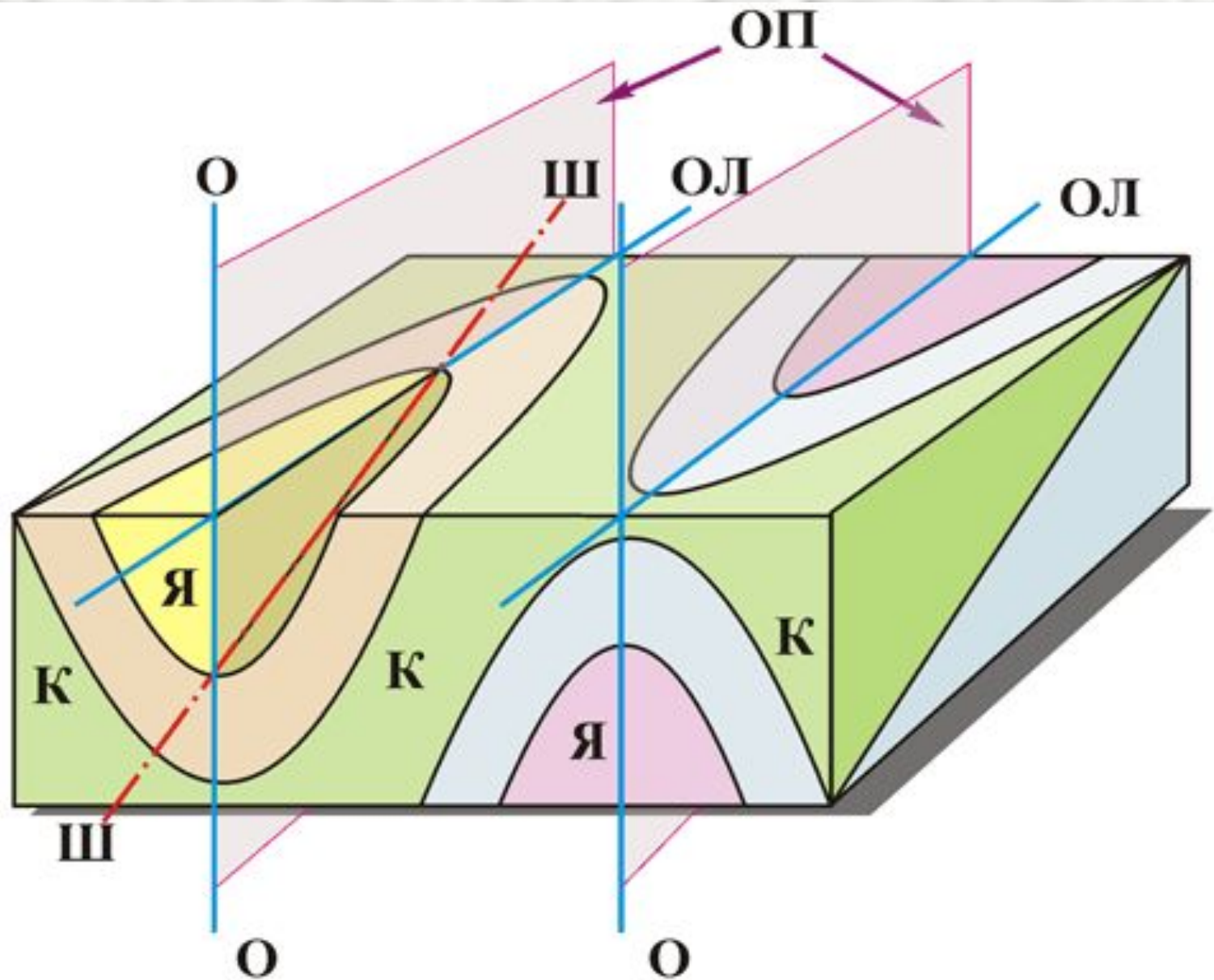




Структурная геология

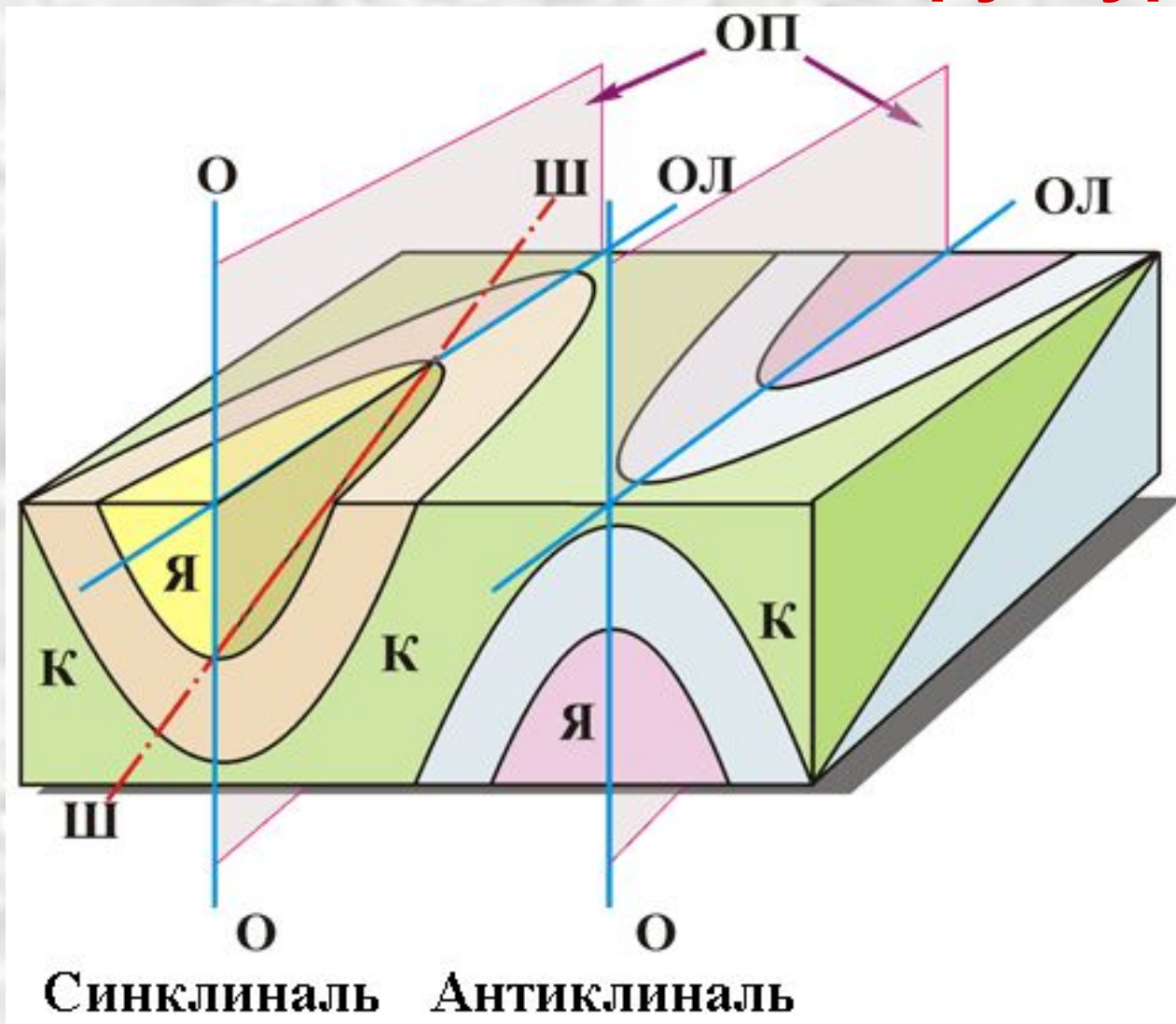
**Структуры складчатых областей.
Складки и их элементы**

Элементы складчатой структуры



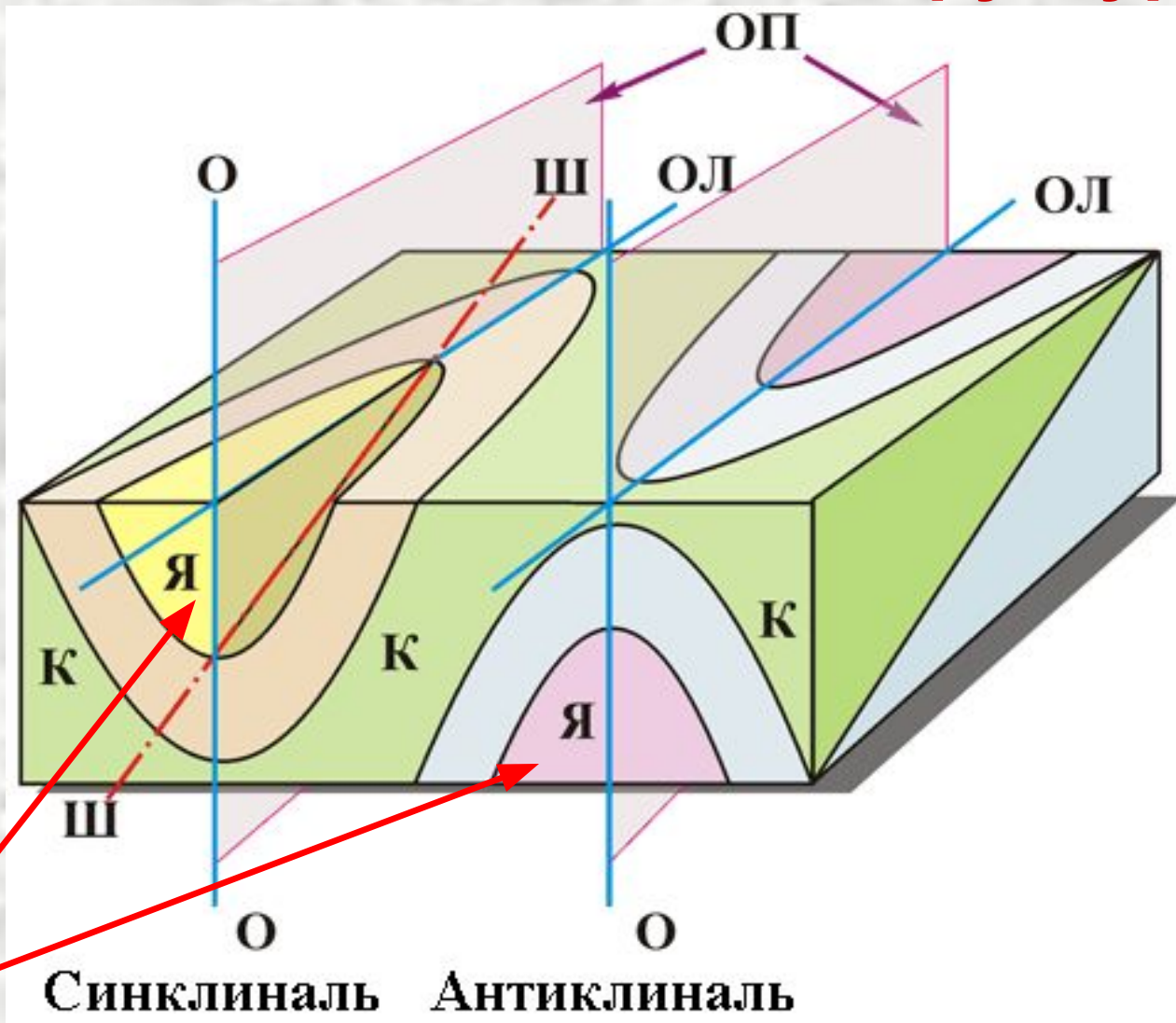
Синклиналь Антиклиналь

Элементы складчатой структуры



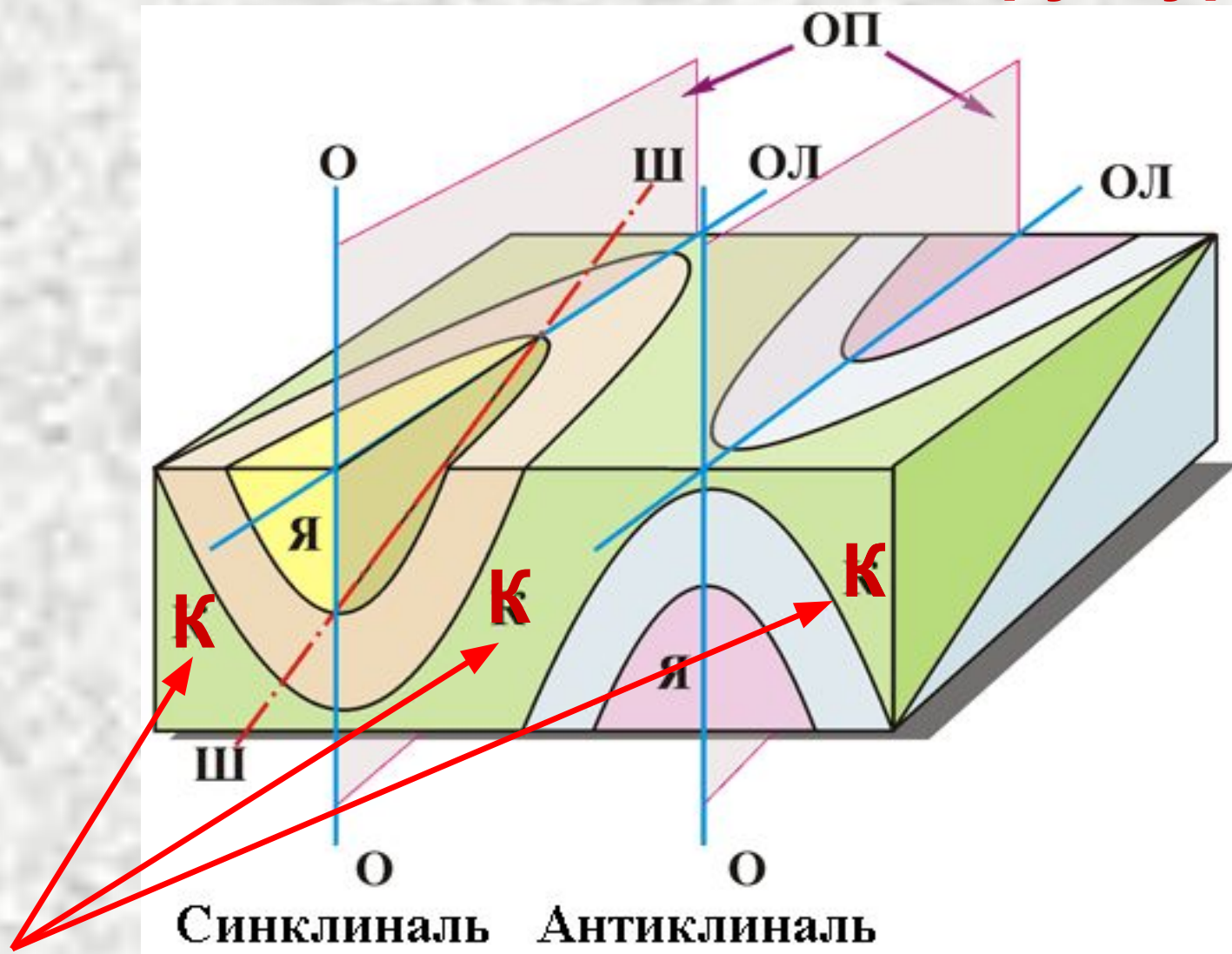
Я - ядро; К - крыло; ОП - осевая поверхность; О - ось; ОЛ - осевая линия; Ш - шарнир; γ - угол складки; З - замок

Элементы складчатой структуры



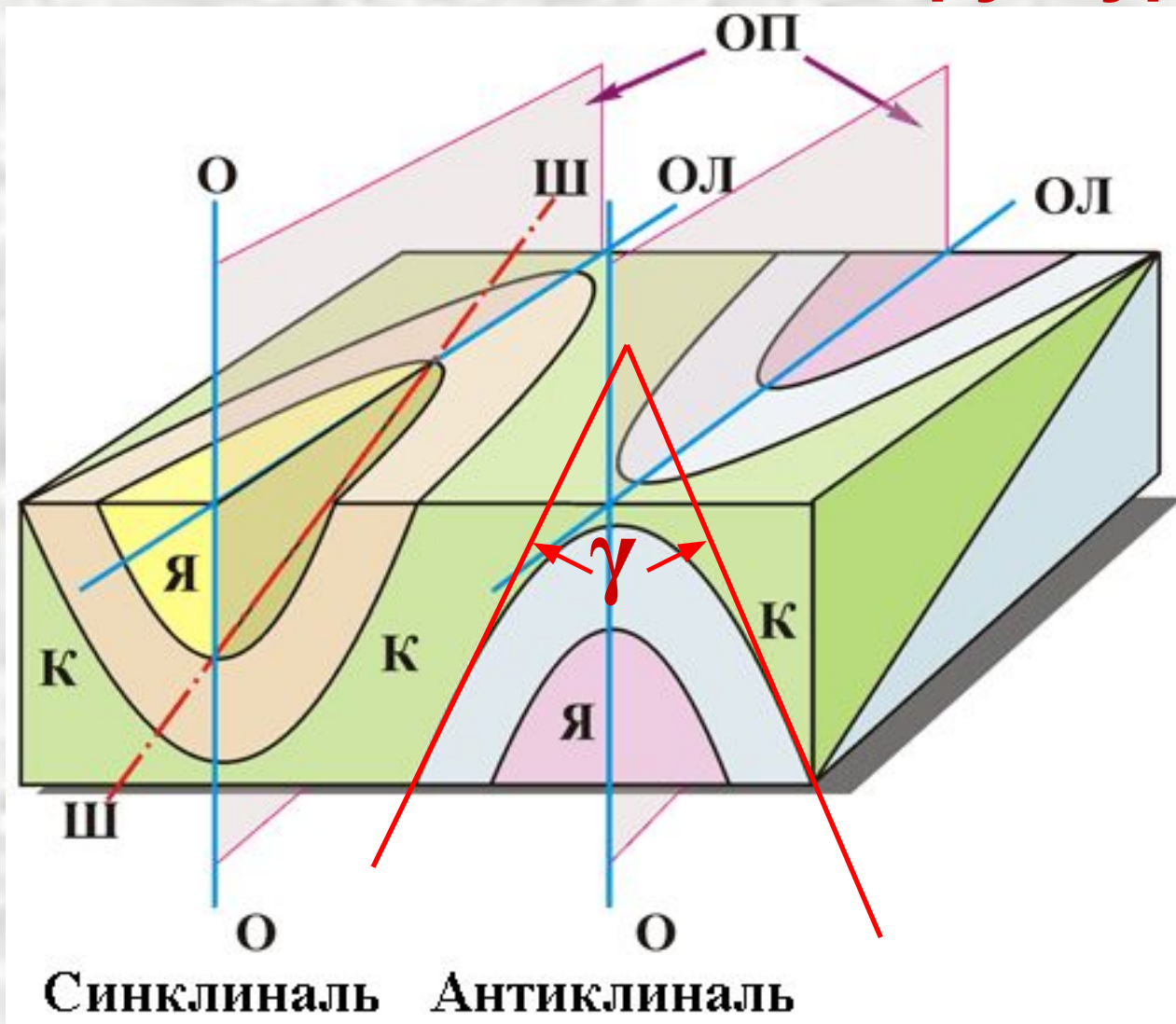
Ядро - породы, слагающие центральную часть складки

Элементы складчатой структуры



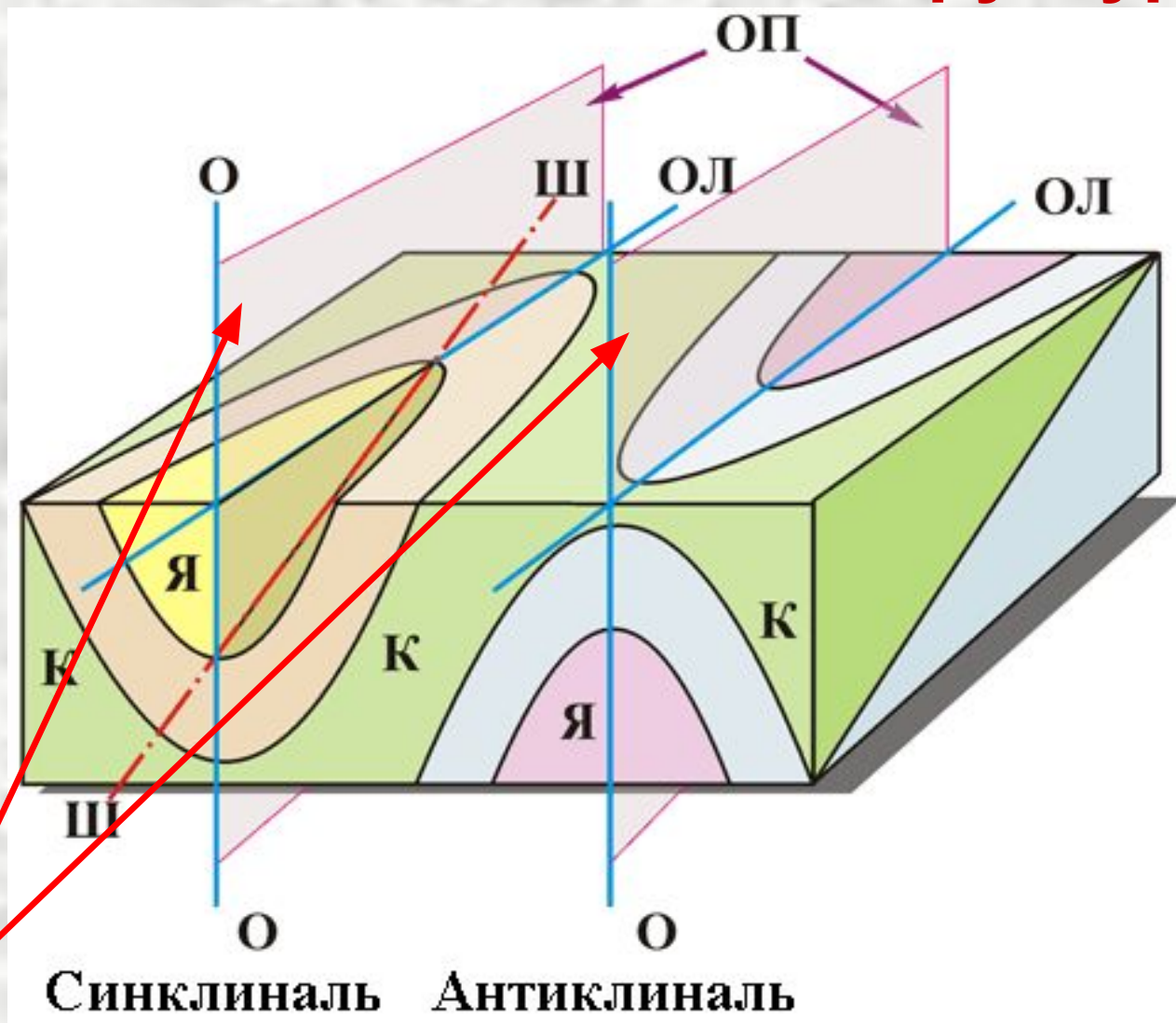
Крылья - части складок, примыкающие к замку

