

Структурная геология и геологическое картирование

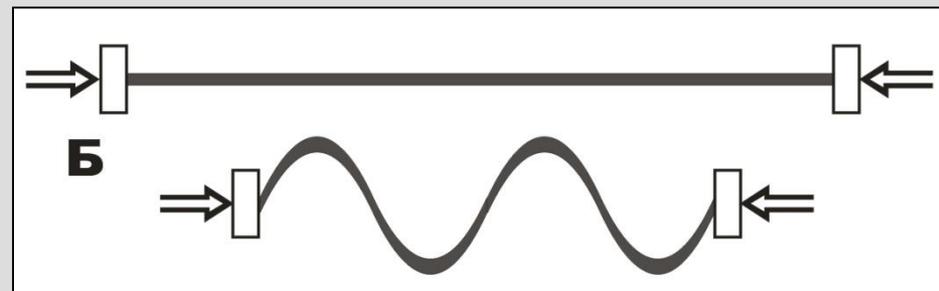
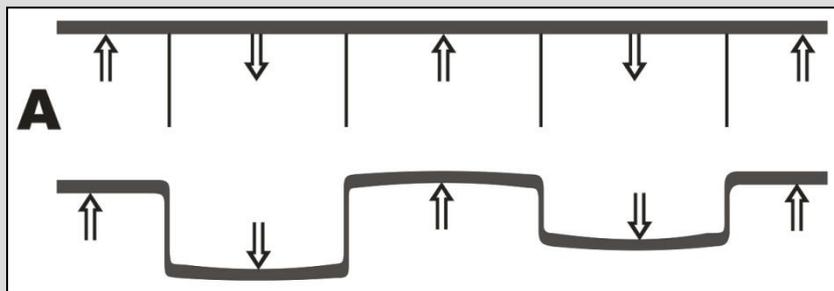
Лекция № 8

«Складки-3. Генетические типы»

1. Направление приложенных сил:

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

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



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

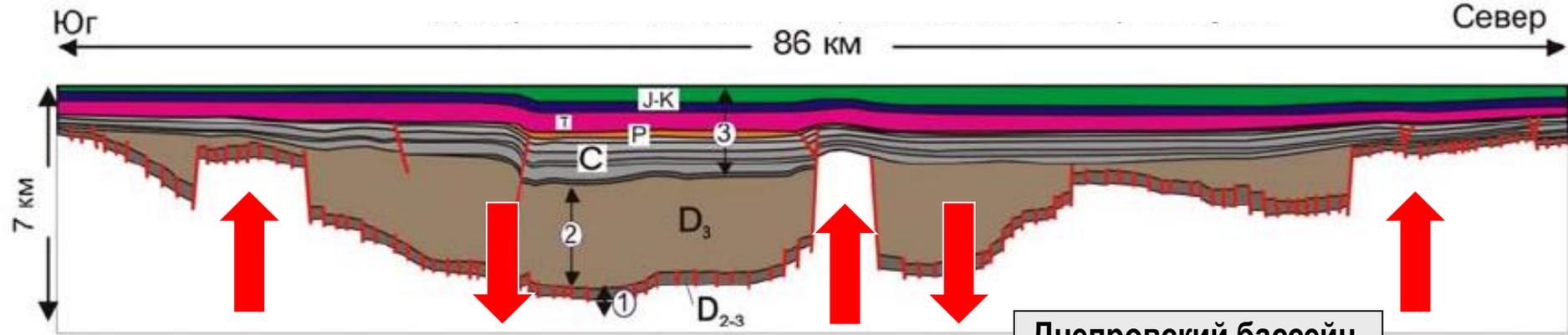
Морфологические типы:

– в разрезе: **сундучные**, **килевидные**, **гребневидные**, часто **асимметричные**, их крылья осложнены **флексурами**.

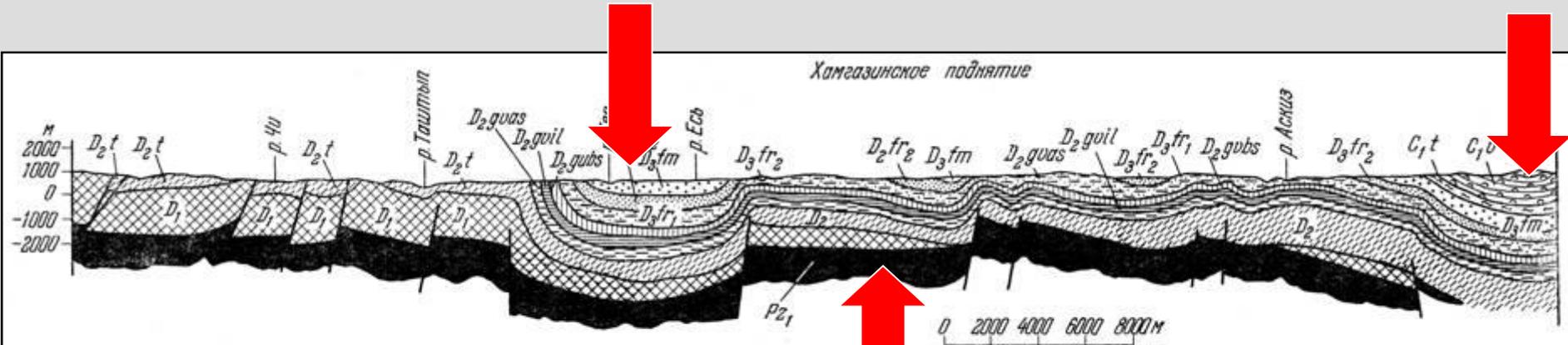
– в плане: **брахискладки**, реже – **изометричные**, **линейные**.

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.

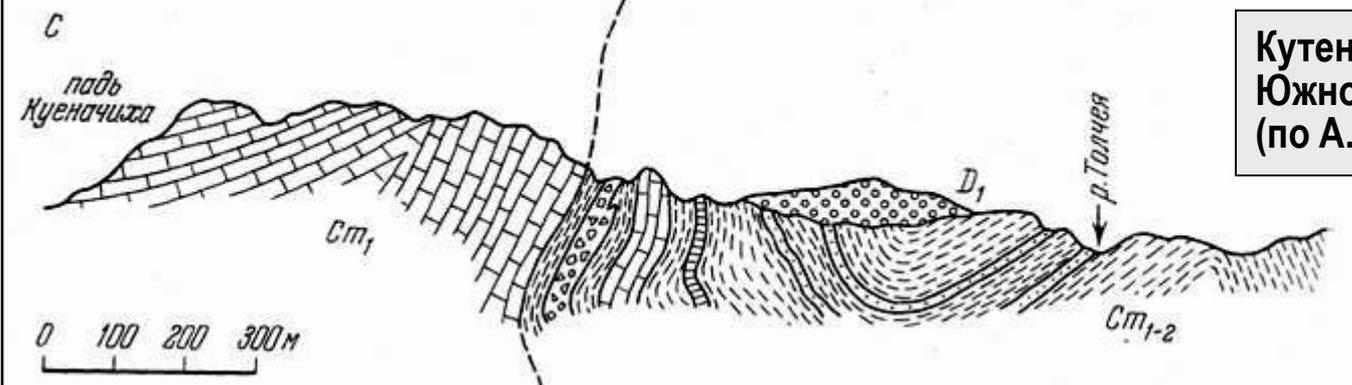
Примеры штамповых складок, или складок поперечного изгиба



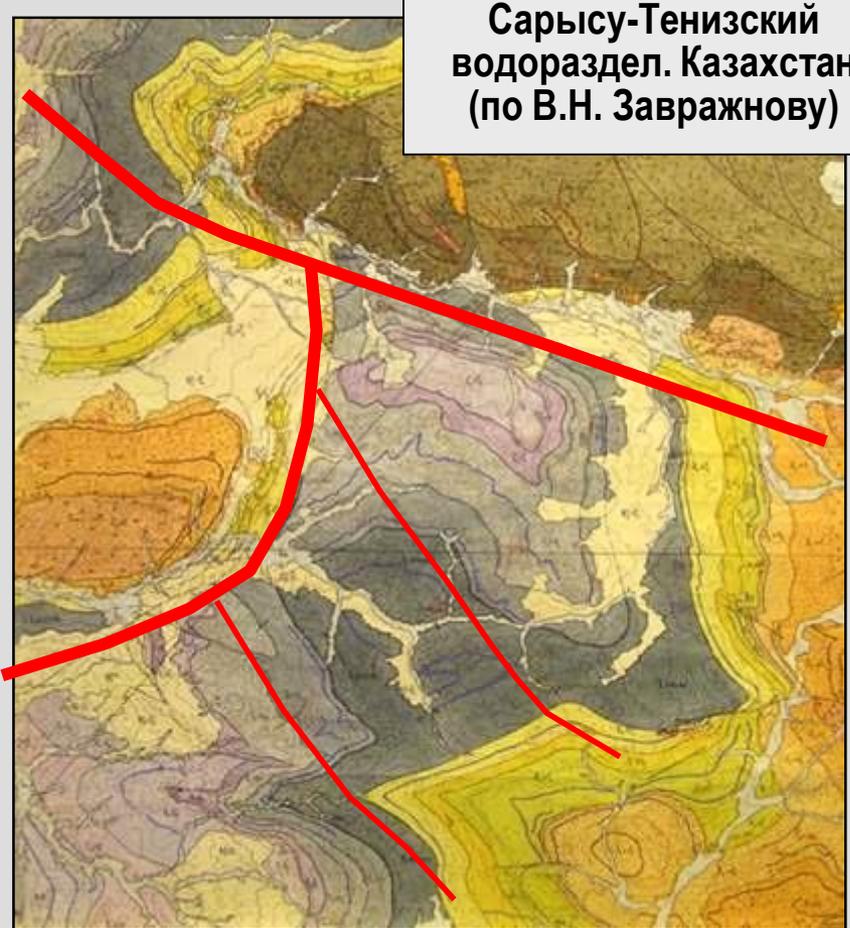
Днепровский бассейн.
Разрез по линии
Остер – ст. Рудня



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



Центральный Атлас. С. Африка.
Google Earth

Южный Тянь-Шань.
Google Earth



Западное Прибалхашье.
Казахстан. Google Earth

Особый тип складок поперечного изгиба – **диапировые** складки, т.е. складки "протыкания", которые формируются под воздействием всплывающих снизу масс легких и пластичных пород. Диапиры [*diapir*] бывают **соляные** и **глиняные**.

