

Деформации горных пород – структурная геология



Автор: Корё Куллеруд, Университет Тромсё, Норвегия

Помощник продюсера: Франк Бьорклунд и Руне Сельбекк

Русский перевод: Дмитрий Конопелько, Анна Рамазанова

Геологический ф-т, Санкт-Петербургский государственный университет



© Steffen Bergh

Введение

Литосферные плиты, слагающие внешнюю оболочку Земли, находятся в постоянном движении. На границах плит горные породы испытывают интенсивное сжатие или растяжение. Эти силы приводят к деформациям горных пород, включающим образование трещин, разрывов и складок. Этот модуль описывает некоторые процессы, которые приводят к деформациям в земной коре и некоторые результаты деформаций. Рассматриваются следующие темы:

- Что такое деформация?
- Хрупкая и пластическая деформация
- Образование складок, разрывов и расщепления
- Что могут рассказать структуры, возникающие в результате деформаций, о тектонической эволюции земной коры?
- Как определить элементы залегания различных структур?



- Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Расщепление

Этапы деформаций

Столчатая
отдельность

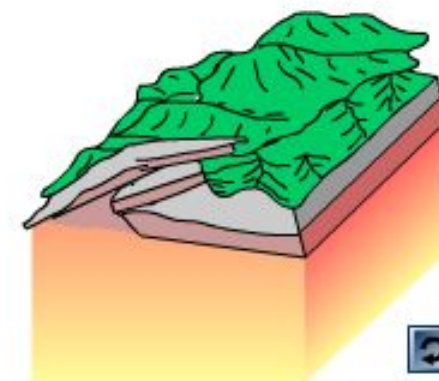
Определение
элементов
залегания

Заключение

Введение



Складки – структура, образующаяся в результате деформации



Континентальная коллизия

Внешняя оболочка Земли состоит из жестких литосферных плит, которые постоянно перемещаются относительно друг друга. На границах плит горные породы сжатие или растяжение. В результате происходит деформация горных пород. Изучением

деформаций горных пород занимается структурная геология. Объектом изучения структурной геологии являются структуры, образующиеся в результате деформаций, и история деформаций в земной коре.

- Введение

- Первичные структуры

- Что такое деформация?

- Хрупкая деформация

- Пластическая деформация

- Рассланцевание

- Этапы деформаций

- Столбчатая отдельность

- Определение элементов залегания

- Заключение

Слоистость осадочных пород

Введение

Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение



Осадки отлагаются слоями на дне мирового океана

Осадки, отлагающиеся на дне мирового океана, обычно характеризуются горизонтальной слоистостью. Когда осадки уплотняются в процессе диагенеза, они превращаются в слоистые осадочные породы. На фото справа



Слоистая осадочная порода, Алта, Северная Норвегия

показана слоистая осадочная порода. Слоистость это первичная структура – структура, образовавшаяся при формировании породы.

Магматическая расслоенность

Введение

● Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение



Плато-базальт, Диско, Западная Гренландия

Магматические породы также могут иметь первичную слоистость – слоистость, сформировавшуюся при кристаллизации пород. Горы на этой фотографии сложены

многочисленными потоками базальтовой лавы, образующими горизонтальные слои. Мощность отдельных потоков всего несколько метров, однако, они занимают значительную площадь.

Наклонное залегание слоев

Введение

● Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение



Осадочные породы на этой фотографии имеют слоистое строение. Однако, залегание слоев наклонное. Осадки никогда не отлагаются таким образом. Наклон слоев, вероятно, произошел значительно позднее накопления и

консолидации осадков. Этот наклон говорит о том, что блок земной коры испытал перемещение после консолидации осадков – то есть блок земной коры испытал деформацию.

Минеральная расслоенность

Введение

● Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение



Расслоенное габбро, Эгерсунд

Породы на этих фотографиях сложены переслаивающимися темными (обогащенными пироксеном) и светлыми (обогащенными плагиоклазом) прослоями. Породы на фото слева покрыты лишайниками. Однако, расслоенность отчетливо видна, так как одни



Расслоенное габбро, Линген

прослои более выветрелы чем другие. Такая расслоенность называется минеральной расслоенностью. Минеральная расслоенность это первичная структура, сформированная во время кристаллизации магматической горной породы.

Косая слоистость

Введение

● Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение



Косая слоистость в песчанике, Далане. Швеция

Иногда бывает трудно определить, является ли наблюдаемая структура первичной или вторичной. На этой фотографии показана первичная структура обломочных осадочных пород - косая слоистость. Однако, эта структура может быть неправильно интерпретирована как

разрывное нарушение – взброс, о котором будет рассказано на следующих слайдах. Если геолог интерпретирует эту структуру как взброс, то одним из его выводов будет вывод о том, что эта порода испытала деформацию – а этот вывод является неправильным.

Деформация резиновой ленты, жевательной резинки и бумаги

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

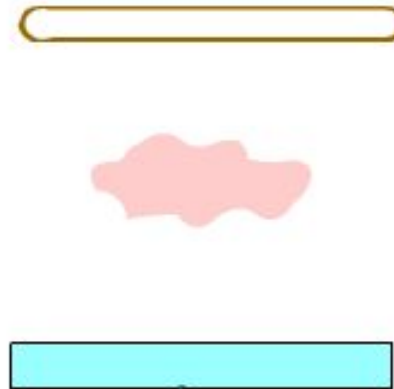
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



На этом рисунке показаны три материала с различными механическими свойствами: резиновая лента, жевательная резинка и лист

бумаги. Что произойдет с этими материалами, если попробовать их растянуть?

Деформация резиновой ленты, жевательной резинки и бумаги

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

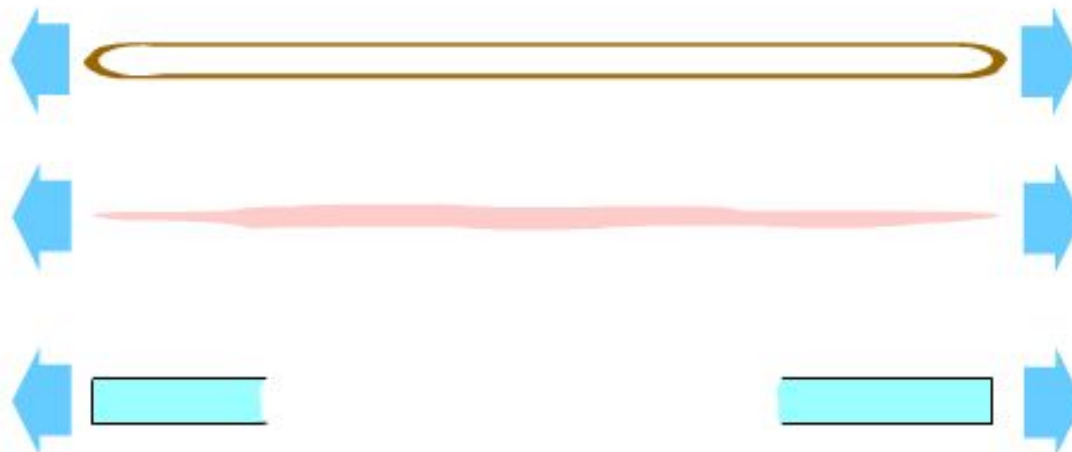
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Резиновая лента и жевательная резинка растягиваются. Однако, лист бумаги оказался разорван пополам.

Деформация резиновой ленты, жевательной резинки и бумаги

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

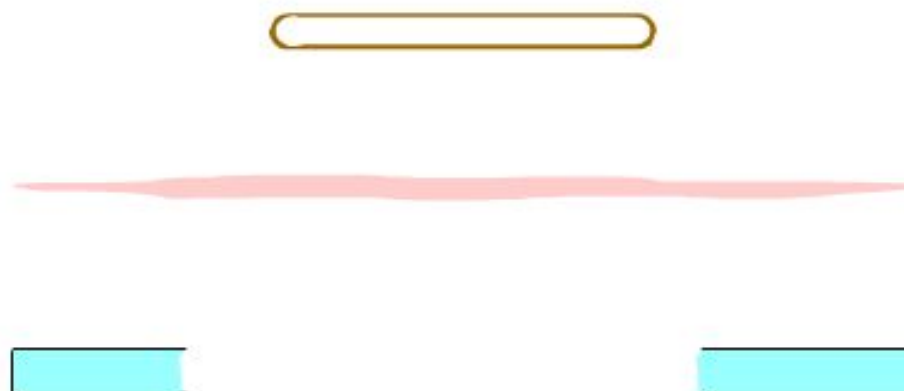
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Когда действие растяжения прекращается, резиновая лента восстанавливает свою первоначальную форму. Резиновая лента только временно деформировалась вследствие растяжения. Резиновая лента испытала деформацию, которая называется упругой

деформацией. Жевательная резинка и лист бумаги оказались деформированы необратимо. Жевательная резинка испытала пластическую деформацию, а лист бумаги подвергся хрупкой деформации.

Три стадии деформации

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Напряжение это измеримая внешняя сила, действующая на твердое тело на единицу площади, а деформация это изменение формы и размеров тела под действием напряжения. На этой анимации показано, как твердое тело

(зеленый прямоугольник) сначала подвергается упругой деформации, затем пластической деформации и, наконец, хрупкой деформации. Эти три стадии характерны для деформации горных пород.

Три стадии деформации

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

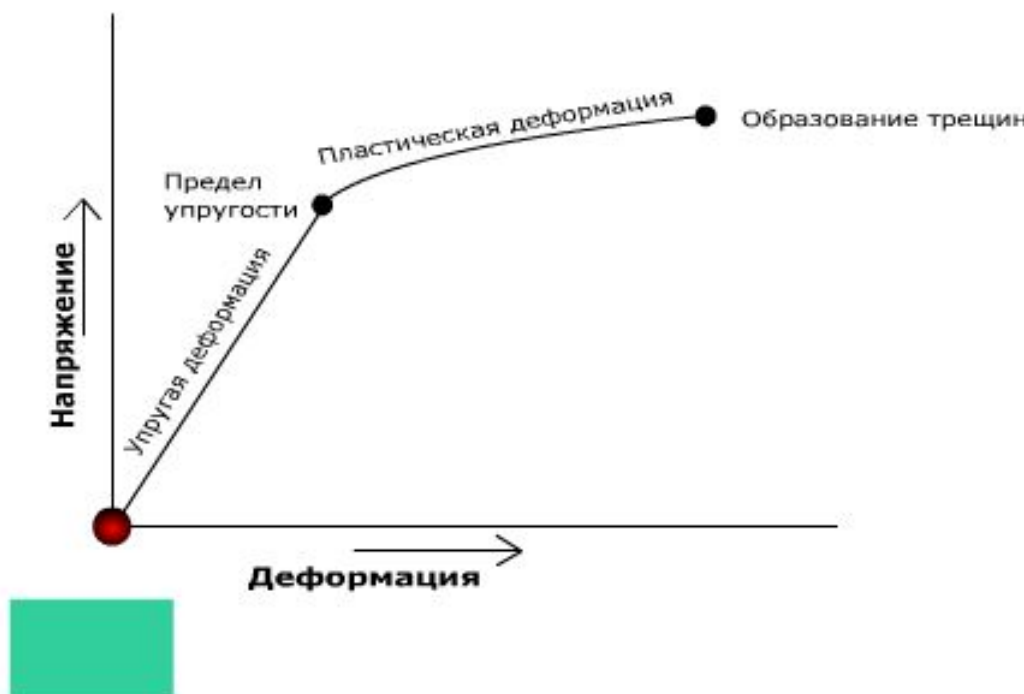
Заключение



Начальная деформация является упругой. Если напряжение, приложенное к телу, возрастает, оно превышает предел упругости, и деформация становится необратимой.

Три стадии деформации

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Однако, если напряжение ослабло, тело восстанавливает первоначальную форму и размеры.

Три стадии деформации

Введение

Первичные структуры

• Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

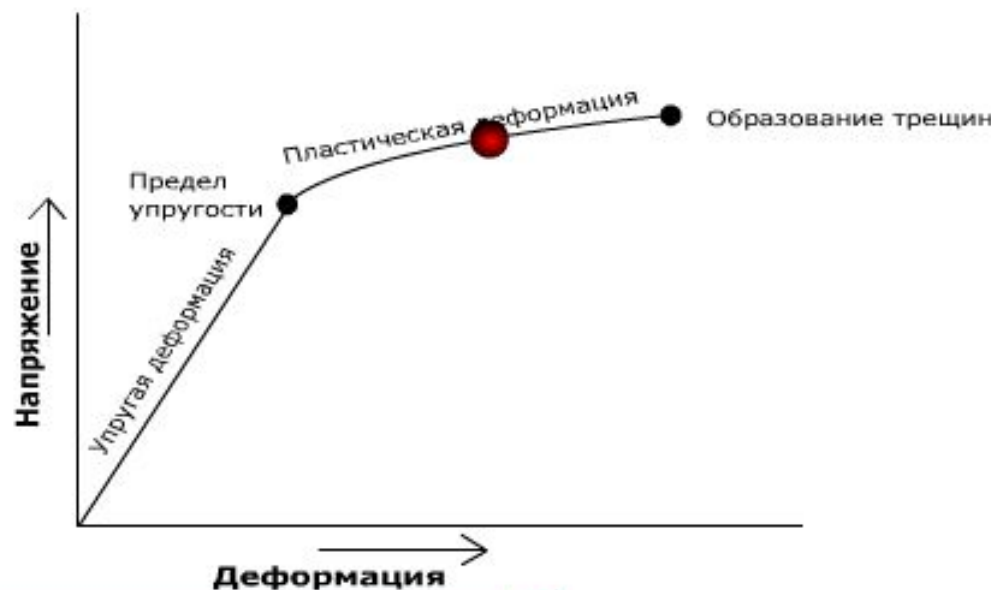
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

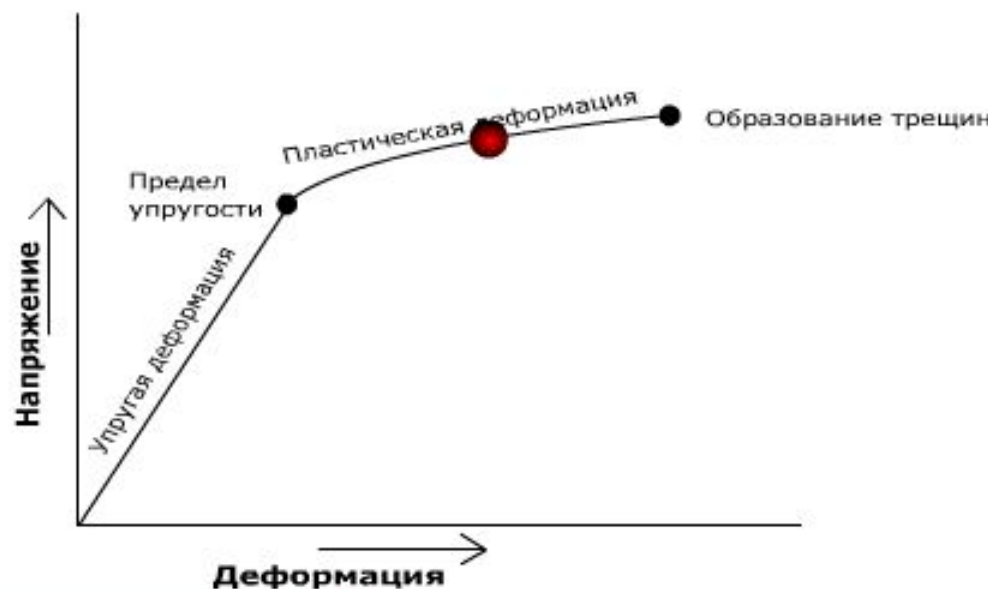
Заключение



Теперь напряжение превысило предел упругости.

Три стадии деформации

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение

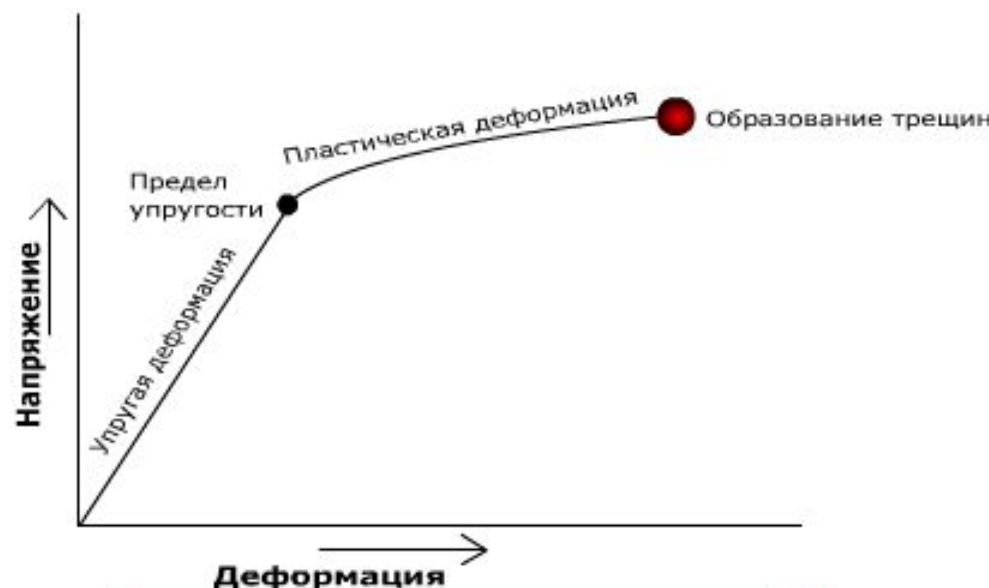


Необратимая деформация Первоначальная длина Необратимая деформация

Если напряжение ослабло, тело больше не восстанавливает свои первоначальные размеры и форму. Деформация стала необратимой.

Три стадии деформации

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



При дальнейшем повышении напряжения материал разрушается путем хрупкого дробления (то есть в нем образуются трещины). В геологии деформация предшествующая

растрескиванию называется пластической. При появлении трещин говорят о хрупкой деформации.

Температура и деформация

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Испытает ли тело пластическую или хрупкую деформацию под действием напряжения, зависит в том числе и от температуры. На этом

рисунке обыкновенная свеча. Давайте проведем эксперимент при комнатной температуре.

Температура и деформация

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Когда напряжение приложено к свече при комнатной температуре, она ломается – то есть подвергается хрупкой деформации.

Температура и деформация

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Следующий эксперимент проводится при
температуре 45°C.

Температура и деформация

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Когда свеча нагревается до температуры 45°C , она становится мягкой. Когда напряжение прикладывается к нагретой свече, она подвергается пластической деформации.

Подобным образом, температура определяет, испытает ли горная порода хрупкую или

пластическую деформацию под действием напряжения. На верхних горизонтах коры, где температура относительно низкая, горные породы подвергаются хрупкой деформации. На более глубоких горизонтах коры температура более высокая, и породы испытывают пластическую деформацию.

Причины деформаций в земной коре

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

Силы сжатия



Силы растяжения



Силы сдвига



Силы, деформирующие горные породы в земной коре, бывают трех типов: силы сжатия, силы растяжения и силы сдвига. Силы сжатия приводят к сжатию и утолщению коры, силы

растяжения приводят к уменьшению мощности коры. Силы сдвига перемещают два блока коры в противоположных направлениях.

Хрупкие деформации в земной коре

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

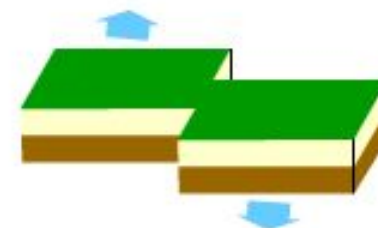
Силы сжатия



Силы растяжения



Силы сдвига



Хрупкие деформации

В верхних горизонтах коры, где температура относительно низкая, под действием напряжения формируются разрывные нарушения или разломы. Взбросы (слева) образуются в

результате сжатия, сбросы (в середине) в результате растяжения, а сдвиги (справа) при перемещении двух блоков в противоположных направлениях.

Пластические деформации в земной коре

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

Силы сжатия



Пластическая деформация

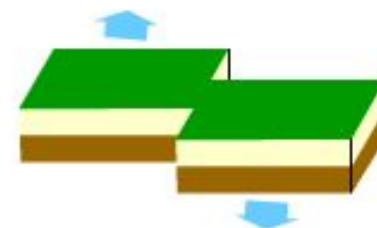
Силы растяжения



Силы сдвига



Хрупкие деформации



В нижних горизонтах коры, где температура относительно высока, происходят пластические деформации. Силы сжатия приводят к образованию складок, а силы растяжения

приводят к уменьшению мощности слоев горных пород. Силы сдвига приводят к образованию обширных зон сдвига.

