

Структурная геология

Структуры метаморфических толщ

Общая характеристика комплексов метаморфических пород

Метаморфические породы возникают за счет преобразования осадочных и изверженных пород в результате процессов метаморфизма.

Метаморфизованные осадочные породы называются ***парапородами***, изверженные – ***ортопородами***.

Изменение первоначального состава пород может быть различным, начиная от сравнительно **слабого**, когда в метаморфических породах **сохраняются многие особенности исходных пород**, и кончая таким, когда от первоначальных пород **не остается никаких признаков**.

Виды метаморфизма и метаморфических пород

Основными *факторами метаморфизма* являются:

- **температура**
- **давление**

Термальный метаморфизм.

Основной фактор – температура.

В контактах с интрузивными массивами развиваются зоны **контактового метаморфизма**, существенную роль в формировании которых играла **высокая температура** магмы.

Динамометаморфизм.

Основной фактор – давление (чаще всего однонаправленное – ***стресс***).

Вдоль крупных тектонических разрывов образуются зоны смятия, в формировании которых существенную роль имело ***высокое давление***, связанное с ***тектоническими деформациями***.

В зонах контактового метаморфизма могли развиваться разрывы и сопровождающие их явления динамометаморфизма,

а по разрывам и в зонах смятия могли внедряться интрузии с развитием контактового метаморфизма.

В результате **совместного действия** различных факторов метаморфизма могли образоваться **метаморфические комплексы сложного состава и строения.**

Локальный метаморфизм.

Такие метаморфические области *приурочены к определенной интрузии или к определенной зоне смятия.*

По мере удаления от них метаморфические породы быстро приобретают облик исходных пород.

Эти зоны метаморфизма являются *локальными, местными.*

Региональный метаморфизм.

Существуют области, в пределах которых метаморфизм имеет всеобщее **региональное проявление**.

В их пределах нельзя из комплексов метаморфических пород перейти в комплексы нормальных, исходных, пород.

Толщи осадочных и вулканогенных пород и прорывающие их интрузии превращены в метаморфические образования **повсеместно**.

Факторы регионального метаморфизма – **высокие температуры и давление**, действовавшие совместно.

Это **динамотермальный метаморфизм**.

Их воздействию подверглись обширные области, в которых **комплексы пород были погружены на большую глубину**.

Таковыми областями являются районы выхода на дневную поверхность кристаллических пород **докембрийского возраста (AR и PR)**.

В областях развития метаморфических комплексов необходимо выявлять признаки, позволяющие установить ***первоначальный характер пород.***

Для исходных **осадочных пород** –

- **слоистость** осадочных толщ,
- их **цикличность**,
- осадочные **текстуры**,
- **знаки ряби**,
- **гипероглифы**,
- **поверхности размыва**,
- **остатки и следы жизнедеятельности организмов** и др.

Для **эффузивных пород** - остаточные
флюидальные,
миндалекаменные
и брекчиевидные текстуры.

Для **интрузивных пород** – формы и ориентировка реликтовых **контуров магматических тел и контактовых ореолов, дайковых форм.**

Большое значение могут иметь **реликты структур** горных пород, устанавливаемые при микроскопическом изучении.

Внутренняя структура метаморфических толщ

В метаморфических толщах широкое развитие имеют **подобные складки разных порядков** до самых мельчайших, создающих **гофрировку** и **плойчатость**.

Широко развиты в них **складки волочения** и именно в этих толщах наблюдаются **складки течения**.

В метаморфических комплексах достигает
значительного развития **главный кливаж**
течения (**кливаж осевой поперхости**).

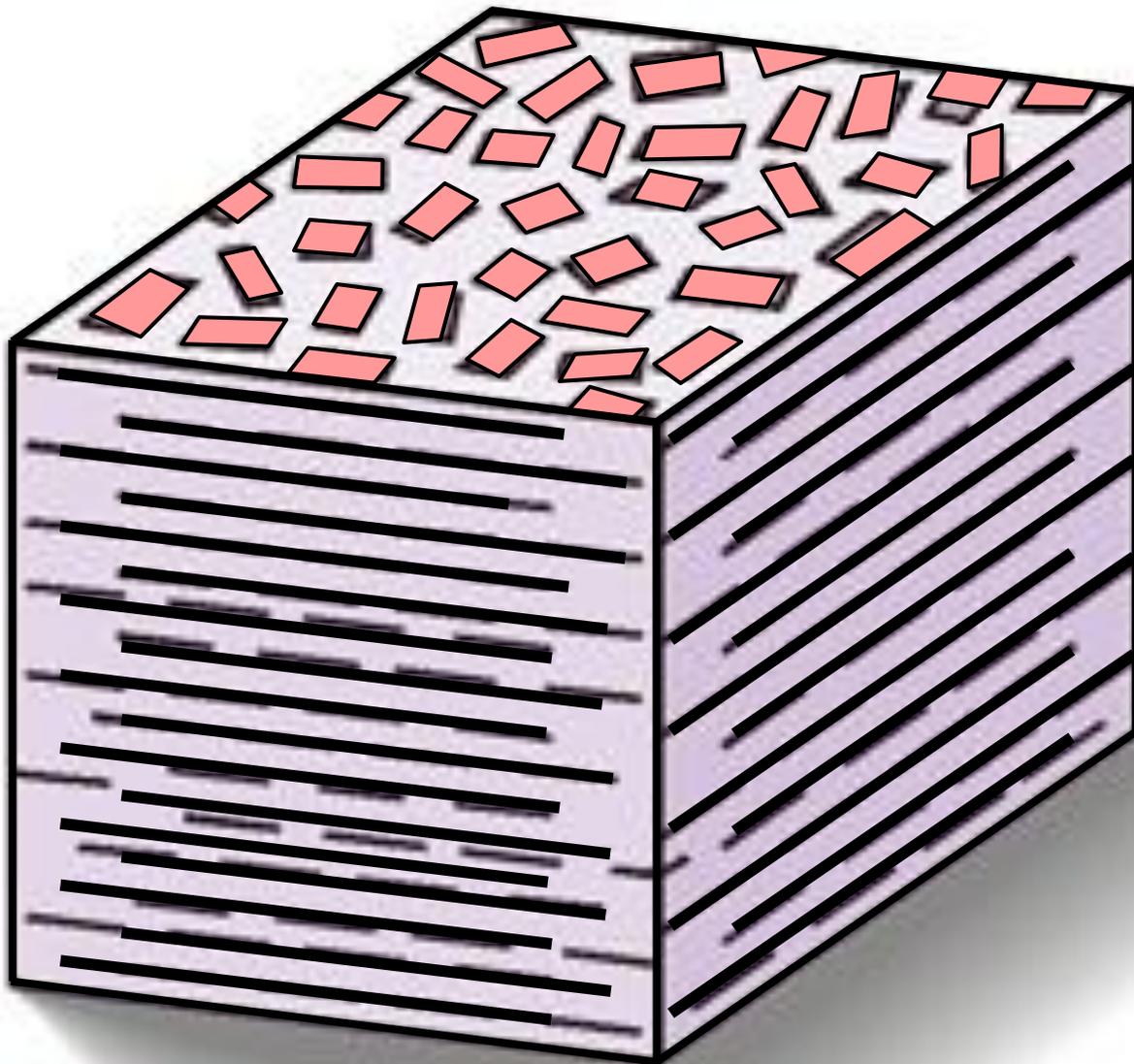
Чрезвычайно широкое распространение
получает **послойный кливаж**, известный как
кристаллизационная сланцеватость.

Кристаллизационная сланцеватость создает **линейные** и **плоскопараллельные** (**полосчатые**) **текстуры**.

