

# Структурная геология

## Разрывные нарушения

Если деформирующие напряжения превышают предел пластичности, наступает хрупкое разрушение горных пород - возникают разрывы.

Разрывы условно подразделяются на:

- разрывы без смещения (трещины);
- разрывы со смещением (разрывные нарушения).

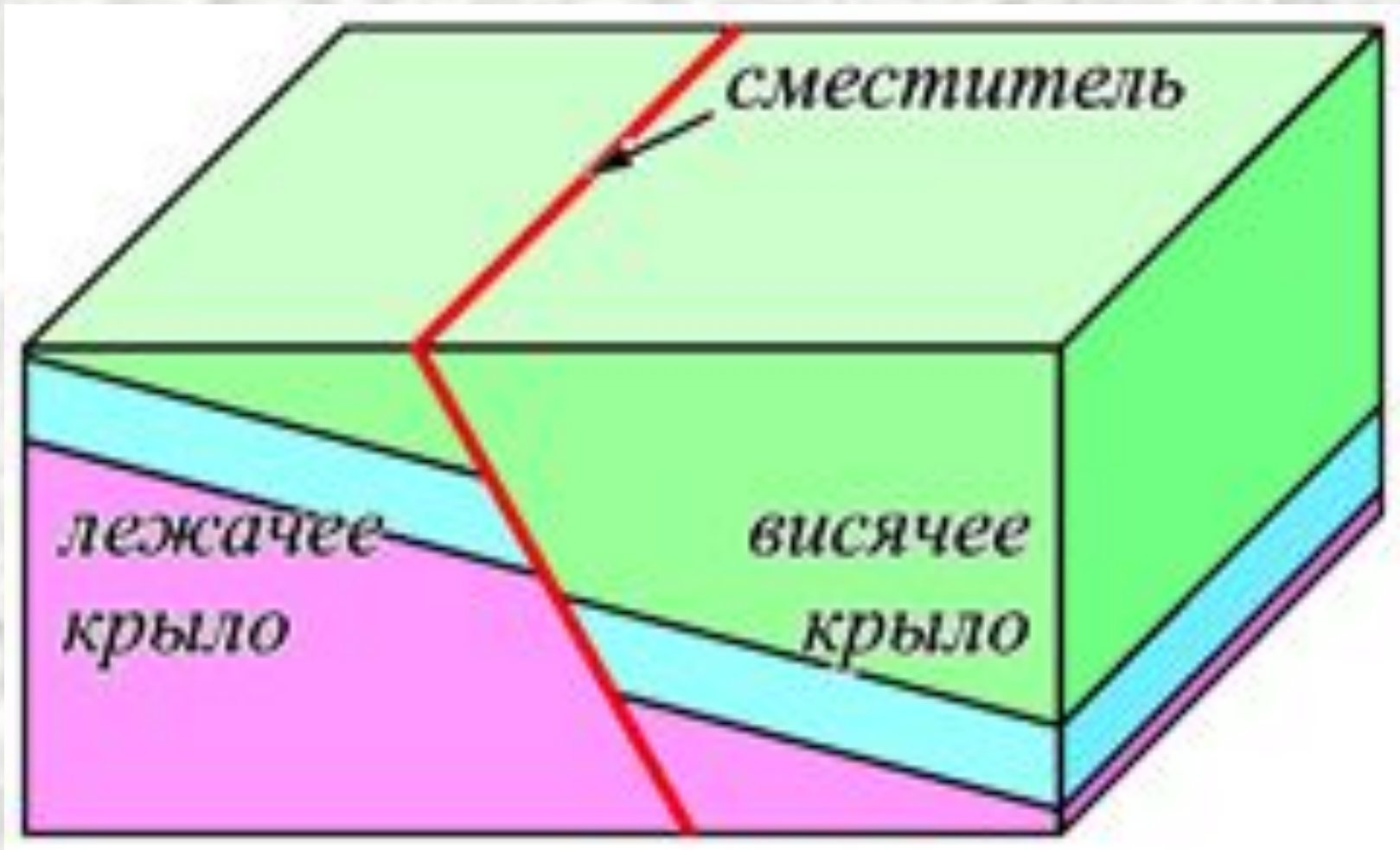
# Сбросы и взбросы

**Сбросы и взбросы** - разрывные нарушения (разломы) **со смещением по падению, в вертикальном направлении.**

Трещина, по которой происходило смещение пород - **сместитель** - разделяет два блока, сместившихся друг относительно друга и именуемых **крыльями.**

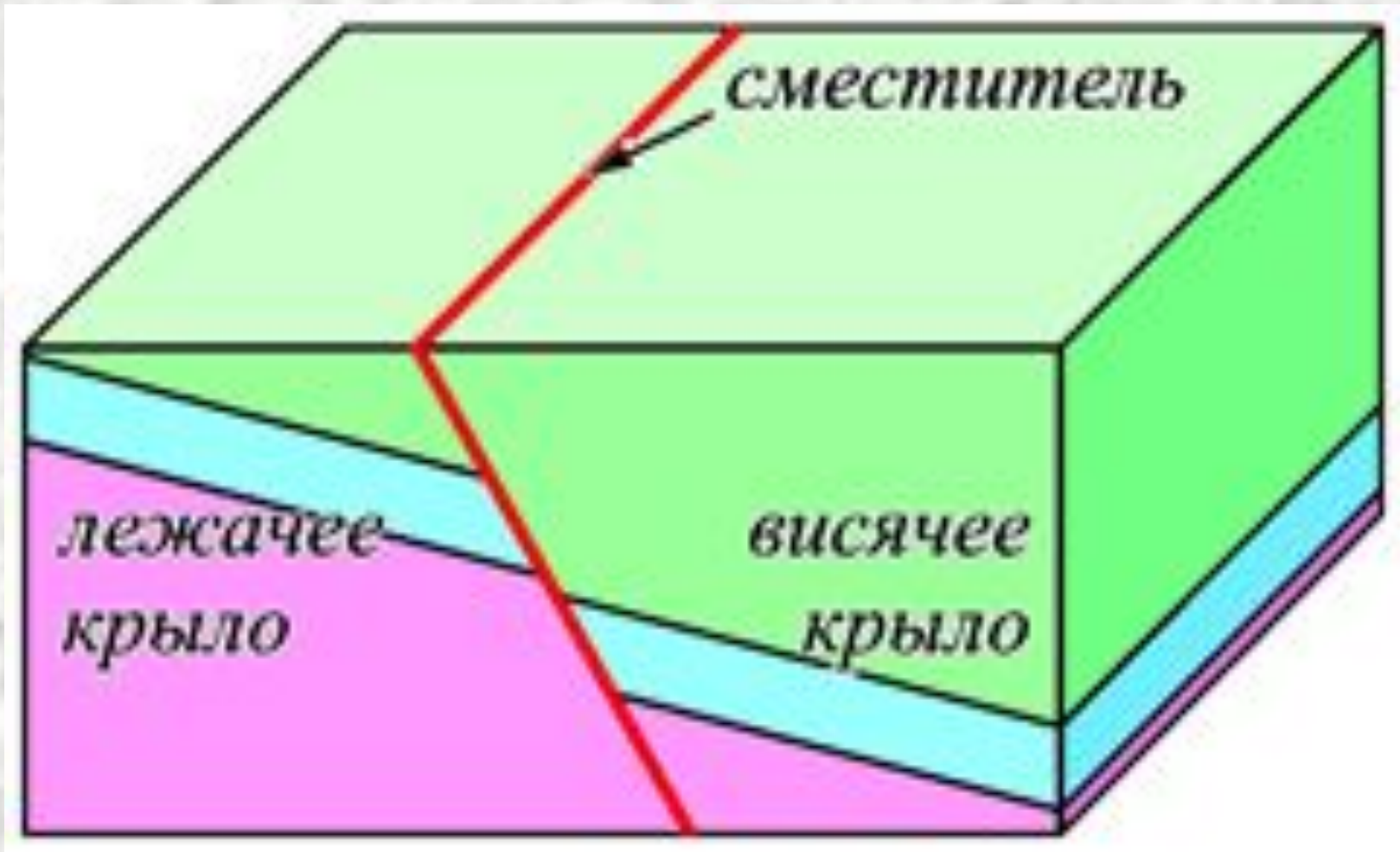
В случае, **когда сместитель наклонный**, то крыло, которое расположено над сместителем, называется **висячим**, а то, которое расположено под сместителем - **лежачим.**

# Сброс



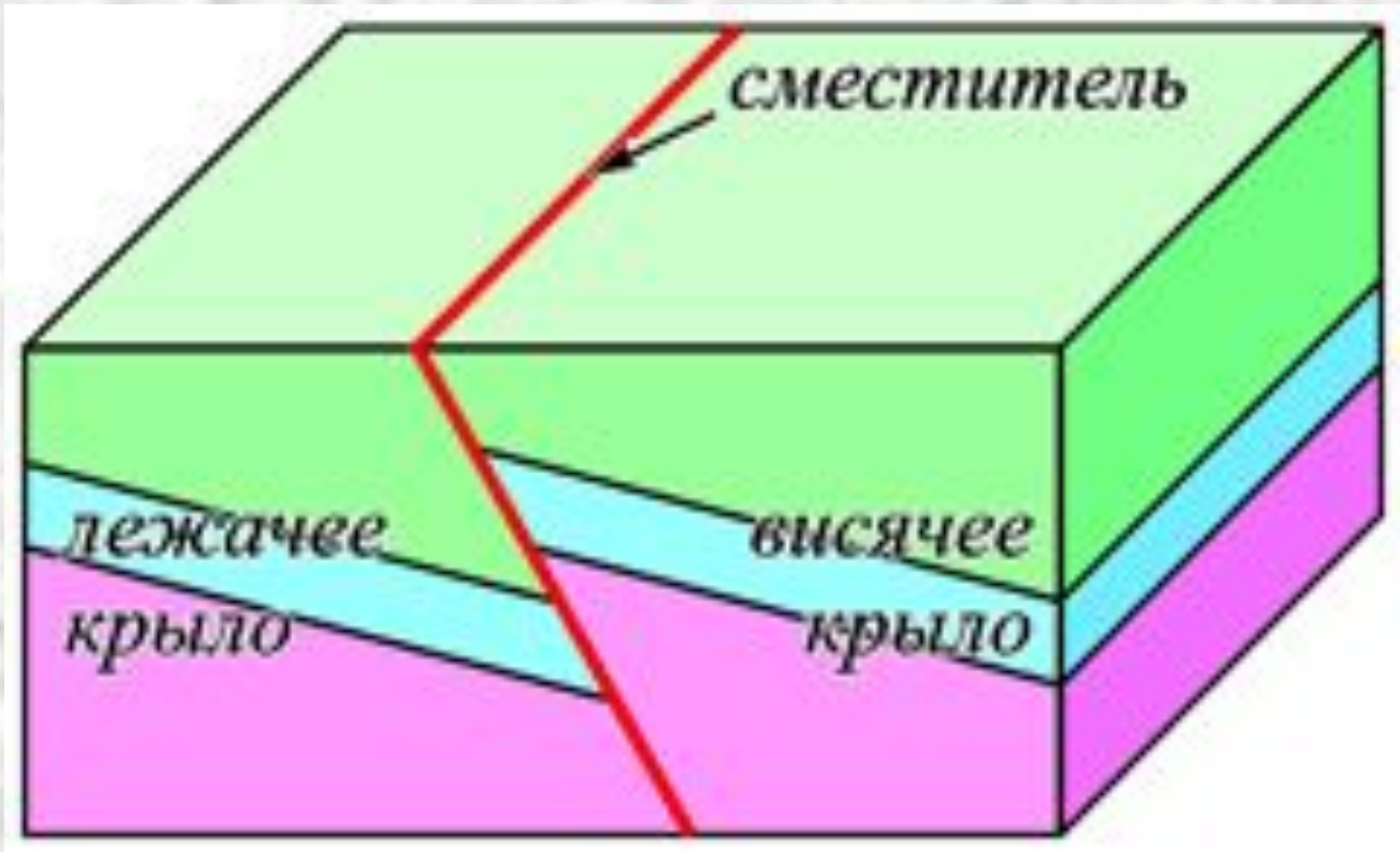
**Сброс** - разрывное нарушение, **висячее крыло** которого **опущено относительно лежащего**.

# Сброс



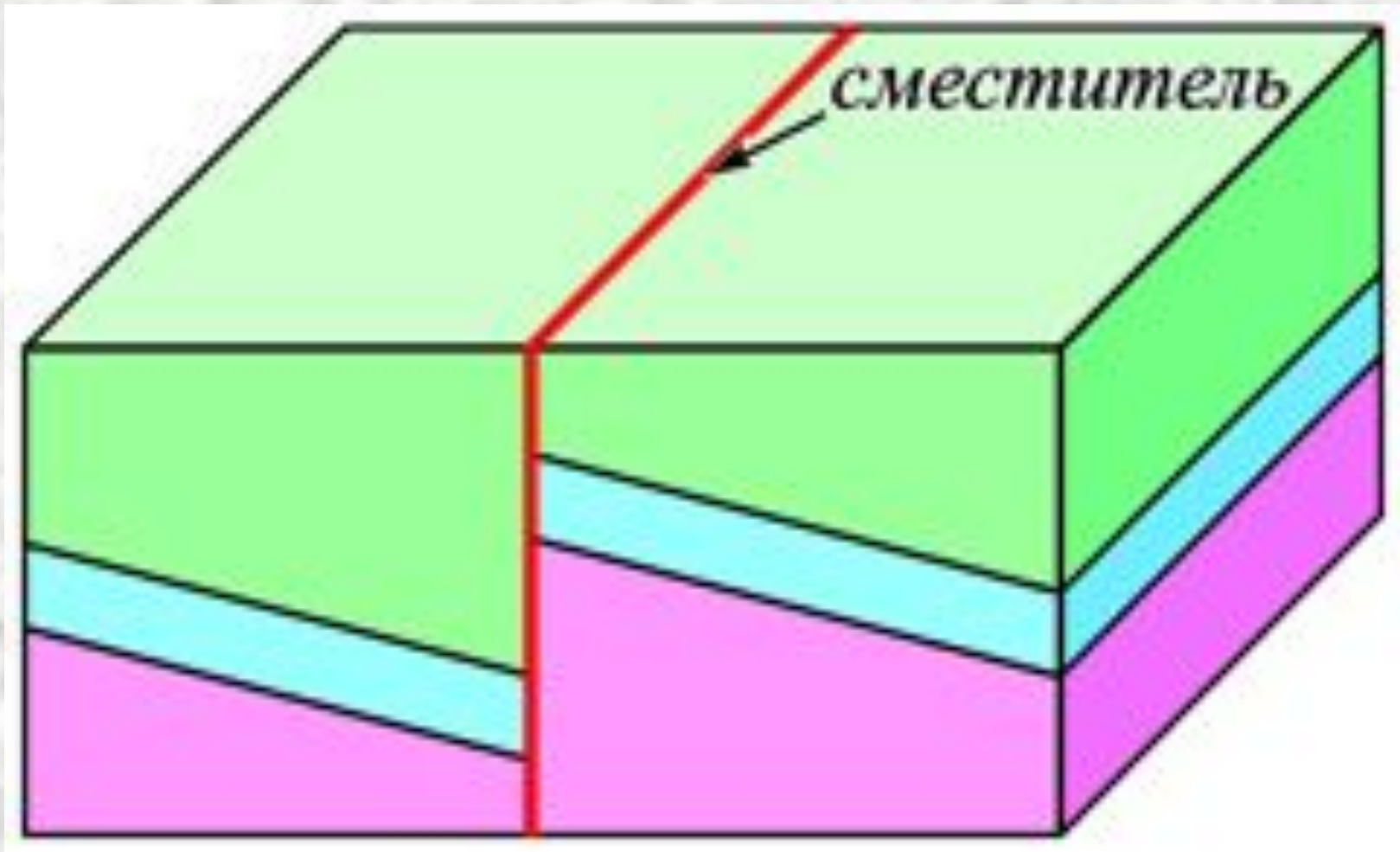
Иными словами, **сброс** — разрывное нарушение, **сместитель которого падает в сторону относительно опущенного крыла**

# Взброс



**Взброс** — разрывное нарушение, **сместитель** которого **падает в сторону относительно приподнятого крыла**

# Вертикальный сброс



Если **сместитель вертикальный** – нет ни висячего, ни лежащего крыльев, **разлом именуется сбросом**.

Речь идет именно об **относительном** перемещении крыльев, так как чаще всего истинное, абсолютное перемещение определить затруднительно или вообще невозможно.

Мы наблюдаем только результат: смещение одного крыла относительно другого.

Предположение об истинном перемещении блоков возможно лишь на основе анализа истории геологического развития территории, да и то не всегда.



# Амплитуды сбросов и взбросов

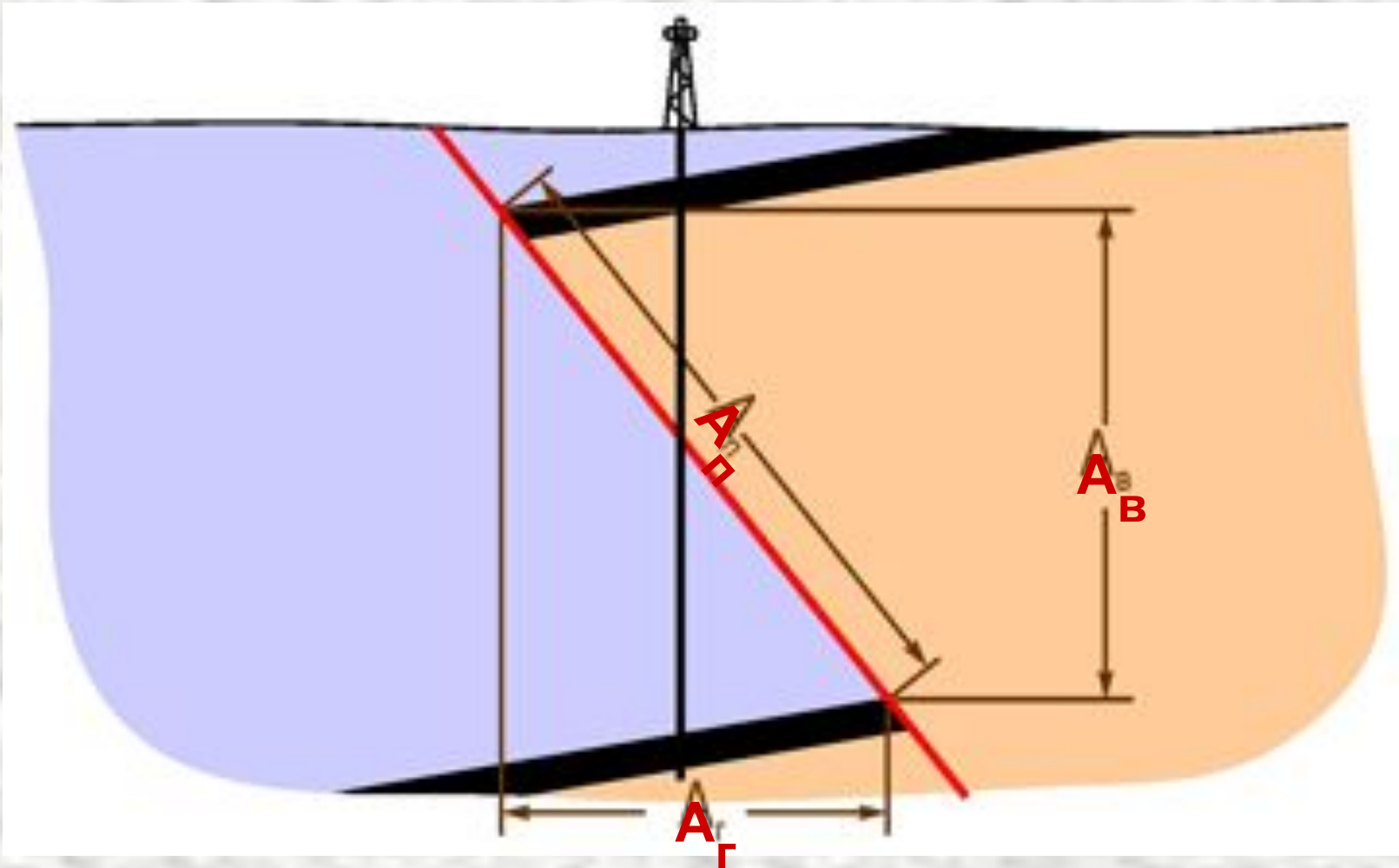
Расстояние, на которое сместилось одно крыло относительно другого, называется **амплитудой** сброса (взброса).

Различают:

- **полную** амплитуду –  $A_{\text{п}}$  (вдоль сместителя),
- **вертикальную** –  $A_{\text{в}}$  (в вертикальном направлении) и
- **горизонтальную** –  $A_{\text{г}}$  (в горизонтальном направлении).



# Амплитуды взброса



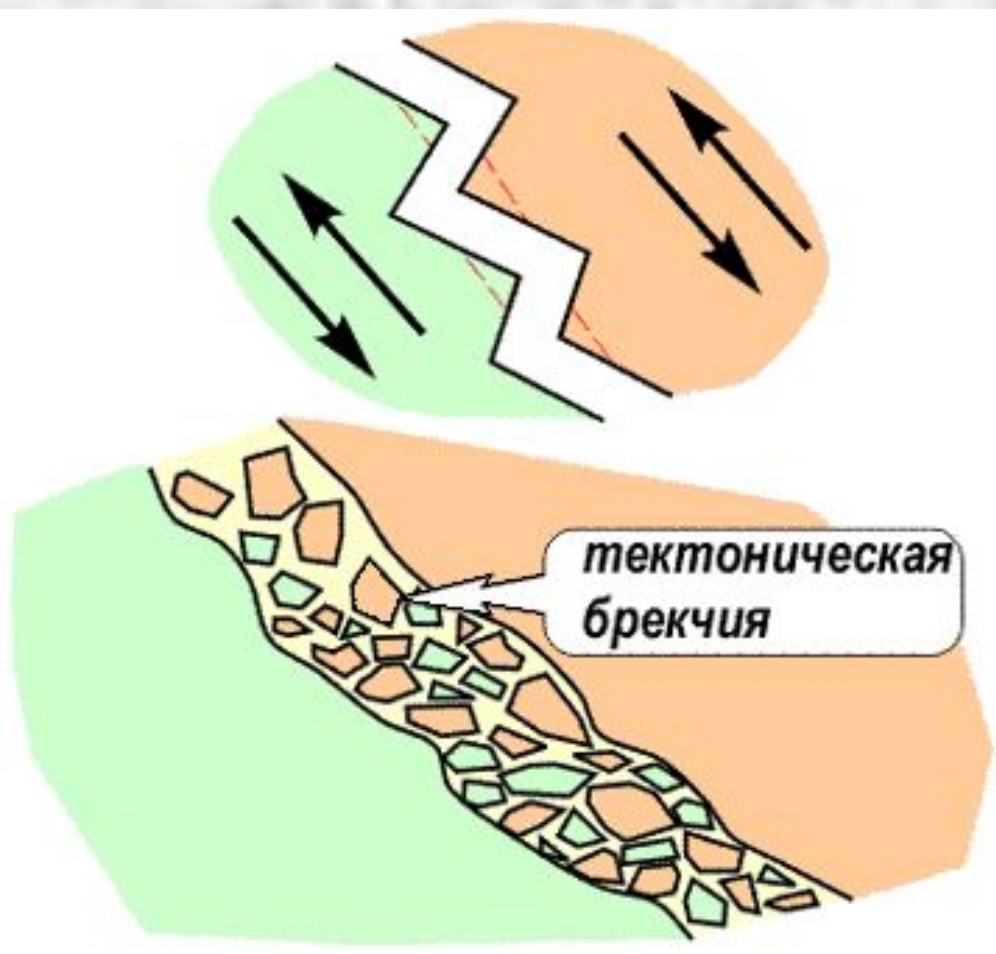
Горизонтальная амплитуда взброса называется также **перекрытием** - скважина, заданная над этим местом, дважды пересечет пласт.

# Особенности строения сместителей сбросов и взбросов

Сбросы и взбросы образуются при растяжении земной коры.

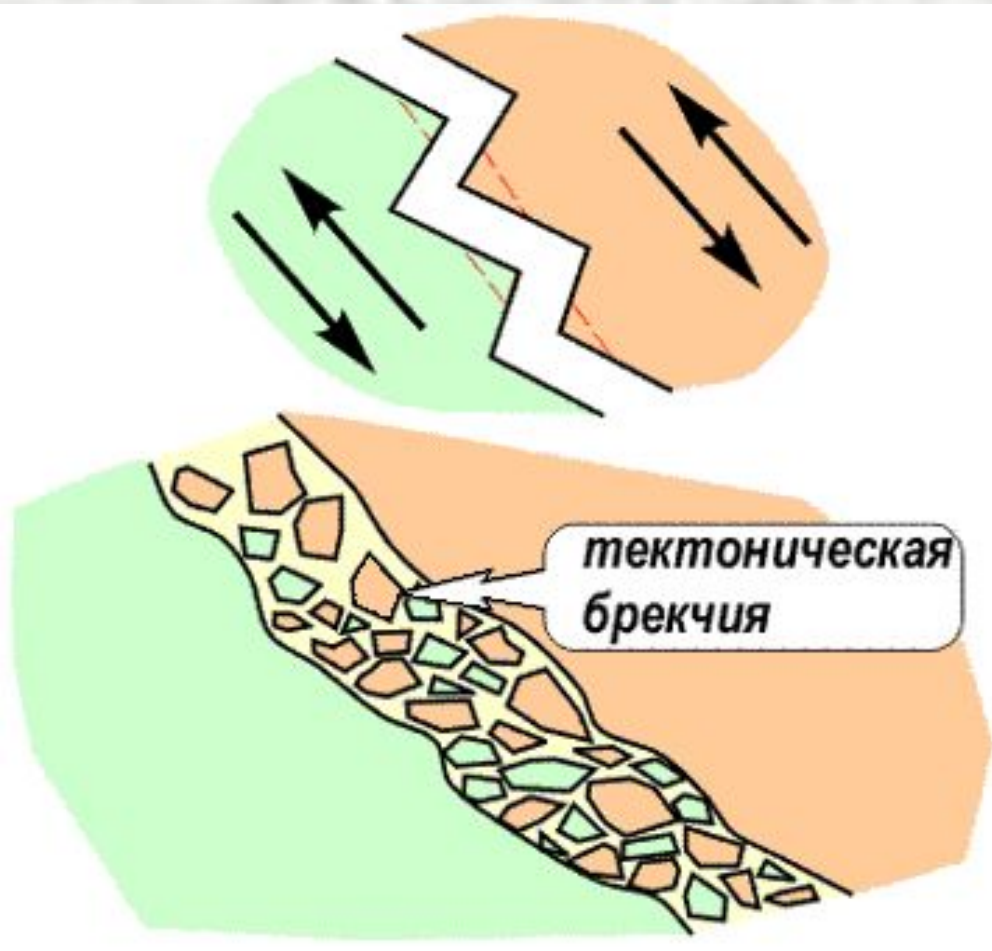
Первоначально возникают трещины отрыва, для которых характерны неровные стенки и наличие некоторого пространства между стенками.

# Особенности строения сместителей сбросов и взбросов



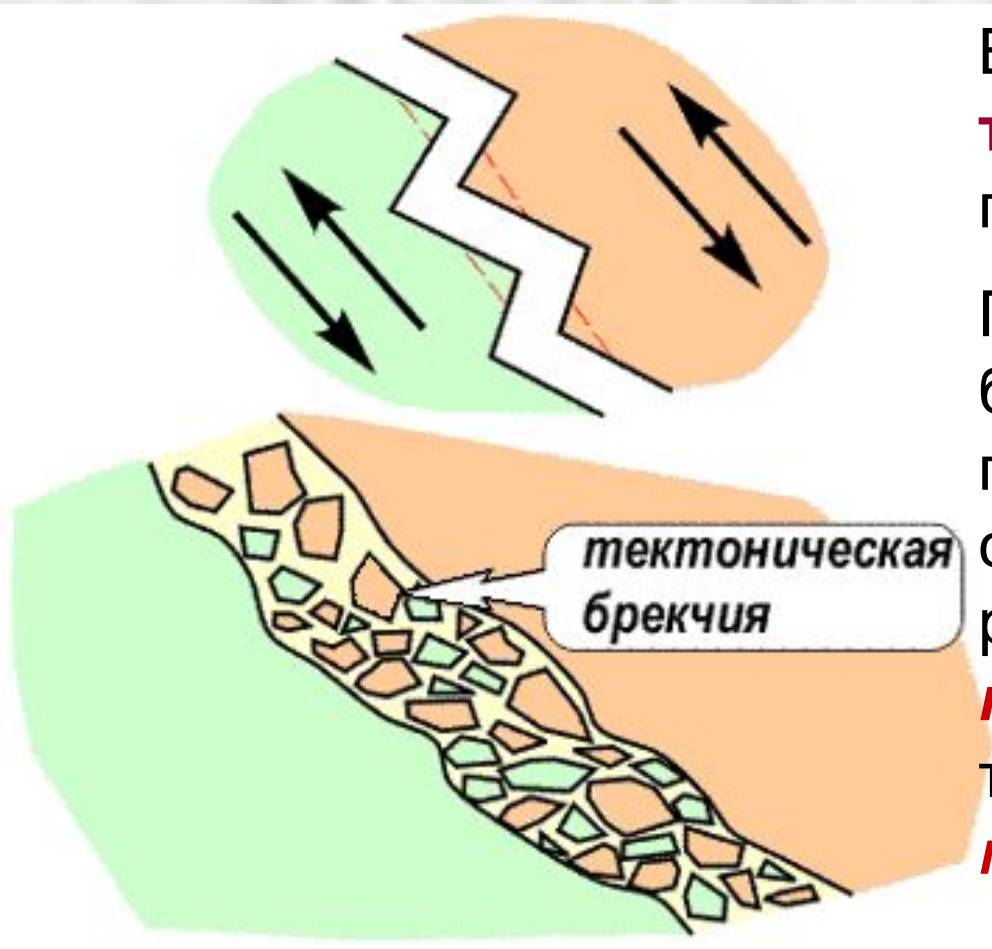
При смещении блоков неровности скалываются, а обломки заполняют промежутки между стенками трещины.

