

Структурная геология и геологическое картирование

Лекция № 3

«Наклонное залегание пластов»

Элементы залегания пласта

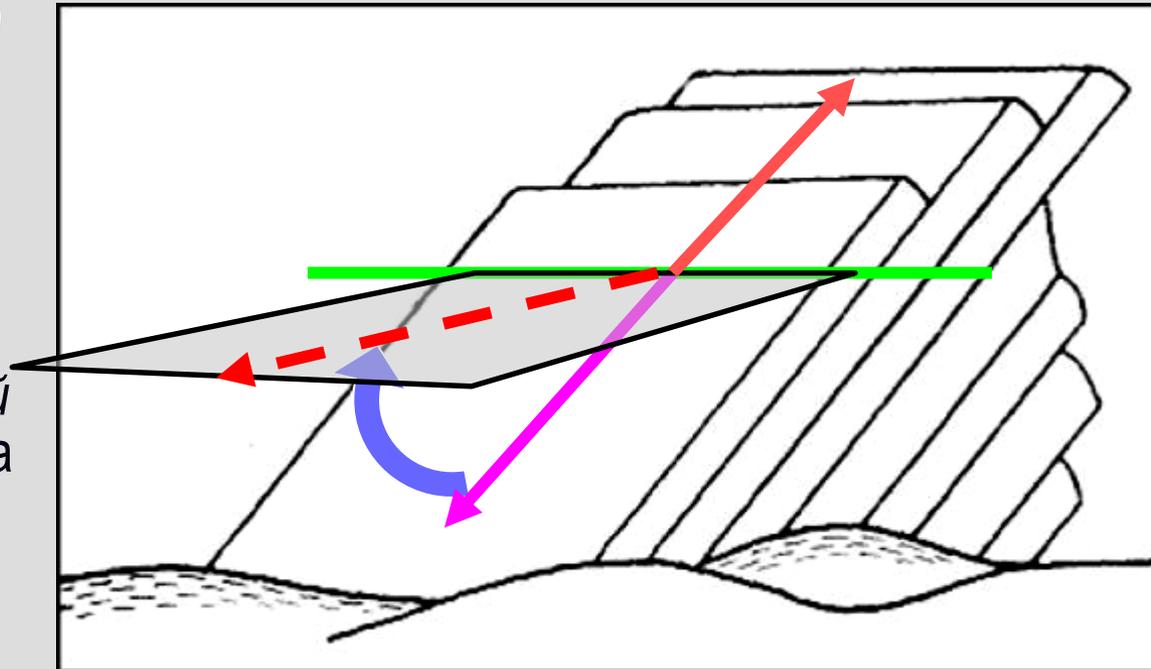
Ориентировка в пространстве **горизонтально** залегающего пласта задана по определению, его единственная изменяющаяся (и изменяемая!) характеристика – абсолютная высота. У пласта, залегающего **наклонно**, в разных его частях высота разная, для определения его положения в пространстве необходимо знать в какую сторону он погружается и под каким углом. Основные элементы геометрии пласта:

Линия простирания – любая горизонтальная линия на *поверхности пласта*, т.е. линия пересечения поверхности пласта с любой горизонтальной плоскостью

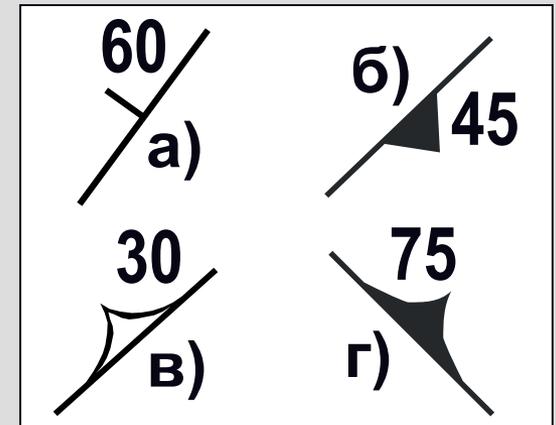
Линия падения [line of dip] (восстания) – вектор на *поверхности пласта*, нормальный к линии простирания и направленный **вниз (вверх)**

Направление падения – вектор, проекция линии падения на горизонтальную плоскость

Угол падения [dip] – плоский угол между поверхностью пласта и горизонтальной плоскостью, или угол между линией падения и направлением падения



ВВ! В значках элементов залегания длинная черточка ориентируется по простиранию, а короткая – по падению! Цифры обозначают угол падения!

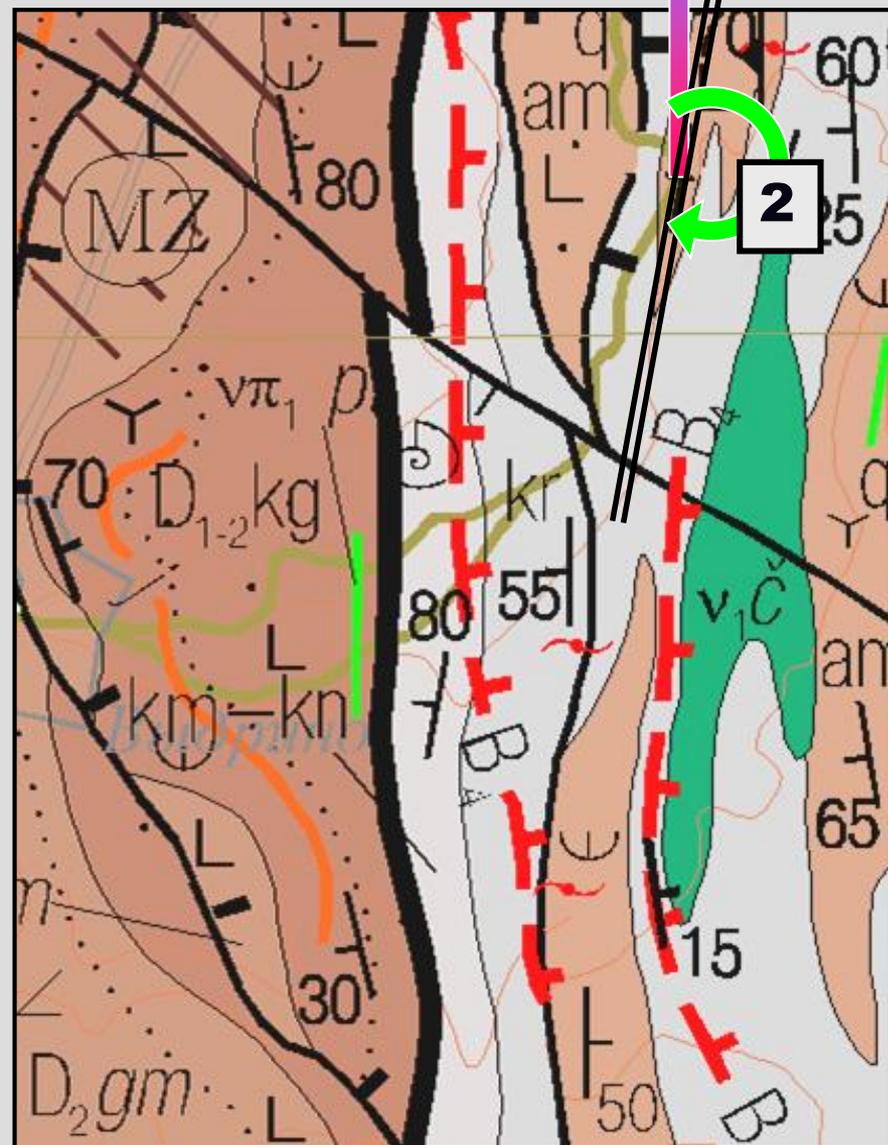


Элементы залегания:
 а) слоистости;
 б) сланцеватости;
 в) структур течения;
 г) метаморфической полосчатости.

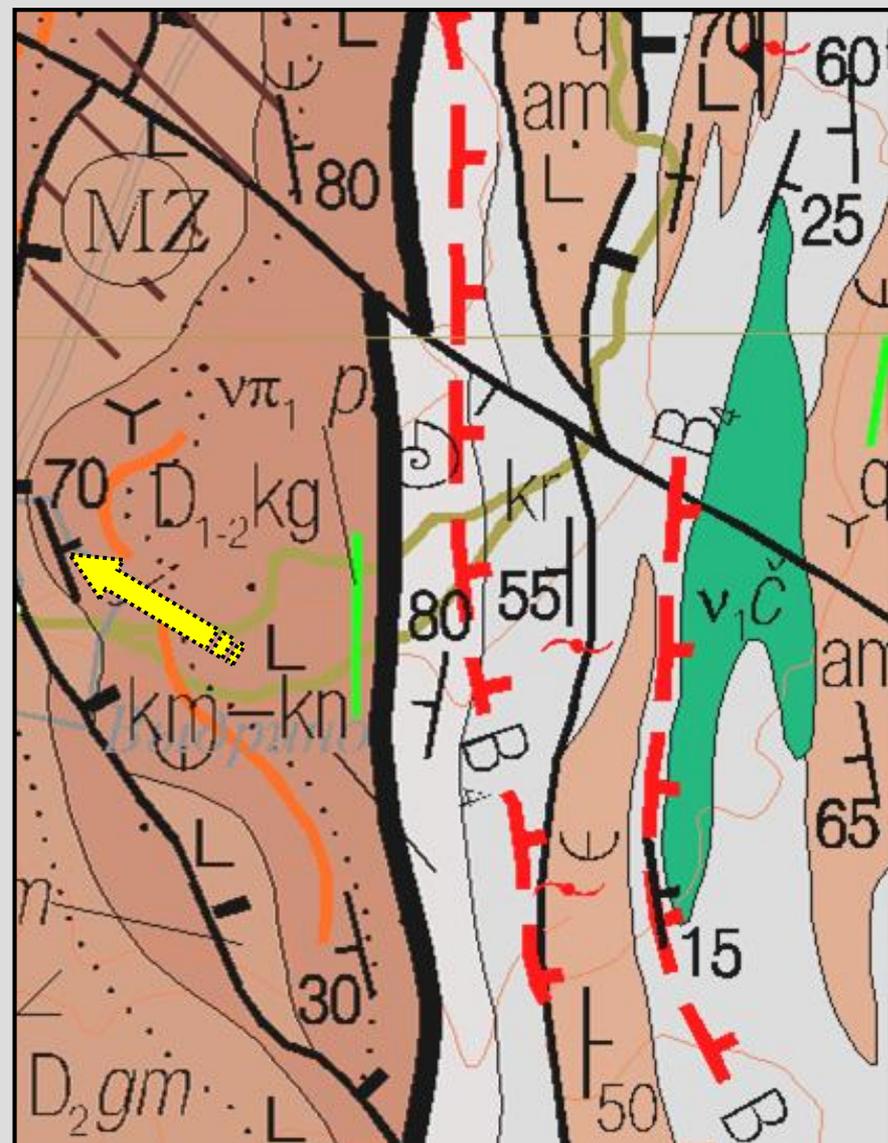
Фрагмент геологической карты
 м-ба 1:200 000 (лист N-40-VI)

Что такое азимут?

Азимут простирания (*правый* векториальный угол между северным направлением истинного меридиана и линией простирания)

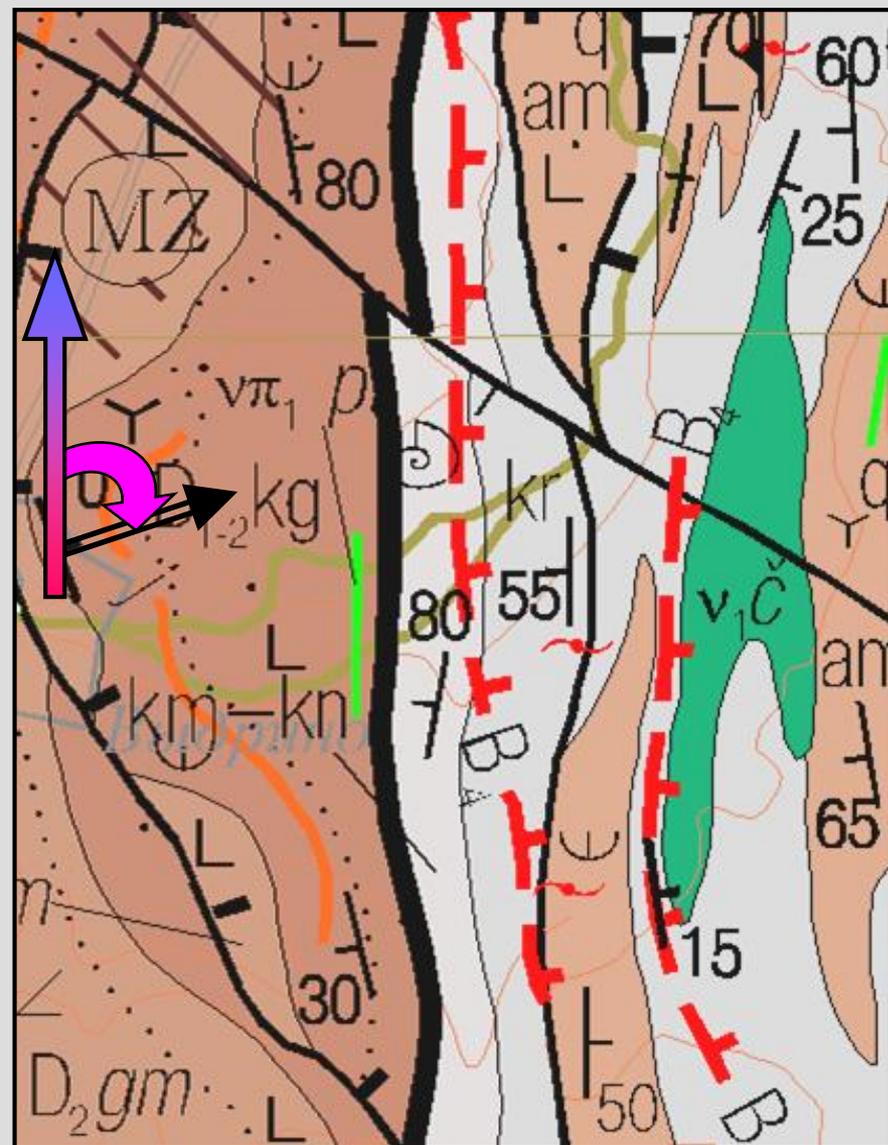


ВВ! Поскольку линия простирания не вектор, для нее могут быть измерены *два азимута простирания*, которые отличаются на 180° . Принято записывать азимуты простирания в *северных румбах*, т.е. предпочтительнее писать СВ- 30° , а не ЮВ- 145° , СВ- 30° , а не ЮЗ- 210°



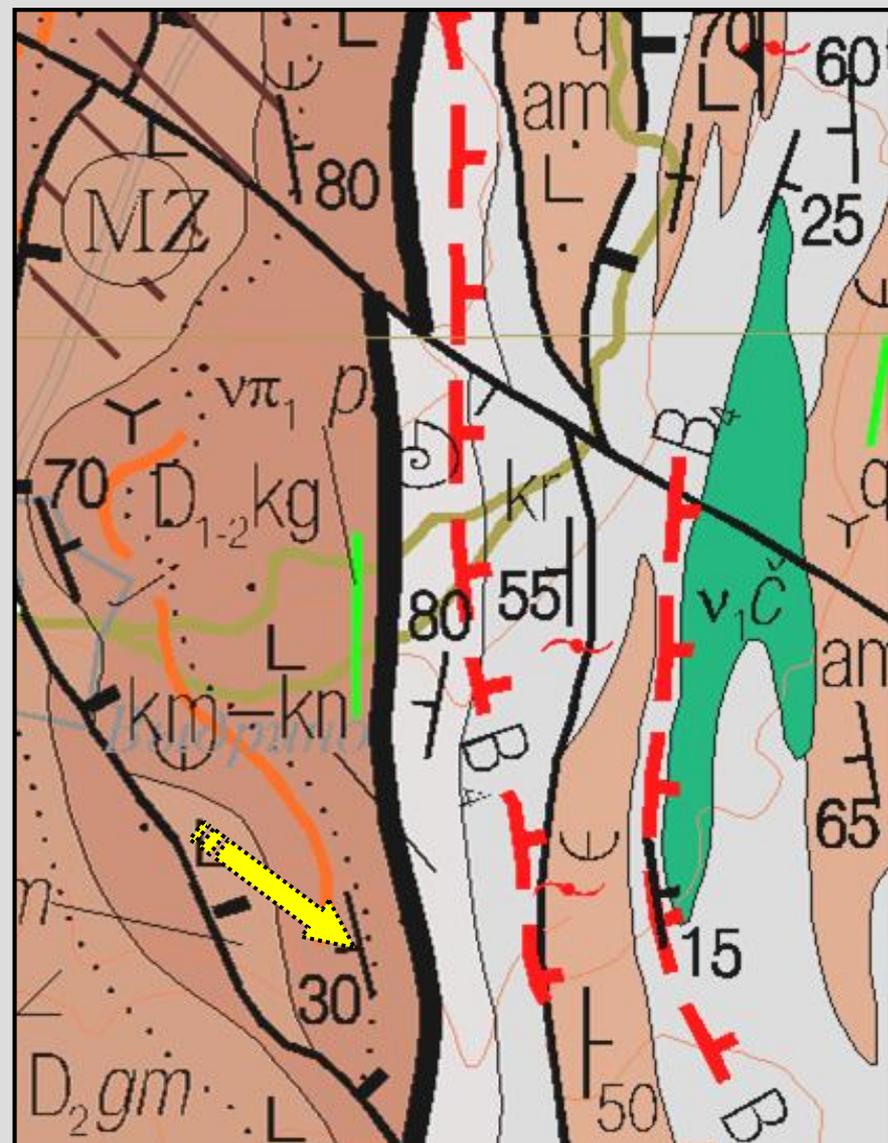
Азимут падения (*правый* векториальный угол между северным направлением истинного меридиана и направлением падения)

ВВ! Поскольку пласт падает только в одну сторону, и направление падения – вектор, азимут падения может быть только один. Именно поэтому при определении элементов залегания наклонных слоев **ВСЕГДА** измеряют азимут падения!



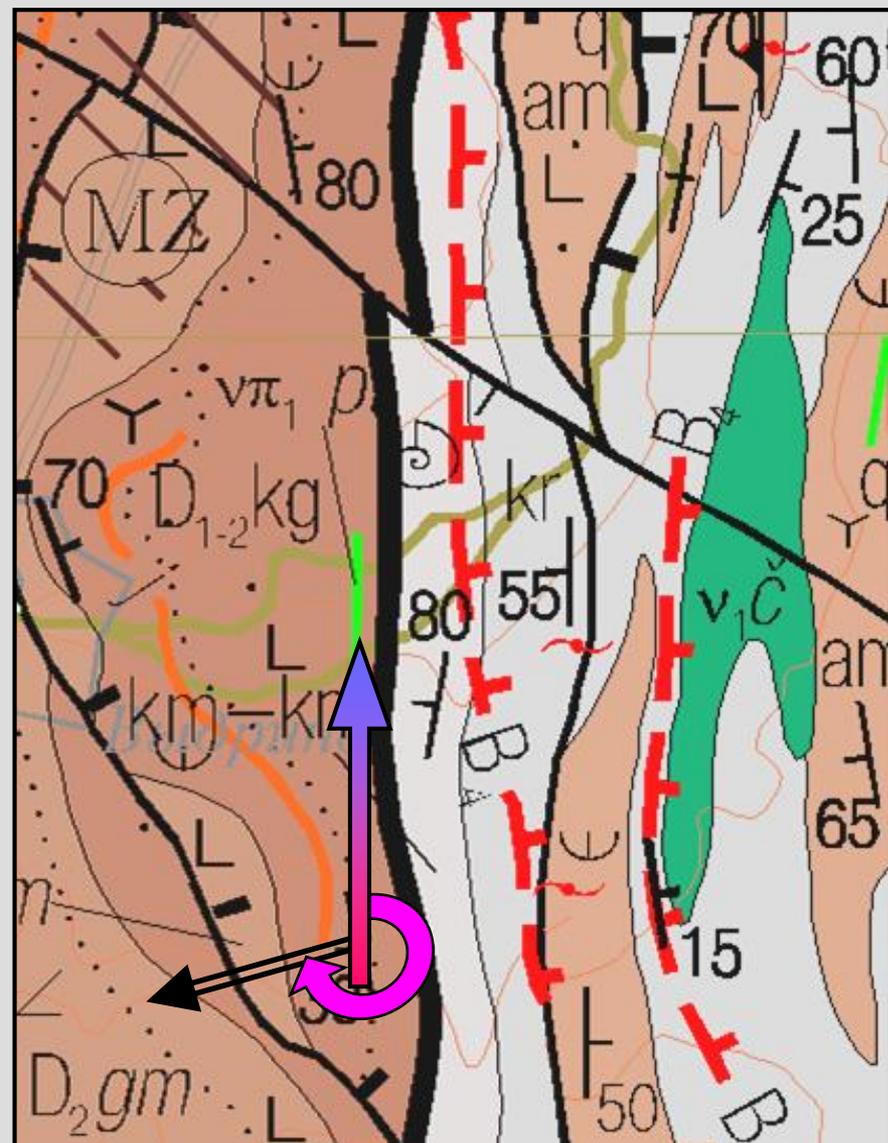
Азимут падения (*правый* векториальный угол между северным направлением истинного меридиана и направлением падения)

ВВ! Поскольку пласт падает только в одну сторону, и направление падения – вектор, азимут падения может быть только один. Именно поэтому при определении элементов залегания наклонных слоев **ВСЕГДА** измеряют азимут падения!



