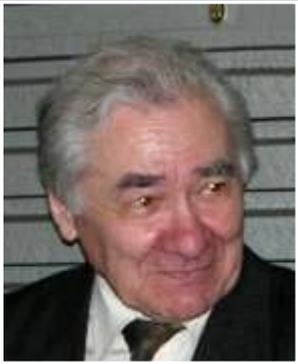


Структурная геология и геологическое картирование

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.

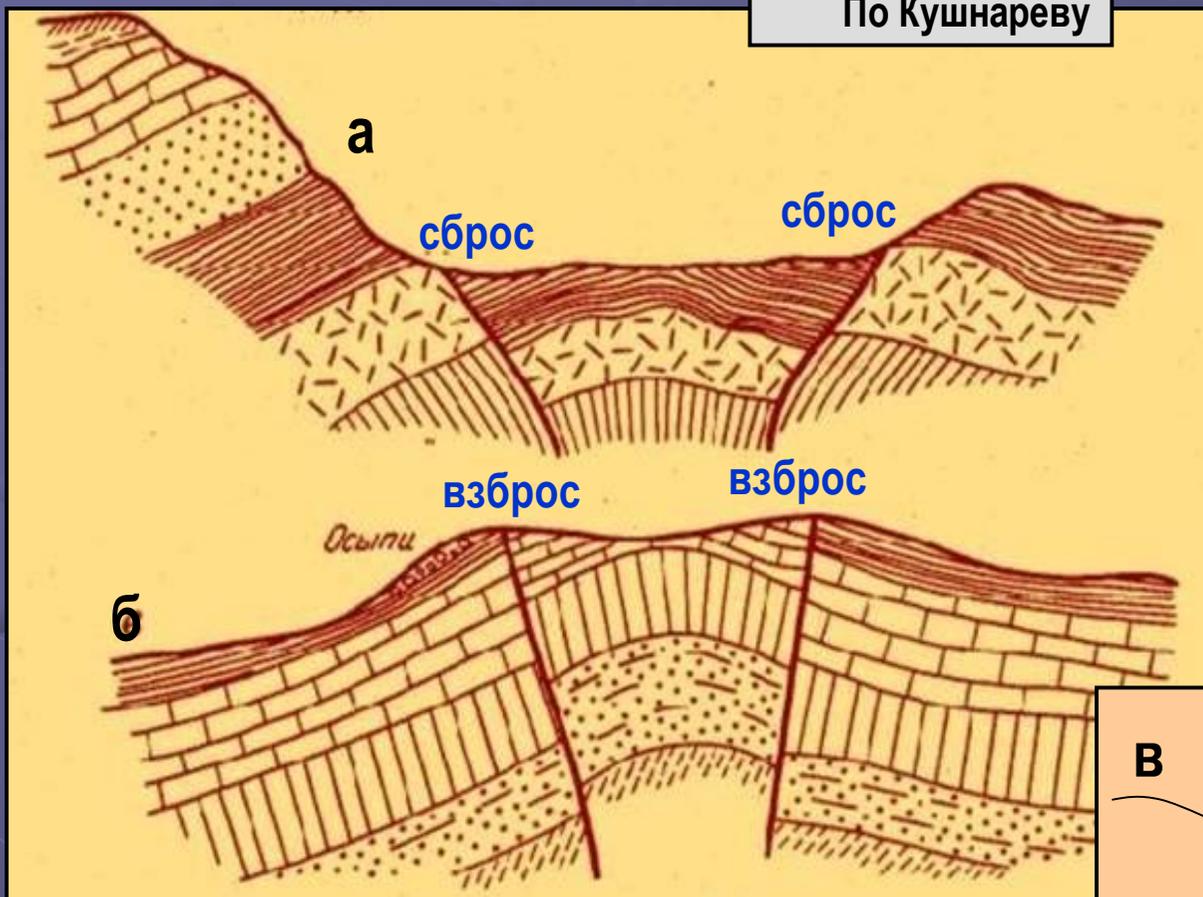
Если из определения изъять *теоретическую составляющую*, то в "структурный парагенез" можно будет объединять любые структурные элементы, расположенные примерно в одном месте, что убивает смысл самой идеи.

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

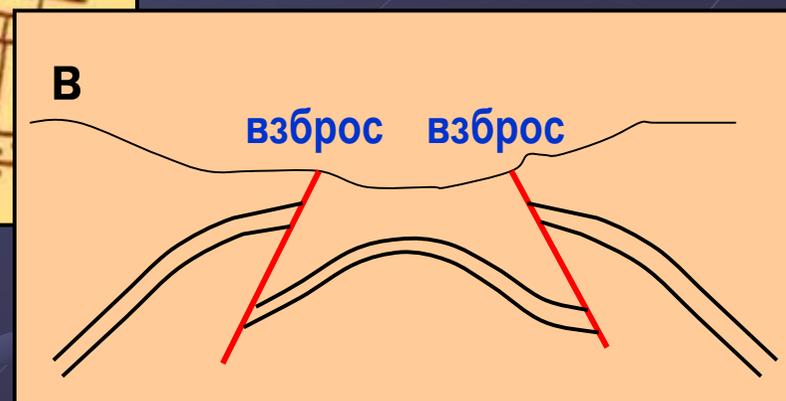


Структурные парагенезы:

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

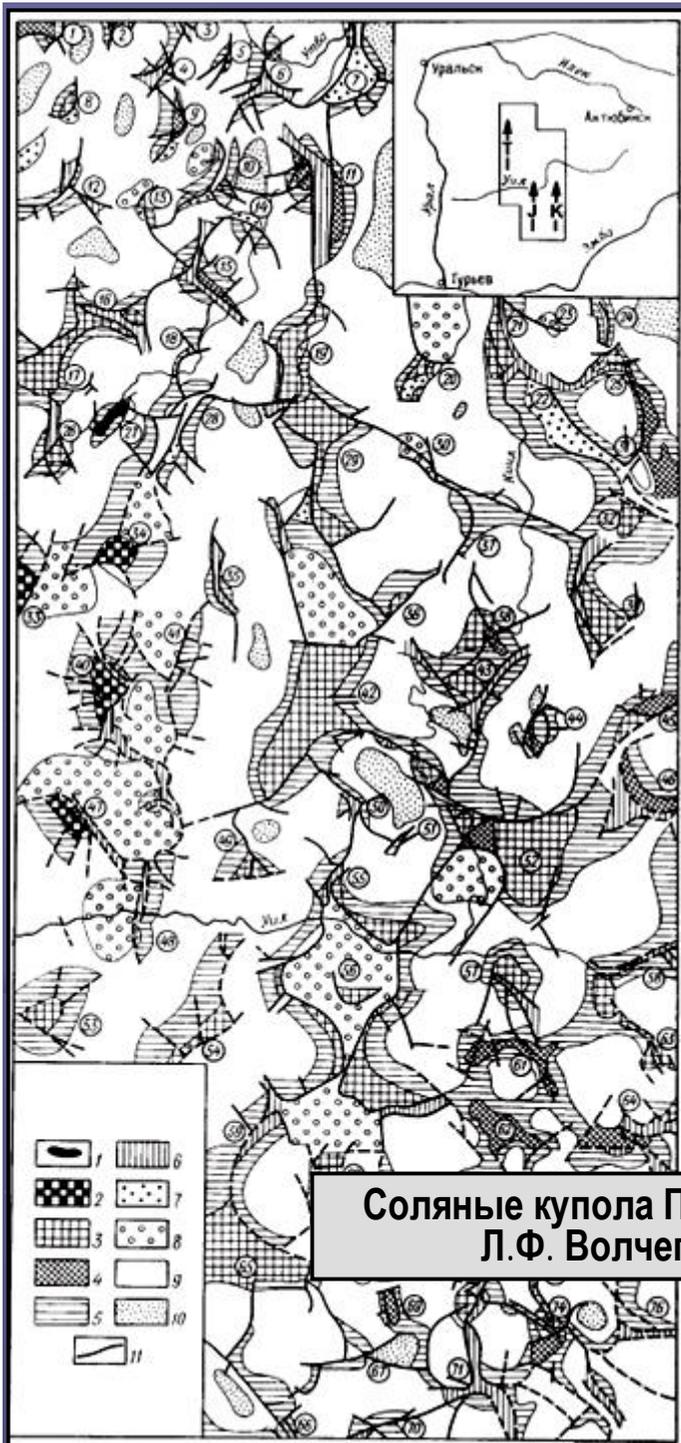


Структурные парагенезы соляных диапиров

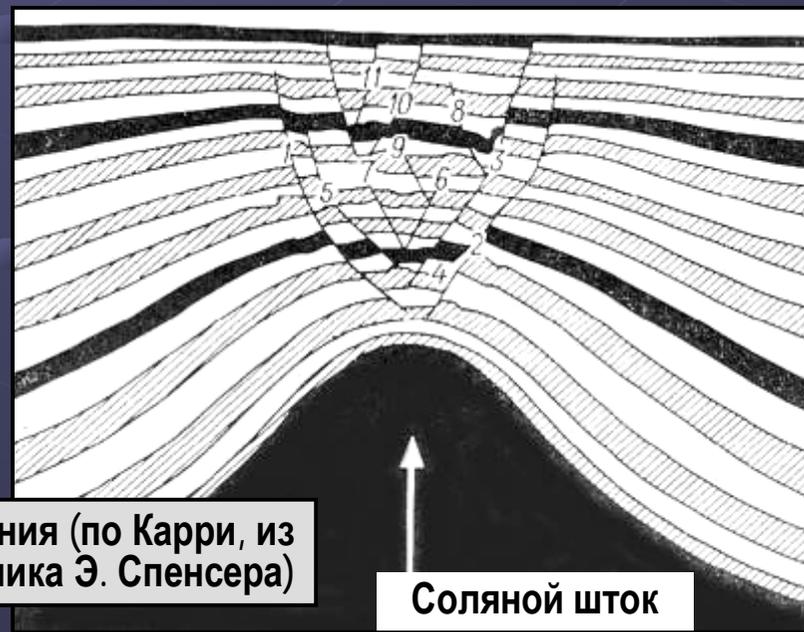
Механизм: изгибание пластов под действием изостатического всплывания соли – растяжение в замке купола и растворение соли подземными водами – образование кольцевых и радиальных сбросов (структура "битой тарелки").