# Особенности строения сместителей сбросов и взбросов



Впоследствии **обломки цементируются** более мелкими продуктами истирания и минералами, отложившимися из гидротермальных растворов, часто с примесью рудных минералов.

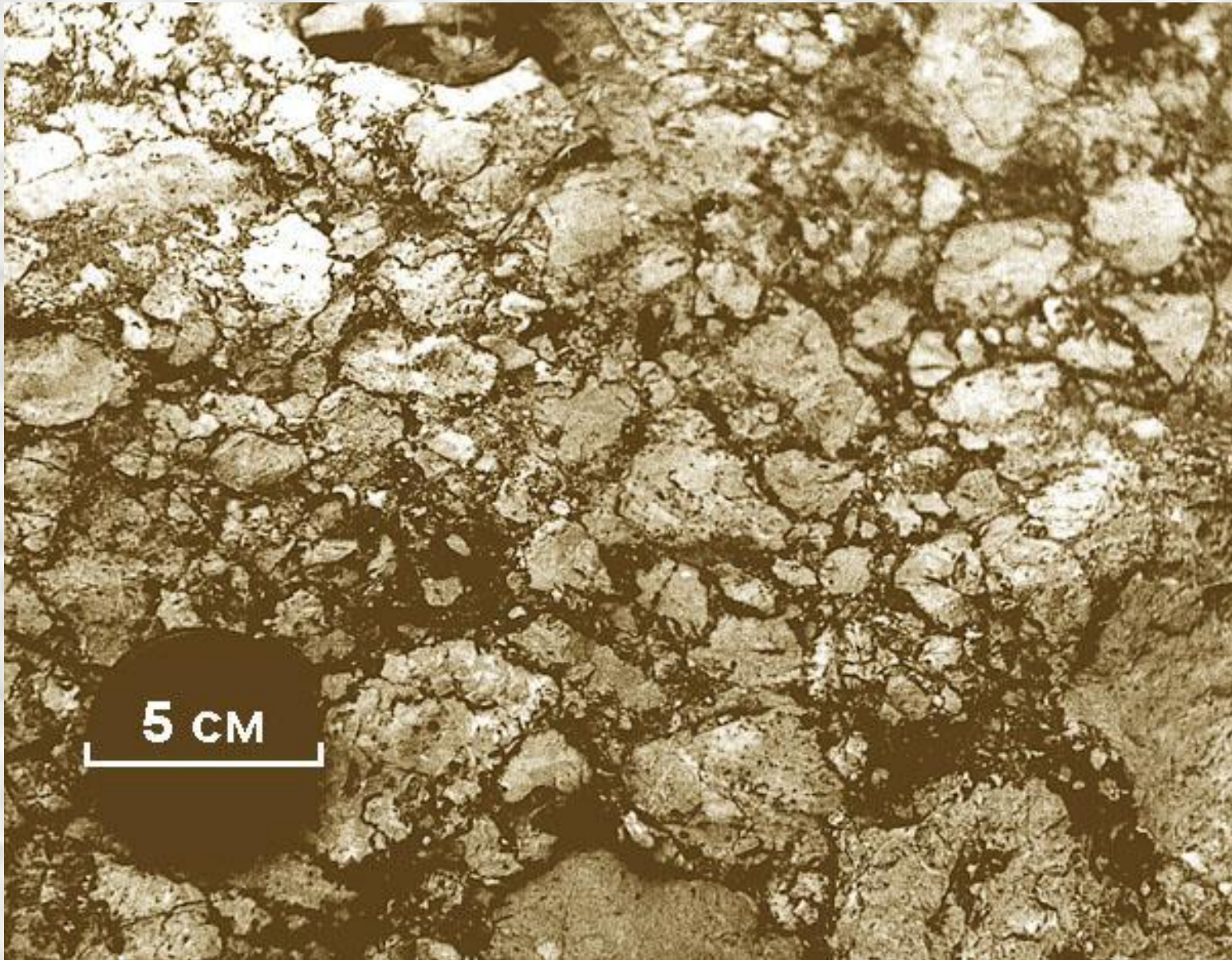
# Особенности строения сместителей сбросов и взбросов



В итоге получаются **тектонические брекчии**, потенциально **рудоносные**.

Помимо тектонических брекчий, могут присутствовать породы, состоящие из мелко раздробленных обломков - **катаклазиты**, а также из тонко истертого материала - **милониты**.

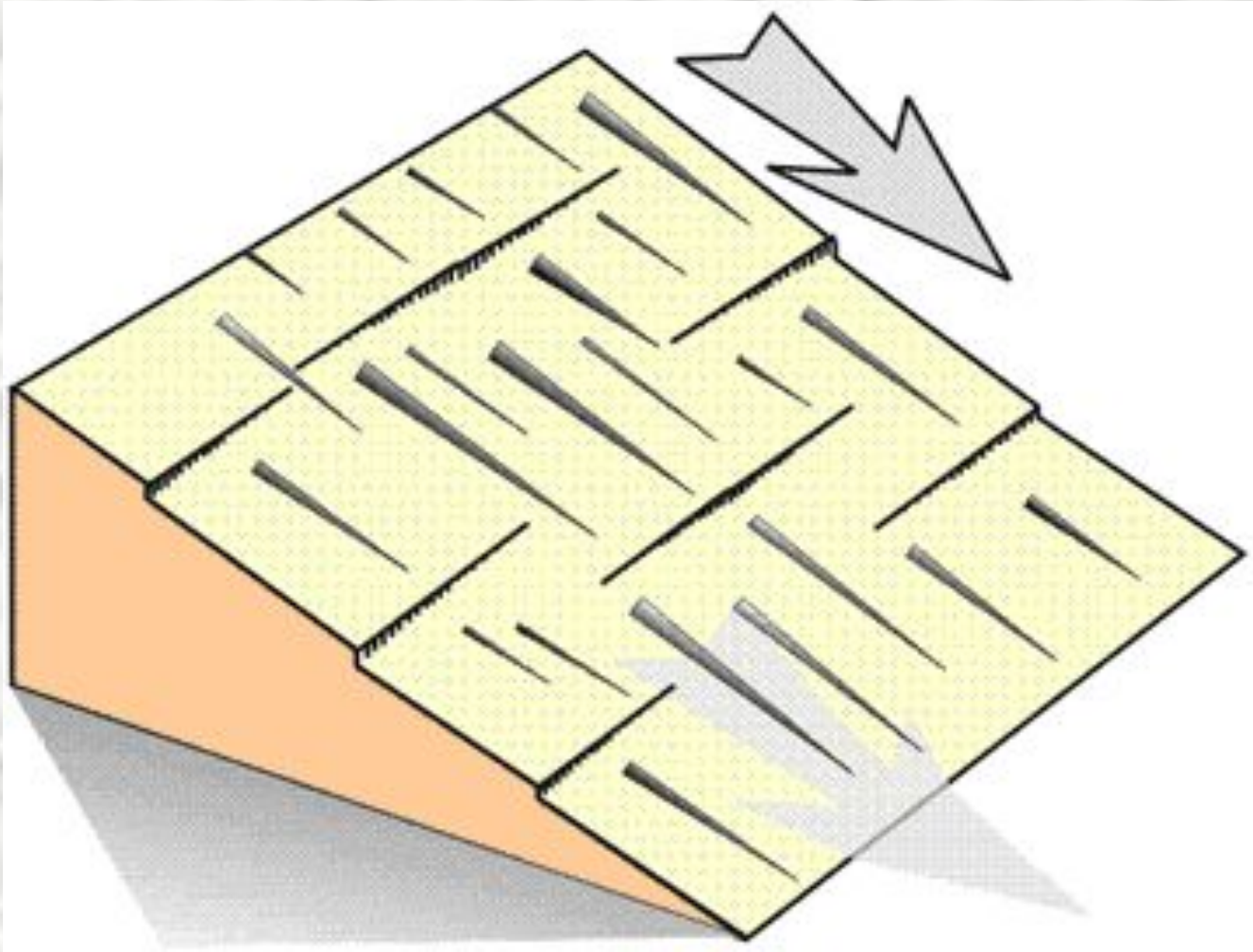
# Тектоническая брекчия



Тектоническая брекчия. Варнаутский разлом, Горный Крым.



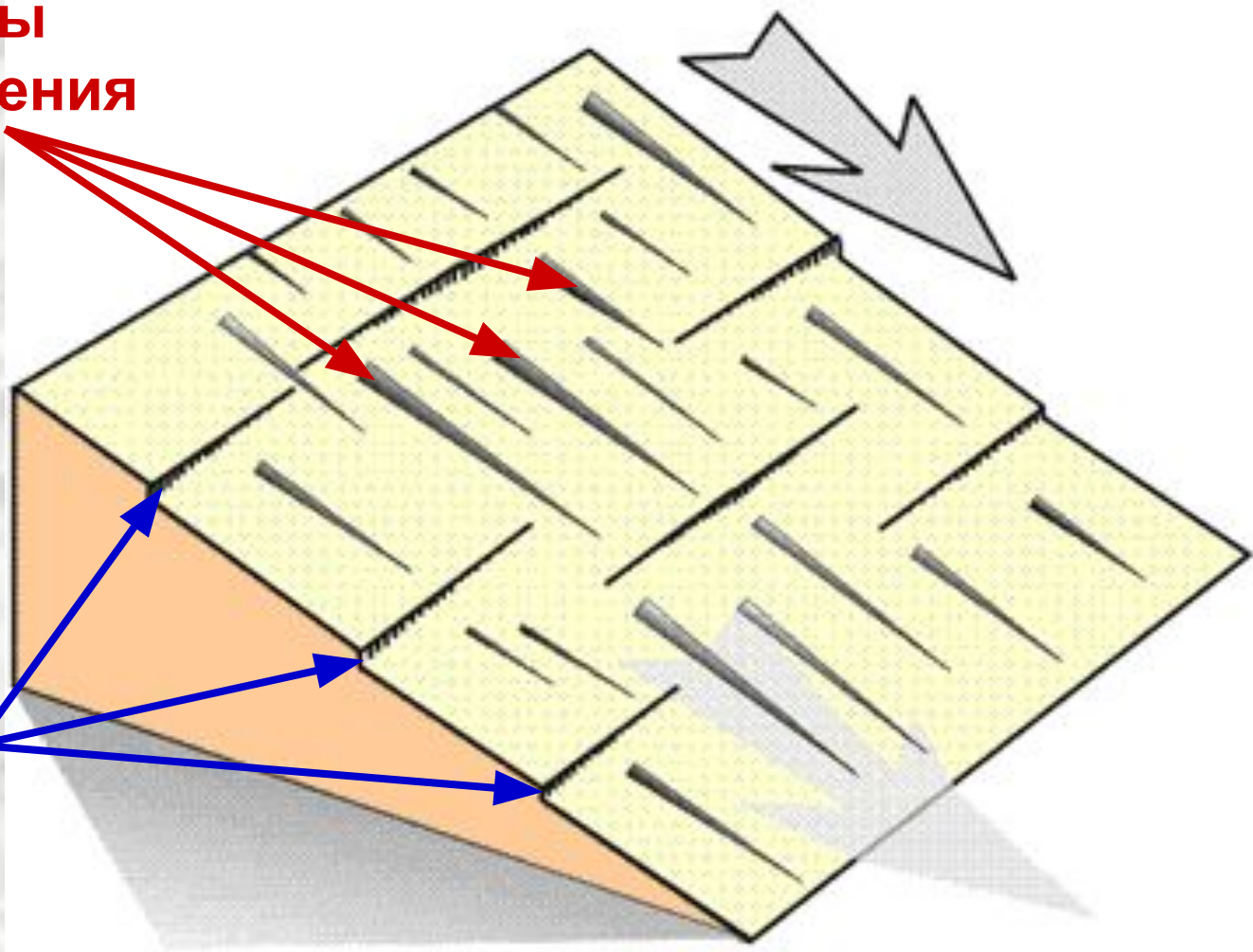
# Зеркала скольжения



На участках плотного прилегания стенок трещины образуются заглаженные, приполированные поверхности - **зеркала скольжения**.

# Зеркала скольжения

борозды  
скольжения



уступы

Эти поверхности часто покрыты штрихами и бороздками, процарапанными более твердыми обломками, а также мелкими поперечными уступами.

# Зеркала скольжения

Микроскопические уступы создают "**занозистость**": если провести рукой по поверхности зеркала скольжения, то в направлении смещения будет ощущаться меньшее сопротивление, чем во встречном направлении.

Таким образом, в случае однократного перемещения блоков **по штриховке и "занозистости"** зеркала скольжения **можно определить направление относительного перемещения** блоков.

# Структурные волны

Стенки сместителей разрывных нарушений редко бывают плоскими, обычно они покрыты волнообразными изгибами – структурными волнами.

Размеры волн различны: от нескольких сантиметров до сотен метров.

Одновременно могут присутствовать волны нескольких порядков.

Структурные волны ориентированы по направлению смещения блоков.



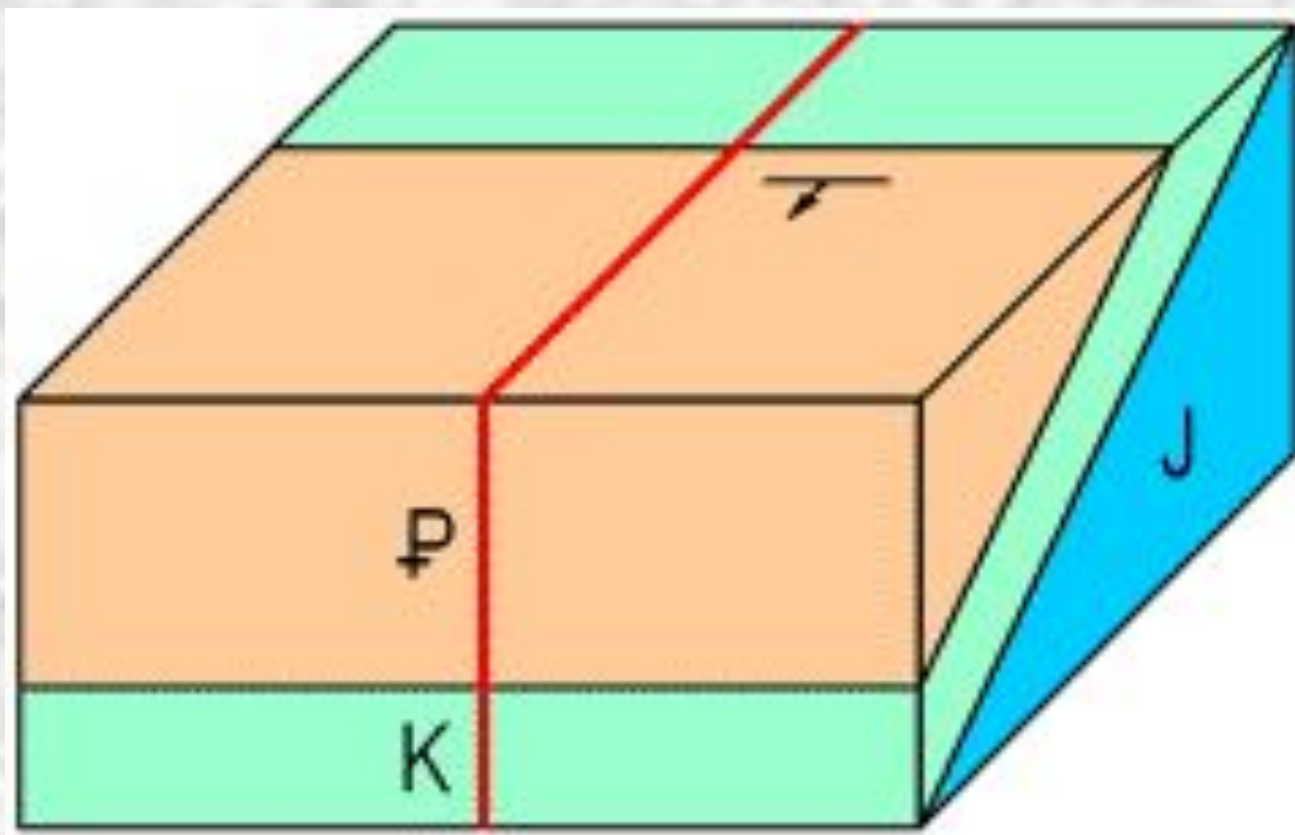
Зеркало скольжения,  
покрытое штриховкой и  
структурными волнами.

Варнаутский разлом,  
Горный Крым.

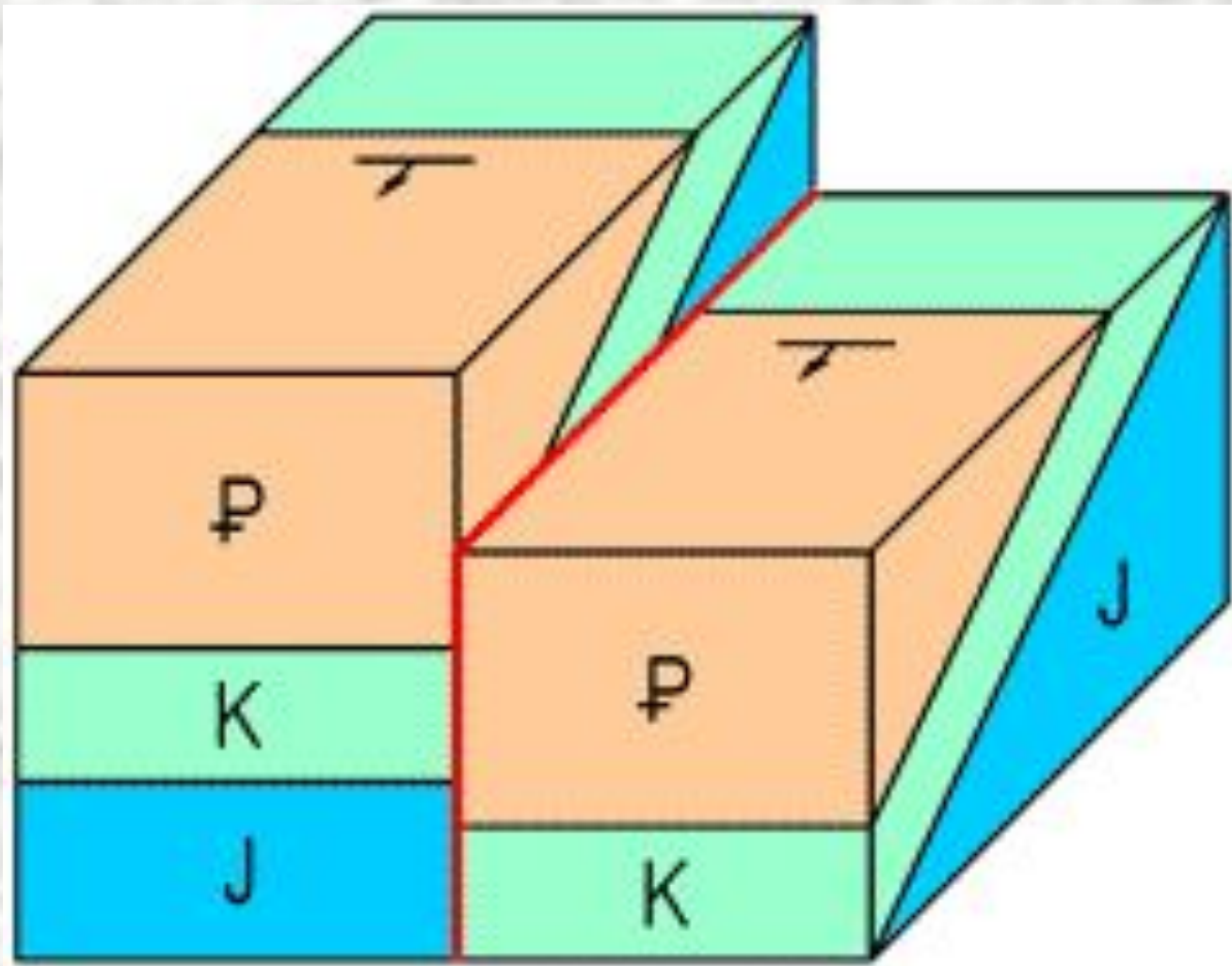
# Определение относительно приподнятого (опущенного) крыла разрывного нарушения

Относительное перемещение крыльев можно определить по **горизонтальному смещению наклонных слоев** (или любых других наклонных поверхностей).

# Определение относительно приподнятого (опущенного) крыла разрывного нарушения

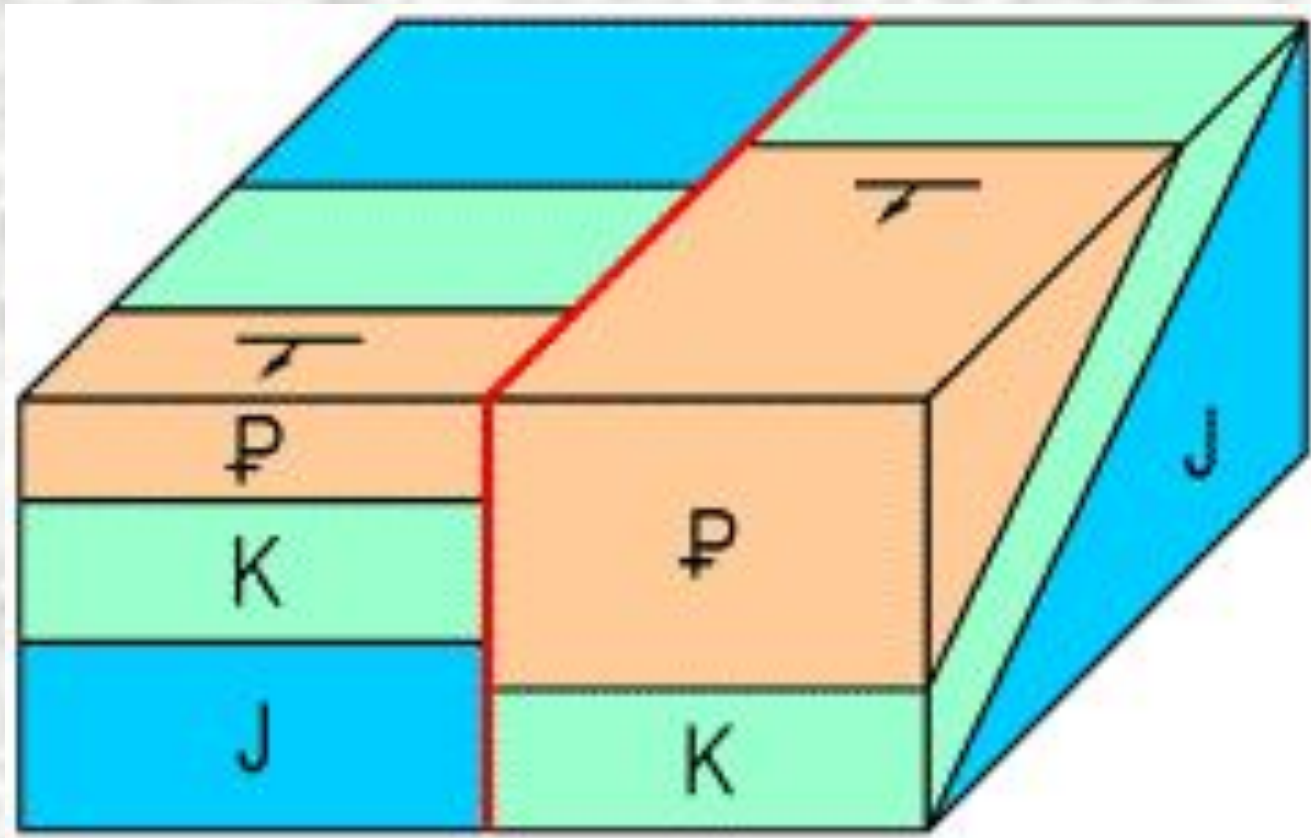


Эта блок-диаграмма показывает положение крыльев, предшествующее смещению.



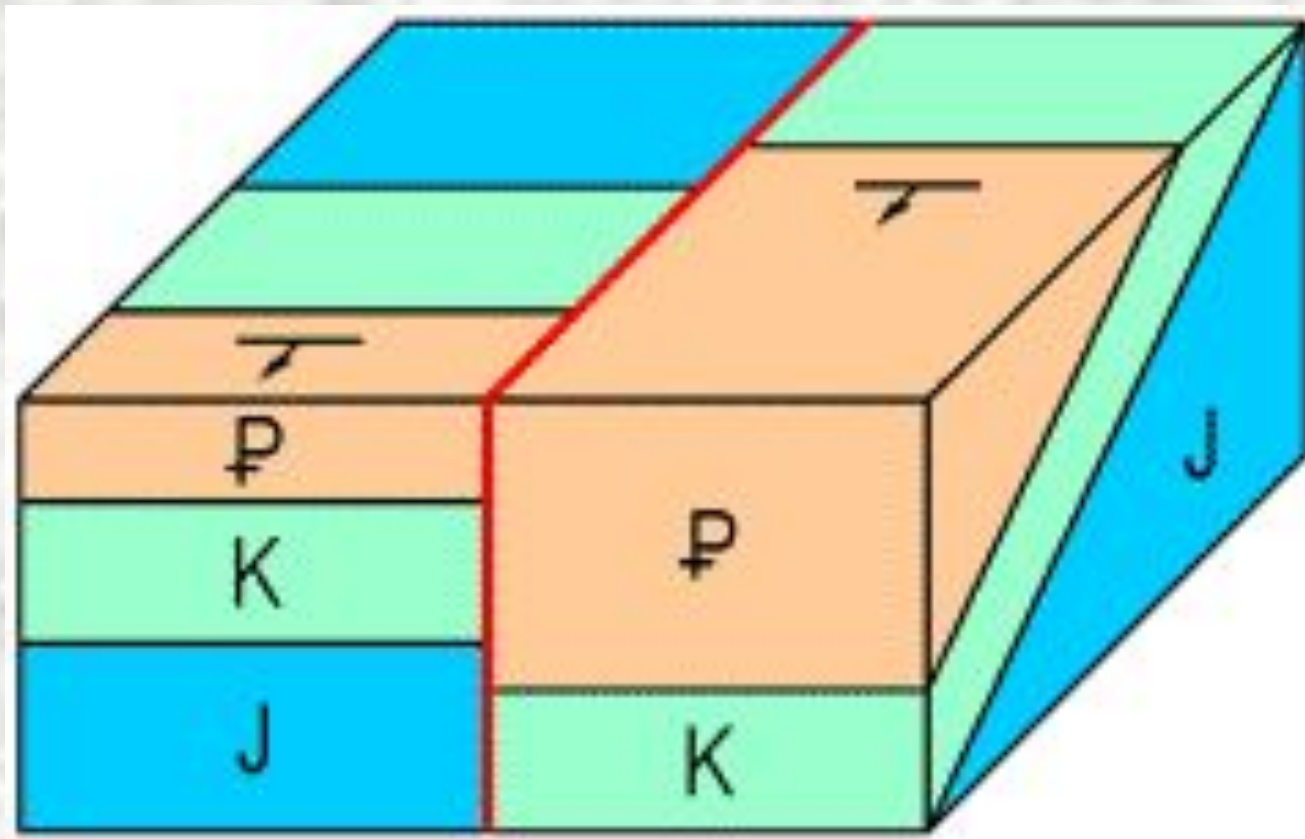
Эта блок-диаграмма показывает положение крыльев вслед за смещением.