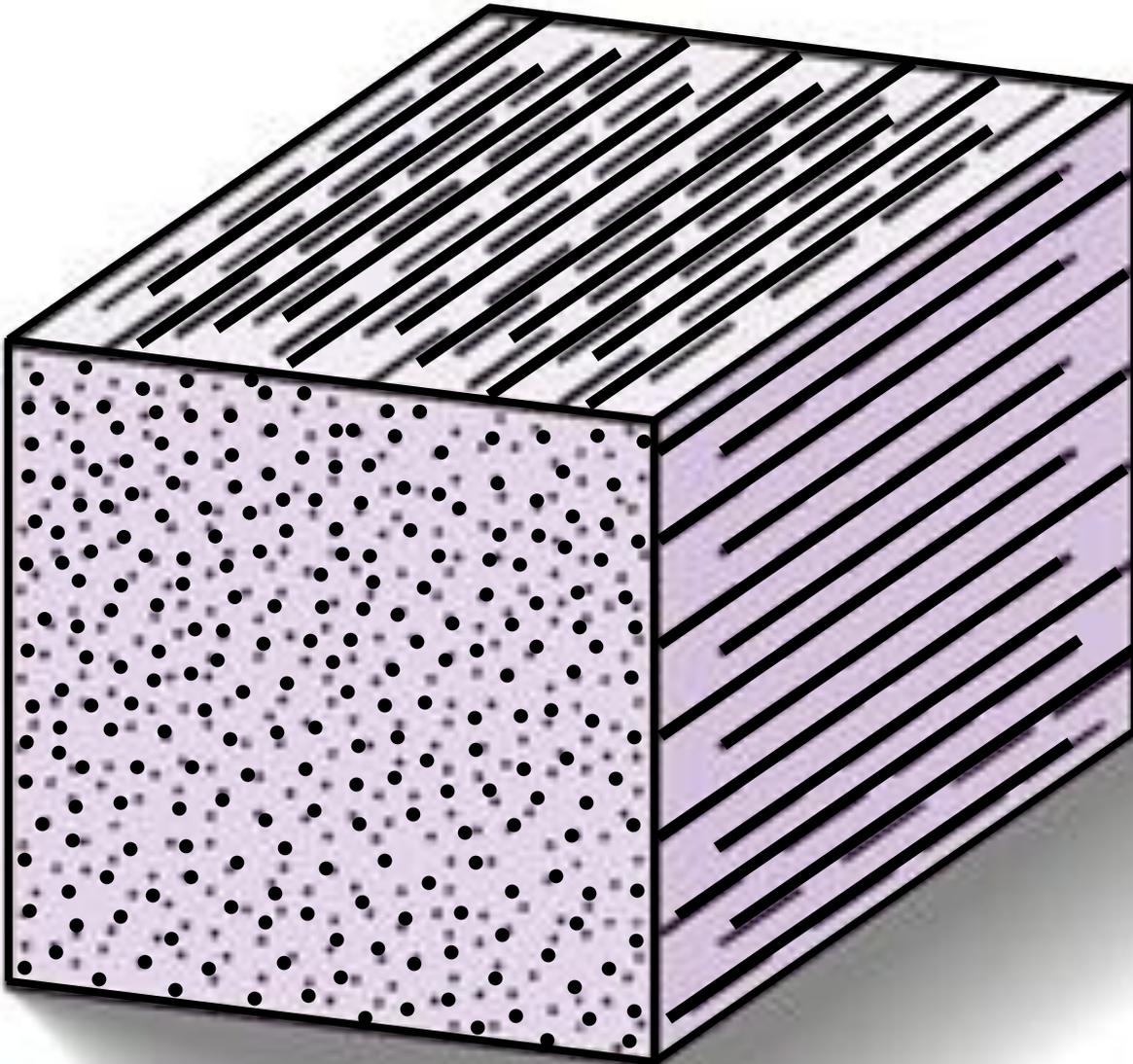
Внешне они подобны тем, которые отмечались для интрузивных массивов.

Однако, если там эти текстуры были первичными, то здесь они **вторичные**.

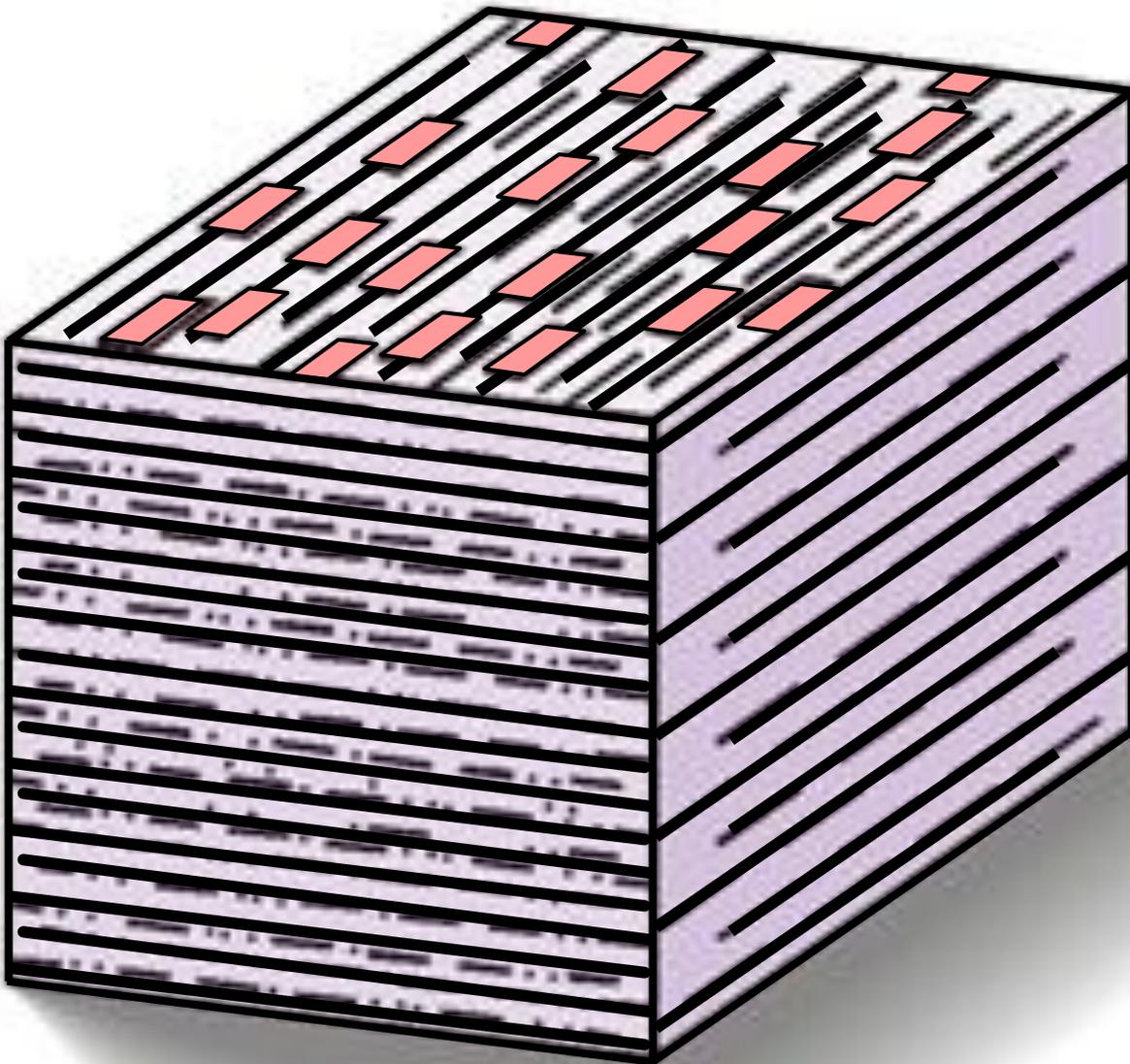
Они возникают в результате глубоких преобразований исходных пород в условиях высокой температуры и большого давления на значительных глубинах.



