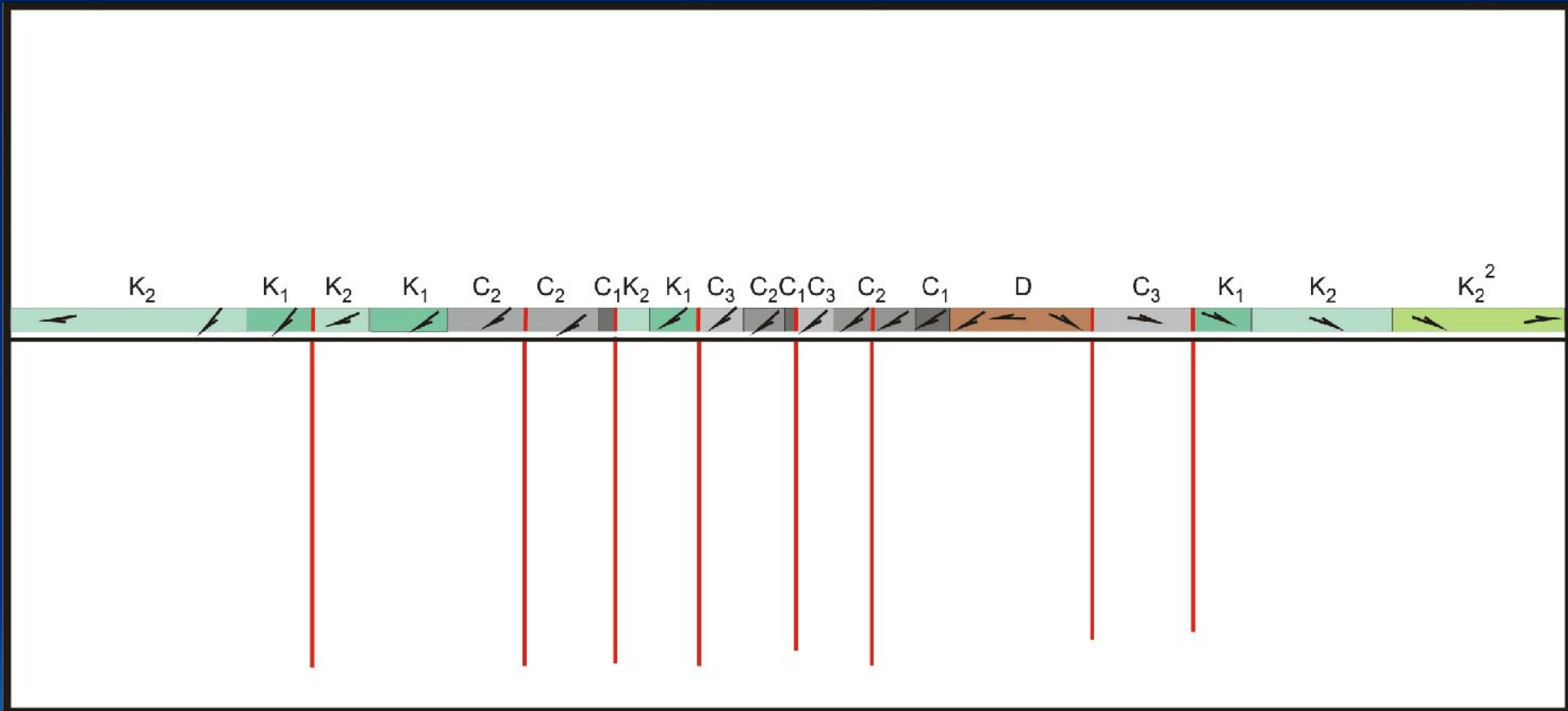
Photo by C. C. Plummer

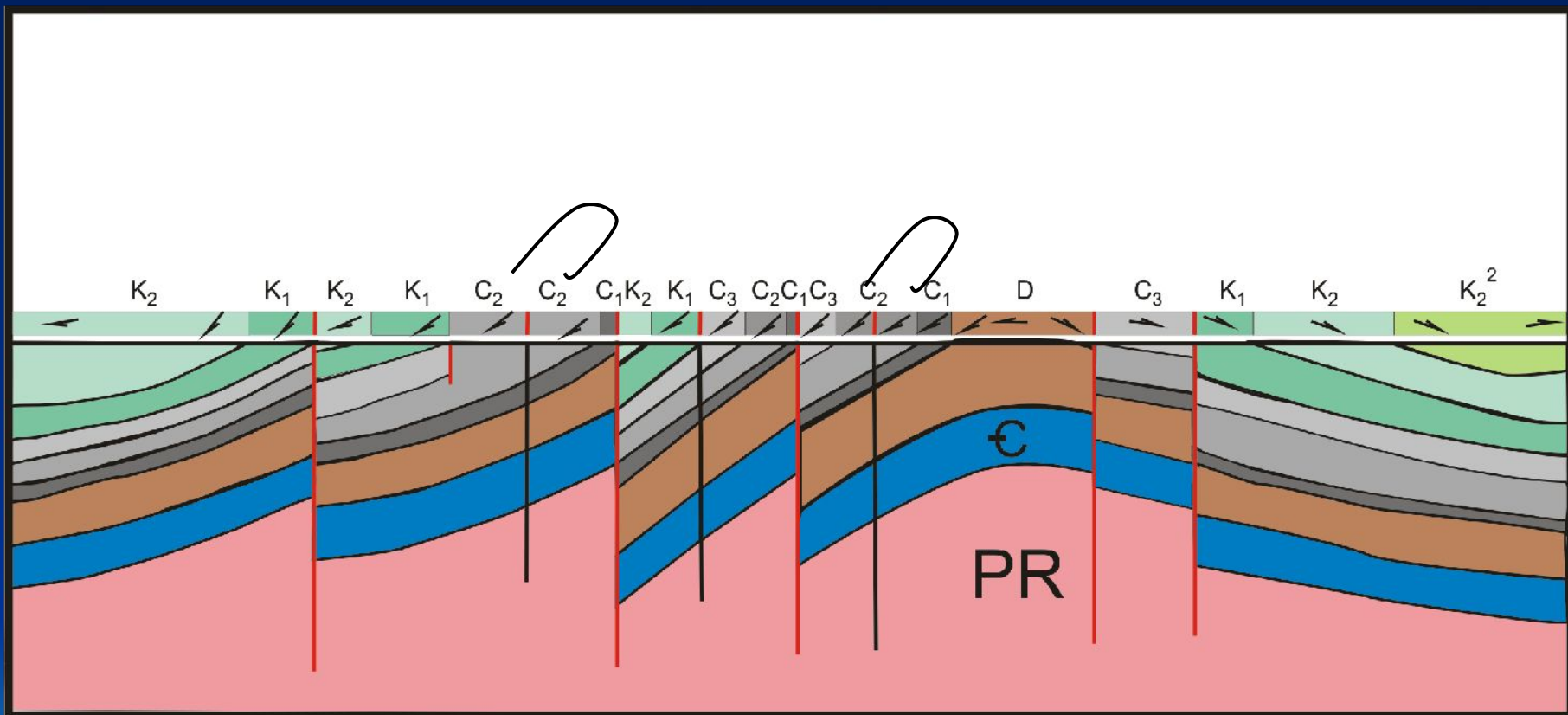
Структурная геология: Антиклинорий

Сравнение блоковой и
надвиговой моделей



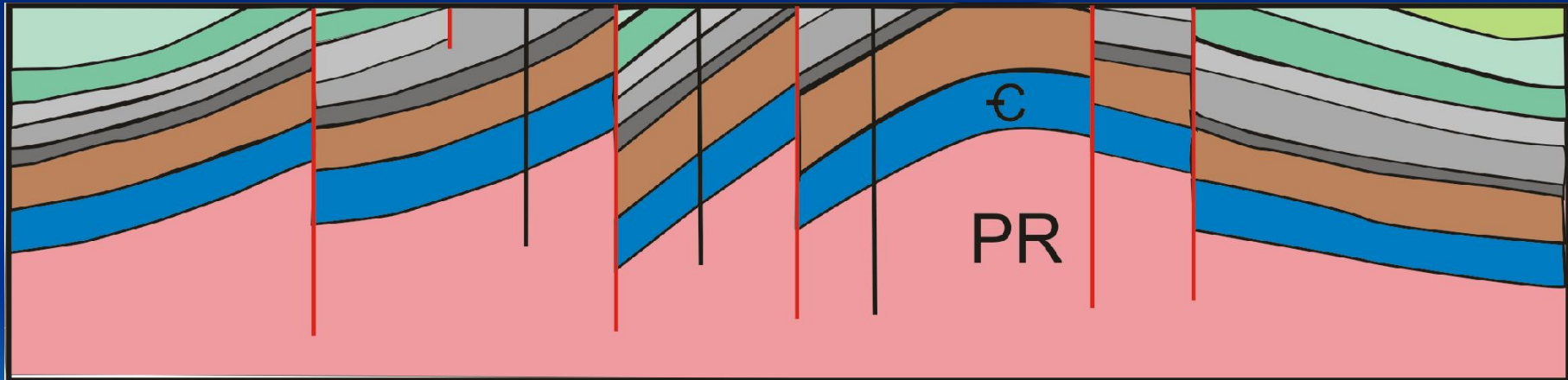




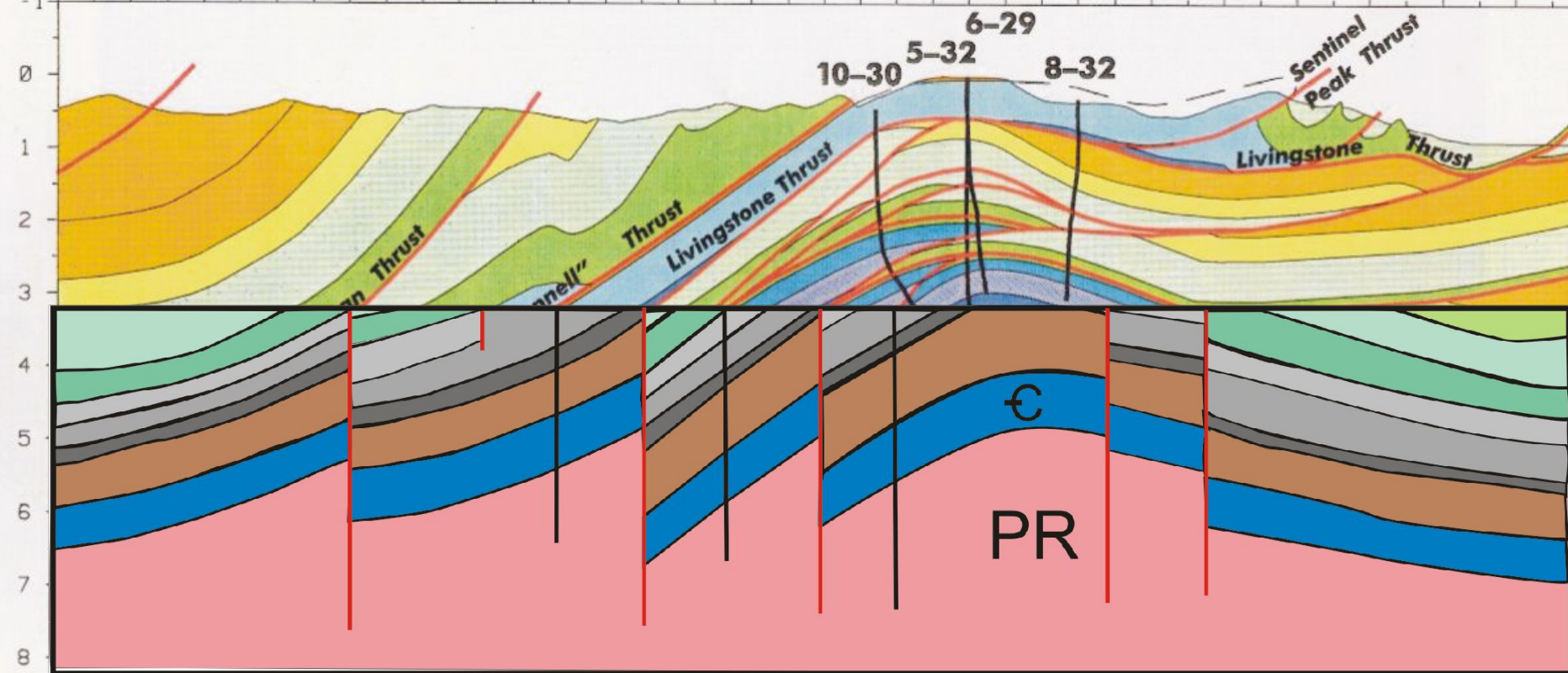


Блоковая модель

Антиклиналь, осложненная системой разломов
- сбросов



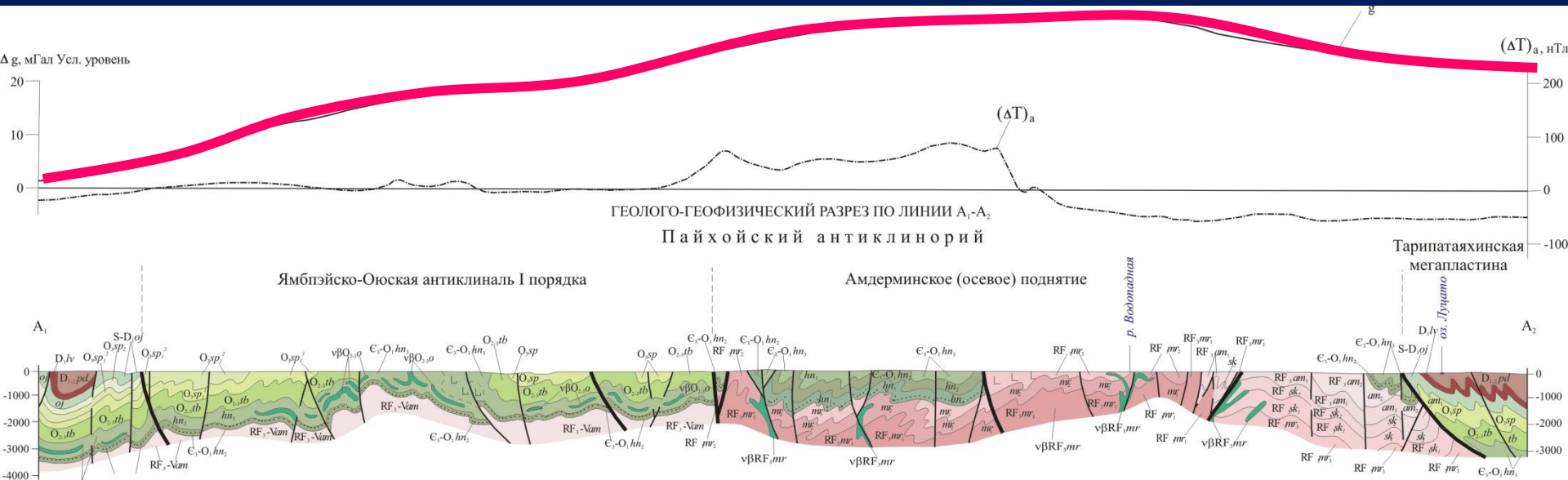
A
SW km 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 **km** **NE**



