

Тема 12. РАЗРЫВЫ БЕЗ СМЕЩЕНИЯ – ТРЕЩИНЫ (ДИАКЛАЗЫ)

Г.В. Лебедев
Пермский университет

12.1. Трещины и трещиноватость

- **Трещины (диаклазы)** – разрывные нарушения в горных породах, перемещения по которым отсутствуют или имеют незначительную величину.
- Трещины, являясь двумерными геологическими телами, **характеризуются элементами залегания** – простиранием, падением и углом падения.
- **Трещиноватость** - совокупность трещин, разбивающих тот или иной блок породы или участок земной коры, называется трещиноватостью.
- **Система трещин** – совокупность трещин близкой ориентировки. Трещины одной системы могут ветвиться, но не пересекаются. Обычно в горных породах развивается несколько систем трещин.
- **Отдельность** – блоки и глыбы, на которые системами трещин разбивается горная порода. Примеры отдельности: в осадочных породах – плитчатая, кубическая, призматическая, шаровая, глыбовая; в лавах – призматическая, столбчатая, шаровая; в интрузивных массивах – кубическая, матрацевидная, параллелепипедоидальная; в метаморфических породах – плитчатая, пластинчатая, остроугольная и др.

Примеры отдельности



Рис. 41 Подушечные базальты.
<http://www.anrb.ru/geol/MinUrals/report01.htm#102>



Рис. 42 Ромбическая отдельность в антигоритовых серпентинитах.
<http://www.anrb.ru/geol/MinUrals/report01.htm>



Столбчатая отдельность. Остров Кунашир <http://kedr.forest.ru>



Матрацевидная отдельность в гранитах. Екатеринбург. Шарташ
<http://t3.gstatic.com/images>

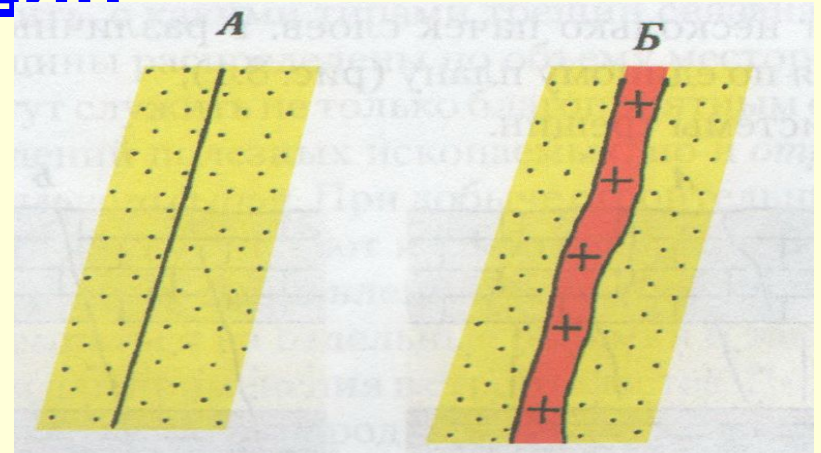
12.2. Морфологическая классификация

трещин

1. По степени раскрытости

подразделяются на три группы:

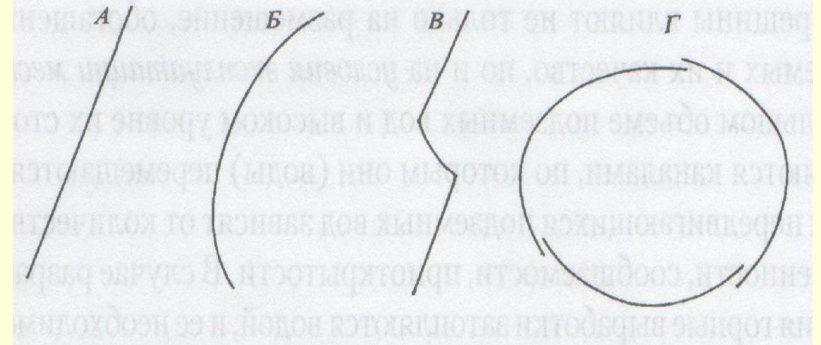
- **открытые**, имеющие хорошо видимую полость;
- **закрытые**, у которых разрыв хорошо заметен, но стенки настолько сближены, что полость не видна невооруженным глазом;
- **скрытые**, которые при обычных наблюдений не видны, но легко обнаруживаются при раскалывании или окрашивании горной породы.



Закрытые (А) и открытые (Б) трещины А.
К. Корсаков, 2009

2. По форме в плане:

- **прямолинейные**;
- **дугообразные**;
- **коленообразные**;
- **кольцевые**.



Классификация трещин по морфологии в
плане

А.К. Корсаков, 2009

А – прямолинейные; Б – дугообразные;

В – коленообразные; Г – кольцевые

3. По величине угла падения:

- горизонтальные ($0 - 10^{\circ}$);
- пологие ($10 - 45^{\circ}$);
- крутые ($45 - 80^{\circ}$);
- вертикальные ($80 - 90^{\circ}$)

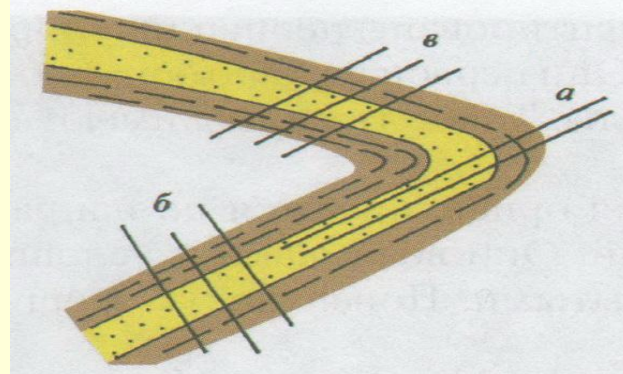
5. По простиранию

относительно слоистости:

- продольные (а);
- поперечные (б);
- диагональные (в)

4. По направлению падения относительно слоистости:

- согласные;
- несогласные

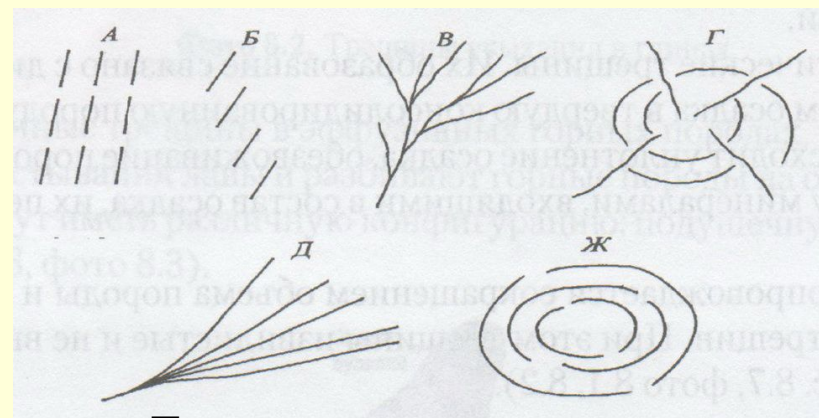


Трещины по простиранию относительно слоистости

А.К. Корсаков, 2009

6. По взаимному расположению:

- эшелонированные (А);
- кулисообразные (Б);
- ветвящиеся (В);
- пересекающиеся (Г);
- веерообразные (Д);
- concentric (Ж)