Соляные диапиры

Если соляной пласт залегает среди пород с существенно большей плотностью, то возникает так называемая *инверсия плотностей*, то есть, легкий пласт оказывается под тяжелым и по закону Архимеда "стремится" всплыть.

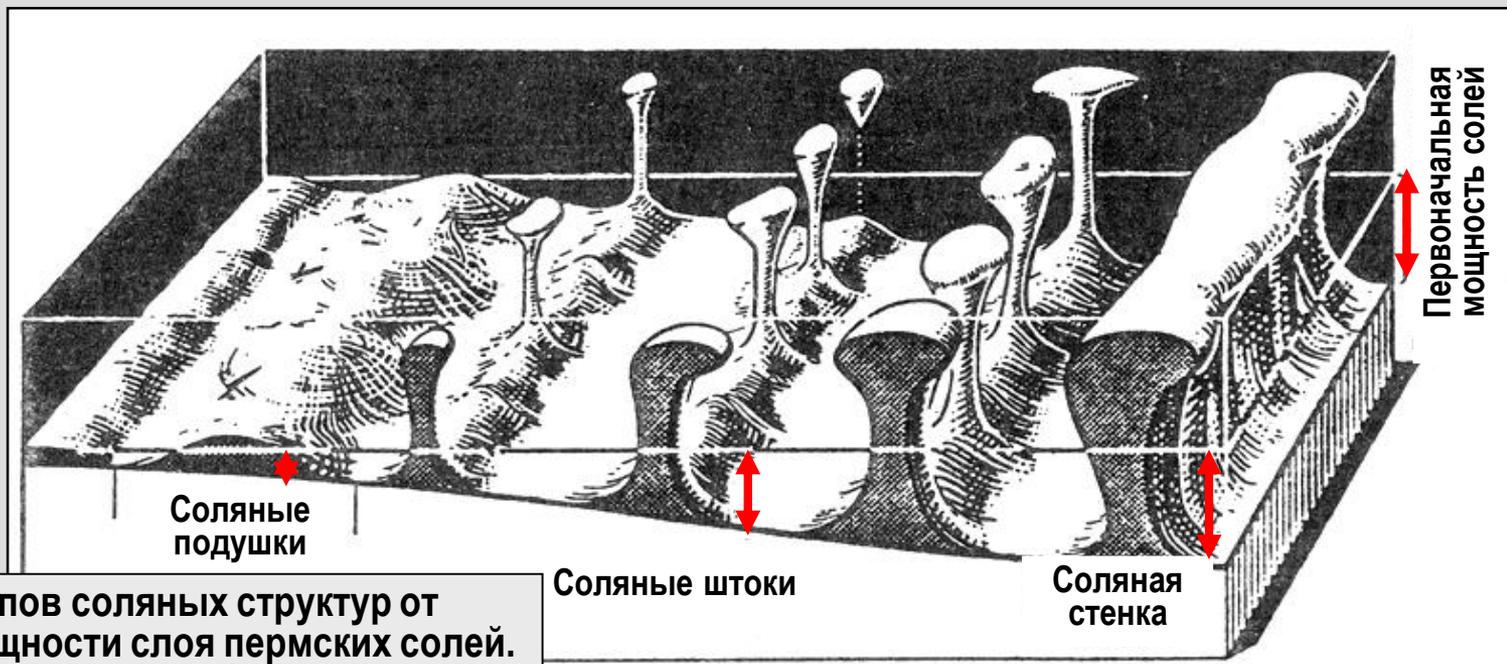
Плотность соли **2,1 г/см³**, других осадочных пород – **2,3-2,7 г/см³**.

При совершенно горизонтальной и ровной границе система должна находиться неустойчивом в равновесии, но таких границ не бывает.

Мощность солей должна быть **> 120 м**, а мощность покрывающей породы **> 300 м**.

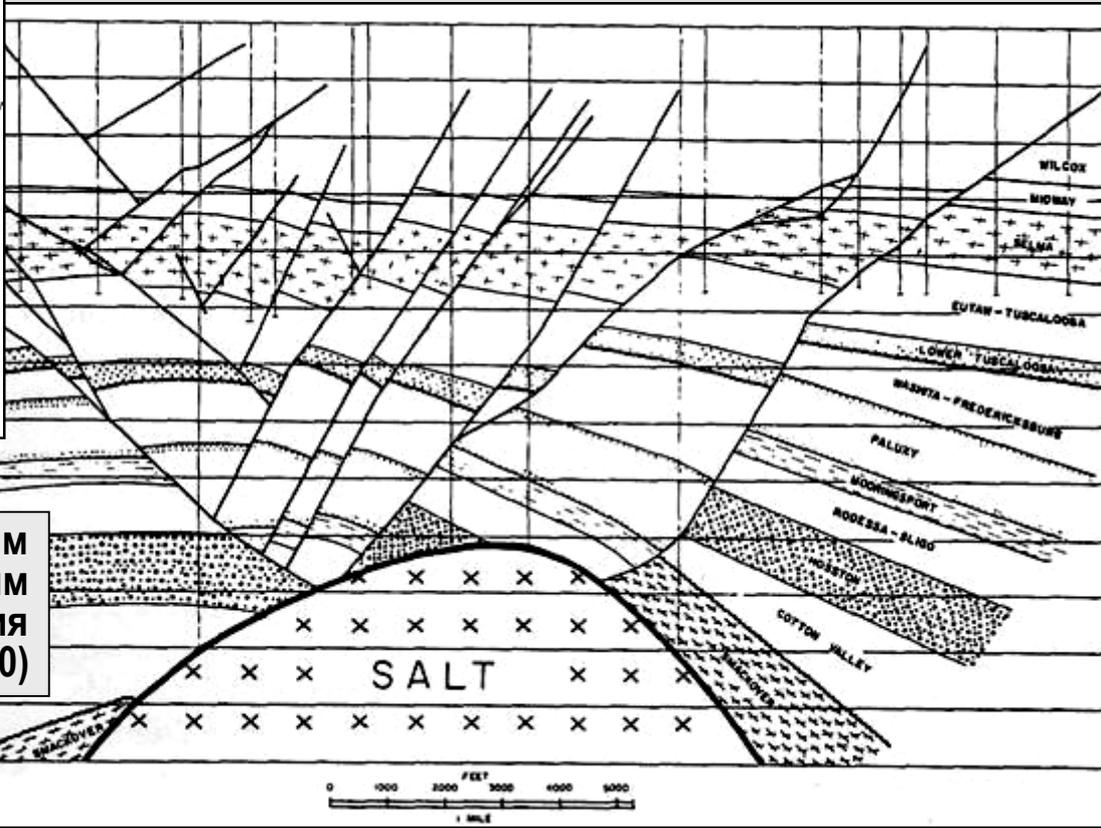
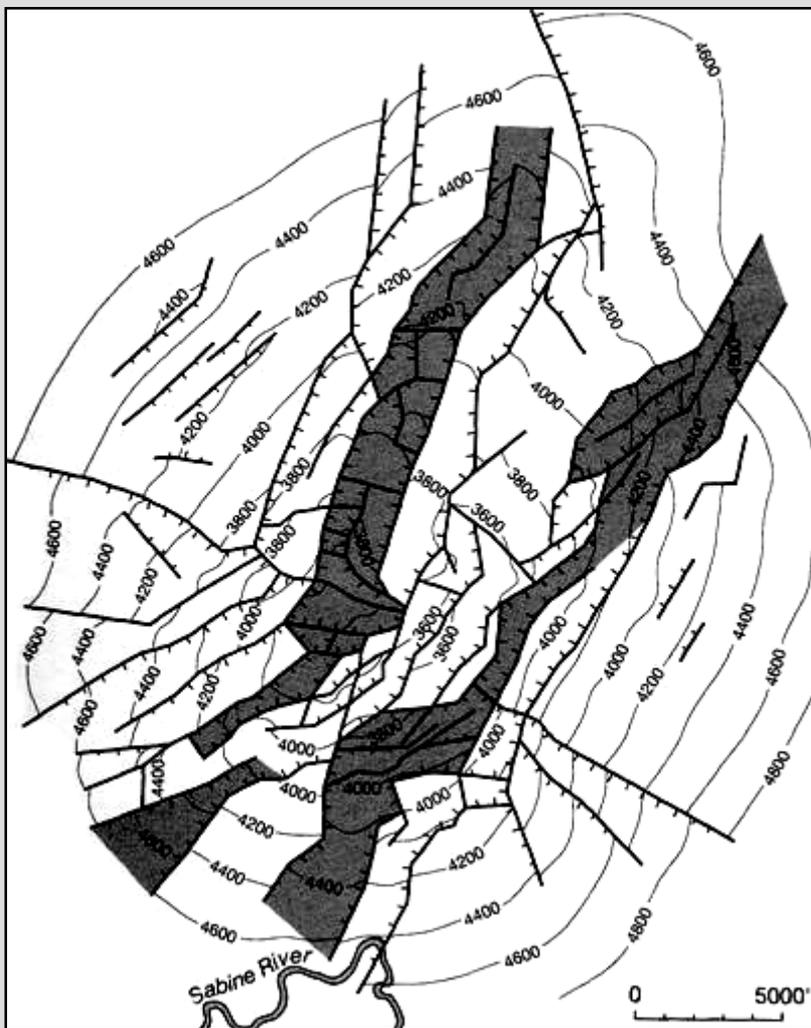
NB!

Единожды начавшись, процесс приобретает необратимый характер!



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

Над поднимающимся соляным диапиром пласты выгибаются, формируя структуру **соляного купола**. 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 называют "**структурой битой тарелки**".