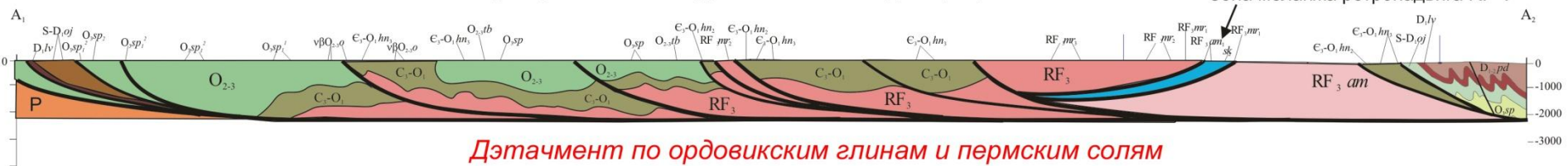
- CRETACEOUS**
- Cardium & Wapiabi Fms. and younger
 - Blackstone Formation
 - Blairmore Group
-
- Fernie Formation & Kootenay Group
(Jurassic - Cretaceous) including Pennsylvanian and Triassic in the Livingstone thrust sheet.
 - Pennsylvanian Spray Lakes Group

- MISSISSIPPIAN**
- Livingstone, Mt. Head and Etherington Fms. in the Livingstone sheet.
 - Mt. Head and Etherington Fms.
 - Livingstone Formation
 - Banff Formation
-
- Devonian
 - Cambrian and older