Азимут падения (*правый* векториальный угол между северным направлением истинного меридиана и направлением падения)

ВВ! Поскольку пласт падает только в одну сторону, и направление падения – вектор, азимут падения может быть только один. Именно поэтому при определении элементов залегания наклонных слоев **ВСЕГДА** измеряют азимут падения!



Азимут падения (*правый* векториальный угол между северным направлением истинного меридиана и направлением падения)

ВВ! Поскольку пласт падает только в одну сторону, и направление падения – вектор, азимут падения может быть только один. Именно поэтому при определении элементов залегания наклонных слоев **ВСЕГДА** измеряют азимут падения!

NB! Горный компас изобрел
Чарльз Френсис Брантон (1849–1927)

Горный компас [*Brunton compass*]

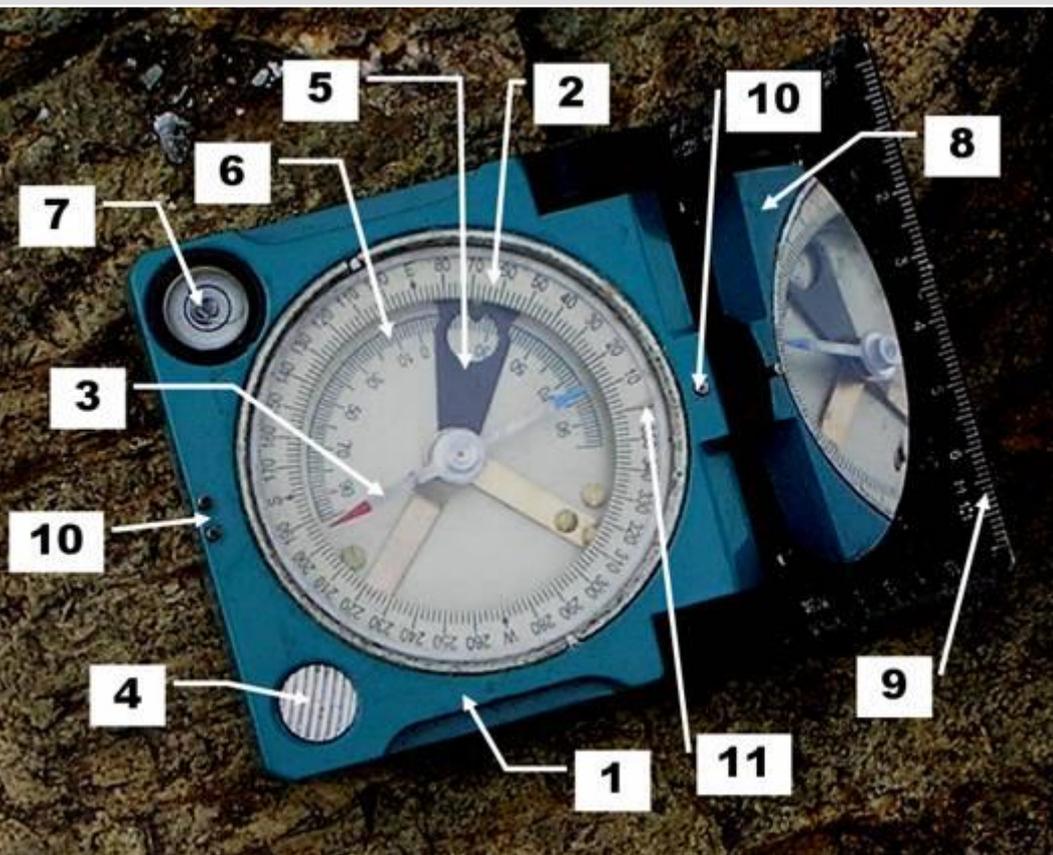


- 1** – пластина;
- 2** – лимб ($0 - 360^\circ$);
- 3** – магнитная стрелка;
- 4** – кнопка арретира магнитной стрелки;
- 5** – отвес (кнопка арретира на обратной стороне компаса);
- 6** – шкала отвеса ($90^\circ - 0 - 90^\circ$);
- 7** – пузырьковый уровень;
- 8** – зеркало,
- 9** – линейки;
- 10** – визирь;
- 11** – указатель магнитного склонения

Чем отличается
горный компас от
обыкновенного?

NB! Горный компас изобрел
Чарльз Френсис Брантон (1849–1927)

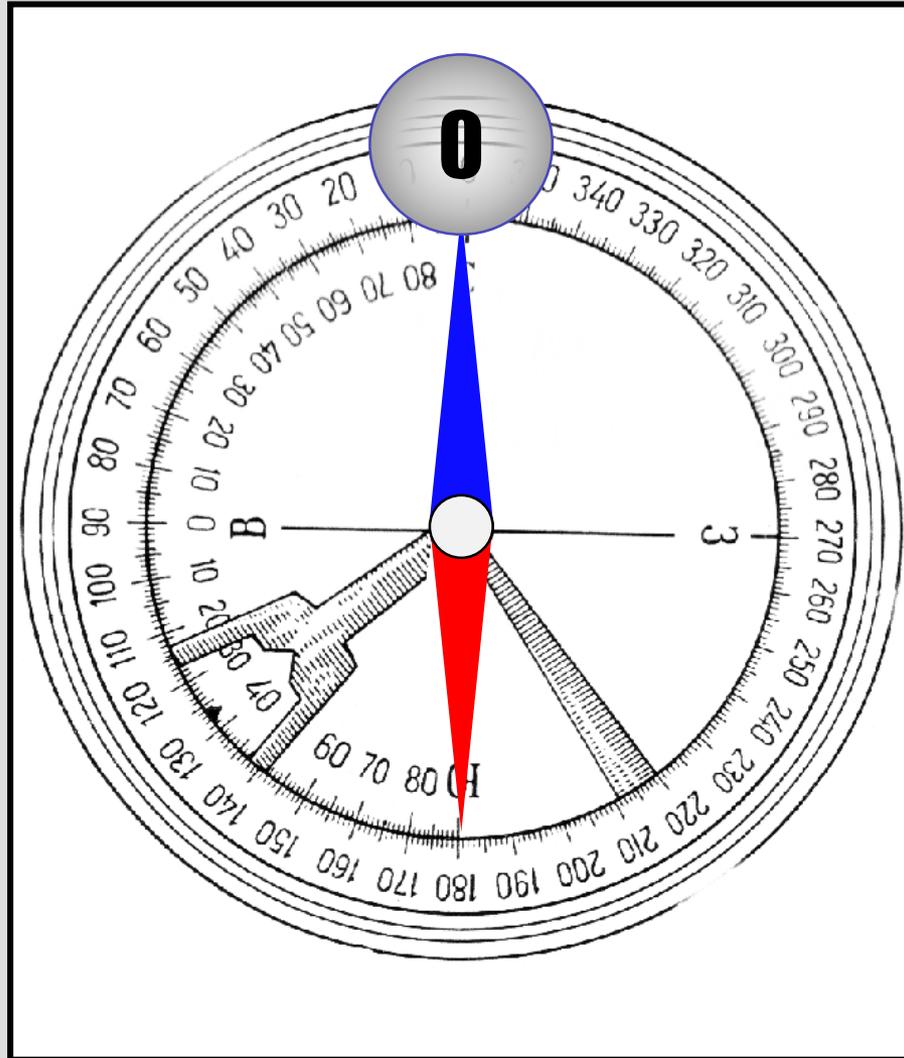
Горный компас [*Brunton compass*]



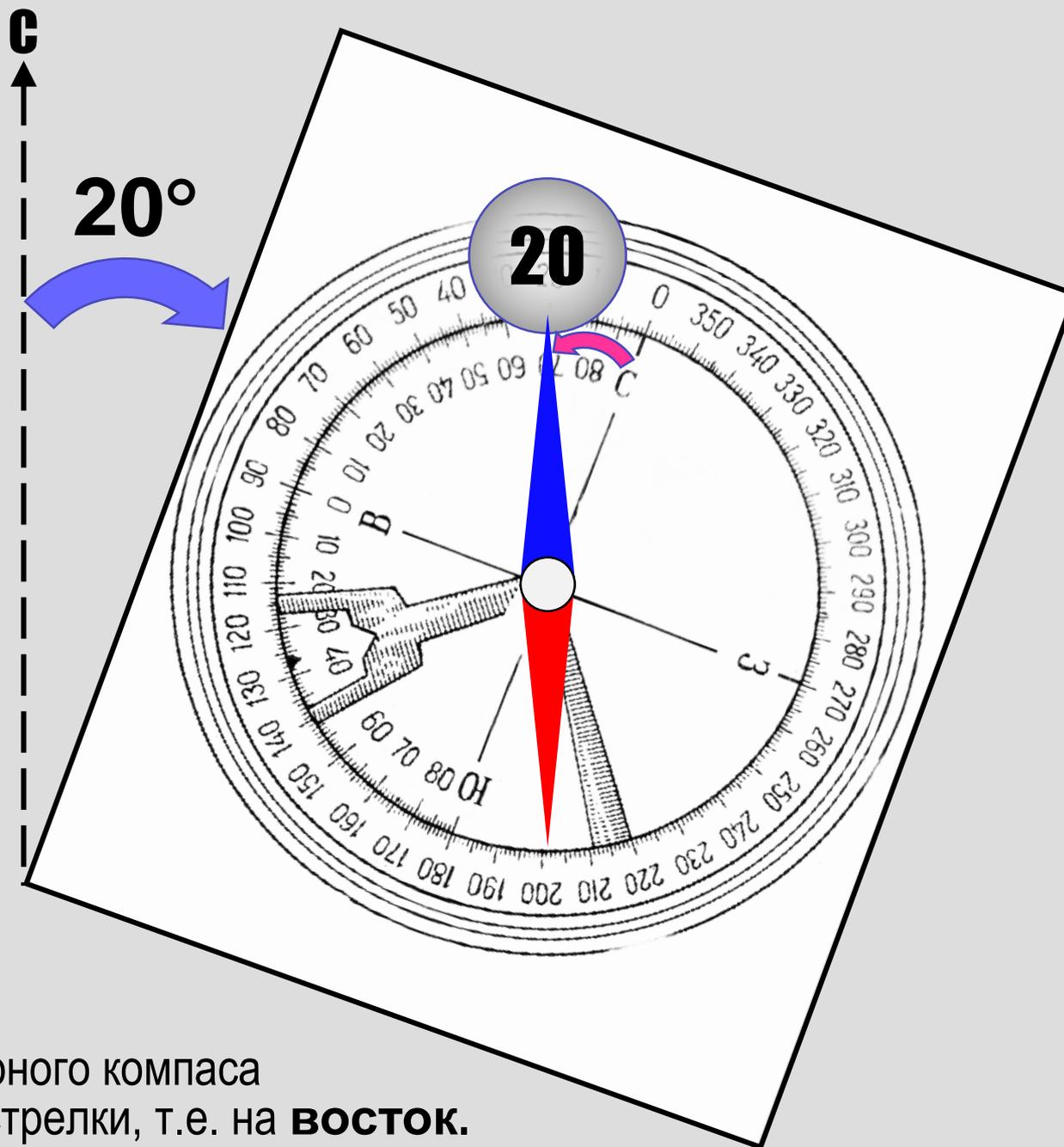
- 1** – пластина;
- 2** – лимб ($0 - 360^\circ$);
- 3** – магнитная стрелка;
- 4** – кнопка арретира магнитной стрелки;
- 5** – отвес (кнопка арретира на обратной стороне компаса);
- 6** – шкала отвеса ($90^\circ - 0 - 90^\circ$);
- 7** – пузырьковый уровень;
- 8** – зеркало,
- 9** – линейки;
- 10** – визиры;
- 11** – указатель магнитного склонения

Чем отличается
горный компас от
обыкновенного?

- 1.** Горный компас всегда **прямоугольный!**
- 2.** Разметка лимба **против часовой стрелки!**
- 3.** Есть **отвес!**
- 4.** Можно выставить **магнитное склонение!**

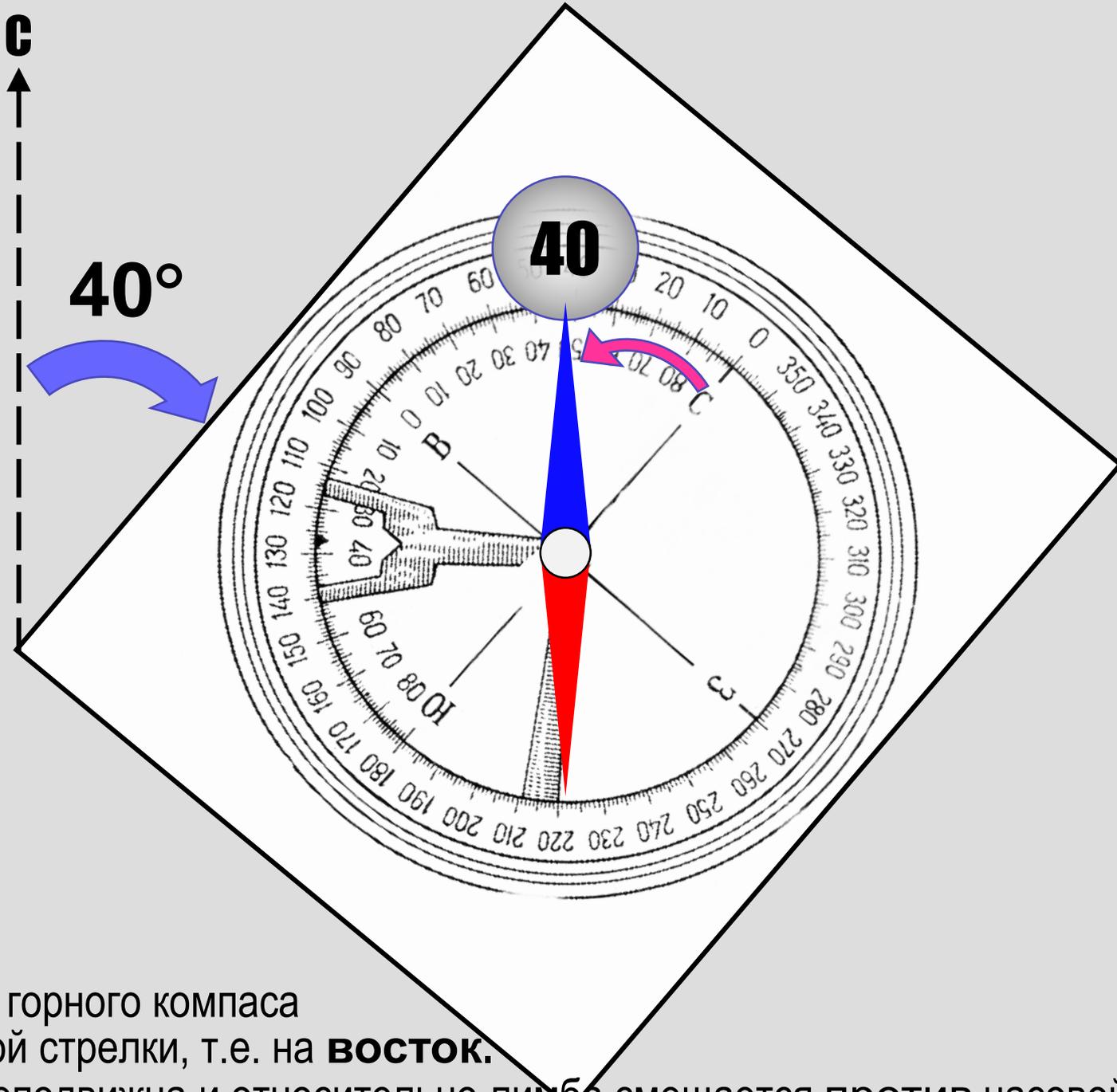


Компас ориентирован строго по меридиану.
Стрелка неподвижна и синим концом показывает **на север**.



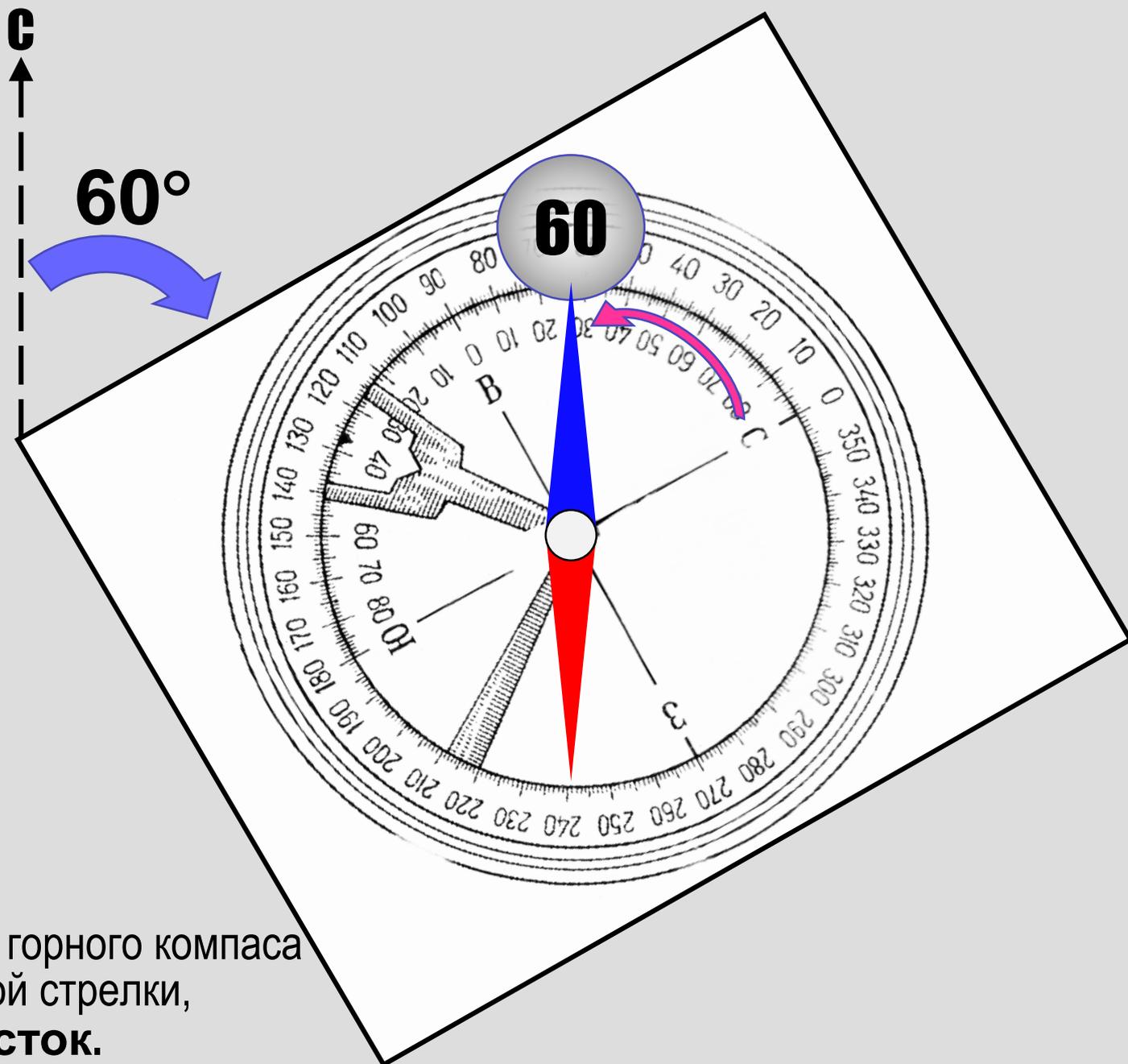
Вращение горного компаса
по часовой стрелки, т.е. на **ВОСТОК**.

