

Вторичные структурные формы залегания горных пород



Лекции доцента С.К. Кныша

© Томский политехнический университет, 2005

ДЕФОРМАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД (ТЕКТОНОФИЗИКА)

Деформацией называется изменение формы и объема тела под действием внешних (*активных*) сил.

Внутренние силы, возникающие в теле и стремящиеся уравновесить действие активных сил, называются **силами упругости** (*реактивными*). Величина внутренней силы действующая на единицу площади называется **напряжением** (σ).

$$\sigma = F/S_0$$

где F - сила, действующая на площадку, S_0 - площадь поперечного сечения

Источники напряжений

Источники напряжений в литосфере: космические, экзогенные и эндогенные.

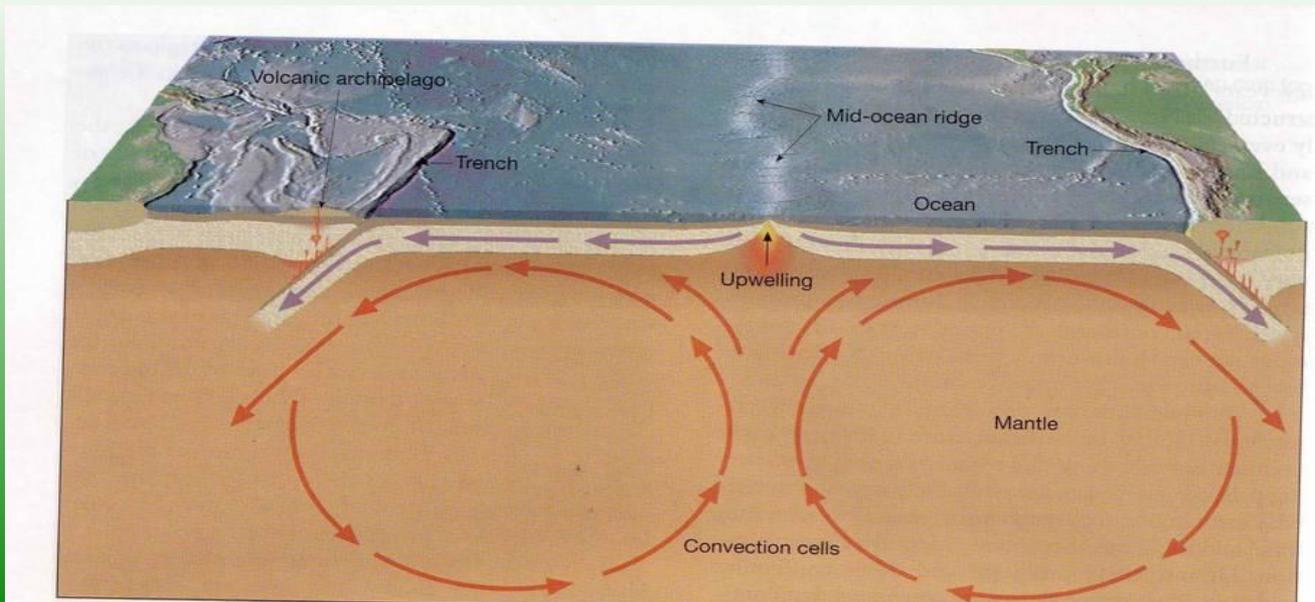
Космические: ротационные силы (скорость вращения Земли), гравитационное взаимодействие между Землей и Луной.

Экзогенные: оледенение, антропогенные причины, процессы денудации.



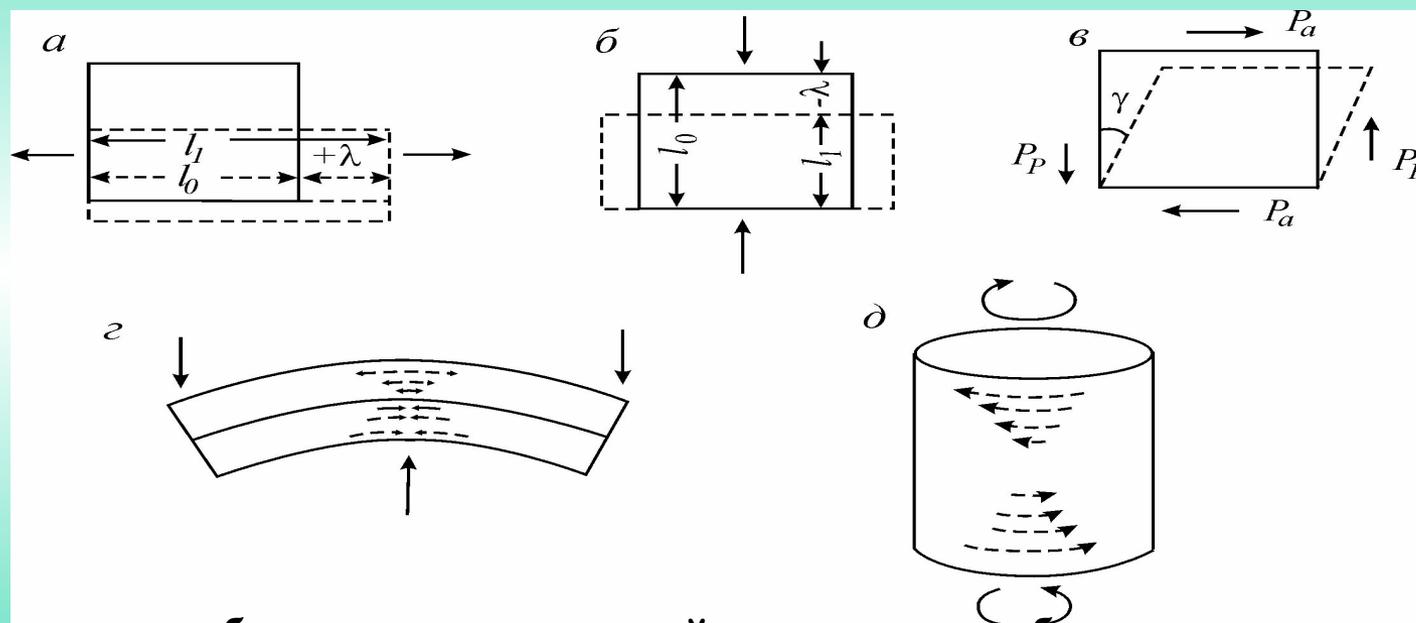
Главные источники

Главными источниками напряженного состояния в тектоносфере являются эндогенные процессы. Например, *горизонтальные и вертикальные* течение пластического материала в астеносфере. Они создают глобальные и региональные поля напряжений..



РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ДЕФОРМАЦИИ

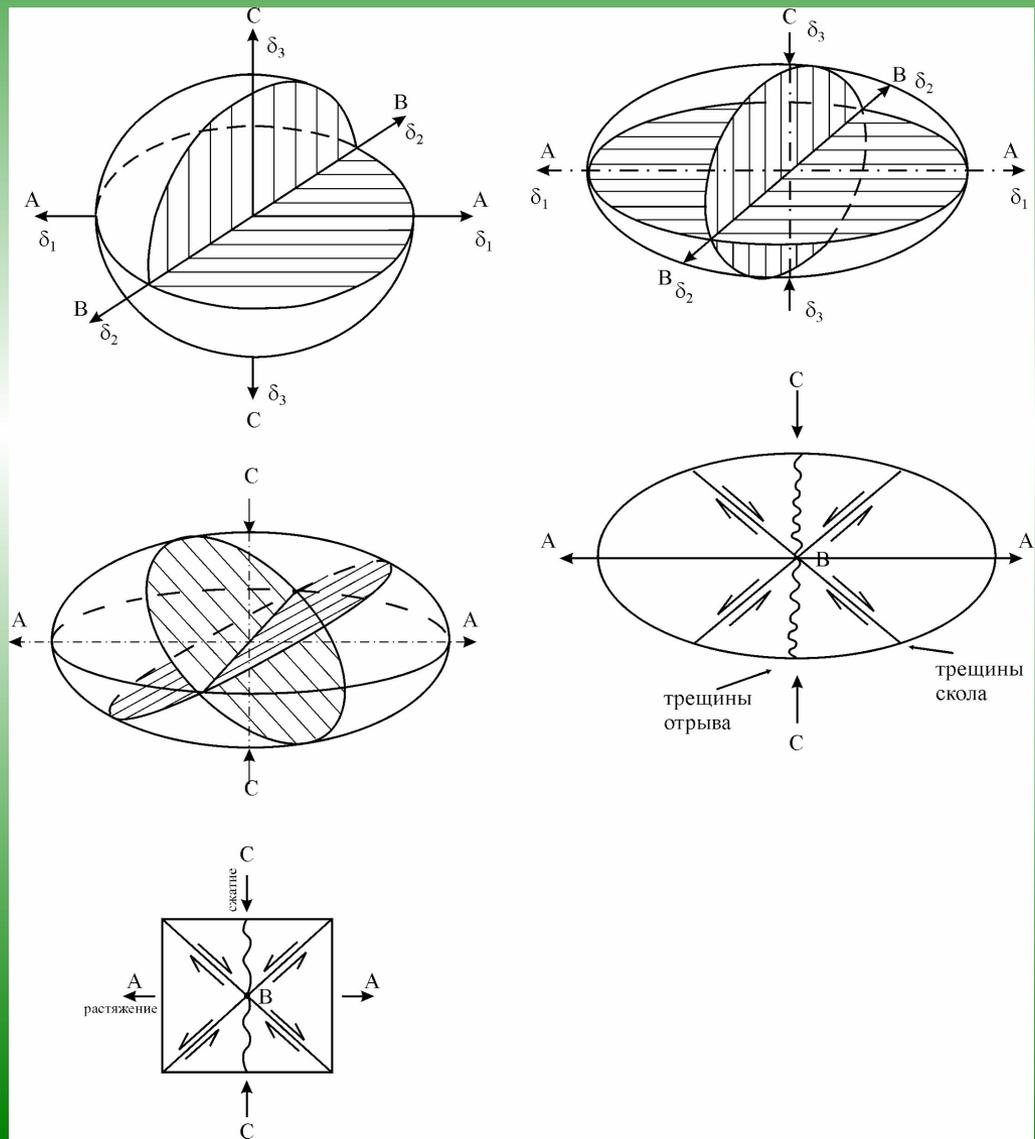
При деформации частицы породы перемещаются относительно друг друга под действием сил *растяжения*, *сжатия*, *сдвига*, *изгиба*, *кручения* или иной деформации.



а – растяжение, б – сжатие, в – чистый сдвиг, г – изгиб, д – кручение; сплошные стрелки – действующие силы, пунктирные – смещения; Размеры: l_0 – начальные; l_1 – размеры после деформации; $\pm\lambda$ – изменение размеров в процессе деформации; P_a – активные силы; P_p – реактивные силы; γ – угол сдвига

Эллипсоид деформации

Для наглядного представления деформации твердых тел используется вспомогательная фигура – эллипсоид деформации



ЭЛЛИпсоИД ДЕФОРМАЦИИ



г,д – формирование сопряженных трещин отрыва и скола при деформации горных пород (разрез в плоскости осей А-С)

а) – шар идеальная фигура недеформированного тела ;
б) – трехосный эллипсоид сжатия-растяжения ($R_c < R_b < R_a$)

В сечениях, по отношению к которым сжимающие и растягивающие усилия направлены перпендикулярно, возникают максимальные **нормальные** напряжения.

