

11.01.2021 Задание по подготовке к экзамену и защите курсовой работы по инженерной геодинамике

Уважаемые студенты, в связи с тем, что обучение в 9 семестре проводится в дистанционном режиме. Вам необходимо выполнить лабораторные (расчетно-графические работы) и выучить теорию (1, 2). Готовим 2 задачи: по изучению трещиноватости и переработки берегов водохранилищ по Г.С. Золотареву. Вариант выбираем по последней цифре зачетки (1,2,3,4,5,6, затем снова 7-1, 8-2, 9-3, 0-4 и далее повторяем). В работе по трещиноватости карту не составляем, делаем только первую часть работы. Во второй работе расчет выполняет только для одной линии разреза. В случае, если в условиях нет подпора, принимаем его равным 30 м, горизонт сработки 5 м. Рабочая высота волны 2 м, мах - 2,5 м. При решении используем прилагаемое учебное пособие Г.С. Золотарева, где в приложении изложена методика выполнения работы. Можно дополнительно использовать учебник В.Д. Ломтадзе «Инженерная геодинамика» (М., Недра, 1978 г.).

Кроме этого Вам необходимо подготовить курсовую работу (КР)

Лабораторное занятие 2

1.4. Методы прогноза переработки берегов водохранилищ

1.4.1. Метод прогноза переработки берегов Г.С. Золотарева

Метод Г.С. Золотарева [31] является одним из наиболее распространенных. Он основан на учете геологических, геоморфологических и гидрологических данных и применим для равнинных и горных водохранилищ, расположенных в разных природных условиях. По этому методу переработку берега можно прогнозировать на два срока: через 10 лет после наполнения водохранилища и на конечный срок, т.е. когда скорость разрушения берега не будет иметь практического значения.

Сущность метода состоит в следующем. Для всех типичных в инженерно-геологическом отношении участков широкой части водохранилища подготавливаются инженерно-геологические разрезы (рис. 6).

Построение профиля прогноза на этих разрезах начинается с определения глубины расположения бровки уступа береговой отмели – точки А. Сразу произвольно определить местоположение этой точки трудно, поэтому построение профиля прогноза повторяют 2-3

раза, пока положение точки A не будет обосновано соответствующим образом, указанным ниже.

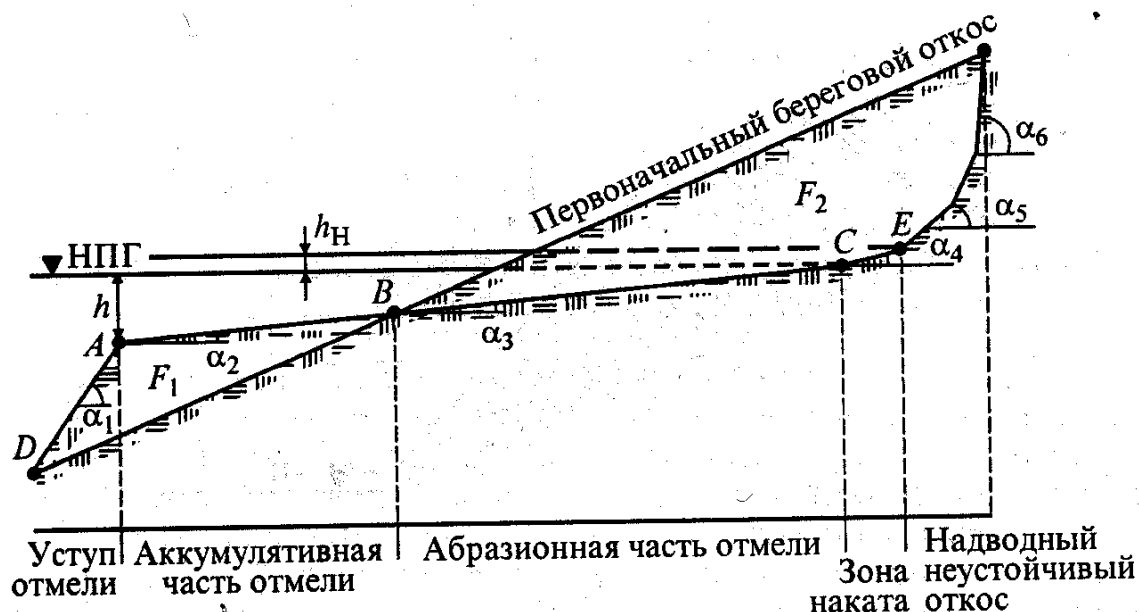


Рис.6. Расчетная схема для прогноза переработки берегов водохранилищ по методу Г.С. Золотарева

Метод рекомендуется для участков, сложенных легкоразмываемыми песками и суглинками, для 10-летнего срока глубину расположения точки A принимать равной 1,5 высотам волны 20 %-ной обеспеченности, т.е. повторяемостью 20 раз в 100 лет. Для конечного срока переработки глубину расположения точки A следует принимать: а) для легкоразмываемых пород равной 2,5-3,0 высотам волны 5 %-ной обеспеченности; б) для трудноразмываемых пород – глин, мергелей и аналогичных пород – 2,0-2,5 высотам волны 1-2 %-ной обеспеченности. Для водохранилищ с малой сработкой уровней глубину расположения точки A для 10-летнего срока откладывают от линии НПГ, а для конечного срока – от горизонта сработки безледного периода в маловодный год.