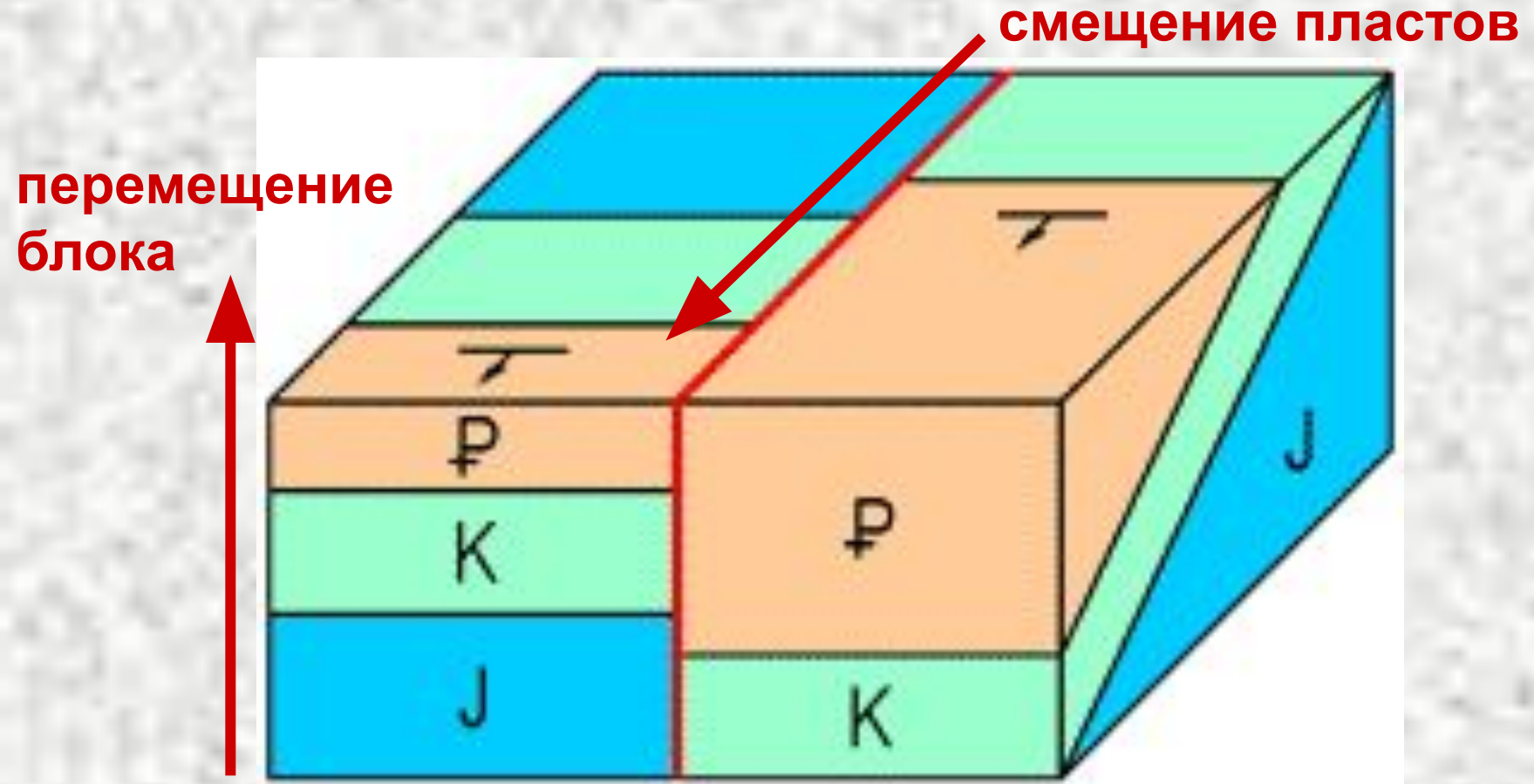
Эта блок-диаграмма показывает положение крыльев после выравнивания земной поверхности процессами денудации.





В относительно приподнятом крыле разлома слои оказываются смещенными в направлении своего падения по отношению к одновозрастным слоям в опущенном крыле.

# Правило «пяти П»



**Поднятый Пласт Перемещен По Падению**

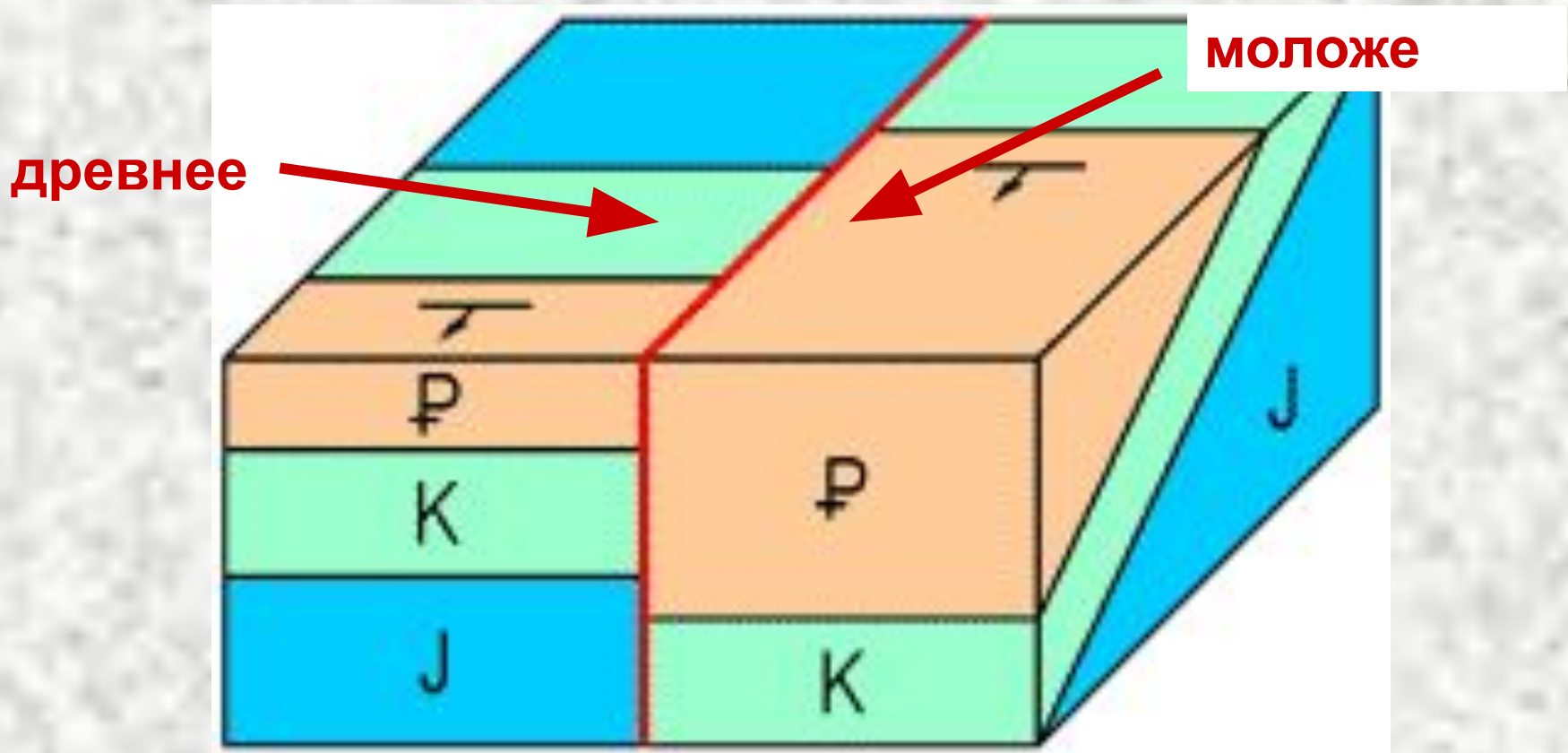
Расстояние такого перемещения (при одной и той же амплитуде) зависит от угла падения пласта: чем больше угол падения, тем меньше перемещение. Вертикальный пласт вообще не будет перемещен.

Вертикальная амплитуда сброса может быть вычислена по формуле:

$$h = l \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

где  $h$  - вертикальная амплитуда,  $\alpha$  - угол падения,  $l$  - горизонтальное расстояние между смещенными границами пласта по направлению падения.

# Правило возраста



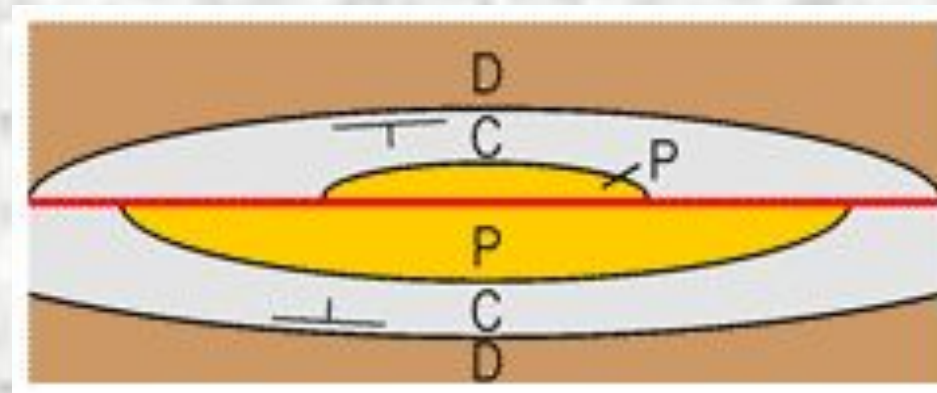
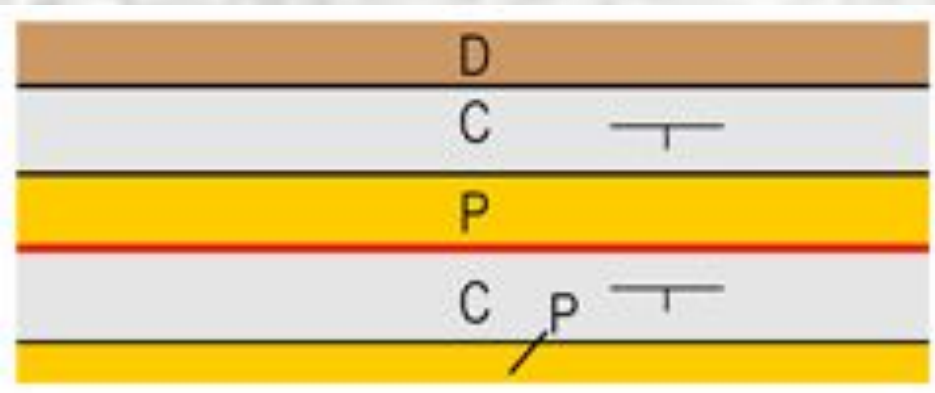
Кроме того, мы видим, что **древние слои в относительно приподнятом крыле разлома приведены в соприкосновение с более молодыми слоями в опущенном крыле**. Это правило можно назвать "правилом возраста".

# Классификация сбросов и выбросов

Проведем классификацию сбросов и выбросов сначала для одиночных, а затем для групповых разрывных нарушений.

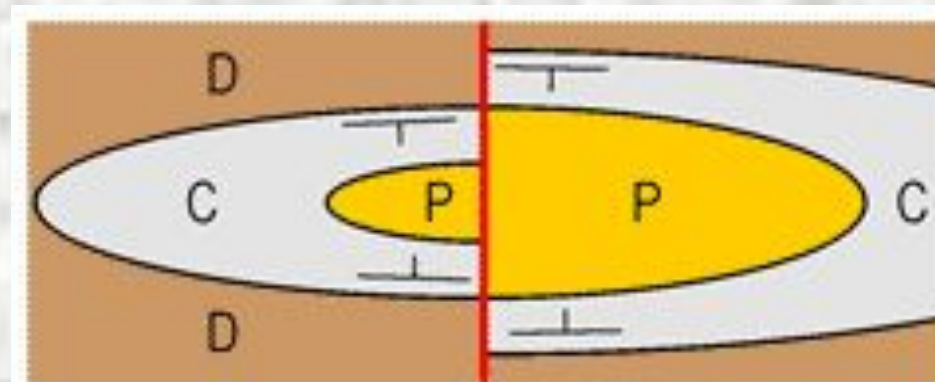
I. **Одиночные** разрывные нарушения подразделяются:

1) по соотношению простираний сместителей с простиранием слоев или складок

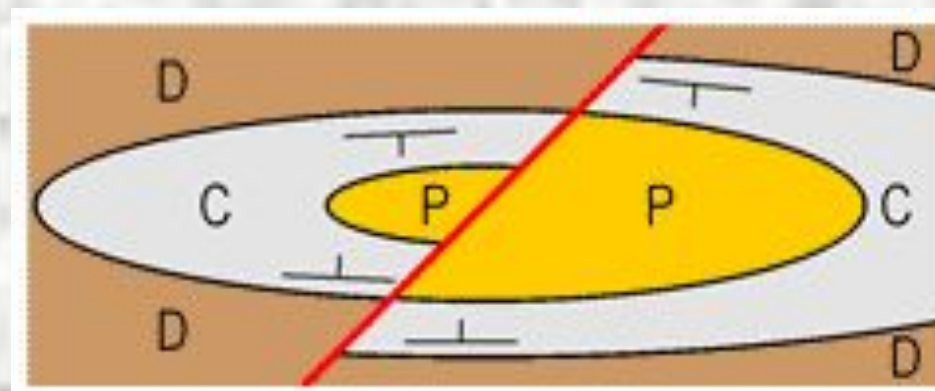
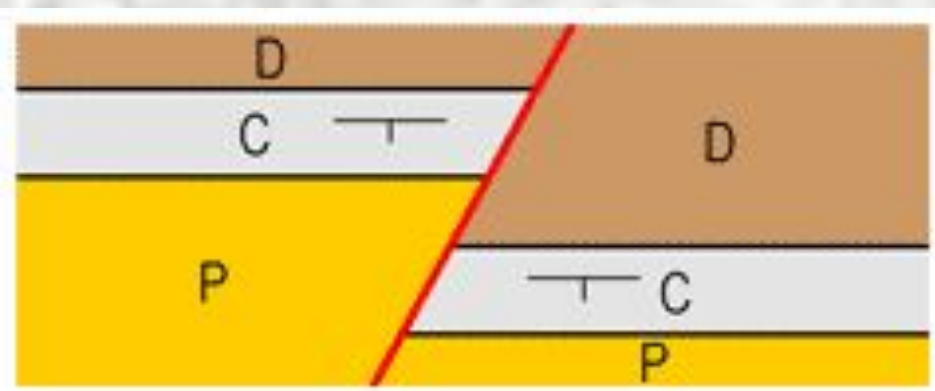


а) **продольные**



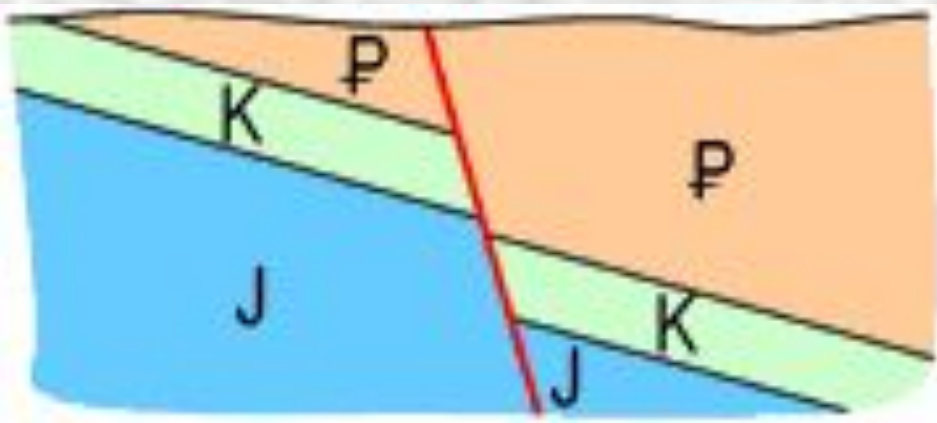


б) **поперечные**

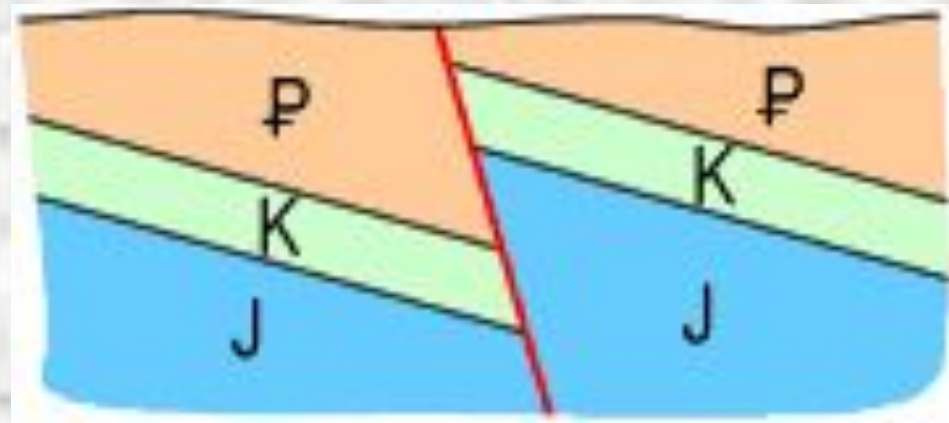


**В) косые (диагональные)**

2) по соотношению направлений падения сместителя и пластов в крыльях

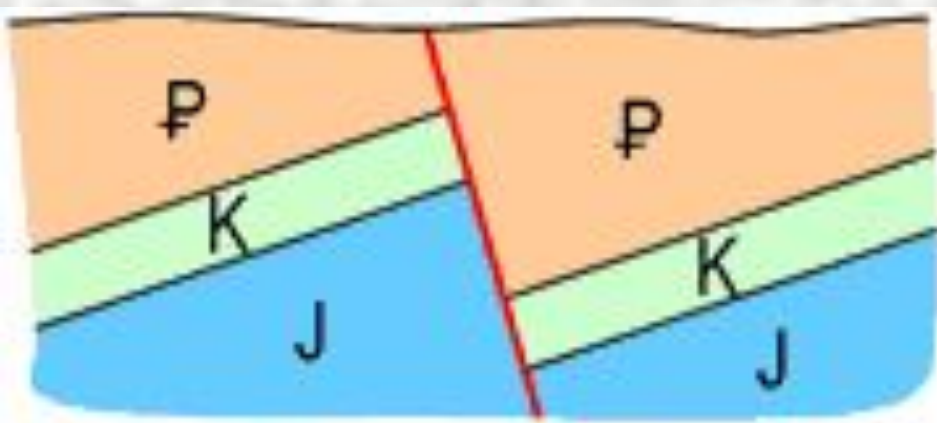


сброс

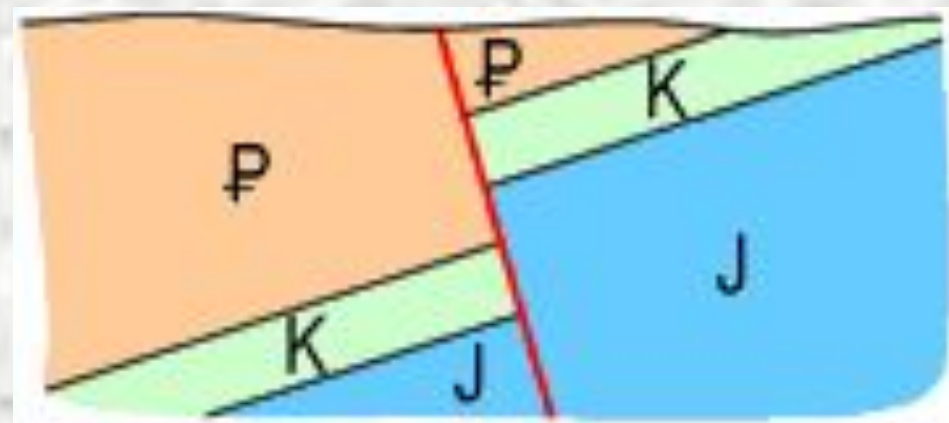


взброс

а) **согласные**



сброс

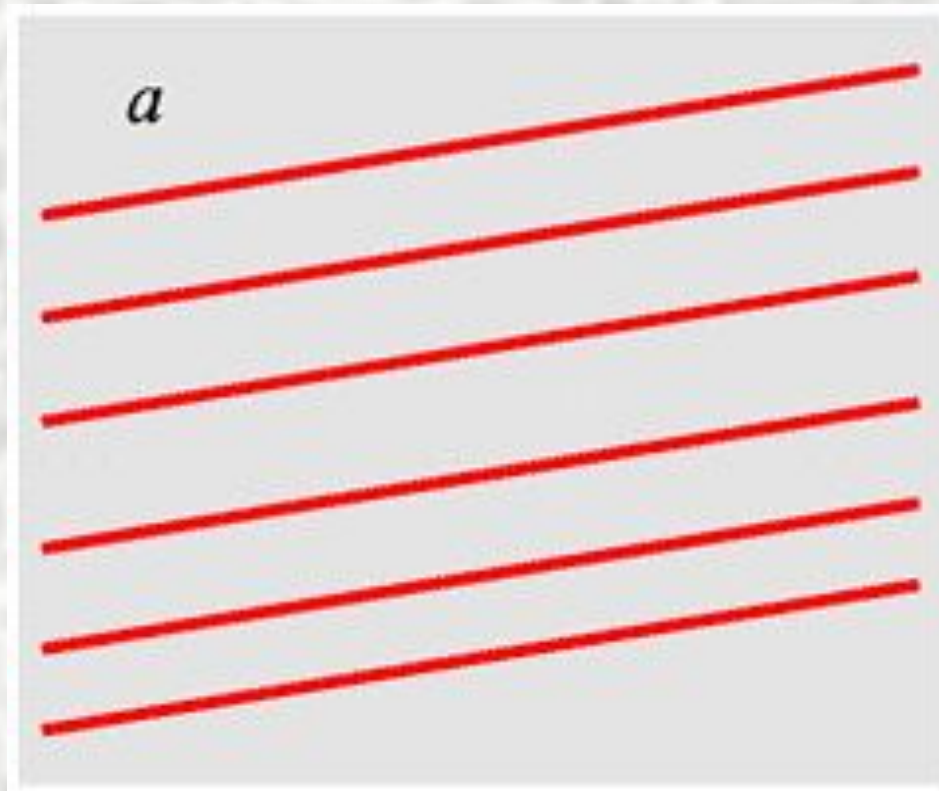


взброс

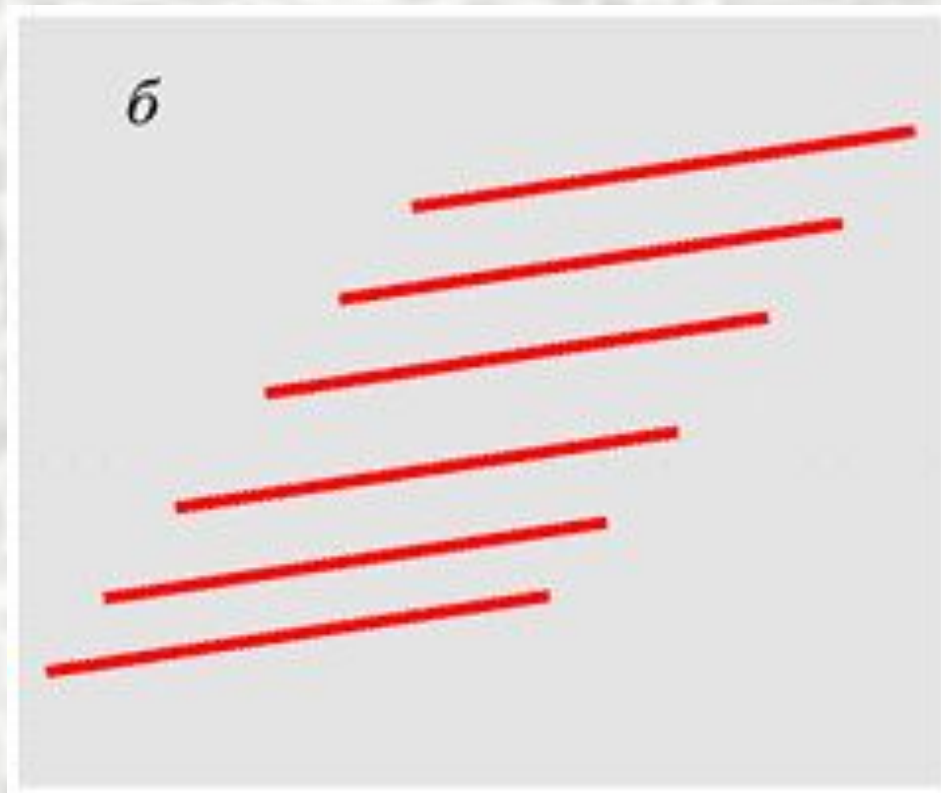
б) несогласные

II. **Групповые** сбросы и взбросы подразделяются

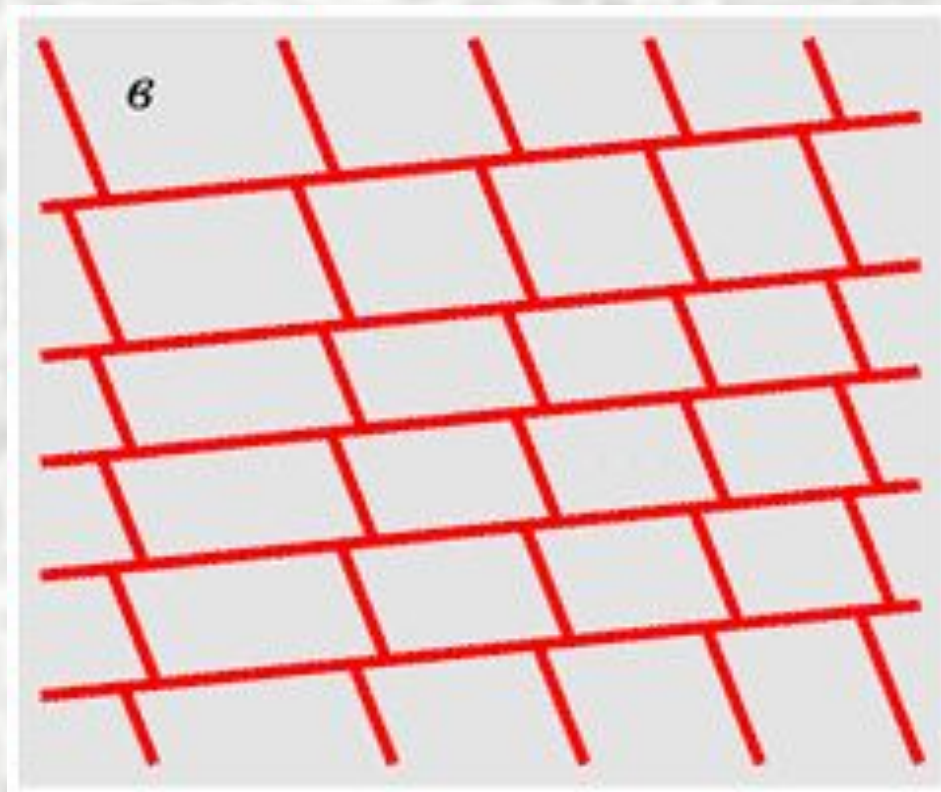
1) по взаимному расположению в плане (на местности и на геологической карте)