В сечениях, расположенных под углом 45° - максимальные **касательные (скалывающие)** напряжения.

Стадии деформаций

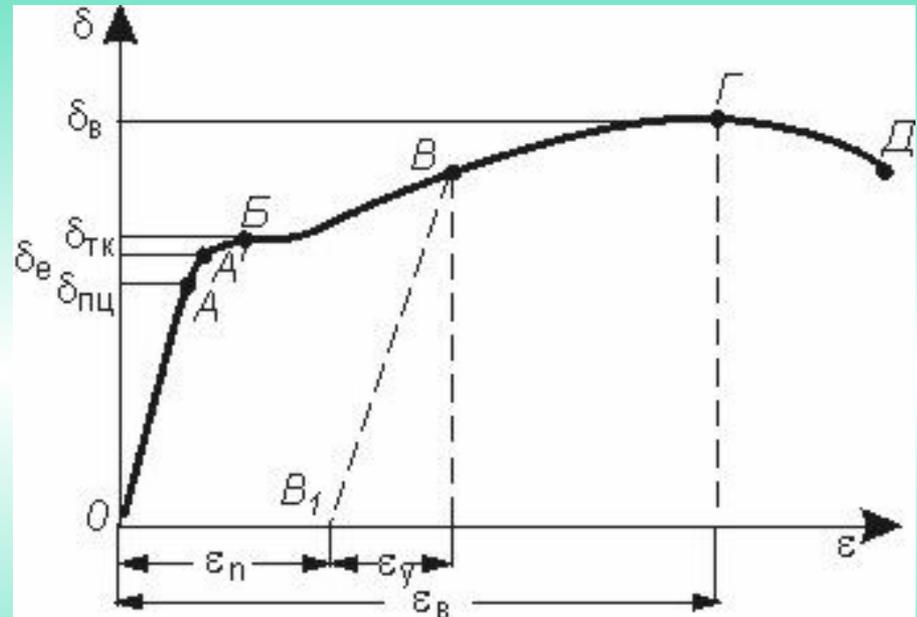
В процессе деформации горные породы могут испытывать три последовательные стадии деформации:

Упругая. После снятия нагрузки тело возвращается к первоначальному состоянию. Существует предел упругости (σ_e).

Остаточная (пластическая и хрупкая)

Пластическая – остаточная деформация, которая не нарушает целостности материала.

Хрупкая – тело разрушается.



Зависимость между напряжениями и деформациями при растяжении: ОА- упругая ; АГ-пластическая с упрочением; ГД- пластическая у с ослаблением тела перед разрывом

Пластическая деформация

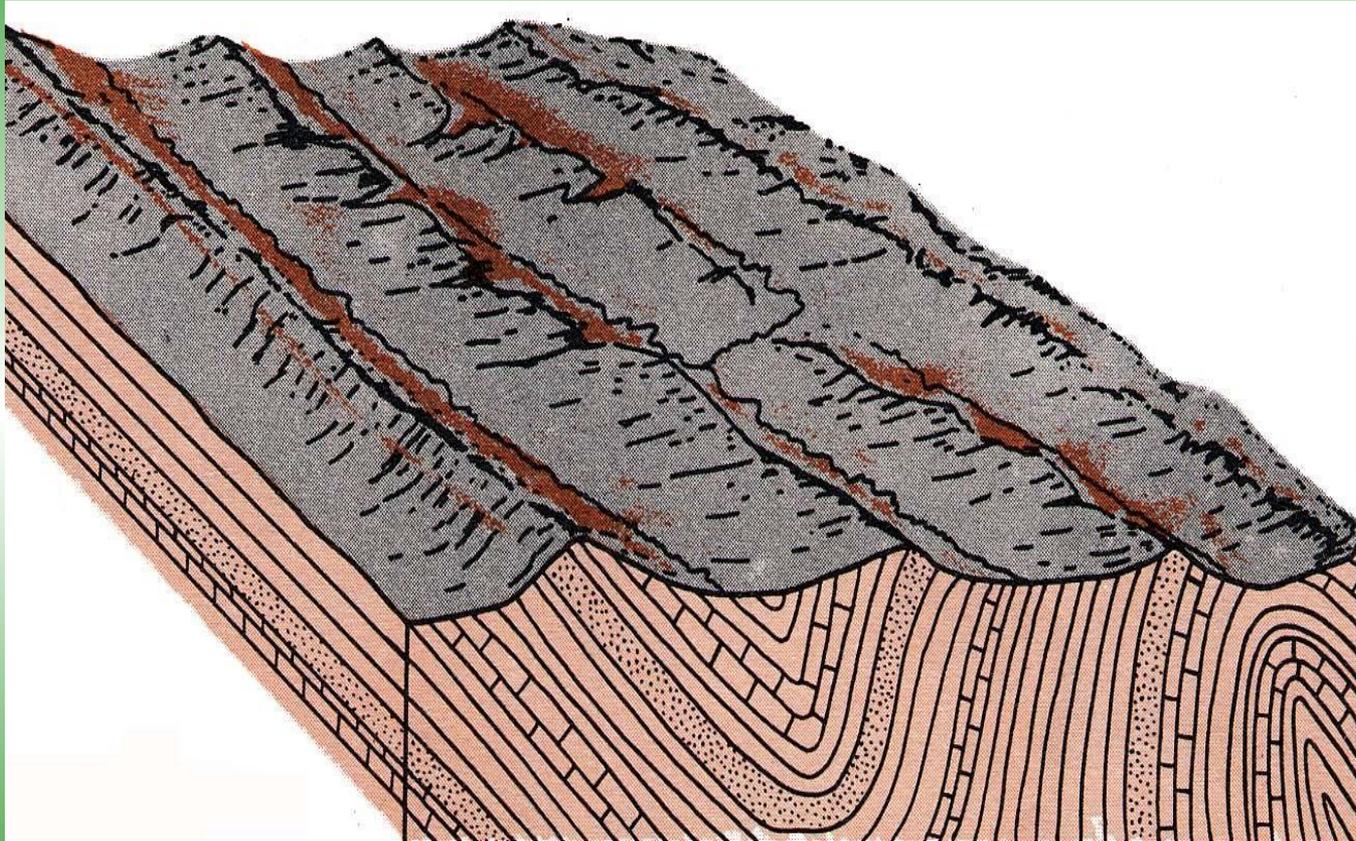


Перекристаллизация - как механизм реализации пластической деформации в горных породах:



Пластическая деформация в амфиболитах

СКЛАДЧАТЫЕ ФОРМЫ ЗАЛЕГАНИЯ СЛОЕВ ОБРАЗОВАЛИСЬ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД



*Эрозионные горные хребты апалачского
типа,*

ПЛИКАТИВНЫЕ (СКЛАДЧАТЫЕ) СТРУКТУРНЫЕ ФОРМЫ

Пликативные формы залегания горных пород образуются при тектонических деформациях, результатом которых являются разнообразные изгибы слоёв.

В нефтяной геологии удобно использовать геометрическую классификацию пликативных дислокаций, основанную на (*замкнутости*) или (*открытости*) структурных форм.

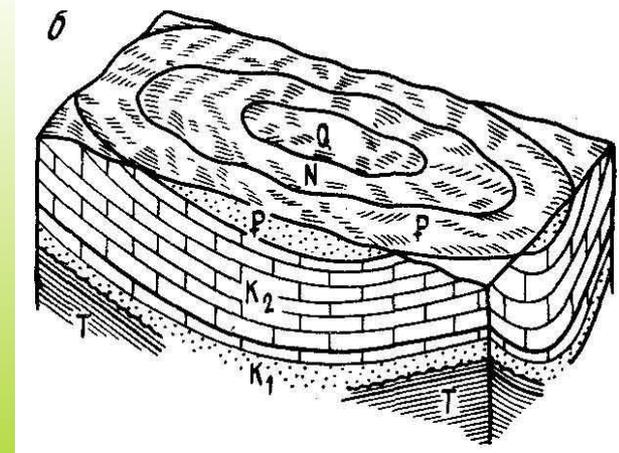
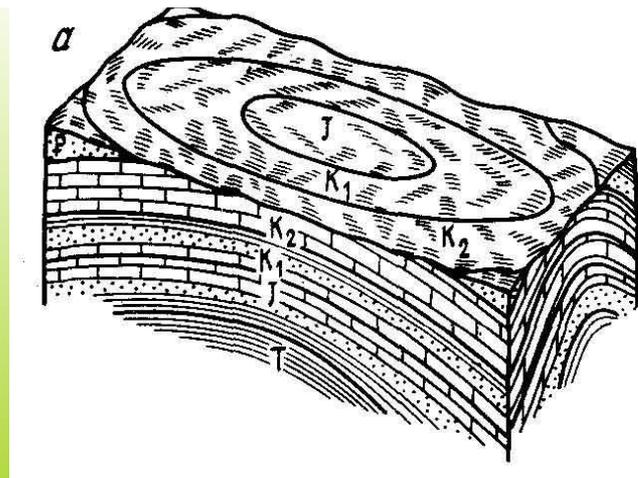
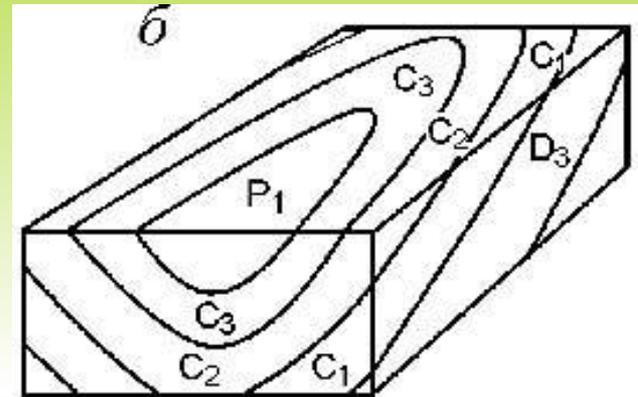
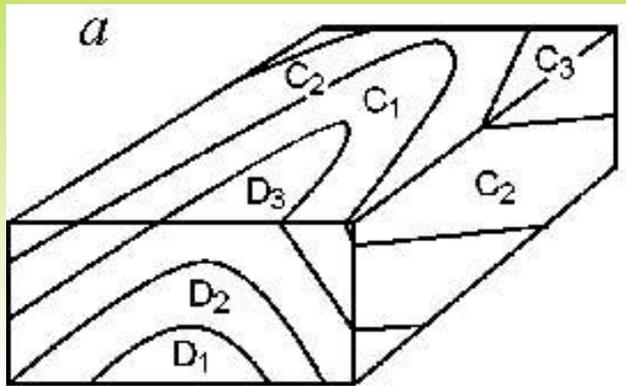
Такая классификация отвечает на вопрос: - *Могут ли рассматриваемые дислокации образовывать самостоятельные ловушки для нефти и газа?*

Классификация пликативных дислокаций

<p>Незамкнутые (не образуют самостоятельных ловушек)</p>	<p>Полузамкнутые (могут образовывать незначительные самостоятельные ловушки)</p>	<p>Замкнутые (могут образовывать самостоятельные ловушки)</p>
<p><i>Флексуры, моноклинали</i></p>	<p><i>Структурные носы, структурные заливы,</i></p>	<p><i>Складки</i></p>