От точки A , под углом α_1 проводят линию, намечающую уступ подводной отмели, а под углом α_2 – ее поверхность. Линию под углом α_2 доводят до точки B (пересечение с первоначальной поверхностью склона).

От точки B до точки C (до пересечения с линией НПГ) под углом α_3 намечают поверхность абразионной части отмели. Угол α_3 определяют в зависимости от степени размываемости пород, срока прогноза и высоты волны.

Выше точки C устанавливают зону наката волны. Высоту зоны наката вычисляют по формуле (8) Н.Н. Джунковского. Высота зоны наката равна примерно 0,3-0,4 высоты волны. Угол α_4 , т.е. угол наклона берега в зоне наката определяют по данным лабораторных исследований или по таблице. Г.С. Золотарев рекомендовал для 10-летнего срока ширину и высоту зоны наката волны принимать в 2 раза меньше, чем для конечного срока, т.е. рассчитанной по формуле Н.Н. Джунковского.

Над зоной наката выше точки E намечается надводный откос, контур которого устанавливают по углу естественного откоса пород α_5 (α_6) и форме, какую породы приобретают в естественных обнажениях.

Выполнив первое построение прогноза переработки берега для 10-летнего и конечного сроков, определяют соотношение площадей аккумулятивной части отмели F_1 и размываемой части склона F_2 . Если соотношение $F_1:F_2$ соответствует принятому проценту аккумуляции (табл. 3), то построение и прогноз считается правильным. Если это соотношение не соответствует принятому проценту аккумуляции, производят повторное построение, перемещая точку A ближе или дальше от берега, добиваясь нужного соотношения площадей аккумуляции и размыва. В этом заключается обоснование расположения точки A на профиле прогноза.

Таблица 3

Углы естественного откоса, принимаемые при построении профиля прогноза переработки берегов водохранилищ

(по Г.С. Золотареву и Д.Н. Раиша)

Породы	Угол откоса отмели, α_1 , град	Угол наклона отмели α_2 и α_3 для стадий, град		Угол наклона зоны наката α_4 для стадий, град		Аккумуляция, объем, %
		10-лет	конечной	10 лет	конечной	
Пески тонко- и мелко-зернистые, разно- и среднезернистые	<10-12	1°30'	1°	5°	3°	5-10
		3°	2°	6°	4°	10-15
Пески крупные,		5°	3°	10°	6°	15-20

Галечник и щебень с песчаным заполнителем,	<18-20	10-12 ⁰	8-10 ⁰	18-20 ⁰	15-18 ⁰	20-35
Галечник и щебень с глинистым заполнителем		8-10 ⁰	6-8 ⁰	15-18 ⁰	14-16 ⁰	20-25
Супеси,	<8-10	1 ⁰ 30'	1 ⁰	4	3	3-5
Суглинки,		1 ⁰ 30'	1 ⁰	4	2-3	<3
Глины,		2 ⁰	1 ⁰ 30'	6	8	0
Лессы		1 ⁰ 30'	1 ⁰	4	2	<3

1.4.2. Метод прогноза переработки берегов Е.Г. Качугина

Метод основан на следующем положении – интенсивность подмыва и разрушения берегов водохранилищ пропорциональна энергии волнения в данном месте. Подмыв берегов во времени постепенно затухает и характеризуется кривой параболического типа.

Исходя из этих соображений, Е.Г. Качугин [17] разработал метод прогноза переработки берегов водохранилищ с учетом энергии волнения и размываемости пород, т.е. двух главных характеристик, определяющих развитие процесса абразии. Основой этого метода является эмпирическая формула 9:

$$Q = EK_p K_\sigma t^b, \quad (9)$$

где Q – количество размытой породы берега за время t лет, м³/м;

E – средняя энергия волнения в данном пункте, тс·м;

K_p – коэффициент размываемости пород;

K_σ – коэффициент, учитывающий высоту берега;

t – время размыва, годы;

b – показатель степени меньше единицы, зависящий от скорости затухания размыва.

Определение прогноза переработки берега водохранилища проводится по следующей схеме:

1. Определение энергии волнения E в тонна-сила-метрах (тс·м) выполняется для каждого участка береговой зоны. Поэтому предварительно определяют высоту ветровых волн (обеспеченностью 0,1 %) по методу А.П. Браславского, а затем величину энергии волнения с учетом данных о продолжительности действия ветра по специальному графику.