Плоскостная текстура



Линейная текстура

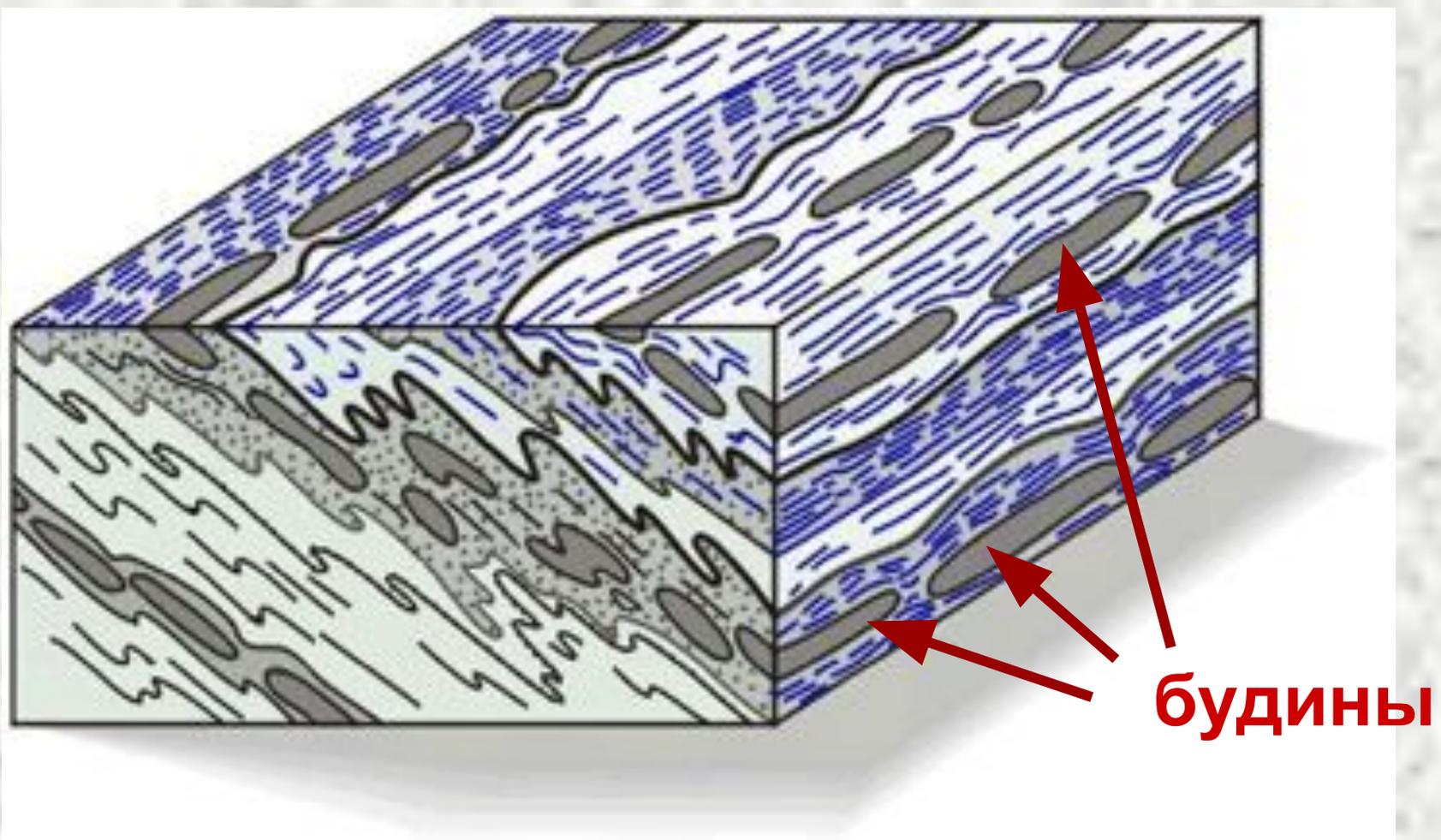


Линейно-плоскостная текстура

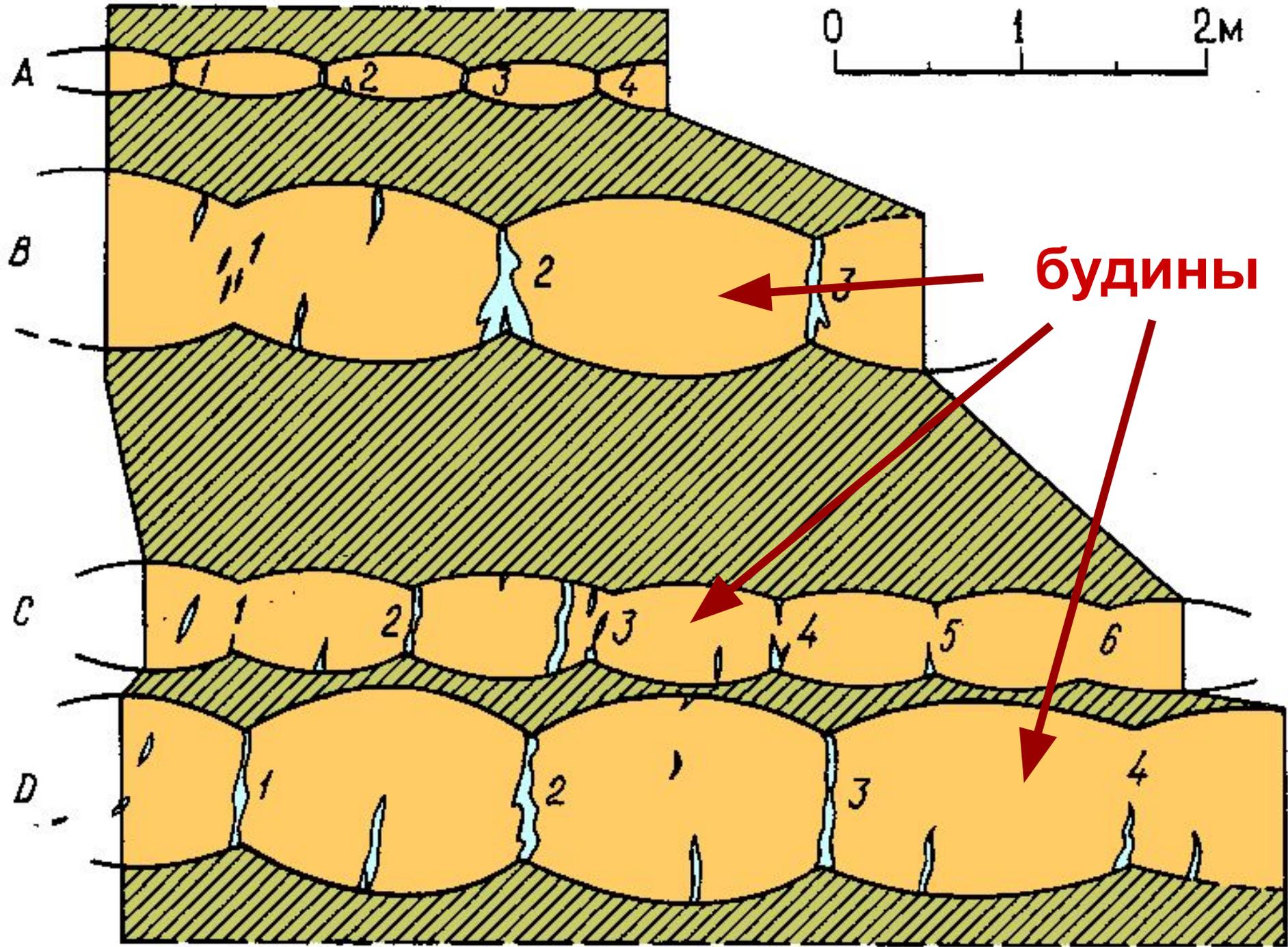
Будинаж-структуры

Для метаморфических комплексов весьма характерными являются структуры будинажа (будинаж-структуры).

Будинажем называется процесс **разделения пластов** крепких горных пород **на отдельные линзовидные части (блоки)** под влиянием **тектонического давления** и обтекания этих линз более пластичными породами.



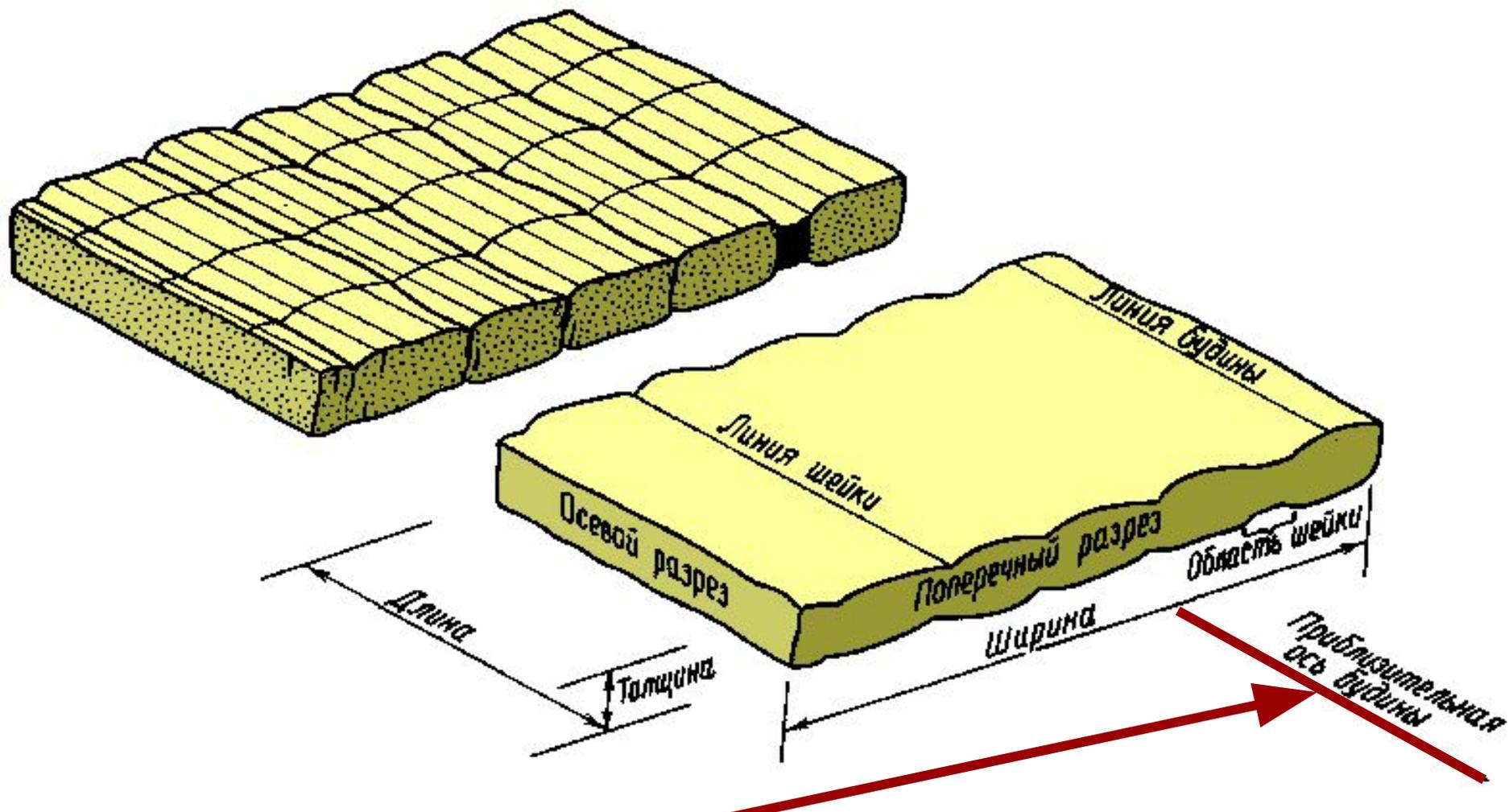
Структура будинажа (разлинзования) состоит из ритмически пережатого или сегментированного слоя или жилы в толще пород другого типа