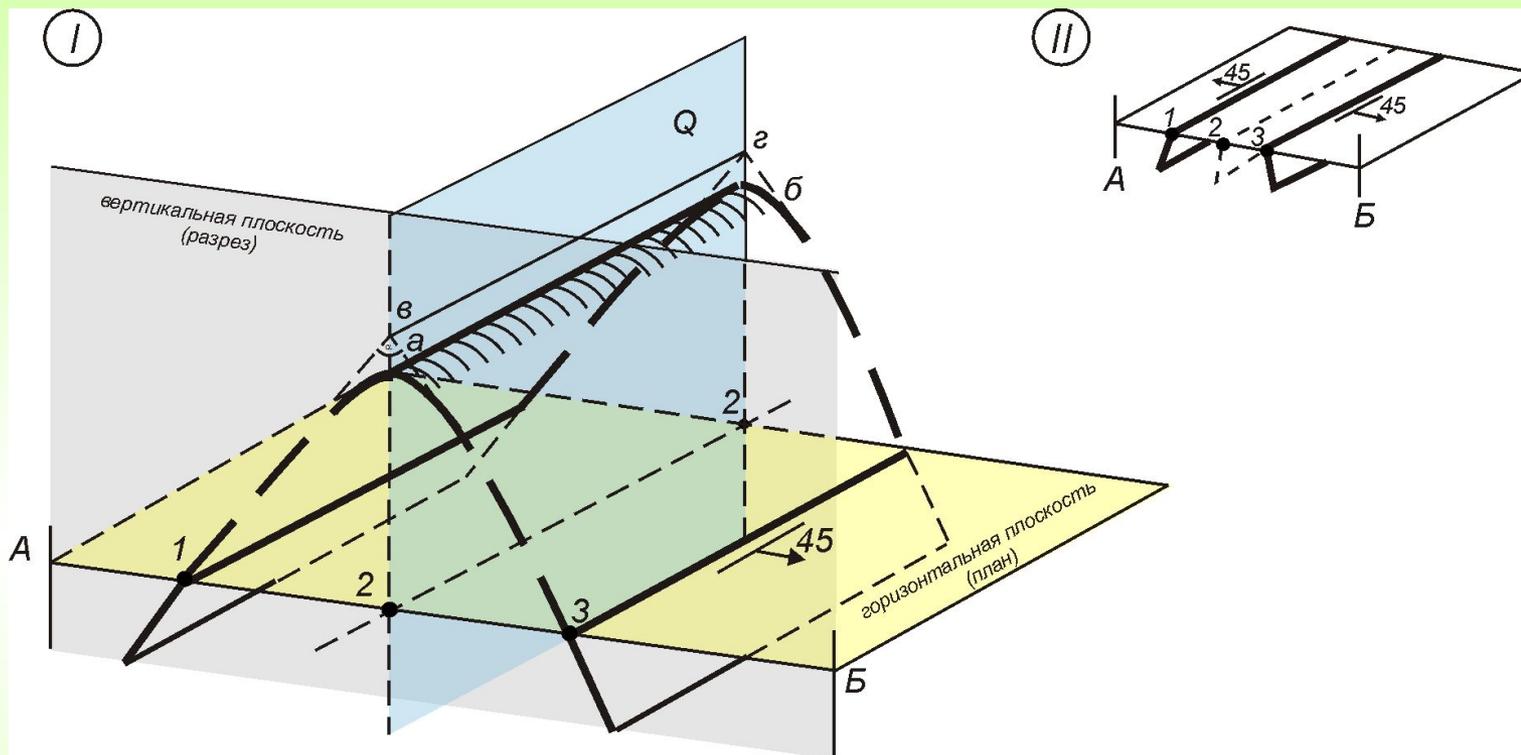
По положению выпуклости:

1) антиклинальные и синклиналильные



Антиклинальная (а) и синклиналильная (б) складки

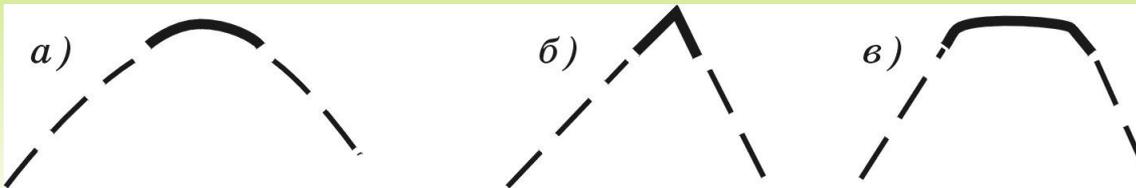
Элементы складки



1. **Крылья**
2. **Замок** – область перегиба крыльев
3. **Шарнир** – (v,z)
4. **Угол складки** ($\angle a$)
5. **Осевая плоскость** (Q) – делит угол складки пополам
6. **Ось складки** - (a,b) – линия пересечения осевой плоскости со складкой (**ШАРНИР**)
7. **Осевая линия складки в вертикальном разрезе** (v-a-2)
8. **Осевая линия складки в плане** (**ОСЬ**) (2-2)
9. **Элементы залегания крыльев**

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СКЛАДОВ

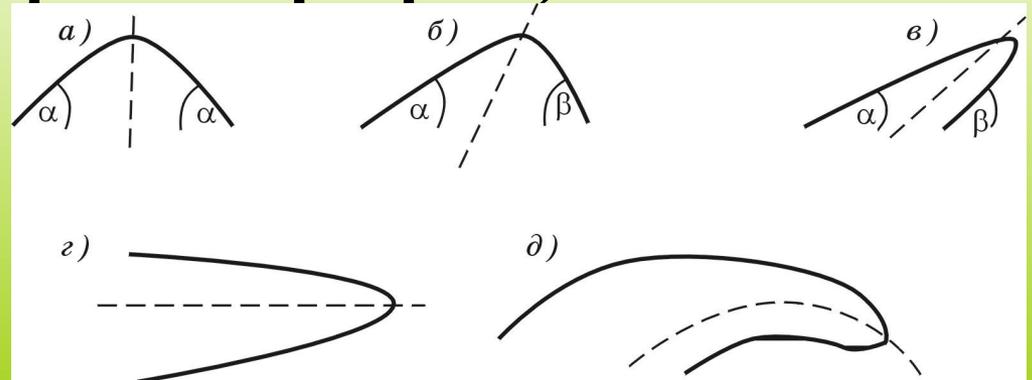
1. По форме замка



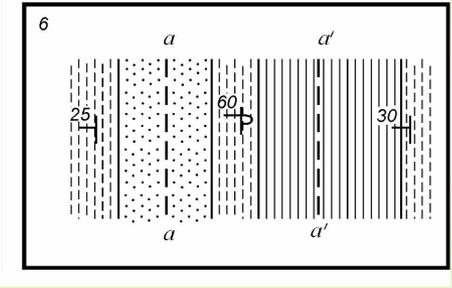
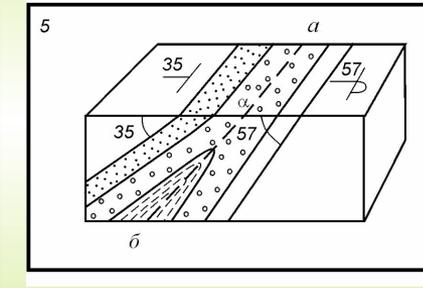
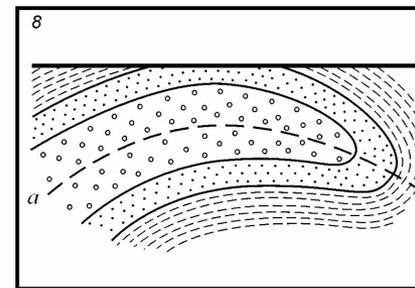
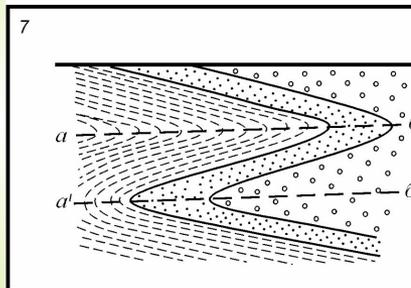
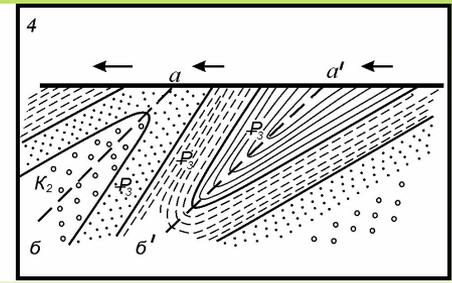
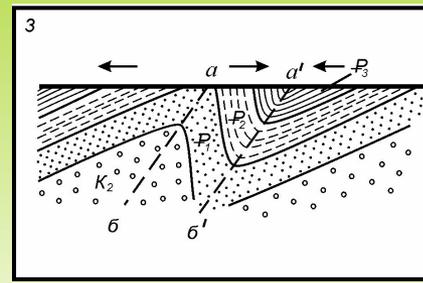
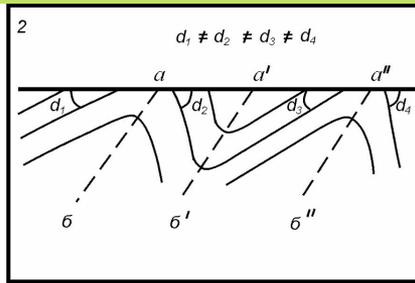
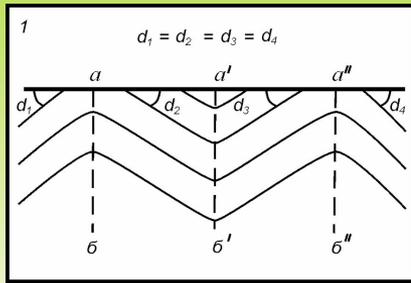
- а – округлая
(выпуклая,
аркообразная);*
*б – острая, тупая;
(гребневидная,
килевидная)*
*в – сундучная
(коробчатая)*

2. По положению осевой плоскости (в поперечном разрезе)

