

Структурная геология и геологическое картирование

Лекция № 19

«Структурные парагенезы. Тектонофации»



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

Определения

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

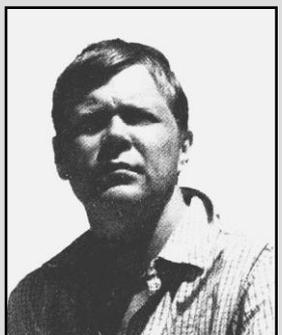


СП – все возникшие одновременно в едином генеральном поле напряжений **резко разномасштабные** формы, тип совокупности которых определяется, прежде всего, морфологией складчатых форм первого порядка и генетически связанных с ними разрывов [В.С. Милеев, 1978],



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

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 (деформационные) – сочетания деформационных структур, возникшие в единой **механической обстановке**: сжатия, растяжения, сдвига, транспрессии, транстенсии, течения

[А.Б. Кирмасов, 2011]



- **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**)
- **Структурные парагенезы** – закономерные сочетания различных структурных элементов, сформированных в *единой механической обстановке* (**деформационное определение**)

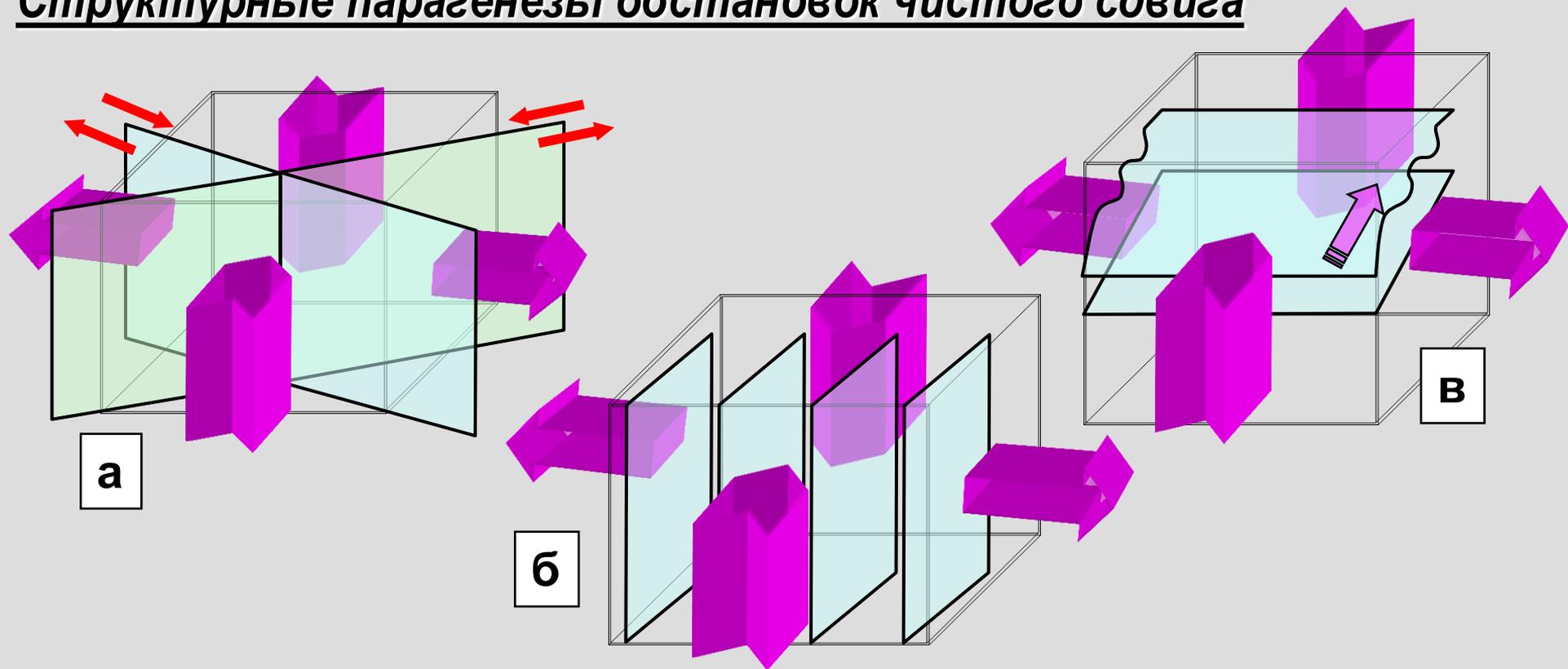
В любом случае формирование всех *элементарных* структурных элементов единого парагенеза предполагает некий **общий механизм** или хотя бы *общую причину*. Иными словами, само возникновение, геометрия и кинематика выделяемых в "структурный парагенез" структурных элементов должны удовлетворительно объясняться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

Если исходить из определений, в структурные парагенезы могут объединяться **разномасштабные элементы**: от макромасштабных (складчатые зоны) до мезомасштабных (отдельные складки, структуры будинажа, кливаж и пр.) и даже до микромасштабных (кинк-банды в шлифах и т.д.)



Структурные парагенезы обстановок чистого сдвига

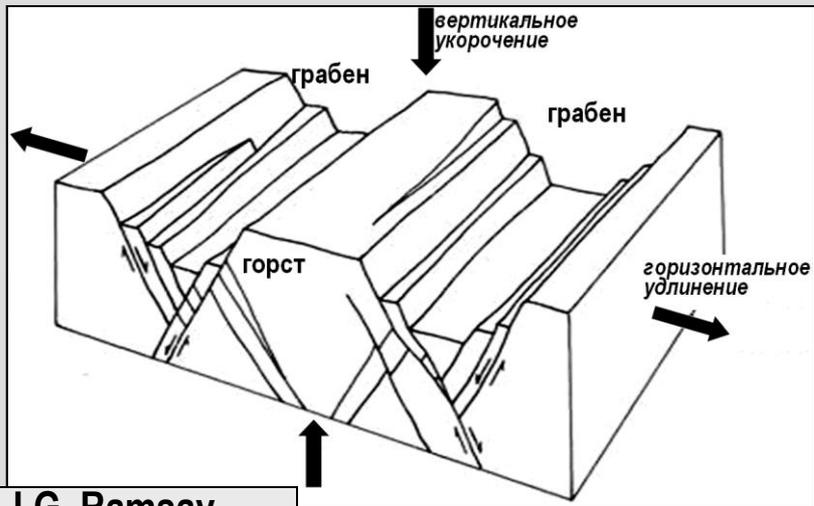


Структурные парагенезы **обстановок чистого сдвига** включают в себя, во-первых, стандартные элементы:

- а)** сопряженные левые и правые сдвиги – *структуры сколовых деформаций*;
- б)** раздвиги (отрывы), сбросы, флексуры – *структуры деформаций растяжения*;
- в)** взбросы, надвиги и складки – *структуры деформаций сжатия*.

Кроме того, в них может входить масса структурных элементов более высокого порядка, сформированных в той же обстановке.

Чистый сдвиг: обстановки горизонтального растяжения

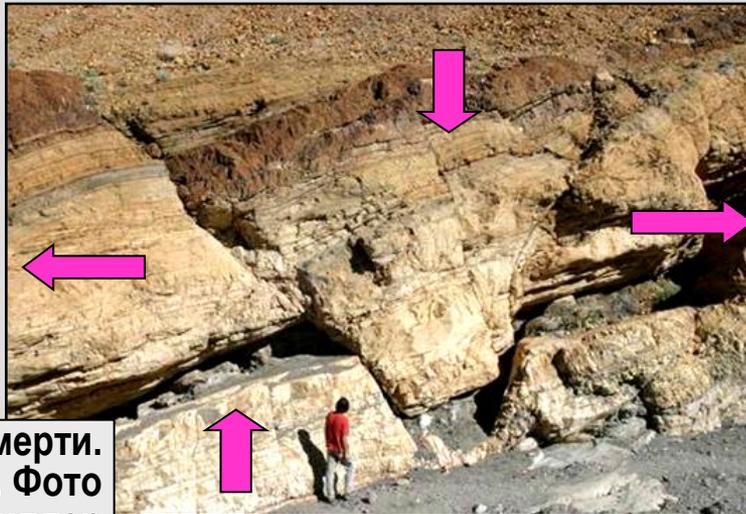


J.G. Ramsay,
M.I. Huber, 1983

Структурный парагенез грабенов-горстов:
грабен, горст, полуграбен.

- В этот парагенез могут быть включены:
- складки поперечного изгиба, в том числе конседиментационные;
 - мелкие складки волочения;
 - зеркала скольжения;
 - магматические образования и т.д.

**NB! Масштаб структур
может быть любой!**



Долина Смерти.
Калифорния. Фото
Марли Б. Миллер



Горст и грабен
в мраморах

Примеры

← Структурный парагенез:

- система сбросов в фундаменте
- флексура в чехле

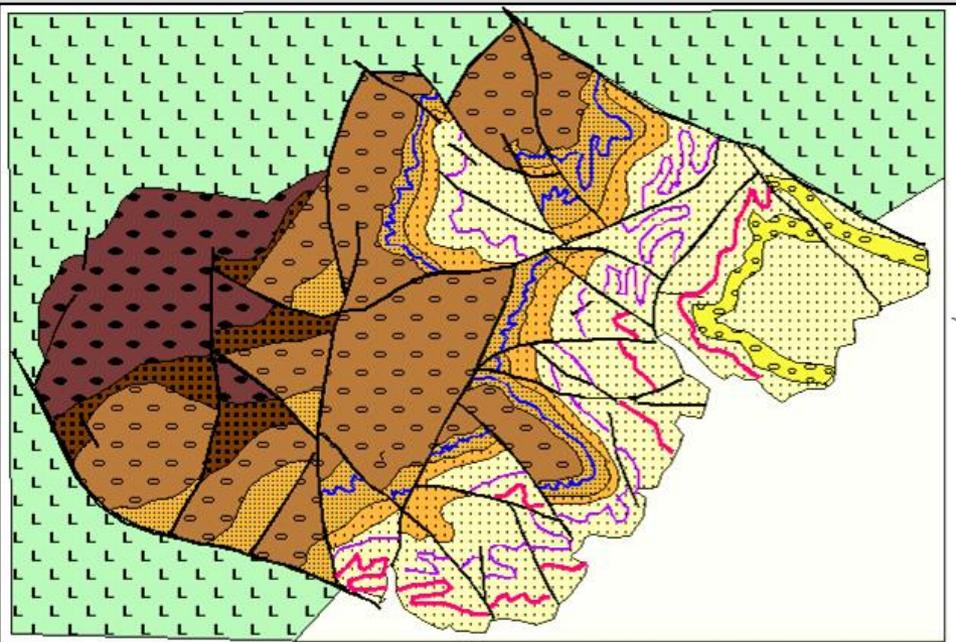
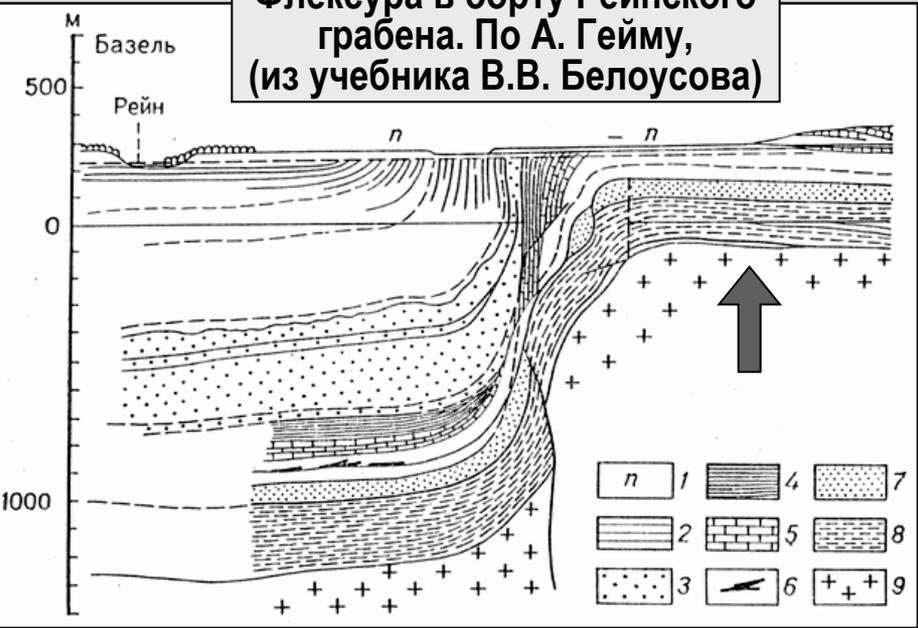


Крыло штамповой складки в MZ-KZ отложениях моря Лаптевых. По Е.А. Гусеву и др., 2002

Структурный парагенез:

- система сбросов в фундаменте
- штамповая складка в чехле
- дисгармоничные складки в некомпетентных слоях →

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

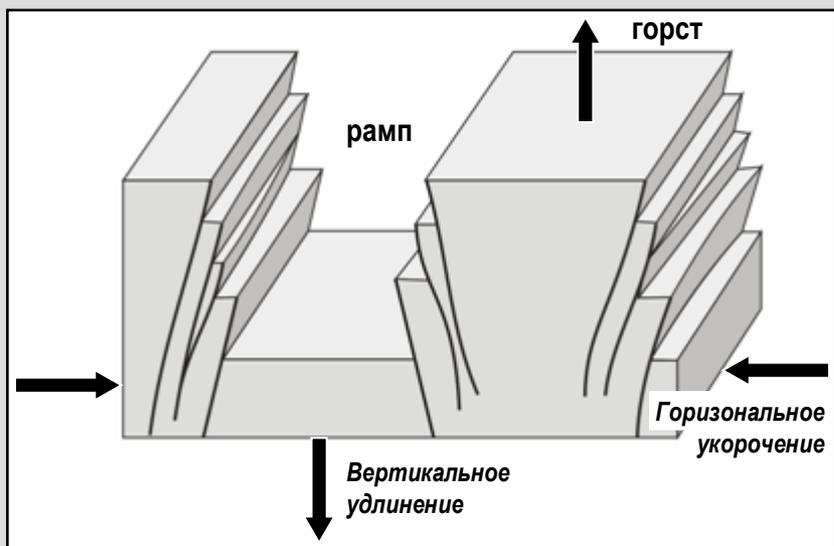


Ульяновская синклираль. Казахстан. По И.А. Кошелевой, 1986

← Структурный парагенез:

- система сбросов в фундаменте
- флексура и конседиментационная складка в чехле

Чистый сдвиг: обстановки горизонтального сжатия



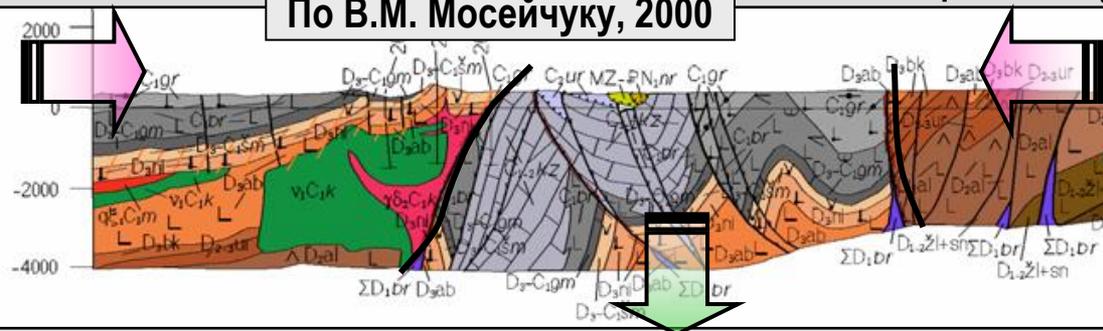
Структурный парагенез рампов-горстов:

рамп – симметричная отрицательная структура, ограниченная сопряженной парой расходящихся взбросов (**сколов**),

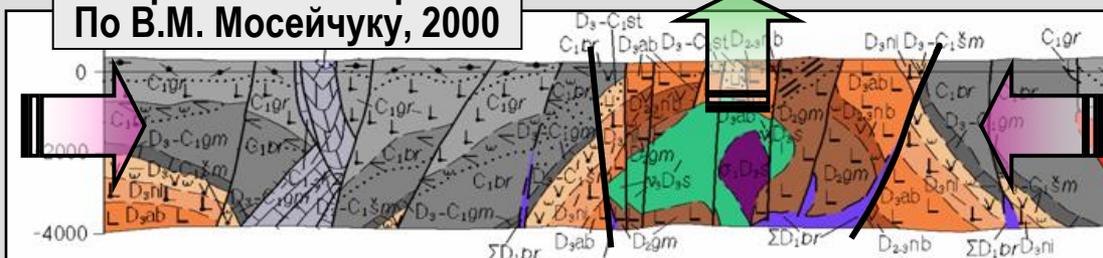
горст – симметричная положительная структура, ограниченная сопряженной парой встречных взбросов (**сколов**),

полурамп – асимметричная отрицательная структура, ограниченная одним крупным взбросом (**сколом**).

Рамп. Южный Урал.
По В.М. Мосейчуку, 2000



Горст. Южный Урал.
По В.М. Мосейчуку, 2000



В этот парагенез могут быть включены:

- складки продольного изгиба;
- кливаж;
- рассланцевание;
- складки волочения;
- зеркала скольжения;
- структуры будинажа;
- муллион-структуры и т.д.

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

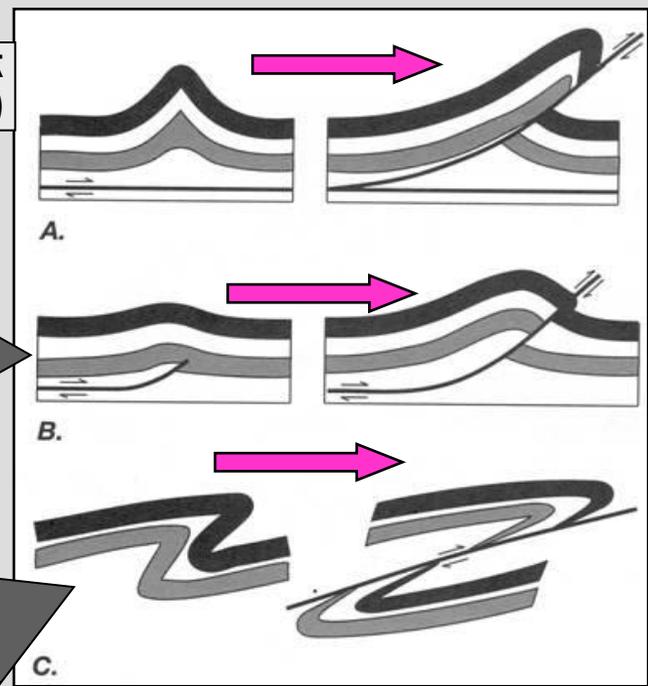
Формирование надвигов из складок
(по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)



