

Задание на 22.10.2020 г.

Работы на проверку представляем в рукописном сканированном варианте или в Word, затем после получения разрешения, размещаем в личном кабинете, предварительно переводим графику и текст в PDF.

Лекция 5. ЭОЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

5.1. Понятие и общая характеристика

Под **эоловыми процессами** понимают процессы дефляции (лат. deflare – выдувать) и развевания пылеватых и песчаных частиц, их перенос и аккумуляцию под действием ветра, а также корразию (лат. corrāsus – обтачивать), являющуюся следствием абразионной деятельности воздушного потока, переносящего твердые частицы.

Известно, что при скорости ветра в 4 м/с начинается перенос пылеватых частиц, 6.5 м/с – пыли и песчаные частиц диаметром менее 0.25 мм, при 10 м/с – частиц до 1 мм, при 20 м/с – гравия размером 4-5 мм. При 20 м/с ветер срывает крыши с домов, вырывает деревья. При скорости в 25 м/с ветер считается ураганом, Максимальная скорость ветра может достигать 50-60 м/с (или около 200 км/час).

Циклоны, тайфуны, штормы, ураганы, смерчи (торнадо) – прямое следствие деятельности ветра. Например, скорость ветра в торнадо достигает 480 км/час или 133 м/с. Ежегодное количество жертв этого опасного явления в США составляет 60 чел., а материальный ущерб составляет сотни миллионов долларов. Торнадо образуются при столкновении теплых влажных воздушных масс с океана и воздушных масс суши. Перепад давления в воронке атмосферного вихря может достигать 100 миллибар.

По данным Смитсоновского института, с 1947 по 1970 гг. прямыми жертвами процессов, связанных с ветрами на Земле, стало 760 тыс. чел., что сопоставимо с количеством жертв от землетрясений. В инженерной

геодинамике процессы, обусловленные деятельностью ветра (эоловые процессы), рассматриваются только с позиции их воздействия на геосреду.

5.2. Пространственное распространение

Эоловые процессы наиболее распространены в тундре, лесостепных, степных и пустынных районах, к которым в России относятся Прикаспий, южные районы Западной Сибири, Забайкалье, некоторые районы Якутии. Известны периодически дующие ветры, например – Каспийская моряна, фён на Алтае, баргузин на Байкале, Новороссийская бора, при которой половину зимы ветры, дующие с суши на море, имеют скорость до 20-25 м/с.

В Прибайкалье и Забайкалье (Чарской, Баргузинской, Тункинской и других межгорных впадинах) и на аласных поверхностях в Центральной Якутии, сложенных озерными и зандровыми песками, на оголенных участках сформировался типичный пустынный рельеф в виде барханов высотой до 25 м, расположенных перпендикулярно направлению господствующих ветров. Так урочище "Чарские пески" в Чарской впадине имеет длину более 10 км и ширину 3-4 км при высоте барханов до 40-50 м (рис 5.1).

В Верхнеангарской впадине, после начала строительства БАМ, ранее закрепленные лесом пески были оголены, и началось интенсивное развитие эоловых процессов вдоль автодорог. Здесь при сильных ветрах формируются пыльные бури, образуются котловины выдувания, песком заносятся дороги, что требует дополнительных затрат по их очистке от песка [6]. Эти же проблемы характерны и для степной части южного Забайкалья. Незакрепленные пески, образующие дюны, барханы известны в среднем течении р. Онон, в районе пос. Убугуя, мелкие эоловые формы отмечаются в пределах Читино-Ингодинской и Оловской впадин. Здесь высота песчаных дюн составляет 1-3 м, а протяженность по длинной оси 5-10 м [26].



Рис. 5.1. Урочище "Чарские пески"
(на заднем плане хр. Удокан)

В зонах степей дефляция приобретает характер пыльных бурь, которые наблюдаются в отдельные годы и в пределах черноземной полосы России. Черная буря в России и на Украине в 1960 г. привела к тому, что пахотный слой был сдут до глубины 5-12 см. На Северном Кавказе во время пыльных бурь 1969 и 1970 гг. был зафиксирован снос пахотного слоя мощностью до 70 см [36]. В США отмечен унос пахотной земли за один шторм до 300 млн т., при этом 36 млн га пришли в негодность [1].

В Читинской области эоловая деятельность в больших масштабах проявляется в районе г. Борзя, где песчаные бури причиняют значительный ущерб сельскому хозяйству и коммунальному хозяйству, работникам которого приходится убирать большие массы переносимого бурями песка [26]. Длительное время продукты с нерекультивированного хвостохранилища Шерловогорского ГОКа переносились ветром в пос. Шерловая Гора, резко ухудшая экологию населенного пункта. Закрепление пылящих поверхностей значительно уменьшило заносимость поселка.

5.3. Факторы, определяющие процесс

Основной агент эолового процесса – движение воздушных масс. Наиболее благоприятными факторами начала дефляции являются [11]:

- 1) обнаженная выровненная поверхность, сложенная сухими пылеватými супесями или мелкозернистыми песками;
- 2) длительно действующий ветровой поток со скоростями более 4 м/с;
- 3) открытая местность не создающая преград переносу пылеватопесчаных масс;

Ветровой поток – это в примерно в 300 раз более слабый транспортирующий агент, чем любая река, но имеющий гигантские размеры. При ширине 300 – 500 км и скорости более 60 км/ч он переносит в десятки тысяч раз больше обломочного материала. В пыльной буре на высоте до нескольких десятков сантиметров движутся щебень и грубый песок, тонкий песок летит до высоты человеческого роста, пыль до 12 км. Перенос пыли осуществляется на расстояния до 6 тыс. км. Длительность пыльных бурь составляет от 1 часа до 3-5 дней. Ветер при своем движении захватывает мелкий материал, оставляя на месте более крупный. Так формируются каменистые пустыни или гаммады, представляющие собой щебневую пустыню с пустынным загаром. В зависимости от состава пород, подвергающихся **дефляции** и переносимых в воздушном потоке, возможно формирование песчаных, лессовых, глинистых (такыров), солончаковых (шоров), гипсовых пустынь. Расстояние, на которое переносятся взвешенные в воздушном потоке частицы, зависит как от скорости и продолжительности действия ветра, так и от наличия восходящих потоков на пути движения. Пыль пустынь Африки достигает США и Западной Европы. В Забайкалье переносятся значительные массы пыли из пустыни Гоби.

Ускоренное эоловое разрушение горных пород стоит на втором месте по масштабам после эрозии. Так в Сахаре незакрепленные барханные пески занимают более 1 млн км². Особенно интенсивно ускоренная дефляция проявляется на неполивных землях, находящихся в засушливых районах, в

том числе на нерекультивированных хвостохранилищах, отвалах, золоотвалах. Например, золоотвал Читинской ТЭЦ-1 оказывает значительное загрязнение территории города при действии ветров северо-восточного, восточного и юго-восточного направлений.

В сельском хозяйстве выдувание почв в 0.2 мм/г допустимо, так как на такую же величину увеличивается мощность почвенного слоя. Критическая скорость, при которой начинается дефляция почв: черноземы - 5.5 – 8.6 м/с, каштановые почвы – 6.1 – 7.8 м/с, солонцы – 12 м/с. Среднегодовые потери почвы (E) с поля функционально зависят от ряда факторов

$$E=f(I,K,C,L,V),$$

где I – показатель податливости к дефляции;

K – коэффициент шероховатости;

C – показатель климата (зависит от влажности и скорости ветра);

L – показатель длины поля;

V – показатель растительного покрова.

Процесс **корразии** осуществляется в основном песчаными частицами, перемещающихся на небольших высотах до 8-10 м и коррадирующих нижние части скал, образуя ниши, борозды, ячеи. Автор наблюдал, как после песчаной бури, продолжавшейся около 3 дней в юго-восточном Казахстане в октябре 1973 г., прозрачные стекла окон здания конторы совхоза превратились в матовые.

5.4. Механизм процесса

Движение пылеватых и песчаных частиц происходит под силовым воздействием ветра в результате:

- 1) лобового давления;
- 2) при отрицательном перепаде давлений в потоке (отрыв первого рода);
- 3) ударного импульса (отрыв второго рода).

Для оценки расхода перемещенных песчаных масс используется формула 5.1, предложенная Б. Н. Сенкевичем [32].

$$Q = \left[\frac{1}{(1-\nu) \cdot g \cdot \rho_n} \cdot V_{1.0} \right]^n, \quad (5.1.)$$

где Q – твердый расход песка в полосе 1 см за 1 с, г/см²·с;

V – скорость ветра на высоте 1 м, см/с;

ν – кинематический коэффициент вязкости потока воздуха, см²/с;

g – ускорение силы тяжести, см/с²;

ρ_n – плотность грунта, г/см³;

n – показатель распределения частиц по размеру, массе и форме.

Для грунта, содержащего частиц крупнее 0.05 мм 60-70 %

$$n = 2 + \lg(g) + \lg(\rho_n),$$

а если их более 60-70 %, то

$$n = 1 + \lg(g) + \lg(\rho_n).$$

Пылеватые частицы и мелкие пески обычно переносятся во взвешенном состоянии, а крупные песчаные зерна перемещаются по земле прыжками (сальтация) или путем перетекания (соскальзывания) Схема развития бархана или дюны представлена на рис. 5.2.

