

Структурная геология и геологическое картирование

Лекция № 6

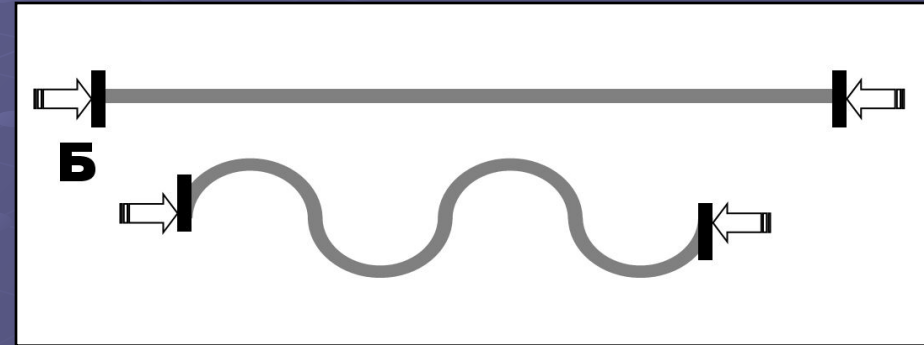
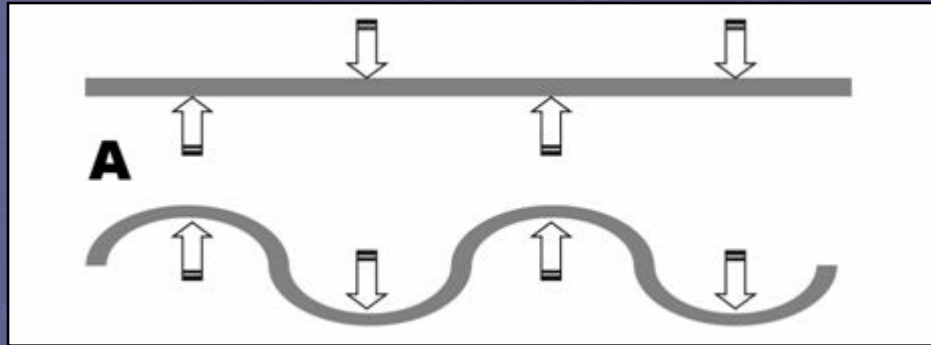
«Складки-2»

Генетические типы складок

1. Направление приложенных сил:

А – поперечного изгиба, или штамповые (формируются в результате вертикальных движений отдельных блоков),

Б – продольного изгиба, или общего смятия (формируются преимущественно в результате горизонтального сжатия)



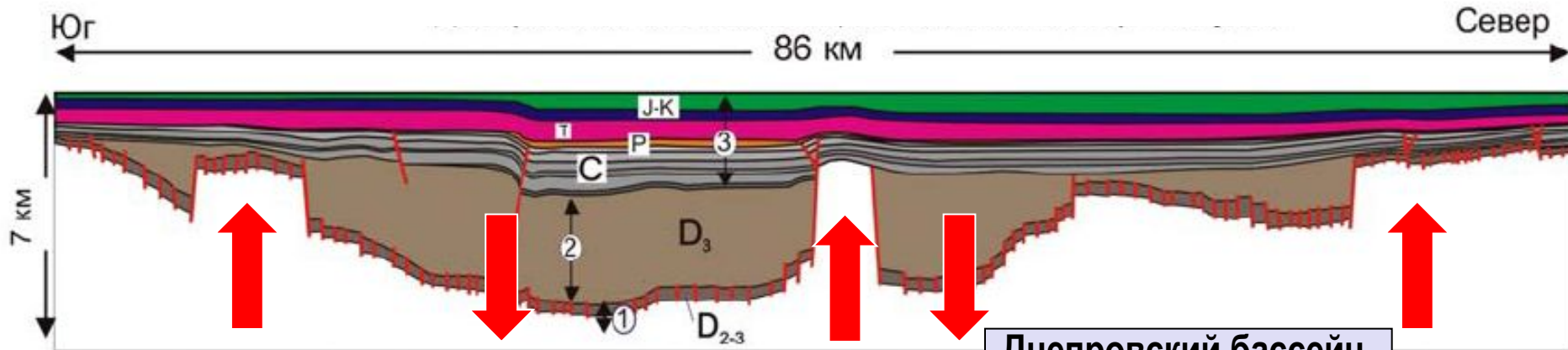
Складки поперечного изгиба, как правило, имеют относительно крутые крылья и пологие замки.

Морфологические типы (в разрезе): *сундучные, килевидные, гребневидные*, часто *асимметричные*, их крылья осложнены *флексурами*.

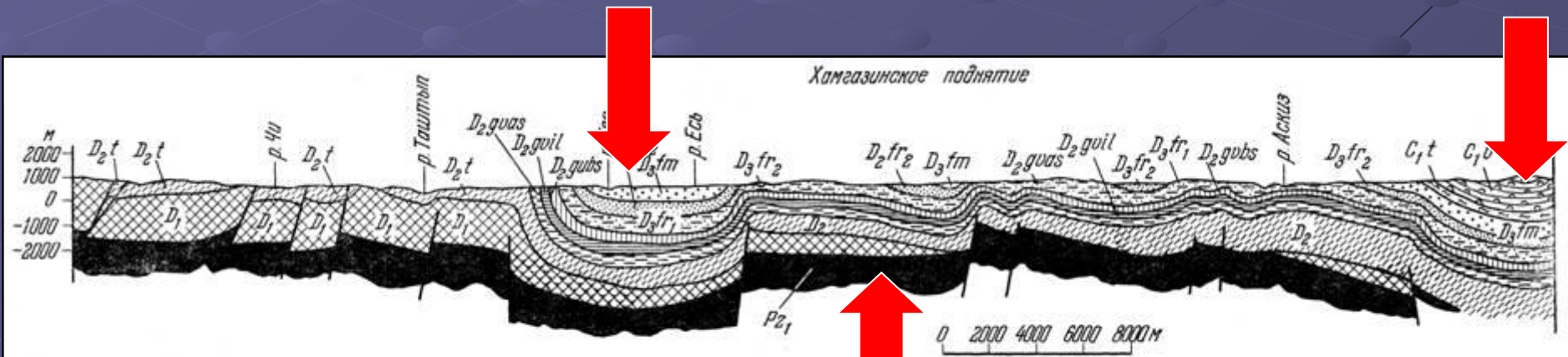
Морфологические типы (в плане): *брахискладки*, *реже*, *изометричные*.

Такие складки наиболее распространены в чехлах платформ и образуются над опускающимися или поднимающимися блоками фундамента. Более или менее прямолинейные крылья и угловатые замки отражают конфигурацию блоков фундамента, разделенных разрывами.

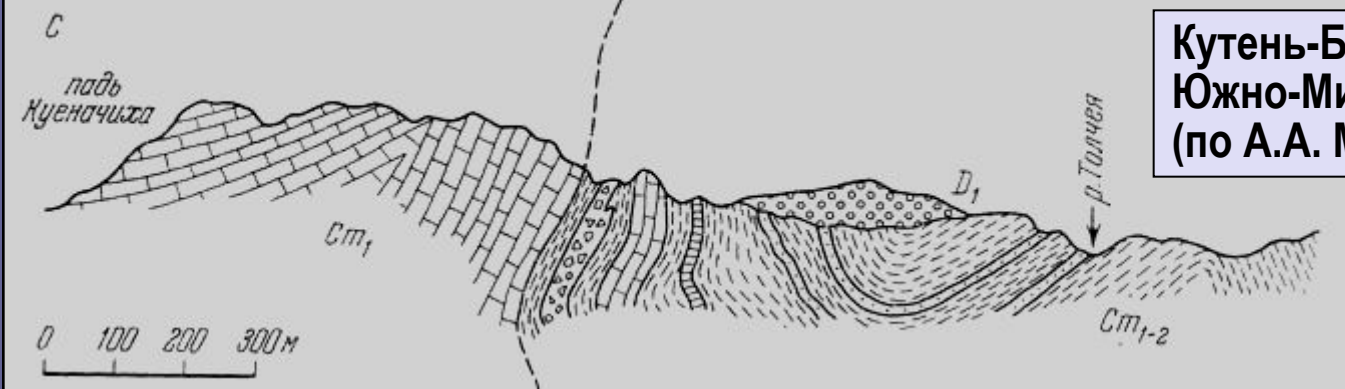
Примеры штамповых складок, или складок поперечного изгиба



Днепровский бассейн.
Разрез по линии
Остер – ст. Рудня



Таштыпский прогиб Южно-
Минусинской впадины
(по А.А. Моссаковскому)



**Кутень-Булукская флексура
Южно-Минусинской впадины
(по А.А. Моссаковскому)**

**Сарысу-Тенизский водораздел. Казахстан
(по В.Н. Завражнову)**



**Северный борт Таримской плиты.
Северный Китай. GoogleEarth**



Южный Тянь-Шань.
GoogleEarth

Центральный
Атлас. С. Африка.
GoogleEarth



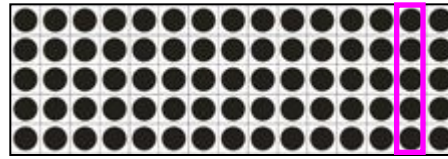
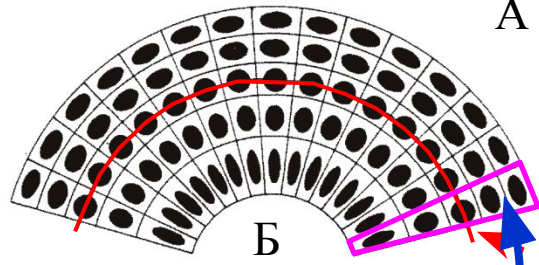
Image © 2009 TerraMetrics
© 2009 Google
26°38'05"21" С 1°56'11"56" В высота рельефа: 178 м
Высота камеры: 10



Западное Прибалхашье.
Казахстан. GoogleEarth

© 2008 AND
Image © 2008 Google
© 2008 Google
Image © 2008 Google
45°26'22"33" С 71°24'58"52" В высота рельефа: 1188 м
Высота камеры: 33.78 м

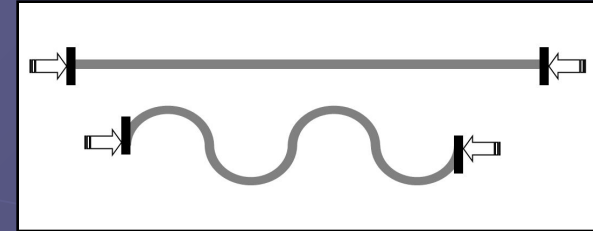
Складки продольного изгиба, или складки общего смятия



Прямоугольные
маркеры
деформированы

в сектора
в сигмоиды

Нейтральная поверхность
(без сжатия или растяжения)