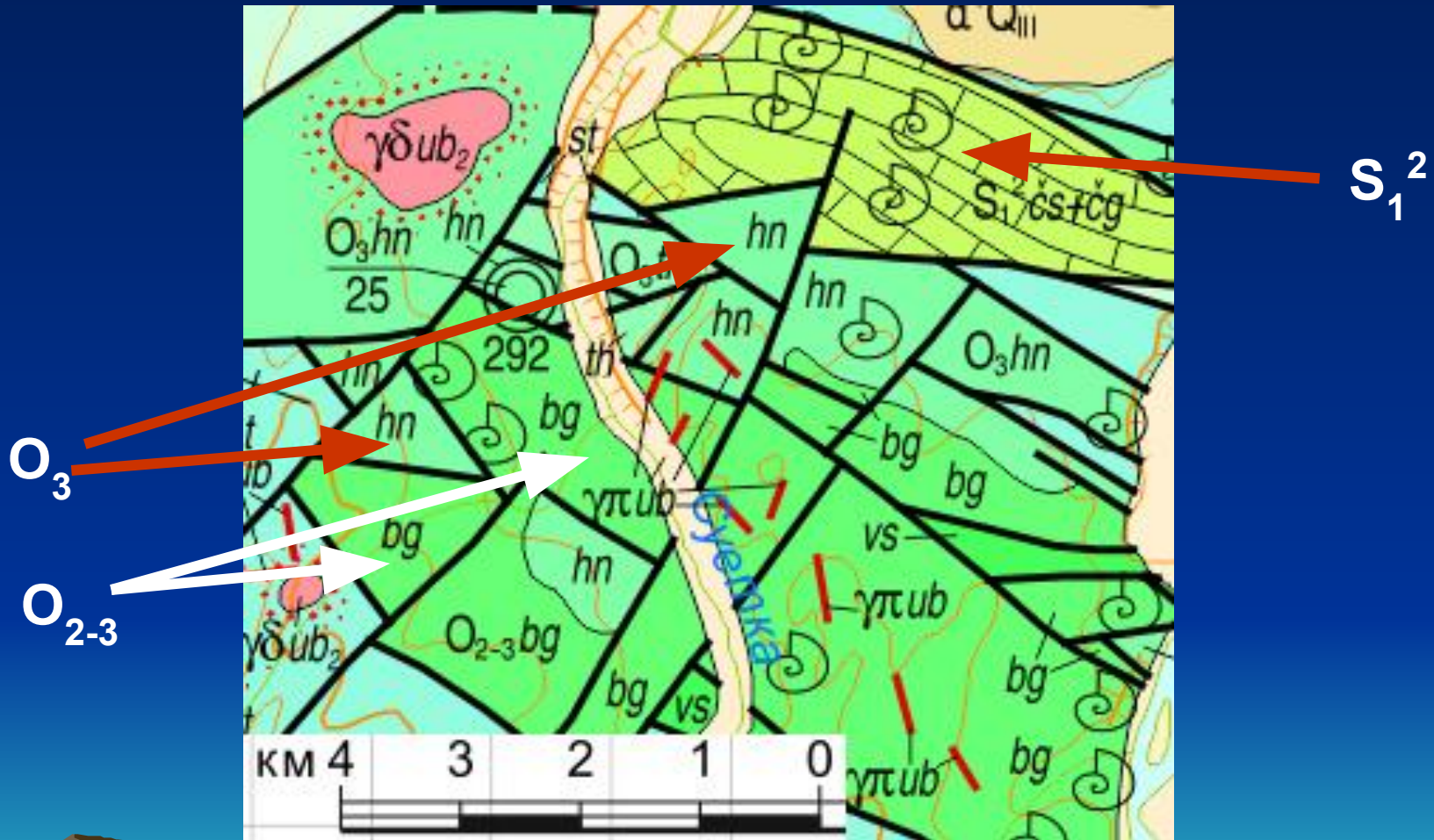
Пай-Хой



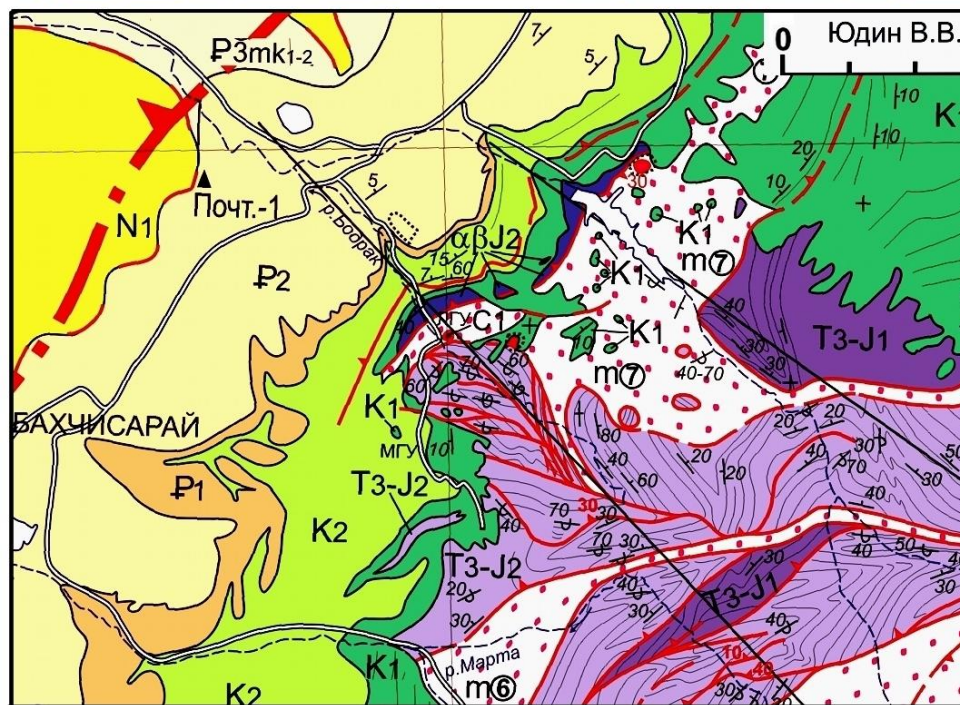
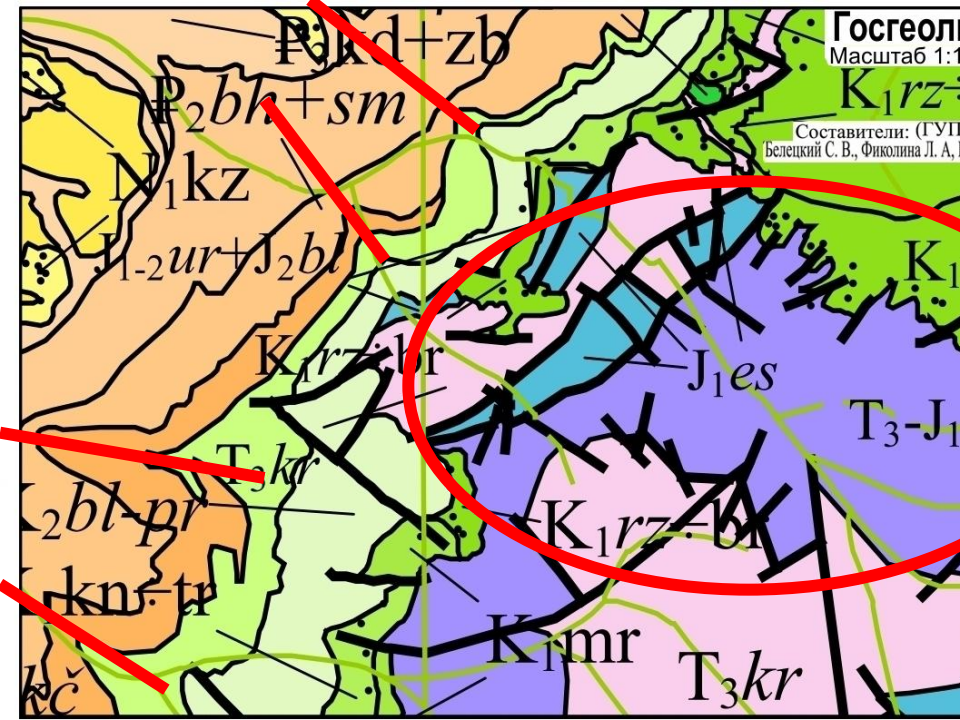
Принципиальная геодинамическая модель разреза



Фрагмент листа М-44-V Горно-Алтайской серии



Между верхнеордовикскими (hn) и нижнесилурийскими (S_1^2) отложениями выпала часть разреза, мощностью минимум 750 м.