Элементы складчатой структуры



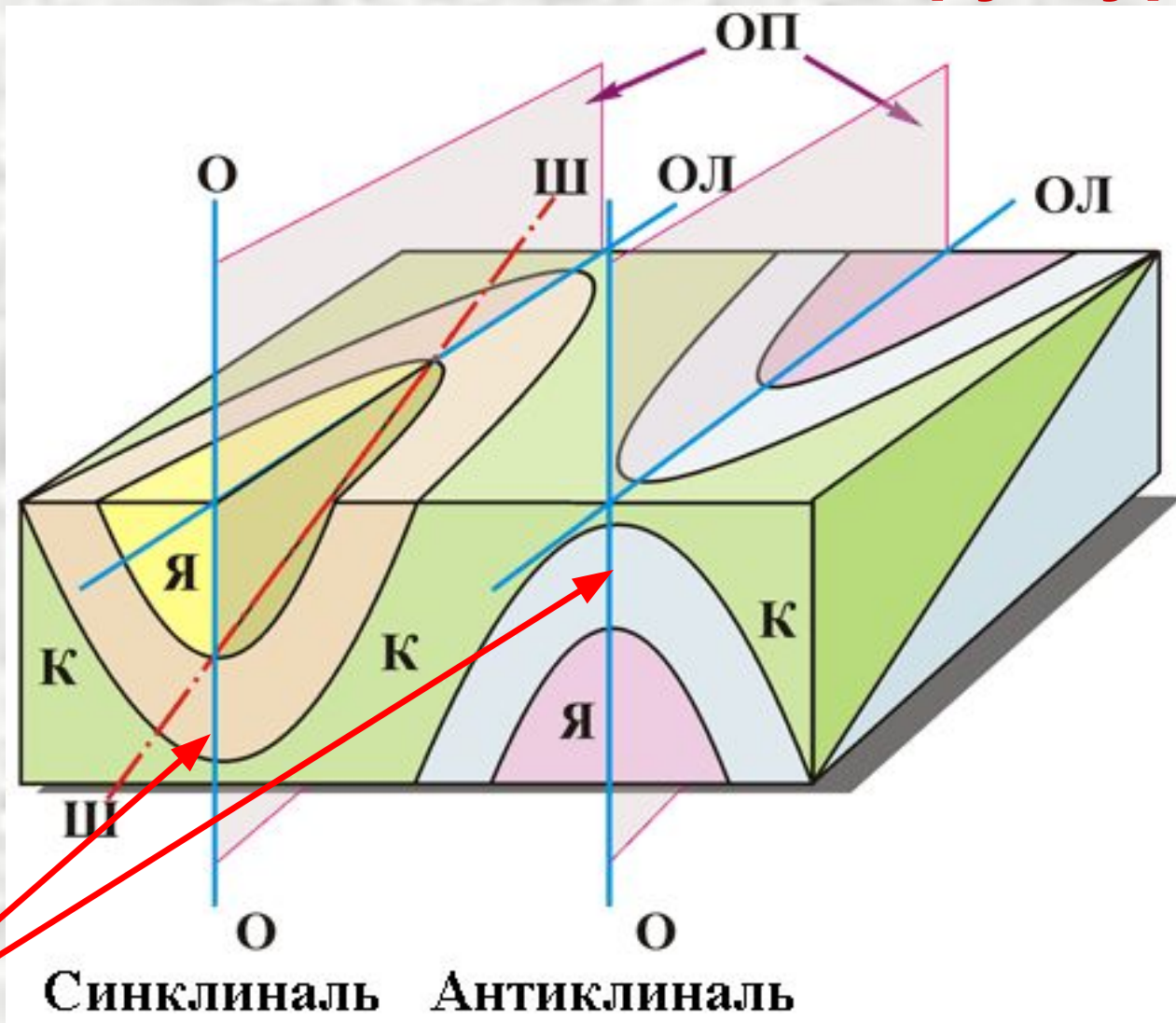
Угол складки - угол, образованный линиями, являющимися продолжением крыльев

Элементы складчатой структуры



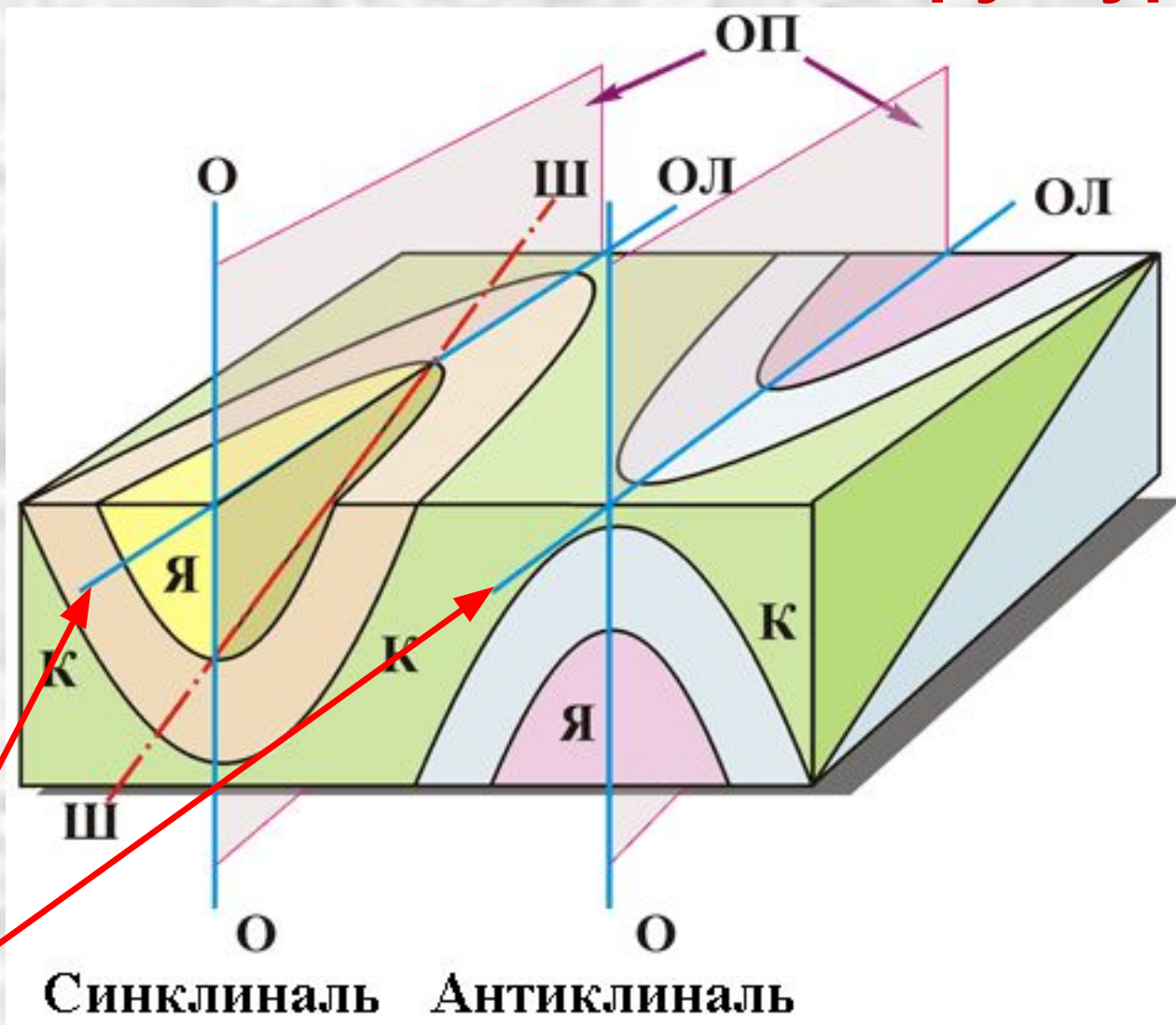
Осевая поверхность - поверхность, проходящая через точки перегиба слоев

Элементы складчатой структуры



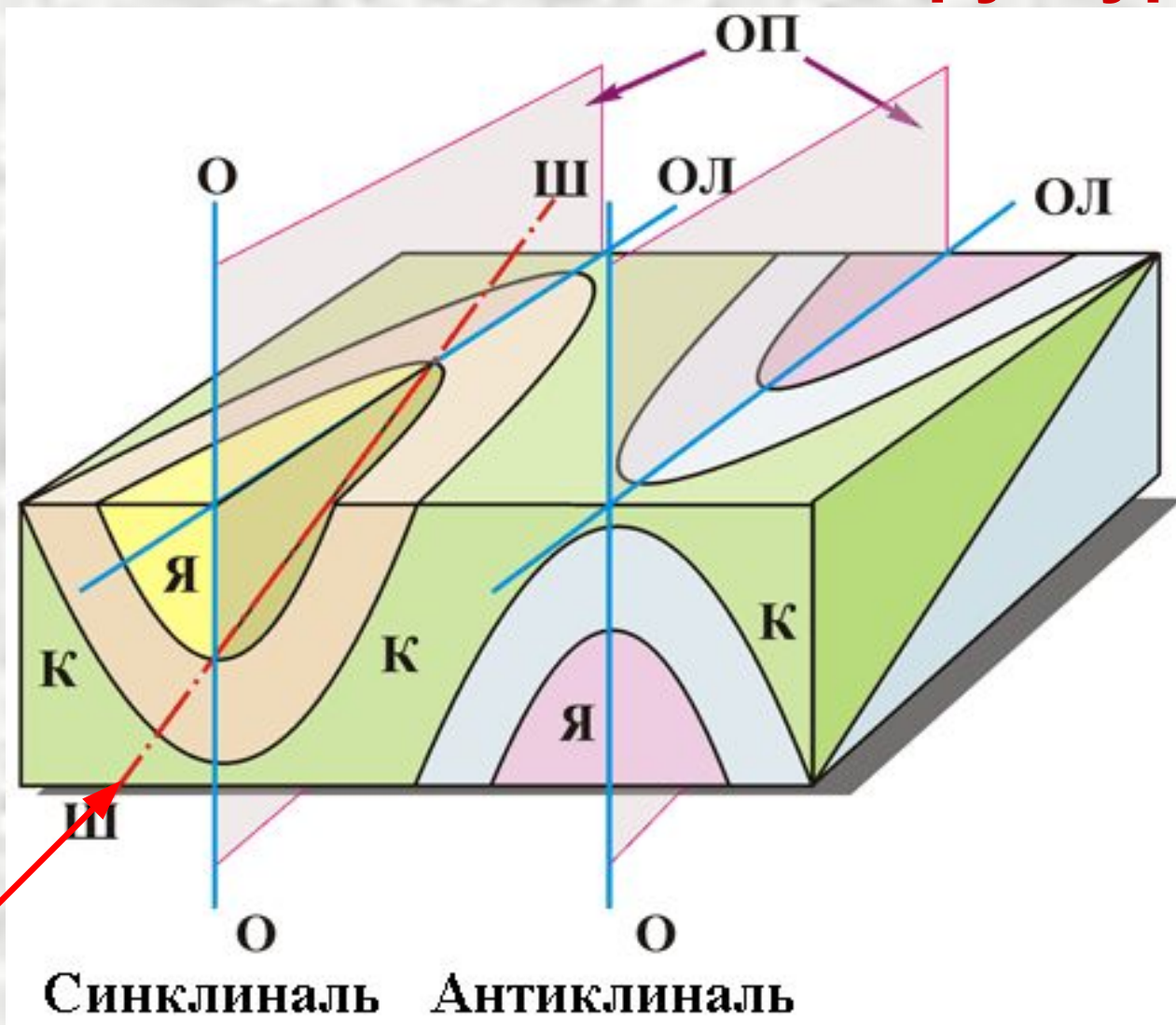
Ось - линия пересечения ОП с вертикальной плоскостью, поперечной к ней

Элементы складчатой структуры



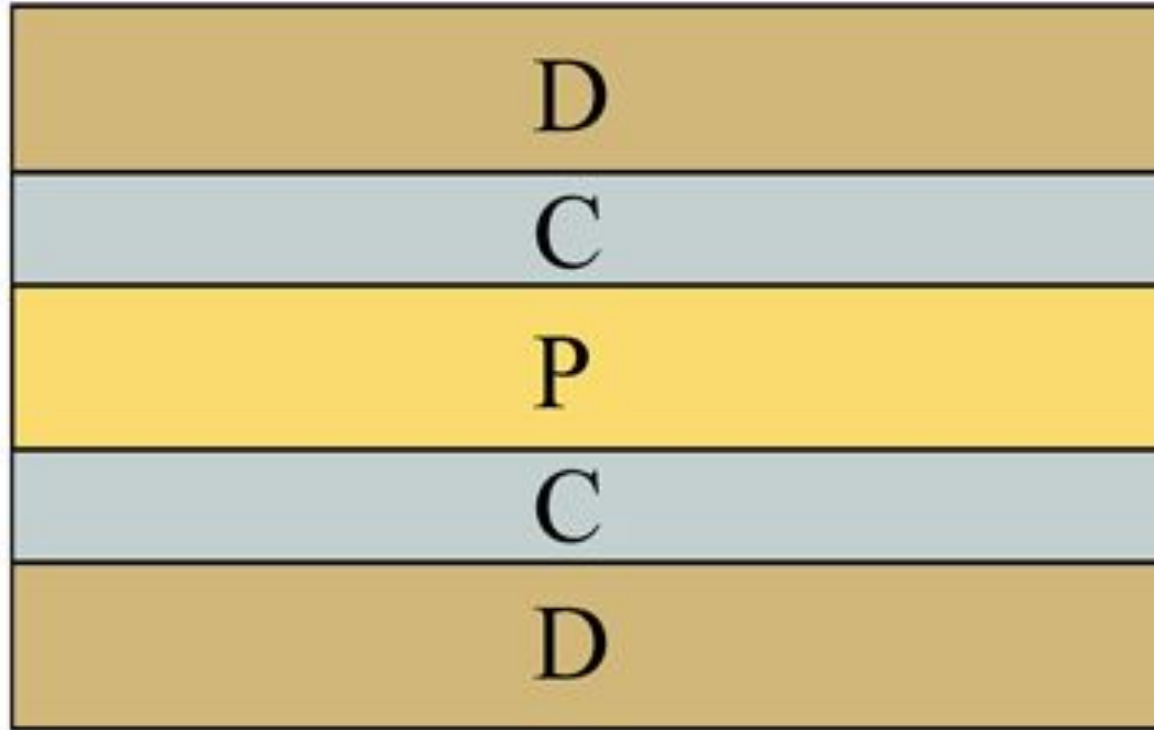
Осевая линия - линия пересечения ОП с земной поверхностью

Элементы складчатой структуры



Шарнир - линия пересечения ОП с поверхностью одного из слоев

Изображение складки на карте зависит от положения шарнира



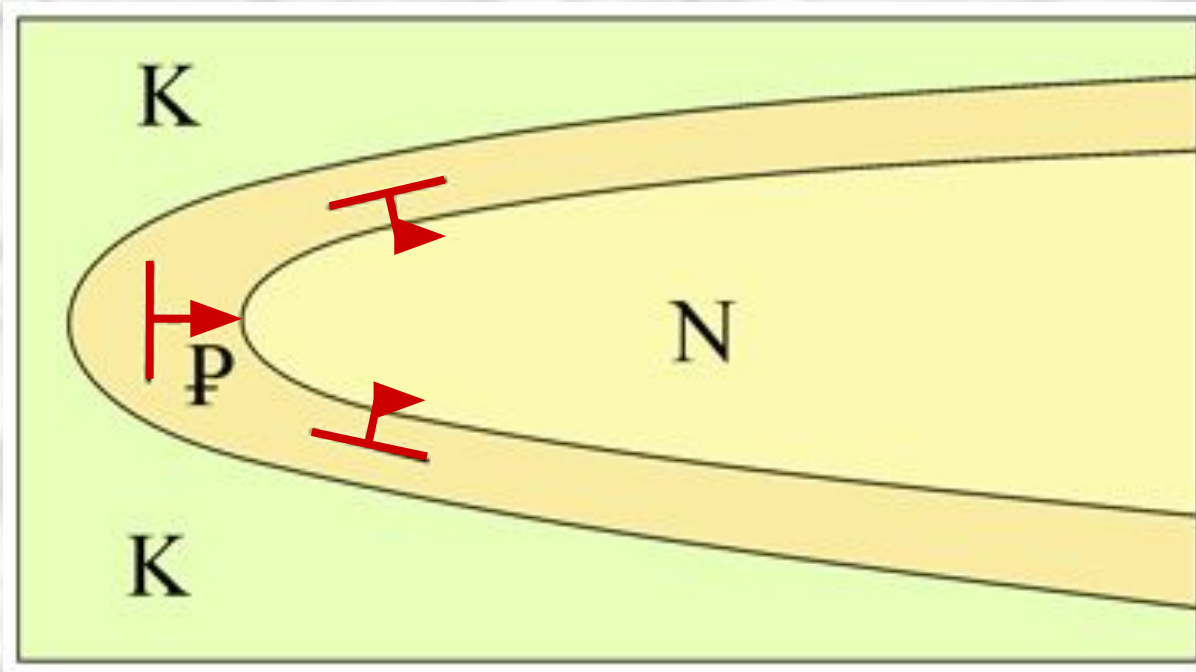
При **горизонтальном** шарнире крылья складки в плане параллельны, а ядро складки на всем протяжении сложено породами одного возраста.

При **вертикальном** шарнире на карте наблюдается поперечное сечение складки

При **наклонном** шарнире крылья складки в плане сближаются и сходятся вместе, образуя **замыкание**.

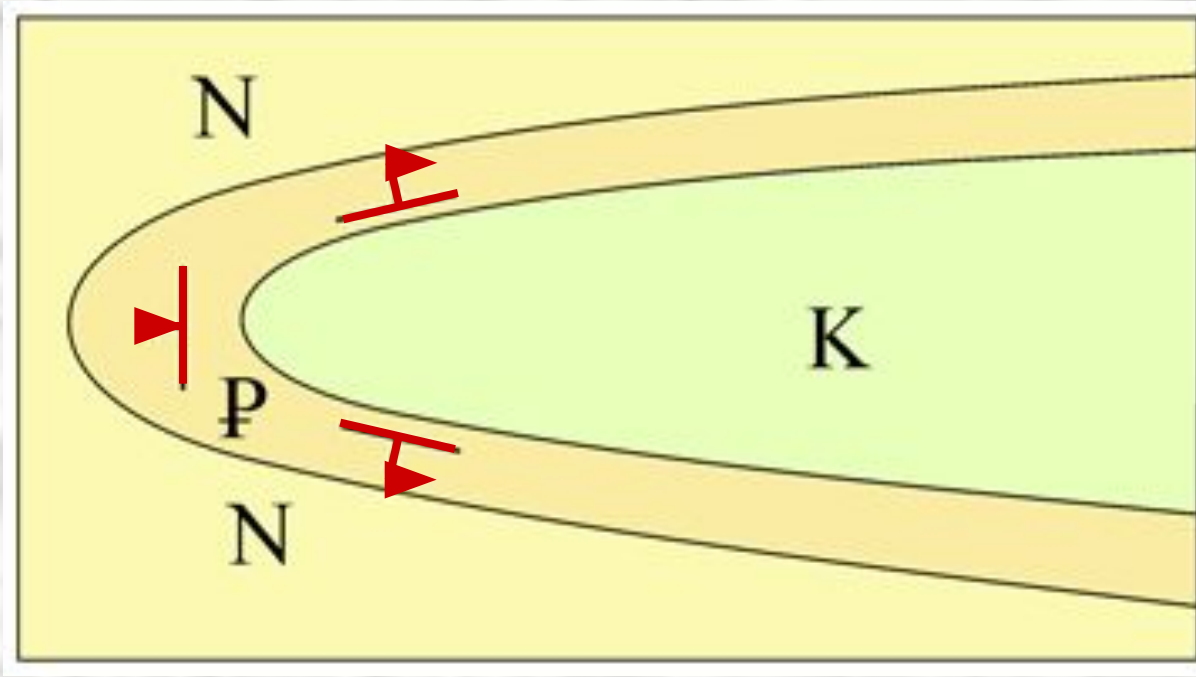
При этом в ядре складки древние породы сменяются более молодыми в сторону погружения шарнира.

Центриклинали и периклинали



На замыкании синклинальной складки падения пород направлены к центру, такое замыкание называется **центриклинальным** (или просто центриклиналью).

Центриклинали и периклинали



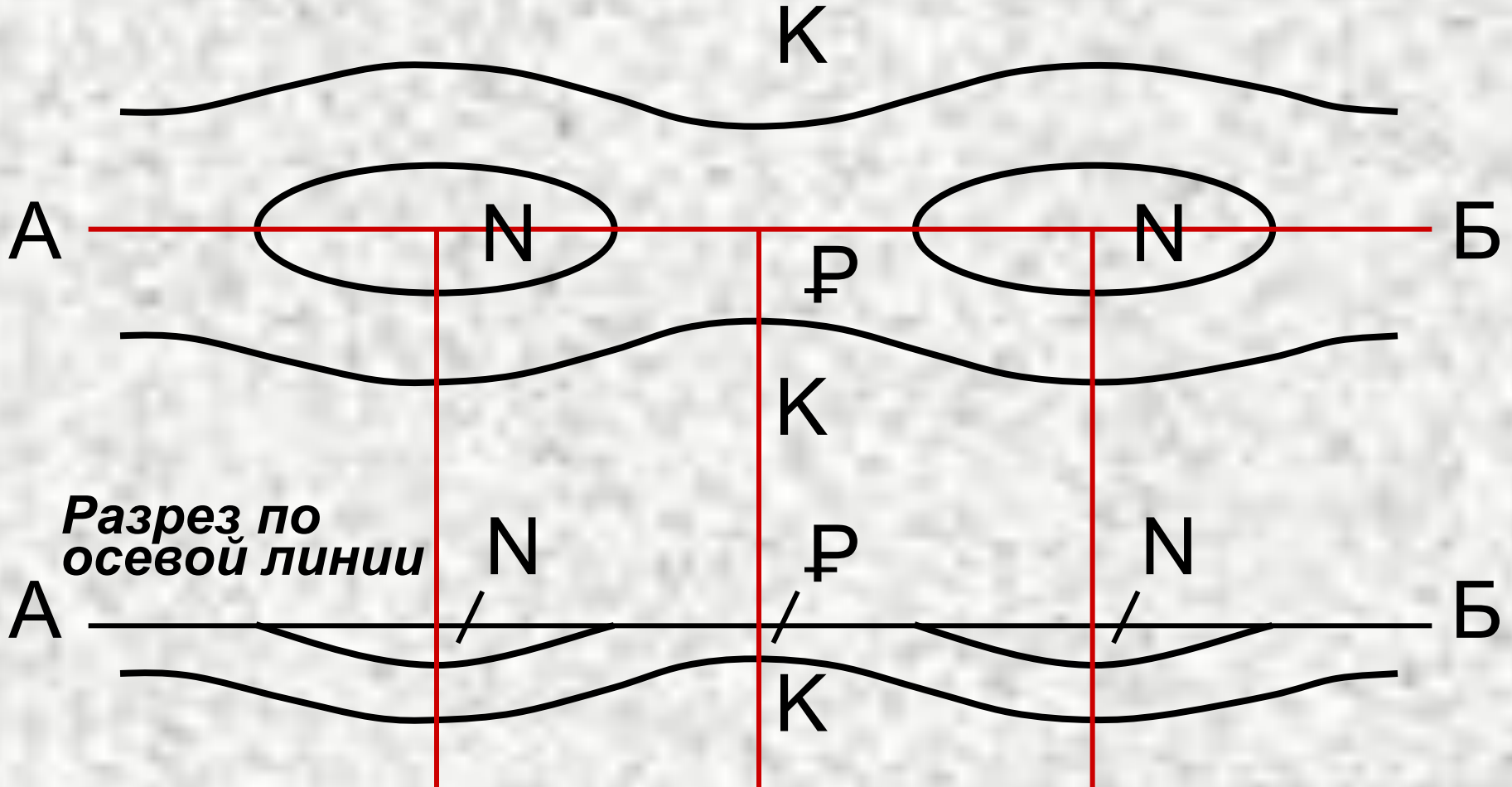
На замыкании антиклинальной складки падения направлены к периферии. Такое замыкание называется **периклинальным** (или просто периклиналью).

Ундуляция шарнира

Шарнир складки может также волнообразно
При ундуляции шарнира на карте
изгибаться, поочередно погружаясь и
наблюдается поочередное сближение и
воздымаясь.
расхождение крыльев складки, а в ядре
Такое поведение шарнира называется
обнажаются поочередно то более древние,
ундуляцией, а сам шарнир - ундулирующим
то более молодые породы
(от лат.: **undulatio** - образование небольших
волн).