Трещины по взаимному положению

А.К. Корсаков, 2009

12.3. Геометрическая классификация трещин

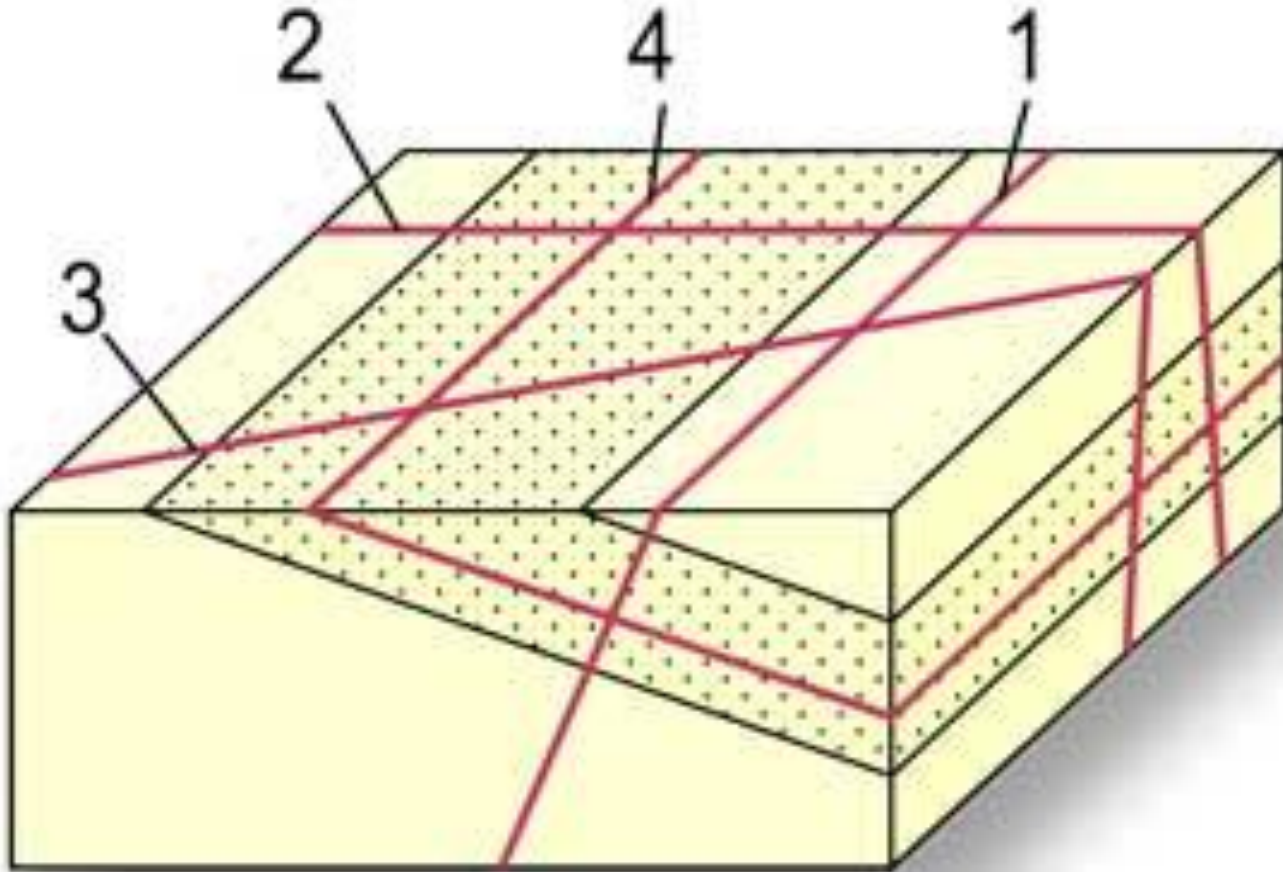
- По направлению падения относительно падения слоистости трещины подразделяются на:
 - 1) **согласные**, падающие в ту же сторону, что и слоистость;
 - 2) **несогласные**, имеющие падение противоположное падению слоистости.
 - По величине угла между трещинами и поверхностями наслоения, выделяются трещины:
 1. **Параллельные слоистости** (являются согласными трещинами);
 2. **Нормальносекущие**, перпендикулярные слоистости:
 - **продольные** (являются несогласными трещинами),
 - **поперечные***,
 - **диагональные** (являются несогласными трещинами);
 3. **Кососекущие**, пересекающие слоистость под углам отличным от 0 и 90^0 :
 - **продольные** (могут быть согласными и несогласными),
 - **поперечные***,
 - **диагональные** (могут быть согласными и несогласными).
- *Поперечные трещины на согласные и несогласные не подразделяются.*

продольные (параллельные простиранию слоев, но секущие поверхности напластования);

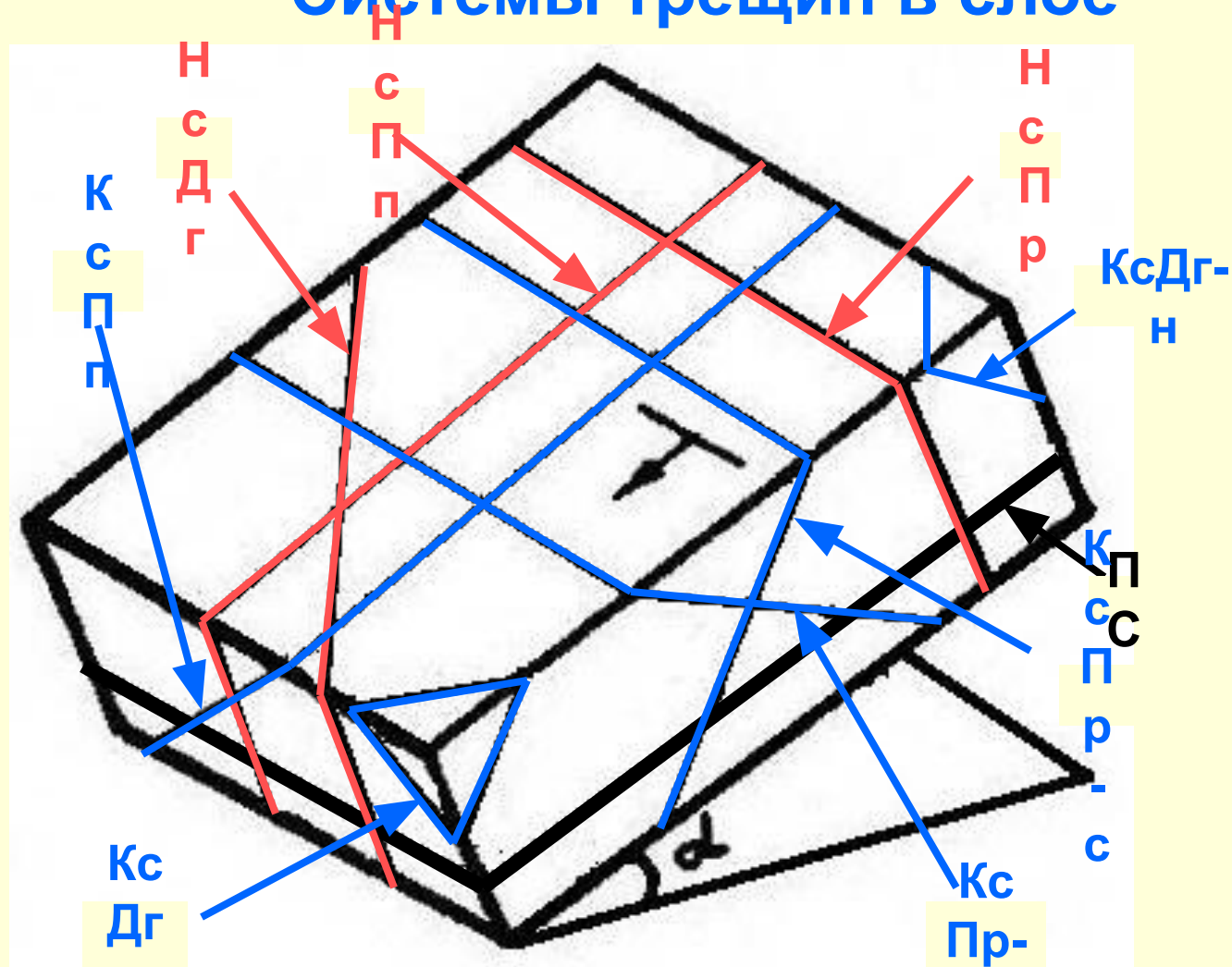
поперечные (секущие слоистость перпендикулярно ее простиранию);