2. Под коэффициентом размываемости пород K_p Е.Г. Качугин понимает объем размываемой породы в кубических метрах, приходящийся на единицу энергии волнения в тонна-сила-метрах [$\text{м}^3/(\text{тс}\cdot\text{м})$] в первый год наполнения водохранилища, когда еще нет сформировавшейся отмели, т.е.

$$K_p = \frac{Q_1}{E_1}. \quad (10)$$

Этот коэффициент рекомендуется определять по табл.1.

3. При разрушении берегов обычно образуется отмель, на которой волны теряют часть энергии. Поэтому коэффициент, учитывающий высоту берега K_δ , косвенно отражает величину потери энергии волн на отмели. Этот коэффициент численно равен произведению средней высоты берега на некий множитель c :

$$K_\delta = h_\delta \cdot c. \quad (11)$$

Величина c изменяется от 0,03 для очень легкоразмываемых пород до 0,05 для трудноразмываемых. При высоте берега 30 м и более коэффициент K_δ принимается равным 1.

Прогноз переработки берегов водохранилища производят на сроки 1, 10 лет и конечный. Показатель степени b при времени размыва t характеризует отношение ширины абразионной части отмели к ширине всей отмели и в среднем равен 0,7. Если

отмель абразионная b достигает 0,95, а в случае аккумулятивной отмели этот показатель уменьшается до 0,45.

Определив основные данные для расчета количества размываемой породы в m^3 на один погонный метр берега за время t (лет) на рассматриваемом расчетном участке и рассчитав объема пород, приступают к построению профиля прогноза (рис. 7). Для этого на расчетном инженерно-геологическом разрезе отмечают зону, в пределах которой возможен размыв берега. Границы этой зоны по вертикали определяют по амплитуде колебания уровня воды в водохранилище с поправками на высоту «рабочей волны» h_p , при которой происходит наибольший размыв (ВПР – верхняя поверхность размыва).

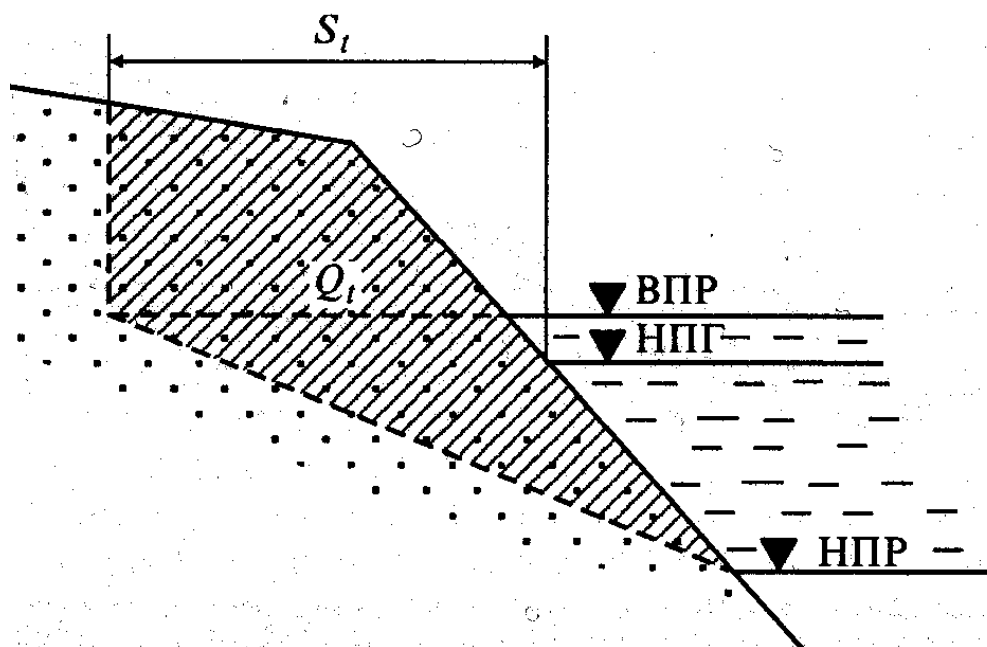


Рис.7. Расчетная схема для прогноза переработки берегов водохранилищ по методу Е.Г. Качугина

Высота рабочей волны определяется как:

$$h_p = 0,7 \cdot h_{cp}. \quad (12)$$

За нижнюю границу зоны размыва (НПР) принимается положение низкого уровня 96-98% обеспеченности в безледный период, сниженное на высоту рабочей волны. От

точки, где на расчетном разрезе отмечена нижняя граница размыва намечают абразионную часть отмели.

Дальнейшее построение производят путем подбора площади на профиле в квадратных метрах, численно равной объему размыва в кубических метрах для разных периодов времени – Q_1 , Q_{10} , $Q_{кон}$. Угол наклона надводного откоса определяют по аналогии с такими же откосами, как и в методе Г.С. Золотарева.

Ширину зоны переработки определяют по расстоянию от уреза

воды в водохранилище при НПП до намечаемой бровки откоса.

