

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

**В.Е. Ольховатенко, Г.И. Трофимова, Т.В. Ожогина**

## **МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД**

Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы  
по курсу «Инженерная геология»

Томск  
Издательство ТГАСУ  
2015

УДК 551.252(075.8)

ББК 26.3:33.141я7

**Ольховатенко, В.Е.** Методы изучения трещиноватости горных пород [Текст] : учебно-методическое пособие для самостоятельной работы по курсу « Инженерная геология» / В.Е. Ольховатенко, Г.И. Трофимова, Т.В. Ожогина. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – 80 с.

ISBN 978-5-93057-676-4

В учебном пособии освещаются условия формирования различных генетических типов трещин и дана их классификация. Подчеркивается актуальность изучения трещиноватости при оценке условий строительства объектов на территориях распространения трещиноватости пород. Описаны методы изучения и оценки трещиноватости при строительном освоении территорий. Учебно-методическое пособие предназначено для студентов строительного и горного направлений, а также преподавателей, аспирантов и специалистов в области инженерной геологии, строительного и горного дела.

УДК 551.252(075.8)

ББК 26.3:33.141я7

**Рецензенты:**

**Попов В.К.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ;

**Бычков О.А.**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры инженерной геологии и геоэкологии ТГАСУ.

ISBN 978-5-93057-676-4

© Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2015

© Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И., Ожогина Т.В., 2015

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>1. Основные понятия</b> .....	6
1.1. Типы трещин в горных породах .....	9
1.1.1. Трещины отрыва .....	10
1.1.2. Трещины скалывания .....	13
<b>2. Классификация трещин</b> .....	17
2.1. Геометрическая классификация трещин .....	17
2.2. Генетическая классификация трещин .....	18
2.2.1. Нетектонические трещины .....	18
2.2.1.1. Контракционные трещины .....	19
2.2.1.2. Литогенетические (диагенетические) трещины .....	20
2.2.1.3. Трещины выветривания .....	22
2.2.1.4. Трещины разгрузки .....	23
2.2.1.5. Трещины оползней, обвалов, провалов и просадок .....	24
2.2.2. Тектонические трещины .....	25
2.2.3. Механизм образования тектонических трещин .....	27
<b>3. Методы изучения трещиноватости</b> .....	40
<b>4. Методы обработки и изображения результатов массовых измерений трещин</b> .....	58
4.1. Методика построения розы-диаграммы трещиноватости .....	58
4.2. Методика построения и анализа точечных диаграмм трещиноватости на полярной азимутальной сетке .....	60
4.3. Методика построения и анализа диаграмм трещиноватости на стереографической проекции .....	64
<b>5. Трещиноватость угольных отложений Кузбасса</b> .....	70
<b>6. Трещиноватость скальных и полускальных пород и ее значение при инженерно-геологической оценке</b> .....	72
<b>Контрольные вопросы и задания</b> .....	77
<b>Заключение</b> .....	78
<b>Список рекомендуемой литературы</b> .....	79

## ВВЕДЕНИЕ

Трещиноватость (fissuring – англ., Klüftung – нем.) – свойство горных пород, нарушение монолитности породы трещинами; этим термином также называется совокупность трещин в породном массиве. Роль трещиноватости пород является весьма важной в самых разнообразных отраслях строительства. Большинство скалистых пород в монолите являются практически водонепроницаемыми, но при наличии сети трещин их толща теряет свою монолитность и приобретает повышенную водопроницаемость. Это обстоятельство часто вызывает значительные трудности при осушении котлованов, проходке тоннелей и других подобных работах. Особое значение в этом плане приобретает вопрос о возможности потерь большого количества воды за счет фильтрации искусственных водоемов, водохранилищ в обход и через основание напорных сооружений (плотин), а также через откосы и дно водоподводящих каналов. Очень часто трещины в толще известняков и гипсов ведут к прогрессивному их развитию за счет выщелачивания этих пород водой с образованием в толще пород каверн, пустот, провальных воронок и даже пещер (*карстовые формы*). С другой стороны, что является не менее важным, расчленение толщи пород трещинами на отдельные блоки ведет к снижению их общей устойчивости, а также к снижению прочности и устойчивости возводимых в этих условиях сооружений. Особое значение этот вопрос приобретает при разработке проектов арочных мостов и арочных плотин, передающих нередко через свои пяты на берега значительные силы распора. При недостаточной устойчивости скальных массивов, расчлененных трещинами, в этих случаях всегда возникает опасность развития обвалов и оползней, которые могут привести к катастрофическим последствиям с человеческими жертвами. Подобные же обвалы и оползни на дорогах могут повлечь за собой перерыв в движении, и нередко

на долгие сроки, если ими захватывается в горных областях дорожное полотно. При проходке тоннелей и всякого рода подземных выработок и сооружений в рассматриваемых условиях всегда имеется опасность вывалов, нередко связанных с человеческими жертвами. Особенно сложные условия при этом возникают при значительном развитии трещин по длине (*линии тектонических разломов*) и при выполнении их глинистыми материалами как продуктом выветривания пород.

При значительной трещиноватости толщи возникает необходимость использования разнообразных, сложных мероприятий для обеспечения нормальных условий возводимых сооружений и для охраны труда строителей. В особых случаях возникает необходимость в переносе трасс каналов и тоннелей, створов мостовых переходов и плотин на месте с более благоприятными инженерно-геологическими условиями или даже с переходом к другим типам сооружений, предъявляющим в данном отношении менее строгие требования. Трещины обычно простираются по нескольким взаимно пересекающимся направлениям, определяя пространственное расположение поверхностей и зон ослабления. Вот почему трещиноватость влияет на прочность и устойчивость горных пород; деформируемость, характер проявления деформаций и их величину; водоносность, влагоемкость, водопроницаемость и газопроницаемость; глубину проникновения агентов выветривания и интенсивность развития процессов выветривания; развитие коррозионных и карстообразовательных процессов и проникновение карста на глубину; температурный режим в массиве пород; сейсмостойкость пород; крепость, трудность разработки и строительную категорию пород; определение мощности зоны съема при проектировании сооружений.

Кроме того, при строительстве подземных сооружений и разработке месторождений полезных ископаемых как подземным, так и открытым способом трещиноватость горных пород часто определяет организацию производства строительных работ и горно-технические условия.

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

*Трещиноватость* – разделение породы плоскостями на серию блоков (разрыв сплошной породы), связанное с самыми различными причинами – тектоническими, гравитационными, контракционными, усыханием породы, выветриванием и т. д.

*Трещиноватость удельная* – количество макроскопических видимых трещин, приходящихся на линейный метр обнаженной плоскости горной породы.

*Интенсивная трещиноватость* – частота расположения трещин.

*Коэффициент трещиноватости* – величина трещиноватости горных пород, выражаемая отношением объема трещин к объему всей породы, заключающей в себе эти трещины, и отношением суммарной площади трещин в шлифе породы к площади шлифа.

*Растяжение удельное* – процентное отношение объема приоткрывания в трещинах, обычно заполненных какими-либо минералами или частями породы, ко всему объему породы, содержащей эти трещины.

*Зоны трещиноватости* – линейно вытянутые участки, в пределах которых трещины развиты более интенсивно, чем в окружающих породах.

*Разломно-трещинная сетка* – совокупность разрывов и тектонической трещиноватости на поверхности горных пород (т. е. разрывные нарушения, единичные крупные трещины, зоны повышенной трещиноватости и т. д.), которые определяют развитие мегатрещиноватости.

*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

янием 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.), так и внутренними, возникающими при изменении температуры, влажности, плотности породы.

*Трещины эндокинетические* – разрывы, обусловленные внутренними или эндокинетическими причинами.

*Трещины экзокинетические* – трещины, обусловленные внешними экзокинетическими причинами.

*Макротрещины* – тектонические трещины, которые имеют ширину от нескольких миллиметров до нескольких метров.

*Микротрещины* – тектонические трещины, которые являются едва заметными.

*Серия трещин* – группа более или менее параллельных трещин.

*Ряд трещин* – две или более серии трещин или несколько групп трещин с характерным размещением.

*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 (рис. 1) или бессистемной (хаотичной) трещиноватостью.



Рис. 1. Трещиноватость горных пород в обнажении

*Отдельность* – трещиноватость, при которой порода распадается на характерную форму блоков (глыб, кусков) горной породы, образующихся 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 (рис. 2). В осадочных породах и, в частности, в угленосных толщах распространены кубическая, параллелепipedальная, плитчатая, призматическая, сферическая, чешуйчатая отдельности.

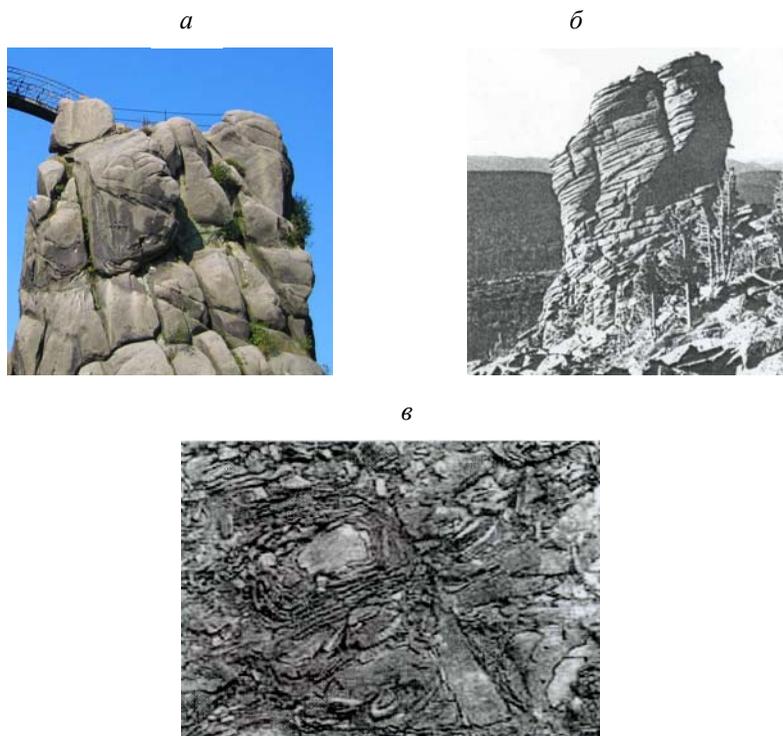


Рис. 2. Матрацевидная (а), плитчатая (б), шаровая (в) отдельности

*Зона дробления (брекчирования)* – это линейно вытянутый участок земной коры, 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.

### **1.1. 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 внутрислоистые 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°), пологие

(5–20°), слабонаклонные (20–45°), крутые (45–80°), вертикальные (80–90°).

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 сланцевости) (рис. 3). На округлых складках могут быть выделены радиальные и концентрические трещины;

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.

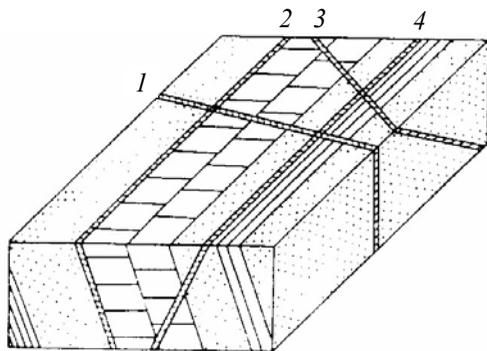


Рис. 3. Трещины в осадочных породах:

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

### 1.1.1. Трещины отрыва (раскола)

Трещины отрыва образуются в плоскости, параллельной сжимающим силам и перпендикулярной растягивающим силам,

когда величина последующих превышает предел прочности породы на отрыв (рис. 4). В момент образования эти трещины открыты. Вдоль стенок трещин отрыва наблюдаются только небольшие смещения, т. к. перемещение в породе направлено перпендикулярно к стенкам трещины (рис. 5).

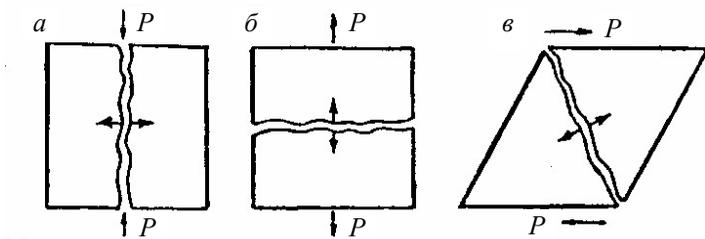


Рис. 4. Трещины отрыва, образующиеся при сжатии (а), растяжении (б) и сдвиге (в):  
 $P$  – внешние силы; короткие стрелки – смещение блоков породы относительно трещин отрыва

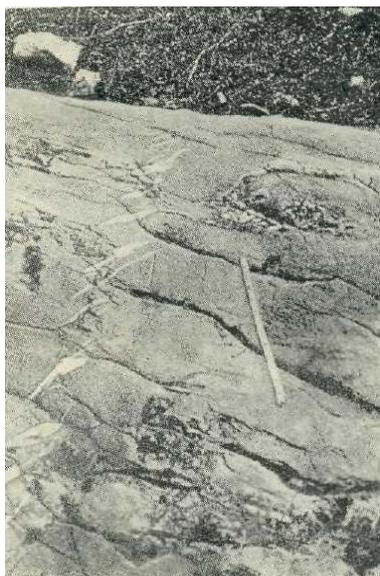


Рис. 5. Кулисообразный ряд трещин отрыва в породе

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

К трещинам отрыва часто приурочены дайки магматических пород, рудные и нерудные жилы (рис. 6). 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 значительные потери воды на фильтрацию из каналов, водохранилищ, из-под тела плотин.