Хрупкие разрывы и пластические зоны сдвига

Введение

Первичные
структуры

• Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

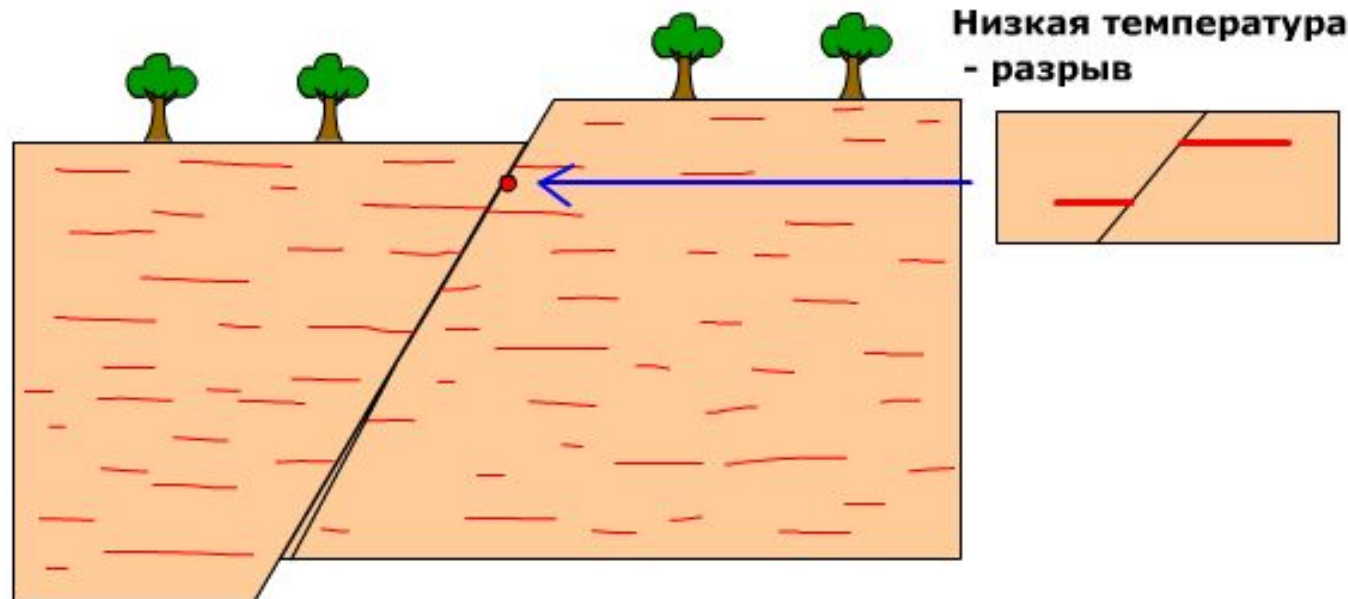
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

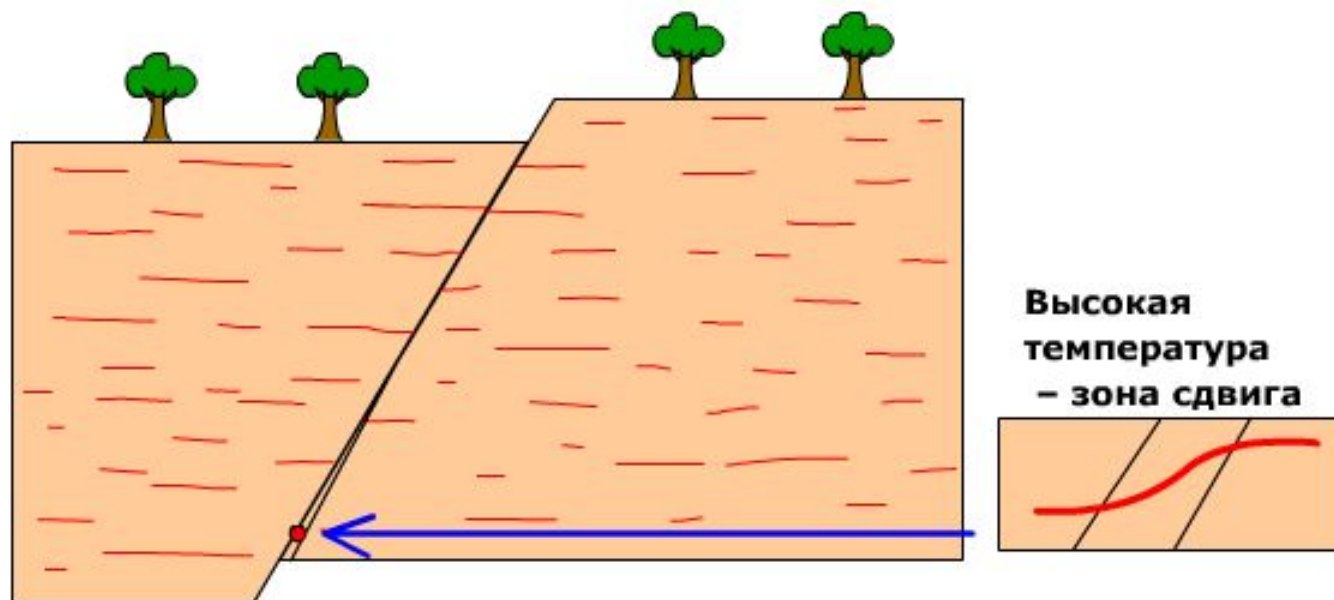


На этой анимации показаны два блока коры, которые перемещаются относительно друг друга. На небольших глубинах, где температура

низкая, происходит хрупкая деформация, и формируется разрыв. Текстура пород сечется разрывом, как показано на диаграмме справа.

Хрупкие разрывы и пластические зоны сдвига

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



На больших глубинах, где температура высокая, происходят пластические деформации. Переход между хрупким разрывом в верхних горизонтах коры и пластической зоной сдвига на глубине

постепенный. В зоне сдвига элементы структур и текстур горных пород уплощаются и разворачиваются.

Структуры, образующиеся в результате деформаций – некоторые примеры

Введение

Первичные структуры

• Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение



Трещины в сланце, Штайлене, Ослофьорден

Трещины и структуры характерные для хрупких деформаций образуются в верхней, наиболее холодной, части земной коры.

Структуры, образующиеся в результате деформаций – некоторые примеры

Введение

Первичные структуры

• Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение



Складки (особенно складки течения) являются структурами, образующимися в результате пластической деформации при высоких температурах на глубоких горизонтах земной коры. На этой фотографии смятые в складки

слои светло и темноокрашенных пород. Ориентировка складок предполагает, что породы подверглись деформации за счет сил сжатия, действовавших в направлении, показанном желтыми стрелками.

Структуры, образующиеся в результате деформаций – некоторые примеры

Введение

Первичные структуры

• Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение

Не затронутая деформацией порода

Трещина

Зона сдвига



Зона сдвига в габбро, Рамберг, Луфутен

На этом фото магматическая горная порода габбро, которая испытала как пластическую, так и хрупкую деформацию. Когда габбро находилось на больших глубинах,

сформировалась пластическая зона сдвига. Позднее, когда габбро в результате аплифта переместилось в верхние горизонты коры, сформировались хрупкие трещины.

Трещины

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Деформированное габбро,
Флакстадой, Луфутен

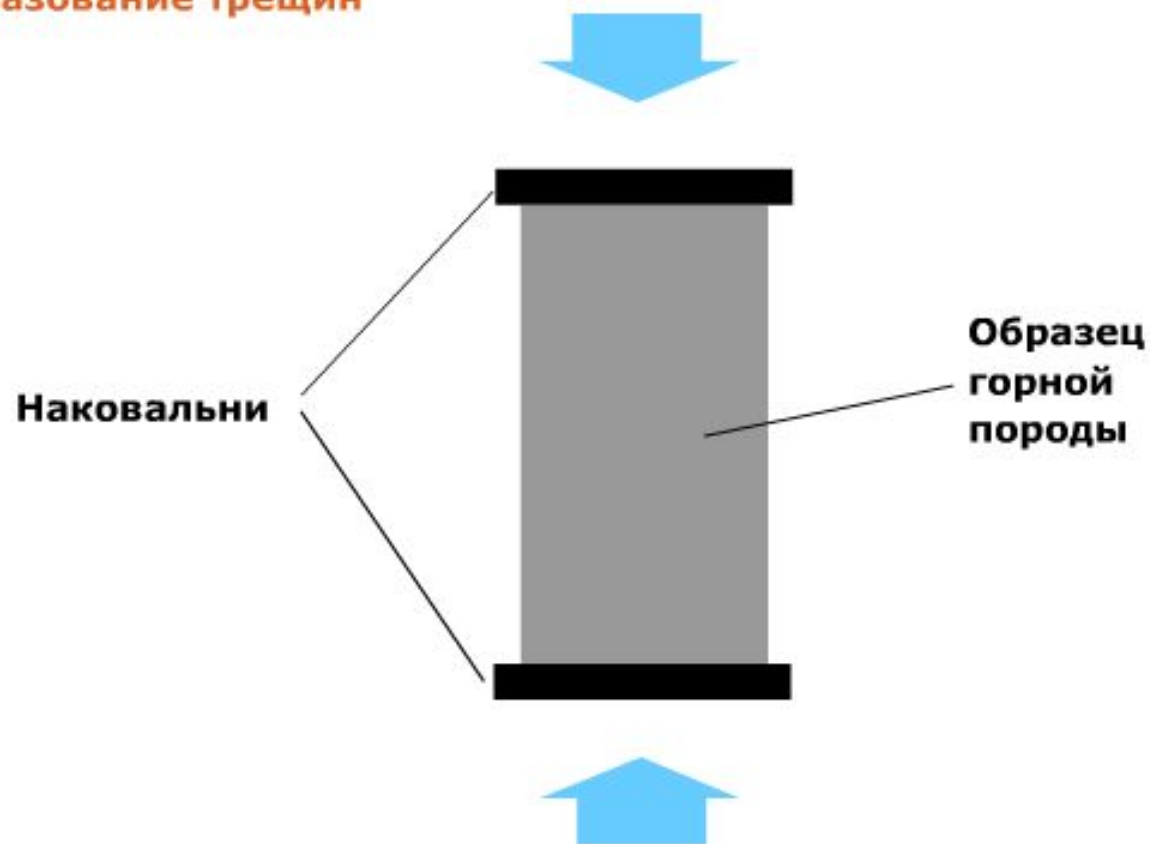
Трещины также являются структурами, образующимися в результате деформаций. Трещины наблюдаются почти во всех горных породах. На фотографии слева трещины в габбро на полуострове Луфутен в северной Норвегии. Трещины в горной породе на фото



Сланец, Стайлене, Ослофьорден

справа заполнены светлоокрашенным минералом - кальцитом (CaCO_3). После образования трещин по ним стал проникать обогащенный CO_2 флюид, что привело к отложению в трещинах кальцита.

Образование трещин



На этом рисунке образец горной породы, помещенный под пресс. Порода гомогенна, то есть механические свойства породы одинаковы во всех направлениях. Давления передается

породе за счет сжатия между двумя наковальнями. На следующих слайдах показано, что происходит при повышении давления.

Введение

Первичные структуры

Что такое деформация?

• Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение

Образование трещин

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Начальная деформация является упругой. Если давление ослабевает, порода восстанавливает свою первоначальную форму. Однако, если давление продолжает расти, деформация станет

необратимой. При комнатной температуре доля пластической деформации до появления трещин будет незначительной.

Образование трещин

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

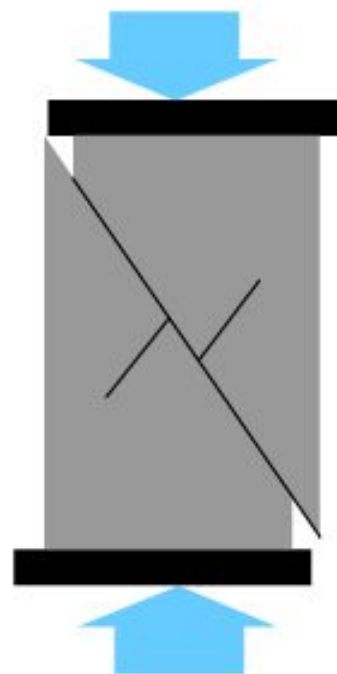
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Чаще всего трещины образуются в двух направлениях, угол между которыми около 60° . Две группы трещин, которые образуются одновременно, называются сопряженными. Если давление продолжает расти, формируется

разрыв. Трещины и разрывы это результат хрупкой деформации. Трещины это нарушения сплошности пород без смещения, а разрывы это нарушения сплошности со смещением двух блоков горных пород.

Разрывы

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

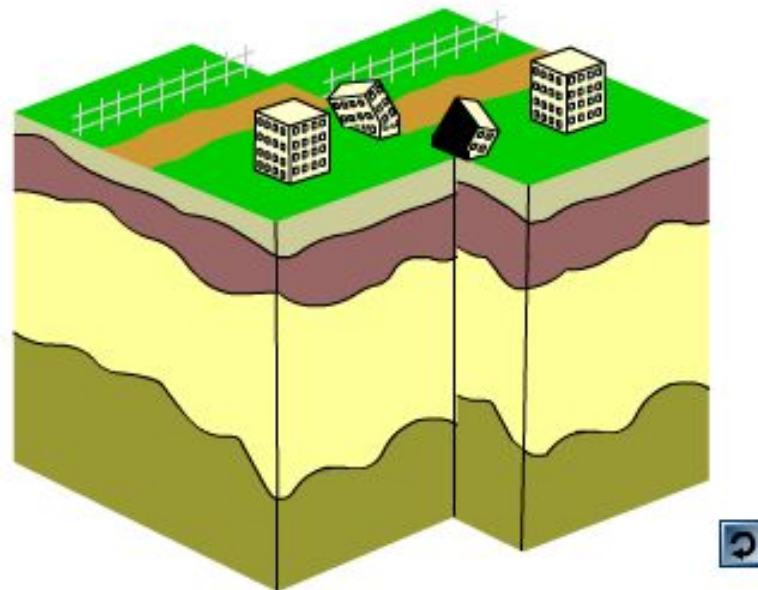
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Когда два блока земной коры перемещаются относительно друг друга, между ними формируется разрыв (или разлом). Образование

разрывов это быстрый процесс, часто связанный с землетрясениями.

Висячий бок и лежащий бок



Разрывы чаще всего имеют наклонное залегание. Многие разрывы связаны с рудной минерализацией. Руды, ассоциирующие с разрывами, издавна являлись объектом разработки. Два старых шахтерских термина до сих пор используются геологами: висячий бок и

лежащий бок. Блок, который находится под ногами шахтера, то есть ниже плоскости разрыва, называется лежащим боком. Блок выше плоскости разрыва, образующий потолок шахты, на который подвешивались лампы, называется висячим боком.

Введение

Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение

Сбросы

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Разрывы могут формироваться при сжатии, растяжении и сдвиговых деформациях земной коры. На этой анимации показано, что

происходит, когда кора подвергается действию растяжения.

Сбросы

Введение

Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

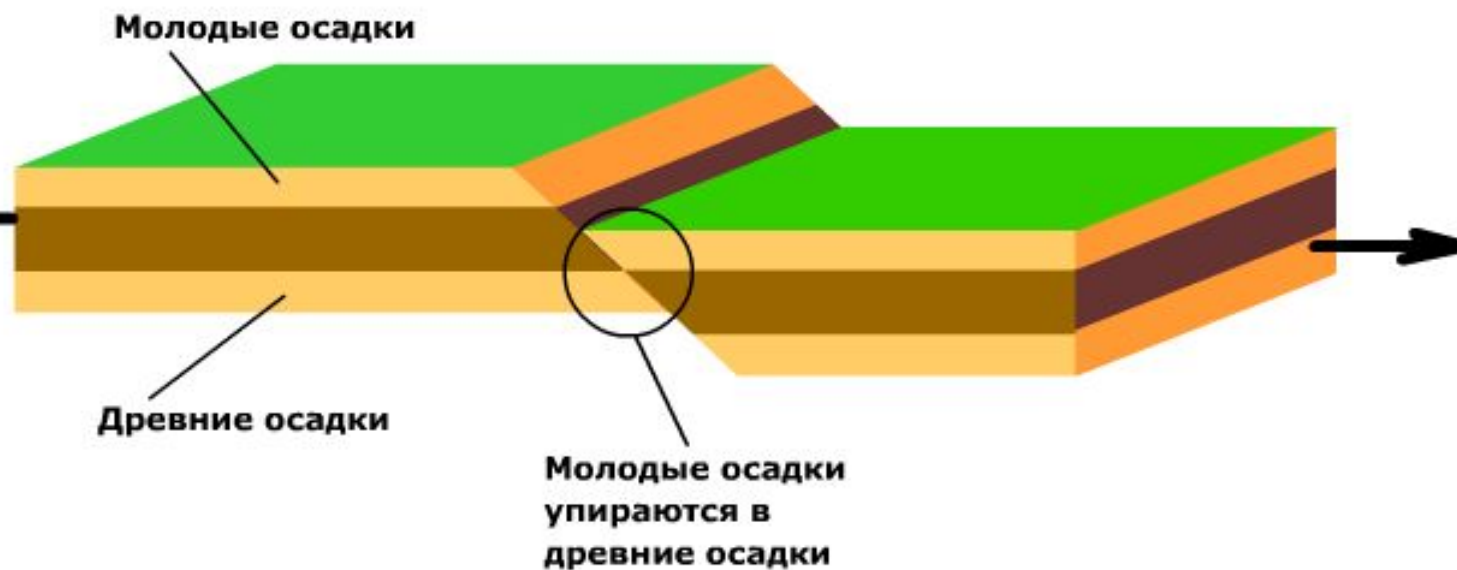
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение



Разрывы, которые образуются в результате растяжения, называются сбросами. Если толщи по обе стороны разрыва представлены слоями осадочных пород, то молодые осадки висячем

боку будут упираться в более древние осадки в лежащем боку плоскости разрыва. Висячий бок смещается вниз по отношению к лежащему боку.

Горсты и грабены

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

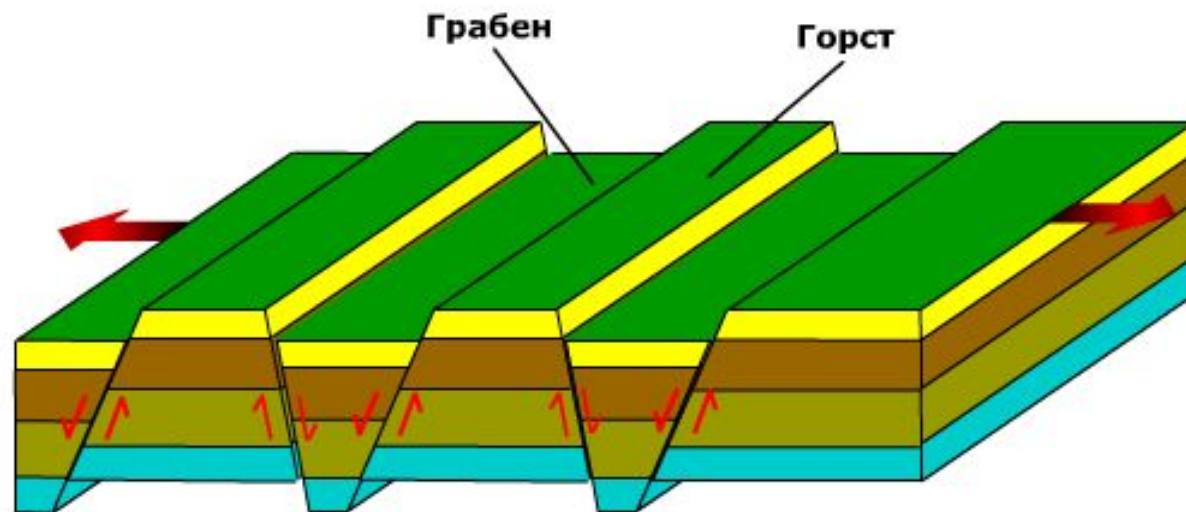
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Горсты и грабены это структуры характерные для районов, где развиты разрывы типа сбросов. На этой анимации показано, как образуются

подобные структуры. Горсты и грабены характерны для окраинных частей Северного моря.

Сброс

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Сброс, Провинция хребтов и бассейнов, США

На этой фотографии сброс в Провинции хребтов и бассейнов в США. Красными стрелками показано направление относительного смещения двух блоков.

Взброс

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Теперь давайте посмотрим, что происходит,
когда кора подвергается сжатию.

Взброс

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

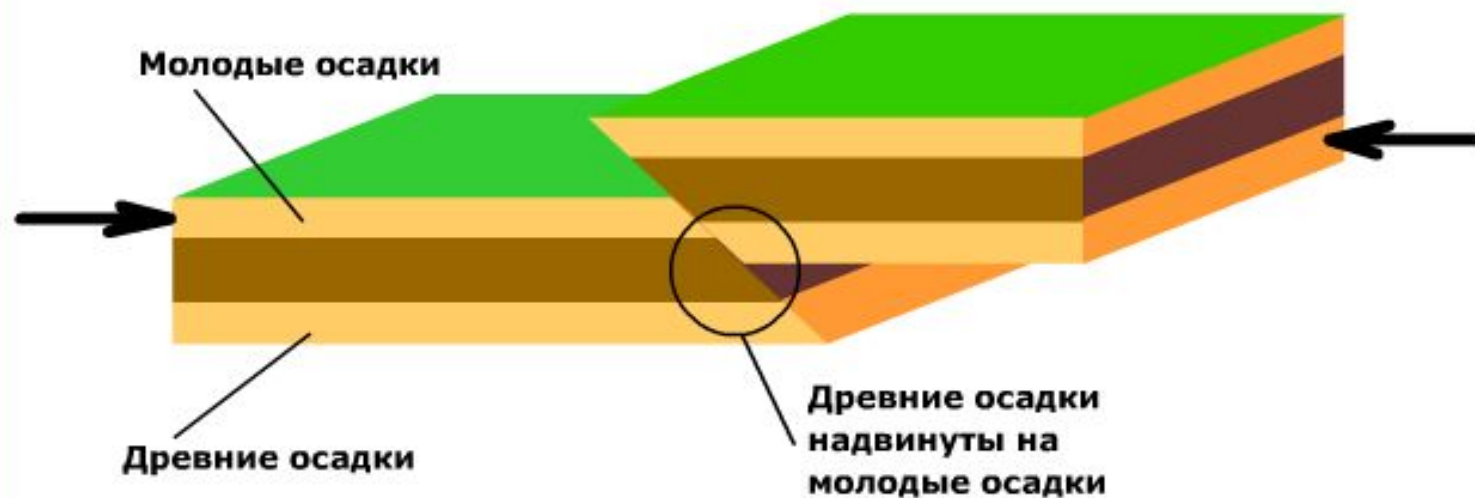
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Разрывы, которые формируются в результате сжатия, называются взбросами. Если толщи по обе стороны разрыва представлены слоями осадочных пород, то древние осадки висячем боку будут надвинуты на более молодые осадки в лежачем боку плоскости разрыва. Висячий бок

смещается вверх по отношению к лежачему боку. Обратите внимание, что при образовании взбросов происходят смещения противоположные смещения при образовании сбросов.