Структурный парагенез:

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



Соляные купола Предуралья (по Л.Ф. Волчегурскому, 1977)



Северная Германия (по Карри, из учебника Э. Спенсера)

Соляной шток

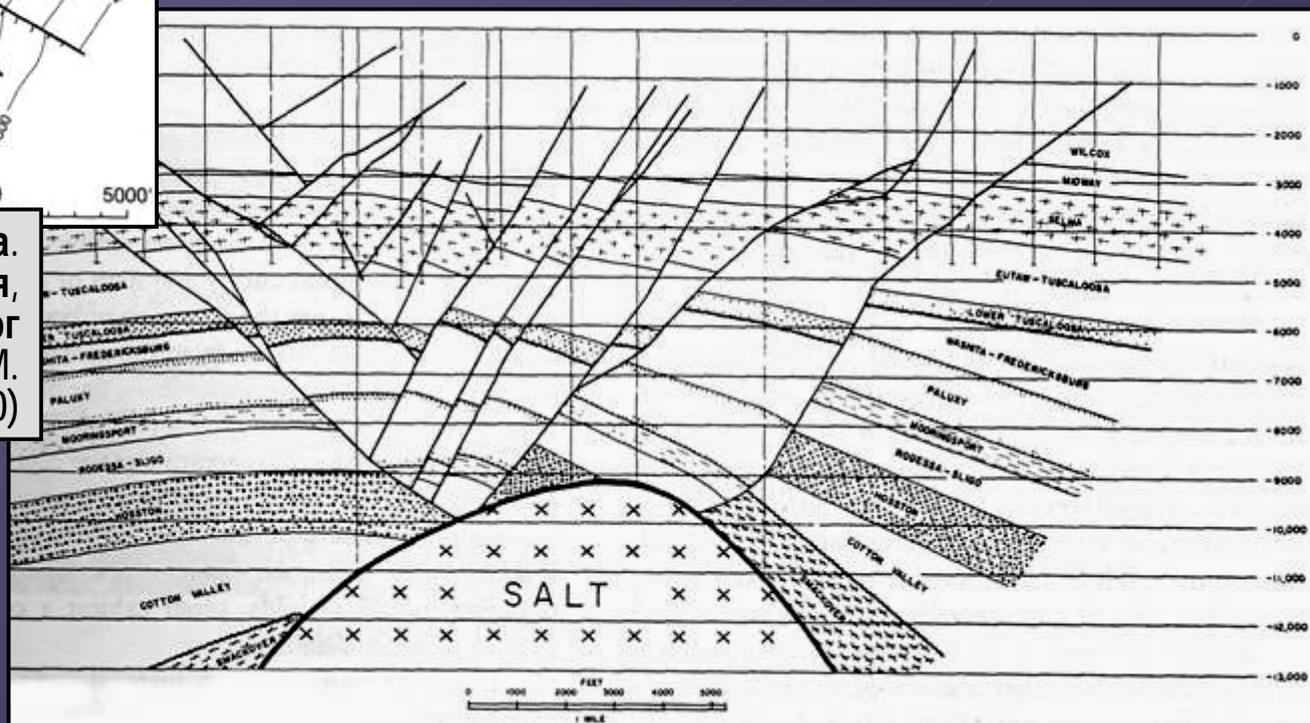


Соляные купола.
Северная Германия,
Гейдельберг
(по R.J. Twiss, E.M.
Moore, 2000)

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").

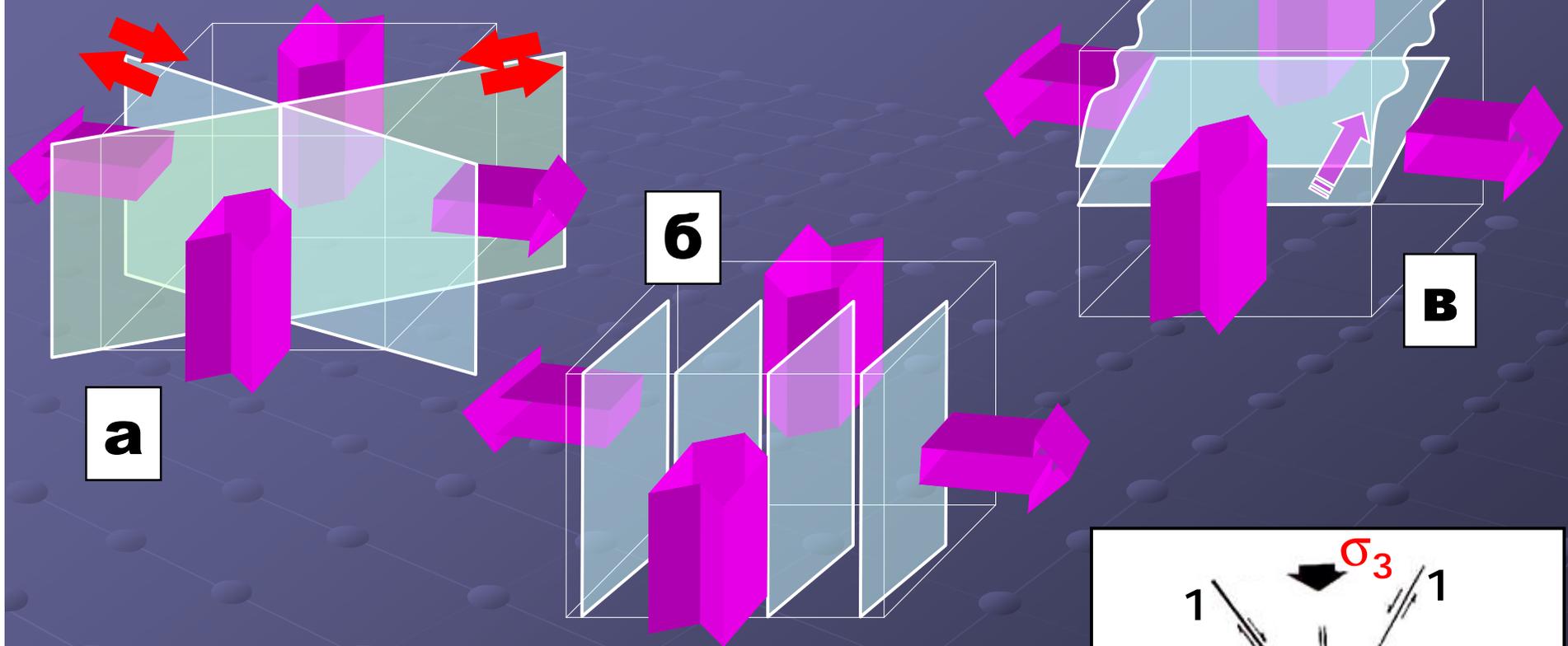
Структурный парагенез:

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



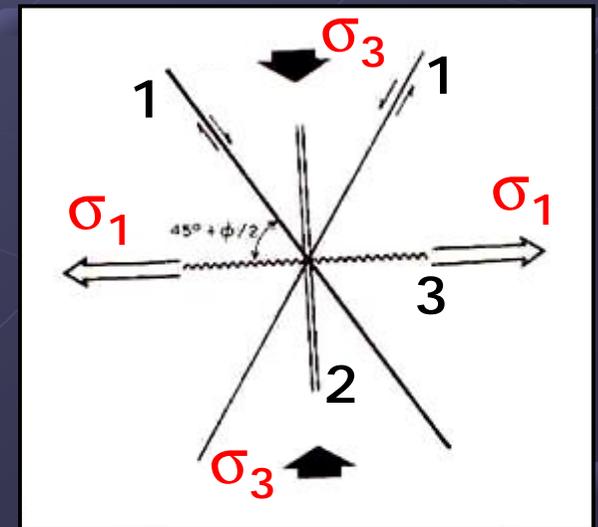
Структурные парагенезы обстановок чистого сдвига

Механизм: трехосное напряженное состояние



Структурный парагенез обстановок чистого сдвига включает в себя:

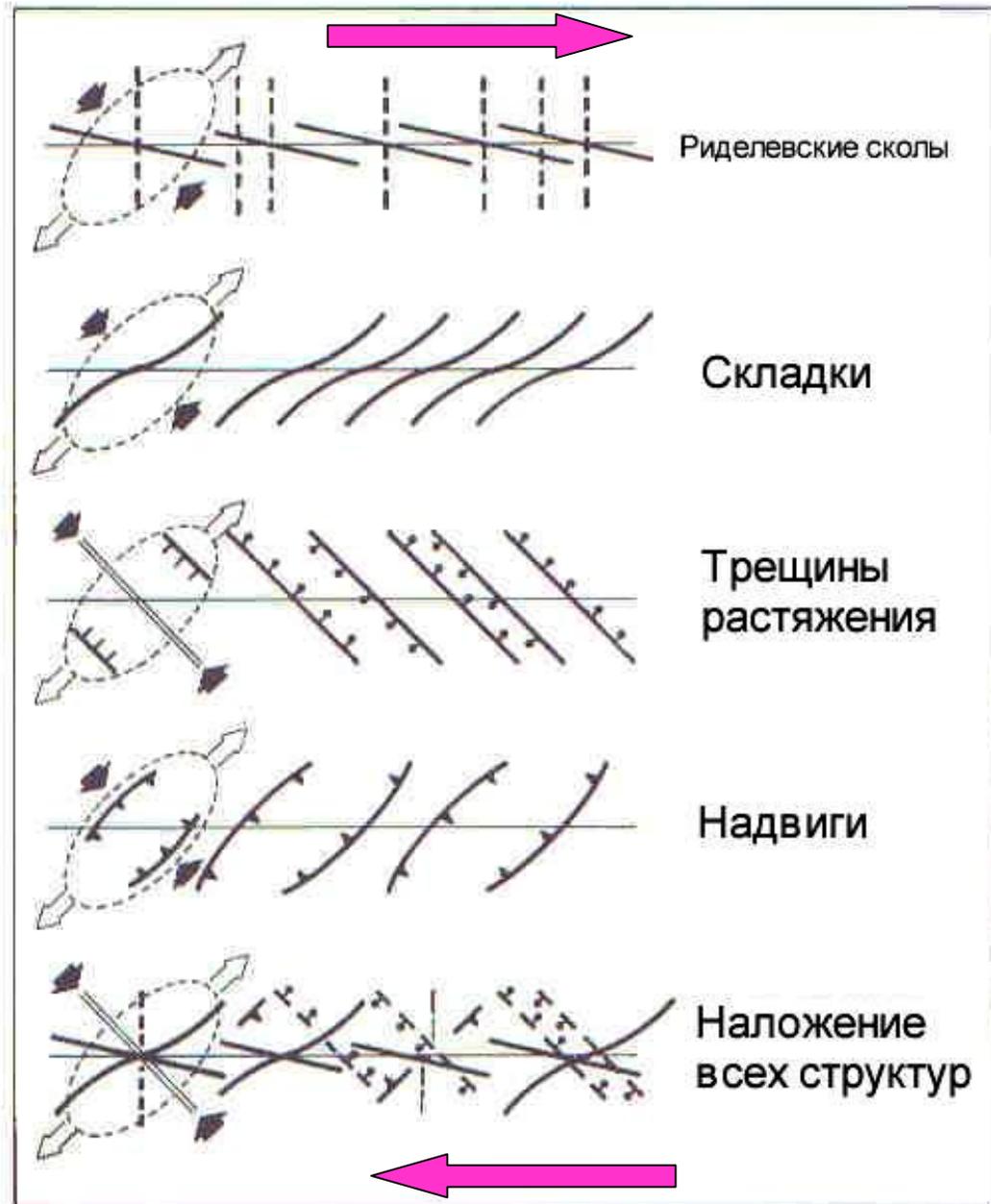
- сопряженные левые и правые сдвиги (а)
- раздвиги (отрывы) (б);
- надвиги и складки (в)