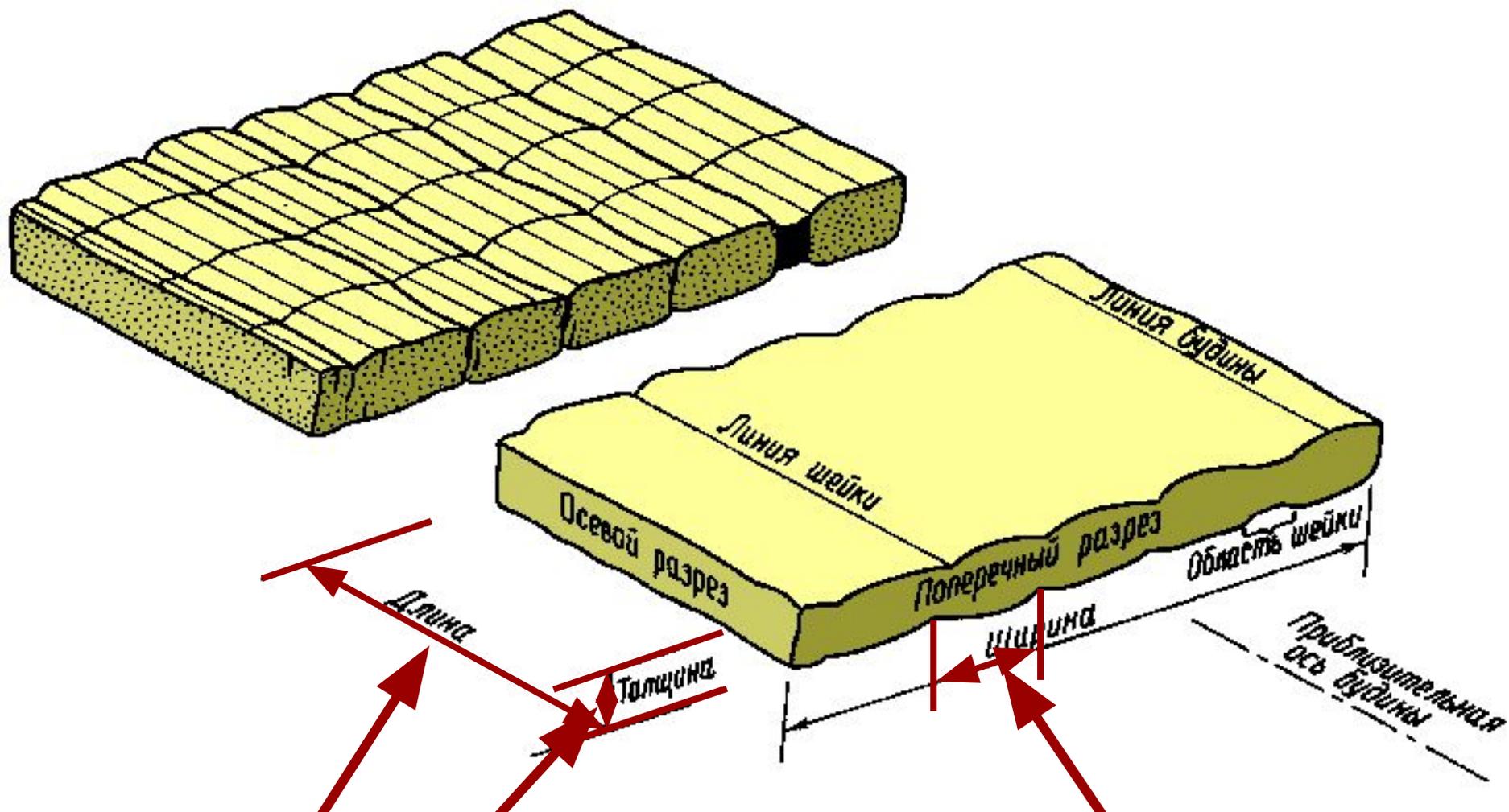
будины

Французское слово ***boudin*** означает ***колбаса***. Обнаруженные в первом десятилетии XX века в Бастони (Франция) деформированные слои песчаника сравнивали с расположенными бок о бок колбасами.

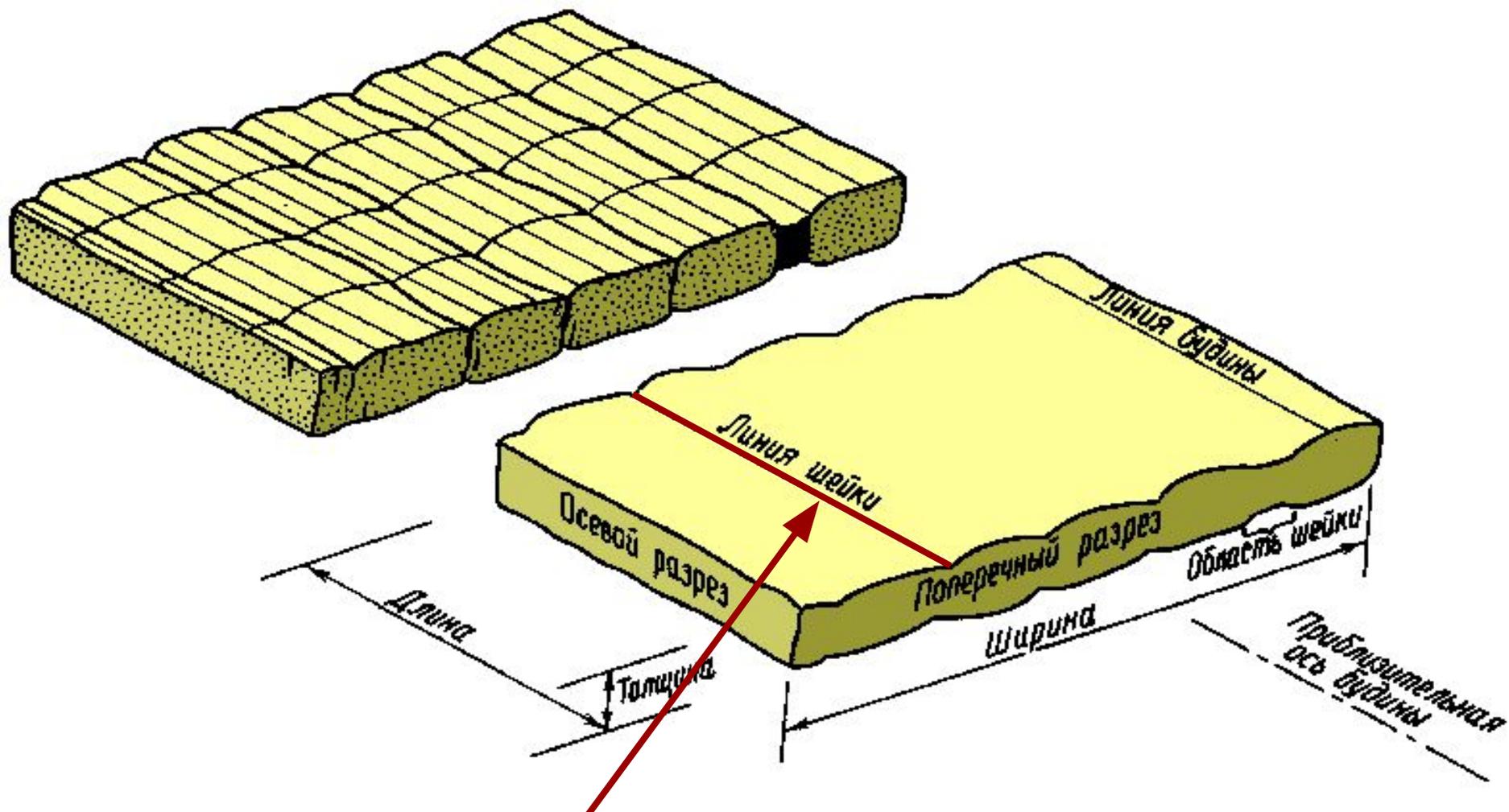
Значение структур будинажа: они являются ***индикаторами деформации*** в породах, позволяют получить ***количественные оценки деформации*** и сделать определенные выводы об ***условиях, в которых происходила деформация.***