1.5. Проектирование защитных мероприятий от абразии и переработки берегов

Генеральная схема инженерной защиты предусматривает разработку принципиальных положений и разрабатывается в мелком масштабе. На этом этапе имеющиеся сведения дополняют данными рекогносцировочных обследований прибрежных зон с целью выявления мест интенсивного развития абразии.

Специальные схемы инженерной защиты содержат конкретные проектные решения по основным типам сооружений. Их обосновывают расчетами локальных и региональных прогнозов развития процесса на 10, 20 и более лет, включая конечную стадию. Основанием для выполнения таких расчетов служат данные изысканий и режимных наблюдений.

Наиболее ответственными этапами обоснования инженерной защиты являются проект и рабочая документация, на которых утверждаются конкретные проектные решения по типам, конструкциям, параметрам и компонентам сооружений защиты. Основные масштабы исследований для разработки проекта – 1:1000 – 1:5000, рабочей документации – 1: 1000. На этих этапах изыскания проводятся не только на участке предполагаемого строительства, но и на прилегающей территории в зонах возможного воздействия проектируемых сооружений на развитие береговых процессов и подпор подземных вод.

В России в настоящее время для защиты берегов водохранилищ от размыва наиболее часто применяются дамбы, облицовка береговых откосов, одерновка, отсыпка камнем и песком и на отдельных участках — сооружение ряжей. На Байкале широко применяются ряжи, волноотбойные стенки, волноломы и буны. В последние годы вдоль

юго-восточного берега озера, по которому проходит Транссибирская магистраль, ведется интенсивная отсыпка рваного камня.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «абразия».
2. Какие факторы влияют на развитие процесса абразии?
3. От чего зависит интенсивность абразии?
4. Какие защитные мероприятия используют при защите от абразии?
5. Какие методы существуют для прогноза переработки берегов водохранилищ?
6. В чем сущность прогноза переработки берегов водохранилищ по методу Г.С. Золотарева?
7. Что лежит в основе метода прогноза переработки берегов водохранилищ по Е.Г. Качугину?
8. Как определяется энергия волнения и от чего она зависит?
9. Как проектируют системы инженерной защиты размываемых берегов водохранилищ?

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. Ломтадзе В.Д. Инженерная геодинамика / В.Д. Ломтадзе. – Ленинград: Недра, 1977. – 479 с.

Глава 1

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);

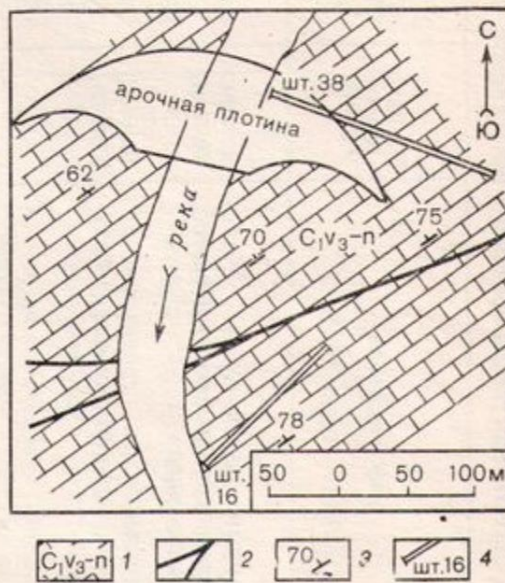


Рис. 1.1. Схематическая геологическая карта долины участка плотины: 1 — известняки мраморизованные, нижнекаменноугольные; 2 — тектонические разломы; 3 — элементы залегания пород; 4 — штольня и ее номер

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
					148	35	7	6	2,4	кальцит
4		38—43	известняки темно-серые, кристаллические, мраморизованные	тектон.	120	73	5	3	4,1	»
					335	65	7	2	5,4	»
					60	61	8	6	1,1	открытые
					95	72	9	2	1,3	кальцит
5		70—76	известняки темно-серые, тонкослоистые, мелкокристаллические, битуминозные	напласт. тектон.	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, мелко-среднекристаллические, 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).

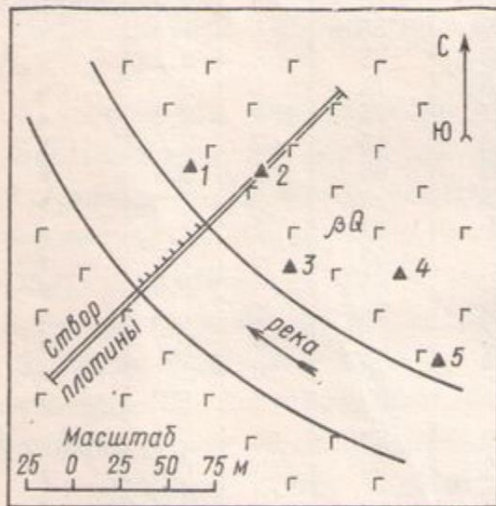
Таблица 1.3

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 светло-серые, 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.



