

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Сибирский государственный индустриальный университет»

Кафедра геологии и геодезии

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД. ОСНОВЫ ТЕОРИИ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ

Методические рекомендации по дисциплине «Геология» для
студентов горных и строительных специальностей

Новокузнецк
2008

УДК 551.252 (075)
Т 66

Рецензент
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
разработки пластовых месторождений СибГИУ
В.Н.Фрянов

Т 66 Трещиноватость горных пород. Основы теории и методы изучения: /метод. реком./ Сост.: О.Г.Епифанцев, Н.С.Плетенчук; СибГИУ. – Новокузнецк, 2008. – 41с.

Рассмотрено значение трещиноватости в горном деле и геологии, изложены данные о происхождении и классификации трещин. Дана методика статистической обработки результатов замеров трещиноватости. Показана последовательность выполнения работы, пример анализа и описания полученной диаграммы.

Предназначены для студентов горных и строительных специальностей.

Введение

Развитие горно-промышленного комплекса невозможно без всестороннего изучения и учета геологических условий при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых, при оценке участков подземного строительства, при ведении буровзрывных работ и т.д.

Среди геологических условий одно из наиболее важных мест занимает трещиноватость горных пород.

Изучение трещиноватости горных пород не предусмотрено учебной программой в качестве самостоятельной лабораторной работы. Полученные теоретические знания по трещиноватости горных пород студенты горных специальностей закрепляют при прохождении учебной геологической практики, где одним из заданий является изучение и характеристика трещиноватости конкретного обнажения. В теоретических положениях работы изложены данные, касающиеся происхождения, классификации и значения трещин в горном деле и геологии.

1 Теоретические положения

1.1 Значение трещиноватости в горном деле и геологии

Ориентировка, частота, тип и вид трещин оказывают существенное влияние на важнейшие физико-механические свойства пород, определяющих устойчивость горных выработок, условия их обводнения (гидрогеологический режим рудничных вод), разрабатываемость месторождения. Поэтому трещиноватость является одним из главных показателей пород, определяющих организацию горно-технического производства. Детальное изучение трещиноватости способствует повышению безопасности и производительности труда. Трещиноватость может иметь положительное значение при разработке месторождений. В частности, она облегчает выемку углей из пластов. Рациональная ориентировка шпуров по отношению к трещинам при буровзрывных работах способствует повышению коэффициента использования шпуров (КИШ).

Однако, в большинстве случаев трещиноватость способствует развитию вредных для горного производства горно-геологических процессов и явлений (сдвигание пород, горные удары, обвалы и т.п.). В качестве примера рассматривается случай влияния трещиноватости на характер проявления вывалов горных пород в призабойном пространстве. Вывал – это локальное обрушение глыб пород в горную выработку преимущественно из кровли выработки. По взаимоотношению кровли выработки и систем трещин вывалы подразделяются на безупорные, упорные и полуупорные (рисунок 1). Вывалы упорного типа менее опасны, т.к. кровля выработки в этом случае более устойчива.

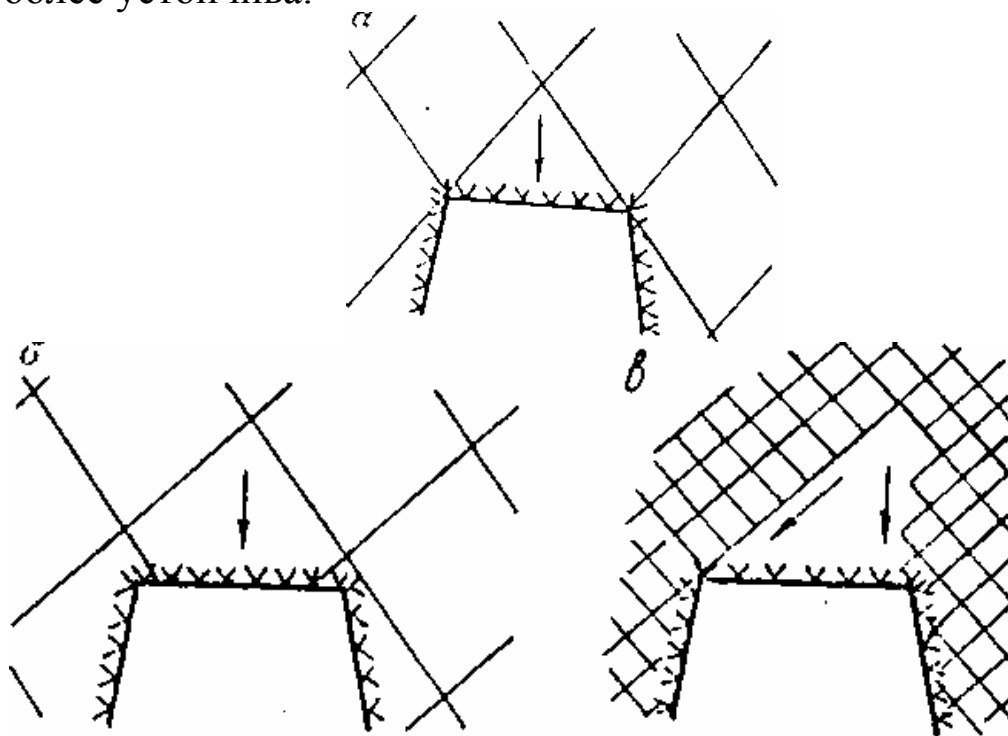


Рисунок 1 – Схемы образования вывалов безупорного (а), упорного (б) и полуупорного (в) типов в подземных выработках. (Линии на рисунке – трещины)

В процессе формирования месторождений полезных ископаемых значение трещиноватости состоит в том, что она определяет пространственную ориентировку и форму рудных столбов, рудных тел, влияет на особенности их внутреннего строения – распределение полезного компонента по рудному телу, распределение технологических и минералогических типов руд и др. Трещины служат путями миграции рудоносных растворов и вмещают рудную минерализацию, формируя месторождения полезных ископаемых жильного типа.

Трещины служат путями миграции и являются коллекторами подземных вод, газа, нефти – более половины мировой добычи нефти производят из коллекторов нефти трещинного типа. Трещины используются для выявления и изучения складок, разломов, восстановления древних и современных полей тектонических напряжений.

1.2 Основные понятия

Трещина – это разрыв сплошности горных пород, перемещение по которому либо отсутствует, либо имеет незначительную величину. Форма трещин отличается от формы других полостей в породах (пор, каверн и др.) резким преобладанием протяженности во всех направлениях стенок трещин над расстоянием между стенками. Трещины образуются при действии на породу сил, превышающих предел прочности породы. Эти силы возникают в результате различных эндогенных, экзогенных геологических и антропогенных процессов и могут быть как внешними для породы (тектонические, гравитационные и др. силы), так и внутренними, возникающими при изменении температуры, влажности, плотности породы.

Трещиноватость или **сеть трещин** – это совокупность всех трещин, совместно развитых в конкретном объеме горной породы.

Система трещин – это совокупность трещин, совместно развитых в конкретном объеме породы и имеющих близкую пространственную ориентировку. Как правило, одновременно бывает развито несколько систем трещин. Но встречаются массивы горных пород с одной системой трещин (рисунок 2) или бессистемной (хаотичной) трещиноватостью.

Отдельность – это характерная форма блоков (глыб, кусков) горной породы, образующаяся при раскалывании породы. Размеры блоков различны – от нескольких сантиметров до сотен метров в поперечнике. Отдельность обусловлена наличием пересекающихся систем трещин. Поэтому вид отдельности и размеры блоков пород определяются ориентировкой, интенсивностью и частотой систем трещин (рисунок 3). В осадочных породах и, в частности, в угленосных толщах распространены кубическая, параллелепипедальная, плитчатая, призматическая, сферическая, чешуйчатая отдельности.

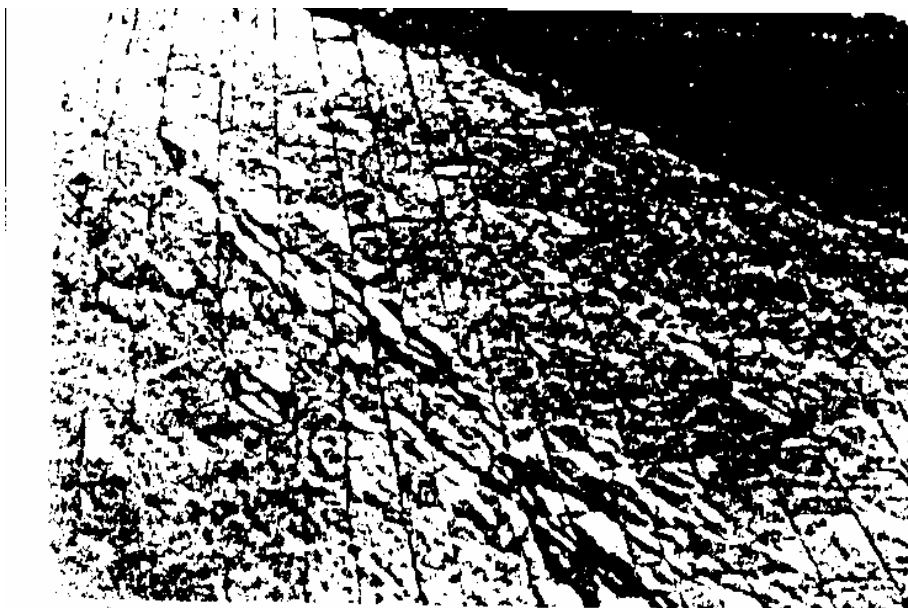


Рисунок 2 – Трещиноватость горных пород в обнажении

a



Рисунок 3 – Матрацевидная (а), плитчатая (б), шаровая (в)
отдельность (начало рисунка)

б



в

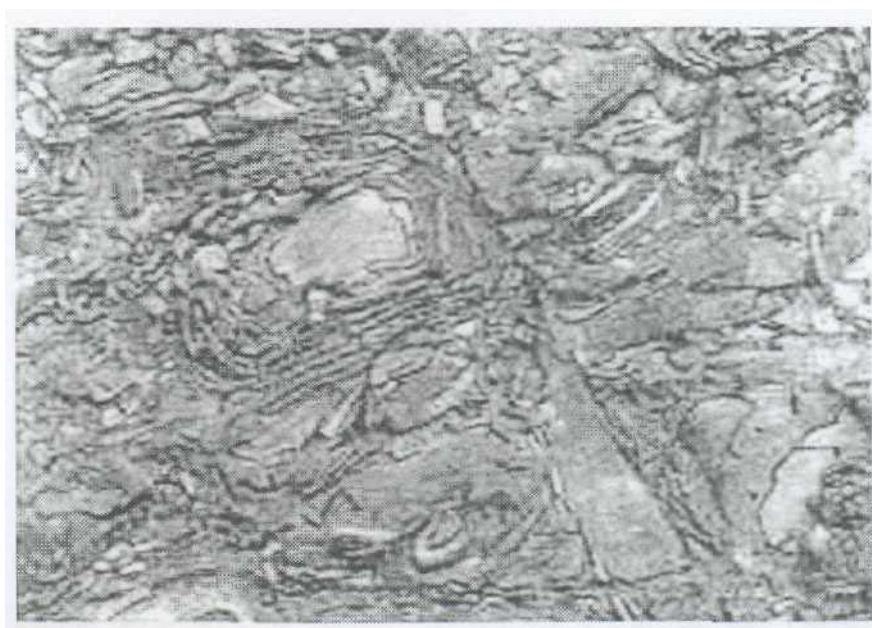


Рисунок 3 - Матрацевидная (а), плитчатая (б), шаровая (в) отдельность (продолжение рисунка)

Зона трещиноватости — это линейно вытянутый участок земной коры, в пределах которого трещины развиты более

интенсивно, чем в окружающих породах. Образуются обычно на небольшой глубине.

Зона дробления (брекчирования) – это линейно вытянутый участок земной коры (независимо от размеров), в пределах которого горные породы разбиты трещинами на небольшие блоки, смещенные и повернутые относительно первоначального залегания. Образуются в условиях небольших глубин.