Привзбросовая складка. Южный Урал

Модель В

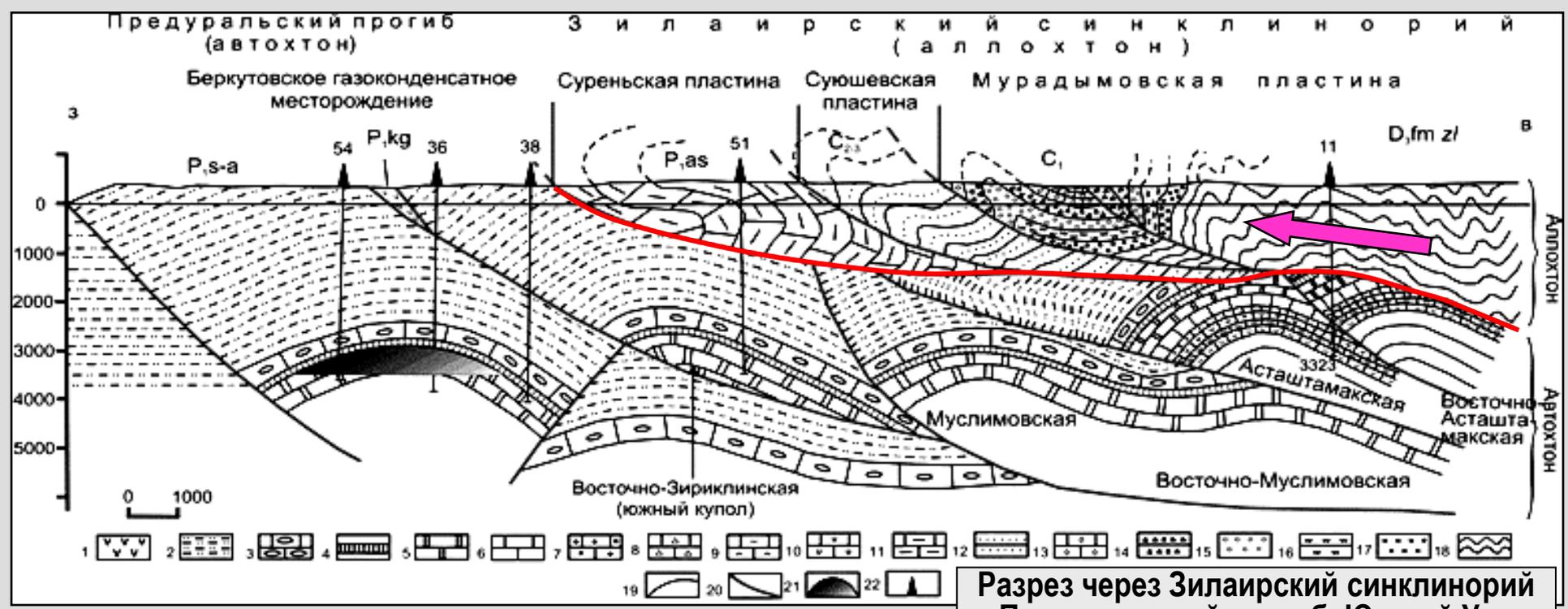
Модель С



Принадвиговая складка
[http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/images/...
Urubu_Brazil_DDS21.jpg](http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/images/...Urubu_Brazil_DDS21.jpg)

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 рассланцевания, зеркала скольжения и т.д.
- надвиговые дуплексы



Разрез через Зилаирский синклиорий и Предуральский прогиб, Южный Урал. По Р.А. Исмагилову, 2006

Структурные парагенезы обстановок простого сдвига

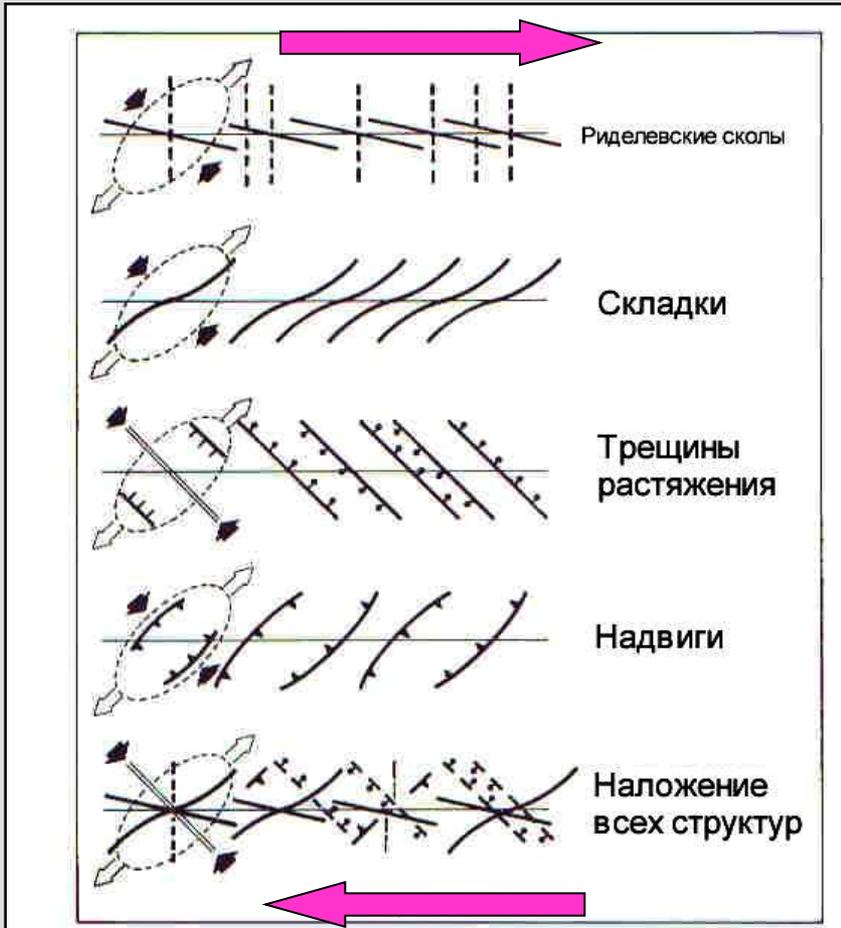
Стандартный структурный парагенез обстановок простого сдвига включает:

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

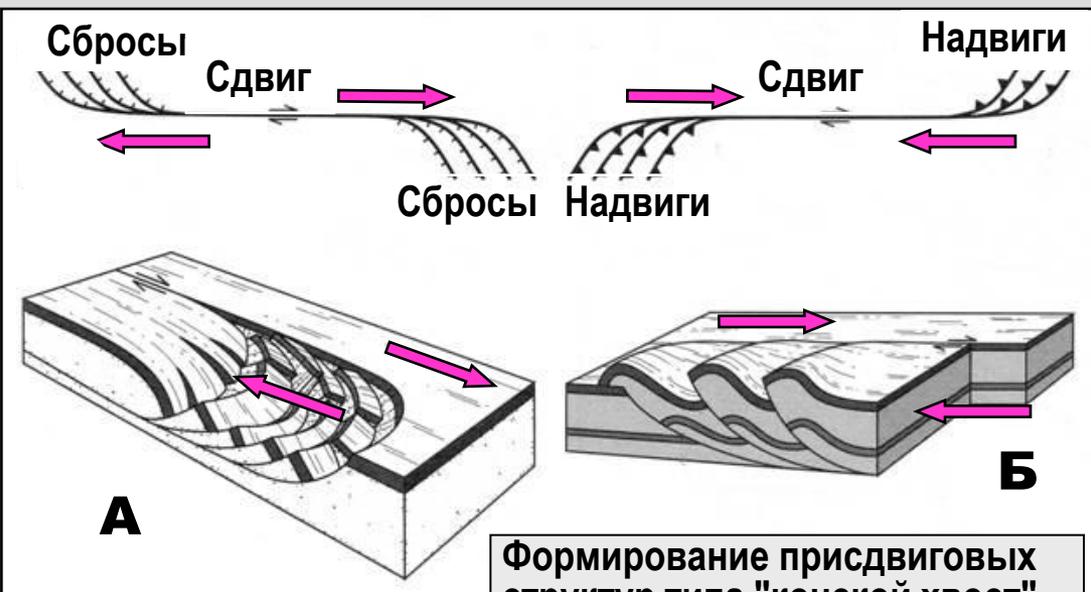
В парагенез могут быть включены:

- кливаж;
- рассланцевание;
- складки волочения;
- зеркала скольжения;
- структуры будинажа;
- муллион-структуры;
- КИНК-зоны;

– тектониты всех видов и т.д.



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



Формирование присдвиговых структур типа "конской хвост".
По R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000

NB! На концах «хвостов» амплитуды нулевые!

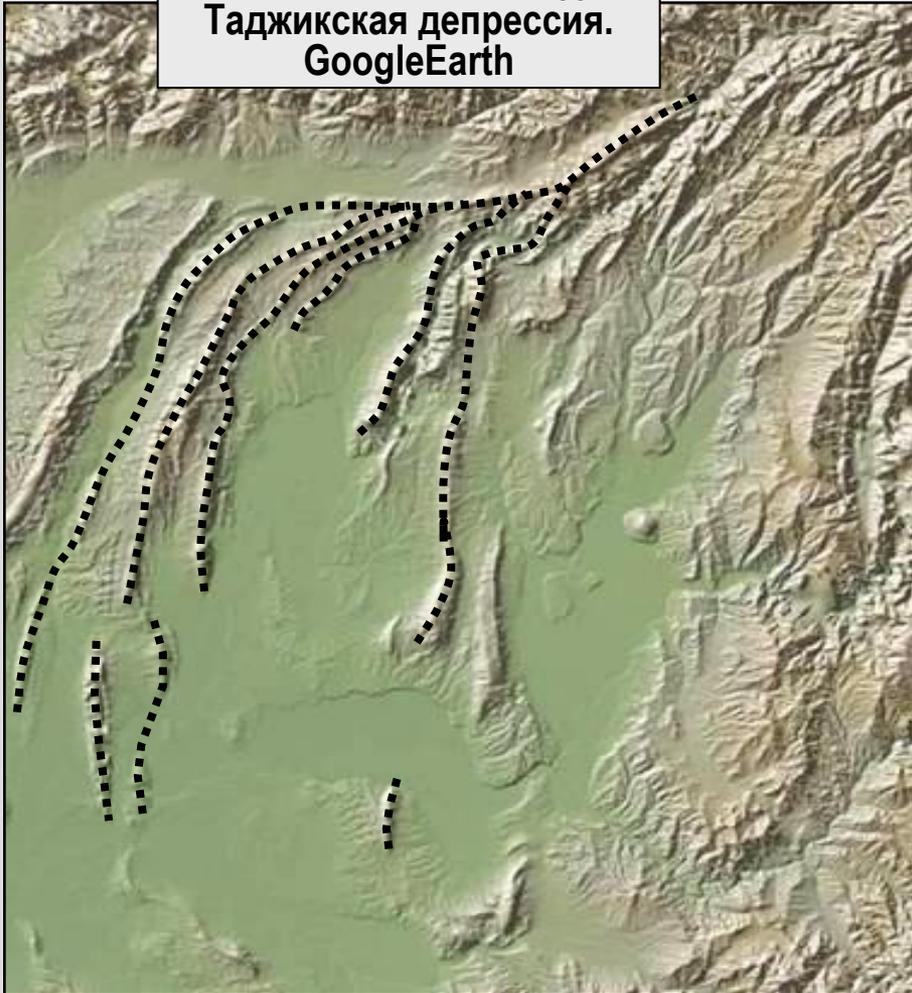
Сдвиги

Сдвиговые деформации по конкретным разрывам могут компенсироваться не только согласно модели Андерсона за счет перераспределения участков растяжения и сжатия в крыльях сдвига. При смещении жестких блоков компенсация часто происходит на концах сдвигов, которые изгибаясь формируют пограничные структуры растяжения и сжатия – структуры "конского хвоста".