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:

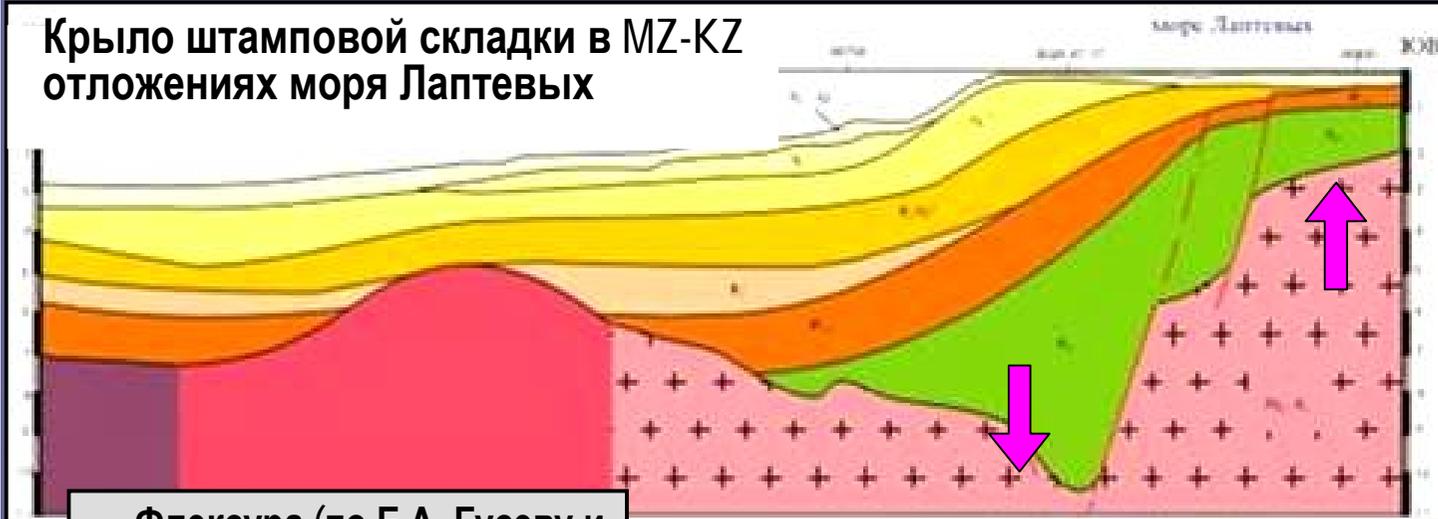
- система сбросов в фундаменте
- флексура в чехле

Структурный парагенез:

- система взбросов в фундаменте
- штамповая складка в чехле

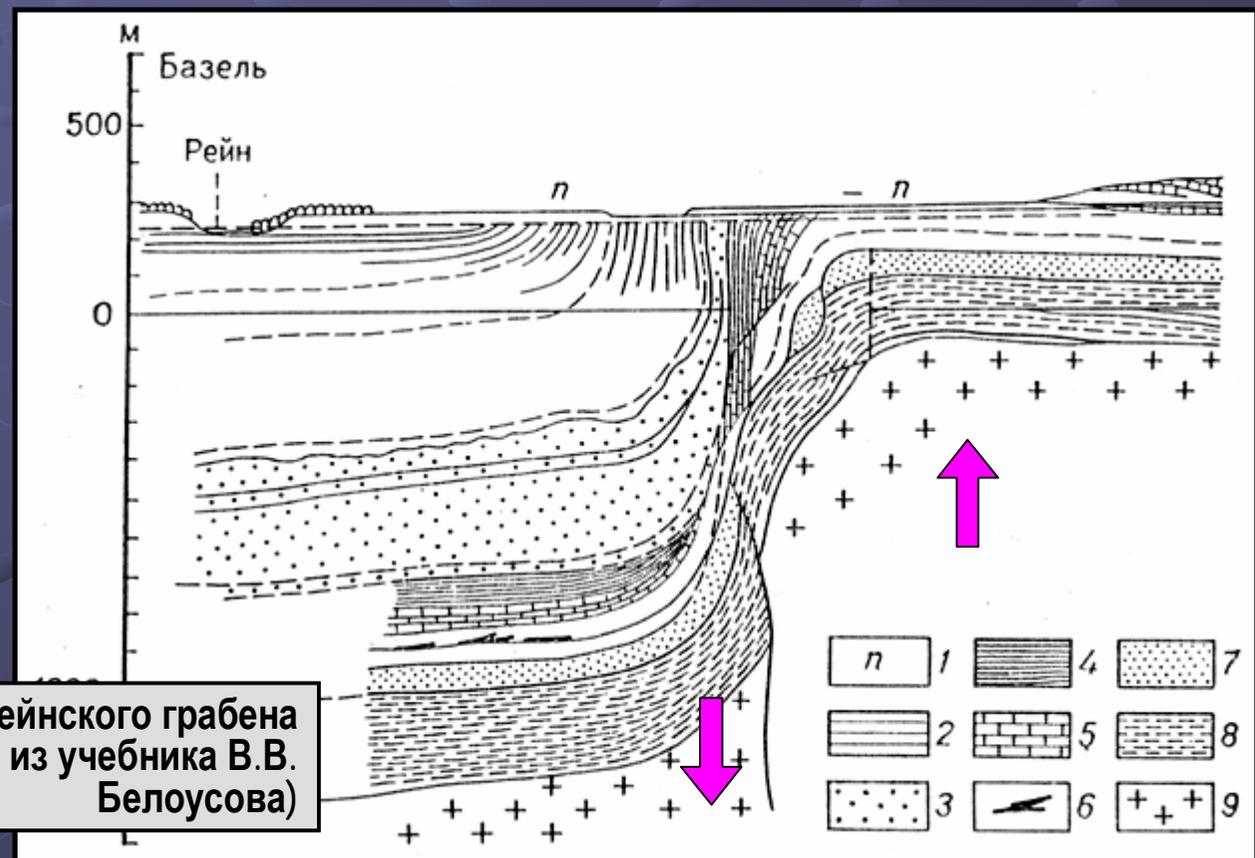
Примеры

Крыло штамповой складки в MZ-KZ
отложениях моря Лаптевых



Флексура (по Е.А. Гусеву и др., 2002)

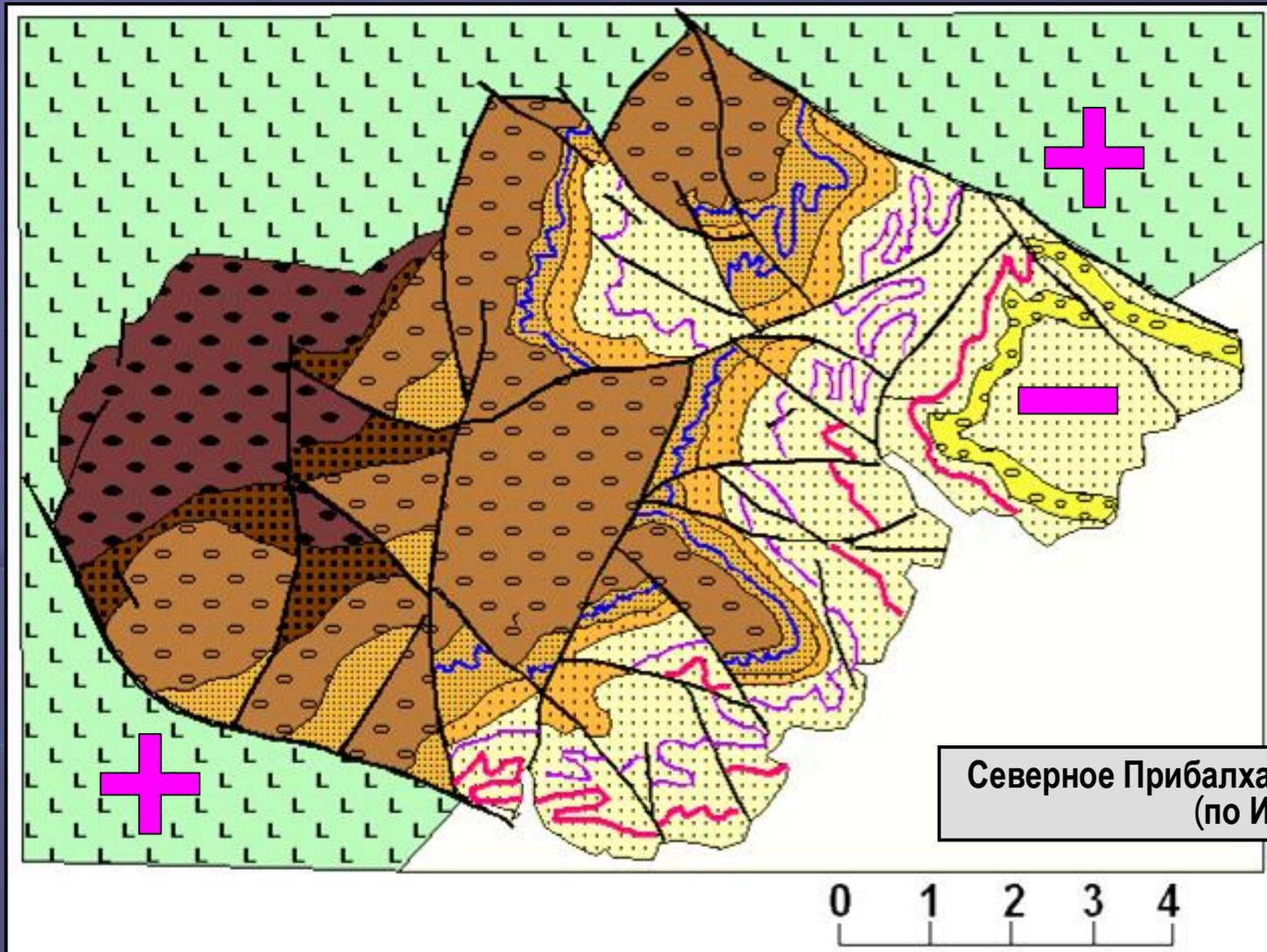
Структурный парагенез:
 – система сбросов в фундаменте
 – флексура в чехле



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

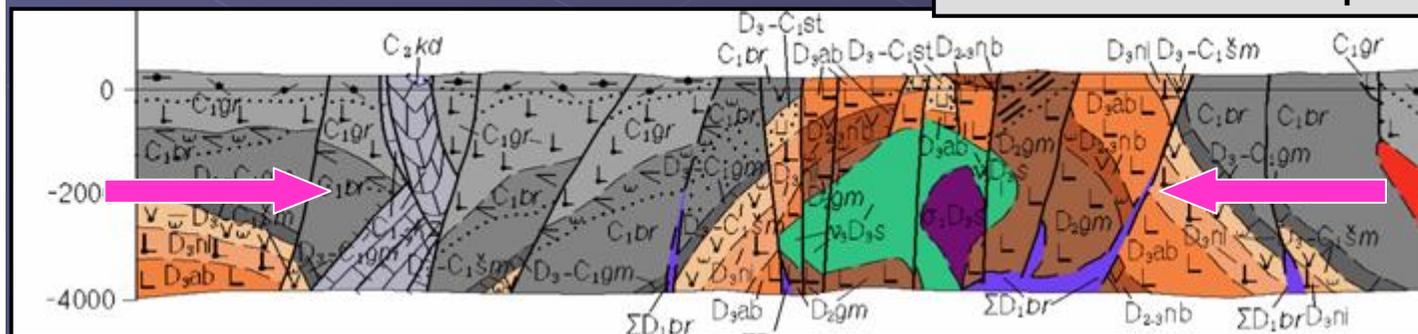


Структурные парагенезы складок продольного изгиба

Механизм: образуются при общем горизонтальном сжатии

Структурные парагенезы:

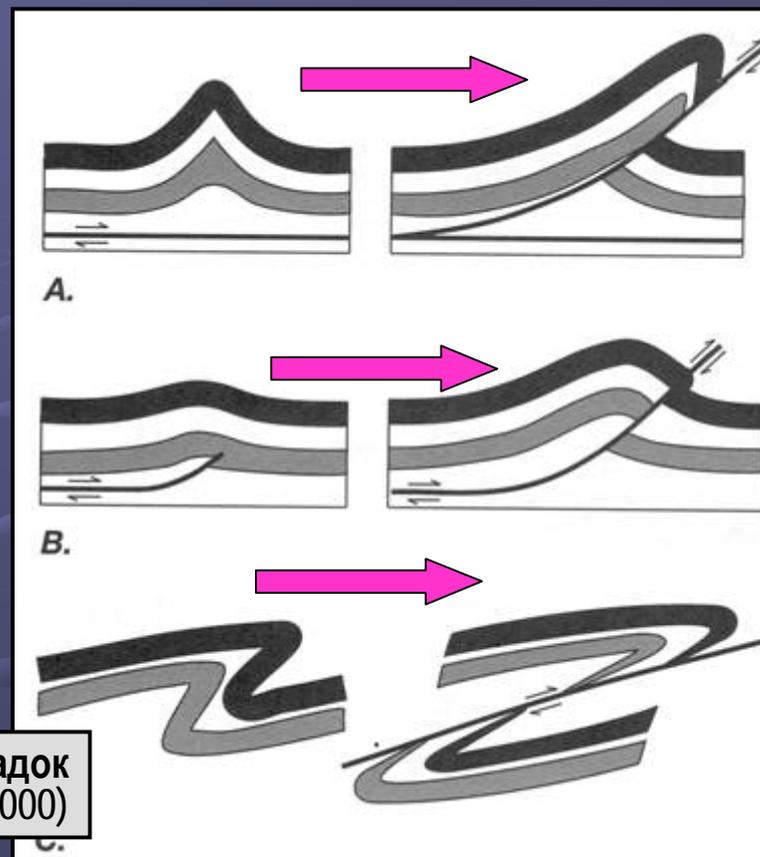
- системы расходящихся (**А**) или встречных (**Б**) взбросов;
- серии прямых и слабо наклонных складок в ядре сложной антиформы-рампа (**А**) или сложной антиформы-горста (**Б**);
- приразломные зоны рассланцевания (кристаллизационной сланцеватости), зеркала скольжения и т.д.



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 рассланцевания (кристаллизационной сланцеватости), зеркала скольжения и т.д.



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

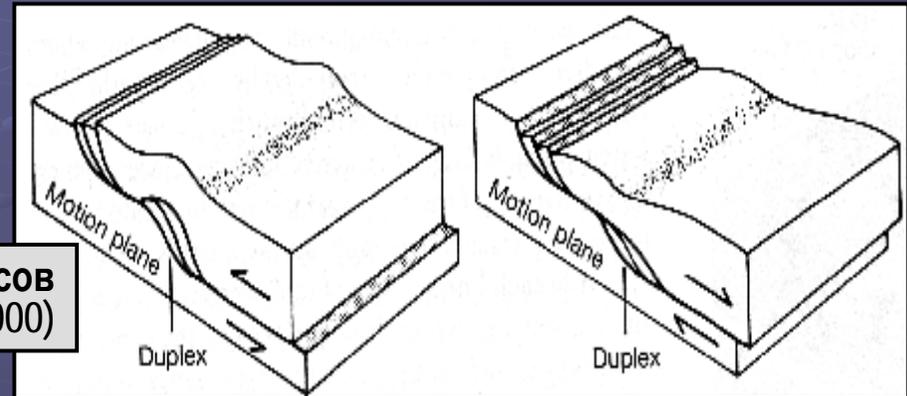


Восточно-Магнитогорская зона, Южный Урал (по А.В. Жданову, 2004)

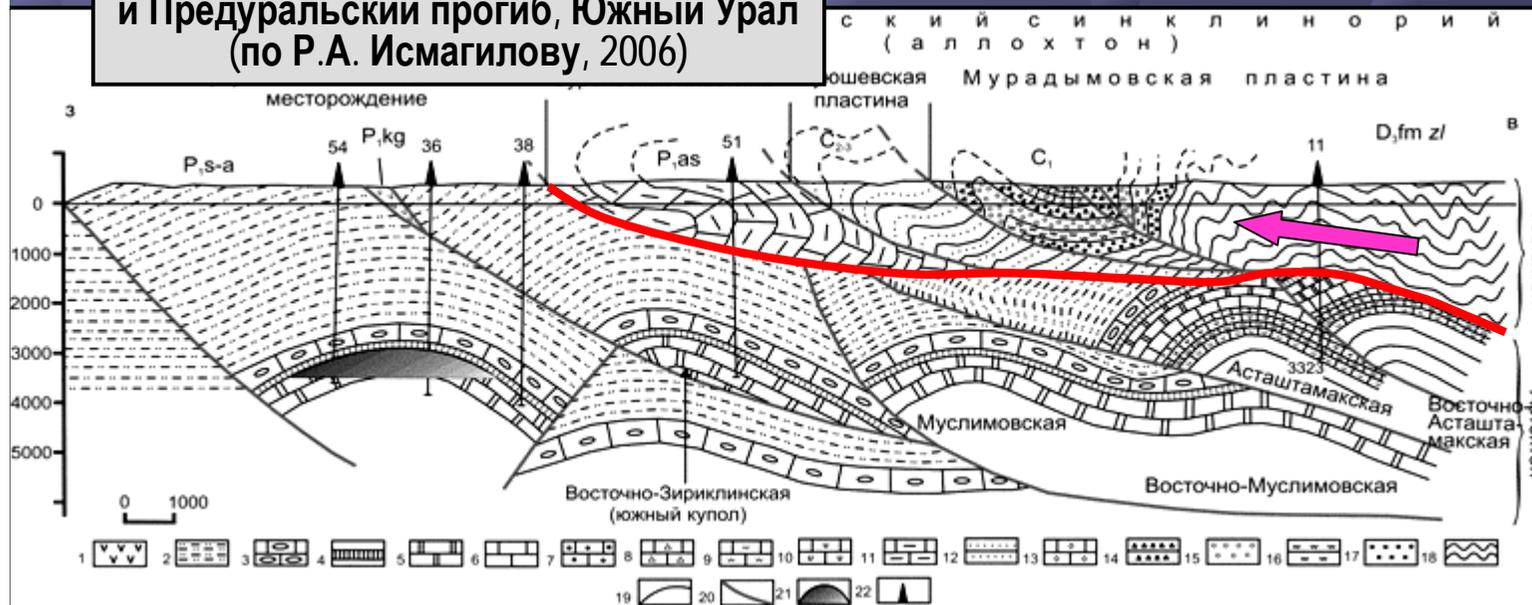
Структурный парагенез:

- пакет надвиговых пластин;
- серия опрокинутых и лежачих складок той же вергентности в аллохтоне;
- серия прямых и слабо наклонных складок той же вергентности 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



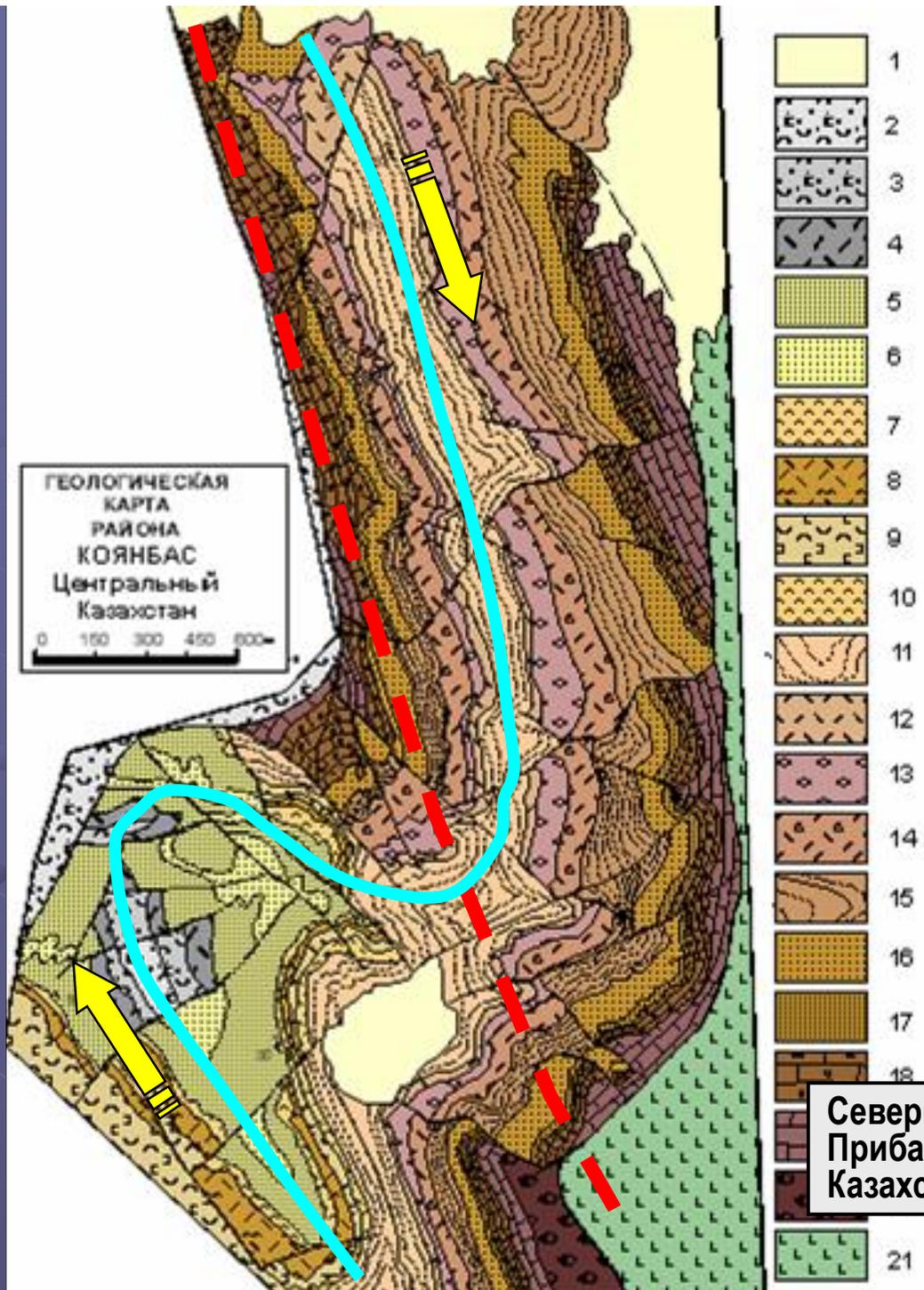
Структура "конского хвоста"
(по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)