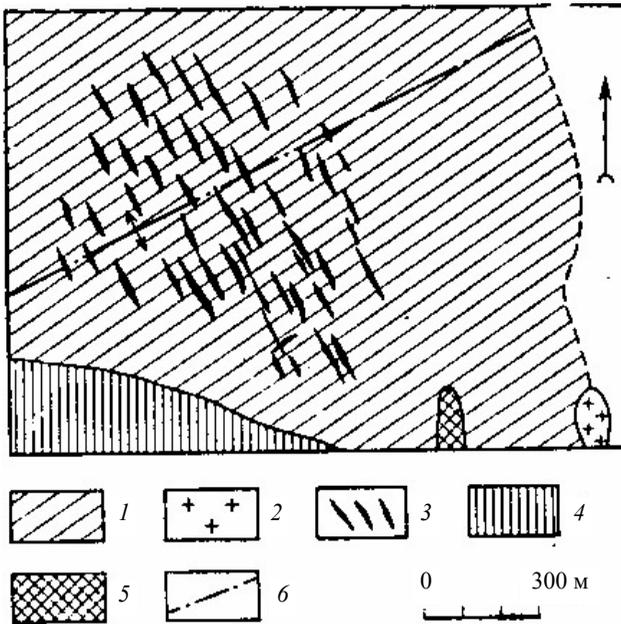


Рис. 6. Схема строения оловянного месторождения, приуроченного к системе трещин отрыва, ориентированных вкrest простирания складчатости:

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

## 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 (рис. 7), 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.

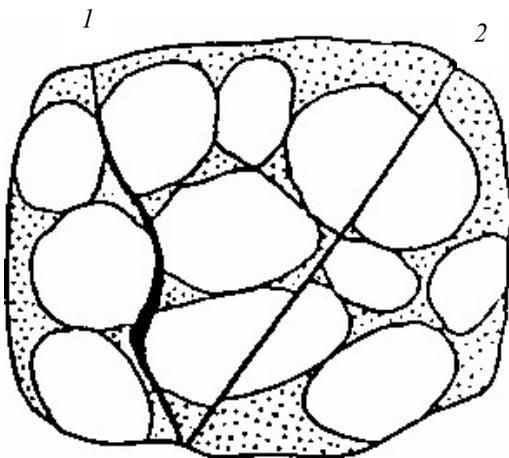


Рис. 7. Трещины отрыва (1) и скалывания (2) в конгломерате

### 1.1.2. Трещины скалывания

Такие трещины возникают вдоль плоскостей, в которых действуют максимальные скалывающие напряжения, когда величина последних превышает предел прочности породы на

сдвиг. Эти трещины теоретически располагаются под углом  $45^\circ$  к сжимающим и растягивающим силам, образуя сопряженные системы трещин скалывания (рис. 8).

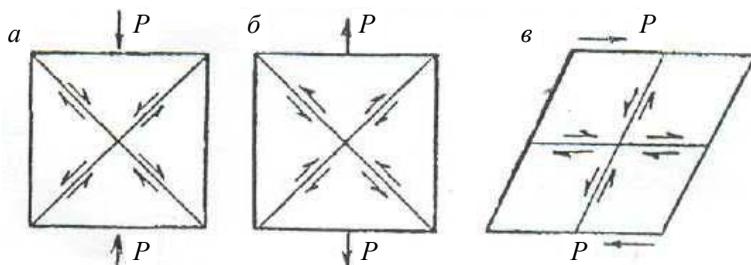


Рис. 8. Трещины скалывания, образующиеся при сжатии (а), растяжении (б) и сдвиге (в). Сравните с ориентировкой трещин отрыва на рис. 4:

$P$  – внешние силы: короткие стрелки – смещение блоков породы вдоль трещин скола

В верхней части земной коры этот угол меньше  $45^\circ$  и колеблется в пределах  $35\text{--}45^\circ$  к оси сжатия. Эта особенность используется для реконструкции направления сжимающих сил (ось сжатия располагается в остром углу между трещинами скалывания). 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 раз-

работке 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 (рис. 9, 10).

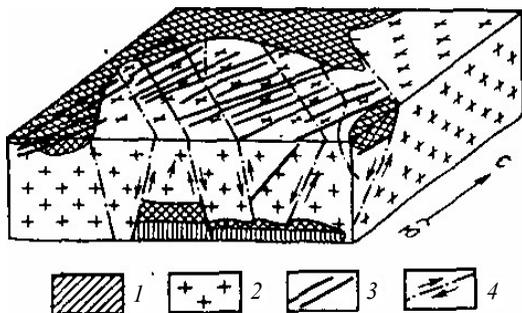


Рис. 9. Рудные жилы в односистемных трещинах скола на месторождении вольфрамита:

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

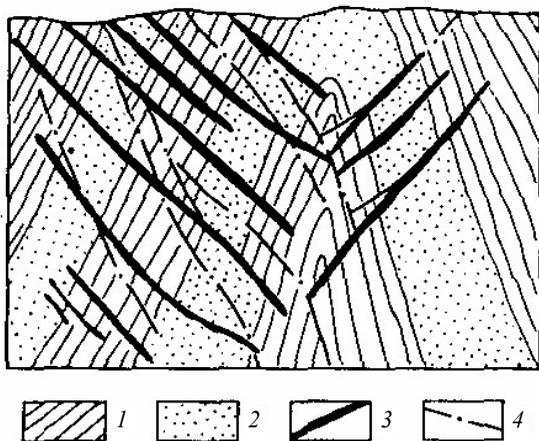


Рис. 10. Кварцево-рудные жилы в двухсистемных трещинах скола:

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

## **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 (см. рис. 7) 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 и для крупных трещин и даже разломов. Источник сил для образования трещин отрыва и скалывания может быть самым различным: тектонические силы, метеоритный улар, удар молотком по породе и т. д.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРЕЩИН

Трещины в породах можно классифицировать либо относительно текстурных особенностей (слоистость, сланцевость, ориентировка линейных и пластинчатых минералов), либо относительно сторон света, либо исходя из условий их образования. В первом случае классификация отражает лишь ориентировку в пространстве и при этом называется геометрической. Во втором случае отражает обстановку их возникновения и носит генетический характер. Классификации дополняют друг друга.

### 2.1. Геометрическая классификация трещин

В осадочных и метаморфических породах трещины обладают ясно выраженной слоистостью или имеют неясную слоистость, но четко ориентированную текстуру. Выделяют:

1) поперечные трещины, секущие в плане слоистость, в разрезе либо вертикальные, либо наклонные;

2) продольные трещины – параллельные линии простирания, но секущие слоистость (в вертикальных разрезах);

3) косые трещины, секущие слоистость или сланцеватость под углом относительно простирания и направления падения;

4) согласные трещины, параллельные слоистости как в плане, так и в разрезе.

В массивных, слоистых и сланцеватых породах нередко трещины удобнее классифицировать по углу наклона:

а) вертикальные ( $80-900^\circ$ );

б) крутые ( $45-800^\circ$ );

в) пологие ( $10-450^\circ$ );

г) слабонаклонные и горизонтальные ( $0-100^\circ$ ).

## 2.2. Генетическая классификация трещин

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

### 2.2.1. Нетектонические трещины

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. Трещины нетектонические образуются под влиянием внутренних сил сжатия и растяжения, развивающихся в той или иной породе. Такие трещины встречаются повсеместно, они весьма разнообразны. Общие особенности их следующие:

1. Приуроченность к приповерхностным или даже самым верхним горизонтам земной коры.
2. Своеобразие для каждого петрографического типа пород (образуют отдельности различного размера и формы у разных типов пород).
3. Невыдержанность по простиранию.
4. Отсутствие, как правило, у многих из них определенных систем.
5. В большинстве случаев в поверхностных горизонтах земной коры они открытые, а с глубиной сужаются и выклиниваются.

Нетектонические трещины по своему происхождению подразделяются на несколько видов:

- 1) контракционные трещины возникают в связи с уменьшением объема при остывании магматических пород; трещины первичной отдельности;
- 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 трещины термической концентрации и литогенетические (диагенетические) трещины.

### **2.2.1.1. Контракционные трещины**

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. Наиболее ярко контракционные трещины выражены в эффузивных и дайковых магматических породах. Контракционные трещины обычно располагаются перпендикулярно и параллельно к поверхности охлаждения магматических пород, разбивая их на отдельности кубической, параллелепipedальной, матрасевидной, столбчатой, шаровой и дру-

гих форм (см. рис. 3). В интрузивных породах в постмагматические фазы развития появление трещин может быть связано также с тектоническими усилиями. Поэтому их первичная отдельность может образовываться под влиянием одновременного действия внутренних контракционных и внешних тектонических сил. Подтверждением этому является наблюдающаяся иногда сопряженность ориентировки трещин отдельности со структурными особенностями породы. Так, широко известны наблюдения немецкого геолога Г. Клооса, изучавшего строение и трещиноватость гранитных массивов. Им было установлено, и впоследствии подтверждено геологами в других районах, что в гранитах намечаются четыре системы трещин:

1) продольные (обычно обозначаются буквой S), параллельные линейности, полосчатости, волокнистости породы; эти трещины обычно закрытые, плоскости их гладкие, по ним идет наилучшая делимость (раскол) породы при добыче камня;

2) поперечные трещины Q, ориентированные нормально к простиранию линейности и полосчатости породы; они обычно открытые, поверхности их неровные;

3) диагональные трещины D ориентированы диагонально, косо к простиранию структурных элементов породы;

4) пологопадающие трещины, более или менее параллельные поверхности массива.

Трещины первых трех типов чаще всего вертикальные или крутопадающие, трещины последнего типа обычно горизонтальные.

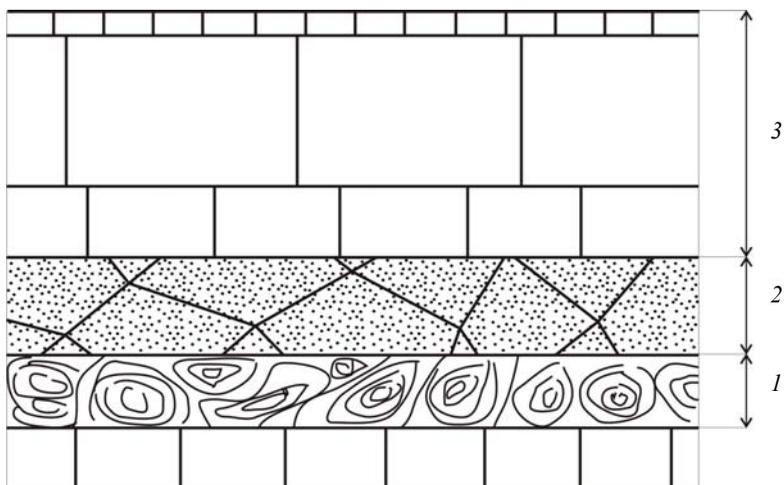
#### **2.2.1.2. Литогенетические (диагенетические) трещины**

Трещины усыхания, или, как их часто называют, диагенетические, проявляются в тонкозернистых и глинистых породах. Они обычно открытые, расширенные у верхней поверхности, и затухающие, выклинивающиеся книзу, располагаются пер-

пендикулярно к поверхности пласта и не выходят за его пределы. Они всегда хорошо выражены на донной поверхности усыхающих водоемов, образуют вертикальную, полигональную отдельность. Как отмечает А.С. Новикова (1951), положение первичных диагенетических трещин зависит от литологического состава пород. В известняках и доломитах она перпендикулярна к слоистости, в песчаниках наряду с трещинами, перпендикулярными к слоистости, наблюдаются также и наклонные. В мергелях, глинах и опоках наиболее характерными являются трещины, ограничивающие скорлуповатые и оскольчатые отдельности.

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 (рис. 11).

В известняках трещины перпендикулярны 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.



*Рис. 11.* Расположение литогенетических трещин в зависимости от состава осадочной породы:

1 – мергель; 2 – песчаник; 3 – известняк

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.

### **2.2.1.3. Трещины выветривания**

Трещины выветривания возникают в результате разрушения горных пород под действием колебаний температуры, воды и водных растворов, корней растений и организмов. Особенно интенсивное растрескивание пород происходит при их замерзании и разморозании, в результате чего возникают так называемые морозобойные трещины. Трещины выветривания располагаются

в самых приповерхностных горизонтах, расчленив породу. Они извилистые, ветвящиеся, плоскости их неровные. С поверхности Земли трещины обычно открытые, с глубиной выклиниваются.

#### **2.2.1.4. Трещины разгрузки**

Трещины разгрузки появляются при увеличении объема пород после снятия с них нагрузки, которое может быть обусловлено гидратацией или проявлением упругих деформаций (разуплотнением) пород. Например, при гидратации ангидрита и переходе его в гипс происходит увеличение объема примерно на 27 %. При этом возникают значительные внутренние напряжения в породе, и, как следствие, появляются трещины в гипсе и главным образом в породах, его перекрывающих. При разведке одного из участков долины р. Камы было обнаружено, что в результате эрозионного вреза реки и разгрузки ангидритов они перешли в гипс. Пласт гипса прослеживается только под днищем долины и выклинивается в стороны ее бортов. Породы, перекрывающие гипс (мергели, известняки, доломиты), имеют в этом месте повышенную трещиноватость и водопроницаемость.