При этом на изгибах сдвигов блоки либо расходятся (**А**), либо сталкиваются (**Б**), а сдвиговые смещения компенсируются по серии расходящихся листрических сбросов (**А**) на попутных изгибах или надвигов (**Б**) на встречных изгибах. Структуры, морфологически подобные "конскому хвосту", имеют самые разные размеры: от мезомасштабных, картируемых в нескольких обнажениях, до крупных горных сооружений.

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

"Конский хвост" складок.
Таджикская депрессия.
GoogleEarth



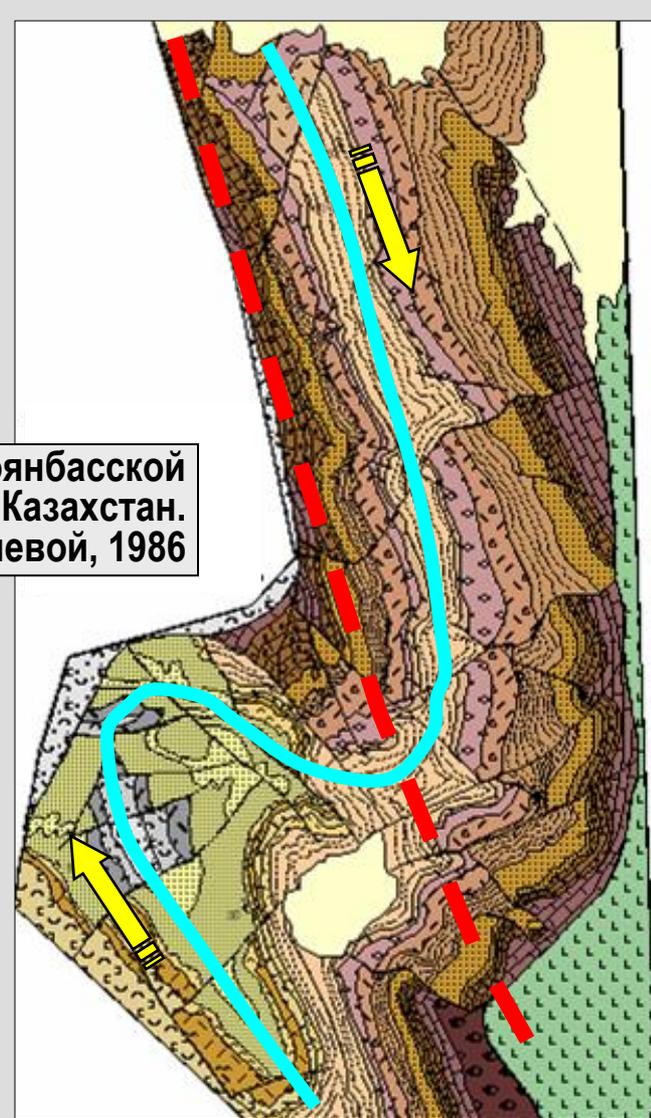
Структуры "конского хвоста" образуются не только за счет разрывов, но за счет распределения складок.

Структурный парагенез:

- генеральный правый сдвиг в фундаменте;
- сопряженные правые и левые сбросо-сдвиги;
- складка с S-образно изогнутой осевой поверхностью;
- дисгармоничные складки некомпетентных слоёв на участке изгиба осевой поверхности.

Геологическая карта Коянбасской синклинали. Ц. Казахстан.
По И.А. Кошелевой, 1986

Правокулисные трещины отрыва и сколы Риделя на левом сдвиге, выполненные кальцитом, сопряженные с присдвиговыми складками. Ю. Урал



Структурный парагенез:

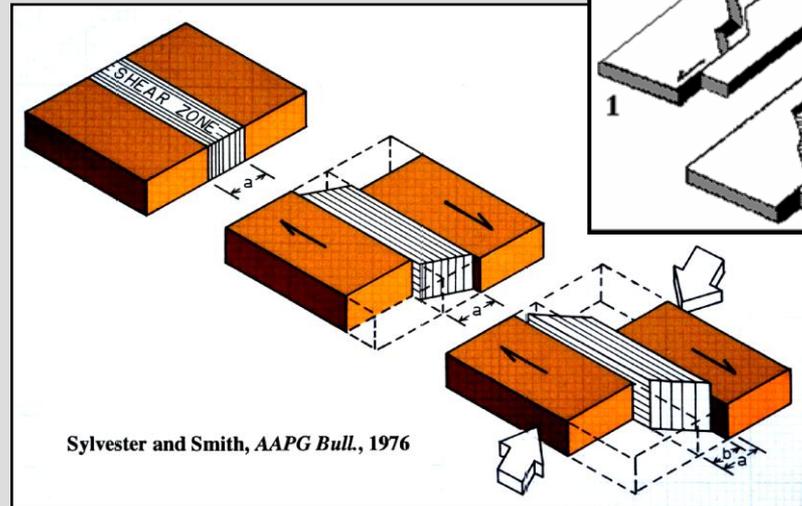
- дисгармоничные складки;
- сколы Риделя;
- отрывы Риделя

Структурные парагенезы обстановок транспрессии и транстенсии

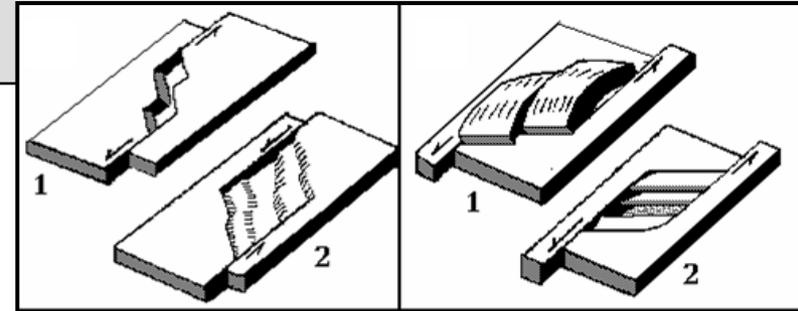
Понятие "**транспрессия**" и симметричное ему понятие "**транстенсия**" были введены **В.Б. Харландом** в 1971 г.



В.Б. Харланд

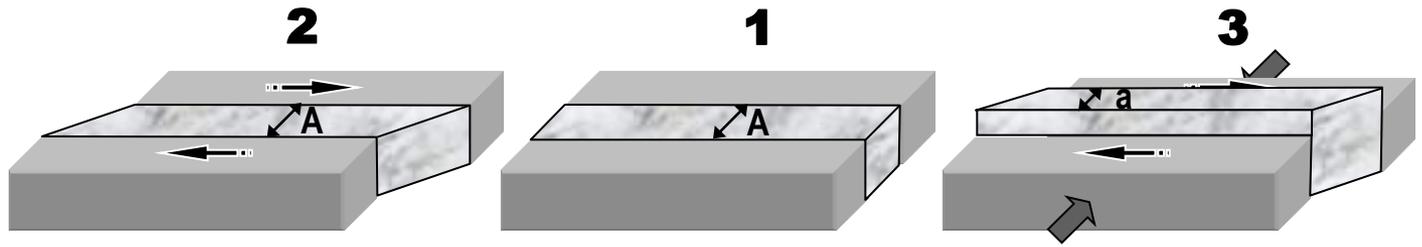


Sylvester and Smith, AAPG Bull., 1976

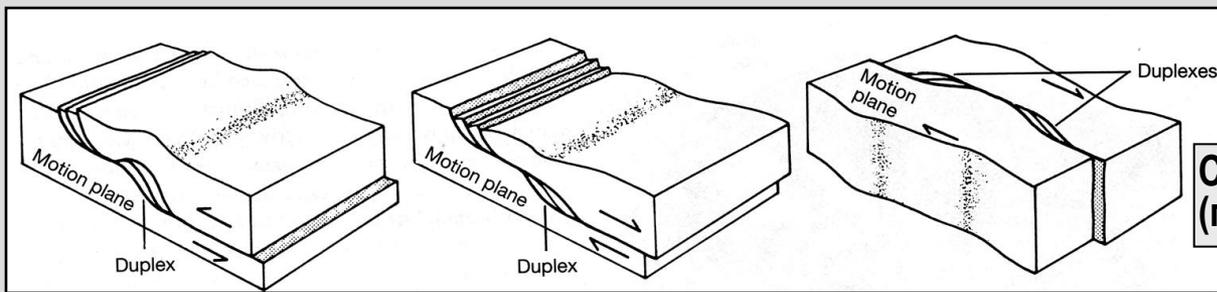


Сандерсон и Марчини в 1984 году смоделировали **транспрессию** как деформацию, включающую сдвиг, сопровождаемый укорочением поперек плоскости разлома и вертикальным удлинением вдоль этой плоскости, т.е. как комбинацию механически *чистого* и *простого* сдвига.

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.