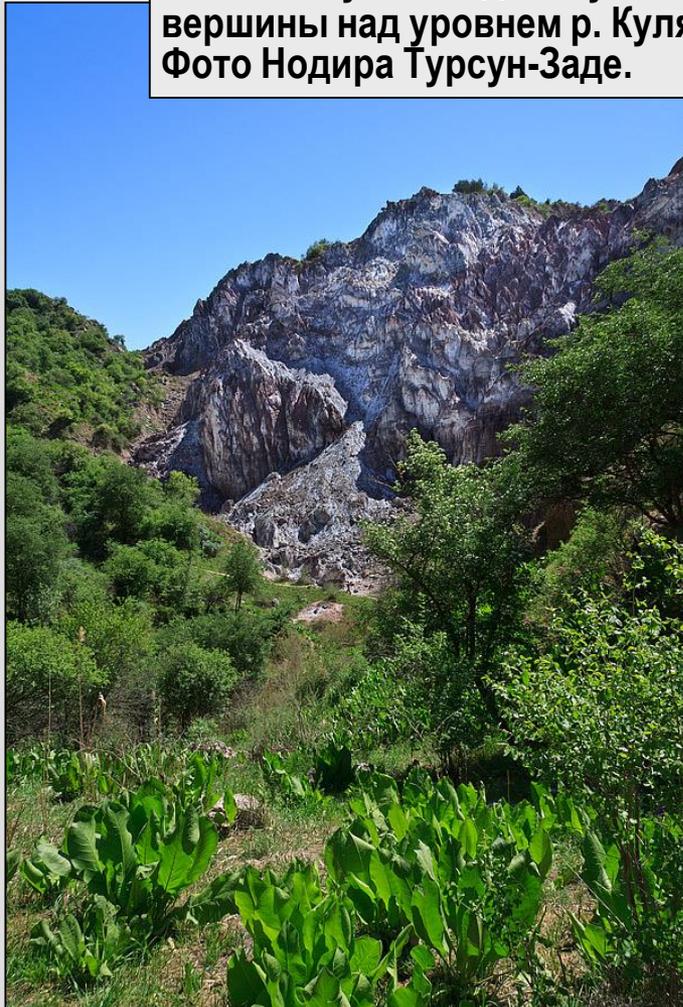
Формирование провалов над соляным диапиром (штоком), сложенным пермскими солями. Северная Германия (по Twiss, Moores, 2000)

В областях активного соляного диапиризма соли могут выходить на поверхность. Как правило, это происходит в ядрах соляно-купольных структур.

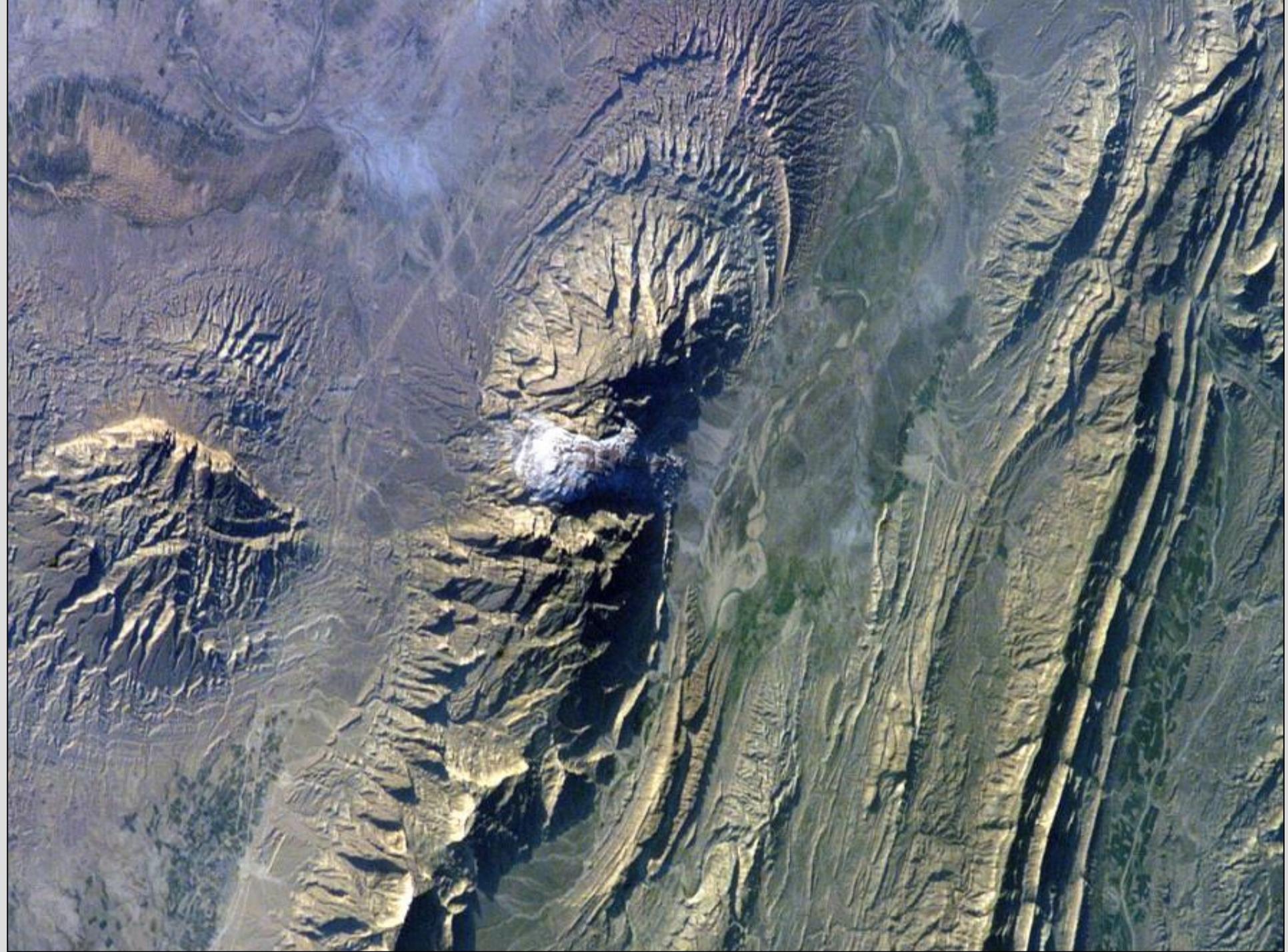
Соляной купол Кух-е-Намак. Загрос. Иран.
Интернетресурс <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD>
В центре купола (светлое) – соляной диапир



Соляной купол Ходжа Мумын. Превышение
вершины над уровнем р. Куляб около 1 км.
Фото Нодира Турсун-Заде.



Соляной купол Ходжа Мумын.
Таджикистан. Google Earth



Сдом – соляной купол размером 5×2 км и высотой 247 м над уровнем Мертвого моря



**Отроги горы Сдом.
Вид с шоссе № 90**

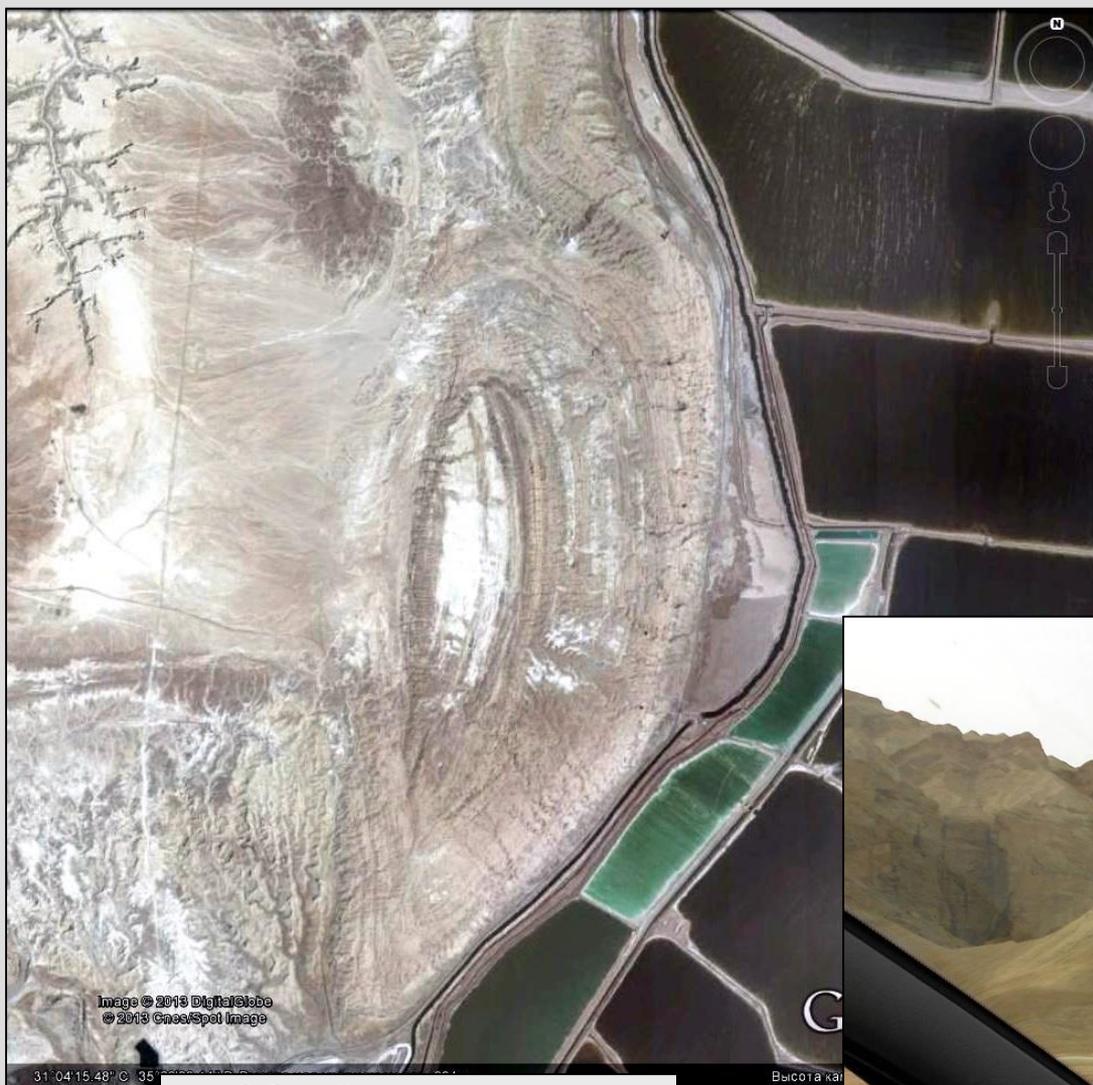


Общий вид соляного купола Сдом. Google Earth

Сдом – соляной купол размером 5×2 км и высотой 247 м над уровнем Мертвого моря

А какова абсолютная отметка вершины горы Сдом?