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

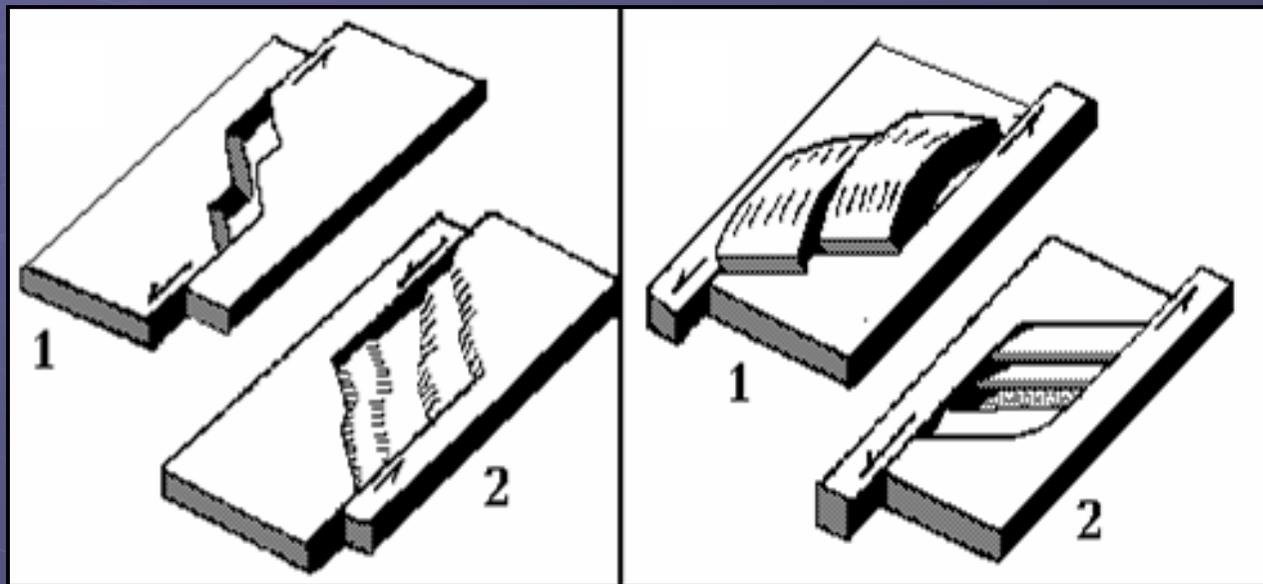
Структурный парагенез:

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



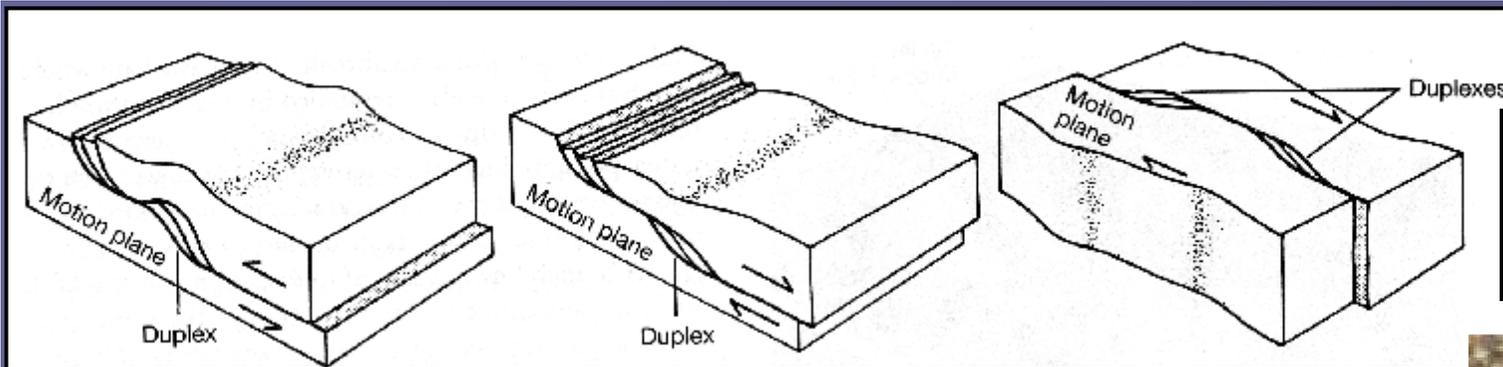
В.Б. Харланд

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



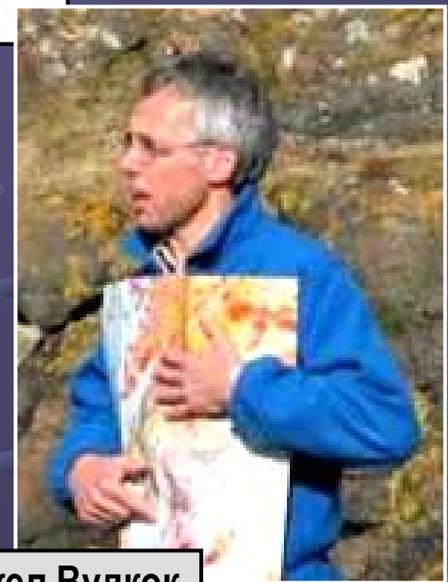
Сандерсон и Марчини в 1984 году смоделировали **транспрессию** как деформацию, включающую сдвиг, сопровождаемый укорочением поперек плоскости разлома и вертикальным удлинением вдоль этой плоскости, т.е. как комбинацию механически *чистого* и *простого* сдвига.

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.

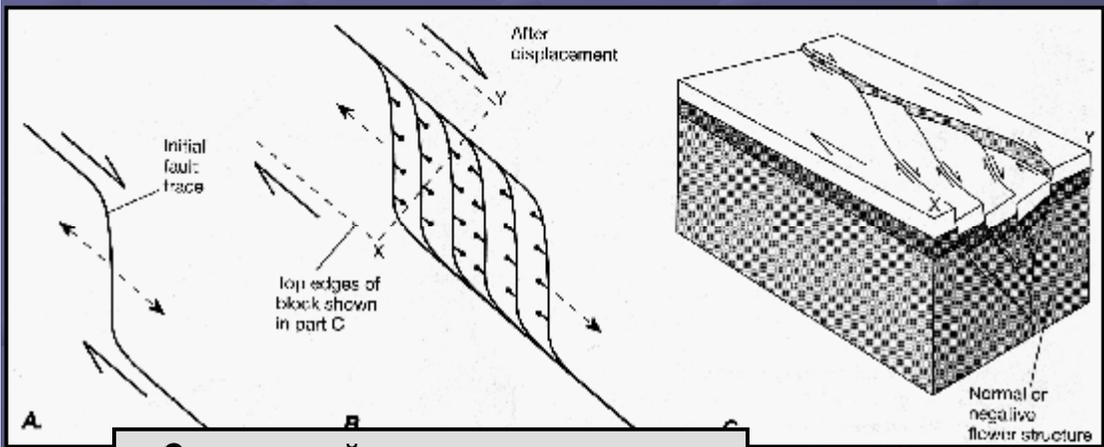


Схемы строения дуплексов
(по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)

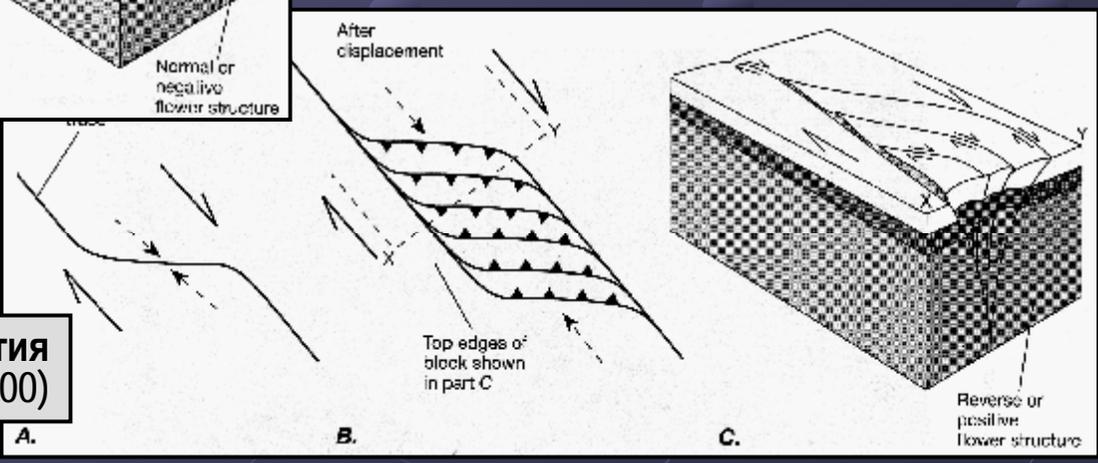
В терминологии Н. Вудкока [Woodcock, Fisher, 1986] присдвиговые **транстенсивные** и **транспрессивные** структурные ассоциации называются соответственно **сдвиговыми дуплексами растяжения** и **сжатия**.