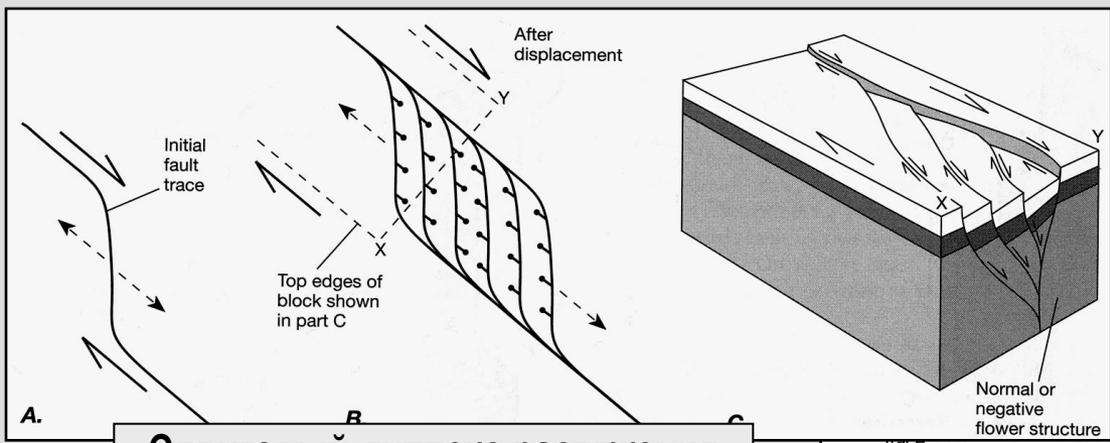
Схемы строения дуплексов (по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)



Найджел Вудкок

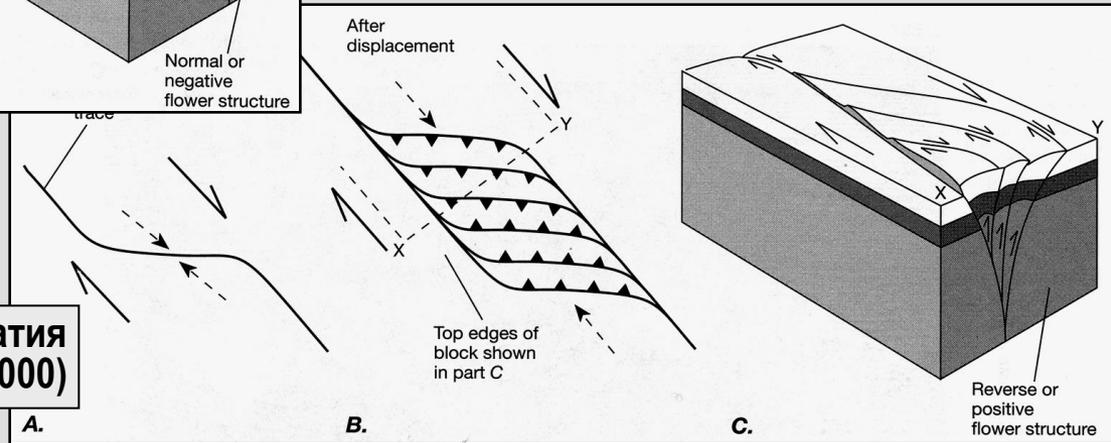


В терминологии Н. Вудкока [Woodcock, Fisher, 1986] присдвиговые **транстенсивные** и **транспрессивные** структурные ассоциации называются соответственно **сдвиговыми дуплексами растяжения** и **сжатия**.



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

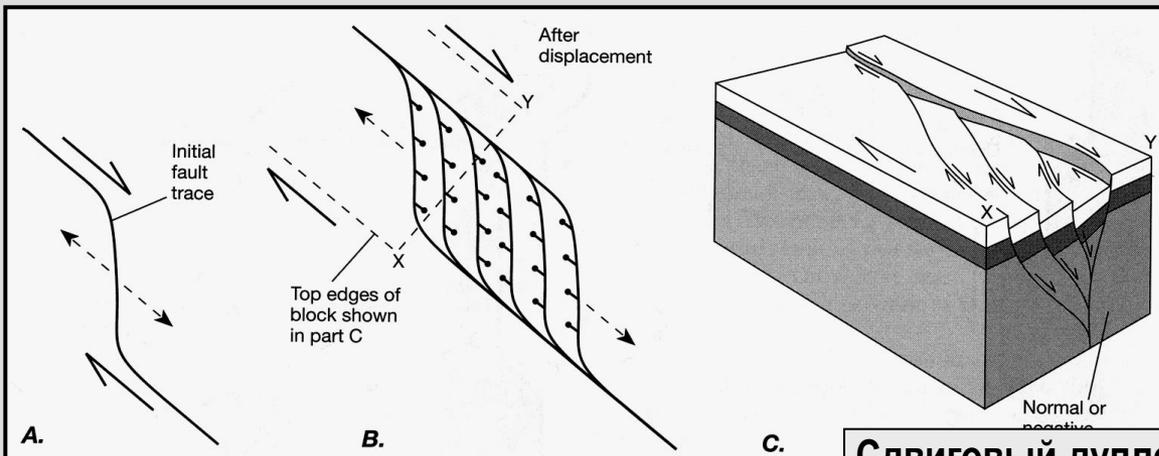
Сдвиговой дуплекс сжатия (по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000)



A.

B.

C.



Структурный парагенез:

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

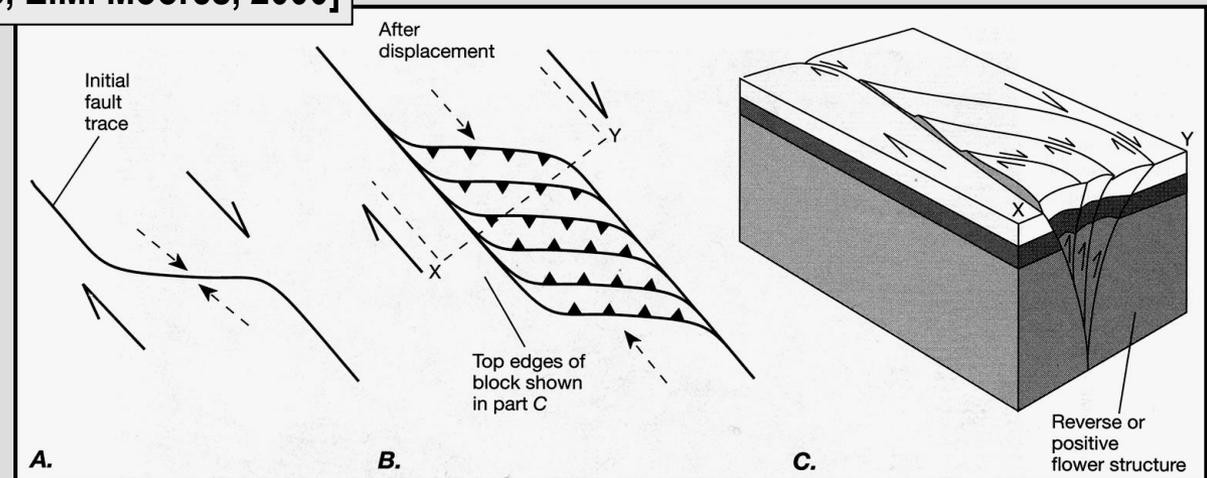
Сдвиговый дуплекс растяжения
[по R.J. Twiss, E.M. Moores, 2000]

NB!
Сбросы в сдвиговых дуплексах растяжения
выполаживаются вниз,
а надвиги в сдвиговых дуплексах сжатия
выполаживаются вверх!

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

Структурный парагенез:

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

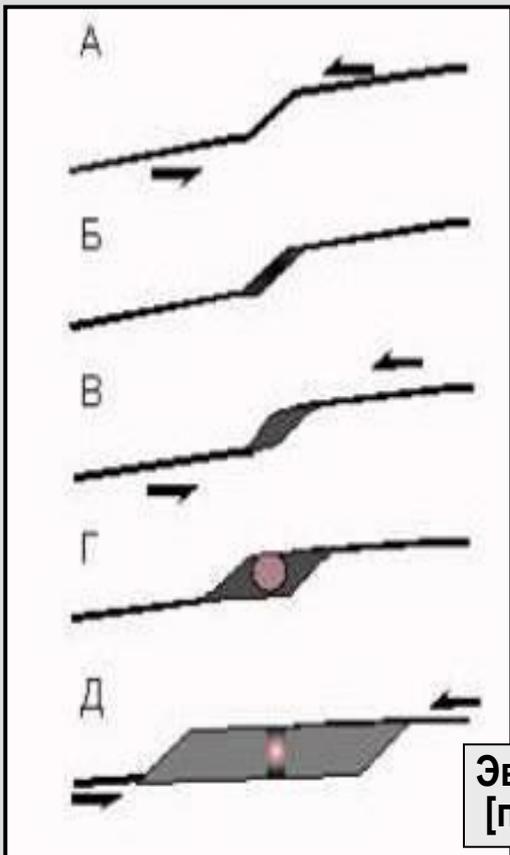


Зоны присдвигового растяжения

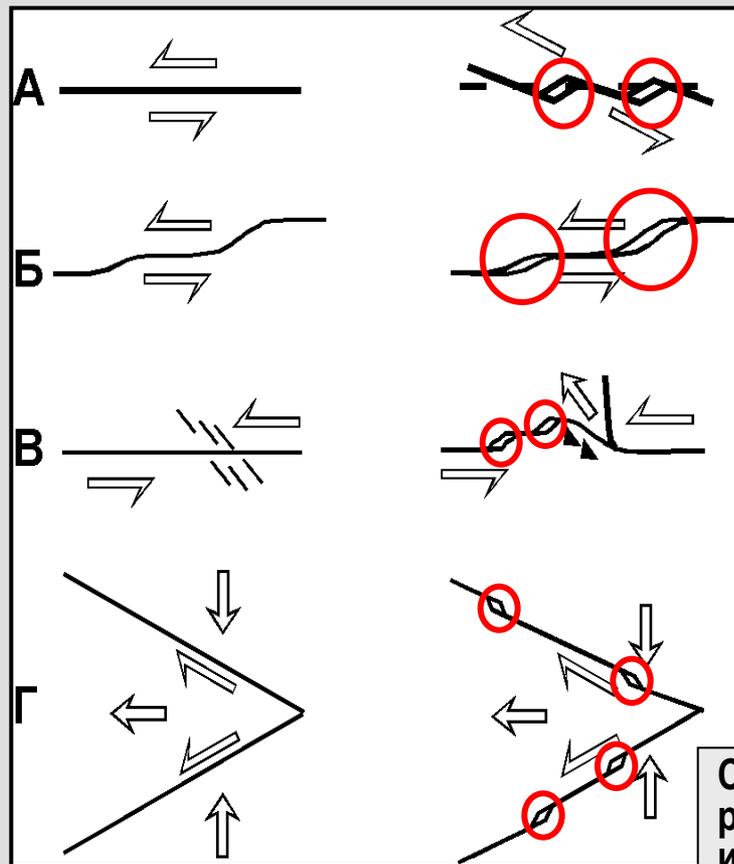
Термин "*структуры присдвигового растяжения*" обычно ассоциируется с поверхностными впадинами, которые Бёрчфиллом и Стюартом были названы *pull-apart basins* [Burchfiel, Stewart, 1966].