Ундуляция шарнира

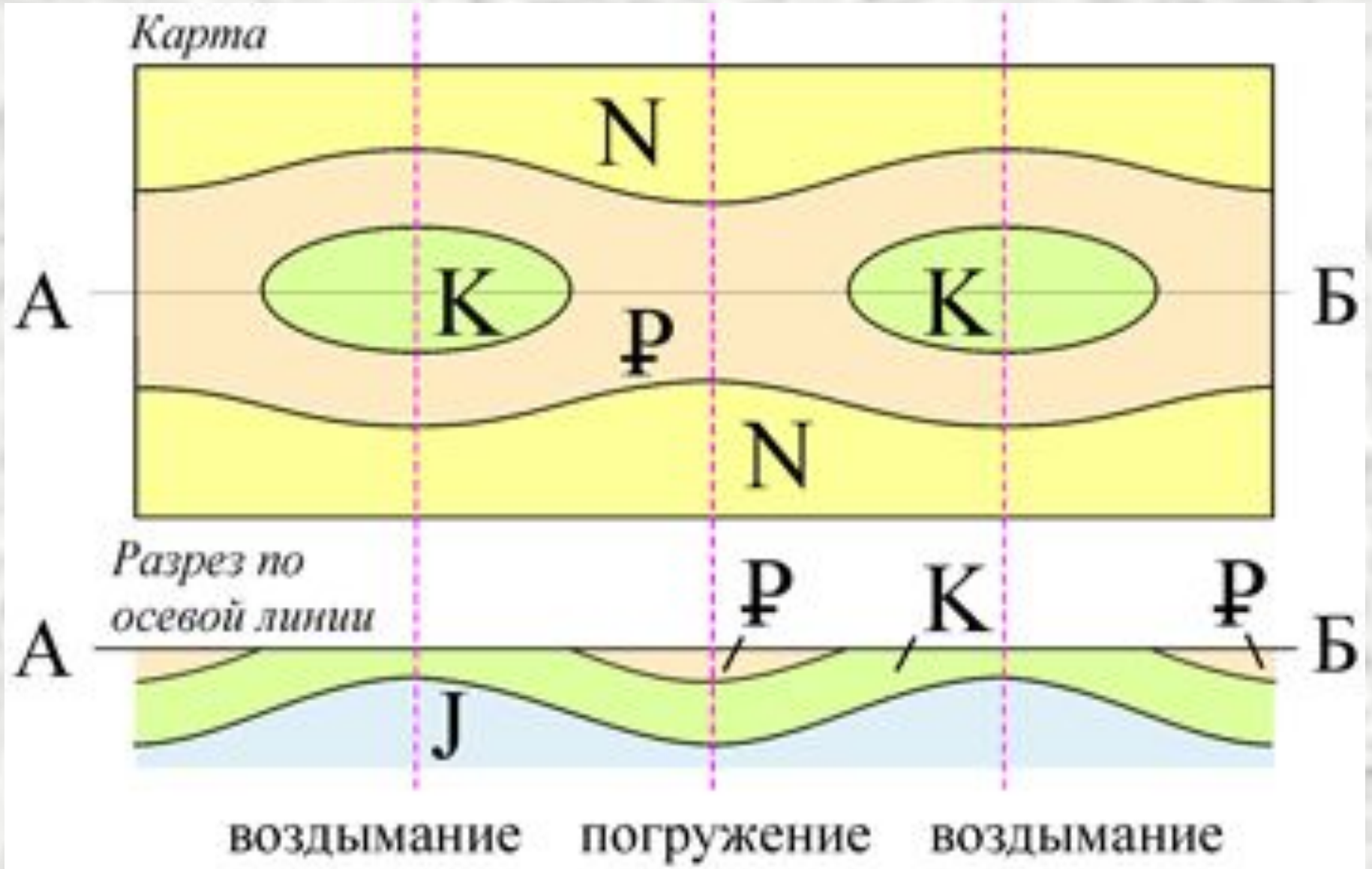
Карта



погружение воздымание погружение

Синклиналь с ундулирующим шарниром

Ундуляция шарнира

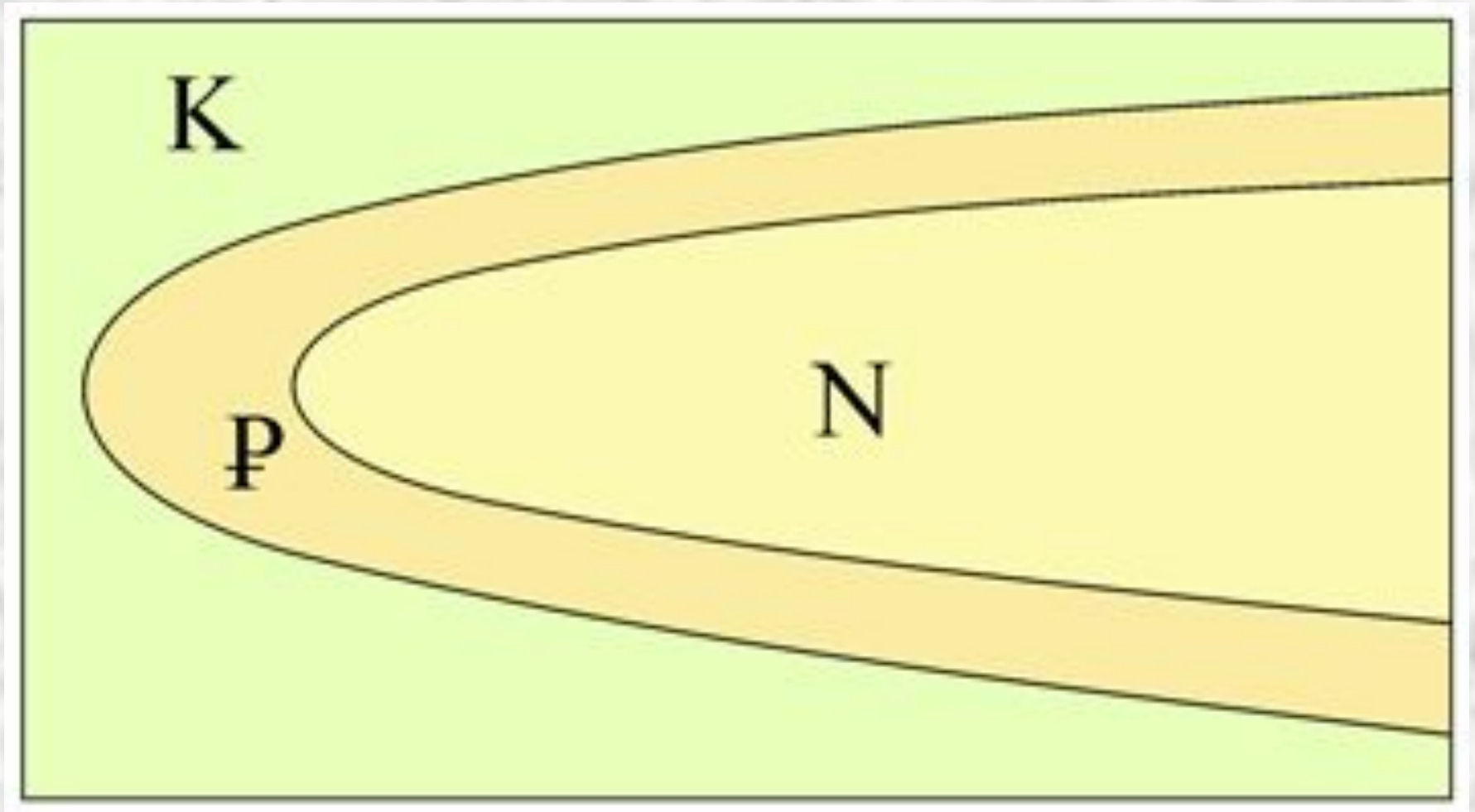


Антиклиналь с ундулирующим шарниром

Погружение шарнира

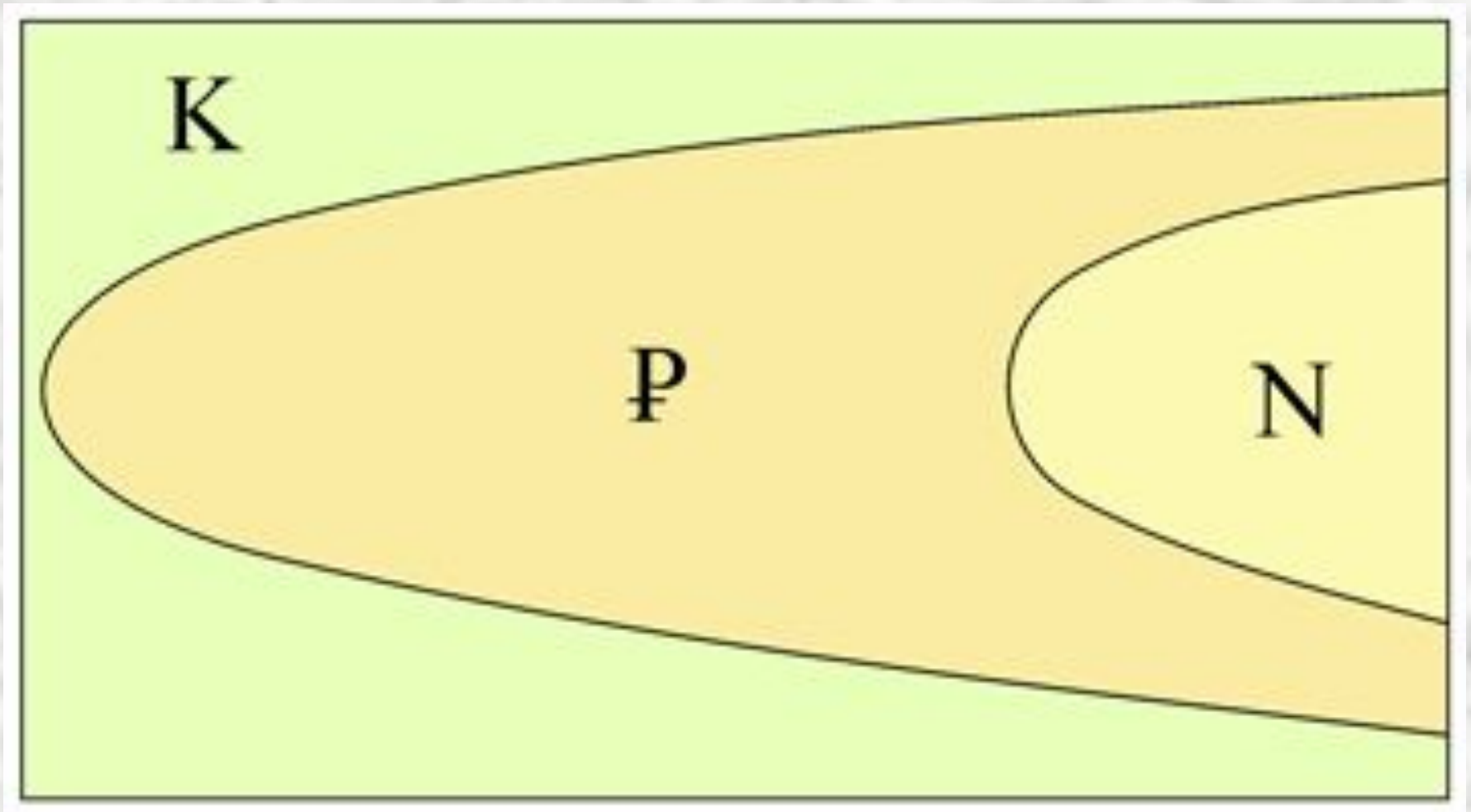
Валы, установленные в шарнирах, могут подвергаться воздействию сил, действующих в плоскости шарнира, что приводит к их деформации и разрушению. Для предотвращения этого необходимо использовать специальные методы погружения шарнира, обеспечивающие его прочность и долговечность.

Погружение шарнира



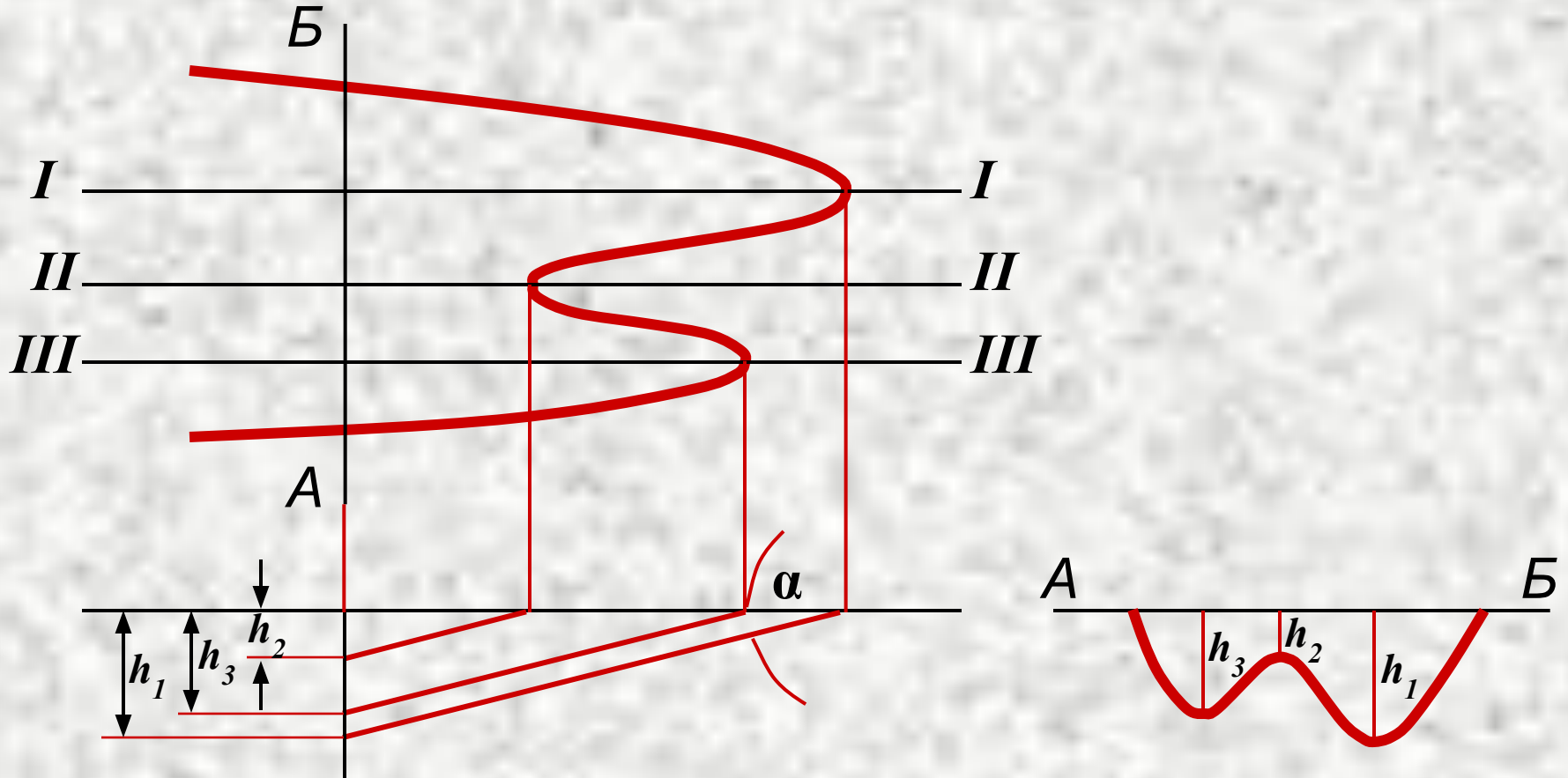
Синклиналь с круто погружающимся шарниром

Погружение шарнира



Синклиналь с полого погружающимся шарниром

Учет угла погружения шарнира при построении разреза



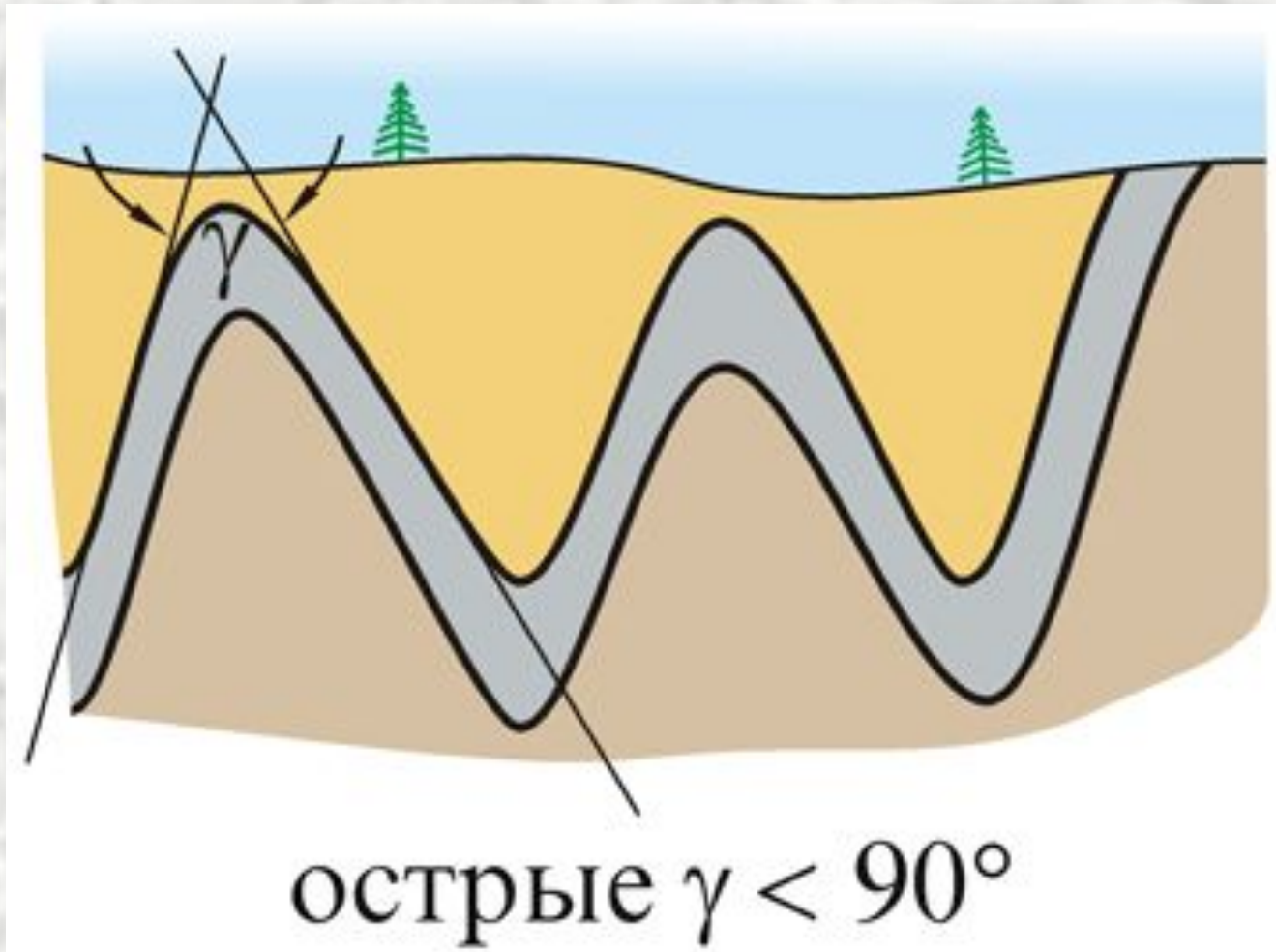
Выводим из полученных профилей шарнира и складываем их в одну плоскость, учитывая угол погружения шарнира α . Получим профиль шарнира $АБ$ (рис. 1).
Перенесем на $АБ$ высоты шарнира h_1 , h_2 и h_3 (рис. 2) и построим разрез $АБ$ (рис. 3).
Совместим их в одной плоскости

Морфологическая классификация складок

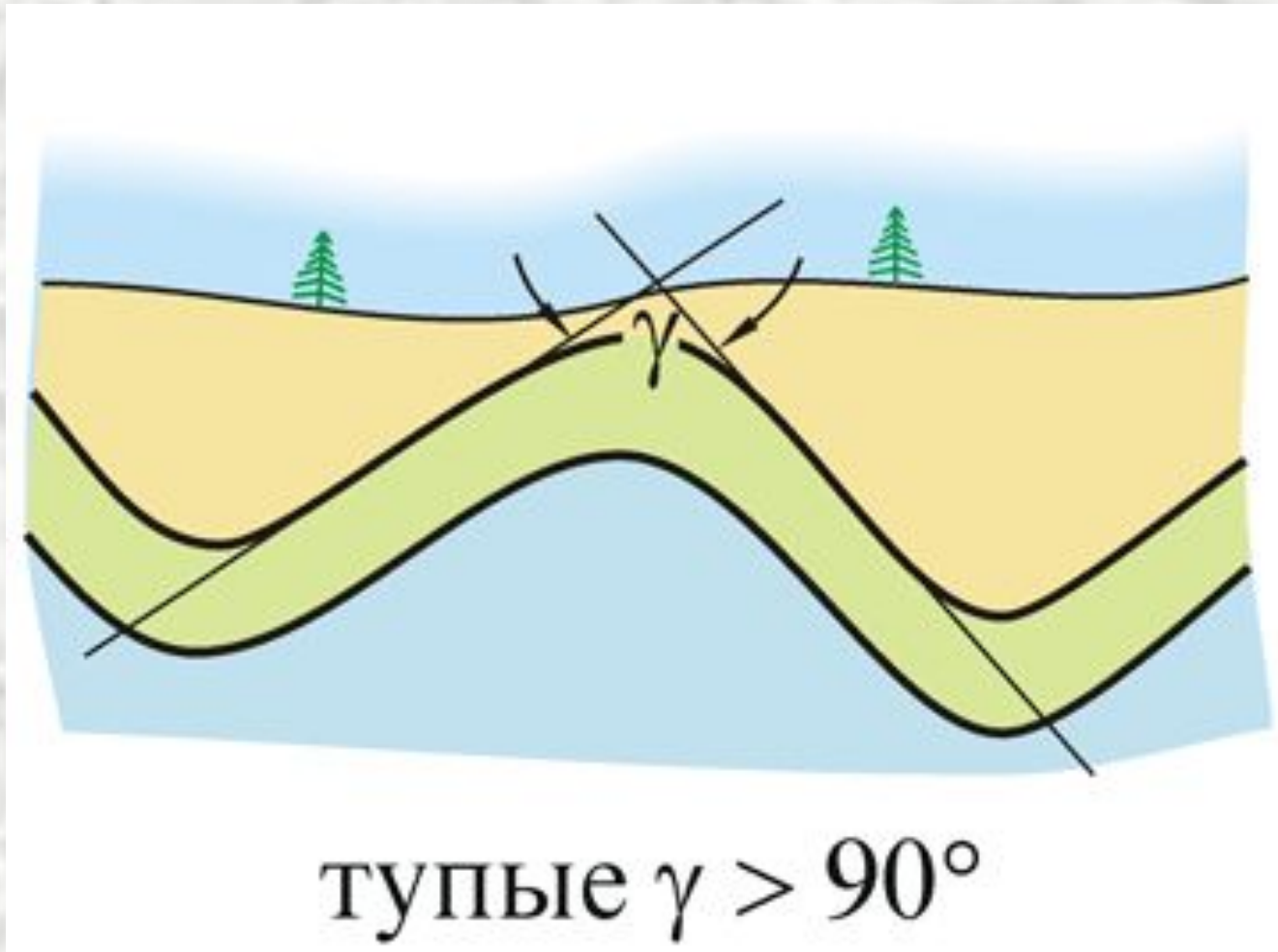
При морфологической классификации складки разделяются по форме. В основу разделения могут быть заложены различные особенности формы.