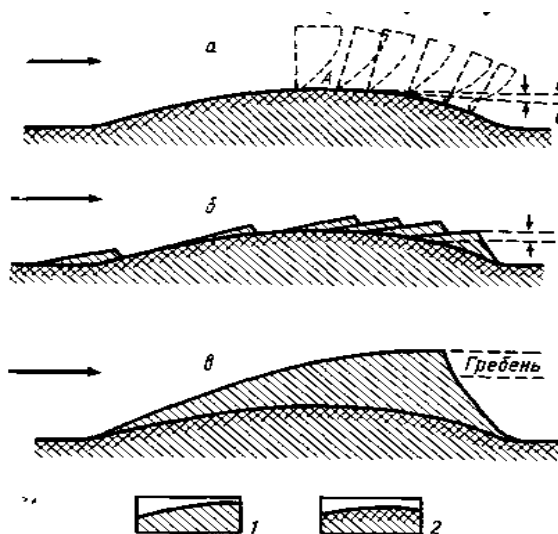


Рис. 5.2. Схема развития песчаной волны [32]:

а – профиль фиксированной полосы (2) и графики скоростей ветра; б – рост песчаной волны (1) за счет песчаной ряби; в – полный профиль песчаной волны

В результате дефляции, переноса и последующей аккумуляции пылевато-песчаного материала формируются эоловые континентальные отложения, представленные песками и лёссами. Эоловые пески образуются в результате перевевания аллювиальных, морских, озерных, элювиальных песков. Для эоловых отложений характерно: размер частиц от 0.05 до 0.25 мм (до 90 %), хорошая окатанность, пустынный загар, лучшая сортированность, наличие устойчивых минералов (кварц), желтый и желтовато-коричневый цвет, косая неправильная слоистость, специфические формы рельефа: барханы, дюны, грядовые и ячеистые пески, бугристые, кучевые. Формы эолового рельефа зависят от режима ветров, динамики атмосферы и ее циркуляции. Мощность песков в пустынях достигает нескольких десятков метров.

Например, барханы образуются в результате резкой потери скорости насыщенного песком воздушного потока на открытых и уплотненных поверхностях. Ветровой режим определяет простирание эоловых форм, колебательный и колебательно-поступательный характер движения. Турбулентный характер движения воздушного потока, внутренние пульсации приводят к образованию характерной песчаной ряби на поверхности бархана. Скорость перемещения барханов достигает 30-40 м/г.

В барханах уровень грунтовых вод находится, как правило, на глубине 20-25 м. Пески их слагающие имеют естественную влажность 2-3 %, близкую к максимальной молекулярной влагоемкости, в верхней части барханов пески сухие [11].

Крупные горные массивы, оказывая большое влияние на вихревые потоки, вызывают аккумуляцию пылеватого материала, переносимого воздушными потоками на большие расстояния, в предгорных частях или на склонах. Здесь формируется особый генетический тип континентальных отложений – лессы, подробная характеристика которых будет дана в главе

"Просадочность лессовых пород".

5.5. Прогноз и методы управления и защиты

При изучении эоловых процессов требуются данные о ветровом режиме за 10-15 лет и более. Оценка опасности ветров для развития эоловых процессов может быть сделана по СНиП 22-01-95 (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Категории опасности эоловых процессов

Показатели, используемые при оценке степени опасности природного процесса (ОПП)	Категории опасности процессов			
	чрезвычайно опасные (катастрофические)	весьма опасные	опасные	умеренно опасные
Ураганы, смерчи				
Площадная пораженность территории, %	20	30	30-70	70-100
Продолжительность проявления, ч	До 1	1-3	3-5	5-10
Скорость перемещения, м/с	700-100	50-70	35-40	25-40
Повторяемость, ед. в год	0,001-0,01	0,01-0,02	0,02-0,05	0,05-0,1

Исходными для развития эоловых процессов являются синоптические процессы в тропосфере. Заблаговременность прогноза определяется видом тропосферного процесса (ураган, шквал, пыльная буря и др.) и обычно не превышает 2-3 сут., а для смерчей (торнадо) возможен только оперативный прогноз по мере возникновения явления.

Для борьбы с песчаными заносами и ветровой эрозией используются различные методы.

1. Агролесомелиорация – закрепление подвижных песков посадками древесной, кустарниковой и травяной растительностью (лесополосы).

При штормовых ветрах дальность защитного действия лесополос

примерно равна 15-40 высотам деревьев [36]. Аккумуляция за счет полос составляет от 30 до 110 м³/м полосы. Расчет окупаемости Затрат O_k на полезационные лесные полосы имеет вид [36]

$$O_k = \frac{K(1+0.12)^t + N_y}{\Pi - (P_3 + A)},$$

где K – затраты на посадку лесных полос и уход за ними;

0.12 – коэффициент приведения численно равный среднему нормативному коэффициенту капиталовложений;

t – время (в годах) нужное для достижения лесополосой заданной высоты;

N_y – потери урожая на площади занятой лесополосой, за t лет;

Π – ежегодная чистая прибыль от прибавки урожая;

P_3 – эксплуатационные расходы;

A – амортизационные отчисления.

Опыт показывает, что лесомелиоративные работы окупаются за 1-3 года [33].

2. Искусственные преграды – установка щитов вдоль железных и автомобильных дорог, препятствующих их засыпанию подвижными песками.

3. Закрепление верхнего слоя движущихся песков битумной эмульсией и другими материалами.

4. Замена верхнего слоя грунта путем добавления торфосодержащих компонентов с последующей вспашкой и лесопосадками.

5. Покрытие пылящих поверхностей (отвалов, хвостохранилищ) крупнообломочными породами.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы способствуют развитию эоловых процессов?
2. Что такое "корразия", "дефляция"?
3. Каковы особенности строения эоловых отложений?
4. Охарактеризуйте мероприятия по борьбе с эоловыми процессами.

5. Как оценивается эффективность агролесомелиорации?
6. Назовите категории опасности эоловых процессов.

Рекомендуемая литература

1. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – Москва: КДУ, 2007. – 440 с.
2. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. – Москва: МГУ, 1983. – 328 с.
3. Иванов И.П. Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – Санкт-Петербург.: Наука, 2001. – 416 с.
4. Сергеев Е.М. Инженерная геология / Е.М. Сергеев. – Москва: МГУ, 1978.– 384 с.
4. Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты / под общ. ред. акад. Е.М. Сергеева. – Москва: Недра, 1985. – 259 с.

Лабораторное занятие

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПОРОД

ЗАДАЧА 1.1

ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ МРАМОРИЗОВАННЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ

Трещиноватость моноклинално залегающих мраморизованных известняков раннекаменноугольного возраста в районе проектируемой высоконапорной плотины изучалась в штольнях 16 и 38, пройденных в левом борту долины, имеющей глубину более 500 м. Замеры элементов залегания, ширины, протяженности и частоты трещин выполнялись на площадках (в стенках штольни), расположенных по длине выработок. Данные по трещиноватости известняков сведены в табл. 1.1 и 1.2. Геологическое строение участка створа плотины и расположение штолен приводится на рис. 1.1.

В результате обработки данных по трещиноватости известняков требуется:

1) составить для каждой штольни: а) лучевые диаграммы трещиноватости по азимутам простирания с учетом углов падения трещин, а также их генетического типа, ширины и частоты; б) розы трещиноватости по азимутам простирания трещин с учетом их частоты и генетического типа; в) диаграмму плотности трещин по способу В. В. Сухоручкина;

2) подсчитать по каждой наблюдательной площадке трещинную пустотность по способу Л. И. Нейштадт и по геофизическим данным оценить прочность породы по корреляционной методике (прил. 4);

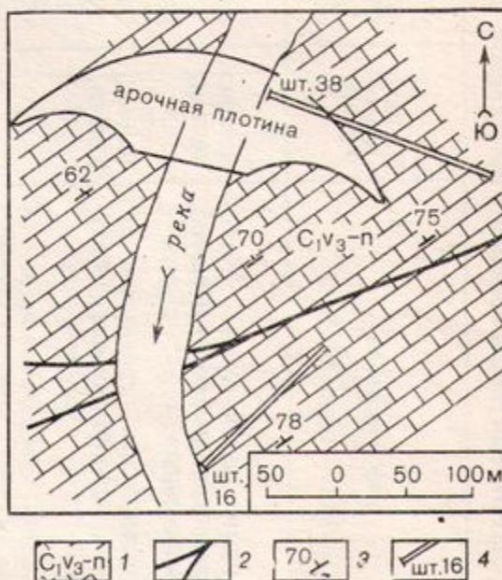


Рис. 1.1. Схематическая геологическая карта долины участка плотины: 1 — известняки мраморизованные, нижнекаменноугольные; 2 — тектонические разломы; 3 — элементы залегания пород; 4 — штольня и ее номер

Характеристика трещиноватости известняков на эталонных площадках

Таблица 1.1

№ штольни, площадки	Высота штольни, м	Интервал проведения наблюдения, дня	Описание пород	Генетический тип трещин	Элементы залегания, град		Число трещин данного направления	Ширина, м · 10 ⁻³	Протяженность, м	Заполнитель
					азимут падения	угол падения				
16, 1	1,8	0—5	известняки светло-серые, толсто-слоистые, крупнокристаллические, мраморизованные	напласт. тектон.	328	66	2	6	4,8	открытые
					59	60	8	15	1,5	»
					135	32	5	13	2,9	кальцит
2		15—20	известняки серые, среднекристаллические, мраморизованные, битуминозные	напласт. тектон.	331	65	5	3	2,9	открытые
					61	58	7	10	1,4	»
					85	80	5	18	1,5	»
					142	27	5	6	1,2	кальцит
					130	66	2	10	2,7	»
					325	60	4	3	5,5	»
3		29—35	известняки серые, среднеслоистые, среднекристаллические, мраморизованные, битуминозные	напласт. тектон.	58	57	2	5	1,2	открытые
					140	62	5	7	4,9	кальцит
					327	59	2	2	4,7	»
					90	85	9	5	1,3	открытые
4		38—43	известняки темно-серые, кристаллические, мраморизованные	тектон.	148	35	7	6	2,4	открытые
					120	73	5	3	4,1	кальцит
					335	65	7	2	5,4	»
					60	61	8	6	1,1	открытые
5		70—76	известняки темно-серые, тонкослоистые, мелкокристаллические, битуминозные	напласт. тектон.	95	72	9	2	1,3	кальцит
					152	25	8	10	2,5	»
					325	62	6	2	3,7	открытые
					61	55	6	5	1,2	»
6		85—89	известняки темно-серые, тонкослоистые, мелкокристаллические, битуминозные	напласт. тектон.	80	75	3	1	1,2	»
					135	35	6	7	2,0	»
					135	70	2	8	3,0	»