Б. Кларк Бёрчфил



Эволюция пулл-апартов [по Манну, 1983]



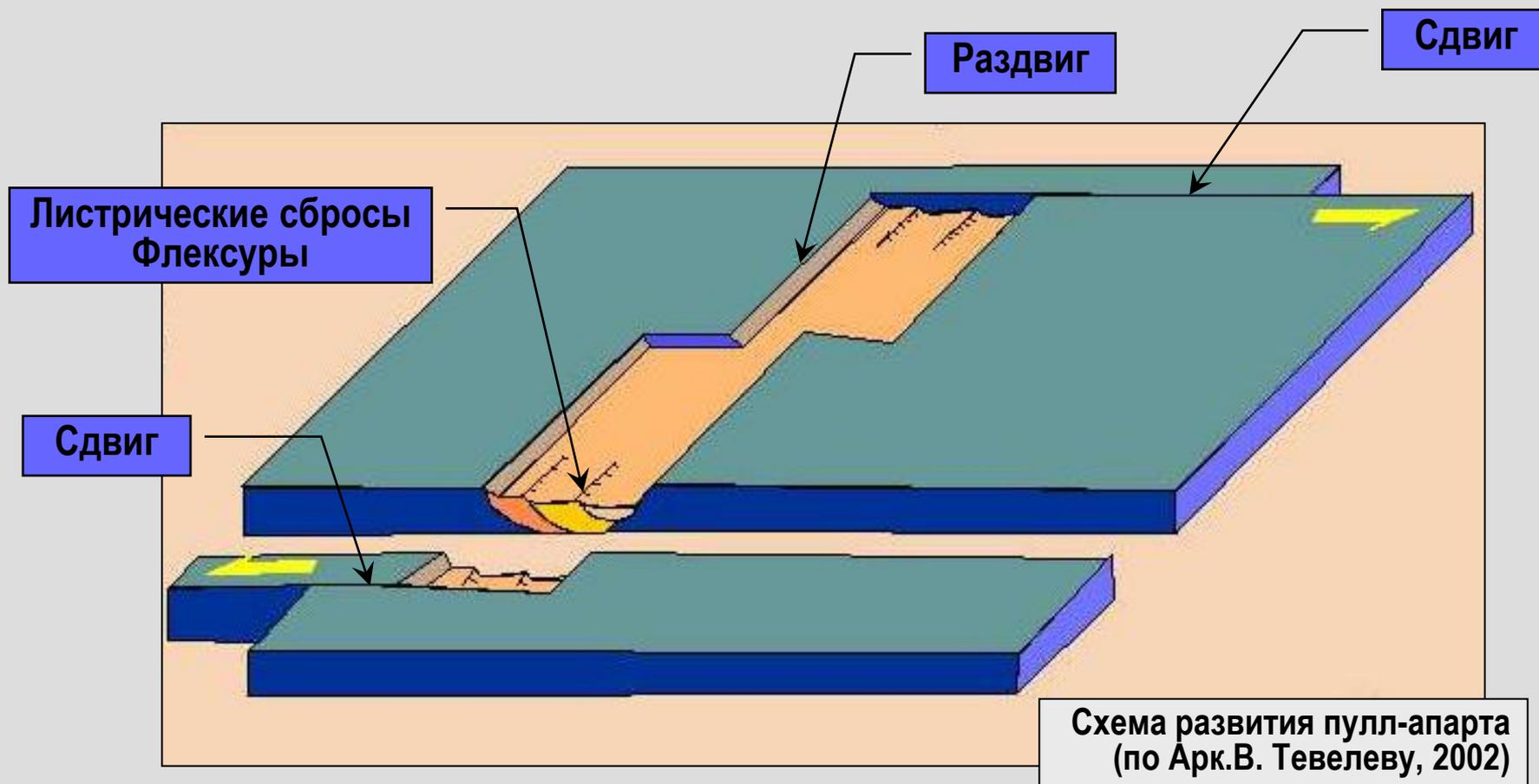
Схемы образования разломных изгибов, инициирующих формирование пулл-апартов [по Манну, 1983]



Пол Манн

Структурный парагенез:

- сдвиги;
- раздвиги;
- листрические сбросы (сбросы, выполаживающие с глубиной до пологих);
- флексуры



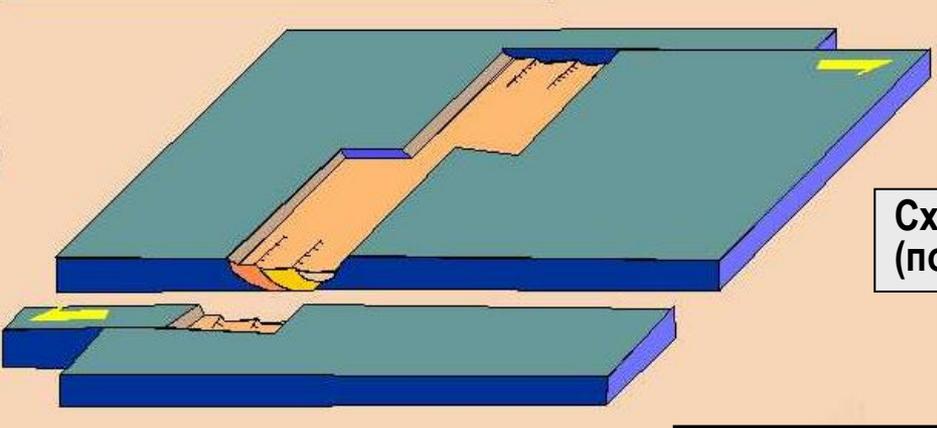
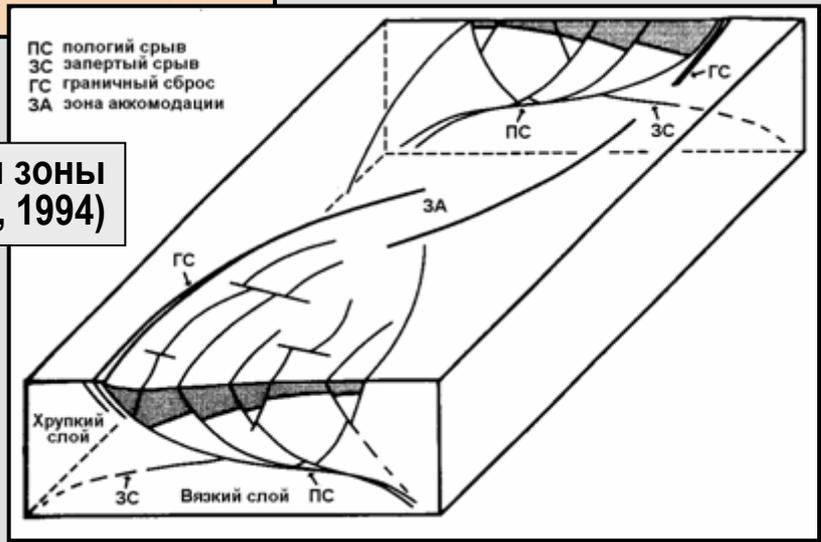
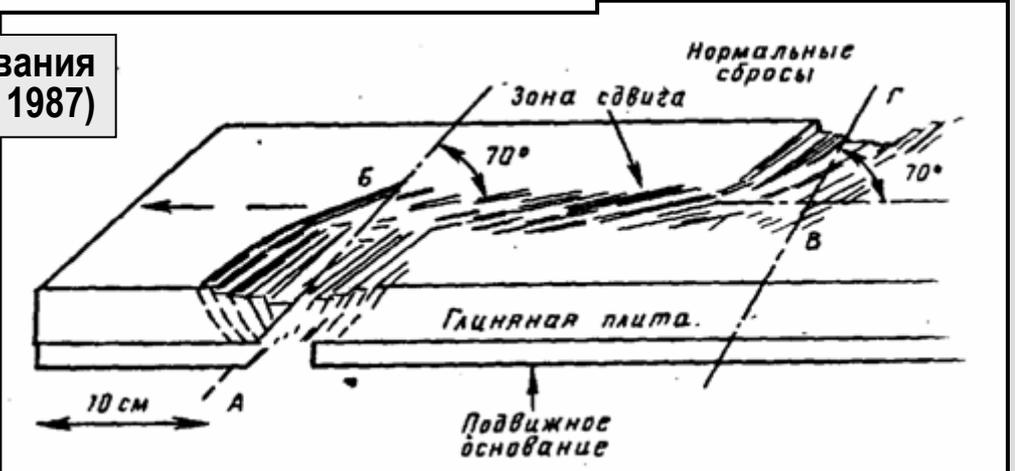


Схема развития пулл-апарта
(по Арк.В. Тевелеву, 2002)

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



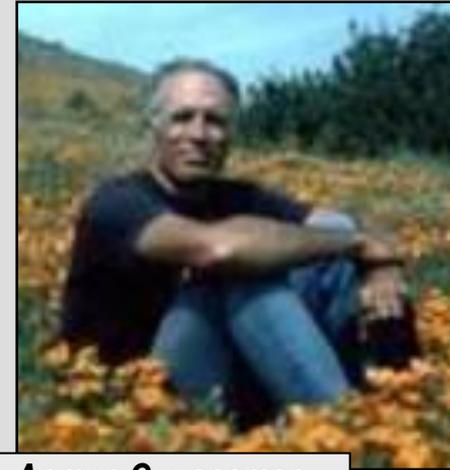
Физическая модель формирования
зоны растяжения (по Дубинину, 1987)