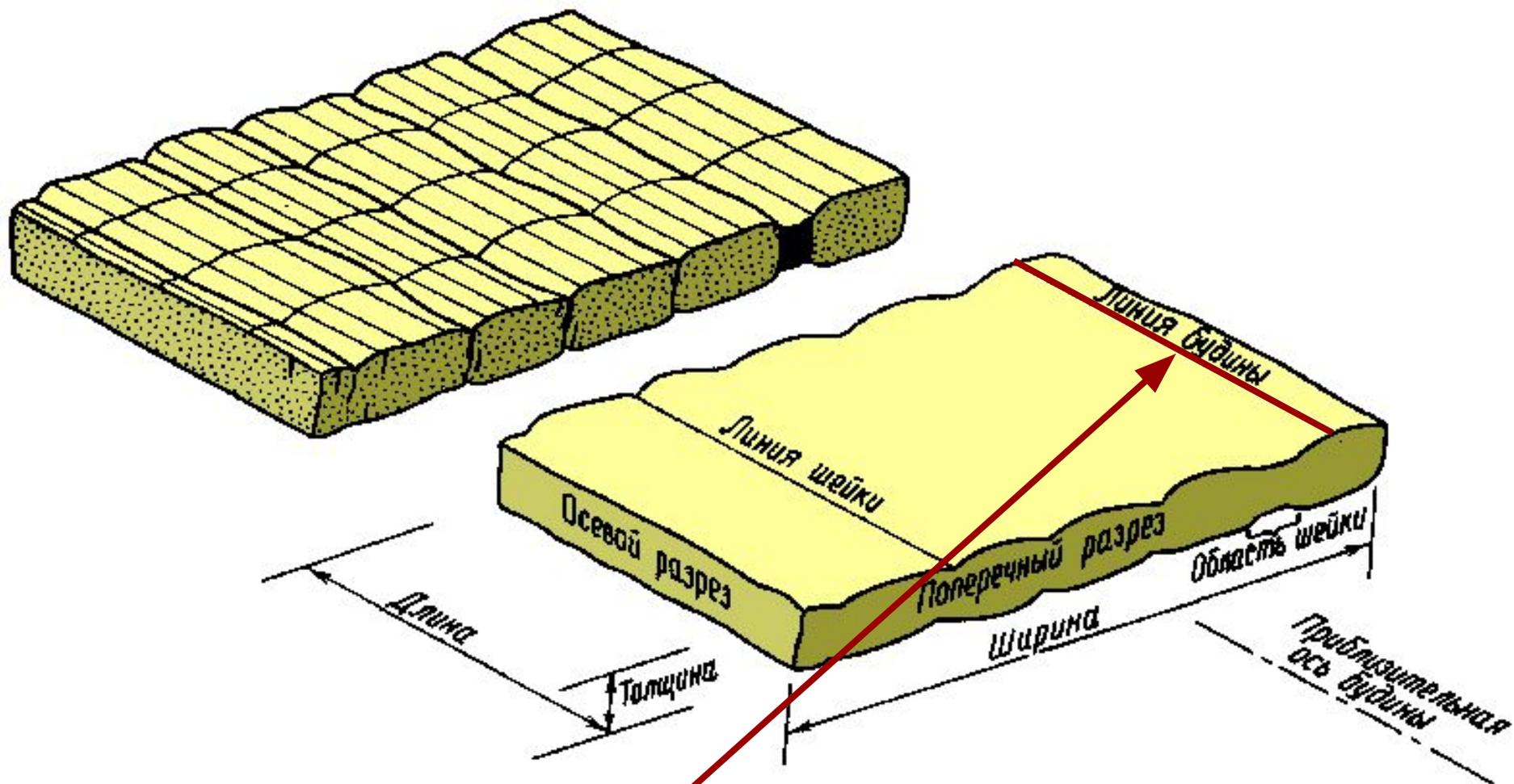
Ось будины определяется как прямая, удовлетворяющая следующему условию: форму будины можно получить, перемещая эту прямую параллельно самой себе в пространстве.



Длина будины измеряется вдоль ее оси. Перпендикулярно оси определяются **ширина** и **толщина** будины.



Линия шейки — это линия на поверхности будинированного слоя, соединяющая точки минимальной толщины.



Линия будины – линия максимальной толщины будинированного слоя

Модель формирования будинажа: пачка из трех слоев с жестким (**компетентным**) средним слоем подвергается сжатию перпендикулярно слоистости.

Пластичное вещество вмещающих слоев выдавливается наружу.

Трение на границах слоев создает растягивающие усилия. Когда величина напряжений достигает критического значения, образуются трещины.

Нарастающая деформация сжатия приводит к растяжению жесткого слоя на фрагменты.

Морфология будин в поперечных разрезах разнообразна, но **преобладают прямоугольные, ромбоидальные и линзовидные** формы.

На форму будин влияют пластичность будинированного слоя, реологический контраст между ним и вмещающей породой, размеры слоя и характер напряжений.

В одном и том же слое **будины** **распределены, как правило, равномерно,** причем **расстояние** между ними **увеличивается с ростом деформации.**

Вещество пластичного слоя (матрикса), вмещающего отдельные будины, часто затекает в пространство между ними, образуя ***шейковые складки***.

В ряде случаев область шейки выполнена кристаллическим материалом, например кварцем или карбонатом.

Иногда отдельные будины располагаются под некоторым углом к общему простиранию слоя; такая конфигурация называется ***повернутым будинажем***.



Повернутый будинаж

Соотношение будинажа с изоклиральными складками в мраморе, штат Вермонт, США. Оси будинажа направлены почти перпендикулярно линейности течения минералов (главному направлению растяжения).

Анализ деформаций. Изучение будин позволяет количественно оценить величины конечных деформаций и пластичности.

О деформации матрикса можно судить по расстоянию между соседними будинами.

Начальную ширину деформированного участка породы можно рассчитать, восстановив положение будин, которое они занимали непосредственно перед разъединением.

Размеры будин зависят от мощности пластов, подвергшихся будинажу.

Так, в пределах Балтийского щита отдельные блоки будинированных пород имеют размеры **от десятых долей сантиметра до 8-10 м.**

Наиболее распространены будины величиной **от 0,5 до 1,5 м.**

При будинировании мощных (150-200 м) пластовых тел амфиболитов величина отдельных блоков достигает десятков и сотен метров.

Следует отметить, что явления будинажа имеют широкое распространение и в районах с нормальными (не метаморфизованными) интенсивно складчатыми породами.



Будинаж в известняках

Будинированные пласты массивных известняков, переслаивающихся с тонкослоистыми глинистыми известняками в ядре сильно сжатой изоклиальной складки. Длина рукоятки молотка 80 см.

Верхний девон, Новая Земля.

