РУКОВОДСТВО

ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

gost.e-ecolog.ru

РУКОВОДСТВО

ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Под общей редакцией
Е. С. КАРПЫШЕВА

«ЭНЕРГИЯ»
Москва 1976

УДК 624.131.1:627.8.

В книге даны основные сведения, необходимые для организации и проведения инженерно-геологических изысканий для гидротехнического строительства. В первых главах изложены задачи изысканий, охарактеризованы горные породы и условия их залегания, описаны наиболее существенные физико-геологические явления и способы их изучения. В последующих главах приводится методика проведения и документации основных видов инженерно-геологических изыскательских работ: инженерно-геологической съемки, разведочных работ, изучения гидрогеологических условий и физико-механических свойств грунтов, составления и оформления инженерно-геологических чертежей.

Книга рассчитана на техников-геологов и может служить учебным пособием для производственного обучения младшего и среднего технического персонала.

Евгений Сергеевич Карпышев,
Лев Александрович Молоков,
Лидия Ильинична Нейштадт,
Лидия Петровна Конярова,
Елена Ивановна Барановская,
Игорь Алексеевич Пирогов

Руководство по инженерно-геологическим изысканиям для гидротехнического строительства

Редактор *Е. С. Карпышев*
Редактор издательства *О. А. Прудовская*
Переплет художника *Е. В. Никитина*
Технический редактор *Л. А. Молодцова*
Корректор *З. Б. Драновская*

Сдано в набор 24/IX 1975 г. Подписано к печати 24/II 1976 г.
Т-04474 Формат 84 × 108¹/₃₂ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 19,74 Уч.-изд. л. 20,48 Зак. 350 Цена 1 р. 18 к.
Тираж 5 000 экз.

Издательство «Энергия», Москва, М-114,
Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Р $\frac{30211\text{-}065}{051(01)\text{-}76}$ 242-76

© Издательство «Энергия», 1976

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основой инженерно-геологических материалов являются данные полевой документации изыскательских работ, выполняемой средним и младшим техническим персоналом под руководством инженеров-геологов. Подготовка кадров среднего и младшего технического персонала ведется как в специализированных техникумах, так и путем производственного обучения на курсах, создаваемых при изыскательских подразделениях.

Для того чтобы техники могли овладеть основами полевой документации и камеральной обработки материалов, выполняемых при инженерно-геологических изысканиях для гидротехнического строительства, необходимо иметь соответствующее учебное пособие. Изданное в 1954 г. под общим руководством Л. Д. Белого пособие для техников «Инженерно-геологические исследования при проектировании и строительстве гидроэнергетических сооружений», а также выпущенная в 1962 г. институтом «Гидропроект» имени С. Я. Жука работа «Полевая геологическая документация» стали в настоящее время библиографической редкостью и не отражают всех изменений в методике и технике изысканий, происшедших за последние годы.

Настоящая книга составлена с целью обеспечить необходимым пособием подготовку среднего и младшего технического персонала, занятого на изысканиях для гидротехнического и других видов строительства. Она может также служить руководством в повседневной полевой работе

изыскателей, так как охватывает все главные виды изыскательских работ. В связи с тем, что в одной книге нельзя описать все детали методики и техники изысканий, в ней изложены лишь основы инженерно-геологических знаний, необходимые для техников. Более подробно методы инженерно-геологических изысканий рассматриваются в инструкциях и руководствах по отдельным видам работ, выпущенных ранее институтом Гидропроект и другими организациями и перечисленных в прилагаемом списке литературы.

Авторами книги являются геологи института Гидропроект: Е. С. Карпышев—гл. 1, 2, 4 (кроме § 4-4), 5, 6 (кроме § 6-4 и 6-5), 7, 8; Л. А. Молоков — гл. 3; Л. П. Конярова — § 6-4 и 6-5; Л. И. Нейштадт и И. А. Пирогов — § 4-4; Е. И. Барановская — гл. 9.

Авторы выражают большую благодарность проф. Л. Д. Белому, давшему весьма ценные замечания по работе.

Авторы

Глава первая
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1-1. ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Для того чтобы составить проект гидротехнического сооружения, необходимо знать инженерно-геологические условия участка, выбранного для его строительства: геологическое строение, гидрогеологические условия и водопроницаемость горных пород, физико-механические свойства горных пород, физико-геологические явления, которые могут осложнить строительство и эксплуатацию сооружений. Для освещения всех этих вопросов проводятся инженерно-геологические изыскания, в состав которых входят следующие виды работ: инженерно-геологическая съемка, горно-буровые разведочные работы, геофизические исследования, опытно-фильтрационные работы и гидрогеологические наблюдения, изучение физико-механических свойств пород и различные специальные исследования особых условий, которые могут встречаться в районе строительства (карст, оползни, многолетняя мерзлота и пр.). В период строительства помимо изысканий обычно выполняются опытно-строительные работы и инженерно-геологическая документация строительных выемок.

