

# Структурная геология и геологическое картирование

## Лекция № 14

### «Структурные парагенезы. Тектонофации»

## Структурные парагенезы. Определения



**Дизъюнктивные СП** – естественные, многократно повторяющиеся и упорядоченные ассоциации закономерно сонаходящихся разрывов определенных (по морфо-кинематике и ориентации) типов, **одного масштабного ранга** и тектонически одновозрастных [Л.М. Расцветаев, 1987],

**СП** – устойчиво повторяющиеся, целостные комплексы **элементарных** структурных форм, составляющие морфологически сходные тектонические зоны и отличающиеся по структуре от соседних участков [А.В. Лукьянов, И.Г. Щерба, 1972],



**СП** – все возникшие одновременно в едином генеральном поле напряжений **резко разномасштабные** формы, тип совокупности которых определяется, прежде всего, морфологией складчатых форм первого порядка и генетически связанных с ними разрывов [В.С. Милеев, 1978],

**СП** – ассоциация **разновеликих** структурных форм, приблизительно одновозрастных и пространственно тесно связанных [В.Д. Вознесенский, 1984],



**СП** – совокупность структурных форм, находящихся совместно и сформировавшихся в “**определенной единой**” геодинамической обстановке [М.А. Гончаров и др., 2005]

- **Структурные парагенезы** — закономерные сочетания различных структурных элементов, сформированных *в едином поле напряжений* (динамическое определение)
- **Структурные парагенезы** — закономерные сочетания различных структурных элементов, сформированных *в процессе развития крупных структур* (кинематическое определение)

В любом случае формирование всех *элементарных* структурных элементов единого парагенеза предполагает некий *общий механизм* или хотя бы *общую причину*. Иными словами, само возникновение, геометрия и кинематика выделяемых в "структурный парагенез" структурных элементов должны удовлетворительно объясняться посредством какой-либо теоретической модели.

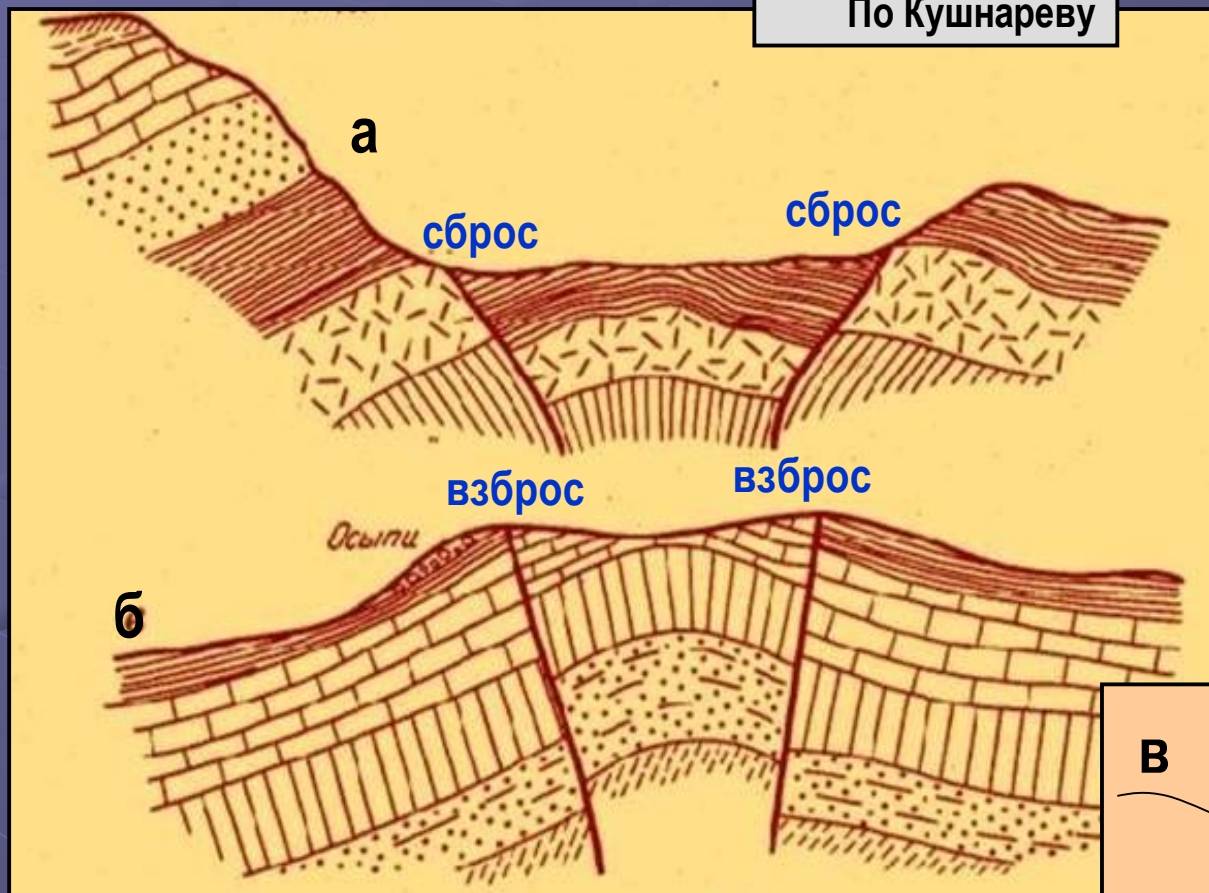
Если из определения изъять *теоретическую составляющую*, то в "структурный парагенез" можно будет объединять любые структурные элементы, расположенные примерно в одном месте, что убивает смысл самой идеи.

**Например** – ассоциация разновеликих структурных форм, приблизительно одновозрастных и пространственно тесно связанных

# Дизъюнктивные структурные парагенезы: сбросы и взбросы

**Механизм:** образуются вертикальными смещениями блоков в условиях горизонтального сжатия или растяжения

По Кушнареву

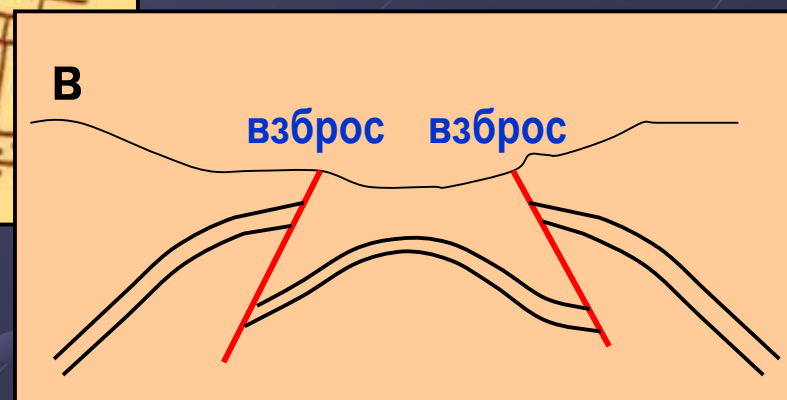


**Структурные парагенезы:**

а) **грабен** – сопряженная пара встречных сбросов, центральный блок опущен

б) **горст** – сопряженная пара встречных взбросов, центральный блок поднят

в) **рампа** – сопряженная пара расходящихся взбросов, центральный блок опущен

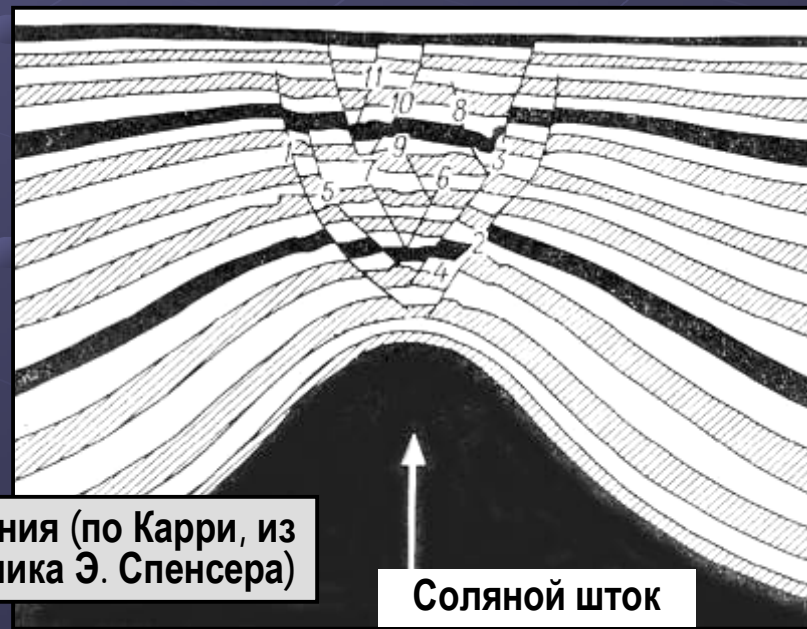
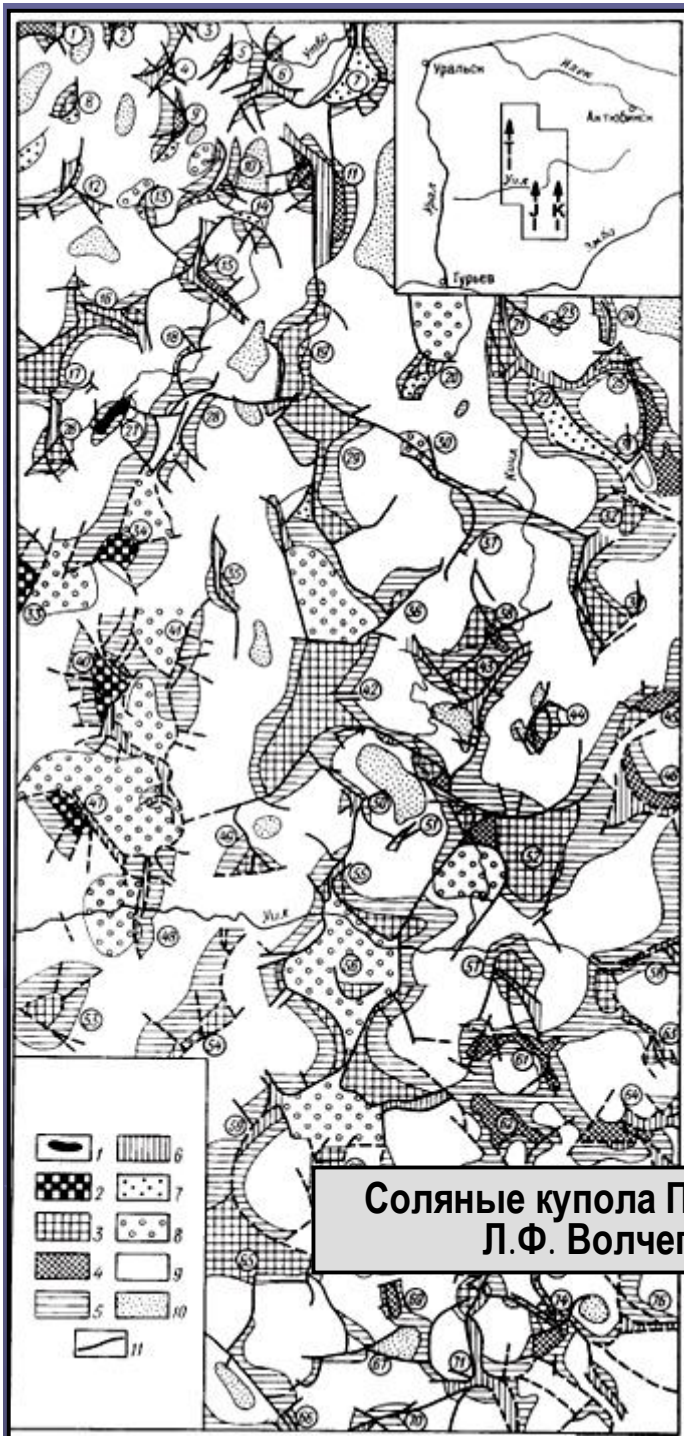


# Структурные парагенезы соляных диапиров

**Механизм:** изгибание пластов под действием изостатического всплывания соли – растяжение в замке купола и растворение соли подземными водами – образование кольцевых и радиальных сбросов (структура "битой тарелки").