7	97—100	известняки светло-серые, толсто-слоистые, крупнокристаллические, мраморизованные	напласт. тектон.	330 100	64 86	2 23	3 11	3,8 1,1	» »
38, 8	0—5	известняки темно-серые, средне-кристаллические, мраморизованные	»	230	62	14	16	2,5	»
9	12—17	известняки темно-серые, средне-кристаллические, среднеслоистые, битуминозные	напласт. тектон. » »	320 220 90 150	65 65 75 31	7 8 6 12	4 9 5 1	2,3 2,1 1,2 1,8	» » » кальцит
10	33—38	известняки серые, крупнокристаллические, мраморизованные	тектон. » »	85 220 145 335 325	64 55 22 65 68	2 10 8 8 15	7 1 6 3 2	0,9 2,6 1,9 2,1 2,1	открытые » кальцит »
11	45—51	известняки темно-серые, средне-кристаллические, тонкослоистые, битуминозные, мраморизованные	тектон. » »	95 230 130	65 54 42	3 9 15	4 2 10	1,1 2,8 1,7	открытые » кальцит
12	66—72	известняки серые, среднекристаллические, среднетонкослоистые, мраморизованные	напласт. тектон. »	340 230 145	65 65 25	9 9 15	3 8 8	2,2 3,2 1,8	» открытые кальцит
13	97—102	известняки светло-серые, средне-кристаллические, мраморизованные	» » »	225 80 140	60 85 33	11 26 18	5 10 7	2,1 0,8 1,5	открытые » кальцит

Примечание. Геологический индекс пород C_1V_3 —п.

Таблица 1.2

Значения скоростей распространения продольных волн, полученные для наблюдательной площадки методом ультразвукового профилирования

№ наблюдательной площадки в штольне	Скорости распространения продольных волн v_p , м/с
1	4930
2	5140
3	5740
4	5580
5	5400
6	5450
7	4630
8	4534
9	5450
10	5850
11	5530
12	4930
13	4630

3) составить карту трещиноватости известняков левого борта ущелья р. Нарына в районе створа плотины;

4) дать инженерно-геологическую оценку направления и интенсивности трещиноватости массива известняков с точки зрения ее влияния на деформируемость и прочность основания, устойчивость склонов на участке примыкания, фильтрационные явления в обход и под плотиной; отметить связь основных систем трещин с залеганием пород и разломами.

ЗАДАЧА 1.2

ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА БАЗАЛЬТОВ

При проведении инженерно-геологической съемки в долине реки глубиной 150 м в районе строящейся плотины получены данные по трещиноватости массива четвертичных андезитобазальтов (табл. 1.3, 1.4).

В результате обработки данных по трещиноватости пород требуется:

1) составить для каждого обнажения: а) лучевые диаграммы трещиноватости по азимутам простирания с учетом углов падения трещин, а также их генетического типа, ширины и характера заполнения; б) розы трещиноватости по азимутам простирания трещин с учетом их генетического типа; в) диаграмму плотности трещин по способу В. В. Сухоручкина;

2) подсчитать на каждом обнажении трещинную пустотность по способу Л. И. Нейштадт и по геофизическим данным оценить прочность пород по корреляционной методике (прил. 4);

3) составить карту трещиноватости андезитобазальтов правого борта долины реки в районе створа плотины;

4) дать инженерно-геологическую оценку направления и интенсивности трещиноватости массива базальтов с точки зрения ее влияния на деформируемость и прочность основания, устойчивость склона на участке примыкания и фильтрационные явления в обход плотины (рис. 1.2).

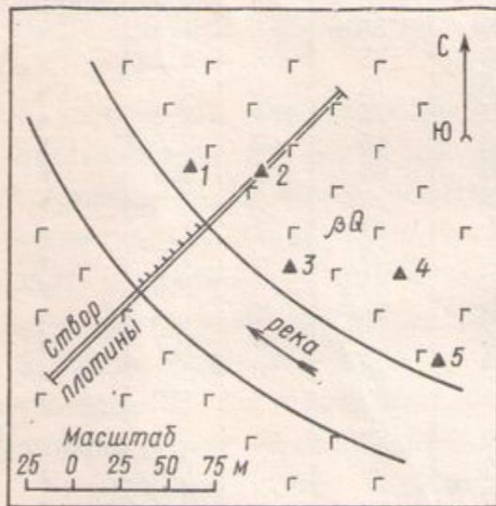
Таблица 1.3

Характеристика трещиноватости эффузивных пород на эталонных площадках

№ обозначения; размеры площадки измерения трещин, м ²	Описание пород	Элементы залегания, град		Ширина, м · 10 ⁻³	Протяженность, м	Заполнитель
		азимут падения	угол падения			
1; 4	андезитобазальты оливковые, серые, плотного сложения, крепкие, со столбчатой отдельностью	248	60	1	0,4	открытые
		240	76	1	0,6	»
		245	80	1	0,5	»
		257	60	3	0,7	»
		260	72	4	0,9	»
		165	89	70	1,7	»
		163	80	30	0,5	»
		155	75	25	0,7	»
		170	85	20	0,9	»
		152	85	10	1,0	»
		168	80	27	0,8	глинистый
		150	89	100	0,4	»
2; 6	андезитобазальты светлосерые, мелкокристаллические, с мелкими порами; образуют вертикальную толстостолбчатую отдельность	255	70	1	0,8	открытые
		250	65	1	1,0	»
		265	85	1	1,0	»
		252	80	3	0,9	»
		172	18	1	2,8	глинистый
		148	81	1	2,7	»
		175	88	1	2,8	открытые
		167	80	1	0,2	»
		177	90	3	0,8	»
		158	80	1	0,9	»
		153	80	5	0,4	»
160	85	8	1,5	глинистый		
4; 4	андезитобазальты, оливковые, серые, плотные, крепкие	135	70	1	2,1	открытые
		140	85	1	1,1	»
		108	75	3	2,1	»
		125	75	5	2,0	»
		127	75	1	2,3	»
		118	55	7	2,5	»
		130	66	3	2,4	»
		115	75	2	2,0	»
		110	82	2	1,4	»
		112	65	4	1,7	»
		210	80	14	1,5	»
		208	75	1	1,4	»
		215	82	5	1,7	»
212	78	10	2,1	»		
205	81	2	1,2	»		
3; 4	базальты, сильноветрелые, трещиноватые, местами разбитые на отдельные глыбы. Поверхности трещин изъедены, покрыты глинистыми налетами	120	87	30	1,0	суглинок
		122	89	25	1,4	»
		128	83	40	0,2	»
		132	76	30	1,2	»
		138	76	2	2,0	»
		134	67	10	0,8	»
		124	68	10	1,0	»
		210	88	28	1,7	суглинок с щебенкой
		215	89	3	2,4	то же
		213	89	32	1,3	»

№ обнажения; размеры площадки измерения трещин, м ²	Описание пород	Элементы залегания, град		Ширина, м · 10 ⁻³	Протяженность, м	Заполнитель
		азимут падения	угол падения			
5; 6	базальты серые, трещиноватые, с правильной столбчатой отдельностью	195	89	40	1,6	суглинок
		185	89	5	1,8	»
		188	88	8	1,9	»
		182	88	40	1,1	»
		190	88	75	1,8	»
		235	87	7	1,5	»
		222	89	100	1,6	суглинок с щебенкой
		220	77	5	1,4	открытые
		230	72	1	2,1	»
		238	85	1	1,7	»
227	86	3	1,2	»		

Примечания. 1. Геологический индекс пород βQ. 2. Генетический тип трещин — трещины остывания.



Γ βQ Γ 1 ▲ 3 2

Рис. 1.2. Схематическая геологическая карта участка створа плотины: 1 — андезитобазальты четвертичные; 2 — обнажение и его номер

Таблица 1.4

Значения скоростей распространения продольных волн, полученные для каждого обнажения методом ультразвукового профилирования

№ обнажения	Скорости распространения продольных волн v_p , м/с
1	4900
2	6000
3	4300
4	5550
5	4650

ЗАДАЧА 1.3

ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ИЗВЕСТНЯКОВ

При проведении инженерно-геологической съемки в районе проектируемой высоконапорной плотины была изучена трещиноватость нижнекаменноугольных известняков, залегающих в бортах долины глубиной 350 м (рис. 1.3). Данные по трещиноватости известняков сведены в табл. 1.5 и 1.6.

В результате обработки данных по трещиноватости известняков требуется:

1) составить для каждого обнажения: а) лучевые диаграммы трещиноватости по азимутам простирания с учетом углов падения трещин, а также их генетического типа, ширины и характера заполнения; б) розы трещиноватости по азимутам прости-

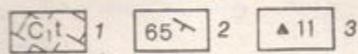
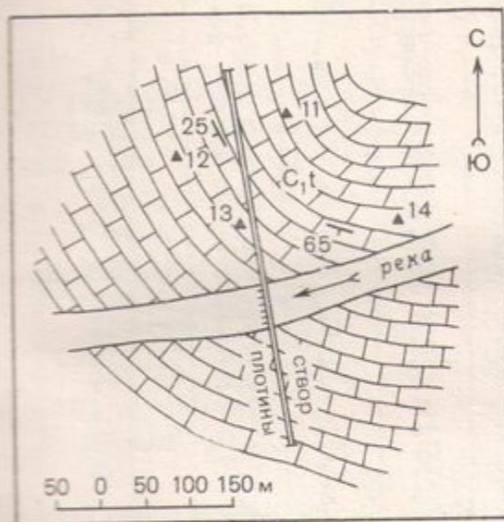


Рис. 1.3. Схематическая геологическая карта участка створа плотины: 1 — известняки турнейского яруса; 2 — элементы залегания пород; 3 — обнажение и его номер

Таблица 1.5

Значения скоростей распространения продольных волн, полученные для каждого обнажения методом ультразвукового профилирования

№ обнажения	Скорость распространения продольных волн v_p , м/с
11	5600
12	5350
13	4500
14	5350

рания трещин с учетом их генетического типа; в) диаграмму плотности трещин по способу В. В. Сухоручкина;

2) подсчитать на каждом обнажении трещинную пустотность по способу Л. И. Нейштадт и по геофизическим данным оценить прочность пород по корреляционной методике (прил. 4);

3) составить карту трещиноватости известняков правого борта ущелья р. Чирчика в районе створа плотины;

4) дать инженерно-геологическую оценку направления и интенсивности трещиноватости массива нижнекаменноугольных известняков с точки зрения ее влияния на деформируемость и прочность основания, устойчивость склона на участке примыкания и фильтрационные явления в обход плотины; отметить связь направления трещиноватости с залеганием пород.