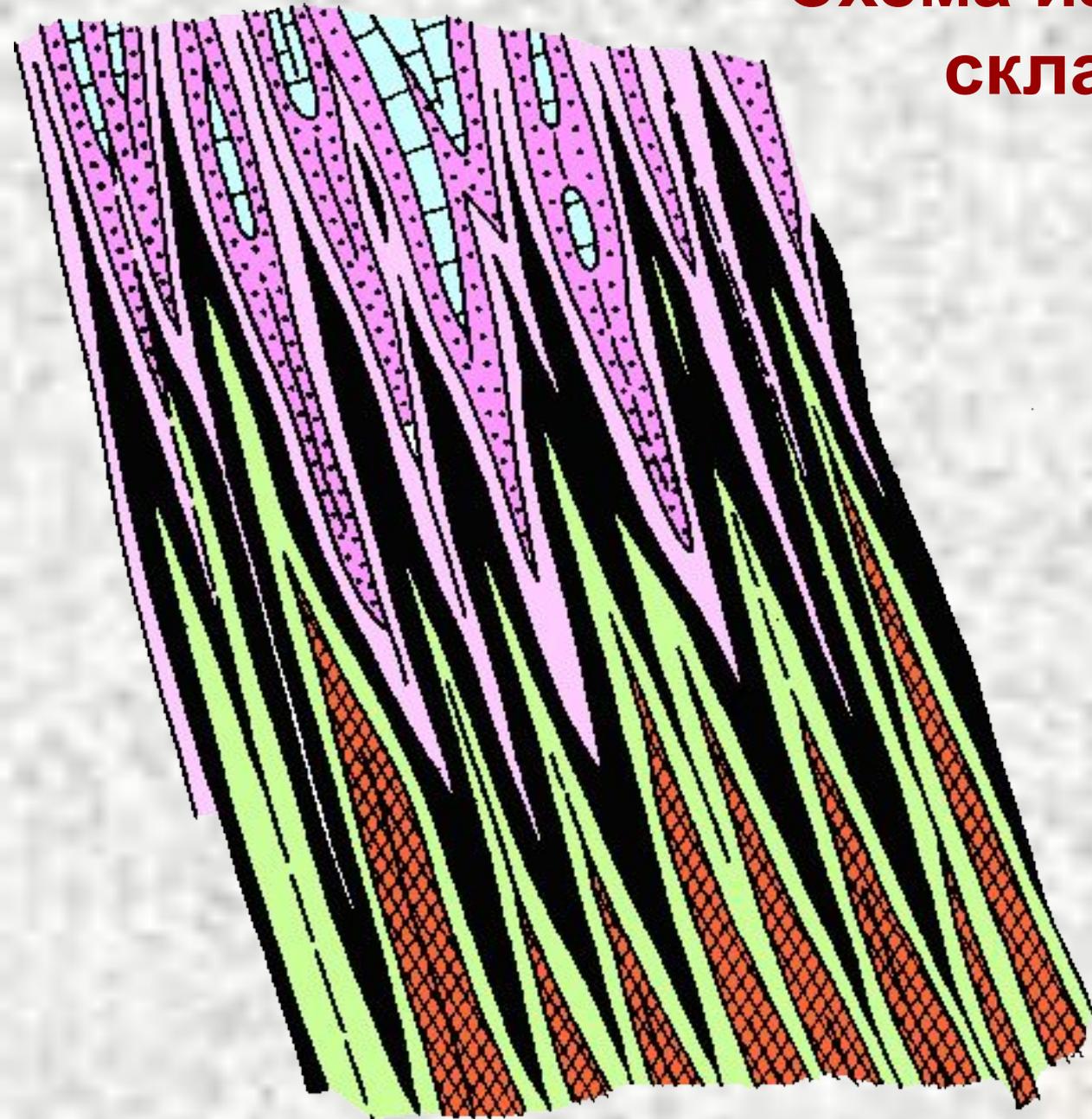
Складчатые структуры метаморфических толщ

Наибольшим распространением в метаморфических породах пользуются **складки течения**, образующиеся в условиях высоких температур и значительного стресса.

В таких условиях снижается вязкость пород, что ведет к течению пород в сторону пониженного давления.

Наиболее часто образуются острые, **сильно сжатые** («скошенные») и **изоклиналильные складки**.

Схема изоклиналильной складчатости



Наложение складчатостей

В метаморфических толщах нередко встречается наложение складчатостей разного возраста, имеющих различную ориентировку.

Ранее сформировавшиеся складки вновь вовлекаются в процесс складчатости с образованием структур, имеющих иное расположение осевых поверхностей и осевых линий.

Если наложившиеся складки сильно сжаты, в них развивается новая сланцеватость, параллельная осевым поверхностям поздних складок.

Новая сланцеватость может полностью или частично затушевать сланцеватость, образовавшуюся при раннем складкообразовании.

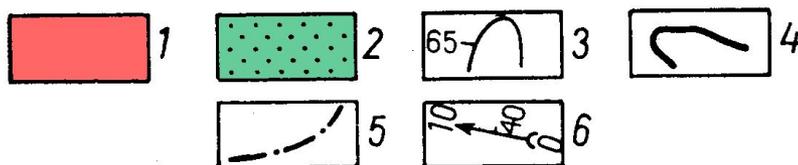
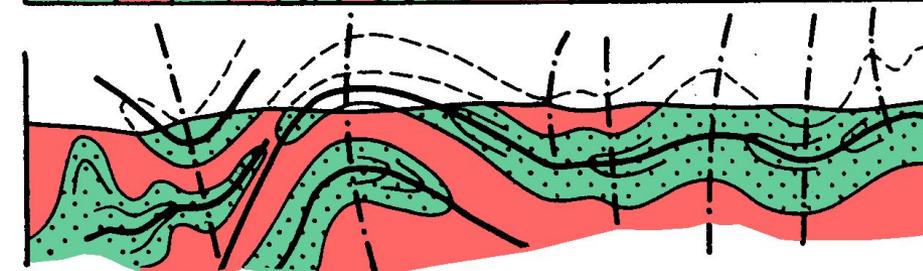
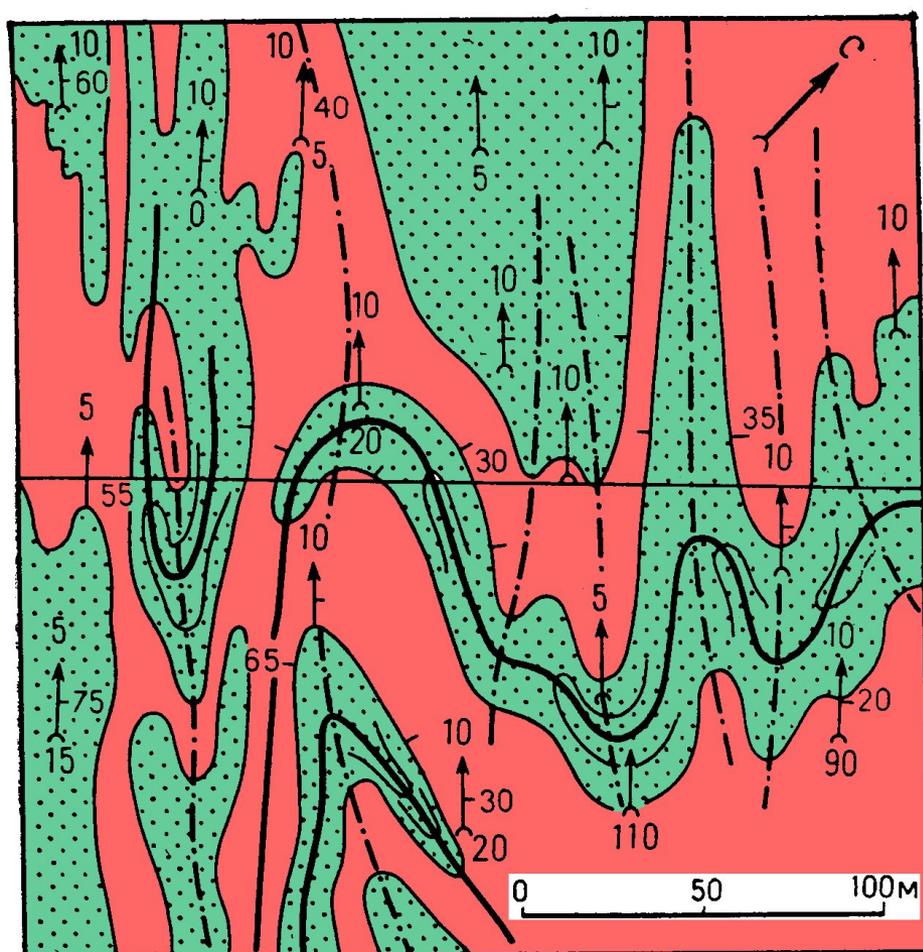
В наложенных складках выявление стратиграфической последовательности образующих их слоев представляет собой трудную, часто невыполнимую задачу, в связи с чем выделение антиклиналей и синклиналей теряет смысл.