**Структурный парагенез:**

- соляной диапир;
- антиклинальная складка (купол);
- кольцевые и радиальные сбросы над диапиром



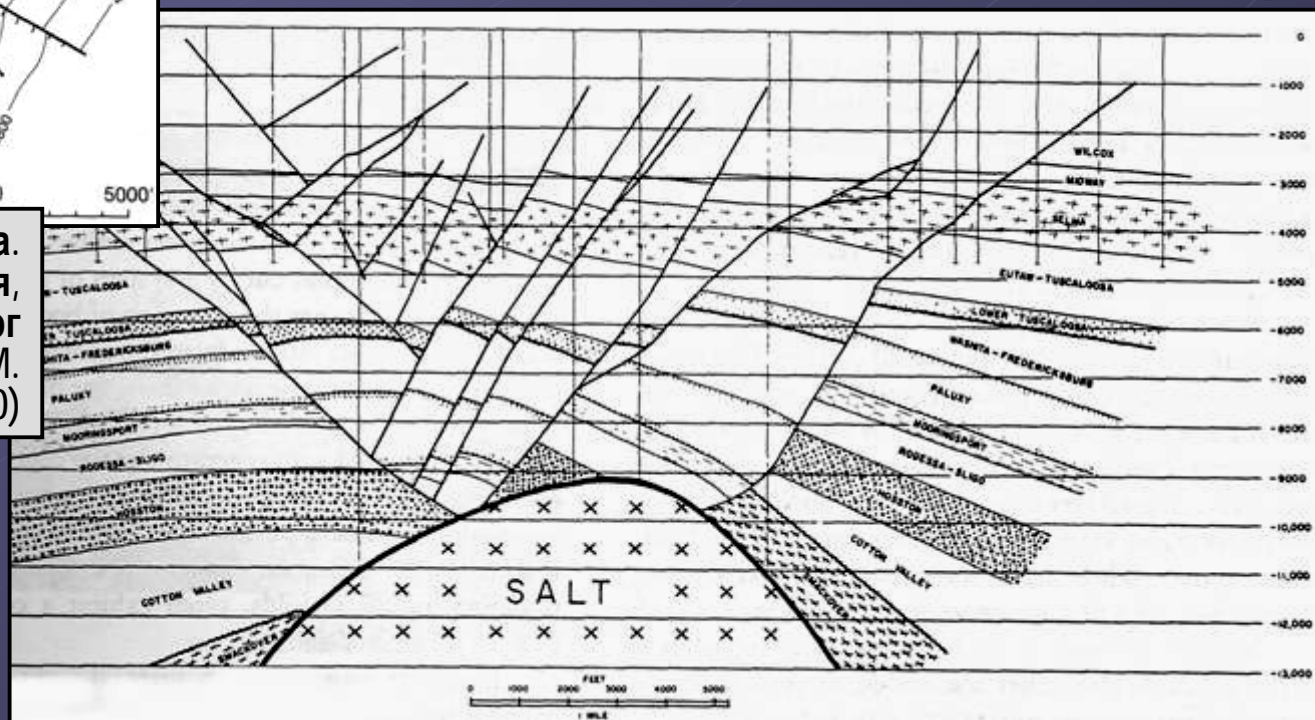


Соляные купола.  
Северная Германия,  
Гейдельберг  
(по R.J. Twiss, E.M.  
Moore, 2000)

**Механизм:** изгибание пластов под действием изостатического всплывания соли – растяжение в замке купола и растворение соли подземными водами – образование кольцевых и радиальных сбросов (структура "битой тарелки").

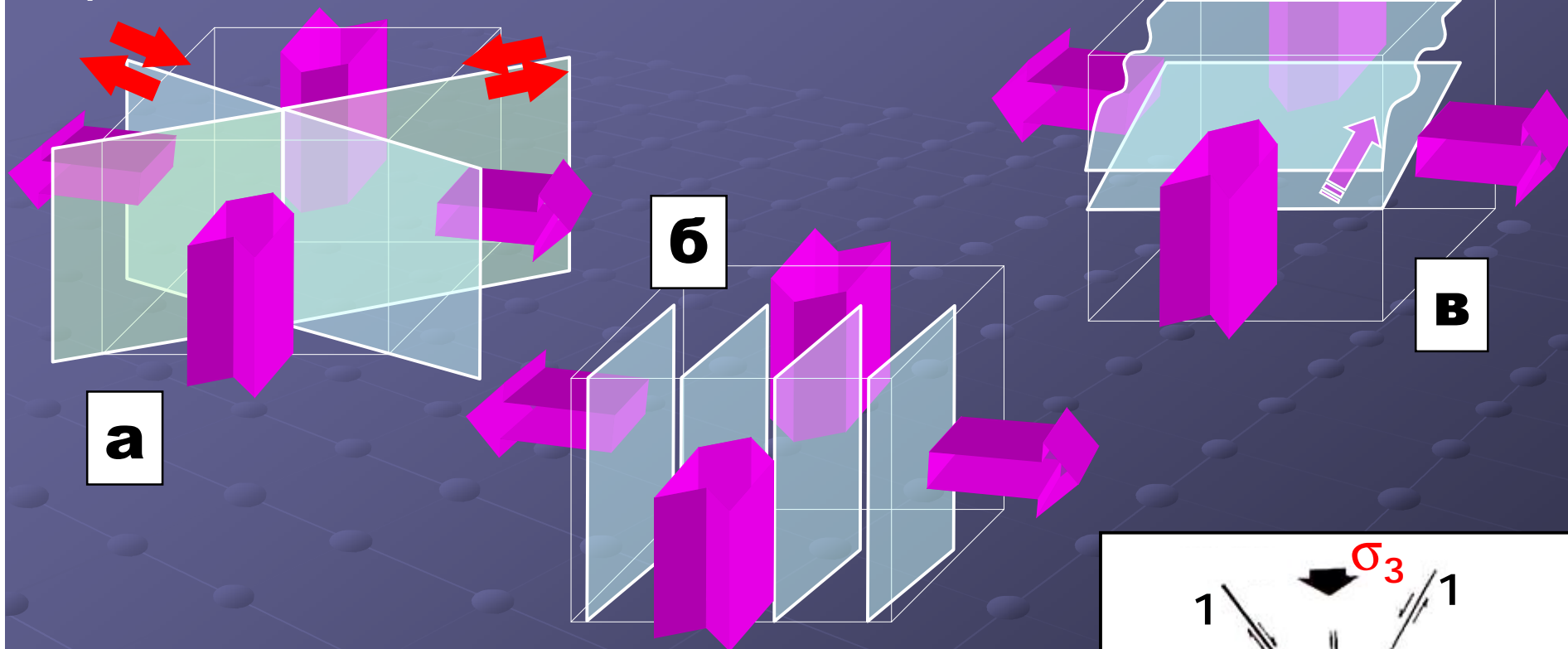
**Структурный парагенез:**

- соляной диапир;
- антиклинальная складка (купол);
- кольцевые и радиальные сбросы над диапиром;
- прикупольные "осевые" грабены



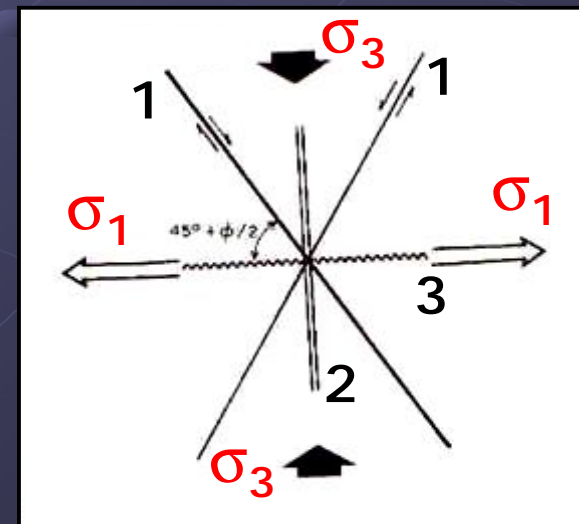
# Структурные парагенезы обстановок чистого сдвига

**Механизм:** трехосное напряженное состояние



**Структурный парагенез** обстановок чистого сдвига включает в себя:

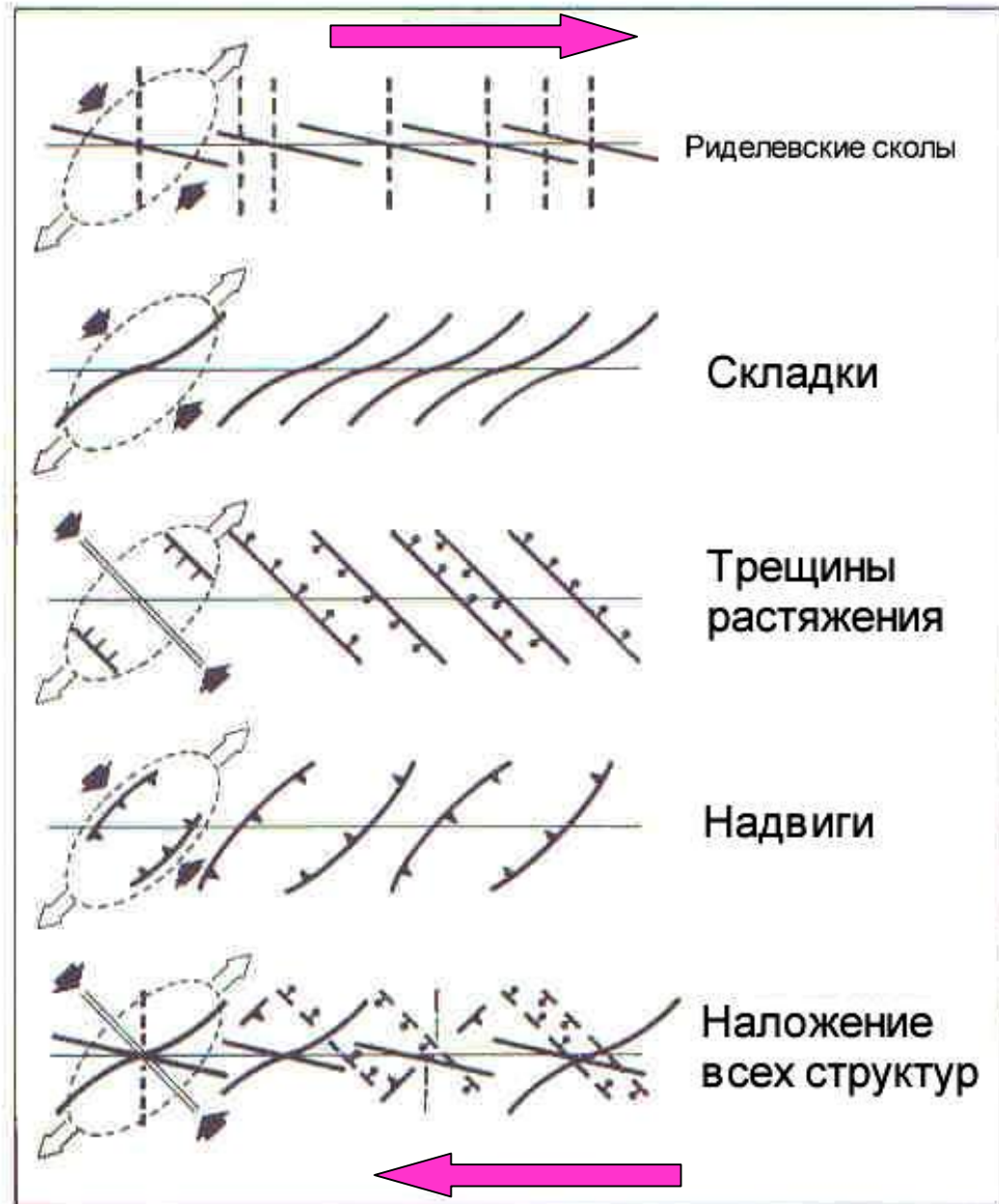
- сопряженные левые и правые сдвиги (а)
- раздвиги (отрывы) (б);
- надвиги и складки (в)



# Структурные парагенезы обстановок простого сдвига

Стандартный структурный парагенез обстановок простого сдвига включает:

- **риделевские сдвиги** (син- и антитетические);
- **раздвиги** (отрывы);
- **сбросы**;
- **складки**;
- **надвиги**



Из Sylvester, 1988  
(упрощено, по Арк.В. Тевелеву, 2005)