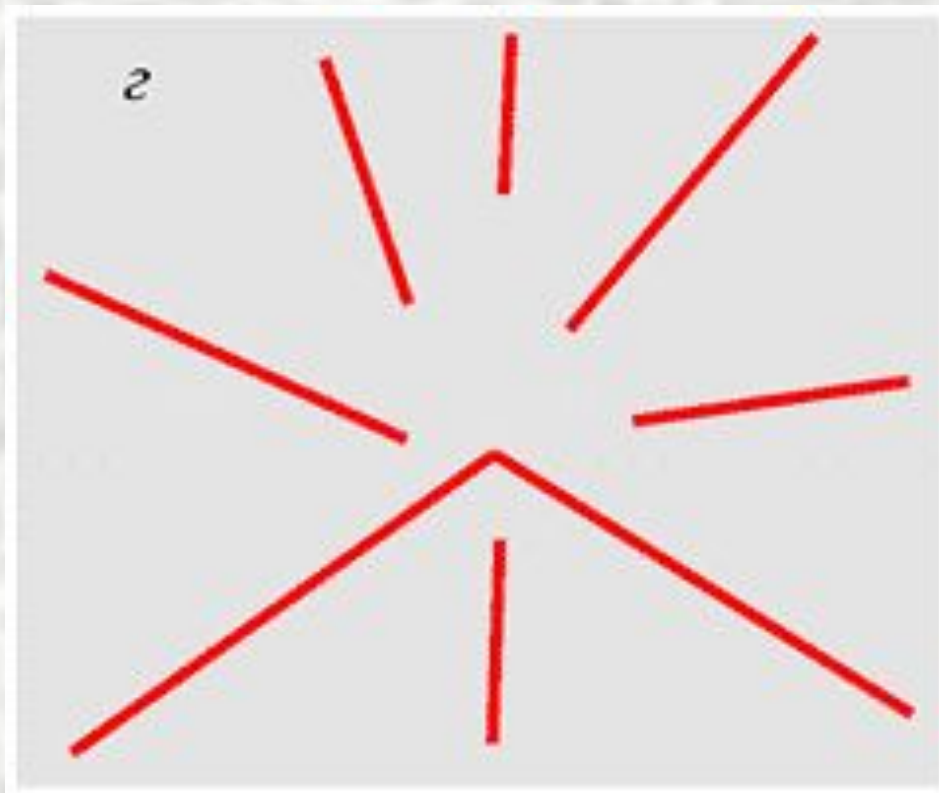
а) **параллельные**



**б) кулисообразные**

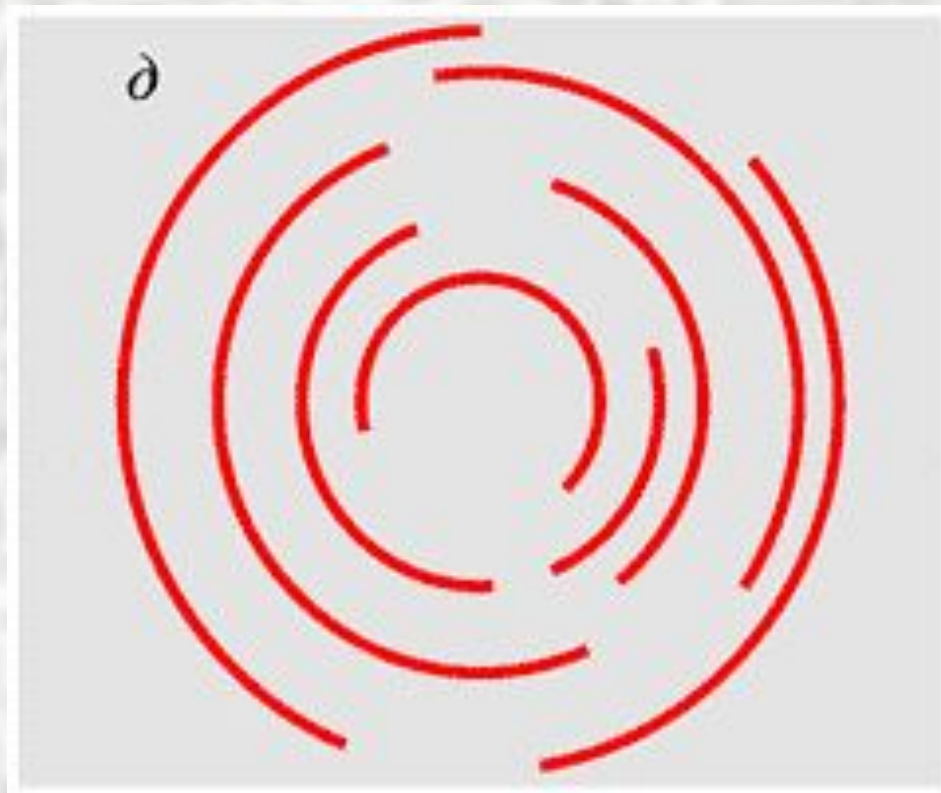


в) сетчатые

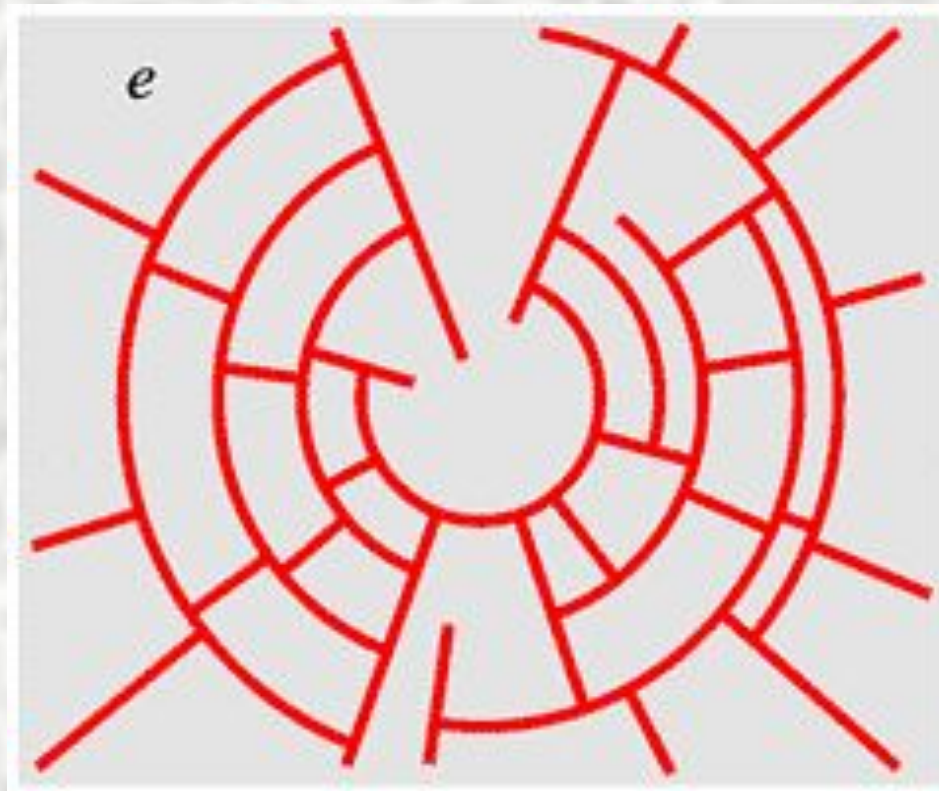


г) **радиальные**



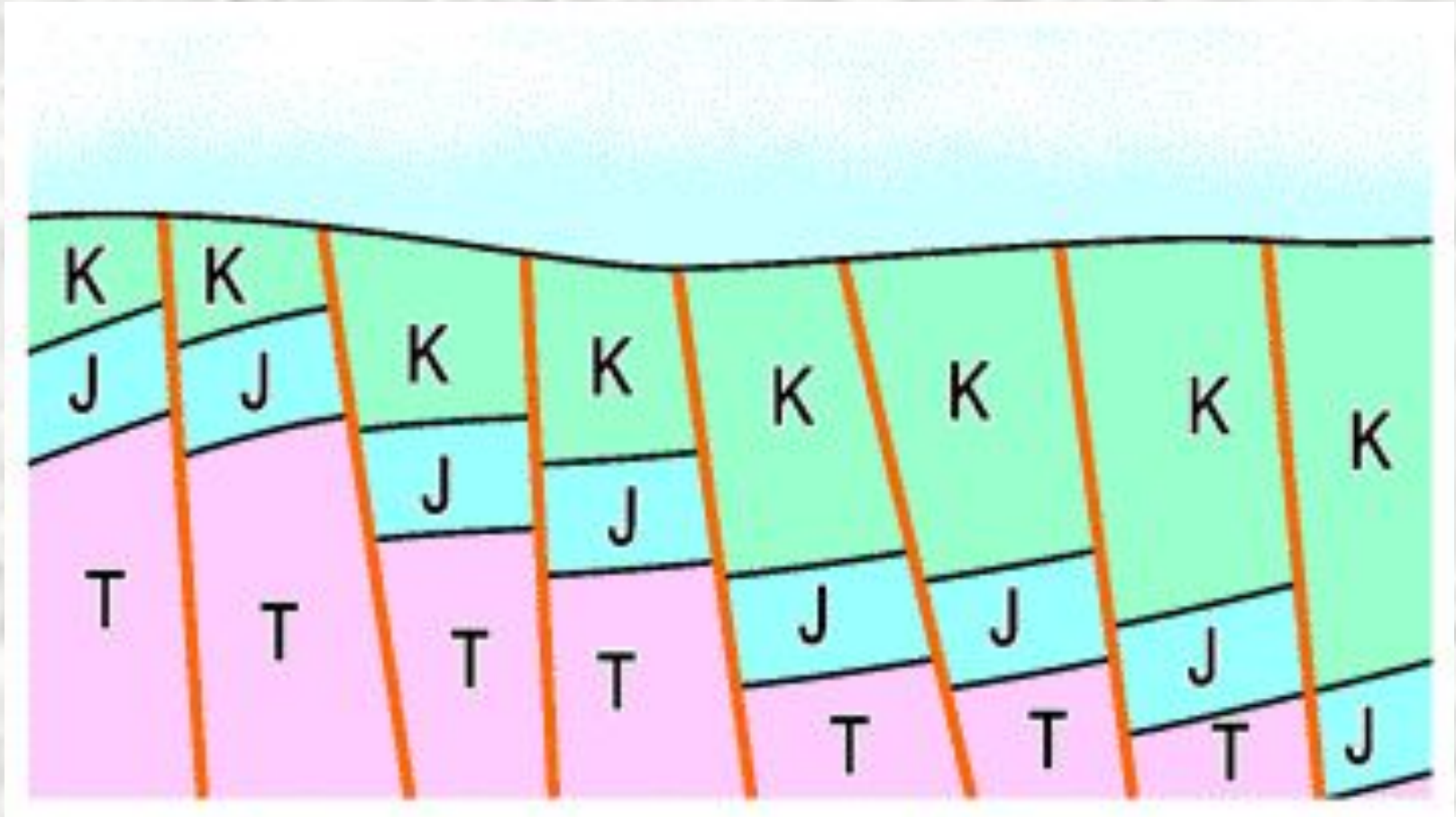


д) **концентрические**

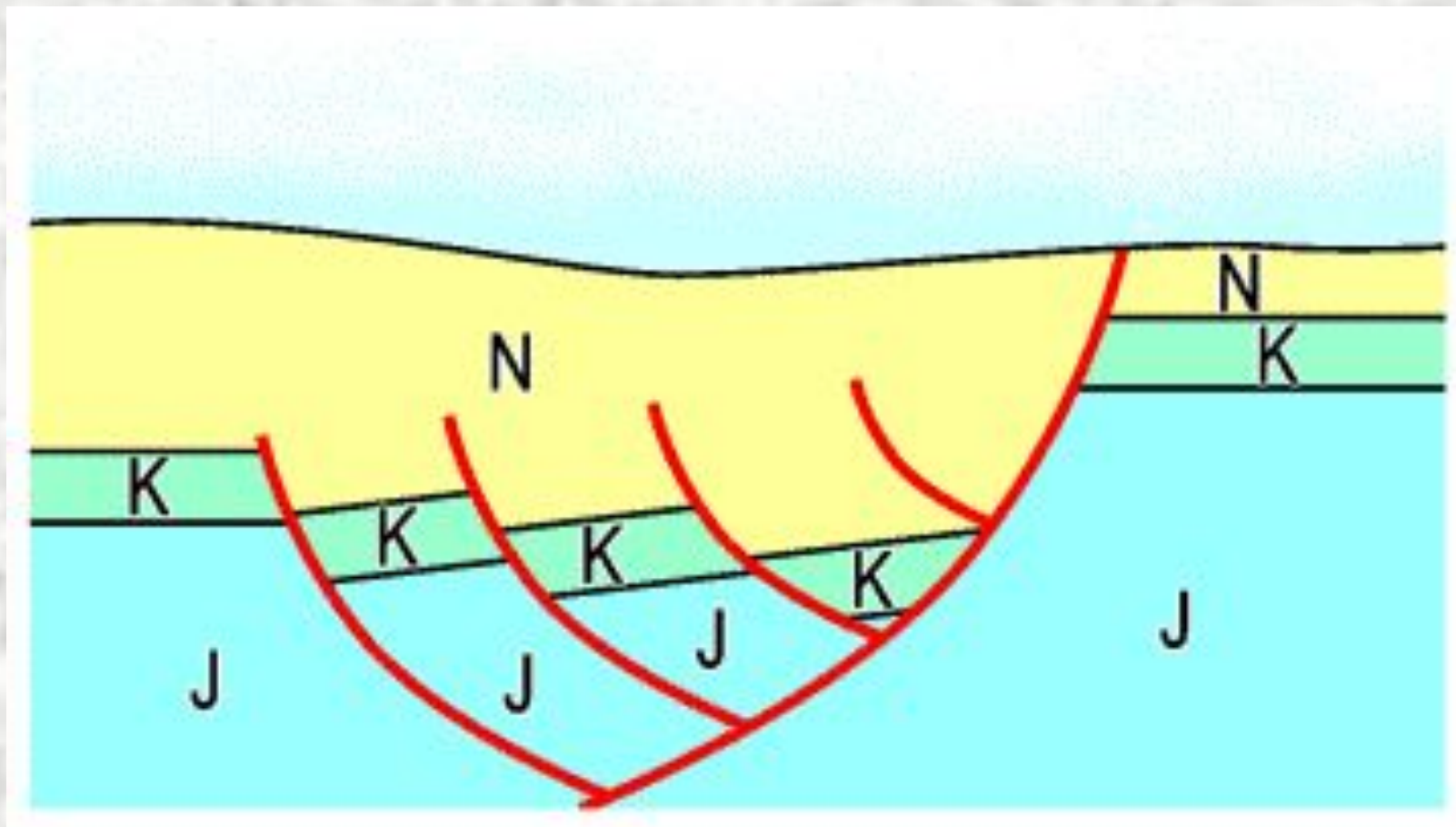


e) **сочетание радиальных и концентрических**  
(структура «битой тарелки»)