диагональные (проходящие под углом к простиранию и направлению падения);

послойные (параллельные слоистости)



Системы трещин в слое



ПС – параллельные слоистости; **НсПр** – нормальносекущие продольные; **НсПп** – нормальносекущие поперечные; **НсДг** – нормальносекущие диагональные; **КсПр-с** – кососекущие продольные согласные; **КсПр-н** – кососекущие продольные несогласные; **КсПп** – кососекущие поперечные; **КсДг-с** – кососекущие диагональные согласные; **КсДг-н** – кососекущие диагональные несогласные; α – угол падения слоя

12.4. Генетическая классификация

трещин

- По генезису (происхождению) трещины подразделяются на:

1. Нетектонические:

- диагенетические трещины;
- первичные трещины в эффузивных породах;
- прототектонические (первичные) трещины в интрузивных породах;
- трещины выветривания;
- трещины разгрузки напряжений;
- гравитационные трещины (оползней, обвалов, провалов);
- трещины динамического напора льда

2. Тектонические:

- трещины отрыва;
- трещины скалывания;
- кливаж.

Образование трещин нетектонического происхождения связано со становлением осадочных горных пород в процессе диагенеза, с сокращением объема магматических пород при их остывании, с процессами физического выветривания, а также с силами гравитации.

Тектонические трещины образуются в результате деформации разрыва горных пород под влиянием внутренних эндогенных процессов.

12.4.1. Нетектонические трещины

- **Диагенетические трещины.** В результате обезвоживания и уплотнения осадка сокращается его объем и возникают внутренние напряжения, приводящие к образованию трещин.
- Трещины имеют извилистую форму и не выходят за пределы одного слоя. Например, трещины усыхания.



Трещины усыхания
<http://forum.kerch.com.ua>

- **Первичные трещины в эффузивных породах** образуются вследствие возникновения в них напряжений, связанных с их остыванием и уменьшением объема.
- Эти трещины создают различные виды отдельности: призматическую, столбчатую, шаровую, подушечную и др.



Шаровая отдельность в базальтах
<http://www.netartsbaytoday.org>

• **Прототектонические (первичные) трещины в интрузивных породах.**

Образуются под воздействием напряжений, которое возникает вследствие сокращения объема горной породы при ее остывании.



Прототектонические трещины в гранитах.

Заповедник «Красноярские столбы»

http://russights.ru/img/krasnoyarskie_stolby

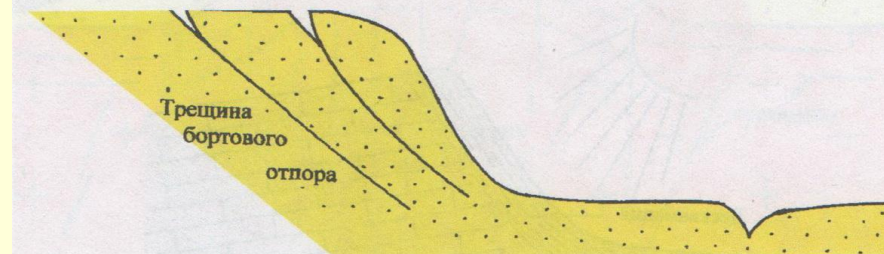
• **Трещины выветривания**

образуются в результате процессов физического выветривания в приповерхностной зоне. Трещины имеют беспорядочную ориентировку и обычно проникают до глубины 12 -15 м от поверхности земли.



Трещины выветривания в аргиллитах шешминской свиты. Пермь, оп. Славянова

- **Трещины разгрузки напряжений.** Образуются при снятии напряжений с горных пород в результате эрозии или их выемки при проходке горных выработок.
- Наиболее типичными из них являются трещины бортового отпора и отслаивания.



Трещины бортового отпора на склоне речной долины

А.К. Корсаков, 2009



Трещины бортового отпора в кембрийских известняках. Природный парк «Ленские столбы»

Фото В.Рябкова



Трещины бортового отпора. Эчки-Даг. Крым

• **Гравитационные трещины:** трещины оползней, обвалов, провалов. Образуются в приповерхностных условиях под воздействием сил гравитации в переувлажненных, карстующихся породах или в породах в связи с разгрузкой напряжений.



Оползень в Калифорнии.
22.11.2011 www.vseneprostopak.ru

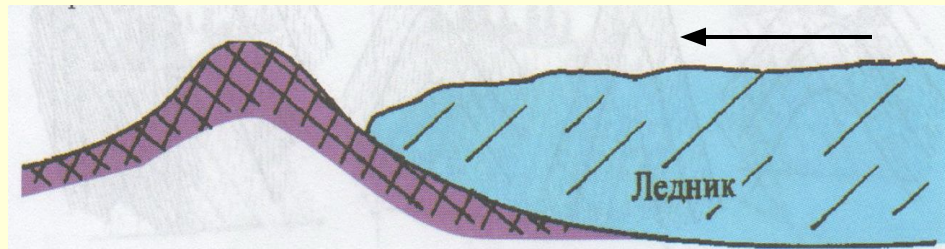


Провал в г. Березники. Шахтное поле БКРУ-1 <http://mw2.google.com>



Обвал www.volnet.ru

• **Трещины динамического напора льда.** Образуются в горных породах при динамическом давлении движущегося ледника. Обычно сопровождаются складчатыми дислокациями и имеют невыдержанную ориентировку.



Трещины динамического напора ледника

А.К. Корсаков, 2009



Гляциодислокации горы
Калитвы.