# Структурные парагенезы складок поперечного изгиба

**Механизм:** образуются при вертикальных перемещениях блоков фундамента.



**Структурный парагенез:**

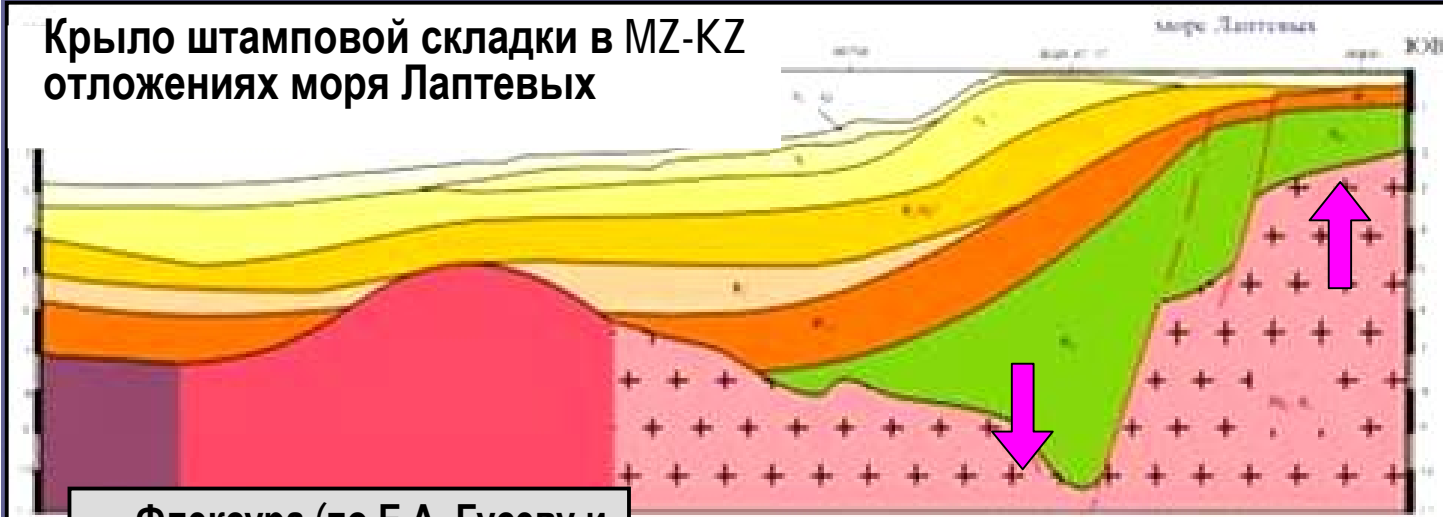
- система сбросов в фундаменте
- флексура в чехле

**Структурный парагенез:**

- система взбросов в фундаменте
- штамповая складка в чехле

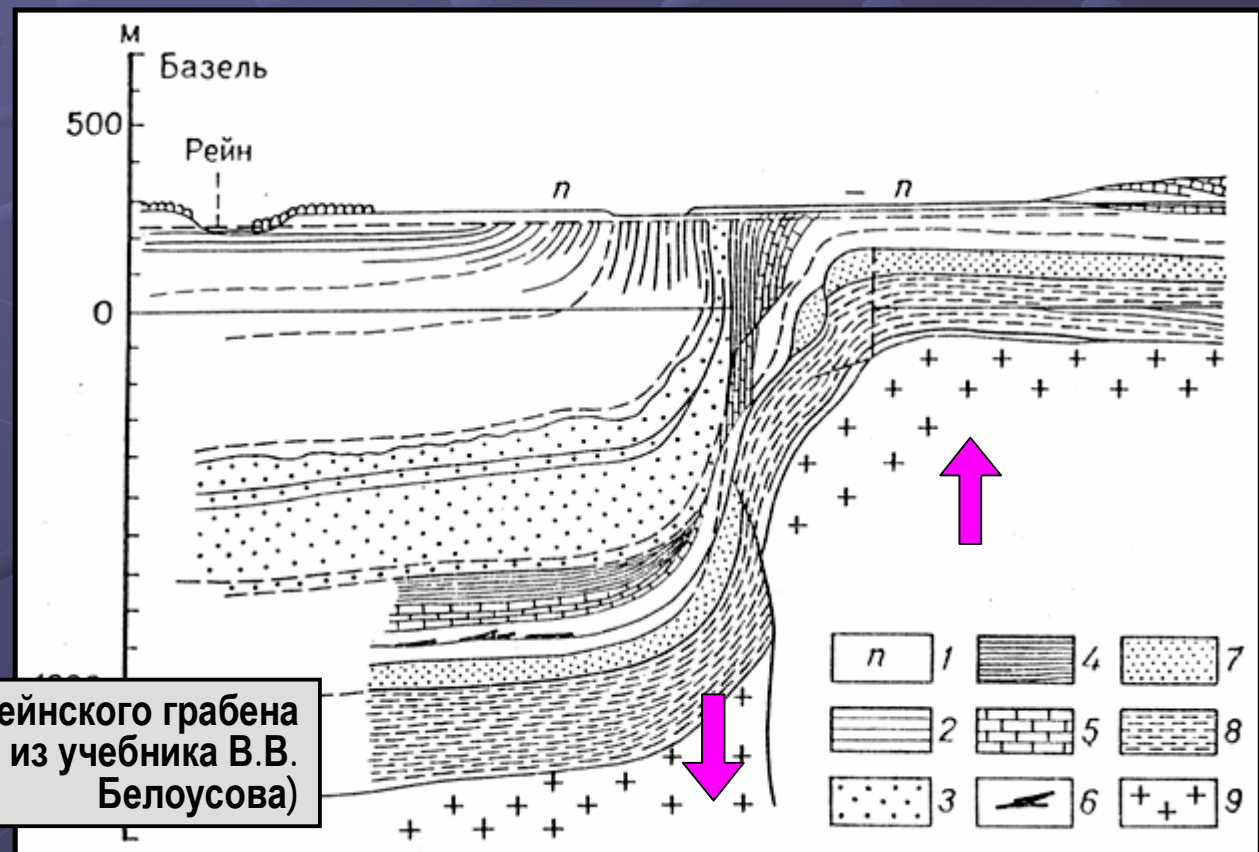
# Примеры

Крыло штамповой складки в MZ-KZ  
отложениях моря Лаптевых



Флексура (по Е.А. Гусеву и др., 2002)

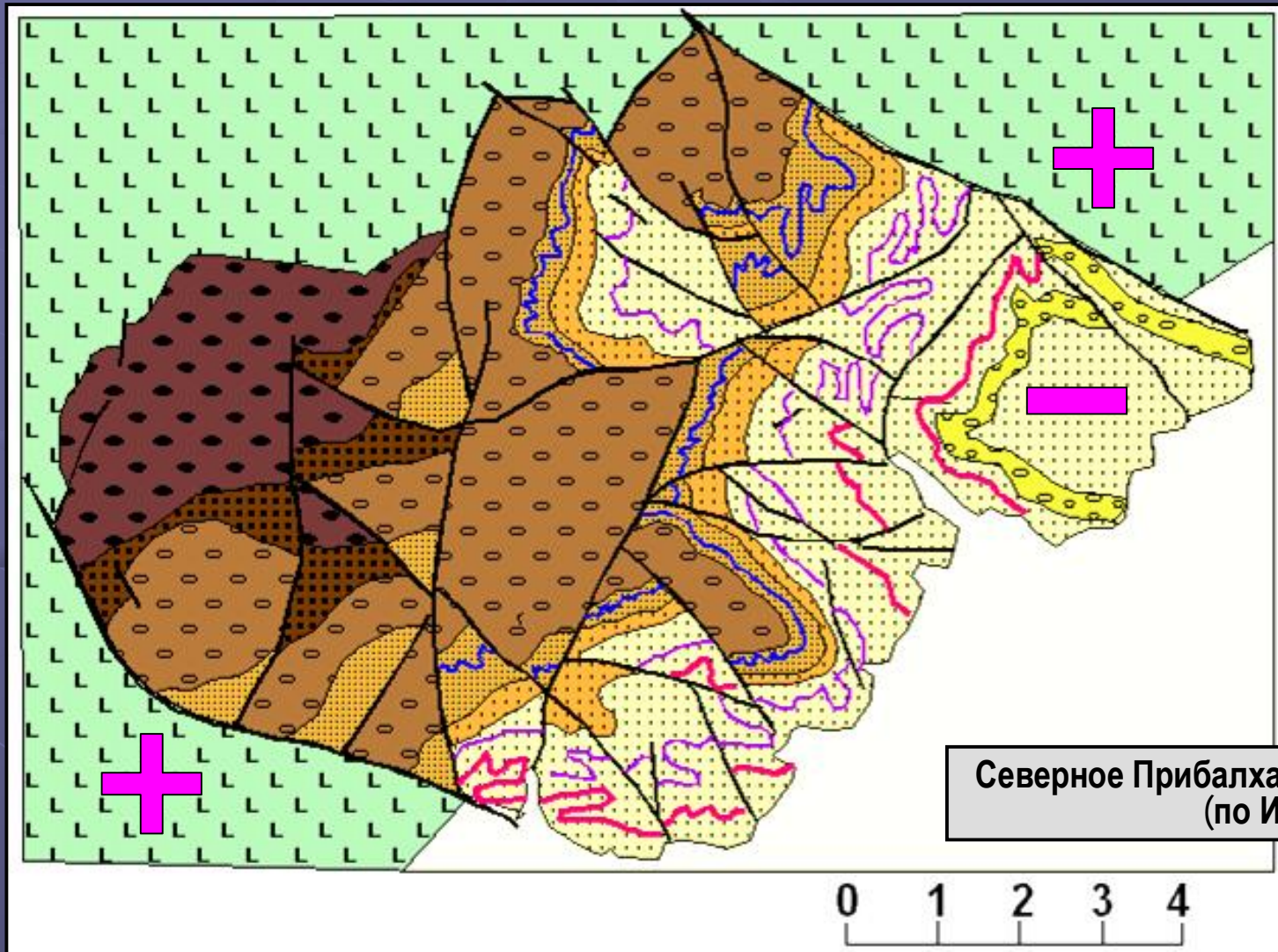
**Структурный парагенез:**  
– система сбросов в фундаменте  
– флексура в чехле



Флексура в борту Рейнского грабена  
(по А. Гейму, из учебника В.В. Белоусова)

## Структурный парагенез:

- система сбросов в фундаменте
- штамповая складка компетентных слоев
- дисгармоничные складки в некомпетентных слоях

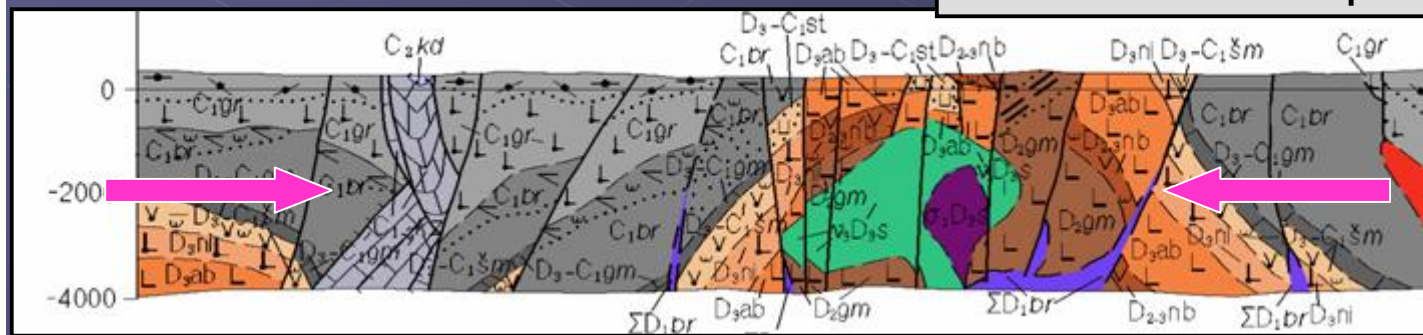
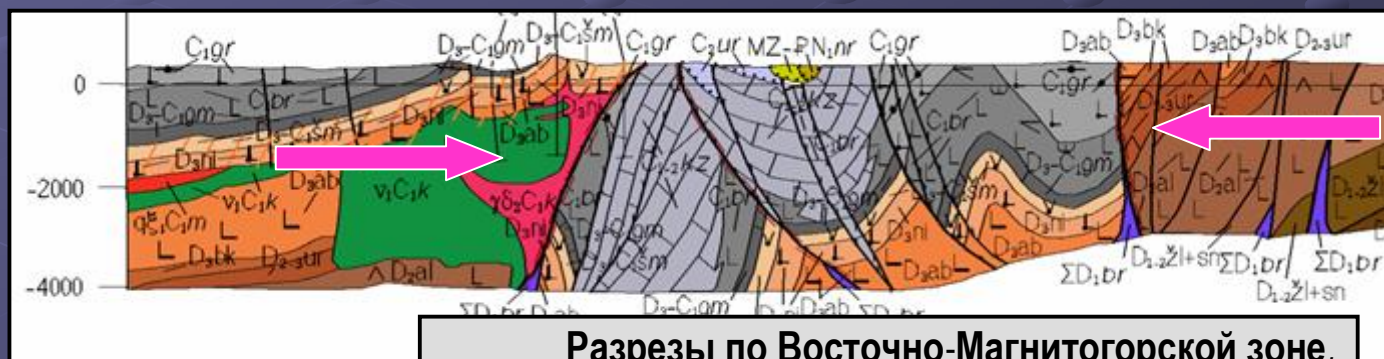