I. По **углу складки** подразделяют на **острые**, или остроугольные (угол складки меньше 90°) и **тупые**, или тупоугольные (угол складки больше 90°).

Морфологическая классификация складок



Морфологическая классификация складок



Морфологическая классификация складок

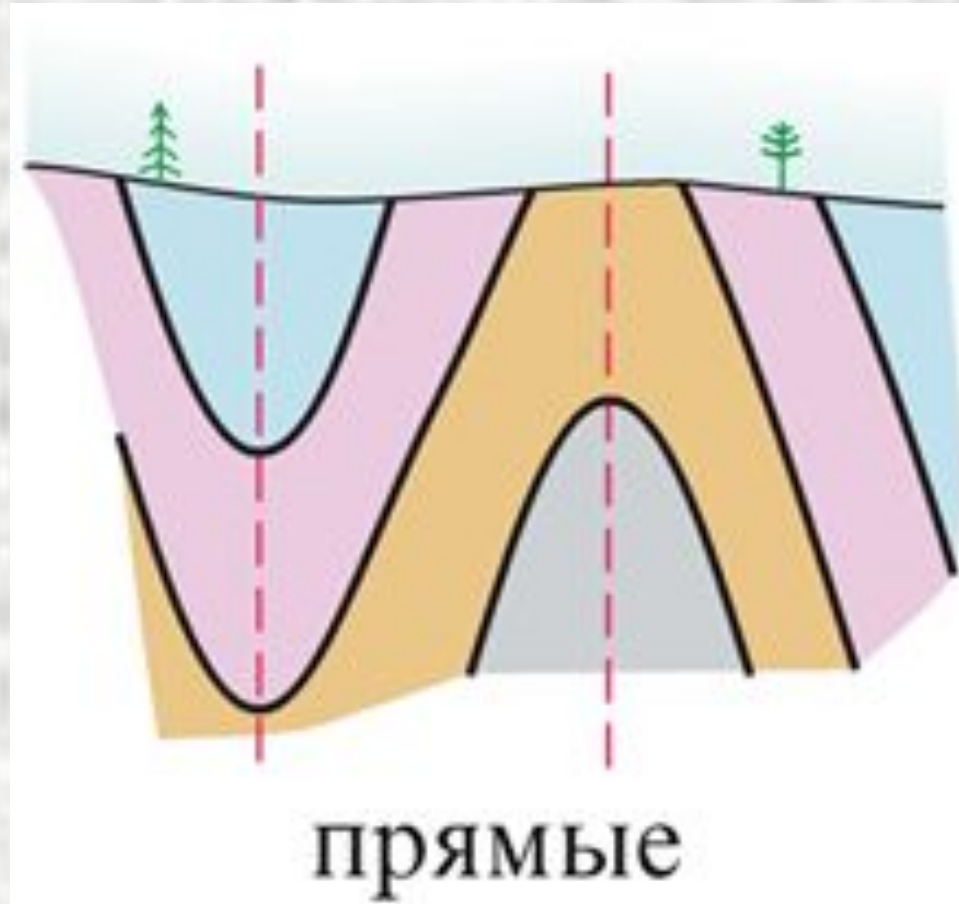
II. **По степени симметрии** (по положению осевой поверхности) выделяются складки:

А. Симметричные (прямые).

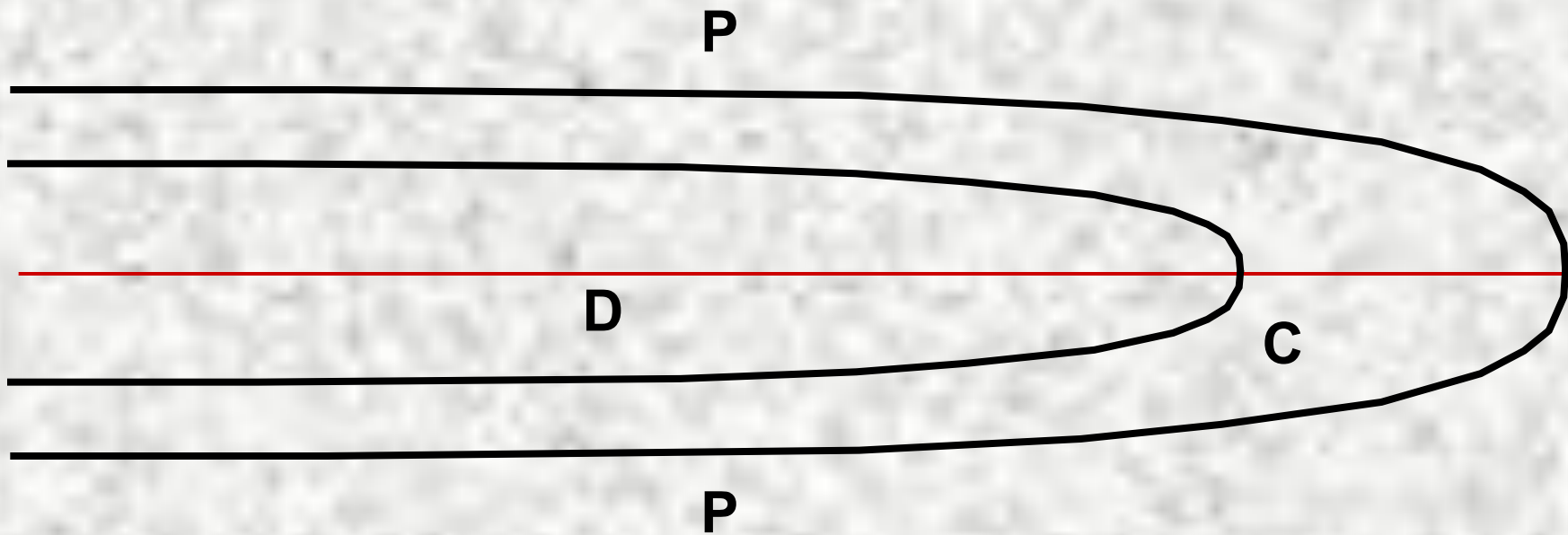
Осевая поверхность у таких складок вертикальна, углы падения на крыльях одинаковы.

На карте такие складки выглядят симметричными относительно осевой линии, то есть видимые мощности одновозрастных слоев на крыльях приблизительно одинаковы.

Морфологическая классификация складок



Морфологическая классификация складок



На карте прямая складка симметрична относительно ОЛ, видимые мощности слоев на крыльях примерно одинаковы.

Морфологическая классификация складок



Прямая антиклинальная складка в девонских известняках.
Новая Земля.

Морфологическая классификация складок

Б. Асимметричные.

У асимметричных складок осевая поверхность наклонная или горизонтальная, углы падения на крыльях разные (могут быть и одинаковыми - при опрокинута залегании одного из крыльев).

Среди асимметричных складок различают: а) наклонные; б) опрокинутые; в) лежащие; г) ныряющие.

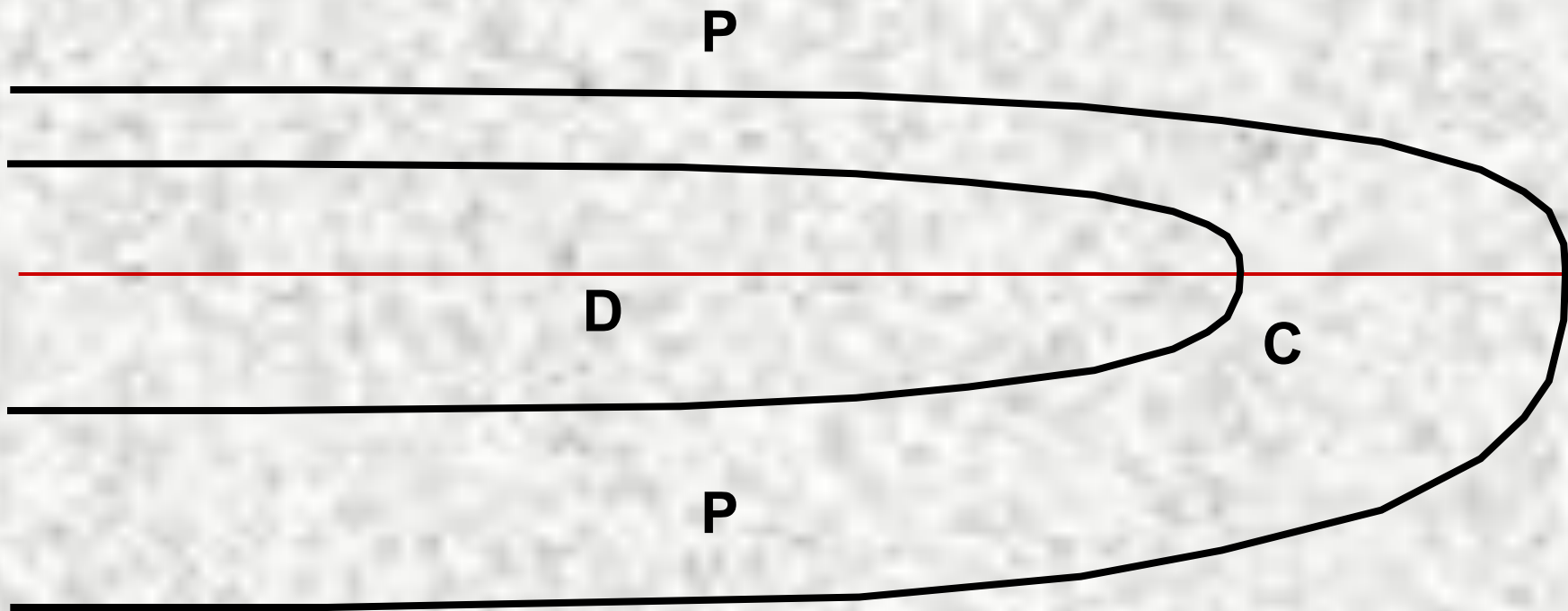
Морфологическая классификация складок

складок



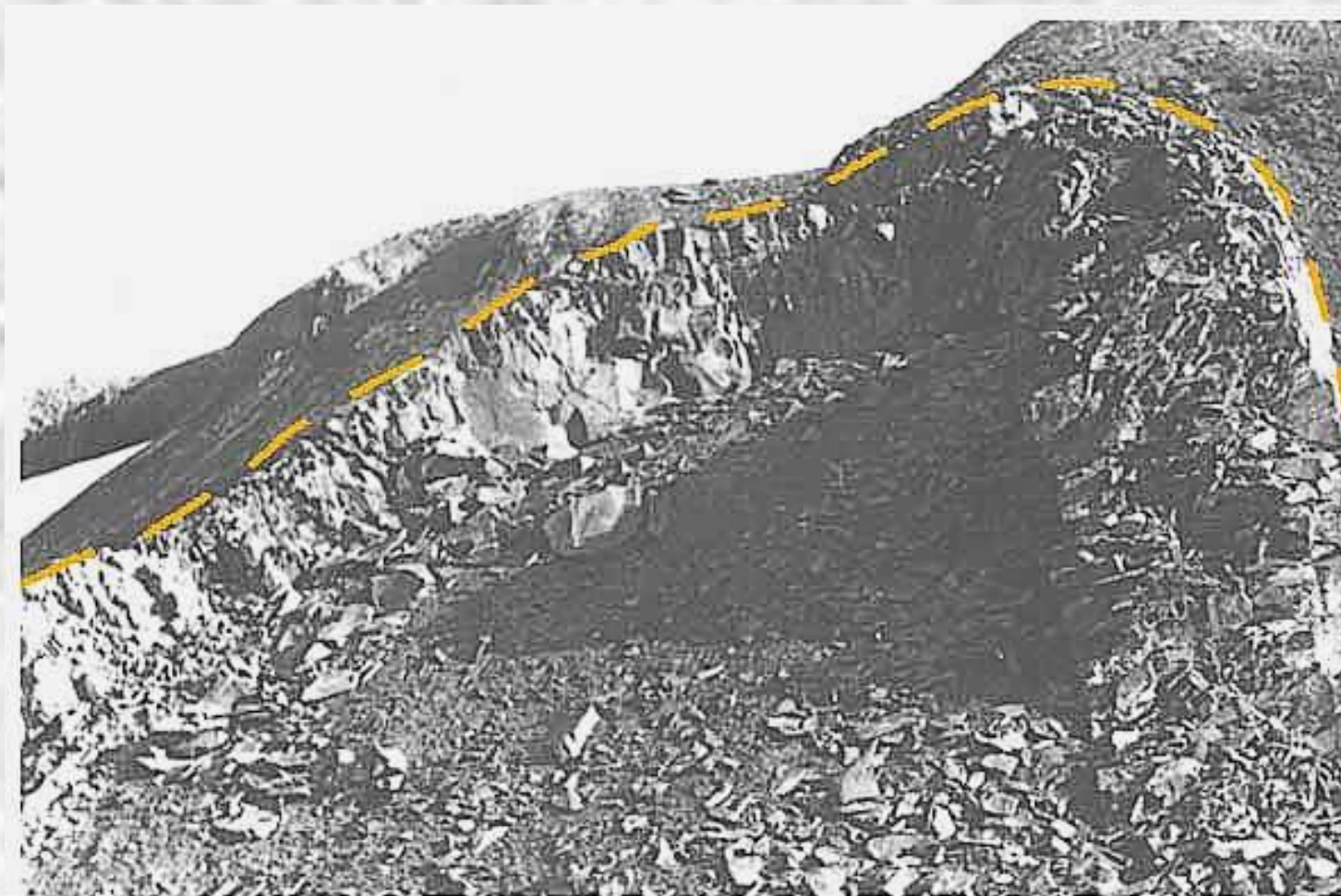
Осевая поверхность наклонная, крылья падают в противоположные стороны под разными углами

Морфологическая классификация складок



На карте наклонная складка асимметрична относительно ОЛ, видимые мощности слоев на крыльях различаются.

Морфологическая классификация складок



Наклонная складка в песчаниках верхнего девона. Новая Земля.

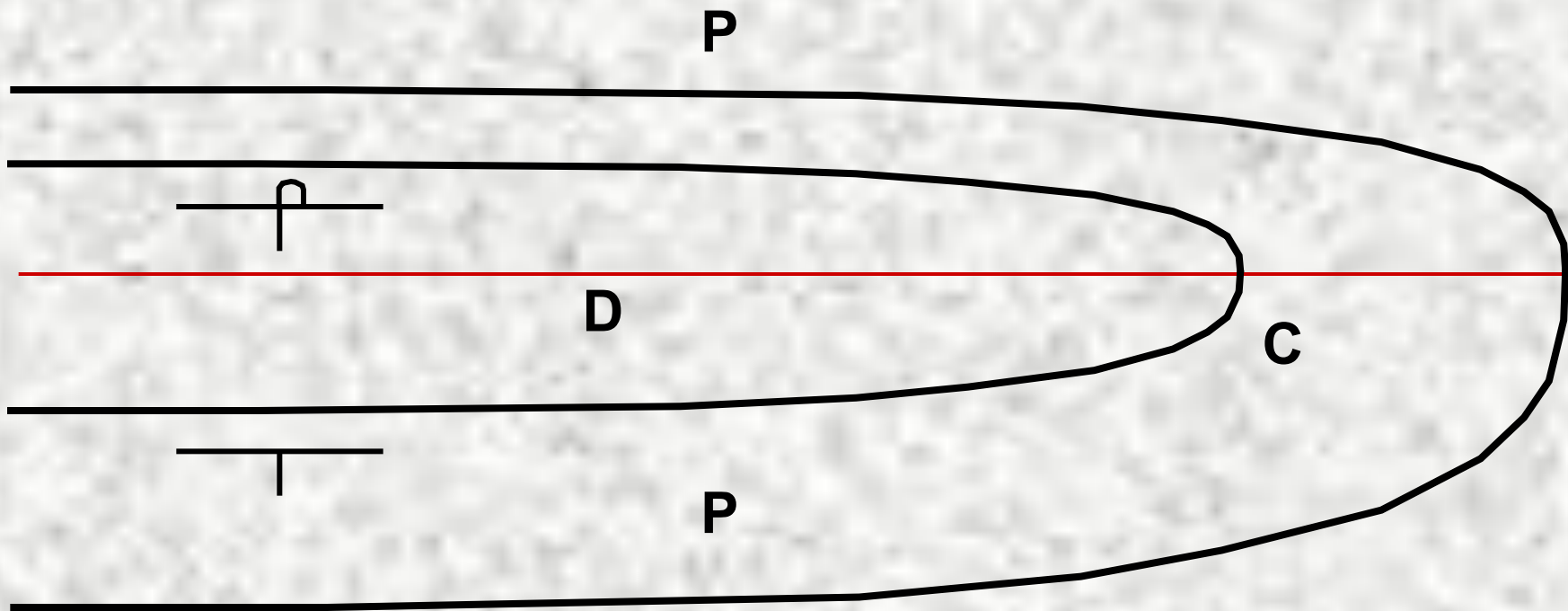
Морфологическая классификация складок

складок



Осевая поверхность наклонная, оба крыла падают в одну сторону, одно из крыльев имеет опрокинутое залегание

Морфологическая классификация складок



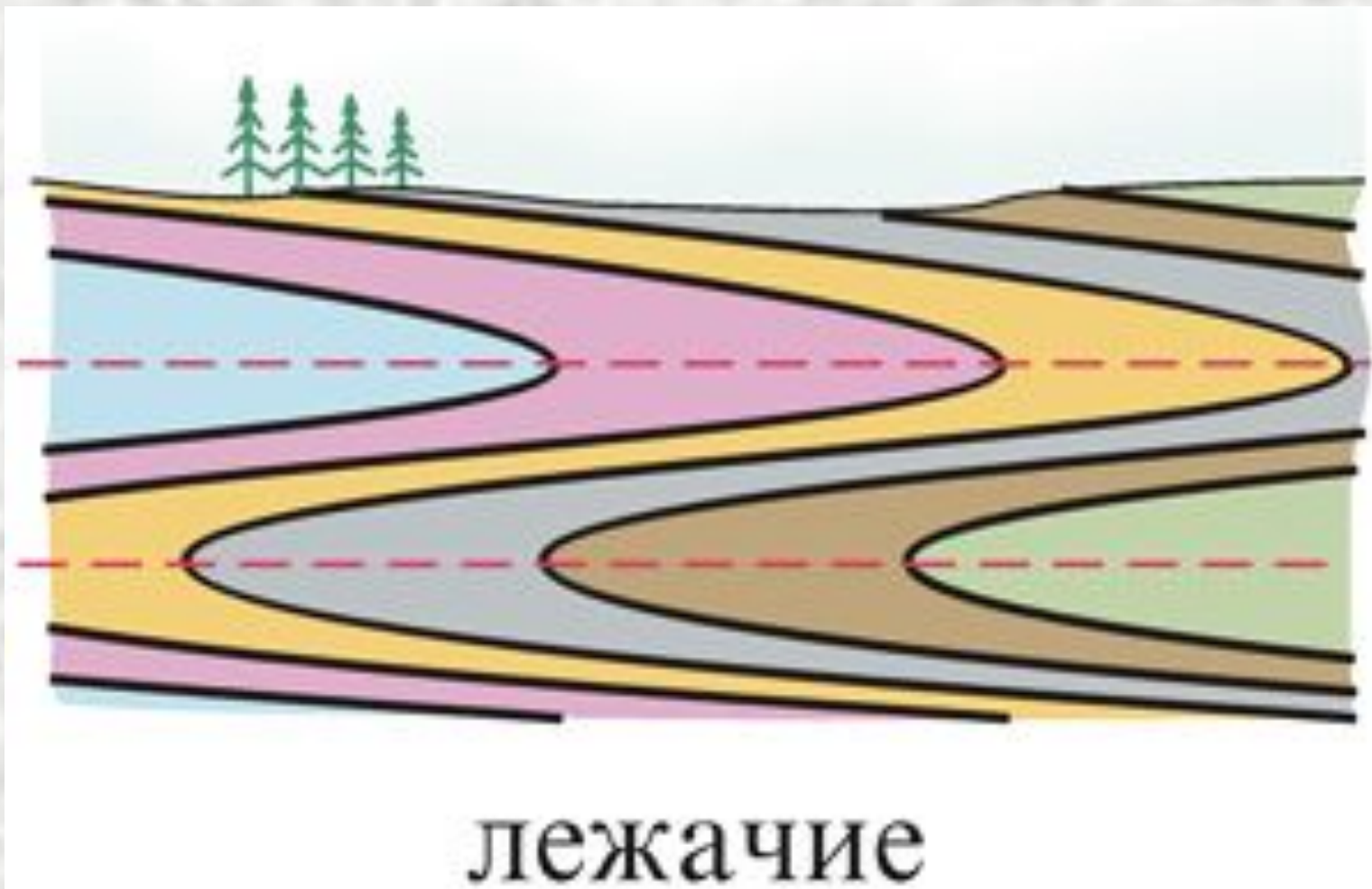
На карте опрокинутая складка распознается по значкам опрокинутого залегания.

Морфологическая классификация складок



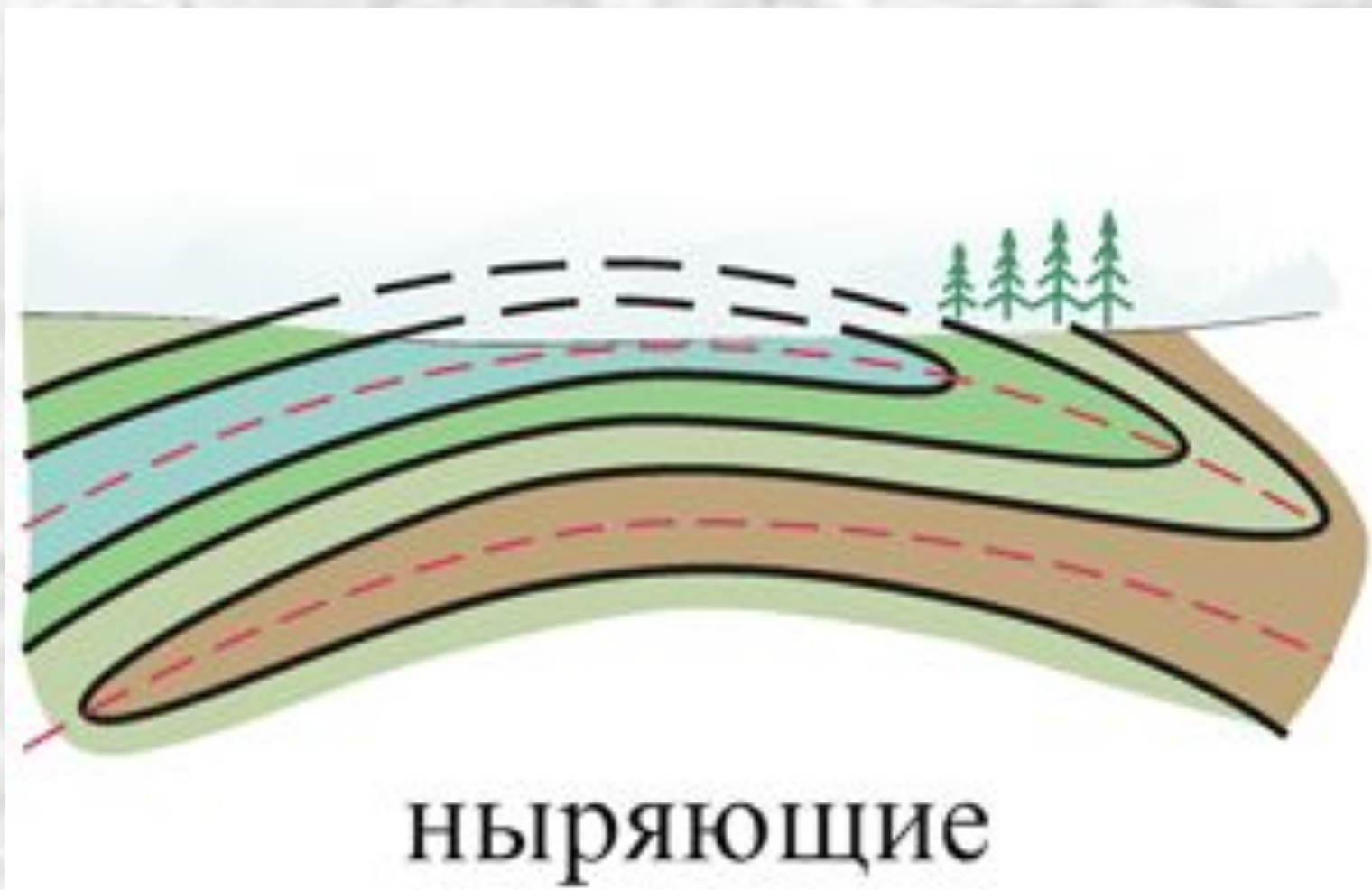
Небольшая **опрокинутая антиклиналь** в песчаниках
силура. Новая Земля

Морфологическая классификация складок



Лежачие складки - осевые поверхности горизонтальные

Морфологическая классификация складок



Ныряющие - осевая поверхность изогнута до обратного наклона

Морфологическая классификация складок

III. По соотношению между крыльями и по форме замка выделяются складки:

- а) обыкновенные (открытые);
- б) изоклиналильные;
- в) веерообразные;
- г) коробчатые (сундучные);
- д) шевронные;
- е) гребневидные

Морфологическая классификация складок

складок



Обыкновенные (открытые) складки - замок округлой формы соединяет крылья, падающие в противоположные стороны

Морфологическая классификация складок



Прямая **открытая антиклинальная складка** в среднекаменноугольных известняках. Новая Земля

Морфологическая классификация складок



Изоклиналильные - крылья складок параллельны друг другу, то есть падают в одну сторону под одним и тем же углом

Морфологическая классификация складок



Изоклиная антиклиналь в черных кремнисто-глинистых сланцах нижнего карбона хорошо прослеживается по светлым прослоям доломитов. Высота обрыва около 12 м. Новая Земля

Морфологическая классификация складок

складок



Веерообразные - сильно сжатые складки, крылья изменяют падение до опрокинутого в противоположные стороны

Морфологическая классификация складок



Веерообразная антиклиналь в известняках карбона. Новая Земля.