βQ 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-

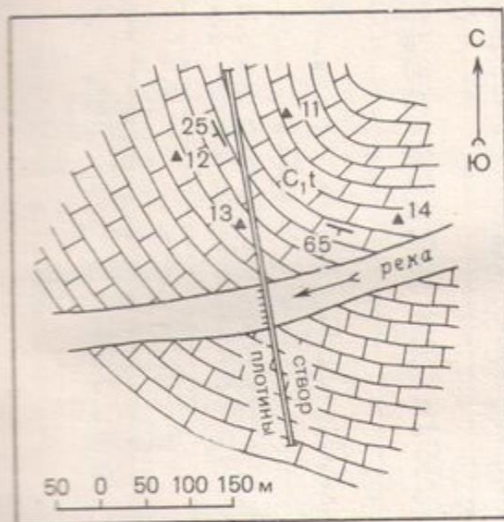


Рис. 1.3. Схематическая геологическая карта участка створа плотины: 1 — известняки турнейского яруса; 2 — элементы залегания пород; 3 — обнажение и его номер

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 С_{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.

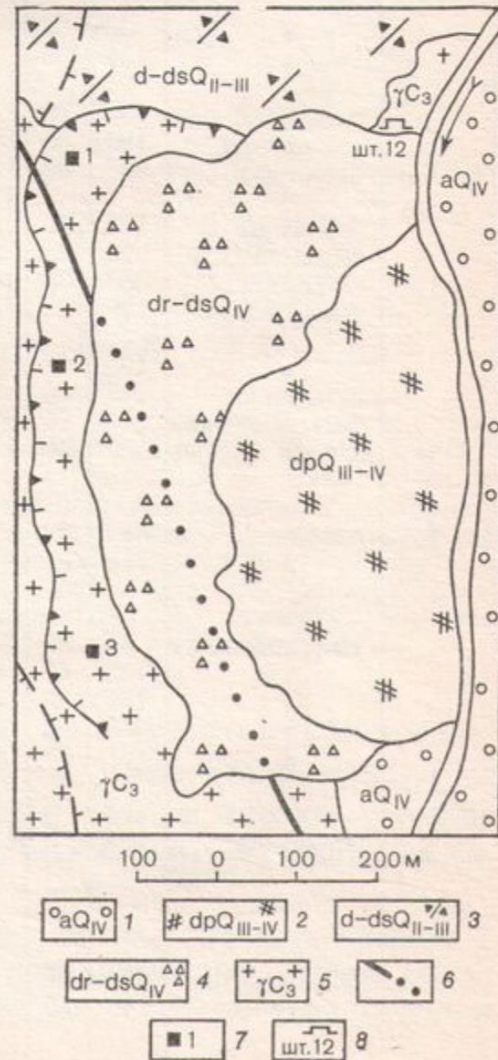


Рис. 1.4. Геологическая схема участка.

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	125	75	4	18	5	1,5	кварцевый хлоритовый карбонатно-глинистый	»	
	тектонические	190	55	7	5	3,8	1,0			
	остывания	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 вымытый
		140	55	4	7	4,0	0,8			
	» остывания	190	60	6	2	2,7	0,4	хлоритовый		
		245	30	5	5	3,8	0,8			
	тектонические »	280	65	3	12	2,5	1,7	кварцевый карбонатно-глинистый, рыхлый		
50		75	12	15	4,8	1,5				
III; 145	остывания	360	82	7	10	6,5	1,8	кварцевый древесно-глинистый, рыхлый	заполнитель изменен процессами выветривания	
	»	365	80	3	35	9,2	3,0			
	тектонические »	35	30	4	8	2,6	0,6	хлоритовый кварцевый		
		125	60	6	15	4,2	1,2			
	» »	160	40	5	3	1,8	0,7	» хлоритовый глинистый, ожелезненный		
		265	58	3	9	2,4	0,6			
	» остывания	62	70	6	12	3,4	1,4	карбонатно-глинистый		
		115	75	8	18	4,7	1,0			
	тектонические »	260	20	15	5	3,2	0,8	хлоритовый глинистый, рыхлый		то же
		40	75	6	15	4,5	1,8			

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.