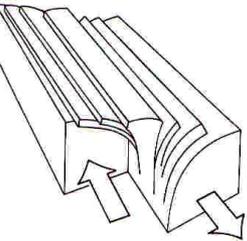
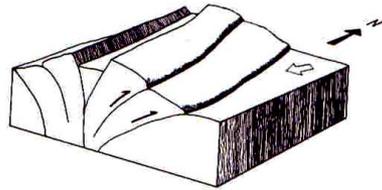
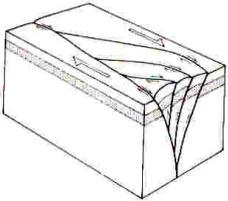
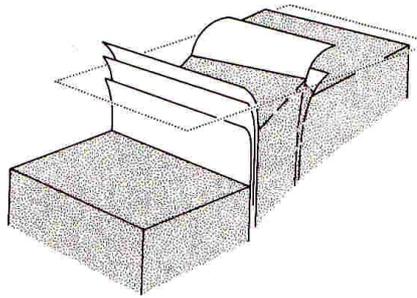
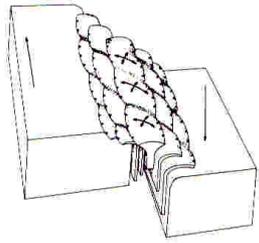
Структурные парагенезы зон растяжения устойчиво повторяются в различных ситуациях и при моделировании

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)

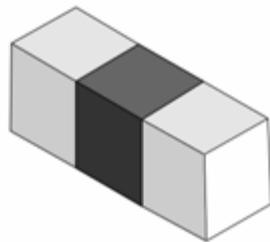


При транспрессии деформации могут возникать разными способами.

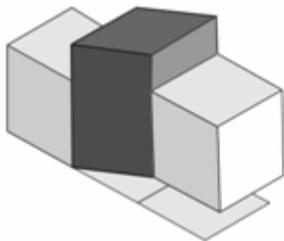
Соответственно формируются и разные структурные парагенезы:

- 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**)

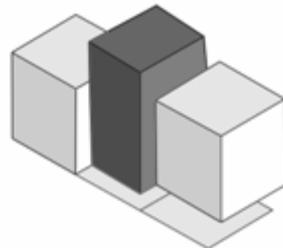
(а) Исходное состояние



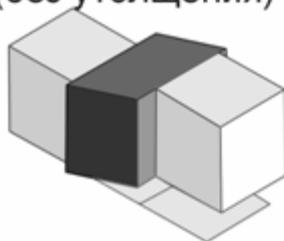
(б) Однородная транспрессия



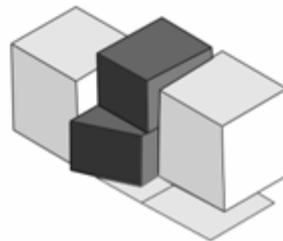
(в) Простой сдвиг со сжатием



(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



Титанитовые жилы.
Южный Урал

Тектонофации. Определения

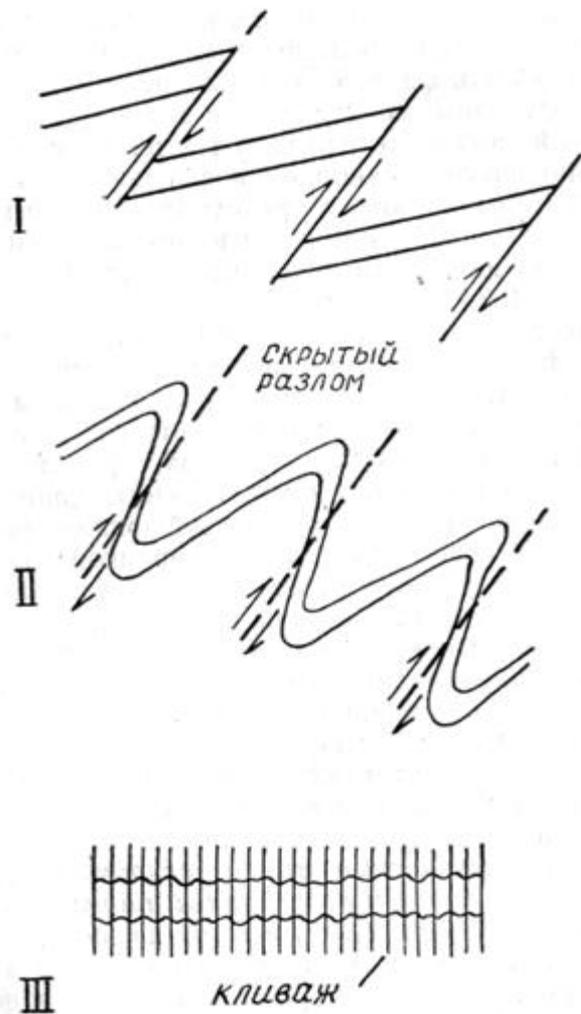
- **Тектонофация** — группа слоев, отличающаяся от смежных одновозрастных слоев по тектоническим особенностям (общий термин американских геологов)
- **Тектонофация** — часть геологического тела (толщи или пачки слоев, интрузива и т.д.), отличающаяся от другой части по степени деформаций

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

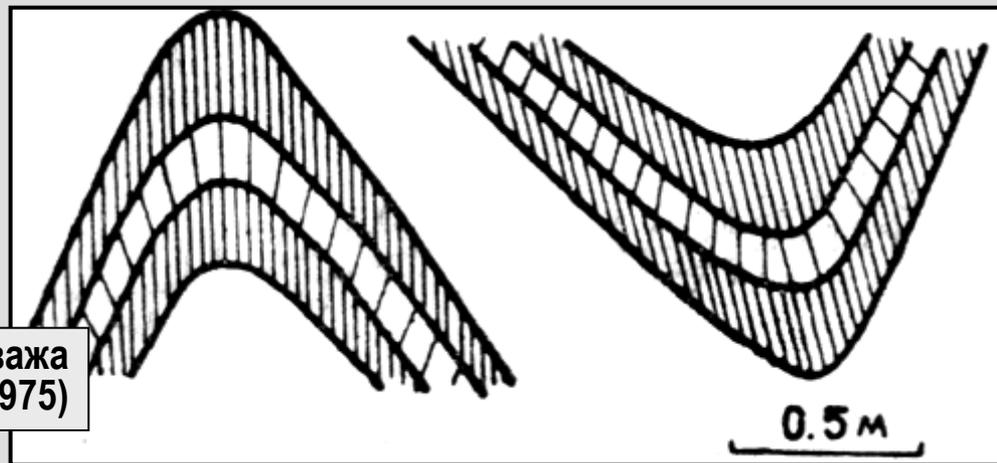
Формы проявления главной структурной триады во времени:

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



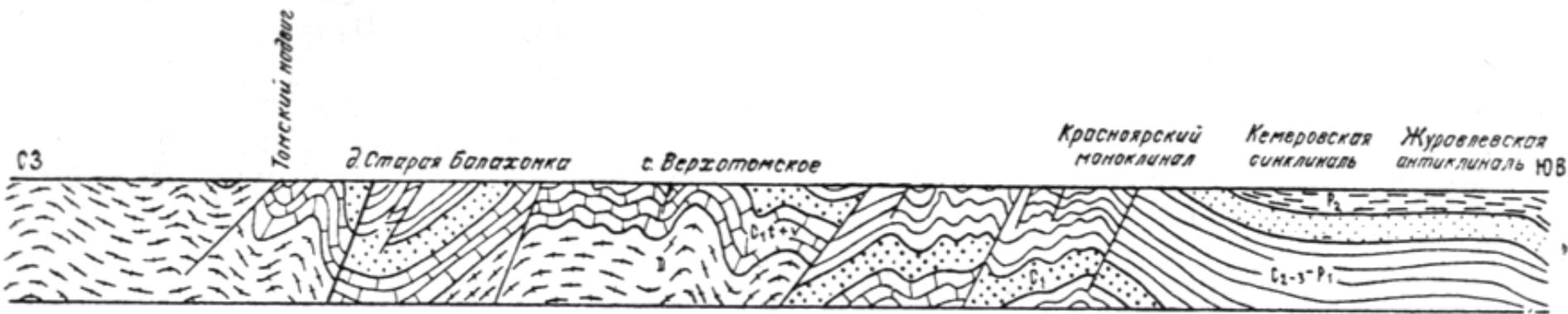
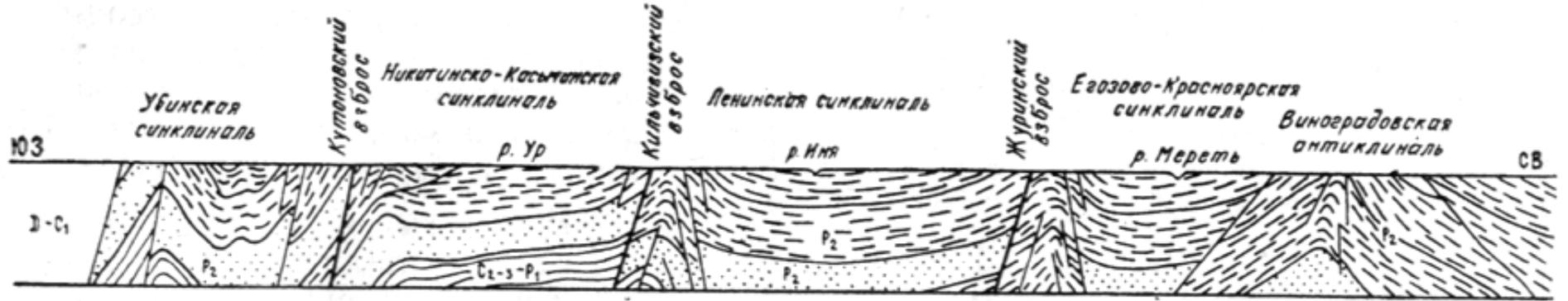
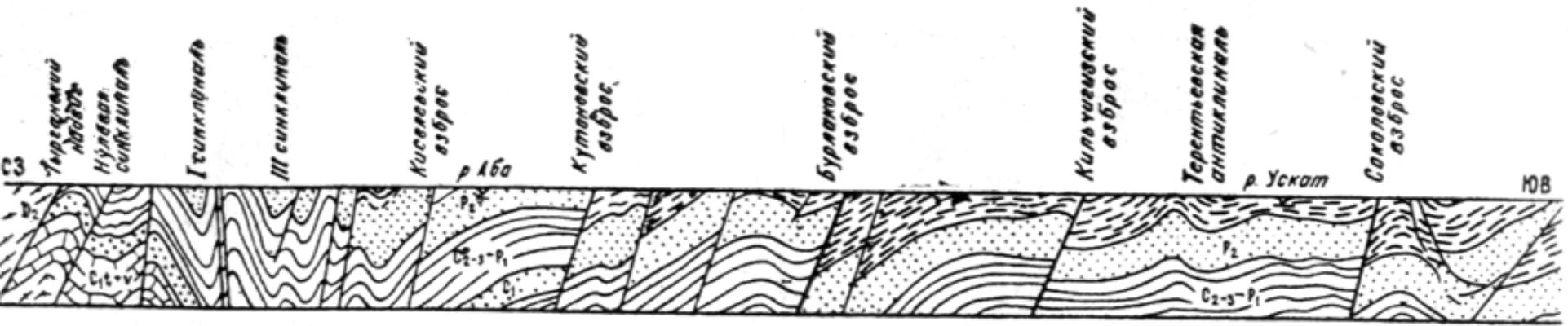
Проявления ГСТ
(Е.И. Паталаха, 1975)