Взброс

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



© Steffen Bergh

Взброс, Биллефьорден, Шпицберген

На этой фотографии сброс в районе Биллефьорден, Шпицберген. Красными стрелками показано направление относительного смещения двух блоков.

Надвиги

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

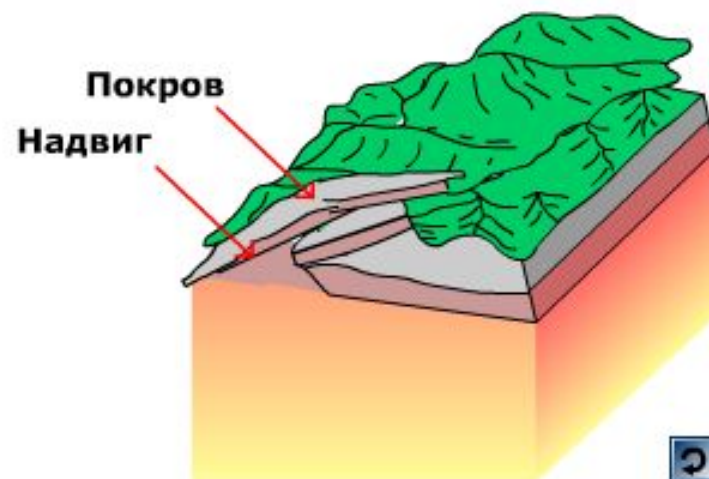
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Надвиг это такая разновидность взброса, в котором поверхность сместителя образует небольшой угол с горизонтальной плоскостью, то есть располагается достаточно полого. Надвиги типичны для фронтальной коллизии

континентов. В процессе надвига древние породы в висячем боку могут перемещаться на десятки километров по поверхности молодых пород в лежащем боку. Надвинутый блок обычно называется покровом.

Надвиги

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



На этом фото надвиг в районе Согнефьорден в западной Норвегии. Красные стрелки показывают направление относительного смещения двух блоков.

Сдвиги

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

• Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



На этой анимации показан разрыв, который называется сдвигом. Сдвиги, которые пересекают всю мощность литосферных плит и, таким образом, являются границами плит,

называются трансформными разломами. Трансформные разломы характерны в основном для океанической коры.

Разлом Сан Андреас

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

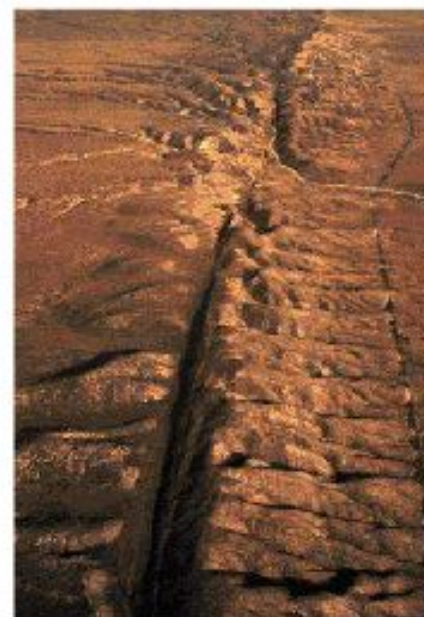
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



© USGS

Разлом Сан Андреас в Калифорнии это вероятно наиболее хорошо изученный разлом в мире. Этот разлом является границей между Тихоокеанской и Северо-Американской литосферными плитами. Разлом Сан Андреас это трансформный разлом,

который обнажается на суше. Тихоокеанская плита перемещается к северо-западу со скоростью несколько сантиметров в год по отношению к Северо-Американской плите.

Деформации горных пород в зонах разрывных нарушений

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

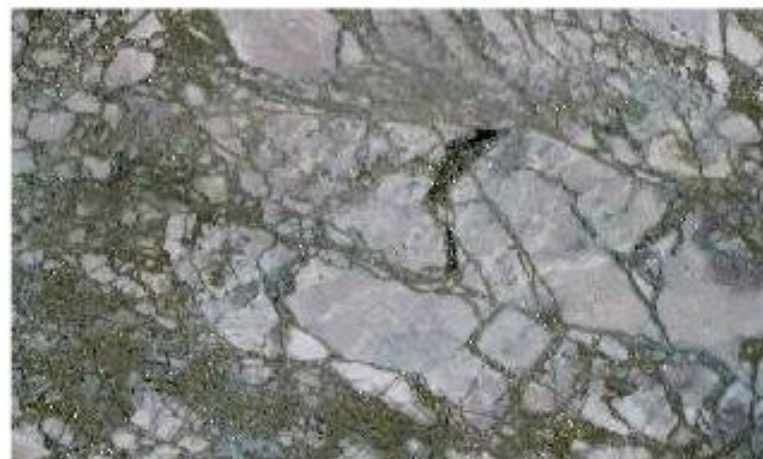
Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Зеркало скольжения, Квалойа, Тромсе



Тектоническая брекчия, Шпицберген

Породы прилегающие к разломам часто сильно деформированы. Зеркала скольжения и тектонические брекчии это наиболее обычные проявления деформаций вдоль разломов. Зеркало скольжения это выровненная и отполированная поверхность с характерными штрихами и бороздками, образующаяся в результате трения при перемещении двух

блоков относительно друг друга. Зеркало скольжения соответствует поверхности сместителя. Тектоническая брекчия это порода состоящая из остроугольных обломков разного состава в мелкозернистом матриксе, образующаяся в результате хрупкого дробления вдоль плоскости разрыва.

Формирование складок

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

● Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



На этом фото смятый в складки слой кварцита в гранат-слюдяном сланце. На следующих слайдах показано, как образуются складки.

Формирование складок

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

● Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



На этом рисунке слоистая метаосадочная порода. Коричневые слои это гранат-сланец, а желтый слой это кварцит.

Формирование складок



Породы подвергаются сжатию и деформируются.
Результатом деформации является образование складок.

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

• Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

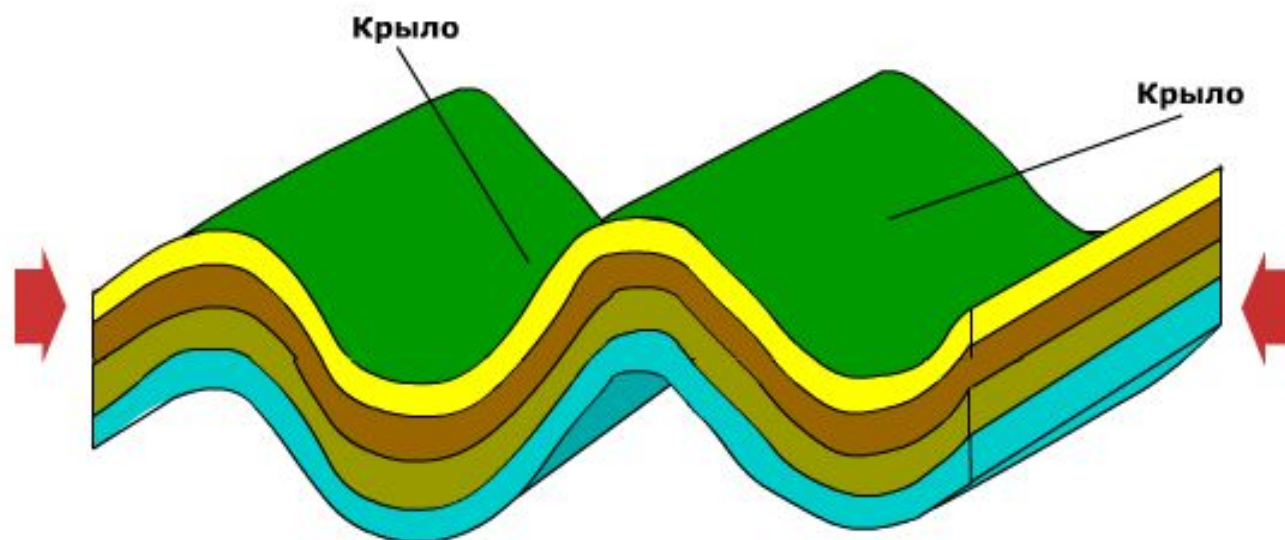
Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

Части складки

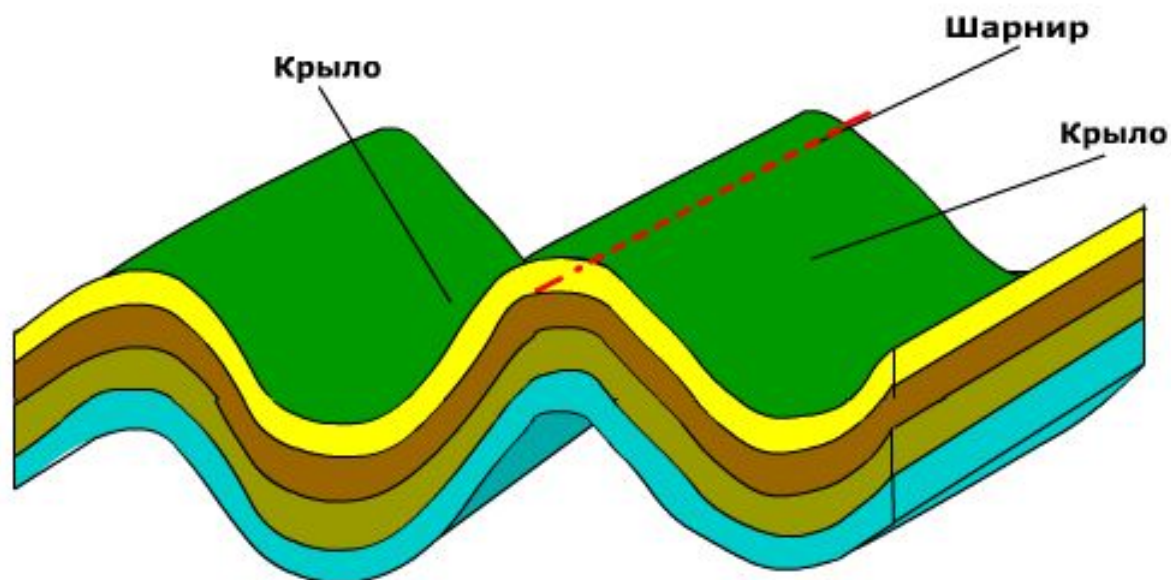
- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Складка имеет две стороны, которые называются крыльями складки.

Части складки

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Шарнир складки это линия соответствующая месту соединения крыльев складки. (Иногда термин ось складки используется в качестве

синонима для термина шарнир, но это не вполне правильно – об этом рассказывается в специальном курсе по структурной геологии).

Части складки

Введение

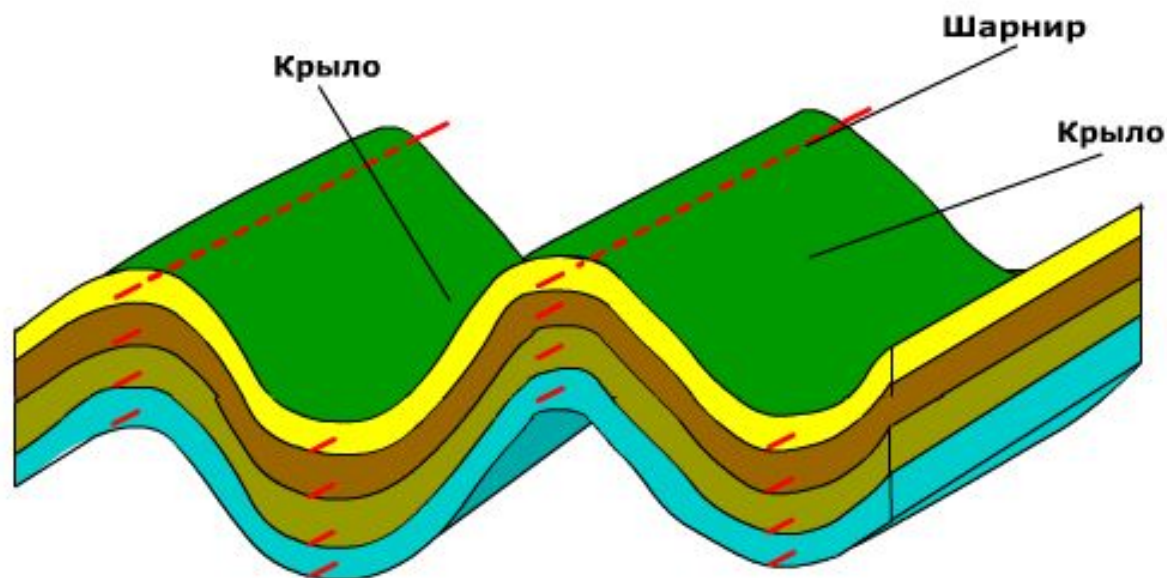
Первичные
структурыЧто такое
деформация?Хрупкая
деформация● Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельностьОпределение
элементов
залегания

Заключение

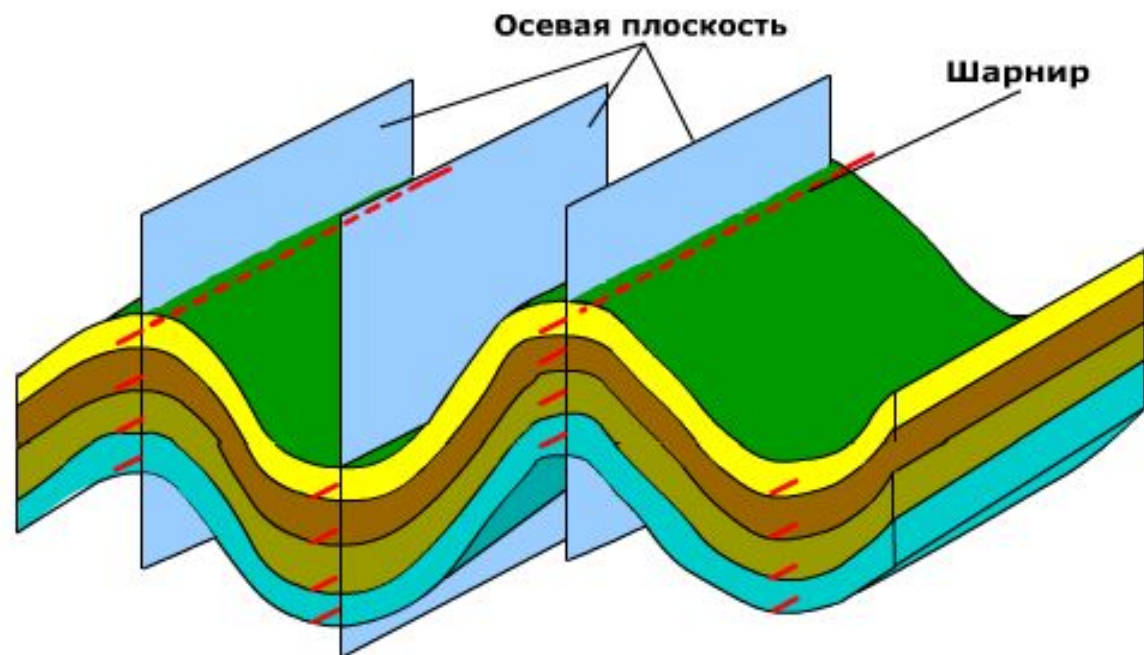


На этом рисунке четыре слоя различных горных пород, которые совместно деформированы с образованием складки. Шарниры

индивидуальных складок, образуемых каждым слоем, показаны на этом рисунке красными линиями.

Части складки

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение

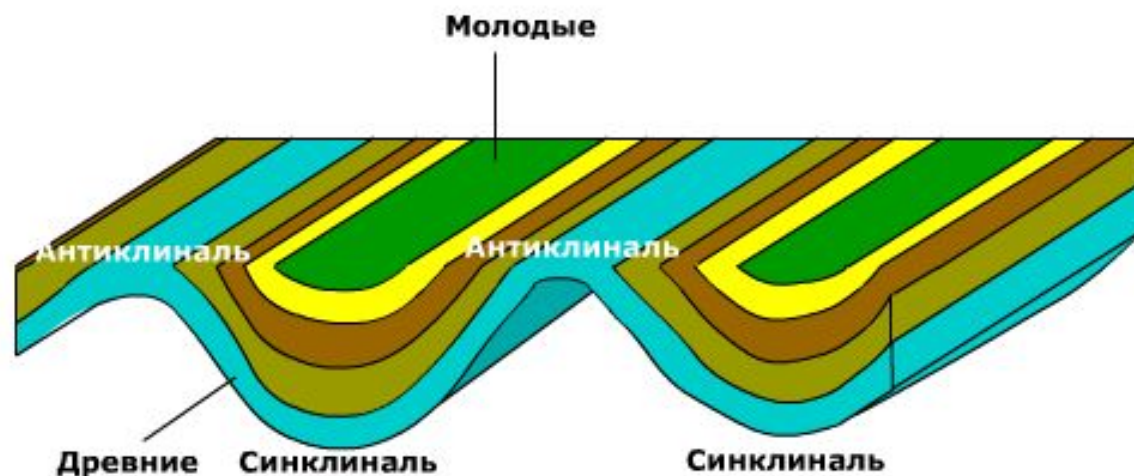


Осевая поверхность складки это поверхность, которая проходит через шарниры отдельных слоев, составляющих складку. Осевые поверхности данных складок представляют

собой плоскости. Плоскостная осевая поверхность называется осевой плоскостью складки.

Синклираль и антиклираль

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Слоистые осадочные породы находятся в нормальном залегании, если более молодые слои залегают на более древних. При условии нормального залегания выпуклые складки с приподнятой центральной частью называются антиклиналями, а вогнутые складки с приподнятыми краями называются

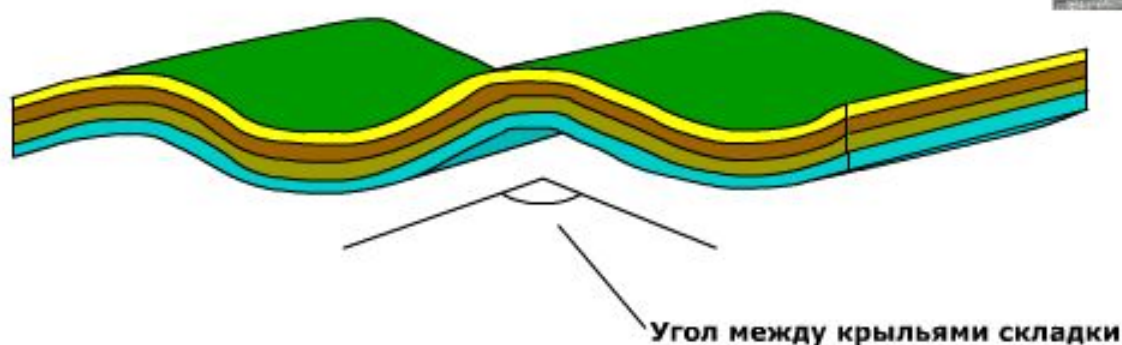
синклиналями (см. рисунок). Однако, если относительный возраст слоев неизвестен, то есть не известно, находятся ли породы в нормальном залегании, выпуклые складки называются антиформами, а вогнутые синформами.

От пологих складок до изоклиналиных складок

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Пологие складки

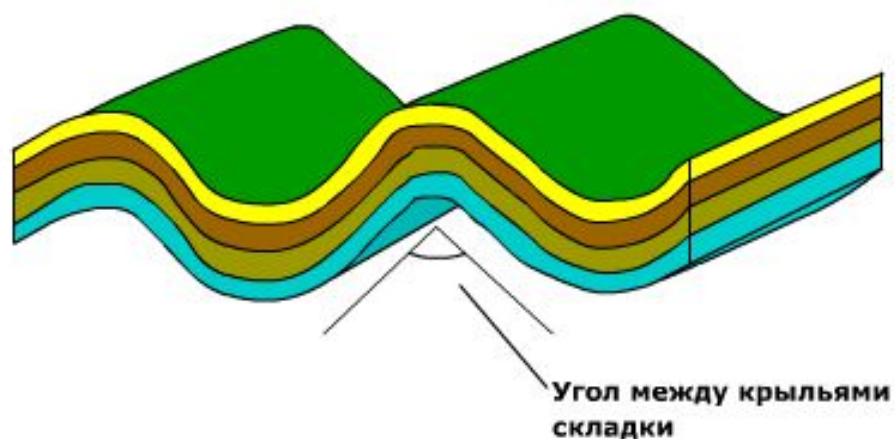


Складки классифицируют в зависимости от угла между крыльями складки. Если угол между крыльями складок больше 120° , такие складки

называются пологими. На этом фото пологие складки в метаморфических породах.