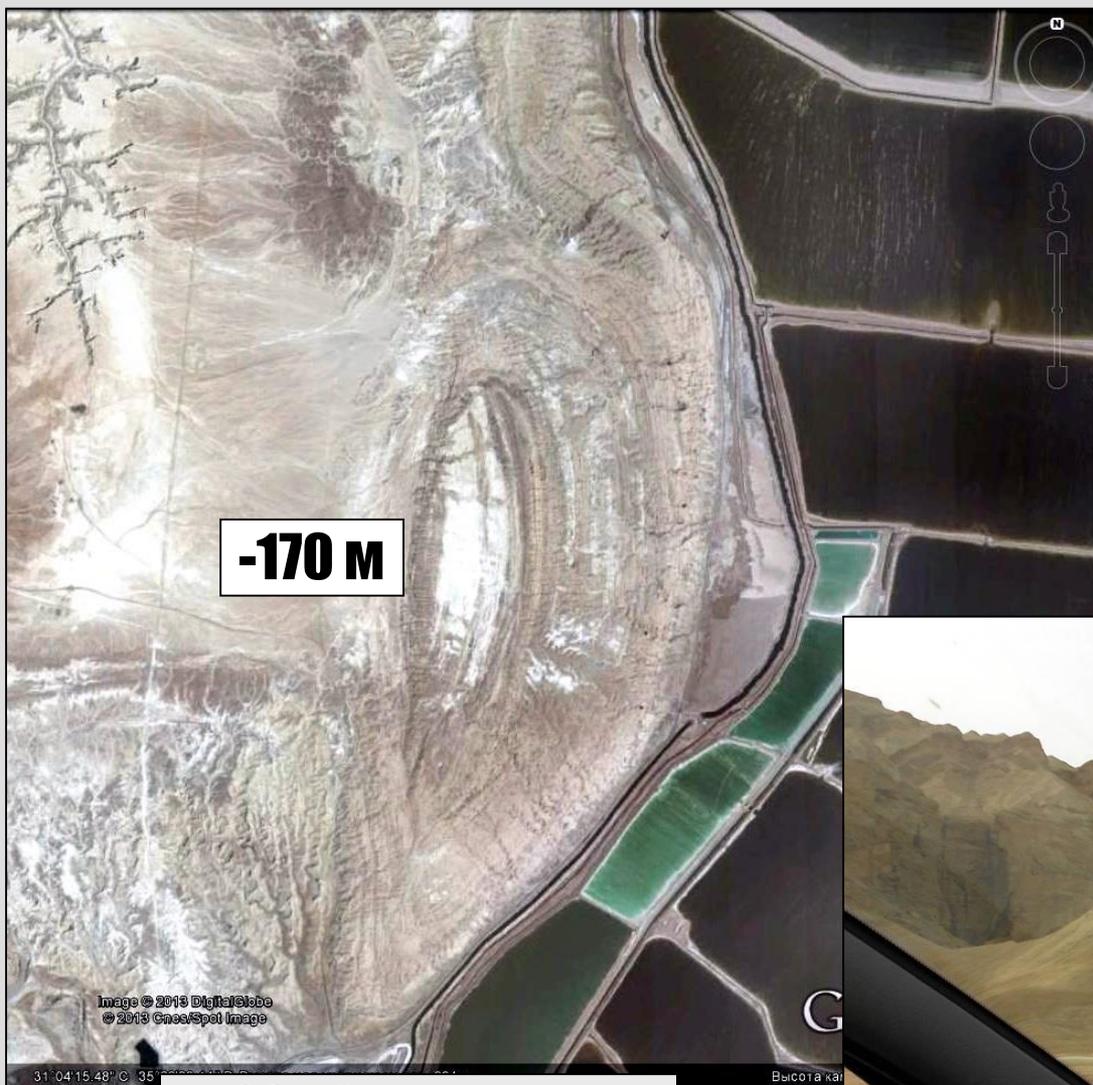
**Отроги горы Сдом.
Вид с шоссе № 90**



Общий вид соляного купола Сдом. Google Earth



Сдом – соляной купол размером 5×2 км и высотой 247 м над уровнем Мертвого моря



-170 м

**Отроги горы Сдом.
Вид с шоссе № 90**



Общий вид соляного купола Сдом. Google Earth



Колодец в соляном куполе Сдом

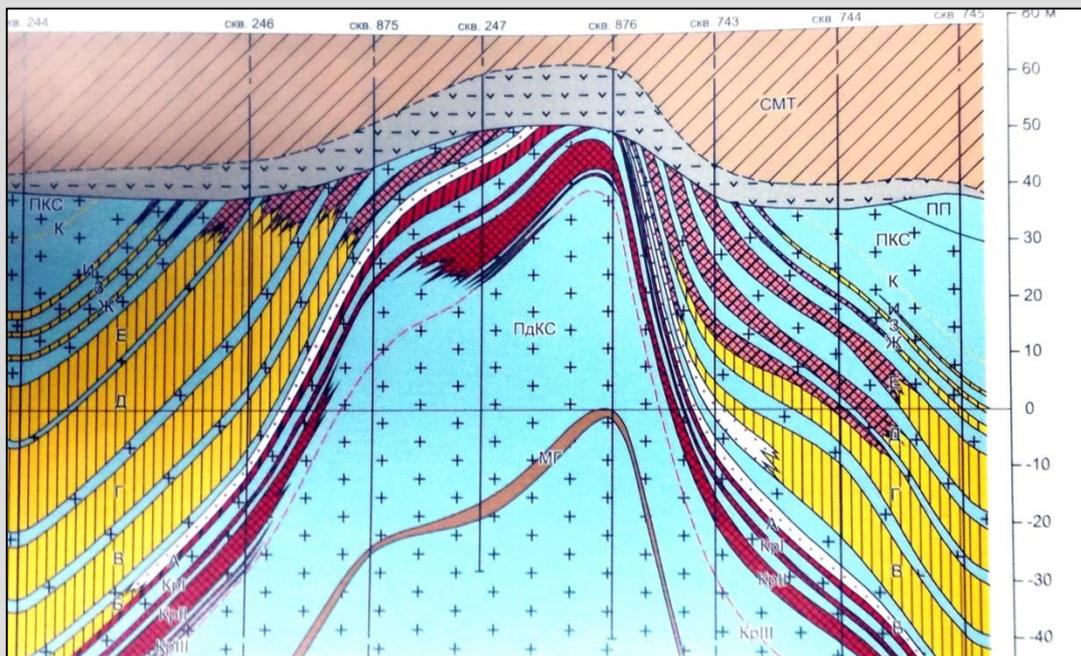


Блоки молодых терригенных пород в пустотах соляного массива Сдом

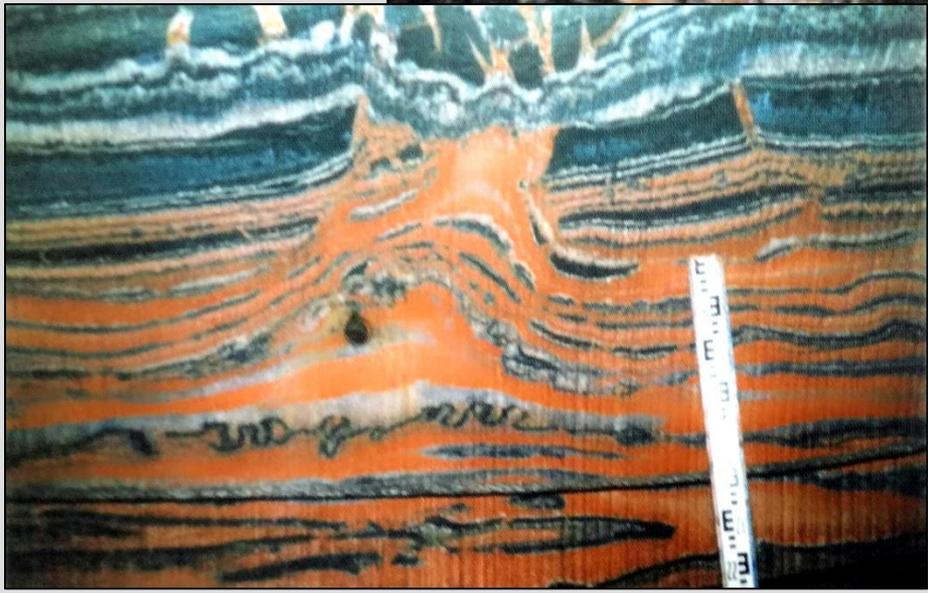
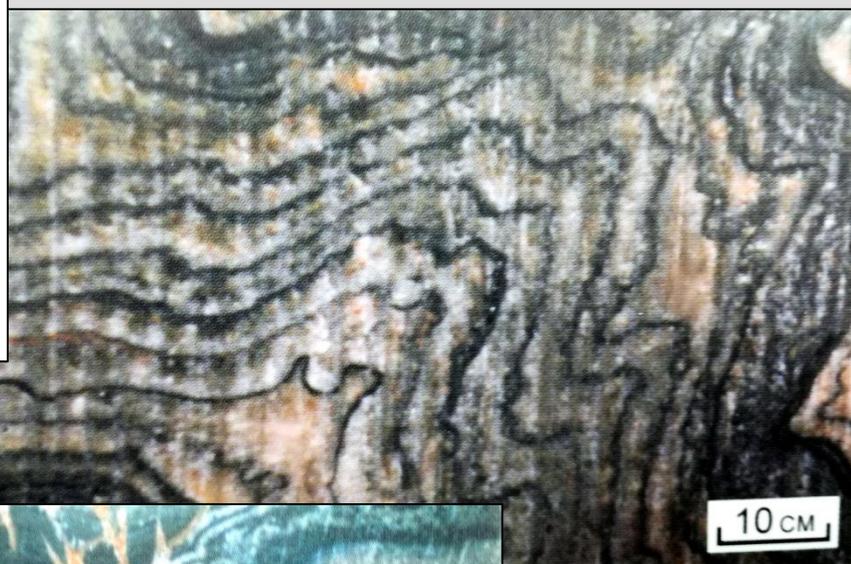