Днепропетровская обл.,
Украина

<http://t0.gstatic.com>



Гляциодислокации Шпицбергена

Фото О.Кокина

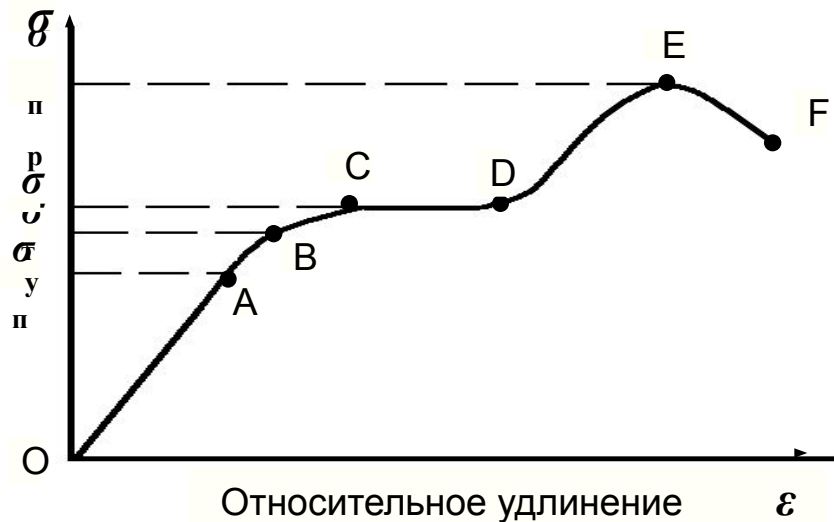
<http://t3.gstatic.com>

12.4.2. Тектонические трещины

- **Трещины отрыва и скалывания.**
- При напряжениях, достигших предела прочности, горные породы разрушаются. В зависимости от положения разрыва в поле напряжений различают два вида разрушения: отрыв и скалывание (соответственно и трещин).
- **Отрыв** вызывается нормальными растягивающими напряжениями и **является хрупким разрушением**. Хрупкое разрушение происходит в твердых телах, у которых предел прочности ($\sigma_{\text{п}}$) меньше предела упругости ($\sigma_{\text{у}}$): $\sigma_{\text{п}} < \sigma_{\text{у}}$, т.е. пластическая деформация перед разрывом отсутствует.
- **Скалывание** обусловлено касательными напряжениями и **является вязким разрушением**. Вязкое разрушение происходит в твердых телах, у которых предел прочности ($\sigma_{\text{п}}$) больше предела упругости ($\sigma_{\text{у}}$): $\sigma_{\text{п}} > \sigma_{\text{у}}$, т.е. разрыву предшествует пластическая деформация.
- **Кливаж** [фр. clivage — расслаивание, расщепление] — система частых параллельных поверхностей скольжения в горных породах, по которым породы легко расщепляются. В зоне выветривания имеет вид открытых или закрытых, а на глубоких уровнях — скрытых.

Диаграмма деформации

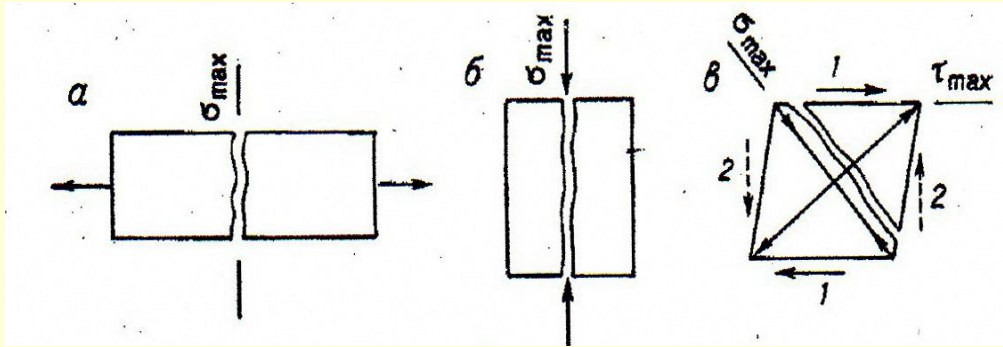
- Под воздействием внешних сил горные породы могут испытать **три последовательных стадии: упругую деформацию, пластическую деформацию, разрушение**. Упругие деформации изучаются геофизическими методами (сейсмометрия), а формы тел горных пород, образовавшиеся при пластических деформациях и разрушении, - в структурной геологии.



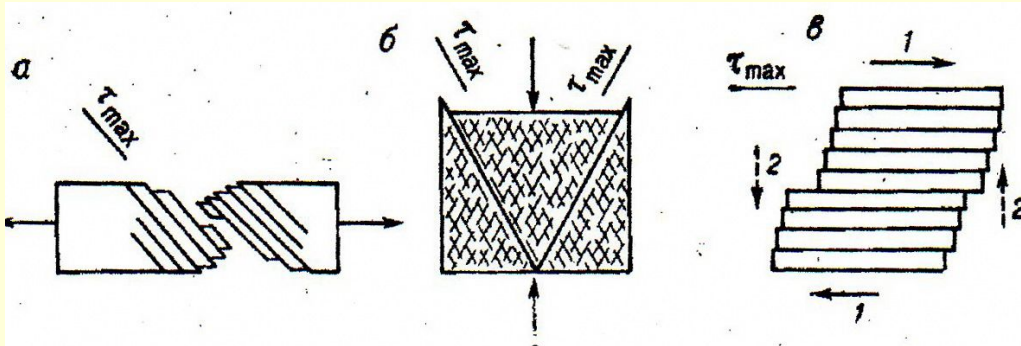
Обобщенная диаграмма деформации растяжения твердых тел

σ_{Π} — предел пропорциональности, σ_y — предел упругости,
 σ_T — предел текучести, $\sigma_{\text{пр}}$ — предел прочности

Хрупкое и вязкое разрушение



Хрупкое разрушение при растяжении (а), сжатии (б) и сдвиге (в). А.Е. Михайлов, 1984
1 – активные силы, 2 – реактивные



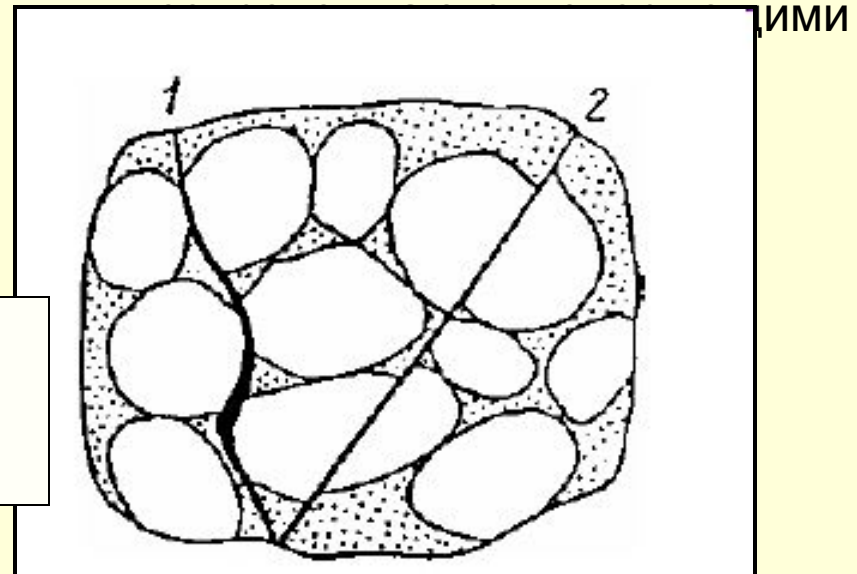
Вязкое разрушение при растяжении (а), сжатии (б) и сдвиге (в). А.Е. Михайлов, 984
1 – активные силы, 2 – реактивные

Морфологические особенности трещин отрыва и скалывания

- **Трещины отрыва.** Обычно извилистые с неровными стенками. При переходе в горные породы с другими физико-механическими свойствами изменяют элементы залегания. Имеют открытый характер, часто заполнены жильным материалом; обычно огибают более прочные участки горных пород (например, гальку в конгломератах). Смещения по ним отсутствуют. Их размер может колебаться в широких пределах: от микроскопического до десятков метров в длину, при мощности от нескольких миллиметров до метров, иногда больше.