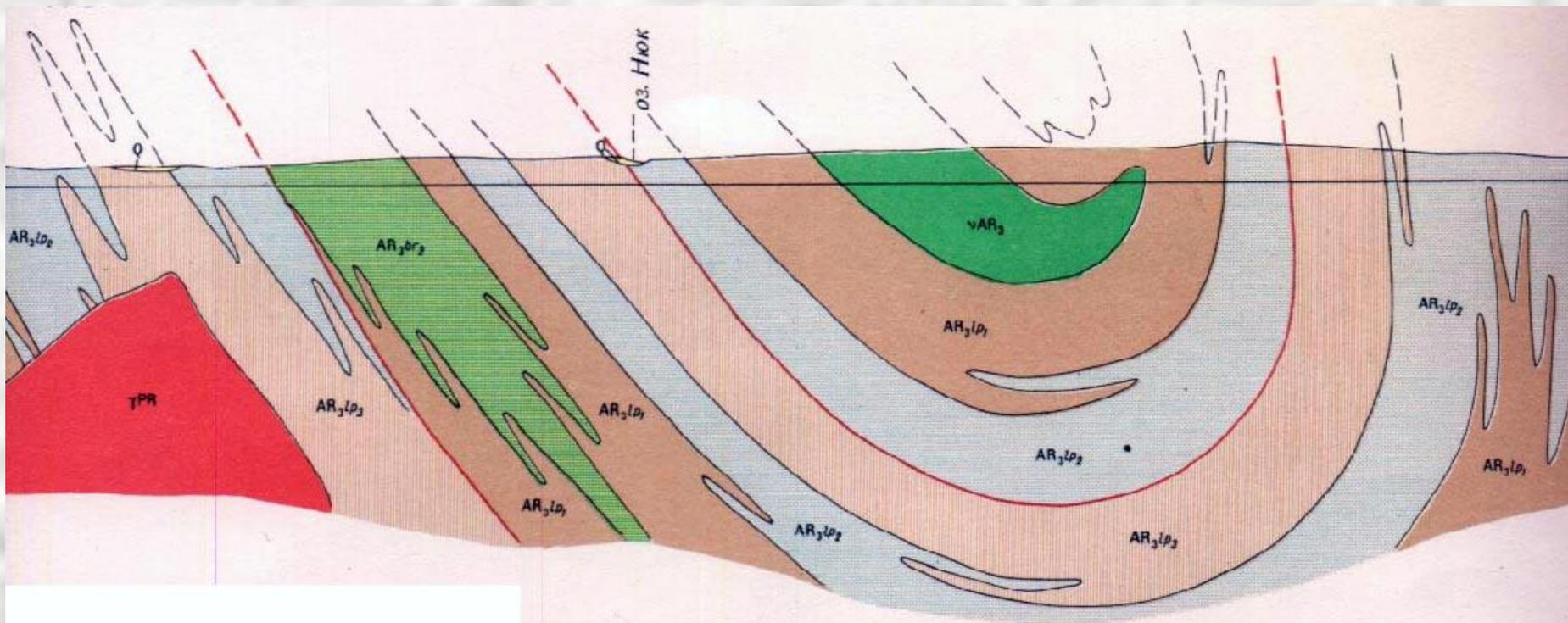
Поэтому для толщ, в которых стратиграфическая последовательность не установлена, следует применять термины «**антиформные**» и «**синформные**» складки.

Наложение прямых складок на лежащие изоклиналильные складки в Северном Беломорье

(по Б. И. Кузнецову)

- 1 — гнейсы; 2 — амфиболиты;
- 3 — границы разных пород и углы их падения;
- 4 — осевые поверхности ранних складок;
- 5 — осевые поверхности наложенных складок;
- 6 — направление и углы погружения шарниров складок



A**Б**

Ультраметаморфизм

Высшую форму развития метаморфизма – **ультраметаморфизм** – представляют явления **мигматизации** и **гранитизации**.

Они являются завершающей стадией регионального метаморфизма и способны полностью уничтожить остаточные признаки исходных пород.

Мигматизация

Мигматизацией называется процесс образования сложных пород (**мигматитов**) путем инъекции расплавленного магматического материала и летучих в существующие породы.

Мигматизация является самой начальной стадией гранитизации.

Мигматиты представляют собой смешанные породы, состоящие из метаморфизованных вмещающих пород и вещества, находившегося во время образования мигматита в подвижном состоянии.

Подвижное вещество представлено жилами пегматита, аплита и гранитоидов.

В зависимости от строения различают мигматиты *глыбовые, ветвистые, послойные, складчатые (птиматиты) и тневые.*

В тневых мигматитах почти исчезает различие между веществом вмещающих пород и подвижным (привнесенным) материалом.

Гранитизация

Гранитизация – совокупность явлений и процессов, заключающихся в изменении горных пород с приближением их по составу и структуре к гранитам, которые являются конечным продуктом этих процессов.

Крупные складчатые структуры метаморфических комплексов

В докембрийских гнейсовых и сланцевых кристаллических толщах распространены куполовидные поднятия с изометрическими овальными или неправильными очертаниями в плане – ***гранито-гнейсовые купола***.

В поперечнике такие структуры измеряются обычно 5-15 км, но в некоторых случаях достигают и нескольких десятков километров.

Купола состоят из метаморфизованного **ядра** и обрамляющего его покрова или **оболочки** метаосадочных и метавулканических пород.

Ядро обычно имеет округлую, овальную или лопастевидную форму и состоит преимущественно из гранитоидных пород.

Ядро может содержать метаморфические породы осадочного или магматического происхождения, а также слабо или совсем не деформированные гранитоидные интрузивные породы.

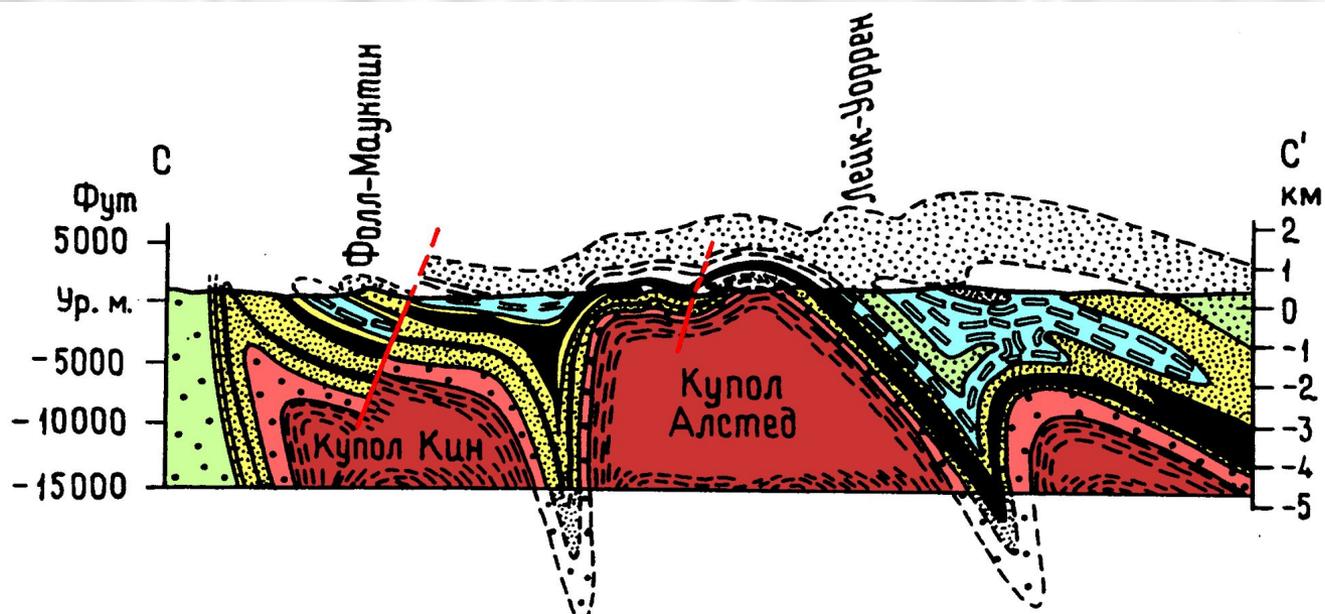
Оболочка купола обычно сложена толщами, включающими породы типа кварцитов, конгломератов, мраморов, амфиболитов и филлитов.

Стратиграфический разрез оболочки вокруг гнейсового купола в основном однороден.