Стрелка неподвижна и относительно лимба смещается против часовой стрелки.



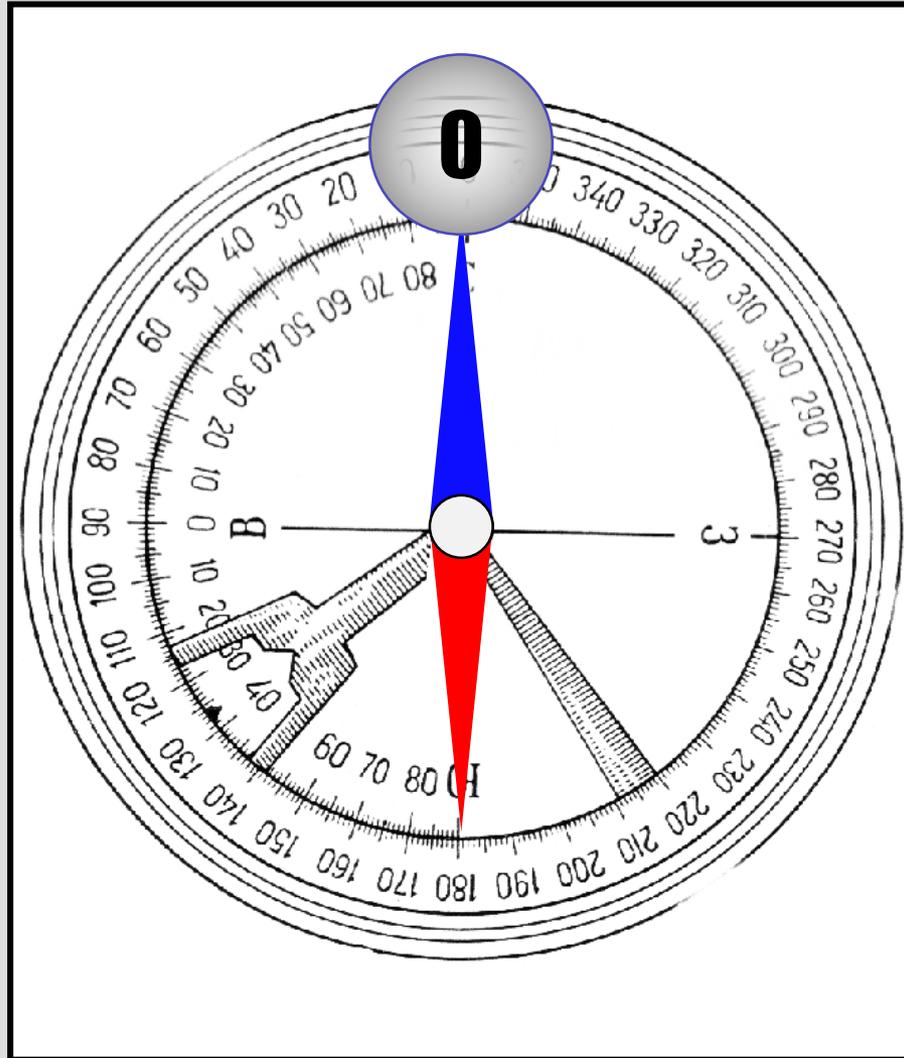
Вращение горного компаса
по часовой стрелки, т.е. на **ВОСТОК**.

Стрелка неподвижна и относительно лимба смещается против часовой стрелки.

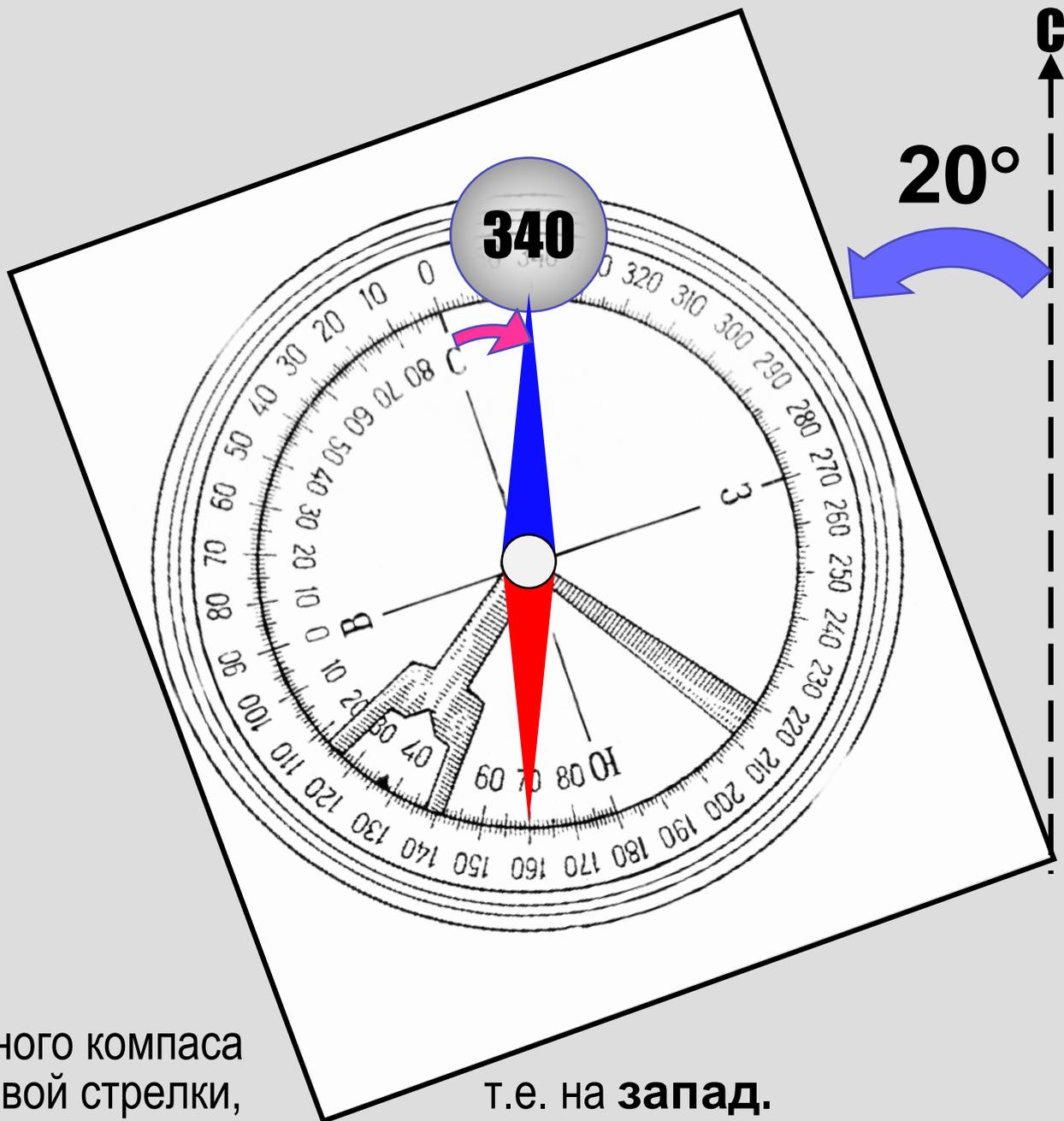


Вращение горного компаса
по часовой стрелки,
т.е. на **ВОСТОК**.

Стрелка неподвижна и относительно лимба смещается против часовой стрелки.



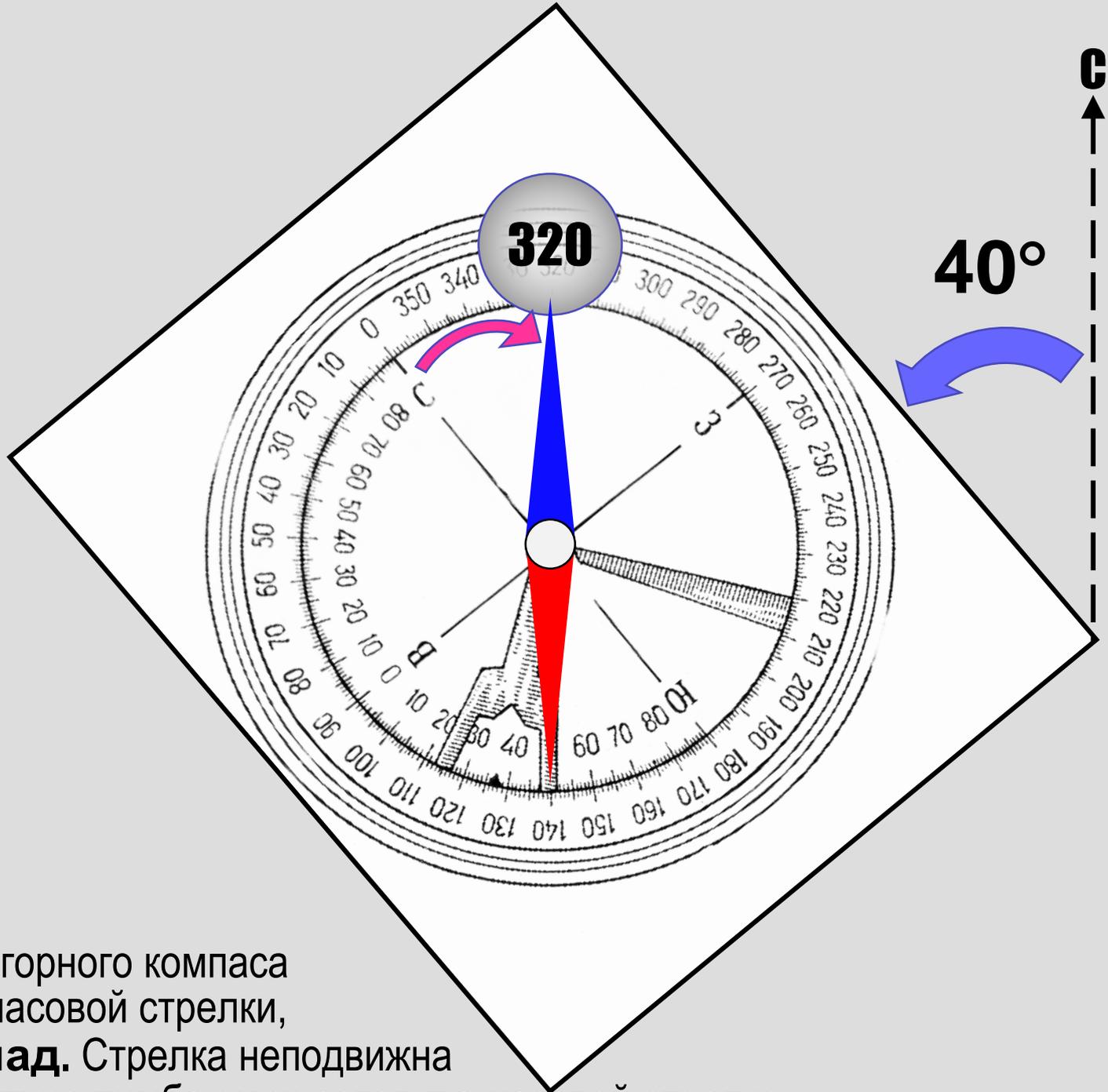
Компас ориентирован строго по меридиану.
Стрелка неподвижна и синим концом показывает **на север**.



Вращение горного компаса
ПРОТИВ часовой стрелки,

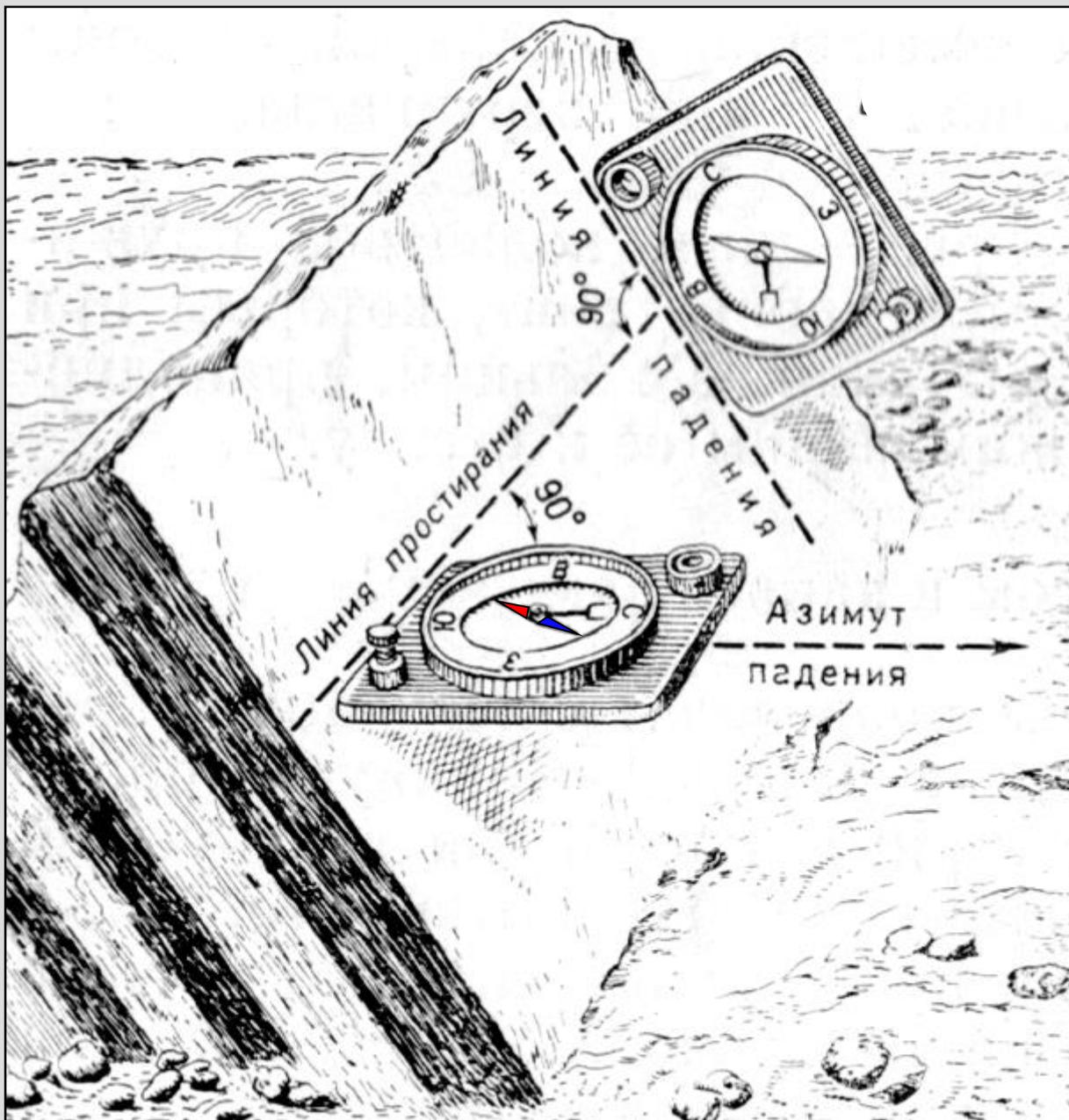
т.е. на **запад**.

Стрелка неподвижна и относительно лимба смещается **ПО** часовой стрелке.



Вращение горного компаса **против** часовой стрелки, т.е. на **запад**. Стрелка неподвижна и относительно лимба смещается **по** часовой стрелке.

Замеры элементов залегания горным компасом

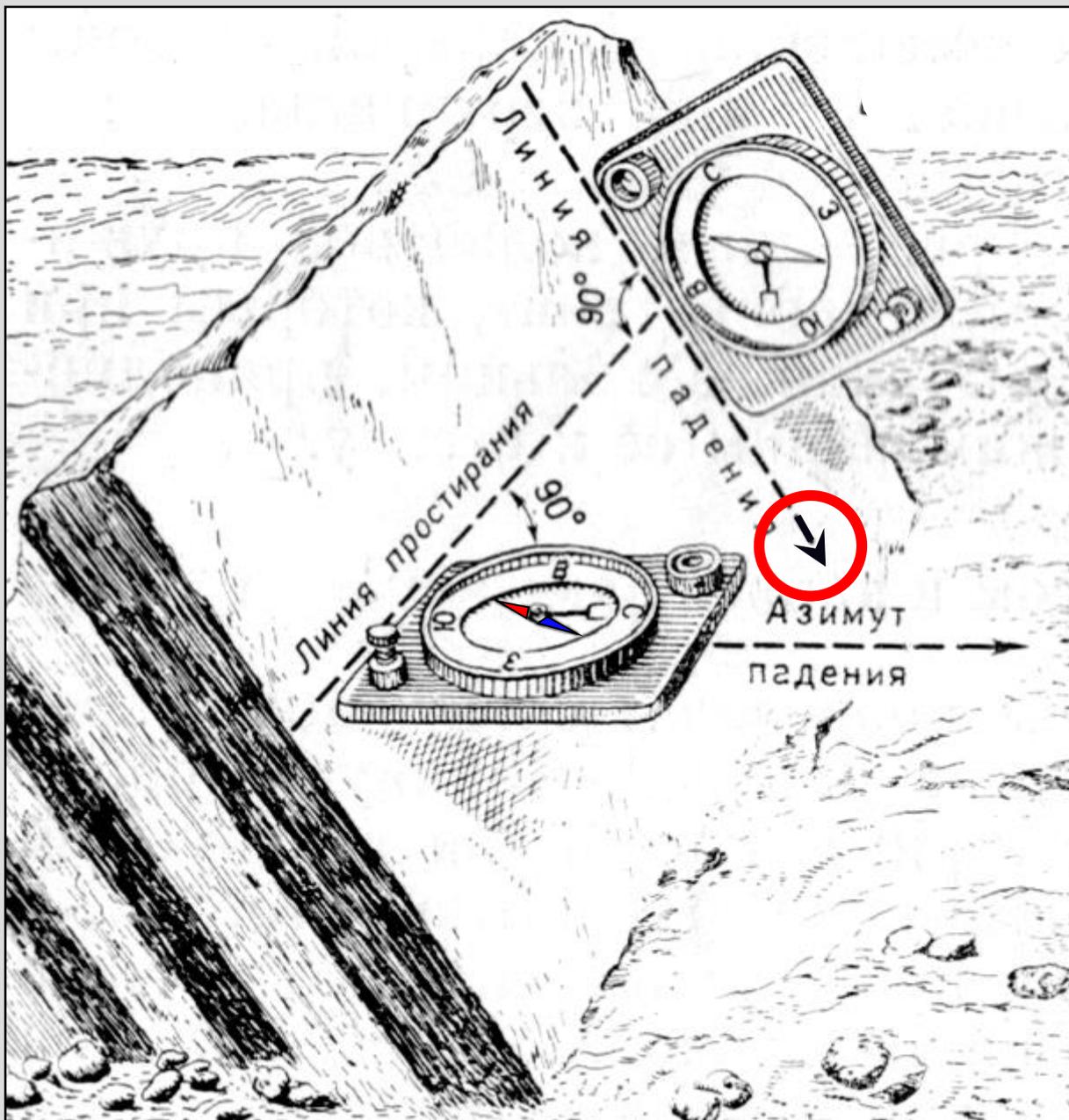


1. Чтобы измерить азимут падения слоя, надо, держа компас **горизонтально** (контроль – по уровню), приложить его **короткой** стороной к линии **простираения**, направив **северным концом по направлению падения** пласта и взять отсчет по **северному концу** стрелки.