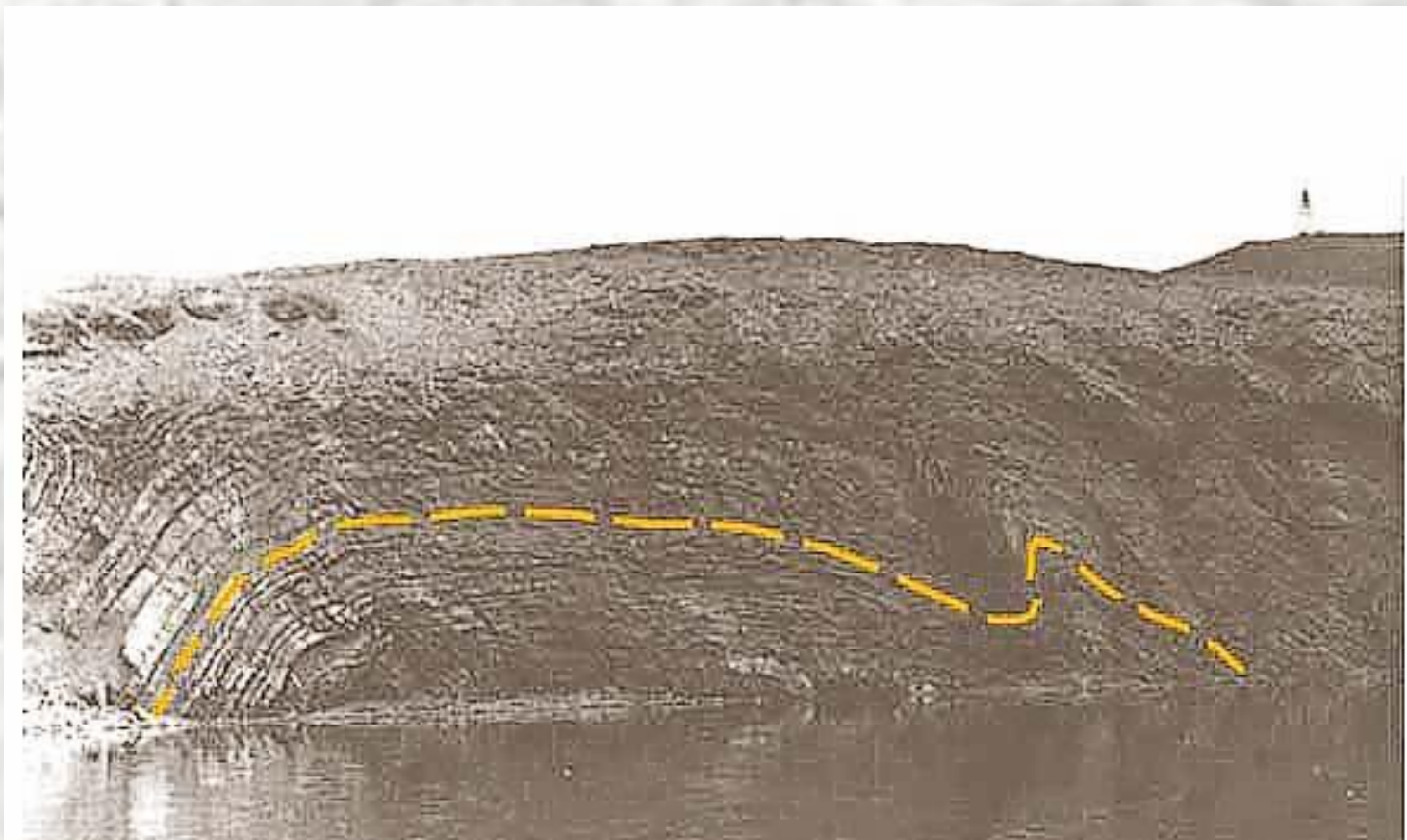
Белой линией выделена фигура человека для масштаба

Морфологическая классификация складок



Коробчатые (сундучные) складки - широкий плоский замок соединяет относительно крутопадающие крылья

Морфологическая классификация складок



Коробчатая складка, осложненная опрокинутыми складками, в известняках нижнего девона. Высота тригонометрического пункта (справа вверху) около 5 метров. Новая Земля

Морфологическая классификация складок

складок



Шевронные (аккордеонные, гармониеобразные) **складки** - плоские крылья и острый замок

Морфологическая классификация складок



Серия шевронных складок в известняках нижнего карбона. Полярный Урал.
(Фото студента группы РМ-04-1 Г. Чернышева)

Морфологическая классификация складок



Гребневидные - узкие острые антиклинали, разделяющие широкие пологие синклинали

Геометрические размеры складок

У складчатых структур можно определить три размера: длину, ширину и высоту:

а) длина - l

- определяется протяженностью осевой линии складки, то есть расстоянием, на которое складка может быть прослежена;

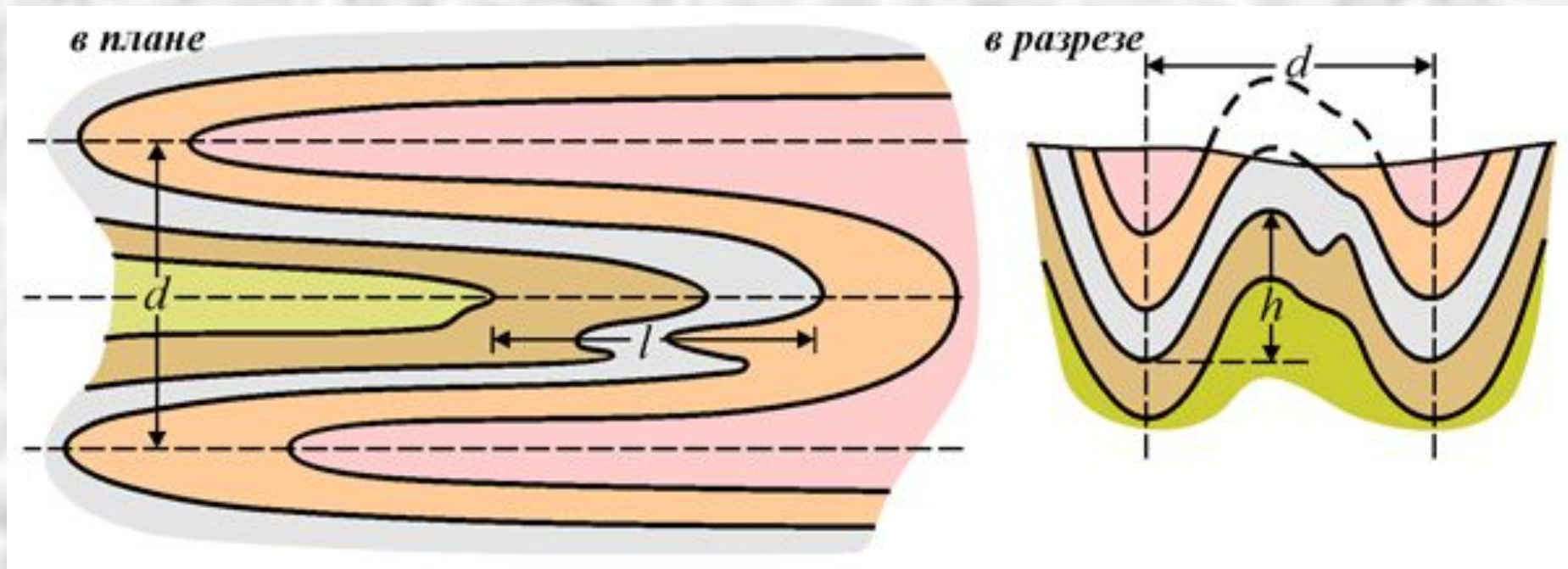
б) ширина - d

- кратчайшее расстояние между осевыми линиями (осями) двух равновеликих смежных антиклиналей (синклиналей);

в) высота - h

- вертикальное расстояние между замками смежных равновеликих антиклиналей и синклиналей (по поверхности одного и того же слоя).

Геометрические размеры складок



Порядок складок

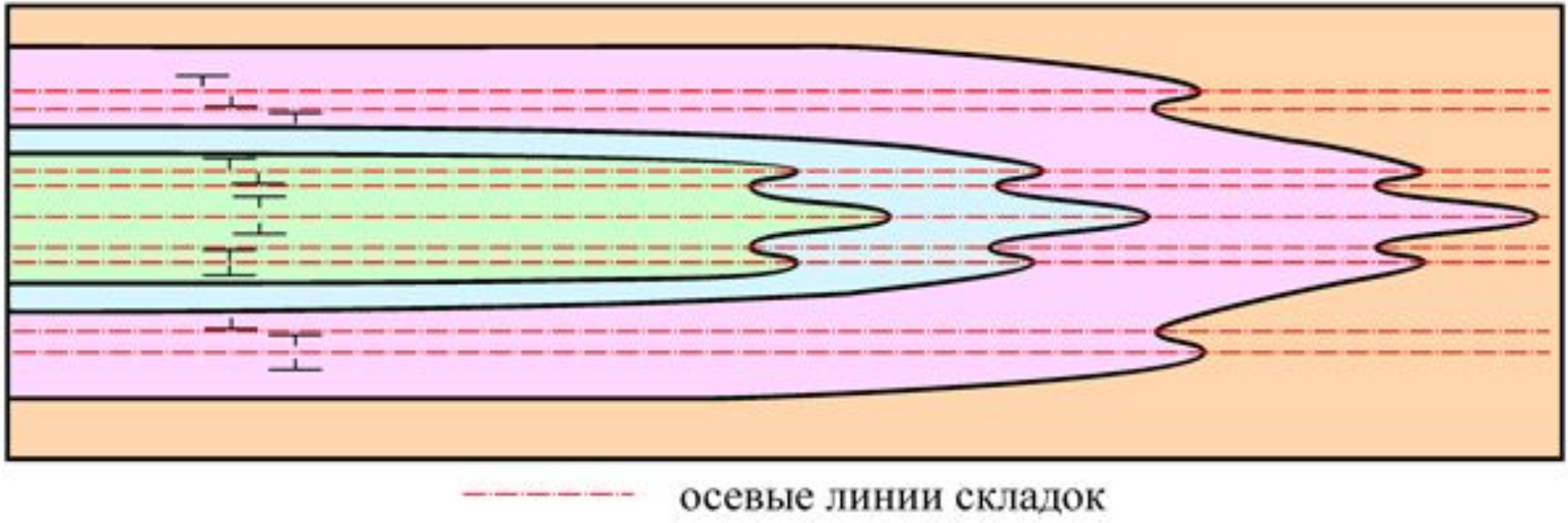
В складчатом комплексе пород совместно присутствуют складки различных размеров.

Для классификации складок по размерам используют термин **"порядок складки"**, обозначающий **относительный размер складки**.

Наиболее крупные складки называют складками **первого порядка**.

Относительно более мелкие складки, осложняющие крылья и замки складок 1-го порядка, называют складками 2-го порядка. Они, в свою очередь, осложняются складками 3-го порядка.

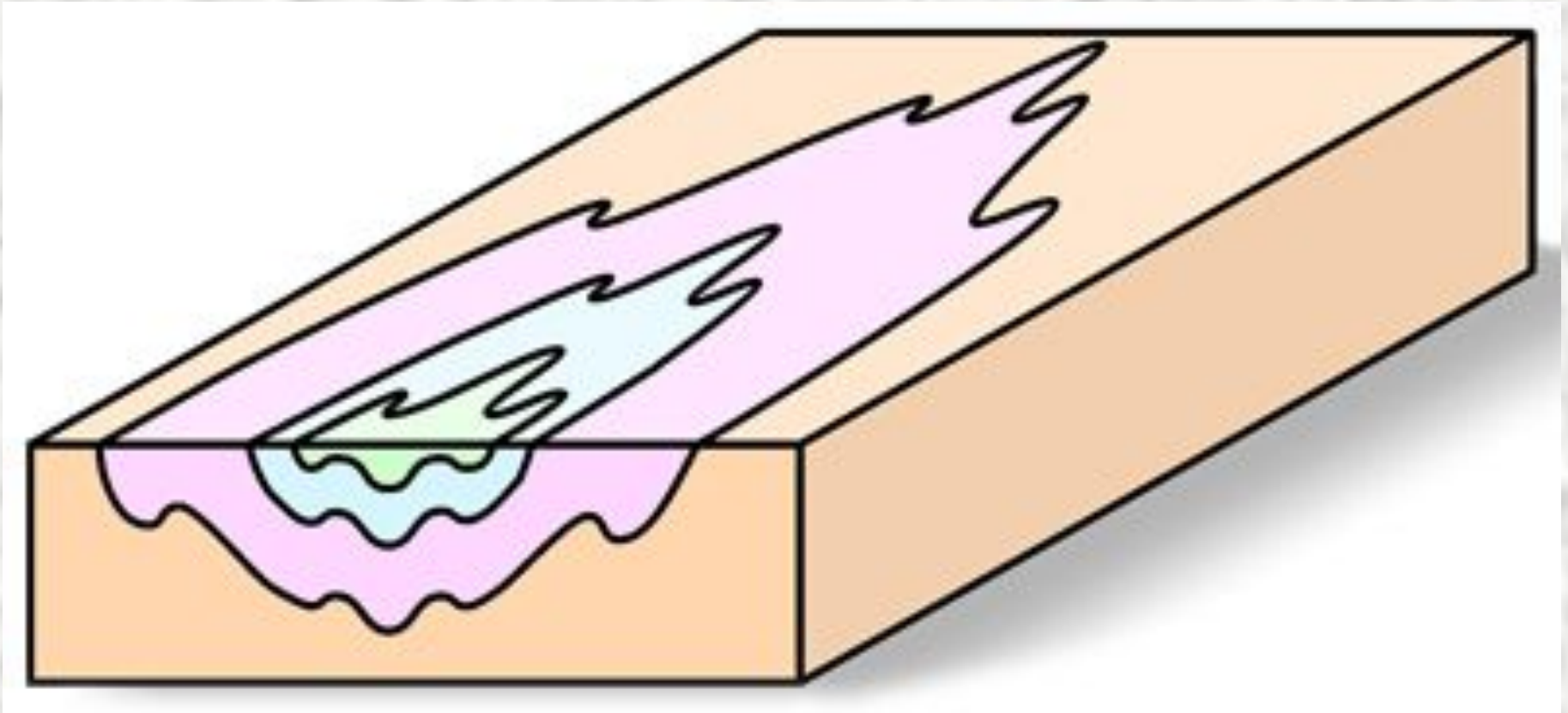
Порядок складок



При построении разрезов надо внимательно следить за тем, чтобы не пропустить складки высоких порядков.

Осевые линии складок высоких порядков будут проходить между знаками элементов залегания, направленными в противоположные стороны, а в случае опрокинутых складок - между знаками нормального и опрокинутого залегания.

Порядок складок



Если линия разреза проходит вблизи замыкания складки, то складки высших порядков обнаруживаются по форме замыкания (существует правило: "Форма складки в плане повторяет форму складки в разрезе").

Концентрические (параллельные) и подобные складки

Различный облик складок обусловлен различными механическими свойствами образующих их пород. При смятии пород в складки происходит послойное перераспределение материала и проскальзывание между слоями.

Если смятию подвергаются **пластичные породы**, преобладающим процессом является послойное перераспределение материала. При этом **мощность слоев изменяется - увеличивается в замках складок и уменьшается на крыльях**.

Если сминаются **жесткие, вязкие породы**, то складкообразование сопровождается межслоевым проскальзыванием **без существенного изменения мощностей**

Концентрические (параллельные) и подобные складки



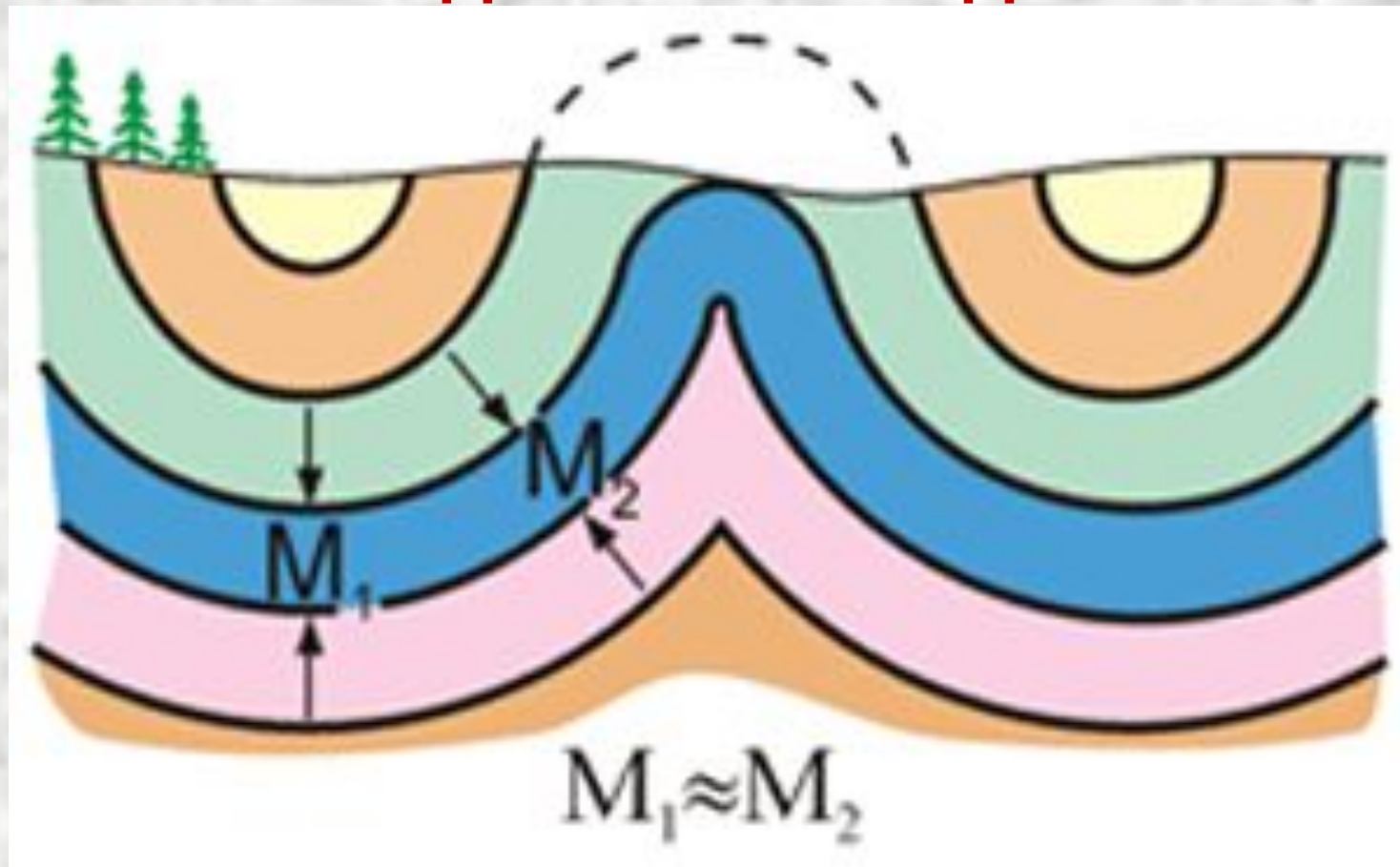
В первом случае возникают **подобные** складки, у которых форма с глубиной не изменяется, а мощность в замках больше, чем на крыльях (но вертикальные мощности на крыльях и в замках равны)

Концентрические (параллельные) и подобные складки



Мелкие подобные складки

Концентрические (параллельные) и подобные складки



Во втором случае образуются **параллельные**, или **концентрические** складки, у которых мощности слоев в замках и на крыльях одинаковы, но с глубиной изменяется форма

Концентрические (параллельные) и подобные складки

Развитие концентрических складок предполагает наличие на глубине какого либо пластичного слоя, по которому происходит срыв и скольжение.

Подобные складки формируются преимущественно в глубинных условиях, параллельные (концентрические) - чаще в приповерхностных условиях.

Подобные и параллельные складки в чистом виде редки, чаще наблюдается смешение признаков тех и других.