Разгрузка пород от действия сжимающих сил у поверхности Земли под днищем и в бортах долин, в глубоких выемках, котлованах, в карьерах или на глубине в подземных выработках вызывает раскрытие скрытых и закрытых трещин, разуплотнение пород в сторону свободного пространства и появление новых трещин разгрузки или, как их еще называют, «упругой отдачи», «отседания», «бортового отпора». Трещины разгрузки развиваются более или менее параллельно обнаженной поверхности. Вблизи этой поверхности их много, и они хорошо выражены, с глубиной становятся более редкими и менее четкими. Если обнаженная поверхность пород параллельна слоистости, то трещины разгрузки развиваются по слоистости или параллельно

ей, если эта поверхность пересекает слоистость, трещины разгрузки расщепляют слои и простираются параллельно обнаженной поверхности. Такие трещины нередко наблюдаются вдоль крутых и высоких склонов речных долин, поэтому их часто называют трещинами бортового отпора. Образованию их способствует здесь также и действие силы тяжести, нарушение равновесия масс горных пород, слагающих подмываемый рекой бортовой долины. По трещинам разгрузки нередко происходит смещение (отседание) пород и образование ступенчатости по склону, оползней структурного типа и обвалов.

#### **2.2.1.5. Трещины оползней, обвалов, провалов и просадок**

Трещины оползней и провалов появляются на участках, где нарушается равновесие масс горных пород и происходит их смещение. В результате этого в горных породах возникают сдвигающие, скалывающие и растягивающие напряжения. Оползневые трещины развиваются главным образом в теле оползня и частично вдоль его границ. По трещинам, ограничивающим оползень, обычно происходит срыв и смещение масс горных пород. Это трещины отрыва. Они образуются параллельно склону, откосу или полуцирком опоясывают оползневой массив. Наиболее часто они возникают у вершины оползней, где вследствие этого в рельефе появляется ступенчатость. Трещины отрыва обычно открытые, у поверхности Земли зияющие, с глубиной выклинивающиеся.

В пределах оползневого тела также обычно образуется много трещин, расположенных неравномерно, что зависит от типа оползня и состава слагающих его пород. У верхнего края оползня, близ его вершины, располагается группа «верхних» трещин, открытых, крутопадающих или вертикальных, простирающихся перпендикулярно к направлению движения оползне-

вых масс (Г.И. Тер-Степанян, 1946). Это трещины растяжения – трещины отрыва, отделяющие быстро оползающие массы от медленно движущихся или неподвижных. В центральной части оползня, и особенно у нижнего его края, вблизи подошвы, образуются группы трещин «центральных» или «нижних», располагающихся также поперек оползня, но вдоль валов и бугров выпирания. Они возникают под действием надвигания оползневых масс, отделения блоков пород, более быстро перемещающихся от медленно смещающихся, оползня от неподвижных масс. Наконец, в теле оползня выделяются группы продольных и боковых трещин, располагающихся вдоль его бортов. Они возникают внутри оползневого тела, между участками, смещающимися с различной скоростью, или у бортов оползня между движущимися и неподвижными массами пород.

Трещины провалов возникают над карстовыми пещерами, каналами и другими полостями. Они обычно открытые, зияющие, крутые или вертикальные, различно ориентированные в плане.

Разного типа трещины образуются в горных породах при взрывных работах, при разработке их подземными выработками, глубокими выемками и т. д. В плане трещины также могут иметь различное расположение, они высекают породы только с поверхности или на той или иной глубине, не достигая поверхности Земли.

### **2.2.2. Тектонические трещины**

Тектонические трещины развиваются в магматических, метаморфических и осадочных сцементированных породах под влиянием тектонических сжимающих и растягивающих усилий, превышающих предел прочности пород. В соответствии с этим тектонические трещины подразделяются на трещины *скальвания*, развивающиеся под влиянием касательных сдвигающих –

скалывающих усилий, и трещины *отрыва*, развивающиеся под влиянием растягивающих усилий. Тектонические трещины, вдоль которых не происходило перемещение горных пород, иногда называют *диаклазами*, а тектонические трещины, вдоль которых происходило перемещение горных пород (сбросы, сдвиги) – *параклазами*.

Общими особенностями тектонических трещин являются следующие:

1. Большая или сравнительно большая выдержанность по простиранию и на глубину; иногда они прослеживаются на сотни и тысячи метров, пересекая породы различного петрографического состава.

2. Определенное пространственное расположение, обуславливающее чаще всего образование систем трещин. На одном и том же участке может быть несколько взаимно пересекающихся систем трещин.

3. Закономерное сочетание систем трещин с тектоническими элементами – складками, тектоническими нарушениями и т. д.

4. Контролируемость многими структурно-петрографическими элементами пород – слоистостью, сланцеватостью, линейностью и полосчатостью, ориентировкой шлировых выделений, жильных образований и др.

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 могут быть весьма различными.

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. Стадия 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.

### **2.2.3. 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) (рис. 12).

Оси эллипсоида деформации являются главными осями деформации, они совпадают с направлением главных нормальных напряжений. Для трехосного эллипсоида  $A \neq B \neq C$ .

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

1. Трещины скалывания. Тектонические трещины скалывания обычно скрытые или закрытые – волосные, плоскости трещин гладкие, притертые, иногда с зеркалами и бороздами скольжения, свидетельствующими о некотором перемещении пород вдоль трещин. Обычно они образуют две сопряженные пересекающиеся наклонные системы. Отдельности, образуемые этими трещинами, имеют правильную форму.

$A$  – главная ось деформации совпадает с направлением минимального сжимающего усилия (или направлением растяжения).

$C$  – главная ось деформации совпадает с максимальным сжимающим усилием.

$B$  – главная ось деформации, занимающая промежуточное положение. У трехосного эллипсоида деформации имеются два круговых сечения. Они пересекаются по оси  $B$ .

Трещины этого типа, как правило, водоносны или слабо-водоносны, водопроницаемость по ним небольшая. При разработке горных пород, вскрытии их подземными или глубокими открытыми выработками могут возникать значительные деформации – отслаивание и смещение больших масс.

Наибольшие скалывающие напряжения развиваются вдоль круговых сечений эллипсоида деформации. Пересечение двух сопряженных систем скалывания совпадает с ориентировкой оси  $B$  (рис.13). Трещины скалывания обычно прямолинейные, протяженные, плотно сжатые.

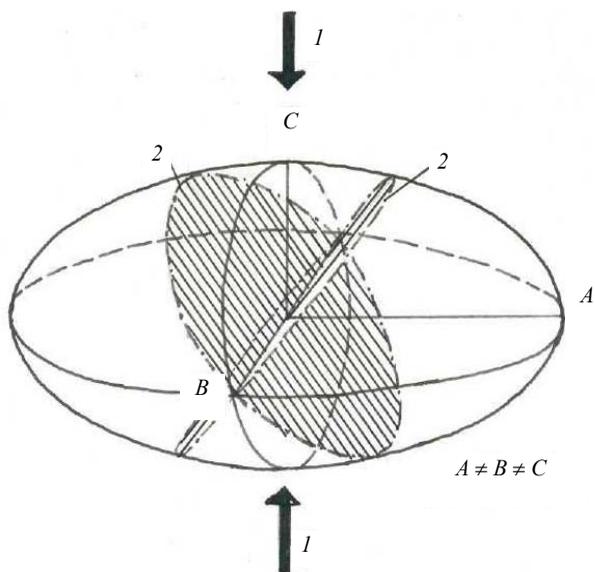


Рис. 12. Трехосный эллипсоид деформации – модель объемно-напряженного состояния горных пород внутри земной коры:  
 1 – максимальные сжимающие усилия; 2 – круговые сечения

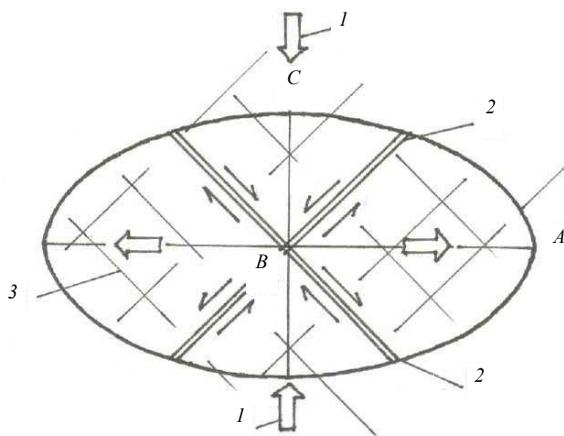


Рис. 13. Трещины скалывания совпадают с круговыми сечениями эллипсоида деформации:  
 1 – направление максимального сжимающего усилия; 2 – круговые сечения эллипсоида деформации; 3 – трещины скалывания

2. Трещины отрыва – образуются в плоскости  $BC$  (рис. 14). Это короткие, невыдержанные, часто зияющие трещины без следов перемещения.

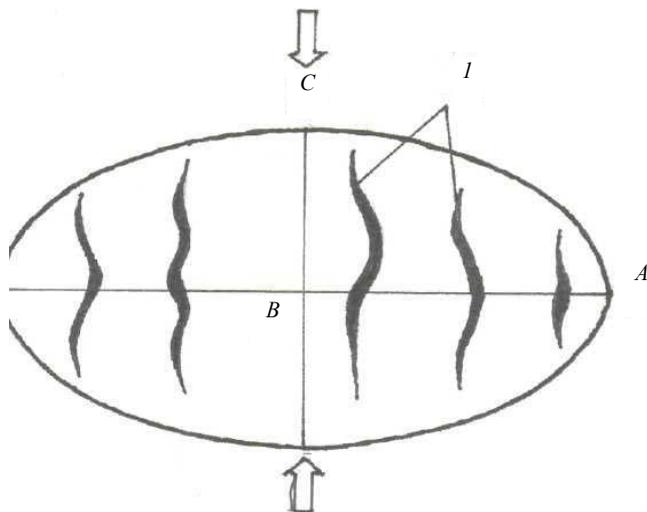


Рис. 14. Трещины отрыва, ориентированные параллельно плоскости  $BC$  эллипсоида деформации:  
 $I$  – трещины отрыва

Тектонические трещины отрыва обычно открытые (зияющие), крутонаклоненные или вертикальные, плоскости их неровные, бугристые, зазубренные, покрытые натечками, налетами, свидетельствующими о циркуляции по ним подземных вод и растворов. Часто они бывают выполнены привнесенным песчано-глинистым материалом, а также продуктами дробления и перетирания пород, продуктами выветривания или гидротермального изменения. К этим трещинам нередко приурочены жилы кварца, кальцита, гипса, а в районах многолетней мерзлоты – жилы льда.

Наличие трещин отрыва является причиной высокой водопроницаемости пород, что обуславливает значительные притоки воды в горные выработки. При строительстве гидротехнических

сооружений на участках развития трещин отрыва в породах наблюдается интенсивная фильтрация воды из водохранилищ. Трещины отрыва по простиранию и на глубину прослеживаются на более короткие расстояния, чем трещины скалывания. Иногда они прерывисты: одна трещины выклинивается, а рядом с ней или в стороне от нее появляется другая того же направления. В целом такие трещины часто достигают большой длины. На отдельных участках они могут сгущаться и образовывать зоны повышенной трещиноватости либо, наоборот, быть редкими, единичными. В береговых обрывах, откосах и подземных выработках трещины отрыва способствуют образованию вывалов, крупных смещений масс горных пород, а также интенсивному развитию выветривания и коррозионных процессов на глубину.

3. Трещины сплющивания – образуются вдоль плоскости  $AB$  и связаны с пластическим течением вещества в твердом состоянии (в связи с его выжиманием). Это прямолинейные, плотно сжатые, притертые трещины (рис. 15).

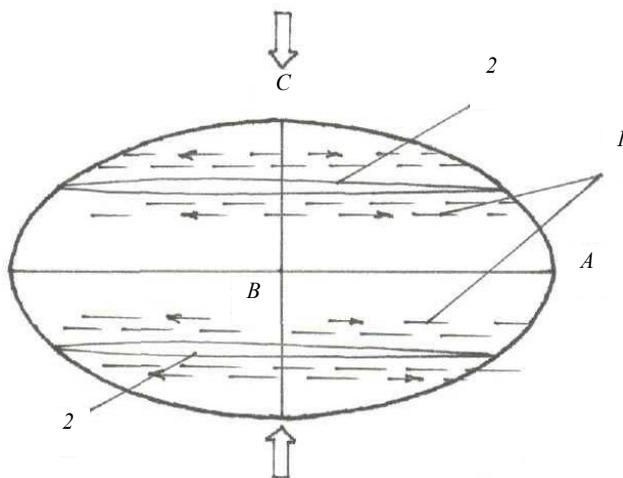


Рис. 15. Трещины сплющивания, ориентированные параллельно плоскости  $AB$  эллипсоида деформации:

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

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 одноосных направленных сил, либо парой сил, что отвечает условиям вращения (рис. 16). При этом круг превращается в эллипс. Что должно происходить с шаром, легко домысливается. Круговые сечения совпадают с ориентировкой линий, образующих сетку.