# Структурные парагенезы складок продольного изгиба

**Механизм:** образуются при общем горизонтальном сжатии

## **Структурные парагенезы:**

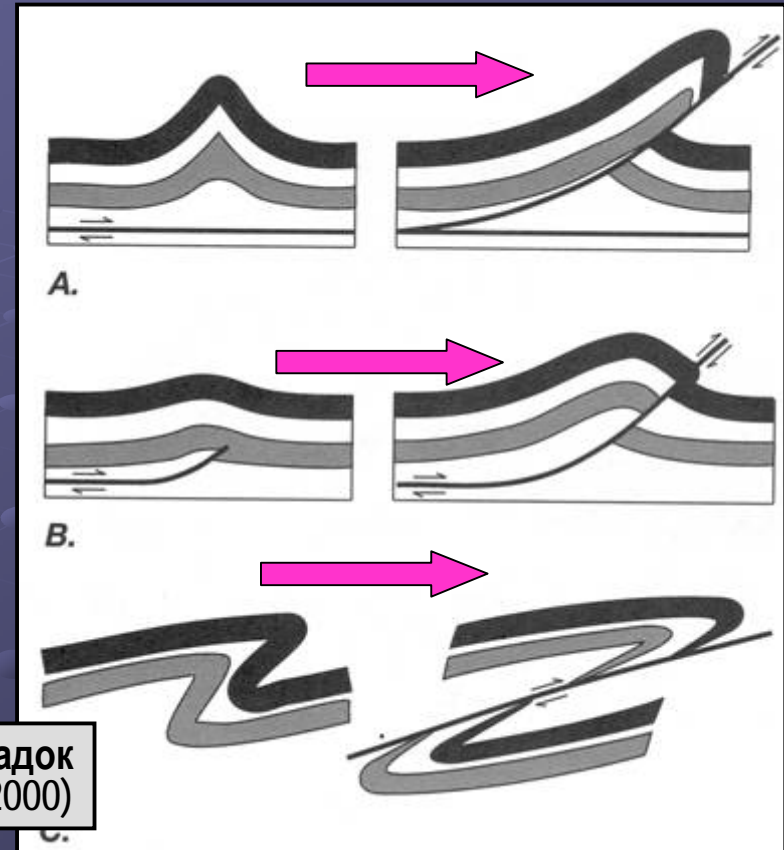
- системы расходящихся (**А**) или встречных (**Б**) взбросов;
- серии прямых и слабо наклонных складок в ядре сложной антиформы-рампа (**А**) или сложной антиформы-горста (**Б**);
- приразломные зоны расланцевания (кристаллизационной сланцеватости), зеркала скольжения и т.д.



В складках продольного изгиба по мере их развития часто происходят срывы вдоль осевых поверхностей, вследствие чего образуются надвиги той же vergentности

### Структурный парагенез:

- пакет надвиговых пластин;
- серия опрокинутых складок той же vergentности;
- серпентинитовый меланж;
- приразломные зоны расланцевания (кристаллизационной сланцеватости), зеркала скольжения и т.д.



Формирование надвигов из складок  
(по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)

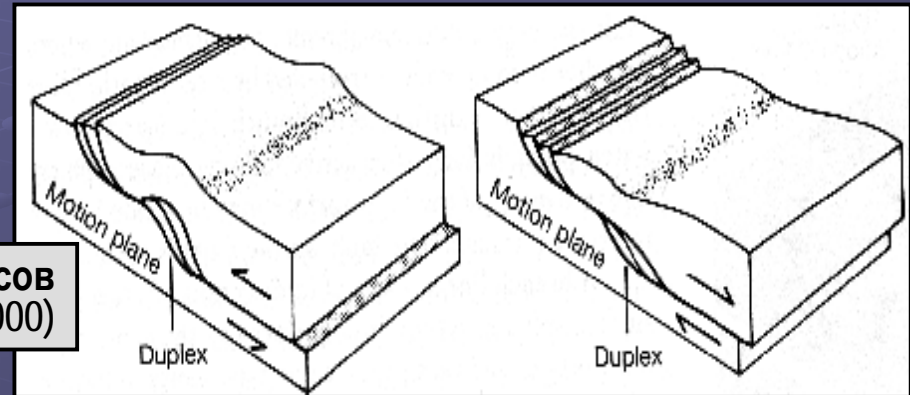


Восточно-Магнитогорская зона, Южный Урал (по А.В. Жданову, 2004)

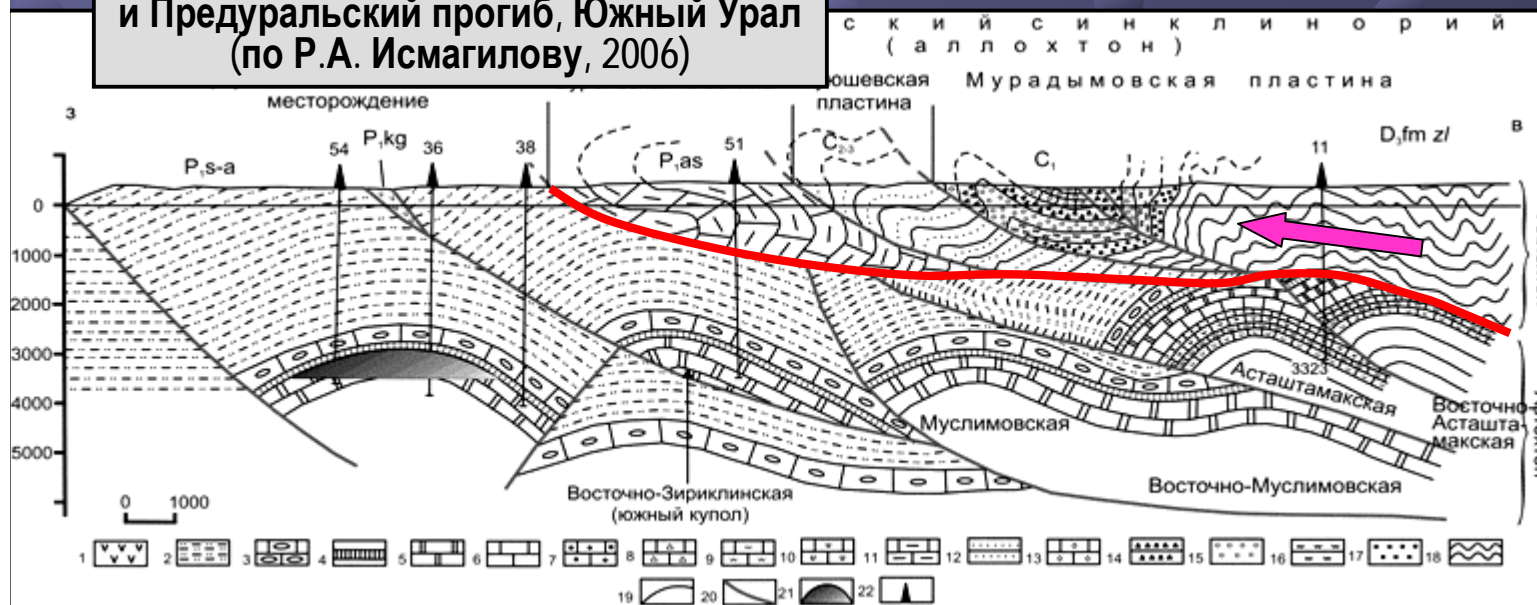
# Структурный парагенез:

- пакет надвиговых пластин;
- серия опрокинутых и лежачих складок той же vergentности в аллохтоне;
- серия прямых и слабо наклонных складок той же vergentности в автохтоне;
- приразломные зоны расланцевания (кристаллизационной сланцеватости), зеркала скольжения и т.д.
- надвиговые дуплексы (линзовидные блоки, ограниченные надвигами)

Схемы строения дуплексов  
(по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)



Разрез через Зилаирский синклиорий и Предуральский прогиб, Южный Урал  
(по Р.А. Исмагилову, 2006)



# Структурные парагенезы сдвиговых зон



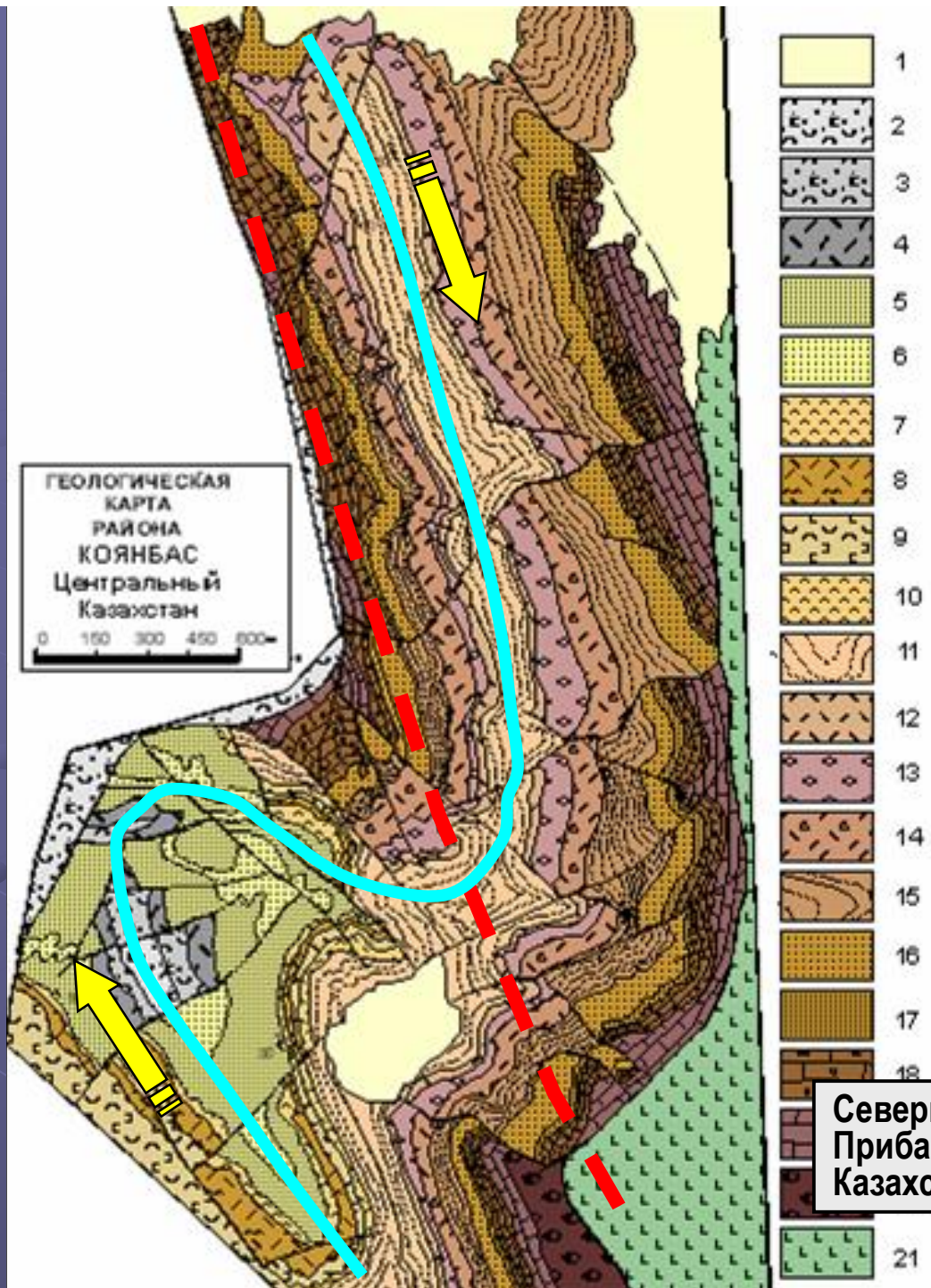
Структура "конского хвоста"  
(по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)

Сдвиговые смещения могут компенсироваться по серии расходящихся листрических сбросов (**А**) на **попутных изгибах** и надвигов (**Б**) на **встречных изгибах**, формируя структуру типа "конский хвост".