Складки солей массива Сдом

В соляном массиве Сдом есть множество провалов кровли и связанных с ними карстовых пещер. В пещерах видны сложные складки и блоки более молодых пород, заполняющих провалы и карстовые пустоты



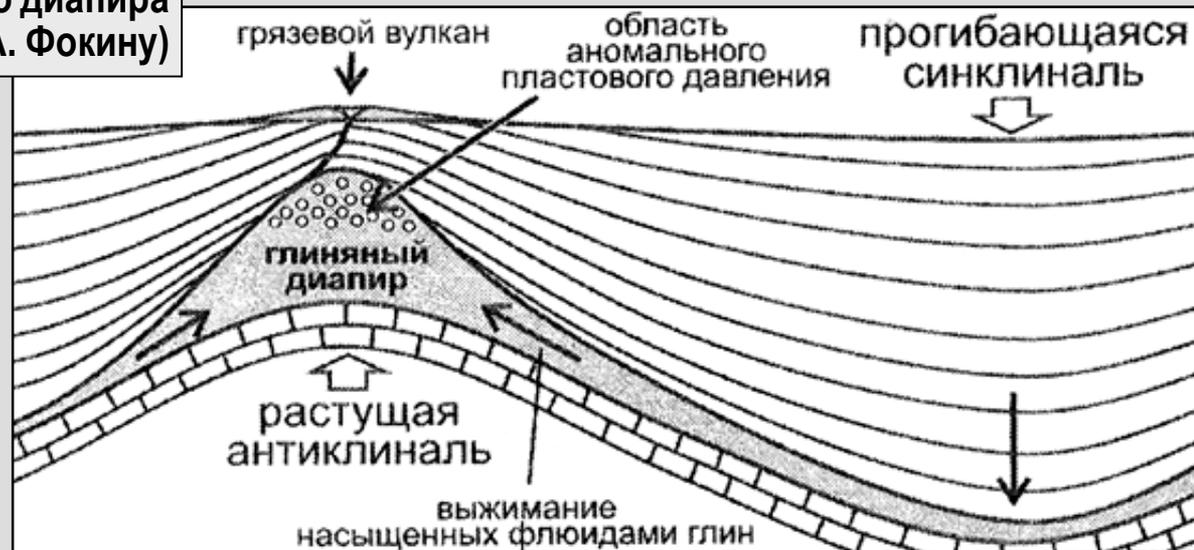
Верхнекамское месторождение:
 – соляной купол диаметром 8 км,
 высотой 120 м;
 – локальные складки
 (по А.И. Кудряшову, 2013)



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.

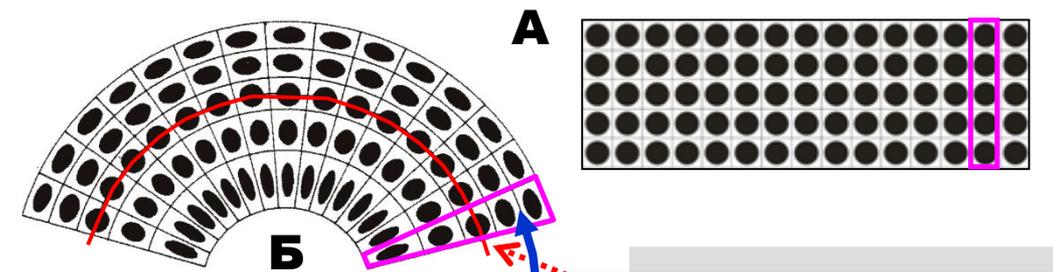
Модель формирования глиняного диапира и грязевых вулканов (по П.А. Фокину)



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.

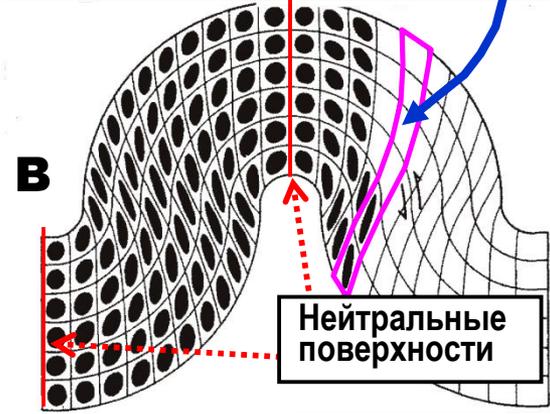
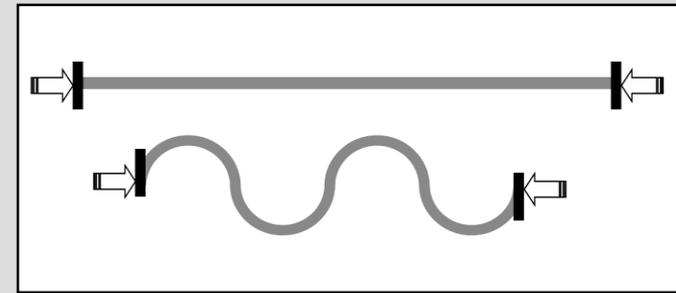
Грязевой вулкан Андрусова. Булганакское вулканическое поле, Керченский п-ов (фото Арк.В. Тевелева)

Складки продольного изгиба, или складки общего смятия



Прямоугольные маркеры деформированы в сектора в сигмоиды

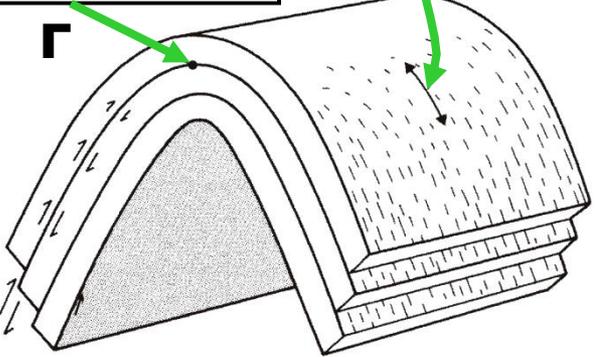
Нейтральная поверхность (без сжатия или растяжения)



Нейтральные поверхности

Скольжения нет в шарнире

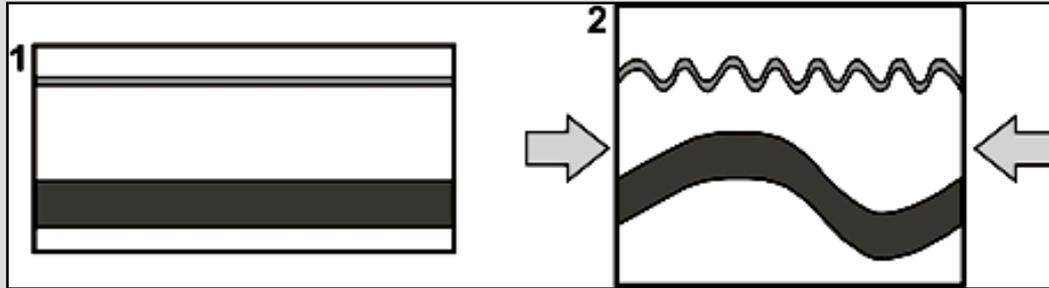
Штриховка на крыльях



Механизмы деформации

- А.** Недеформированный пласт с прямоугольным маркером
- Б.** Деформация **шарнирного изгиба**: 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*)

Свойство складок продольного изгиба: длина волны складки прямо пропорциональна **мощности** деформируемого слоя (**правило Уиллисов**)



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

Слои малой мощности и состоящие из пород меньшей вязкости ("**некомпетентных**" [*incompetent rock*]) могут быть смяты в существенно более мелкие складки (на порядок и больше), чем доминантные. Такие складки называются "**дисгармоничными**" [*disharmonic fold*], поскольку длины волн (гармоники) доминантных и дисгармоничных складок не совпадают.

ВВ! Некомпетентными могут оказаться *пачки маломощных слоев*, каждый из которых может иметь высокую вязкость!

Дисгармоничная складчатость нагнетания



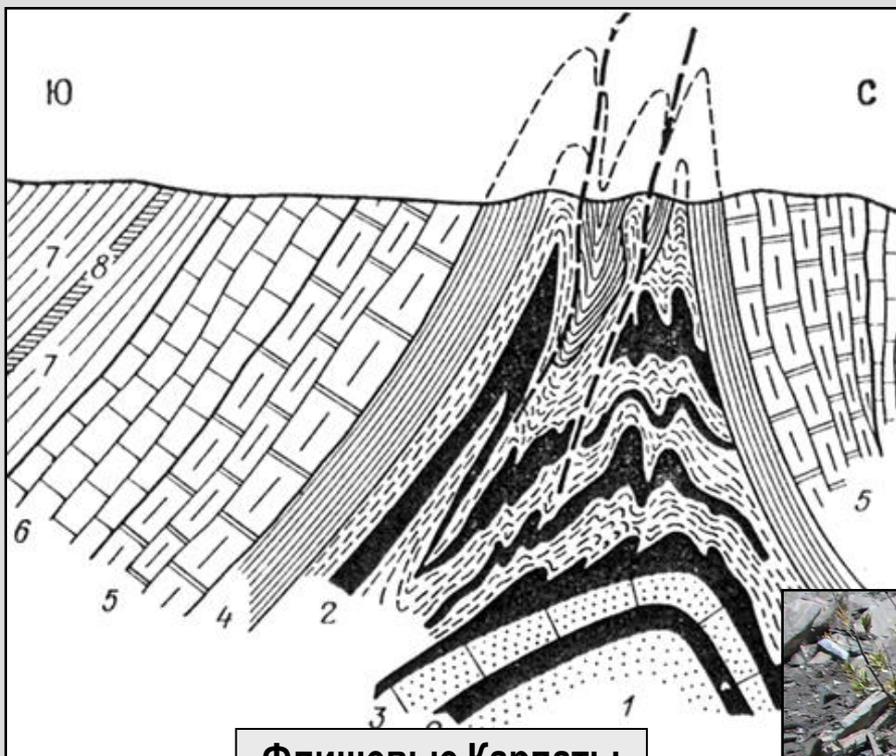
Карбон. Южный Урал

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



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

NB! Выдавливание происходит в замки антиклиналей!