Кливаж – способность породы раскалываться на отдельные элементы размером до 1 см в поперечнике по густо развитой системе параллельных поверхностей, секущих слоистость или согласных с ней. Кливаж возникает за счет ориентировки минералов или образуется независимо от такой ориентировки по сети параллельных трещин.

1.2.1 Типы трещин в горных породах

Существуют различные классификации трещин: геометрические, генетические и специальные. Все они характеризуют трещины с различных точек зрения и потому не исключают, а дополняют друг друга:

а) **По степени открытости и проявленности** различают **скрытые** (микротрещины, не видимые невооруженным глазом и обнаруживающиеся лишь при раскалывании породы, которая ломается по этим трещинам), **закрытые** (хорошо заметные, но с плотно прижатыми стенками) и **открытые** (обладающие некоторой полостью) трещины.

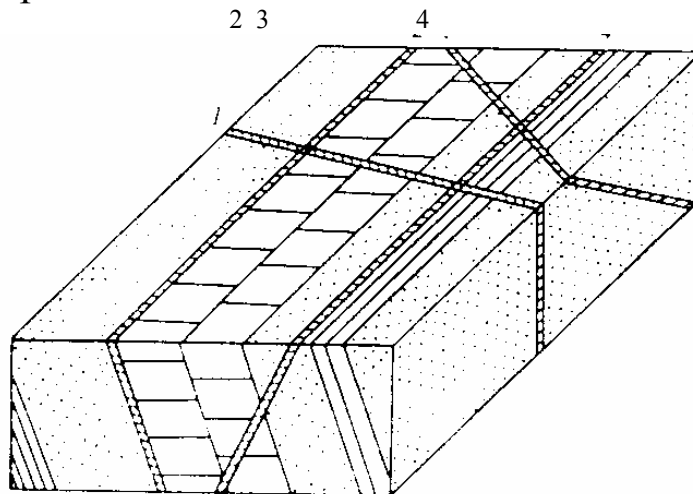
б) **По размерам** выделяют **малые** или внутрипластовые трещины, когда они не выходят за пределы одного пласта, и **большие** трещины, секущие несколько пластов; абсолютная длина большинства трещин – метры и десятки метров, но она может колебаться от миллиметров до сотен метров.

в) **По форме** выделяют **прямые, дуговидные, кольцевые, изломанные** трещины с гладкими или неровными краями.

г) **Угол падения** трещин может изменяться от 0° до 90° . По углу падения выделяют **горизонтальные** ($0-5^\circ$), **пологие** ($5-20^\circ$), **слабонаклонные** ($20-45^\circ$), **крутые** ($45-80^\circ$), **вертикальные** ($80-90^\circ$).

д) **По отношению к залеганию слоев** трещины могут быть **продольными** (параллельные простиранию породы), **поперечные**

(рассекающие породу в направлении падения), **косые** (рассекающие породу в любом промежуточном направлении), **согласные** (следующие параллельно слоистости и сланцеватости) (рисунок 4). На округлых складках могут быть выделены **радиальные** и **концентрические** трещины.



1 – поперечная; 2 – согласная; 3 – косая; 4 – продольная

Рисунок 4 – Трещины в осадочных породах

е) По отношению к оруденению выделяют **дорудные**, **внутрирудные** и **послерудные** трещины.

ж) По характеру действия сил, приведших к возникновению тектонических трещин, **все** трещины горных пород, независимо от источника сил, делятся на трещины **отрыва** и трещины **скалывания**.

1.2.1.1 Трещины отрыва (раскола) образуются в плоскости, параллельной сжимающим силам и перпендикулярной растягивающим силам, когда величина последних превышает предел прочности породы на отрыв (рисунок 5). В момент образования эти трещины открыты. Вдоль стенок трещин отрыва наблюдаются только небольшие смещения, т.к. перемещение в породе направлено перпендикулярно к стенкам трещины (рисунок 6).

Размеры трещин отрыва колеблются в широких пределах – от микроскопических (не видимых глазом) до нескольких десятков и сотен метров в длину, при ширине открытия от мм до м.

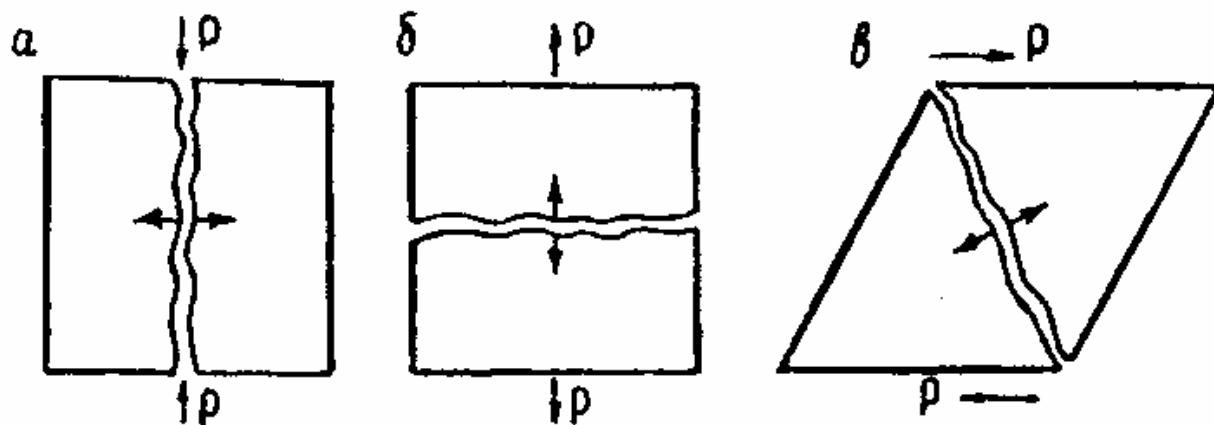
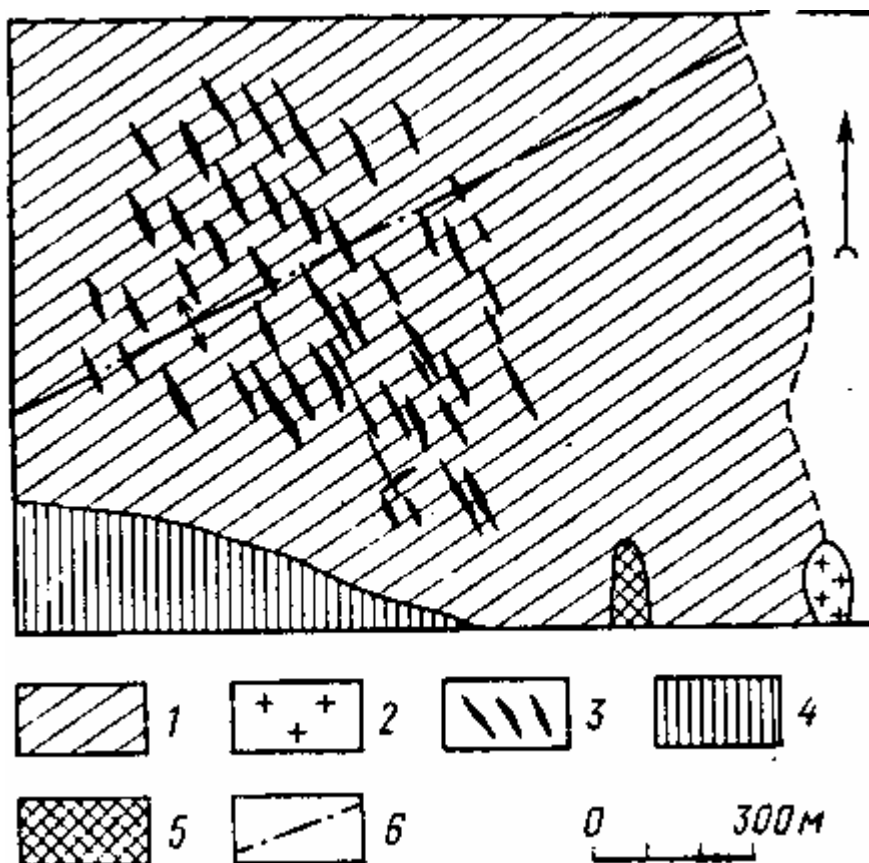


Рисунок 5 – Трещины отрыва, образующиеся при сжатии (а), растяжении (б) и сдвиге (в). P – внешние силы; короткие стрелки – смещение блоков породы относительно трещин отрыва



Рисунок 6 – Кулисообразный ряд трещин отрыва в природе

К трещинам отрыва часто приурочены дайки магматических пород, рудные и нерудные жилы (рисунок 7). Они могут быть коллекторами нефти и газа, подземных вод. Открытые трещины отрыва часто водоносны и нередко они обуславливают большой приток подземных вод к горным выработкам, а также большие потери воды на фильтрацию из каналов, водохранилищ, из-под тела плотин.



1 – углистые сланцы; 2 – граниты; 3 – кварц-касситеритовые жилы;
4 – метаморфические сланцы; 5 – гранит-аплиты; 6 – простирание
оси антиклинали

Рисунок 7 – Схема строения оловянного месторождения, приуроченного к системе трещин отрыва, ориентированных вкрест простирания складчатости

ным выработкам, а также большие потери воды на фильтрацию из каналов, водохранилищ, из-под тела плотин.

Морфологические признаки трещин отрыва. Трещины отрыва легко отличаются от трещин скалывания по изогнутой, непрямолинейной форме. Стенки их неровные, шероховатые, рваные. Ориентировка трещин отрыва зависит от физико-механических свойств пород: эти трещины обычно огибают участки более твердых пород (например, гальку в конгломерате (рисунок 8), часто меняют ориентировку при переходе из одного вида породы в другой или совсем затухают. По простиранию и падению трещины отрыва быстро выклиниваются. Жилы, приуроченные к трещинам отрыва, имеют неправильную форму с раздувами и пережимами.

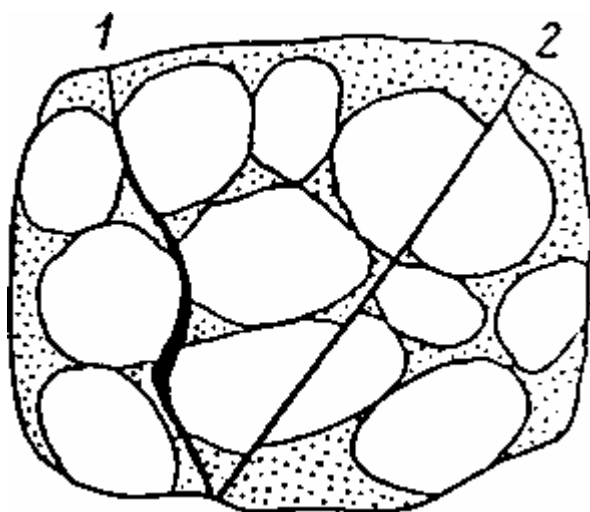


Рисунок 8 – Трещины отрыва (1) и скалывания (2) в конгломерате

1.2.1.2 Трещины скалывания возникают вдоль плоскостей, в которых действуют максимальные скалывающие напряжения, когда величина последних превышает предел прочности породы на сдвиг. Эти трещины теоретически располагаются под углом 45° к сжимающим и растягивающим силам, образуя сопряженные системы трещин скалывания (рисунок 9). В верхней части земной коры этот угол