От пологих складок до изоклиналиных складок

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение

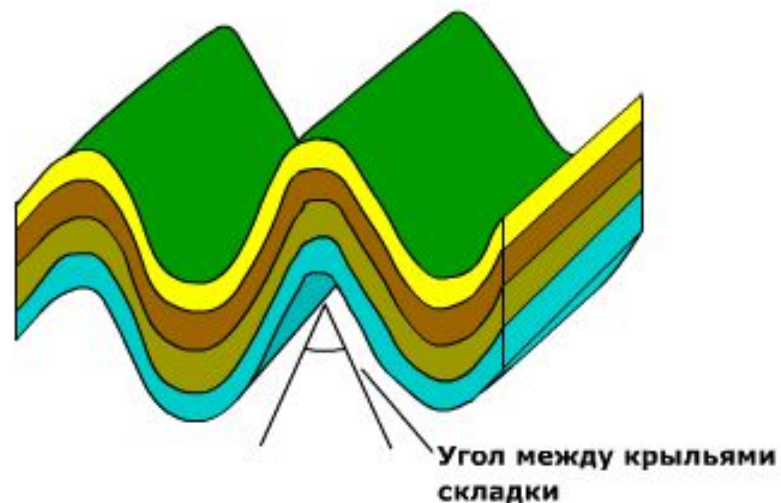


Открытая складка, Люнген

Если угол между крыльями складки больше 70° но меньше 120° , такая складка называется открытой.

От пологих складок до изоклиналиных складок

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



© Staffen Bergh

Закрытые складки, Кристиансунд



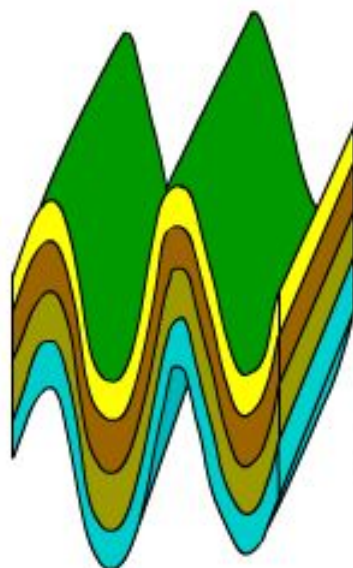
© Ering Ravna

Закрытые складки, Фордефьорд

Если угол между крыльями складки больше 30° но меньше 70° , такая складка называется закрытой.

От пологих складок до изоклиальных складок

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Сжатая складка,
Шпицберген



Сжатая складка,
Наустдаль



© Steffen Bergh

© Erling Ravna

Угол между крыльями
складки

Если угол между крыльями складки больше 10° но меньше 30° такая складка называется сжатой.

От пологих складок до изоклиналиных складок

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Изоклиналиная складка

Сильно сжатые складки с параллельными крыльями (то есть когда угол между крыльями =

0°) называются изоклиналиными. На фото справа показаны изоклиналиные складки.

Симметричные складки

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

● Пластическая
деформация

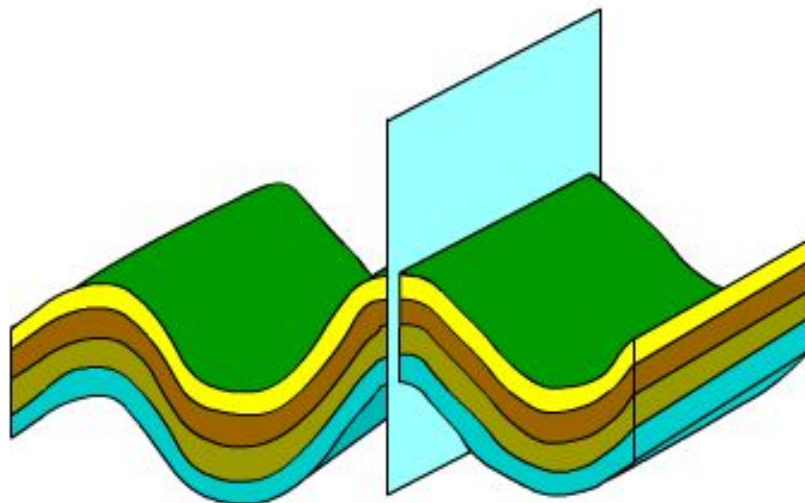
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



© Erling Ravna

Симметричная складка в
эклогитах, Фордефьорд

Если осевая плоскость вертикальна и делит угол между крыльями пополам, такая складка называется симметричной

Ассиметричные складки

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

● Пластическая
деформация

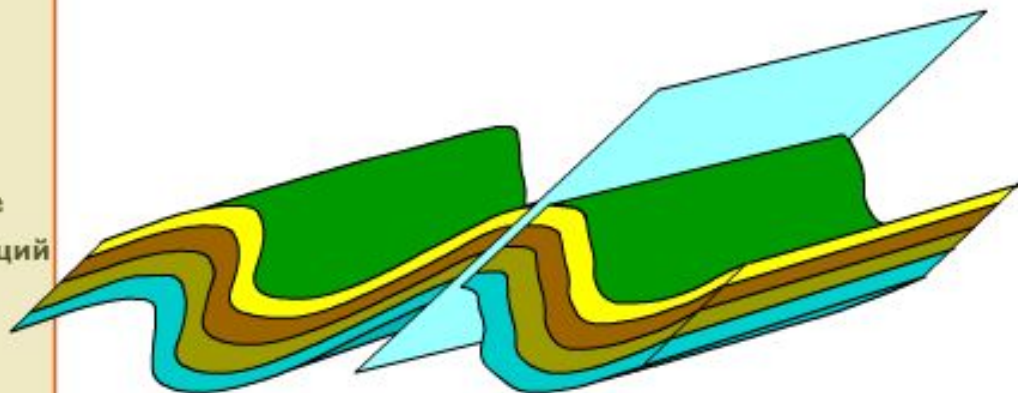
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

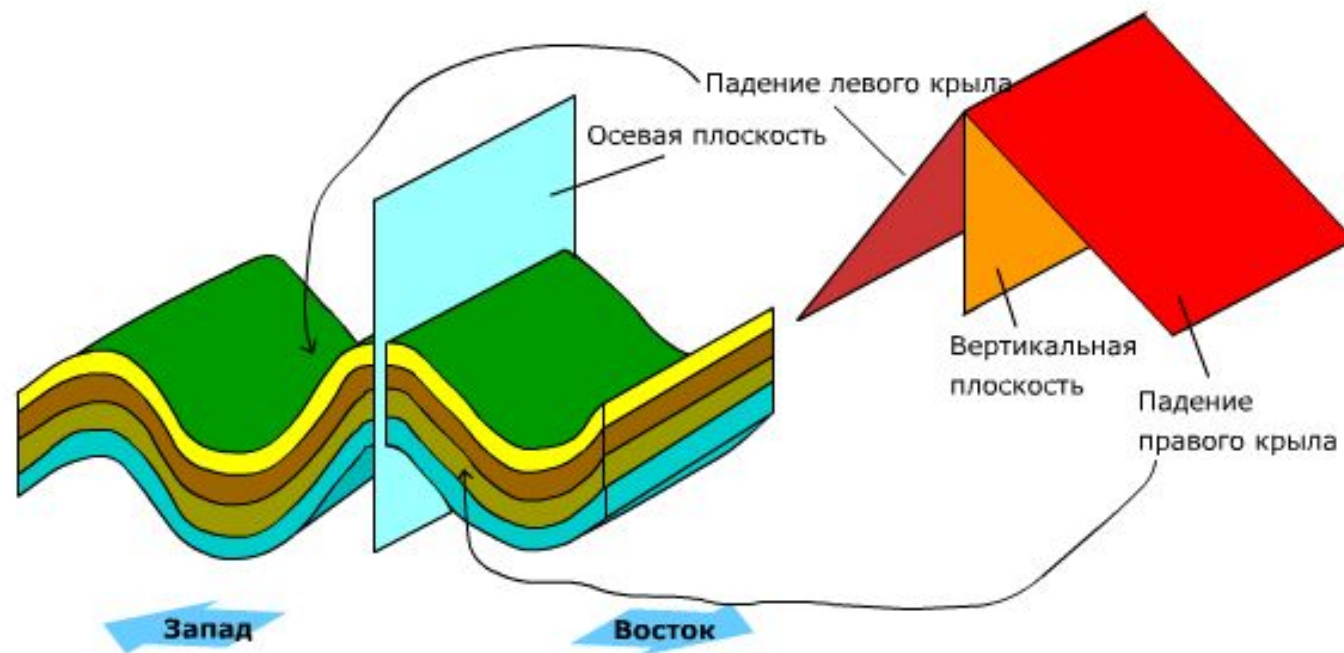


© Steffen Bergh



Складки на этом рисунке ассиметричны.

Перевернутые складки



Здесь показана складка, у которой крыло, находящееся слева от осевой плоскости, падает налево, а другое крыло падает направо.

Введение

Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

● Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение

Перевернутые складки

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

● Пластическая
деформация

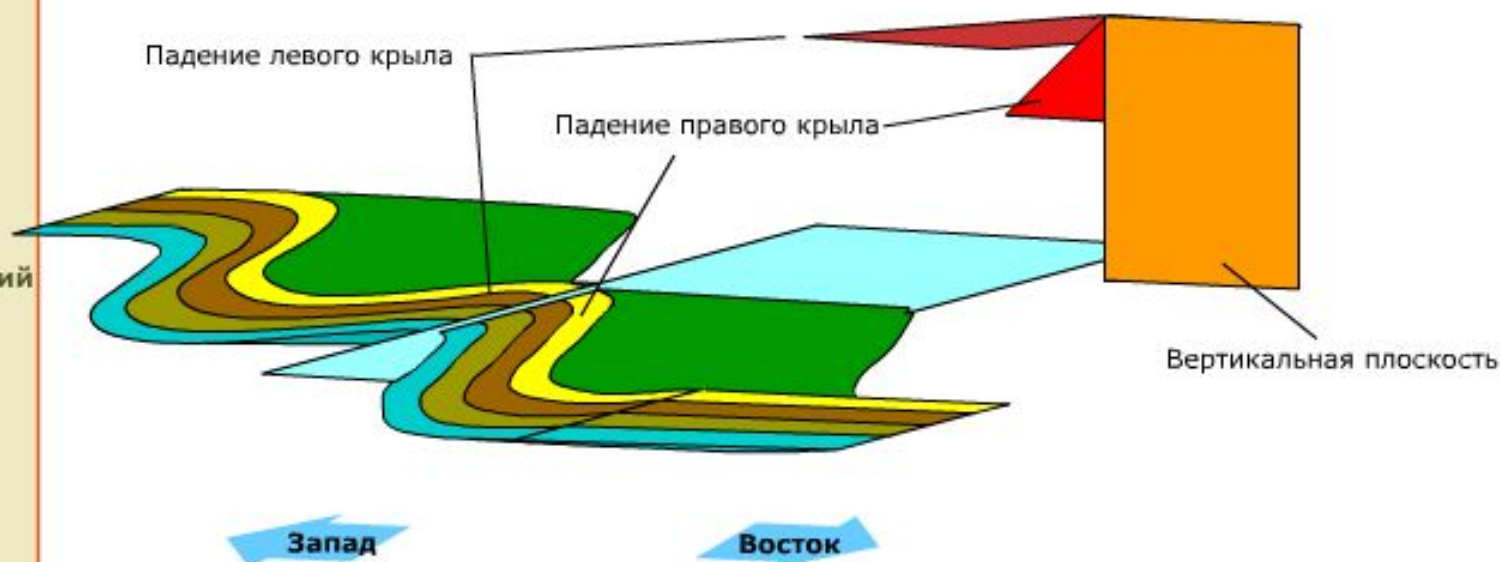
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



У складок на этом рисунке оба крыла падают в одном и том же направлении. Такие складки называются опрокинутыми.

Перевернутые складки

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

● Пластическая
деформация

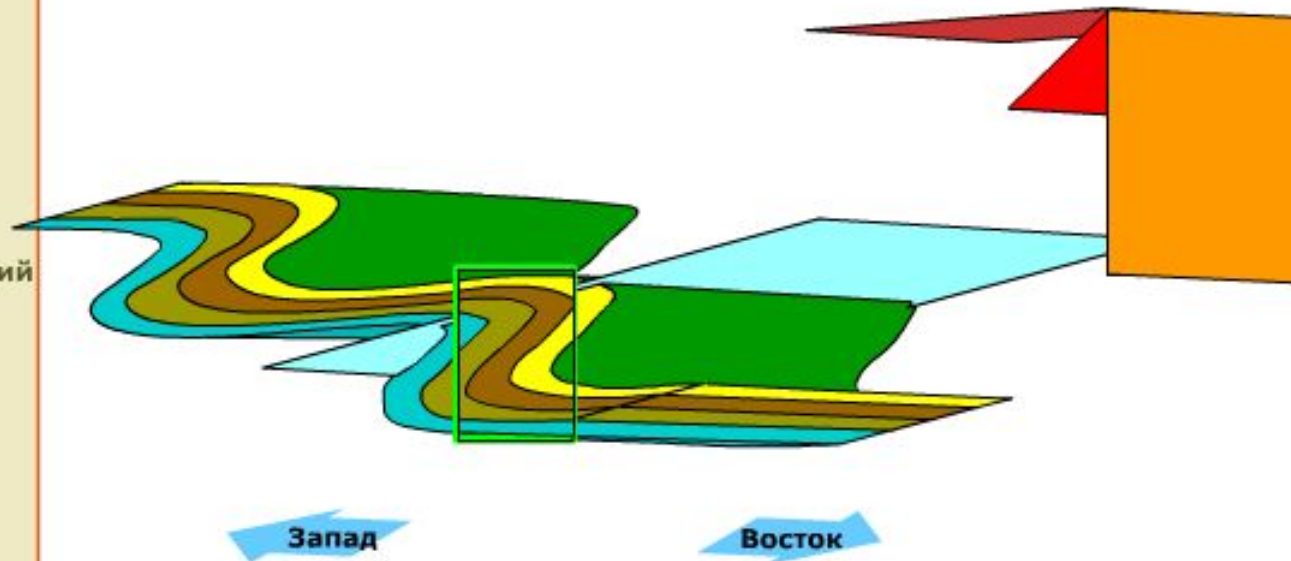
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

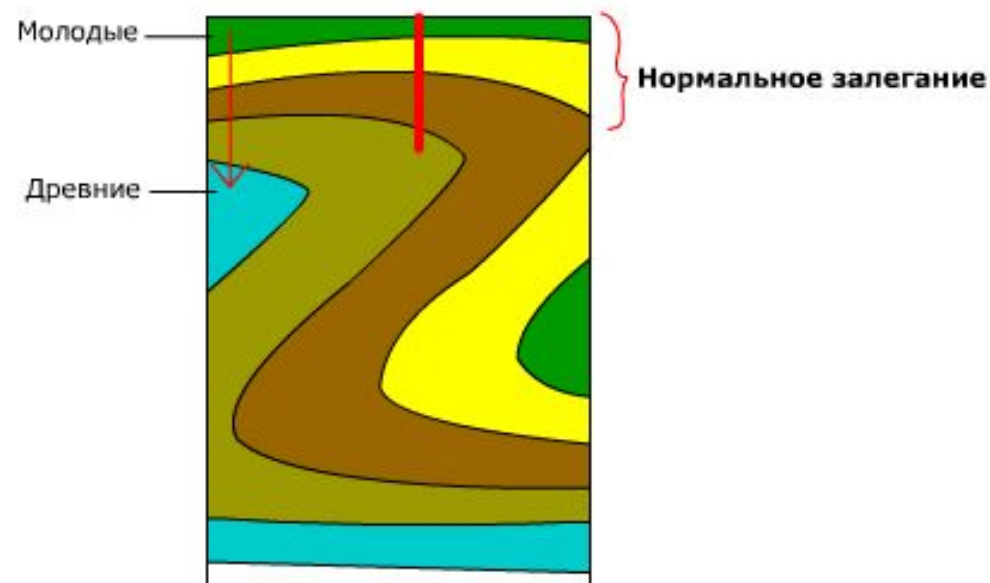
Определение
элементов
залегания

Заключение



Давайте рассмотрим более подробно часть,
ограниченную зеленым прямоугольником.

Опрокинутое залегание

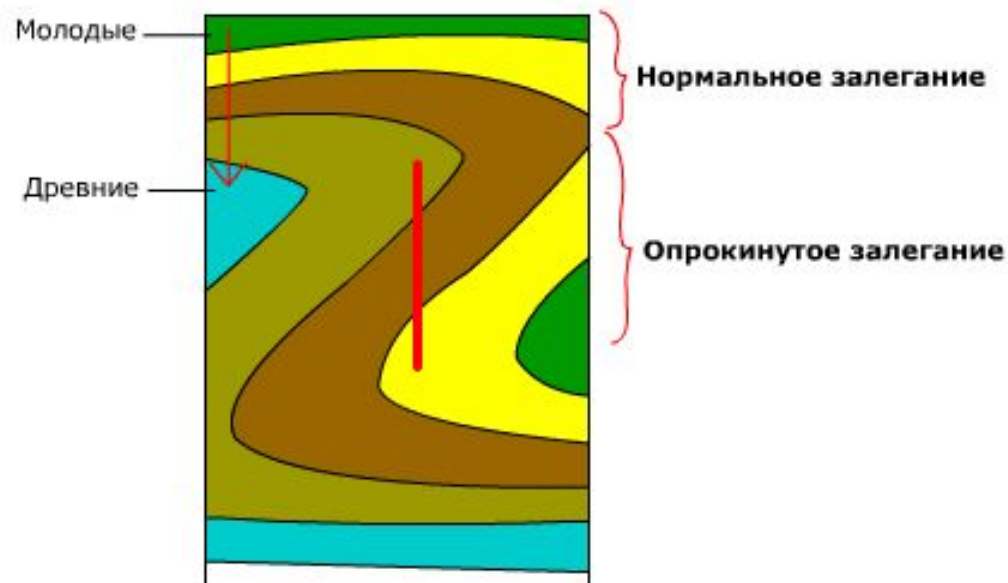


Предположим, что перед образованием складки породы находились в нормальном залегании, то есть голубой слой является более древним, а зеленый – более молодым. В верхней части

разреза слои находятся в нормальном залегании. Более древние слои залегают на большей глубине.

Опрокинутое залегание

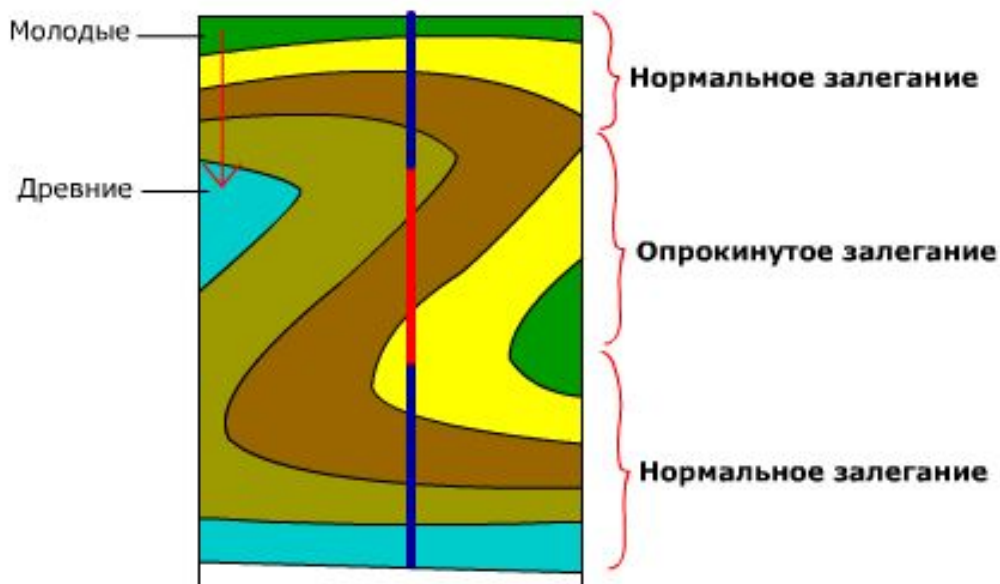
- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Однако, вниз по разрезу слои становятся более молодыми с глубиной. Эта часть разреза приобрела опрокинутое залегание в результате складчатости.

Опрокинутое залегание

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение

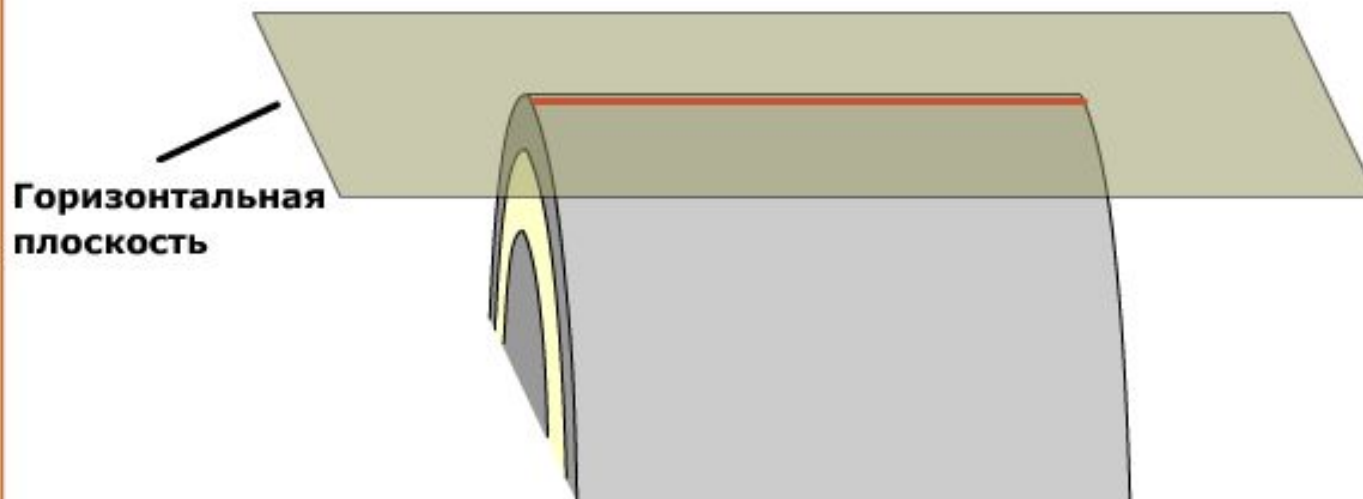


В нижней части разреза слоистая толща имеет опрокинутое залегание. Опрокинутыми называются складки, у которых в одном крыле

породы находятся в нормальном залегании, а в другом - в опрокинутом.