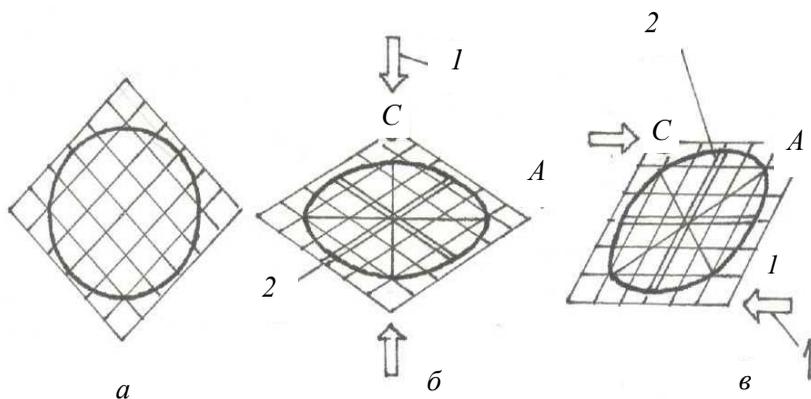
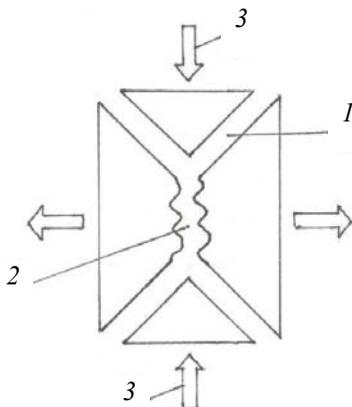


Рис. 16. Получение эллипсоида деформации на моделях плоских сеток: *a* – исходное положение; *б* – при одноосном сжатии; *в* – при действии пары сил; *1* – направление сил; *2* – круговые сечения

Рассматриваемые теоретические положения согласуются с практическими испытаниями образцов горных пород на сжатие в лабораторных условиях. Образцы разрушаются по схеме, изображенной на рис. 17. 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.



*Рис. 17.* Примерная схема разрушения образцов горных пород на опытах при их раздавливании:  
 1 – трещины скалывания; 2 – трещины отрыва; 3 – направление сжимающего усилия

Если превышение происходит вдоль оси *C*, образуются две системы трещин скалывания и одна система трещин отрыва. В случае, если такое превышение возникло и в направлении оси *B*, образуются еще две системы трещин скалывания и еще одна система трещин отрыва. Наконец, в условиях реализации сверхвысоких сжимающих усилий (сжатие и в направлении оси *A* 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 трещины 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 рис. 18 показан механизм формирования оперяющихся трещин в связи со взбросом.

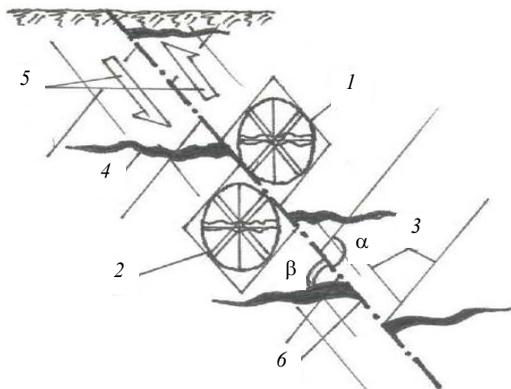


Рис. 18. Механизм образования оперяющихся трещин в связи со взбросом (поперечный разрез):

1 – ориентировка эллипсоида деформации; 2 – круговые сечения; 3 – трещины скалывания; 4 – трещины отрыва; 5 – направление действия сил при взбросе; 6 – взброс;  $\alpha$  – угол между плоскостью нарушения и трещинами скалывания;  $\beta$  – угол между нарушением и трещинами отрыва

Острый угол ( $\beta$ ) трещин отрыва направлен в сторону движения блока. Тупой угол ( $\alpha$ ) трещин скалывания обозначает то же направление.

Сопряжение складчатых и трещинных структур показано на рис. 19.

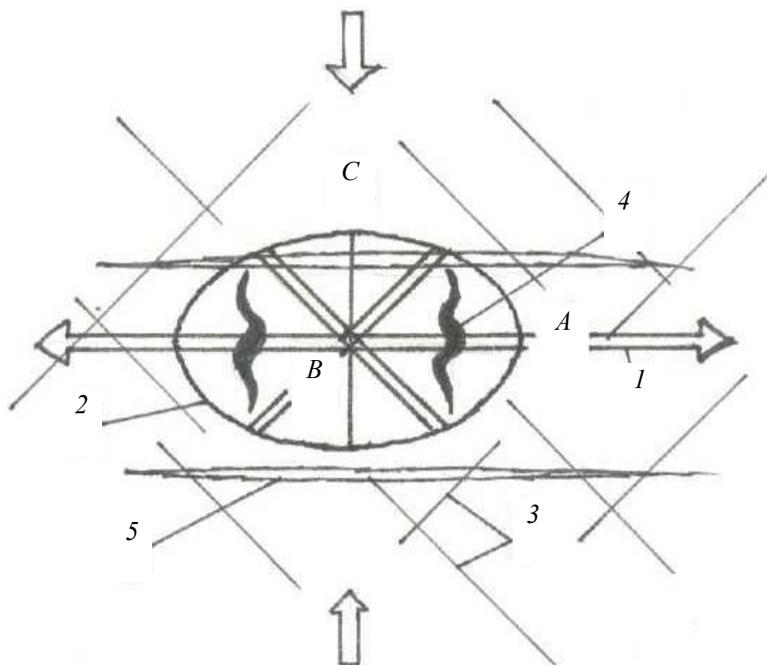


Рис. 19. Соотношение складчатых и трещинных структур (план):  
 1 – ось антиклинальной складки; 2 – ориентировка эллипсоида деформации; 3 – трещины скалывания; 4 – трещины отрыва; 5 – трещины сплющивания; A, B, C – главные оси деформации

В породах, смятых в складки, часто хорошо выражены поверхности делимости, ориентированные закономерно относительно складок. Такое явление делимости называется кливажем. Кливаж (мелкая трещиноватость в угленосных толщах) не нарушает сплошности породы и этим отличается от тектони-

ческих трещин. В обнажениях в зоне выветривания кливаж имеет вид открытых или закрытых частых параллельных трещин с ровными поверхностями и нередко со следами скольжения и притирания. В породах, находящихся вне зоны выветривания, поверхности делимости скрыты, они обнаруживаются при ударе по породе или при ее сжатии.

По происхождению кливаж может быть эндогенным, связанным с внутренними глубинными процессами земной коры (складкообразованием, образованием разрывных дислокаций, метаморфизмом), и экзогенным, связанным с поверхностными процессами (диагенезом, движениями ледника, оползней). Экзогенный кливаж – явление редкое и локальное.

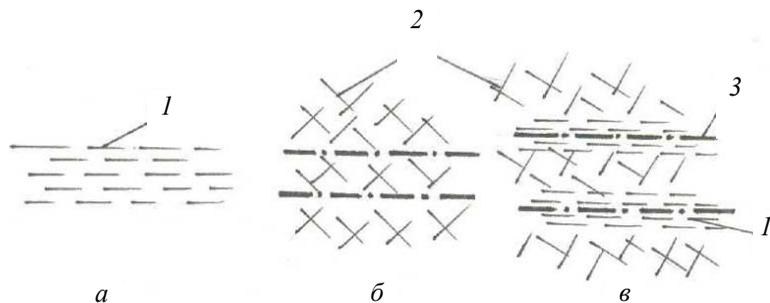
Кливаж подразделяют на кливаж течения и кливаж разлома (раскола). Тот и другой образуются в процессе пластических деформаций пород при соответствующих условиях. Кливаж течения обусловлен ориентированным плоскопараллельным расположением минералов в породе. Особенно характерен он для метаморфических пород. Различают несколько видов кливажа течения: осевой (параллельный осевым поверхностям складок), слоевой, плейчатый и др. К кливажу течения относят также кристаллизационную сланцевость, образующуюся в результате перекристаллизации пород под действием факторов метаморфизма. Кливаж течения охватывает обычно мощные толщи пород. По отношению к слоистости он может располагаться различно: диагонально, параллельно и реже перпендикулярно.

Кливаж разлома не зависит от расположения минералов в породе, возникает без изменения ее структуры. Его образование связано с действием сжимающих, скалывающих и растягивающих усилий. Как правило, он не пересекает толщи, пачки и слои пород, а проявляется в отдельных прослойках. По отношению к слоистости расположен чаще перпендикулярно или диагонально.

Из изложенного следует, что кливаж – очень важное явление, по существу, как и трещиноватость, определяет физическое состояние скальных и полускальных горных пород. Кливаж

предопределяет характер разрушения пород, их деформацию под воздействием внешних усилий. Поэтому его необходимо изучать при инженерно-геологических исследованиях и оценивать его влияние на физико-механические свойства пород и устойчивость проектируемых на них сооружений.

Для угольных месторождений характерен особый вид очень мелкой трещиноватости, которая разбивает породу на элементы размером в до 1 см в поперечнике (и менее). Кливаж связывается со складчатостью угленосных толщ. В слоистых породах угленосных толщ обычно содержится большое количество мелких трещин, значительно ухудшающих свойства массива. Эти трещины связаны с «течением» пород в твердом состоянии вдоль параллельных плоскостей. При этом возникает параллельная ориентировка плоских и удлиненных минералов. Порода приобретает свойства мелкой делимости, даже сыплется. Существует три вида течения (рис. 20): 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).



*Рис. 20.* Механизм образования мелкой трещиноватости (кливажа):  
 а – кливаж течения; б – кливаж разлома; в – кливаж скалывания; 1 – параллельная ориентировка зерен минералов; 2 – разупорядоченная ориентировка зерен минералов; 3 – упорядоченная ориентировка зерен минералов

Обычно наиболее выражен так называемый кливаж осевой плоскости. Он ориентирован параллельно осевым плоскостям складок, генетически отвечает трещинам сплющивания и развивается в плоскости  $AB$  главных осей деформации (рис. 21, 22).

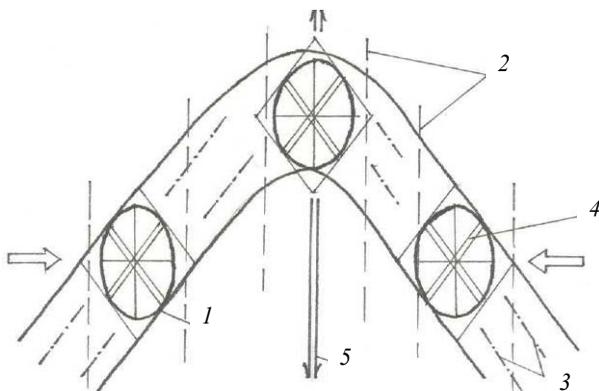


Рис. 21. Кливаж осевой плоскости (генетически отвечает трещинам сплющивания):

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

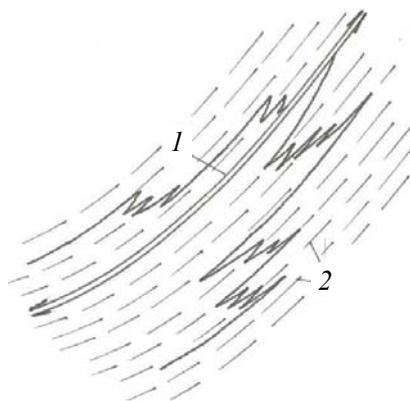


Рис. 22. Кливаж осевой плоскости в сложноскладчатой толще:

1 – осевая плоскость; 2 – трещины кливажа осевой плоскости

Таковы основные генетические типы трещин. При инженерно-геологическом изучении трещиноватости скальных и полускальных горных пород необходимо уделять большое внимание следующим основным вопросам.

1) пространственному расположению трещин, т. е. их ориентировке с целью выяснения господствующих систем трещин, ориентировке поверхностей и зон ослабления и, следовательно, пространственной неоднородности (анизотропии) пород на том или ином участке;

2) морфологии трещин и систем трещин для установления их генетических типов и выделения локальных и региональных трещин;

3) определению степени трещиноватости пород с целью количественной оценки их раздробленности – разрушенности, выделения участков и зон, различающихся по степени трещиноватости;

4) оценке влияния трещин и систем трещин как поверхностей и зон ослабления на прочность, деформируемость, устойчивость и водопроницаемость пород и их анизотропность в этом отношении; оценке их влияния на устойчивость местности и проектируемых сооружений.

5) определению региональной методики разведочных и опытных работ при инженерно-геологических изысканиях и исследованиях для выявления анизотропии и дирекционности физико-механические свойств горных пород в зависимости от ориентировки их трещиноватости.

### 3. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

При изучении ориентировки трещин на том или ином участке, например на участке предполагаемого расположения сооружений или на уже выбранном для их размещения участке, прежде всего необходимо определить элементы залегания горных пород – ориентировку их слоистости, сланцеватости, волокнистости и других текстурных особенностей. Затем произвести массовые замеры элементов залегания плоскостей трещин (200–300–500 замеров на каждом участке). Измеряют и записывают обязательно все три элемента ориентировки плоскостей трещин – азимуты простирания и падения и угол падения. Азимут простирания для удобства последующей обработки результатов наблюдений лучше измерять только в северных румбах.

После этого производят систематизацию результатов наблюдений, т. е. выявляют ориентировку наиболее часто повторяющихся азимутов простирания и падения трещин, ориентировку господствующих систем трещин. Для каждой системы трещин определяют наиболее часто встречающиеся углы падения или пределы их изменений. При такой систематизации данных наблюдений необходимо строго руководствоваться правилом геологической однородности участков в петрографическом и структурно-тектоническом отношениях. Это значит, что систематизацию данных надо производить отдельно для приконтактной части интрузии и ее центральной части и т. д.

Для наглядности систематизацию ориентировки трещин обычно сопровождают графическими построениями – розами, диаграммами и картами трещиноватости. Розами трещин выражают один элемент ориентировки трещин – азимут простирания или азимут падения (рис. 23).