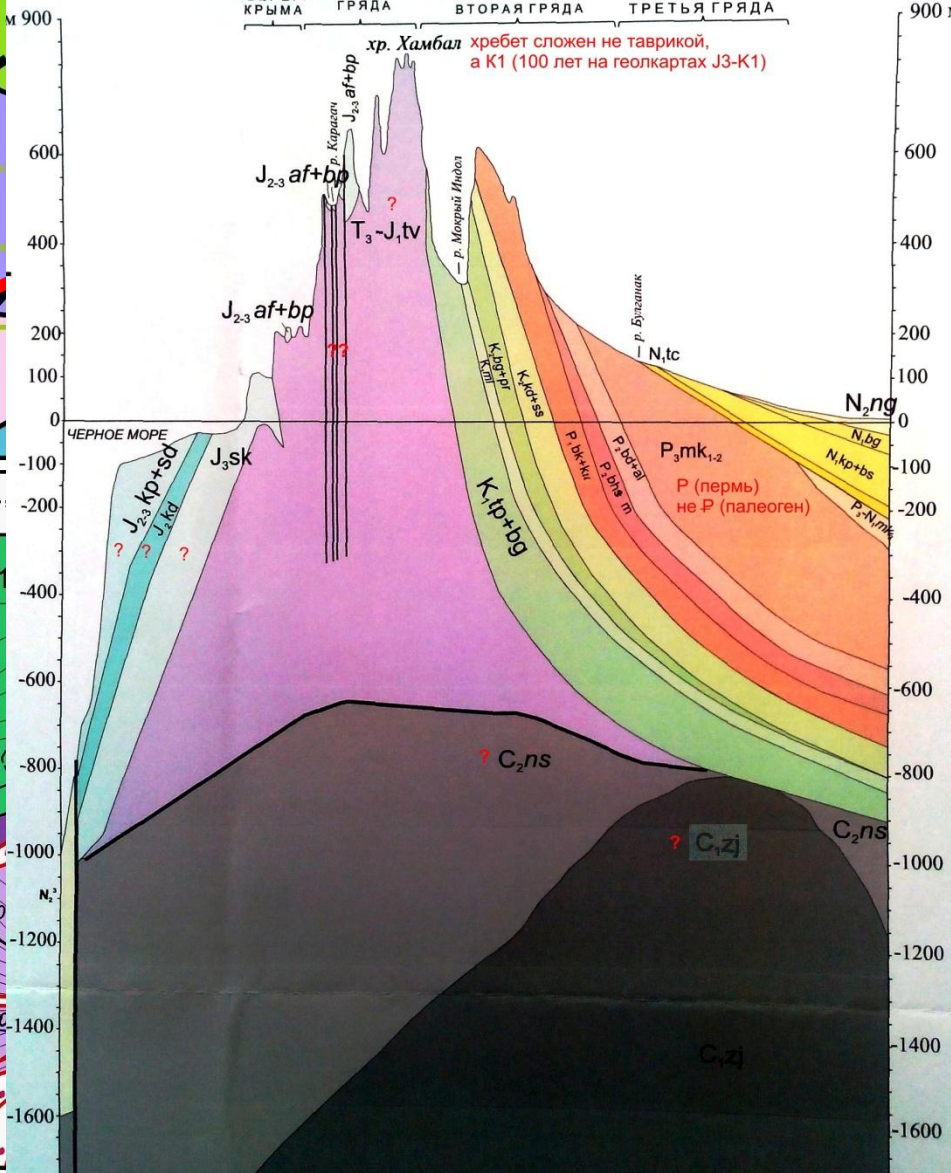
Габдуллин Р.Р., Шалимов И.В., Бадулина Н.В.,
Нигмаджанов Т.И., Сергиенко А.В., Коновалова Т.А. (МГУ 2017 год).

РИС. 4. СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ

МЕГАНТИКЛИНОРИЙ ГОРНОГО КРЫМА

ТУАКСКИЙ СИНКЛИНОРИЙ? СУДАКСКИЙ СИНКЛИНОРИЙ? БЕЛОГОРСКИЙ ГОРСКИЙ ПРОГИБ? СИНКЛИНОРИЙ? ВОСТОЧНОГО КРЫМА =4 синформы без антиформ

в море? два синклинория? ЮЖНЫЙ БЕРЕГ? (ПЕРВАЯ ГЛАВНАЯ ГРЯДА) КРЫМА ПЕРВАЯ (ГЛАВНАЯ) ГРЯДА ВТОРАЯ ГРЯДА ТРЕТЬЯ ГРЯДА



СКИФСКАЯ ПЛИТА
ИНДОЛО-КУБАНСКИЙ ПРОГИБ

Шарьяж в Южном Донбассе и его реконструкция

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ЮЖНОГО ДОНБАССА

Составил В.В. Юдин

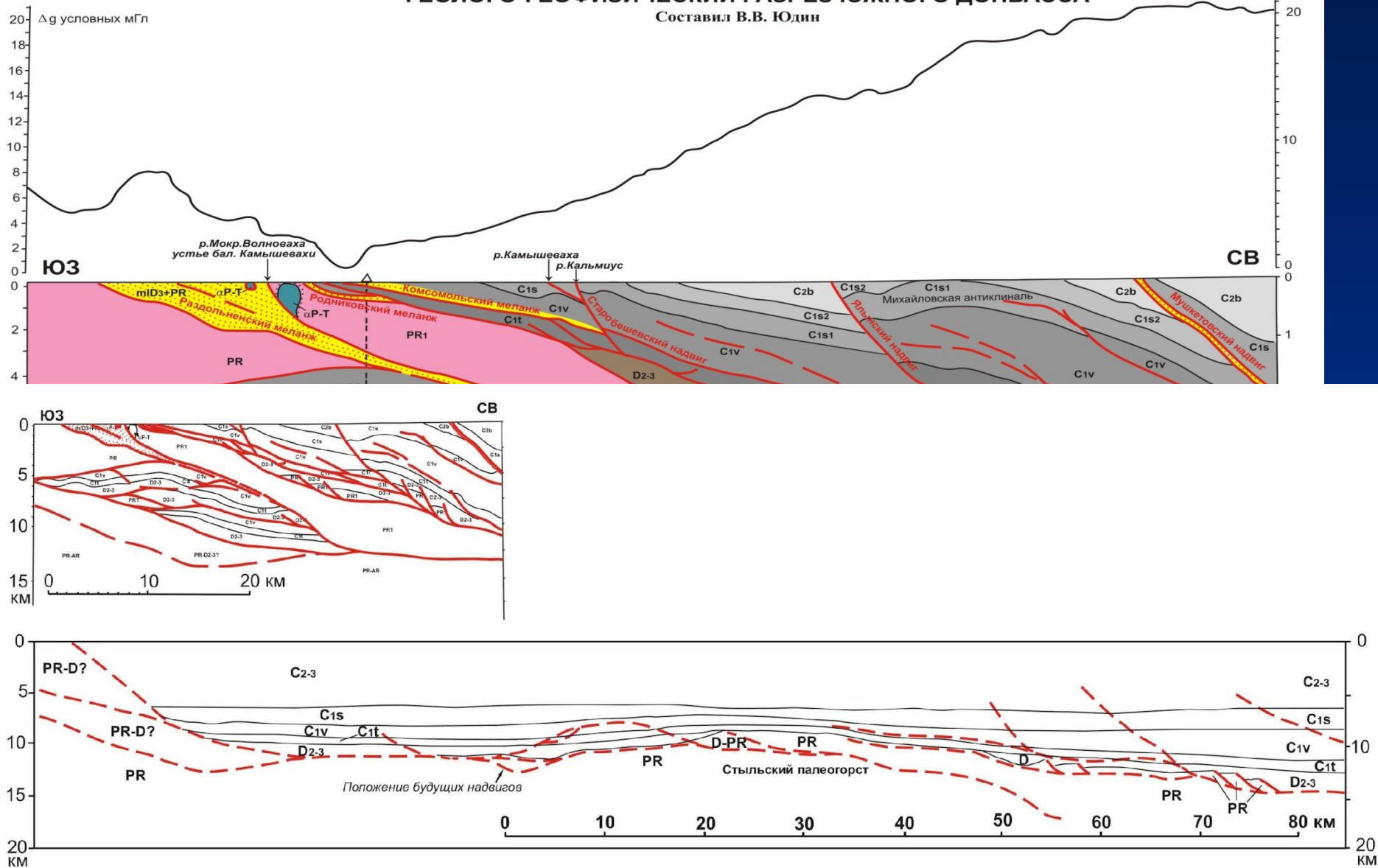
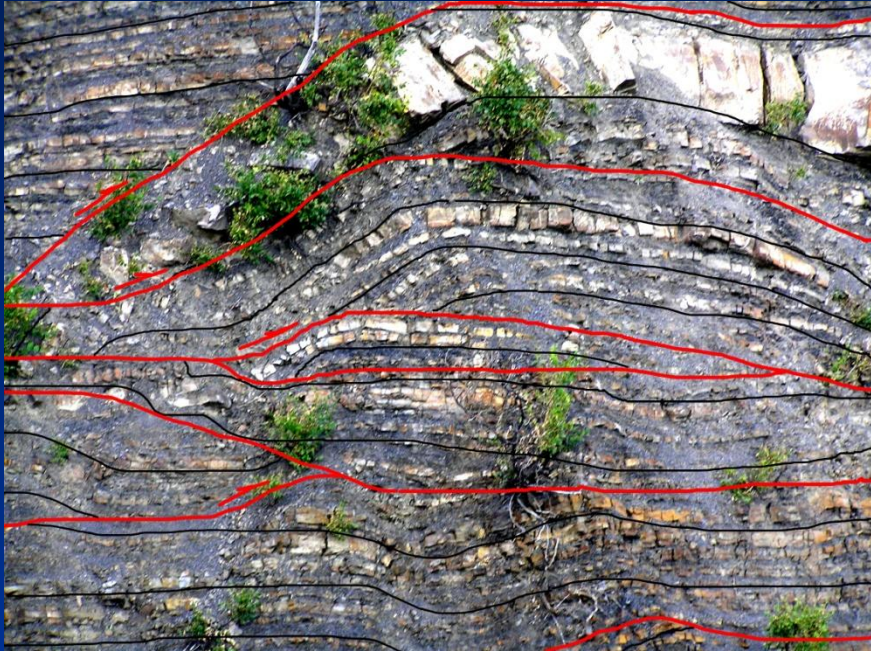