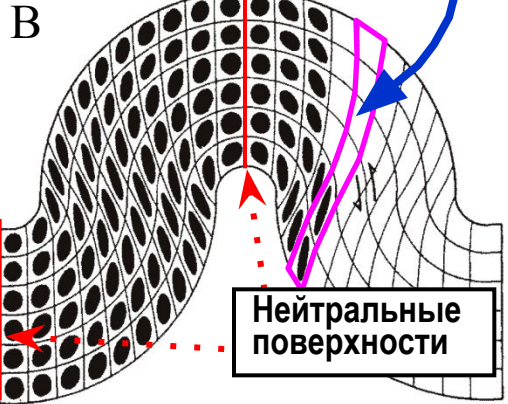
Механизмы деформации

А. Недеформированный пласт

Б. Деформация флексурного течения:
нейтральная поверхность проходит посередине слоя
(бытовой аналог – изогнутая резиновая пластина)

В. Деформация флексурного изгиба: **нейтральная поверхность** совпадает с осевой поверхностью складки
(бытовой аналог – изогнутая гофрированная труба между параллельными входом и выходом)

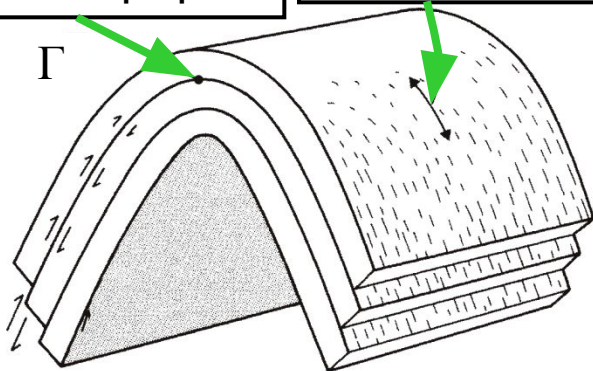
Г. Деформация межслоевого скольжения со смещением, параллельным слоистости
(бытовой аналог – изогнутая пачка бумаги)



Нейтральные поверхности

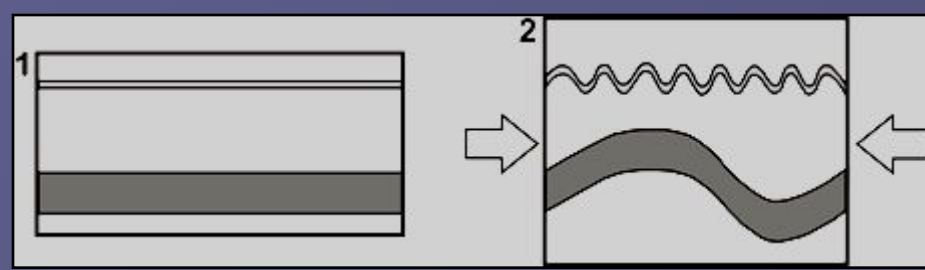
Скольжения нет
в шарнире

Штриховка на
крыльях



Свойство складок продольного изгиба:

длина волны складки прямо пропорциональна **мощности** деформируемого слоя



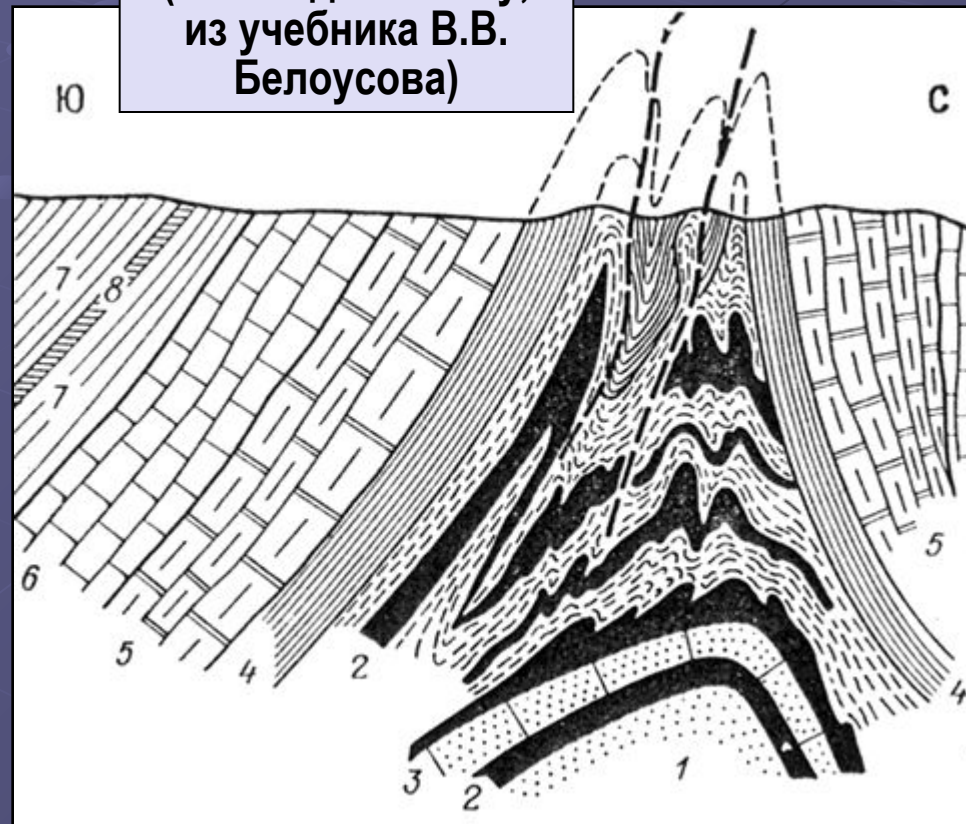
Если в толще пород чередуются пласты разной мощности, то общий стиль складчатости задается именно пластами максимальной мощности (особенно, если это слои с высокой вязкостью, т.е. "**компетентные**"), а образованные ими складки именуется "доминантными".

Слои малой мощности и меньшей вязкости ("**некомпетентные**") могут быть смяты в существенно более мелкие складки (на порядок и больше), чем доминантные.

Такие складки называются "дисгармоничными", поскольку длины волн (гармоники) доминантных и дисгармоничных складок не совпадают.

NB! Некомпетентными могут оказаться пачки слоев, каждый из которых вполне компетентен!

Флишевые Карпаты
(по Свидзинскому,
из учебника В.В.
Белоусова)



Интернет-ресурс

Несмотря на "хаотичность" дисгармоничной складчатости морфологическое подобие бывает удивительным за счет общих механизмов

Верхний девон.
Южный Урал



Ульяновская синклиналь.
Фамен. Северное Прибалхашье.
Казахстан (по И.А. Кошелевой)

0 1 2 3 4

Дисгармоничная складчатость нагнетания

Карбон. Южный Урал



Между компетентными пластами известняков (грубослоистых, массивных) зажата пачка тонкослоистых терригенно-карбонатных пород

NB! Выдавливание происходит в замки антиклиналей!

Схема формирования складок нагнетания (по П.А. Фокину)



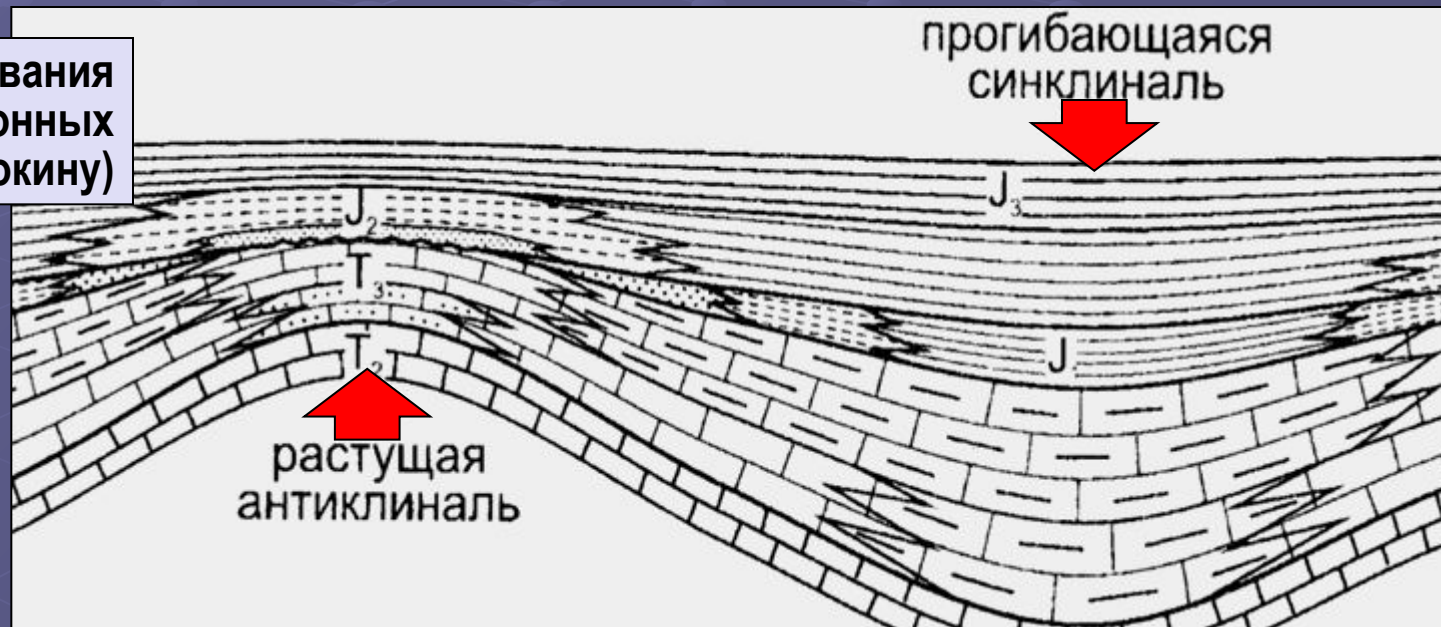
2. Отношение к осадконакоплению

А – постседиментационные складки (практически все рассмотренные ранее складки формируются после складчатости)

Отличительный признак – более или менее выдержанная мощность слоев, независимость мощностей и фаций слоев от морфологии складки.

Б – конседиментационные складки (при осадконакоплении)

Схема формирования конседиментационных складок (по П.А. Фокину)



Мощности слоев и размерность обломочного материала в них (в общем случае – фации) зависят от того, в какой части складки они накапливаются

NB! Возраст конседиментационной складчатости совпадает с возрастом всех накопившихся в процессе неравномерного прогибания пород.