Это рисунок из учебника
А.Е. Михайлова, 1984.
На нем есть пара ошибок.

2. Чтобы измерить угол падения слоя, надо, держа компас **вертикально**, приложить его **длинной** стороной к линии падения и взять отсчет по отвесу.

Замеры элементов залегания горным компасом

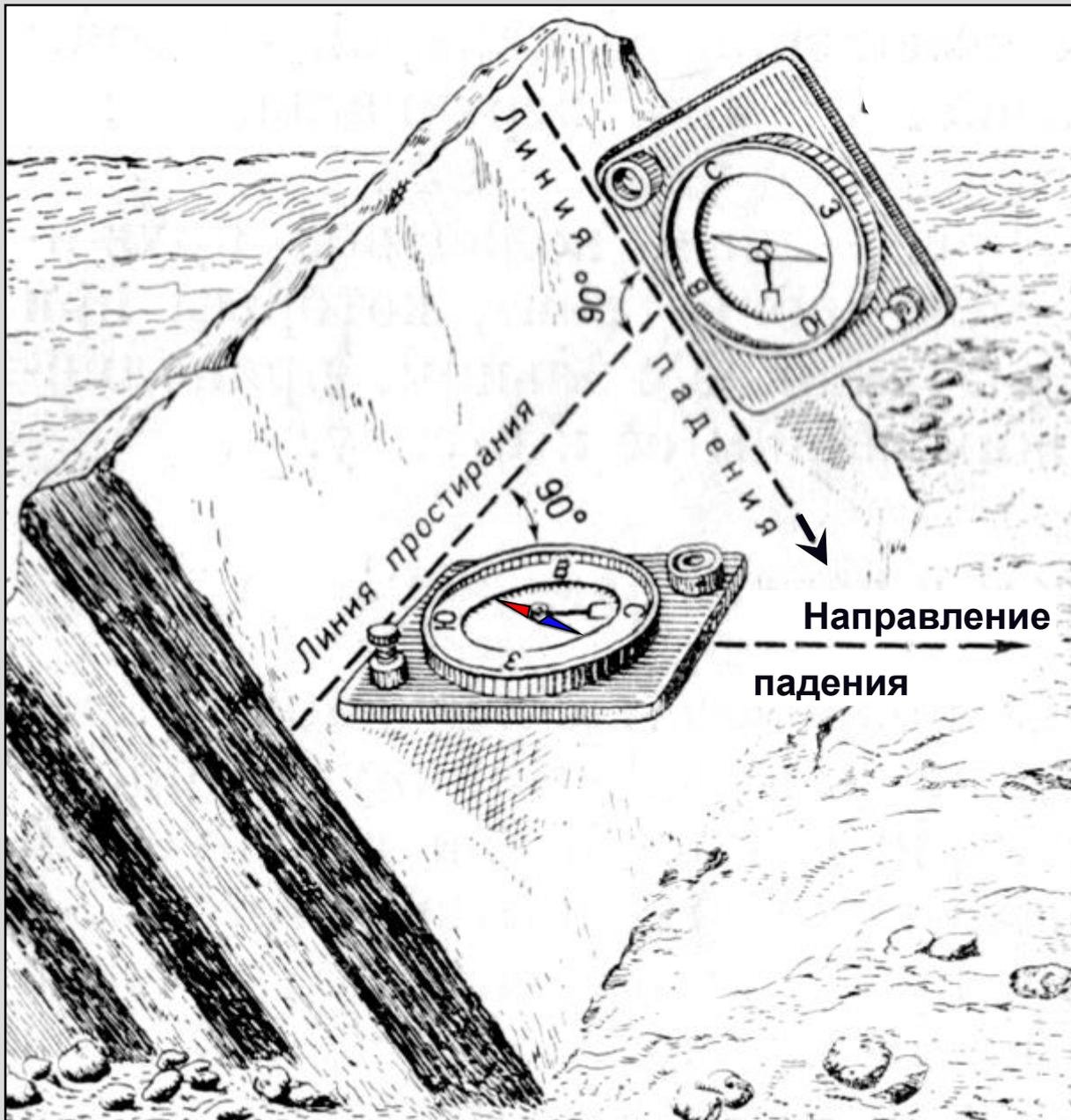


1. Чтобы измерить азимут падения слоя, надо, держа компас **горизонтально** (контроль – по уровню), приложить его **короткой** стороной к линии простирания, направив северным концом по направлению падения пласта и взять отсчет по северному концу стрелки.

Это рисунок из учебника А.Е. Михайлова, 1984. На нем есть пара ошибок.

2. Чтобы измерить угол падения слоя, надо, держа компас **вертикально**, приложить его **длинной** стороной к линии падения и взять отсчет по отвесу.

Замеры элементов залегания горным компасом



1. Чтобы измерить азимут падения слоя, надо, держа компас **горизонтально** (контроль – по уровню), приложить его **короткой** стороной к линии **простираения**, направив **северным концом по направлению падения** пласта и взять отсчет по **северному концу** стрелки.

Какой примерно азимут падения у этого пласта?

2. Чтобы измерить угол падения слоя, надо, держа компас **вертикально**, приложить его **длинной** стороной к линии падения и взять отсчет по отвесу.

Замеры элементов залегания горным компасом



1. Чтобы измерить азимут падения слоя, надо, держа компас **горизонтально** (контроль – по уровню), приложить его **короткой** стороной к линии **простираания**, направив **северным концом по направлению падения** пласта и взять отсчет по **северному концу** стрелки.

Какой примерно азимут падения у этого пласта?

2. Чтобы измерить угол падения слоя, надо, держа компас **вертикально**, приложить его **длинной** стороной к линии падения и взять отсчет по отвесу.

Замеры элементов залегания горным компасом

ВВ! При измерении элементов залегания у компаса могут быть только два положения: горизонтальное или вертикальное!



1. Чтобы измерить азимут падения слоя, надо, держа компас **горизонтально** (контроль – по уровню), приложить его **короткой** стороной к линии **простира́ния**, направив **северным концом по направлению падения** пласта и взять отсчет по **северному концу** стрелки.

2. Чтобы измерить угол падения слоя, надо, держа компас **вертикально**, приложить его **длинной** стороной к линии падения и взять отсчет по отвесу.



Ориентировка пласта относительно стран света:

Л-Пд – линия падения;

Л-Пр – линия простирания;

Н-Пд – направление падения;

С – направление на север;

круговые стрелки: **1** – азимут падения,

2, 3 – азимуты простирания

Способ измерения азимута падения.

Компас находится в горизонтальном положении (контроль – по уровню), а значит, *приложен к линии простирания*, ориентирован **северным концом** по направлению падения. Отсчет – по **северному** же концу магнитной стрелки

ВВ! Результат замера немедленно записать в полевой дневник!





Измерение угла падения слоя.
Компас приложен длинной стороной к слою и находится в вертикальном положении, а значит *приложен к линии падения* (контроль – по отвесу, он должен свободно болтаться),
Отсчет – по метке отвеса.

Измерение азимута падения слоя.
Компас находится в горизонтальном положении (контроль – по уровню), а значит, *приложен к линии простирания*, ориентирован **северным концом** по направлению падения. Отсчет – по **северному** же концу магнитной стрелки.



Моноклираль. Определения

[от греч. *μονοσ* – единый и *κλίνο* – наклоняюсь]

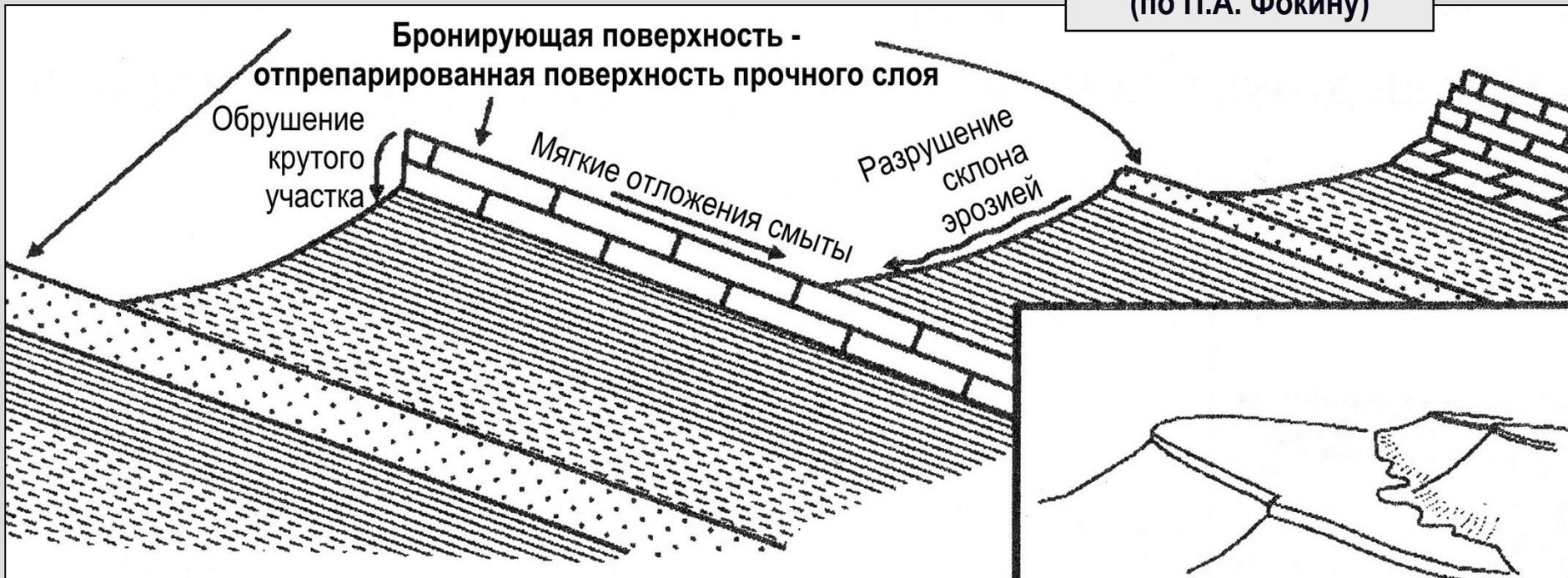
- – форма залегания слоев горных пород, характеризующаяся их *пологим* наклоном в одну сторону; представляет собой обычно крыло какого-либо обширного и пологого поднятия или прогиба слоев (БСЭ);
- – наклон земных слоев в одну сторону, что обычно для *осадочных горных пород*, прикрывающих склоны платформенных щитов; в рельефе моноклинали отчетливо выражены в виде *куэст* (*Геологический словарь*);
- – форма залегания слоев горных пород, характеризующаяся их однообразным, преимущественно пологим, наклоном в одну сторону; в более узком смысле употребляется для обозначения любого участка крыла складки, в пределах которого угол и направление наклона слоев заметно не меняются (*Краткая географическая энциклопедия*);
- – структура, в которой слои наклонены в одну сторону (*geo.web.ru*)

Квеста (куэста) [*cuesta*] – форма асимметричного положительного рельефа.

Один склон квесты – выровненная наклонная поверхность, представленная кровлей пласта, бронирующего рельеф, а другой склон – крутой обрыв, вскрывающий полную мощность бронирующего пласта, а также расположенный под ним пласт или пачку пластов менее прочных пород.

Таким образом, один **склон квесты** всегда наклонен **так же как пласт**, а другой – в противоположную сторону и круче.

Схема строения квест
(по П.А. Фокину)



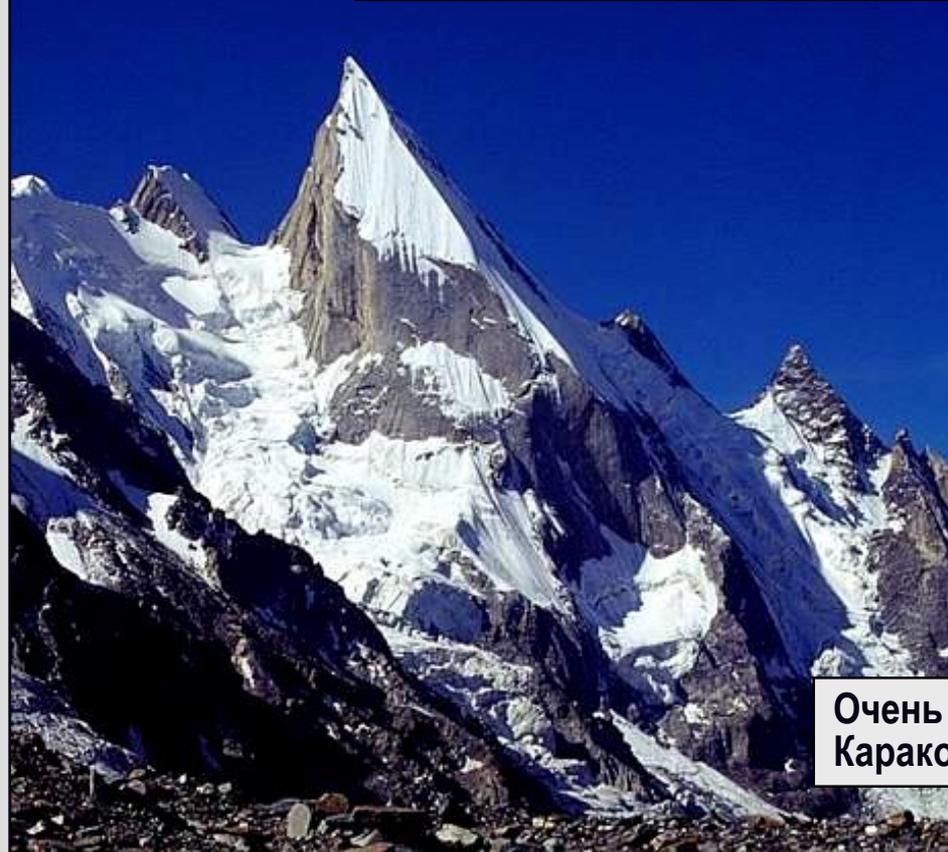
**Квесты, сложенные известняками.
Крым. Фото Е.А. Сотниковой**



**Квесты, сложенные известняками.
Крым. Фото Арк.В. Тевелева**



Крутые квесты, сложенные известняками. Памир



Углы наклона бронирующего склона квест могут колебаться от первых градусов до очень крутых!

**Очень крутые квесты. Пик Лейла.
Каракорум**

**Пологая моноклираль,
сложенная известняками.
Ичмелер. Турция.**



**Моноклиральное падение известняков
карбона. Крыло крупной складки.
Южный Урал**

Пологая моноклираль, сложенная доломитами рифея. Южный Урал



Пологая моноклираль, сложенная известняками башкирского яруса. Южный Урал



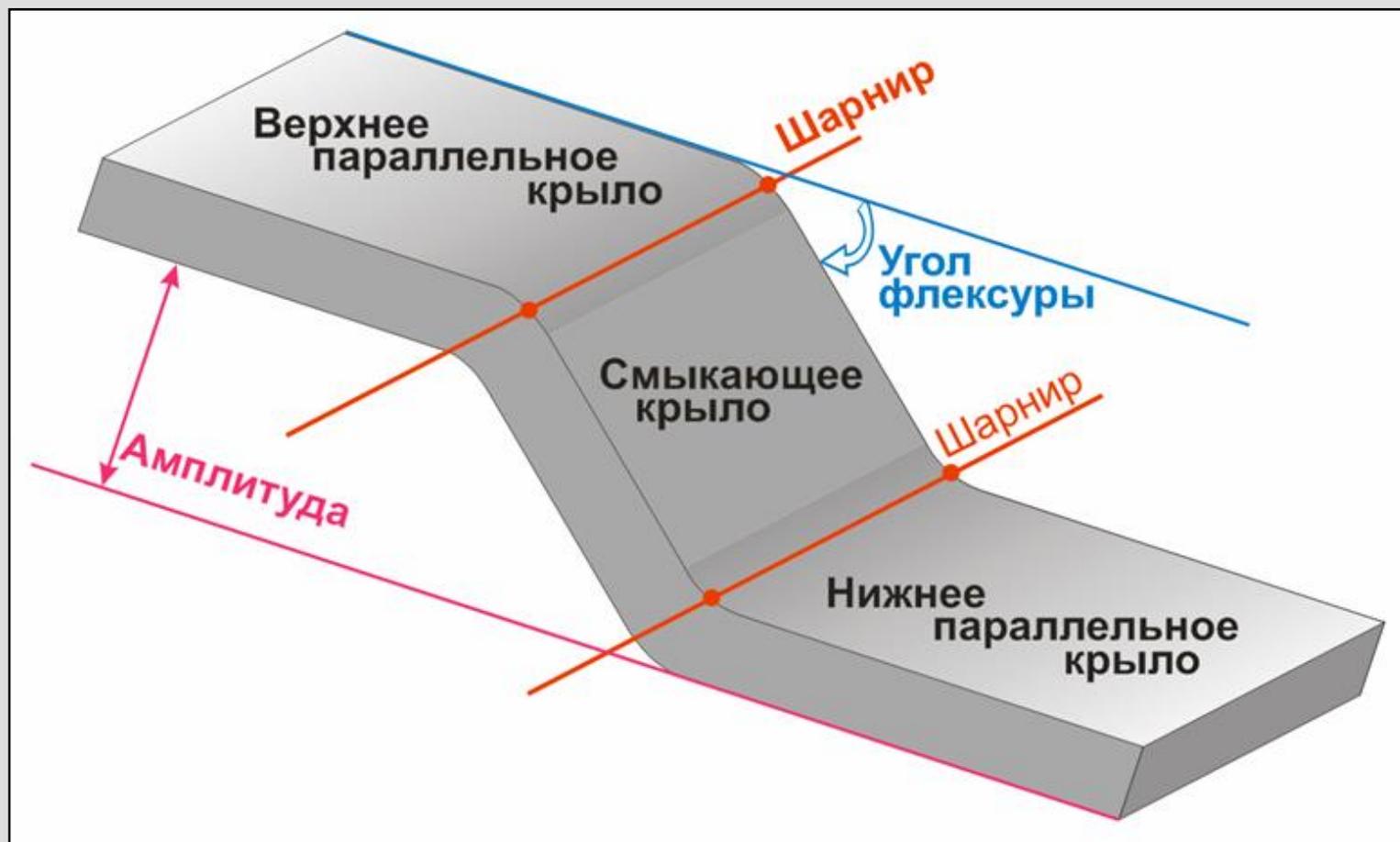
Флексура [*flexural fold*]. Определения

- (от латинского *flexura* – *изгиб*) тектоническая структура в виде ступенеобразного перегиба слоев горных пород (2-я БСЭ)
- пологий коленообразный изгиб, наблюдаемый как в разрезе, так и в плане (Д.С. Павлов, С-ПбГУ)
- (от латинского *flecto* – *сгибаю*) изгиб или смещение участков земной коры в вертикальном направлении, без разрыва, но с растяжением слоев (Толковый Словарь Ушакова)
- изгиб слоев чехла без разрыва их сплошности и с сохранением параллельности крыльев (Н.В. Короновский, А.Ф. Якушова)
- коленообразный изгиб в слоистых толщах, выраженный наклонным положением слоев при общем горизонтальном залегании или более крутым падением на фоне общего наклонного залегания (А.Е. Михайлов)
- коленообразный изгиб слоев, сходный с **изгибом ковра на ступеньке лестницы** (1-я БСЭ, 1936)!!!