Рис. . Палинспастическая реконструкция структур Южного Донбасса. Вверху - современный сбалансированный разрез по профилю Добрэ, внизу - реставрация зоны палеоосадконакопления на доскладчатый период конца карбона

Дуплексы, флэты, рэмпы в разрезе и в обнажениях Крыма



Таймыр, 2013 г.



Структуры такого типа могут ориентировать слоистость близко перпендикулярно поверхностям разрывов.

Марокко, офиолитовое габбро



РАЗРЫВЫ ГОРНОГО КРЫМА

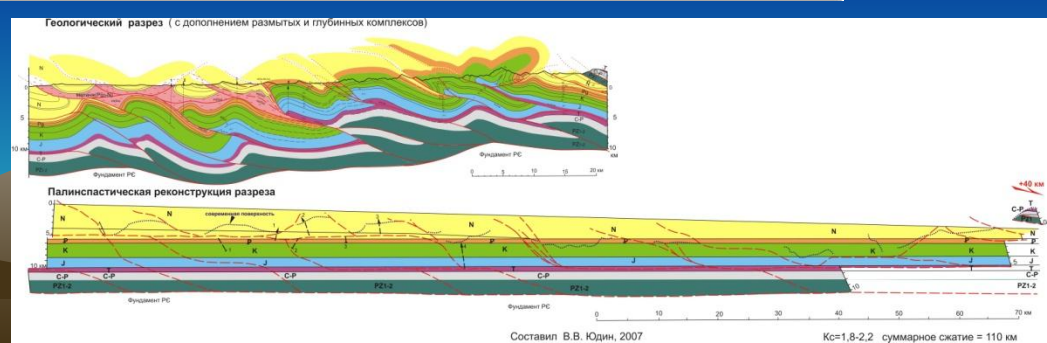
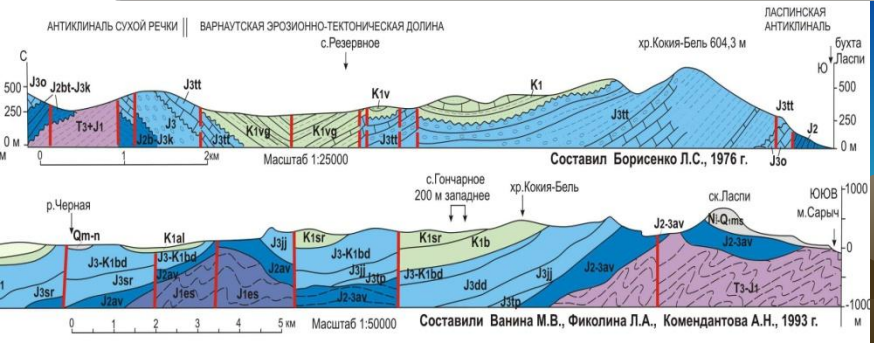
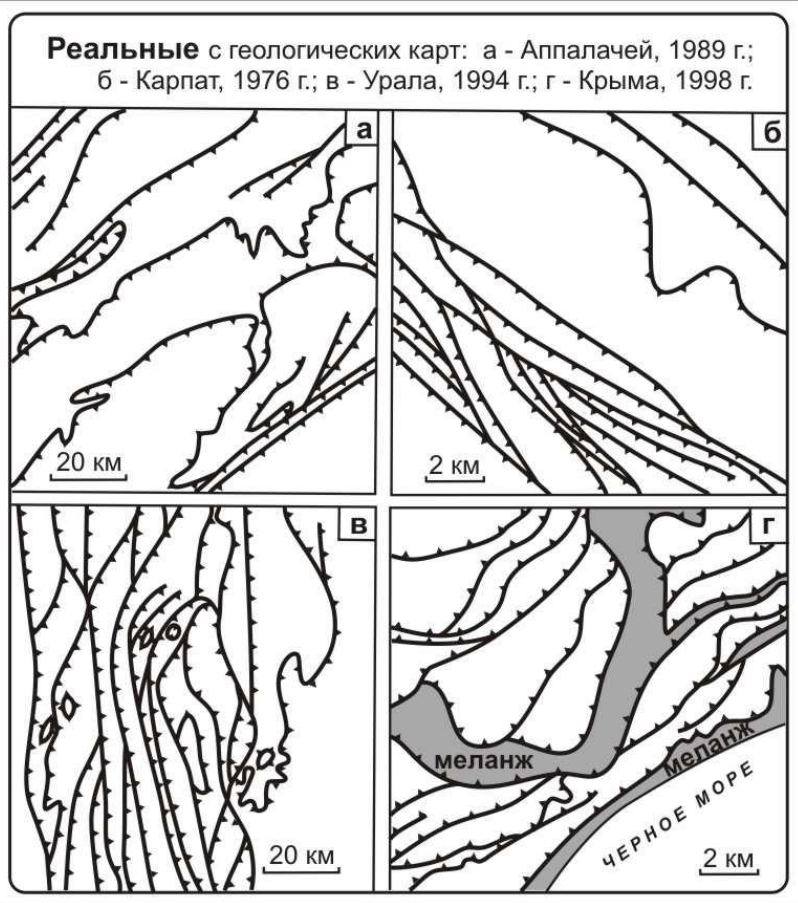
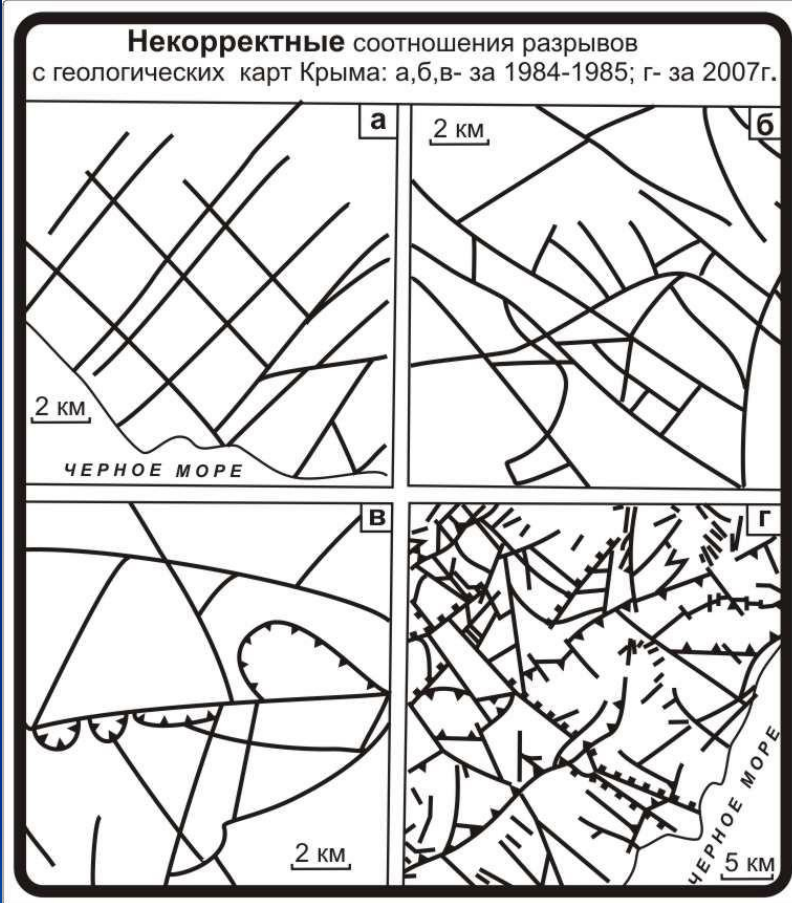
С ПОЗИЦИЙ РАЗЛОМНО-БЛОКОВОЙ
ТЕКТониКИ