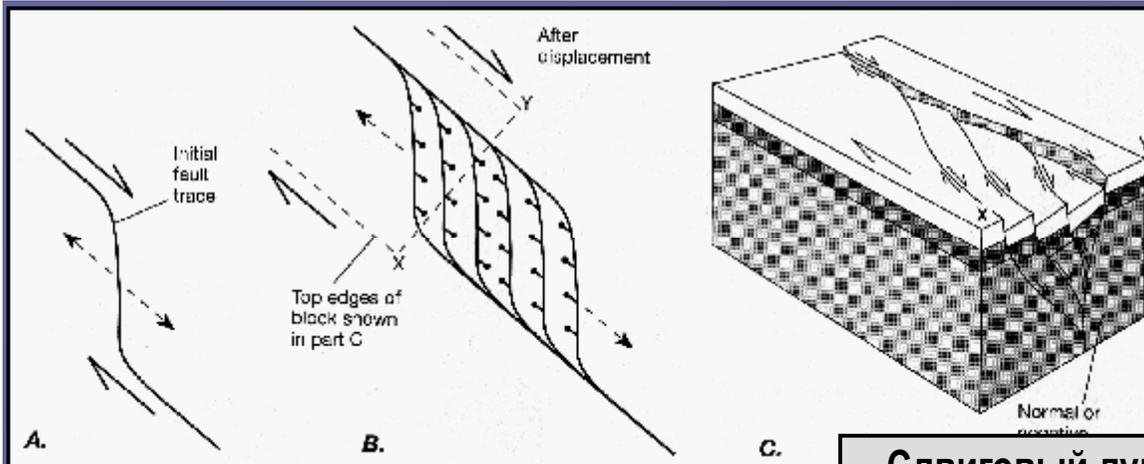
Найджел Вудкок



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



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



Структурный парагенез:

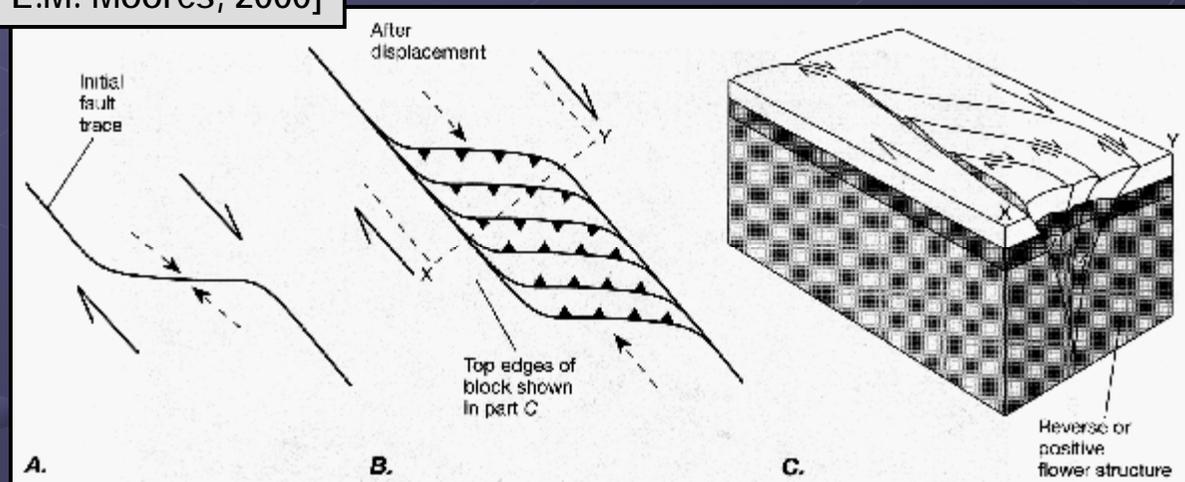
- генеральный правый сдвиг;
- правые сбросо-сдвиги;
- флексуры

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

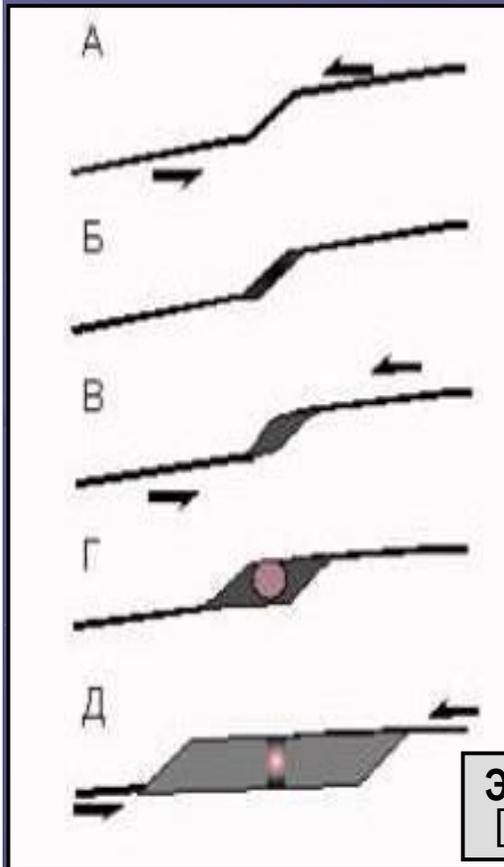


Зоны присдвигового растяжения

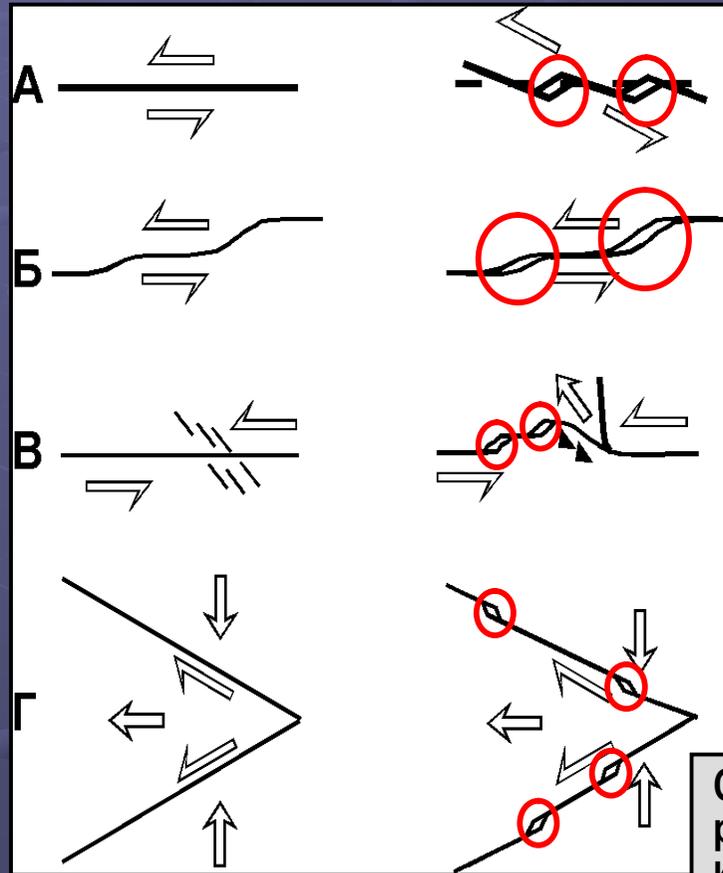
Термин "структуры присдвигового растяжения" обычно ассоциируется с поверхностными впадинами, которые Бёрчфиллом и Стюартом были названы **pull-apart basins** [Burchfiel, Stewart, 1966].



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

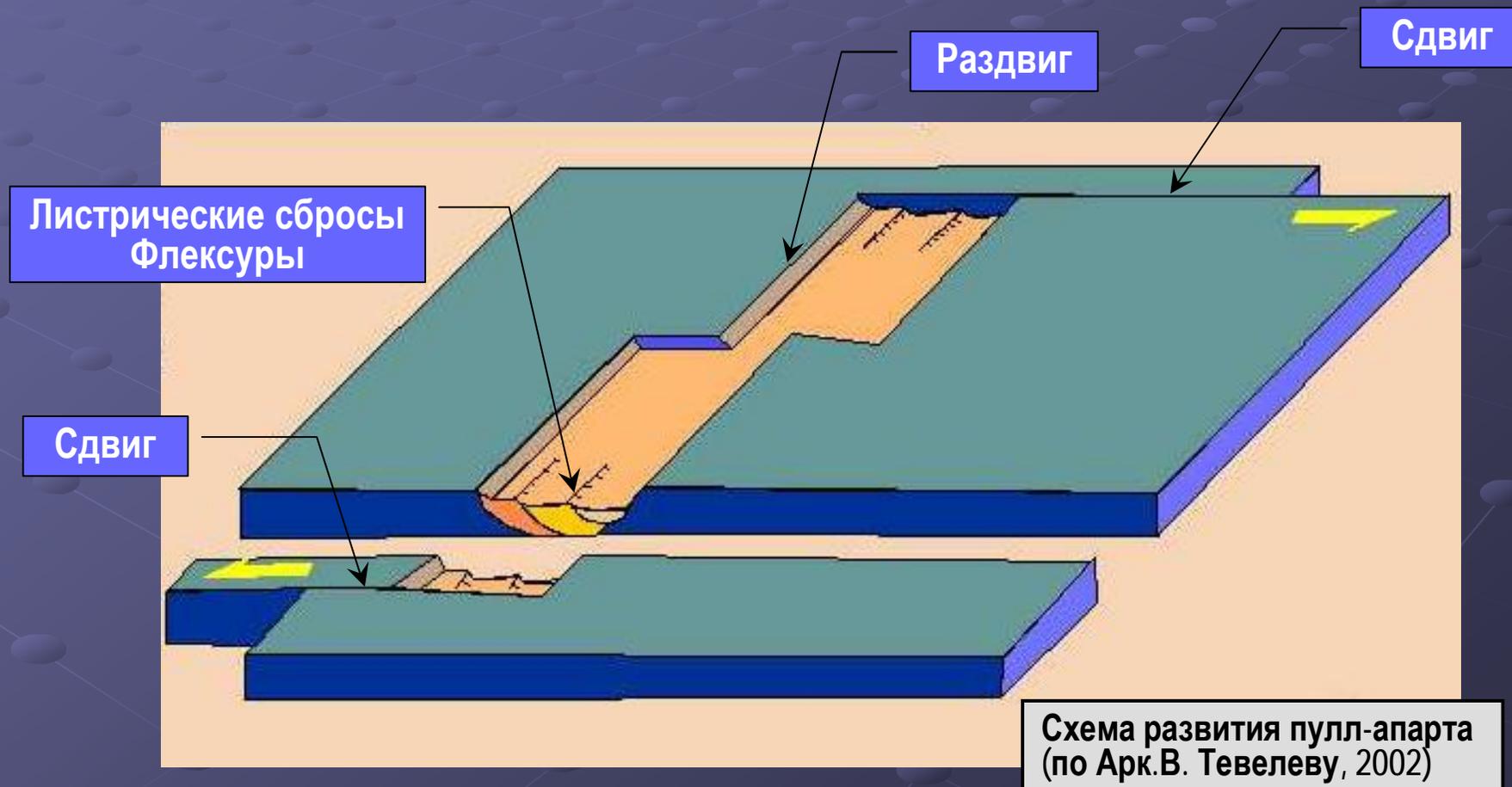


Схема развития пулл-апарта
(по Арк.В. Тевелеву, 2002)