Трещины отрыва (1) и скалывания (2) в конгломерате

- **Трещины скалывания.** Обычно прямолинейные с ровными стенками. Ведут себя независимо от физико-механических свойств. В конгломератах пересекают как цемент, так и гальку. При образовании закрытые, притертые, по ним происходят небольшие перемещения, сопровождаемые зеркалами и бороздами скольжения, а также глиной трения. Имеют большую протяженность и

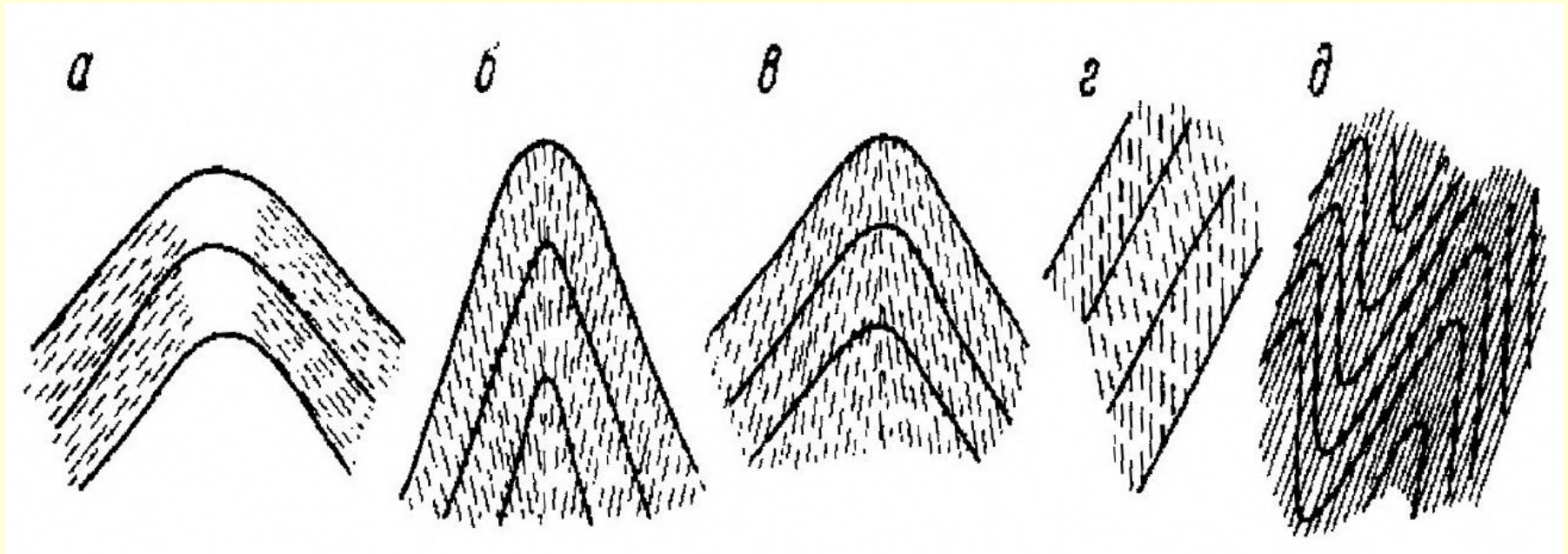


Кливаж

- **Кливаж** [фр. *clivage*, англ. *cleavage* — расслаивание, расщепление] - расщепление горных пород на тонкие параллельные пластинки, происходящее при деформации пласта (образовании складок). Наиболее часто распространён в глинистых породах (аргиллитах, алевролитах). В грубозернистых, твёрдых породах кливаж проявлен плохо, пластинки толстые.
- Тонкий кливаж в глинистых породах принято называть кливажем течения, в твердых - кливажем раскола.
- Кливаж часто параллелен осевым поверхностям складок. При значительном контрасте механических свойств пород может наблюдаться преломление кливажа. В том случае, если трещины расходятся от ядра складки, говорят о прямом веерообразном кливаже, в противном случае - об обратном веерообразном кливаже.

Виды кливажа по ориентировке относительно слоистости

По В.В. Белоусову



a – послойный; *б* – веерообразный; *в* – обратный
веерообразный; *г* – преломленный (s-образный);
д -параллельный (главный)

Параллельный (главный) кливаж в обнажении

<http://s1.ipicture.ru/uploads/20111204/5Yk1nHT1.png>



12.5. Полевые наблюдения за трещиноватостью и методы обобщения данных по ее изучению

- Исследование трещиноватости основано на полевых наблюдениях. При этом должно быть изучены:
 - интенсивность трещиноватости;
 - морфология и внутреннее строение трещин;
 - выявлены системы трещин.
- **Интенсивность трещиноватости** оценивается как **количество трещин, приходящихся на единицу площади**. При исследовании в горных выработках их стенки разбиваются на равные интервалы, в пределах которых подсчитывается количество выявленных трещин. По этим данным строятся графики изменения интенсивности трещиноватости.
- Параллельно с оценкой интенсивности устанавливаются: **тип трещин (открытые, закрытые); минеральный, петрографический (литологический) состав материала, выполняющего трещины, их форма, наличие перемещений, зеркал и борозд скольжения и т.п.**
- **Для выявления систем трещин производятся массовые замеры элементов залегания трещин** (100, 200 или 500 замеров). Обязательным условием является то, чтобы площадка размером $10 \times 10 \div 20 \times 20$ м, на которой производятся замеры, находилась в пределах одного структурного элемента (например, одного крыла складки), имеющего устойчивые элементы залегания. Это обусловлено тем, что системы трещин выделяются относительно элементов залегания слоистости.
- Материалы полевых наблюдений фиксируются в полевых журналах, обычно в табличной форме.
- Результаты обобщения информации о трещиноватости используются при прогнозировании устойчивости горных пород, качества полезных ископаемых (например, блочности), а также закономерностей размещения залежей полезных ископаемых, особенно жильного типа.

Графические методы обработки результатов замера трещиноватости

1. Розы-диаграммы:

- по углам падения,
- по азимутам простирания,
- по азимутам падения.

2. Круговые диаграммы

3. Полярные стереографические проекции*

*В изучаемой дисциплине не рассматриваются

элементов залегания трещин

1

Классы группир., град.	Кол-во трещ.
270-280	
280-290	
.	
.	
.	
350-0	
0-10	
.	
.	
.	
80-90	