Схема главных разломных зон  
области Памирского синтаксиса  
[по Арк.В. Тевелеву, 2005]



**NB!** На концах «хвостов» амплитуды нулевые!



**Механизм:** смещение блоков фундамента по генеральному правому сдвигу

### Структурный паразитизм:

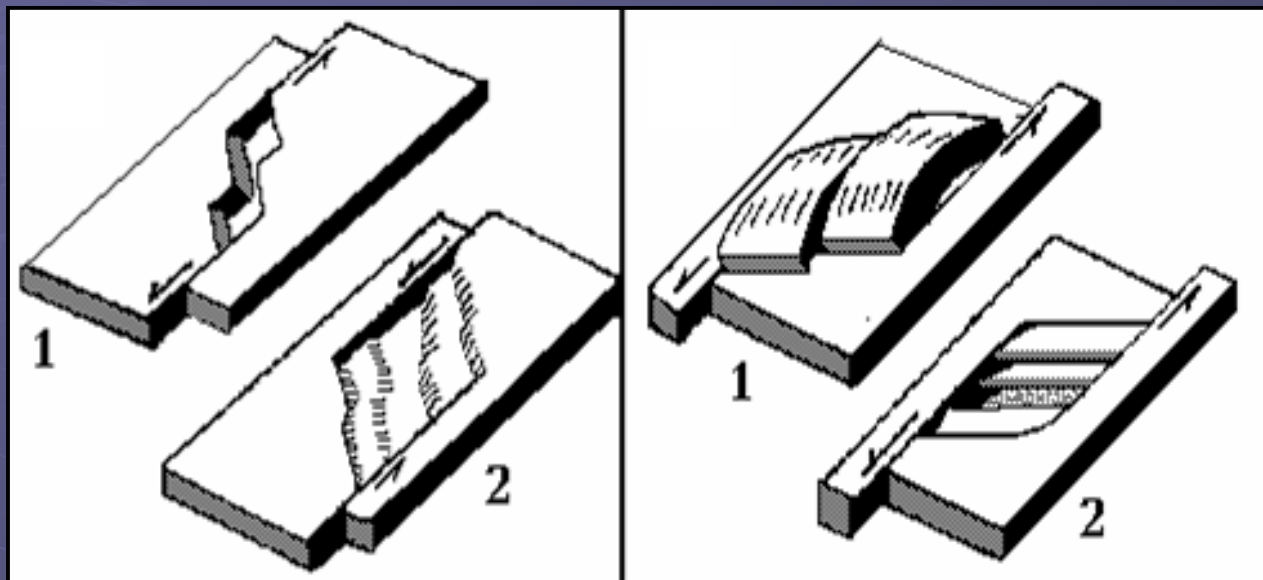
- генеральный правый сдвиг;
- сбросо-сдвиги;
- складка с изогнутой осевой поверхностью (S-образной);
- дисгармоничные складки некомпетентных слоёв на участке изгиба осевой поверхности





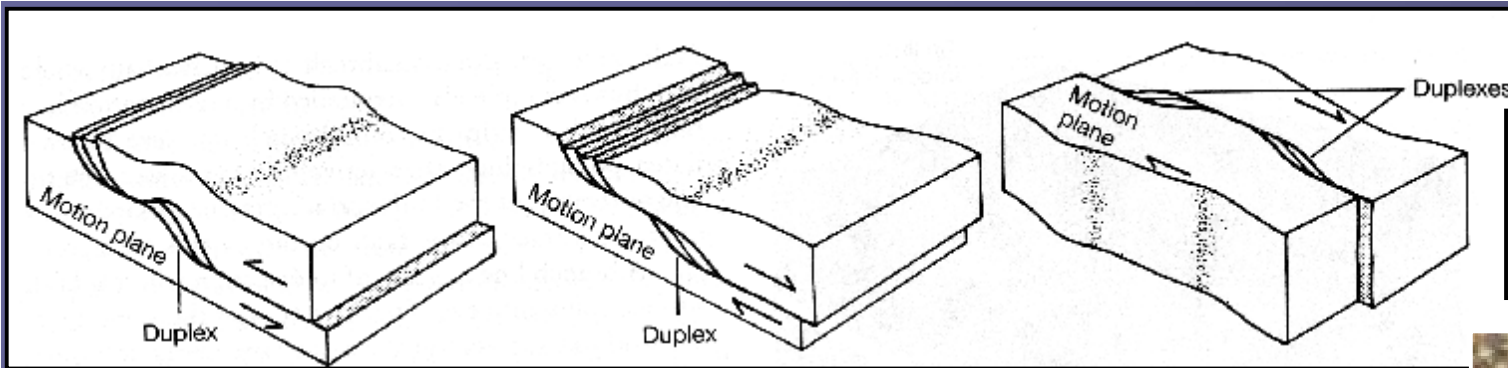
В.Б. Харланд

Понятие "**транспрессия**" и симметричное ему понятие "**транстенсия**" были введены В.Б. Харландом в 1971 г.



Сандерсон и Марчини в 1984 году смоделировали **транспрессию** как деформацию, включающую сдвиг, сопровождаемый укорочением поперек плоскости разлома и вертикальным удлинением вдоль этой плоскости, т.е. как комбинацию механически *чистого* и *простого* сдвига.

Соответственно **транстенсию** можно определить как деформацию, включающую сдвиг, сопровождаемый удлинением поперек плоскости разлома и вертикальным укорочением вдоль этой плоскости, т.е. также как комбинацию механически *чистого* и *простого* сдвига.

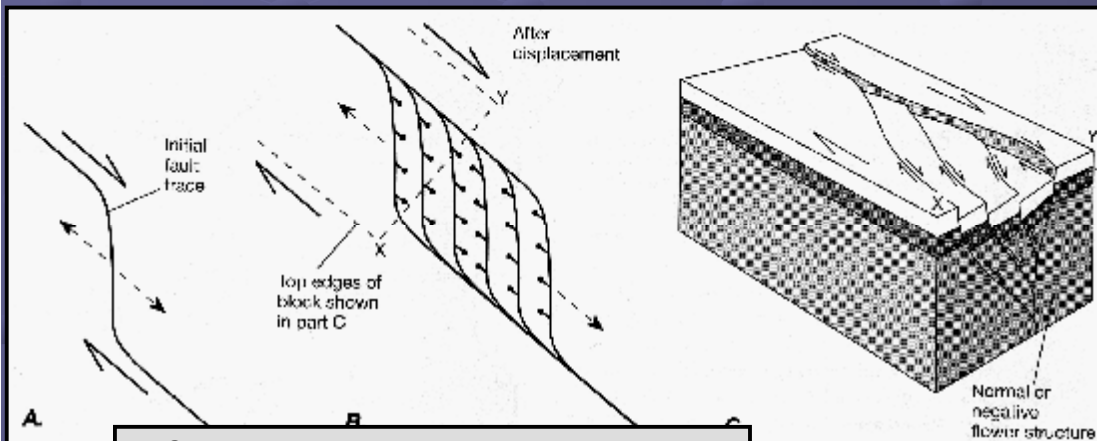


**Схемы строения дуплексов**  
(по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)

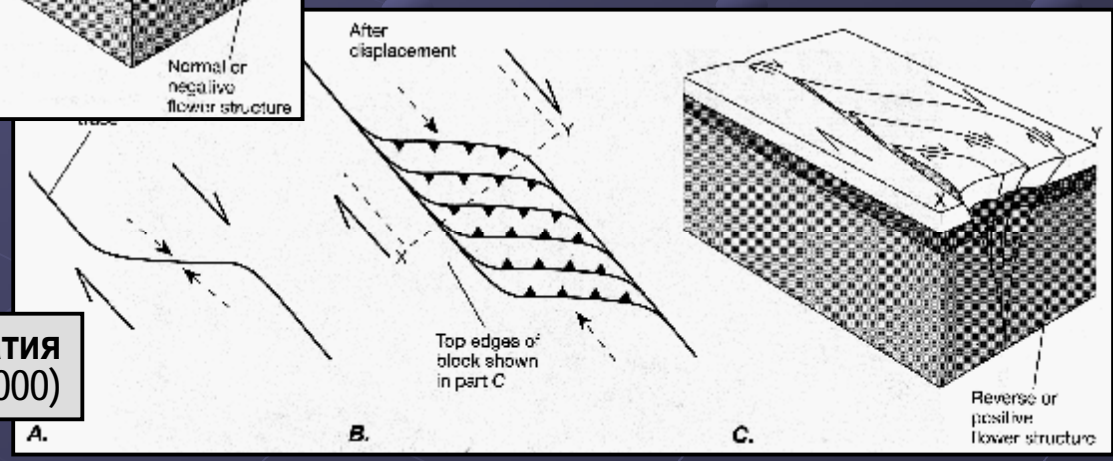
В терминологии Н. Вудкока [Woodcock, Fisher, 1986] присдвиговые **транстенсивные** и **транспрессивные** структурные ассоциации называются соответственно **сдвиговыми дуплексами растяжения и сжатия**.



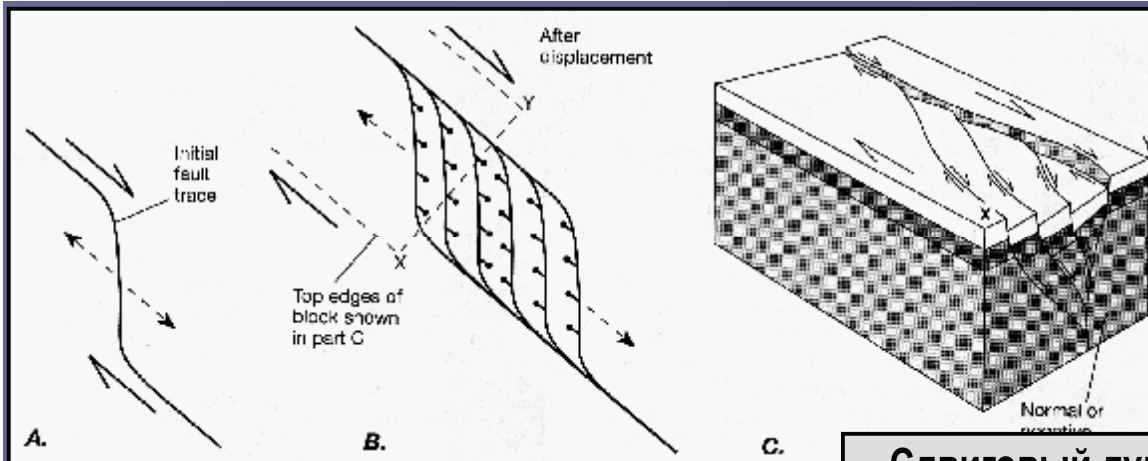
**Найджел Вудкок**



**Сдвиговый дуплекс растяжения**  
(по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)



**Сдвиговый дуплекс сжатия**  
(по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)



## Структурный парагенез:

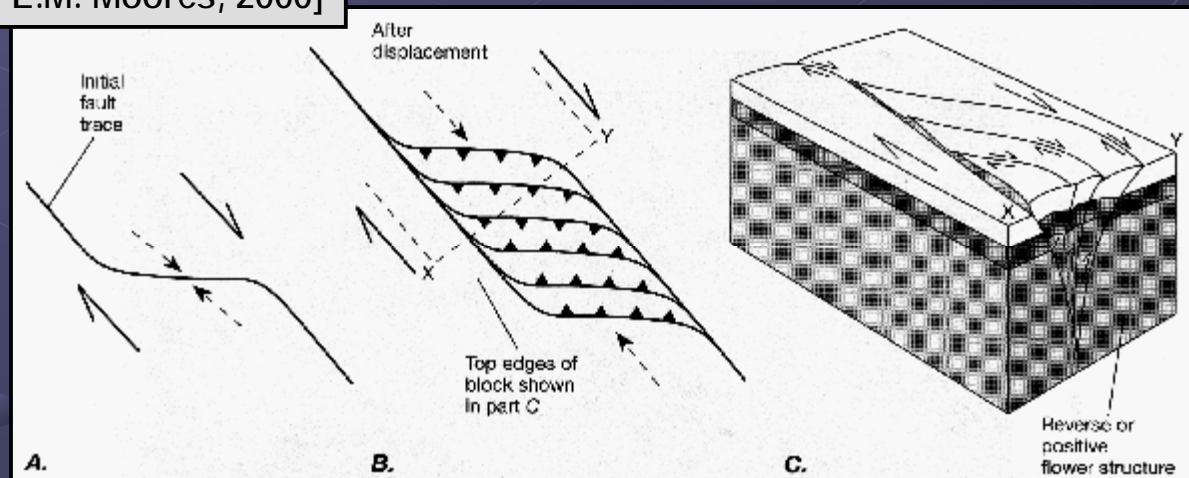
- генеральный правый сдвиг;
- правые сбросо-сдвиги;
- флексуры