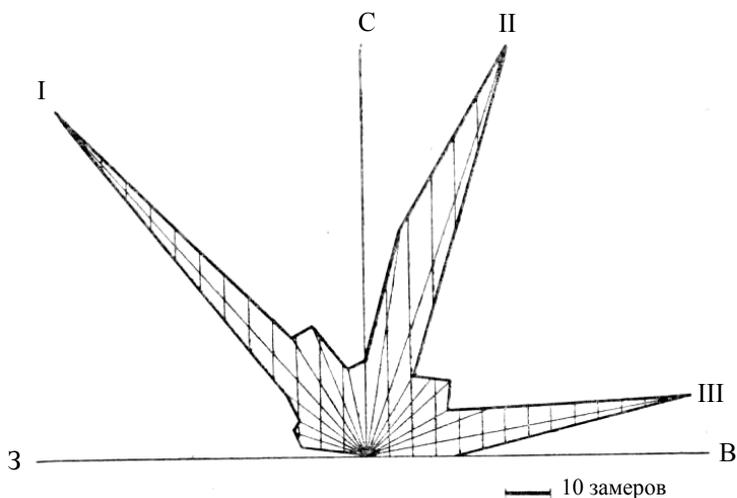


Рис. 23. Роза трещин. Системы трещин:  
 I – аз.пр. СЗ 320°; II – аз.пр. СВ 20°; III – аз.пр. СВ 80°

Они дают представление о господствующих направлениях простирания или падения трещин. На диаграммах показывают два элемента ориентировки трещин – азимут простирания и угол падения; их строят либо в виде круговой точечной диаграммы (рис. 24), либо в виде круговой диаграммы в изолиниях (рис. 25).

На первой из них каждый замер изображается точкой на специально подготовленной сетке. Число точек на диаграмме соответствует числу произведенных замеров трещин. Концентрация точек в какой-то части диаграммы позволяет выделить определенные системы трещин с близкими элементами ориентировки.

Способ построения таких диаграмм очень прост, но они имеют некоторые недостатки. Площади ячеек сетки различны, поэтому концентрация точек в той или иной части диаграммы неточно выражает господствующую систему трещин. Кроме того, точечные диаграммы, основанные на различном количестве

наблюдений, несопоставимы между собой. Чтобы они были сопоставимы, концентрация точек на единице площади должна быть выражена не в абсолютных, а в относительных величинах.

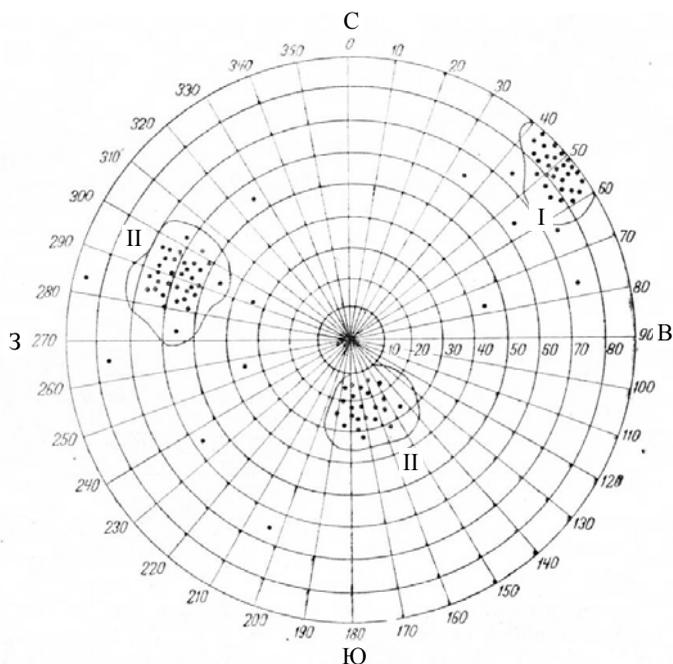
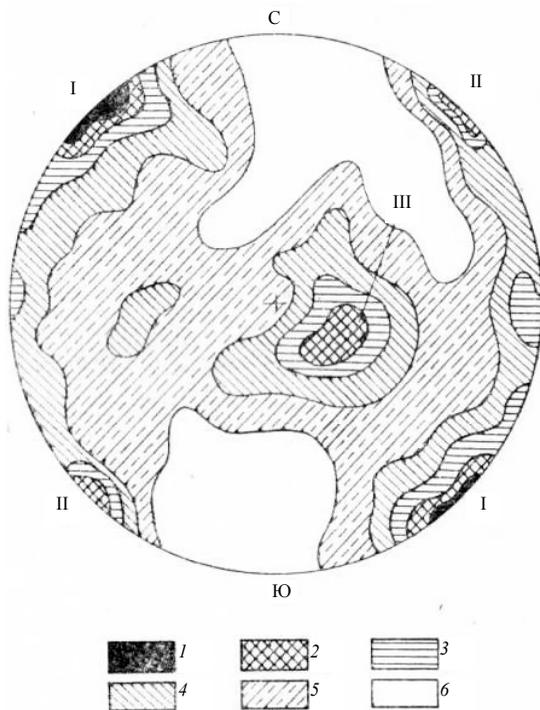


Рис. 24. Диаграмма трещиноватости. Системы трещин:

I – аз.пад. СВ  $50^\circ$ ,  $\angle$   $80-9^\circ$ ; II – аз.пад. СЗ  $290^\circ$ ,  $\angle$   $55-65^\circ$ ; III – аз.пад. ЮВ  $170^\circ$ ,  $\angle$   $15-30^\circ$

В целях устранения отмеченных недостатков точечных диаграмм и более детального выявления распределения трещиноватости для обработки результатов наблюдений применяют круговую диаграмму в изолиниях. На такой диаграмме замеры трещин (азимут простирания и угол падения) показывают точками на специальной равноплощадной сетке Вальтера – Шмидта. На этой сетке сохраняется равенство площадей в любой части сетки между меридианами и параллелями за счет некоторого

искажения углов. В результате нанесения всех точек получается точечная диаграмма. С помощью специальных шаблонов подсчитывают число точек в каждой клеточке площади сетки и выражают его в процентах от общего числа замеров.



*Рис. 25.* Диаграмма трещиноватости в изолиниях. Система трещин: I – вертикальные, аз.пр. СВ 50°; II – вертикальные, аз.пр. ЮВ 130°; III – наклонные, аз.пр. СВ 25°, аз.пад. ЮВ  $\perp$  20°. Число точек от общего числа замеров (%): 1 – 6–5; 2 – 5–4; 3 – 4–3; 4 – 3–2; 5 – 2–1; 6 – 1–0

Таким образом, сетка покрывается цифрами, расположенными в центре ее ячеек. Затем проводят изолинии так же, как горизонтали при построении топографических карт. Эти изолинии разграничивают площади с различной концентрацией точек.

Если на том или ином участке имеются определенные системы трещин, на диаграмме выявляются максимумы, если таковых нет, то изолинии расплывчато, равномерно покрывают поле диаграммы. Достоинством таких диаграмм является наглядность пространственного расположения (ориентировки) трещин на исследуемом участке, возможность сопоставления, систематизация трещин различных участков и районов. Имеются и другие приемы построения графиков и диаграмм трещин, но при инженерно-геологических исследованиях наиболее часто применяются перечисленные.

Очень полезным способом обработки результатов наблюдений над трещиноватостью является составление специальных карт. Одна из таких карт приведена на рис. 26.

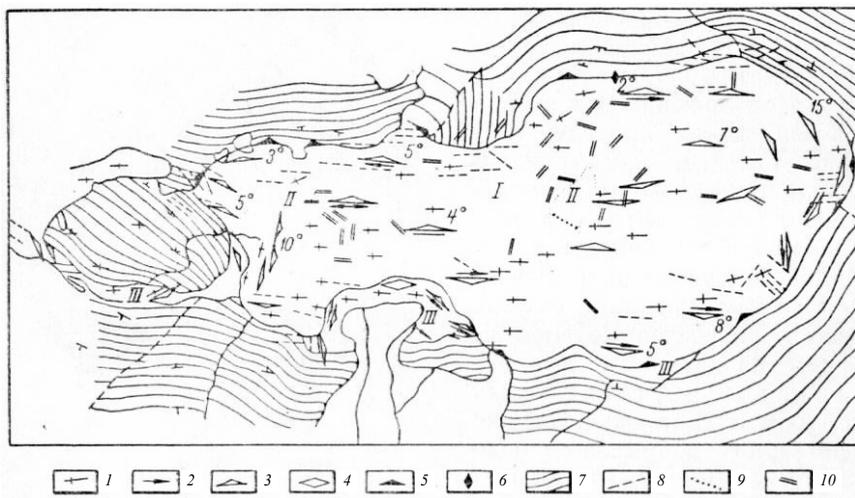


Рис. 26. Карта трещиноватости (по Т.В. Плотниковой):

1 – поперечные трещины; 2 – продольные трещины; 3 – полосы течения наклонные; 4 – полосы течения горизонтальные; 5 – наклон контактной поверхности; 6 – вертикальный контакт; 7 – простирающие вмещающие породы; 8–10 – жильные породы; I, II, III – породы различных фаз интрузии

При изучении морфологии отдельных трещин и систем в первую очередь обращают внимание на их размещение в плане (одиночные они или образуют группы параллельных, пересекающихся трещин, равномерно или неравномерно распространенных в массиве, имеются ли зоны повышенной раздробленности горных пород), а также на длину и прерывистость. Выделяют трещины главных направлений и оперяющие. Определяют размеры и форму образующихся отдельностей, изменение расположения трещин в зависимости от состава пород, мощности слоев, сопряженность трещин с текстурными особенностями пород, положением складок и других тектонических нарушений, зон милонитизации и брекчирования. Затем устанавливают степень открытости трещин (скрытые, закрытые – «волосные», открытые – зияющие), определяют их ширину и ее изменение по простиранию и с глубиной, характер поверхностей плоскостей трещин (гладкие, ровные, со следами и бороздами скольжения или неровные, бугристые и т. д.), наличие на плоскостях трещин натеков, налетов, разводов. Определяют степень заполненности трещин и состав заполнителя. Изучают, как изменяются породы вблизи трещин, какова водоносность пород по трещинам, интенсивность и характер различных водопроявлений; какими явлениями сопровождается трещиноватость и какие явления ею предопределены – выветривание, коррозионные явления, подвижки отдельных блоков или массивов, просадки, провалы, обвалы и вывалы, отслаивание и стреляние и т. д.

При наличии трещин можно установить их генетические типы, дать качественную оценку степени нарушенности и устойчивости горных пород, а также установить возможное локальное или региональное влияние их на физико-механические свойства пород, условия строительства проектируемых сооружений, устойчивость местности и развитие геологических процессов. При инженерно-геологических исследованиях кроме качественной характеристики трещиноватости очень важно также давать ее количественную оценку. Количественная

характеристика трещиноватости, т. е. ее степени нарушенности сплошности, монолитности горных пород в массиве, сопряжена с известными трудностями. Поэтому в большинстве случаев ограничиваются сравнительной количественной оценкой степени трещиноватости пород, выделением зон и участков, отличающихся разными степенями трещиноватости, и особенно повышенной и высокой трещиноватостью.

Такой подход к изучению трещиноватости, несомненно, имеет большое значение, особенно на предварительных этапах исследований – при выборе района или участка расположения сооружений, компоновке сооружений на выбранном участке и т. д. Однако для окончательного решения многих инженерных задач, особенно на стадии детальных исследований, необходимо иметь более точные представления о степени трещиноватости горных пород, например, при определении глубины врезки фундаментов сооружений, зоны съема разрушенных пород, глубины и расположения цементационных завес, искусственного уплотнения пород основания сооружений, величины возможных осадок сооружений и решении других вопросов. Поэтому при инженерно-геологических исследованиях необходимо более точно оценивать трещиноватость пород и выполнять для этого специальные исследования: проходить штольни, шахты, скважины большого диаметра, производить различные опытные работы.

При изучении горных пород в естественных обнажениях или в горных выработках – шурфах, штольнях, шахтах – о степени трещиноватости пород можно судить на основе определения числа трещин на один погонный метр высоты или длины обнаженной поверхности пород, т. е. модули трещиноватости. В соответствии с этим рекомендуется различать:

а) зоны или участки сильной трещиноватости, когда наблюдается в среднем 5–8 явно выраженных трещин на 1 пог. м. высоты или длины обнаженной поверхности пород (т. е. зоны с большой густотой трещин);

б) зоны или участка средней трещиноватости, когда наблюдаются 2–3 явно выраженные трещины (средняя густота трещин);

в) зоны или участки слаботрещиноватые, когда наблюдаются 1–2 трещины на 2–3 пог. м. обнаженной поверхности пород (редкие трещины);

г) зоны или участки нетрещиноватые (монолитные), когда явно выраженных трещин не наблюдается.

Естественно, что число обнаруженных трещин в обнажении или в стенке выработки зависит от ориентировки трещин. Если трещины вертикальные и простираются параллельно стенке обнажения, они не будут обнаружены, и, наоборот, если они ориентированы перпендикулярно к стенке обнажения, число их будет определяться точнее. Следовательно, истинное число трещин данного направления  $u$  может отличаться от подсчитанного в обнажении  $n$ , что зависит от угла отклонения простирающейся плоскости трещин от простирающейся поверхности обнажения  $\alpha$ . Поэтому для того, чтобы точнее определить число трещин на том или ином участке, вводят поправку на фактически подсчитанное их число:

$$u = \frac{n}{\sin \alpha} \text{ при } \alpha > 0.$$

Вводить такую поправку целесообразно, если плоскости трещин и обнажения вертикальные. Когда они наклонные, положение усложняется, и возникает необходимость учитывать также азимуты и углы падения плоскостей трещин и обнажения.

Представление о степени трещиноватости горных пород дает также определение «свободной профили» пород (Ф.П. Саваренский, 1935), т. е. отношения площади свободного пространства  $s$ , занимаемого трещинами, к площади поверхности пород  $S$ , в пределах которой зарисовываются и измеряются трещины (рис. 27).