Геометрические элементы и типы флексур

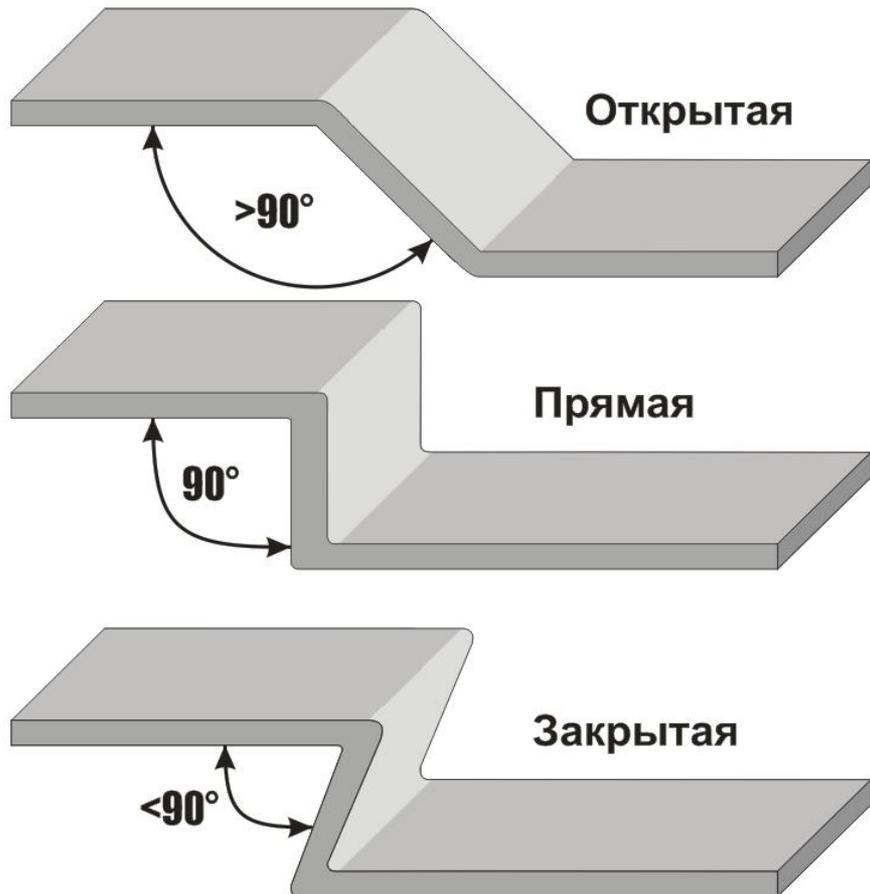
Элементы собственной геометрии флексуры:

- два параллельных крыла,
- смыкающее крыло,
- шарниры,
- угол,
- амплитуда.



Типы флексур (по собственной геометрии)

- открытая (угол между крыльями больше 90°);
- прямая (угол между крыльями равен 90°);
- закрытая (угол между крыльями меньше 90°).



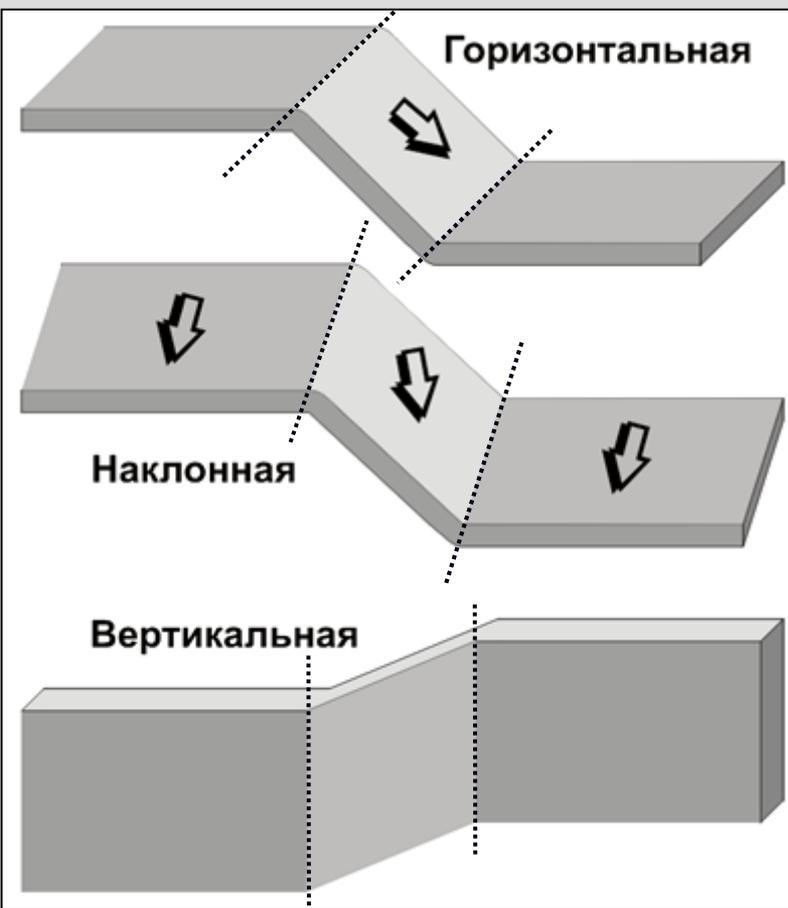
NB!

"Собственная геометрия"
называется так потому, что
она не зависит от положения
флексуры в пространстве!

Наиболее распространены в природе открытые флексуры, которые формируются в условиях растяжения. Закрытые флексуры могут осложнять крылья крупных складок, которые формируются в условиях сжатия.

Типы флексур

(по положению в пространстве)



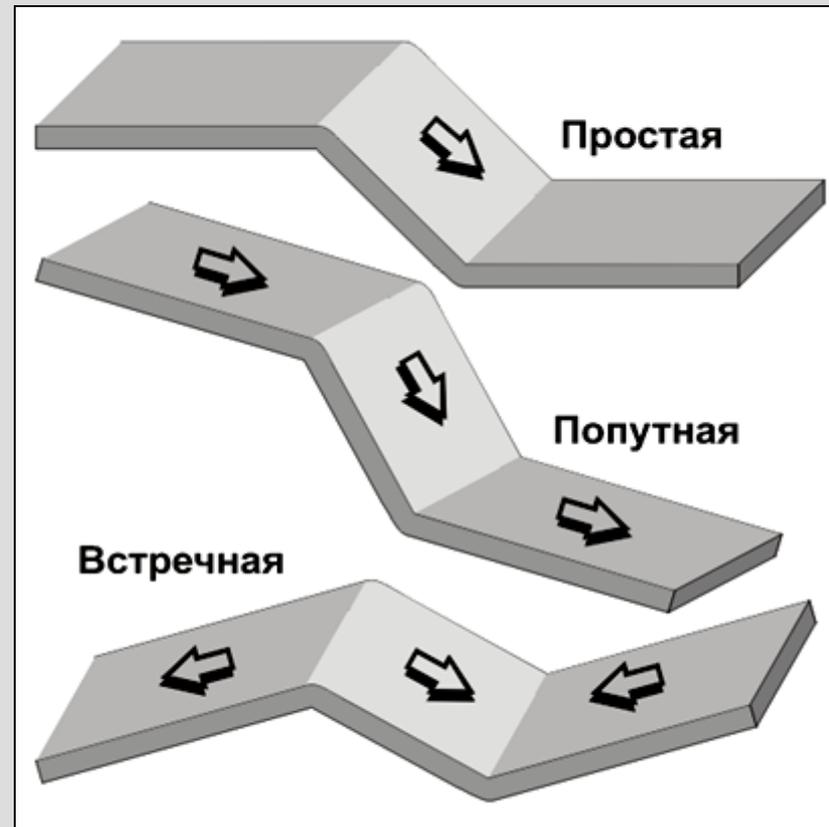
По углу наклона шарниров:

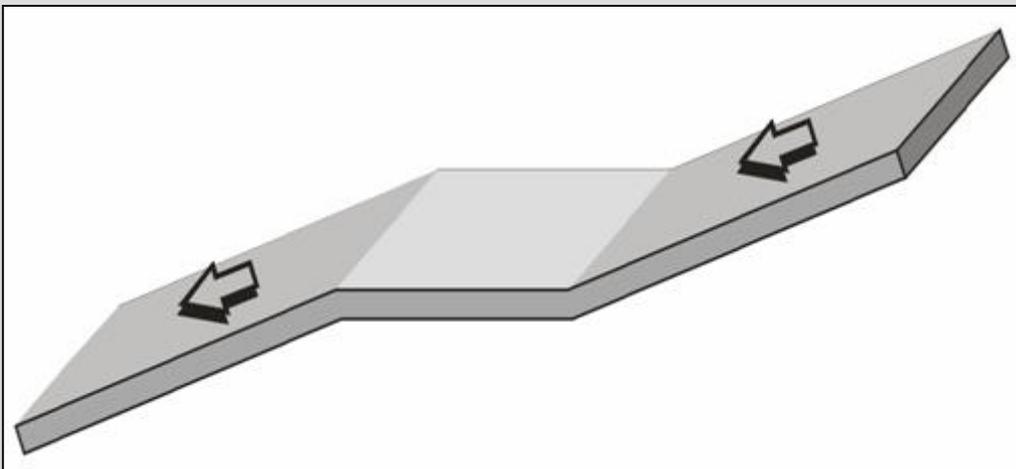
- горизонтальная;
- наклонная;
- вертикальная

ВВ! Термины "согласная" вместо "попутная" и "несогласная" вместо "встречная" не очень удачны!

По относительному углу наклона крыльев:

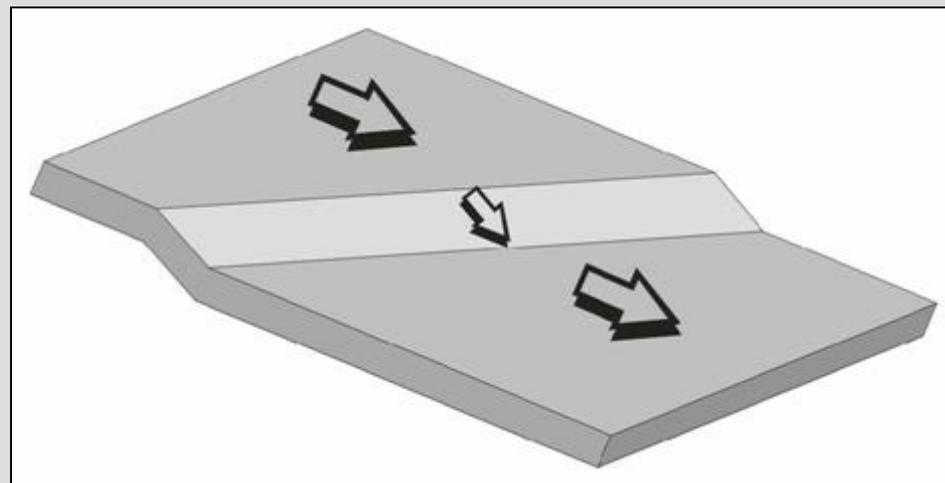
- простая;
- попутная;
- встречная





Структурная терраса – флексура с горизонтальным смыкающим крылом, она занимает промежуточное положение между *попутной* и *встречной* флексурами

Косая флексура является аналогом *наклонной* (шарниры наклонны!), только рисуется она в сечении, перпендикулярном простиранию параллельных крыльев.





**Попутная открытая флексура.
Алевриты нижнего карбона.
Южный Урал**



**Закрытая флексура. Алевриты
нижнего карбона. Южный Урал**



**Серия попутных открытых флексур.
Доломиты рифея. Южный Урал**



**Попутная открытая флексура.
Известняки рифея. Южный Урал**

Границей пласта называют линию пересечения подошвы или кровли пласта с поверхностью рельефа.

Выходом пласта на дневную поверхность называют полосу рельефа, заключенную между подошвой и кровлей пласта.

Граница пласта на **геологической карте** представляет собой проекцию реальной границы на горизонтальную плоскость, изображенную в масштабе карты

Выходы слоев базальтовых
туфов. О-в Санторин.
Фото А.Г. Кошелева

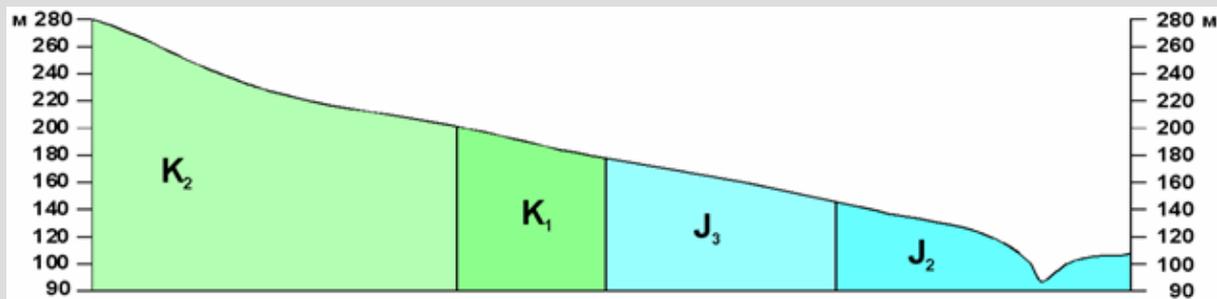
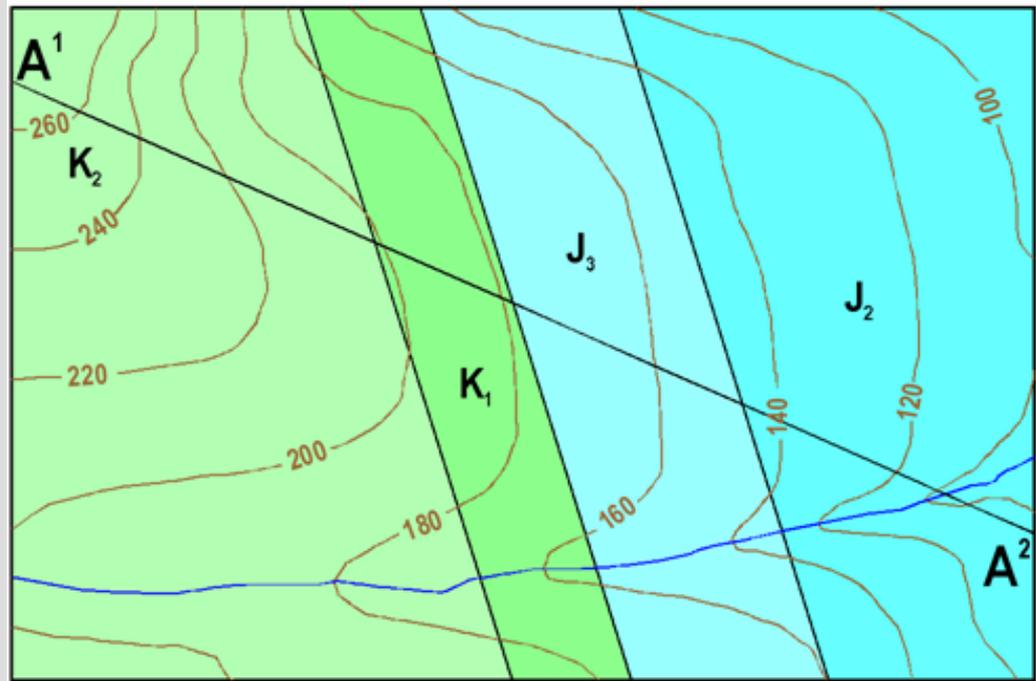


Изображение на карте вертикального пласта

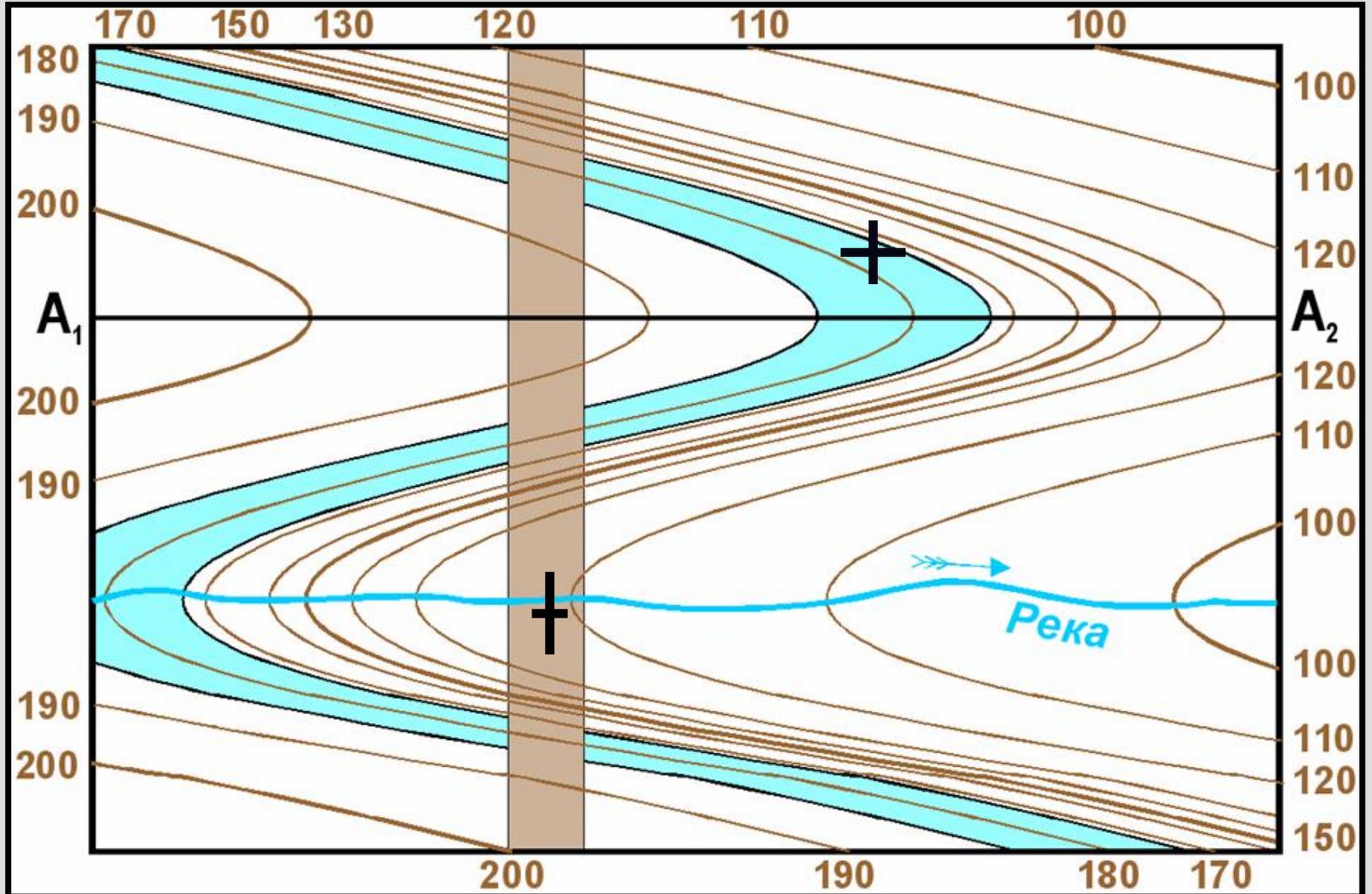
Напоминание: границы **горизонтально** залегающих пластов **конформны** горизонталям рельефа, т.е. рисунок границ горизонтальных пластов **всего** зависит от рисунка горизонталей рельефа.

Границы **вертикально** залегающих пластов на всем протяжении сохраняют свое плановое положение, поэтому любой рельеф вскроет их в одном и том же месте, и их положение на геологической карте не изменится.

Иными словами, рисунок границ вертикально залегающих пластов на геологической карте **совершенно не зависит** от рисунка горизонталей.