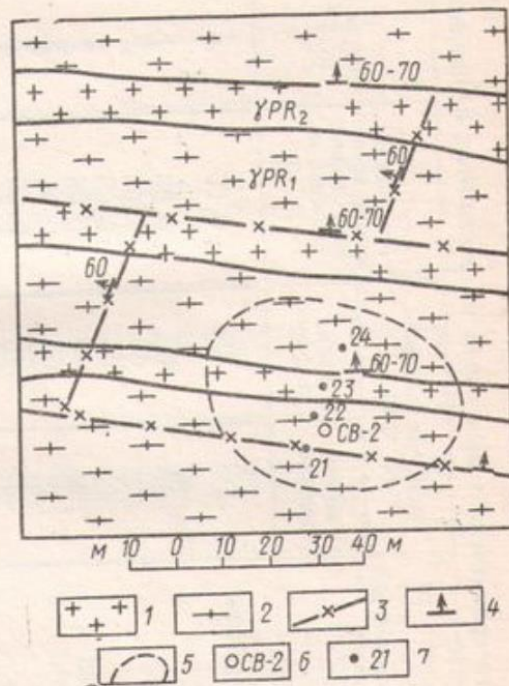


Рис. 1.5. Схематическая геологическая карта района месторождения: 1 — граниты; 2 — гнейсы; 3 — тектонические нарушения; 4 — элементы залегания; 5 — контуры полезного ископаемого; 6 — скважина, в которой проведен ультразвуковой каротаж; 7 — площадки изучения трещиноватости

Таблица 1.8

Характеристика трещиноватости гранитоидных пород на эталонных площадках

№ 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								
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	»				
23; 3	граниты микрокристаллические	γPR ₂	первичные от-дельности то же	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	»
				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, м²	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	»
				160	75	0,4	5	2,5	»
24; 2,5	гнейсы гранат-биотитовые, мелкокристаллические, слабоотриноватые	PR ₁	первичные от-дельности то же	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 рудомещающих 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-

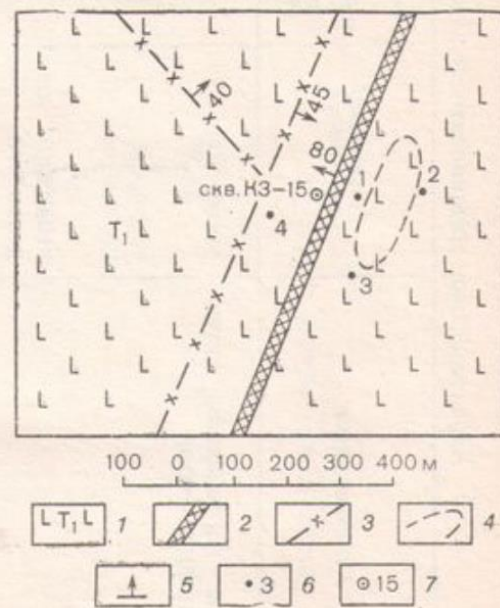


Рис. 1.6. Схематическая геологическая карта района месторождения: 1 — базальты триасовые; 2 — региональный разлом; 3 — тектонические нарушения; 4 — контуры рудного тела; 5 — элементы залегания; 6 — обнажения; 7 — инженерно-геологические скважины с УЗК

Таблица 1.10

Характеристика трещиноватости базальтов на эталонных площадках

№ обозначения; размеры площадки измерения трещин, м²	Описание пород	Генетический тип трещин	Элементы залегания, град		Расстояние между трещинами данной системы, м	Ширина, м · 10 ⁻³	Протяженность, м	Заполнитель
			азимут падения	угол падения				
1; 3	базальты порфириновые, интенсивно трещиноватые	тектонические	290	80	0,05	10	2,5	открытые
			295	82	0,05	10	2,5	»
			300	80	0,05	10	2,0	»
			290	70	0,05	10	2,0	»
			305	75	0,05	10	2,0	»
			310	80	0,2	10	2,0	кальцит
			185	85	0,2	6	1,2	открытые
			180	83	0,2	5	1,3	»
			175	85	0,2	5	1,2	»
			170	80	0,2	5	1,2	»
			275	82	0,2	5	0,8	»
			270	78	0,2	5	1,5	кальцит
			272	80	0,2	5	1,0	»
			265	80	0,2	5	1,0	»
			45	15	0,5	5	2,2	кварц
43	18	0,5	5	2,2	открытые			
47	15	0,5	5	2,2	»			
35	15	0,5	5	2,5	»			
2; 3	базальты порфириновые, средне-трещиноватые	тектонические	283	85	0,5	5	2,0	»
			280	80	0,5	5	2,0	»
			285	82	0,5	5	2,0	»
			273	80	0,5	5	2,0	»
			20	68	0,5	5	1,2	»
			25	70	0,5	5	1,2	»
			30	65	0,5	5	1,0	»
			130	60	0,8	5	2,0	»
			120	68	0,5	5	1,8	»
			110	65	0,7	5	1,3	»

Продолжение табл. 1.10

№ обозначения; размеры площадки измерения трещин, м ²	Описание пород	Геологический тип трещин	Элементы залегания, град		Расстояние между трещинами данной системы, м	Ширина, м · 10 ⁻³	Протяженность, 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	»
4; 3,6 1,5	базальты порфиоровые, средне-трещиноватые	»	300	80	0,5	5	1,5	»
			110	50	0,5	5	1,3	»
			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 T₁.

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).