2

Классы группир., град.	Кол-во трещ.
0-10	
10-20	
.	
.	
.	
350-360	

3

Классы группир., град.	Кол-во трещ.
0-10	
10-20	
.	
.	
.	
80-90	

1. Для роз-диаграмм по азимутам простирания

2. Для роз-диаграмм по азимутам падения

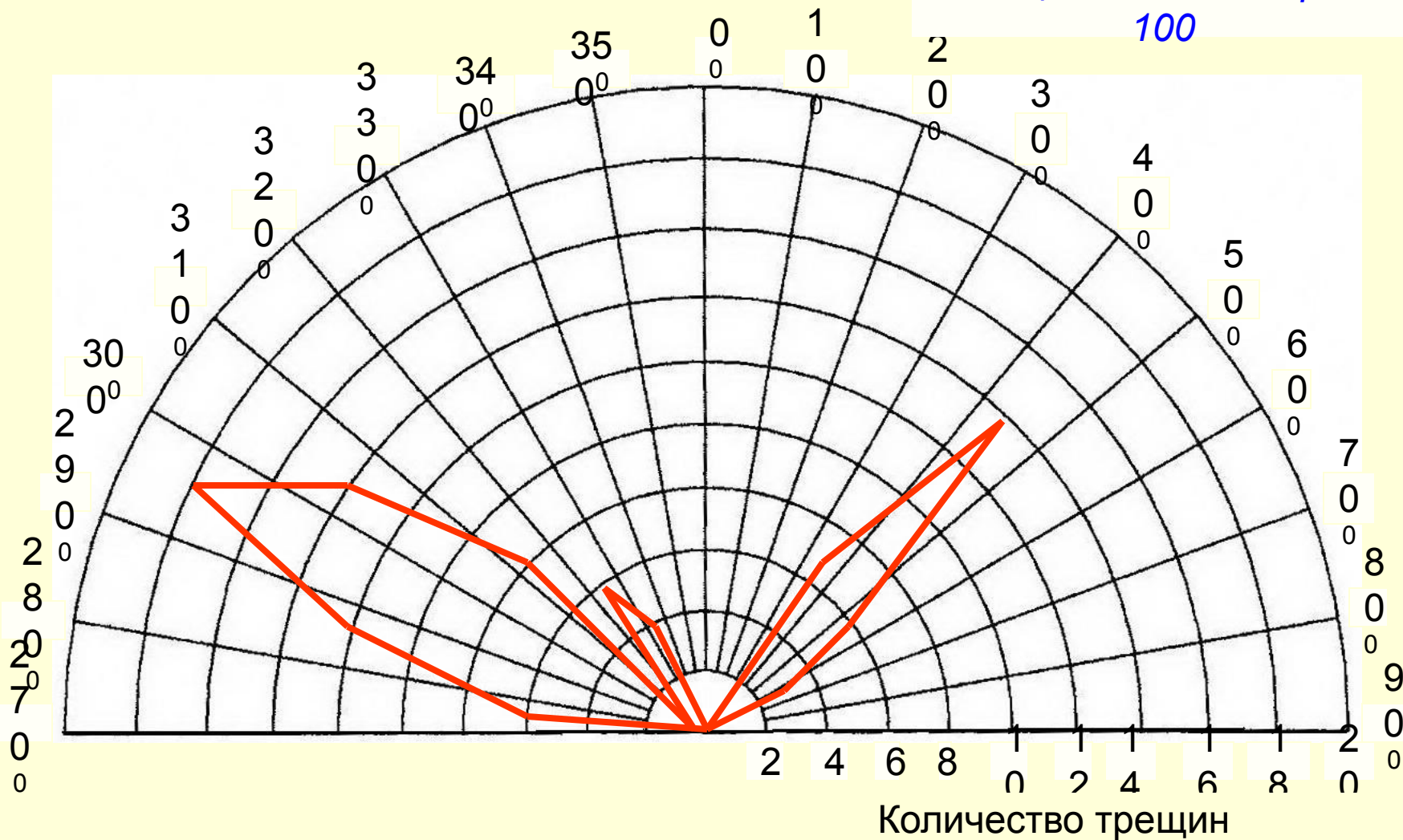
3. Для роз-диаграмм по углам падения

1.Для

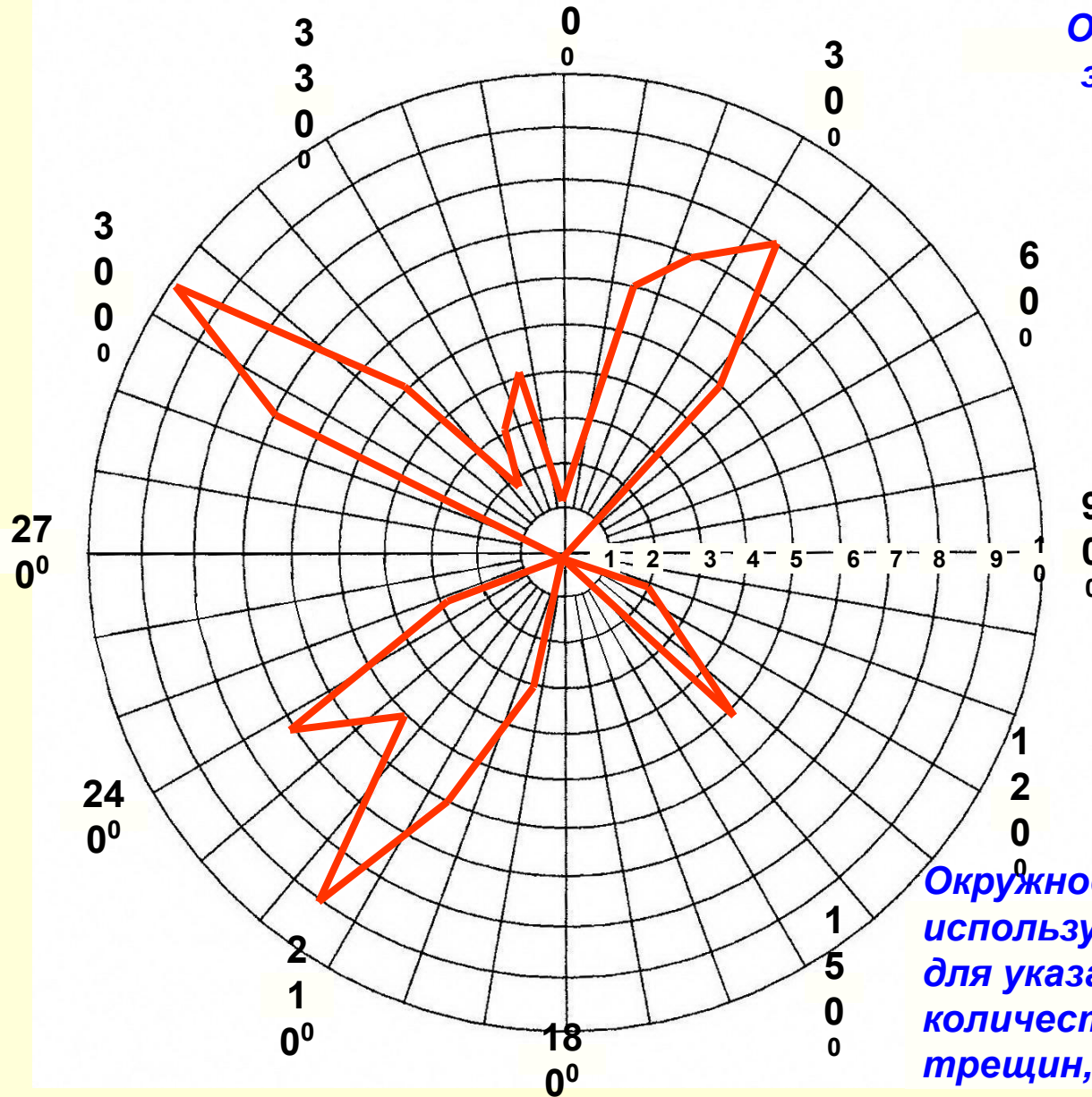
Количество трещин может быть выражено в %