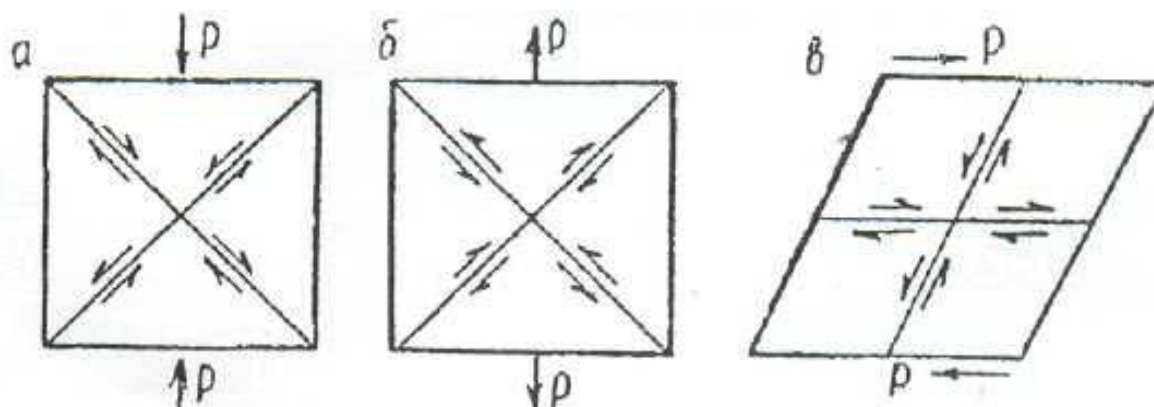
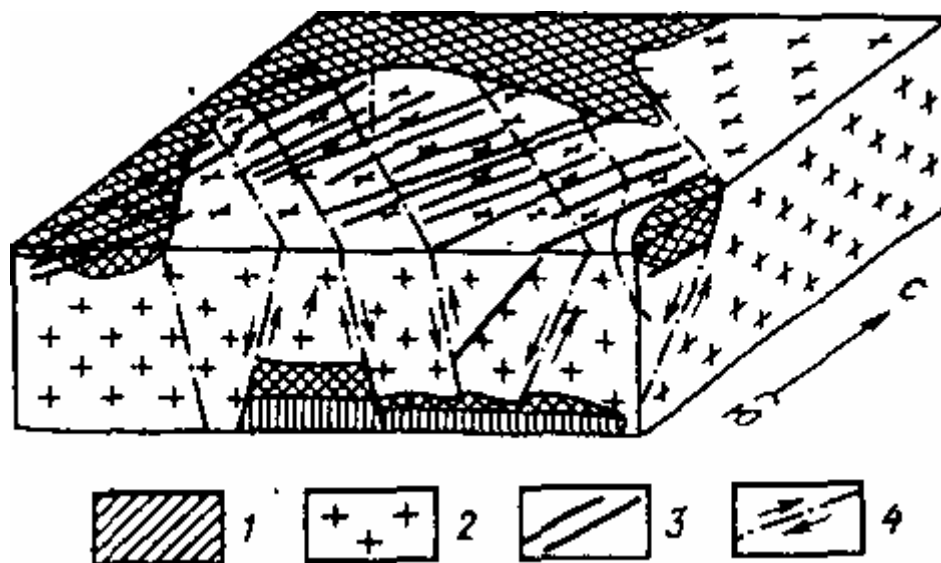


Рисунок 9 – Трещины скалывания, образующиеся при сжатии (а), растяжении (б) и сдвиге (в). Сравните с ориентировкой трещин отрыва на рисунке 5. Р – внешние силы: короткие стрелки – смещение блоков породы вдоль трещин скола

меньше 45° и колеблется в пределах $35 - 45^\circ$ к оси сжатия. Эта особенность используется для реконструкции направления сжимающих сил (ось сжатия располагается в остром углу между трещинами ска-

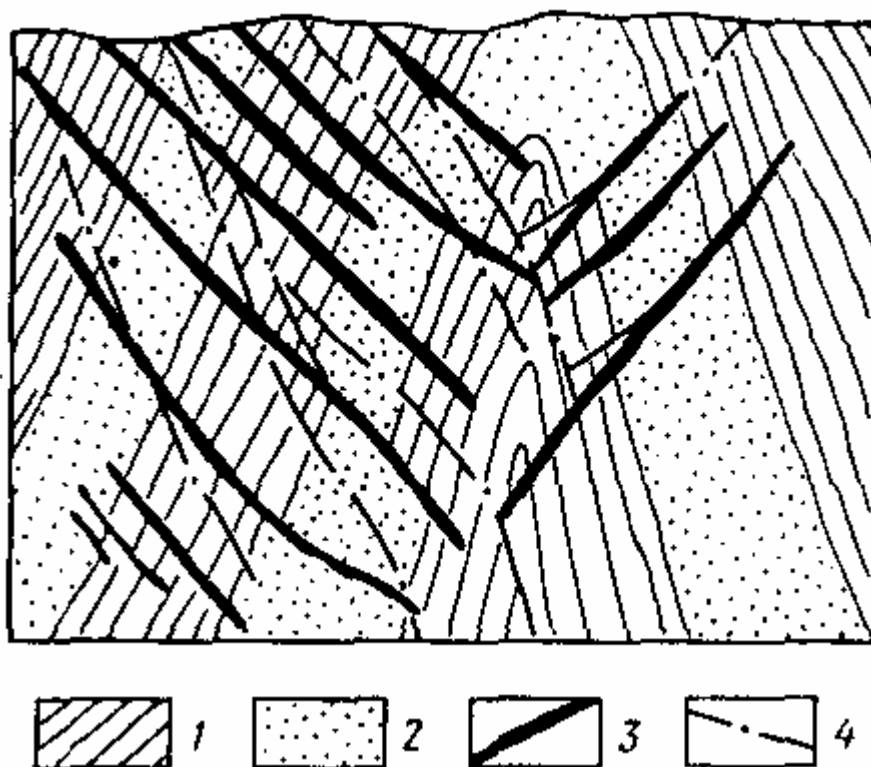
лывания). В момент образования трещины скалывания были закрытыми. Вдоль стенок трещин скалывания при их образовании происходит некоторое смещение блоков пород, о чем свидетельствуют следы перемещения на стенках трещин: глина трения (продукт тонкого перетирания породы), штрихи, борозды, ступени скольжения (они ориентированы в направлении скольжения), зеркала скольжения. В результате перемещения вдоль трещины может возникнуть тектоническая брекчия, могут смещаться геологические границы. Трещины скалывания часто имеют большую протяженность и обычно образуют системы трещин.

Трещины скалывания, как правило, не водоносны или слабо водоносны, водопроницаемость по ним небольшая. При разработке горных пород, вскрытии их подземными и глубокими открытыми выработками по трещинам скола могут возникать значительные деформации – отслаивание и смещение больших масс пород. В процессе рудообразования и магматизма сколовые трещины могут приоткрываться и вмещать рудные жилы и дайки магматических пород (рисунок 10, 11).



1 – юрские песчаники и сланцы; 2 – верхнеюрские граниты; 3 – кварц-вольфрамитовые жилы в трещинах скола; 4 – разрывные нарушения

Рисунок 10 - Рудные жилы в односистемных трещинах скола на месторождении вольфрамита



1 – сланцы; 2 – песчаники; 3 – кварцево-рудные жилы; 4 – трещины

Рисунок 11 - Кварцево-рудные жилы в двухсистемных трещинах скола

Морфологические признаки трещин скалывания. Типичные трещины скалывания, в отличие от трещин отрыва, прямолинейны, стенки их ровные, притертые, часто как бы отполированные. Их ориентировка не зависит от физико-механических свойств пород – они срезают зерна минералов, гравий, гальку (рисунок 8) и другие включения в породе. По трещинам скола фиксируются смещения соседних блоков пород. Если к таким трещинам приурочены жилы или дайки, то они имеют форму пластин более или менее постоянной мощности.

Необходимо иметь в виду, что механизм образования трещин отрыва и скалывания одинаков, как для микротрещин, так для крупных трещин и даже разломов. Источник сил для образования трещин отрыва и скалывания может быть самым различным; тектонические силы, метеоритный удар, удар молотком по породе и т.д.

1.3 Генетическая классификация трещин

По происхождению (генезису) все трещины земной коры подразделяются на два типа: **нетектонические** и **тектонические**.

1.3.1. Нетектонические трещины возникают в горных породах на поверхности Земли или вблизи нее под действием сил, связанных с экзогенными геологическими и антропогенными процессами или с изменением температуры, влажности, плотности пород.

Нетектонические трещины по своему происхождению подразделяются на несколько видов: 1) **контракционные трещины** – возникают в связи с уменьшением объема при остывании магматических пород; 2) **литогенетические (диагенетические) трещины** – формируются при диагенезе осадков; 3) **трещины выветривания** – образуются в результате разрушения пород при выветривании; 4) **трещины разгрузки** – возникают при увеличении объема пород при их гидратации или в результате упругой отдачи при вскрытии пород глубокими котлованами, подземными выработками или эрозионными процессами (в бортах рек, оврагов и др.); 5) **трещины оползней, обвалов, провалов и просадок** проявляются вследствие перераспределения напряжений в горных породах и нарушения их равновесия, ориентируются обычно параллельно контурам целиков; 6) **искусственные трещины** – возникают при взрывах, подработке горных пород подземными выработками и др.

Как правило, нетектонические трещины представлены трещинами отрыва – они имеют небольшую протяженность и характеризуются отсутствием устойчивых направлений, они не проникают на большую глубину (до первых метров), имеют извилистые очертания, неровные, шероховатые стенки. Среди нетектонических трещин наибольшим распространением пользуются **литогенетические (диагенетические) трещины** и **трещины термической концентрации**.

1.3.1.1 Литогенетические (диагенетические) трещины возникают в процессе литогенеза при превращении осадка в осадочную горную породу и по своей природе являются трещинами отрыва. Образование трещин обусловлено уменьшением объема осадка в связи с потерей воды и уплотнением осадка. Уменьшение объема вызывает проявление растягивающих усилий, в результате которых и

образуются трещины. Литогенетические трещины связаны с отдельными слоями и заканчиваются у поверхности наслоения. По отношению к слоистости эти трещины могут располагаться различно: перпендикулярно, косо, параллельно. Положение трещин зависит от состава осадочных пород (рисунок 12). В известняках трещины пер-

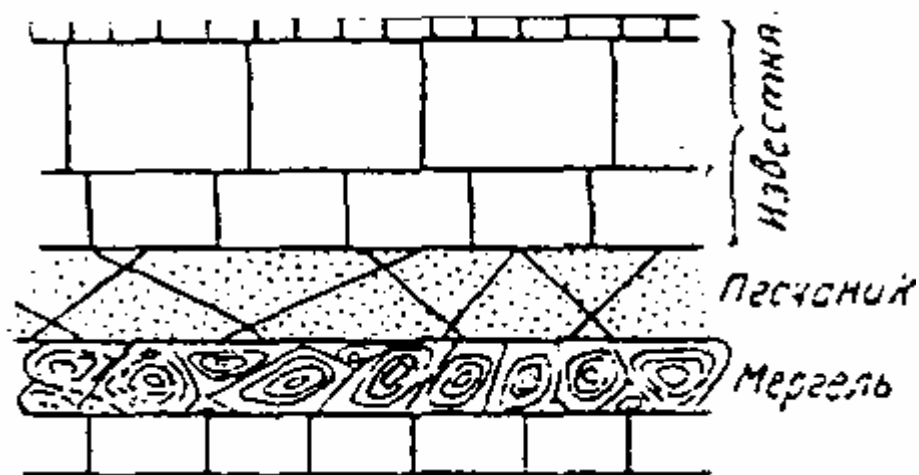


Рисунок 12 – Расположение литогенетических трещин в зависимости от состава осадочной породы

пендикулярны слоистости. В песчаниках наряду с перпендикулярными наблюдаются характерные наклонные к слоистости трещины. В мергелях и глинах наиболее характерны сложные скорлуповатые и оскольчатые отдельности. В угольных пластах и углевмещающих породах эти трещины обычно перпендикулярны напластованию. В пластах угля густота литогенетических трещин изменяется в зависимости от петрографического состава: в блестящих разностях углей эти трещины всегда гуще, чем в полублестящих и матовых.

Густота литогенетических трещин зависит также от мощности пласта. Мощные пласты имеют более редкую сеть трещин по сравнению с менее мощными пластами, сеть трещин в которых, при прочих равных условиях, бывает гуще. Среднее расстояние между литогенетическими трещинами внутри одного слоя равно примерно удвоенной мощности слоя.

1.3.1.2 Контракционные трещины возникают при остывании (охлаждении) интрузивных и эффузивных магматических пород. При охлаждении происходит уменьшение объема пород, что вызывает появление растягивающих усилий, в результате которых образуются трещины отрыва. Контракционные трещины обычно располагаются перпендикулярно и параллельно поверхности охлаждения магматических пород, разбивая их на блоки кубической, параллелепидальной, матрацевидной, столбчатой, шаровой отдельности (рисунок 3). Наиболее ярко контракционные трещины выражены в эффузивных и дайковых магматических породах.