**Сдвиговый дуплекс растяжения**  
[по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000]

**Сдвиговый дуплекс сжатия**  
[по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000]

## Структурный парагенез:

- генеральный правый сдвиг;
- правые взбросо-сдвиги;
- надвиги

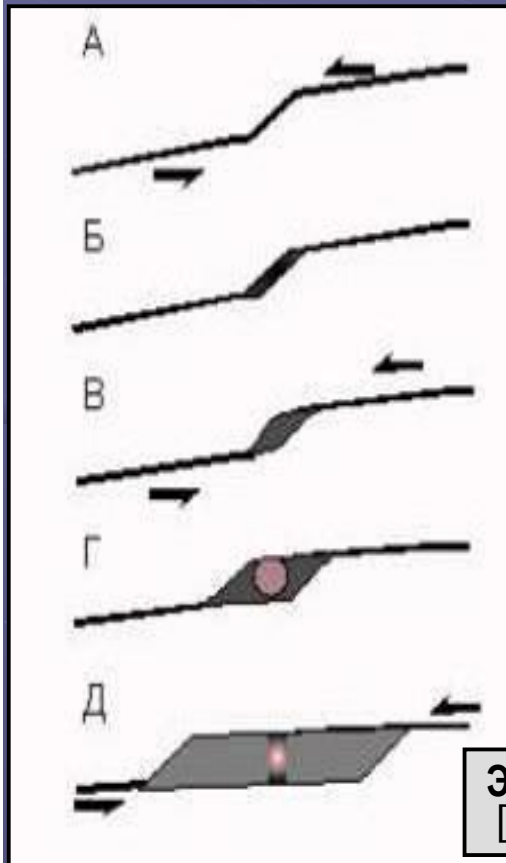


# Зоны присдвигового растяжения

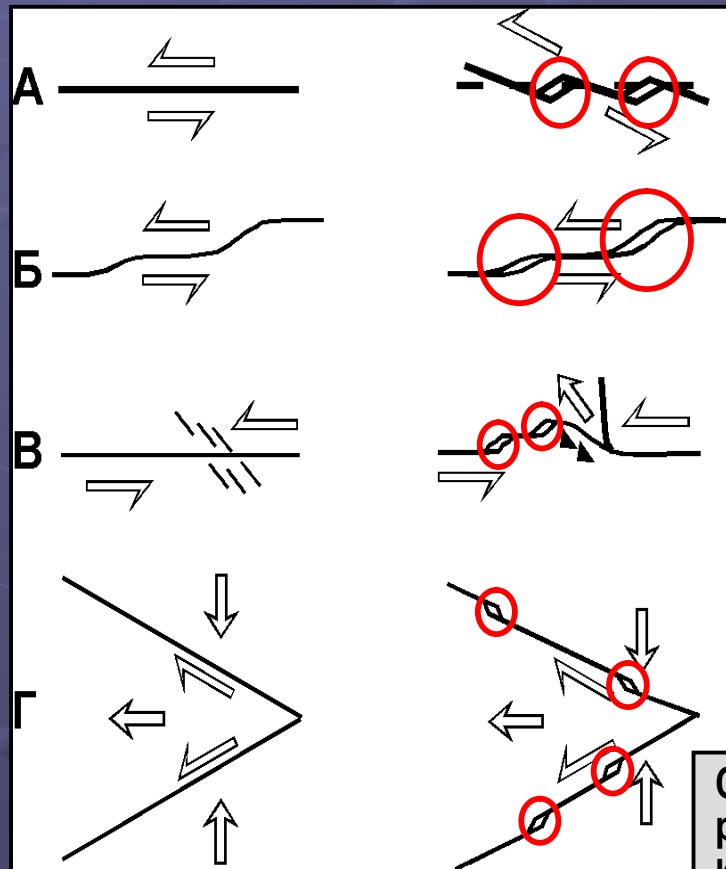
Термин "*структуры присдвигового растяжения*" обычно ассоциируется с поверхностными впадинами, которые Бёрчфиллом и Стюартом были названы **pull-apart basins** [Burchfiel, Stewart, 1966].



Б. Кларк Бёрчфил



Эволюция пулл-апартов [по Манну, 1983]



Схемы образования разломных изгибов, инициирующих формирование пулл-апартов [по Манну, 1983]

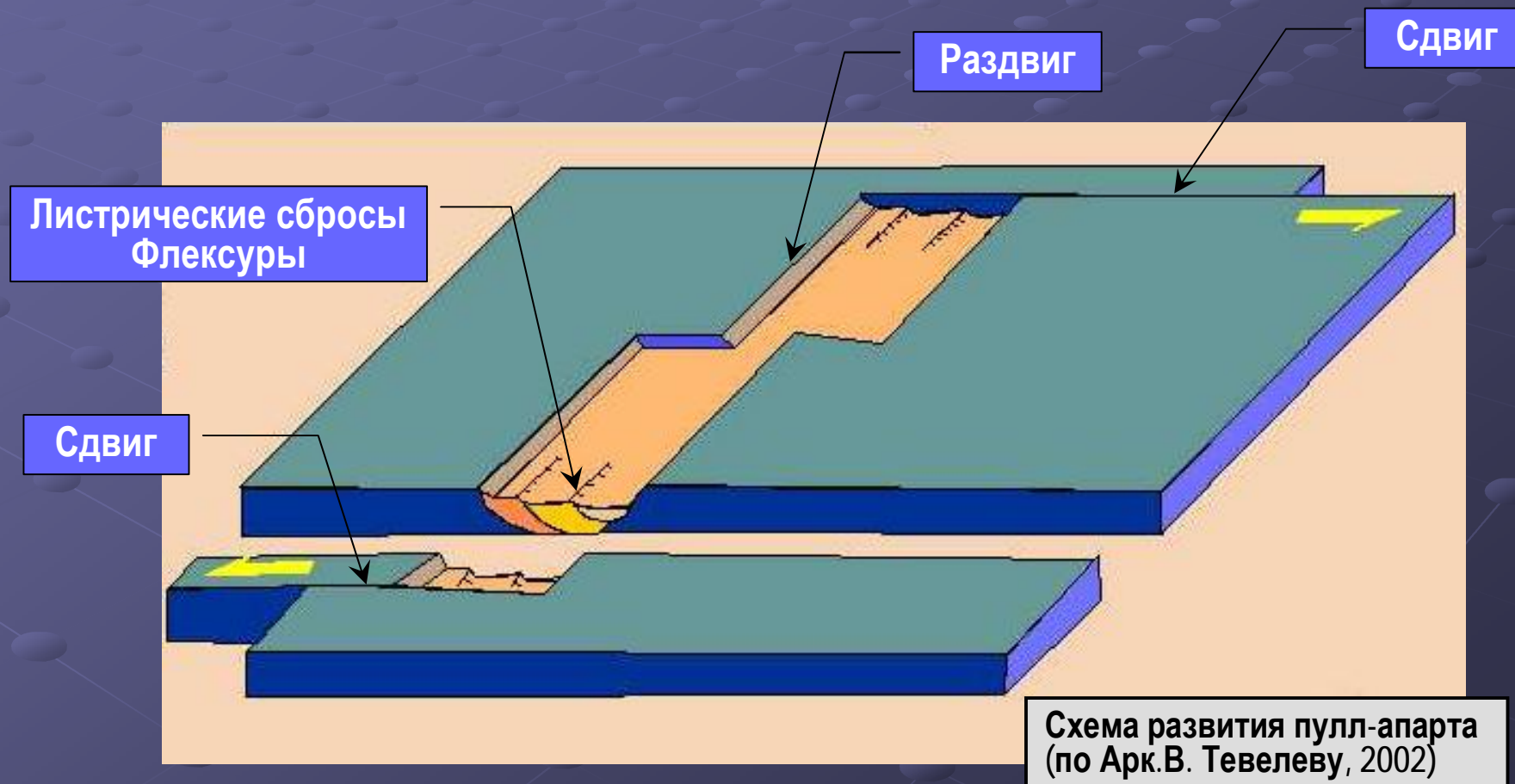


Пол Манн

# Структурные парагенезы пулл-апартов

## Структурный парагенез:

- сдвиги;
- раздвиги;
- листрические сбросы;
- флексуры



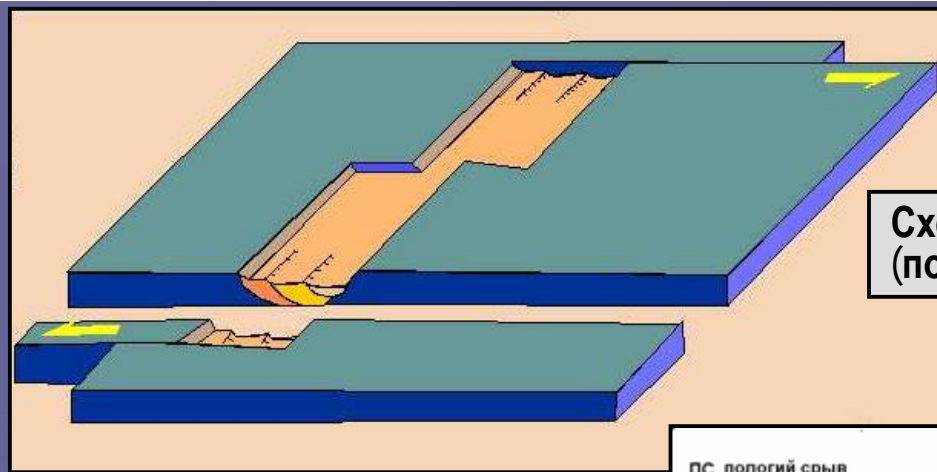
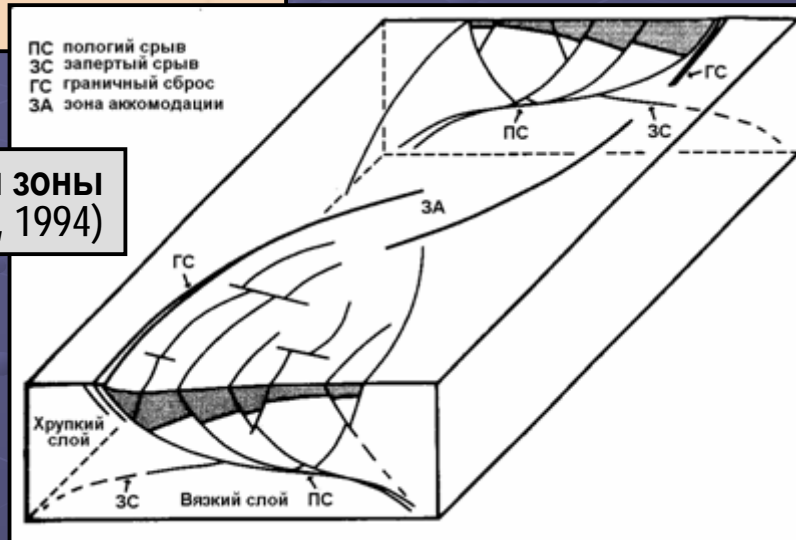
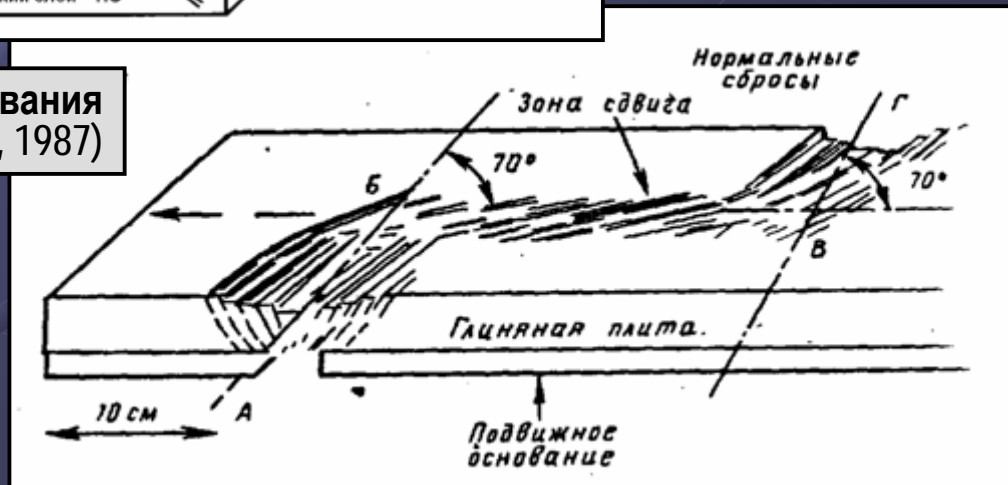


Схема развития пулл-апарта  
(по Арк.В. Тевелеву, 2002)

Строение рифтовой зоны  
(по Chorowic et al., 1994)



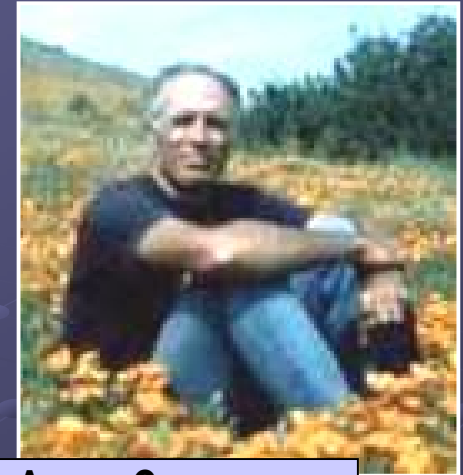
Физическая модель формирования  
зоны растяжения (по Дубинину, 1987)