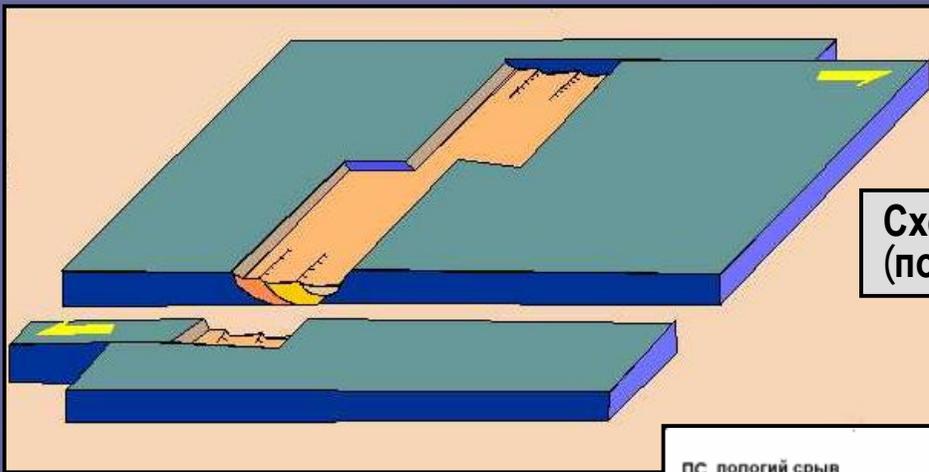
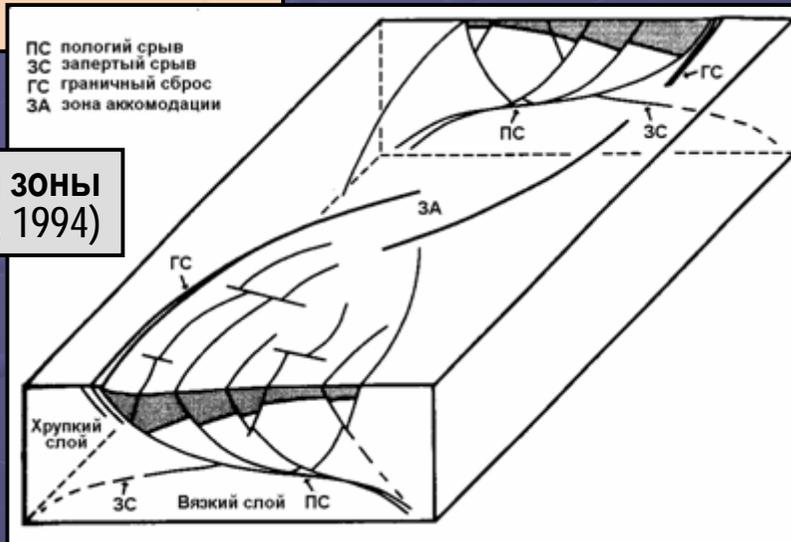
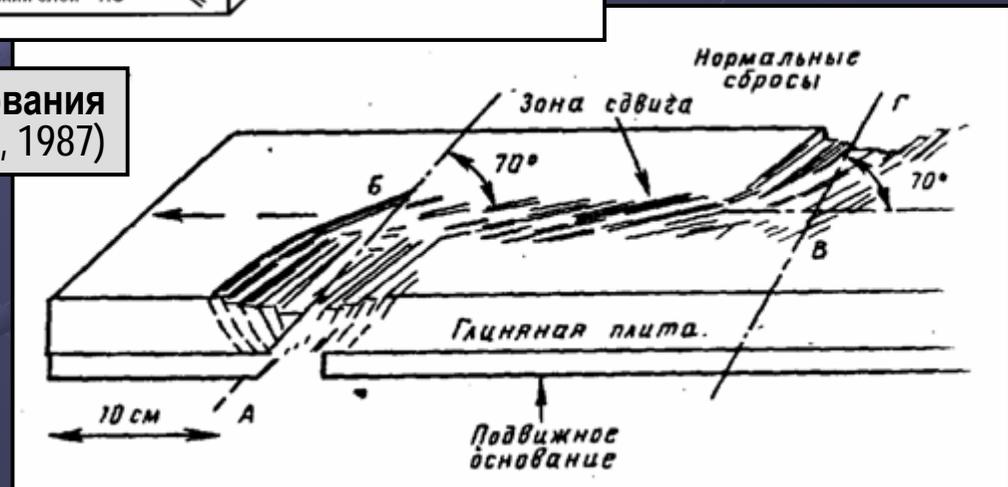


Схема развития пулл-апарта
(по Арк.В. Тевелеву, 2002)

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



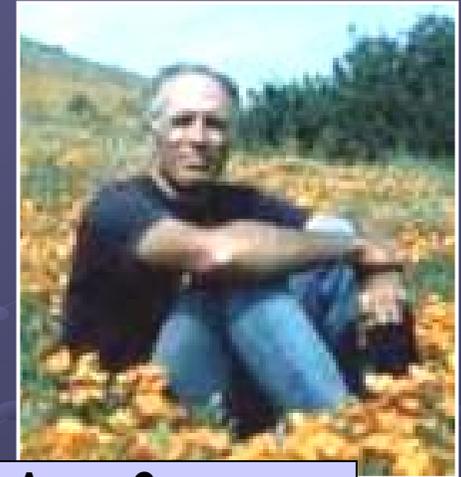
Физическая модель формирования
зоны растяжения (по Дубинину, 1987)



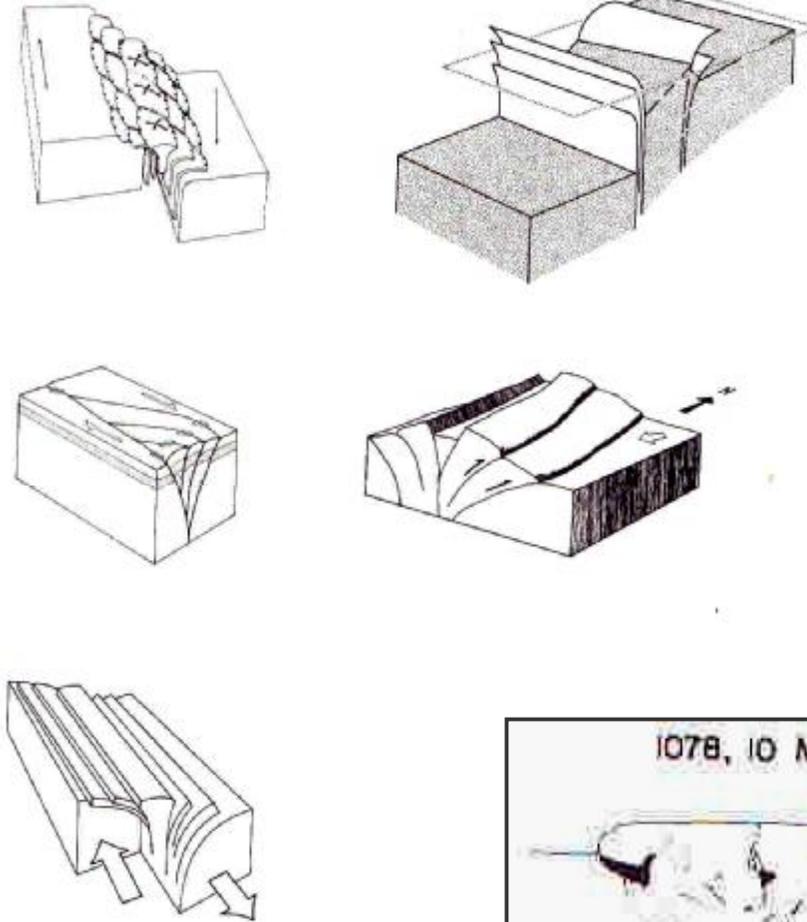
Структурные парагенезы зон
растяжения устойчиво
повторяются в различных
ситуациях и при моделировании

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)

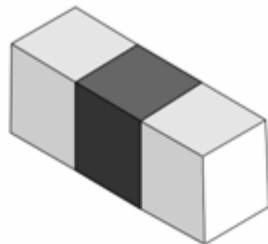


При транспрессии деформации могут возникать разными способами.

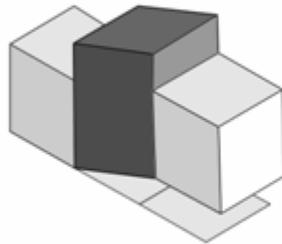
Соответственно формируются и разные структурные парагенезы:

- 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**)

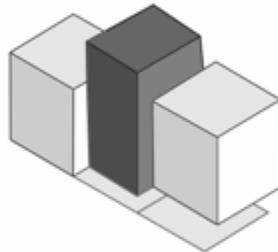
(а) Исходное состояние



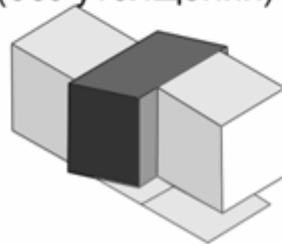
(б) Однородная транспрессия



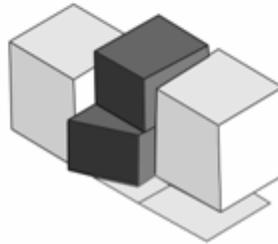
(в) Простой сдвиг со сжатием



(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)

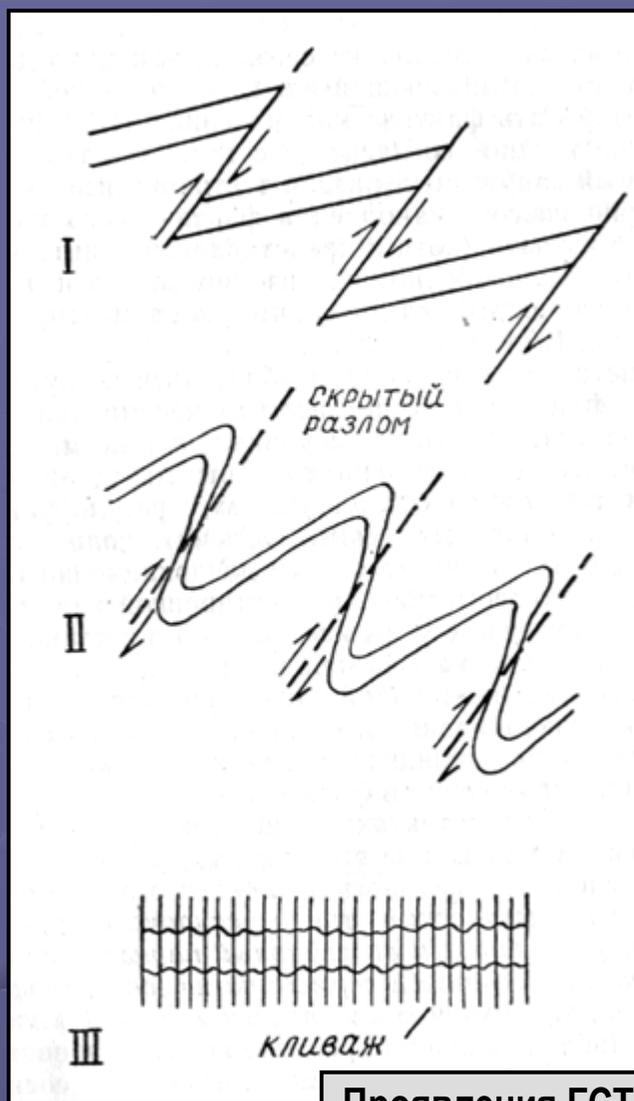
● **Тектонофация** — часть геологического тела (толщи или пачки слоев, интрузива и т.д.), отличающаяся от другой части по степени деформаций

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:

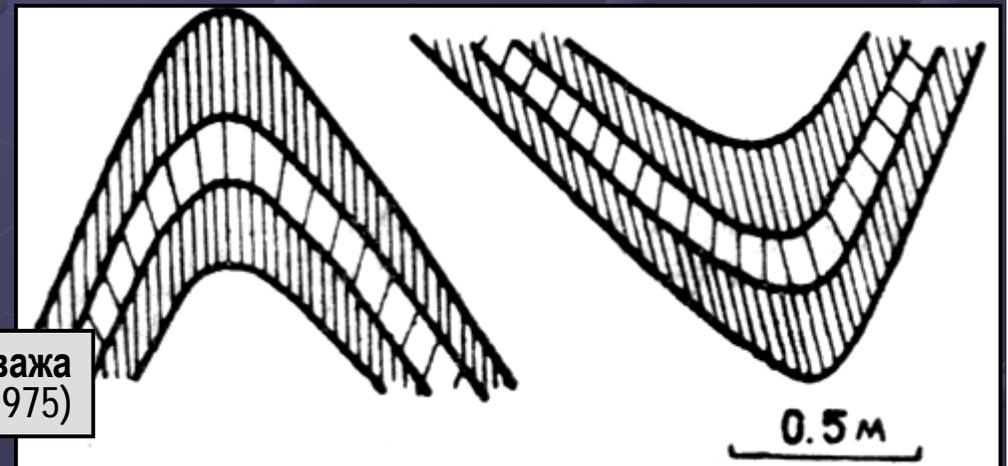
- I – разломы "опережают" складки и кливаж;
- II – складки "опережают" разломы и кливаж;
- III – кливаж "опережает" разломы и складки



Проявления ГСТ
(Е.И. Паталаха, 1975)

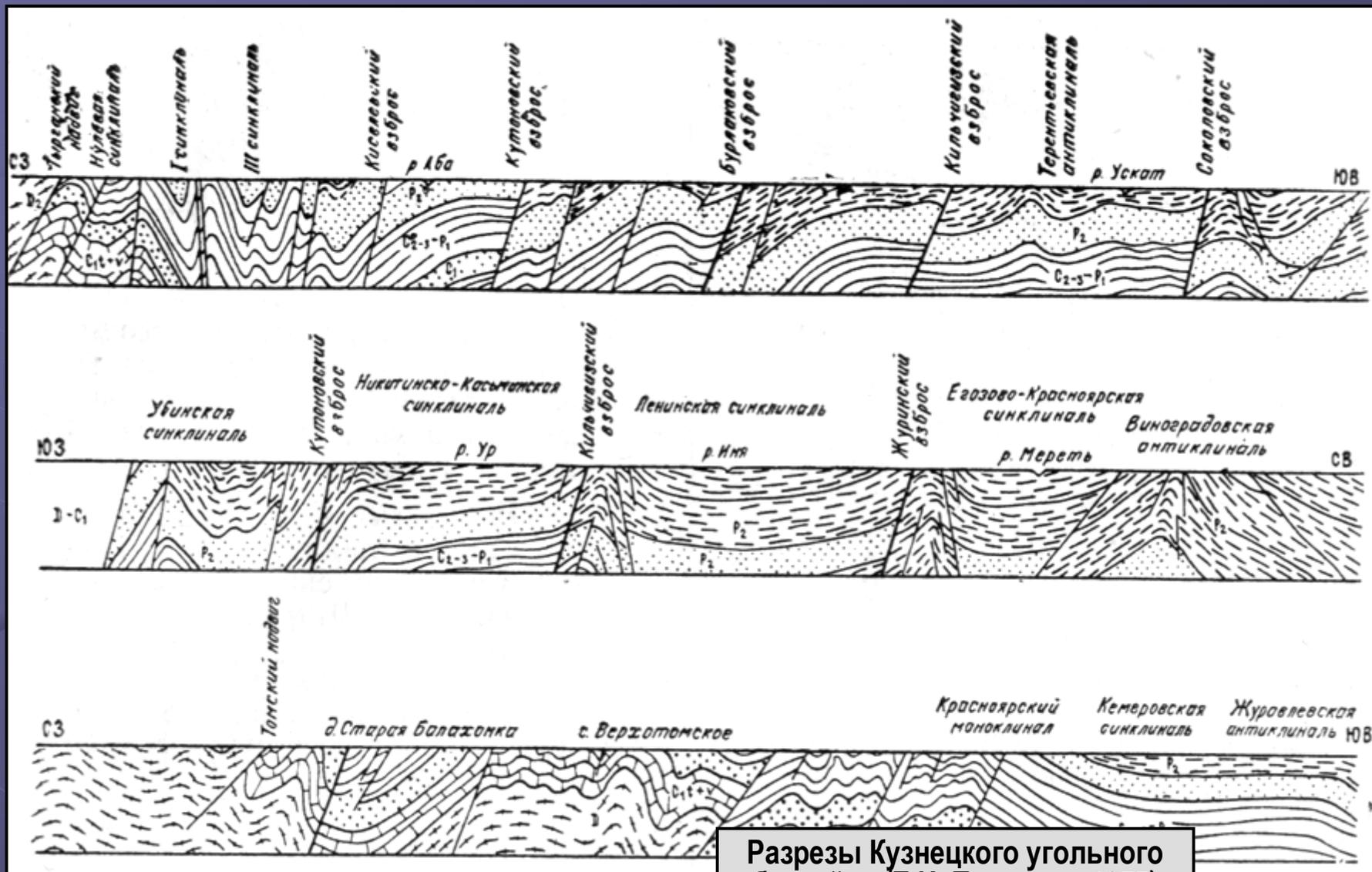
Рефракция кливажа:

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



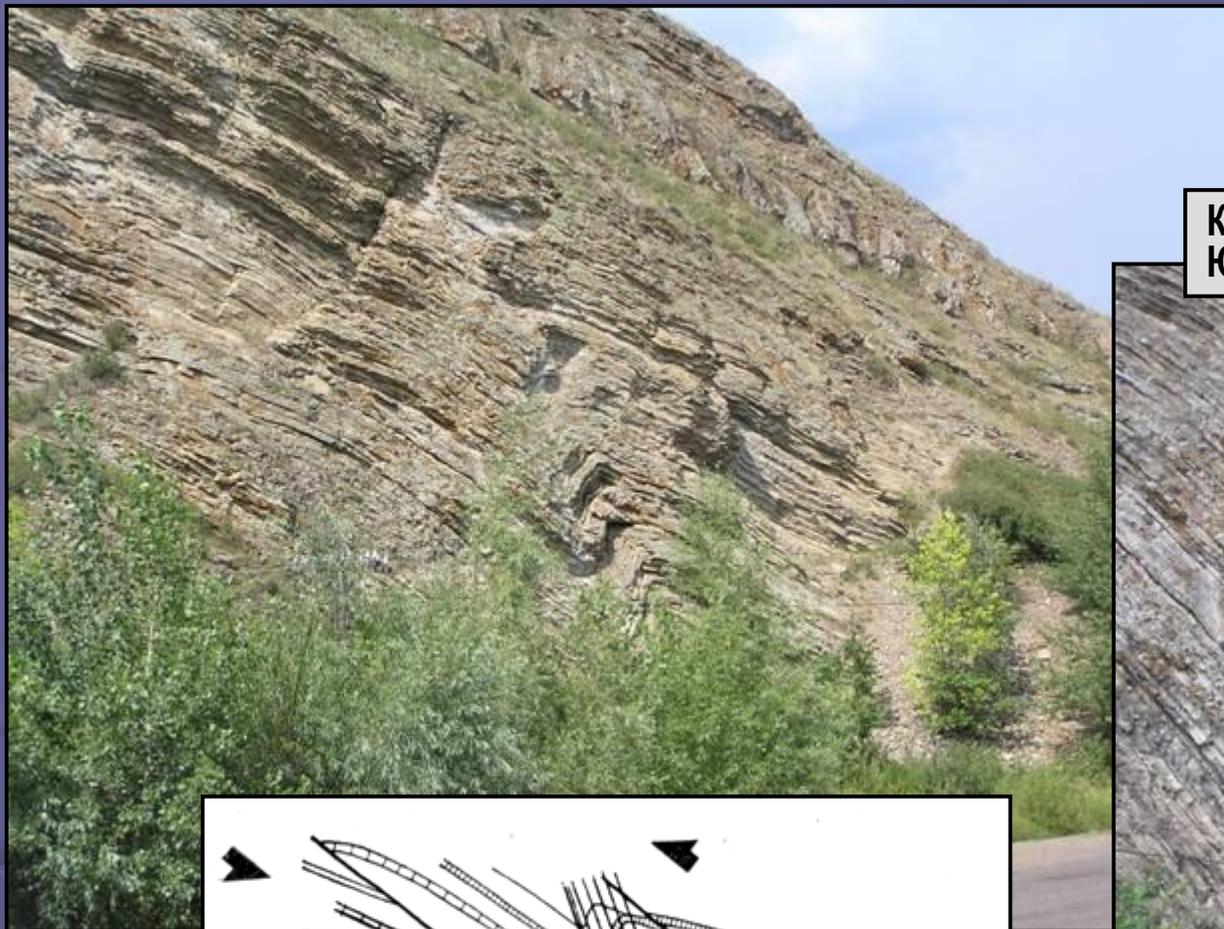
Разрезы Кузнецкого угольного бассейна (Е.И. Паталаха, 1975)

Различная степень дислоцированности одной и той же толщи

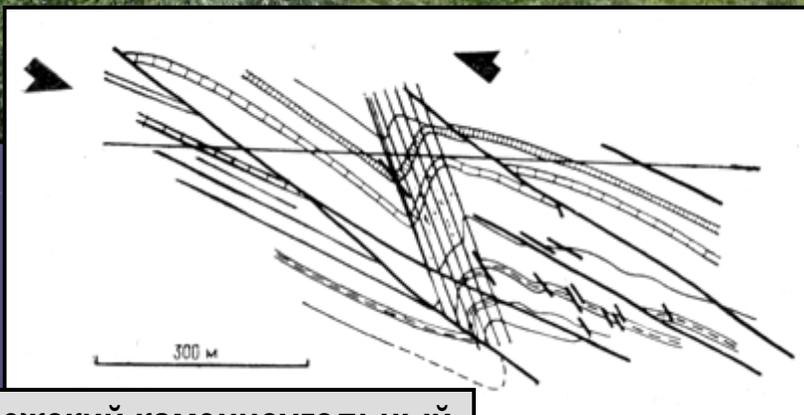


Каменноугольный флиш.
Южный Урал

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 (D наклона слоев $5-10^\circ$)
- II – Эмбриональный кливаж осевой плоскости в алевролитах, трещиноватость (D $15-20^\circ$)
- III – Совершенный кливаж в алевролитах, альпийские жилы 1 генерации (D $25-30^\circ$)
- IV – Эмбриональная линейность, рефракция кливажа в алевролитах (D $35-40^\circ$)
- V – Сквозной (гомогенный) кливаж (микролитоны в песчаниках $7-10$ см), сигмоидальные складки волочения слоистости (D более 40°)
- VI – Вязкие разрывы, гомогенный кливаж (микролитоны в песчаниках $3-7$ см), сигмоидальные складки волочения слоистости (D 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 (D 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 – ∞ %; компонент сжатия 83 – 100%; A/L 5,6 – ∞

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