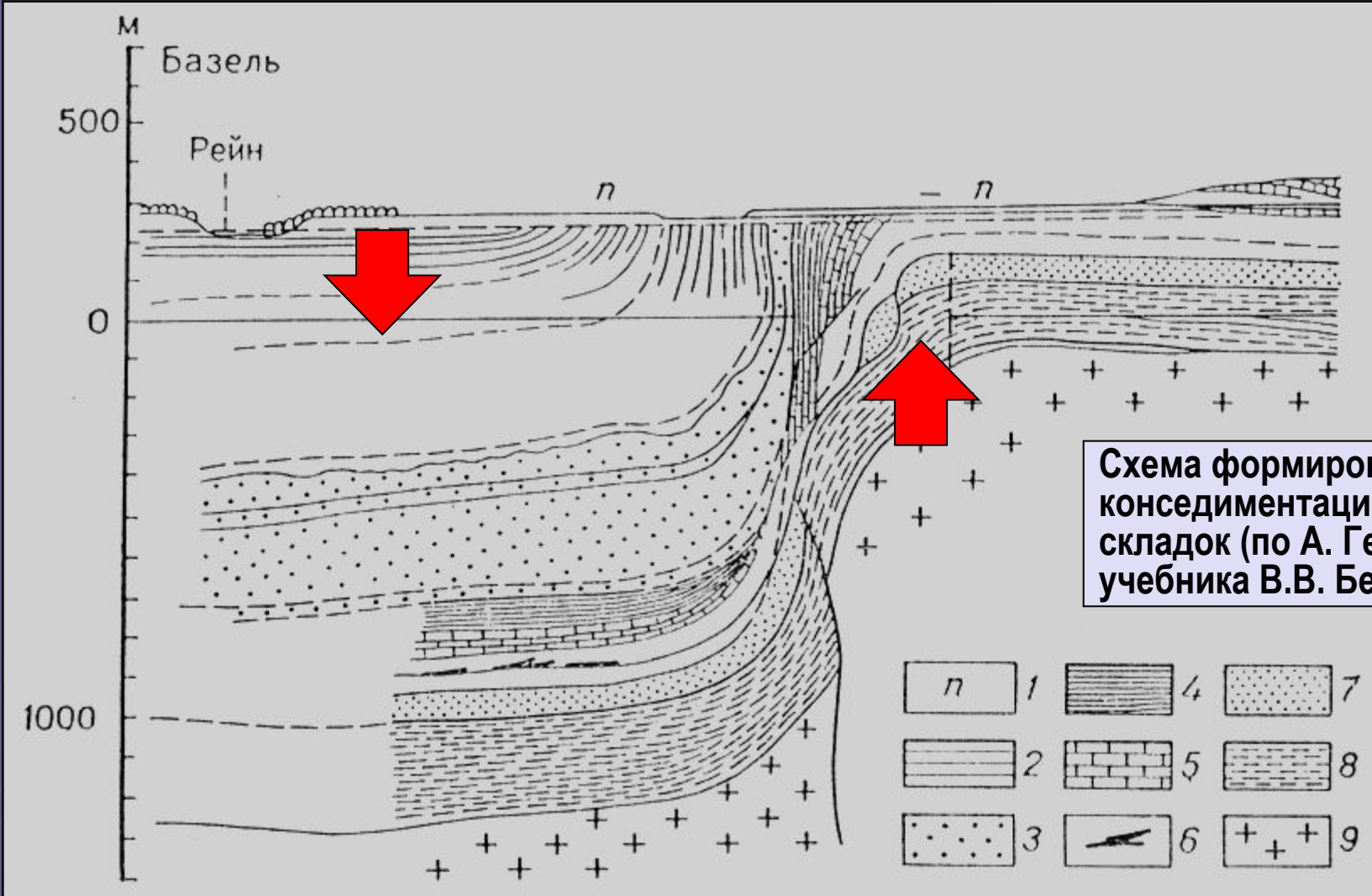


Схема формирования конседиментационных складок (по А. Гейму, из учебника В.В. Белоусова)

- кинематика блоков связана с развитием разлома в фундаменте
- прогибание на западе больше, чем на востоке, соответственно и мощности больше, а зернистость пород – меньше

3. Пластичность пород

А. Складки изгиба
(концентрические,
подобные и прочие)

Б. Складки хрупкого
излома (шеvronные)

Кристаллические сланцы. Рифей.
Южный Урал (фотоархив ОАО
"Челябинскгеосъемка")

Известняки. Фото
Марли Миллер,
Университет штата
Орегон, США

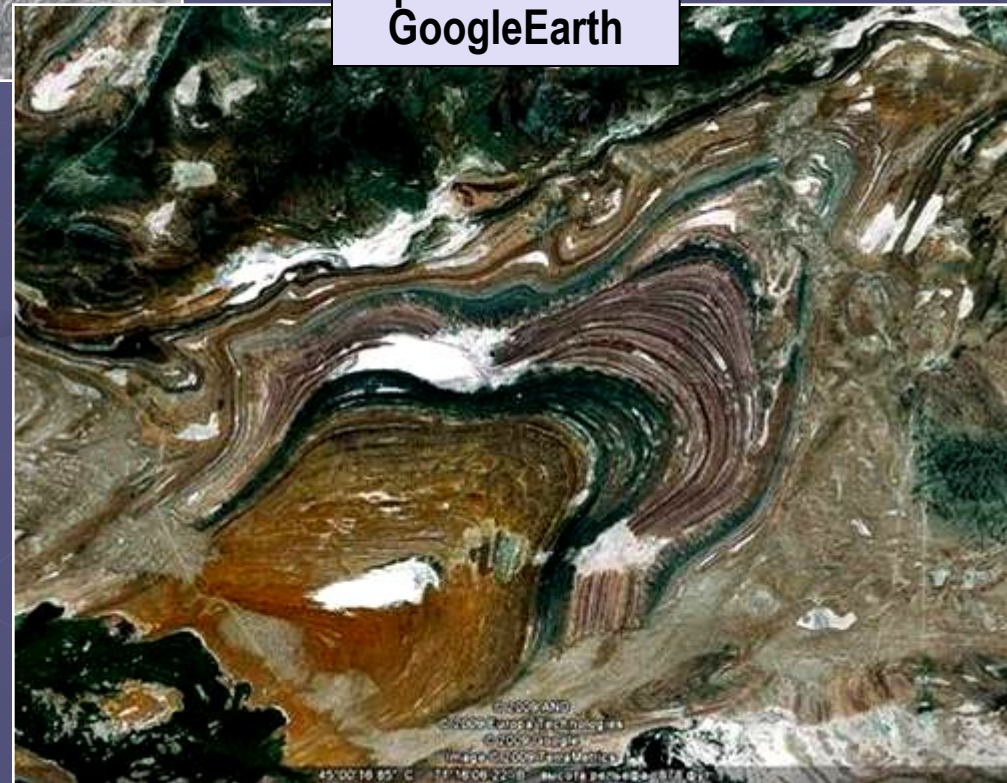
Мраморы нижнего
карбона. Южный Урал

В. Складки
пластического
течения (рейдные)

Копет-Даг.
GoogleEarth



Западное
Прибалхашье.
GoogleEarth



Складки изгиба могут образовываться в разных условиях при достаточной пластичности пород.

По морфологии они могут быть тоже самыми разнообразными – подобными, concentрическими, с замками разной формы и пр.

Складки хрупкого излома



Шевронные складки. Фото Марли Миллер Университет штата Орегон, США



Складки излома (*морфологический тип – шевронные*) формируются только как складки продольного изгиба в тонколистоватых или тонкослоистых породах относительно низкой пластичности, когда изломы энергетически более выгодны, чем изгибы

Складки пластического течения (рейдные)

Складки пластического течения формируются при очень высокой пластичности пород, чаще в условиях высоких температур и давлений. Обычно такие складки наблюдаются в метаморфических, а также в высокопластичных породах: каменная соль, глина.

Морфология отличается неправильными изгибами, пережимами слоев, предельной дисгармоничностью



**Рейдные складки в гнейсах.
Камчатка (фото А.С. Кирмасова)**



**Мраморы нижнего
карбона. Южный Урал**

4. Деформирующие силы

Эндогенные (формируются в результате тектонических процессов).

Экзогенные (формируются под воздействием внешних факторов):

- складки **выпирания** и **оседания** (образуются при выдавливании мягких пород из-под расположенных выше блоков твердых, прочных пород);
- складки **оползневые** (образуются при оползании слабо литифицированных осадков по склонам, синоним – конволютная);
- **гляциодислокации** (образуются в комплексах передовых морен под действием движущегося ледника – "напорная морена");
- **криотурбации** (возникают под воздействием динамических деформаций, вызванных морозом в избыточно увлажненных дисперсных слоях пород в разрезе напоминают завихрения, загибы, кольца и т. п.);
- **сейсмиты** (приповерхностные рыхлые образования, структура которых обусловлена процессами разжижения при сейсмических событиях: ударах, толчках, образуются очень быстро)

NB! Границы между этими типами не столь очевидны, как может показаться с первого взгляда! Например, *сейсмиты, оползневые складки*



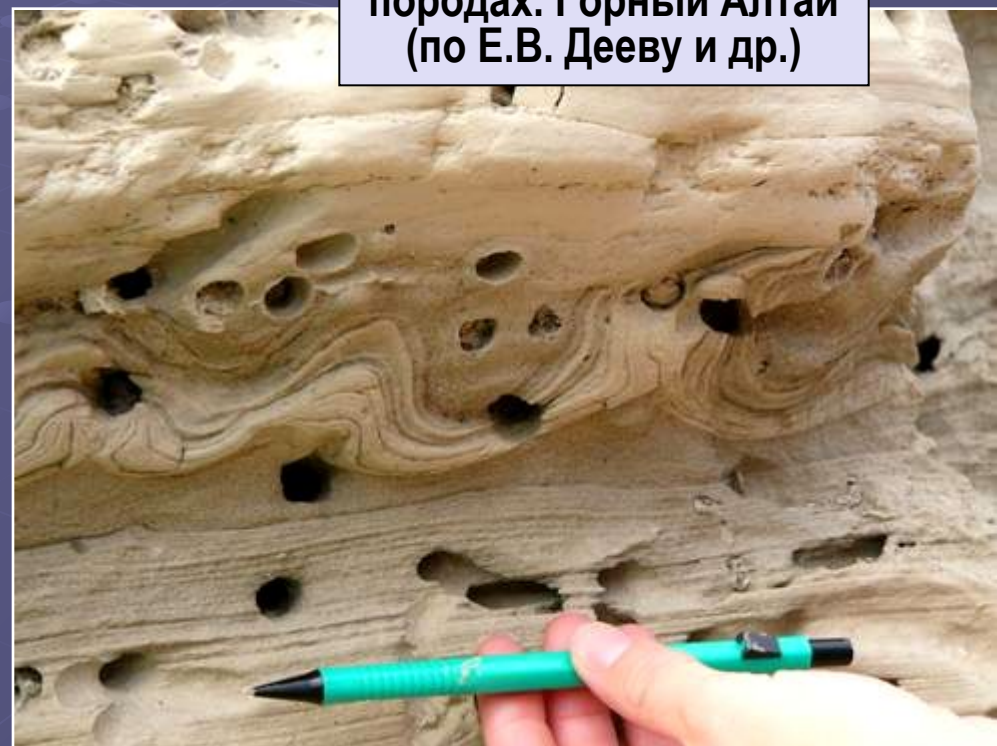
Криотурбации в четвертичных аллювиальных песках р. Сябу-Ю.