Элементы залегания шарнира

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Линия шарнира этой складки параллельна горизонтальной плоскости. Мы можем сказать, что это складка с горизонтальным шарниром.

Элементы залегания шарнира

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

● Пластическая
деформация

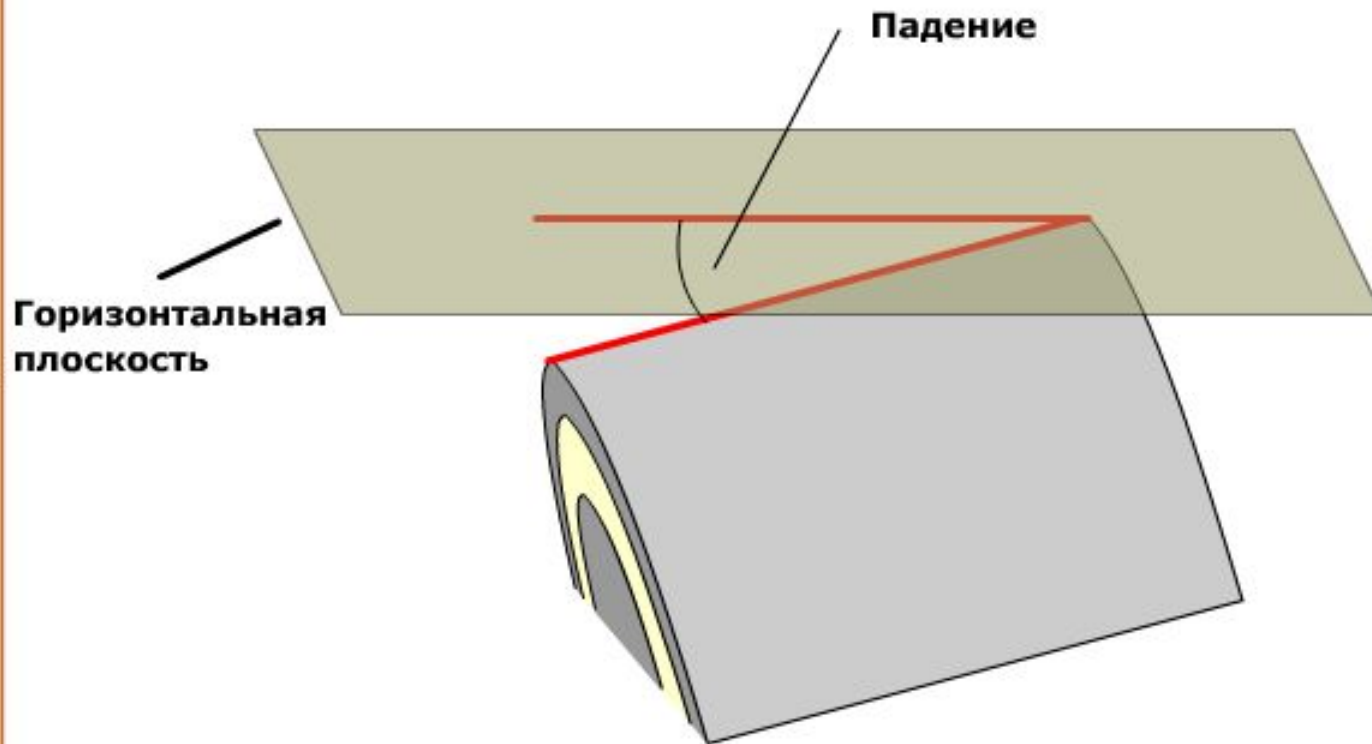
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Линия шарнира этой складки не горизонтальна – она наклонена. Падение линии шарнира складки это угол между линией шарнира и горизонтальной плоскостью.

Несколько поколений складок

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



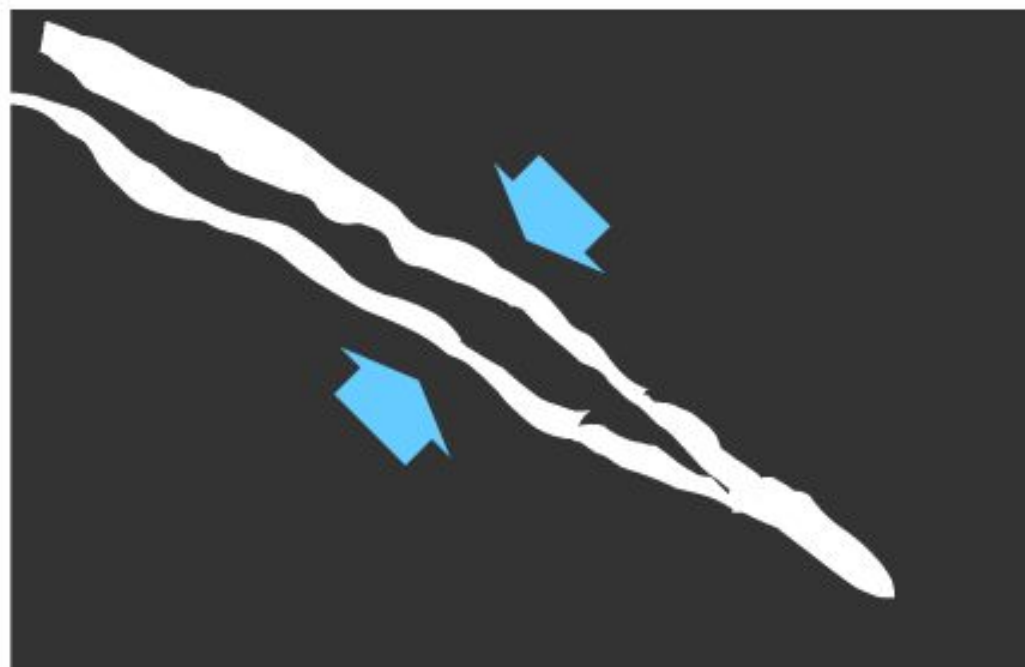
foto: Steffen Bergh

Деформированная изоклиальная складка, Балтсфьорд, Сенья

Породы на этой фотографии испытали несколько этапов деформаций. Светлоокрашенный слой указывает на два этапа складчатости. Анимация

на следующих слайдах показывает, как это произошло.

Несколько поколений складок



В ходе первого этапа деформации сформировались изоклиальные складки. Синие стрелки показывают направление сил, действовавших при этом на породу.

Введение

Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

● Пластическая деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение

Несколько поколений складок

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

● Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



foto: Steffen Bergh

Через миллионы лет в ходе второго этапа деформации породы снова испытали складчатость. Геологическая обстановка изменилась, и силы сжатия действовали на

породу в другом направлении. Изоклиная складка подверглась деформации – она была в свою очередь смята в складки. Эти поздние складки являются открытыми складками.

Вращение минералов

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- **Рассланцевание**
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Гомогенная порода



В гомогенных породах с массивной текстурой удлиненные минералы расположены незакономерно. Когда гомогенная порода испытывает действие направленного давления, это приводит к ее сжатию и уплощению. Одним из результатов этого процесса является то, что удлиненные минералы разворачиваются таким образом, что их удлинение их зерен становится перпендикулярным действию направленного давления (см. анимацию). Порода приобретает ориентированную структуру, то есть она



Габбро



Амфиболит

становится рассланцовой. Габбро на фото вверху справа это гомогенная массивная магматическая порода. Если габбро испытает действие направленного сжатия, оно может превратиться в рассланцованный амфиболит, показанный на фото внизу справа. Однако, обратите внимание, что превращение габбро в амфиболит также сопровождается метаморфическими реакциями – разложением пироксена и образованием амфибола.

Предпочтительная ориентировка удлиненных минералов

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

● **Рассланцевание**

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

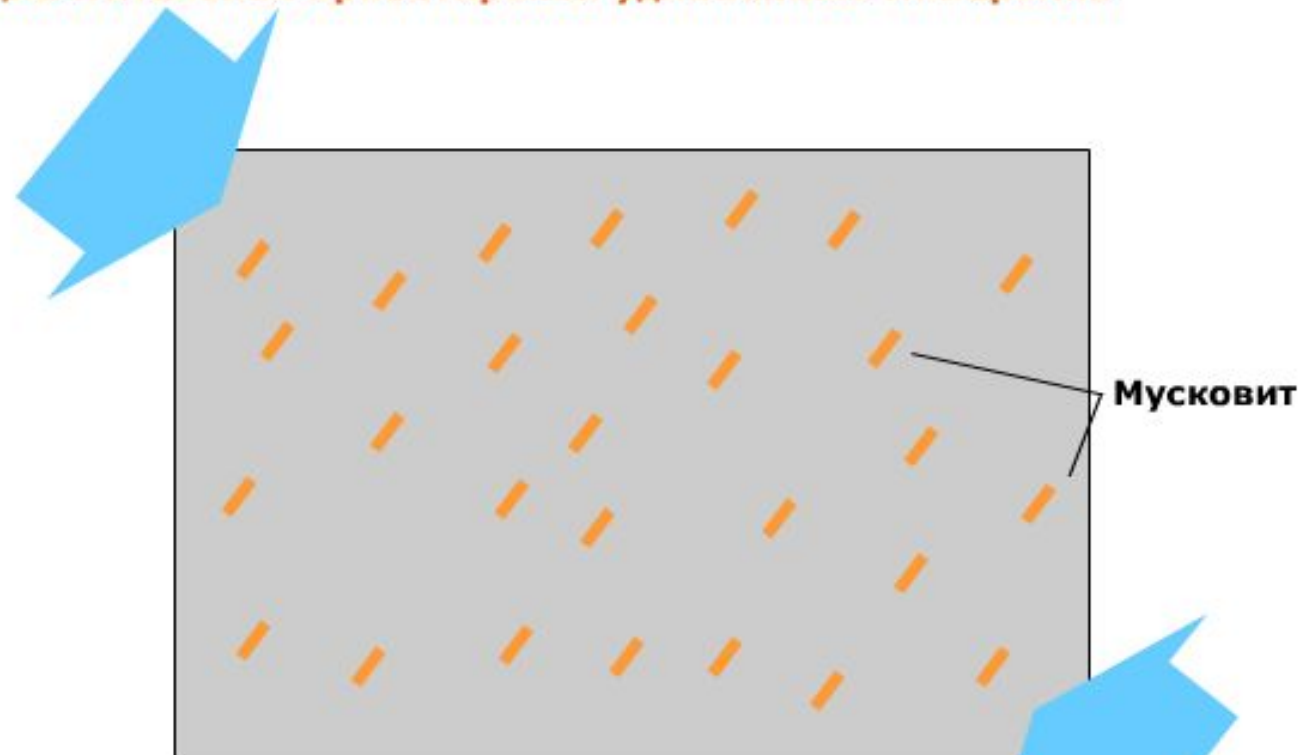
Заключение



На этой фотографии филлит. Филлит образуется из глин в результате метаморфизма низких ступеней. При метаморфизме порода испытала

направленное давление и стала сланцеватой. На следующих слайдах показано, как это произошло.

Предпочтительная ориентировка удлиненных минералов



Глина состоит из крошечных зерен минералов глин, которые относятся к листовым силикатам. Минералы глин стабильны только при низких температурах и давлениях. При повышенных температурах и давлениях минералы глин вступают в метаморфические реакции с образованием мусковита. Мусковит это листовый

силикат, образующий пластинчатые кристаллы. При образовании мусковита в процессе деформации породы, его пластинчатые кристаллы будут ориентированы перпендикулярно действию направленного давления.

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

● Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

Предпочтительная ориентировка удлиненных минералов

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

● **Рассланцевание**

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Филлит содержит большое количество пластинчатых зерен мусковита, ориентированных более или менее параллельно друг другу. Структура этой породы называется сланцеватой. При ударе молотком порода с

легкостью разбивается на пластинки параллельные рассланцеванию, то есть параллельные ориентировке листочков мусковита.

Несколько генераций структур

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

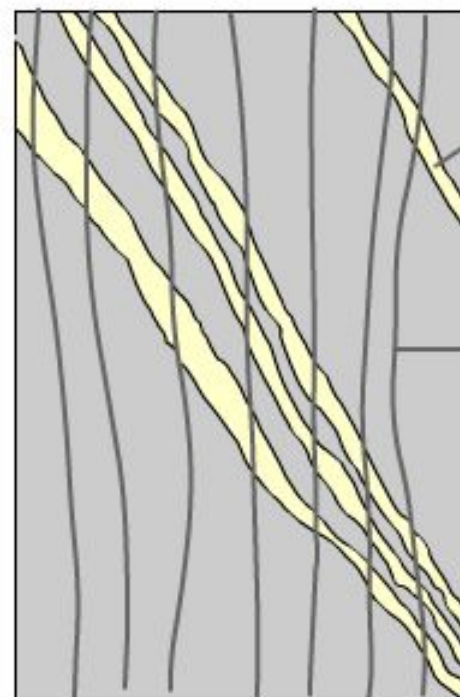
● Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Слоистость –
первичная
структура

Сланцеватость
– вторичная
структура

На фото слева метаморфизованная осадочная порода. В этой породе наблюдаются две различных структуры. Эти структуры показаны на рисунке справа. Структуры имеют различный возраст. Наиболее древняя структура это

первичная осадочная слоистость. Более молодая структура это сланцеватость, образовавшаяся при деформации породы. На следующих слайдах – история образования этой породы.

Несколько генераций структур

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

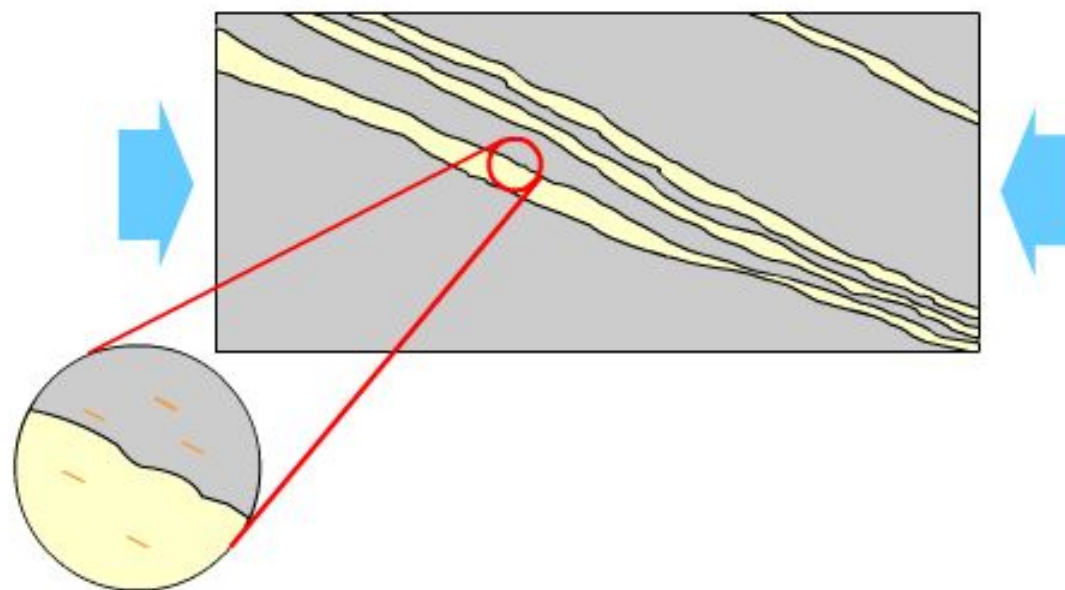
● Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



На этом рисунке показана порода до развития в ней сланцеватости – слои осадочных пород наклонены под углом 30° . Ориентировка пластинчатых минералов в породе показана на

врезке слева внизу. Во время деформации порода испытала сжатие, направленное под углом 30° к первичной слоистости.

Несколько генераций структур

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

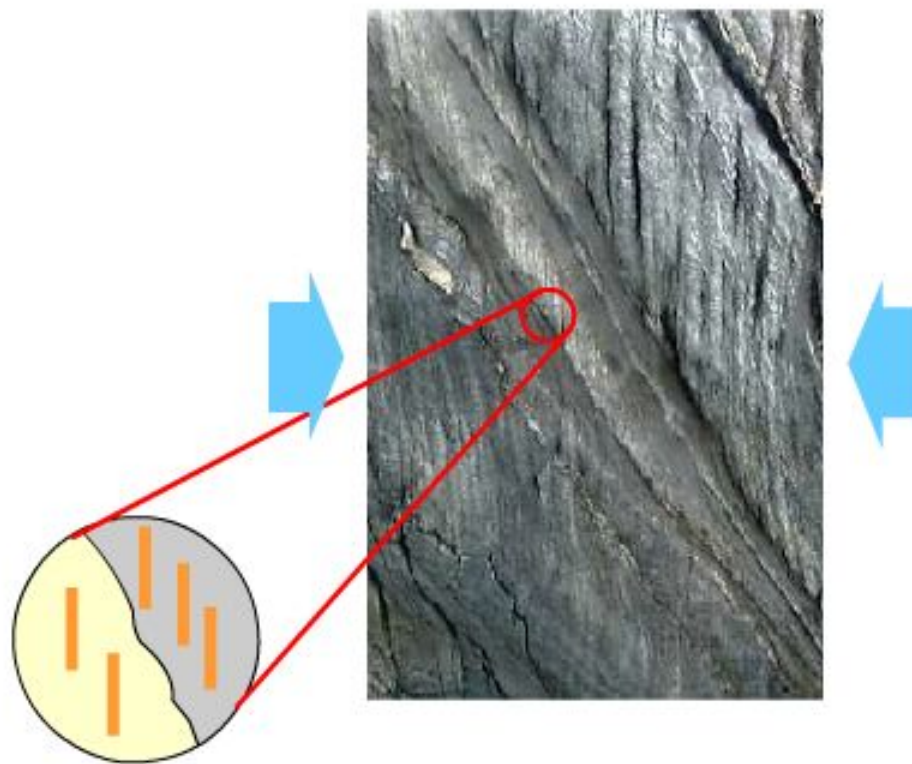
● Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Пластинчатые минералы, образующиеся во время деформации, растут под углом к первичной слоистости. В результате сланцеватость сечет первичную слоистость.

Рассланцевание в аксиальной плоскости

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

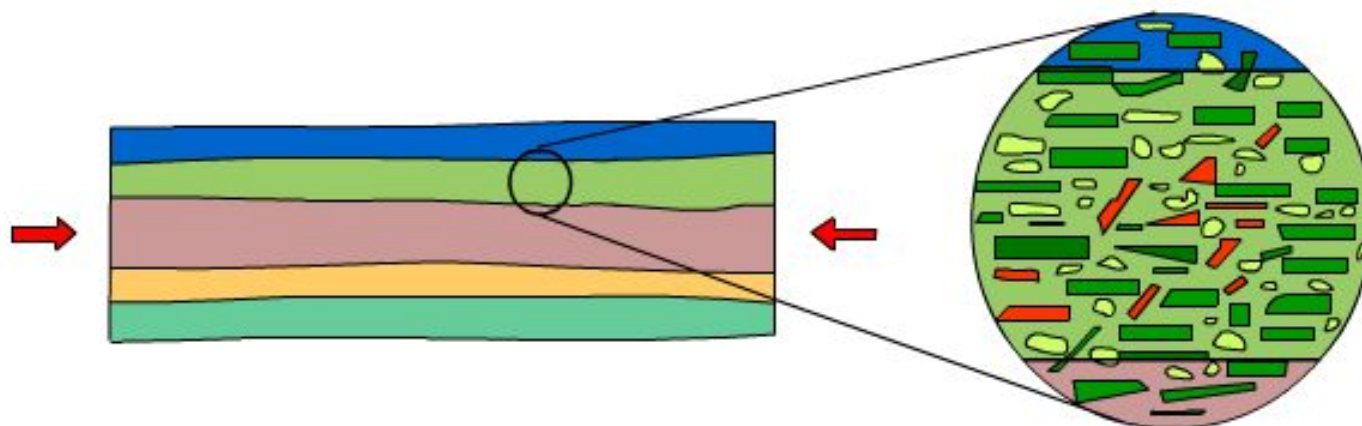
● Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Результатом деформации горных пород является как образование складок, так и формирование сланцеватости. Иногда оба типа структур

развиваются одновременно. Это приводит к формированию сланцеватости (или кливажа) в осевой плоскости складки.