1.3.2 Тектонические трещины

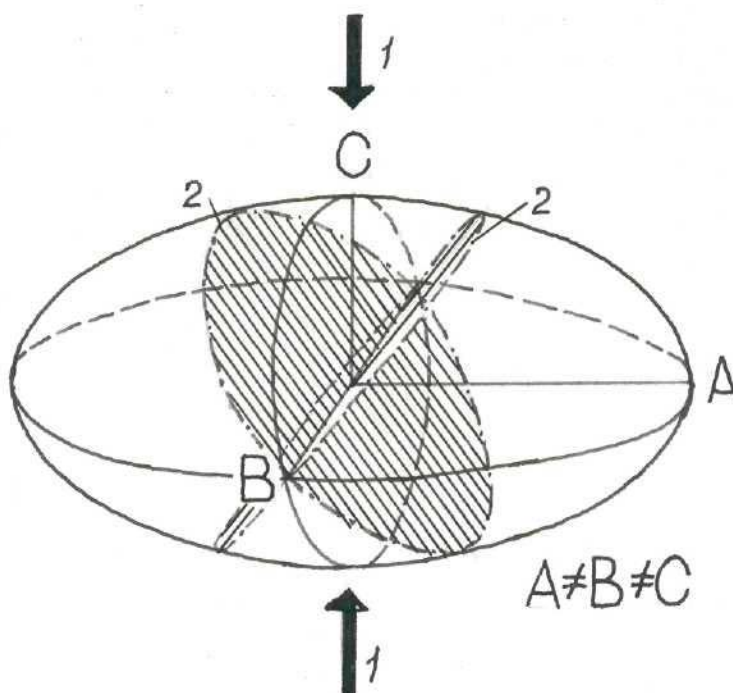
Тектонические трещины имеют наиболее широкое распространение в породах земной коры. Они возникают под действием напряжений, обусловленных **тектоническими движениями** земной коры. Появление тектонических трещин связано с образованием отдельных складок, разломов, а также с напряжениями, охватывающими огромные области земной коры (например, рудное поле, геосинклинальная область, континент), т.е. источник сил (напряжений) и масштаб тектонических трещин может быть весьма различен.

При действии тектонических сил (напряжений) любая порода испытывает три последовательных стадии деформации. **1. Стадия упругой деформации** – это обратимые деформации, т.е. при снятии нагрузки деформации исчезают и порода полностью восстанавливает первоначальную форму и объем. **2. Стадии пластической деформации** – порода необратимо меняет форму и объем, но без разрыва сплошности породы. Эта стадия проявляется, когда тектонические силы превышают предел упругости, но не выше предела прочности породы. В эту стадию образуются складки. **3. Стадия хрупкой или разрывной деформации** проявляется, когда тектонические силы превышают предел прочности породы и породы деформируются с потерей сплошности, с образованием тектонических трещин отрыва и скалывания. В зависимости от конкретных геологических условий различные стадии деформации могут получать различную степень развития. Например, в горизонтально залегающих пластах угля пластическая стадия деформации может совсем не проявляться или иметь крайне незначительное развитие.

Тектонические трещины во многом отличаются от нетектонических. Они характеризуются большей глубиной проникновения и протяженностью, имеют устойчивую ориентировку и образуют системы трещин, ориентируются по единому плану в разных по составу породах, обычно имеют закономерное сочетание систем трещин с тектоническими элементами – складками, разломами и др.

1.3.3 Механизм образования тектонических трещин

Все тела внутри земной коры находятся в объемно-напряженном состоянии. В качестве модели объемно-напряженного состояния принимается **эллипсоид деформации** – фигура, которая получается из шара в случае его деформации под действием сил (в общем случае – это трехосный эллипсоид) (рисунок 13). Оси эллипсоида деформации являются главными осями деформации, они совпадают с направлением главных нормальных напряжений. Для трехосного эллипсоида $A \neq B \neq C$.



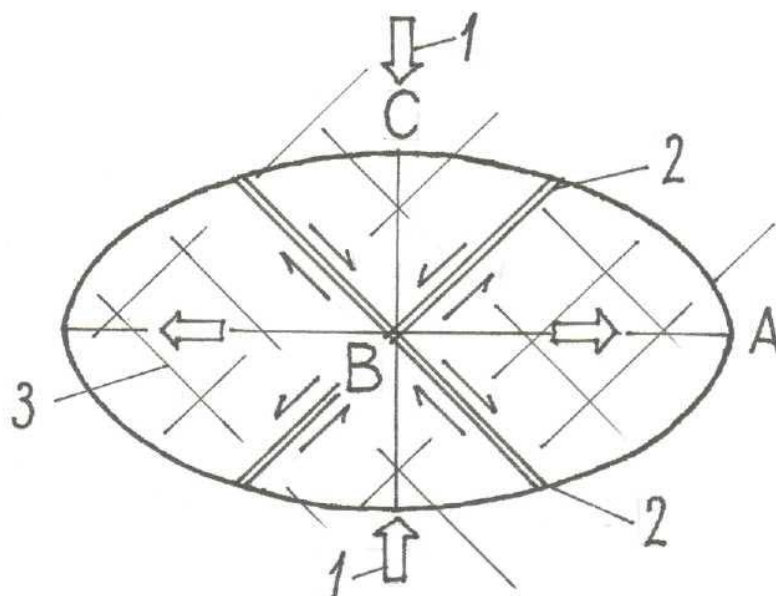
1 – максимальные сжимающие усилия; 2 – круговые сечения

Рисунок 13 - Трехосный эллипсоид деформации – модель объемно-напряженного состояния горных пород внутри земной коры

А – главная ось деформации совпадает с направлением минимального сжимающего усилия (или направлением растяжения). С – главная ось деформации совпадает с максимальным сжимающим усилием. В – главная ось деформации, занимающая промежуточное положение. У трехосного эллипсоида деформации имеются два круговых сечения. Они пересекаются по оси В.

Разрушение вещества с образованием трещин происходит одновременно по нескольким направлениям. Существуют три генетических группы трещин:

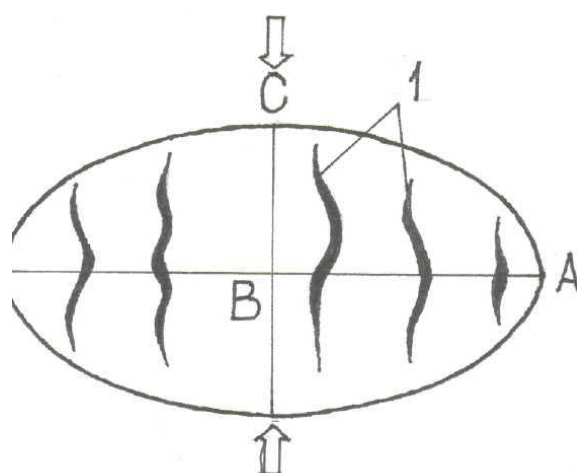
1. Трещины скалывания. Наибольшие скалывающие напряжения развиваются вдоль круговых сечений эллипсоида деформации. Пересечение двух сопряженных систем скалывания совпадает с ориентировкой оси В (рисунок 14). Трещины скалывания обычно прямолинейные, протяженные, плотно сжатые.



1 – направление максимального сжимающего усилия;
2 – круговые сечения эллипсоида деформации; 3 – трещины скалывания

Рисунок 14 - Трещины скалывания совпадают с круговыми сечениями эллипсоида деформации

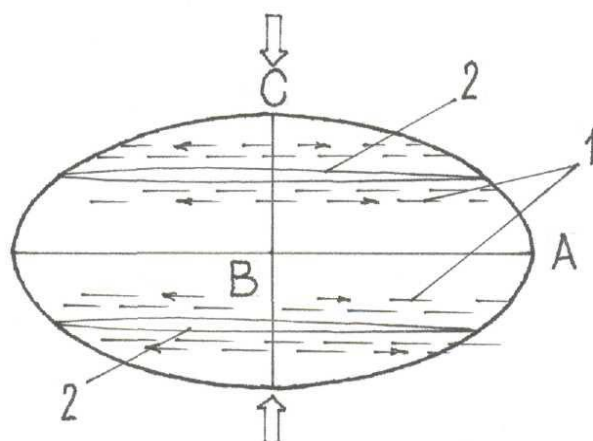
2. Трещины отрыва – образуются в плоскости ВС (рисунок 15). Это короткие, невыдержанные, часто зияющие трещины без следов перемещения.



1 – трещины отрыва

Рисунок 15 - Трещины отрыва, ориентированные параллельно плоскости ВС эллипсоида деформации

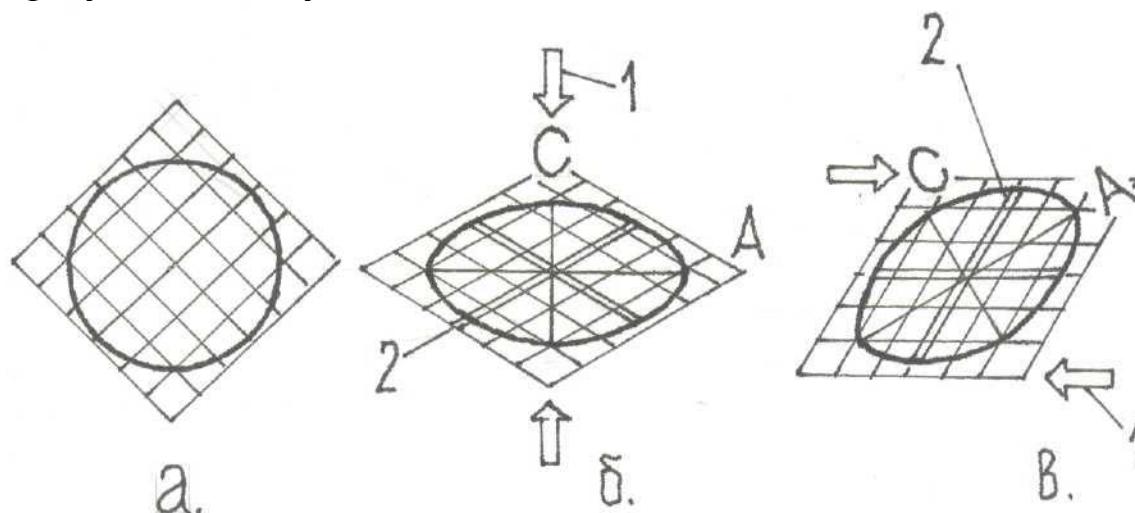
3. Трещины сплющивания – образуются вдоль плоскости АВ и связаны с пластическим течением вещества в твердом состоянии (в связи с его выжиманием (рисунок 16). Это прямолинейные, плотно сжатые, притертые трещины.



1 – под действием сверхвысоких давлений удлиненные зерна минералов стремятся принять субпараллельную ориентировку, перпендикулярную сжимающему усилию; 2 – трещины сплющивания

Рисунок 16 - Трещины сплющивания, ориентированные параллельно плоскости АВ эллипсоида деформации.

Для наглядности иллюстрации рассматриваемых положений можно использовать модели плоских (проволочных) сеток. На плоской сетке любым доступным способом показывается круг (шар необходимо достроить мысленно). Деформацию сетки можно осуществлять либо приложением одноосно направленных сил, либо парой сил, что отвечает условиям вращения (рисунок 17). При этом круг превращается в эллипс. Что должно происходить с шаром, легко домысливается. Круговые сечения совпадают с ориентировкой линий, образующих сетку.