Сейсмиты в четвертичных
аллювиальных песках. Южный
Урал (по Арк.В. Тевелеву)



Сейсмиты в рыхлых
породах. Горный Алтай
(по Е.В. Дееву и др.)



Сейсмиты. Мертвое море,
Израиль (фото Е. Вапника)



5. Глубинность формирования

Поверхностные и глубинные

Термины не очень удачные, поскольку нет четких критериев разделения. В принципе – дублируют предыдущие ("эндогенные" и "экзогенные"), хотя по смыслу это другое.

Глубинными без сомнения являются складки в метаморфических комплексах, а поверхностными складки экзогенного происхождения, но термин "поверхностные" часто относят к эндогенным складкам, сформировавшимся в близповерхностных условиях.

Самые поверхностные "складки"!!!



Складчатые комплексы

Складчатый комплекс – совокупность складок, обладающих общими морфологическими и генетическими характеристиками, и сформированных на одном этапе тектогенеза, в единых динамических условиях. Морфология складчатых комплексов описывается с помощью соответствующих характеристик слагающих складок. Но у них есть и собственные геометрические характеристики

Геометрические характеристики складчатых комплексов

- зеркало складчатости (условная поверхность, проходящая через смежные шарниры [**гребни** или **кили**] одноименных складок по одному слою);
- вергентность (общее для всего складчатого комплекса направление **воздымания** осевых поверхностей складок,);
- виргация ([от лат. *virga* – **ветка**] веерообразное расхождение пучка расщепляющихся складок горных пород, сопровождающееся постепенным погружением шарниров), проще говоря – **разветвление** осей складок).

Морфологические классификации складчатых комплексов в разрезе основываются, в основном, на морфологических особенностях зеркала складчатости, а также на взаимоотношении отдельных частей складчатых комплексов, обладающих различной вергентностью

Классификация СК по характеру vergentности

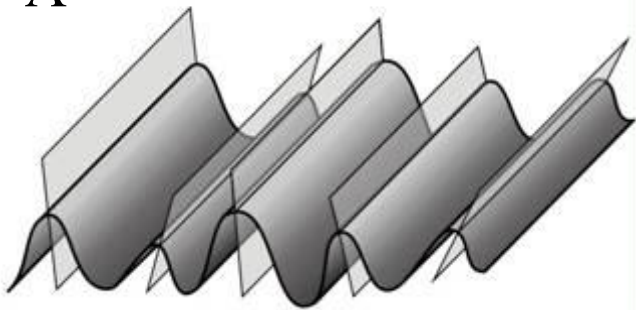
А – невергентные – vergentность отсутствует;

Б – моновergентные – направление vergentности в большинстве складок постоянно;

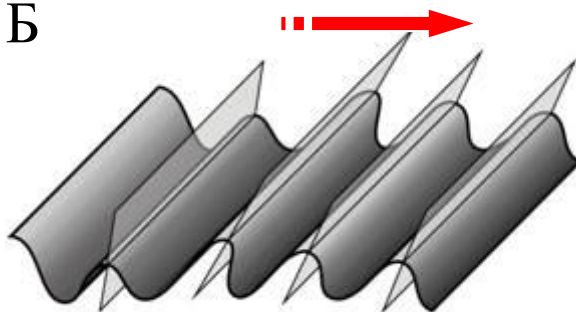
В – дивergентные – направления vergentности в разных частях складчатой зоны противоположны;

Г – конвергентные – направления vergentности в разных частях складчатой зоны встречны;

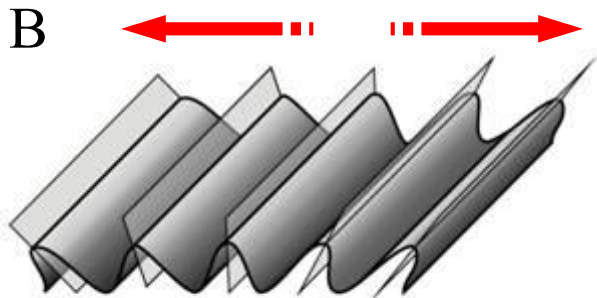
А



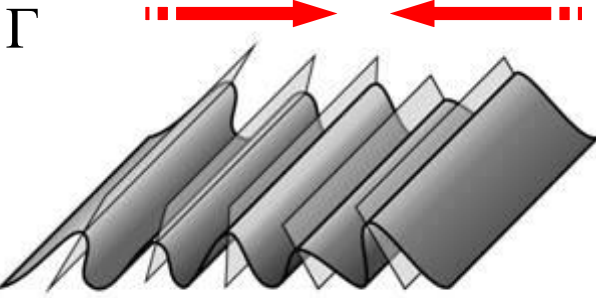
Б



В



Г



NB! Имеется в виду именно направление vergentности, т.е. направление **восстания** осевых поверхностей.

Классификация СК по положению зеркала складчатости

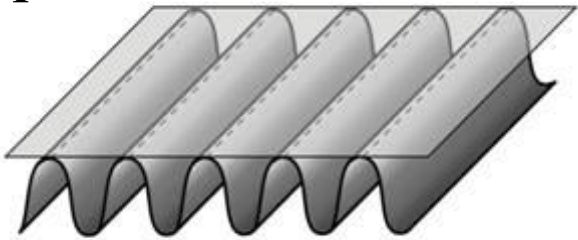
А – аклинорий (зеркало складчатости расположено практически горизонтально);

Б – моноклинорий (зеркало складчатости наклонено в одну сторону)

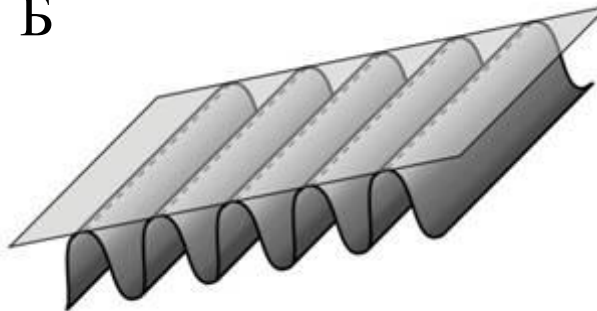
В – синклинорий (зеркало складчатости прогнуто вниз, в ядре выходят более молодые породы, чем в бортах);

Г – антиклинорий (зеркало складчатости выгнуто вверх, в ядре выходят более древние породы, чем в бортах);

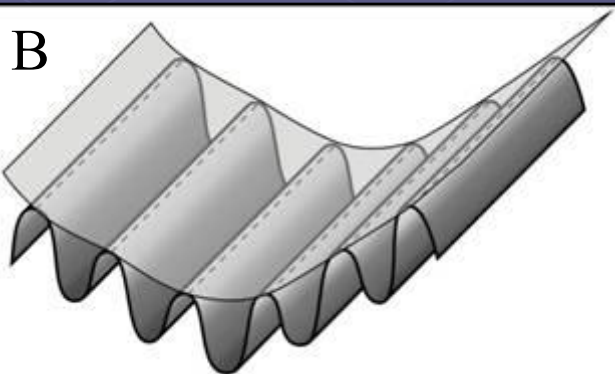
А



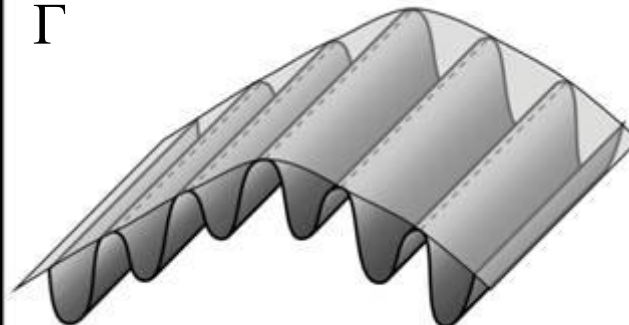
Б



В

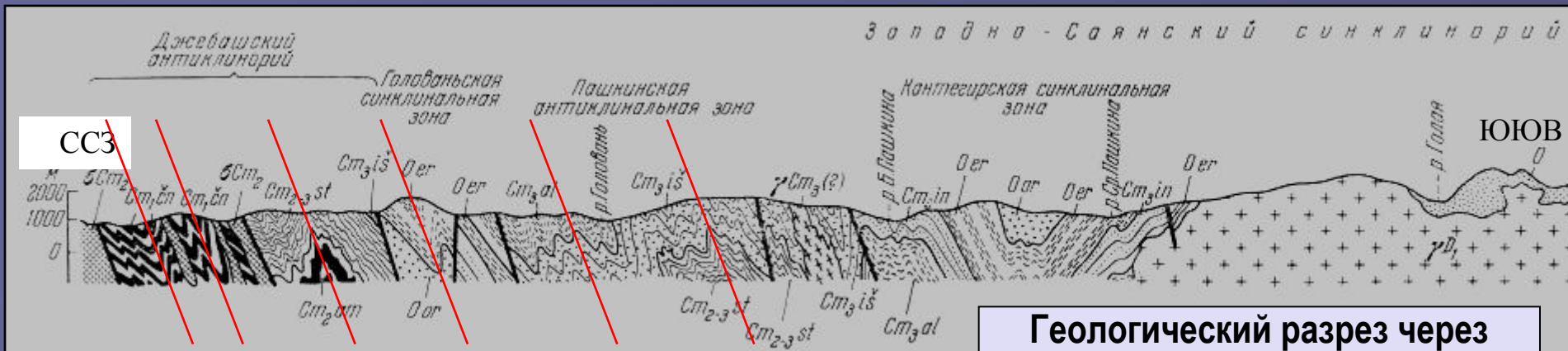


Г



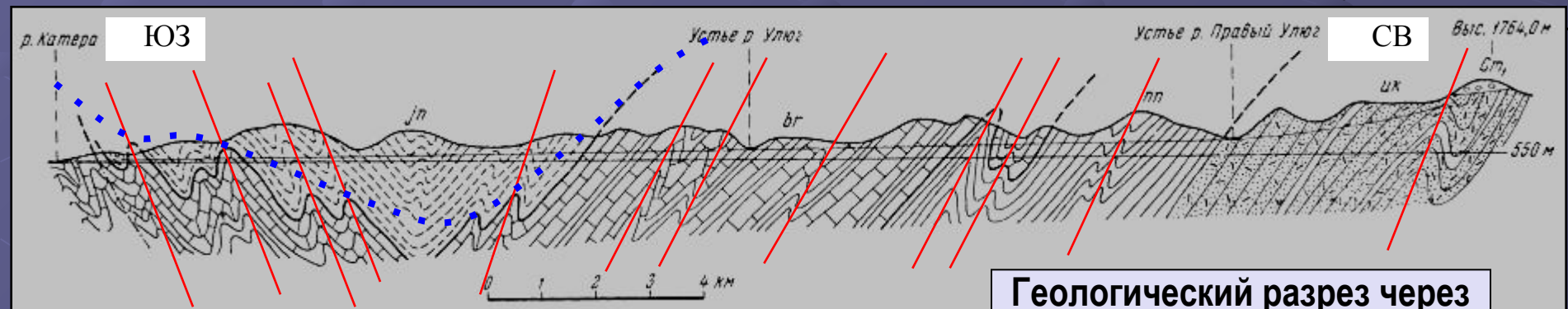
ВВ! В описании складчатых комплексов обычно сочетают обе классификации: "конвергентный моноклинорий", "дивергентный синклинорий" и т.д.