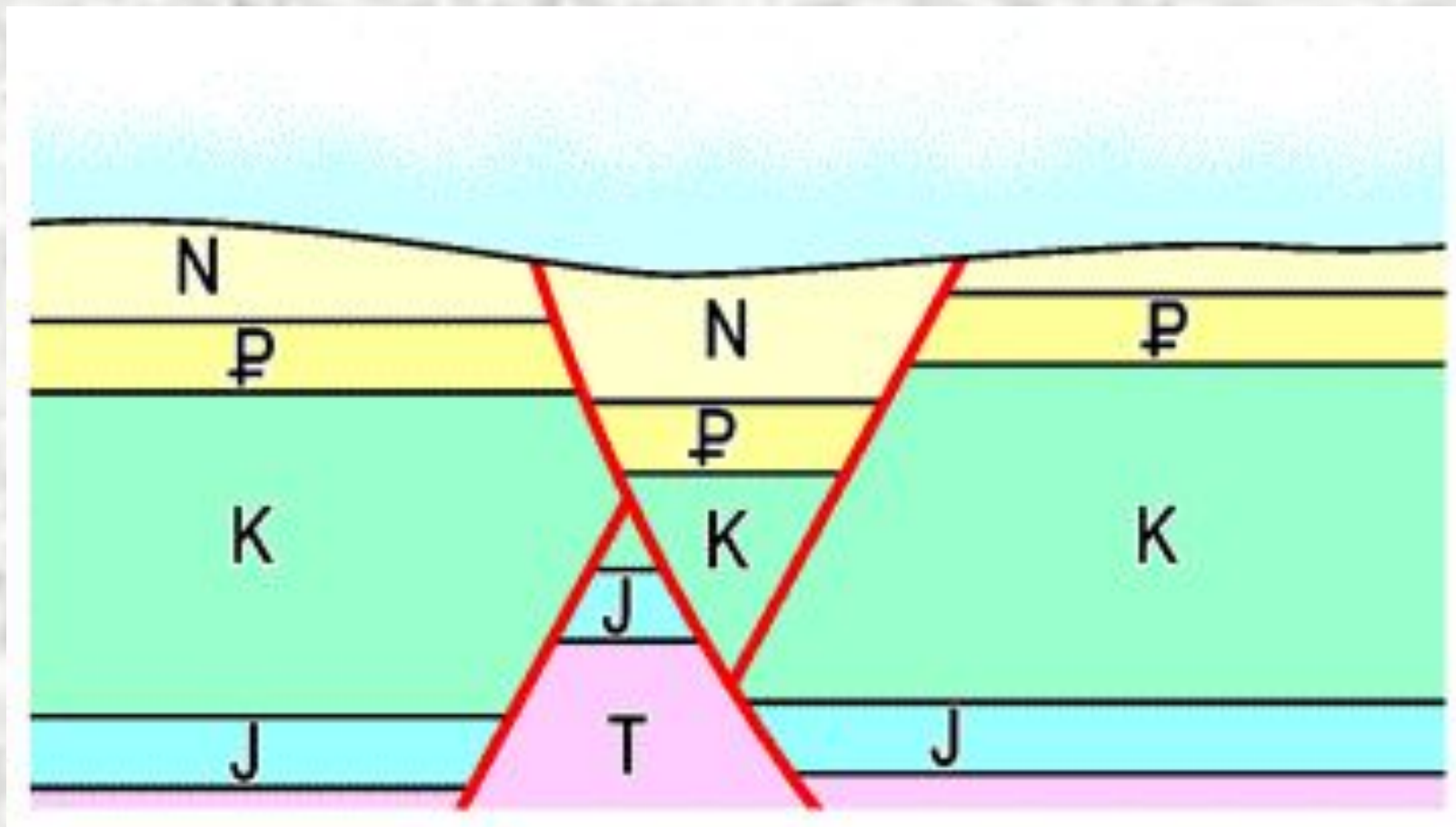
2) по относительному перемещению блоков



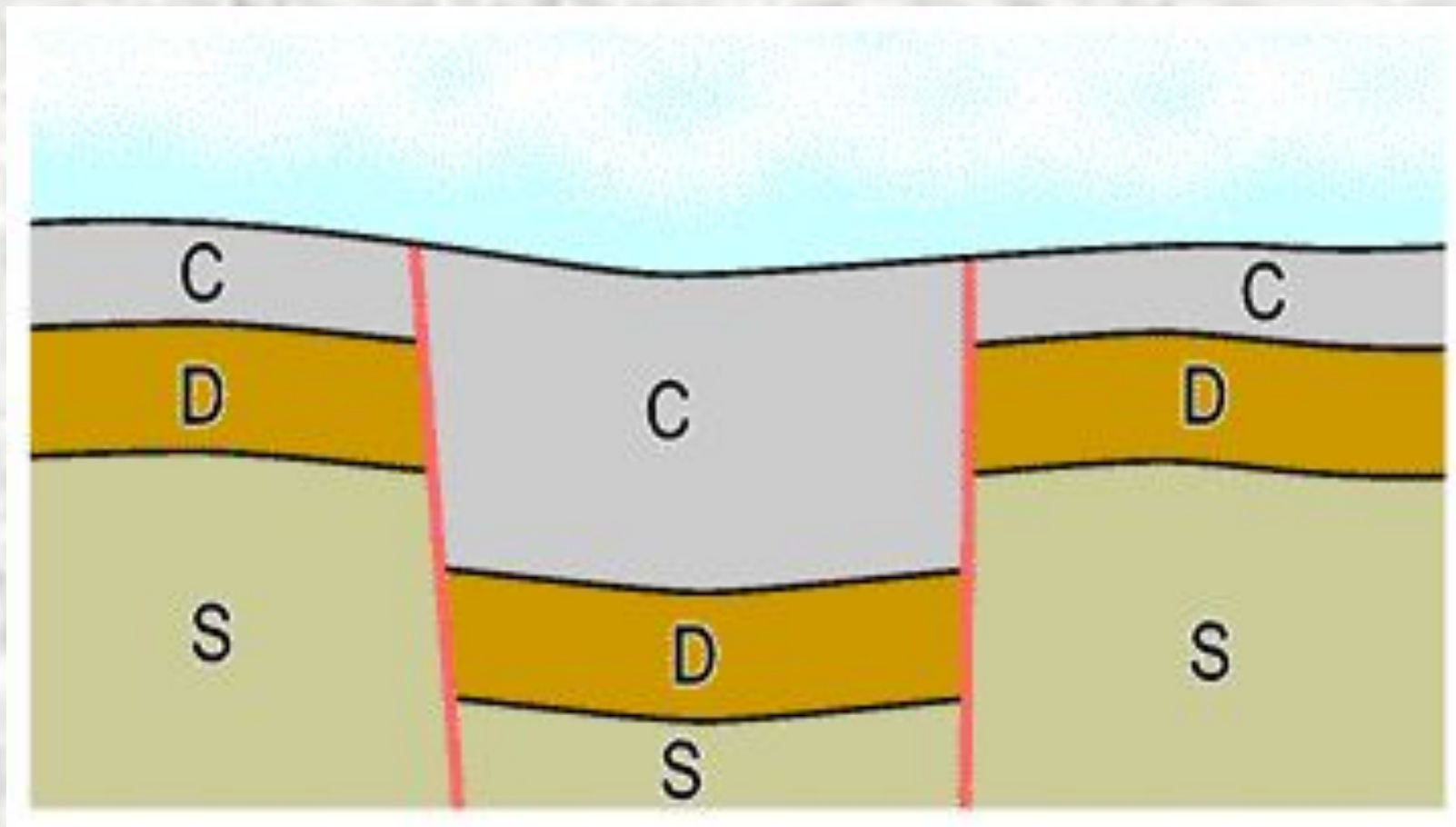
**а) ступенчатые сбросы (взбросы)**



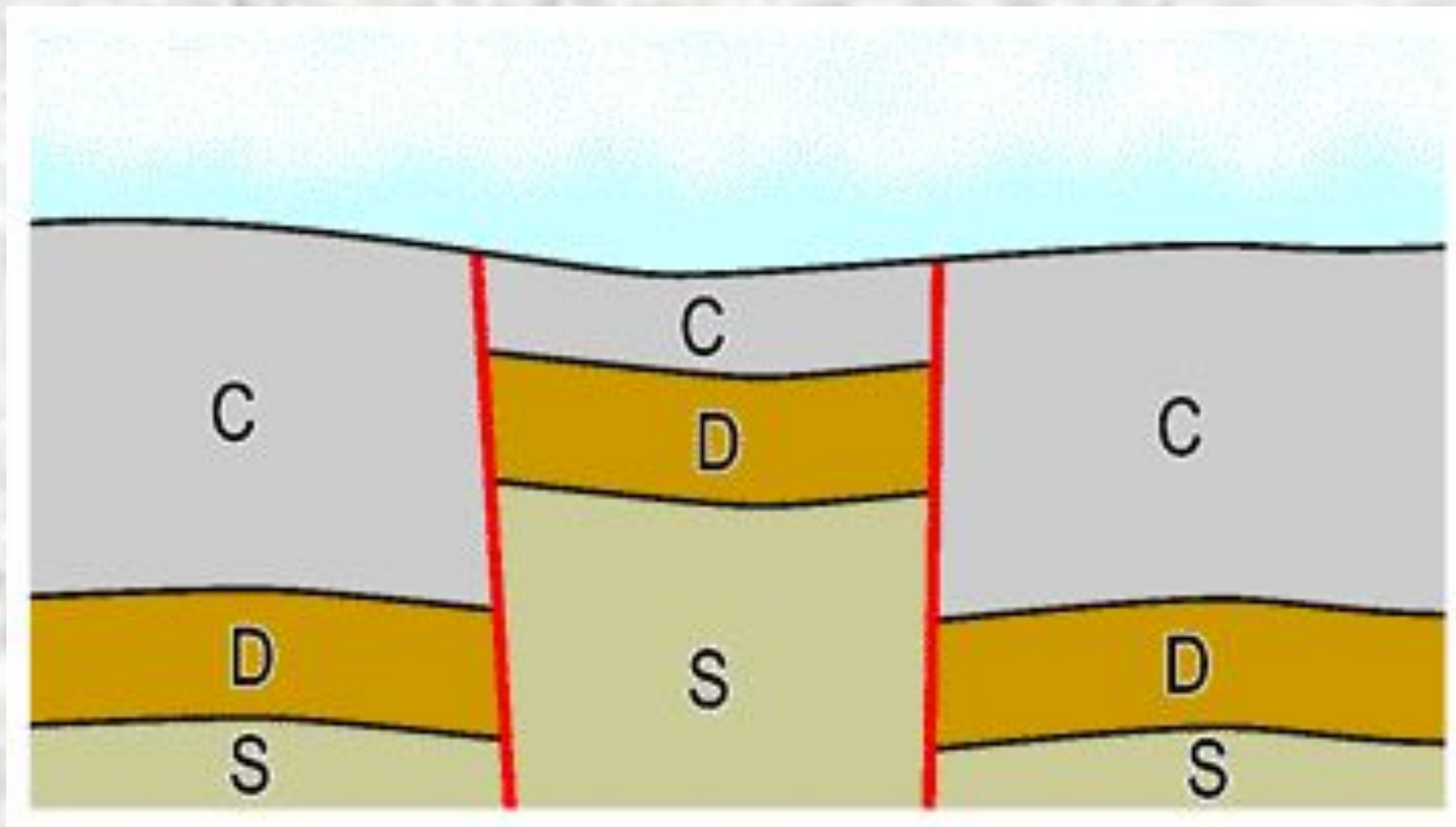
**в) Y-образный**



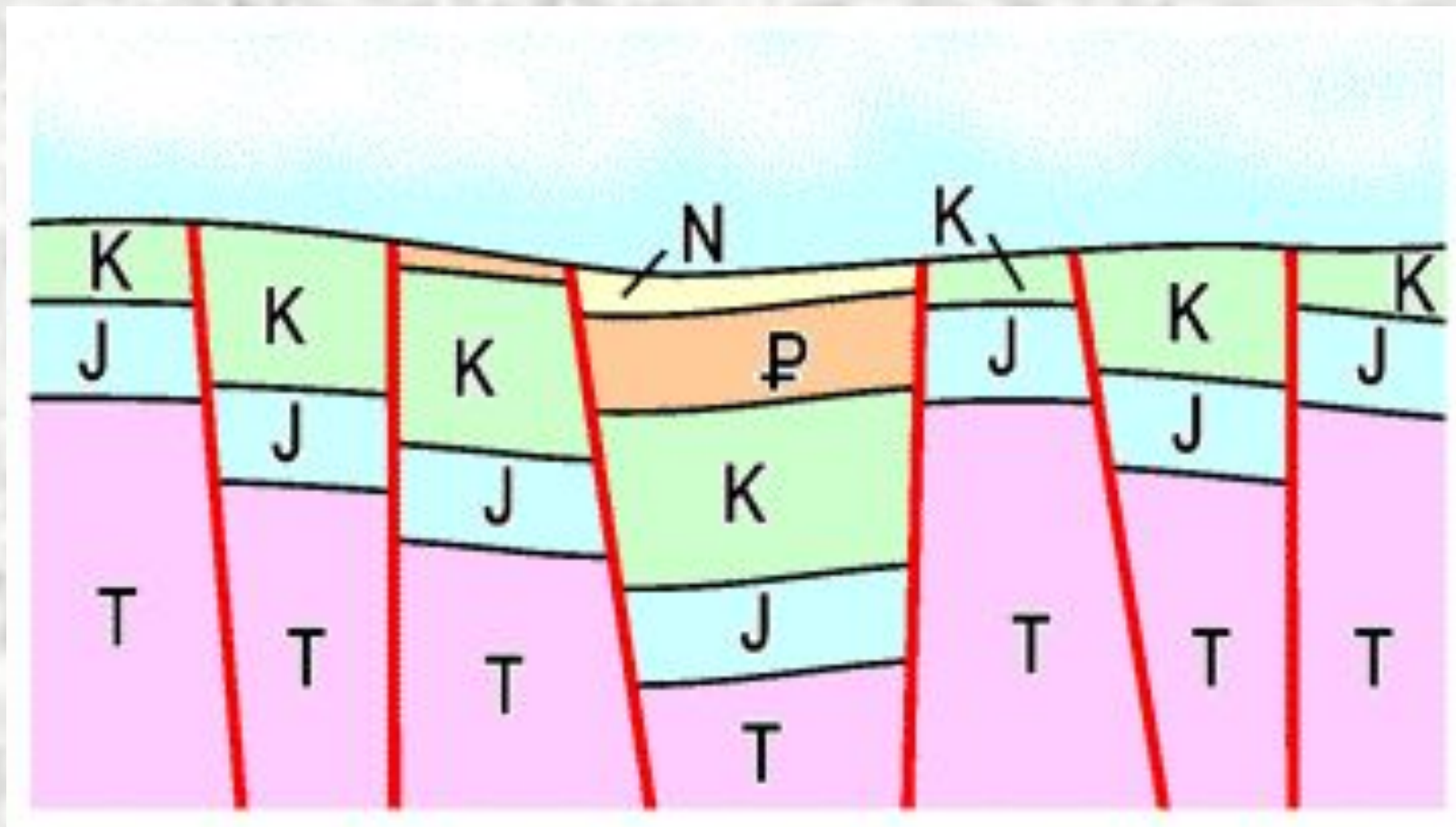
г) X-образный



**д) простой грабен**

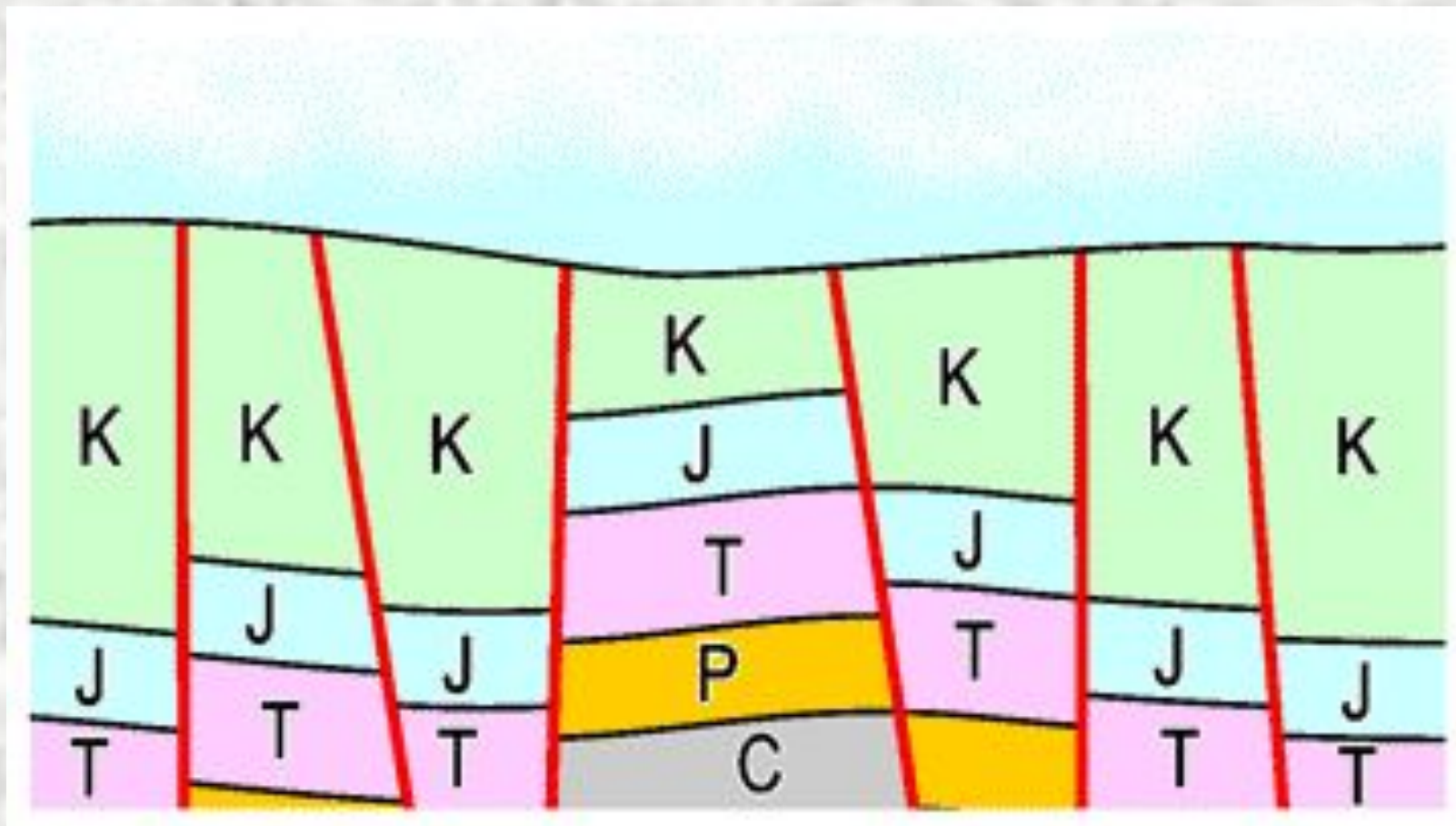


**е) простой горст**



**ж) сложный грабен**





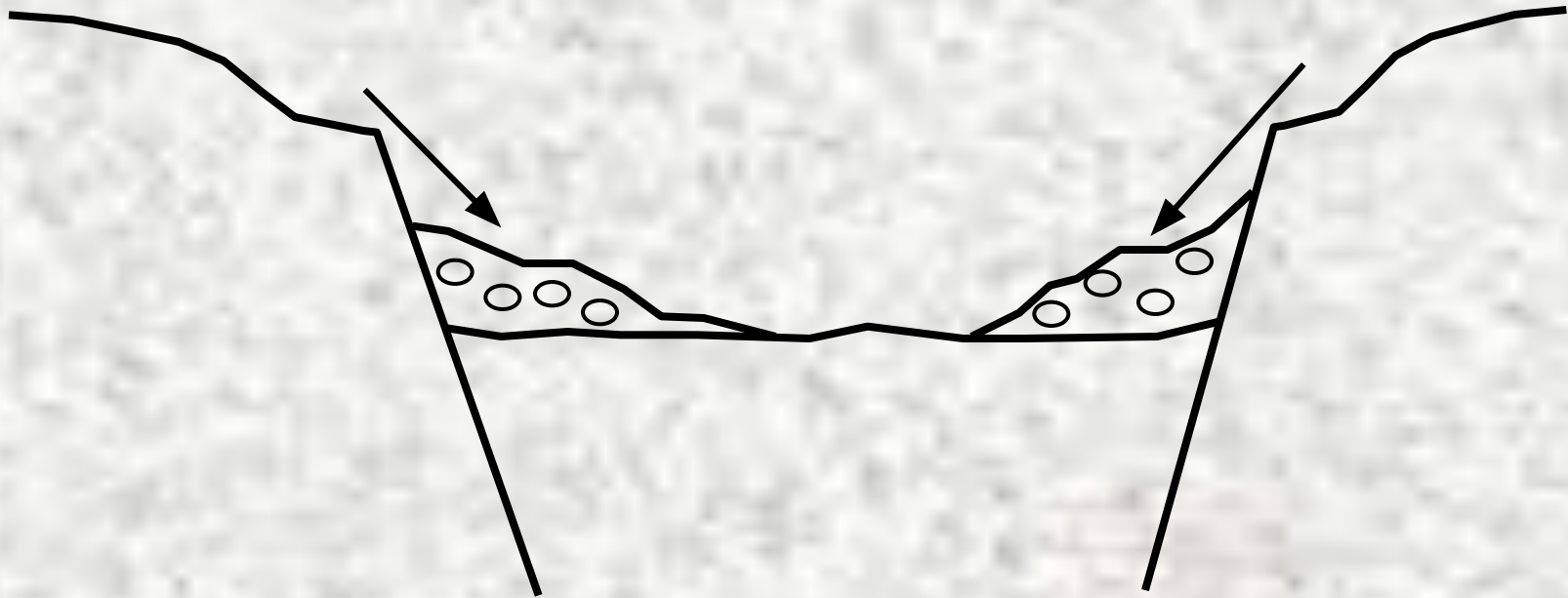
3) **сложный горст**

Грабены и горсты могут быть **наложенными**,  
то есть образованными после завершения  
осадконакопления,

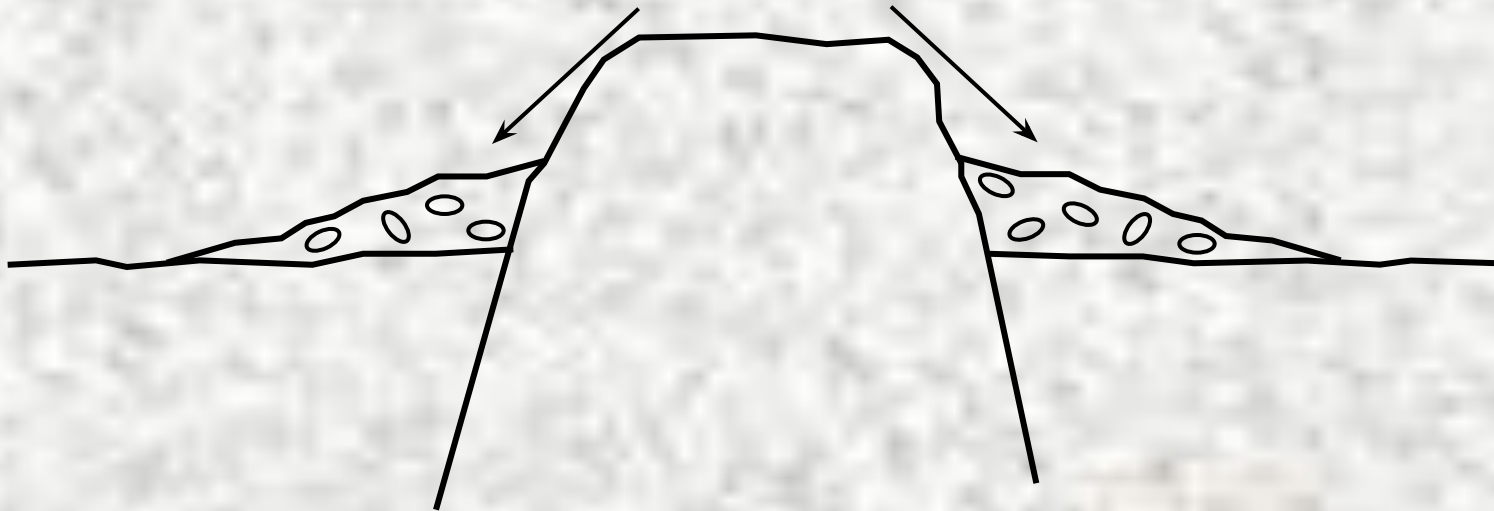
и **конседиментационными** —  
образующимися на фоне  
осадконакопления.

Конседиментационные грабены имеют сложное строение. В их центральных частях могут накапливаться мощные толщи пород, отсутствующих или имеющих меньшую мощность в периферийных частях.

Приподнятые древние породы, обнажающиеся на краях грабена, нередко служат источником сноса материала, накапливающегося в его центральных частях.

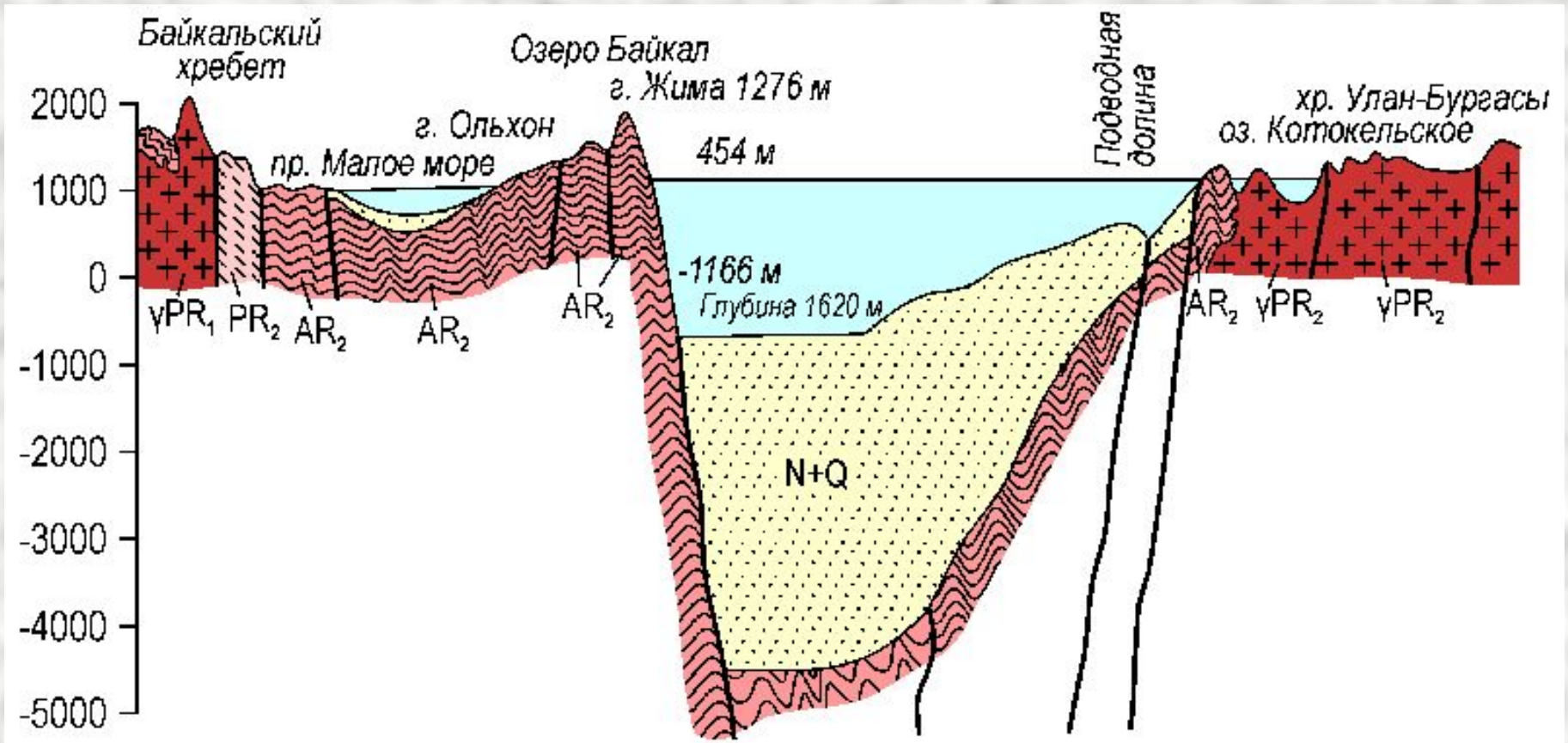


Горсты, наоборот, являются областями разрушения древних пород, и в случае конседиментационного их развития осадконакопление происходит в краевых частях горстов.



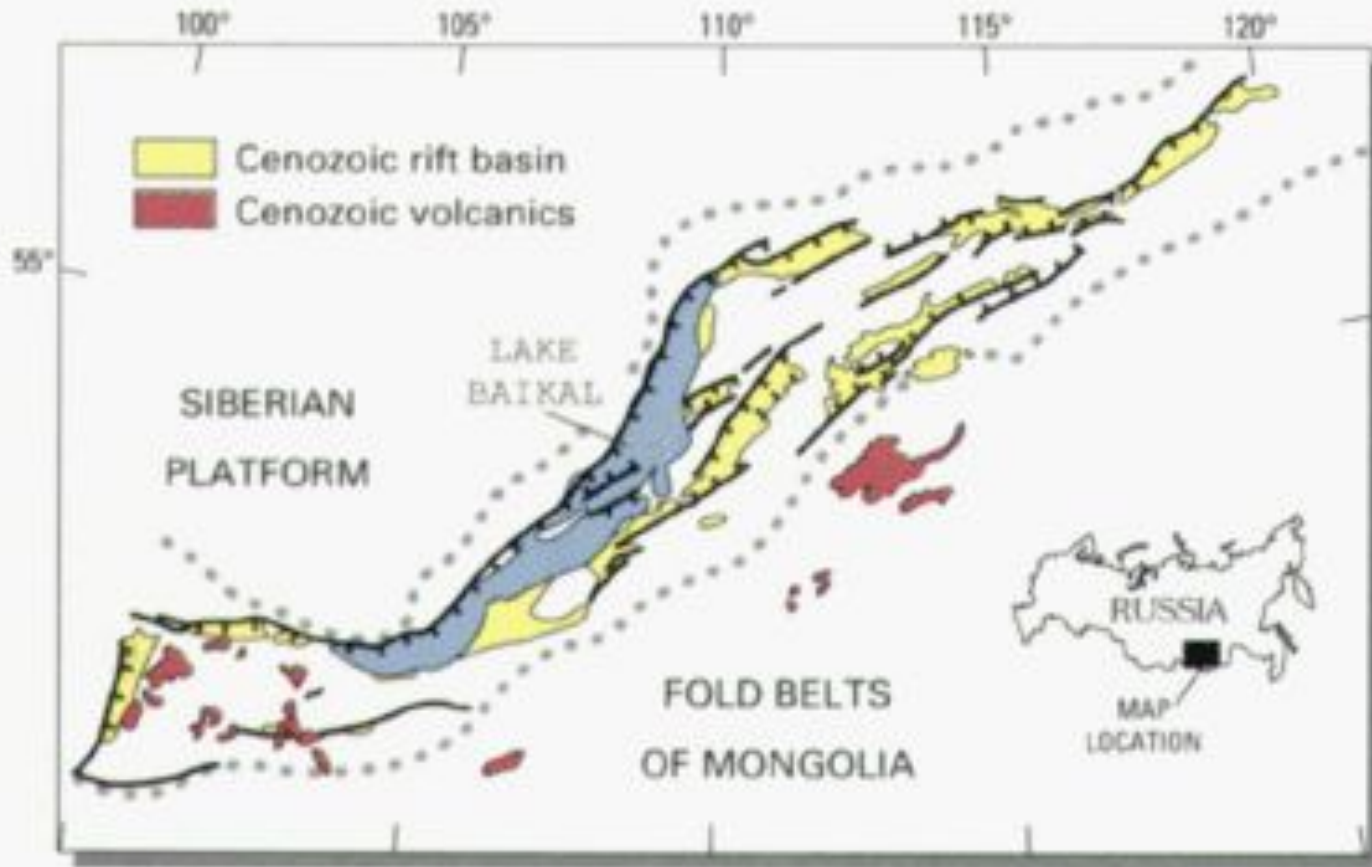
Крупные грабены, выраженные в современном рельефе долинами или впадинами, называют ***рифтами***.

# Байкальский рифт



Байкальский рифт ограничен крупными глубинными сбросами и имеет более 1000 км в длину и до 60 км в ширину. Наибольшая глубина в озере 1650 м.

# Байкальский рифт

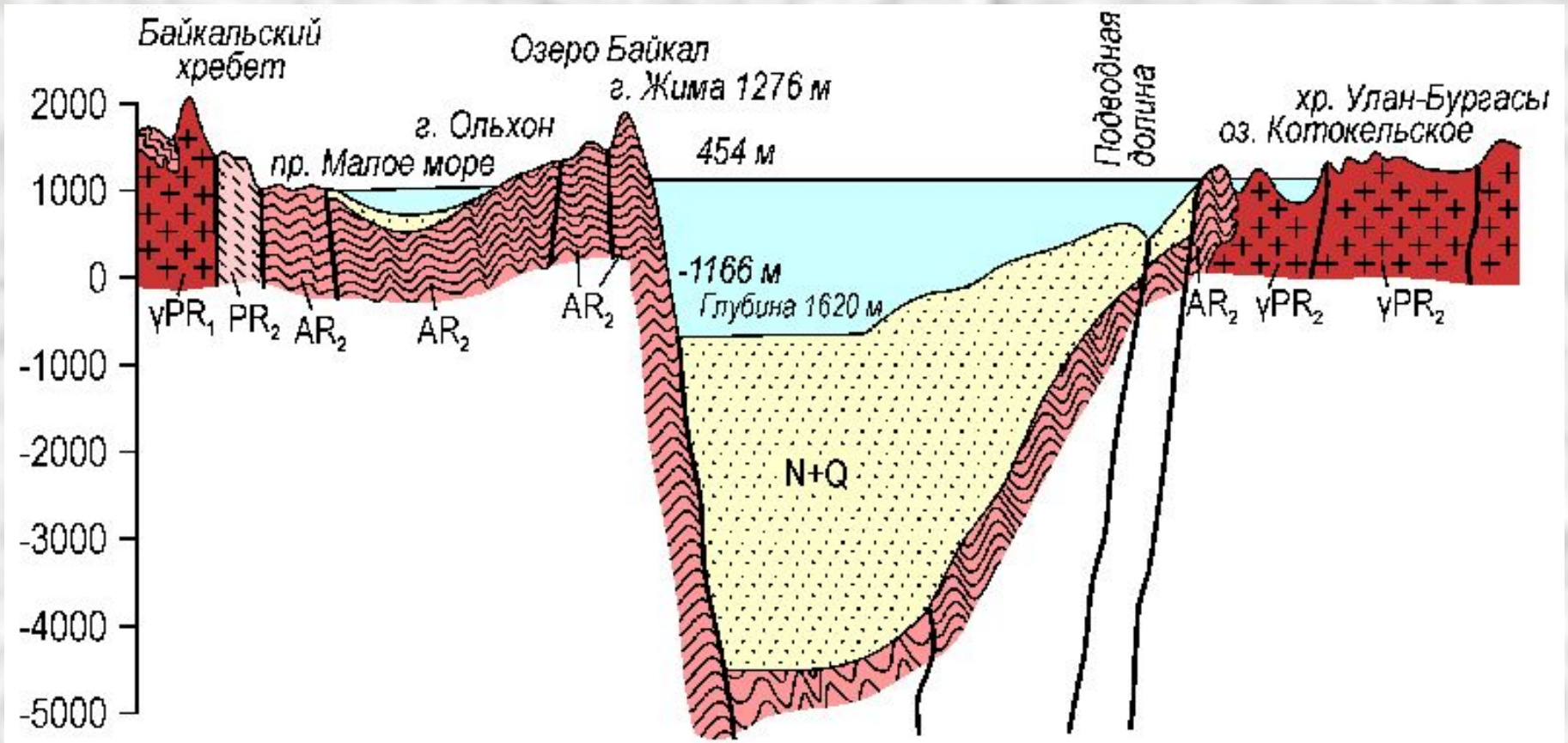


*Map showing location of Lake Baikal and associated rift basins.*

На северо-востоке и юго-западе Байкальский рифт продолжается в виде сложной системы кулисообразно расположенных грабенов.

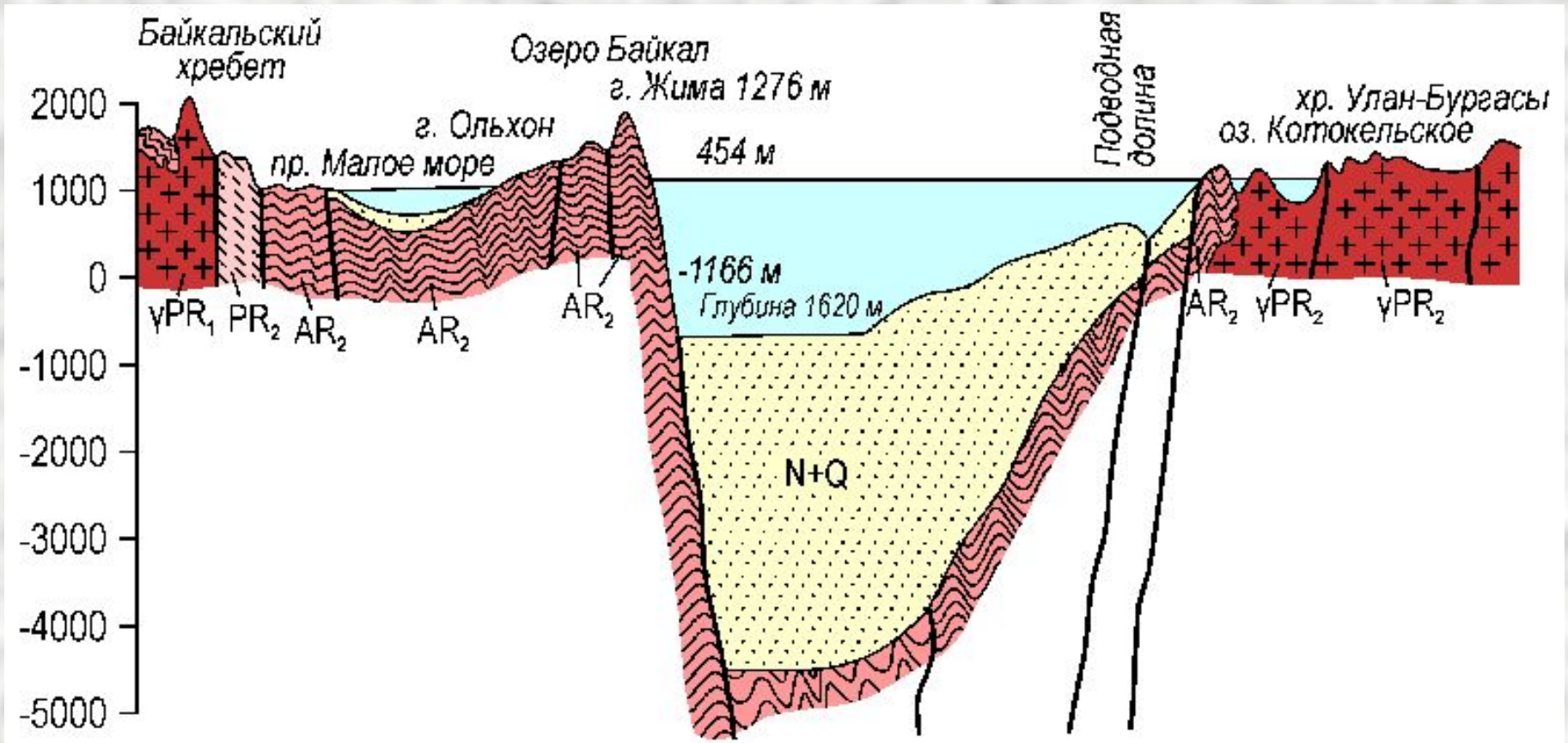


# Байкальский рифт



Рифт возник в конце олигоцена. Его активное развитие продолжается до сих пор со средней скоростью погружения дна 0,6 см/год.

# Байкальский рифт



Средняя скорость раздвига составила 0,2—0,3 см/год; погружение кристаллического основания в Южно-Байкальском трогe 6—7 км; в Северо-Байкальском 4—5 км.

# Восточно-Африканская система рифтов



Великая Африканская рифтовая система - система грабенов, прослеживающихся от Мозамбика через большую часть Африки до гор Анти-Тавр в Малой Азии.

Это величайшая линейная депрессия, протягивающаяся более чем на одну шестую часть окружности Земли.

# Восточно-Африканская система рифтов

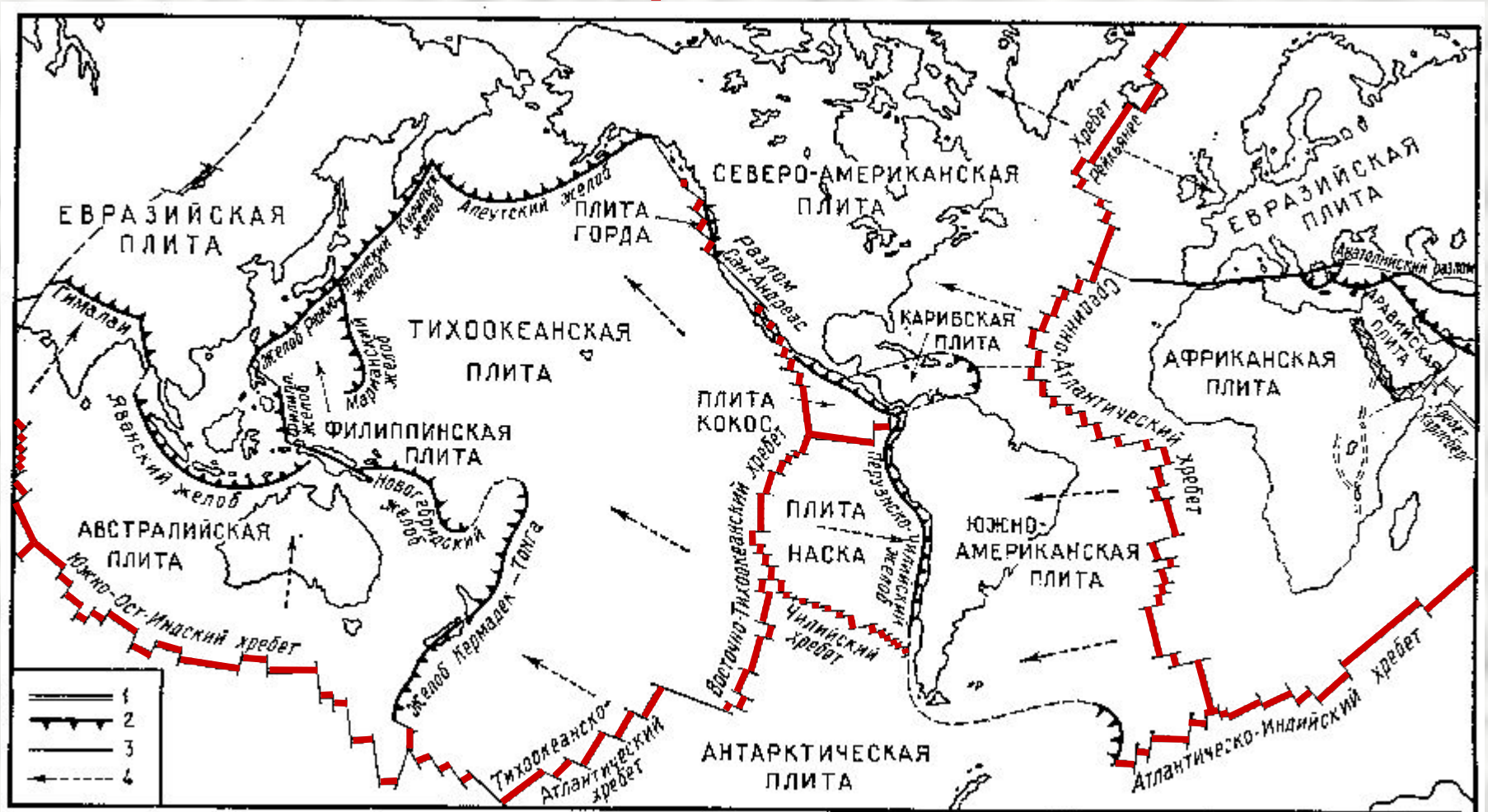


Рифтовые системы пересекают нагорья, образовавшиеся в процессе неоднократно возобновлявшегося подъема

Амплитуда смещения дна рифтовых долин по отношению к краям бортов может достигать 5 км.

Рифтам свойствен вулканизм третичного и четвертичного возраста; они являются также и зонами сейсмической активности.

# Рифтовые долины срединно-океанических хребтов



Еще более грандиозно выглядит система рифтовых долин, протягивающихся вдоль гребней срединно-океанических хребтов. Она практически опоясывает весь Земной шар.