Этот показатель степени трещиноватости пород называют коэффициентом трещинной пустотности  $K_{тр}$ , %

$$K_{тр} = \frac{S}{S} 100.$$

Л.И. Нейштадт (1957), пользуясь этим показателем, предложила следующую классификацию пород по степени трещиноватости.

1. Породы трещиноватые ( $K_{тр} < 2\%$ ). Наблюдаются трещины волосные и шириной менее 1 мм. Встречаются единичные трещины шириной до 2 мм. Трещины большей ширины отсутствуют.

2. Породы среднетрещиноватые ( $K_{тр}$  – от 2 до 5 %). Наряду с трещинами шириной до 1 мм имеют место трещины шириной от 2 до 5 мм и единичные шириной от 5 до 20 мм.

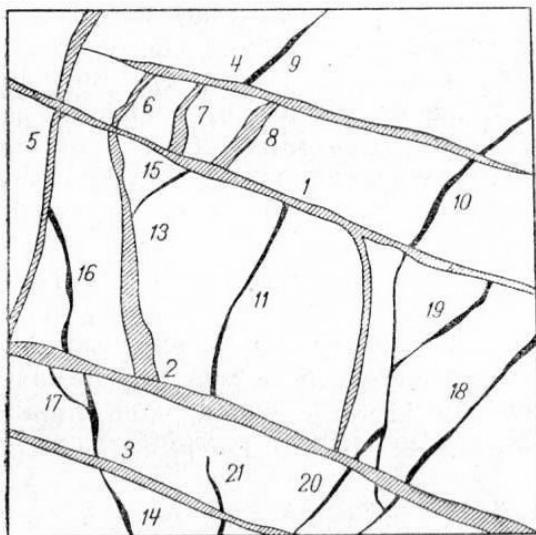


Рис. 27. Зарисовка расположения трещин в обнажении для подсчёта трещинной пустотности

3. Породы сильнотрещиноватые ( $K_{тр}$  – от 5 до 10 %). Наряду с трещинами шириной 5 мм наблюдаются трещины шириной от 20 до 100 мм.

4. Породы очень сильно трещиноватые ( $K_{тр}$  – от 10 до 20 %) и исключительно сильно трещиноватые ( $K_{тр} < 20$  %). Наряду с трещинами шириной до 5 мм присутствуют трещины шириной от 10 до 100 мм и более. При проходке разведочных шурфов и скважин большого диаметра для установления состояния пород в основании будущих сооружений важно определять суммарную мощность (ширину) трещин на каждый погонный метр вскрываемого разреза. Как показывает практика, под нагрузкой от сооружений в пределах активной зоны основания трещины смыкаются, и общая осадка сооружений приближается к суммарной мощности трещин. Поэтому такие наблюдения важны для прогноза возможных осадков сооружений и их равномерности.

При инженерно-геологических исследованиях самым распространенным видом разведочного бурения по скальным и полускальным породам является колонковый. При таком способе бурения о степени трещиноватости пород можно судить на основании следующих данных:

1) учета процента выхода керна; при прочих равных условиях состава, режима бурения и др. чем более монолитны породы, чем менее трещиноваты, тем выше выход керна;

2) подсчета числа трещин на каждый погонный метр керна, т. е. на основе определения модуля трещиноватости;

3) наблюдений за проскоками снаряда при пересечении им трещин, каверн и пустот. Необходимо точно фиксировать глубину, на которой произошел проскок, и его величину, свидетельствующие о наличии открытых (зияющих) трещин и пустот. Для обнаружения последующих по вертикальному разрезу, вскрытому скважиной, полезно применение каверномера. Измерение каверномером производится при подъеме прибора после раскрытия упругих рычагов, упирающихся в стенки скважины.

В результате произведенных измерений получают кривую изменения диаметра скважины с глубиной, на которой фиксируется положение открытых зияющих трещин и пустот или зон резкого увеличения диаметра скважины вследствие повышенной раздробленности пород;

4) наблюдений за расходом промывочной жидкости, по величине которого в процессе бурения скважины можно выделить зоны различной трещиноватости пород;

5) осмотра и фотографирования стенок скважин с помощью специальных приборов и телевизионных установок (фотокаротаж);

6) измерения плотности пород на разных глубинах в скважине. Так как плотность пород в известной степени зависит от их трещиноватости, о последней косвенно можно судить по плотности. Для этих целей применим гамма-гамма-каротаж. Он является одним из методов радиоактивного каротажа, основанного на зависимости рассеянного гамма-излучения от плотности пород. Диаграмма гамма-гамма-каротажа показывает изменения рассеянного гамма-излучения в процессе перемещения каротажного зонда по скважине. Это позволяет получить представление об изменении плотности пород, следовательно, об их раздробленности и трещиноватости;

7) наблюдений за режимом бурения. В породах трещиноватых, раздробленных условия бурения обычно более тяжелые (большой расход промывочной жидкости, вместе с водой вносятся в трещины шлам, наблюдаются вывалы обломков пород, иногда заклинка снаряда). Все это вызывает необходимость вести бурение на малых скоростях, укороченными рейсами, производить частые подъемы снаряда, а при дробовом бурении наблюдается повышенный расход дробы.

Таким образом, если при колонковом бурении проводить весь комплекс перечисленных наблюдений, можно получить очень важные сведения о степени трещиноватости пород и на

геологических разрезах выделить зоны, отличающиеся по степени трещиноватости.

Сравнительная оценка степени трещиноватости скальных и полускальных горных пород может производиться также по результатам специальных опытных работ – опытных нагнетаний и наливов воды в скважины и горные выработки и опытных откачек воды из скважин или горных выработок, если породы водоносны. Водопроницаемость и водообильность скальных горных пород определяются главным образом их трещиноватостью или закарстованностью (доломиты, известняки). Поэтому, если, например, в скважину, вскрывшую такие породы, нагнетать воду и определять водопоглощение, можно косвенно судить об их трещиноватости. Точно так же, если из скважины, вскрывшей водоносные породы, откачивать воду, то их водообильность и водопроницаемость также косвенно будут характеризовать степень трещиноватости. Специальные опытные работы для сравнительной оценки трещиноватости горных пород и основы на определении их водопоглощения, водопроницаемости и водообильности. Мерой поглощения и водопроницаемости горных пород служат удельное водопоглощение и коэффициент фильтрации). Пользуясь этими показателями, их можно классифицировать по степени трещиноватости (табл. 1).

*Таблица 1*

**Примерное подразделение горных пород по степени водопроницаемости и трещиноватости**

Характеристика горных пород	Коэффициент фильтрации, м/сут	Удельное водопоглощение, л/мин
Практически водоупорные, нетрещиноватые	<0,01	<0,005
Очень слабоводопроницаемые и слаботрещиноватые	<0,01–0,1	0,005–0,05
Слабоводопроницаемые и слаботрещиноватые	0,1–10	0,05–5

Характеристика горных пород	Коэффициент фильтрации, м/сут	Удельное водопоглощение, л/мин
Водопроницаемые, трещиноватые	10–30	5–15
Сильноводопроницаемые, сильнотрещиноватые	30–100	15–50
Очень сильно водопроницаемые и сильнотрещиноватые	>100	>50

Оценка влияния трещин и систем трещин как поверхностей и зон ослабления на устойчивость местности и проектируемых сооружений является важнейшим этапом обобщения инженерно-геологического изучения трещиноватости скальных и полускальных горных пород. В результате такого обобщения на начальных стадиях исследований должны быть выделены площадки, участки, зоны, отличающиеся по степени трещиноватости. Это необходимо для выбора района возможного расположения сооружений, расположения их в районе, для рационального размещения (компоновки) сооружений на строительной площадке. Выделение участков, различающихся по степени трещиноватости, помогает прогнозировать развитие геологических процессов и явлений, угрожающих устойчивости местности и проектируемых сооружений.

На последующих стадиях исследований изучают закономерности изменений прочности пород, их деформируемости, устойчивости и водопроницаемости в зависимости от ориентировки трещин и степени трещиноватости в пределах той или иной зоны, участка, площадки, в том или ином направлении. Выясняют влияние всех этих изменений на устойчивость местности и сооружений. Оценка влияния трещиноватости на физико-механические свойства горных пород на этих стадиях исследований должна быть главным образом количественной, т. е. характеризоваться цифровыми показателями свойств пород (прочности,

деформируемости, водопроницаемости, скорости распространения упругих волн и т. д.), графиками зависимости их изменения от ориентировки поверхностей и зон ослабления и т. д. На геологических разрезах и картах должно быть показано точное расположение поверхностей и зон ослабления, созданных трещинами, системами и зонами трещин. Только такие геологические разрезы и карты могут быть использованы как реальные расчетные схемы для количественных прогнозов развития геологических процессов, устойчивости склонов, бортов карьеров, подземных выработок, построения расчетных моделей и т. д.

Для правильной оценки влияния трещиноватости пород на их свойства последние необходимо изучать и оценивать по простиранию и падению поверхностей и зон ослабления, по характерным направлениям или сечениям. Например, если горная порода будет служить естественным основанием какого-либо здания, наибольший интерес будут представлять горизонтальные или полого-падающие трещины, а деформационные свойства – по вертикальной оси, т. к. сжимающие силы от здания будут действовать в этом направлении. При проектировании плотины деформационные свойства пород, являющихся ее основанием, необходимо изучать и оценивать также в направлении, перпендикулярном к простиранию горизонтальных или пологопадающих трещин (по вертикальной оси), а прочностные (сопротивление сдвигу) и фильтрационные (водопроницаемость) свойства – в направлении вниз по течению реки, т. е. в направлении действия сдвигающих сил (напора воды) со стороны верхнего бьефа, в направлении гидравлического уклона – перепада напоров. При оценке устойчивости склона речной долины или борта карьера наибольший интерес будут представлять прочностные и фильтрационные свойства пород по поверхностям и зонам ослабления, имеющим падение в сторону речной долины или карьера.

При оценке влияния трещиноватости на изменение свойств пород их следует изучать и оценивать по характерным направлениям и сечениям, т. е. определять «дирекционные» характе-

ристики свойств пород. Это позволяет выяснить как неоднородность свойств пород (изменения от точки к точке), так и их анизотропность (изменение в разных направлениях).

Важной характеристикой влияния трещиноватости пород на их свойства является показатель ослабления их прочности или изменения других свойств, например, скорости распространения упругих волн, водопроницаемости и др. Он равен отношению прочности пород (или скорости распространения продольных волн и др.) в массиве  $C_m$  к прочности пород в образце  $C_{об}$ , т. е.

$$K_{осл} = \frac{C_m}{C_{об}}.$$

Величина этого показателя у пород монолитных, слаботрещиноватых и по направлениям, не совпадающим с направлением поверхностей и зон ослабления, измеряется десятками долями единицы, а у пород с повышенной трещиноватостью либо по направлениям трещин – сотыми и тысячными долями единицы (Н.Н. Куваев, 1964). Величина этого показателя зависит от отношения размеров (объемного –  $V$  и  $v$  или линейного –  $L$  и  $l$ ) исследуемого массива к размеру образца.

Ряд исследователей (И.А. Турчанинов и др., 1963; Н.Н. Куваев, 1964; Б.В. Гусев, 1965) отмечают, что чем меньше трещиноватость пород и, следовательно, чем крупнее отдельности, образуемые трещинами, тем более неоднородны и анизотропны свойства пород в массиве; чем больше трещиноватость и мельче отдельности пород, тем однороднее они в массиве. Такой массив можно назвать квазиоднородным и квазиизотропным.

Условная однородность и изотропность начинают проявляться при отношении размера исследуемого массива к размеру отдельностей, равном 10–20 и более, т. е. когда

$$\frac{L}{l} \quad \text{или} \quad \frac{V}{v} \geq 10 - 20.$$

Это отношение является как бы критерием квазиоднородности-квазиизотропности пород (рис. 28).

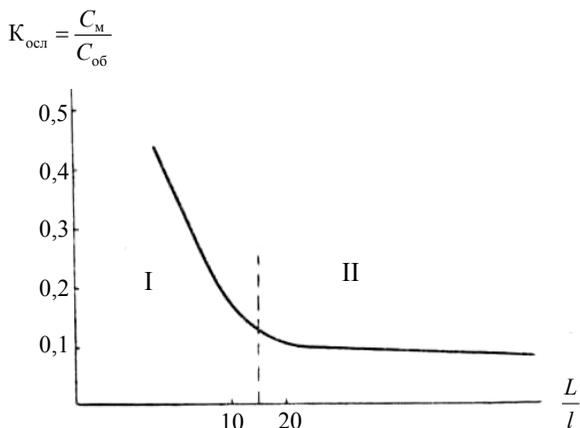


Рис. 28. Схематический график, показывающий влияние трещиноватости пород на изменение показателя их прочности:

I – область анизотропности свойств пород; II – область квазиизотропности свойств пород;  $L$  – линейный размер массива, в пределах которого измерены трещины;  $l$  – линейный размер образца, отдельности, образованной трещинами

Оценка влияния трещин и систем трещин на устойчивость местности и проектируемых сооружений должна завершаться обоснованием инженерных мероприятий, необходимых для локализации или устранения вредного влияния трещиноватости. Для этого применяют различные виды искусственного уплотнения и укрепления пород (цементация, глинизация, битумизация), устраивают противофильтрационные завесы, дренажи, а также вводят различные конструктивные мероприятия, обеспечивающие большую устойчивость сооружения.

Из приведенного выше следует, что при изучении скальных и полускальных горных пород большое внимание необходимо уделять выбору рациональной методики всех геологиче-

ских работ (съемке, разведочным и опытными работам и др.) для изучения анизотропии и дирекционности свойств горных пород в зависимости от ориентировки их 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 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. Измеряют 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.