- а – прямые;*
б – косые;
в – опрокинутые;
г – лежащие;
д - перевернутые

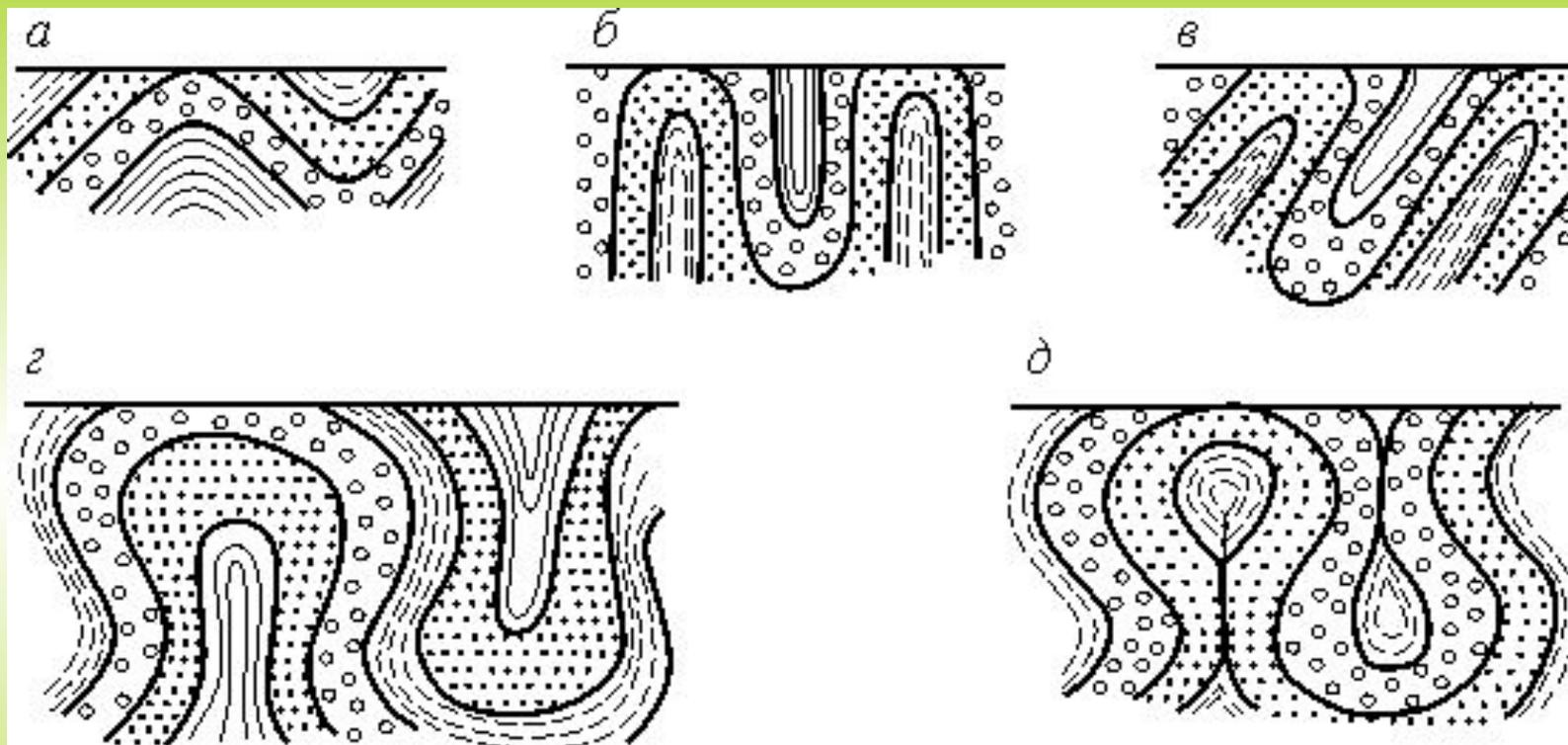


2. По положению осевой поверхности:



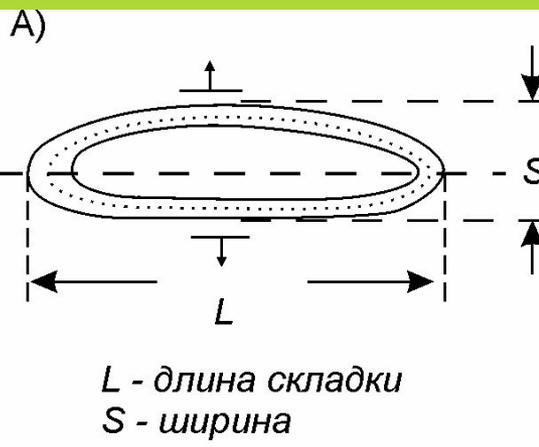
1 – симметричные (прямые); 2 – асимметричные: наклонные – 3, опрокинутые - 4-6 (4 – в вертикальном разрезе, 5 – на блок-диаграмме, 6 – в плане); 7 – лежащие (горизонтальная); 8 – перевернутая (ныряющая); $a-a$ и a^1-a^1 – осевые линии складок; $a-б$, $a^1-б^1$, $a^{11}-б^{11}$ – осевые поверхности складок в разрезах

2. По положению крыльев:

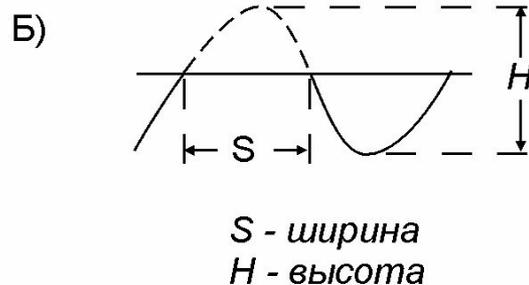


а – нормальные; б,в – изоклиналильные (б – прямые, в – опрокинутые);
г – веерообразные; д – веерообразные с пережатым ядром

4. По отношению длины, ширины и высоты складки

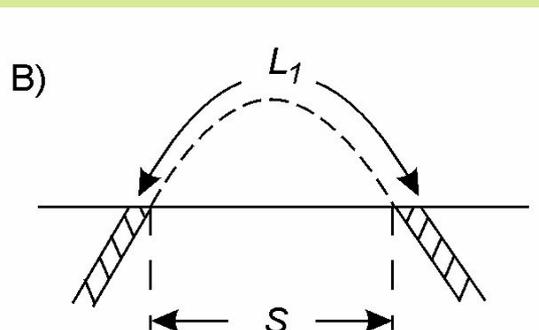


1. Линейные ($L:S \gg 5:1$)
2. Брахиформные ($L:S = 3:1-5:1$)
3. Куполовидные ($L:S < 3:1$)
(чашевидные)



$$K = \frac{H}{S} - \text{коэффициент кривизны складки}$$

1. Складки пологие ($H:S < 0,5$)
2. Складки крутые ($H:S > 0,5$)



$$K = \frac{L_1}{S} - \text{коэффициент сжатия}$$

1. Не напряженные ($k = 1,05-1,3$)
2. Напряженные ($k = 1,3-1,8$)
3. Очень напряженные ($k > 2$)

По соотношению мощности в замке (з) и на крыльях (к)

Концентрическая

$$m_z = m_k$$

Подобные

$$m_z \gg m_k$$

Складка уплотнения

$$m_z < m_k$$

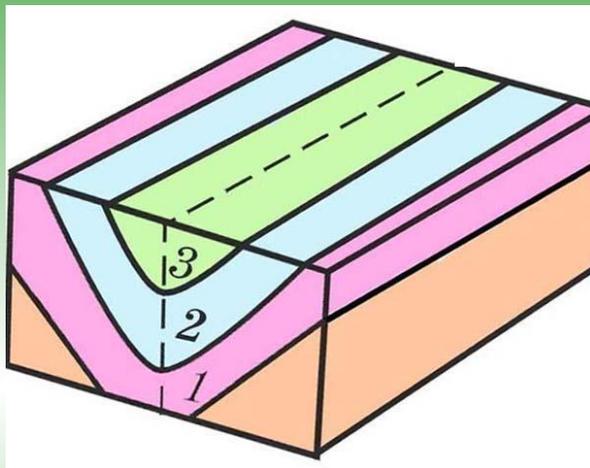
Диапировая

$$m_z < m_k$$

По положению оси (шарнира)

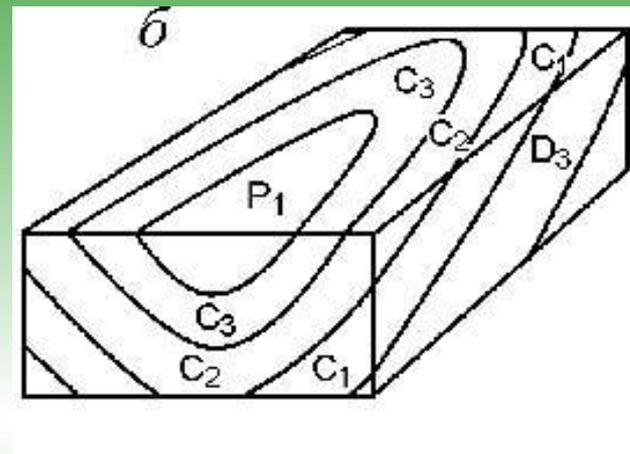
с горизонтальной

а

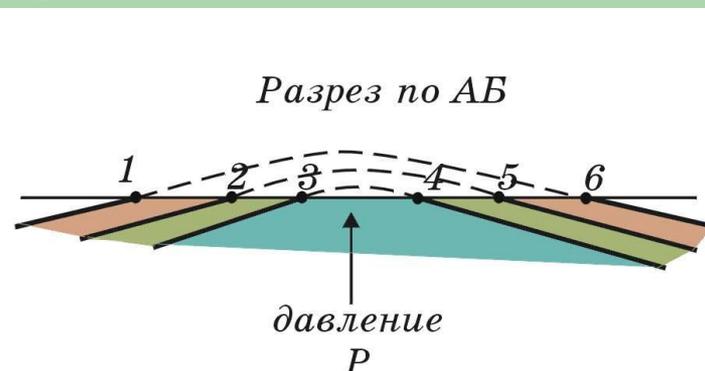
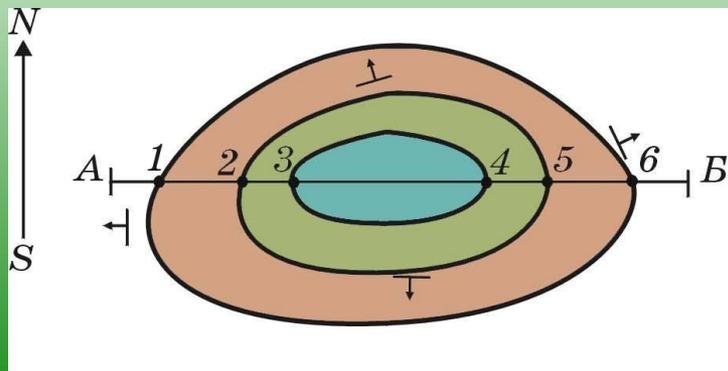