Рассланцевание в аксиальной плоскости

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

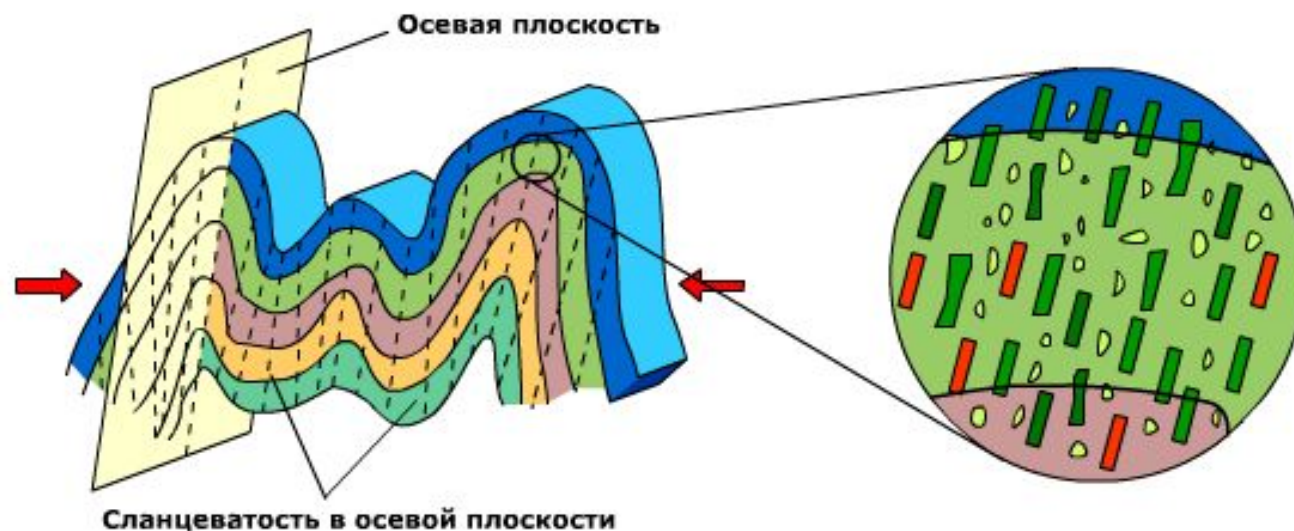
● Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



При деформации горной породы пластинчатые минералы, которые уже присутствуют в породе, разворачиваются в плоскости перпендикулярной действию направленного давления. Пластинчатые минералы, которые образуются во

время деформации, также ориентированы в плоскости перпендикулярной действию направленного давления. Таким образом формируется сланцеватость параллельная осевой плоскости складки.

Рассланцевание в аксиальной плоскости

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

● **Рассланцевание**

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Сланцеватость в осевой плоскости складок в филлите,
Сьюрнес, Тромсе

На этом фото сланцеватость в осевой плоскости
складки в филлитах. Красные пунктирные линии
показывают форму складок, а зеленые линии

параллельны осевым плоскостям складок и
развитой вдоль них сланцеватости.

Меняющаяся кора

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

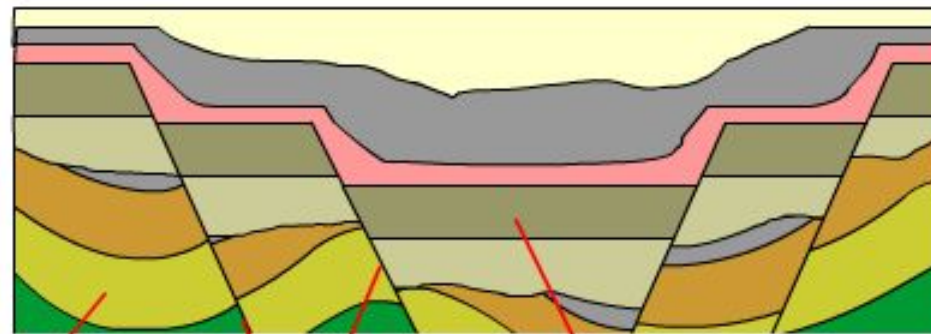
Рассланцевание

● **Этапы деформаций**

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Смятые в складки слои

Разрывы

Горизонтальные слои

Цель структурной геологии – расшифровать этапы деформаций в земной коре. Вот некоторые вопросы, которые структурный геолог задает себе, изучая коренной выход горных пород:

- Какие структуры, являющиеся результатом деформаций, наблюдаются в этом обнажении?
- Каковы возрастные взаимоотношения между разными типами наблюдаемых структур?

- В результате каких процессов и под действием каких сил возникли эти структуры?

На этом слайде показана толща горных пород в разрезе – такой разрез может наблюдаться, например, во врезе автомобильной или железной дороги. В разрезе установлены несколько типов структур. На следующих слайдах показана история формирования пород в этом разрезе.

Меняющаяся кора

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

● Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

Во-первых, структурный геолог должен заметить, что только некоторые слои горных пород смяты в складки. Эта складчатость, вероятно, соответствует ранней стадии

развития. До складчатости слои осадочных пород находились в ненарушенном залегании, то есть залегали горизонтально.

Меняющаяся кора

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

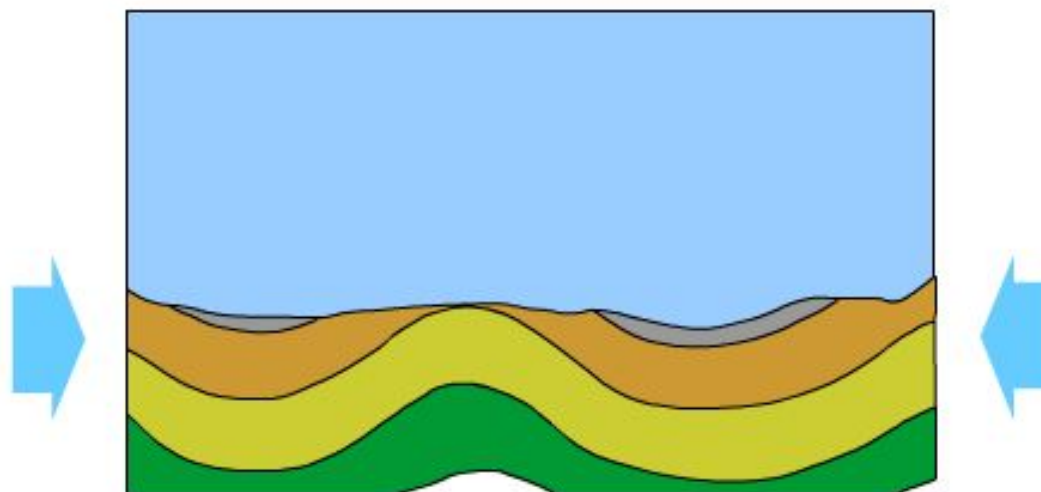
Рассланцевание

• Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



Смятые в складки слои указывают на то, что на ранней стадии развития породы испытали действие сил сжатия. После складчатости

верхняя часть коры была эродирована. После этого эрозионная поверхность оказалась ниже уровня моря.

Меняющаяся кора

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

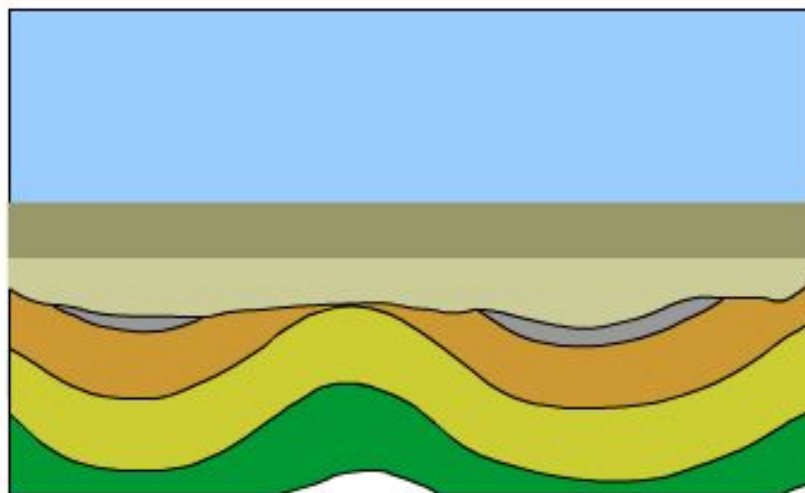
Рассланцевание

● Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

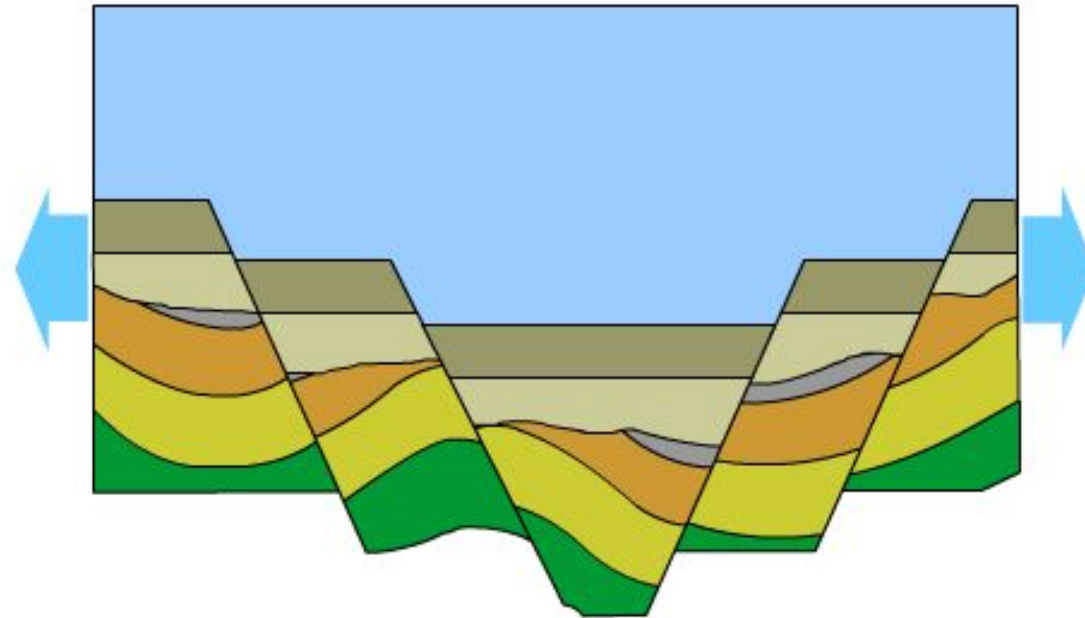
Определение
элементов
залегания

Заключение



Новые более молодые осадки с несогласием отлагались на эрозионной поверхности смятых в складки слоев. В результате диагенеза эти молодые осадки превратились в осадочные породы.

Меняющаяся кора



Затем геологическая обстановка изменилась – этот блок коры подвергся действию растяжения. Появление разрывных нарушений типа сбросов привело к образованию грабена.

Введение

Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

● Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение

Меняющаяся кора

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

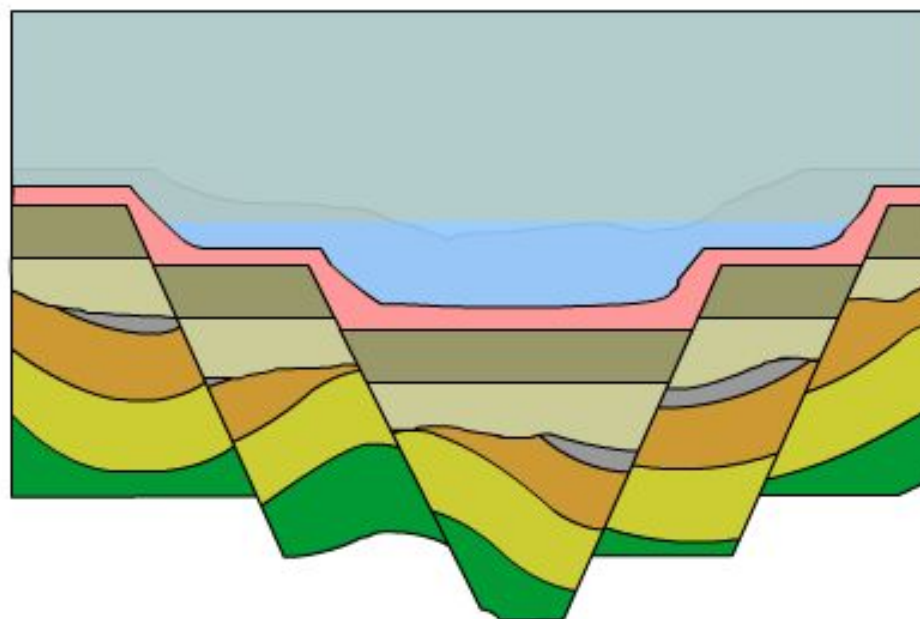
Рассланцевание

● Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

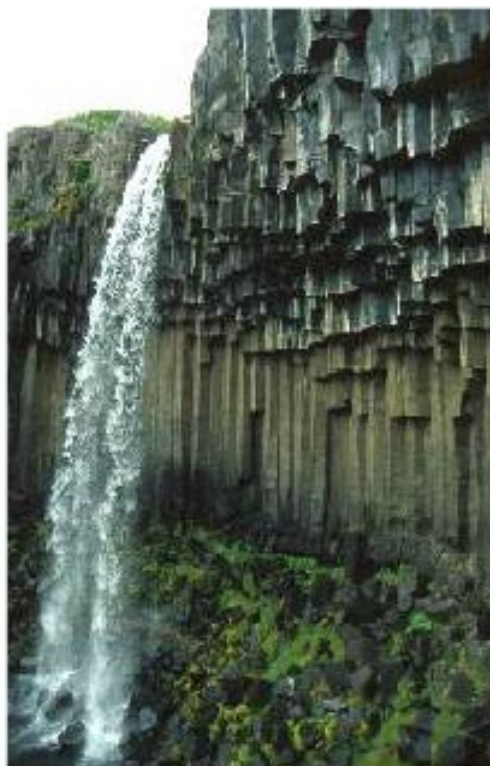


В конце концов, произошло образование самых молодых осадочных слоев. Мы точно установили последовательность событий, но мы не знаем, какие промежутки времени их разделяют. Для определения точного возраста событий

необходимо применение методов изотопного датирования. Возраст событий, который мы установили в результате нашего исследования, называется относительным возрастом.

Базальт со столбчатой отдельностью

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Базальт со столбчатой отдельностью, Свартирфосс, Исландия

Иногда в базальтах развиваются трещины, образующие параллельные вертикальные колонны (см. фото). Такая структура называется столбчатая отдельность. Столбчатая отдельность формируется в результате уменьшения объема базальта при охлаждении после кристаллизации.

Анимация на следующих слайдах показывает, как это происходит. Обратите внимание, что появление трещин столбчатой отдельности в базальтах не является результатом действия внешних сил.

Базальт со столбчатой отдельностью

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

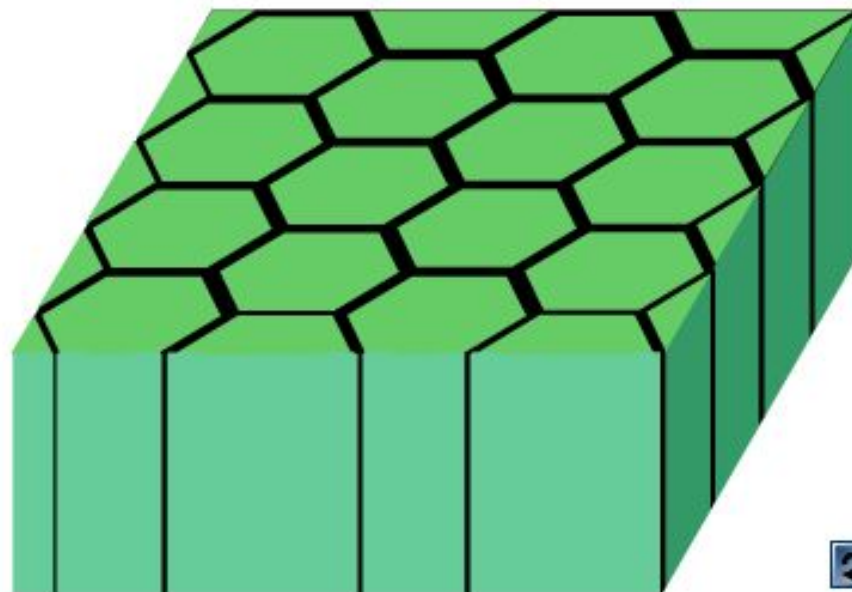
Рассланцевание

Этапы деформаций

● Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение



После кристаллизации температура базальта все еще выше 1000°C. В ходе последующего охлаждения порода уменьшается в объеме. В

результате уменьшения объема развиваются гексагональные трещины, как показано на этой анимации.

Определение элементов залегания

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
● элементов
залегания

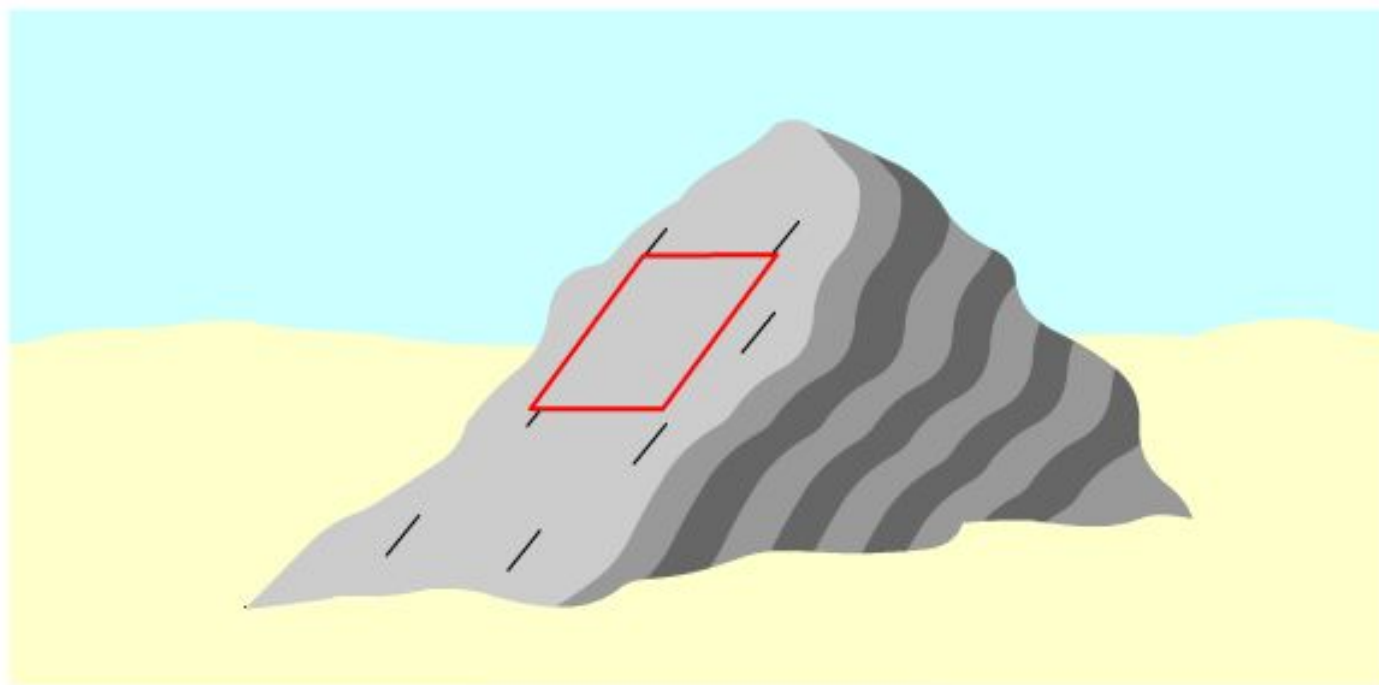
Заключение



В результате деформаций в горных породах образуются определенные структуры, являющиеся результатом деформаций. Ориентировка этих структур несет информацию о направлении сил, которые действовали на горную породу. Систематические измерения ориентировки структур, являющихся результатом деформации, это важный источник данных для структурного геолога. Плоскостные

структуры, которые представляют интерес, включают слоистость, сланцеватость, трещины, и осевые плоскости складок. Линейные структуры, такие как шарниры складок, также могут представлять интерес. Чаще всего элементы залегания определяются с помощью геологического компаса. Как это делается, рассказано на следующих слайдах.

Плоскостные структуры



Для того, чтобы описать положение в пространстве плоскости (то есть определить ее элементы залегания), необходимо сделать два

измерения. Нужно определить падение и простирание поверхности плоскостного объекта.

Введение

Первичные структуры

Что такое деформация?

Хрупкая деформация

Пластическая деформация

Рассланцевание

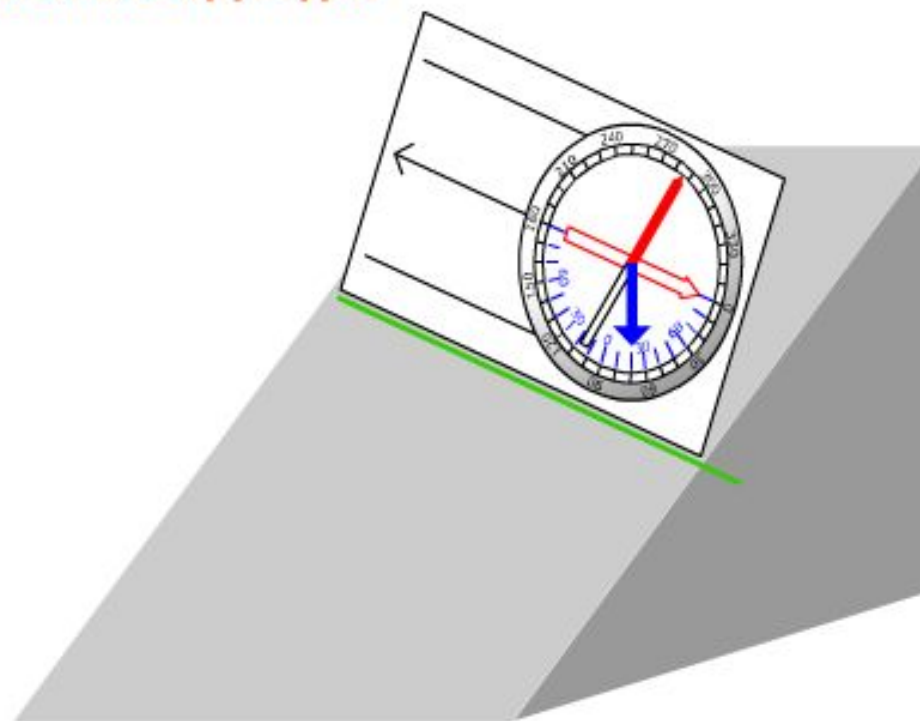
Этапы деформаций

Столбчатая отдельность

Определение элементов залегания

Заключение

Плоскостные структуры



Простираение это направление (то есть азимут) горизонтальной линии в пределах наклонной плоскости (то есть линии пересечения наклонной плоскости и горизонтальной плоскости). Для того, чтобы найти эту линию,

можно использовать отвес геологического компаса, показанный небольшой синей стрелкой. Эта зеленая линия наклонена под углом 20° - она не соответствует линии простираения.