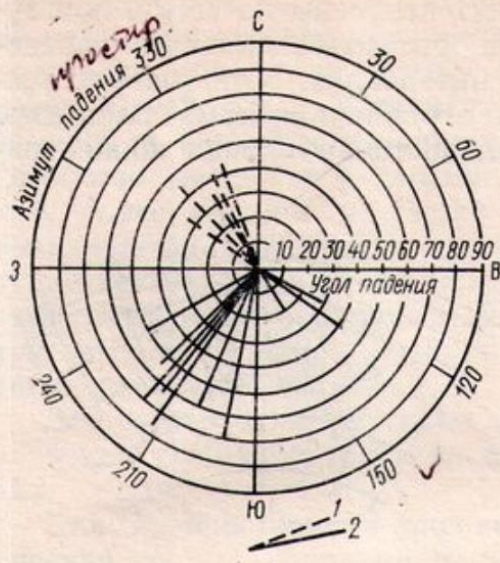


Рис. 6.1. Лучевая круговая диаграмма трещиноватости (по А. И. Ефимову).
Трещины: 1 — напластования, 2 — тектонические

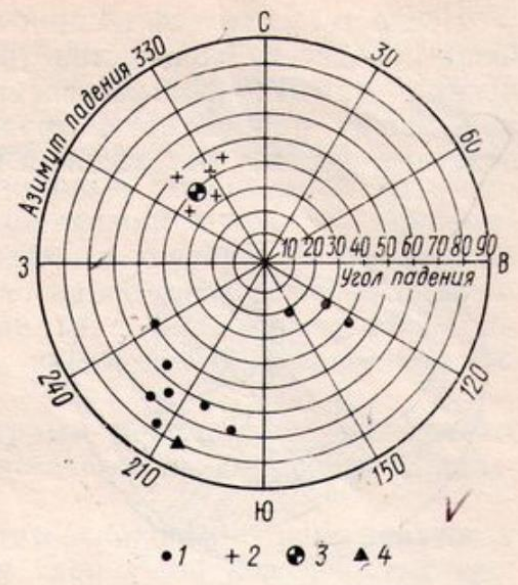


Рис. 6.2. Точечная круговая диаграмма трещиноватости пород. Трещины: 1 — напластования, 2 — тектонические; элементы залегания: 3 — пород, 4 — зон разлома

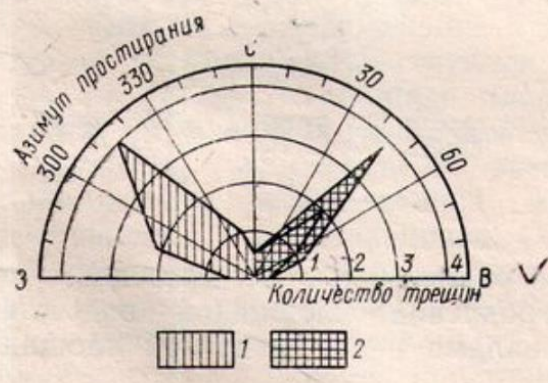


Рис. 6.3. Роза-диаграмма трещиноватости простираний трещин. Трещины: 1 — напластования, 2 — тектонические

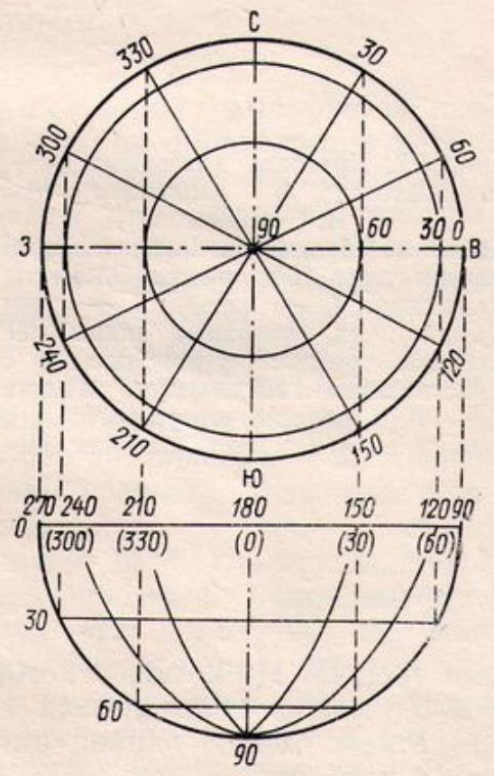


Рис. 6.4. Схема построения полярной сетки

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-

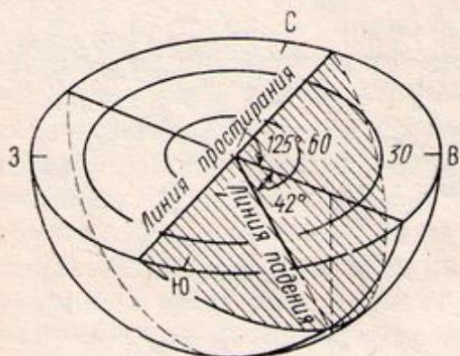


Рис. 6.5. Схема нанесения трещин на полярную сетку. Точка на горизонтальной плоскости соответствует трещине с аз. пад. 125° и $\angle 42^\circ$. Плоскость трещины заштрихована