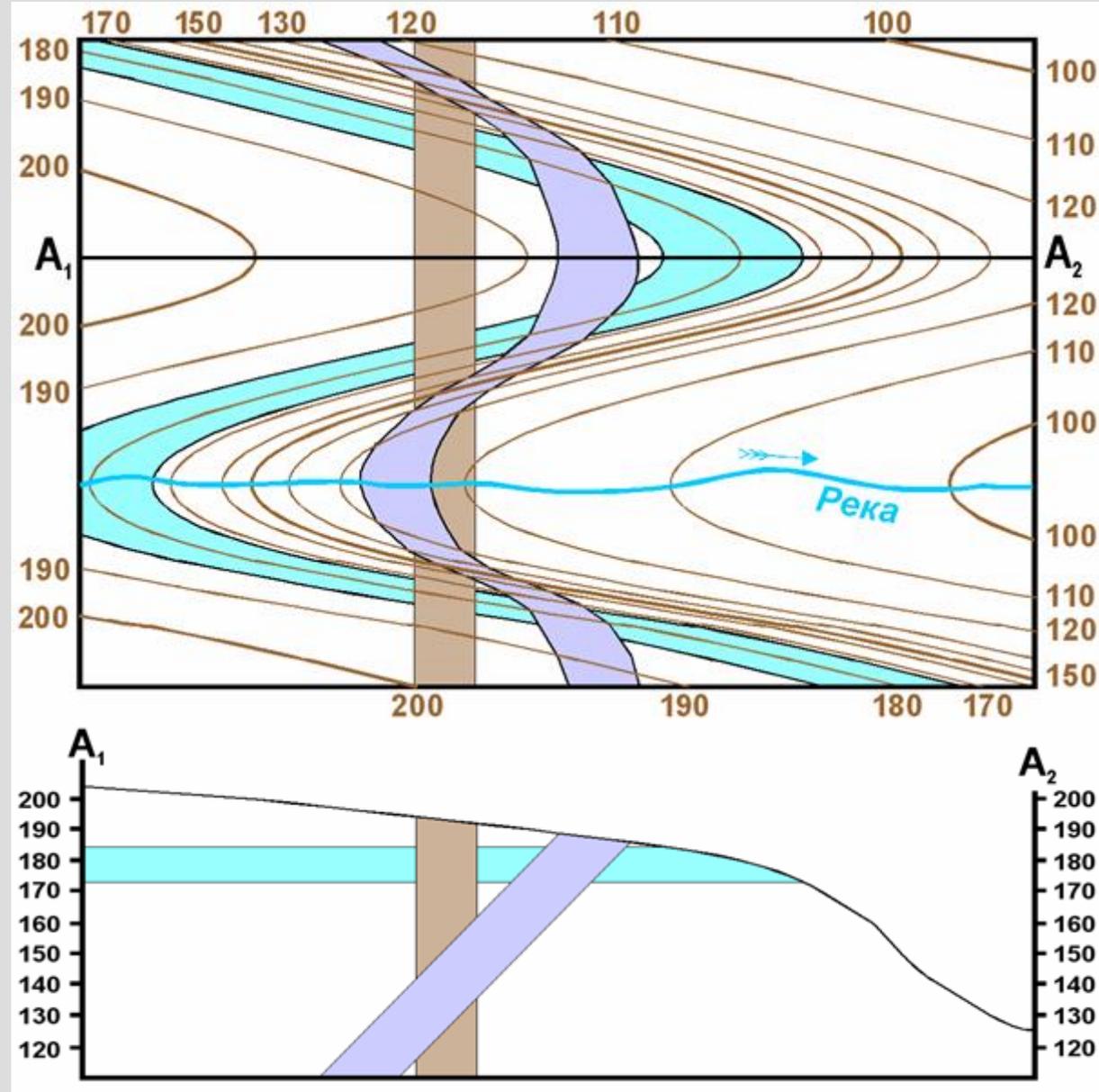


Карта с горизонтальным пластом
и вертикальной дайкой



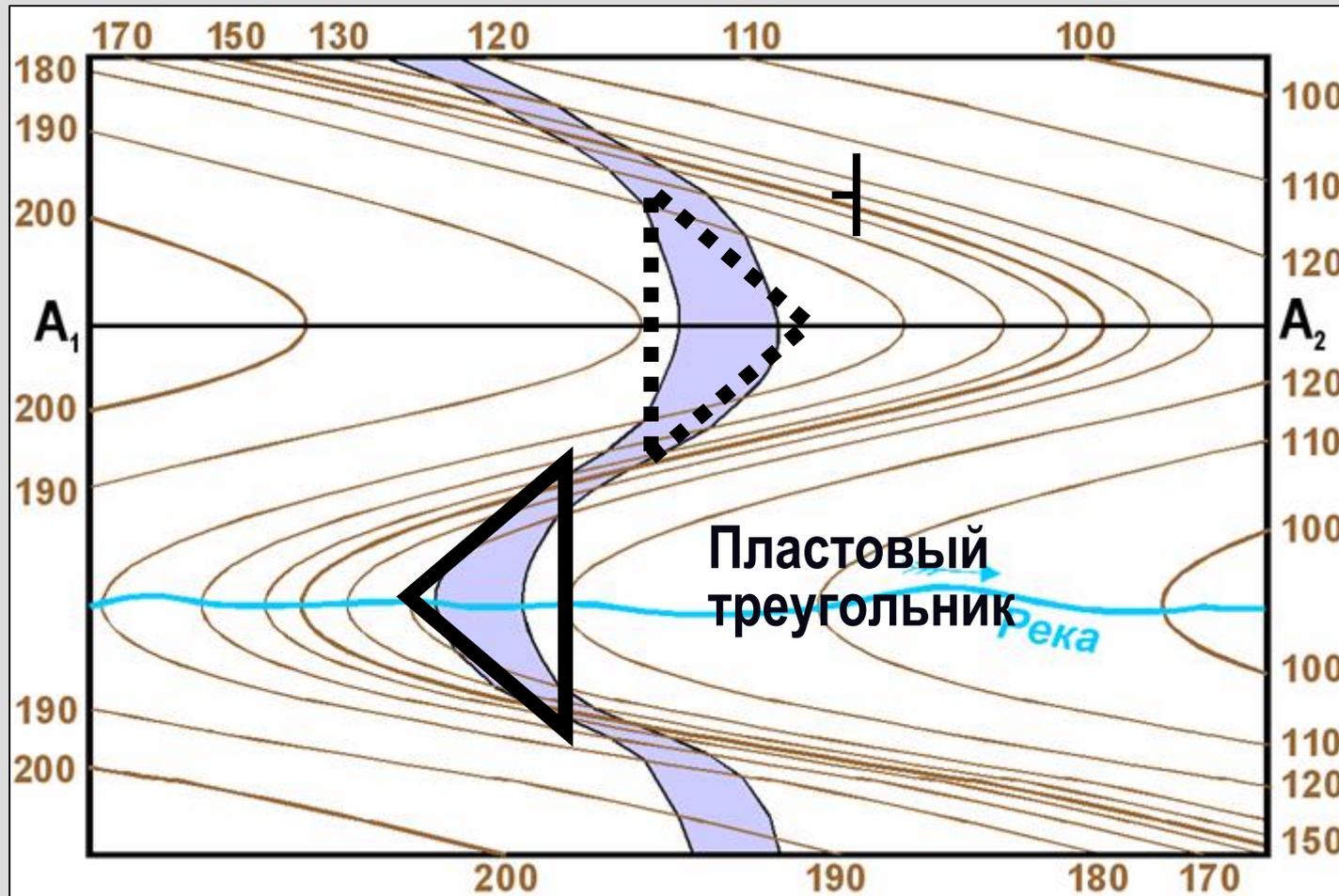
Наклонный пласт на геологической карте

Конфигурация границ **наклонно** залегающих пластов на геологической карте **зависит** и от угла наклона самих пластов, и от морфологии рельефа, т.е. от **соотношения** *углов наклона пласта и склона*

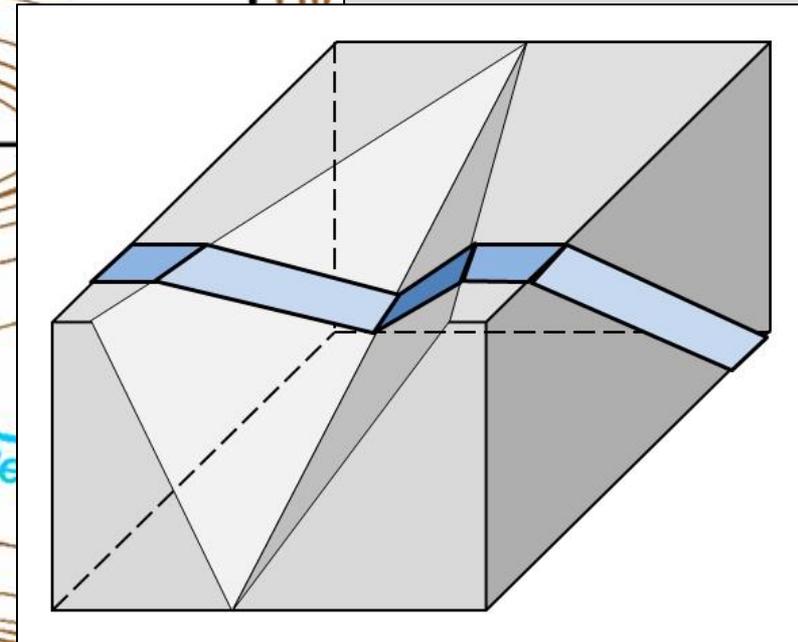
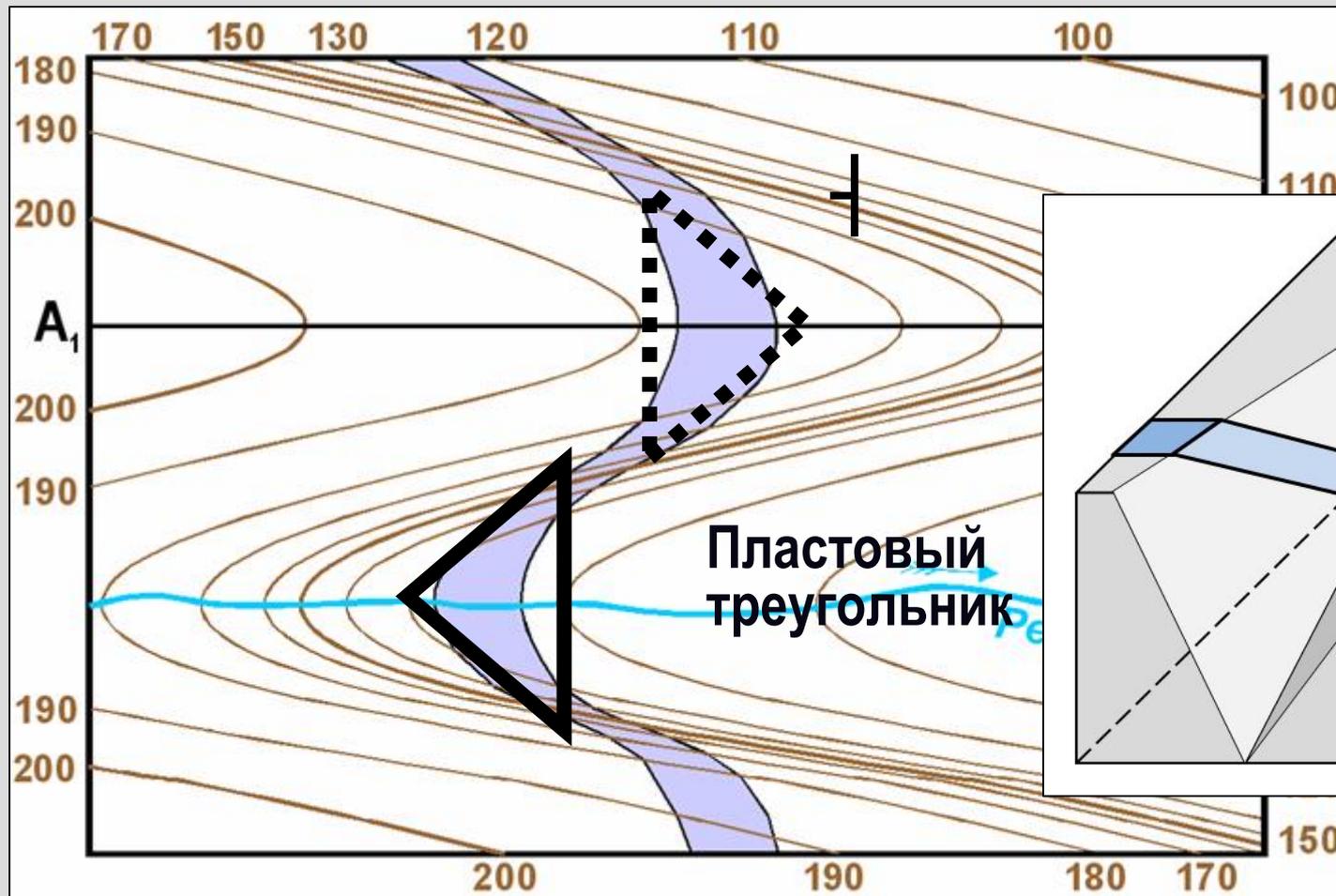


Выход пласта, наклонённого под склон, на карте занимает положение **между** выходами горизонтального и вертикального пластов, т.е. его выход "изогнут" в **ту же сторону**, что и горизонтали, но с **меньшей** кривизной

В долинах и на склонах выходы наклонно залегающих пластов создают своеобразные фигуры рельефа, которые условно называют "*пластовыми треугольниками*", хотя их форма и не всегда близка к треугольнику. Правило пластовых треугольников: «Пластовый треугольник **в долине** указывает **направление падения** пласта, а **на водоразделе** – **направление восстания**»



В долинах и на склонах выходы наклонно залегающих пластов создают своеобразные фигуры рельефа, которые условно называют "*пластовыми треугольниками*", хотя их форма и не всегда близка к треугольнику. Правило пластовых треугольников: «Пластовый треугольник **в долине** указывает **направление падения** пласта, а **на водоразделе** – **направление восстания**»

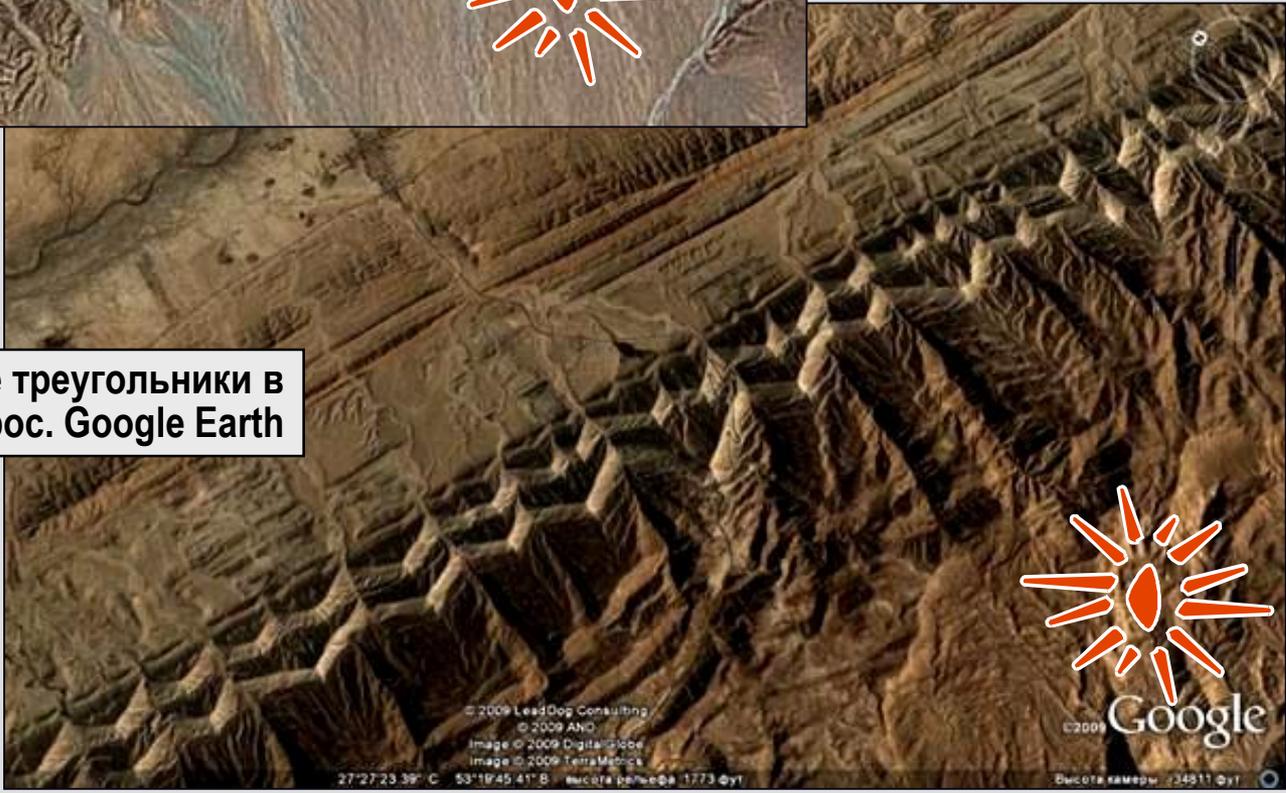




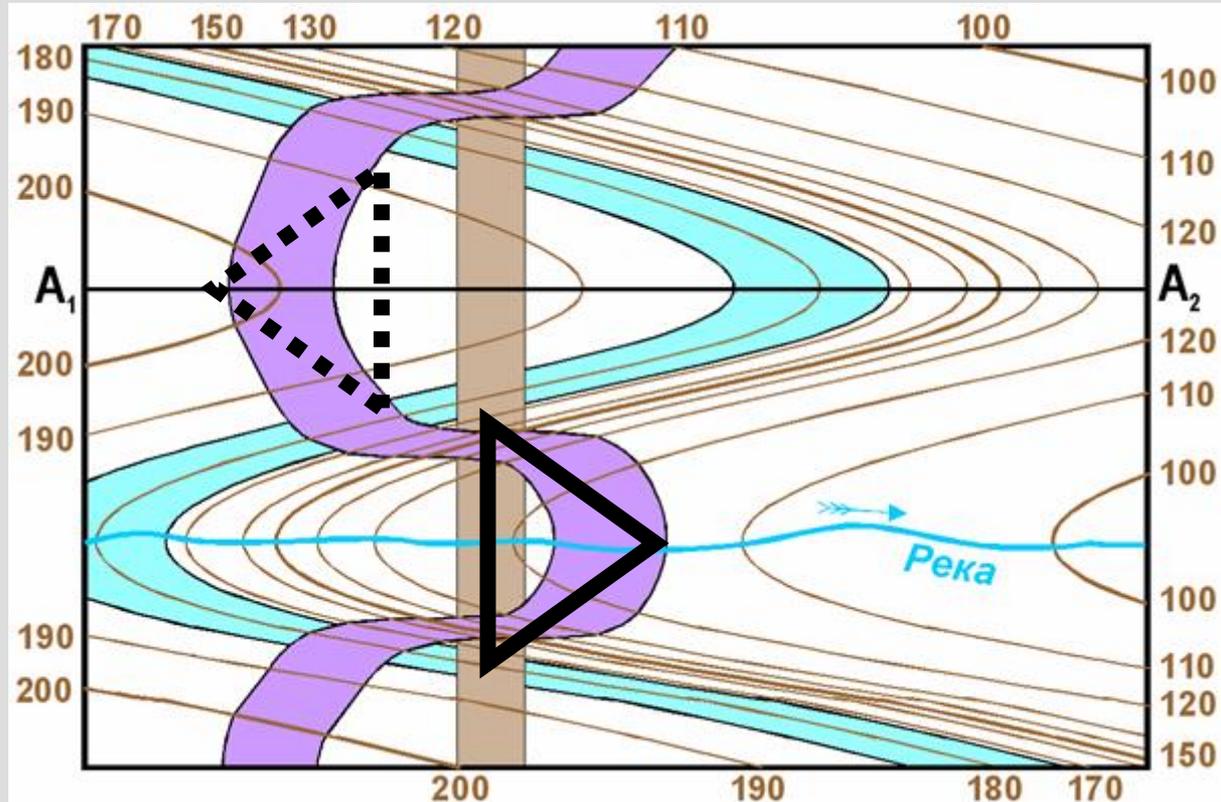
**Определите
направление падения
пластов**