Дисгармоничная складчатость

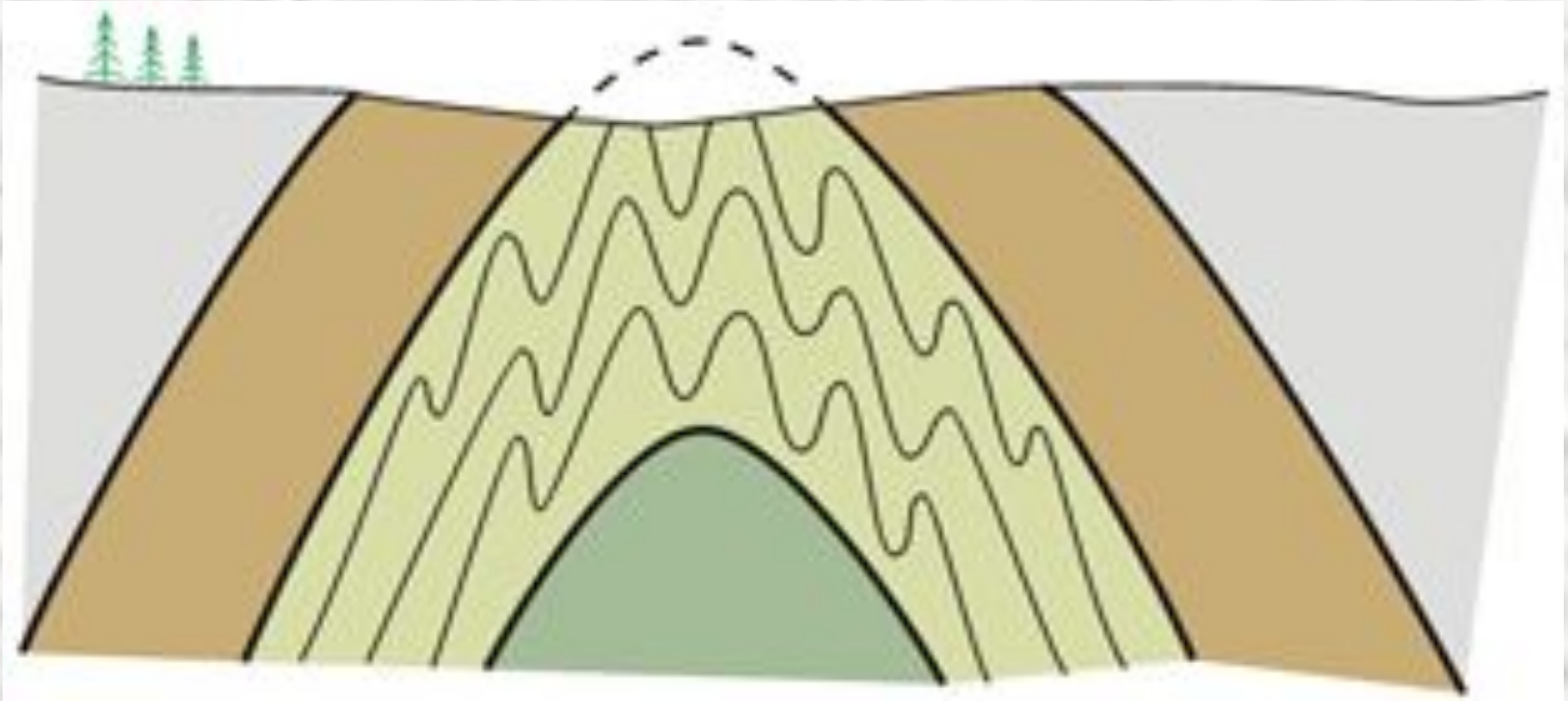
Дисгармоничная складчатость - это сочетание одновременных по возникновению, но различных по форме складок, развитых в разнородных по составу горных породах.

Наиболее интенсивная складчатость возникает в слоистых толщах пластичных пород (аргиллитов, гипсов и др.).

Напротив, в мощных толщах жестких обломочных и вулканогенных пород возникают крупные плавные складки.

При чередовании в разрезе тех и других пород возникают дисгармоничные складки.

Дисгармоничная складчатость



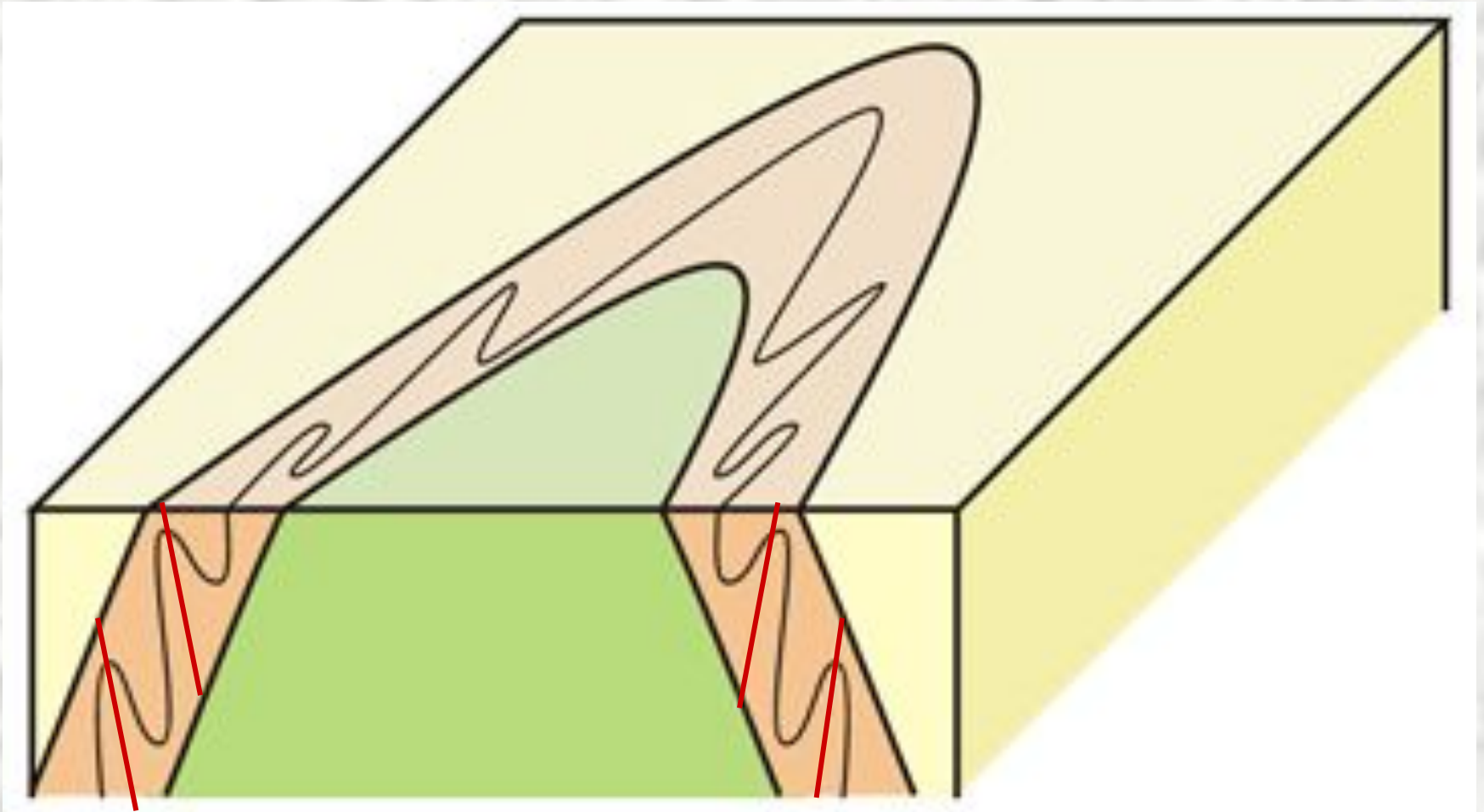
Особенно резко дисгармония выражается при выжимании пластичных пород в замки складок.

Складки волочения

При изгибе слоистой толщи из-за проскальзывания слоев к каждому из них приложена пара сил - одна к кровле, направлена к замку антиклинали, другая - к подошве, направлена к замку синклинали.

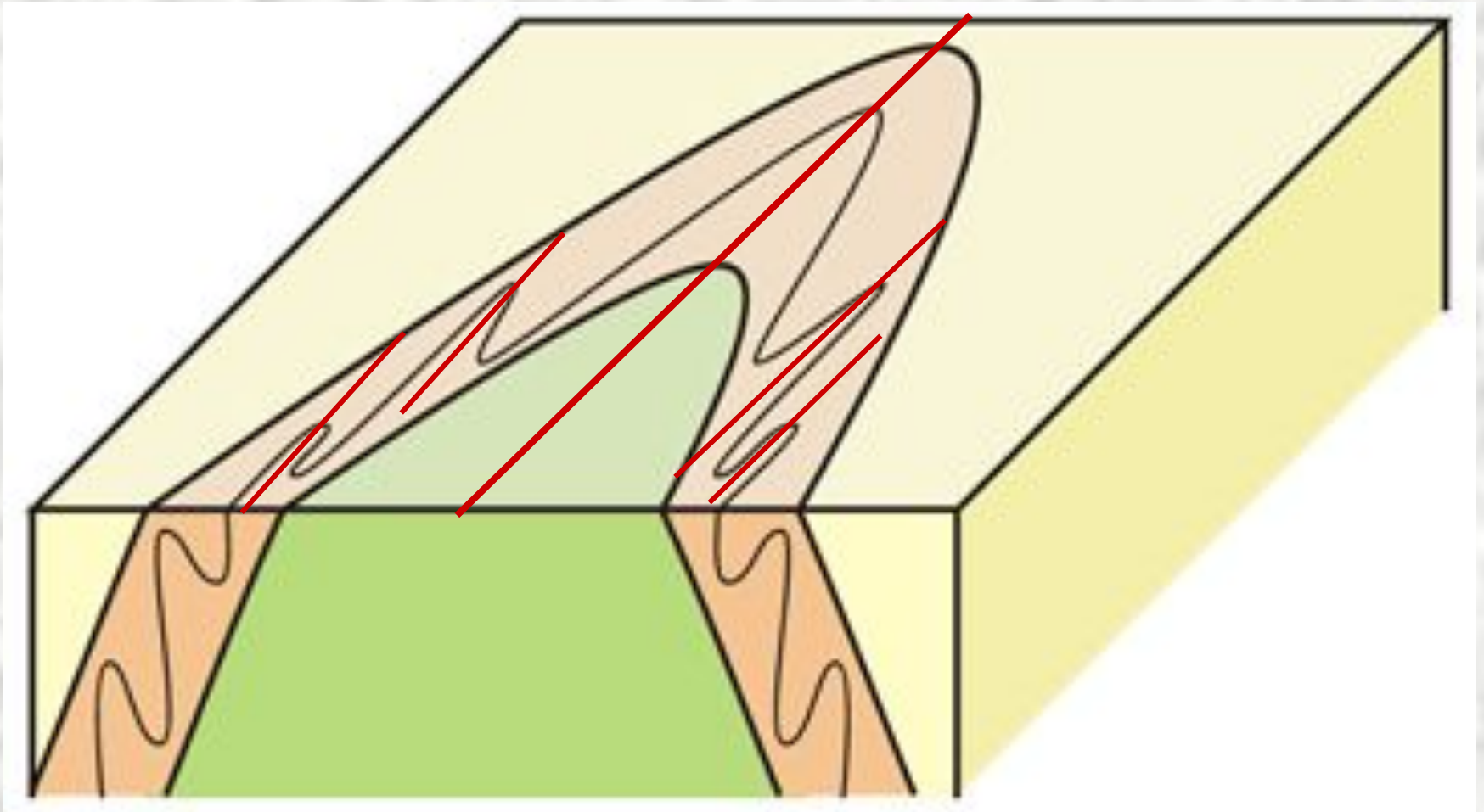
При чередовании жестких и пластичных пород в последних при этом образуются мелкие дисгармоничные складки, называемые **складками волочения**

Складки волочения



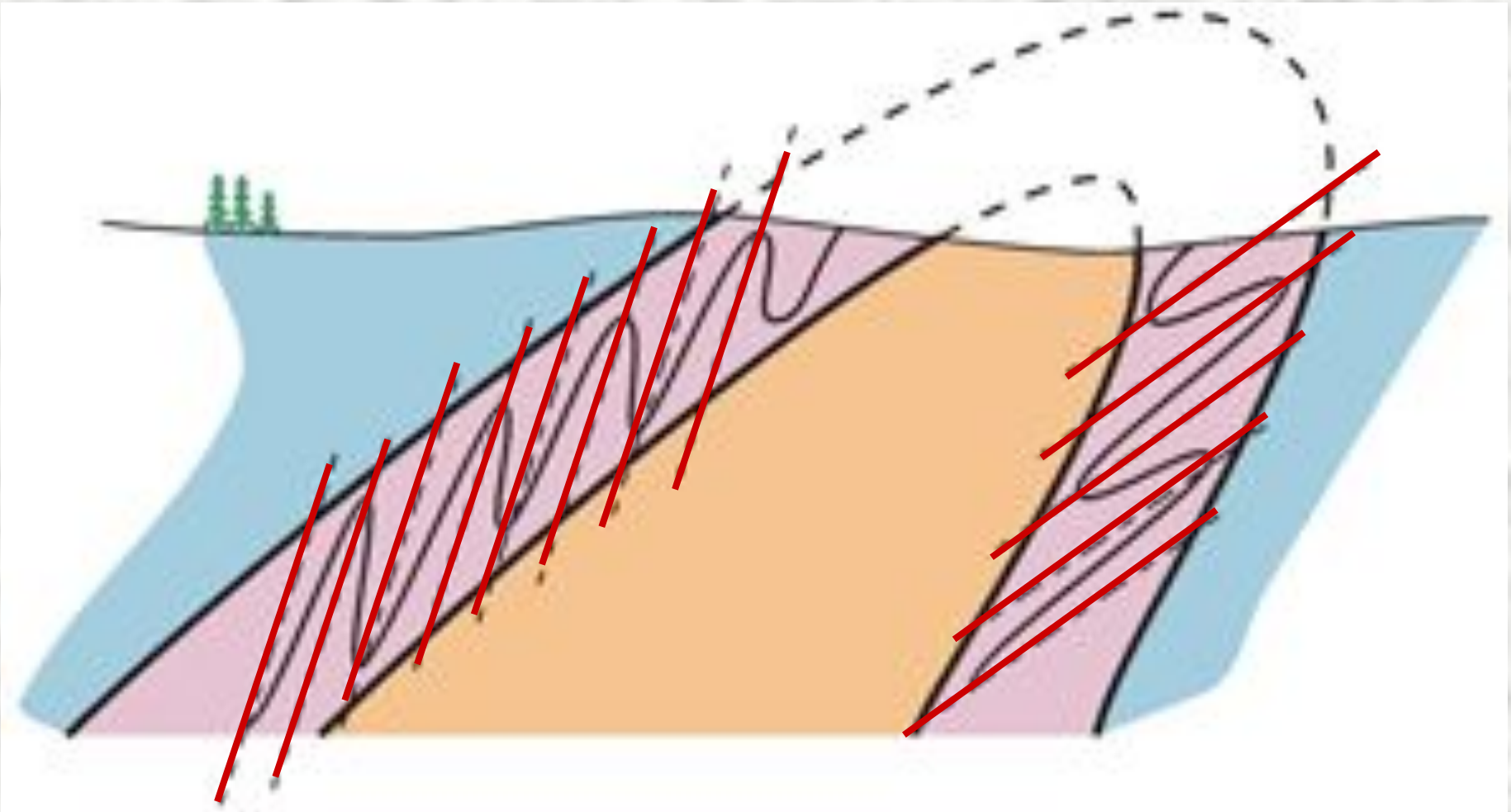
В разрезе осевые поверхности складок волочения наклонены под одним и тем же углом к поверхностям наслоения ограничивающих их слоев.

Складки волочения



В плане осевые линии складок волочения приблизительно параллельны осевой линии основной складки, их шарниры погружаются в одну и ту же сторону.

Складки волочения



В нормальном крыле осевые поверхности складок волочения круче, а в опрокинутом - положе поверхностей наслоения ограничивающих их слоев

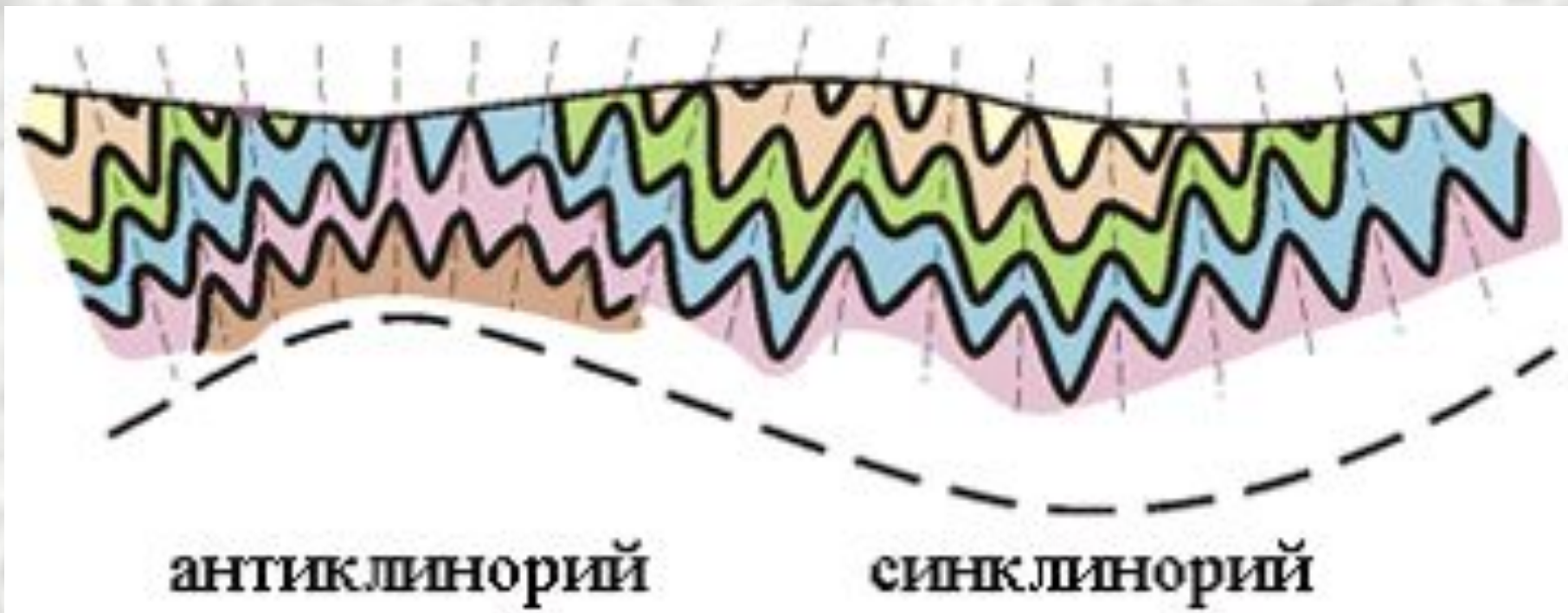
Антиклинории и синклинории

В складчатых областях отдельные складки группируются в крупные складчатые структуры - **антиклинории и синклинории**.

В центральных частях антиклинориев обнажаются **наиболее древние породы**, а поверхность, огибающая замки складок, имеет **выпуклую кверху** форму.

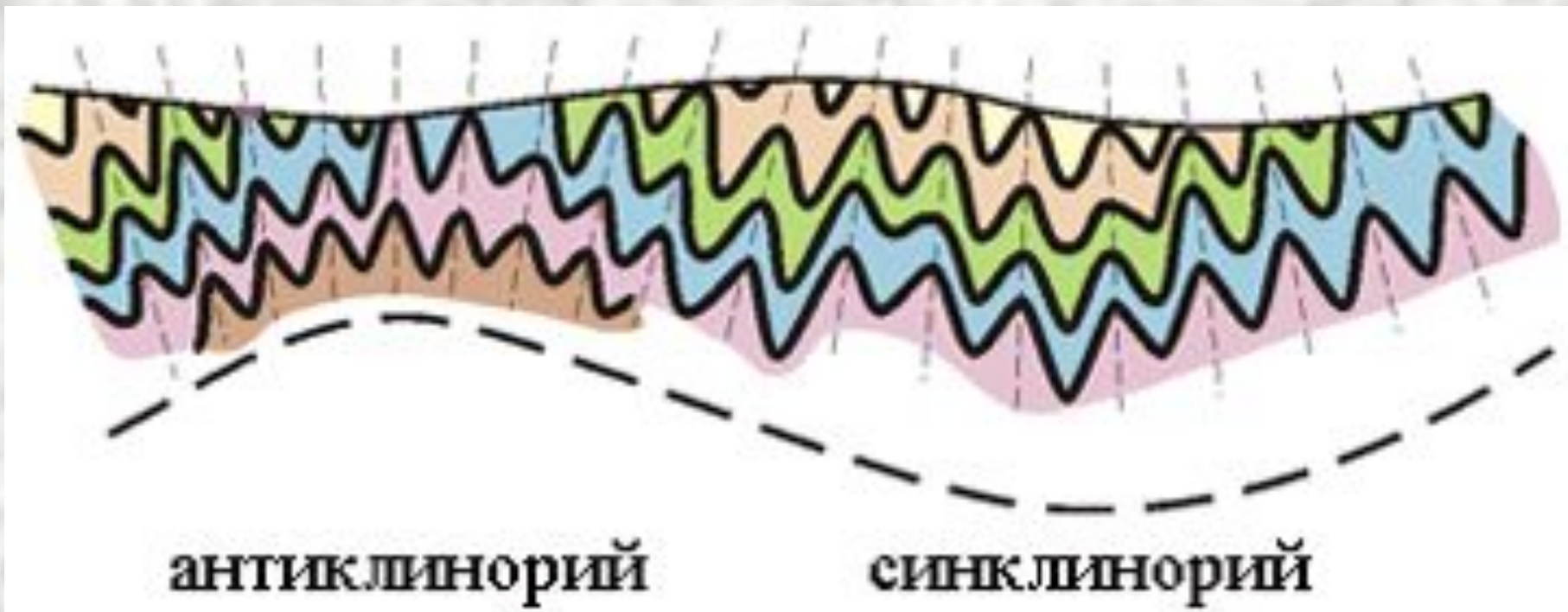
В центральных частях синклинориев обнажаются **наиболее молодые породы**, а поверхность, огибающая замки складок, имеет **вогнутую** форму.

Антиклинории и синклинории



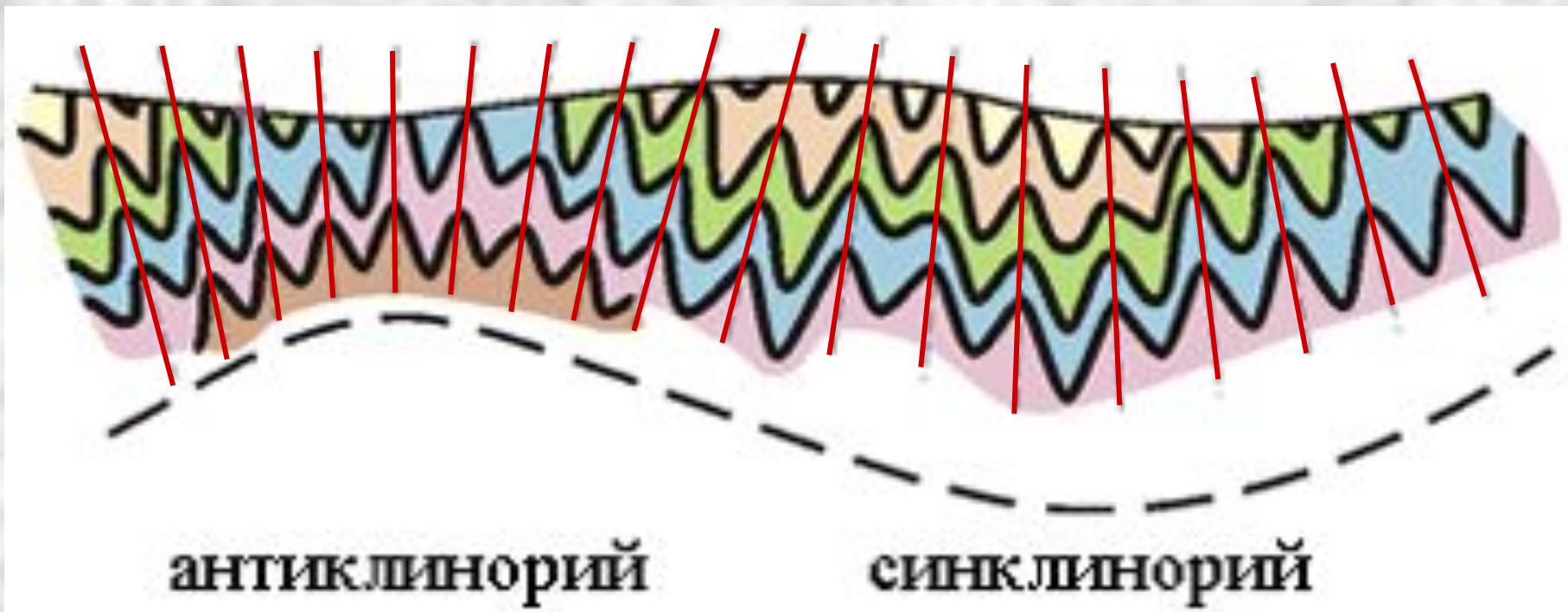
При **прямом** (унаследованном) развитии антиклинории возникают на месте поднятий внутри геосинклинальной системы, а синклинории - на месте прогибов.