Характеристика трещиноватости известняков на эталонных площадках

№ обнажения размеры площадки измерения трещин, м ²	Описание пород	Генетический тип трещин	Элементы залегания, град		Ширина, м · 10 ⁻³	Протяженность, м	Заполнитель	
			азимут падения	угол падения				
11; 6	известняки серые, с поверхности выветрелые, трещиноватые	напласт.	250	18	75	2,0	карбонатно-глинистый	
			266	24	25	2,0	»	
			255	20	20	2,0	»	
			246	18	15	2,0	»	
			100	76	1	0,7	»	
			103	80	3	0,7	»	
			107	78	2	0,5	кальцит	
			102	69	1	0,5	»	
			110	66	2	2,2	»	
			112	66	4	2,2	»	
			105	62	5	1,0	»	
			115	60	7	0,8	»	
			119	75	10	1,6	карбонатно-глинистый	
12; 4	известняки серые, с поверхности выветрелые, разбитые трещинами в различных направлениях	»	262	30	17	2,2	»	
			252	34	3	2,2	»	
			258	25	2	2,6	»	
			230	32	1	2,0	»	
			232	38	25	2,0	кальцит	
			260	34	5	0,7	»	
			124	34	3	1,7	»	
			127	68	1	2,7	»	
			136	68	2	2,5	»	
			133	40	4	2,0	карбонатно-глинистый	
			121	48	4	1,9	глинистый	
			134	52	5	1,2	глинистый	
			210	68	70	0,2	карбонатно-глинистый	
13; 5	известняки темно-серые, с поверхности выветрелые, трещиноватые	»	202	60	12	1,1	»	
			220	63	5	2,0	»	
			213	58	7	2,0	»	
			198	68	17	2,0	»	
			194	64	7	2,0	»	
			206	74	30	2,1	»	
			196	70	28	2,1	»	
			кливаж	154	58	4	2,0	»
			165	52	5	1,3	»	
			173	52	20	0,2	»	
			160	72	5	1,2	»	
			175	56	1	1,5	»	
			156	62	2	2,3	»	
169	68	1	1,6	кальцит				
напласт.	195	82	50	2,0	карбонатно-глинистый			
14; 4	известняки массивные серовато-сиреневого цвета, разбиты трещинами	кливаж	215	68	7	2,0	»	
			190	83	15	1,7	»	
			188	54	1	0,4	»	
			203	65	5	0,5	»	
			145	50	1	0,8	»	
			162	54	3	0,5	»	
			179	76	1	0,4	»	

Примечание. Геологический индекс пород C_{1t}.

ЗАДАЧА 1.4

ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ ВАРЗОБСКОГО ГРАНИТНОГО МАССИВА

При проведении инженерно-геологических исследований обвално-оползневого участка в гранитном массиве в Таджикистане была изучена трещиноватость пород с помощью малоформатной фотокамеры на типичных площадках, выбранных в разных частях оползневого склона (рис. 1.4). Подсчет трещин и измерение их ширины и длины выполнялись на стереоавтографе; данные по ним приведены в табл. 1.7.

В результате обработки данных по трещиноватости пород требуется:

1) составить для каждой площадки: а) лучевые круговые диаграммы трещиноватости с нанесением на нее генетических типов, ширины, заполнителя и обводненности трещин; б) розы-диаграммы простираний трещин разных генетических типов; в) диаграмму плотности трещин по способу В. В. Сухоручкина;

2) подсчитать по каждой площадке коэффициент трещинной пустотности по способу Л. И. Нейштадт;

3) составить карту трещиноватости гранитов в масштабе 1:10 000 и оценить роль трещиноватости гранитов в формировании оползней и осыпей.

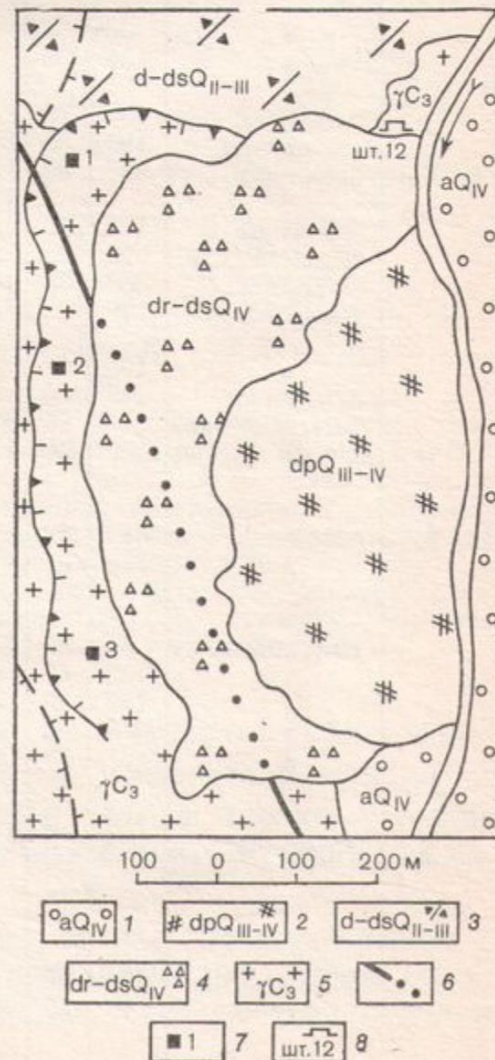


Рис. 1.4. Геологическая схема участка.

Отложения: 1 — современные аллювиальные, 2 — верхнечетвертичные — современные оползневые, 3 — средне-верхнечетвертичные делювиально-осыпные, 4 — современные обвално-осыпные, 5 — граниты и гранодиориты; 6 — тектонический разрыв шириной до 50 м, омоложенный в голоцене; 7 — площадка замера трещины и ее номер; 8 — штольня и ее номер

Таблица 1.7

Характеристика трещиноватости гранитов на эталонных площадках

№ площадки; ее площадь, м ²	Генетический тип трещин	Элементы залегания, град		Число трещин	Ширина, м · 10 ⁻²	Протяженность, м	Расстояние между трещинами, м	Заполнитель	Примечание	
		азимут падения	угол падения							
I; 60	остывания	350	85	3	1	8	1,5	кварцевый карбонатно-глинистый	заполнитель изменен процессами выветривания	
	»	5	82	2	2	6	2,2			
	» тектонические	250	25	4	0,5	4,5	0,8	хлоритовый глинистый, ожелезненный		
		310	40	2	2	3,2	0,3			
» »	30	64	4	0,5	6,5	1,2	то же древяно-глинистый			
	130	50	3	15	6	2,5				
II; 180	остывания тектонические остывания	125	75	4	18	5	1,5	кварцевый хлоритовый карбонатно-глинистый	»	
		190	55	7	5	3,8	1,0			
		385	80	8	15	10	2,5			
	первичные тектонические	110	70	4	25	6,5	2,4	хлоритовый кварцевый		
		20	25	2	10	4,2	1,2			
	остывания тектонические	360	85	10	2	3,5	0,5	» глинистый		заполнитель вмытый
		140	55	4	7	4,0	0,8			
	» остывания тектонические »	190	60	6	2	2,7	0,4	хлоритовый » кварцевый карбонатно-глинистый, рыхлый		
		245	30	5	5	3,8	0,8			
		280	65	3	12	2,5	1,7			
»	50	75	12	15	4,8	1,5	кварцевый карбонатно-глинистый, рыхлый			
	360	82	7	10	6,5	1,8				
III; 145	остывания »	365	80	3	35	9,2	3,0	древяно-глинистый, рыхлый	заполнитель изменен процессами выветривания	
		35	30	4	8	2,6	0,6			
	тектонические »	125	60	6	15	4,2	1,2	хлоритовый кварцевый		
		160	40	5	3	1,8	0,7			
	» »	265	58	3	9	2,4	0,6	хлоритовый глинистый, ожелезненный		
		62	70	6	12	3,4	1,4			
	остывания	115	75	8	18	4,7	1,0	карбонатно-глинистый		
		260	20	15	5	3,2	0,8			
	тектонические »	40	75	6	15	4,5	1,8	хлоритовый глинистый, рыхлый		то же

ЗАДАЧА 1.5

ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГРАНИТОГНЕЙСОВОГО МАССИВА

При инженерно-геологической съемке в районе месторождения (рис. 1.5) изучена трещиноватость гранитогнейсового массива. Изучение проводилось в обнажениях и с помощью ультразвукового каротажа скважин. Данные по трещиноватости гранитогнейсов сведены в табл. 1.8.

В результате обработки данных по трещиноватости гранитогнейсов требуется:

1) составить для каждого обнажения: а) лучевые диаграммы; б) розы трещиноватости по азимутам простираия;

2) для всего массива составить диаграмму плотности трещин (по азимутам падения) по способу В. В. Сухоручкина;

3) определить по каждой наблюдательной площадке коэффициент трещинной пустотности: а) по способу Л. И. Нейштадт; б) по результатам ультразвукового каротажа скважин СВ-2 (табл. 1.9) по формуле (прил. 4); в) оценить блочность по способу М. В. Раца;

4) составить карту трещиноватости исследуемого района, отразив интенсивность трещиноватости по площади и направление основных систем трещин;

5) определить упругие (E_g) и прочностные (R_c) характеристики массива корреляционным способом, используя формулы (прил. 4); построить графики зависимости прочности $R_c = f(K_{тр})$ и модуля упругости $E_g = f(K_{тр})$ от коэффициента трещинной пустотности $K_{тр}$ и оценить степень влияния трещиноватости на прочностные и упругие характеристики массива;

6) дать инженерно-геологическую оценку трещиноватости с точки зрения проходки подземных выработок на глубине 80 м; отметить связь основных систем трещин с залеганием пород и тектоническими нарушениями.