РАЗЛОМЫ С ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

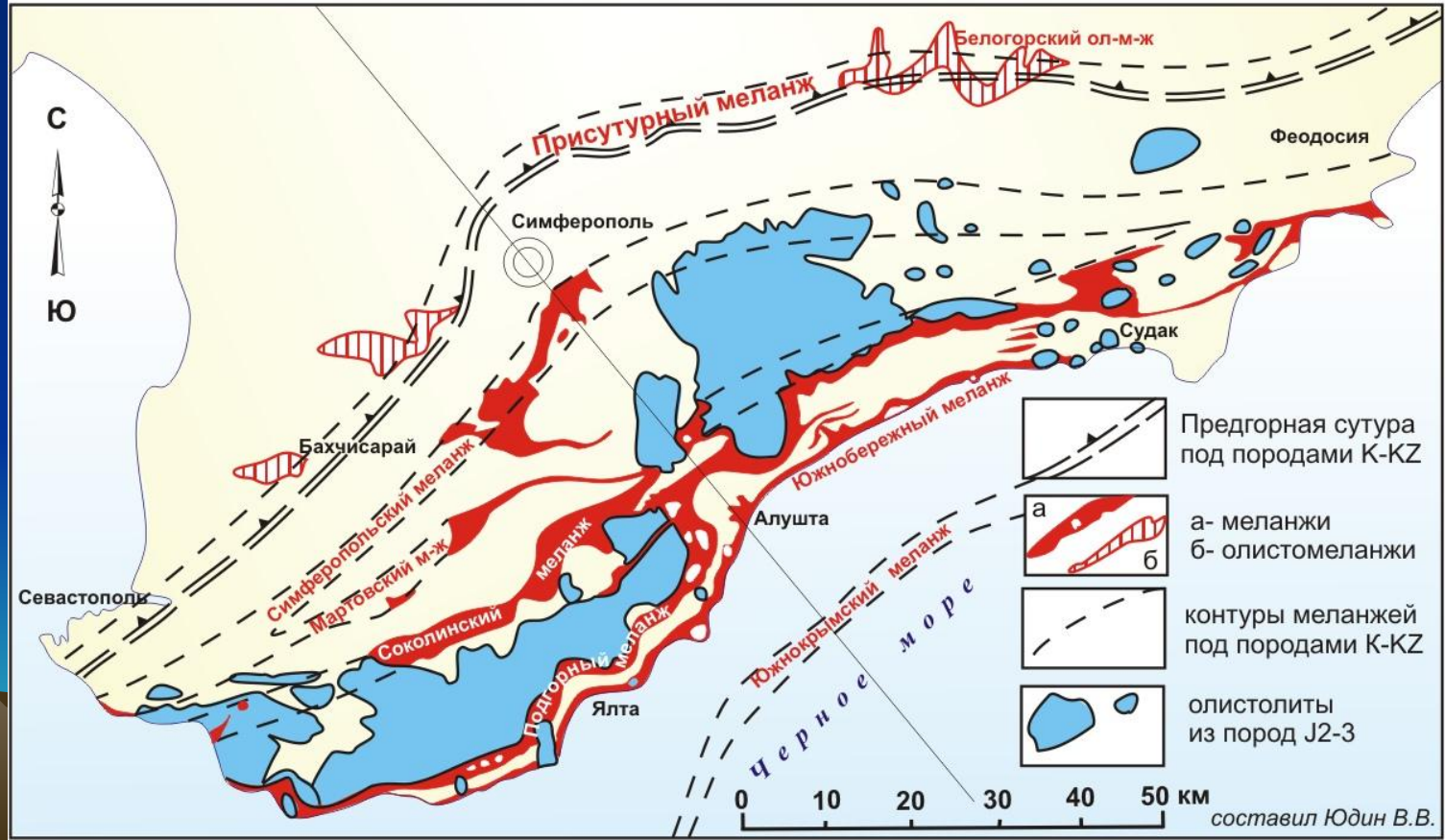
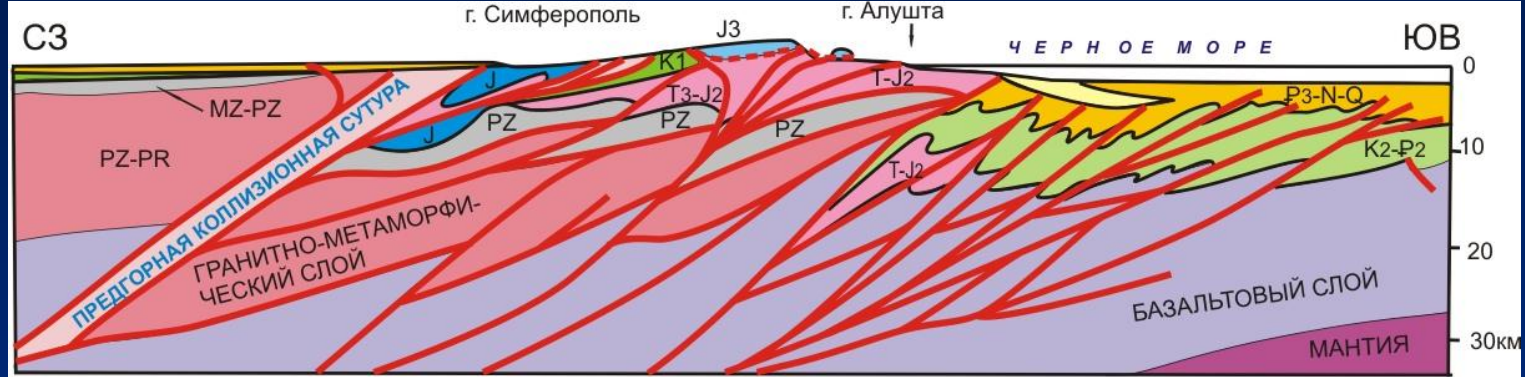
-  Муратов М.В. и др., 1940-1973г
-  Попов В.Ф., 1964
-  Чайковский Б.П., 1990
-  Пивоваров С.В., 1984
-  Борисенко Л.С., Новик Н.Н., 1985
-  Феколина Л.А. и др., 1991
-  Князев Г.И., 1975
-  Борисенко Л.С., Деренюк Н.Е., Виршило В.А. и др.