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

Морфология складок во многом зависит от разности вязкостей компетентных и некомпетентных слоев.

При существенной разнице вязкостей компетентный слой изгибается, а его мощность сохраняется.

Часто дисгармоничные складки возникают в **ядрах** доминантных складок, т.е. в местах максимального изгиба слоев

Дисгармоничные складки тонкослоистых известняков и кремней в ядре антиклинали, сложенной компетентными пластами толстослоистых известняков. Нижний карбон. Южный Урал

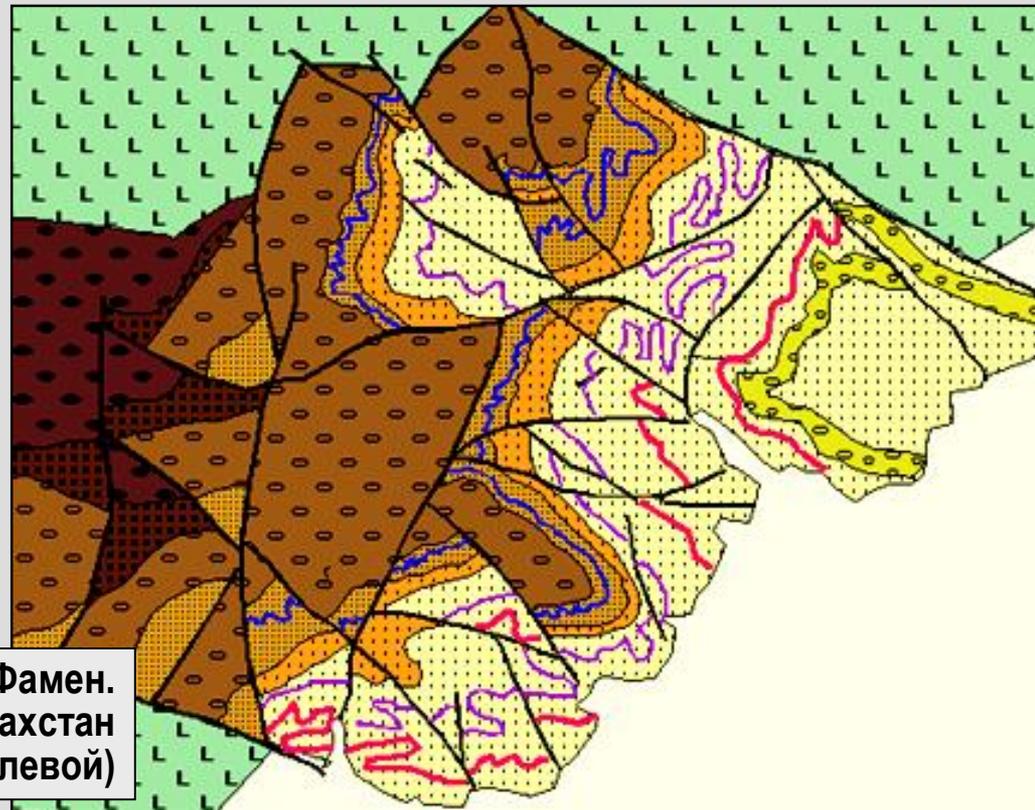




Дисгармоничные складки в тонкослоистых известняках нижнего карбона. Ю. Урал. Фото Е.А. Сотниковой

Вместе с тем, дисгармоничные складки довольно часто возникают и на крыльях доминантных складок в виде дополнительных изгибов, "ушей".

Иногда дисгармоничные складки появляются и в крыльях доминантных складках **поперечного** изгиба

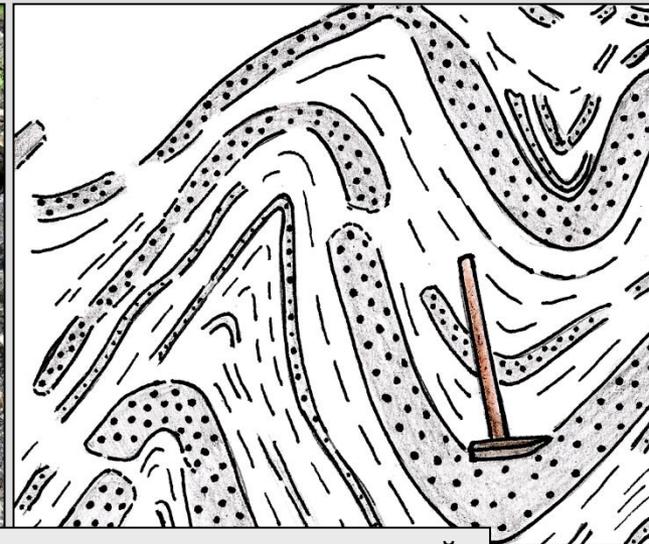
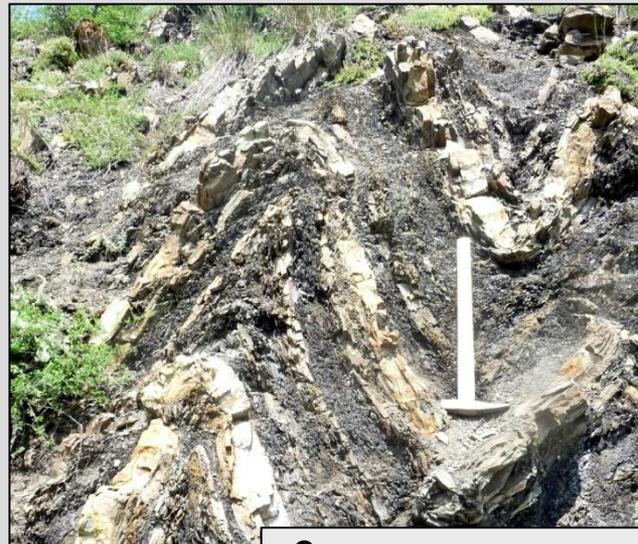


Ульяновская синклиналь. Фамен. Северное Прибалхашье. Казахстан (по И.А. Кошелевой)

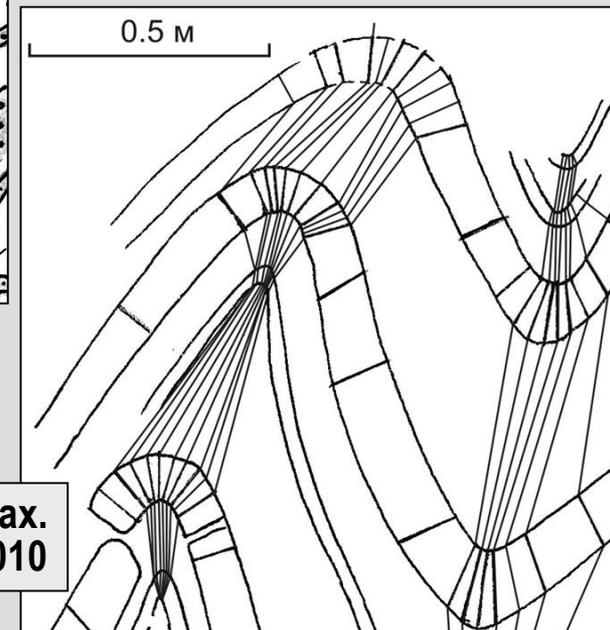
Складки в толщах пород с разной вязкостью

Если разные пласты в единой толще имеют существенно разную вязкость, то эти пласты и ведут себя по-разному. Прослои компетентных пород изгибаются по типу концентрических складок, а некомпетентные породы легко перетекают из крыльев в ядра, сминаясь по механизму подобных складок.

В результате в одной и той же складке **изогоны** в песчаниках образуют расходящиеся веера (признак концентрических складок), а в аргиллитах – параллельны или даже сходятся (признак подобных складок).



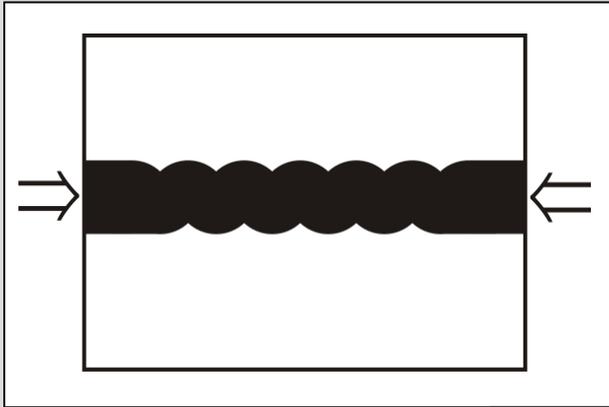
Складки в терригенных породах таврической серии. Крым. Фото и рис. Е.А. Сотниковой



Положение изогон в складках.
По Е.А. Сотниковой, 2010

Фестончато-лопастные складки [*cusped-lobate folds*]

При незначительной разнице вязкостей разных слоев сминаемый слой может не изгибаться, а укорачиваться по длине с увеличением мощности. Изгибаются только его границы, образуя чередующиеся гребневидные или килевидные поверхности, причем изломам на одной поверхности соответствуют изгибы на другой поверхности пласта.



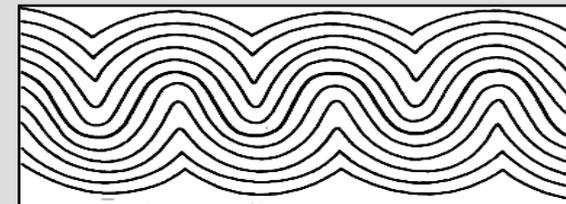
Складки в мигматитах протерозоя. Фотоархив ОАО "Челябинскгеосъемка"



Складки в амфиболитах среди гнейсов. Беломорье. Фото В.В. Травина



По общей морфологии фестончато-лопастные складки напоминают концентрические складки модели Ван Хайза, только в пределах **одного** слоя.