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)

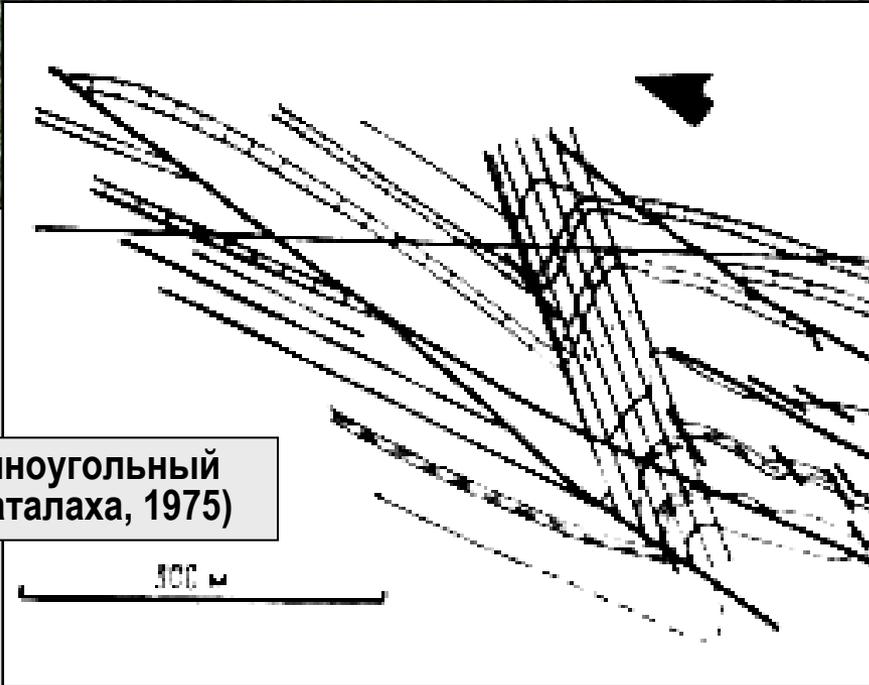
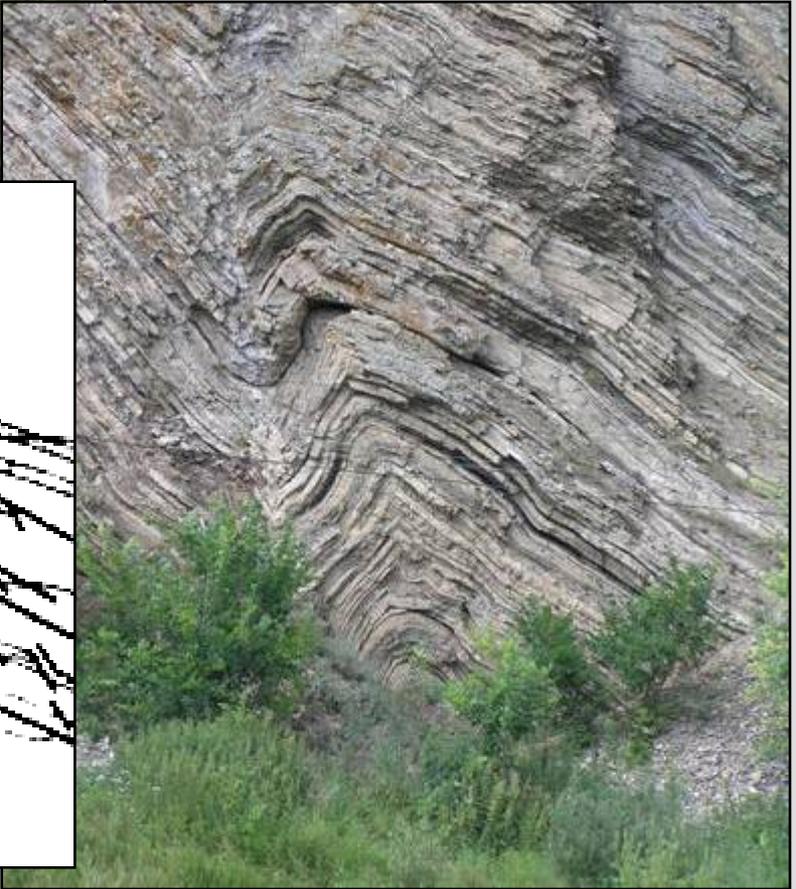
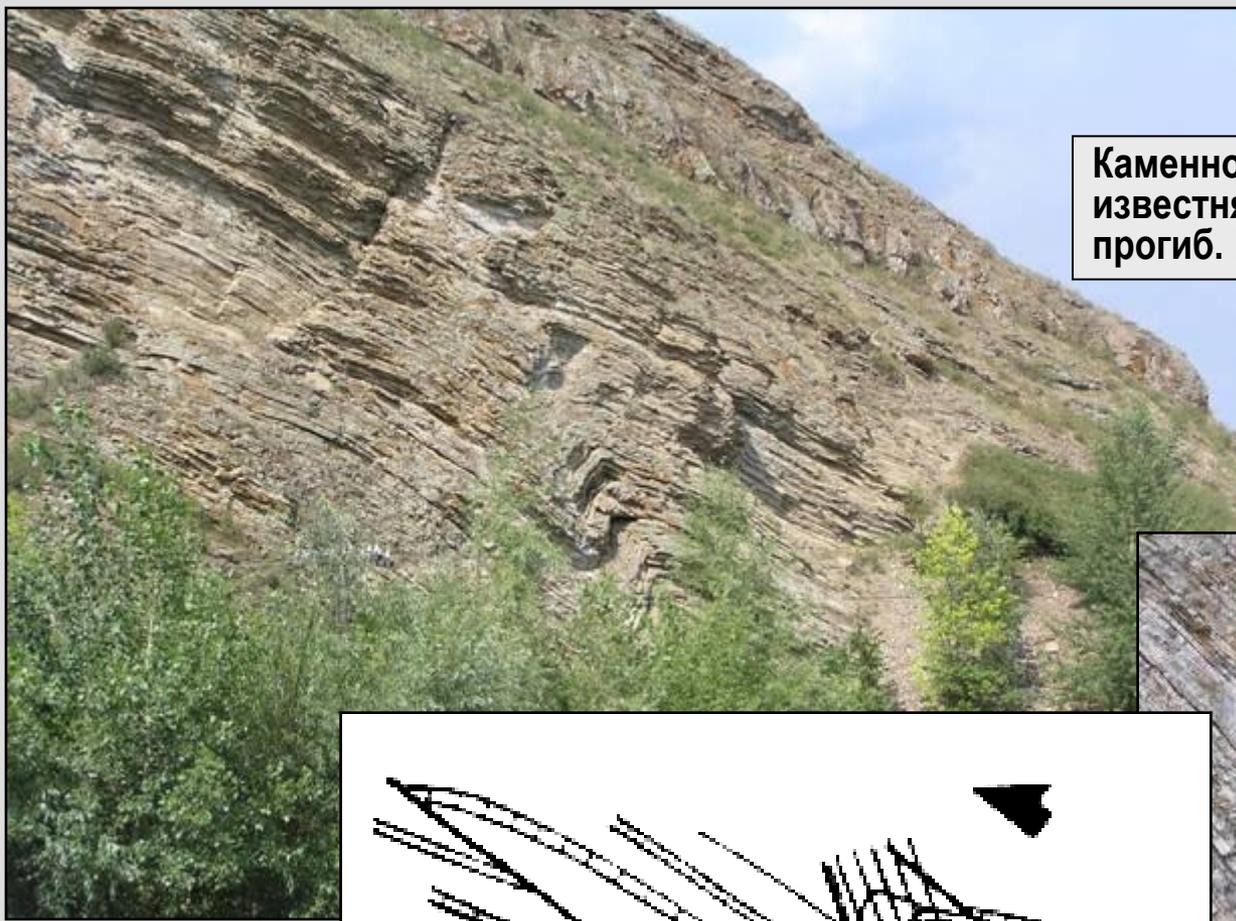
Каменноугольные слоистые известняки. Предуральский прогиб. Ю. Урал



← Зона складок → ← Зона моноклинали →



Каменноугольные слоистые известняки. Предуральский прогиб. Ю. Урал



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

500 м

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), птигматитовые 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 плойчатость

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 мегабречкиевая 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