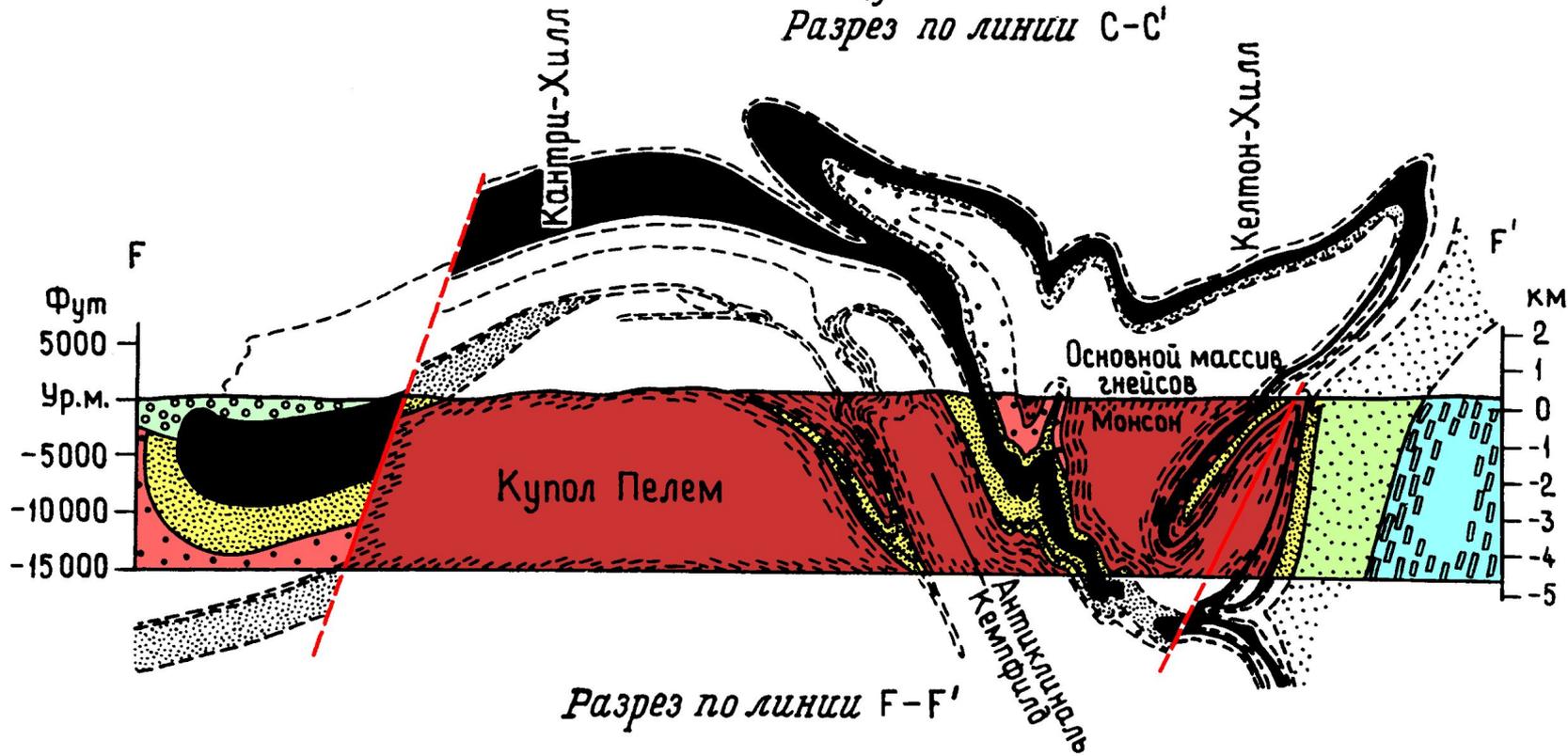
Контакт пород ядра с облекающими слоями почти во всех случаях несогласный.

Листоватость и расслоенность пород оболочки и контакт ядра и оболочки падают радиально от купола, хотя в некоторых куполах встречаются слои с крутым падением внутрь.

Таким образом, геометрические формы куполов разнообразны: от выпуклых вверх структур до перевернутого конуса.



Разрез по линии С-С'



Разрез по линии F-F'

Близко расположенные купола большого размаха обычно разделены сильно сжатыми, глубокими синклиналями, заполненными материалом из оболочки купола.

Даже изолированные купола почти всегда окружены депрессией, называемой ***кольцевой синклиналью***.

Механизмы образования. Происхождение обрамленных гнейсовых куполов с давних времен вызывает большие споры. Были предложены ***четыре гипотезы.***

Магматические интрузии

Границу между покровом купола и ядром в ряде случаев связывали с внедрением изверженных пород.

Предполагалось, что купол приобретает характерную для него форму либо в процессе внедрения, либо при складкообразовании после внедрения.

Складкообразование между фундаментом и чехлом

При наложении двух пересекающихся систем складок могут образоваться куполообразные кульминации в тех точках, где пересекаются антиклинали.

Реактивизация плутонов фундамента в процессе гранитизации

Эскола предположил, что ядра куполов представляют собой гранитные плутоны, внедрившиеся в фундамент, а в дальнейшем обнажившиеся в результате эрозии и затем перекрытые породами чехла.

При последующей орогении в древние плутоны внедрилась новая порция гранитной магмы, вызвав вздутие и образовав оболочку купола.

Диапиризм

При высокой степени метаморфизма и достаточной инверсии плотности гранитоидные породы фундамента из-за своей плавучести поднимаются в гравитационном поле Земли в вышележащий покров, аналогично образованию соляных куполов.

Процесс внедрения сопровождается частичным плавлением и мигматизацией, но в основном породы остаются в твердом состоянии.

В большинстве случаев **гнейсовые купола составляют группы**, вытягиваясь в линейные пояса или заполняя некоторую площадь.

Карельские купола, включающие **около 40 структур**, занимают полосу **шириной 100 км** и **длиной 400 км**.

Они разбиты на кулисообразные группы по 4-10 куполов в каждой.

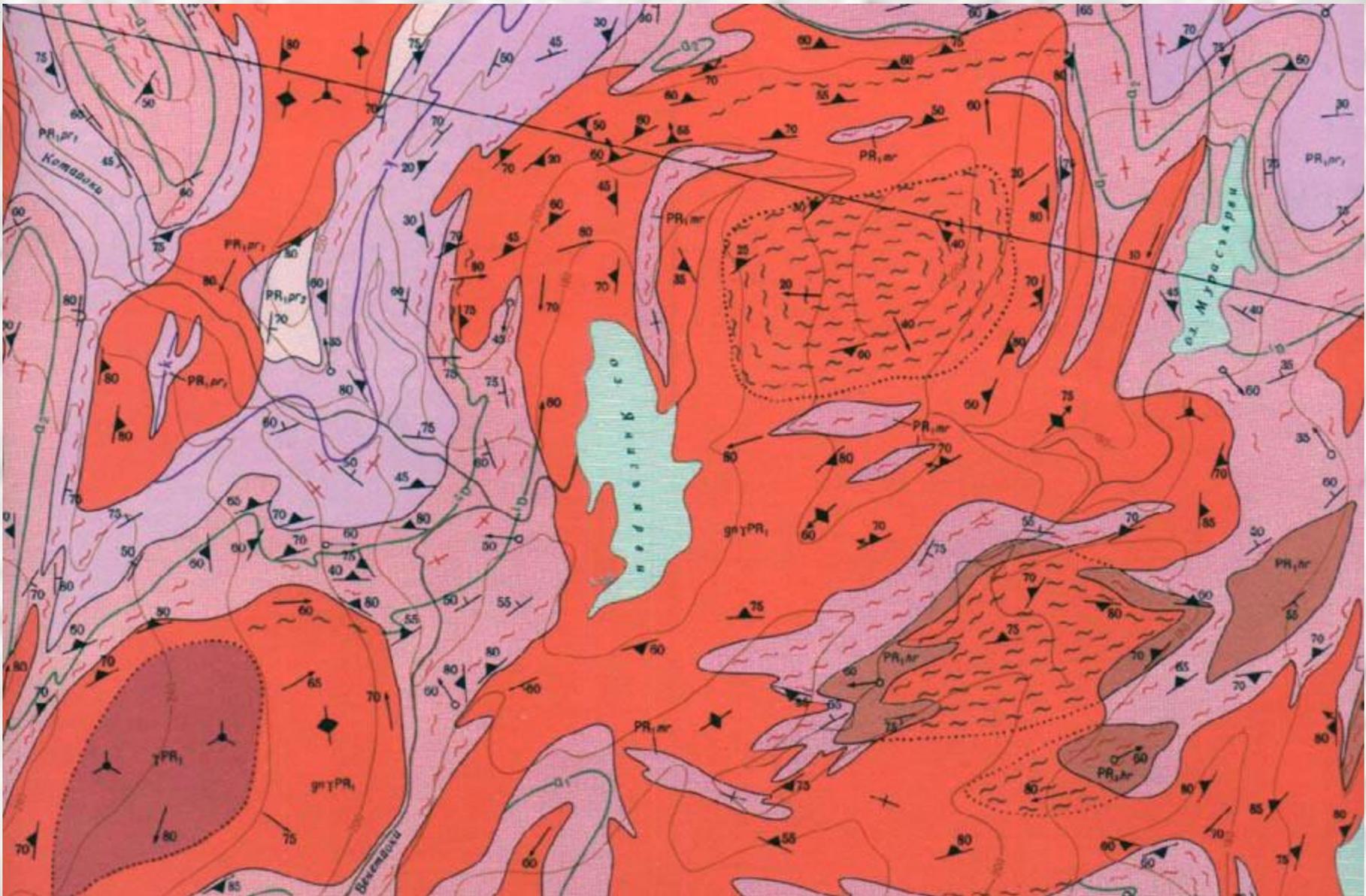
Диаметр гнейсовых куполов в среднем составляет **10-20 км**, но встречаются малые размеры – до 2км, и большие – до 50 км.

Их эллиптическая в плане форма считается следствием более поздней деформации.

Между соседними куполами выдерживается расстояние от 15 до 25 км. Приблизительно оно пропорционально размеру купола.

Зрелые высокоамплитудные гнейсовые купола тянутся по вертикали на 10 км и больше.

A



Б

РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-Б