Роза-диаграмма распределения трещин по азимутам простираения

Общее число замеров
100



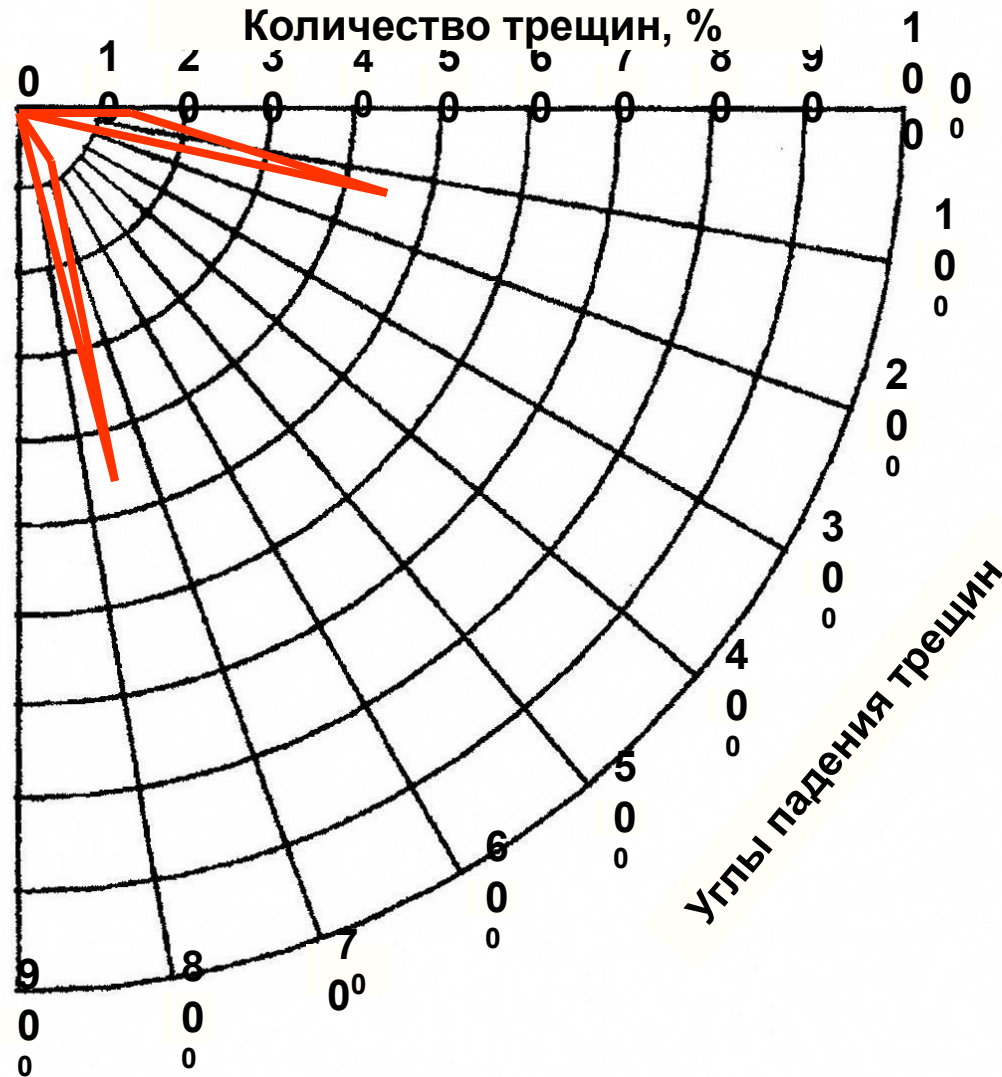
Роза-диаграмма распределения трещин по азимутам падения



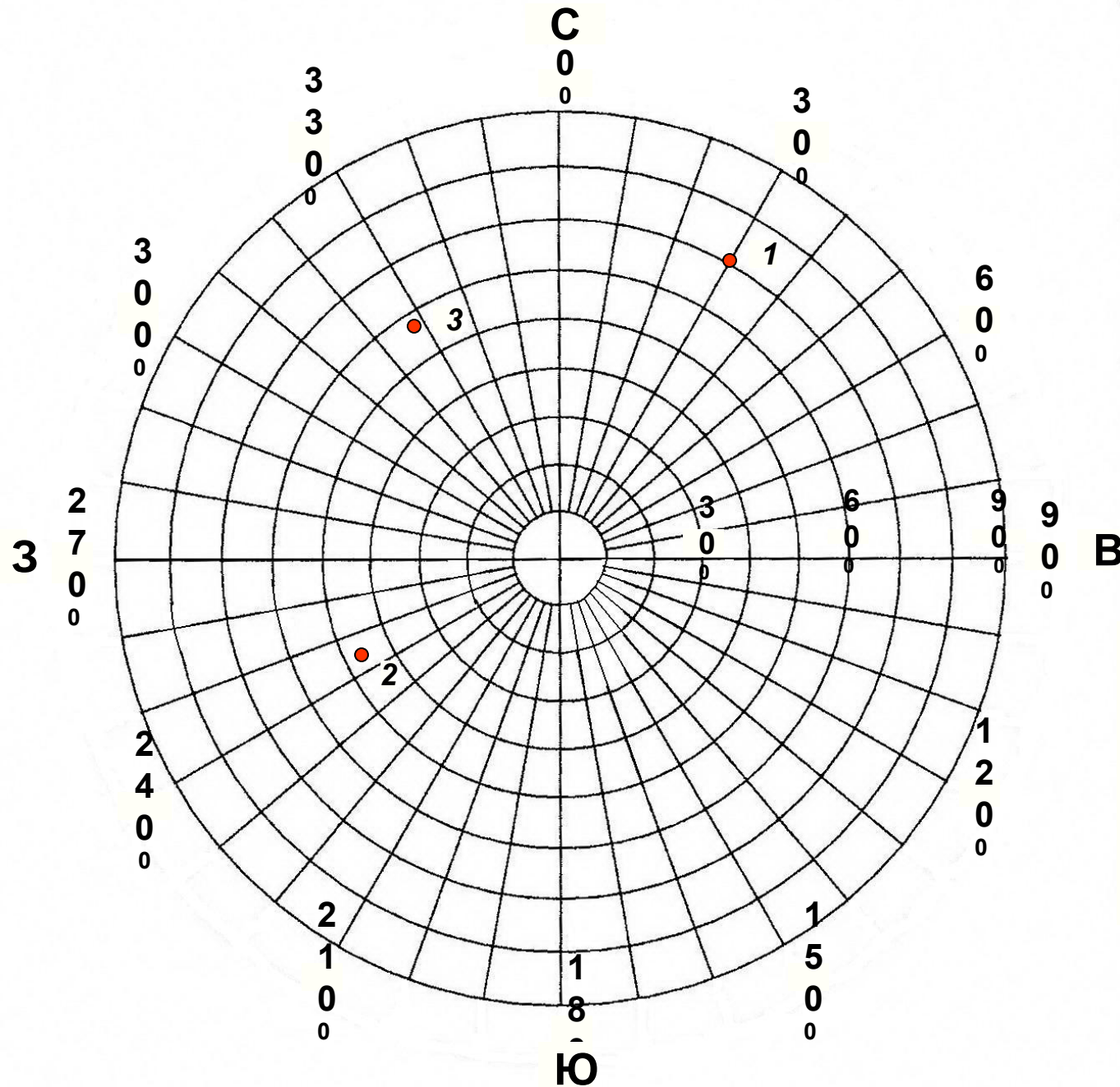
Общее число замеров 100

Окружности используются для указания количества трещин, попавших в сектор равный 10°