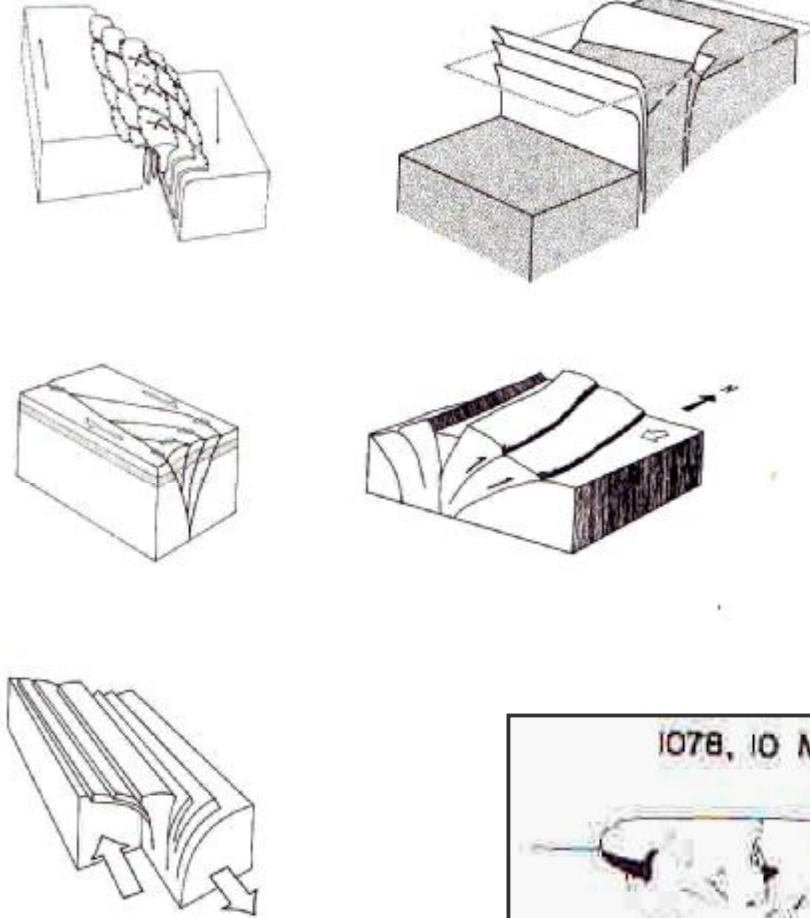
Структурные парагенезы зон  
растяжения устойчиво  
повторяются в различных  
ситуациях и при моделировании

# Структурные парагенезы зон транспрессии

При транспрессии отдельные пластины выдавливаются вверх из сдвиговой зоны и формируются дивергентные серии надвигов – "цветочная", или "пальмовая" структуры



Артур Силвестер



Структура конвергентных сдвиговых зон (по Sylvester, 1986)

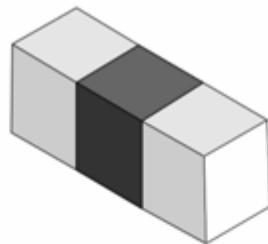


При транспрессии деформации могут возникать разными способами.

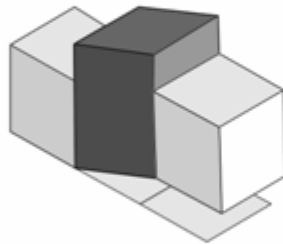
Соответственно формируются и разные структурные парагенезы:

- система сколов и отрывов Риделя с вертикальной осью растяжения (**б**);
- комбинация сколов Риделя и Андерсона с вертикальной осью растяжения (**в**);
- система сколов и отрывов Риделя с горизонтальной осью растяжения (**г**);
- структурные парагенезы могут сменять друг друга по вертикали (**д**)

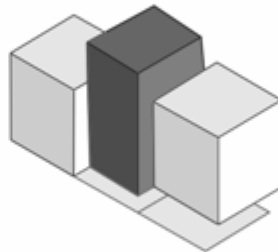
(а) Исходное состояние



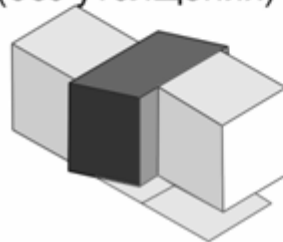
(б) Однородная транспрессия



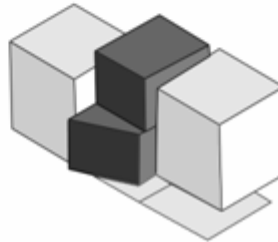
(в) Простой сдвиг со сжатием



(г) Латеральное выдавливание  
(без утолщения)



(д) Вертикально распределенная  
деформация



Упрощенные блоковые модели  
транспрессивных деформаций  
(по Арк.В. Тевелеву, 2005)



# Структурные парагенезы зон пластических деформаций



Рейдные складки.  
Вена. Колонна банка



Рейдные складки.  
Южный Урал



Птигматитовые  
жилы. Южный Урал

## Тектонофации. Определения

● **Тектонофация** — группа слоев, отличающаяся от смежных одновозрастных слоев по тектоническим особенностям (общий термин американских геологов)

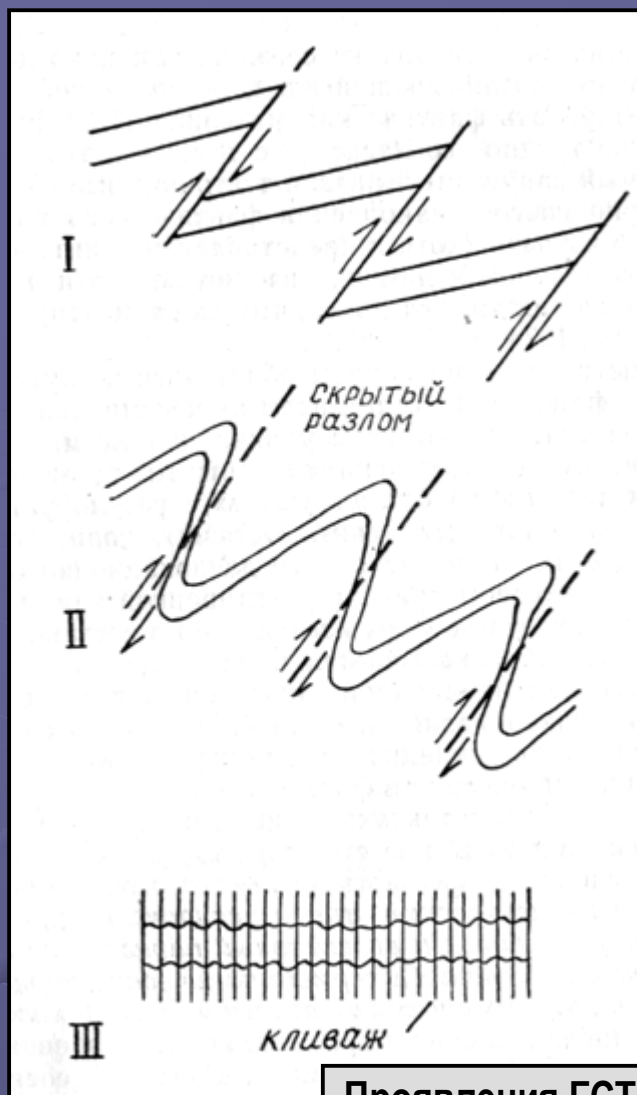
● **Тектонофация** — часть геологического тела (толщи или пачки слоев, интрузива и т.д.), отличающаяся от другой части по степени деформаций

Основоположник тектонофациального анализа в СССР Е.И. Паталаха одним из первых обратил внимание на то, что единая пачка слоев может быть дислоцирована в разных участках по-разному, т.е. на то, что **складчатость** отнюдь не всегда бывает полной. Ее прерывистость обычно связана с влиянием **разломов**, которые "ответственны" за появление **кливажа**. Сочетание складок, разломов и кливажа он назвал **главной структурной триадой**

# Главная структурная триада

Формы проявления главной структурной триады во времени:

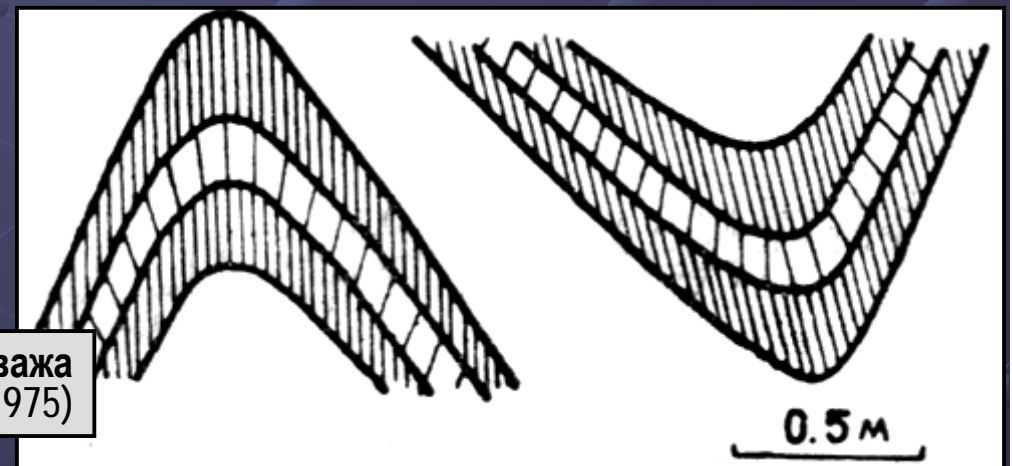
- I – разломы "опережают" складки и кливаж;
- II – складки "опережают" разломы и кливаж;
- III – кливаж "опережает" разломы и складки



Проявления ГСТ  
(Е.И. Паталаха, 1975)

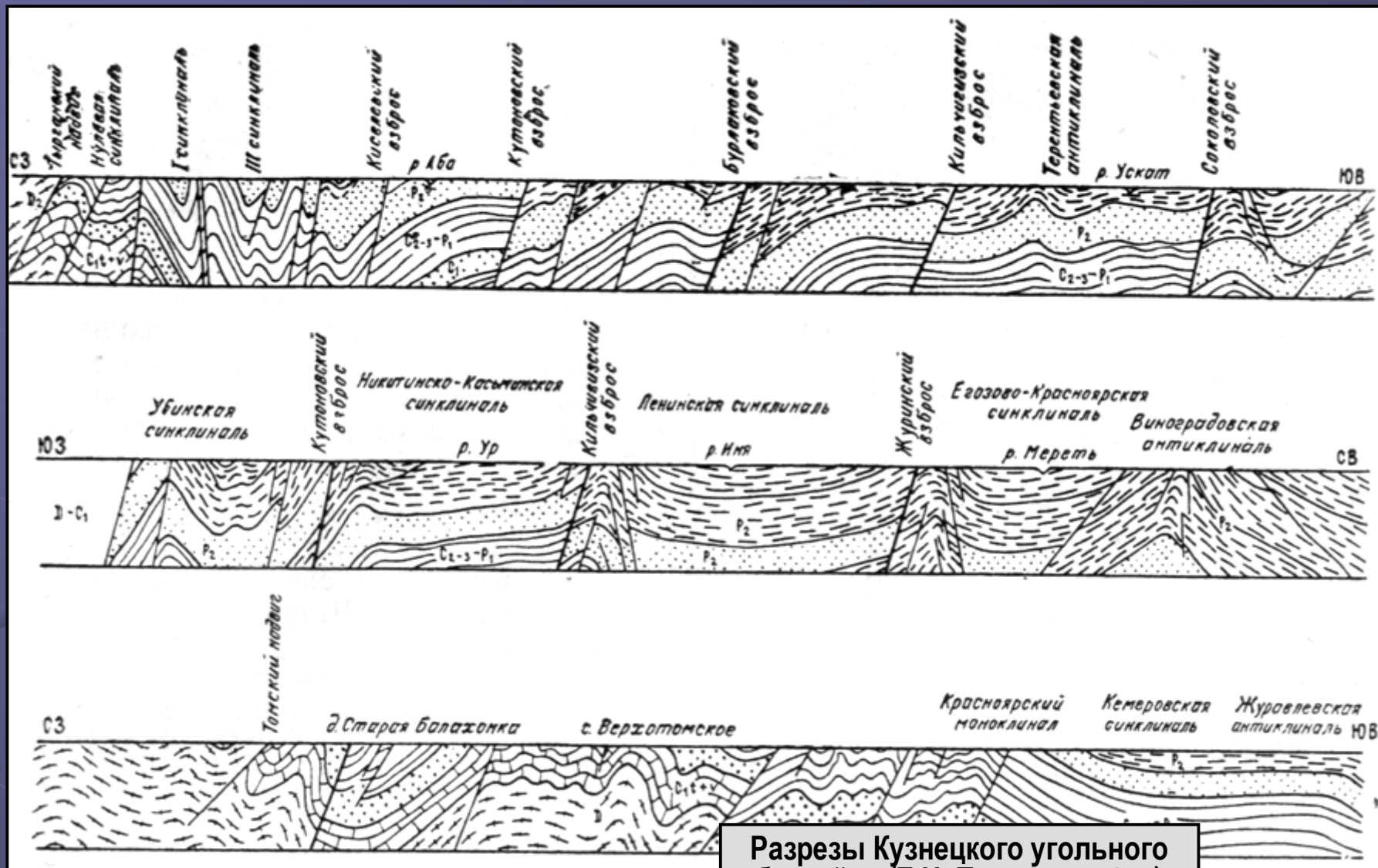
**Рефракция кливажа:**

в алевролитах кливаж параллелен осевой поверхности складок, а в песчанках образует обратный веер