Пример моновергентной складчатой зоны



Геологический разрез через Западно-Саянский синклинорий (по Л.П. Зоненшайну, 1963)

Пример дивергентного синклинория



Геологический разрез через Северо-Муиский прогиб (по Л. И. Салопу)

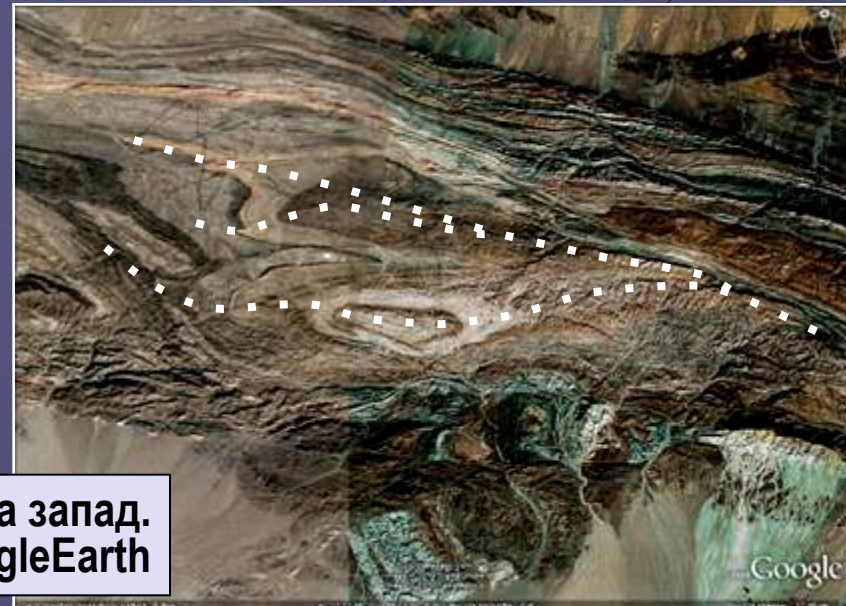
Примеры виргации складок и складчатых зон

Виргация

Синклинали, вигригующая на юго-восток. Австралия. GoogleEarth



Особый вид виргации "конский хвост". Таджикская депрессия. GoogleEarth

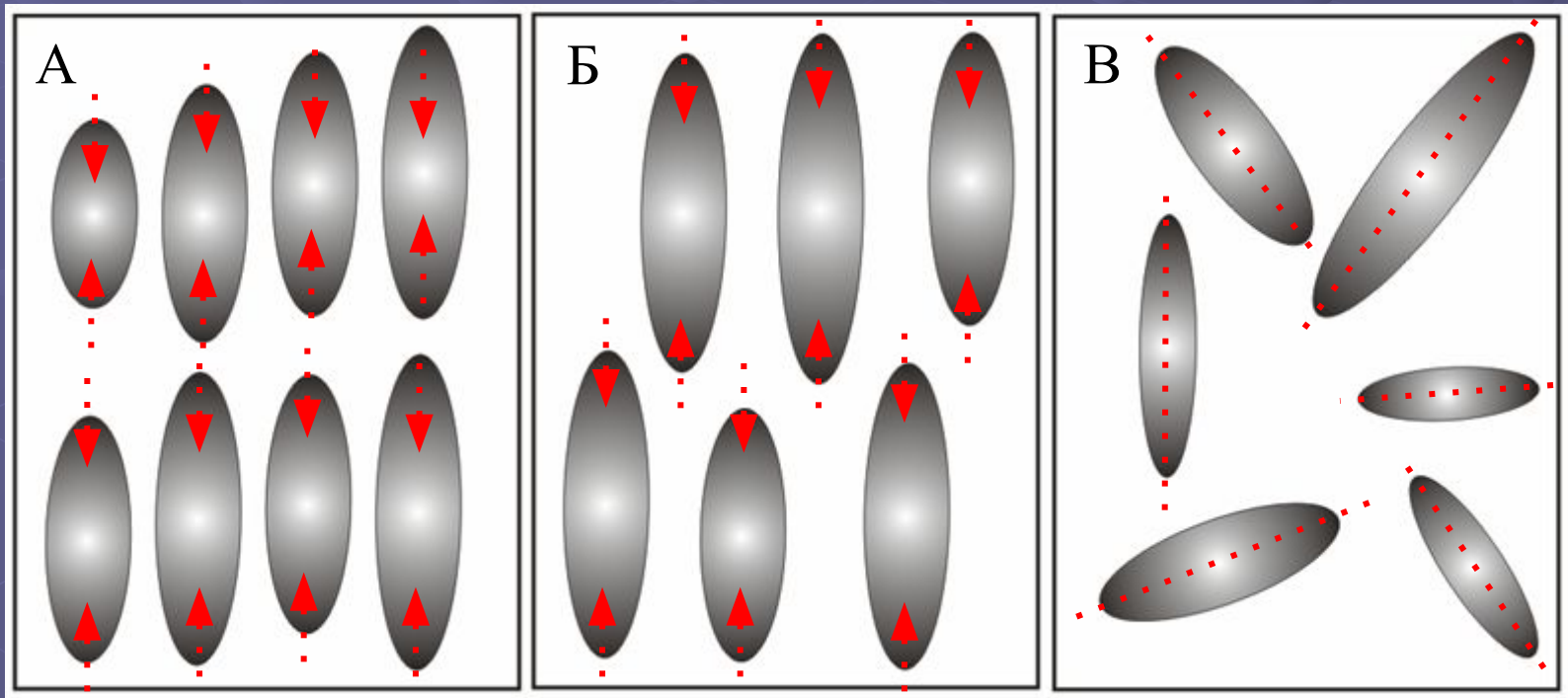


Синклинали, вигригующая на запад. Ю. Тянь-Шань. Китай. GoogleEarth



Классификация СК по положению осей складок и ундуляции шарниров

- А — параллельная (оси складок конформны друг другу, а шарниры соседних одноименных складок ундулируют одинаково, т.е. в одной фазе);
- Б — кулисная (оси складок конформны друг другу, но шарниры соседних одноименных складок ундулируют в "противофазе");
- В — хаотическая (оси складок разноориентированы).



**Параллельные складки.
Северо-Западное
Прибалхашье. GoogleEarth**



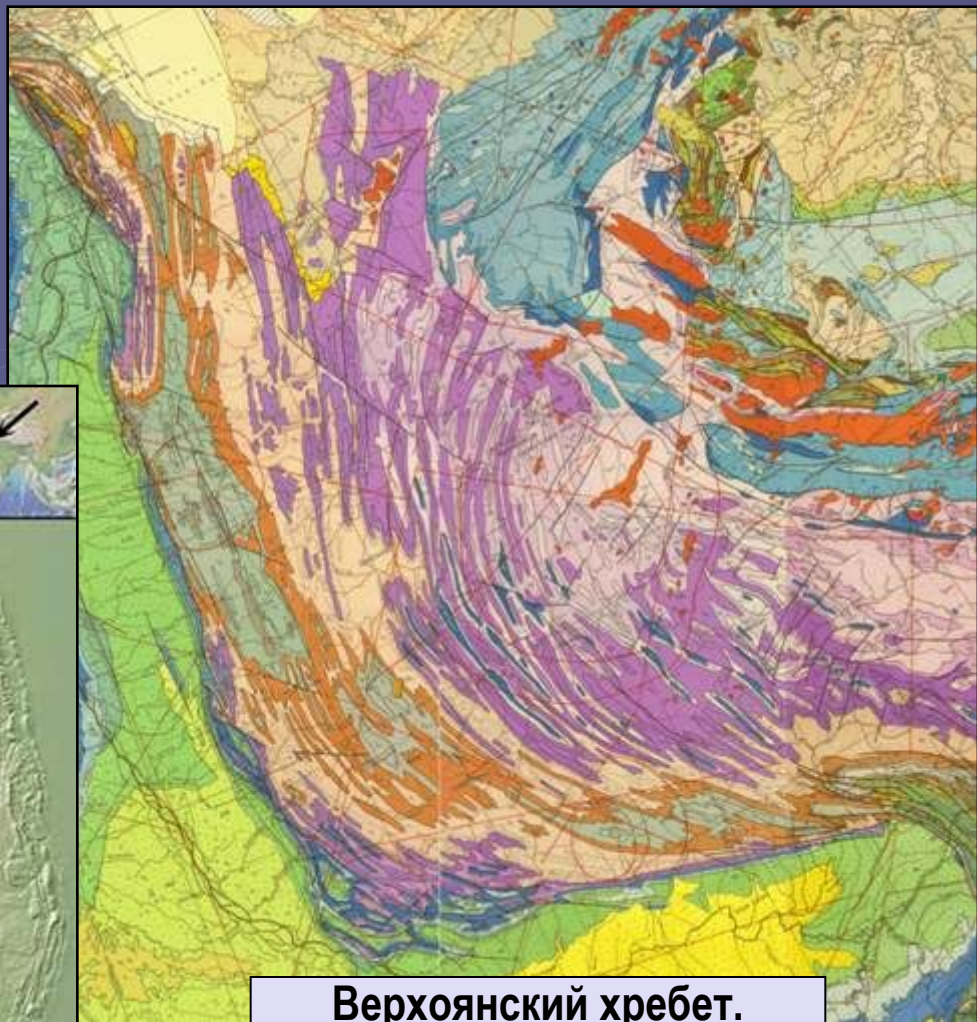
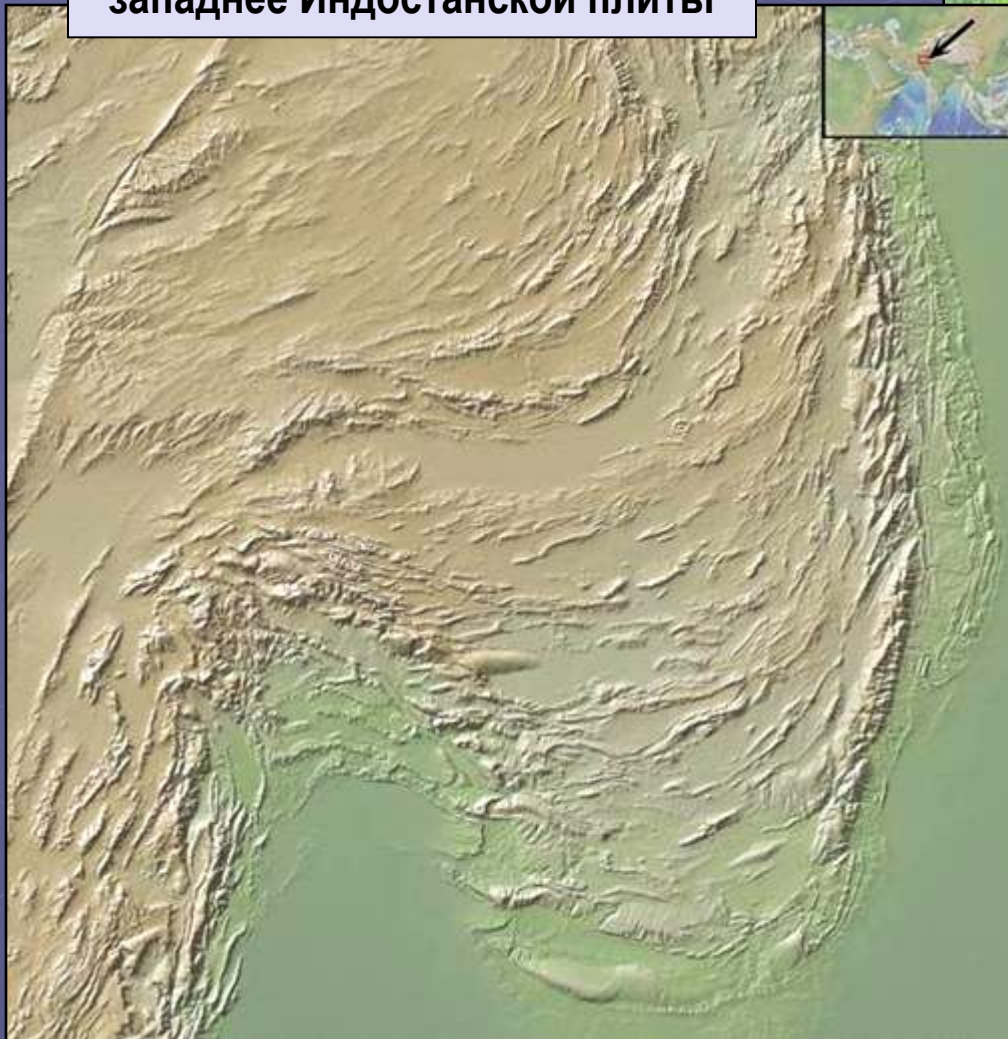
**Хаотичные складки.
Аделаида. Австралия.
GoogleEarth**