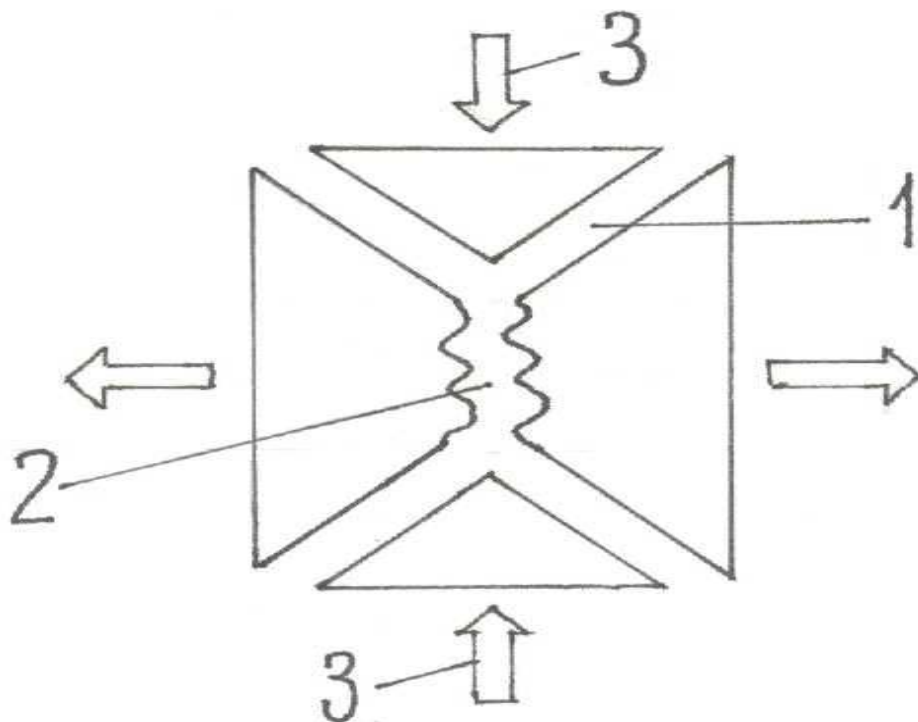


1 – направление сил; 2 – круговые сечения
а – исходное положение; б – при одноосном сжатии; в – при действии пары сил

Рисунок 17 - Получение эллипсоида деформации на моделях плоских сеток

Рассматриваемые теоретические положения согласуются с практическими испытаниями образцов горных пород на сжатие в лабораторных условиях. Образцы разрушаются по схеме, изображенной на рисунке 18. Получающиеся при этом поверхности разрушения идентифицируются как трещины скалывания и отрыва.

Естественно полагать, что разрушение вещества с образованием рассмотренных генетических систем трещин происходит по мере развития сжимающих сил, превышающих предел прочности вещества на сжатие.



1 – трещины скалывания; 2 – трещины отрыва; 3 – направление сжимающего усилия

Рисунок 18 - Примерная схема разрушения образцов горных пород на опытах при их раздавливании

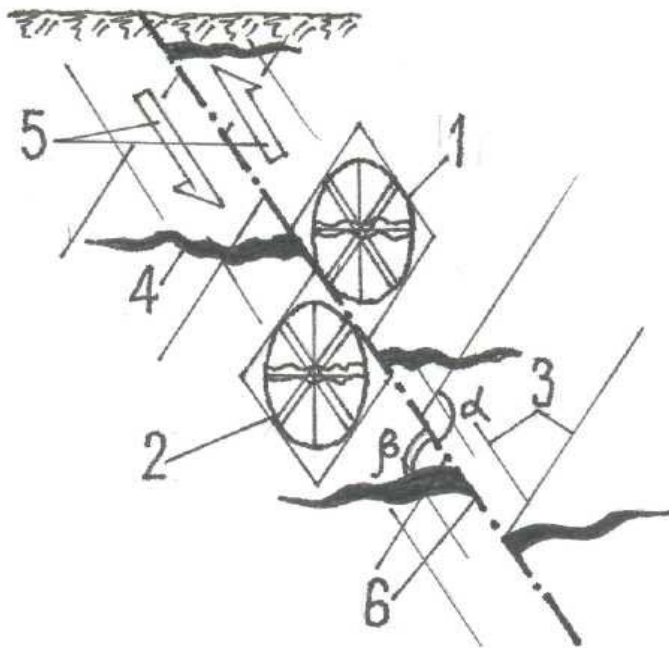
Если превышение происходит вдоль оси С, образуется две системы трещин скалывания и одна система трещин отрыва. В случае, если такое превышение возникло и в направлении оси В, образуется еще две системы трещин скалывания и еще одна система трещин отрыва. Наконец, в условиях реализации сверхвысоких сжимающих усилий (сжатие и в направлении оси А может превысить предел прочности вещества горной породы) образуются две новых системы трещин скалывания и одна – отрыва. Таким образом, одноактно, при одном плане деформаций может одновременно образоваться шесть систем трещин скалывания и три – трещин отрыва (всего девять систем).

Массив горных пород в процессе своего существования в течение длительного времени, порой в сотни миллионов лет, неоднократно подвергался разносторонним сжимающим усилиям. При смене плана деформаций заложенные ранее трещины могли подновляться, при этом мог измениться их генетический тип. Так, заложенная ранее

трещина скалывания при новом плане деформаций может занять положение, отвечающее ориентировке трещин отрыва. При этом она начинает выполнять функции отрыва, то есть раскрываться без существенных перемещений блоков. При этом закладываются и новые системы трещин. Практически в таких массивах насчитывают до 12 систем трещин.

Рассмотрим **соотношение разрывных и трещинных структур.**

Любое тектоническое нарушение бывает окружено «роем» тектонических трещин. С приближением к нарушению трещиноватость увеличивается. На рисунке 19 рассмотрен механизм формирования оперяющихся трещин в связи с взбросом. Острый угол (β) трещин отрыва направлен в сторону движения блока. Тупой угол (α) трещин скалывания обозначает тоже направление.

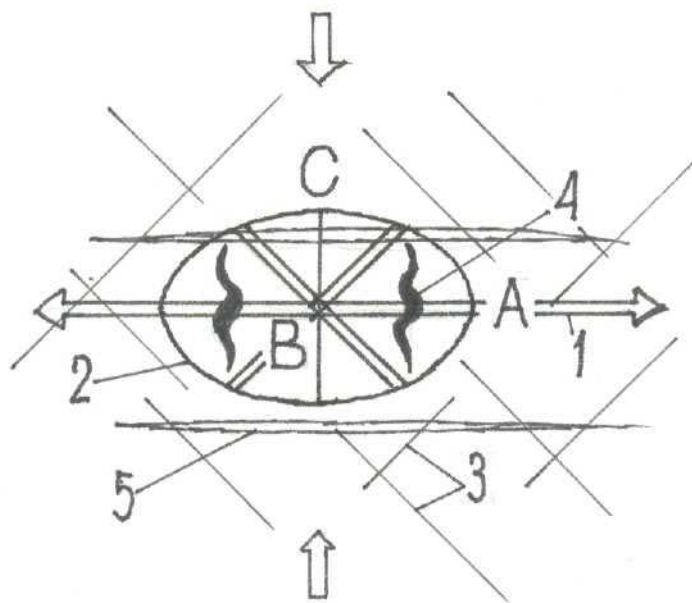


1 – ориентировка эллипсоида деформации; 2 – круговые сечения; 3 – трещины скалывания; 4 – трещины отрыва; 5 – направление действия сил при взбросе; 6 – взброс
 α – угол между плоскостью нарушения и трещинами скалывания, β – угол между нарушением и трещинами отрыва.

Рисунок 19 - Механизм образования оперяющих трещин в связи с взбросом (поперечный разрез)

Сопряжение складчатых и трещинных структур показано на рисунке 20.

В связи со складчатостью образуются продольные трещины сплющивания, поперечные трещины отрыва и диагональные трещины скалывания (по отношению к осевой плоскости складки).

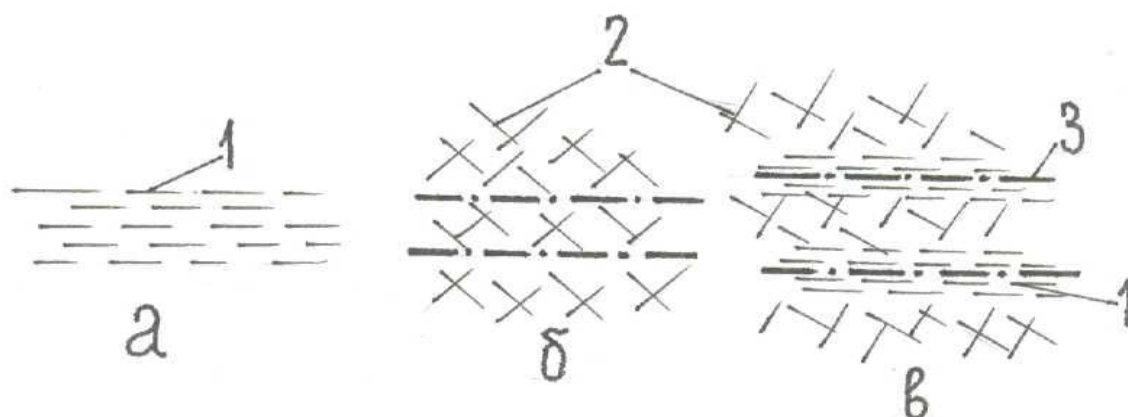


1 – ось антиклинальной складки; 2 – ориентировка эллипсоида деформации; 3 – трещины скалывания; 4 – трещины отрыва; 5 – трещины сплющивания; А, В, С – главные оси деформации

Рисунок 20 - Соотношение складчатых и трещинных структур (план)

Кливаж (мелкая трещиноватость в угленосных толщах). Для угольных месторождений характерен особый вид очень мелкой трещиноватости, которая разбивает породу на элементы размером в первые сантиметры в поперечнике (и менее). Кливаж связывается со складчатостью угленосных толщ. В слоистых породах угленосных толщ обычно содержится большое количество мелких трещин, очень ухудшающих свойства массива. Эти трещины связаны с «течением» пород в твердом состоянии вдоль параллельных плоскостей. При этом возникает параллельная ориентировка плоских и удлинённых минералов. Порода приобретает свойства мелкой делимости, даже сыплется. Существует три вида течения (рисунок 21): кливаж течения

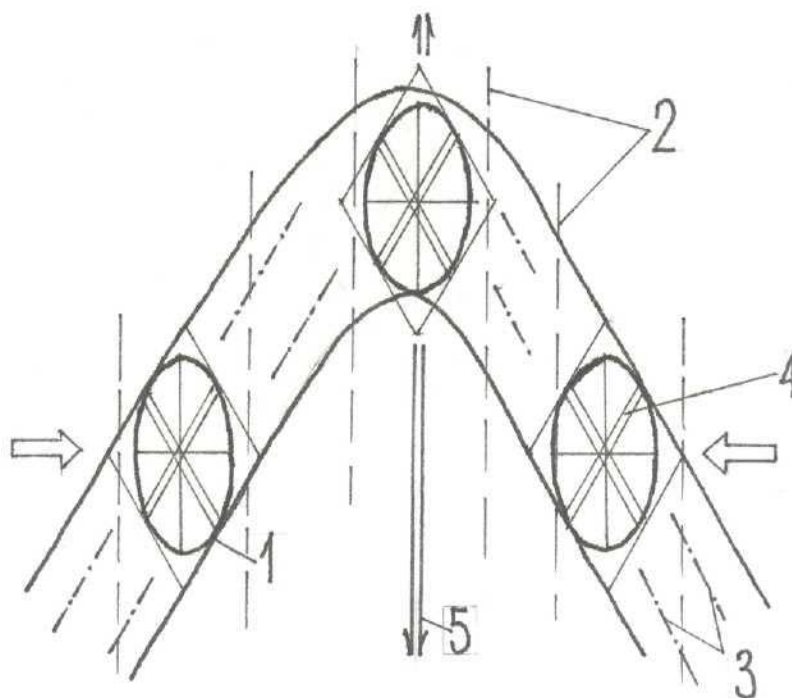
(все зерна минералов ориентируются параллельно), кливаж разлома (перемещение идет вдоль микротрещин, а зерна могут быть разупорядочены), кливаж скалывания (упорядоченность в ориентировке зерен наблюдается только вдоль микротрещин).