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
● элементов
залегания

Заключение

Плоскостные структуры

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

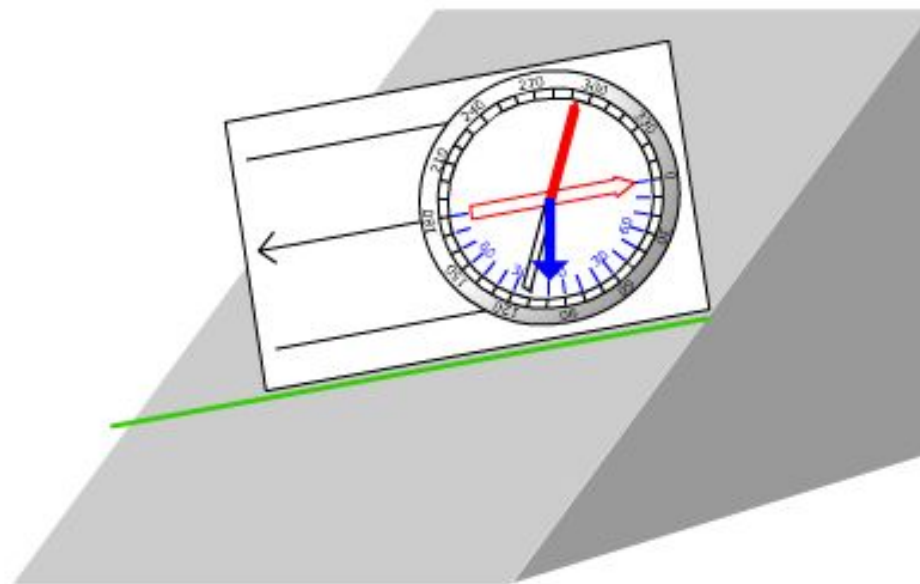
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

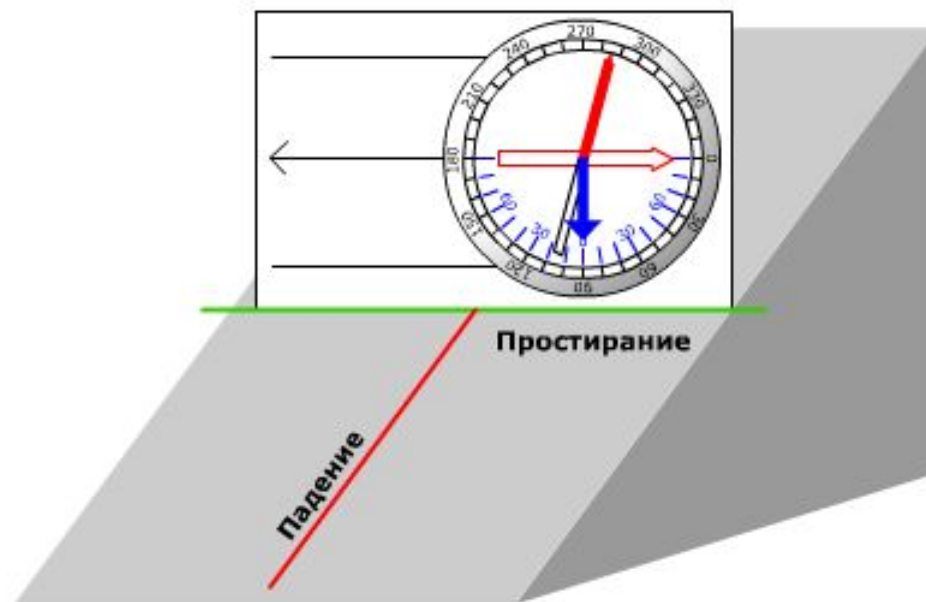
Определение
элементов
залегания

Заключение



Эта зеленая линия также не является линией
простираения. Она наклонена под углом 10° .

Плоскостные структуры



Однако, эта зеленая линия является горизонтальной – отвес показывает 0° . Таким образом, эта зеленая линия представляет собой пересечение между горизонтальной плоскостью и плоскостью, элементы залегания которой мы

хотим определить. Эта линия называется линией простирания плоской поверхности. Красная линия показывает падение этой поверхности. Угол между зеленой и красной линиями 90° .

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

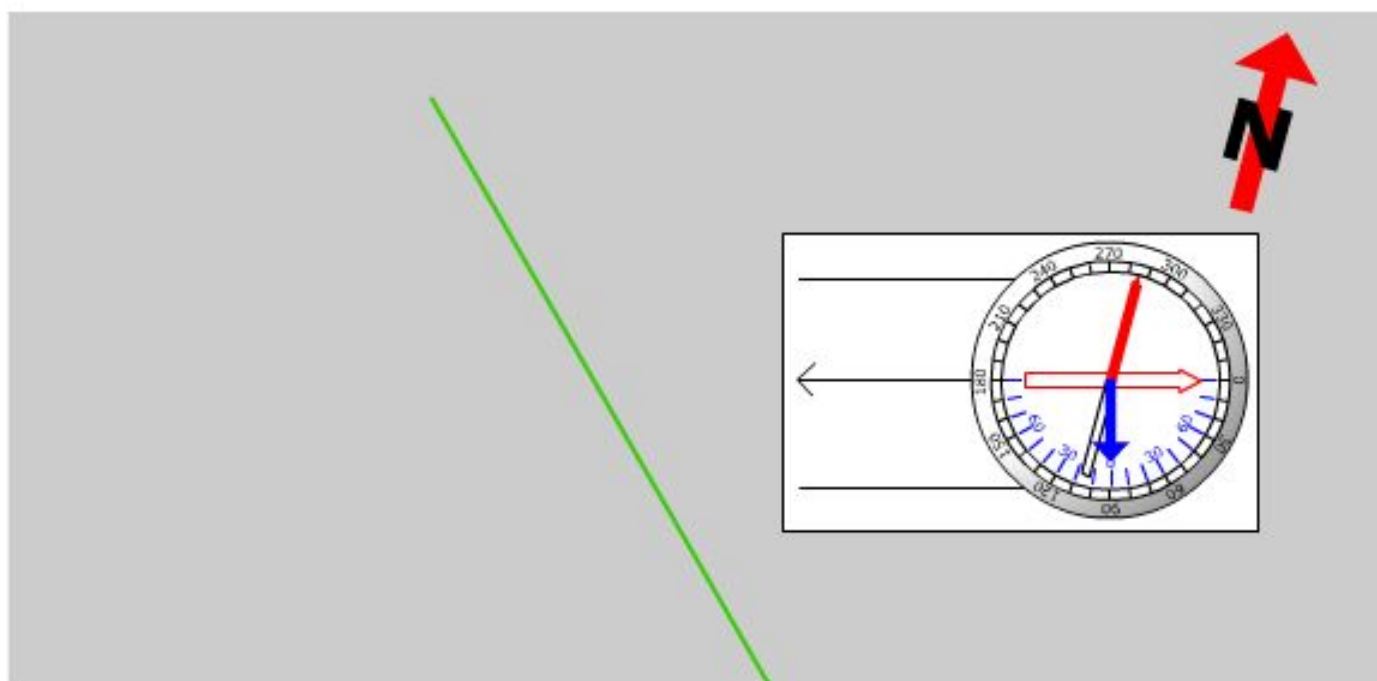
Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

Заключение

Плоскостные структуры

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



На этом рисунке показана плоская поверхность с высоты птичьего полета. Нам необходимо измерить ориентировку зеленой линии. Обратите

внимание, что красный конец стрелки компаса указывает на север.

Плоскостные структуры

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

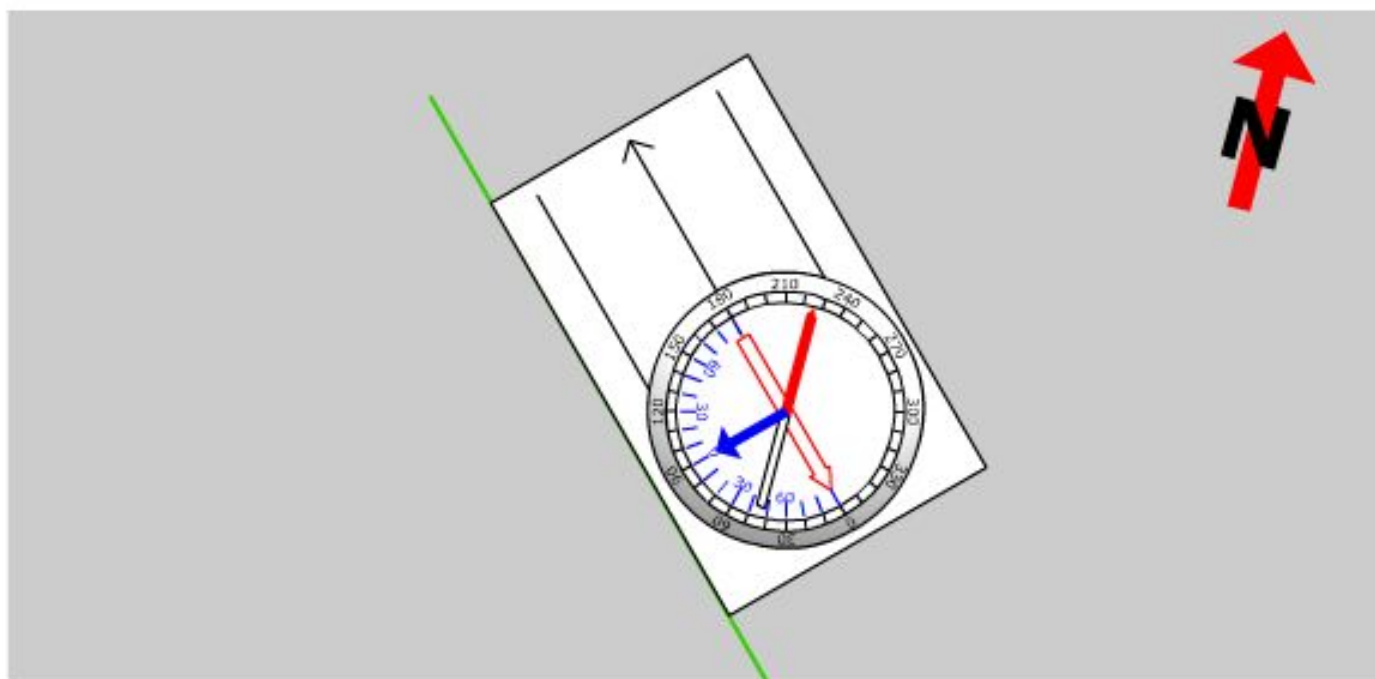
Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов
залегания

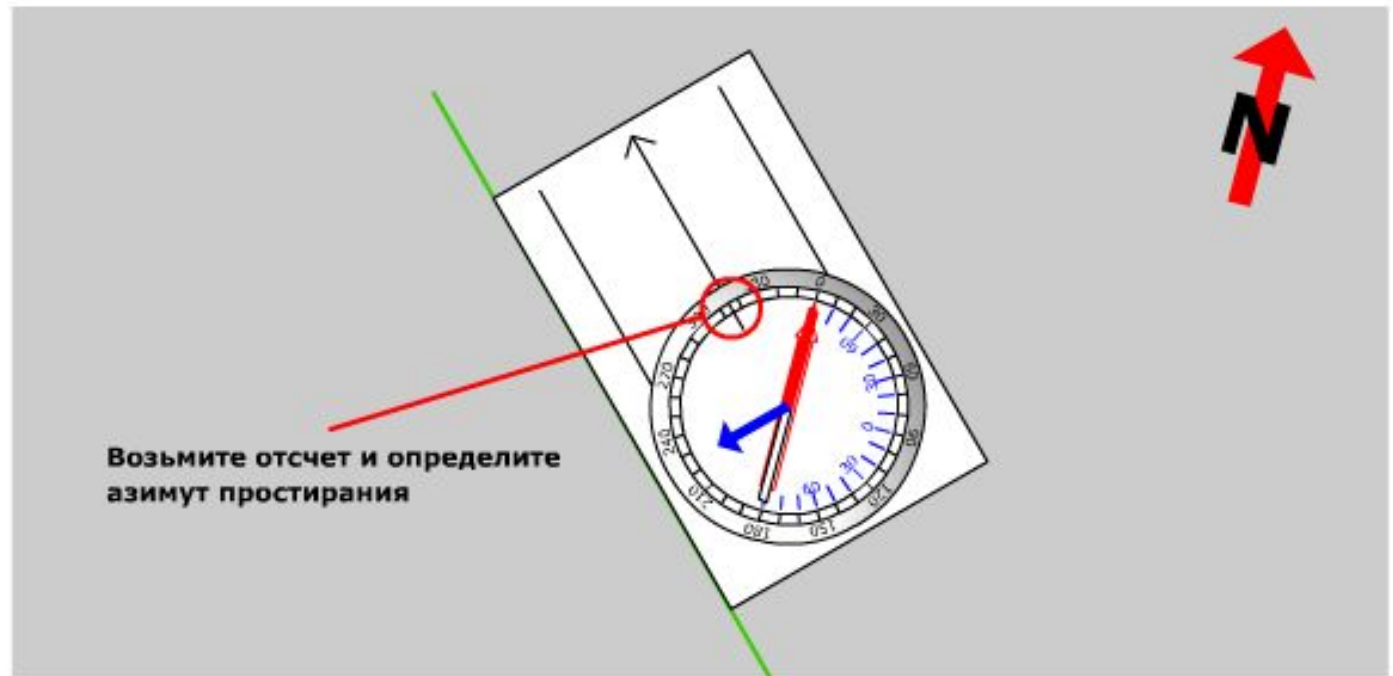
Заключение



Во-первых, мы должны расположить длинную сторону компаса с линейкой параллельно зеленой линии.

Плоскостные структуры

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение

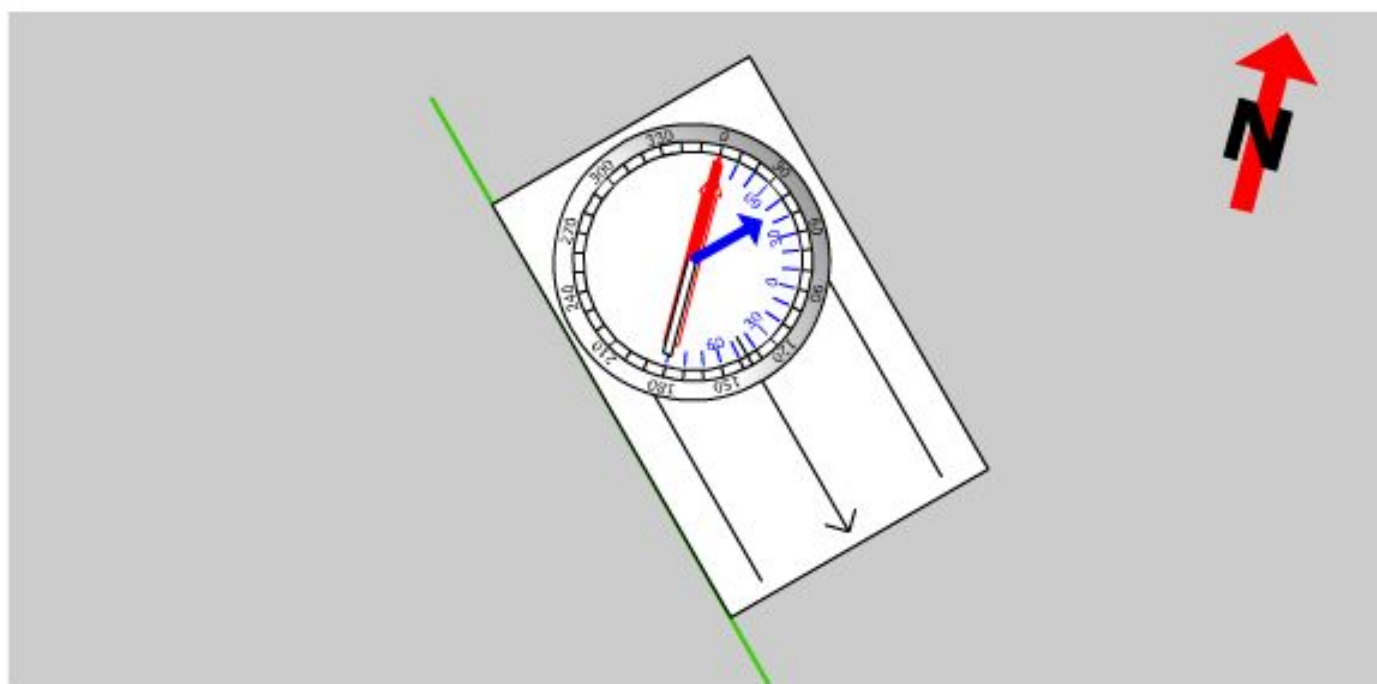


Затем мы вращаем лимб до тех пор, пока отметка начала отсчета не совпадет со стрелкой

компыа. После этого можно определить азимут простираения: 315°.

Плоскостные структуры

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение

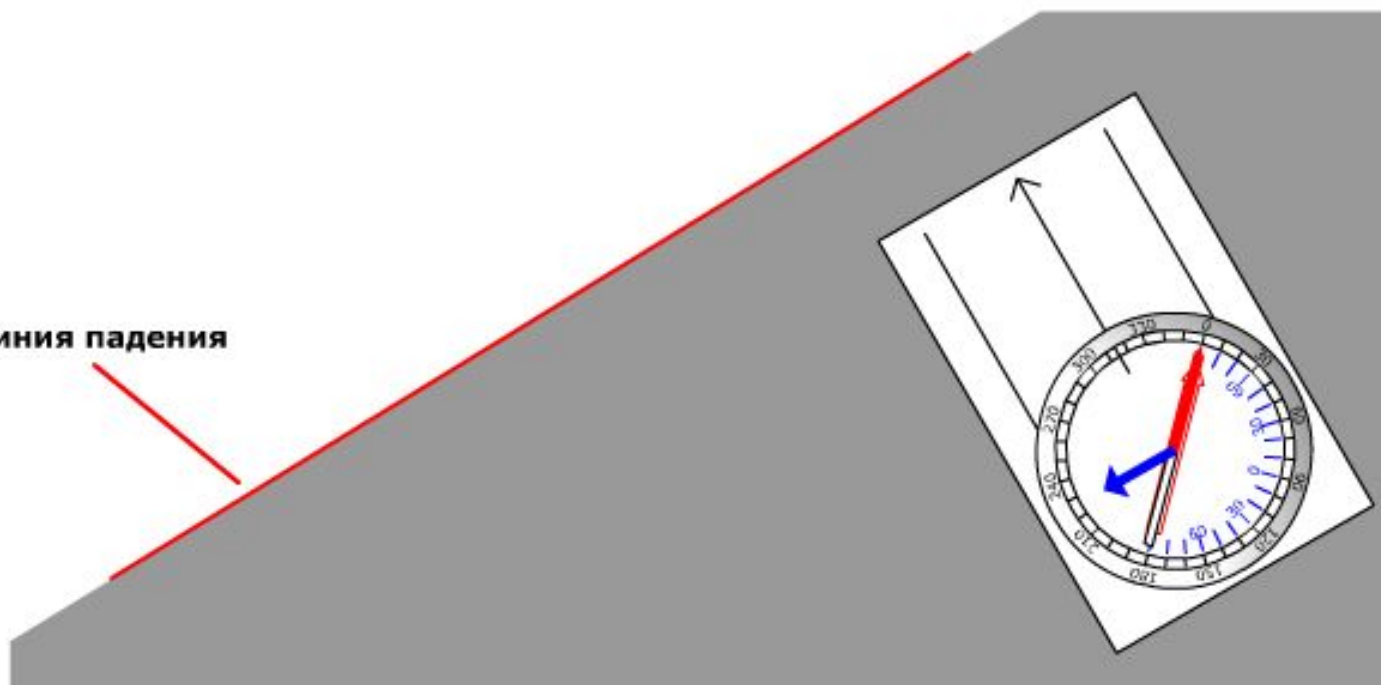


Обратите внимание, что это измерение также является правильным: $135^\circ (= 315^\circ - 180^\circ)$.