**Пластовые треугольники в
моноклинали. Китай. Google Earth**

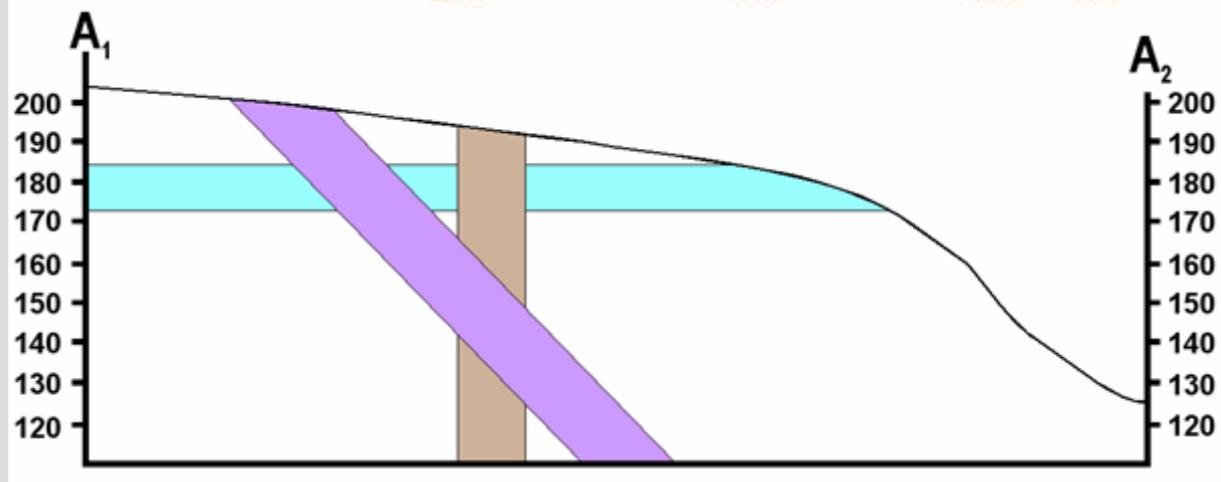
**Пластовые треугольники в
моноклинали. Загрос. Google Earth**



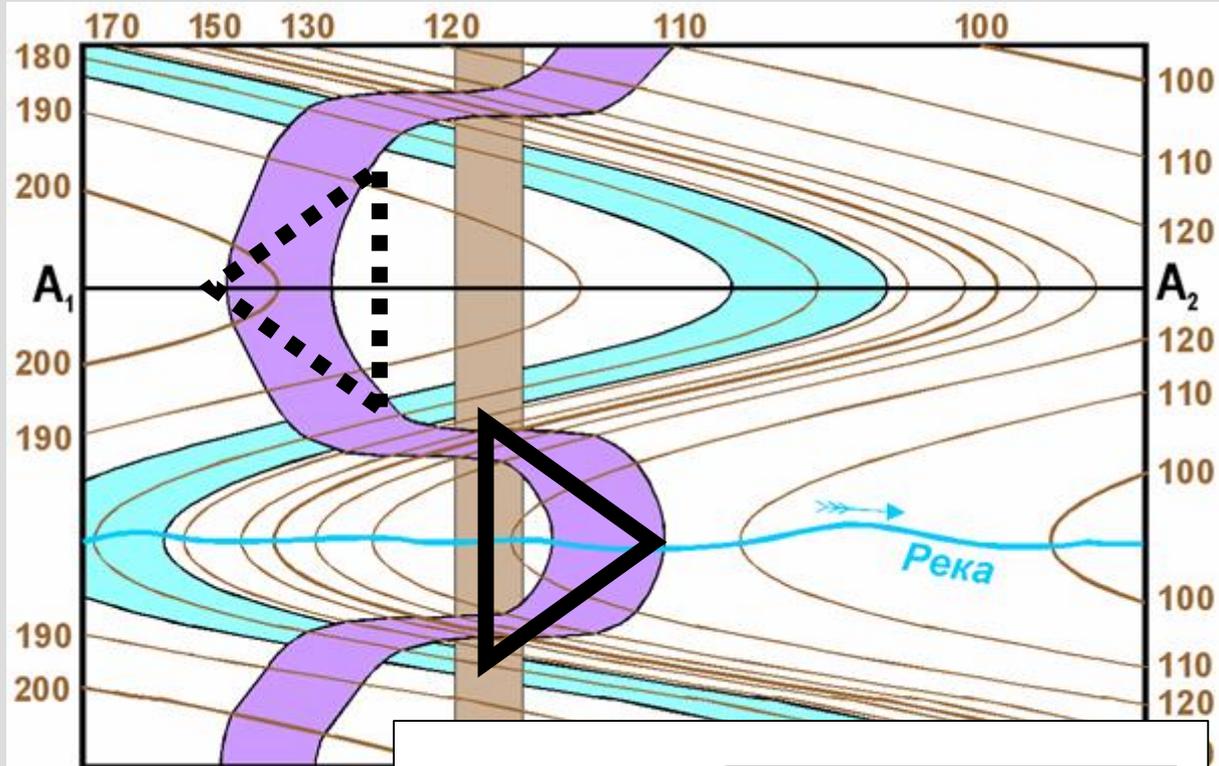
Выход пласта, наклоненного так же, как склон, но круче склона, на разрезе занимает положение **вне** выходов горизонтального и вертикального пластов, т.е. выход пласта "изогнут" в **другую сторону**, чем горизонтали.



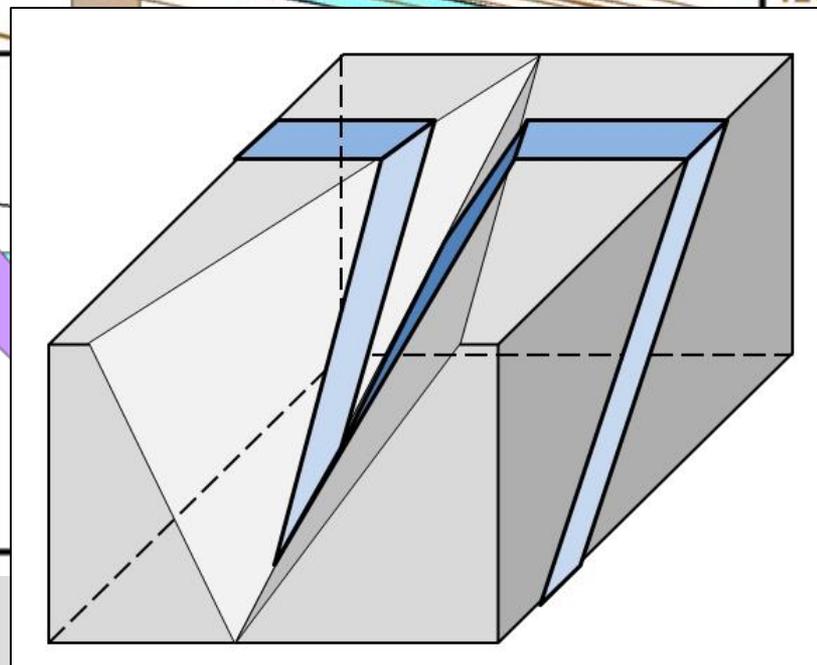
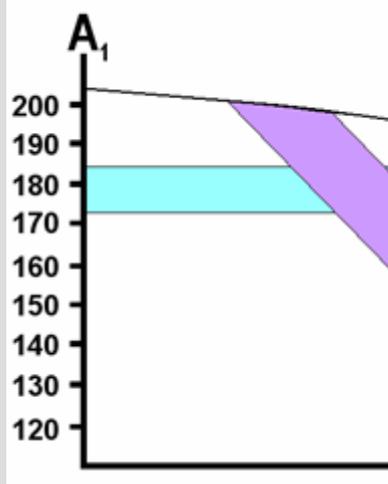
Правило пластовых треугольников: «Пластовый треугольник в долине указывает направление падения пласта, а на водоразделе – направление восстания» и в этом случае "работает"



Выход пласта, наклоненного так же, как склон, но круче склона, на разрезе занимает положение **вне** выходов горизонтального и вертикального пластов, т.е. выход пласта "изогнут" в **другую сторону**, чем горизонтали.



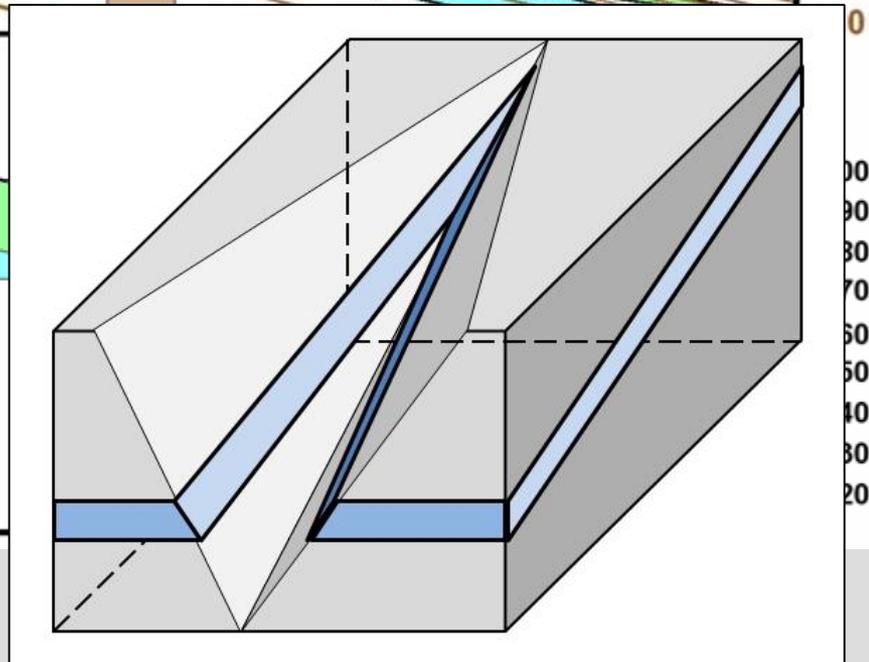
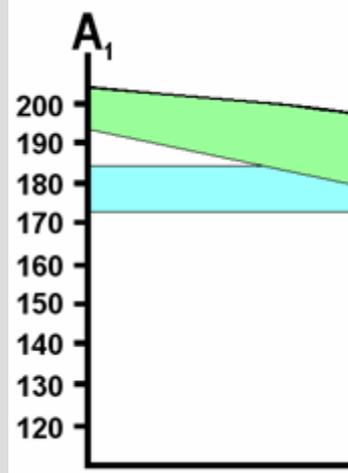
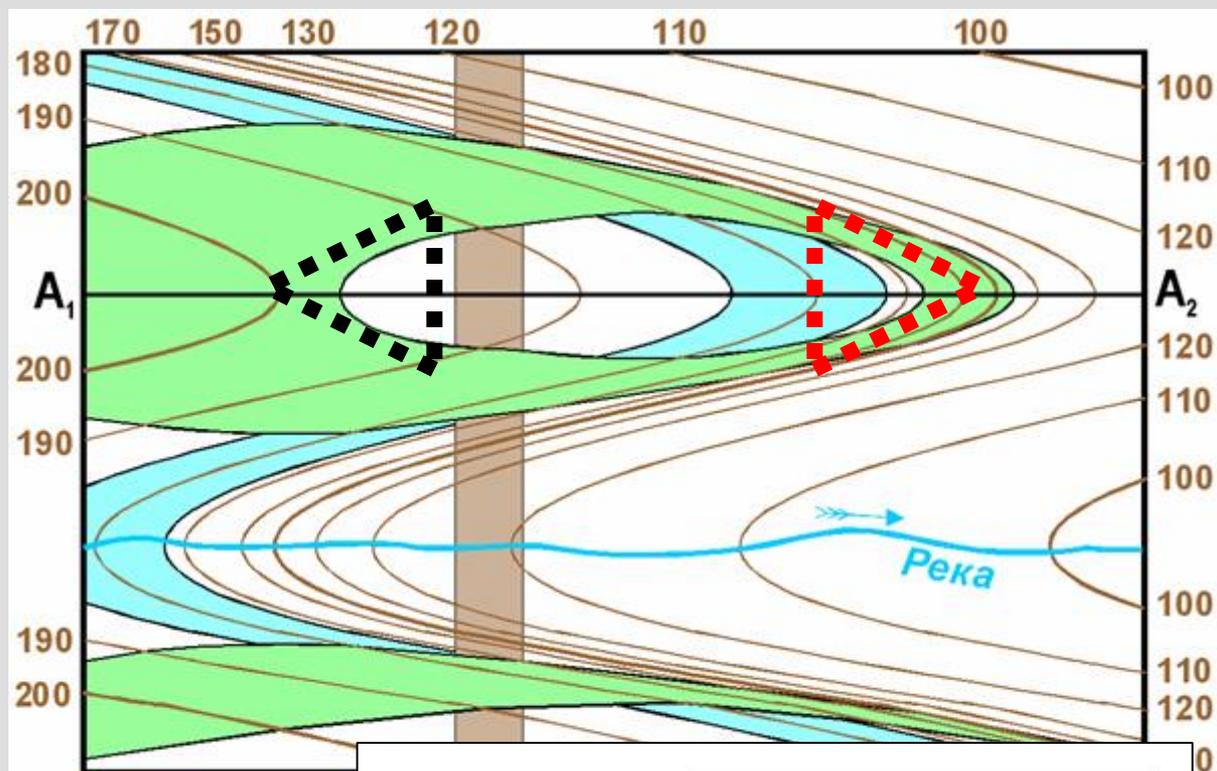
Правило пластовых треугольников: «Пластовый треугольник в долине указывает направление падения пласта, а на водоразделе – направление восстания» и в этом случае "работает"



Особые случаи соотношения углов наклона пласта и рельефа

1. Выход полого наклоненного пласта, на разрезе **возвышенности** (на западе – **круче** склона, на востоке – **положе** склона).

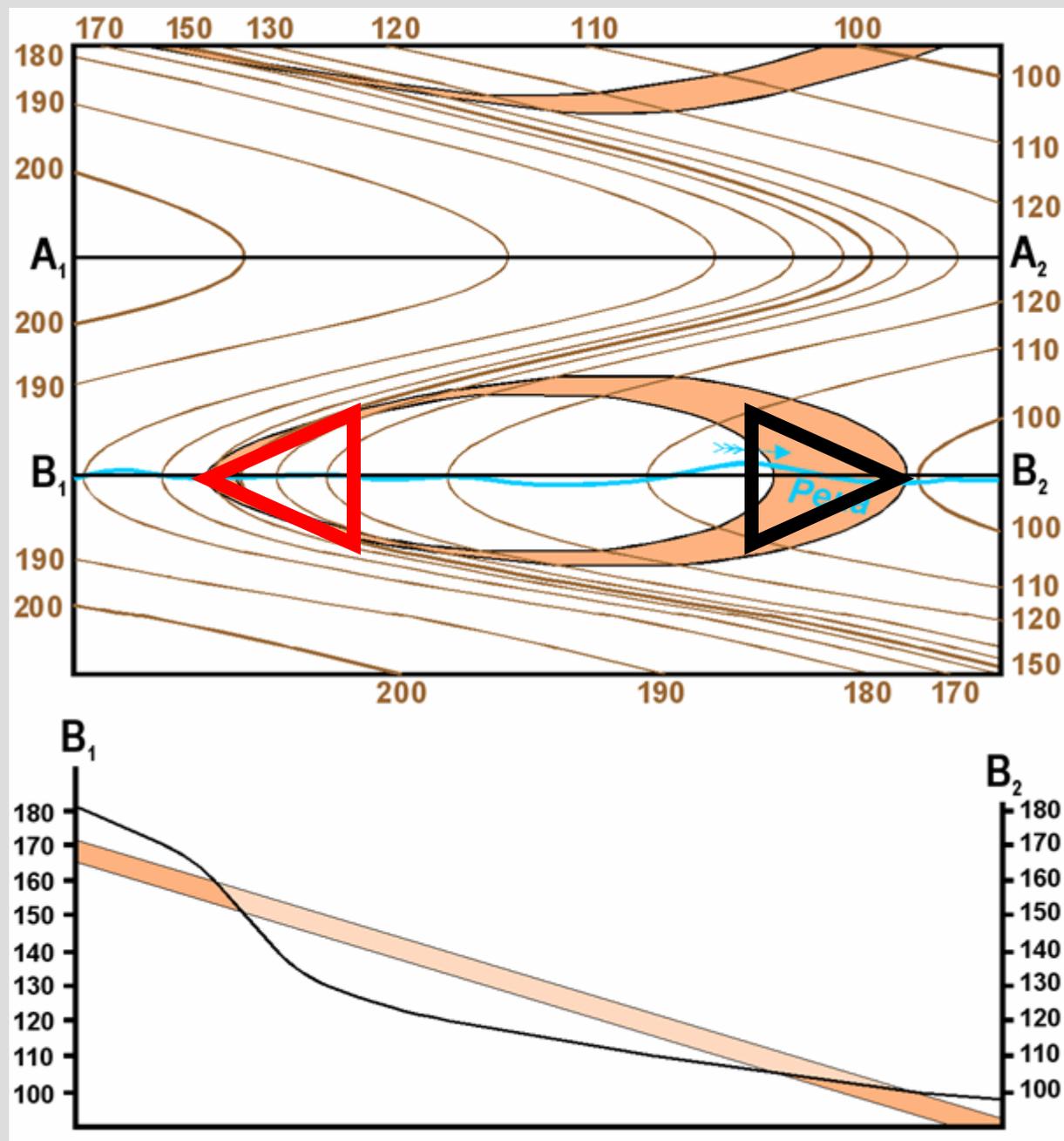
На востоке, где пласт падает в ту же сторону, что и склон, но положе его, его выход "изогнут" в ту же сторону, что горизонтали, но с **большой** кривизной! Поэтому: «Пластовый треугольник на водоразделе в этом случае показывает **направление падения** пласта!»



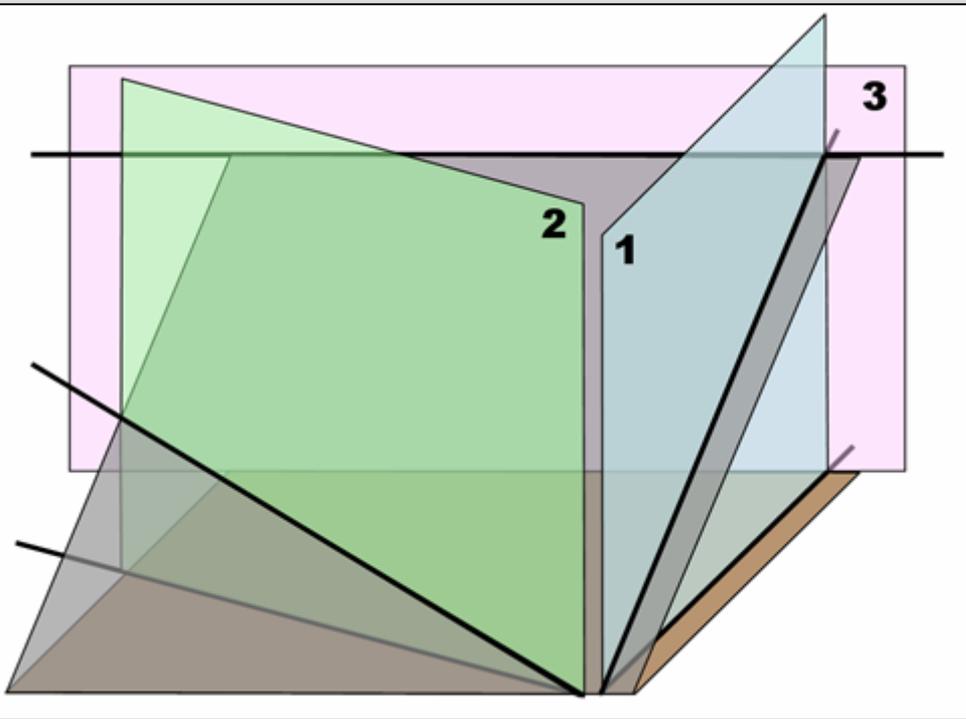
2. Выход полого наклоненного пласта в долину (на западе **положе** склона, на востоке – **круче** склона)

На западе, где пласт падает в ту же сторону, что и склон, но **положе** его, его выход "изогнут" в ту же сторону, что горизонтали, но с **большой** кривизной!