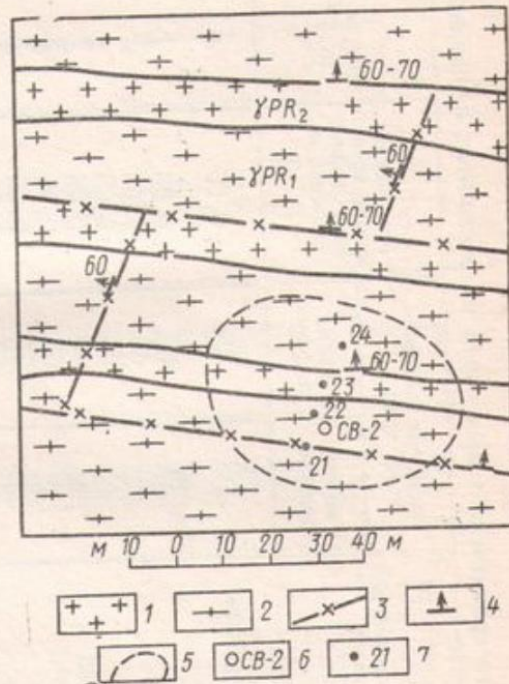


Рис. 1.5. Схематическая геологическая карта района месторождения: 1 — граниты; 2 — гнейсы; 3 — тектонические нарушения; 4 — элементы залегания; 5 — контуры полезного ископаемого; 6 — скважина, в которой проведен ультразвуковой каротаж; 7 — площадки изучения трещиноватости

Таблица 1.8

Характеристика трещиноватости гранитоидных пород на эталонных площадках

№ обнажения; размеры площадки измерения трещин, м ²	Описание пород	Геологический индекс	Генетический тип трещин	Элементы залегания, град		Расстояние между трещинами данной системы, м	Ширина, м · 10 ⁻³	Протяженность, м	Заполнитель				
				азимут падения	угол падения								
21; 2	биотитовые гнейсы, мелкокристаллические, интенсивно трещиноватые, милонитизированные	PR ₁	тектонические	25	65	0,05	4	2,2	милонит, хлорит то же				
				30	65	0,05	4	2,2	»				
				30	60	0,05	4	2,2	»				
				25	65	0,05	4	2,2	»				
				20	60	0,05	4	2,2	»				
				15	65	0,05	4	2,2	»				
				20	67	0,05	4	2,2	»				
				25	60	0,05	4	2,2	»				
				10	65	0,05	4	2,2	»				
				15	60	0,05	4	2,2	»				
				20	65	0,05	4	2,2	»				
				15	65	0,05	4	2,0	»				
				20	65	0,05	4	2,0	»				
				22	65	0,05	4	2,0	»				
				15	60	0,05	4	2,0	»				
				150	25	0,1	4	0,6	открытые				
				γPR ₂			первичные от-дельности тектонические первичные от-дельности то же	10	60	0,8	5	2,0	хлорит открытые
								150	20	0,1	4	0,7	»
								140	22	0,1	4	0,7	»
								140	25	0,1	4	0,5	»
								140	20	0,1	4	0,6	»
								140	20	0,1	4	0,6	»
								190	80	0,2	4	0,21	»
205	88	0,2	4					0,21	»				
195	88	0,25	4					0,45	»				
197	80	0,1	4					0,40	»				
200	80	0,2	4					0,45	»				

Продолжение табл. 1.8

№ облажения; размеры площадки измерения трещин, м ²	Описание пород	Геологический индекс	Генетический тип трещин	Элементы залегания, град		Расстояние между трещинами данной системы, м	Ширина, м · 10 ⁻³	Протя- женность, м	Заполнитель
				азимут падения	угол падения				
21; 2	биотитовые гнейсы, мелкокристаллические, интенсивно трещиноватые, милонитизированные	γPR ₂	тектонические первичные от-дельности	310	80	0,2	4	0,21	открытые
				305	75	0,3	4	0,21	»
22; 2	биотитовые гнейсы, мелкокристаллические, сильнотрещиноватые	PR ₁	»	300	75	0,2	4	0,8	»
				10	60	0,1	4	2	милонит,
				20	60	0,1	4	2	хлорит
				22	60	0,1	4	2	то же
				25	60	0,1	4	2	»
				20	62	0,1	4	2	»
				15	60	0,1	4	2	»
				10	62	0,1	4	2	»
				15	65	0,1	4	2	»
				15	60	0,1	4	2	»
				10	60	0,1	4	2	»
				135	60	0,2	4	0,8	открытые
				145	75	0,2	4	0,8	»
				140	60	0,2	4	0,8	»
				145	70	0,2	4	0,8	»
				295	55	0,3	4	0,8	»
290	60	0,3	4	0,8	»				
300	55	0,3	4	0,8	»				
295	50	0,3	4	0,8	»				
300	60	0,3	4	0,8	»				
23; 3	граниты микрокристаллические	γPR ₂	первичные от-дельности то же	200	80	0,15	4	1,2	»
				210	85	0,15	4	1,2	»
				210	80	0,15	4	1,2	»
				205	75	0,15	4	1,5	»
				155	85	0,5	0,4	1,5	»
				145	80	0,5	0,4	2,0	»
				140	85	0,3	0,4	1,3	»

Продолжение табл. 1.8

№ обозначения; размеры площадки измерения трещин, м ²	Описание пород	Геологический индекс	Генетический тип трещин	Элементы залегания, град		Расстояние между трещинами данной системы, м	Ширина, м · 10 ⁻³	Протяженность, м	Заполнитель
				азимут падения	угол падения				
23; 3	граниты микроклиновые, средне-крупнокристаллические	γPR ₂	первичные от-дельности то же	140	87	0,3	0,4	1,5	открытые
				145	85	0,5	0,4	1,8	»
				150	80	0,5	0,4	1,5	»
				230	60	0,8	5	1,0	»
				235	50	0,8	5	1,0	»
				230	55	0,8	5	1,0	»
				280	10	0,8	4	1,5	»
				275	10	1,0	4	1,5	»
				285	10	0,8	4	1,5	»
				15	60	0,8	5	1,5	хлорит
				20	60	0,8	5	2,2	»
				160	78	0,4	5	2,3	открытые
				155	75	0,4	5	2,2	»
24; 2,5	гнейсы гранат-биотитовые, мелкокристаллические, слаботрещиноватые	PR ₁	первичные от-дельности то же	160	75	0,4	5	2,5	»
				150	70	0,4	5	2,1	»
				155	70	0,4	5	2,3	»
				150	75	0,4	5	2,3	»
				110	65	0,8	5	1,2	»
				115	63	0,8	5	1,3	»
				110	60	0,8	5	1,2	»
				295	65	1,0	5	0,7	»
				290	60	1,0	5	0,7	»
				300	70	0,9	5	0,7	»
				20	60	1,2	5	2,5	хлорит
				10	60	1,2	5	2,5	»

Таблица 1.9

Результаты ультразвукового каротажа скважины СВ-2

Интервал глубин, м	% выхода керна	Состав пород	Скорость распространения продольных волн v_p , м/с
0—5	40	гнейсы биотитовые, мелкокристаллические, среднетрещиноватые	4500
5—10	35		4300
10—15	30	гнейсы биотитовые, сильнотрещиноватые с большим количеством зеркал скольжения	4200
15—20	30		4000
20—30	28		3500
30—40	30		4000
40—50	30		4200
50—60	50	гнейсы биотитовые среднетрещиноватые	4500
60—70	60		4700
70—80	70		4800
80—90	80	гнейсы биотит-роговообманковые [слаботрещиноватые]	5000
90—100	89		5300

ЗАДАЧА 1.6

ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА БАЗАЛЬТОВ

При инженерно-геологических исследованиях на месторождении сульфидных руд (рис. 1.6) изучена трещиноватость рудовмещающих базальтов триасового возраста. В табл. 1.10 приведены данные картирования трещиноватости на обнажениях, а в табл. 1.11 — в буровых скважинах по ультразвуковому каротажу.