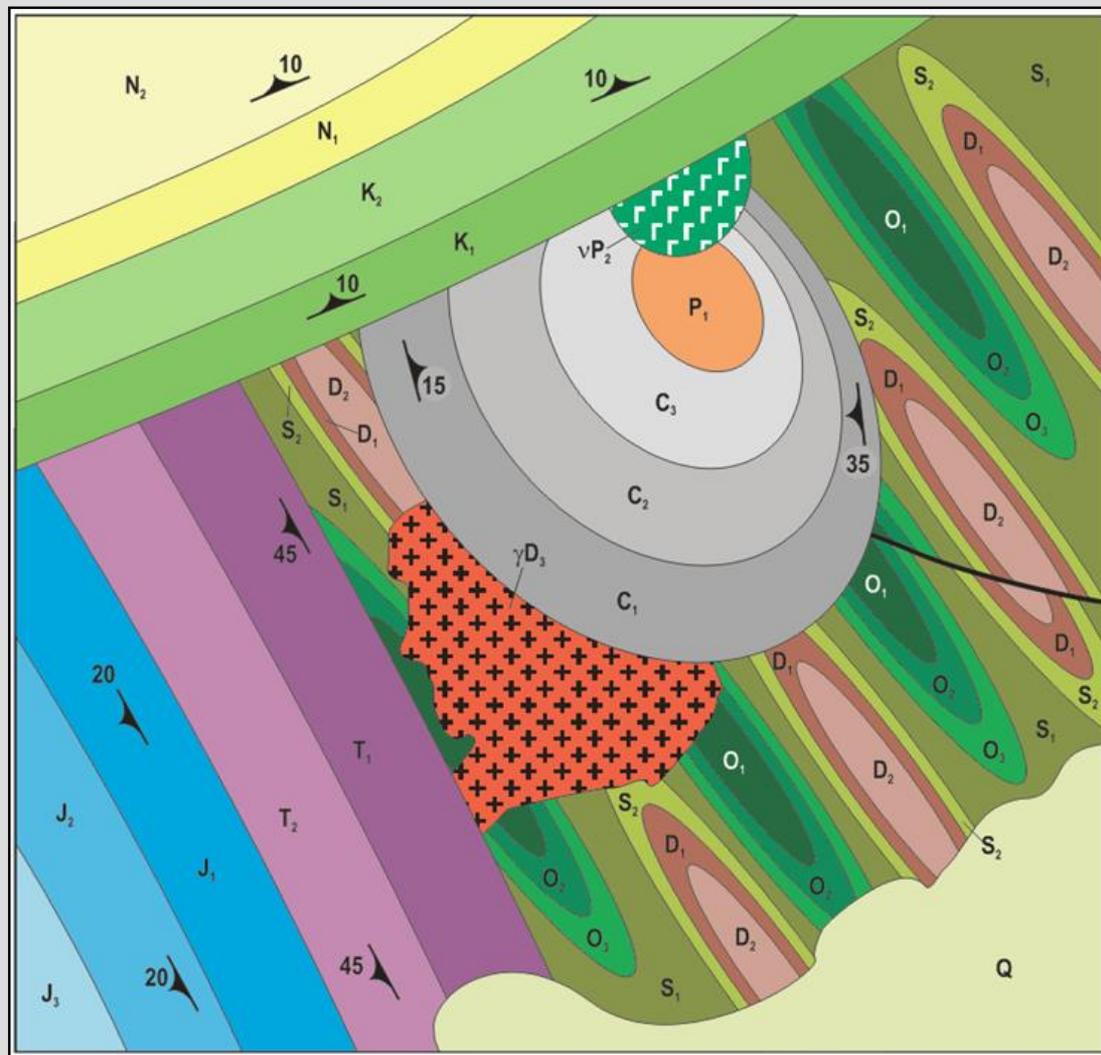


2. Отношение к осадконакоплению

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

Отличительный признак – примерно одинаковые мощности в ядрах синклиналей и антиклиналей, примерно одинаковые мощности в крыльях складок, независимость фаций слоев от морфологии складки.

NB! Возраст постседиментационной складчатости:
а) моложе самых молодых пород, смятых в складки,
б) древнее самых древних пород, залегающих несогласно на складчатом комплексе, или возраста прорывающих складки интрузивов

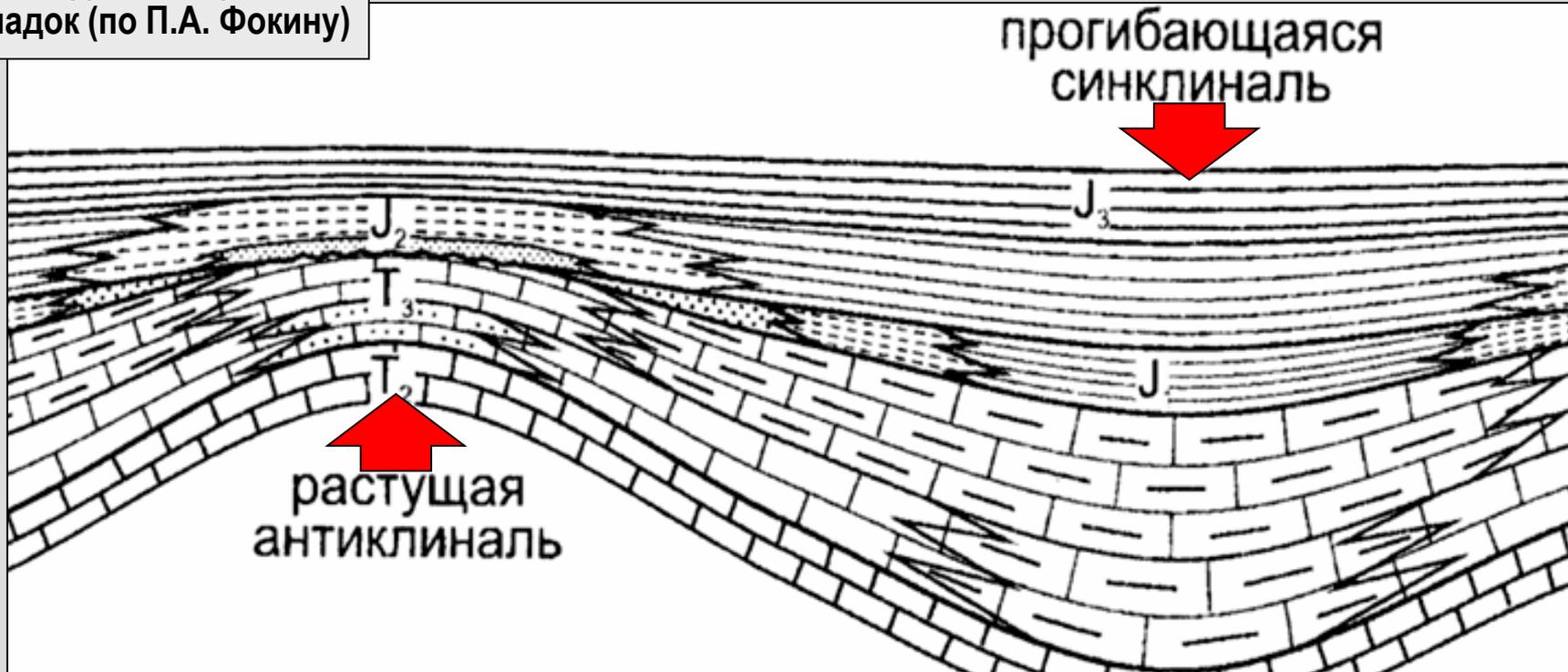


Б – конседиментационные складки

[*syndepositional folds*]

(формируются 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.

3. Пластичность пород

А. Складки изгиба
(концентрические, подобные и прочие)

Б. Складки хрупкого излома (шевронные)

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

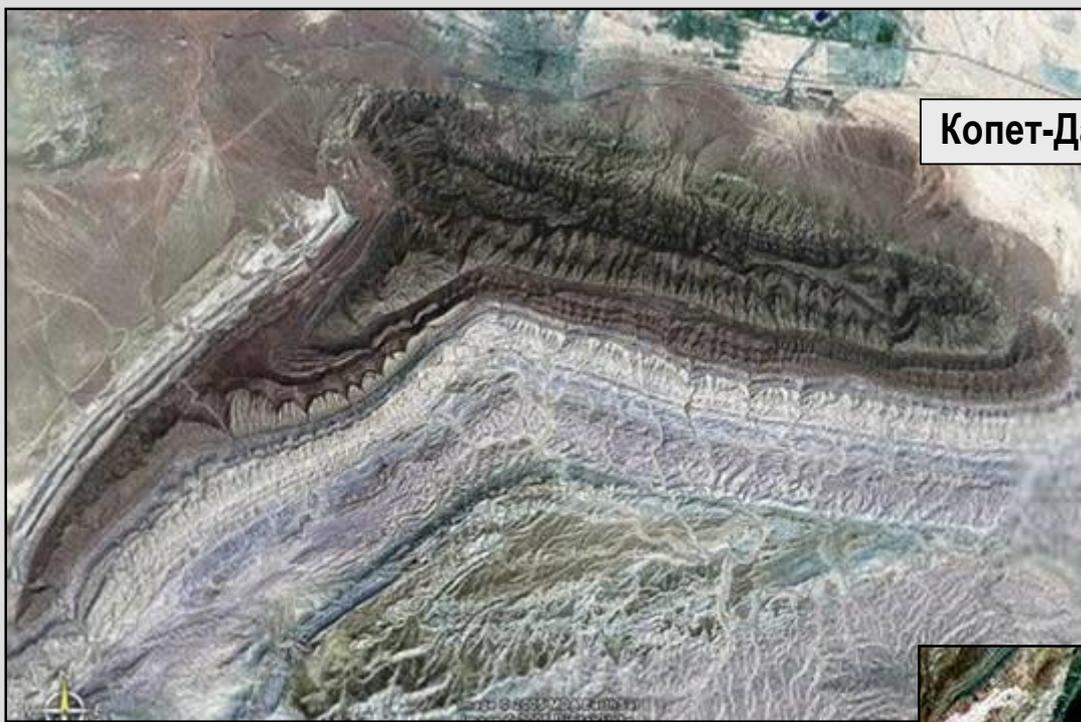
Известняки. Фото
Марли Миллер,
Университет штата
Орегон, США

Мраморы нижнего
карбона. Южный Урал

**В. Складки
пластического
течения**
(реидные)



Копет-Даг. Google Earth



Западное
Прибалхашье.
GoogleEarth



Складки изгиба могут образовываться в разных условиях (продольный и поперечный изгиб) при достаточной пластичности пород.