В этом случае – «Пластовый треугольник в долине показывает **направление восстания** пласта!»



Немного геометрии наклонного пласта



1 вертикальная плоскость сечет наклонный пласт вкрест простирания;

2 вертикальная плоскость сечет наклонный пласт косо к простиранию;

3 вертикальная плоскость сечет наклонный пласт по простиранию.

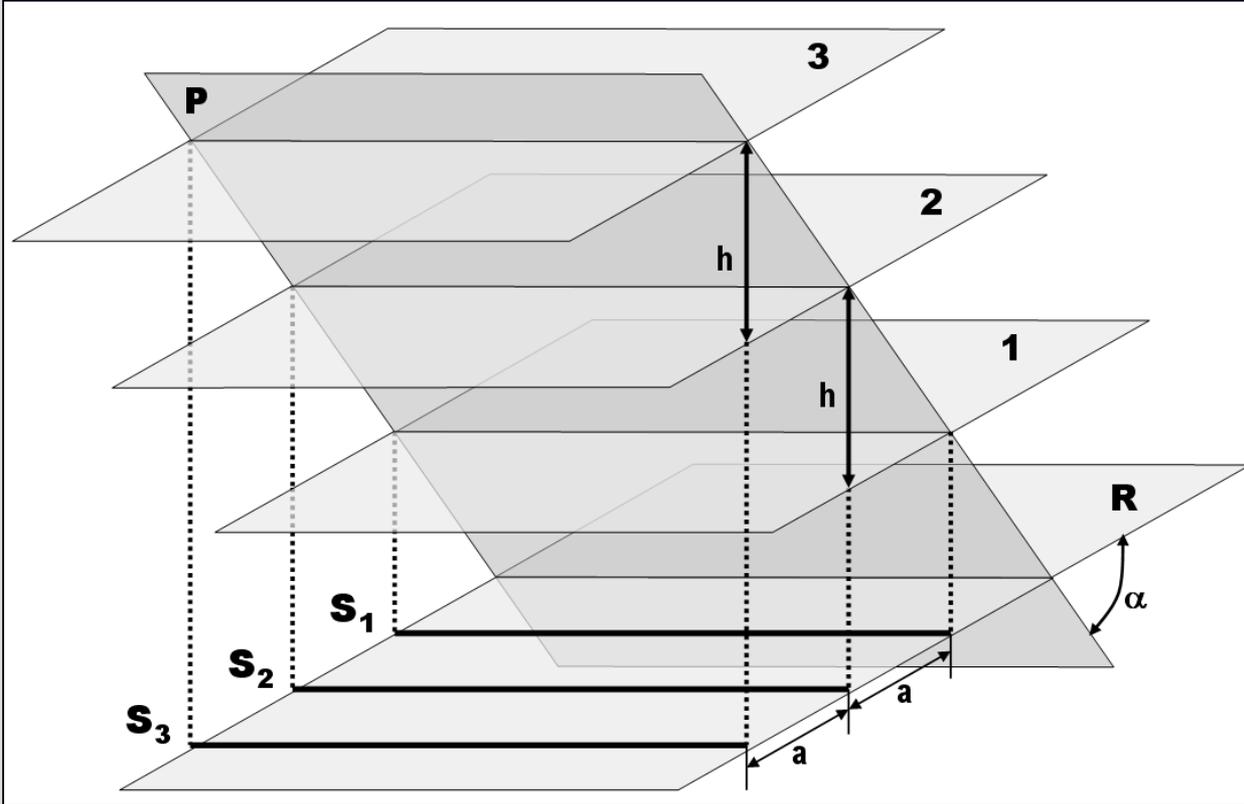
Угол падения пласта на разрезе **1** равен **истинному углу падения**.

Угол падения пласта на разрезе **3** равен **нулю**, т.е. наклонный пласт будет выглядеть горизонтальным.

Угол падения пласта на разрезе **2** всегда **меньше истинного угла падения и больше нуля**, т.е. чем ближе положение разреза к направлению падения, тем угол падения пласта на разрезе ближе к истинному, чем ближе положение разреза к направлению простирания, тем угол падения пласта на разрезе ближе к нулю!

Стратоизогипсы

Стратоизогипсы являются аналогами горизонталей рельефа, только проводятся для поверхности пласта (**P**). Представьте себе линии простирания пласта как линии пересечения поверхности пласта с горизонтальными поверхностями (**R**) известной высоты.



Стратоизогипса (S) – проекция на горизонтальную поверхность линии простирания, проведенной на заданной высоте, т.е. имеющей заданную абсолютную отметку.

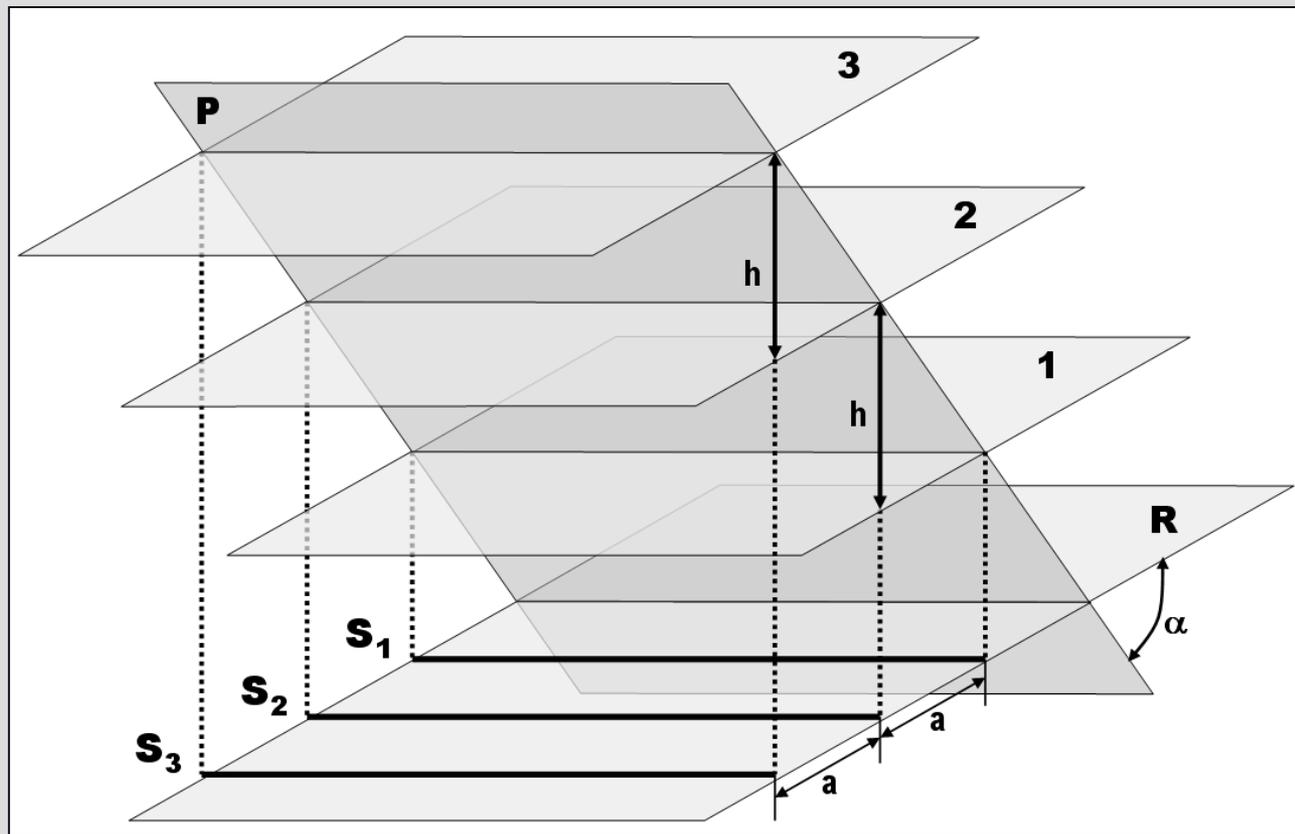
Шаг стратоизогипс (h) – заданная разница между значениями высот соседних стратоизогипс. Обычно стратоизогипсы проводят с единым шагом.

Заложение стратоизогипс (a) – кратчайшее расстояние между соседними стратоизогипсами.

Свойства стратоизогипс

1. При едином шаге стратоизогипс и едином угле наклона пласта все заложения равны между собой.
2. При едином шаге стратоизогипс увеличение заложения демонстрирует более пологое залегание, а уменьшение заложения – более крутое залегание.
3. Если оцифровка стратоизогипс совпадает с оцифровкой горизонталей, точки пересечения этих линий с одинаковыми абсолютными отметками являются точками выхода поверхности пласта на дневную поверхность.

Вычислите
 a , h , α
по другим
параметрам



Свойства стратоизогипс

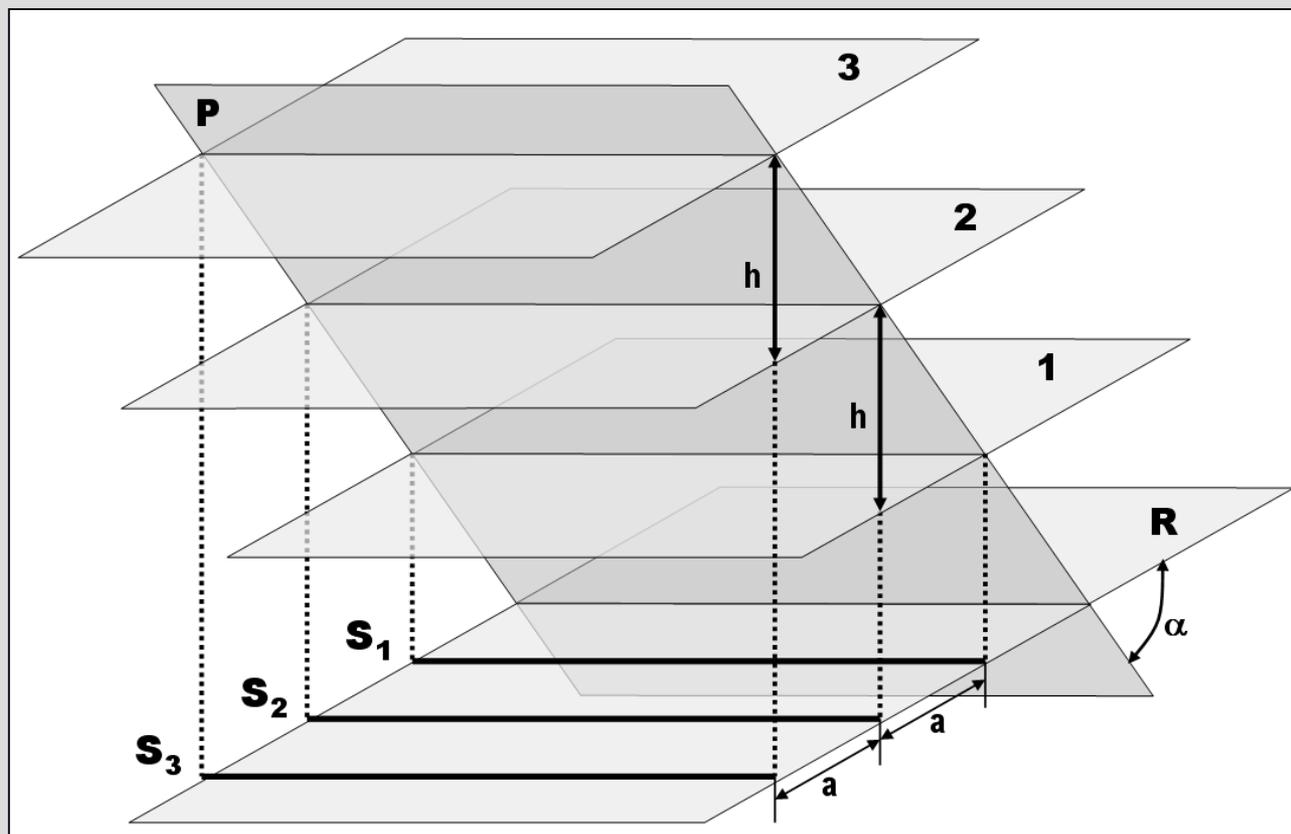
1. При едином шаге стратоизогипс и едином угле наклона пласта все заложения равны между собой.
2. При едином шаге стратоизогипс увеличение заложения демонстрирует более пологое залегание, а уменьшение заложения – более крутое залегание.
3. Если оцифровка стратоизогипс совпадает с оцифровкой горизонталей, точки пересечения этих линий с одинаковыми абсолютными отметками являются точками выхода поверхности пласта на дневную поверхность.

Вычислите
 a , h , α
по другим
параметрам

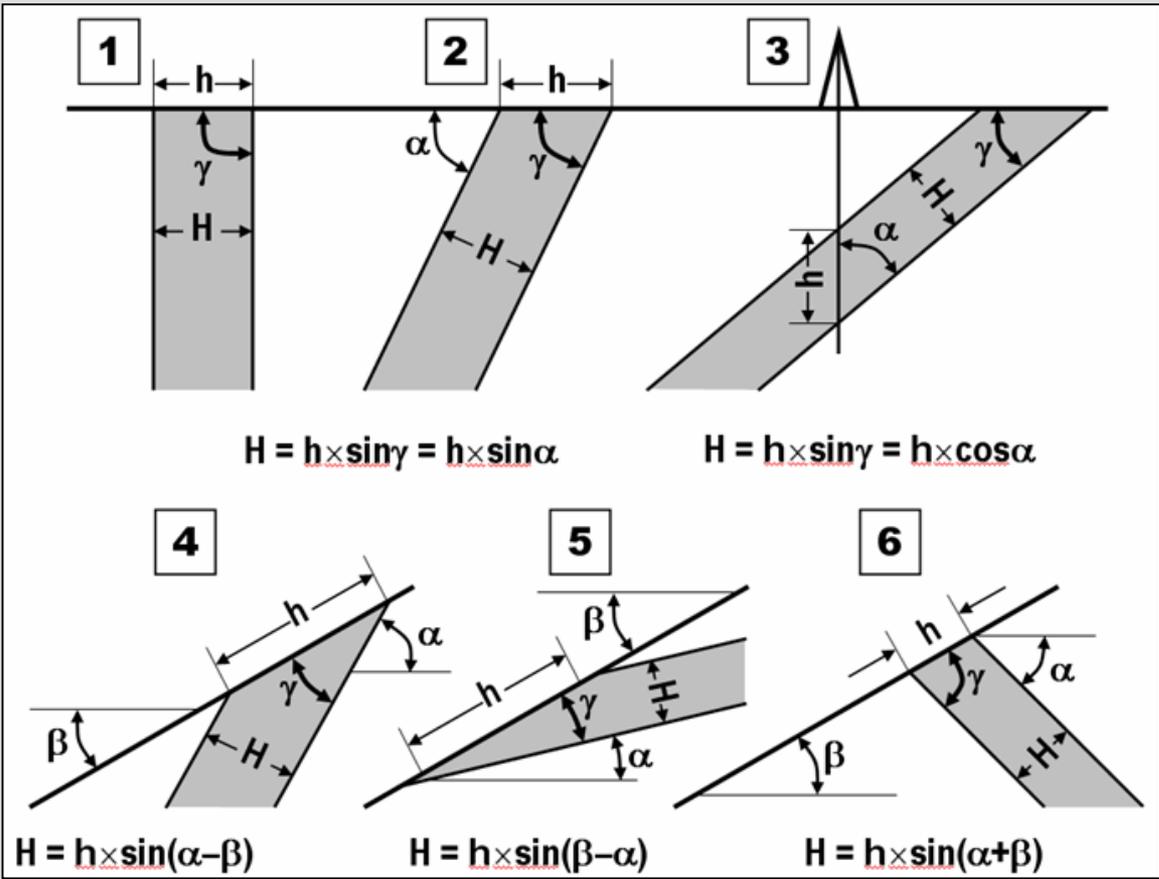
$$a = h \times \operatorname{ctg} \alpha$$

$$h = a \times \operatorname{tg} \alpha$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} h/a$$



Определение мощности пласта по ширине выхода и наклону рельефа



h – "видимая мощность":

№ 1, 2 – "горизонтальная мощность"

№ 3 – "вертикальная мощность"

№ 4, 5, 6 – "ширина выхода"

H – истинная мощность слоя;
 alpha – угол падения слоя;
 beta – угол падения склона;
 gamma – угол между поверхностью пласта и склона

Если не видна (или неизвестна!) подошва или кровля слоя, то его мощность называется "**неполной**"

Финальные тесты

Зачем в горном компасе зеркало?

Что делать, если северный конец компаса направлять по падению неудобно, а южный – удобно?

Зачем для наклонного пласта измерять азимут простирания?

Для каких пластов надо измерять азимут простирания?

Какие элементы залегания надо измерять для горизонтальных пластов?

ЗАДАЧА. Поперек склона с уклоном на восток 30° измерен выход пласта шириной 100 м. Как залегает пласт, если его истинная мощность 100 м?

ЗАДАЧА. Вертикальная скважина вскрывает 100 м пласта от кровли до подошвы. Какова его истинная мощность, если угол слоистости к оси керна составляет 30° ?

В какую сторону падают пласты?

1. Верхоянский хребет



2. Западная Сахара



В какую сторону падают пласты?

3. Хинган Китай

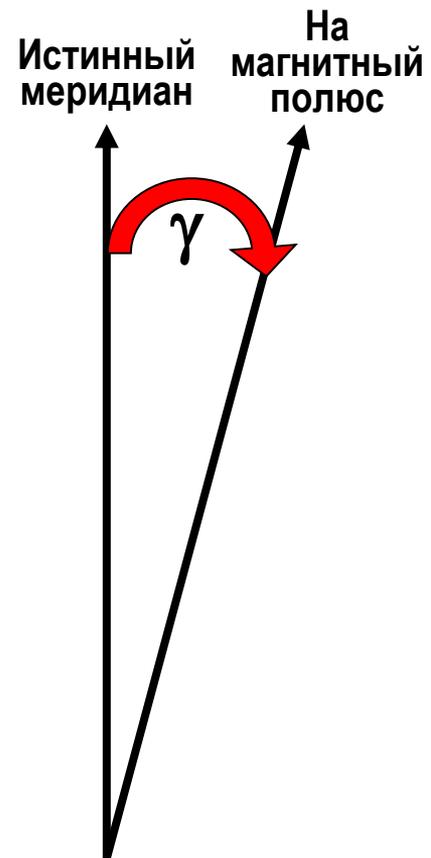


42°53'15.29" С 89°43'11.26" В высота рельефа 1501 фут.

Высота камеры 46

**Что такое
"магнитное
склонение?"**

Что такое
"магнитное
склонение?"



Существует ли участок, на котором северный конец стрелки компаса указывает строго на географический север, а южный – строго на географический юг?

Существует ли участок, на котором северный конец стрелки компаса указывает строго на географический север, а южный – строго на географический юг?



Существует ли участок, на котором северный конец стрелки компаса указывает на географический юг, а южный – строго на географический север?

Существует ли участок, на котором северный конец стрелки компаса указывает на географический юг, а южный – строго на географический север?