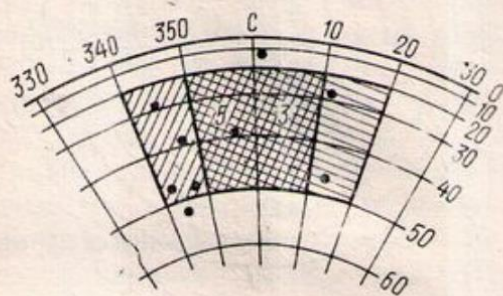
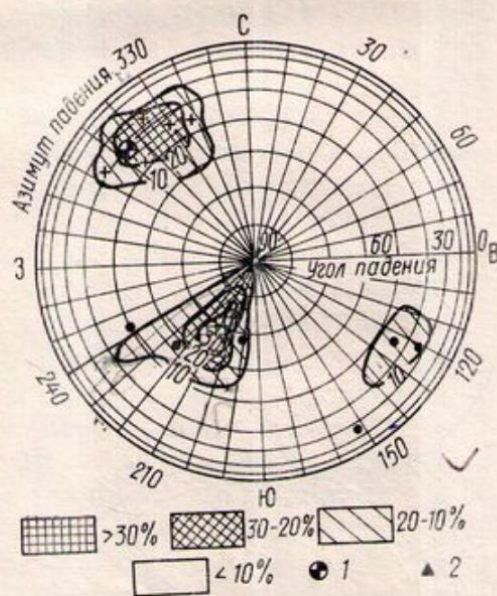


Рис. 6.6. Часть сетки с двумя соседними положениями 30-градусной площадки подсчета

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 $\sim 0,20-0,25$.

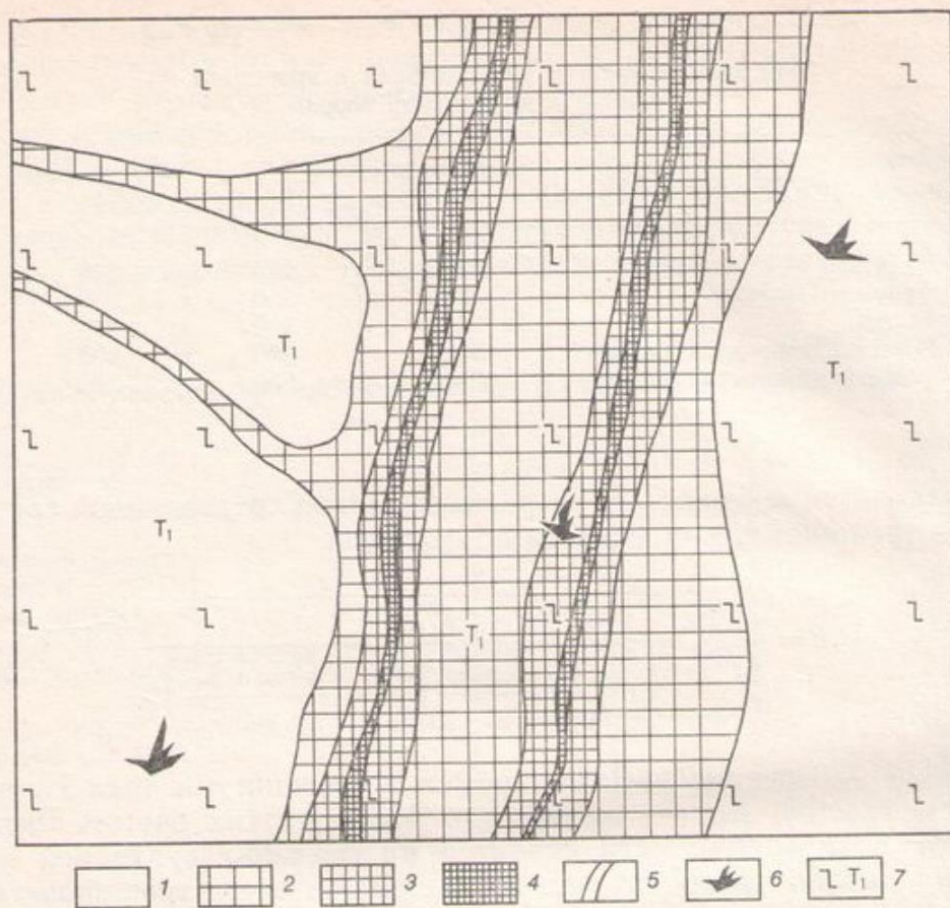


Рис. 6.8. Карта интенсивности трещиноватости базальтового массива. Массивы пород: 1 — слаботрещиноватых, 2 — среднетрещиноватых, 3 — сильнотрещиноватых, 4 — раздробленных; 5 — тектонические нарушения; 6 — розы-диаграммы простирания трещин; 7 — нижнетрианговые базальты

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.