В результате обработки данных по трещиноватости базальтов требуется:

1) составить для каждого обнажения: а) лучевые диаграммы трещиноватости пород по азимутам простирания с учетом углов падения трещин, их генетического типа, ширины раскрытия, состава трещинного заполнителя; б) розы трещиноватости по азимутам простирания трещин с учетом их генезиса; в) диаграм-

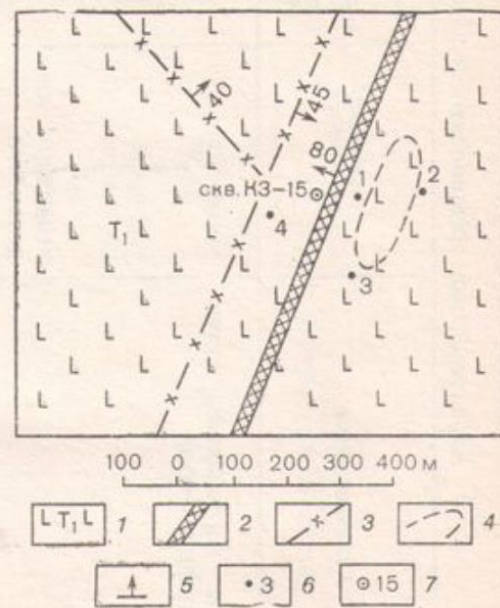


Рис. 1.6. Схематическая геологическая карта района месторождения: 1 — базальты триасовые; 2 — региональный разлом; 3 — тектонические нарушения; 4 — контуры рудного тела; 5 — элементы залегания; 6 — обнажения; 7 — инженерно-геологические скважины с УЗК

Таблица 1.10

Характеристика трещиноватости базальтов на эталонных площадках

№ обнажения; размеры площадки измерения трещин, м²	Описание пород	Генетический тип трещин	Элементы залегания, град		Расстояние между тре- щинами данной системы, м	Ширина, м·10 ⁻³	Протя- женность, м	Заполнитель
			азимут падения	угол падения				
1; 3	базальты порфирировые, интен- сивно трещиноватые	тектонические » » » » » первичные от- дельности то же » » » » » » »	290	80	0,05	10	2,5	открытые
					0,05		2,5	»
					0,05		2,0	»
					0,05		2,0	»
					0,05		2,0	»
					0,2		2,0	кальцит
					0,2		1,2	открытые
					0,2		1,3	»
					0,2		1,2	»
					0,2		1,2	»
					0,2		0,8	»
					0,2		1,5	кальцит
					0,2		1,0	»
					0,2		1,0	»
2; 3	базальты порфирировые, средне- трещиноватые	тектонические » » » первичные от- дельности то же » »	283	85	0,5	5	2,0	»
					0,5		2,0	»
					0,5		2,0	»
					0,5		2,0	»
					0,5		2,0	»
					0,5		1,2	»
					0,5		1,2	»
					0,5		1,0	»
					0,5		2,0	»
					0,5		2,0	»
					0,5		2,2	кварц
					0,5		2,2	открытые
					0,5		2,5	»
					0,5		2,5	»

Продолжение табл. 1.10

№ обнажения; размеры площади измерения трещин, м ²	Описание пород	Генетический тип трещин	Элементы залегания, град		Расстояние между тре- щинами данной системы, м	Ширина, м · 10 ⁻³	Протя- женность, м	Заполнитель
			азимут падения	угол падения				
3; 2,25	базальты порфиоровые, слабо- трещиноватые	тектонические	290	85	0,5	5	1,8	»
			280	80	0,5	5	1,4	»
			275	80	0,5	5	1,4	»
			240	85	0,7	5	1,2	кальцит
			230	80	0,6	5	1,2	»
			235	88	0,7	5	1,2	»
			350	5	0,9	5	1,5	»
			355	6	0,9	5	1,5	кварц
			290	80	0,5	5	1,5	открытые
			295	82	0,5	5	1,6	»
			300	80	0,5	5	1,6	»
			4; 3,6 1,5	базальты порфиоровые, средне- трещиноватые	первичные от- дельности » то же »	110	50	0,5
115	45	0,5				5	1,3	»
105	45	0,5				5	1,3	»
170	85	0,6				5	1,6	кальцит
180	80	0,7				5	1,6	открытые
175	82	0,7				5	1,7	»
60	70	0,7	5	1,8	кварц			
50	75	0,8	5	1,8	открытые			

Примечание. Геологический индекс пород Т₁.

му плотности трещин по способу В. В. Сухоручкина для всего базальтового массива;

2) рассчитать: а) для каждого обнажения коэффициент трещинной пустотности по способу Л. И. Нейштадт и по данным ультразвукового каротажа скважины; б) оценить блочность массива по формуле (приложение 4);

Таблица 1.11

Результаты ультразвукового каротажа скв. КЗ-15

Интервал глубин, м	% выхода керна	Состав пород	Скорость распространения продольных волн v_p , м/с
0—10	30	базальты порфиновые, сильнотрещиноватые, выветрелые	3800
10—20	32		3700
20—30	30	базальты сильнотрещиноватые, выветрелые с многочисленными зеркалами скольжения	3500
30—40	32		3700
40—50	40		4000
50—60	40		4200
60—70	50	базальты среднетрещиноватые, не выветрелые; трещины с зеркалами скольжения	4500
70—100	60		4700
100—120	60		4800
120—150	60		4900
150—200	70		4500

3) составить карту трещиноватости исследуемого района, отразив интенсивность трещиноватости по площади и направление основных систем трещин;

4) определить упругие (E_g) и прочностные (R_c) характеристики массива базальтов корреляционным способом, используя формулы (приложение 4); построить графики зависимости прочности $R_c=f(K_{тр})$ и модуля упругости $E_g=f(K_{тр})$ от коэффициента трещинной пустотности $K_{тр}$ и оценить степень влияния трещиноватости на прочностные и упругие характеристики массива;

5) дать инженерно-геологическую оценку трещиноватости массива базальтов для проходки шахтных стволов и подземных выработок (шахтные стволы располагаются к западу от регионального разлома).

Литература

Общая

Варга А. А. Методические рекомендации по изучению мелкой трещиноватости скальных пород при изысканиях для гидротехнического строительства. М., 1981.

Михайлов А. Е. Структурная геология и геологическое картирование. 4-е изд. Ч. 2, гл. 12. Трещины в горных породах. М., 1984.

Нейштадт Л. И., Пирогов И. А. Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород. М., 1969.

Методика обработки результатов

- а) состава и инженерно-геологических свойств пород,
 - б) гидрогеологических данных,
 - в) химизма и иных показателей подземных вод.
- Примечание. На разрезах можно дать другие таблицы, характеризующие инженерно-геологические явления, оценку пород и т. п.

Приложение 3

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ (ОБРАЗЦЫ; см. ВКЛАДКУ)

- 3.1. Инженерно-геологический разрез оползневого склона
- 3.2. Инженерно-геологический разрез по створу плотины

Приложение 4

ГРАФИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗУЧЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД И РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕЩИНОВАТОСТИ

Графические способы обработки результатов картирования трещин применяются для выяснения закономерностей в распределении и ориентировке трещин в горных породах. Первичной формой систематизации полевых данных являются таблицы трещиноватости, в которых приводятся сведения о генетических типах трещин, элементах залегания, ширине, протяженности, характере выполнения и других характерных признаках (табл. 6.1). Таблицы служат основой для составления диаграмм трещиноватости.

Лучевая круговая диаграмма трещиноватости (по А. И. Ефимову) составляется на круге с нанесенной градусной сеткой. Трещины на диаграмме изображаются в виде лучей, выходящих из центра круга в направлении, соответствующем их азимуту простирания. Линии простирания наносятся с таким расчетом, чтобы при прибавлении к азимуту простирания трещин 90° по ходу часовой стрелки получились азимуты их падения. Величина угла падения трещины изображается длиной луча. Вертикальные углы падения соответствуют полной длине радиуса круга. Для удобства вертикальные трещины наносятся лишь в северном полукруге. Качественные отличия трещин — их генетический тип, ширина, выполнение — показываются цветом луча, штриховкой и т. п. На рис. 6.1 дан пример лучевой диаграммы трещиноватости.

Существуют и другие способы построения лучевых круговых диаграмм трещиноватости (Михайлов, 1956).

Точечная круговая диаграмма трещиноватости по содержанию и методике составления аналогична лучевой диаграмме. В отличие от последней замеры трещин на точечной круговой диаграмме наносятся не в виде лучей, а в виде точек, соответствующих азимуту и углу падения трещин. Качественные характеристики трещин могут быть показаны цветом и формой знака (рис. 6.2).

Таблица 6.1

Результаты изучения трещин в обнажении (площадка 4 м²)

№ трещины	Генетический тип	Элементы залегания			Протяженность, м	Ширина, мм	Расстояние между трещинами одной системы, м	Выполнение	Характер поверхности стенок	Примечание (прослеженная глина, характер выклинивания)
		угол падения	азимут падения	азимут простирания						
1	напластования	32	325	235	2,5	1	0,3	открытая	шероховатые	выдержана по простиранию
2	«	49	315	295	2,0	1,5	0,3	«	«	«
3	«	37	304	214	0,8	3	0,4	«	«	«
4	«	41	322	232	2,2	1	0,3	кальцит	«	«
5	«	45	338	248	1,6	2	0,3	открытая	«	«
6	тектонические	30	121	31	0,4	8	0,8	«	ступенчатые	извилистая
7	«	42	125	35	1,5	14	0,7	кальцит	«	«
8	«	22	151	61	1,2	5	0,8	открытая	«	«
9	«	62	200	110	1,8	3	0,5	«	гладкие	выдержана по простиранию
10	«	50	242	152	0,9	5	0,6	кальцит	«	«
11	«	66	215	125	1,4	2	0,5	«	«	«
12	«	56	224	134	1,2	18		открытая	ступенчатые	извилистая
13	«	72	218	128	2,3	12	0,6	«	«	«
14	«	68	190	100	0,9	6	0,6	«	«	«
15	«	78	212	192	2,4	3	0,6	«	«	«
								кальцит		

Кроме трещин на круговые диаграммы полезно наносить особыми знаками элементы залегания пород, тектонических зон, разломов и т. п.

Лучевые и точечные круговые диаграммы являются графической сводкой данных по замерам трещин, произведенным в одном или нескольких обнажениях.

Для выявления преобладающих направлений простирания трещин наиболее удобны **розы-диаграммы**. При их составлении вычерчивается полукруг произвольного радиуса, на который наносится градусная сетка с северными румбами. Через произвольно выбранные интервалы (от 2 до 10°) проводятся радиусы — меридианы. В соответствии с выбранным делением все трещины группируются по значениям их азимутов простирания и подсчитывается количество трещин, попавших в каждый интервал. Полученные величины наносят на розу-диаграмму в виде радиусов, направление которых отвечает среднему значению простирания для данной группы, а длина пропорциональна количеству трещин. Концы отрезков соединяют прямыми и полученную фигуру затушевывают (рис. 6.3). Розы-диаграммы дают возможность изучить закономерности ориентировки трещиноватости в массиве горных пород по данным наблюдений в одном или нескольких обнажениях.