# Рифтовые долины срединно-океанических хребтов

Океанические рифты отличаются сейсмической и тектонической активностью.

Тепловой поток выше среднего. Большая часть тепла отводится гидротермальными растворами.

По мере разрастания дна блоки земной коры поднимаются на высоту более 2000 м над дном рифтовой долины рядом с гребнем хребта.



Обследование дна океанов с обитаемых подводных аппаратов обнаружило свидетельства активного вулканизма

# Надвиги

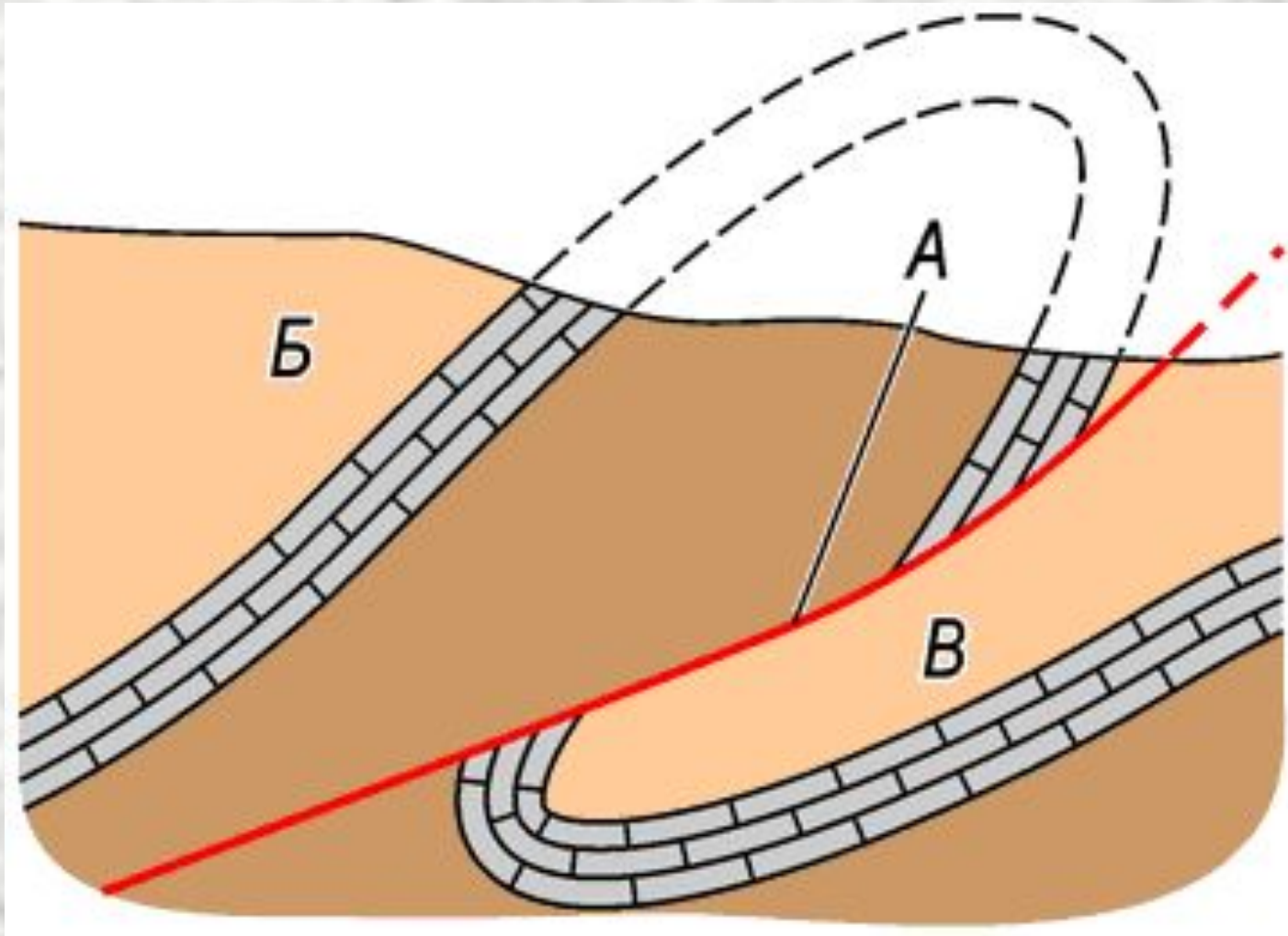
Надвиги - это разрывы взбросового строения, возникающие и развивающиеся одновременно со складчатостью.

Надвиги развиты преимущественно в сильно сжатых наклонных или опрокинутых складках.

Надвиги развиваются вдоль осевых линий складок или на их крыльях параллельно осевым линиям и затухают при выполаживании складок



# Надвиги



В геометрическом отношении надвиг имеет те же элементы, что и другие разрывы: поверхность (сместитель) надвига (А), висячее (Б) и лежащее (В) крылья.

**Сместитель** надвига может иметь **углы падения от  $0^\circ$  до  $90^\circ$** .

Изменения угла падения могут происходить в пределах одной и той же поверхности.

При **прямых складках** поверхности надвигов обычно **близки к вертикальным**.

При асимметрии складок **поверхности надвигов наклоняются в ту же сторону, что и осевые поверхности складок**.

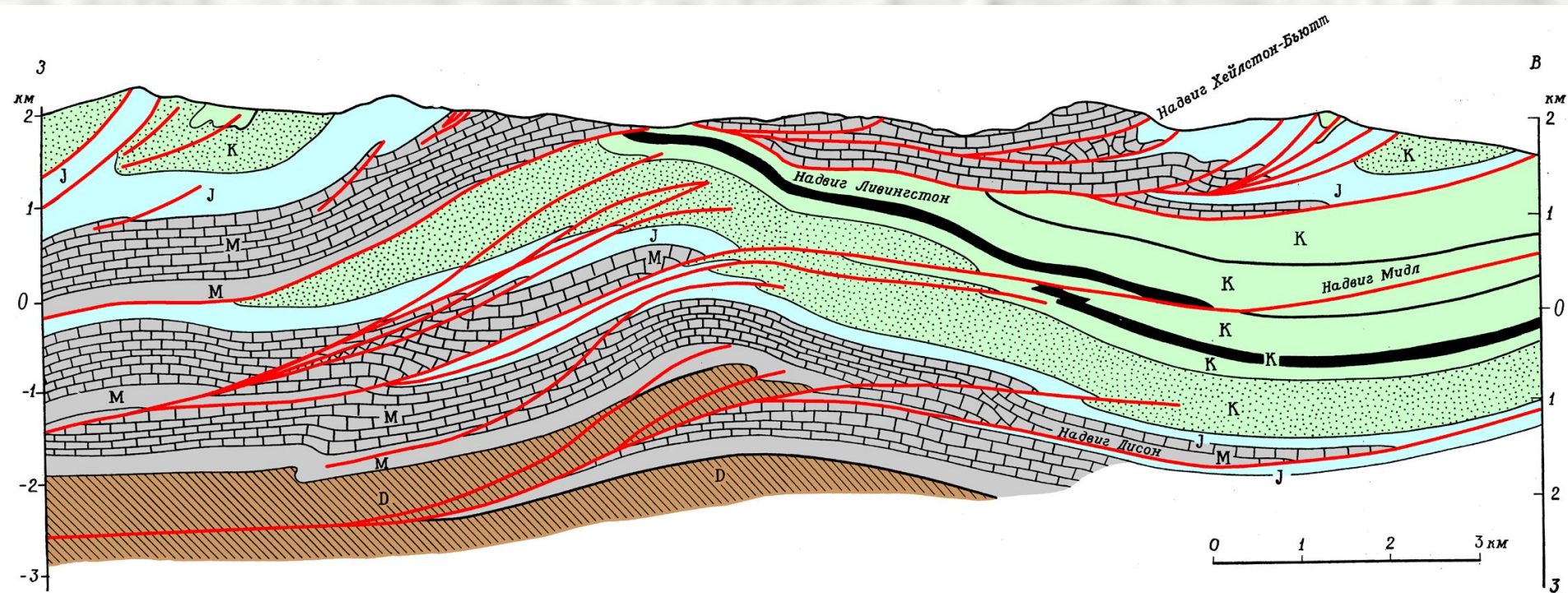
При этом они тем более пологи, чем больше наклонены и опрокинуты складки.

В определенных условиях ***поверхность  
надвига может изогнуться в складки.***

Надвиги обычно зарождаются **в ядрах антиклинальных складок**, где явления сжатия вызывают процесс **скалывания**.

Постепенно поверхность надвига срезает все большее число слоев в ядре складки и может перейти на ее крыло, в результате чего происходит надвигание антиклинальной складки на соседнюю синклиналию.

В связи с тем, что складки бывают нескольких порядков, соответственно и **надвиги могут быть также нескольких порядков.**



Разрез через газоносные отложения Саванна-Крик, Альберта, США, с изображенными на нём надвигами

Надвиговые поверхности могут сопровождаться более мелкими оперяющими поверхностями скалывания.

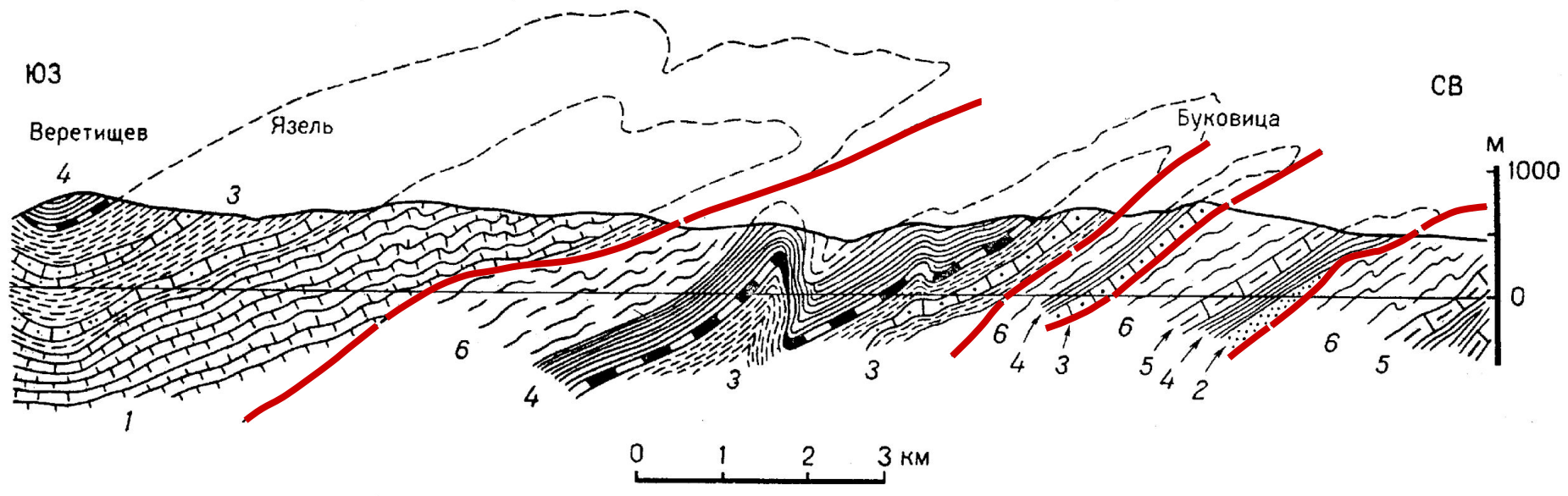


**На геологических картах** надвиги разных порядков устанавливаются по их расположению внутри складок соответствующих порядков.

**Линии надвигов** на геологических картах обычно **субпараллельны простиранию складок**.

В частных случаях простирание линии надвига может отклоняться от простирания складок, даже пересекая их.

# Чешуйчатые надвиги



В тех случаях, когда имеется **несколько надвигов, наклоненных в одну сторону**, говорят о **чешуйчатой** структуре.

При ***пологих поверхностях надвигов***,  
иногда изогнутых в складки, говорят о  
***покровной структуре***.

В тех случаях когда имеется **сочетание** тех и других элементов, можно говорить о **покровно-чешуйчатой** или **чешуйчато-покровной** структуре.

**Отдельные тектонические блоки** как в плане (на геологической карте), так и в разрезе **могут сходиться на нет, выклиниваться** между двумя соседними поверхностями надвигов.

**Амплитуды надвигов** обычно измеряются несколькими **десятками или сотнями метров**, достигая **в некоторых случаях десятков километров**.

# Сместители надвигов

При перемещении висячего крыла надвига возникают условия трения, которые ведут к образованию **брекчии** **трения**, возникновению и развитию явлений **катаклаза** и **милонитизации**, приводящим обычно к образованию **милонитов**.



# Сместители надвигов

Брекчия надвига состоит из кусков первичной породы основания висячего крыла надвига, цементируемых той же самой, но тонко измельченной породой.

# Сместители надвигов

Поверхность висячего крыла надвигов, притираясь и выглаживаясь, часто дает зеркала скольжения.

# Тектонические покровы

**Тектонические покровы**, или **шарьяжи** (от фр. *charrier* - катить) - крупные надвиги с перемещениями на километры и десятки километров по пологим и волнистым поверхностям.

Покровы развиваются в областях со сложным складчатым строением, охватывая крупные массы горных пород, заключающие иногда целые складчатые комплексы.

## Элементы покрова

В покровах выделяются перемещенные массы висячего крыла, называемые **аллохтоном**, и оставшееся на месте лежащее крыло – **автохтон**.

Обычно породы аллохтона древнее пород автохтона, но встречаются покровы и с обратным соотношением пород.

Поверхность сместителя тектонического покрова часто называют **поверхностью волочения**.

## Строение покровов

В аллохтоне иногда различают переднюю **лобовую** часть (голова или фронт покрыва), **тело**, или панцирь покрыва и "**корни**".

Под корнями понимается то место, где породы аллохтона залегают тектонически нормально и откуда они начинали свое перемещение.

Изгибание в складки поверхности надвига, разделяющей аллохтон и автохтон, связано с продолжающимся складкообразованием.

# Тектонические окна и тектонические останцы

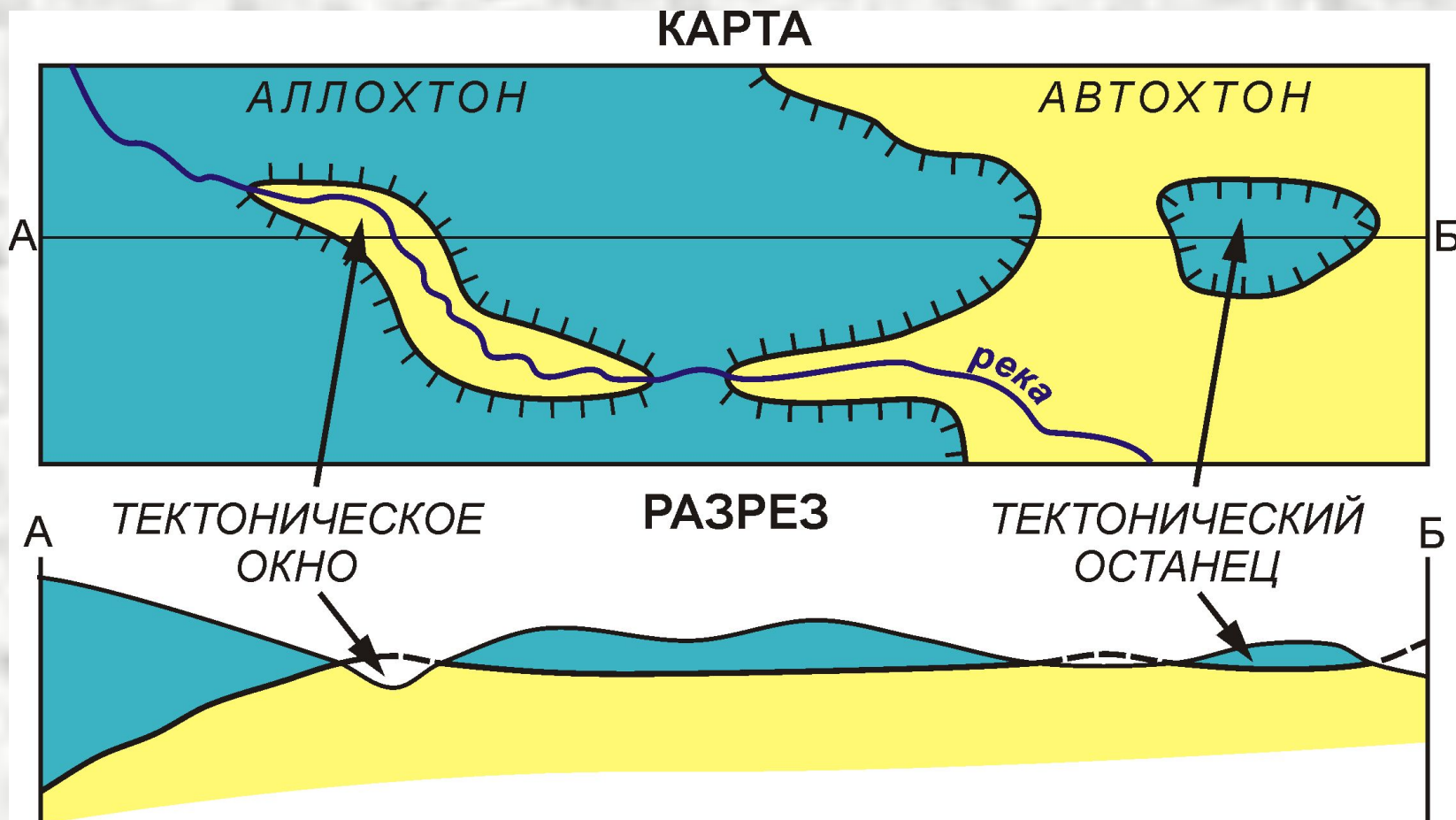
При частичном разрушении аллохтона эрозией на дневной поверхности может выступить автохтон.

Такие участки автохтона среди общего поля аллохтона называются ***тектоническими окнами***.

# Тектонические окна и тектонические останцы

Участки аллохтона, изолированные эрозией от его тела, называются **тектоническими останцами** (экзотическими скалами, клиппами, или клиппенами).

# Схема строения тектонического покрова



Так как поверхность волочения обычно пологая, то **линия сместителя покрова в плане извилистая**, огибает неровности рельефа.



# Тектонические меланжи

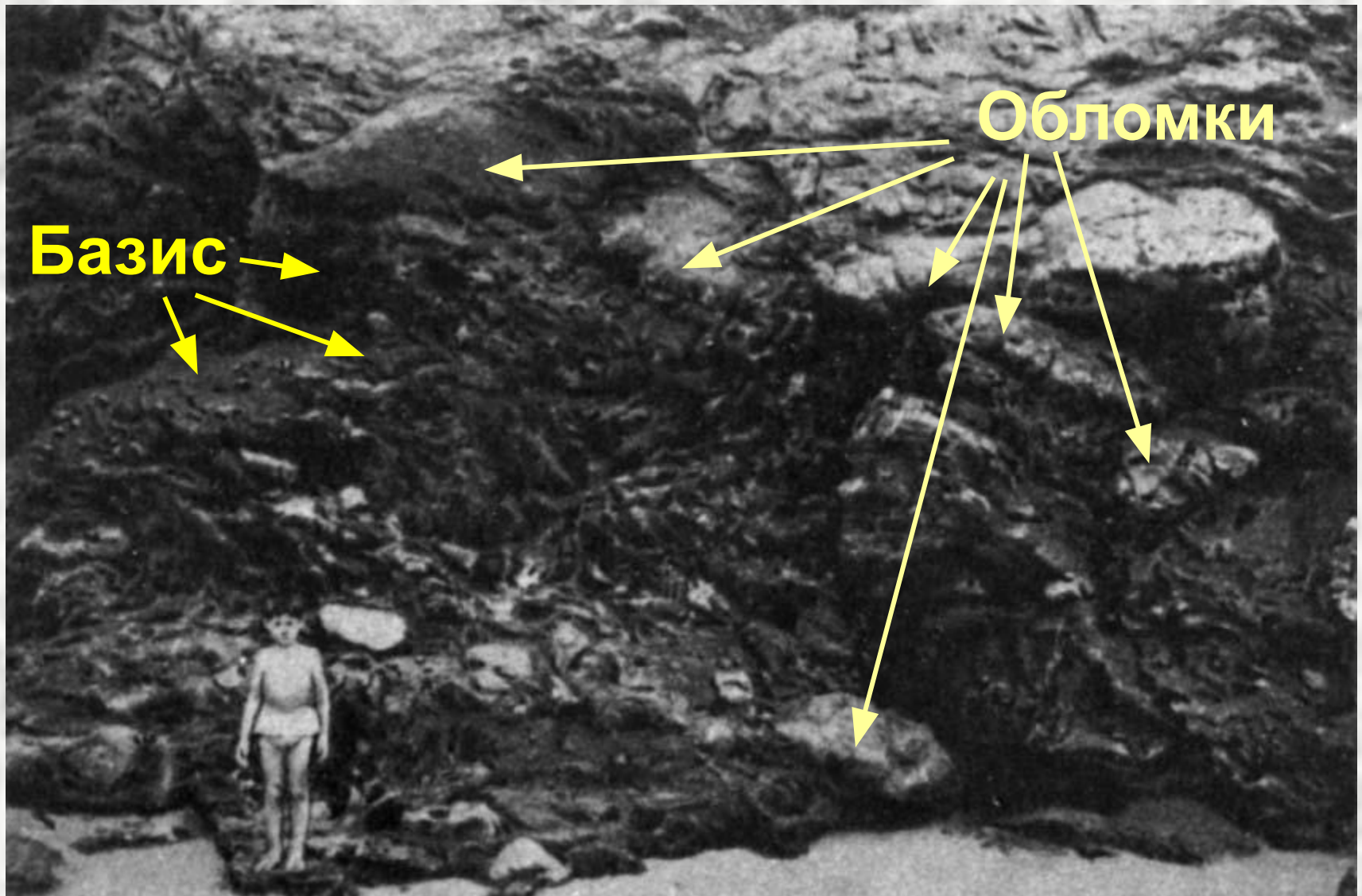
С тектоническими покровами тесно связаны ***тектонические меланжи***, возникающие при раздроблении покровов и перемешивании обломков пород автохтона и аллохтона.

# Тектонические меланжи

Предполагается, что некоторые меланжи образуются вследствие разрушения фронтальной части тектонического покрова по мере его продвижения вперед.

Тектонические меланжи могут быть сходны с отложениями подводных оползней и обвалов.

# Францисканский меланж



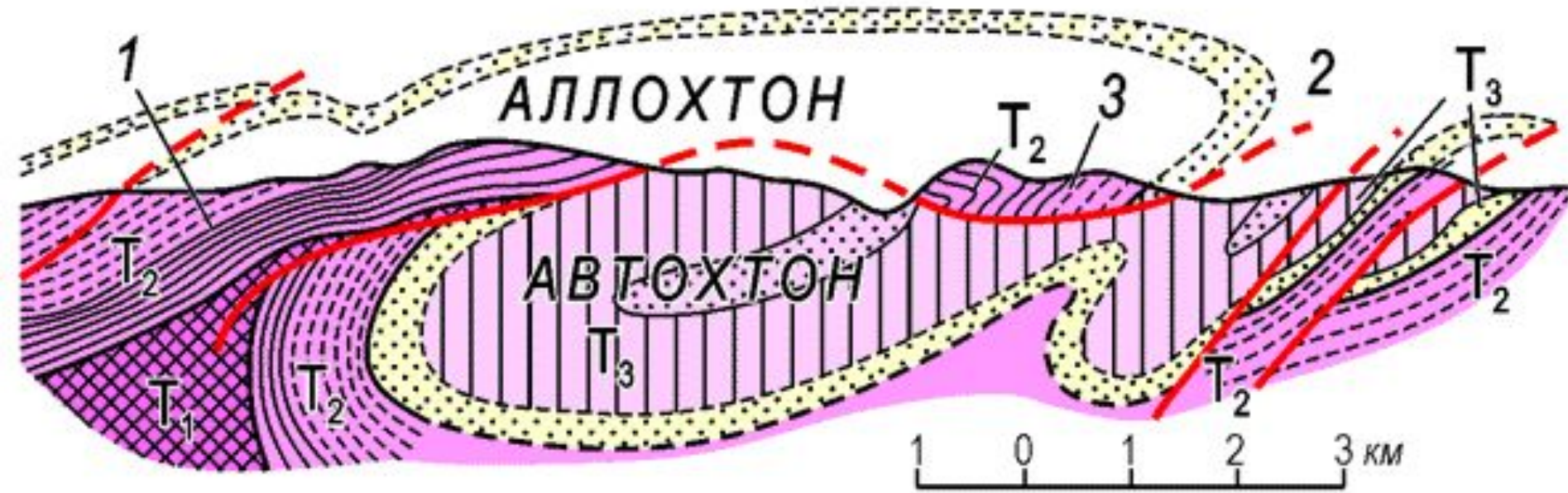
Францисканский меланж. США, Калифорния

# Виды покровов

По условиям образования могут быть выделены **три вида** покровов.

**Первый** из них **образуется из крупных лежачих складок**. Эти покровы часто бывают одиночными.

# Аннабергская лежачая складка

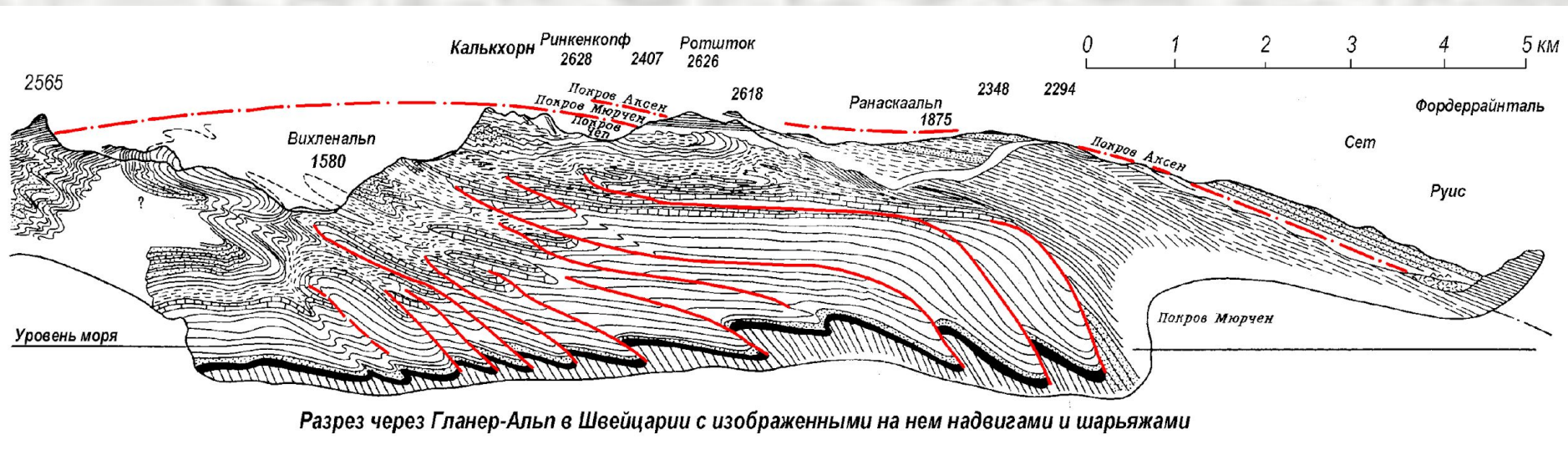


## Небольшой шарьяж (Аннабергская лежачая складка).

Нижний триас представлен очень пластичными породами. 1 - корни аллохтона, 2 - лоб аллохтона, 3 - тектонический останец. Желтым цветом выделен базальный горизонт песчаников верхнего триаса, прерывистыми линиями показаны реконструированные ("воздушные") части структуры.

# Виды покровов

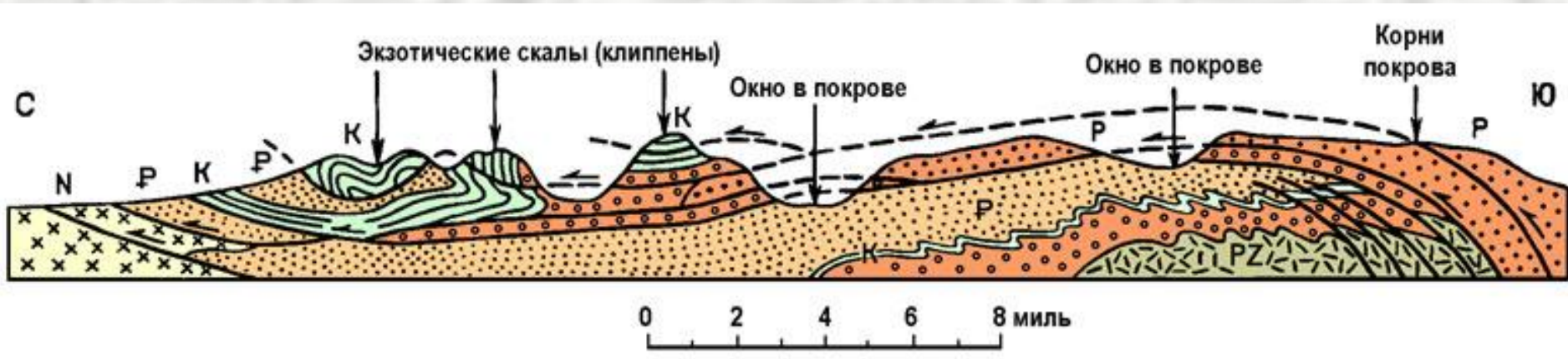
**Покровы второго вида возникают из надвигов в складчатой структуре и обычно дают комплексы из нескольких перекрывающих друг друга покровов.**



## Виды покровов

**Третий вид покровов**, который широко распространен в Альпах, **связывается с гравитационным скольжением** складчатых структур со склонов тектонических поднятий в прилежащие тектонические прогибы.