1 – параллельная ориентировка зерен минералов, 2 – разупорядоченная ориентировка зерен минералов, 3 – упорядоченная ориентировка зерен минералов
а – кливаж течения; б – кливаж разлома; в – кливаж скалывания

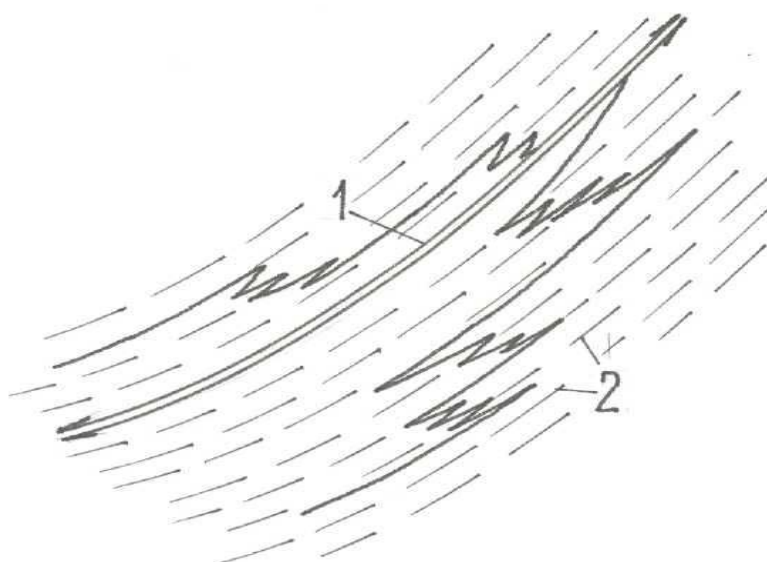
Рисунок 21 - Механизм образования мелкой трещиноватости (кливажа)

Обычно наиболее выражен так называемый **кливаж осевой плоскости**. Он ориентирован параллельно осевым плоскостям складок. Генетически он отвечает трещинам сплющивания и развивается в плоскости АВ главных осей деформации (рисунок 22, 23).



1 – ориентировка эллипсоида деформации; 2 – трещины сплющивания; 3 – трещины скалывания, совпадающие со слоистостью; 4 – круговые сечения; 5 – осевая плоскость складки

Рисунок 22 - Кливаж осевой плоскости (генетически отвечает трещинам сплющивания)



1 – осевая плоскость; 2 – трещины кливажа осевой плоскости

Рисунок 23 - Кливаж осевой плоскости в сложноскладчатой толще

2 Методы изучения трещиноватости

При изучении трещиноватости основное внимание уделяется следующим вопросам:

- 1) пространственная ориентировка трещин и системы трещин, установление главного или главных направлений развития трещин;
- 2) морфология трещин и их соотношение со слоями пород, складками, разломами с целью восстановления генетического типа и вида трещин и для выделения региональных и локальных трещин;
- 3) определение интенсивности трещиноватости пород с целью количественной оценки степени раздробленности пород, выделение участков, различающихся по интенсивности трещиноватости;
- 4) определение длины, ширины (раскрытия) трещин, сопротивление сдвигу по трещине;
- 5) оценка влияния трещин и систем трещин как поверхностей и зон ослабления на прочность, деформируемость и водопроницаемость пород, оценка их влияния на устойчивость местности и проектируемых сооружений;

Трещиноватость изучается разными методами: зарисовок и фотографирования, картирования и моделирования, геофизическими методами. Выбор пунктов наблюдений при изучении трещиноватости имеет большое значение. Они могут располагаться либо более или менее равномерно на всей площади, подлежащей изучению, либо наблюдения производятся лишь на участках, специально выбранных для этой цели. Располагаются они так, чтобы в результате можно было бы дать характеристику трещиноватости для различных структурных элементов – крыльев складок, их осевых частей и погружений, для пород различного состава или комплексов пород, для отдельных свит, толщ и т.д.

Количество выбранных участков зависит от сложности геологического строения – чем оно сложнее, тем большее количество участков необходимо подбирать. Размер площадки для изучения трещиноватости должен быть таким, чтобы на ней располагалось не менее 70 (желательно 100 – 200) трещин. До начала работ по изучению трещин необходимо на участке, где производятся измерения, выяснить элементы залегания пластов горных пород, сланцеватости, слоистости и других ориентированных текстур.

При определении ориентировки трещин в пространстве измеряют элементы залегания поверхности трещин точно так же, как измеряют элементы залегания пластов горных пород. Замеряются азимут простирания, азимут падения и угол падения. Измеряется длина трещин, расстояние между ними, степень раскрытия, генезис, минерализация трещин и их обводненность, возрастные и пространственные взаимоотношения и другие специальные параметры (дебит, температура, состав вод). Результаты всех измерений записываются в табличной форме.

3 Методы обработки и изображения результатов массовых замеров трещин

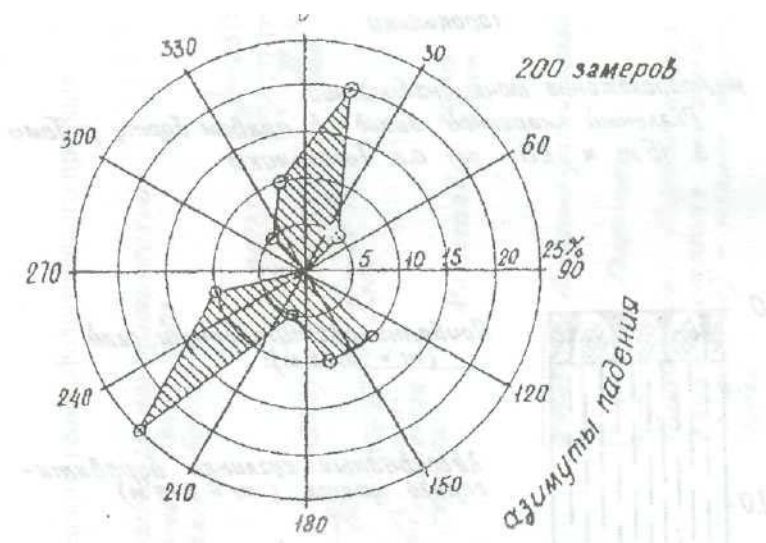
При изучении трещиноватости горных пород скапливается большое количество замеров, требующих дальнейшей отработки для выявления преобладающих параметров трещин. Основным методом обработки является статистический, выполняемый путем построения различных диаграмм трещиноватости – прямоугольных, роз-диаграмм, полярных, сферических и др. В основе построения таких диаграмм должно лежать предварительное разделение трещин по генезису, без чего полученные диаграммы дают искаженные представления, либо имеют вид «звездного неба», хотя в ряде случаев диаграммы помогают выяснить генезис трещин.

3.1 Методика построения розы-диаграммы трещиноватости

По этой методике строятся розы-диаграммы распределения трещин по азимутам падения и углам падения. Замеры этих параметров трещин группируются по любым выбранным интервалам, например, через 5, 10 или 30°. В одну группу относят трещины, азимуты или углы падения которых находятся в пределах того или иного интервала. Определяется количество трещин в каждом интервале (штук) и процент замеров, при этом общее количество замеров принимается за 100%. Для изображения азимутов падения розу-диаграмму строят на полной круговой сетке, для изображения углов падения бывает достаточно одного квадранта (рисунок 24).

На основании диаграмм делается заключение о количестве систем трещин, приводится характеристика каждой системы с указанием

а



б

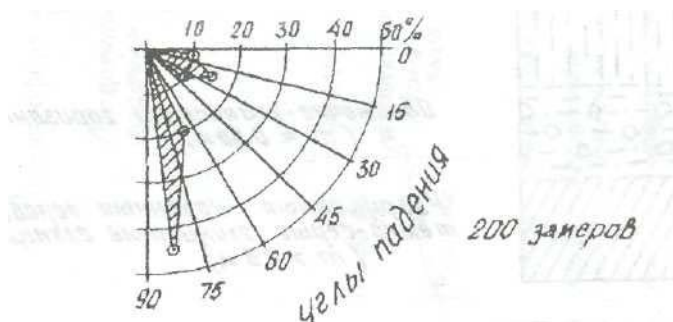


Рисунок 24 - Роза-диаграмма распределения трещин по азимутам падения (а), роза-диаграмма распределения трещин по углам падения (б)

генетического типа, описывается общая нарушенность массива горных пород и делаются выводы.

Существенным недостатком роз-диаграмм является невозможность изображения на одной диаграмме всех данных по замерам.

3.2 Методика построения и анализа точечных диаграмм трещиноватости на полярной азимутальной сетке

В точечных диаграммах элементы залегания (азимут падения и угол падения) трещины наносятся в виде точки на специально построенную сетку (рисунок 25). Для изготовления сетки круг произволь-

ного радиуса разбивается радиусами и окружностями. Внешняя окружность сетки градуируется по ходу часовой стрелки от 0° до 360° , по этой шкале откладываются азимуты падения плоскостей. Углы падения отсчитываются по концентрическим окружностям от центра к периферии (от 0° до 90°).

Каждая трещина на диаграмме изображается в виде точки, положение которой определяется азимутом падения и углом падения этой трещины. Поэтому каждая трещина имеет единственное положение на диаграмме. Точка на диаграмме – это нормаль (полюс) трещины, т.е. проекция линии, перпендикулярной к плоскости трещины. Например, на диаграмме (рисунок 25) показаны две трещины: первая имеет азимут падения 45° и угол падения 80° , второй азимут падения 90° , угол падения 30° .

На точечных диаграммах горизонтальная плоскость (трещина, жила и пр.) проектируется в виде точки, лежащей в центре диаграммы. Все наклонные плоскости проектируются в виде точек в средней части диаграммы между внешней окружностью и центром. При этом, чем круче трещины, тем ближе к внешней окружности располагаются их проекции и наоборот. Вертикальные плоскости проектируются на внешнюю окружность.

Каждая точка на диаграмме показывает ориентировку отдельной трещины. Число точек на диаграмме соответствует числу выполненных измерений трещин.

Концентрация точек в какой-либо части диаграммы позволяет выделить системы трещин. При этом по диаграмме можно оценить пределы изменения элементов залегания каждой системы трещин и получить среднее значение элементов залегания системы, оценить относительную интенсивность систем трещин.

Характер распределения полюсов трещин (точек) на диаграммах может быть различным. Он зависит от геологических условий возникновения трещин и является важным показателем при анализе трещиноватости. По характеру распределения полюсов на диаграмме различают три основных типа диаграмм: с поясовым (рисунок 26, а-г), дискретно-системным (рисунок 26, д-ж) и хаотично-бессистемным (рисунок 26, з) распределением полюсов трещин. При поясовом распределении большинство полюсов на диаграмме располагается вдоль какой-либо линии, не создавая заметных концентраций полюсов в поясе. При дискретно-системном распределении полюса

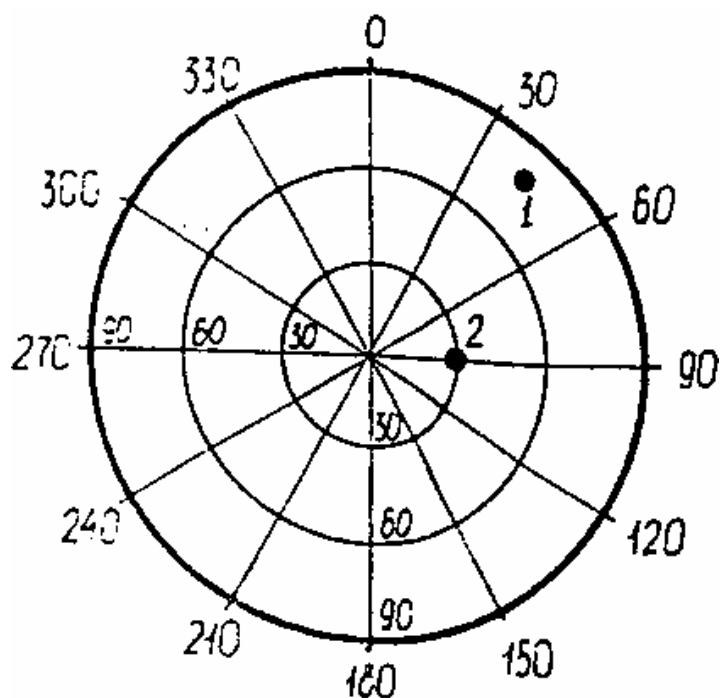


Рисунок 25 – Полярная азимутальная сетка для построения точечных круговых диаграмм (1, 2 – трещины на диаграмме; трещина 1 – азимут падения 45° , угол падения 80° ; трещина 2 – азимут падения 90° , угол падения 30°)