**Кулисные складки.
Хр. Макдоннелл.
Ц. Австралия. GoogleEarth**

Ороклин – изгиб крупной складчатой системы. Оси складок изогнуты конформно друг другу.

Сулеймановы Горы, северо-западнее Индостанской плиты



Верхоянский хребет.
Геологическая карта СССР
масштаба 1:2 500 000, 1983

Классификация СК по заполнению пространства

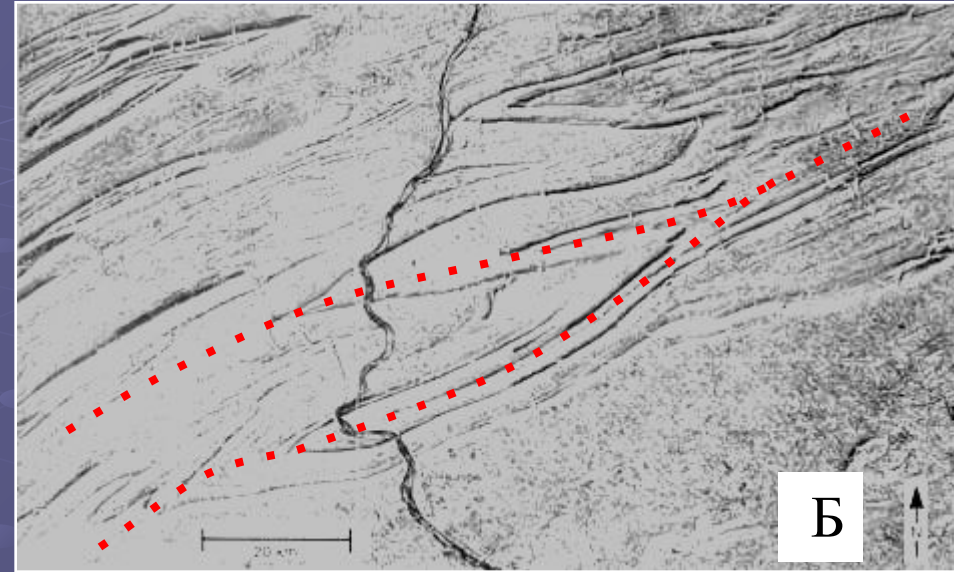
- полная, или голоморфная (весь блок земной коры "заполнен" складками);
- промежуточная (в пределах блока земной коры складчатость проявлена неравномерно, обычно этим термином обозначают гребневидную или килевидную складчатость);
- прерывистая, или идиоморфная (в пределах блока земной коры наблюдаются отдельные, не связанные между собой складки).

Полная , или голоморфная складчатость



Полная (голоморфная)
складчатость.
С. Прибалхашье.
Казахстан. GoogleEarth

Промежуточная складчатость – в пределах блока земной коры складчатость проявлена неравномерно, обычно этим термином обозначают гребневидную или килевидную складчатость.



Гребневидная складчатость. Аппалачи.
А – GoogleEarth; Б, В по Twiss, Moores, 2000

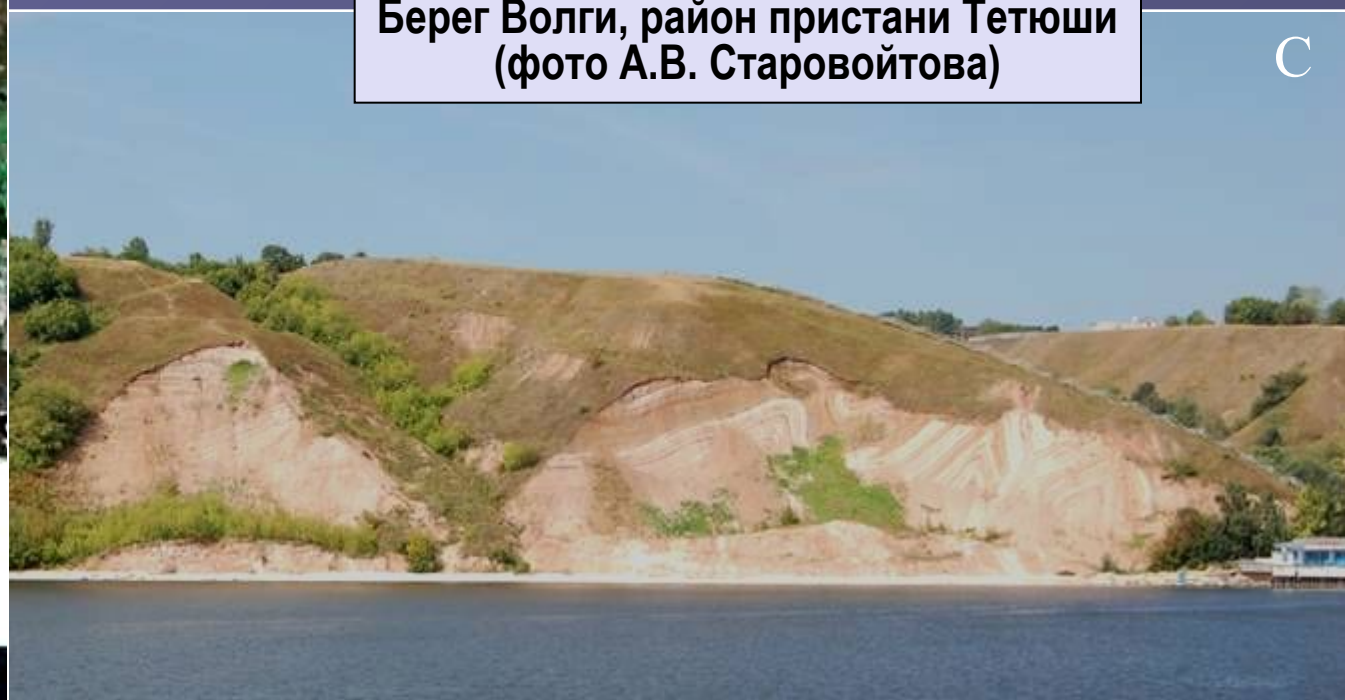
Тест № 1

Каковы геометрические свойства этих складок в плане и в разрезе?

Прерывистая складчатость – в пределах блока земной коры наблюдаются отдельные, не связанные между собой складки

Берег Волги, район пристани Тетюши
(фото А.В. Старовойтова)

С



Наклонные складки северной вергентности в пермских отложениях Русской платформы. И выше, и ниже по течению Волги породы залегают горизонтально