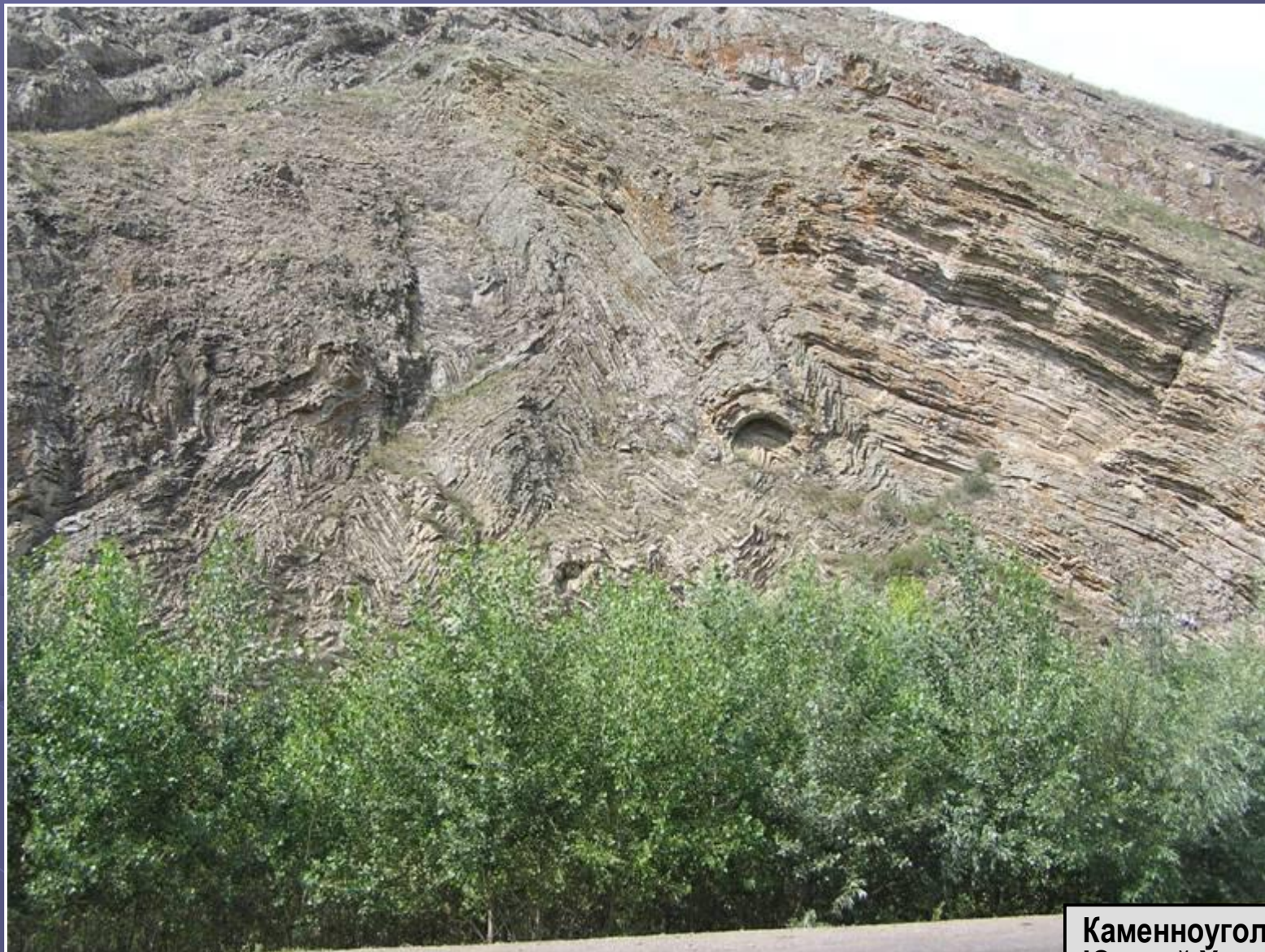
Рефракция кливажа  
(Е.И. Паталаха, 1975)

# Различная степень дислоцированности одной и той же толщи



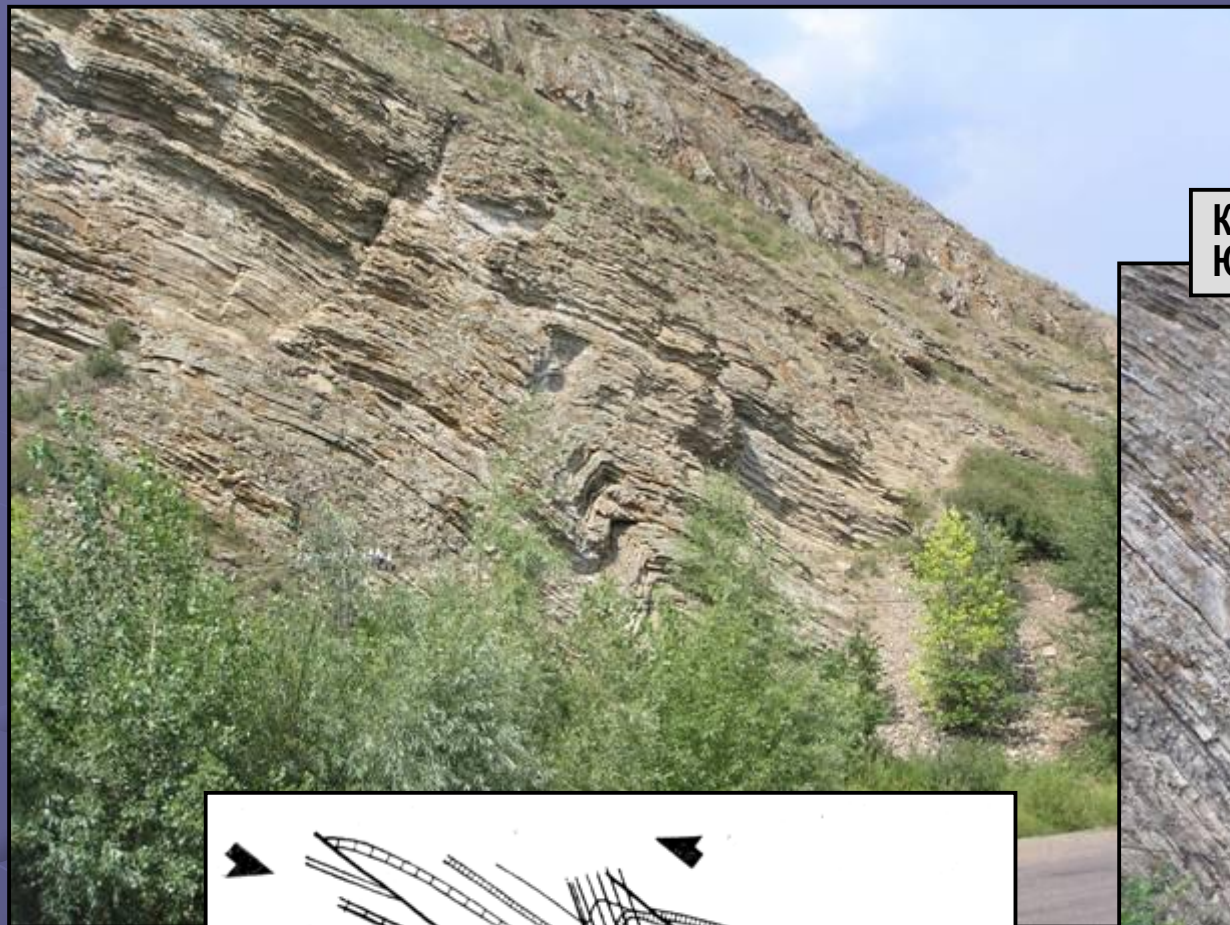
Разрезы Кузнецкого угольного бассейна (Е.И. Паталаха, 1975)

## Различная степень дислоцированности одной и той же толщи

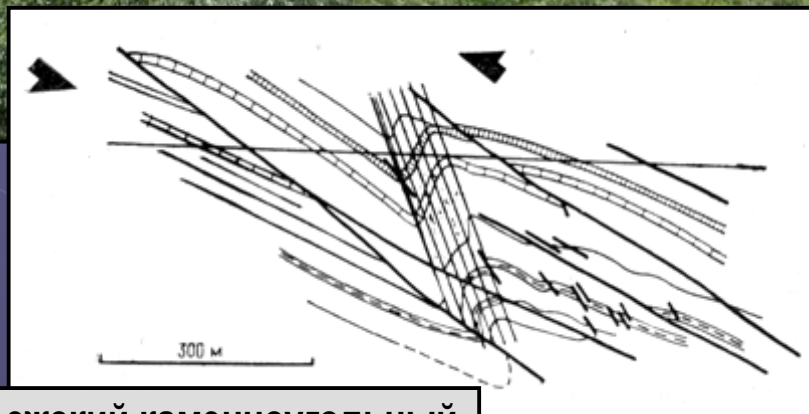


Каменноугольный флиш.  
Южный Урал

# Различная степень дислоцированности одной и той же толщи



Каменноугольный флиш.  
Южный Урал



Льежский каменноугольный  
бассейн (Е.И. Паталаха, 1975)

## Систематика тектонофаций (Е.И. Паталаха, 1975)

- I – Эмбриональный послойный кливаж в алевролитах ( $\angle$  наклона слоев 5-10°)
- II – Эмбриональный кливаж осевой плоскости в алевролитах, трещиноватость ( $\angle$  15-20°)
- III – Совершенный кливаж в алевролитах, альпийские жилы 1 генерации ( $\angle$  25-30°)
- IV – Эмбриональная линейность, рефракция кливажа в алевролитах ( $\angle$  35-40°)
- V – Сквозной (гомогенный) кливаж (микролитоны в песчаниках 7-10 см), сигмоидальные складки волочения слоистости ( $\angle$  более 40°)
- VI – Вязкие разрывы, гомогенный кливаж (микролитоны в песчаниках 3-7 см), сигмоидальные складки волочения слоистости ( $\angle$  более 40°)
- VII – То же, плюс альпийские жилы 1 генерации, гомогенный кливаж (микролитоны в песчаниках 1-2 см), птигматовые жилы, будинаж, сигмоидальные складки волочения слоистости ( $\angle$  более 40°)
- VIII – То же плюс первая совершенная линейность, тектониты, альпийские жилы 2 генерации, начальная линейаризация, пластинчатые микролитоны в песчаниках 0,5-1 см
- IX – То же плюс пластинчатые микролитоны в песчаниках 0,2-0,5 см
- X – Динамосланцы, псевдотахилиты, пластинчатые микролитоны в песчаниках 1-2 мм, полосчатость и ее плейчатость

## Стадии эволюции складчатости:

**I-IV** – юная (группа тектонофаций **A**)

**V-VII** – зрелая (группа тектонофаций **B**)

**VIII-X** – дряхлая (группа тектонофаций **C**)

## Параметры групп тектонофаций

**Группа тектонофаций A:** компонент растяжения 10 – 60%; компонент сжатия 9 – 33%; A/L (амплитуда смещения к мощности зоны) 0,2 – 1,0

**Группа тектонофаций B:** компонент растяжения 80 – 200%; компонент сжатия 45 – 67%; A/L 1,2 – 2,7

**Группа тектонофаций C:** компонент растяжения 480 –  $\infty$ %; компонент сжатия 83 – 100%; A/L 5,6 –  $\infty$



# Признаки тектонофаций (по А.И. Лукиенко)

III – Грубая мегабрекчиевая отдельность

IV – Вязкие разрывы генеральной ориентировки, линзовость от 15-30 см до 5-16 м

V – Отчетливый грубый кливаж (микролитоны 1,5-15 см),

VI – Довольно совершенный кливаж (микролитоны 0,7-1,5 см)

VII – Совершенный кливаж (микролитоны 0,3-0,8 см)

VIII – Тектониты с тончайшими реликтами исходных пород (микролитоны 0,1-0,3 см), отчетливая линейность

IX – Тончайший сланец, весь материал вовлечен в течение, резкая линейность

X – Динамосланец полосчатый