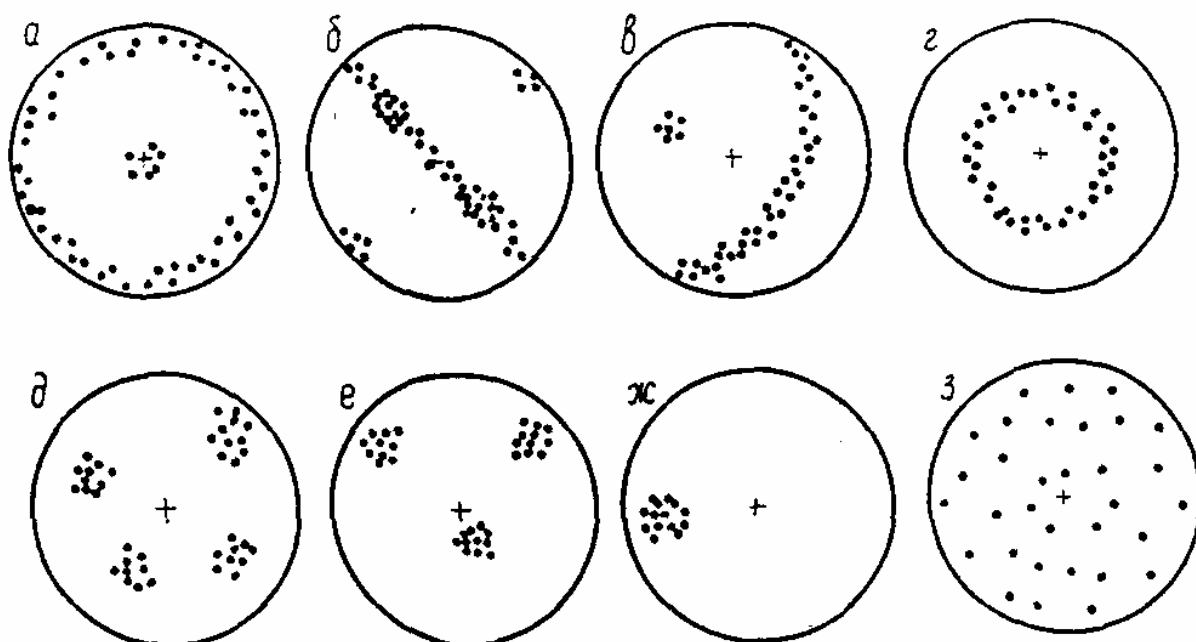
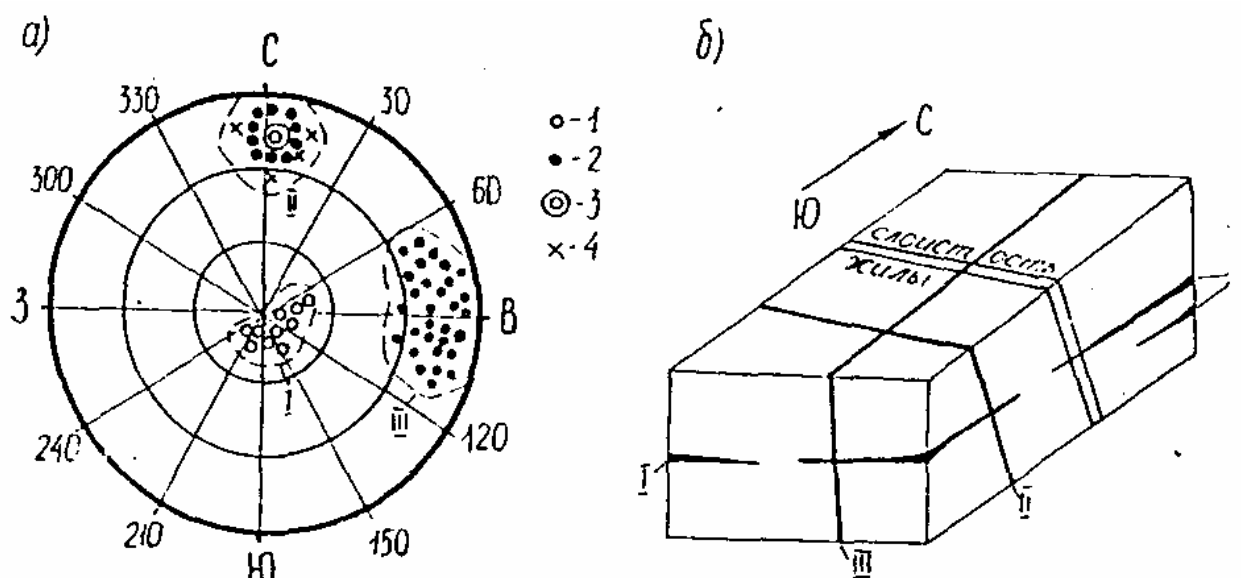


Рисунок 26 – Диаграммы трещиноватости с поясовым (а-г), дискретно-системным (д-ж) и хаотично-бессистемным (з) распределением полюсов трещин

трещин группируются в отдельные более или менее выраженные скопления (максимумы), которые соответствуют системам трещин. При хаотичном распределении полюса распределены на диаграмме равномерно. В соответствии с этим выделяют поясовую, системную и бессистемную трещиноватость. Нередко встречаются промежуточные типы диаграмм и трещиноватости.

На точечных диаграммах трещины различного типа рекомендуется показывать разным цветом или разной формой знака (точки, кружки, крестики и т.д.). Кроме замеров трещин на диаграмме разными знаками наносят полюса жил, даек, элементы залегания слоистости, полосчатости и пр.

Пример описания 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)

Рисунок 27 – Трещины в песчаниках рудного поля

1. В пределах рудного поля в песчаниках был проведен массовый замер трещин (50 шт.). Ориентировка трещин показана в виде точечной круговой диаграммы, построенной на полярной азимутальной сетке (рисунок 27, а).

2. Анализ диаграммы показывает, что полюса трещин имеют дискретно-системный характер распределения, группируясь в 3 максимума (скопления) полюсов, которые соответствуют трем системам трещин. Это свидетельствует о том, что в песчаниках развита дискретно-системная трещиноватость с тремя системами трещин.

3. **I система** трещин образует максимум полюсов трещин в центре диаграммы. Трещины этой системы имеют пологие ($5-15^\circ$) углы падения и переменные азимуты падения. Усредненные значения: азимут падения – 150° , угол падения – 15° .

II система трещин образует максимум полюсов в северной части диаграммы. Трещины этой системы имеют крутые ($60-85^\circ$) углы падения, азимуты падения меняются в пределах $335-15^\circ$. Усредненные значения: азимут падения – 5° , угол падения – 75° .

III система трещин образует максимум полюсов в восточной части диаграммы. Трещины этой системы имеют крутые ($60-90^\circ$) углы падения, азимут падения изменяется в пределах $45-105^\circ$. Усредненные значения: азимут падения – 90° , угол падения – 45° .

4. В целом для песчаников характерно резкое преобладание крутопадающих трещин (II и III системы).

5. Из диаграммы видно, что системы II и III образованы сколовыми трещинами, а система I – трещинами отрыва.

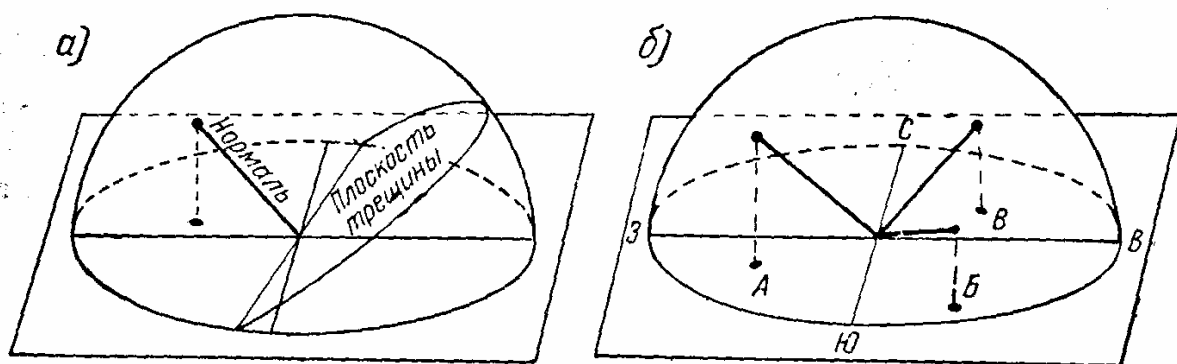
6. Рудная минерализация представлена жилами магнетита. На диаграмму (рисунок 27, а) вынесено несколько замеров жил в виде крестиков. Из диаграммы видно, что жилы и трещины системы II имеют одинаковую ориентировку, т.е. трещины системы II вмещают рудную жильную минерализацию.

7. На диаграмме двойным кружком показана ориентировка слоистости. Исходя из ориентировки слоистости и систем трещин, можно отметить, что вторая система трещин и рудные жилы развиваются согласно (параллельно) слоистости, а системы I и III ориентированы перпендикулярно слоистости и друг другу.

Для более наглядного представления о пространственной ориентировке и взаимоотношении систем трещин, слоистости и жил построена блок-диаграмма (рисунок 27, б).

3.3 Методика построения и анализа диаграмм трещиноватости на стереографической проекции

При условии развития преимущественно крутопадающих систем трещин статистическую обработку массовых замеров трещин удобнее осуществлять на стереографической проекции с использованием равноплощадной сетки. Равноплощадная сетка является стереографической проекцией на плоскость экватора (рисунок 28). При нанесении данных на равноплощадную сетку последняя рассматривается как проекция верхней полусферы (рисунок 28,а). На диаграмму трещин вместо самих плоскостей трещин, которые изображались бы на сетке в форме линий больших кругов, что было бы чрезвычайно громоздко, наносят только проекции точек пересечения с верхней полусферой нормалей к плоскостям трещин (рисунок 28,б). Таким образом, каждая трещина изобразится на диаграмме точкой (полюсом). Диаграмма составляется на листе кальки, который накладывается на сетку, служащую трафаретом. На кальке прочерчивается круг, соответствующий внешнему кругу сетки-трафарета, и на круге отчетливой чертой обозначается место нуля, которое одновременно является ориентировкой диаграммы, указывая направление севера. Бумажная калька в центре укрепляется небольшим кусочком лейкопластыря и накладывается на центр трафарета, что обеспечивает вращение кальки.



а - построение проекций трещин; б - примерные изображения ориентировок трещин на сетке равноплощадной проекции

Рисунок 28 - Схемы, поясняющие способ изображения пространственного положения трещины на сетке равноплощадной проекции

При нанесении точки, характеризующей элементы залегания трещины (азимут и угол падения), совмещаем место нуля кальки с цифрой на большом круге, соответствующей азимуту падения трещины, и ставим точку на верхней половине центрального меридиана сетки около цифры, соответствующей углу падения трещин (рисунок 29).