Антиклинории и синклинории



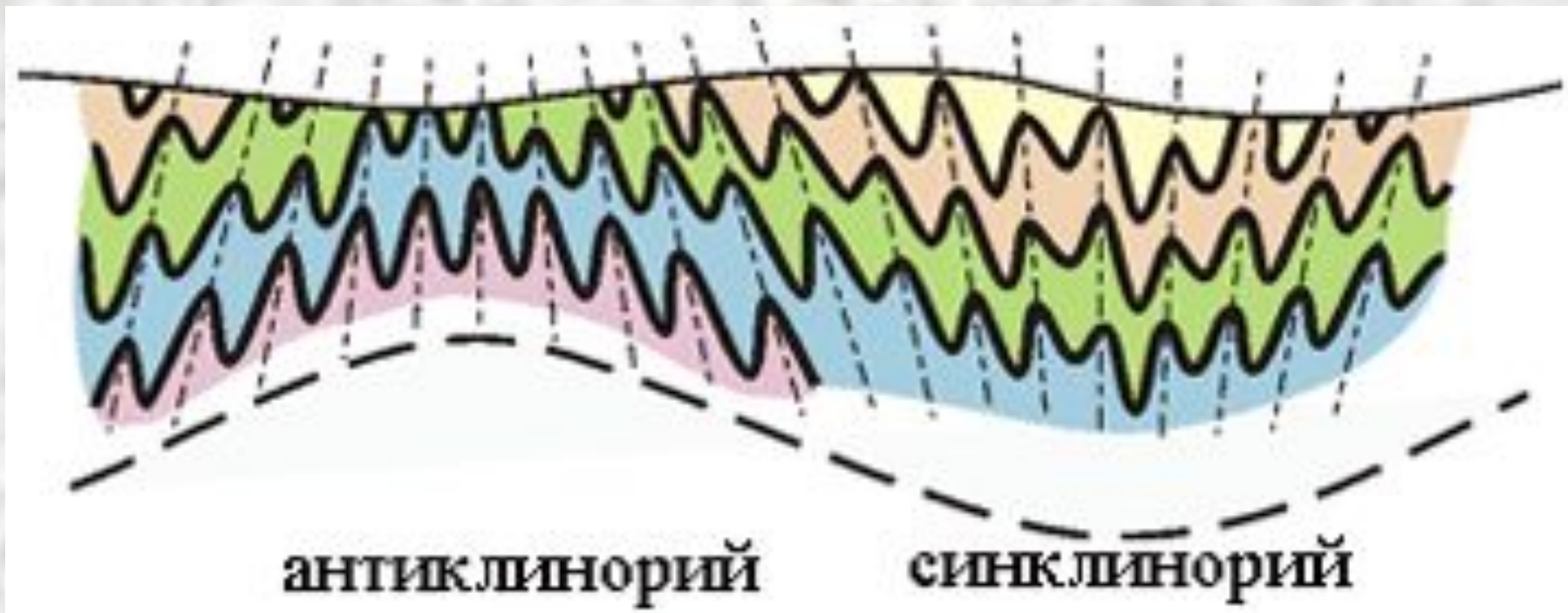
Поэтому в синклинориях отложения более тонкозернистые (глубоководные) и имеют большую мощность, чем в антиклинориях.

Антиклинории и синклинории



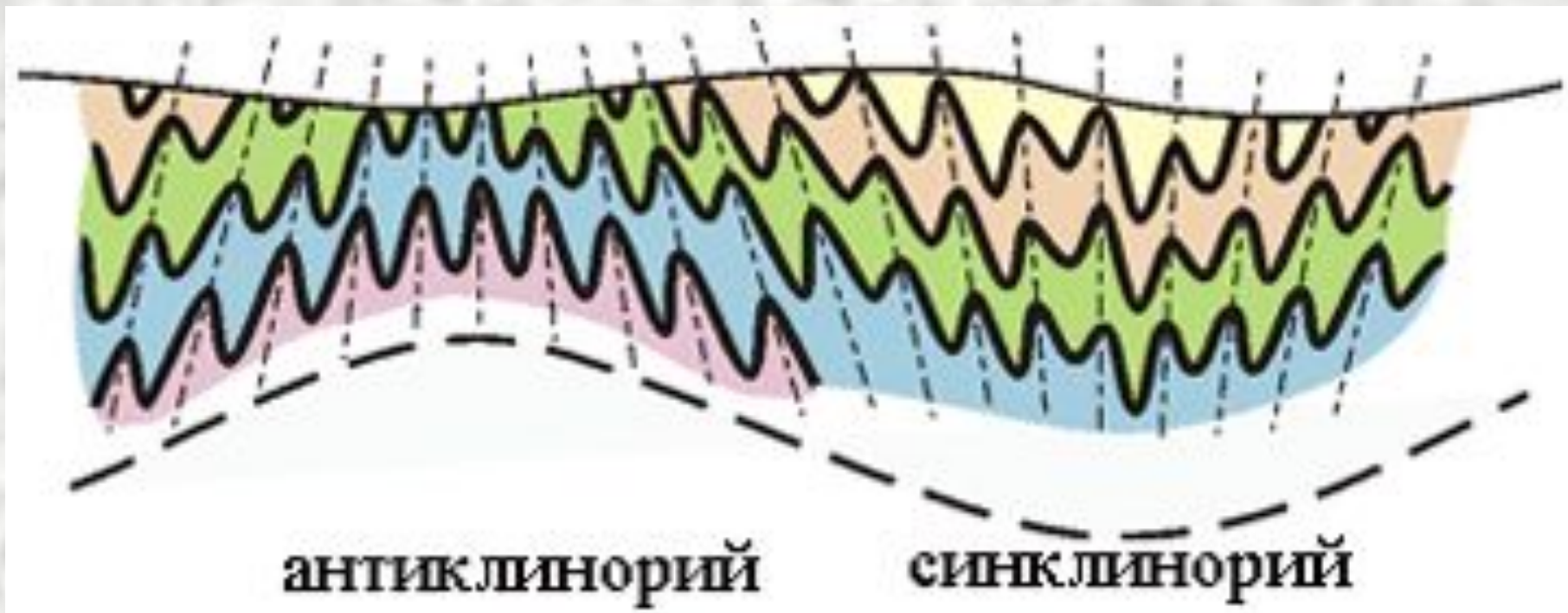
Осевые поверхности составляющих их складок чаще всего расположены **веерообразно**.

Антиклинории и синклинории



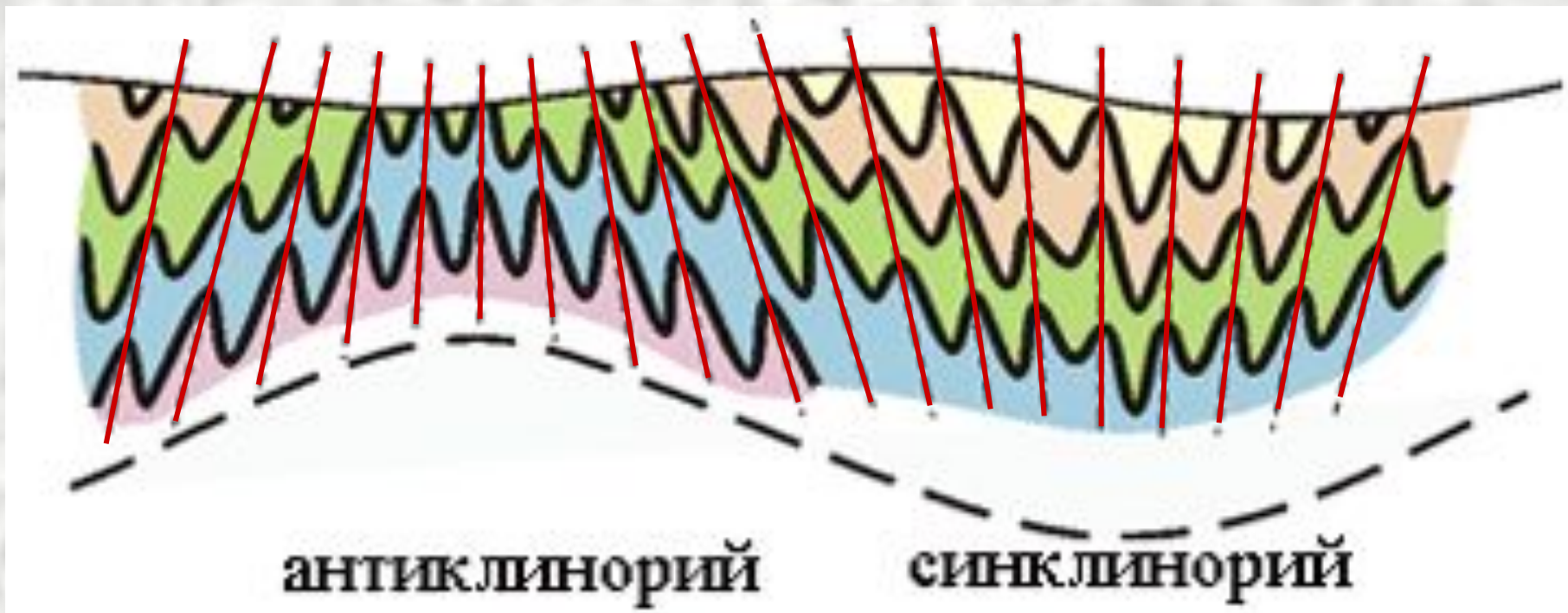
При **обращенном** развитии антиклинории возникают на месте прогибов, а синклинории - на месте поднятий.

Антиклинории и синклинории



Распределение мощностей и фаций в этом случае обратное - в антиклинориях отложения более тонкозернистые (глубоководные) и имеют большую мощность, чем в синклинориях.

Антиклинории и синклинории



Осевые поверхности складок часто имеют **обратно-веерообразное** расположение.

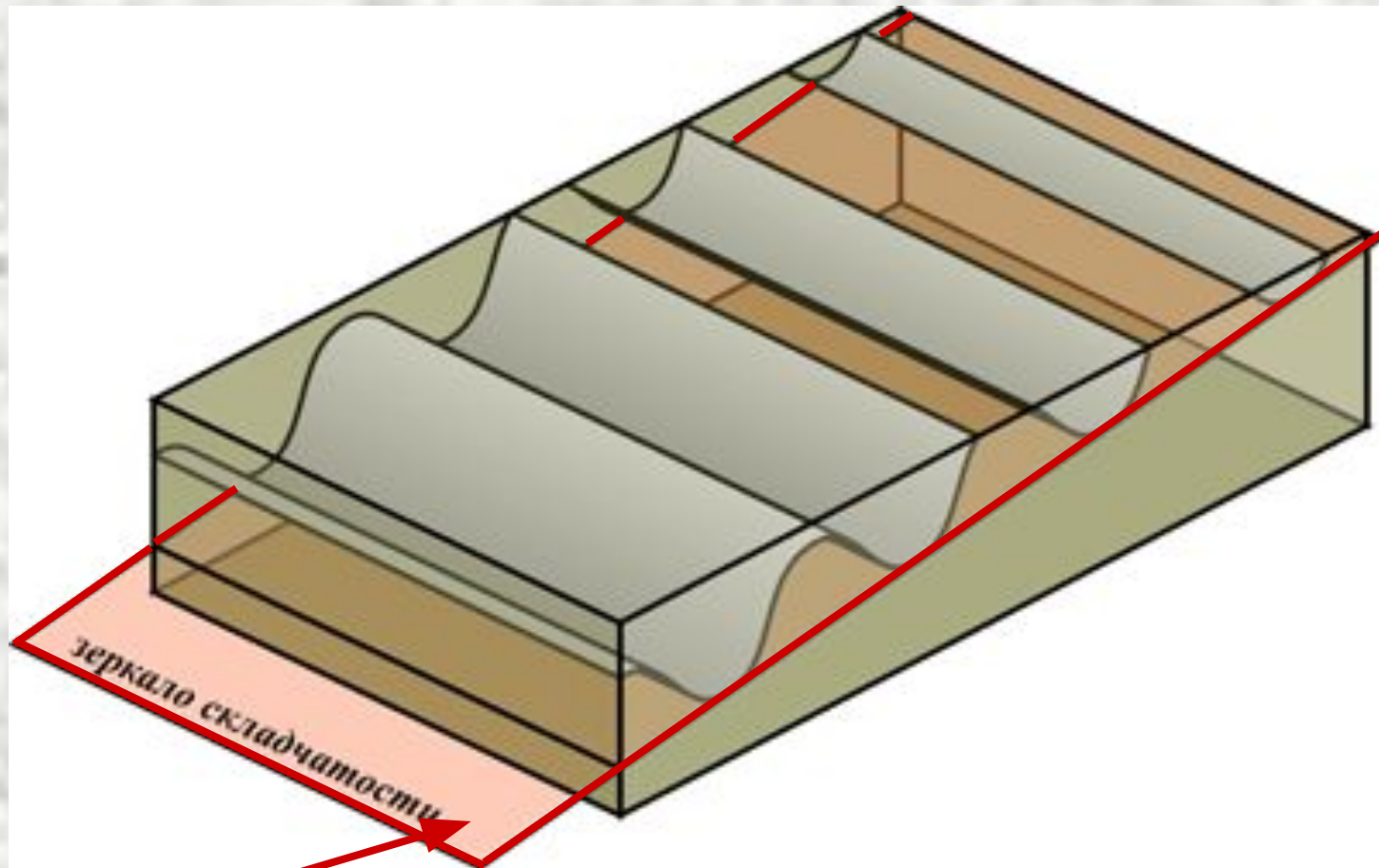
Зеркало складчатости и его использование при построении разрезов складчатых структур

Поверхность, огибающая замки складок, именуется зеркалом складчатости.

Точнее, **зеркало складчатости** - это **поверхность, проходящая через шарниры складок одного порядка по поверхности одного слоя.**

В направлении погружения зеркала складчатости ядра складок сложены все более молодыми породами.

Зеркало складчатости и его использование при построении разрезов складчатых структур



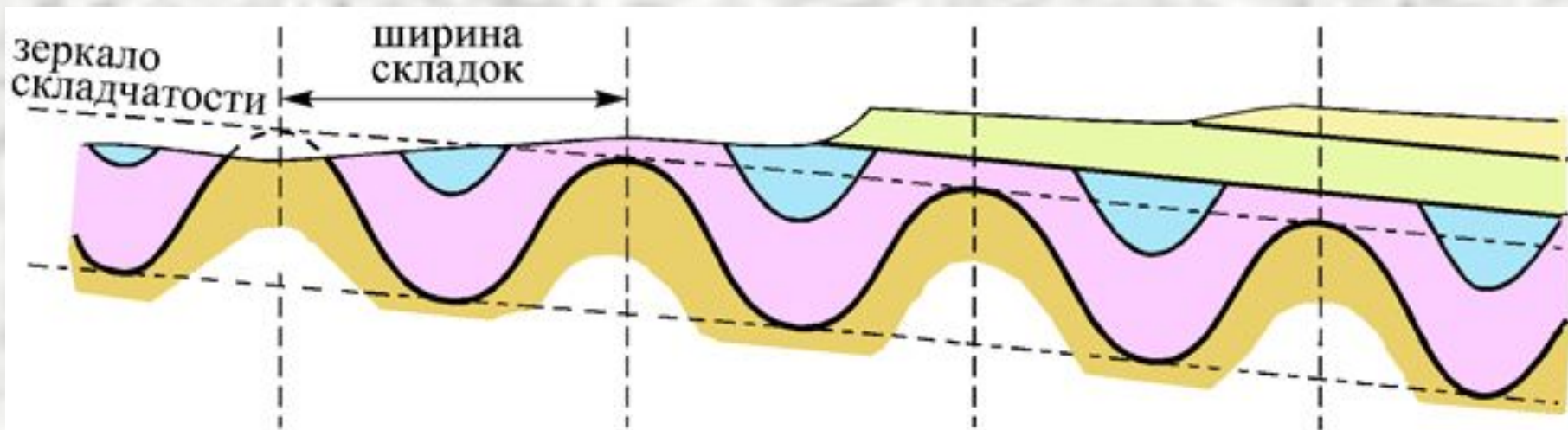
Зеркало складчатости

Зеркало складчатости и его использование при построении разрезов складчатых структур

При построении разрезов замки синклиналей и антиклиналей, образованные одной и той же слоевой поверхностью, должны совпадать с зеркалами складчатости.

Это особенно важно при построении складок, перекрытых породами вышележащего структурного этажа.

Зеркало складчатости и его использование при построении разрезов складчатых структур



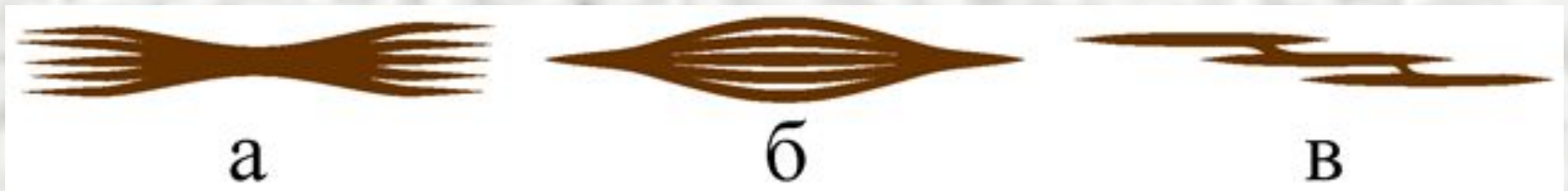
Определив положение зеркала складчатости, ширину и форму складок на обнаженной части территории, мы экстраполируем эти данные на закрытую площадь.

Виргация складок

Под *виргацией* понимается *расщепление осевых линий складок* с образованием из одной складки нескольких складок того же порядка - *пучка складок*.

Это явление наблюдается обычно на участках погружения и затухания складчатой зоны.

Виргация складок



Складки могут расходиться в одном или двух направлениях (**а**), либо расходиться и сходиться, образуя **миндалевидные пучки** (**б**), либо соединяться диагональной перемычкой, образуя **кулисообразные пучки** (**в**).

Динамические условия образования складок

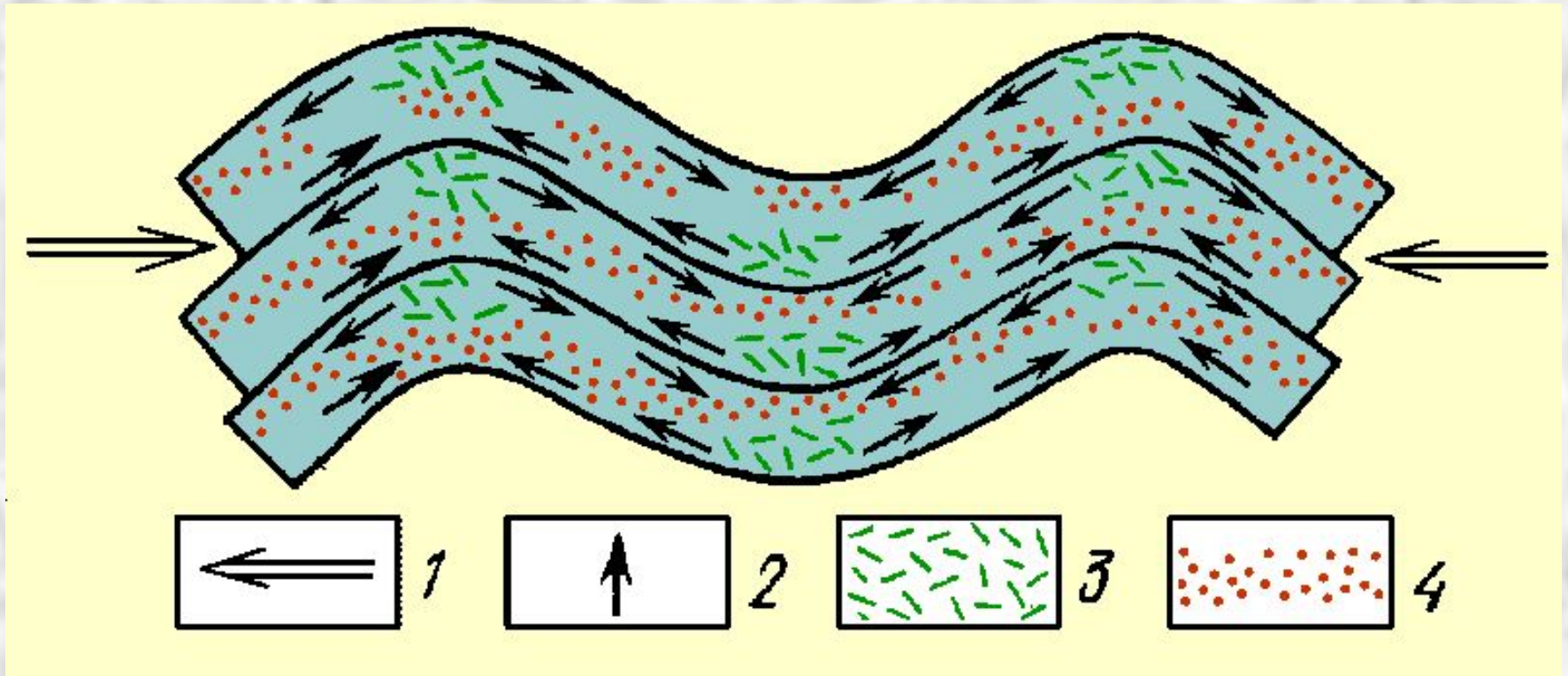
Различия в динамической обстановке позволяют разделить складки на **две крупные группы**:

- **складки изгиба;**
- **складки течения.**

Складки изгиба развиваются при **продольном сжатии, поперечном изгибе и воздействии пары сил.**

Складки продольного изгиба

Продольный изгиб вызывается силами, ориентированными обычно горизонтально и действующими вдоль слоистости



1 — направления действующих сил; **2** — направления перемещения пород; **3** — участки растяжения; **4** — участки сжатия

Складки продольного изгиба

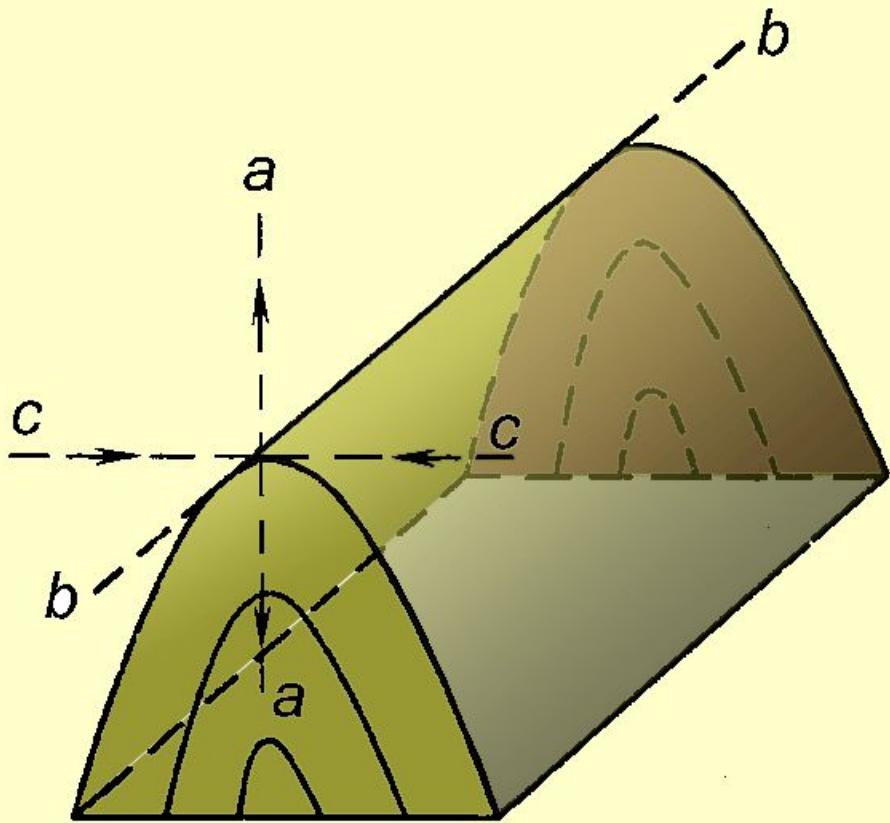
При скольжении вещество перераспределяется в пределах одной складки от изгибов с относительно большим радиусом кривизны к изгибам с меньшим радиусом.