## **4. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИЗОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МАССОВЫХ ЗАМЕРОВ ТРЕЩИН**

При изучении трещиноватости горных пород получается 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.

### **4.1. 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 (рис. 29).

На основании диаграмм делается заключение о количестве систем трещин, приводится характеристика каждой систе-

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

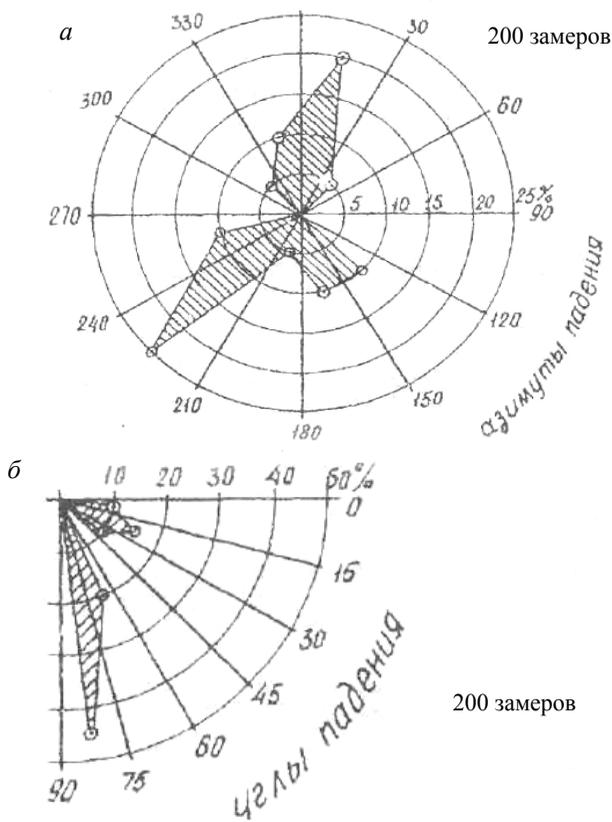


Рис. 29. Роза-диаграмма распределения трещин по азимутам падения (а); роза-диаграмма распределения трещин по углам падения (б)

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

## 4.2. 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 (рис. 30). Для изготовления сетки круг произвольного 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 concentрическим окружностям от центра к периферии (от 0 до 90°).

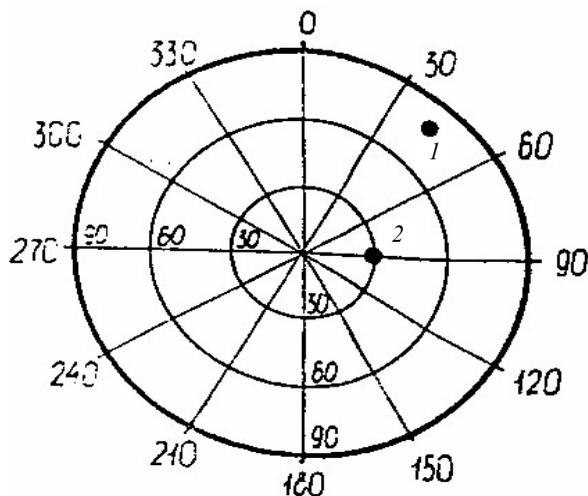


Рис. 30. Полярная азимутальная сетка для построения точечных круговых диаграмм:

1, 2 – трещины на диаграмме; трещина 1 – азимут падения 45°, угол падения 80°; трещина 2 – азимут падения 90°, угол падения 30°

Каждая трещина на диаграмме изображается в виде точки, положение которой определяется азимутом падения и углом па-

дения 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.

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 (рис. 31, а – з), дискретно-системным (рис. 31, д – ж) и хаотично-бессистемным (рис. 31, 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 трещин группируются в отдельные более или менее выраженные скопления (максимумы), которые соответствуют системам трещин. При хаотичном распределении полюса расположены на диаграмме равномерно.

В соответствии с этим выделяют поясовую, системную и бессистемную трещиноватость. Нередко встречаются промежуточные типы диаграмм и трещиноватости.

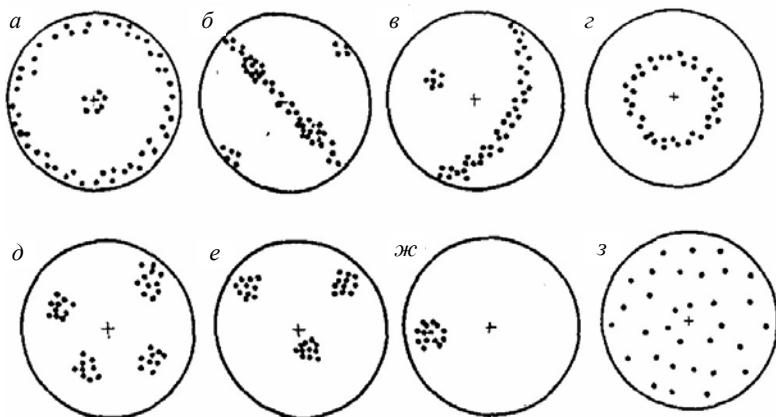


Рис. 31. Диаграммы трещиноватости с поясовым (а – г), дискретно-системным (д – ж) и хаотично-бессистемным (з) распределением полюсов трещин

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 полюсы жил, даек, элементы залегания, слоистости, полосчатости и пр.

Пример описания диаграммы трещиноватости:

1. В пределах рудного поля в песчаниках был проведен массовый замер трещин (50 шт.). Он показан в виде точечной круговой диаграммы, построенной на полярной азимутальной сетке (рис. 32, а).

2. Анализ диаграммы показывает, что полюсы 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 –  $150^\circ$ , угол падения –  $15^\circ$ .

II система трещин образует максимум полюсов трещин 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 –  $5^\circ$ , угол падения –  $75^\circ$ .

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

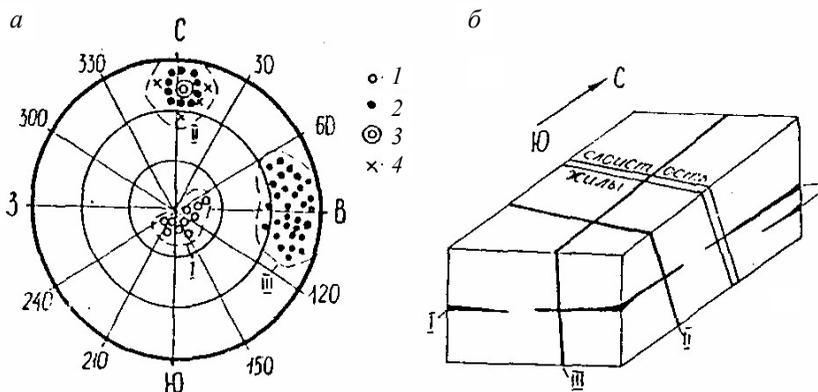


Рис. 32. Трещины в песчаниках рудного поля:

*a* – 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, выделенных на диаграмме трещиноватости (*a*)

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. Рудная минерализация представлена жилами магнетита. На диаграмму (рис. 33, 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 (рис. 33, б).

#### **4.3. 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 (рис. 34). При нанесении данных на равноплощадную сетку последняя рассматривается как проекция верхней полусферы (рис. 33, 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 нор-

малей к плоскостям трещин (рис. 33, б). Таким образом, каждая трещина изобразится на диаграмме точкой (полносом). Диаграмма составляется на листе кальки, который прикладывается к сетке, служащей 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 накалывается на центр трафарета, что обеспечивает вращение кальки.

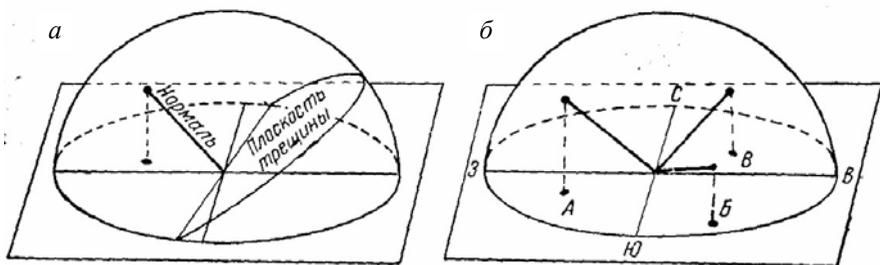


Рис. 33. Схемы, поясняющие способ изображения пространственного положения трещины на сетке равноплощадной проекции: а – построение проекций трещин; б – примерные изображения ориентировок трещин на сетке равноплощадной проекции

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 (рис. 34).

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.  $0^\circ$  под углом  $90^\circ$  и с таким же основанием на юг, т. е.  $180^\circ$  под углом  $90^\circ$ ). Однако наносится только одна точка (любая из двух).

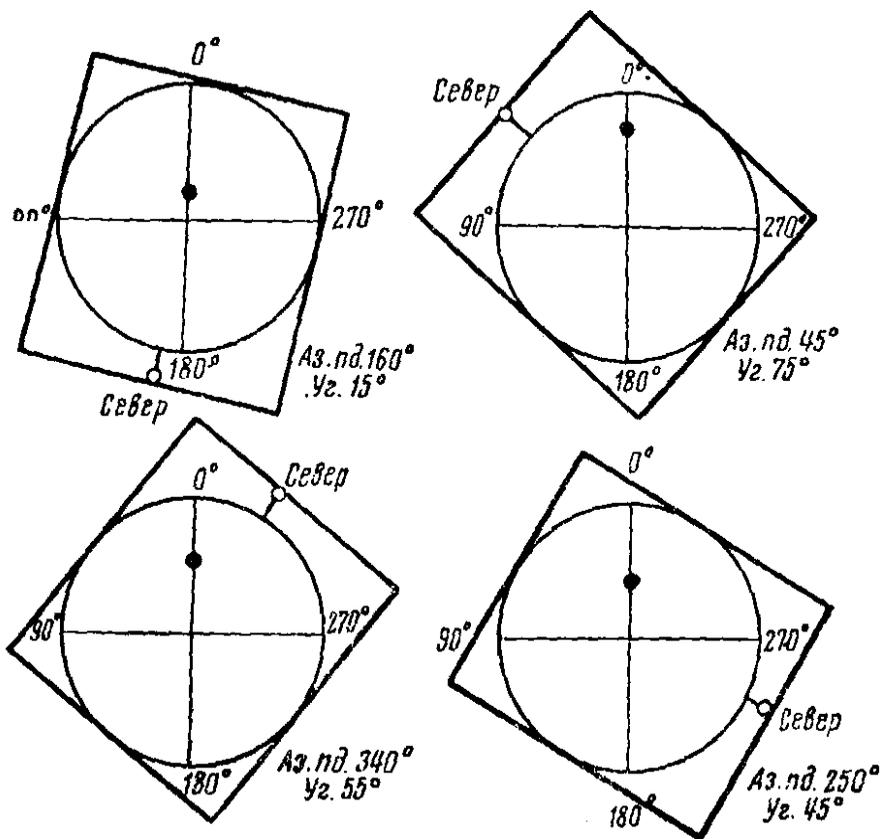


Рис. 34. Схема, поясняющая способ нанесения данных (замеров трещин) на кальку, наложенную на трафарет сетки равноплощадной проекции

В результате нанесения всех замеров данного обнажения получаем точечную диаграмму. Но точечная диаграмма недостаточно наглядная 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 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 (рис. 35, а), подсчитываем количество 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  $0^\circ$  под углом  $90^\circ$  одновременно является трещиной с азимутом падения  $180^\circ$  под углом  $90^\circ$ , 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 (рис. 35, 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.

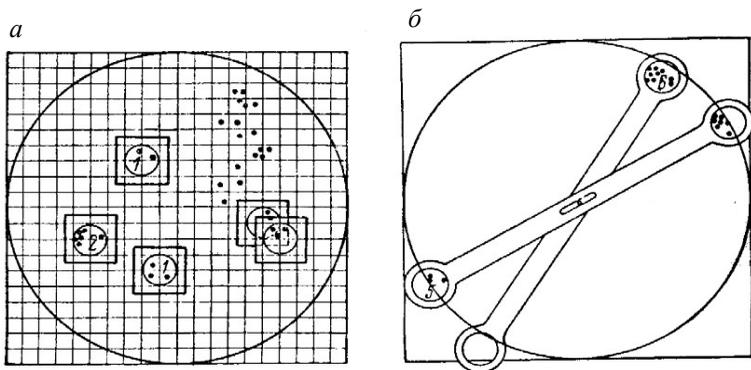


Рис. 35. Обработка точечной диаграммы:

*a* – определение густоты точек; *б* – приспособление для обработки кальки точечной диаграммы в краевых частях

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 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 того, 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 (рис. 36, *a*) и нигде не должны пересекаться. При диаграмме указывается наименование изолиний (рис. 36, *б*) и количество точек, положенных в основу диаграммы.

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

Первая система ориентирована вертикально с азимутами падения  $75-85^\circ$  ( $155-165^\circ$ ). Она залегает вкрест простирания слоистости пород.

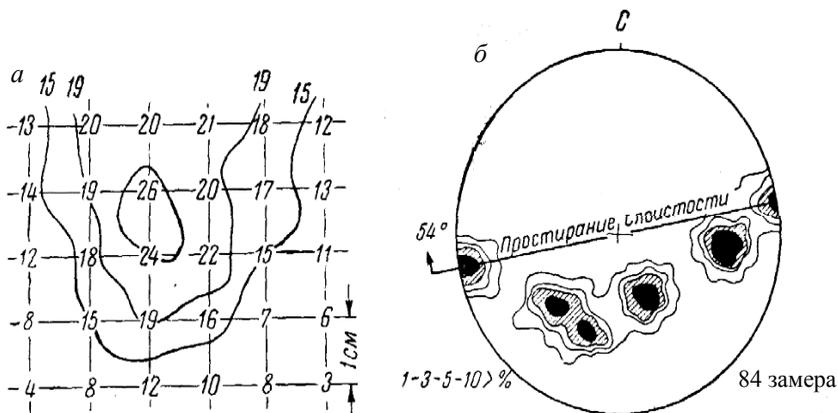


Рис. 36. Обработка диаграммы изолиний равной плотности:  
*а* – способ проведения изолиний; *б* – диаграмма ориентировки трещин с указанием плотностей, которым соответствуют изолинии

Вторая система представлена крутопадающими трещинами с азимутом падения  $85-105^\circ$  и углами падения около  $60^\circ$ .