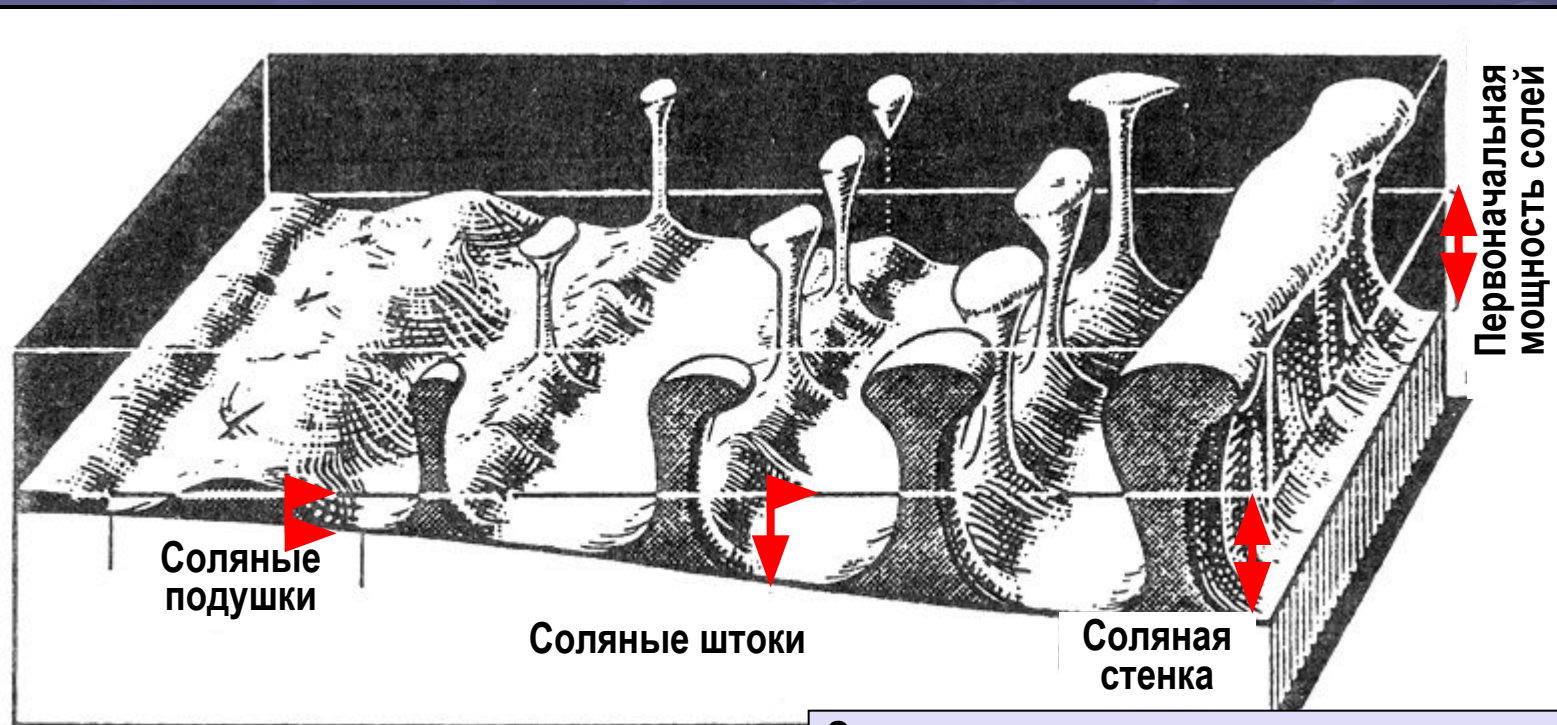
NB! Загадка природы!



Особый тип прерывистой складчатости – диапировая складчатость, формирующаяся под воздействием всплывающих снизу масс легких пород. Диапиры бывают соляные и глиняные.

Соляные диапиры

Мощность солей должна быть > 120 м, а мощность покрывки > 300 м. Плотность соли $2,1$ г/см³, других осадочных пород – $2,3-2,7$ г/см³.

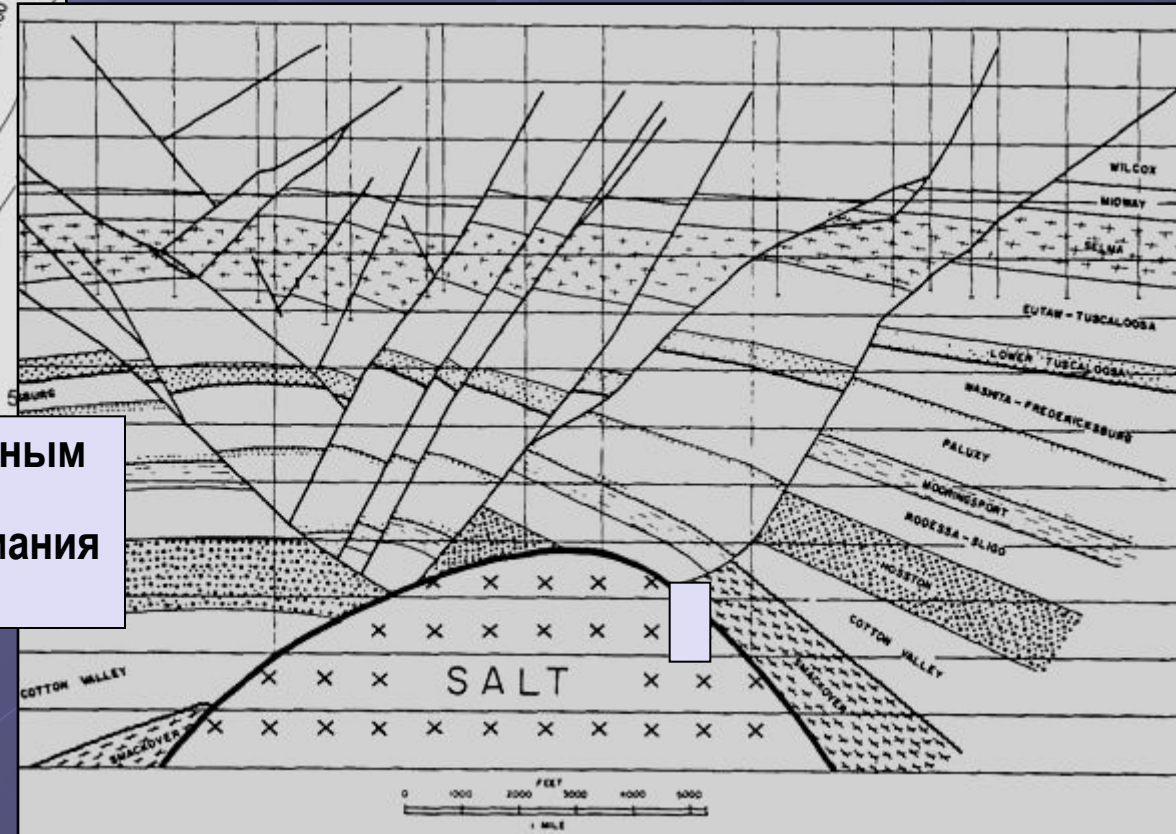


Зависимость типов соляных структур от первоначальной мощности слоя пермских солей. Северная Германия (по Трусгейму, из учебника Э.У. Спенсера)

За счет сил растяжения при формировании купола возникают системы радиальных и кольцевых разрывов, из-за чего в верхних частях штоков соль может растворяться подземными водами, и как следствие над ним возникают провалы. Получившуюся таким образом структуру обычно называют структурой "битой тарелки"

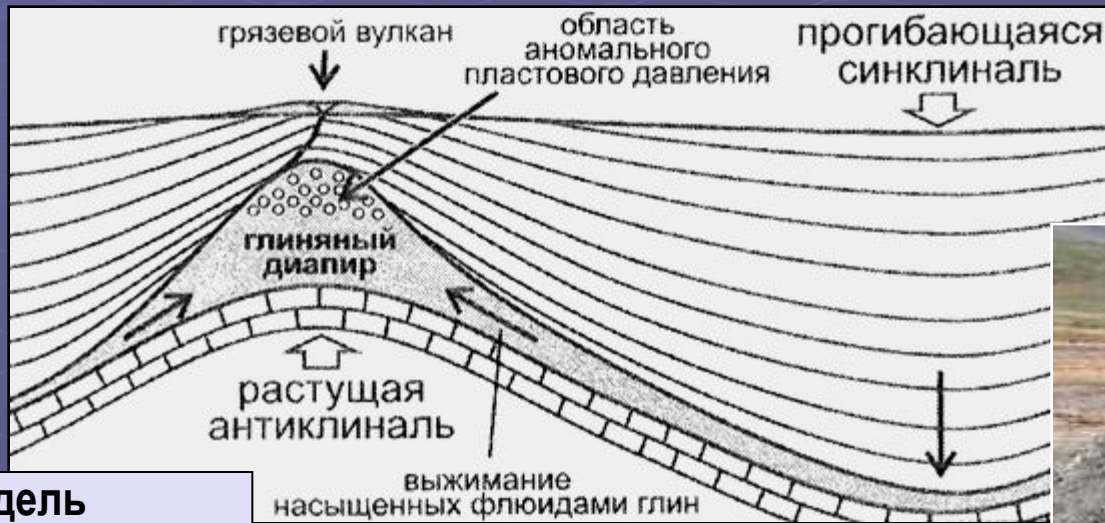


Формирование провалов над соляным диапиром (штоком), сложенным пермскими солями. Северная Германия (по Twiss, Moores, 2000)



Глиняные диапиры

Глины за счет высокого литостатического давления выдавливаются в ядра антиклиналей, которые начинают быстро расти. В антиклиналях скапливаются флюиды (вода, CO_2 , природный газ и пр.) и возникает аномальное давление. Выбросы разжиженной глины на поверхность создают над глиняными диапирами грязевые вулканы, деятельность которых контролируется землетрясениями.



Модель формирования глиняного диапира и грязевых вулканов (по П.А. Фокину)

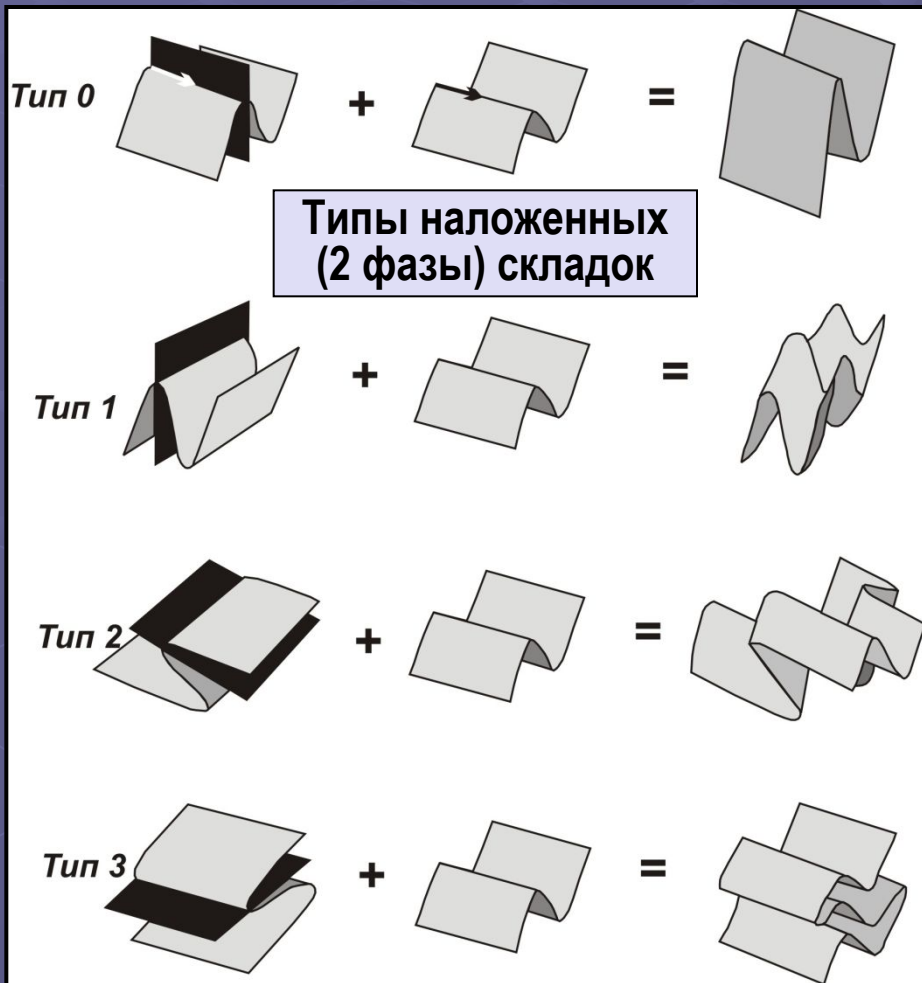
Грязевой вулкан Андрусова, Булганакское вулканическое поле, Керченский п-ов

Поднимающаяся под давлением жидкая глина часто дает инъекции, которые образуют **глиняные жилы**, а также **глиняные силлы**, которые в разрезе легко спутать с пластами и линзами глин.