Скольжение происходит на фоне общего перемещения вещества в направлении, перпендикулярном к действию сжимающих усилий, в участки с относительно меньшим давлением

Складки продольного изгиба

При образовании складок продольного изгиба происходит общее сжатие пород в направлении, нормальном к осевым поверхностям складок, и удлинение вдоль осевой поверхности.

Складки продольного изгиба



В прямых складках ось максимального сокращения **(c)** располагается горизонтально и перпендикулярно к простиранию складок, ось максимального удлинения **(a)** будет вертикальной, а средняя ось деформации **(b)** вытянется по направлению складки

Складки продольного изгиба

Ширина и высота складок продольного изгиба возрастает с увеличением мощности слоев и вязкости пород.

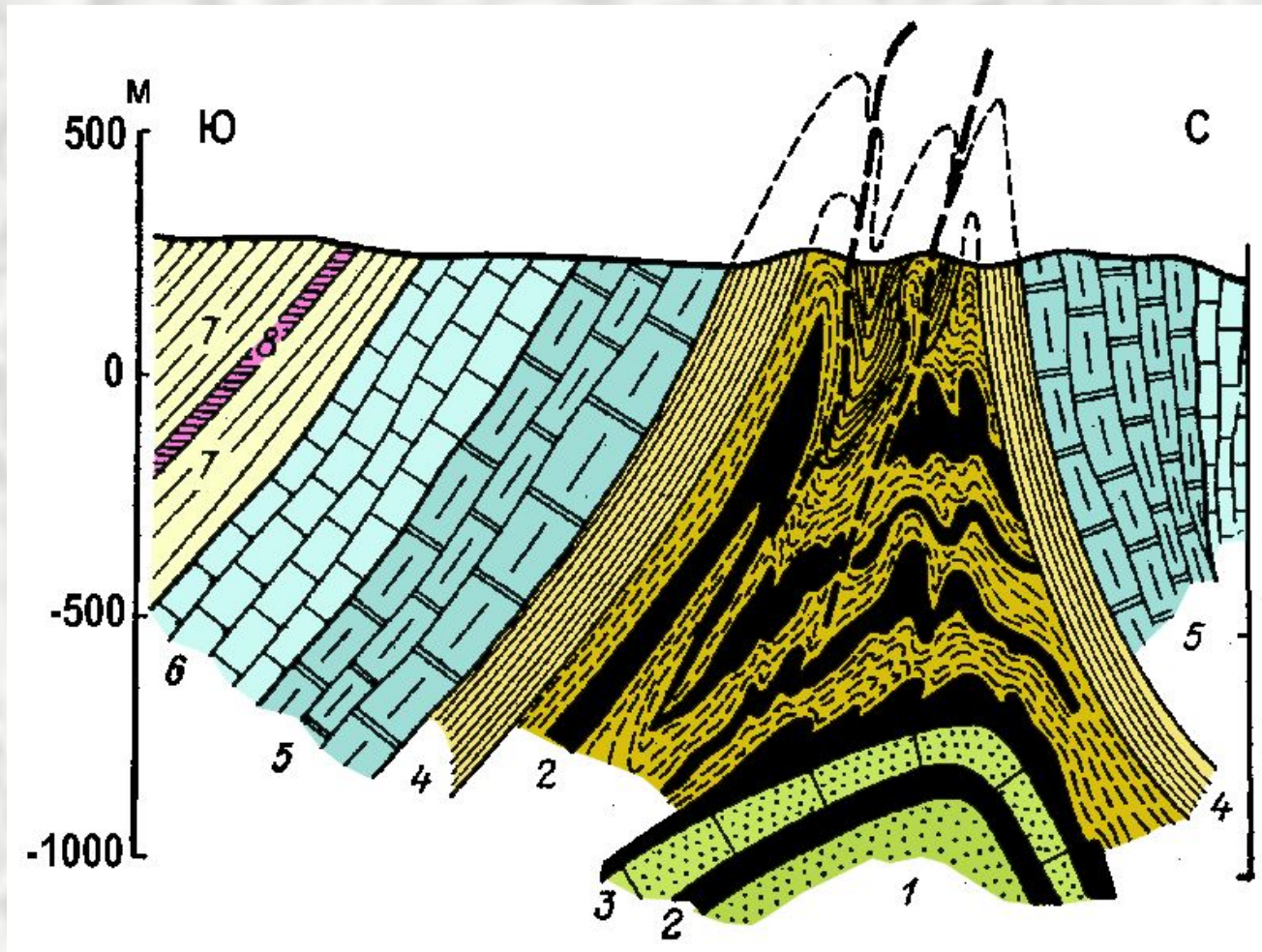
В маломощных слоях складки обычно невелики по размерам.

По отношению к сжимающим усилиям оси складок продольного изгиба ориентируются в поперечном направлении. Однако в вертикальных сечениях они могут иметь различное положение

Складки продольного изгиба

При однообразном составе и двустороннем сжатии образуются симметричные складки, нарушения концентричности или подобия в которых могут быть вызваны **различиями в физических свойствах** отдельных слоев.

Складки продольного изгиба



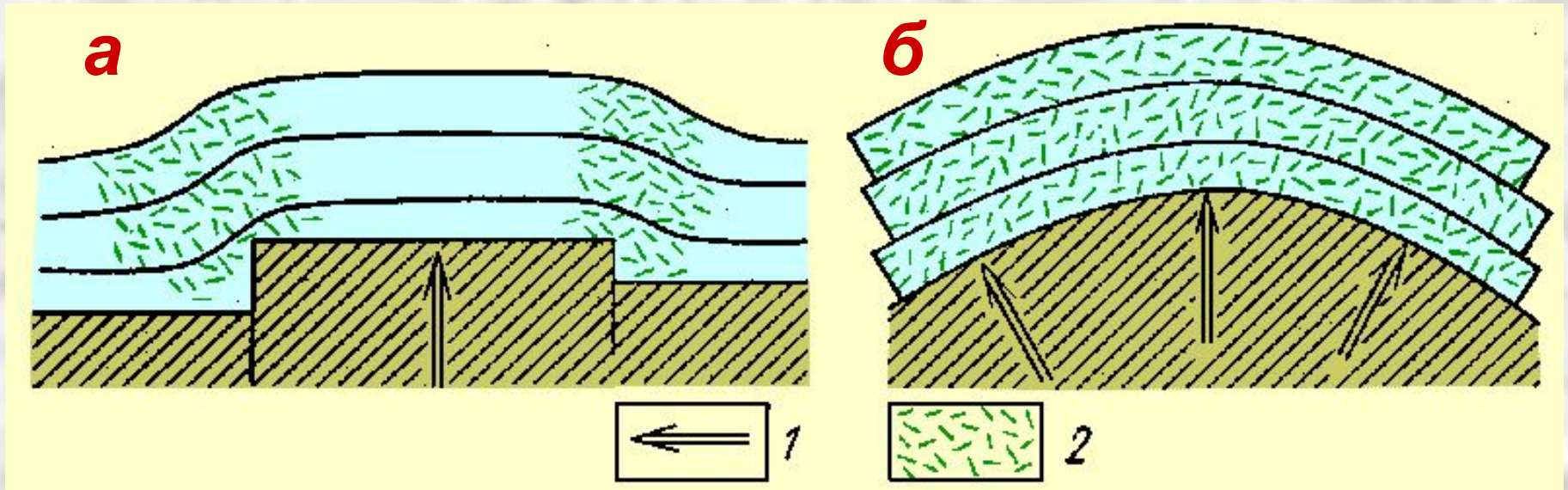
Дисгармоничное смятие пластических пород в ядре антиклинали, крылья которой сложены более жесткими породами, во Флишевых Карпатах (по Свидзинскому)

Складки поперечного изгиба

При **поперечном** равномерном изгибе силовое воздействие ориентировано **перпендикулярно к плоскости напластования**.

Образованию складок на начальных стадиях и в этом случае способствует скольжение слоев, но направленное иначе, чем в складках продольного изгиба

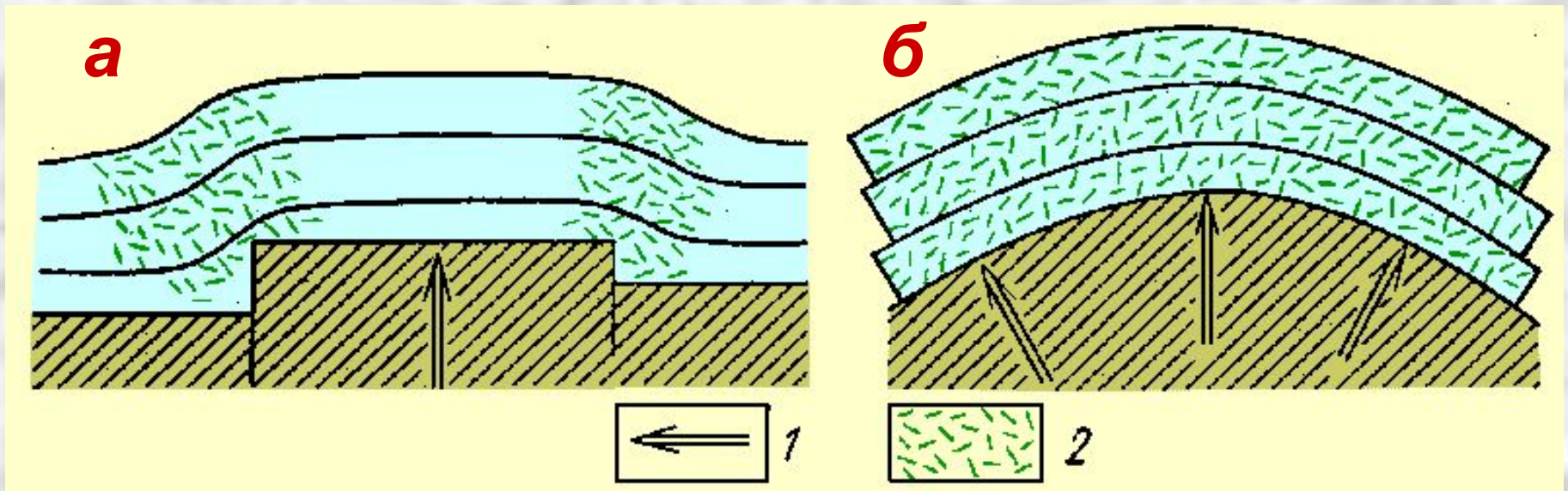
Складки поперечного изгиба



1 — направления действующих сил; **2** — участки растяжения.

При поперечном равномерном изгибе повсеместно будет наблюдаться неодинаковое по интенсивности растяжение пород(**б**).

Складки поперечного изгиба



Если силы, вызывающие образование складок поперечного изгиба, сосредоточены вдоль определенных линий, возникают сложные деформации, повторяющие те линейные направления, от которых передаются усилия (**а**).

Участки с интенсивным растяжением в таких складках могут локализоваться в виде флексур.

Складки, образующиеся при действии пары сил

Складки, образующиеся при действии пары сил (сдвиговых деформациях), имеют ряд отличительных черт.

Если пара сил действует в горизонтальной плоскости, **оси складок** обычно располагаются **кулисообразно** под углом $40—50^\circ$ к активной паре сил.

Если действие сил сосредоточено по разные стороны от линии разрыва, оси складок при приближении к нарушению дугообразно изгибаются в направлении смещения крыльев разрыва.

Складки, образующиеся при действии пары сил

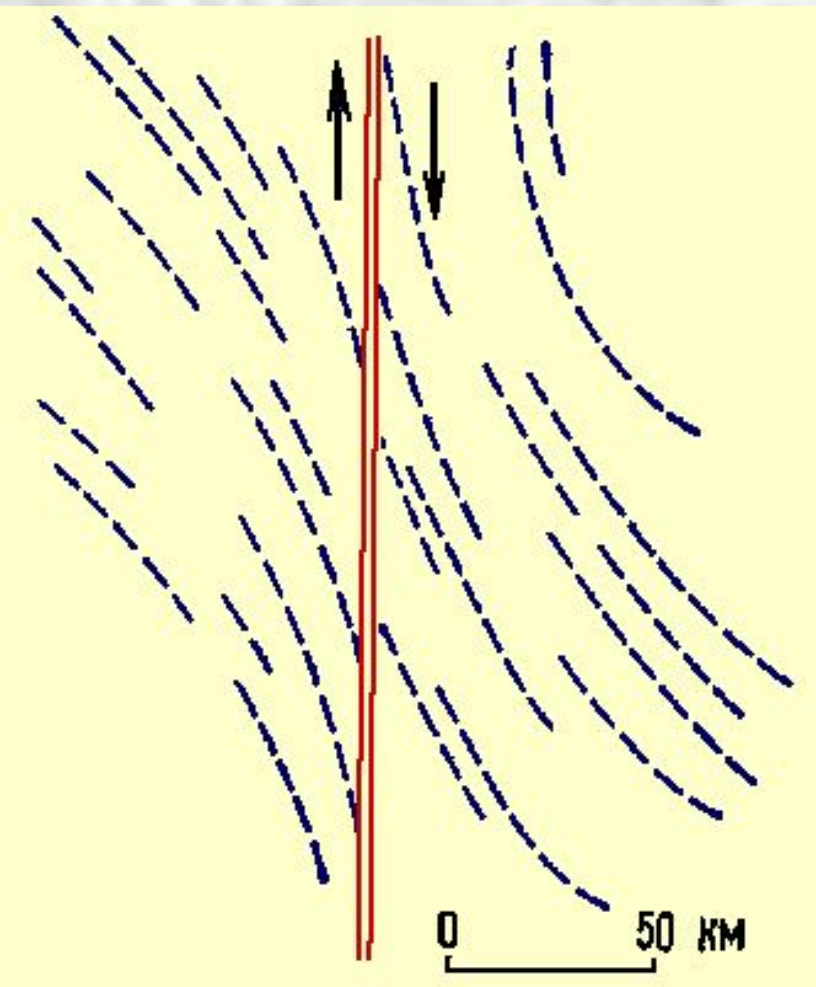
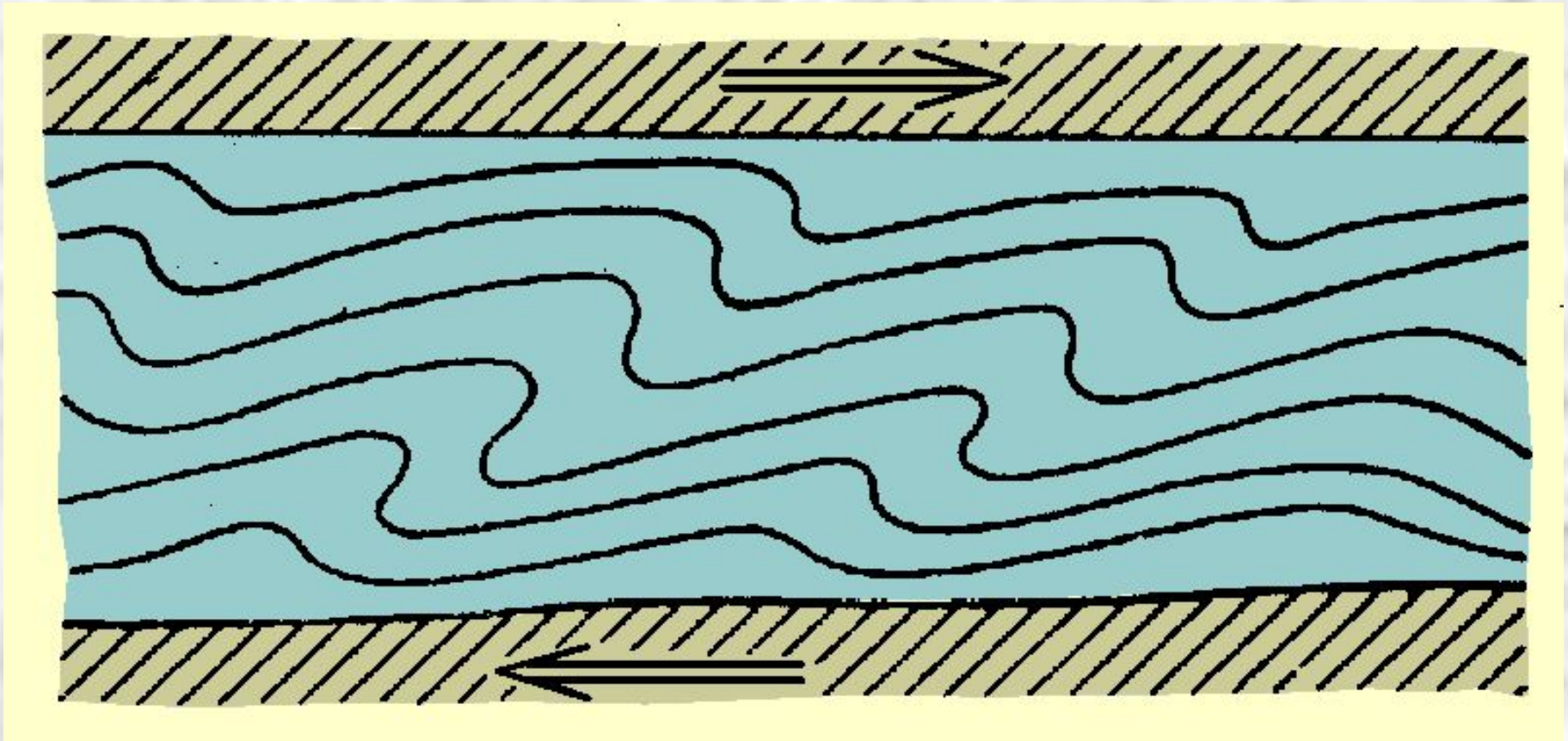


Схема расположения складок, сопровождающих крупный сдвиг.

Двойная линия — поверхность сдвига; пунктирные линии — оси складок (план).

Складки, образующиеся при действии пары сил

При расположении пары сил в вертикальной плоскости и их действии в горизонтальном направлении образуются наклонные или опрокинутые складки, часто осложненные разрывами.

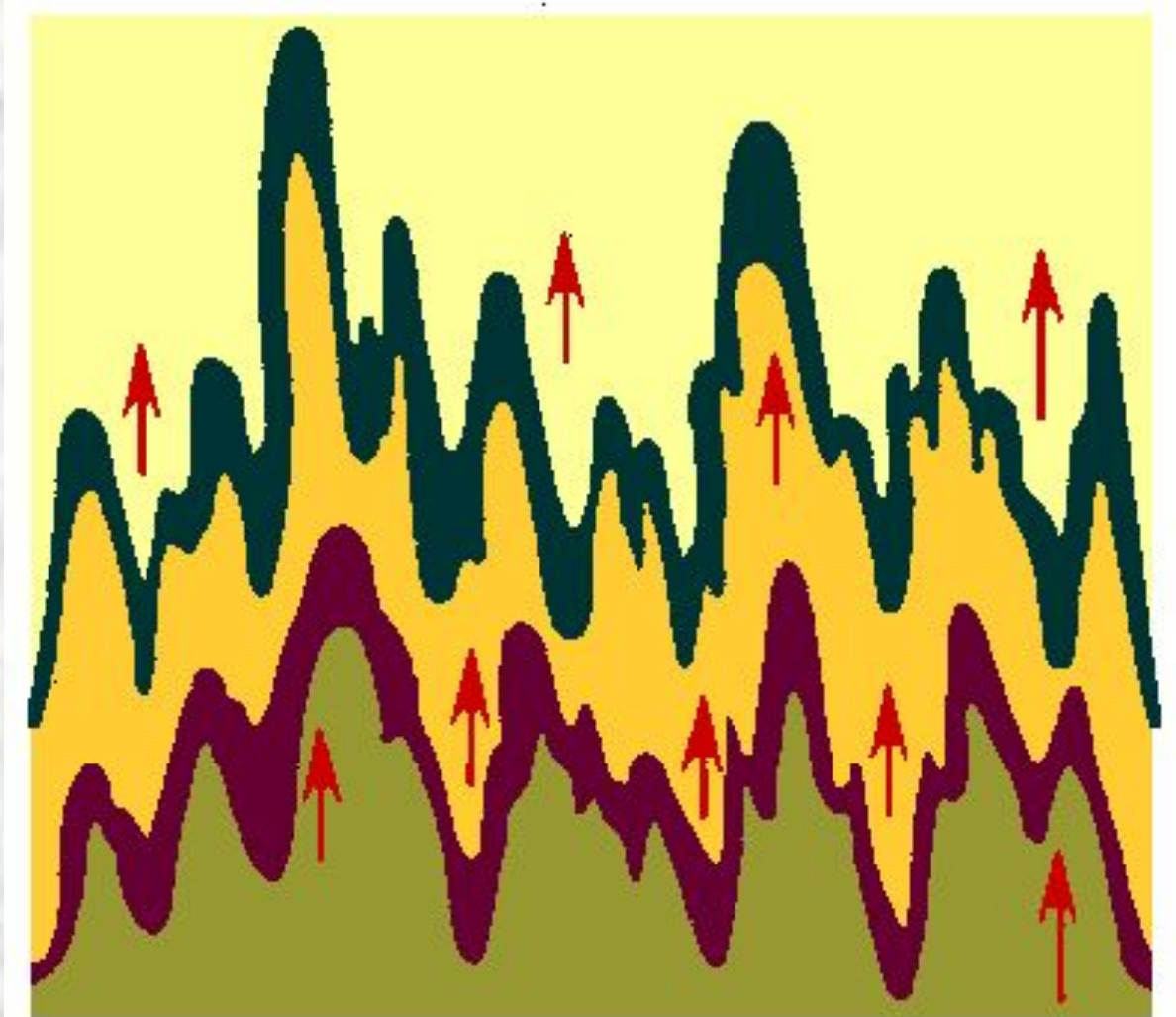


Складки течения

Складки течения возникают при вязко-пластическом состоянии вещества и очень большом значении фактора времени.

Для направленного течения необходима **разность давлений** в окружающей среде, способная вызвать перемещение из участков с высоким давлением к участкам, в которых давление относительно ниже.

Складки течения



Складки течения обладают особенно неправильными формами с многочисленными раздувами, утонениями и пережимами слоев.

Складки течения

В **верхних слоях земной коры**, при невысоких температурах и давлении, течение свойственно только горным породам, обладающим **малой вязкостью**: солям, гипсам, углям, глинам.

При высоких температурах и давлениях высокую пластичность приобретают даже самые крепкие породы, такие как кварциты, аплиты, гнейсы и др. При этом одновременно может происходить и перекристаллизация вещества.

Складки течения, развитые в метаморфических толщах, отличаются небольшими размерами и образуются под воздействием стресса в условиях повышения температуры до сотен градусов и длительного воздействия нагрузок.