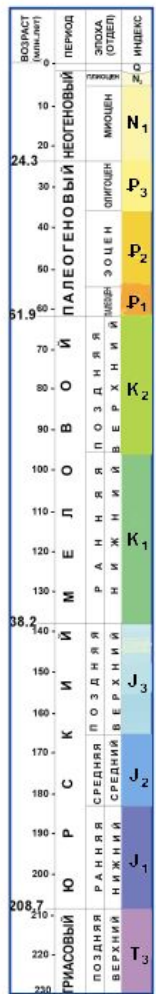
Возможные и геометрически нереальные разрывы



МИКСТИТЫ КРЫМА (меланжи и олистостромы) – проблематичные зоны для долговременных сооружений

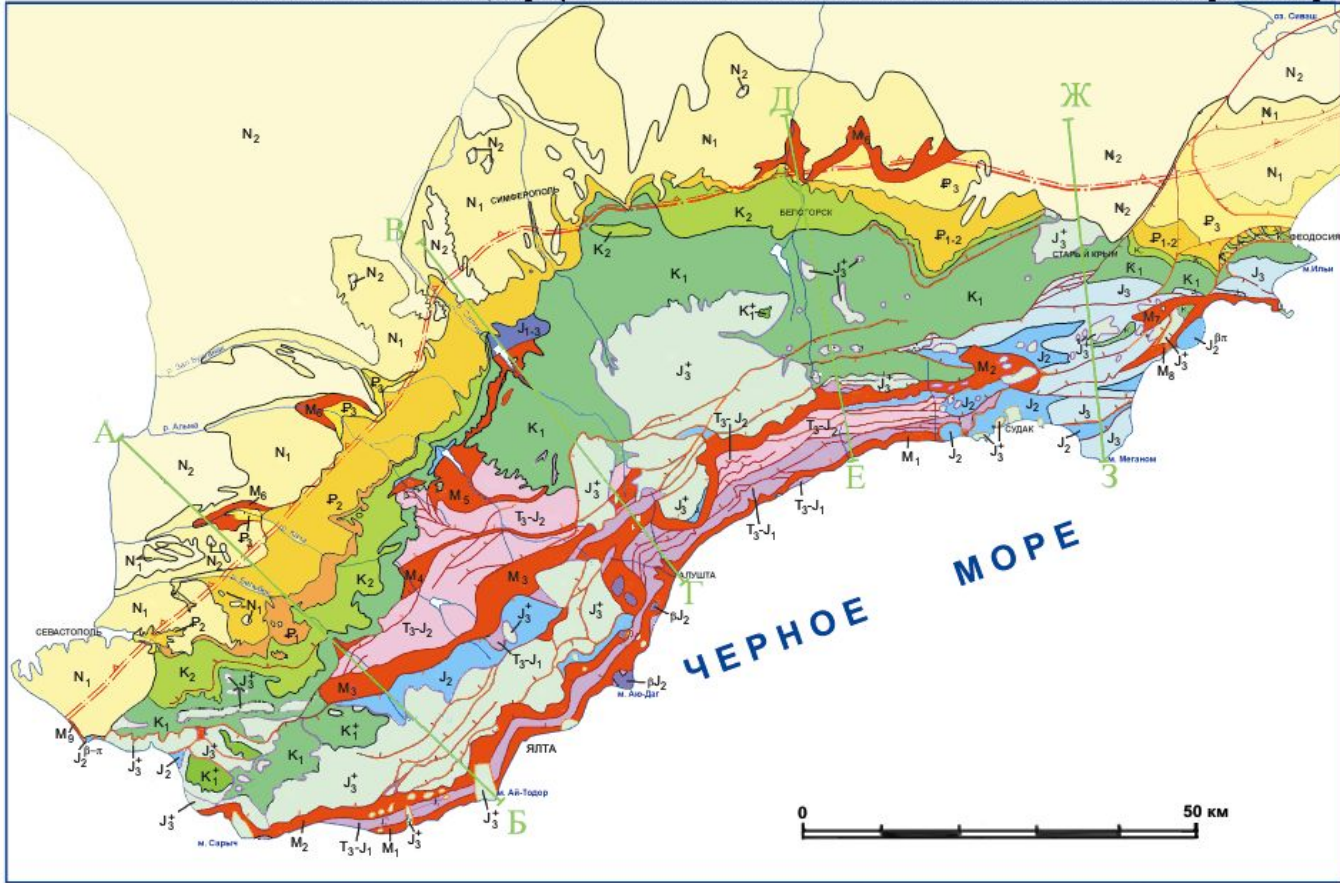


**геохронологи-
ческая шкала**



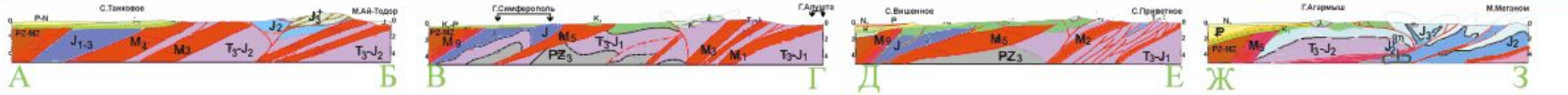
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ГОРНОГО КРЫМА

Составил В.В. Юдин (по результатам личных исследований с использованием материалов предшествующих работ)



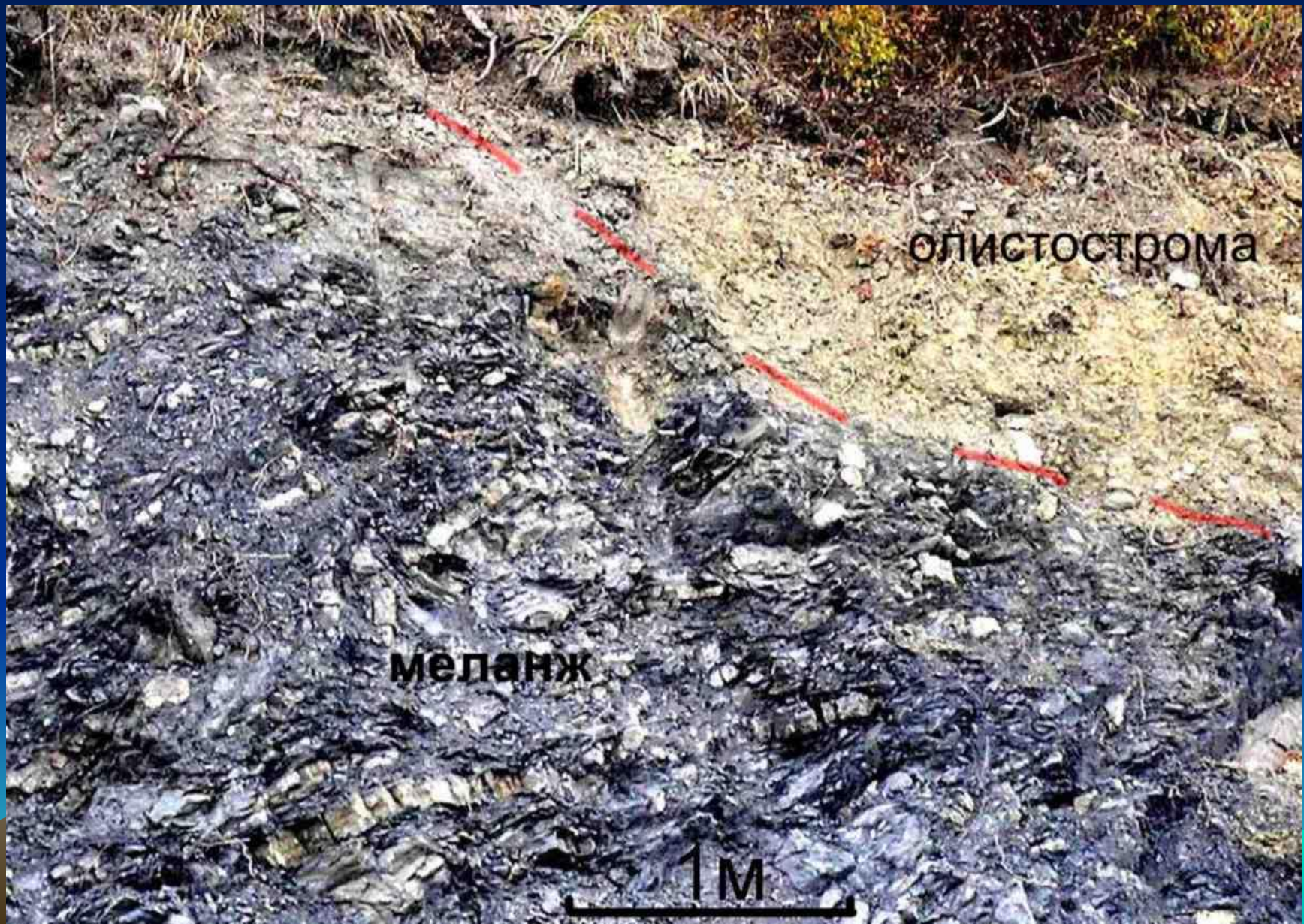
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