# Виды покровов



Покров Гларус в Альпах



# Виды покровов

**Амплитуда** смещения аллохтона в покровных структурах **достигает 50-60 км.**

# Сдвиги

**Сдвиги** - разрывы, смещения по которым происходят в горизонтальном направлении, вдоль простирания сместителя.

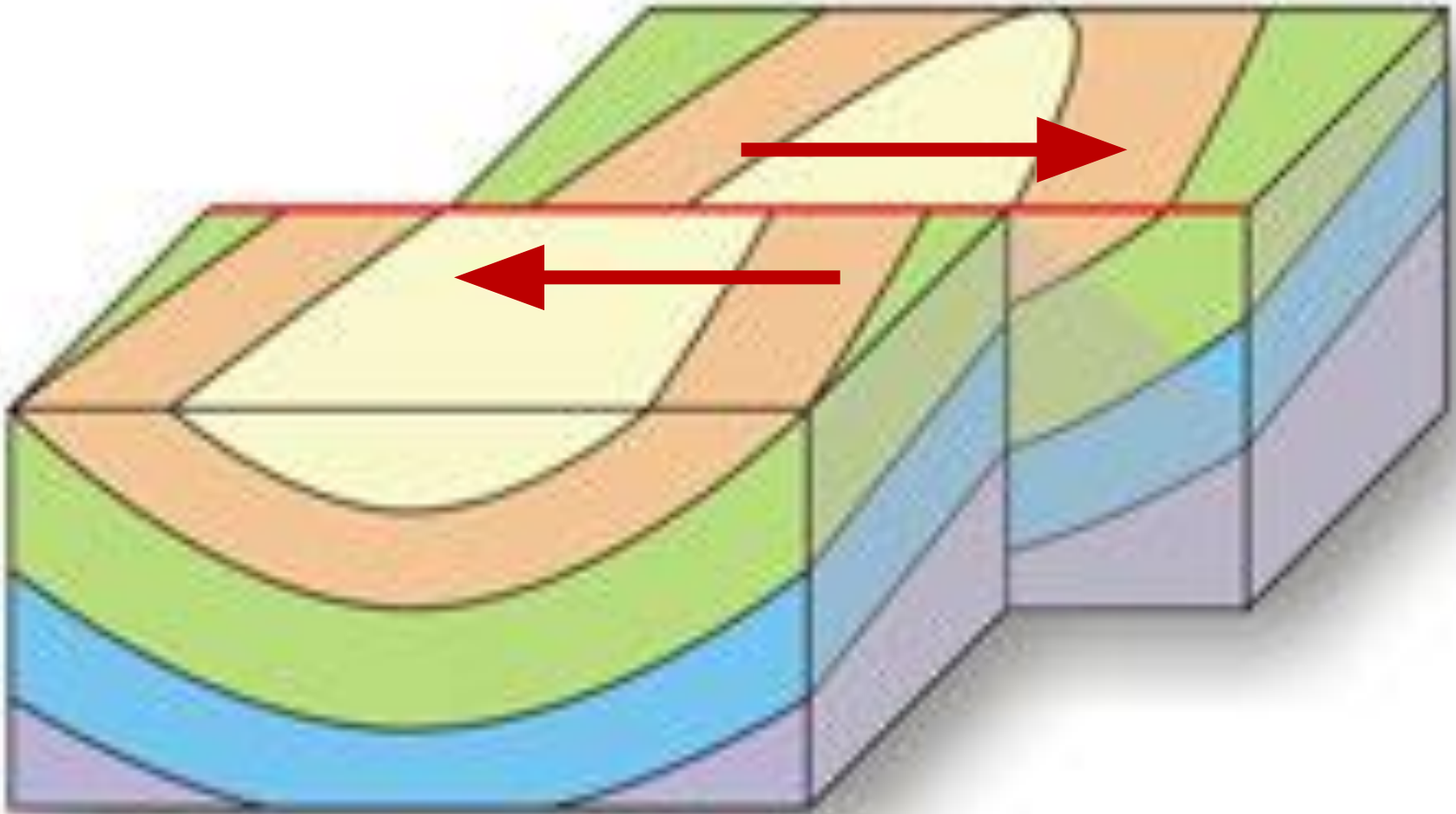
В сдвигах, как в сбросах и взбросах, различаются **сместитель, крылья, угол наклона сместителя и амплитуда смещения.**

# Правый и левый сдвиги

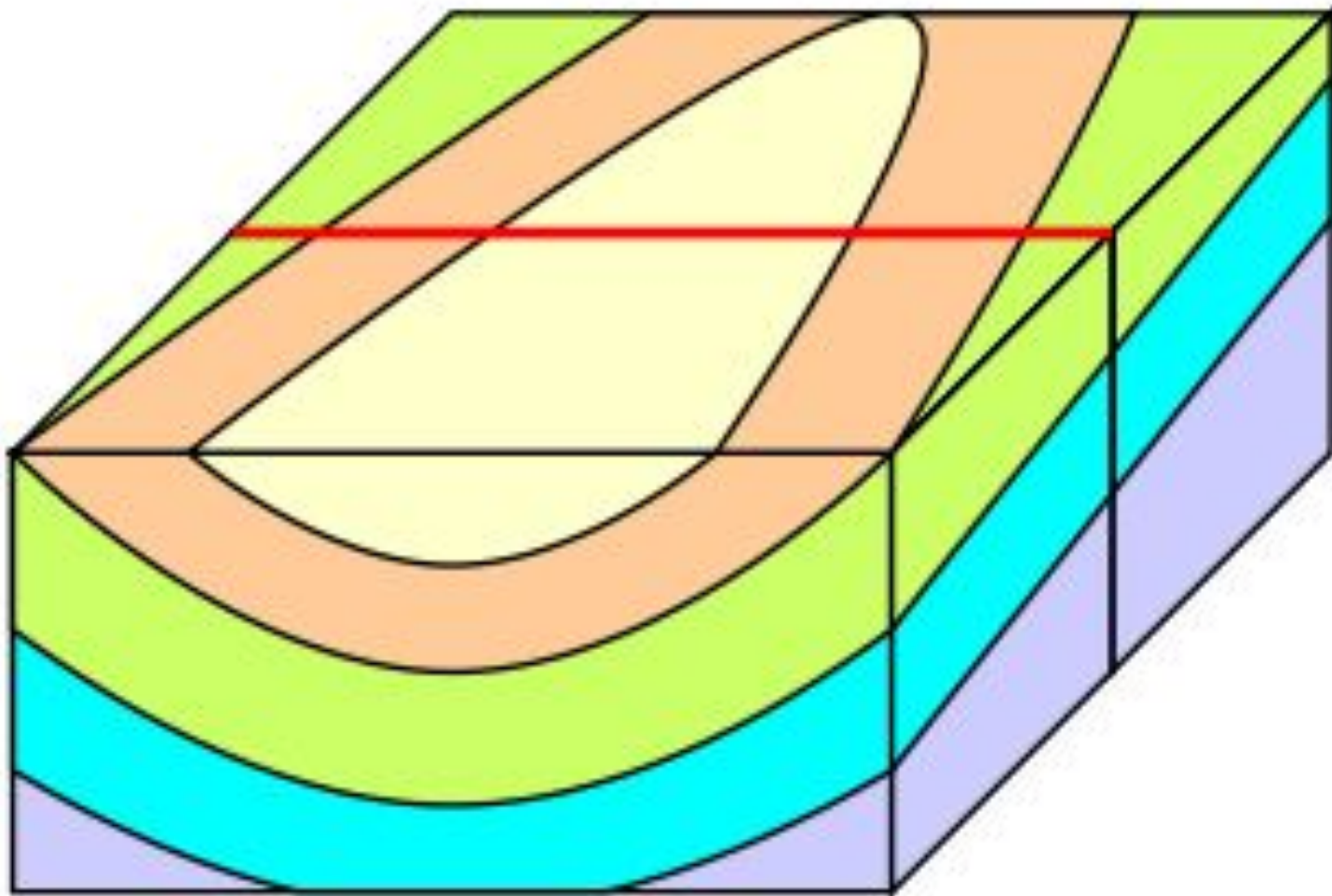
По направлению взаимного смещения крыльев различают **правый** и **левый** сдвиги.

Если смотреть в плане на линию сдвига по перпендикуляру к ней, то в **правом сдвиге** **дальнее крыло смещается вправо**. В **левом сдвиге** при тех же условиях **смещение происходит влево**.

# Правый сдвиг

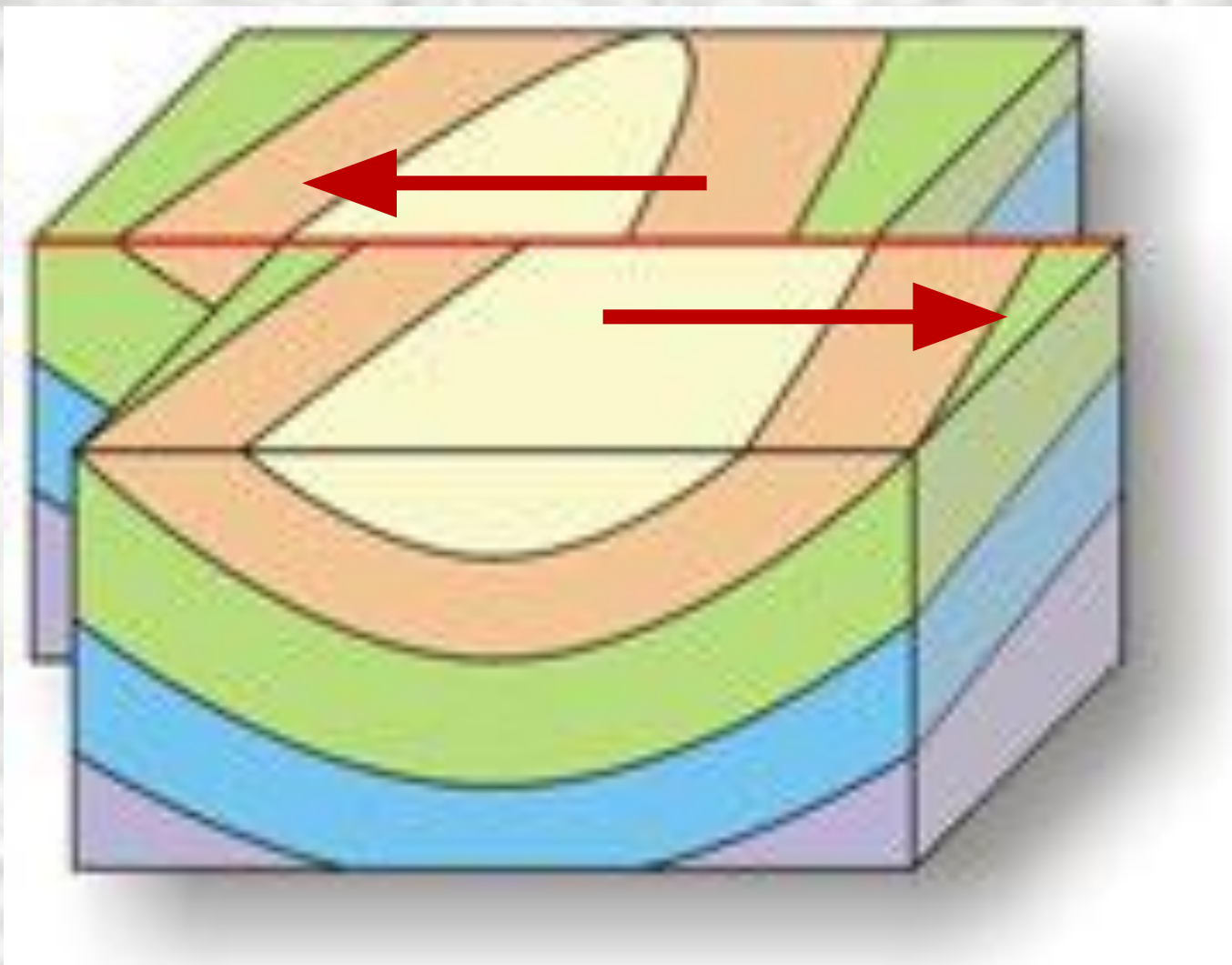


# Правый сдвиг

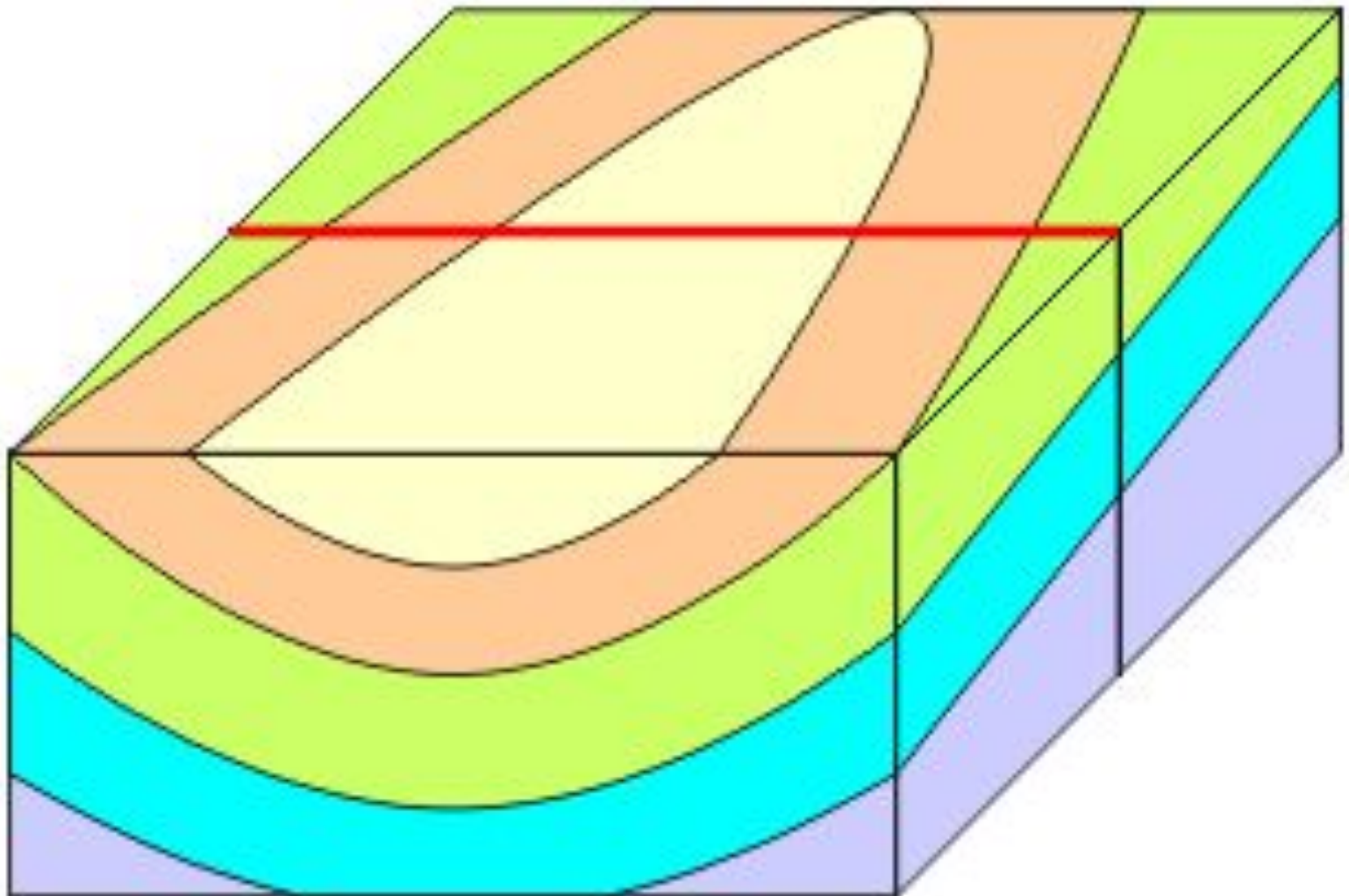


# Правый сдвиг

# Левый сдвиг



# Левый сдвиг





# Левый сдвиг

# Различие между сдвигами и сбросами

Отличить сдвиги от других разрывов бывает затруднительно.

Часто обычные сбросы и взбросы принимаются в практике за сдвиги, особенно на аэрофотоснимках.

## **Различие между сдвигами и сбросами**

Различие заключается в том, что **при сдвиге все элементы структуры смещаются в плане в одну сторону и на одинаковое расстояние,**

**а при сбросе (взбросе) величина и направление горизонтального смещения зависят от направления и угла падения данного элемента структуры.**

# Различие между сдвигами и сбросами

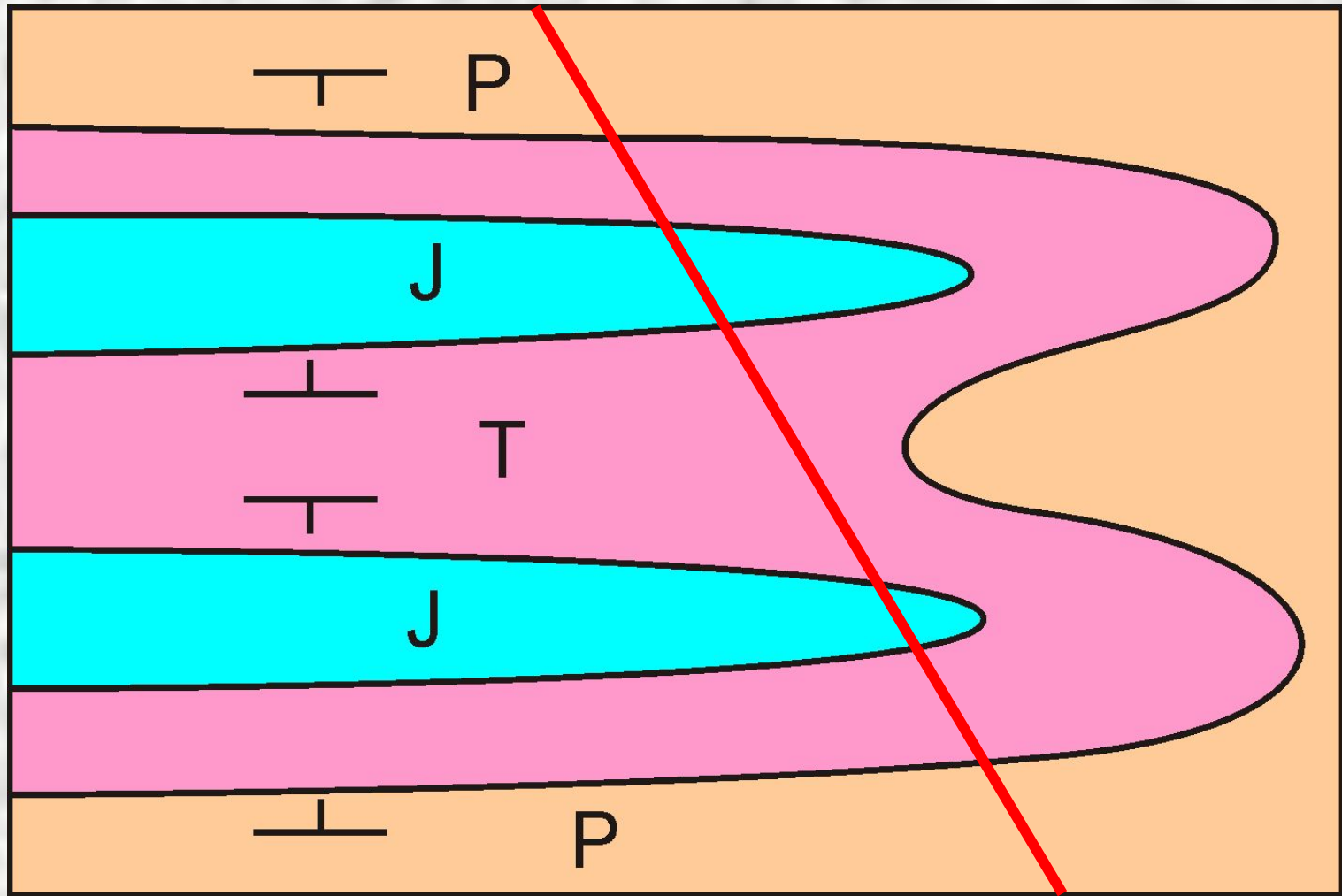
В сдвигах при мысленном возвращении крыльев в положение, существовавшее до возникновения разрыва, концы оборванных структур сходятся, и структура восстанавливается как целая.

Кроме того, **осевая линия складки при сдвиге**, в отличие от сброса, **перемещается вместе с крыльями**.

# Различие между сдвигами и сбросами

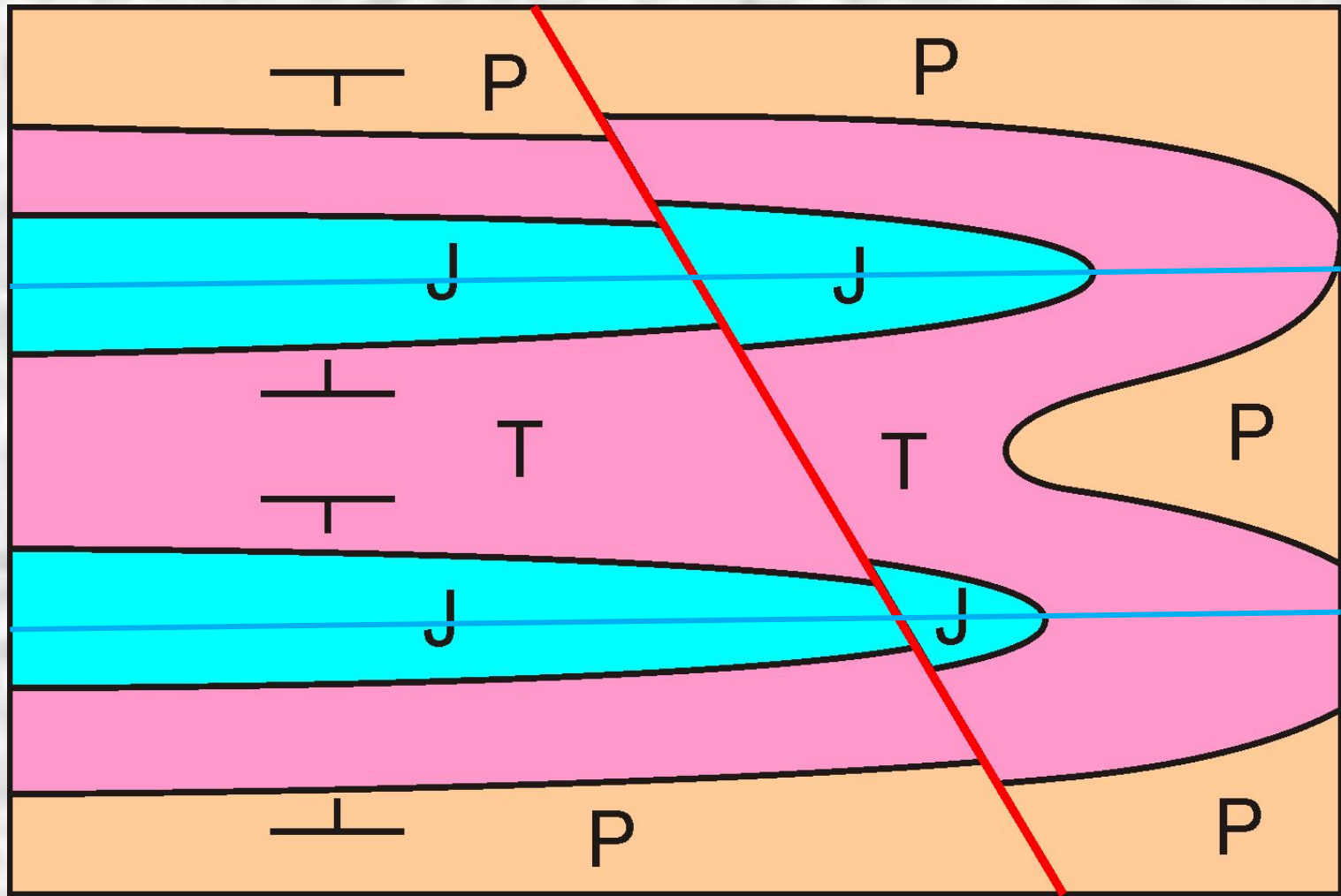
При сдвигах следует внимательно выяснить действительные соотношения по разрыву, поскольку **аналогичный результат может возникнуть при сбросах, секущих опрокинутые изоклиналильные складки.**