Плоскостные структуры

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- **Закончить**
- Закключение

Линия падения

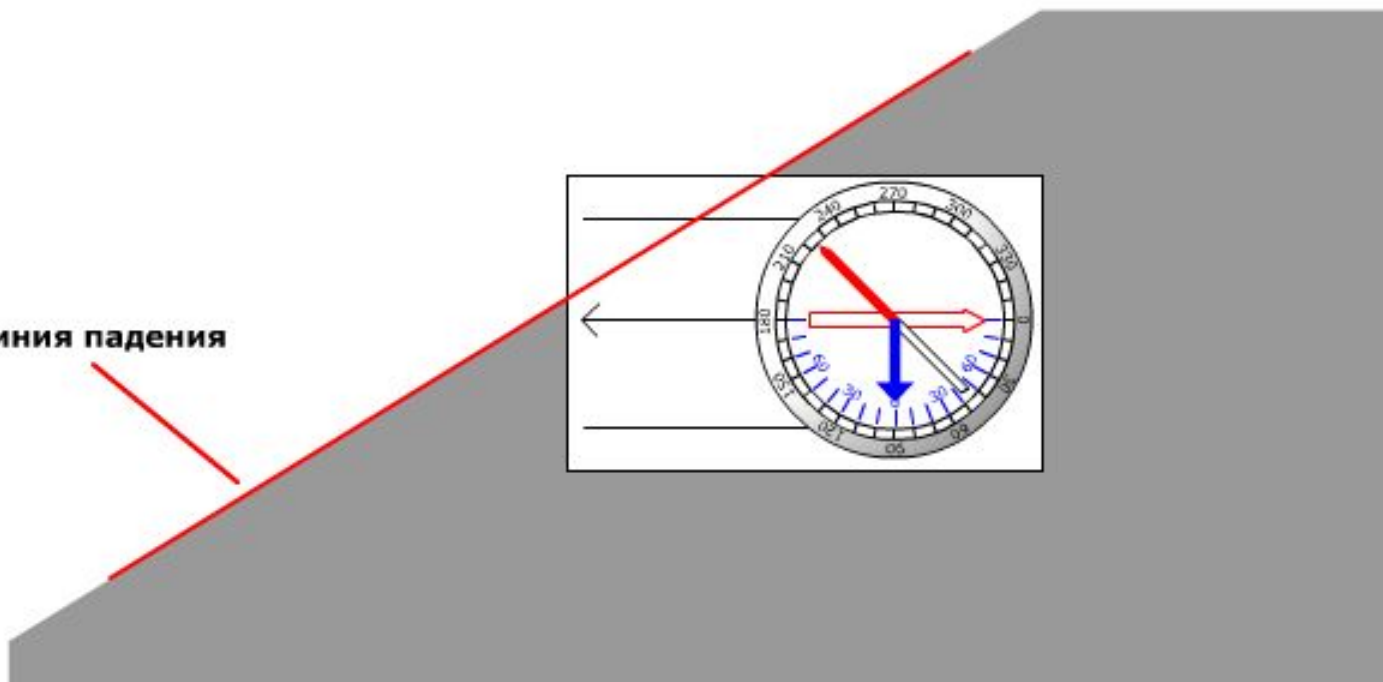


Теперь нам необходимо измерить азимут падения плоской поверхности. На этом рисунке наклонная поверхность показана сбоку, в профиль.

Плоскостные структуры

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение

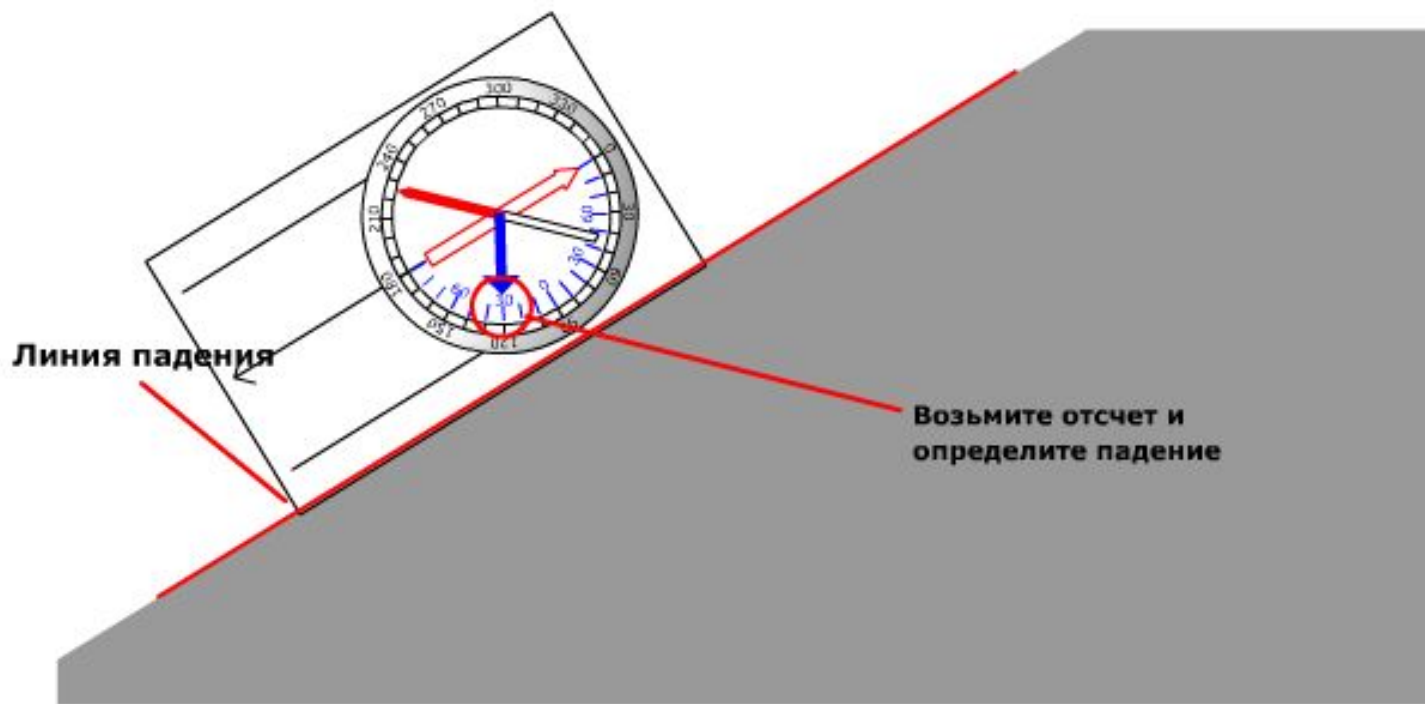
Линия падения



Сначала нужно убедиться в том, что отвес компаса показывает 0° , когда длинная сторона компаса расположена горизонтально.

Плоскостные структуры

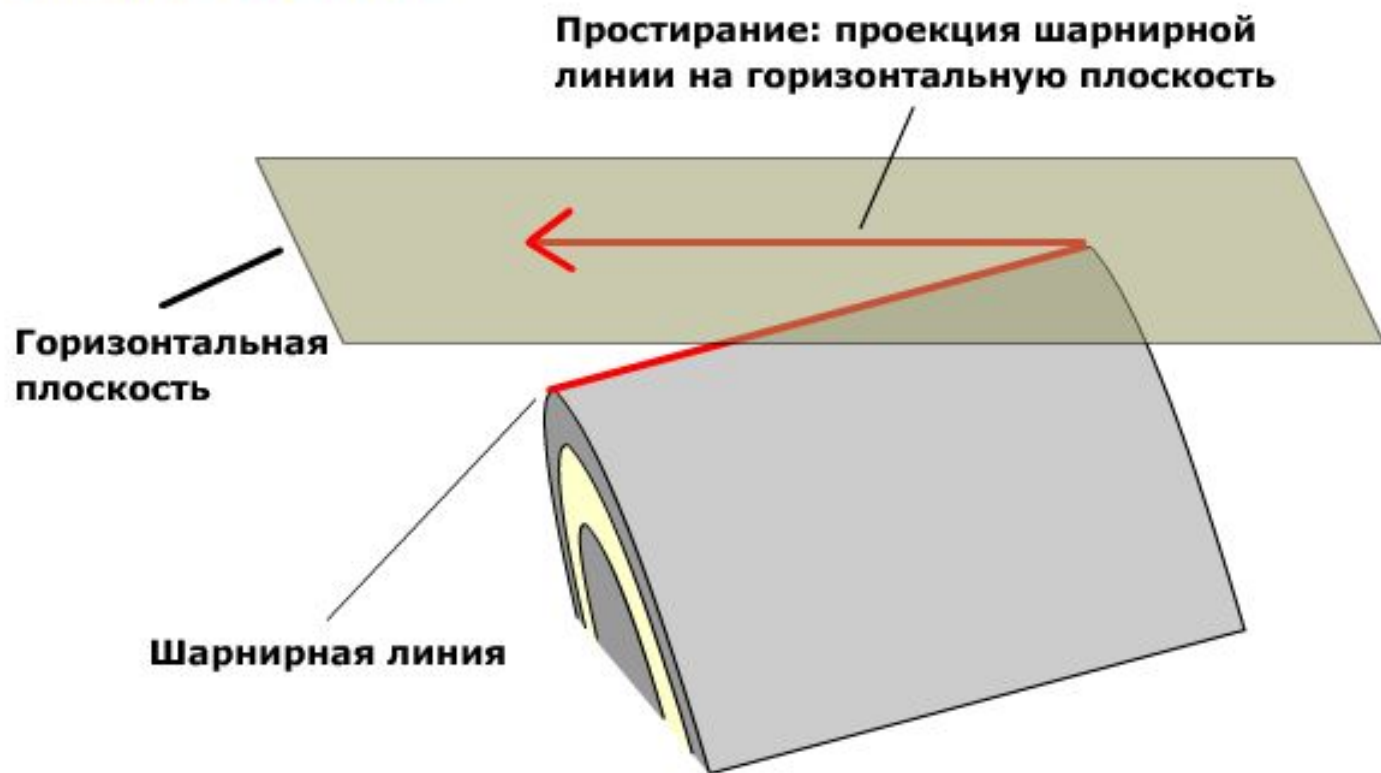
- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Затем мы располагаем длинную сторону компаса параллельно линии падения. Снимаем показания отвеса – плоскость падает под углом 30° .

Линейные структуры

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- элемент залегания
- Заключение

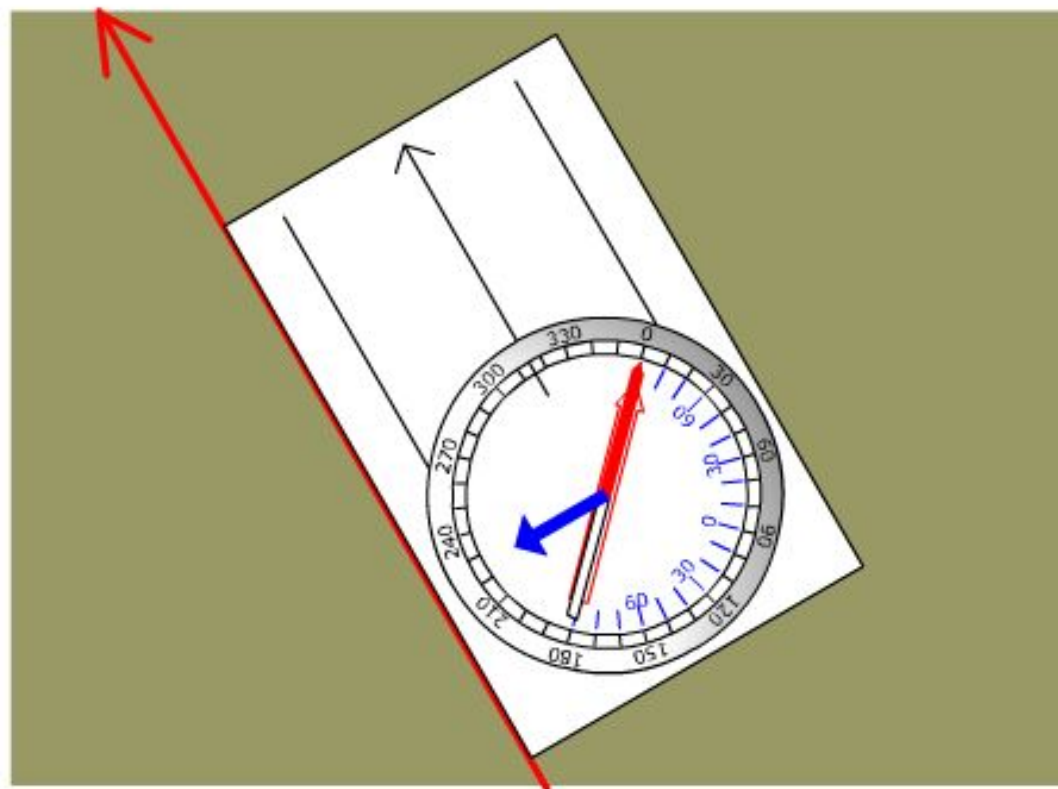


Шарнирные линии складок это линейные структуры. Для того, чтобы описать ориентировку линии в пространстве (то есть определить элементы ее залегания), необходимо измерить ее азимут падения и азимут

простираия. Простираие это ориентировка наклонной линии на карте. Его можно определить путем проекции наклонной линии на горизонтальную плоскость.

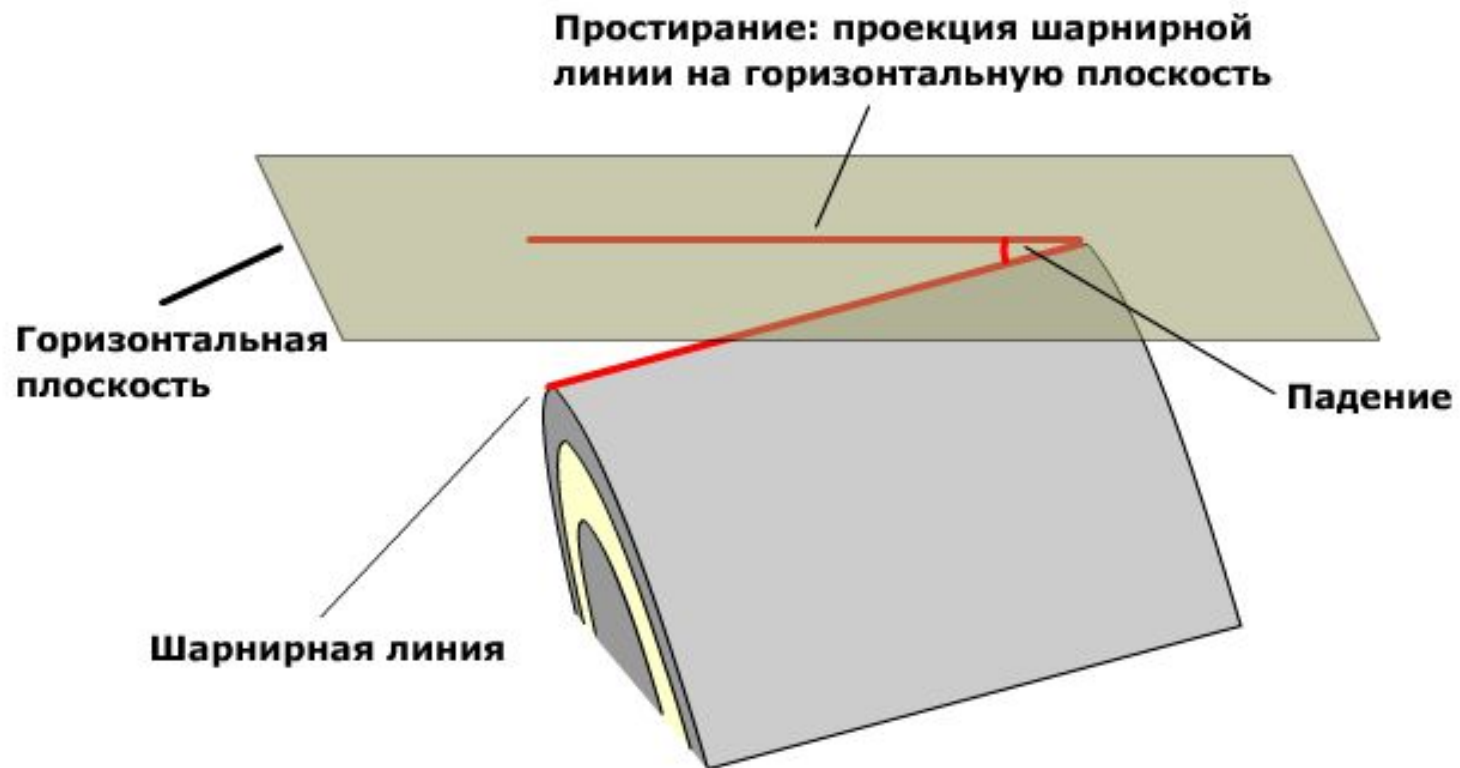
Линейные структуры

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Простирание проекции шарнирной линии на горизонтальную плоскость измеряется так же, как простирание плоской поверхности.

Линейные структуры

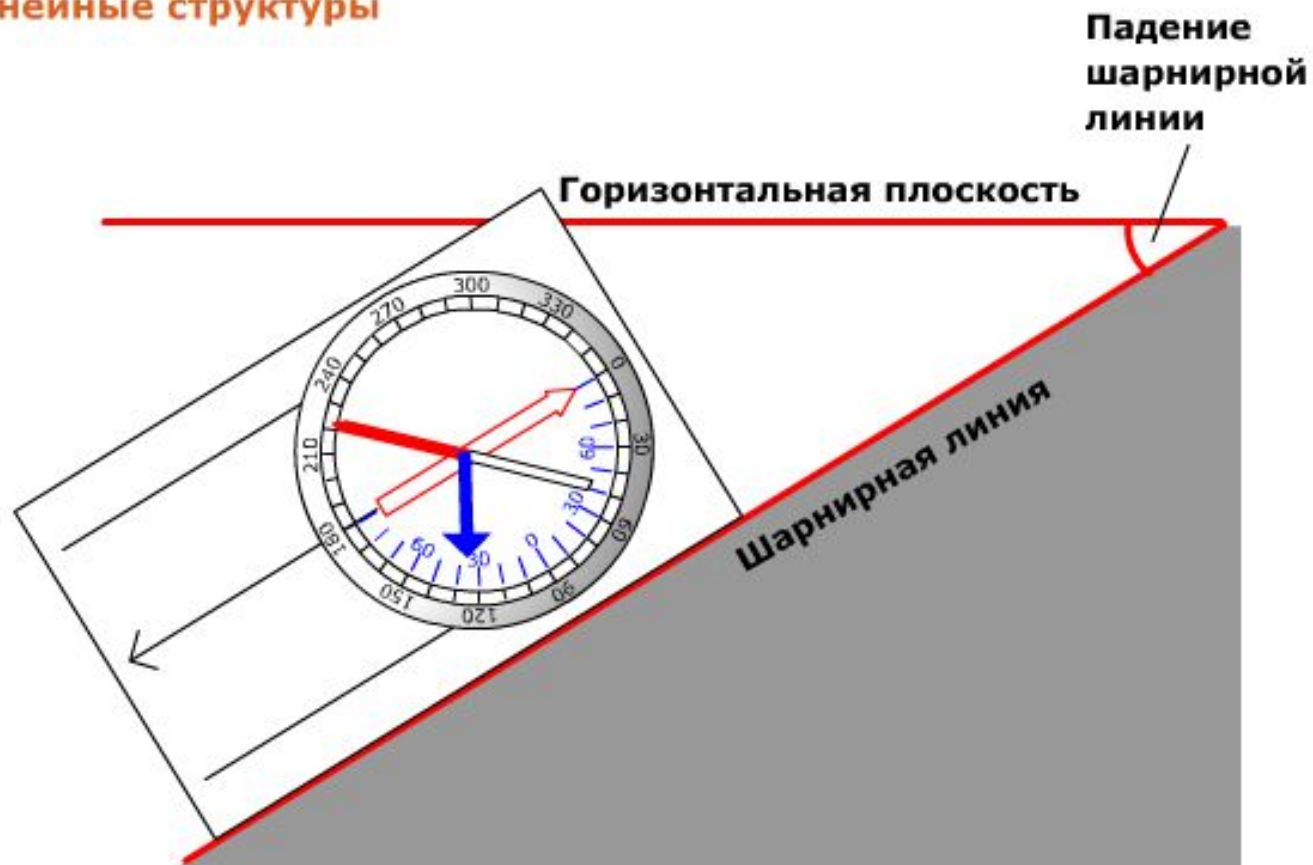


Падение шарнирной линии складки это угол между шарнирной линией и горизонтальной плоскостью.

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение

Линейные структуры

- Введение
- Первичные структуры
- Что такое деформация?
- Хрупкая деформация
- Пластическая деформация
- Рассланцевание
- Этапы деформаций
- Столбчатая отдельность
- Определение элементов залегания
- Заключение



Угол между наклонной линией и горизонтальной плоскостью измеряется по отвесу компаса.

Введение

Первичные
структуры

Что такое
деформация?

Хрупкая
деформация

Пластическая
деформация

Рассланцевание

Этапы деформаций

Столбчатая
отдельность

Определение
элементов

• залегания

Заключение

Заключение

Слоистость осадочных пород и минеральная расслоенность магматических пород это первичные структуры. Первичные структуры не связаны с деформацией горных пород. Когда порода подвергается действию напряжения, она деформируется. Если деформация упругая, то порода восстанавливает первоначальную форму и размеры, после того как напряжение ослабевает. Пластическая деформация и образование трещин являются примерами необратимых деформаций. Трещины и разрывы образуются в результате хрупких деформаций, а

складки и зоны сдвига – в результате пластических деформаций. Силы, которые приводят к деформациям в земной коре, бывают трех типов: силы сжатия, силы растяжения и силы сдвига. Структуры, образующиеся в результате деформаций, помогают расшифровать эволюцию горных пород в земной коре. Систематические измерения ориентировки структур, образующихся в результате деформаций, являются важным источником данных для исследований такого рода.

Благодарности:

Авторы благодарят Стефана Берга за конструктивные замечания.