Классификация СК количеству фаз тектогенеза:

- простая (сформирована в течение одной фазы тектогенеза или нескольких, совпадающих по направлению деформирования);
- интерференционная (сформирована с течение двух и более фаз тектогенеза, как правило, несовпадающих по направлению деформирования);



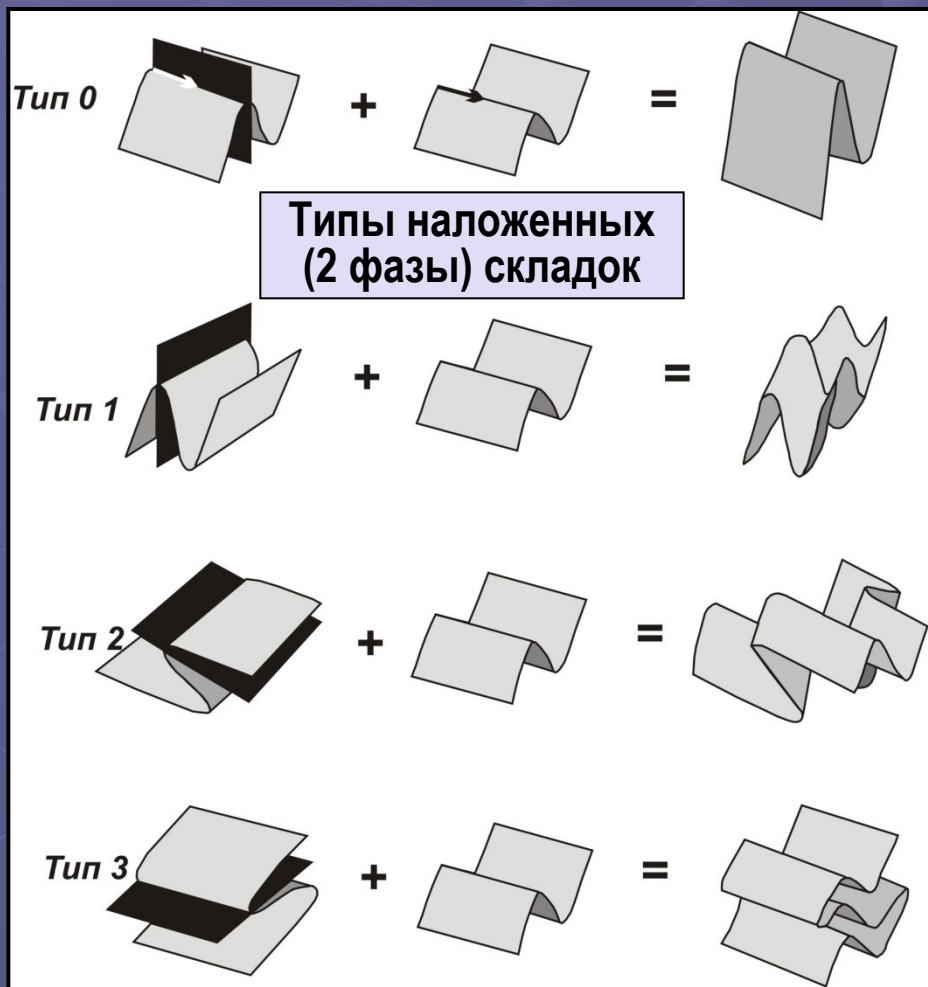
Тип **0** – складки 1 фазы прямые, а направление сжатия 2 фазы нормально к их осевым поверхностям: прямые складки раздавливаются, но их осевые поверхности и шарниры практически не деформируются. Вычленив деформацию второй стадии в этом случае трудно.

Тип **1** – складки 1 фазы прямые, направление сжатия 2 фазы параллельно их шарнирам: шарниры ундулируют с длиной волны, близкой к собственной длине волне складки, вследствие чего образуется структура "коробки для яиц".

NB! Это далеко не полный перечень случаев!

Тип **2** – складки 1 фазы наклонные, направление сжатия 2 фазы параллельно их шарнирам: шарниры ундулируют с длиной волны, близкой к собственной длине волне складки, из-за чего образуется структура "смятой коробки для яиц".

Тип **3** – складки 1 фазы лежачие, а направление сжатия 2 фазы параллельно их осевым поверхностям и нормально к шарнирам: осевые поверхности сминаются в складки и возникает структура "двойной гофрировки".

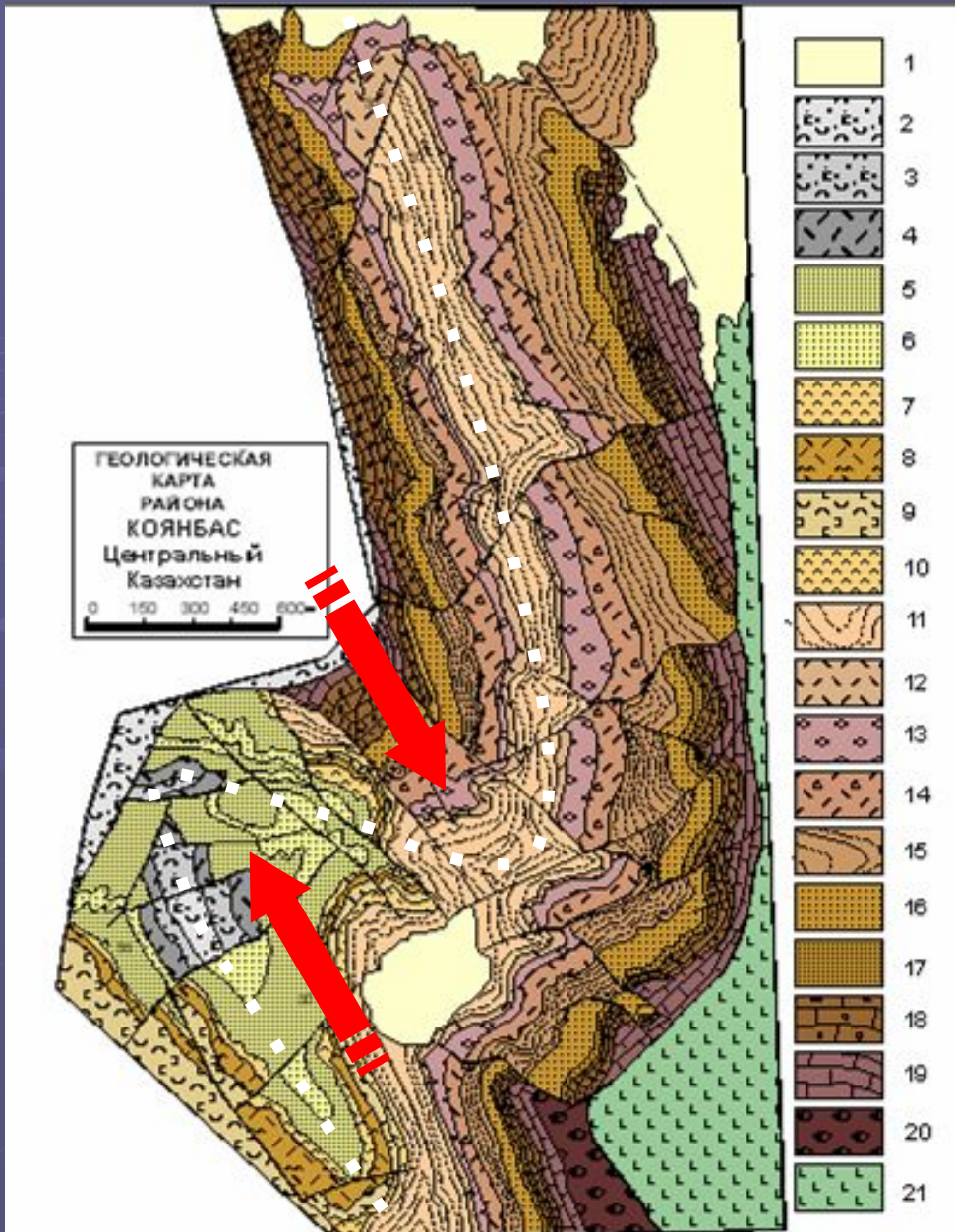


Признак повторно смятых складок – изогнутые осевые поверхности

Повторно смятая складка.
Предгорье Аппалачей
Из Э.У. Спенсера



ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ
КАРТА
РАЙОНА
КОЯНБАС
Центральный
Казахстан
0 150 300 450 600



Повторно смятая складка.
Северное Прибалхашье
(по И.А Кошелевой)



1. Вергентность складчатой зоны ЮЗ-200 $\angle 45^\circ$. Определите элементы залегания перевёрнутого крыла антиклинали, если известно, что нормальное крыло падает под углом 40° .

СВ-20 $\angle 50$

2. Вергентность складчатой зоны В-90 $\angle 45^\circ$. Найдите элементы залегания опрокинутого крыла антиклинальной складки, если известно, что нормальное крыло смежной синклинали падает под углом 20° .

З-270 $\angle 65$

3. Вергентность складчатой зоны СЗ-285 $\angle 60^\circ$, одно из крыльев складки падает под углом 30° . Определить элементы залегания другого крыла

**Аз Пр
СВ-15 $\angle 90$**

4. В опрокинутых складках восточной части меридиональной дивергентной складчатой зоны углы наклона крыльев 30° и 60° . Определите элементы залегания осевых поверхностей в западной части зоны, если известно, она симметрична

В-90 $\angle 50$

5. В наклонных складках северной части широтной конвергентной складчатой зоны углы наклона крыльев 30° и 70° . Определите элементы залегания осевых поверхностей в южной части зоны, если известно, что углы наклона крыльев такие же, но складки опрокинутые

Ю-180 $\angle 50$

6. Как определить возраст постседиментационной складчатости?

NB! Возраст постседиментационной складчатости: после возраста самого молодых пород, смятых в складки, и моложе самого древних пород, залегающего несогласно на складчатом комплексе.