Круговые диаграммы в изолиниях применяются для выявления основных систем трещин и их количественного учета. Для построения круговых диаграмм в изолиниях используются различные стереографические сетки (Вульфа, Вальтера—Шмидта, Сухоручкина), представляющие собой проекции полусферы с нанесенными параллелями и меридианами на экваториальную или меридиональную плоскость. Каждая трещина может быть изображена точкой, представляющей собой проекцию точки пересечения нормали плоскости трещины или ее падения со сферой на плоскость.

В качестве примера рассмотрим построение круговой диаграммы трещиноватости в изолиниях по способу В. В. Сухоручкина. Она строится на полярной сетке, которая является проекцией на экваториальную плоскость широт и меридианов нижней полусферы и состоит из концентрических окружностей (проекций широт) и радиусов (проекций меридианов), проведенных через одинаковый угловой интервал (5—10°). При построении сетки вычерчивается окружность, в которой через определенное число градусов проводятся радиусы. Концентрические окружности описываются радиусами, равными расстояниям от точек пересечения радиусов с окружностью до вертикального или горизонтального диаметра (рис. 6.4). Каждая трещина изображается точкой — проекцией на горизонтальную плоскость точки пересечения линии падения плоскости трещин с нижней полусферой. Для построения таких точек от верхнего конца вертикального диаметра (север) по часовой стрелке откладывают азимут падения трещины, а угол падения отсчитывают по кругам от периферии сетки к центру (рис. 6.5).

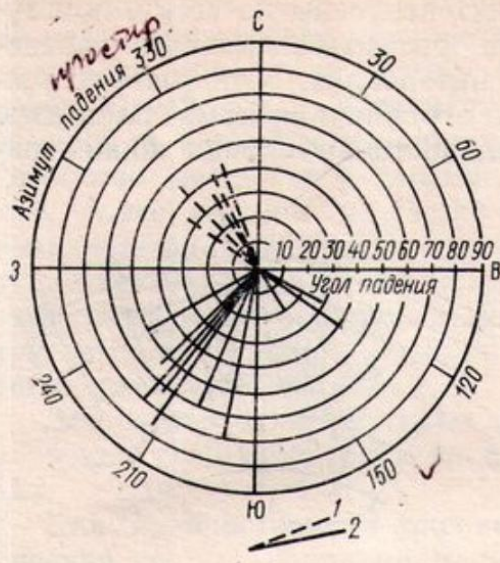


Рис. 6.1. Лучевая круговая диаграмма трещиноватости (по А. И. Ефимову).
Трещины: 1 — напластования, 2 — тектонические

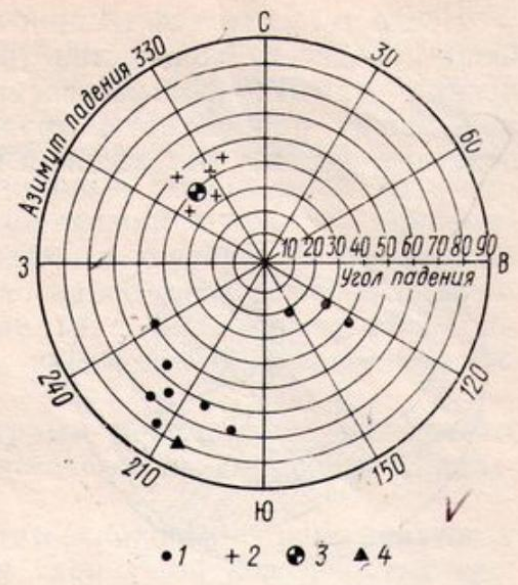


Рис. 6.2. Точечная круговая диаграмма трещиноватости пород. Трещины: 1 — напластования, 2 — тектонические; элементы залегания: 3 — пород, 4 — зон разлома

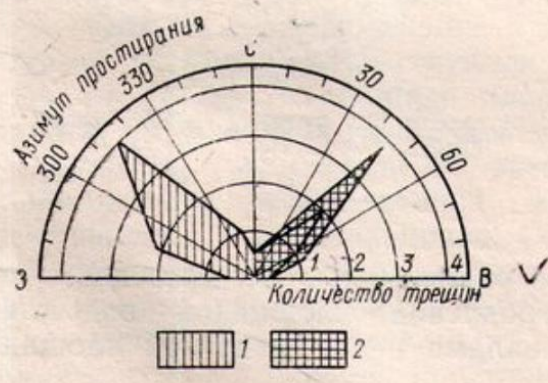


Рис. 6.3. Роза-диаграмма трещиноватости простираний трещин. Трещины: 1 — напластования, 2 — тектонические

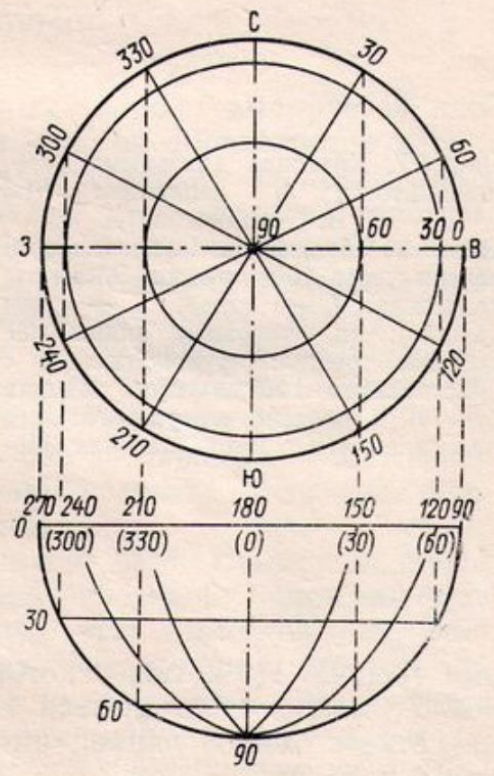


Рис. 6.4. Схема построения полярной сетки

После того как все трещины будут нанесены на сетку, приступают к подсчету количества трещин, располагающихся в определенных угловых пространственных интервалах. Угловые расстояния между радиусами и кругами, ограничивающими площадку подсчета, зависят от заданной детальности выявления concentra-

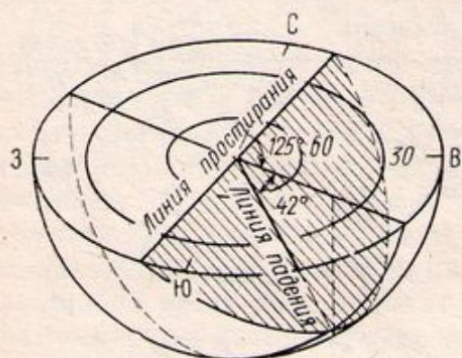


Рис. 6.5. Схема нанесения трещин на полярную сетку. Точка на горизонтальной плоскости соответствует трещине с аз. пад. 125° и $\angle 42^\circ$. Плоскость трещины заштрихована

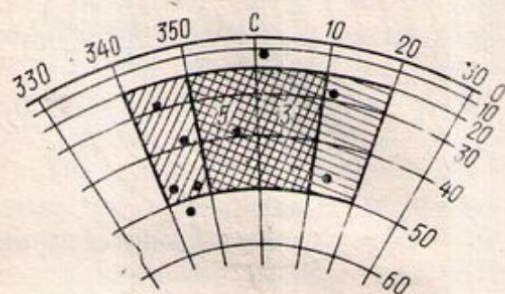
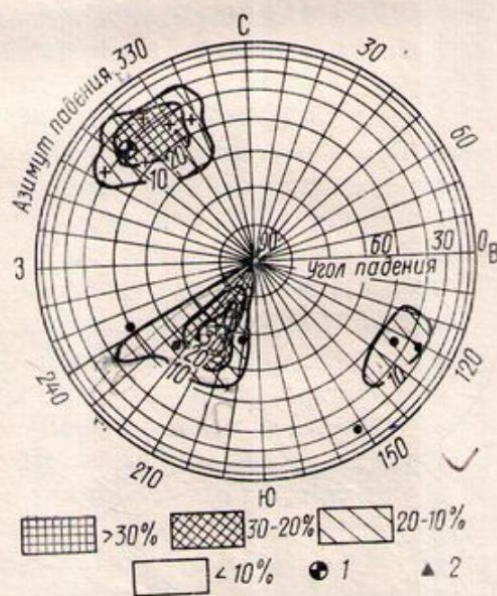


Рис. 6.6. Часть сетки с двумя соседними положениями 30-градусной площадки подсчета

Рис. 6.7. Круговая диаграмма трещиноватости в изолиниях (по В. В. Сухоручкину). Нанесено 15 замеров. Изолинии проведены через 10% трещин. Элементы залегания: 1 — пород, 2 — зон разлома; на диаграмме видны обе системы трещин: крутопадающие с простиранием 120° и углом падения $60-70^\circ$ и пологие северо-восточного простирания и с углом падения $30-45^\circ$



ции трещин. На сетке, у которой радиусы и круги проведены через 5° , можно пользоваться 15-градусной площадкой подсчета, на сетке с 10-градусными интервалами — 30-градусной площадкой и т. п.

Площадка подсчета объединяет девять элементарных 5- или 10-градусных площадок. Результаты подсчета количества трещин, расположенных в пределах всех девяти площадок, записываются в средней из них. Перемещая площадку подсчета по окружности

и по радиусам на величину интервала и каждый раз записывая результаты подсчета количества трещин в средней элементарной площадке, обходят всю сетку (рис. 6.6). В дальнейшем плотность точек выражают в процентах относительно общего количества замеров и проводят изолинии через выбранные интервалы. Пространство между отдельными изолиниями покрывается штриховкой, более плотной в местах концентрации точек. На ориентированную диаграмму наносят элементы залегания пород, направление тектонических зон, количество нанесенных замеров и величину расстояния между изолиниями (рис. 6.7). Кроме того, на круговых диаграммах в изолиниях показывается направление течения реки, оси плотин и т. д.

Для построения круговых диаграмм используют результаты изучения трещиноватости на значительных по размерам площадках.