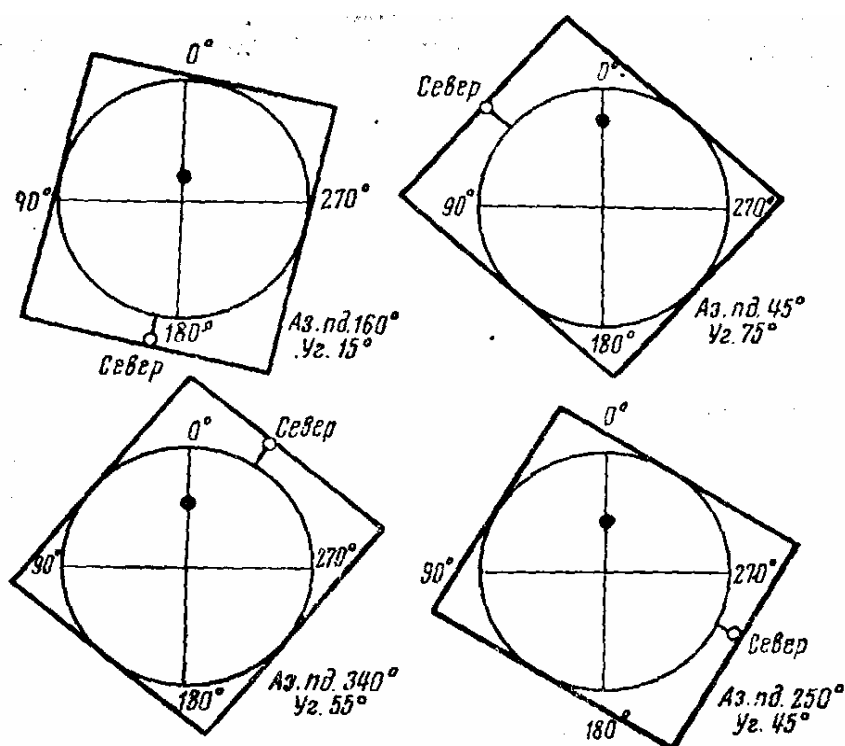


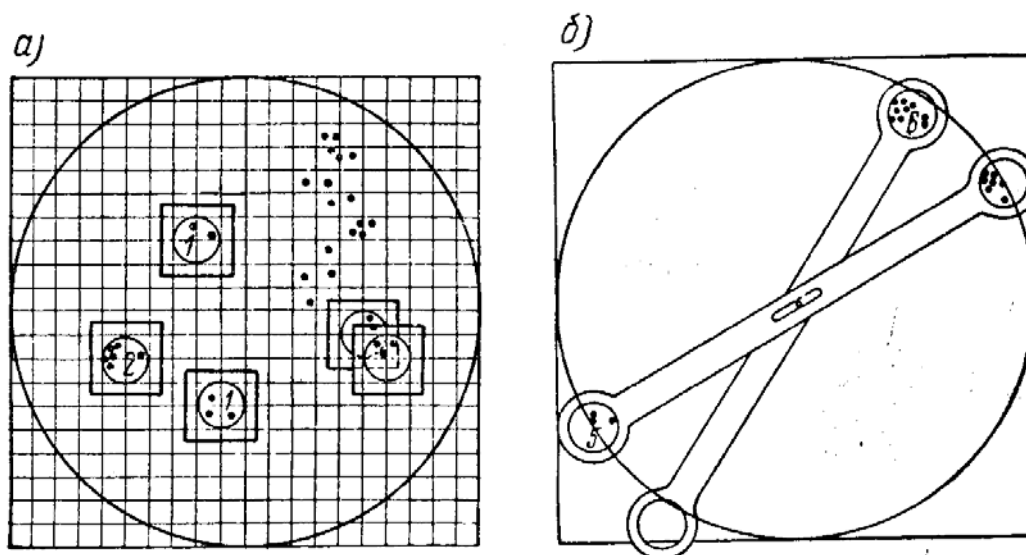
Рисунок 29 - Схема, поясняющая способ нанесения данных (замеров трещин) на кальку, наложенную на трафарет сетки равноплощадной проекции

Отметим, что точки, падающие на линию внешнего круга, т. е. соответствующие вертикальным трещинам, могут с равным правом быть нанесены как на одну сторону большого круга, так и на его противоположную сторону (потому что у вертикальной трещины, простирающейся, например, широтно, имеются два азимута падения - на север, т. е. 0° под углом 90° и с таким же основанием на юг, т. е. 180° под углом 90°). Однако наносится только одна точка (любая из двух).

В результате нанесения всех замеров данного обнажения получаем точечную диаграмму. Но точечная диаграмма недостаточно

наглядна и не сравнима с такими же точечными диаграммами, в которых количество исходных наблюдений значительно различается между собой. Поэтому точечную диаграмму перевычисляем и вычерчиваем на ее основе диаграмму в изолиниях относительной плотности точек. Для этого кальку точечной диаграммы накладываем на сантиметровый трафарет. При помощи другого вспомогательного трафарета, представляющего кружок радиусом в 1 см, который при диаметре диаграммы 20 см занимает площадь, равную 1% площади диаграммы, устанавливаем плотность (количество точек), приходящуюся на единицу площади диаграммы. Помещая центр вспомогательного кружка в узлы сантиметрового трафарета (рисунок 30,а), подсчитываем количество точек, попадающих внутрь кружка и прибавляем половину точек, попадающих на его окружность. Эту цифру ставим на кальке диаграммы в узел сетки. В результате каждый узел на диаграмме будет охарактеризован цифрой. В краевых частях диаграммы кружок-трафарет будет выходить за пределы большого круга, но ровно на столько же он должен входить в пределы большого круга на диаметрально противоположном конце диаграммы. Вспомним, что трещина с азимутом падения 0° под углом 90° одновременно является трещиной с азимутом падения 180° под углом 90° , и всякие другие крутозалегающие трещины с ничтожным отклонением в угле падения в зависимости от того, отклонилось ли их падение к югу или к северу, попадут на противоположные концы диаграммы. Вот почему при исчислении плотности точек в краевых частях диаграммы необходимо учитывать точки, расположенные близко к краю, на противоположном конце диаграммы (рисунок 30(б)). И в дальнейшем, когда будут проводиться изолинии плотности, между ними должно быть полное соответствие в диаметрально противоположных краях диаграммы. Если, например, какая-нибудь изолиния уперлась в большой круг с одной стороны, то эта же линия должна появляться на большом круге с другой стороны.

Для того чтобы диаграммы, основанные на разном количестве замеров, были сопоставимы, цифры плотности точек на единицу площади должны быть выражены не в абсолютных, а в относительных

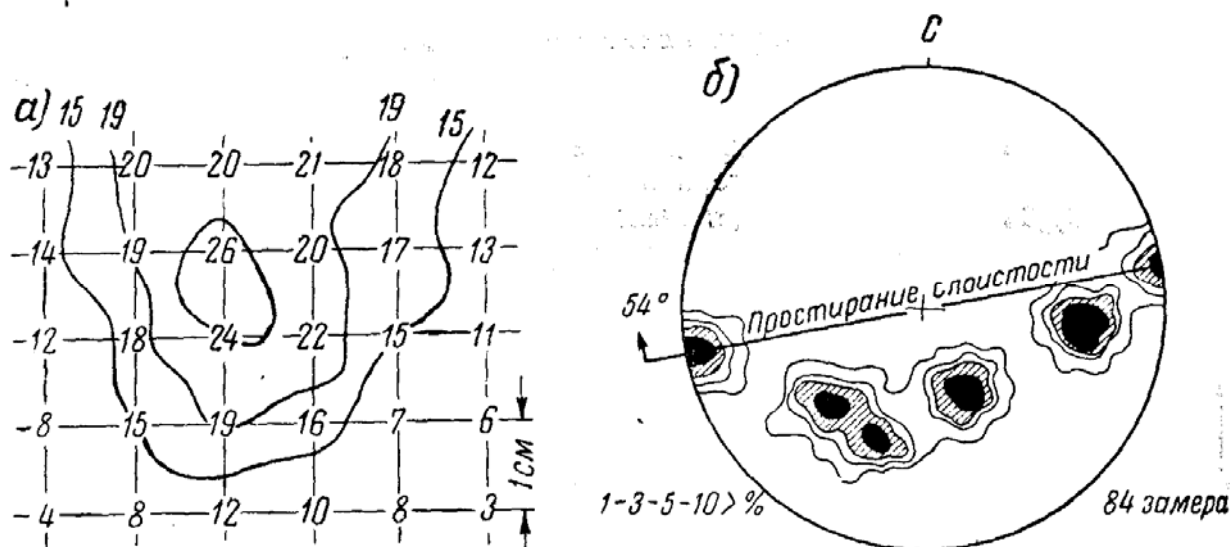


а - определение густоты точек; б—приспособление для обработки кальки точечной диаграммы в краевых частях

Рисунок 30 - Обработка точечной диаграммы

величинах. Например, если общее количество точек на диаграмме 100 или около 100, цифра плотности в каждом узле трафарета, полученная подсчетом точек, характеризует не только абсолютную, но и относительную плотность. Если же общее количество точек 200 или около этого, для получения относительной плотности надо каждую цифру в узле трафарета разделить на 2. Если количество точек около 150 - каждую цифру в узле трафарета делим на полтора. Таким образом, получаем цифры относительной плотности в процентах на 1 % площади диаграммы. Теперь остается провести линии одинаковой плотности, которые строятся по принципу изображения топографической поверхности (рисунок 31,а) и нигде не должны пересекаться. При диаграмме указывается наименование изолиний (рисунок 31,б) и количество точек, положенных в основу диаграммы.

Приведенная диаграмма показывает, что исследуемый массив вмещает четыре системы трещин.



а - способ проведения изолиний; б - диаграмма ориентировки трещин с указанием плотностей, которым соответствуют изолинии

Рисунок 31 - Обработка диаграммы изолиний равной плотности

Первая система ориентирована вертикально с азимутами падения 75–85 (155–165) градусов. Она залегает вкрест простираения слоистости пород.

Вторая система представлена крутопадающими трещинами с азимутом падения 85–105 градусов и углами падения около 60 градусов.

Третья система – пологие трещины, азимут падения от 140 до 155 градусов, углы падения изменяются от 20 до 40 градусов.

Четвертая система представлена двумя максимумами (может быть, здесь имеется две пространственно сближенных системы трещин). Их азимуты падения изменяются от 185 до 240 градусов, а углы падения колеблются в пределах 35–55 градусов.

Список рекомендуемой литературы:

1. Ермолов В.А. Геология. Часть I. Основы геологии [Текст]: учебник /В.А.Ермолов, Л.Н.Ларичев, В.В.Мосейкин - М.: МГУ, 2004. - 599с.
2. Ермолов А.А. Месторождения полезных ископаемых [Текст]: учебник /В.А.Ермолов, Л.Н.Ларичев, В.В.Мосейкин - М.: МГУ, 2003. – 407с.
3. Карлович И.А. Геология. [Текст]: учебное пособие /И.А.Карлович - М.: – Академический проект, ТРИКСТА, 2005. – 703с.
4. Невский В.А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений. [Текст]: учебник /В.А.Невский - М.: Недра, 1979. – 224с.
5. Чернышов С.Н. Трещины горных пород. [Текст]: учебник /С.Н.Чернышов - М.: Наука, 1983. -240с.
6. Михайлов А.Е. Структурная геология и геологическое картирование. [Текст]: учебник /А.Е.Михайлов - М.: Недра, 1973. – 432с.

Содержание

	Стр.
Введение.	3
1 Теоретические положения	3
1.1 Значение трещиноватости в горном деле и геологии. . .	3
1.2 Основные понятия	5
1.2.1 Типы трещин в горных породах	8
1.2.1.1 Трещины отрыва	9
1.2.1.2 Трещины скалывания	12
1.3 Генетическая классификация трещин	15
1.3.1 Нетектонические трещины	15
1.3.1.1 Литогенетические трещины	15
1.3.1.2 Контракционные трещины	17
1.3.2 Тектонические трещины	17
1.3.3 Механизм образования тектонических трещин . . .	18
2 Методы изучения трещиноватости	27
3 Методы обработки и изображения результатов массовых замеров трещин	28
3.1 Методика построения розы-диаграммы трещиноватости	28
3.2 Методика построения и анализа точечных диаграмм трещиноватости на полярной азимутальной сетке . .	29
3.3 Методика построения и анализа диаграмм трещиноватости на стереографической проекции . . .	34
Список рекомендуемой литературы	39

Учебное издание

Составители:

Епифанцев Олег Георгиевич

Плетенчук Нина Семеновна

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД. ОСНОВЫ ТЕОРИИ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ

Методические рекомендации по дисциплине «Геология»
для студентов горных и строительных специальностей

Редактор Суганяк Н.И.

Компьютерный набор Хаминой Н.Т.

Подписано в печать

Формат бумаги 60х84 1/16 Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. Уч-изд.л. Тираж экз. Заказ

Сибирский государственный индустриальный университет

654007 г.Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Типография СибГИУ