# Различие между сдвигами и сбросами



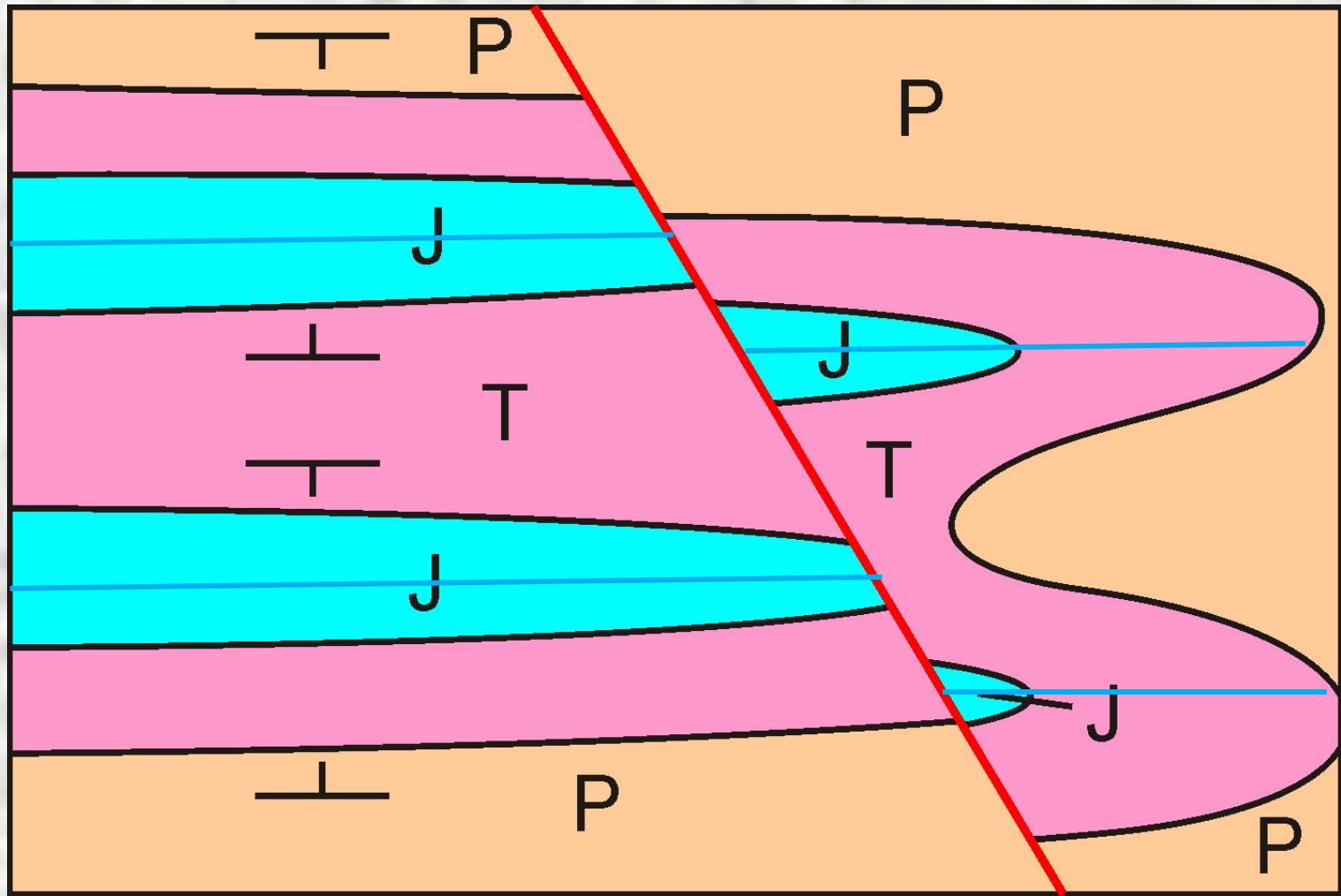
До смещения

# Различие между сдвигами и сбросами



Сброс

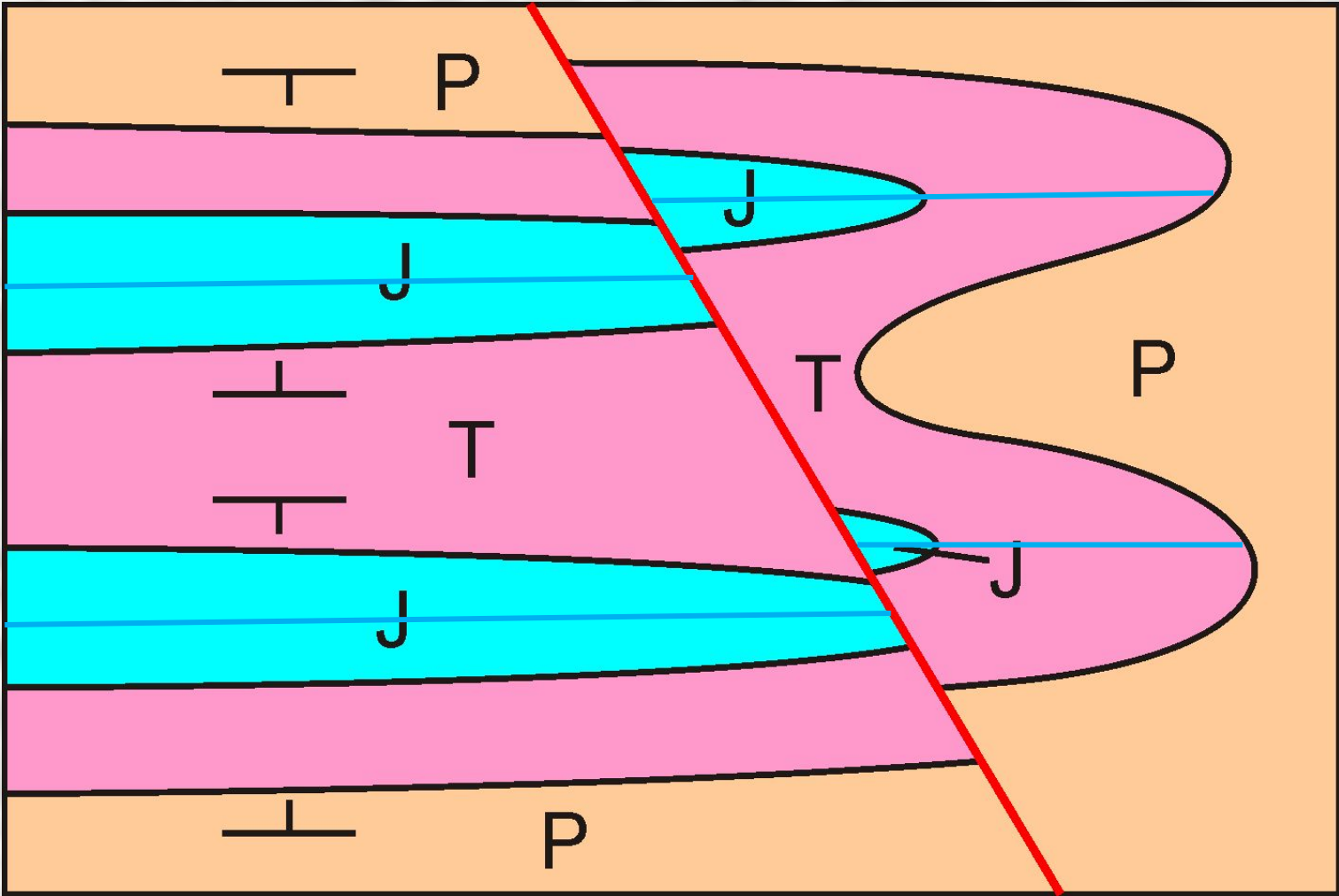
# Различие между сдвигами и сбросами



Правый сдвиг



# Различие между сдвигами и сбросами



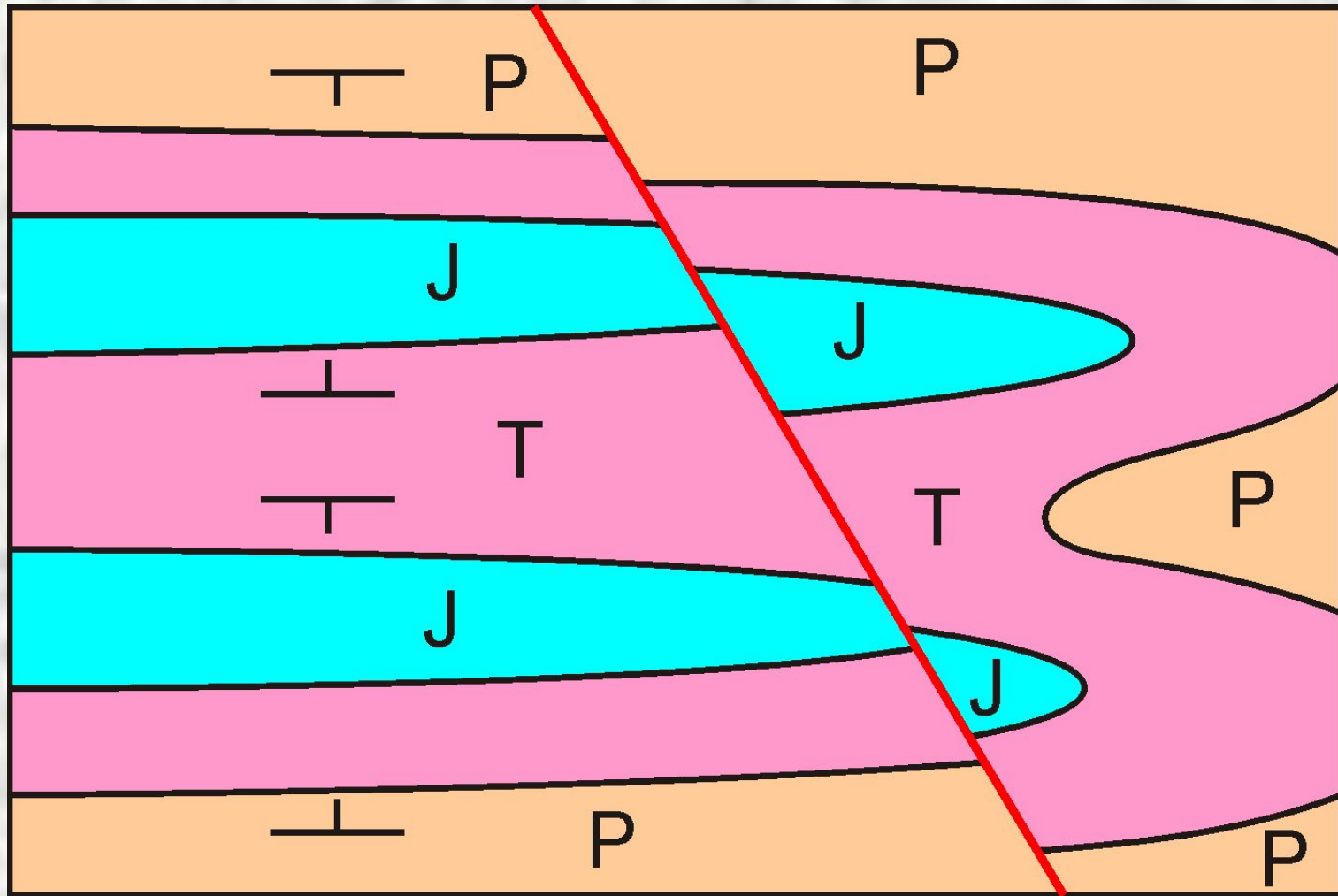
Левый сдвиг

# Сбросо-сдвиги и взбросо-сдвиги

Смещение крыльев в разрывах часто происходит не строго в каком-то одном направлении по поверхности сместителя - по горизонтали, вверх или вниз, а косо по отношению к горизонту.

В этом случае в разрывах появляются как сдвиговая, так и сбросовая или взбросовая составляющие и разрывы называются ***сбросо-сдвигами*** и ***взбросо-сдвигами***.

# Сбросо-сдвиги и взбросо-сдвиги



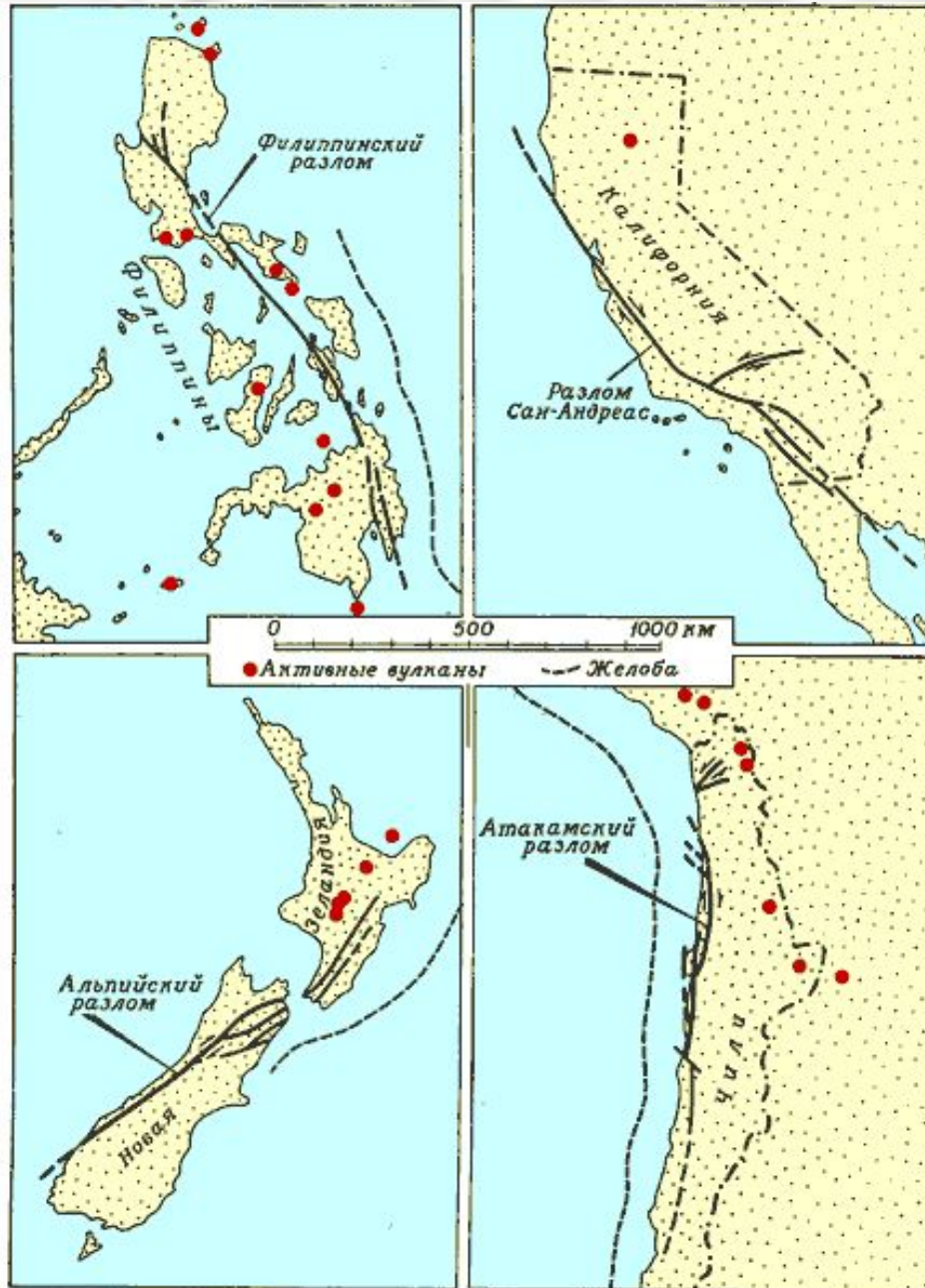
Сбросо-сдвиг

# Размеры сдвигов

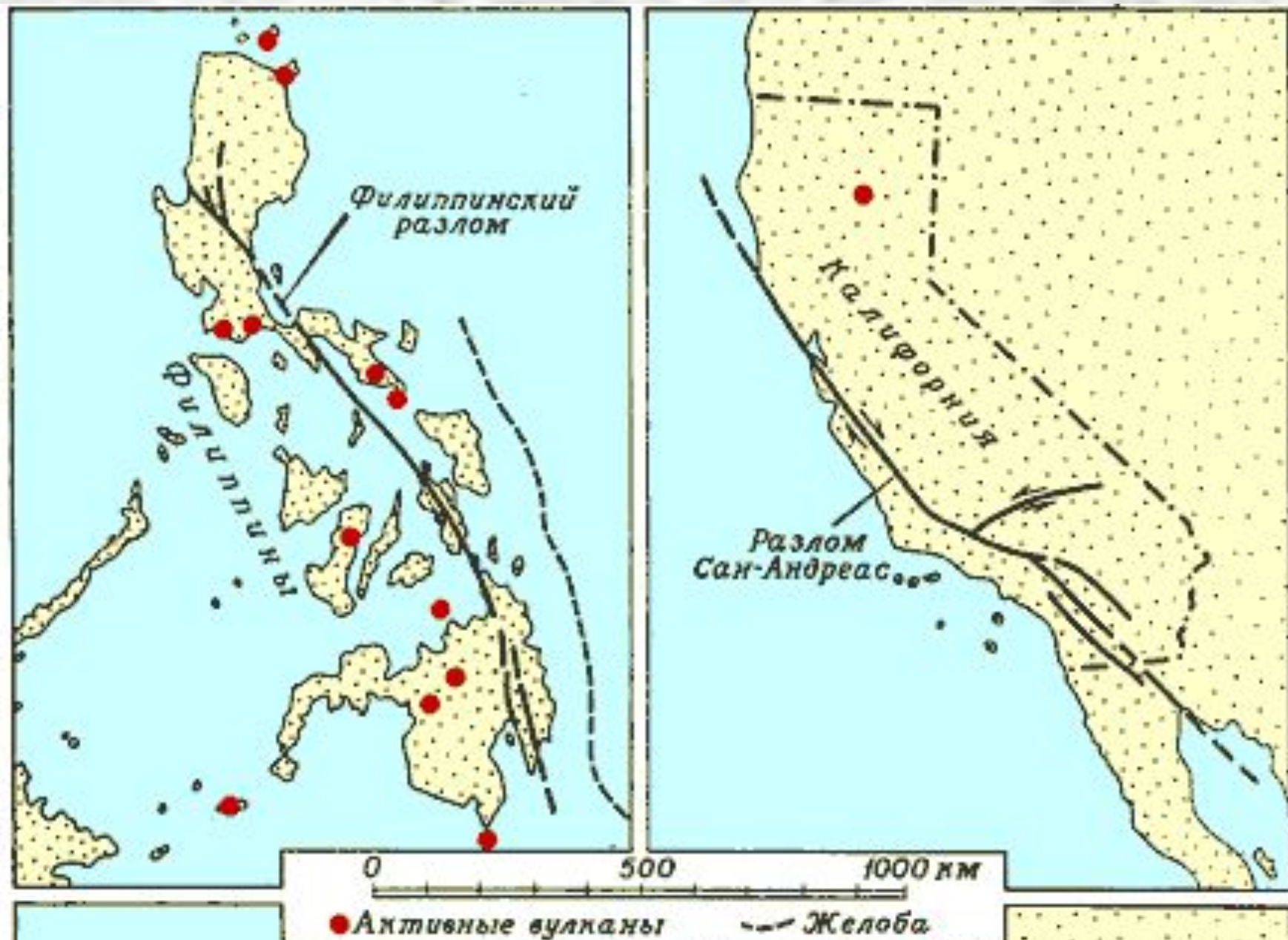
Сдвиги широко распространены в земной коре. Они образуют как местные (локальные) структуры, так и структуры регионального значения.

Крупнейшие сдвиги прослеживаются на многие сотни и даже тысячи километров. Они оказывают влияние на тектоническое строение целых регионов.

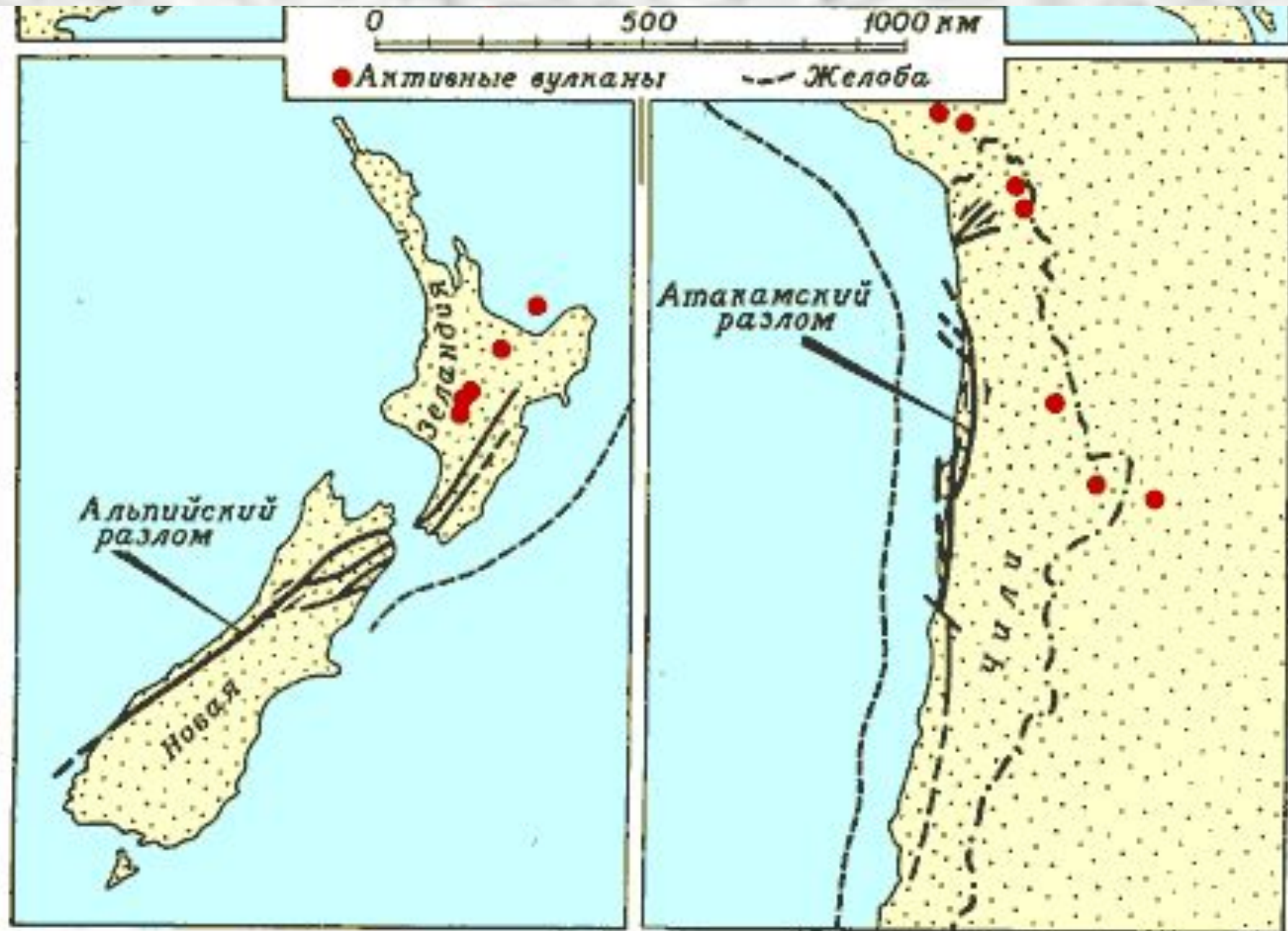
# Примеры крупнейших сдвигов



# Примеры крупнейших сдвигов



# Примеры крупнейших сдвигов



# Разлом Сан-Андреас

Один из наиболее крупных разломов земной коры - Сан-Андреас.

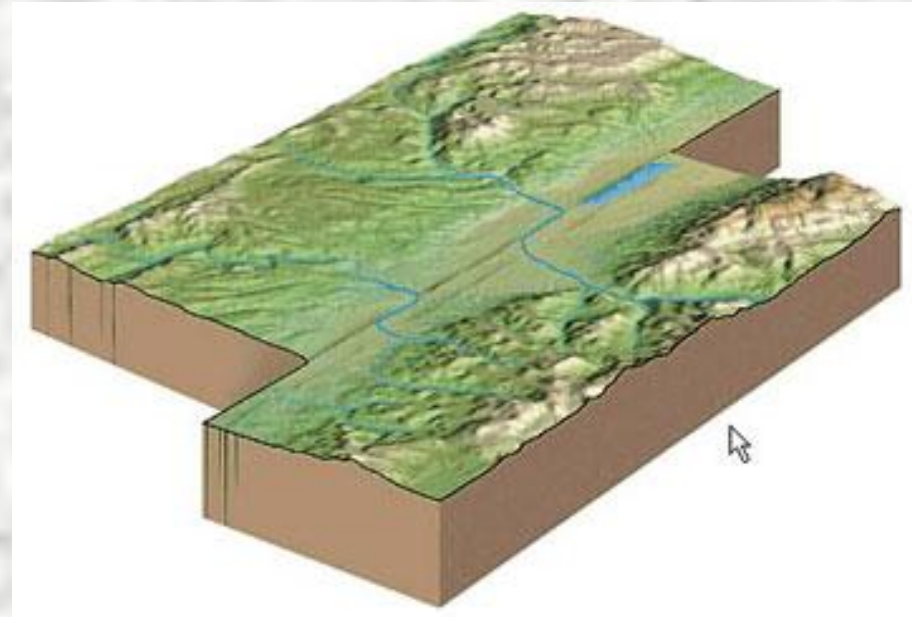
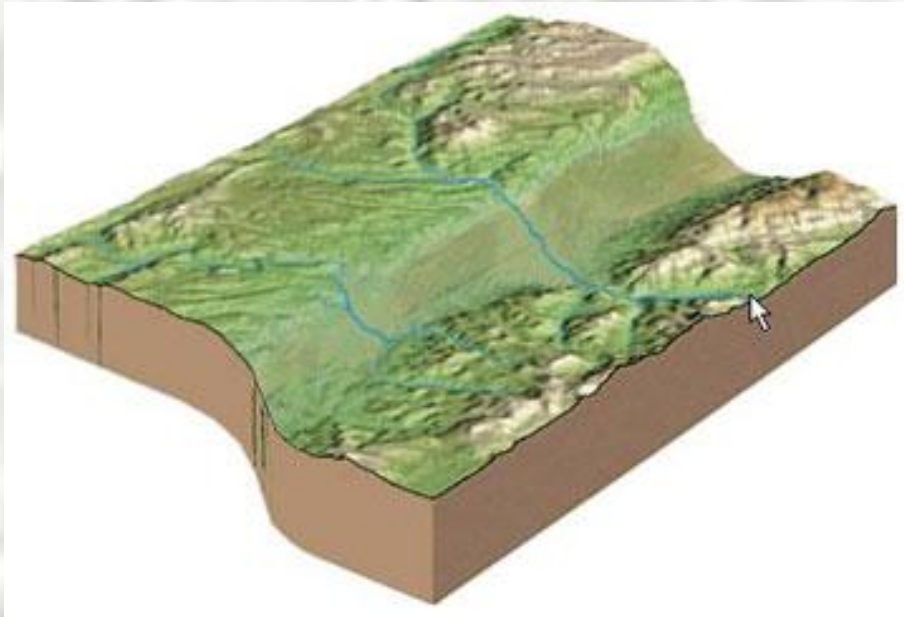
Разрыв Сан-Андреас в Калифорнии **прослеживается на расстоянии более 800 км** и сопровождается зоной брекчирования иногда до 1000 м шириной.



# Разлом Сан-Андреас

Как показывает изгибание русел и других современных морфологических элементов, **правое смещение по сдвигу** в северной части разлома **в течение современного периода** нигде **не превышает 1000 м.**

# Разлом Сан-Андреас



На схемах показано, как в результате подвижек по разлому сместились долины рек

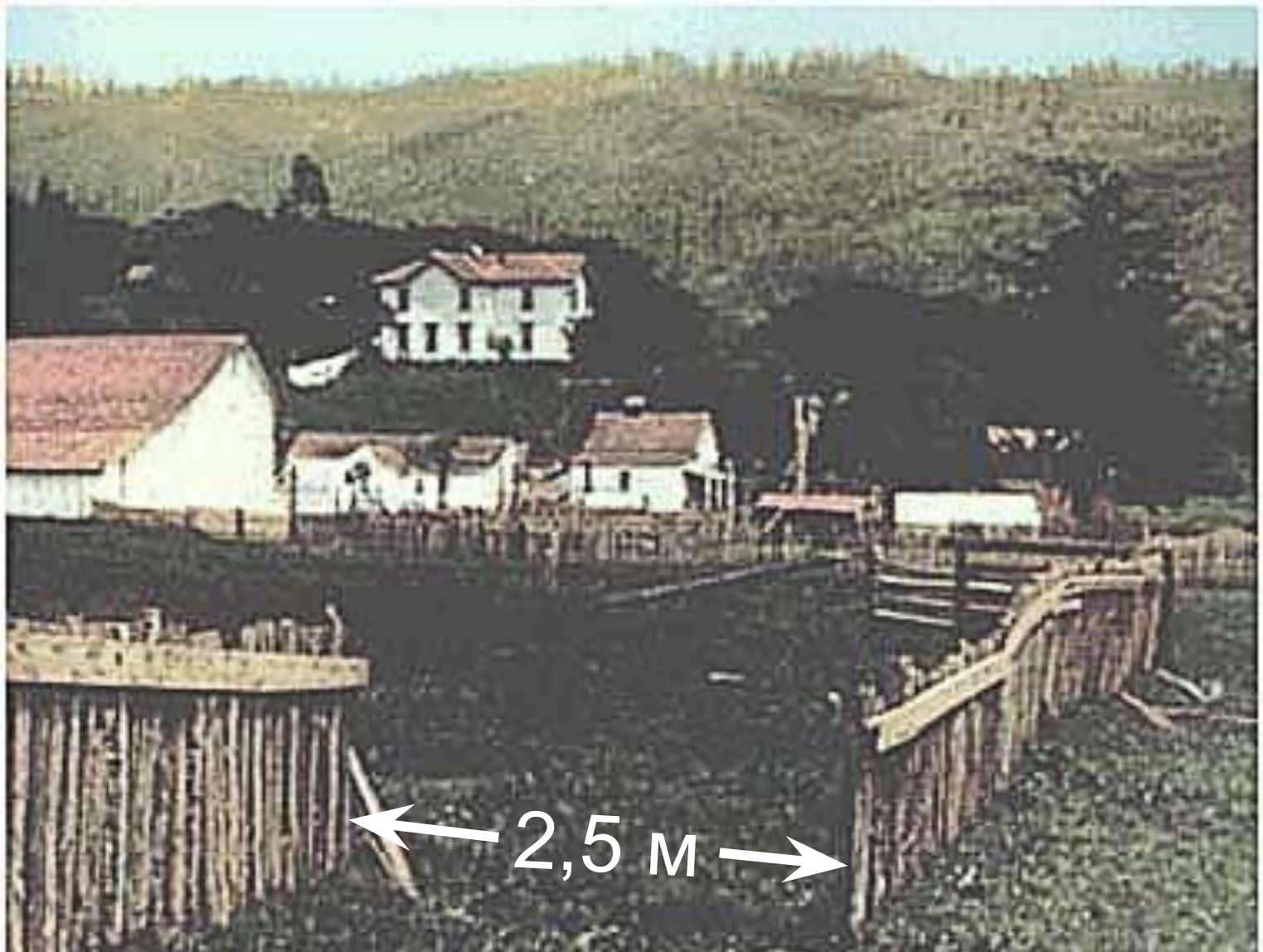
# Разлом Сан-Андреас

После землетрясения 1906 г. в Сан-Франциско разлом быстро приобрел широкую известность.

Вдоль линии разлома, проходящей через западные окраины города, на расстоянии примерно 430 км проявились смещения, достигавшие 7 м.



На фотографии видны разрушения после землетрясения - сдвинутые трамвайные пути и тротуар.



На фотографии видно, как после одной из подвижек по разлому забор, окружающий участок, сместился на 2,5 метра.

На протяжении геологического времени по сдвигу Сан-Андреас произошли горизонтальные смещения на много километров.

В 1953 г. Хилл и Диббли установили, что **за время, прошедшее начиная с мелового периода, величина смещения превысила 500 км.**

Общим для всех крупных сдвигов является, помимо горизонтальных смещений на десятки и сотни километров, **наличие крупных вертикальных смещений** (от 1 до 3 км в среднем), **мощных зон брекчирования** и **проявления второстепенных разломов.**

Характерна для сдвигов и **длительность**  
**развития**, обычно охватывающая не одну  
эру, причем это развитие в одних случаях  
могло быть практически непрерывным,  
в других — возобновляться после  
значительных перерывов.