Роза-диаграмма распределения трещин по углам падения

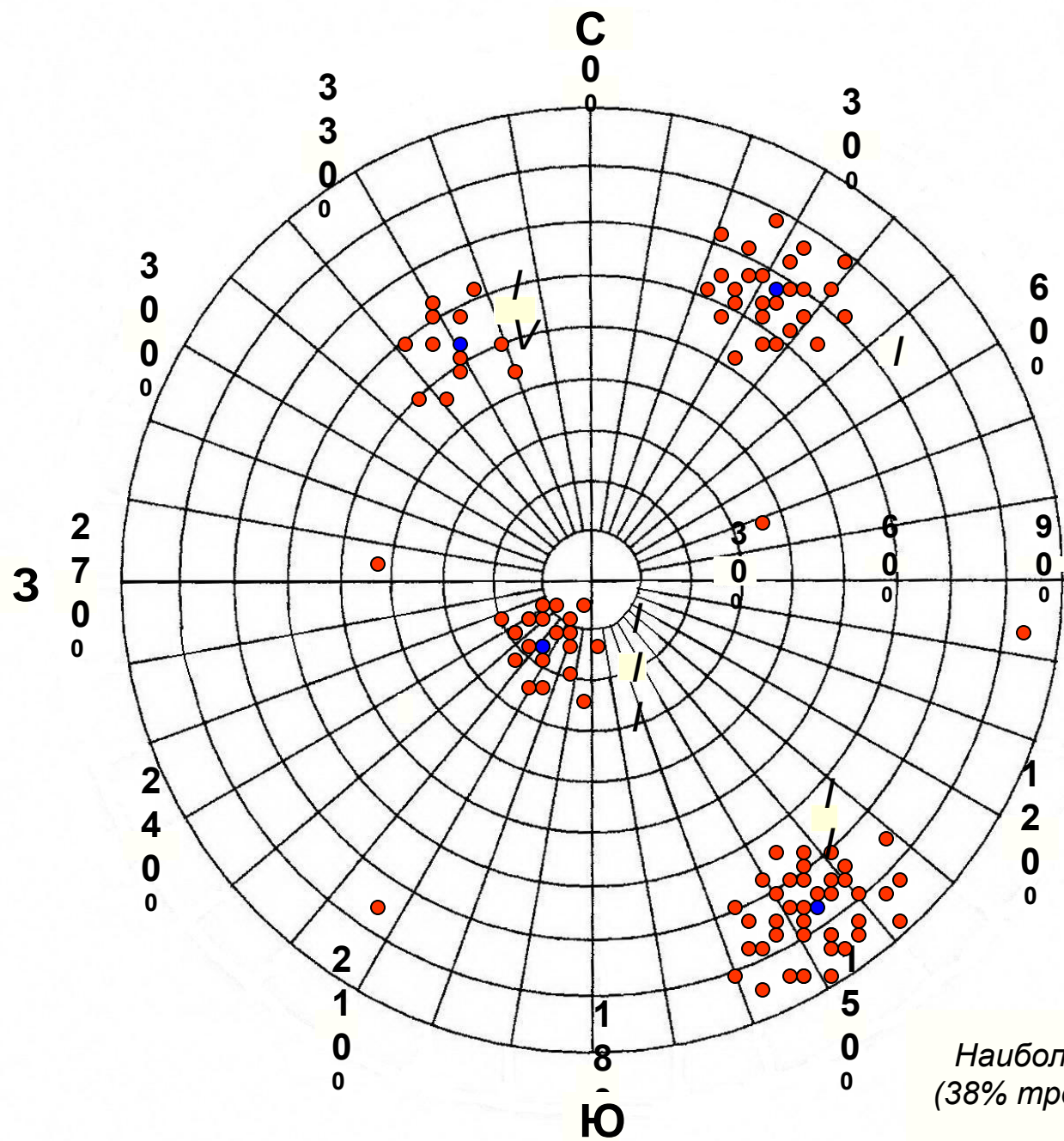


Изображение элементов залегания трещин на круговой диаграмме



1. *Аз. пад. СВ 30* \perp 71
2. *Аз.пад. ЮЗ 244* \perp 46
3. *Аз. пад. СЗ* \perp 57

Круговая диаграмма трещиноватости



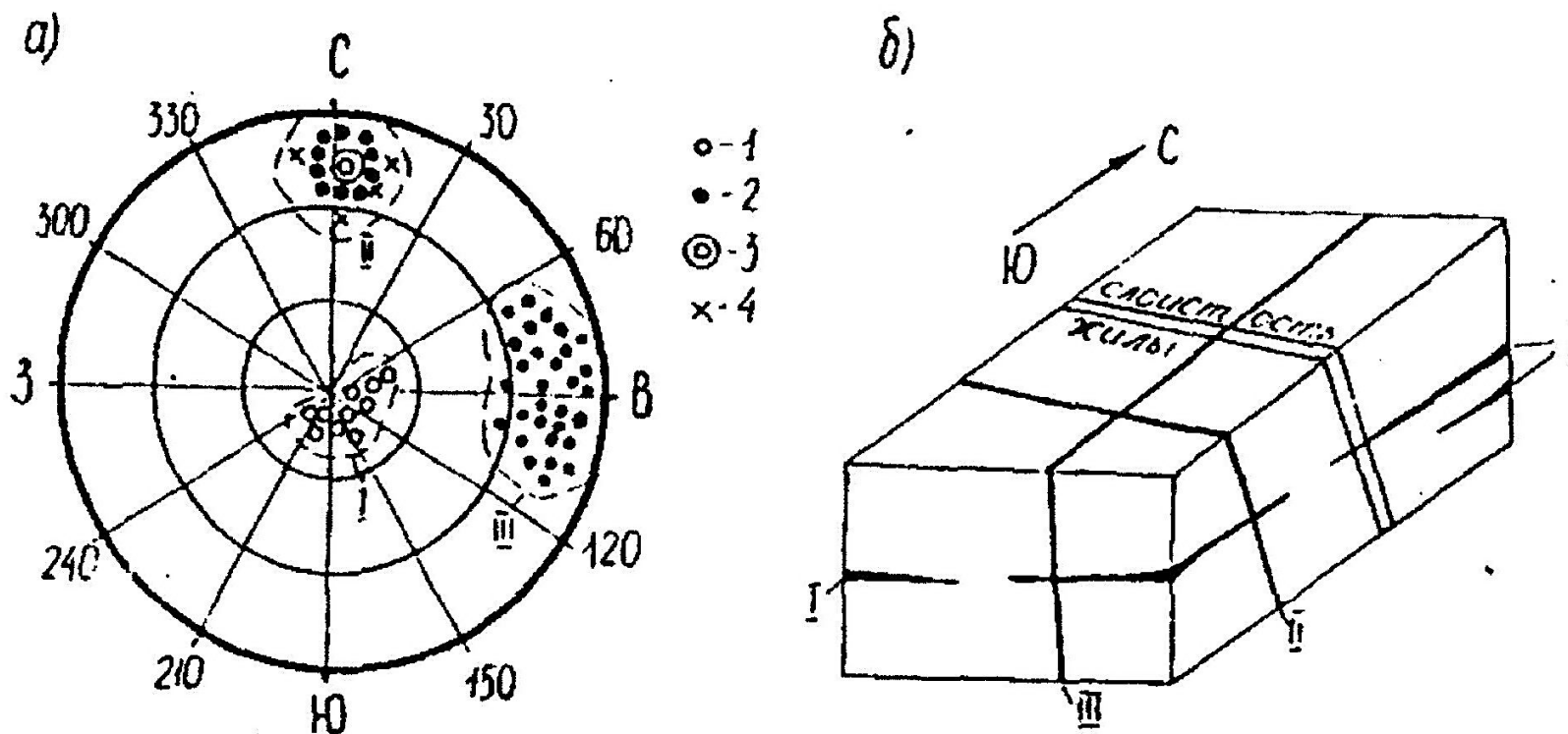
- Элементы залегания трещин
- Центры систем трещин

Элементы залегания систем трещин:

- I. Аз.пад. СВ 32 \perp 67
- II. Аз.пад. ЮВ 146 \perp 77
- III. Аз. пад. ЮЗ 216 \perp 17
- IV. Аз. пад. СЗ 331 \perp 53

Наиболее интенсивно развита II система (38% трещин от общего количества), далее I – 26 %, III – 20 %, IV – 12 %

Пример интерпретации круговой точечной диаграммы трещиноватости



а – диаграмма трещиноватости: 1 – трещины отрыва; 2 – трещины скалывания; 3 – слоистость; 4 – магнетитовые жилы; I, II, III – системы трещин; б – блок-диаграмма, на которой показана пространственная ориентировка I, II, III систем трещин, выделенные на диаграмме трещиноватости (а)