с наклонной

б

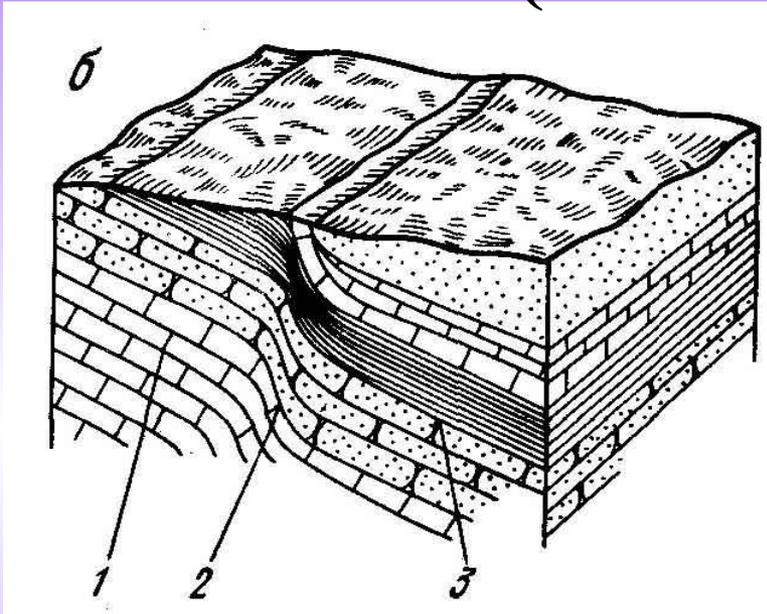


в



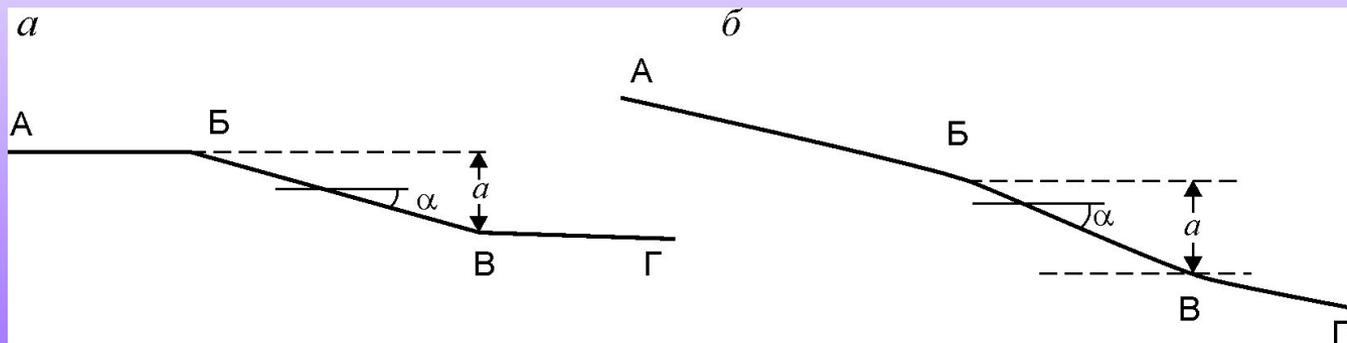
с уноулирующей осью

ФЛЕКСУРА (незамкнутые)



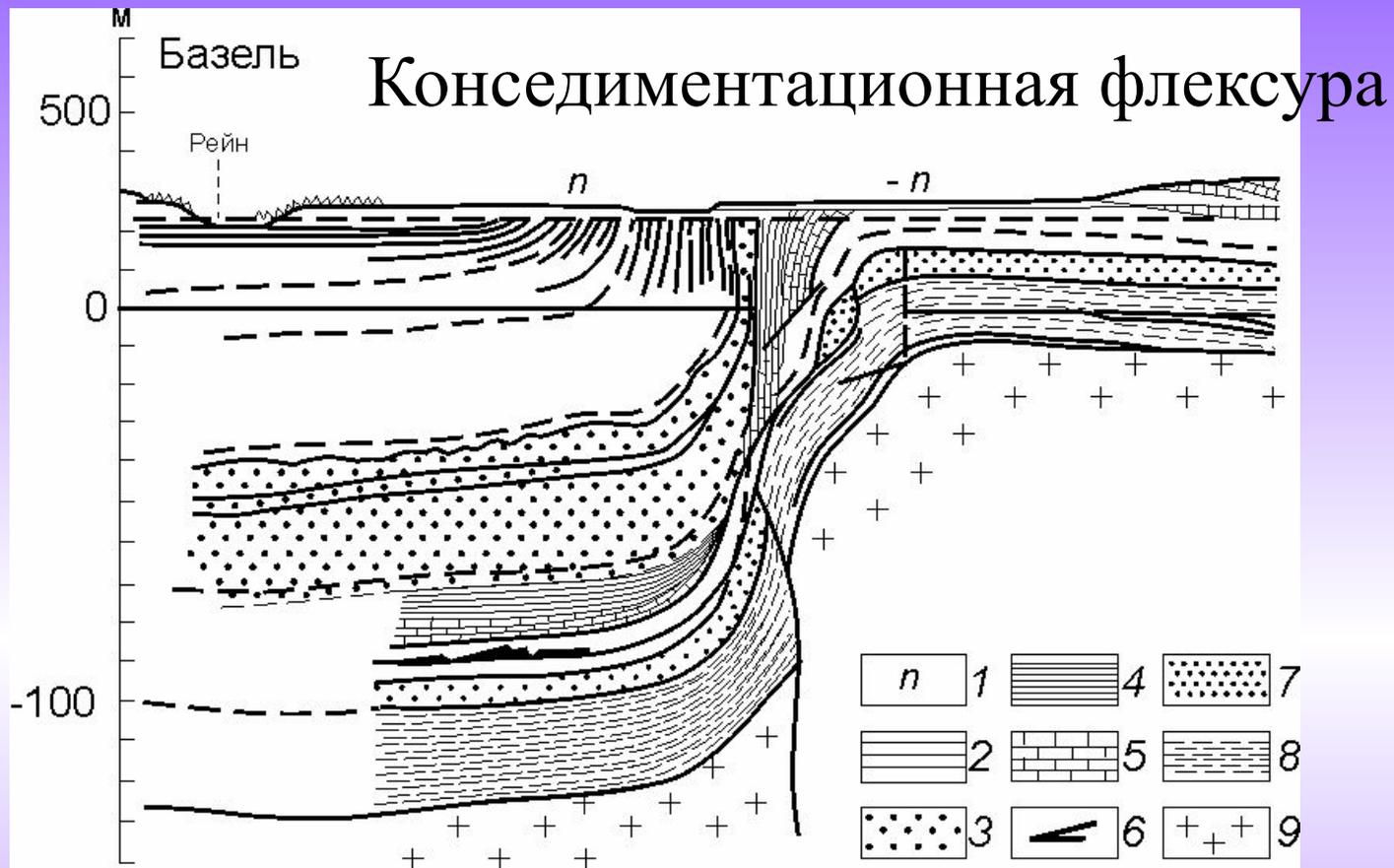
Крылья флексуры:
1 – верхнее,
2 – соединительное,
3 – нижнее

Строение флексуры при горизонтальном (а) и наклонном (б) залегании пород



Классификация флексур по положению крыльев

Название флексуры	Характеристика флексуры
Согласная	Смыкающее крыло, верхнее и нижнее падают в одну сторону
Несогласная	Смыкающее крыло, верхнее и нижнее падают в разные стороны
Структурная терраса	Смыкающее крыло горизонтальное, а верхнее и нижнее крылья наклонные
Наклонная	Смыкающее крыло наклонное
Вертикальная	Смыкающее крыло вертикально



Строение флексуры в слоях юрского и палеогенового возраста, отражающее движения по сбросу в кристаллическом фундаменте. Разрез через долину Рейна у Базеля, по А.Гейму: 1 – аллювиальные террасы; 2 – палеоген; 3 – юра; 4 – верхний триас; 5 – средний триас; 6 – ангидрид и гипс; 7 – нижний триас; 8 – пермь; 9 – породы кристаллического фундамента

Отличительные признаки флексур

Признаки	Конседиментационные	Постседиментационные
Мощность	Максимальная в опущенном крыле, минимальная в смыкающем крыле	Мощности не отличается
Литологический состав	Тонкообломочные, глинистые и карбонатные породы в опущенном крыле. Грубообломочные и рифовые фации в смыкающем крыле; Грубообломочные фации в поднятом крыле.	Литологический состав не отличается
Полнота разреза	Разрез полный в опущенном крыле, с перерывами в поднятом крыле	Одинаковая
Распределение напряжений	Сосредоточены исключительно в смыкающем крыле и на глубине нередко осложняются разрывами	Имеет различную природу в кровле и подошве деформируемых слоев

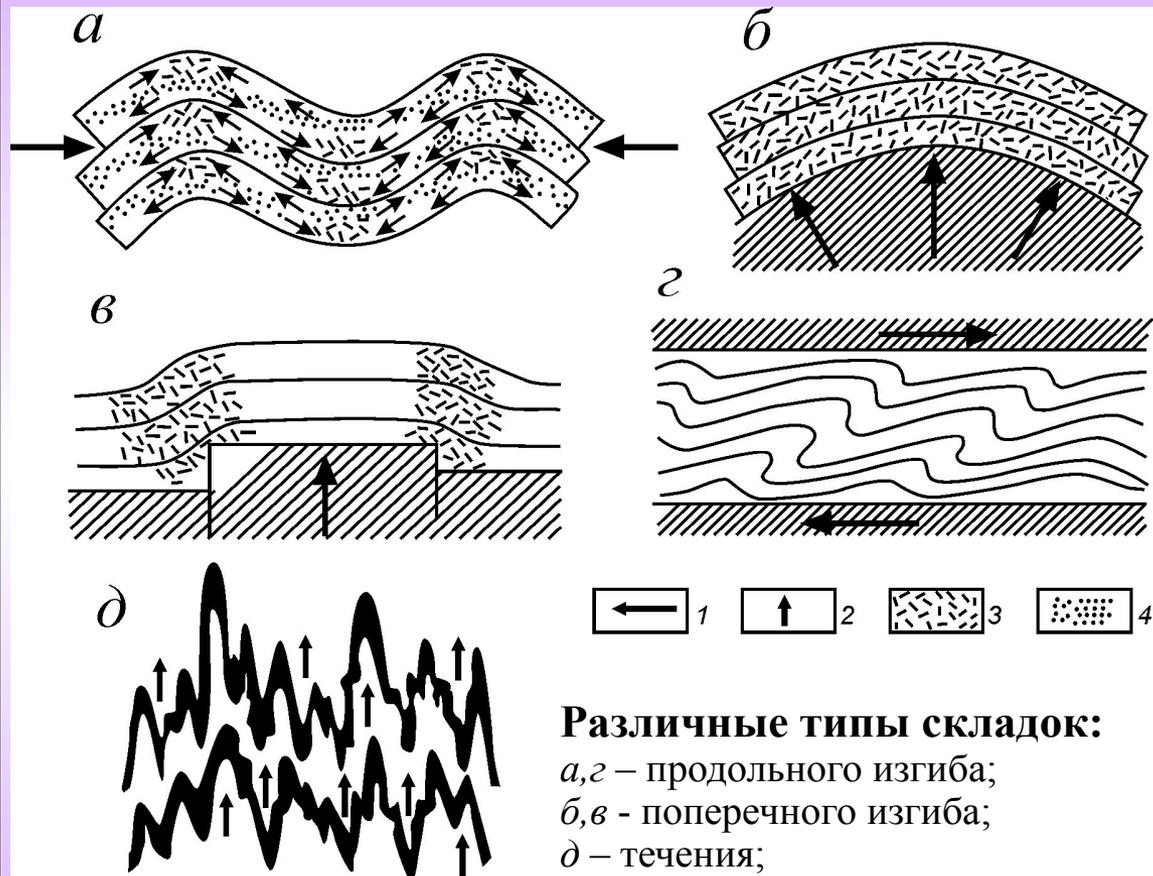
ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

1. Физическая (динамическая). В основу положен физический механизм деформации горных пород.