Изыскания для проектирования гидротехнических сооружений ведутся по стадиям и этапам, главными из которых являются схема комплексного использования реки, технико-экономическое обоснование (ТЭО), технический проект и рабочие чертежи.

При составлении схемы использования изучается вся долина реки или ее значительный участок и выбирается район для строительства гидротехнического сооружения. При составлении технико-экономического обоснования в пределах этого района изучается несколько участков для размещения сооружений и выбирается один из них.

При составлении технического проекта окончательно устанавливаются места расположения сооружений и проводятся все изыскания и исследования, необходимые для составления их проекта. На стадии рабочих чертежей,

в период строительства сооружения, уточняются отдельные вопросы инженерно-геологических условий и проводятся необходимые наблюдения в котлованах и других строительных выемках.

Такая последовательность проектно-изыскательских работ позволяет правильно, с минимальными затратами времени и средств выбирать местоположение, основные размеры, типы и конструкции гидротехнических сооружений. В этом выборе большое значение придается инженерно-геологическим условиям, так как эти условия в значительной мере влияют на стоимость строительства гидротехнических сооружений и могут осложнить их осуществление.

Задачи инженерно-геологических изысканий существенно зависят от видов, типов и размеров проектируемых гидротехнических сооружений. Основными их видами являются плотины, каналы, тушели, напорно-станционные узлы. Кроме того, к ним относятся шлюзы, здания гидроэлектростанций, насосные станции и другие сооружения. Поскольку при строительстве плотин создаются водохранилища, они также являются объектом инженерно-геологических изысканий.

Плотины служат для подъема воды и удержания ее напора. Они могут строиться или из бетона, или из местных строительных материалов (глины, песка, травия, камня). Высота их может быть различной и достигает для некоторых уникальных плотин 200—300 м (Нурекская плотина на р. Вахш). Основание каждой плотины должно быть достаточно устойчивым, чтобы выдержать ее вес и сдвигающие усилия, действующие на плотину со стороны водохранилища, слабо и равномерно сжимаемым, маловодопроницаемым и устойчивым против размыва фильтрующейся водой. К основаниям бетонных плотин обычно предъявляются более высокие требования, так как они передают на грунт бо́льшие нагрузки, чем земляные плотины. Требования к основанию возрастают также по мере увеличения высоты плотины, так как при этом увеличиваются нагрузки на грунт и возрастает давление фильтрующейся воды.

Каналы могут иметь разное назначение: деривационные, отводящие (служащие для подачи воды к гидроэлектростанциям и отвода ее), оросительные, транспортные, для водообеспечения. Инженерно-геологические условия каналов в основном зависят от геологического

строения поверхностной зоны земной коры и происходящих в ней физико-геологических явлений. При изысканиях необходимо установить устойчивость откосов самих каналов и выемок, в которых они проходят, а также возможность фильтрации из канала и подтопления близ расположенных территорий.

Туннели служат для подачи или отвода воды к гидроэлектростанциям и другим объектам. Деривационные туннели—подающие воду к гидроэлектростанциям, могут быть напорными, вода в них протекает под давлением, которое может достигать нескольких десятков атмосфер. Основные вопросы, которые надо освещать при инженерно-геологическом обосновании туннелей: устойчивость и крепость пород, в которых пройдет туннель, приток подземных вод в туннельную выемку, температура пород и наличие вредных для человека газов.

Все гидроэлектростанции по компоновке входящих в них сооружений делятся на приплотинные, с расположением машинного здания гидроэлектростанции непосредственно у плотины, и деривационные, у которых вода подводится с помощью каналов или туннелей на некоторое расстояние к напорно-станционному узлу. В состав напорно-станционного узла обычно входят напорный бассейн, уравнительная башня, напорные трубопроводы, здание гидроэлектростанции и отводящий канал. Наиболее важным вопросом инженерно-геологического обоснования проектов напорно-станционных узлов является выявление устойчивости крутого высокого склона, на котором обычно прокладываются напорные трубопроводы.

В настоящее время широкое развитие получает также строительство гидроаккумулирующих станций (ГАЭС), в состав которых входят два бассейна—верхний и нижний и сооружения напорно-станционного узла. При изысканиях для ГАЭС обычно наиболее сложные вопросы возникают по верхнему бассейну, так как необходимо обеспечить его водонепроницаемость.

1-2. ОБЯЗАННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА

Изыскания для проектирования и строительства гидротехнических сооружений выполняются комплексными изыскательскими экспедициями и партиями, состоящими из трех основных подразделений: инженерно-геологичес-

кого, геодезического и гидрологического. В состав технического персонала инженерно-геологического подразделения входят главный геолог экспедиции, инженеры-геологи, старшие и младшие техники-геологи, производители буровых и горных работ, старшие и сменные буровые и горные мастера, механики.