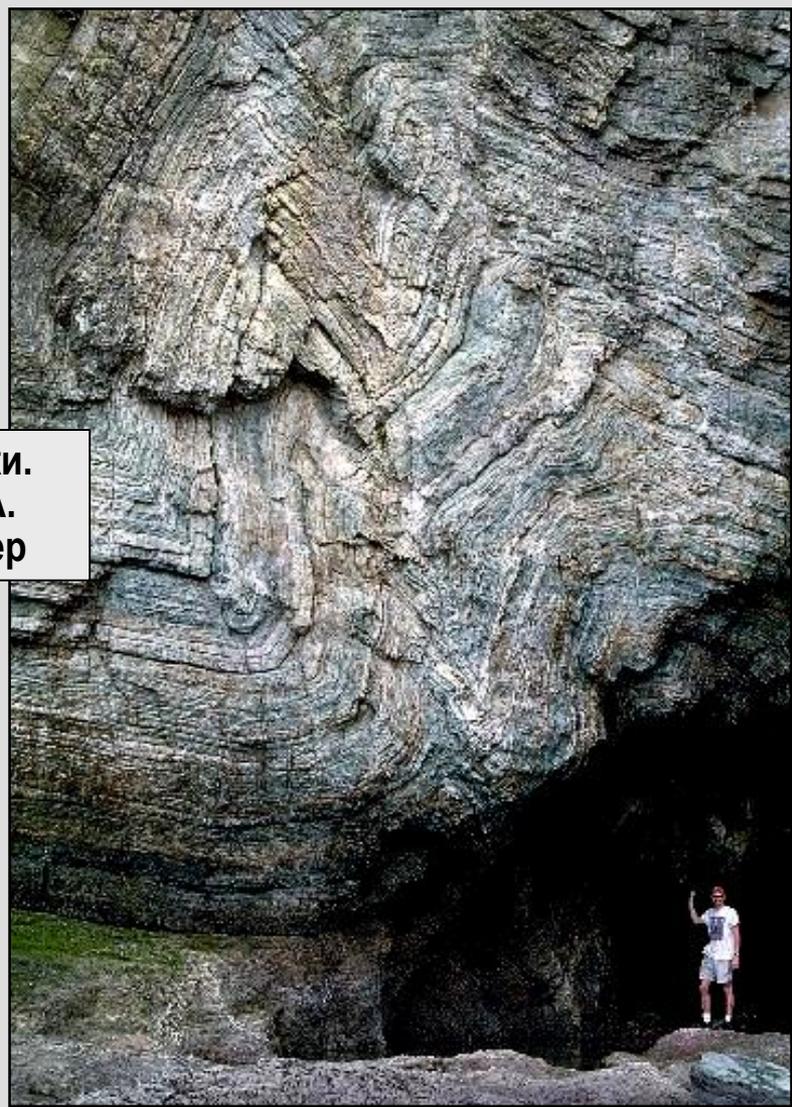
По *морфологии* они могут быть тоже самыми разнообразными – *подобными, concentрическими, с замками разной формы* и пр.

Складки хрупкого излома



Шевронные складки.
Штат Орегон, США.
Фото Марли Миллер

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



Складки пластического течения (реидные)

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 их отличается неправильными изгибами, пережимами слоев.*

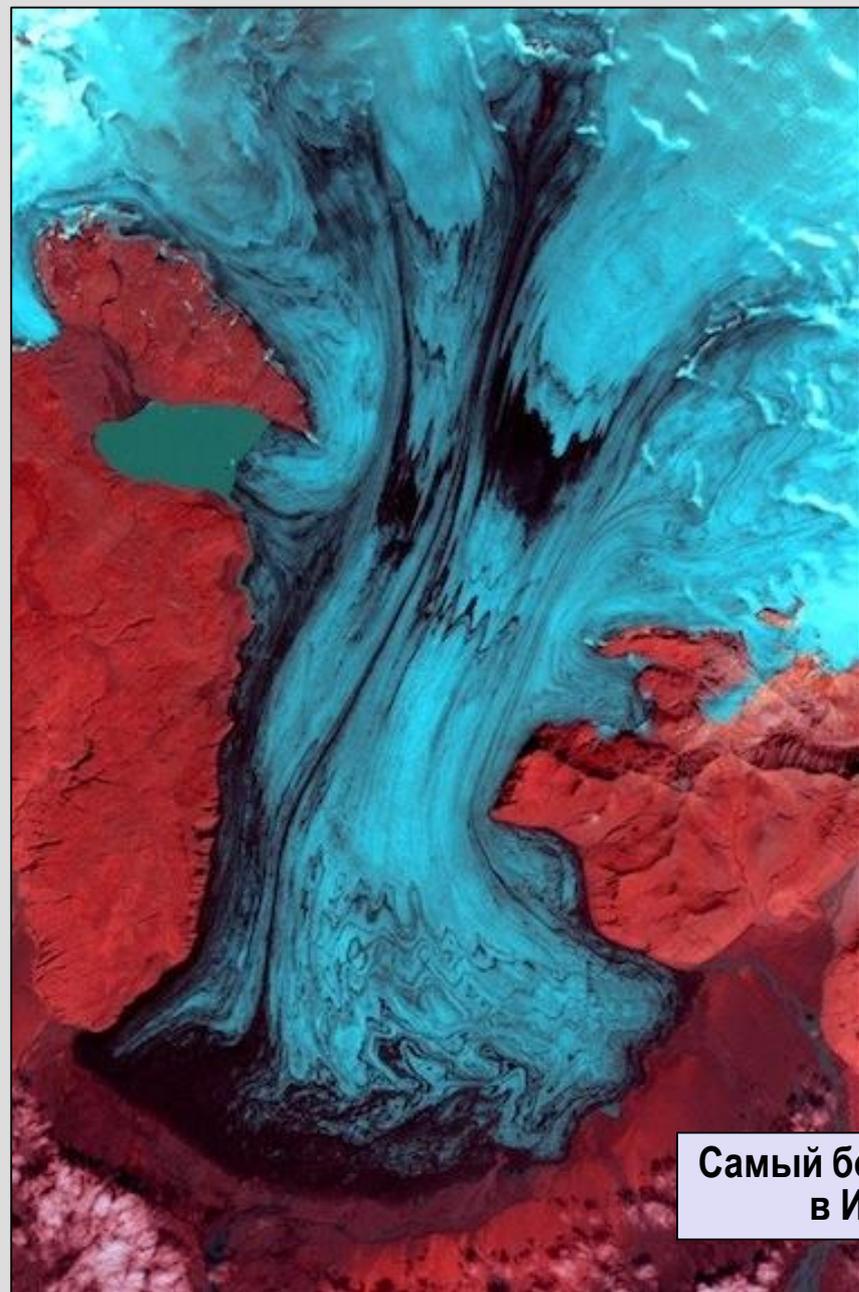


Реидные складки в солях.
Массив Сдом. Мертвое море



Мраморы нижнего
карбона. Южный Урал

Классические рейдные складки –
складки, образованные мореной.



**Самый большой ледник
в Исландии**



**Самый большой ледник
на Аляске**

4. Деформирующие силы

Эндогенные (формируются в результате тектонических процессов).

Экзогенные (формируются под воздействием внешних факторов):

- складки **выпираания** 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.);
- **сейсмодислокации** (приповерхностные рыхлые образования, структура которых обусловлена процессами разжижения при сейсмических событиях: ударах, толчках, образуются очень быстро)

NB! Границы между эндогенными и экзогенными складками не столь очевидны, как может показаться с первого взгляда!
Например, *сейсмиты, оползневые складки*

Криотурбации [cryoturbation]

Криотурбации в четвертичных
аллювиальных песках р. Сябу-Ю.

Типичные криотурбации, принимаемые часто за гляциодислокации.

Криотурбации в четвертичных
аллювиальных песках р. Сябу-Ю.

Постепенное вовлечение горизонтальных слоев в криотурбации.



Сейсмодислокации (сейсмиты)



Сейсмиты в четвертичных
аллювиальных песках. Ю. Урал.
Фото Арк.В. Тевелева



Сейсмиты в рыхлых
породах. Горный Алтай.
Фото Е.В. Деева

Сейсмические удары могут провоцировать в водонасыщенном рыхлом слое формирование быстро движущейся волны, которая нарушает связь между частицами, в результате чего порода приобретает свойства плотной жидкости (разжижается).

Сейсмодислокации

Кроме того, прохождение такой волны вызывает формирование разнообразных складок, часто осложненных разрывами, иногда с отчетливой вергентностью. Они образуются очень быстро и сохраняют свою морфологию, несмотря на рыхлое строение



Сейсмиды. Мертвое море, Израиль. Фото Е. Вапника



Сейсмиды. Мертвое море, Израиль

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"!!!



5 вопросов

1. Слои в крыльях складок исчерчены штриховкой, поперечной к линии перегиба. Каков преимущественный механизм смятия?
2. Пласт оолитовых известняков смят в складки. Форма оолитов меняется вдоль осевой поверхности складки от плоских эллипсоидов, вытянутых вдоль осевой поверхности, до вытянутых вдоль пласта. Каков преимущественный механизм смятия?
3. Пласт оолитовых известняков смят в складки. Вблизи осевых поверхностей складок оолиты имеют сферическую форму, а на крыльях расплющены. Каков преимущественный механизм смятия?
4. В разрезе складчатого комплекса чередуются пачки, смятые в складки изгиба и в складки излома. К какому типу (поперечного или продольного сжатия) относятся эти складки? Чем объясняется разница в механизмах их формирования?
5. В ядре крупной коробчатой синклинали мощность миоценовых глин составляет 400 м, а в ядре соседней антиклинали – 200 м. Плиоценовые песчаники имеют мощность 100 м в обеих структурах. Каков тип этих складок и возраст деформаций?