- направление активных сил деформации;
- особенности слоистой текстуры;
- величина давления (стрессового, литостатического)
- пластичность и вязкость горных пород;
- температура и длительность нагрузок

2. Геологическая. Геологические условия образования складок

ДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СКЛАДОК



Различные типы складок:

- а, г – продольного изгиба;
 б, в - поперечного изгиба;
 д – течения;
 1 – направления действующих сил;
 2 – направление перемещения пород;
 3-4 – участки: 3 - растяжения,
 4 - сжатия

- Складки изгиба возникают при продольном сжатии, поперечном изгибе и сдвиге
- Складки течения возникают вследствие направленного давления в условиях высоких температур и длительного воздействия нагрузки

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СКЛАДОК

ЭНДОГЕННЫЕ :

**складчатость тектонического
происхождения**

ЭКЗОГЕННЫЕ:

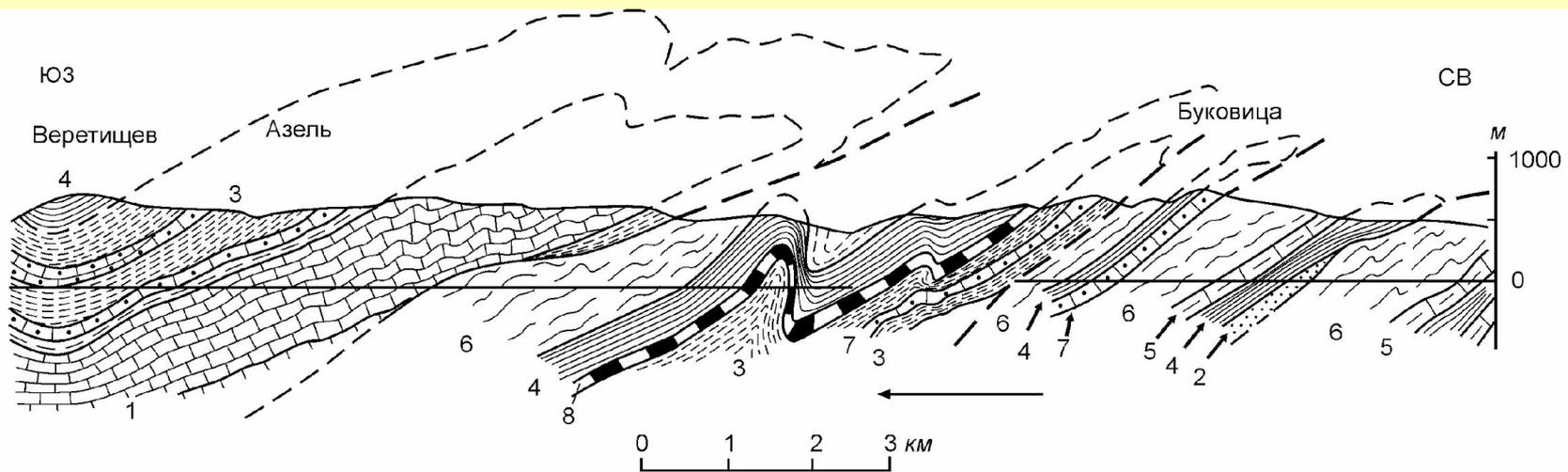
**складчатость нетектонического
происхождения**

Складчатость тектонического происхождения (эндогенная)				Складчатость нетектонического происхождения (экзогенная)	
конседиментационная	постседиментационная (наложенная)				
	поверхностная		глубинная		
Складки погружения		Складки регионального смятия		Складки вертикального течения	Подводно-оползневые складки, образующиеся при оползании осадков на дне бассейна
Складки, связанные с неравномерными вертикальными движениями		Складки облекания (глыбовые отраженные)		Складки горизонтального течения	Наземно-оползневые складки, возникающие при оползневых процессах
					Складки, обусловленные деформациями при эпи- и диагенезе осадков (уплотнение, разбухание, дегидратация)
		Складки гравитационного скольжения		-	Складки, вызываемые за счет разгрузки вышележащих пород
		Приразрывные складки		-	Складки обрушений, связанные с карстовыми явлениями, провалами и т.п.
		Складки, связанные с внедрением магмы		-	Складки, вызываемые напором ледников (гляциодислокации)
		Диапировые складки		-	Первичные наклоны и изгибы, обусловленные неровностями поверхности накопления осадков (структуры облекания)
					Первичные наклоны в покровах эффузивных пород
					Первичные наклоны, связанные с различной скоростью накопления осадков или неравной мощностью пород

КОНСЕДИМЕНТАЦИОННАЯ СКЛАДЧАТОСТЬ

- **Складки погружения** – при равномерном погружении области осадконакопления:
 - неправильные очертания в плане, повторяют контуры бассейна;
 - размеры достигают до 100 км.
- **Складки, связанные с неравномерными вертикальными движениями:**
 - при различных скоростях или знаках вертикальных движений отдельных участков дна бассейна;
 - увеличенные мощности в замках синклиналей и уменьшенные в антиклиналях

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ СКЛАДКИ.



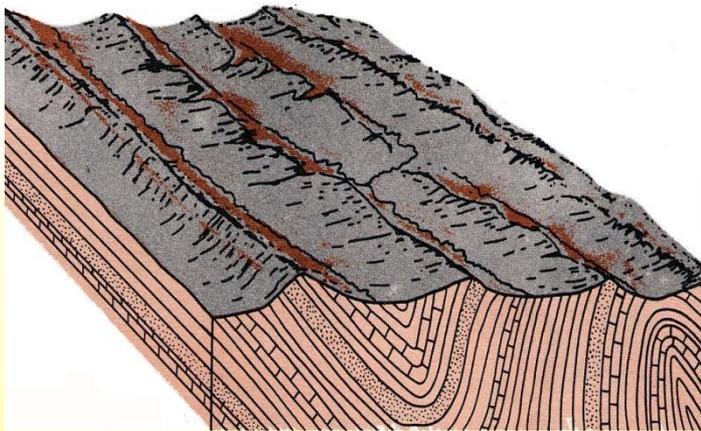
КОНСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ СКЛАДКИ. РАЗРЕЗ ЧЕРЕЗ ТЕНИЗКУЮ ВПАДИНУ, ПО А.Е. МИХАЙЛОВУ



ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННАЯ СКЛАДЧАТОСТЬ:

- поверхностная
- глубинная

СХЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ СКЛАДЧАТОСТИ



- Складчатость регионального сжатия (общего смятия, полная, голоморфная)

Складки облекания (отраженные, глыбовые)		
Складки гравитационного скопления		
Складки, связанные с разрывными (при-разрывные складки)		
Складки, связанные с внедрением магмы		
Диапировые складки		

ГРУППЫ СКЛАДОК

В природе отдельные складки редки.

Чаще всего они образуют закономерные сочетания элементарных складок, т.е, образуют складчатый комплекс или группу складок.

В комплексах выделяют:

- I. Непрерывную (полную) складчатость, характерную для геосинклинальных областей и переходных структур (прогибы)**
- II. Прерывистую, свойственную для платформ**

Полная складчатость характерна равномерным развитием линейных антиклинальных и синклиналильных складок большой протяженности и по месту ее установления называется альпинотипной.

а) конгруэнтная



б) эжективная (гребневидная)

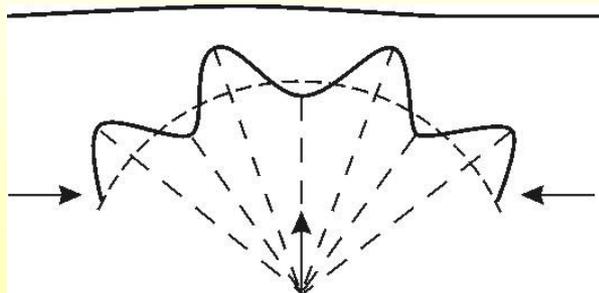


в) дежективная (коробчатая)



В поперечном сечении в комплексах складок различают:

Антиклинорий

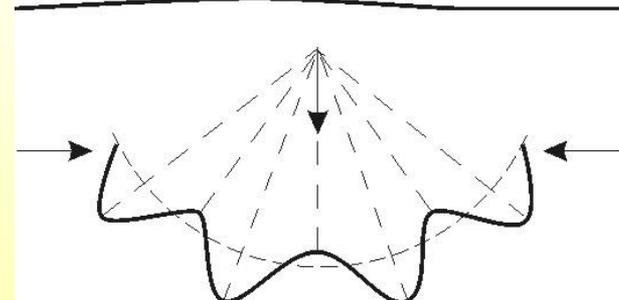


Зеркало складчатости

$S=50-150 \text{ км}^2$

$l = \text{сотни км}$

Синклинорий

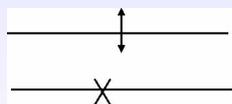


В складчатых системах антиклинории и синклинории группируются в структуры более высоких порядков мегантиклинории (Кузнецкий Алатау, Большой Кавказ)

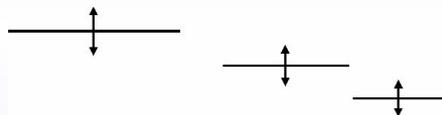
Мегасинклинорий: Западный Саян

ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ СКЛАДОК В ГРУППАХ (КОМПЛЕКСАХ)

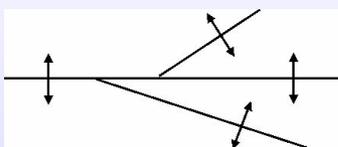
Расположение складок относительно друг друга:

а) параллельное 

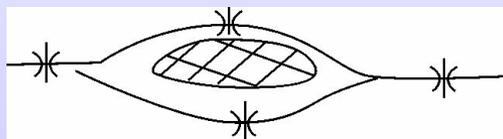
б) кулисообразное



в) беспорядочное

г) виргационное 

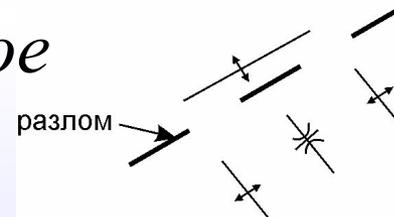
д) миндалевидно-пучковое



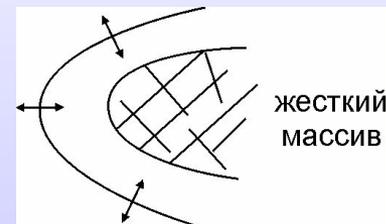
е) гирлянда складок



ж) торцевое



з) сигмоида складок



МАСШТАБ (ПОРЯДОК) СКЛАДЧАТОСТИ

Комплексы складок и складки в зависимости от размеров могут быть разных порядков

А. В геосинклинально-складчатых зонах:

I. *Складчатые системы* (S =сотни км²; l = тыс. км)

II. *Антиклинории и синклинории* (S =50-150 км²; l = сотни км)

III. *Складки шириной 10 – 20 км*

IV. *Складки шириной 100 м – 1.0 км*

V. *Складки шириной сантиметры-метры*

Б. Складчатость в чехле платформ

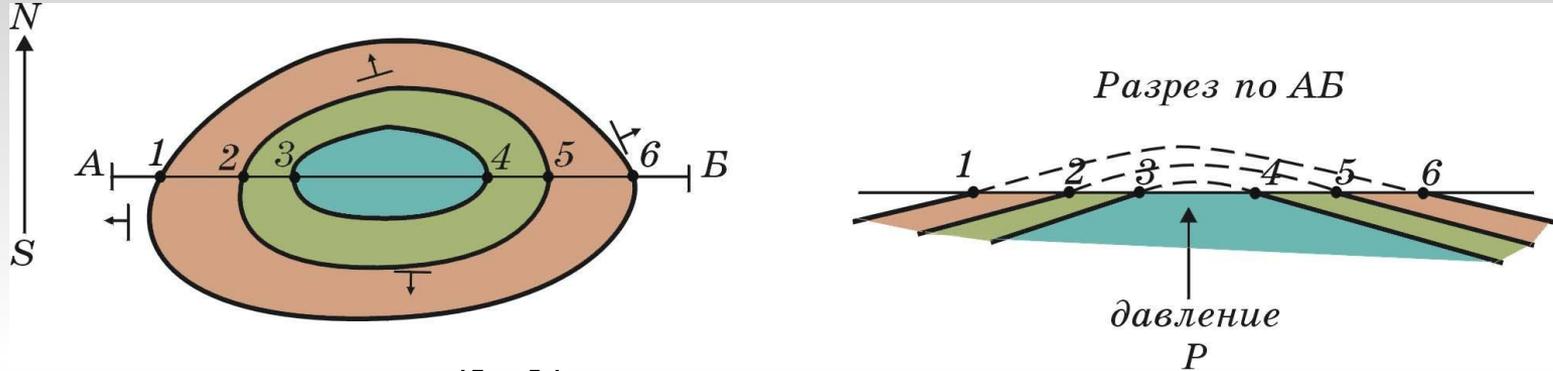
- I. *Региональные структуры (тыс.км²)* – щиты, плиты
- II. *Крупнейшие (300 × 800 км)* – антеклизы, синеклизы, авлакогены, желоба
- III. *Крупные – I-го порядка (100 × 300 км)* – своды, впадины, мегавалы, прогибы
- IV. *Средние – II-го порядка (20 × 170 км)* – куполовидные поднятия, котловины, валы, антиклинальные зоны, депрессии
- V. *Мелкие – III-го порядка (3 × 20 км)* – купола, чаши, брахисинклинали, брахиантиклинали
- VI. *Мельчайшие (2 × 4)* – поднятия, опускания, флексуры, ступени

**ХАРАКТЕРНЫЕ
ПРИЗНАКИ
РАЗЛИЧНЫХ
ТИПОВ
СКЛАДЧАТОСТИ**

ВИДЫ СКЛАДЧАТОСТИ

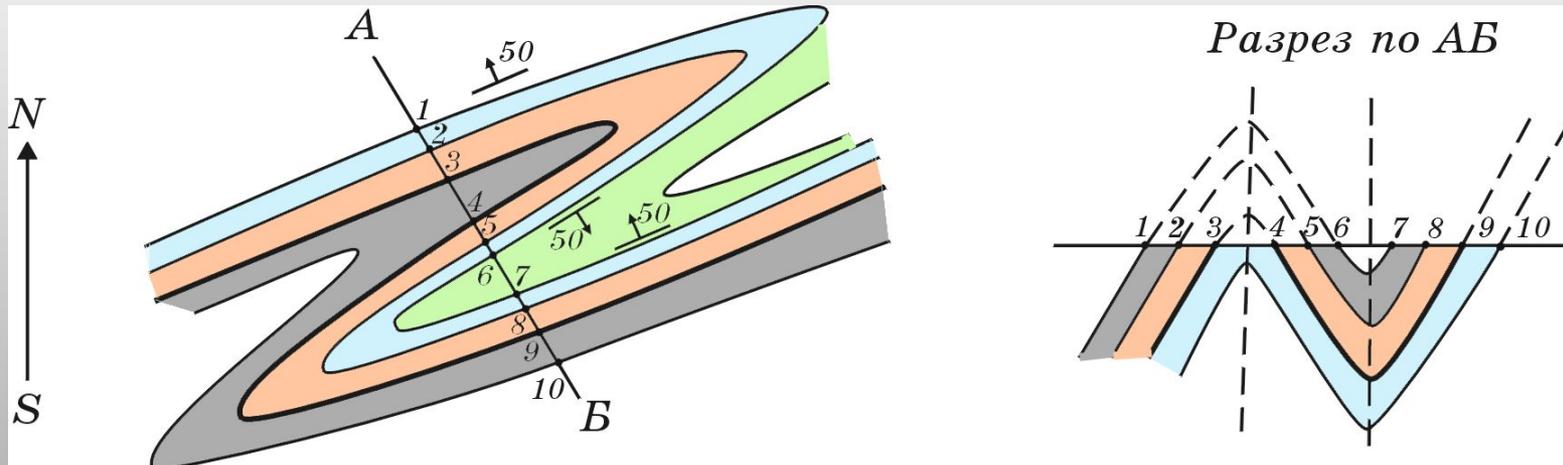
1. Платформенная

Складки изометричные, располагаются беспорядочно. Преобладают антиклинали



2. Геосинклинальная

Складчатость горизонтального сжатия. Складки напряженные, линейные с одинаковым развитием антиклиналей и синклиналей



А. Полная (альпинотипная, голоморфная, tg сжатия, общего смятия) характерна для геосинклинально-складчатых зон, краевых прогибов



Синклинии и антиклинии

А) не напряженные

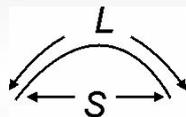
$$K_{сж} = 1,05-1,2$$

Б) напряженные

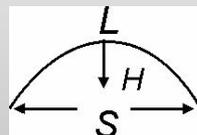
$$K_{сж} = 1,3-1,8$$

В) очень напряженные

$$K_{сж} > 2$$



$$K_{кривизны} = \frac{H}{S}$$



$K_{кр} < 0,5$ – пологие

$K_{кр} > 0,5$ – крутые

Признаки:

а) большая напряженность складок ($L/S > 2$) и малый радиус кривизны ($H/S > 0,5$)

б) линейный характер складок ($l:S > 5:1$)

в) наличие опрокинутых, перевернутых складок

г) складки подобные реке концентрические

д) складки пластического волочения

е) параллельное расположение складок с дугообразными изгибами в плане осей и их виргация

ж) наличие одновозрастных со складчатостью продольных надвигов, взбросов, поперечных сбросов и сдвигов

з) непрерывность развития складок

Б. Прерывистая (германотипная, платформенная, штамповая). Характерно для чехла платформ. Формируются в условиях радиальных (вертикальных) движений:

Признаки:

- а) крупные размеры складок, большой радиус кривизны
- б) небольшой наклон крыльев складок, их асимметрия
- в) овальная форма в плане
- г) прерывистое расположение складок
- д) беспорядочное расположение складок в плане
- е) тесная связь с разрывными нарушениями
- ж) широкое развитие коробчатых, овальных форм, флексур

В. Промежуточная (гребневидная, коробчатая) складчатость

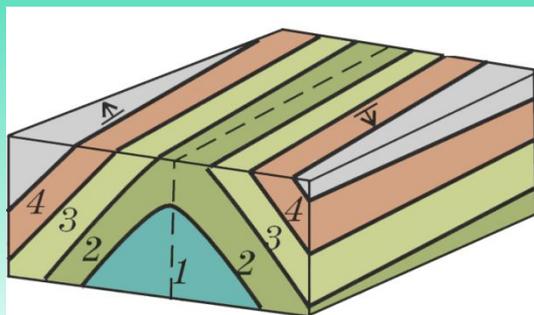
Признаки:



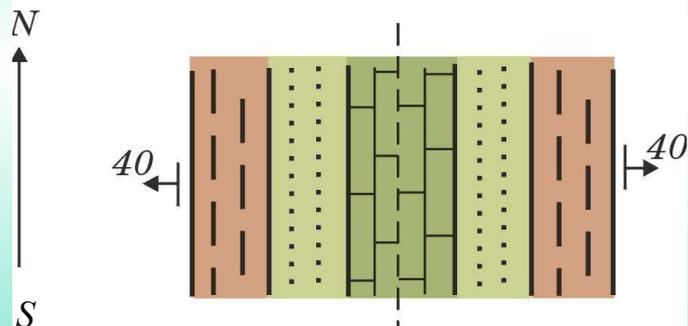
- а) различная степень напряженности соседних антиклиналей и синклиналей
- б) асимметрия складок
- в) кулисообразное расположение в плане
- г) частая ундуляция осей (брахиформные складки)

ОСОБЕННОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ СКЛАДОК

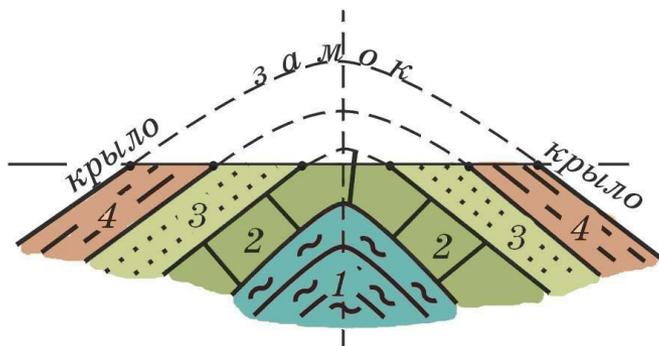
Антиклиналь



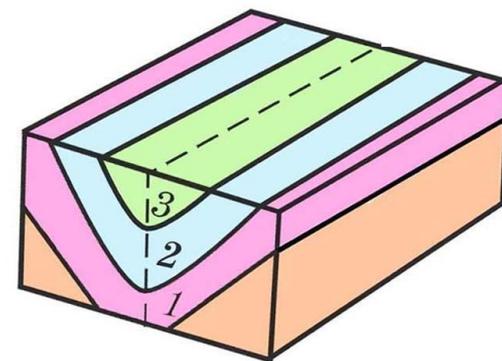
План



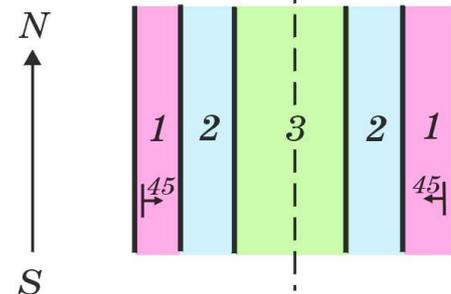
Разрез



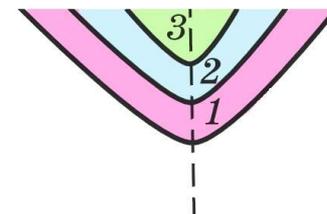
Синклиналь



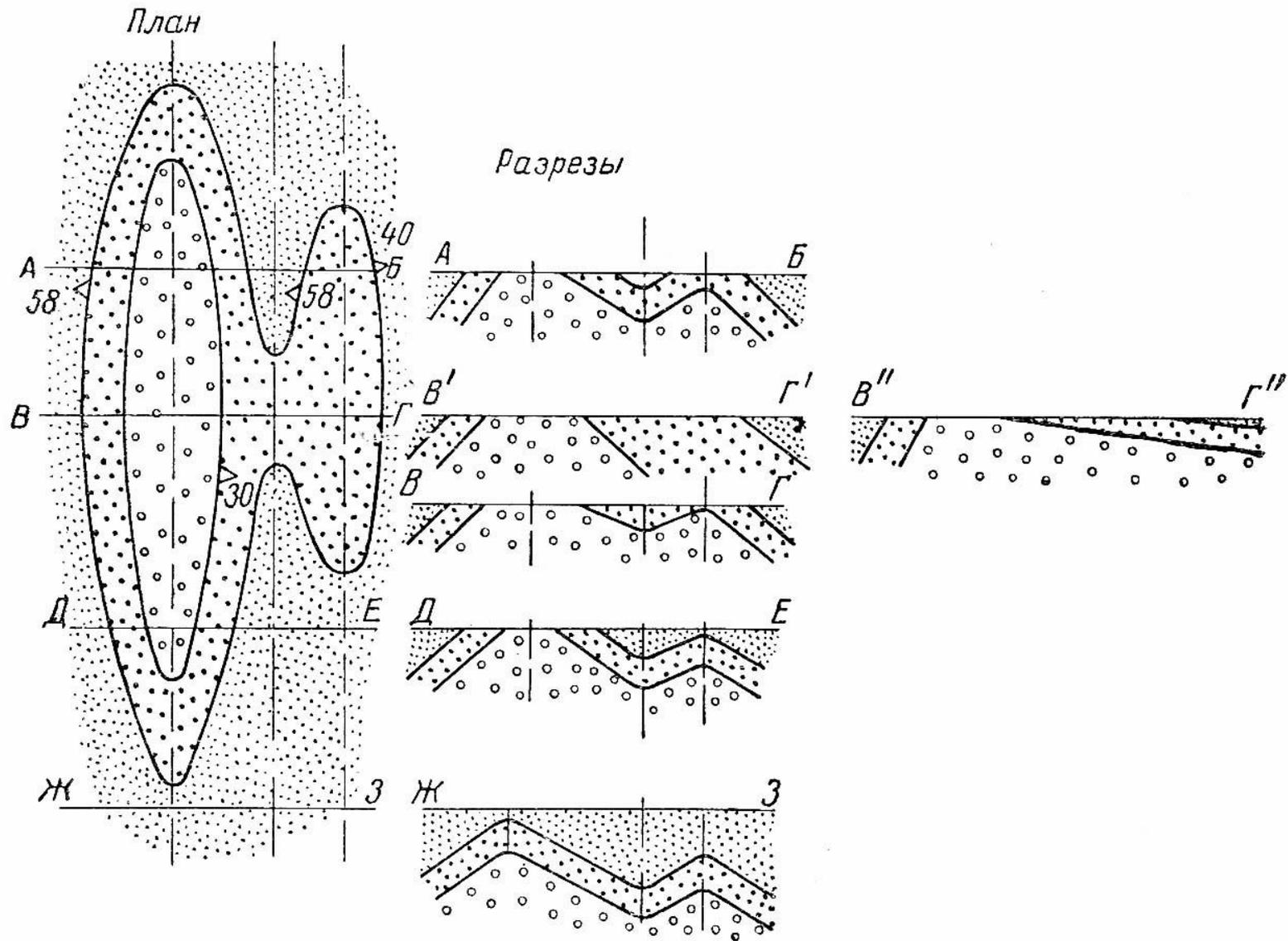
План



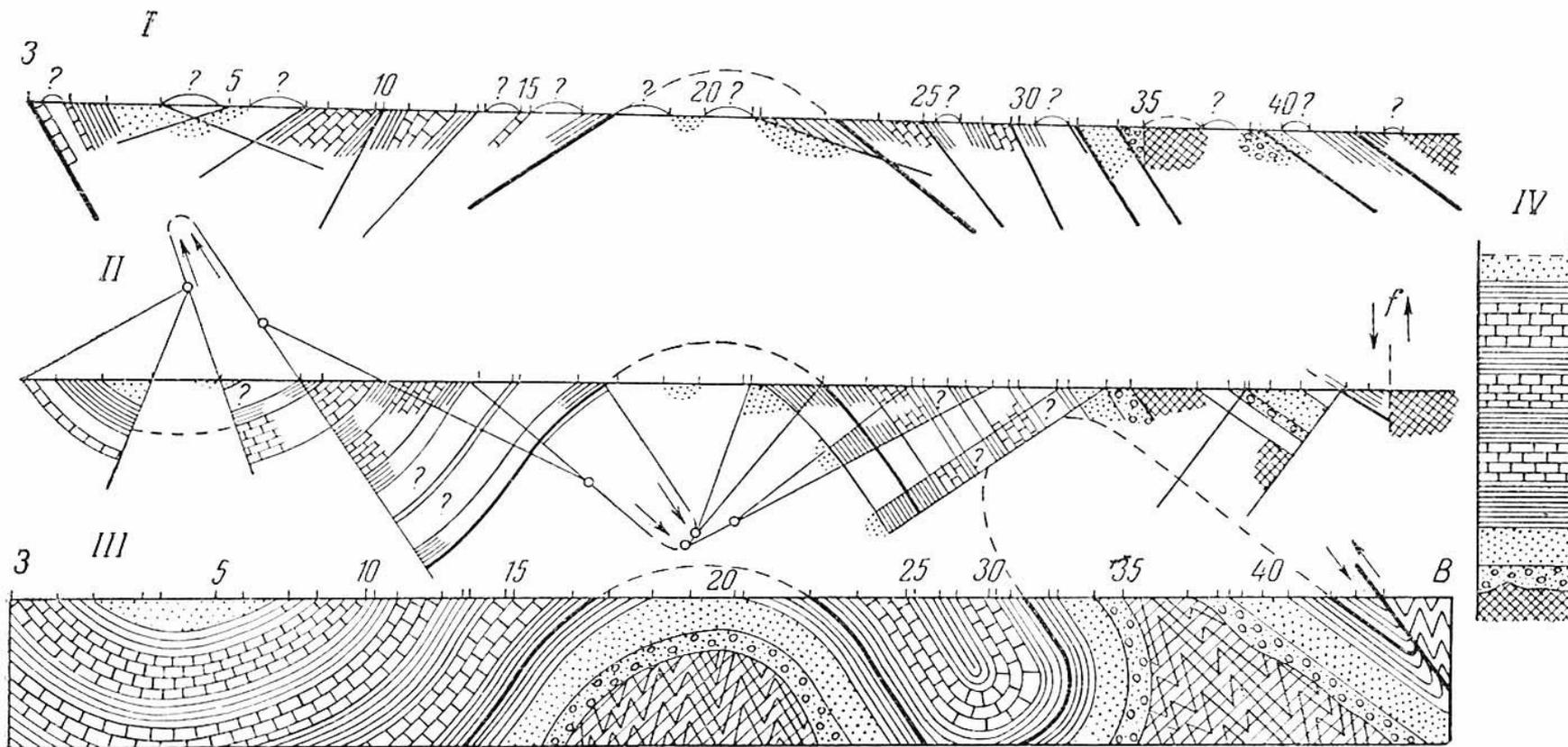
Разрез



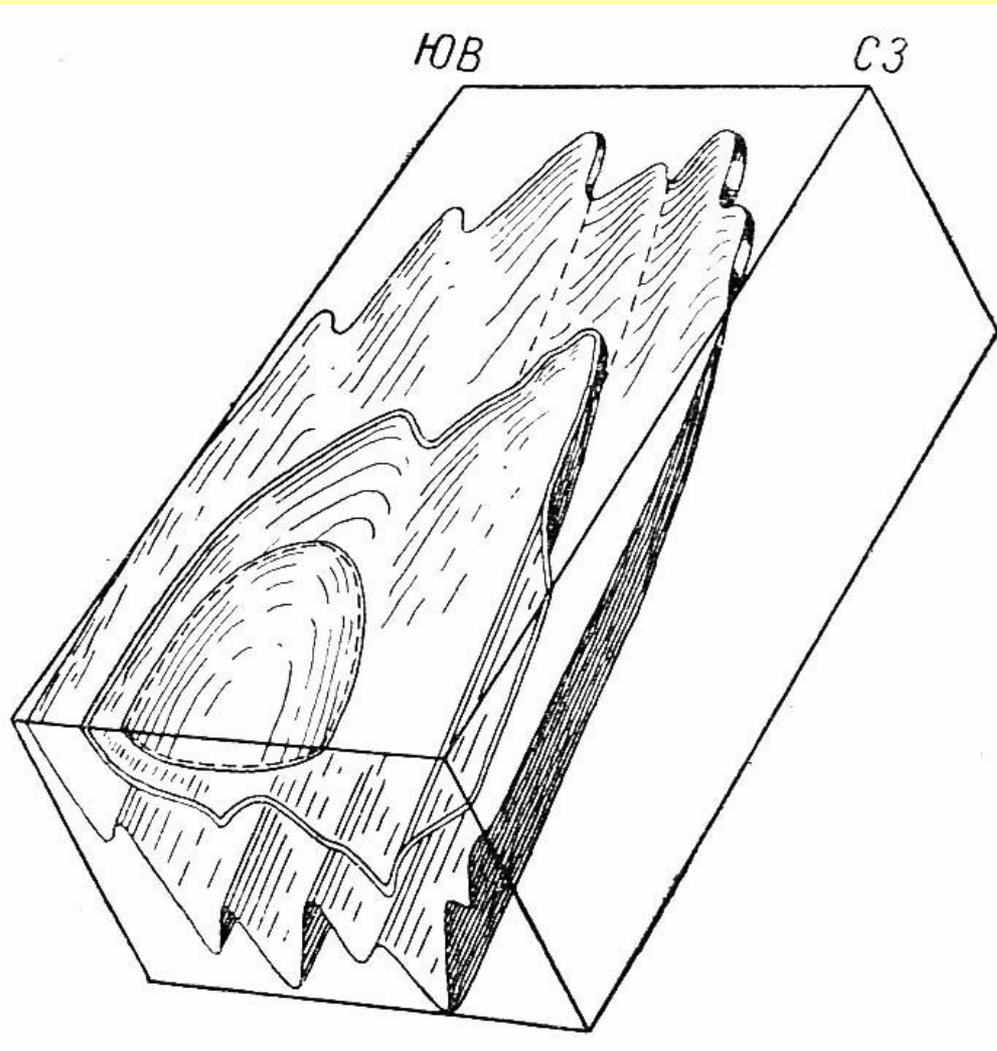
Блок –
диаграммы,
показывающие в
плане и
поперечном
разрезе
относительный
возраст и
соотношение
слоев в простых
складках



Построение разреза складок



Построение геологического разреза методом радиусов (по В.Н.Веберу): I – нанесение на разрез геологических данных и углов падения слоев; II – построение разреза; III – окончательно составленный разрез; IV – стратиграфическая колонка



**на складки в плане
получает форму складки
в разрезе**

ОСОБЕННОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ СКЛАДОК НА КАРТАХ И РАЗРЕЗАХ

Складчатые структуры на карте показываются выходом пластов, которые закономерно повторяются относительно друг друга.

- 1. Определить генеральное простирание складок;*
- 2. Наметить положение осевых линий;*
- 3. Определить тип складок (антиклиналь, синклиналь)*
- 4. Определить форму замка*
- 5. Определить положение осевой плоскости*
- 6. Положение оси (шарнира)*

ЗАДАНИЕ №2
(САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА)

1. Признаки опрокинутого залегания слоёв горных пород в крыльях складок (*с рисунками*).
2. Формы залегания метаморфических пород.

Работа выполняется в лекционных тетрадях!!!