Третья система – пологие трещины, азимут падения от  $140$  до  $155^\circ$ , углы падения изменяются от  $20$  до  $40^\circ$ .

Четвертая система представлена двумя максимумами (может быть, здесь имеются две пространственно сближенные системы трещин). Их азимуты падения изменяются от  $185$  до  $240^\circ$ , а углы падения колеблются в пределах  $35-55^\circ$ .

## 5. ТРЕЩИНОВАТОСТЬ УГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЗБАССА

Согласно наиболее распространенной терминологии, все трещины в угленосных отложениях Кузбасса разделяются по генезису на тектонические и нетектонические (уплотнения, выветривания и пр.), по расположению относительно наслоения на послойные, нормально секущие и кососекущие. По результатам специальных исследований всем трещинам приписывалось локальное распространение (в пределах пласта или группы пластов), соответственно, происхождение их связывалось с местными деформациями вследствие диагенетического уплотнения осадков или складкообразовательных движений. В последние годы на основе интерпретации детальных гравиметрических и магнитных карт и аэрокосмических снимков на территории бассейна выделено множество разномасштабных линеаментов, группирующихся преимущественно в четыре региональные системы, субмеридиональную, субширотную; субпараллельную оси бассейна (СЗ-ЮВ); перпендикулярную оси (ЮЗ-СВ).

В угленосных отложениях линеаменты проявляются преимущественно в виде зон повышенной трещиноватости, местами сопровождающейся смещениями. По отношению к складчатой структуре выявленная линеаментная сеть в большинстве случаев наложенная. Это свидетельствует о наличии в угленосных отложениях наряду с локальными сквозных региональных систем трещиноватости.

Инъективные дислокации представляют собой нарушения залегания угольных пластов и вмещающих пород под действием базальтовых интрузий: даек и силлов. Основными механизмами инъективных дислокаций являются разрыв и раздвигание слоев по субвертикальным или близким к наслоению поверхностям, прихотливые формы проникновения базальтовой магмы в квазипластичные угли и, наконец, частичная или полная ассимиля-

ция угольного вещества. Кроме магматических внедрений, в юго-восточной части бассейна (Томь-Усинский и Байдаевский районы) известны классические внедрения материала боковых пород в угли по тектоническим трещинам.

Трещиноватость горных пород Кузбасса изучалась рядом исследователей (А.А. Белицкий, И.И. Молчанов, М.В. Мельников, В.Я. Коудельный) и тесным образом связана с тектоническим строением региона. В настоящее время в Кузбассе выделяются в основном две генетические группы трещиноватости:

а) трещиноватость, образованная в процессе уплотнения осадков и колебательных движений под воздействием растягивающих напряжений до складкообразования;

б) трещиноватость, возникающая под воздействием скалывающих напряжений при пластическом деформировании пород во время складкообразования. Завершение формирования данного типа трещин происходит в последующие фазы складкообразования.

К первой группе относятся, как правило, нормальносекущие трещины, ко второй – кососекущие. Нормальносекущая трещиноватость отчетливо выражена в породах Кузбасса независимо от их литологического состава во всех геотектонических зонах. В отличие от вышеописанной кососекущая трещиноватость развита преимущественно вблизи Салаира и Томь-Колыванской складчатой зоны. Нередко данный тип трещин проявляется в виде скольжения и штриховки, являющихся признаками интенсивных движений. Кососекущая трещиноватость отчетливо выражена в углях, которые подвергались наибольшему деформированию при складкообразовательных движениях. Наряду с отмеченными типами трещин в верхних частях разреза широко развиты различным образом ориентированные трещины, образовавшиеся в процессе выветривания горных пород. Последние также оказывают большое влияние на устойчивость бортов карьеров.

## **6. ТРЕЩИНОВАТОСТЬ СКАЛЬНЫХ И ПОЛУСКАЛЬНЫХ ПОРОД И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ**

Трещиноватость скальных и полускальных горных пород является одним из решающих факторов при их инженерно-геологической оценке. Она свойственна скальным и полускальным породам и характеризует результат нарушения их сплошности – механического разрушения. Степень трещиноватости горных пород определяет степень их разрушения, вместе с другими тектоническими нарушениями характеризует структуру массива пород, ее пространственную неоднородность и анизотропность свойств, влияет на прочность и устойчивость пород (деформируемость, водопроницаемость, влагоемкость, сейсмостойкость, твердость, буримость).

Критерием количественной оценки степени трещиноватости выбирают показатели, учитывающие размеры и густоту трещин.

Различают три вида показателей:

- линейные (количество и размеры трещин на единицу длины обнажения, горной выработки, скважины);
- распределенные по площади (количество, размеры и раскрытость трещин на единицу площади);
- объемные (количество, площадь стенок и объем трещин на единицу объема породы).

Наиболее полно трещиноватость проявляется в степени раздробленности керна на столбики и обломки. Показателем раздробленности может служить удельная кусковатость  $K_{уд}$  (число кусков, обломков или столбиков на 1 м выхода керна). Чем выше выход керна, тем достовернее оценка трещиноватости породы по удельной кусковатости керна. Этот показатель отражает истинную трещиноватость породы в массиве и меньше зависит от технологии бурения, чем такой показатель, как выход

керна  $V_k$ . Между удельной кусковатостью керна и основными показателями бурения существует корреляционная связь, коэффициенты которой находятся в пределах 0,71–0,96.

Приблизительно трещиноватость пород можно оценивать по выходу керна, который, однако, не является показателем, характеризующим только трещиноватость породы. Поэтому за основной критерий, позволяющий оценивать степень трещиноватости пород при бурении, принята удельная кусковатость керна, в качестве косвенного – выход керна.

Для более точного определения степени трещиноватости породы (например, при экспериментальных исследованиях) используется еще один дополнительный критерий – показатель трещиноватости породы  $W$ , который вместе с удельной кусковатостью керна позволяет более точно оценивать нарушенность горных пород, их структурные и текстурные особенности:

$$W = D_k K_{уд} \cdot \lambda / \text{tg}\beta,$$

где  $D_k$  – диаметр керна м;  $K_{уд}$  – удельная кусковатость керна, шт/м;  $\lambda$  – опытный коэффициент, учитывающий степень вторичного дробления породы; для расчетов среднее значение этого показателя может быть принято равным 0,7;  $\beta$  – угол встречи плоскости трещины с осью скважины, град.

Применение перечисленных критериев позволяет получить достаточно полную характеристику трещиноватости пород геологического объекта (таблица). От степени трещиноватости зависит правильный выбор системы разработки и параметров буровзрывных работ. В старину трещиноватость оценивали акустическим методом, ударяя по породе молотком и выслушивая полученный звук. С появлением ультразвуковой техники и математических методов обработки результатов ультразвуковых исследований стали применять акустический показатель трещиноватости  $A_1$  – геофизическую характеристику, численно равную

$$A_1 = (C_p/C_{po})^2,$$

где  $C_p$  – скорость распространения продольных упругих волн в массиве, определенная сейсмоакустическим методом;  $C_{po}$  – скорость распространения продольных упругих волн в образцах (отдельностях) из массива, определенная ультразвуковым методом.

### Характеристики трещиноватости скальных массивов

Категория трещиноватости*	Степень трещиноватости (блочности) массивов	Среднее расстояние между естественными трещинами всех систем, м	Модуль трещиноватости, м <sup>-1</sup>	Максимальный размер отдельности (блока) в массиве, м	Акустический показатель трещиноватости $A_1$	Удельное водопоглощение, л/мин
I	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	До 0,1	Более 10	0,6	Менее 0,1	Более 10
II	Сильно трещиноватые (среднеблочные)	0,1–0,5	2–10	0,6–1,2	0,1–0,25	1–10
III	Средне трещиноватые (крупноблочные)	0,5–1,0	1–2	1,2–1,9	0,25–0,4	0,1–1

Категория трещиноватости*	Степень трещиноватости (блочности) массивов	Среднее расстояние между естественными трещинами всех систем, м	Модуль трещиноватости, м <sup>-1</sup>	Максимальный размер отдельности (блока) в массиве, м	Акустический показатель трещиноватости A <sub>1</sub>	Удельное водопоглощение, л/мин
IV	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1,0–1,5	1–0,65	1,9–3,5	0,4–0,6	0,01–0,1
V	Практически монолитные (исключительно крупноблочные)	Свыше 1,5	Менее 0,65	Более 3,5	0,6–1,0	До 0,01

\* Категория по классификации Межведомственной комиссии по взрывному делу.

Наряду с прочностью трещиноватость – главный критерий устойчивости породы, от которой зависит способ отделки и крепления тоннелей и горных выработок. При дроблении породы взрывом от трещиноватости зависит количество энергии, которую необходимо сообщить породе для ее разделения на

блоки нужной величины, а следовательно, количество потребного взрывчатого вещества.

Горные породы всегда обладают трещинами, иногда густо расположенными. Если исключить трещины выветривания, которые часто бывают распределены беспорядочно, то нормальные трещины, свойственные породам и встречающиеся в них на любой глубине, распределены закономерно в телах горных пород, а следовательно, указывают своим расположением на известную закономерность в образовании и в дальнейшей жизни соответствующей толщи.

Поэтому трещиноватость горных пород заслуживает внимания, тем более что эти трещины можно наблюдать в любом обнажении горной породы.

## Контрольные вопросы и задания

1. Что понимается под трещиноватостью пород и какое значение она имеет при оценке инженерно-геологических условий?
2. Чем отличаются трещины отрыва от трещин скалывания?
3. Какова генетическая классификация трещин?
4. Какое влияние оказывают трещины выветривания на состояние и прочность горных пород?
5. Какова геометрическая классификация трещин?
6. В чем заключается механизм образования тектонических трещин?
7. Какова методика построения точечных диаграмм трещиноватости?
8. Перечислите методы изучения трещиноватости.
9. Назовите причины развития диагенетической трещиноватости.
10. Каковы условия образования трещин при геодинамических процессах (оползнях, обвалах, провалах)?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трещиноватость горных пород во многом определяет их поведение и устойчивость в основаниях зданий и сооружений. Изучение трещиноватости пород позволяет осуществлять прогнозную оценку изменения их физико-механических свойств и развитии опасных геологических процессов.

Исключительно большое значение имеют данные по трещиноватости пород при выполнении расчетов устойчивости бортов угольных карьеров на территории Кузнецкого бассейна.

Приведенная в учебном пособии методика изучения трещиноватости может широко применяться при оценке строительства гидротехнических сооружений, горнорудных предприятий, промышленных и гражданских зданий и сооружений.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

1. *Епифанцев, О.Г.* Трещиноватость горных пород. Основы теории и методы изучения: методические рекомендации / О.Г. Епифанцев, Н.С. Плетенчук. – Новокузнецк : СибГИУ, 2008. – 41 с.
2. *Ермолов, В.А.* Геология. Ч. 1. Основы геологии : учебник / В.А. Ермолов, Л.Н. Ларичев, В.В. Мосейкин. – М. : МГУ, 2004. – 599 с.
3. *Ермолов, А.А.* Месторождения полезных ископаемых : учебник / В.А. Ермолов, Л.Н. Ларичев, В.В. Мосейкин. – М. : МГУ, 2003. – 407 с.
4. *Карлович, И.А.* Геология : учебное пособие / И.А. Карлович. – М. : Академический проект, ТРИКСТА, 2005. – 703 с.
5. *Угольная база России.* Т. 2. Угольные бассейны и месторождения западной Сибири. – М. : ООО «Геоинформцентр», 2008. – 586 с.

### Дополнительная литература

1. *Белицкий, А.А.* Классификация тектонических разрывов и геометрические методы их изучения / А.А. Белицкий. – М. : Госгеоллиздат, 1953. – 68 с.
2. *Михайлов, А.Е.* Структурная геология и геологическое картирование : учебник / А.Е. Михайлов. – М. : Недра, 1973. – 432 с.
3. *Невский, В.А.* Трещинная тектоника рудных полей и месторождений : учебник / В.А. Невский. – М. : Недра, 1979. – 224 с.
4. *Рац, М.В.* Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород / М.В. Рац, С.Н. Чернышев. – М. : Недра, 1970. – 164 с.
5. *Ольховатенко, В.Е.* Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Кузнецком угольном бассейне / В.Е. Ольховатенко. – Томск : Изд-во ТГУ, 1976. – 211 с.
6. *Чернышев, С.Н.* Трещины горных пород / С.Н. Чернышев. – М. : Наука, 1983. – 240 с.
7. *Чернышев, С.Н.* Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов / С.Н. Чернышев. – М. : Недра, 1984. – 111 с.

*Учебное издание*

*Валентин Егорович Ольховатенко*

*Галина Ивановна Трофимова*

*Татьяна Владимировна Ожогина*

**МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ  
ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД**

Редактор Т.С. Володина  
Технический редактор А.В. Володина

Подписано в печать 20.10.2015.  
Формат 60×84/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,21. Тираж 100 экз. Зак. № 311.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.  
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.