Для количественной оценки интенсивности трещиноватости массива горных пород применяется *площадной коэффициент трещинной пустотности*, предложенный Л. И. Нейштадт (1969). Под коэффициентом трещинной пустотности K_T понимается отношение площади трещин (в любой плоскости) S_T к площади S той площадки, на которой произведено измерение этих трещин, выраженное в процентах:

$$K_T = \frac{S_T}{S} \cdot 100\%.$$

В обнажении трещиноватых горных пород выбирается площадка квадратной формы, величина которой определяется характером, размером и густотой трещин. Площадка зарисовывается или фотографируется, а все встреченные в ее пределах трещины нумеруются и описываются (см. табл. 6.1). Для вычисления площадного коэффициента трещинной пустотности составляется расчетная таблица по предлагаемой форме (табл. 6.2). Все трещины подразделяются по генезису, ширине и характеру выполнения на несколько групп, для каждой из которых указываются количество трещин, их средняя ширина и длина. Площади трещин, вычисленные по группам, суммируются, берется отношение (%) общей площади трещин к площади площадки подсчета, что дает площадный коэффициент трещинной пустотности.

Площадной коэффициент трещинной пустотности является приближенной количественной характеристикой интенсивности трещиноватости массива пород. Однако этот способ не дает полного представления о трещиноватости горных пород, так как коэффициентом трещинной пустотности не полностью учитываются такие качественные показатели, как их ширина, протяженность, изменчивость с глубиной, пространственное распределение и т. д., существенно влияющие на общую трещиноватость массива.

Тем не менее коэффициент трещинной пустотности, определенный на площадках разной ориентировки (желательно на взаимно перпендикулярных), может быть использован для классифика-

ции горных пород, при этом всегда следует указывать характер трещиноватости массива, например отдельные крупные трещины или мелкая частая сеть трещин.

Для количественной оценки трещиноватости эффективно применение сейсмоакустических методов: ультразвукового, акустического и сейсмического каротажа скважин и профилирования на поверхности. С помощью этих методов можно получить количественную характеристику трещиноватости пород в закрытых усло-

Таблица 6.2

Расчетная таблица для определения площадного коэффициента трещинной пустотности

Группа трещин по ширине, м	<2	2-5	5-10	10-20	20-50	50-100	>100
Количество трещин в группе n	3	5	4	3	—	—	—
Средняя ширина трещин h , мм	1,17	2,60	6,00	14,70	—	—	—
Средняя длина трещин l , м	2,23	1,60	0,85	1,67	—	—	—
Площадь трещин $S_T = 0,001 \cdot n \cdot h \cdot l$, м ²	$S_1 = 0,008$	$S_2 = 0,021$	$S_3 = 0,020$	$S_4 = 0,074$	—	—	—

Общая площадь трещин $\Sigma S_T = 0,123$ м².

Площадь площадки подсчета $S = 4$ м².

Коэффициент трещинной пустотности $K_T = \frac{\Sigma S_T}{S} 100 \% = 3,08 \%$.

виях (на задернованных участках, в целиках пород, между скважинами и выработками), что очень важно. В буровых скважинах с помощью геофизического метода количественная оценка трещиноватости может быть получена по всему разрезу скважин, включая интервалы сильно нарушенных пород, как правило, не охарактеризованных керном.

Основой применения сейсмоакустических методов для количественной оценки трещиноватости является четкая зависимость скоростей упругих волн от пористости и трещиноватости исследуемой среды, для описания которой наиболее часто используется уравнение среднего времени (Willy, Gregory, Gardner, 1956). Из этого уравнения следует, что

$$K_T = \frac{v_3(v_t - v_n)}{v_n(v_t - v_3)} \cdot 100\%,$$

где v_t — скорость в монолитной породе (значения приведены в табл. 6.3); v_3 — скорость в заполнителе трещин, равная 750 м/с; v_n — скорость в исследуемой точке массива, берется из таблиц в задачах.

Таблица 6.3

Значения скоростей упругих волн и прочности на сжатие в монолитной породе

Горные породы	v_t (v_p макс.) м/с	v_{p_0} , м/с	$R_{с макс.}$ МПа
Базальты	6400	250	330
Андезитобазальты	6500	250	330
Гнейсы	6100	200	280
Известняки мраморизованные	6800	550	250
Известняки кристаллические	6500	550	220

Блочность массива, т. е. размер блоков, отделенных друг от друга трещинами, вычисляется по формуле

$$b = \sqrt[3]{\frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\left(1 + \frac{\sqrt[3]{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}}{a_4}\right) \left(1 + \frac{\sqrt[3]{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}}{\bar{a}_5}\right)}}$$

где $\bar{a}_{1,2,3}$ — средние расстояния между трещинами трех главных систем трещин; $\bar{a}_{4,5}$ — то же, для более редких систем трещин.

Карта трещиноватости строится на геолого-структурной основе. На картах трещиноватости выделяются зоны трещиноватости различного генезиса и разной степени. Генезис трещиноватости показывается, как правило, типом штриховки. Степень трещиноватости: слабо ($K_T < 2\%$), средне ($K_T = 2-5\%$), сильно ($K_T = 5-10\%$), очень сильно трещиноватые ($K_T = 10-15\%$) и раздробленные породы ($K_T > 15\%$) — густотой штриховки. С увеличением интенсивности трещиноватости густота штриховки усиливается. Помимо информации относительно генезиса и интенсивности трещиноватости на карту наносят розы-диаграммы простираний трещин для каждого обнажения, позволяющие судить об ориентировке основных систем трещин (рис. 6.8).

Для оценки упругих и прочностных свойств трещиноватых массивов горных пород применяется сейсмоакустический метод, использующий формулы теории упругости и корреляционные уравнения.

Динамический модуль упругости E_d определяется по формуле

$$E_d = \frac{v_p^2 \rho (1 + \mu) (1 - 2\mu)}{1 - \mu},$$

где v_p — скорость продольных волн в каждой заданной точке массива; ρ — плотность породы (базальты, андезитобазальты — $\rho = 2,85$, гнейсы — $\rho = 2,65$, известняки — $\rho = 2,75$); μ — коэффициент Пуассона $\sim 0,20-0,25$.

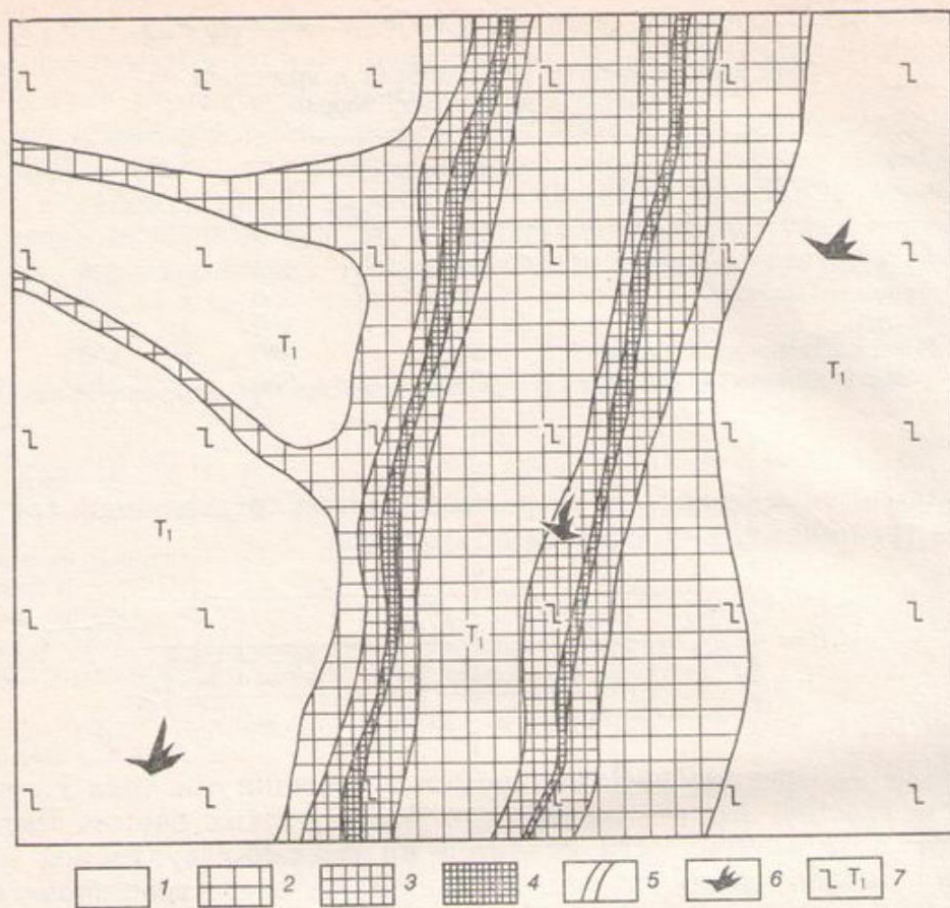


Рис. 6.8. Карта интенсивности трещиноватости базальтового массива. Массивы пород: 1 — слаботрещиноватых, 2 — среднетрещиноватых, 3 — сильнотрещиноватых, 4 — раздробленных; 5 — тектонические нарушения; 6 — розы-диаграммы простирания трещин; 7 — нижнетриангульные базальты

Прочность массива находят по формуле корреляционного уравнения, полученного Л. В. Шаумян:

$$R_c = R_{c \text{ макс}} \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{v_p - v_{p_0}}{v_{p \text{ макс}} - v_{p_0}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\},$$

где $R_{c \text{ макс}}$, $v_{p \text{ макс}}$ — максимальные значения прочности и скорости продольных волн (из табл. 6.3); v_p — скорость продольных волн в каждой заданной точке массива (берется из таблицы задачи); v_{p_0} — значение скорости, при которой прочность массива равна 0.

Литература

- Михайлов Л. Б. Полевые методы изучения трещин в горных породах. М., 1956.
 Нейштадт Л. И., Пирогов И. А. Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород. М., 1969.
 Рац М. В., Чернышев С. Н. Структурные модели в инженерной геологии. М., 1973.