N ₂	Сутлинки, галечники, пески, ракушечники
N ₁	Известняки, глины, пески
P ₃ -N ₁	Глины
P ₃	Глины, песчаники
P ₂	Известняки, мергели
P ₁₋₂	Известняки, мергели, глины
P ₁	Мергели, известняки
K ₂	Мергели, известняки, локально песчаники, глины
K ₁	Глины, песчаники, конгломераты, известняки
K ₁ [*]	Конгломераты, известняки, глины (на олистолитах)
J ₃	Конгломераты, песчаники, алевролиты
J ₃ [*]	Известняки, внизу конгломераты (в олистолитах)
J ₂ ^{β2}	Лавы, туфы, песчаники, алевролиты
J ₂₋₃	Конгломераты, песчаники
J ₂	Песчаники, алевролиты, гравелиты
J ₁₋₃	Конгломераты, песчаники, алевролиты (битакская св.)
T ₃ -J ₂	Песчаники, алевролиты, аргиллиты
T ₃ -J ₁	Песчаники, алевролиты, аргиллиты (флиш таврической серии)
PZ	Известняки карбона и перми
PZ-MZ	Метаморфизованные породы палеозоя и мезозоя
δ J ₂	Плагиограниты, диориты

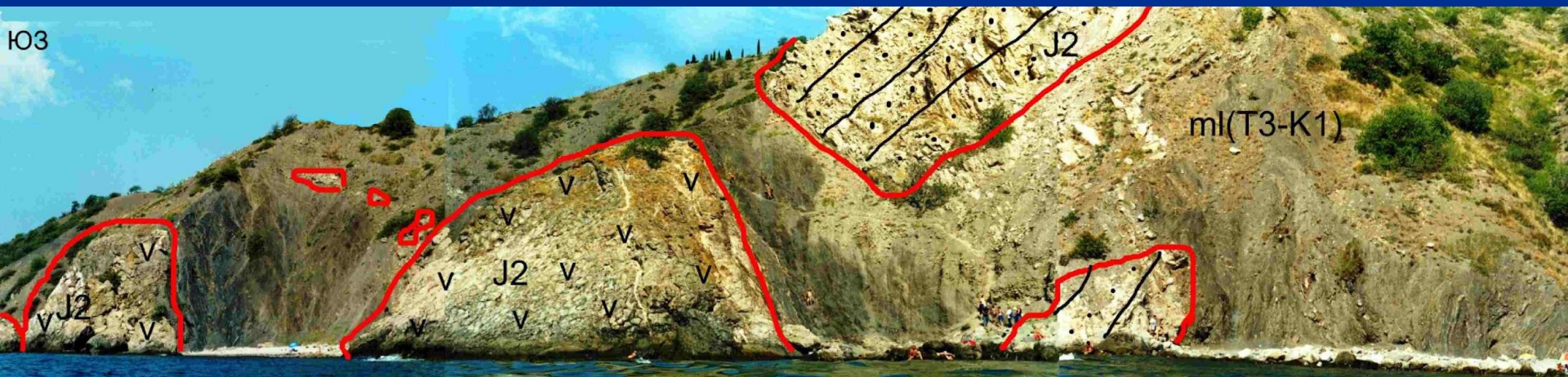


- Предгорная сutura (мезозойский коллизийный шов) под мел-кайнозойскими отложениями.
- Разрывы эндогенные (штрихи по падению сместителя): а) достоверные, б) предполагаемые
- Линии геологических разрезов на карте
- Послойные срывы: а) эндогенные, б) гравигенные
- Разрывы гравигенные в основаниях раннемеловых олистолитов Горнокрымской олистоформы (оползшие массивы)
- Меланжи, M1-Южнобережный, M2-Подгорный, M3-Соколинский, M4-Мартовский, M5-Симферопольский, M6-Белогорский, M7-Щебетовский, M8-Карадагский, M9-Присутурный
- Разрывы гравигенные в основаниях неоген-четвертичных олистолитов Массандровской олистоформы (оползшие массивы)
- Стратиграфические границы: а) достоверные, б) предполагаемые

Различие эндогенного меланжа и гравигенной олистостромы



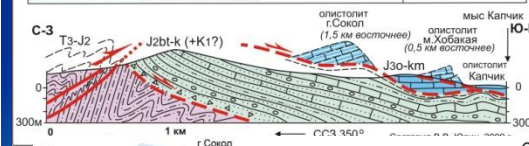
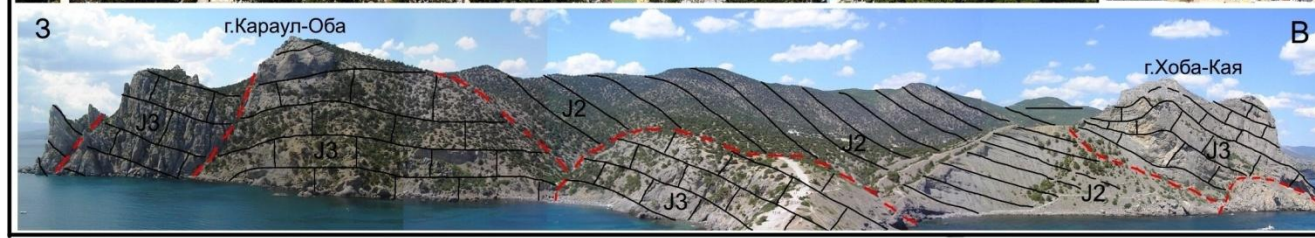
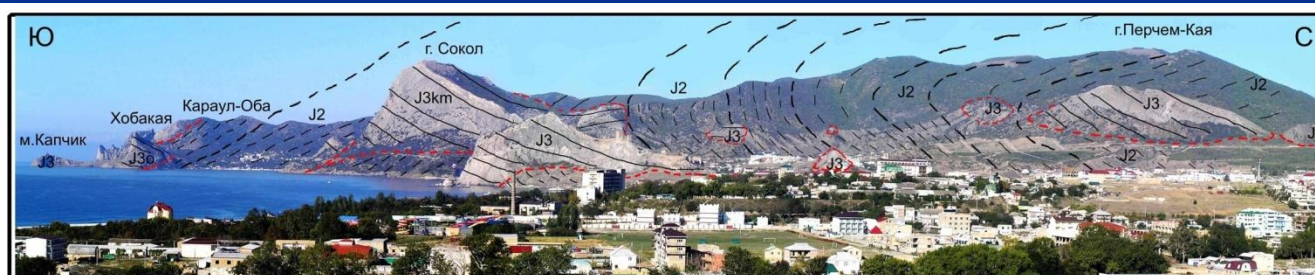
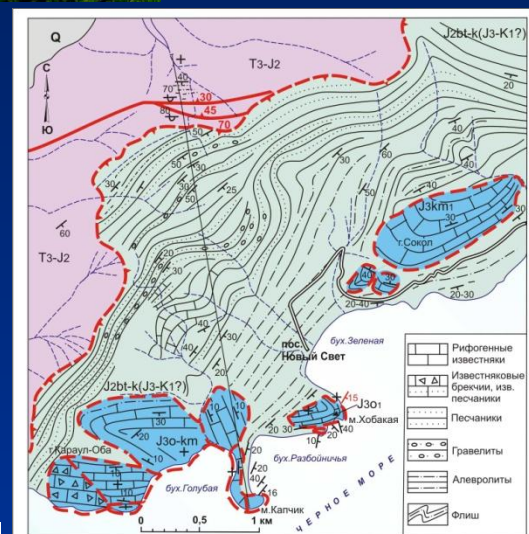
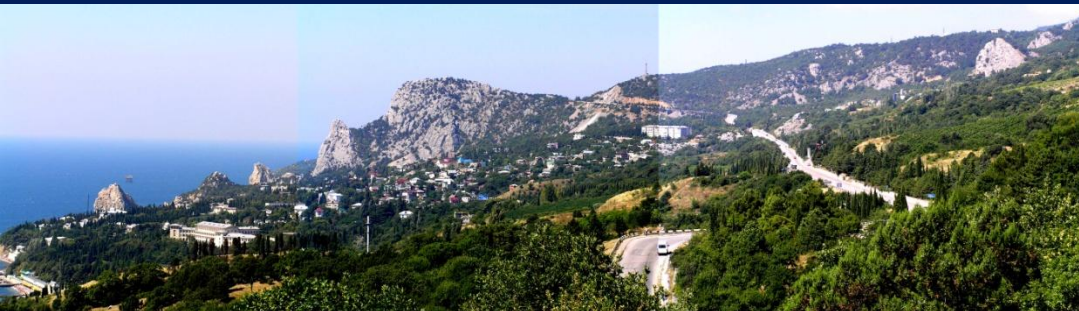
Южнобережный меланж в Алуште и на м. Рыбачий



Кайнозойские олистостромы - гравигенные комплексы из оползающих массивов (олистолитов) и передробленного матрикса



Массандровская олистострома



Вид на гору Маттерхорн – сутурная зона между Европейской и Адриатической плитами (Stampfli, 2001)