Руководителем инженерно-геологических работ является главный геолог изыскательской экспедиции, которому по техническим вопросам подчиняется геологический персонал. Непосредственными помощниками его являются инженеры-геологи, руководящие тем или иным разделом или участком работы. Так, например, может быть выделен инженер-геолог, руководящий съемочными работами, документацией горных и буровых работ, опытно-фильтрационными работами, камеральной обработкой материалов и пр. Могут быть выделены также лица, ответственные за изыскания по тому или иному объекту (по плотине, по туннелю и пр.). В обязанности инженера-геолога входит выдача технических заданий на выполнение полевых работ, контроль за качеством выполнения инженерно-геологических работ и за правильностью их документации; руководство камеральной обработкой полевых материалов, составление предварительных данных и сводных графических материалов по выполненным работам (инженерно-геологических карт, разрезов, графиков и пр.).

В техническом задании, выдаваемом инженером-геологом технику-геологу, должна быть изложена основная цель и назначение данной работы, указано место ее проведения, даны проектные параметры разведочных выработок и их конструкция, указаны основные механизмы и приборы, применяемые при проведении работ, отмечен порядок отбора проб грунтов и воды и, кроме того, упомянуты все особенности, которые необходимо учитывать при выполнении данной работы. Таким образом, техническое задание должно полностью ориентировать техника-геолога в характере выполняемой работы.

Старший техник-геолог руководит выполнением полевых работ, непосредственно участвует в них и несет ответственность за правильность ведения первичной документации младшим техническим персоналом. Старший техник направляет также работу старшего бурового мастера и горного десятника и совместно с ним устанавливает и проверяет соблюдение наивыгоднейших режи-

мов технологических процессов при бурении скважин, проходке горных выработок, выполнении гидрогеологических опытов и других работ. Старший техник-геолог, получив от инженера-геолога задание на выполнение той или иной работы, изучает его, конкретизирует и доводит до сведения старшего бурового мастера или горного десятника. Он инструктирует младших техников-геологов, а также буровые и проходческие бригады о порядке выполнения данной работы. Поскольку в техническом задании не могут быть точно предусмотрены все особенности выполнения изыскательской работы, техник-геолог должен в ходе работ вносить уточнения в техническое задание, согласовывая их с инженером-геологом.

Основной задачей старшего техника-геолога является обеспечение высококачественной инженерно-геологической документации, для чего он должен обучать каждого подчиненного ему младшего техника правилам и приемам документации, помогать им в повседневной работе и регулярно контролировать правильность документации, делая контрольные описания и контрольные замеры. Каждая проверка должна отмечаться в полевом журнале по данной работе.

Наиболее ответственные работ, такие как описание обнажений, документация горных выработок, контрольное описание образцов буровых скважин и др., делают старший техник с младшим техником под руководством инженера-геолога.

После окончания документации буровой скважины или другого объекта старший техник принимает полевые записи от младшего техника, вносит в них необходимые дополнения и передает в камеральную группу для дальнейшей обработки.

Младший техник-геолог выполняет полевую документацию всех видов инженерно-геологических работ под руководством старшего техника и инженера-геолога. Он действует в соответствии с техническим заданием на выполнение данной работы имеющимися формами полевой документации и устными указаниями руководителей. Если работа проводилась в несколько смен, то, заступая на дежурство, младший техник должен ознакомиться с тем, что сделано за предыдущую смену, и оформить подписями в журнале по документации данной работы сдачу и приемку смены.

Находясь на дежурстве, он должен следить за правильностью выполнения буровой или горно-проходческой бригадой режима работ, обеспечивающего необходимое качестве инженерно-геологической документации. Младший техник должен правильно отбирать, документировать и упаковывать образцы и пробы горных пород и воды, а также следить за их сохранностью и отправкой. Он должен аккуратно и своевременно вести записи в формах полевой документации. Все записи и зарисовки в полевых документах делаются непосредственно на месте наблюдений и выполняются простым карандашом без помарок и подчисток. Листы в журнале должны быть пронумерованы, вырывать их не разрешается.

Глава вторая

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И УСЛОВИЯ ИХ ЗАЛЕГАНИЯ

2-1. ПОНЯТИЕ О СТРОЕНИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

а) Геохронологическое деление земной коры

Все геологические исследования ведутся в пределах земной коры, которая представляет собой поверхностный слой твердой оболочки Земли, доступный изучению.

Земная кора нашей планеты существует очень длительное время, исчисляемое многими сотнями миллионов лет. Это время так велико, что понятие о нем не совместимо с нашими обычными представлениями о времени и в отличие от исторического времени оно называется геологическим. За геологическое время на Земле происходили большие перемены: изменялся ее рельеф, отдельные участки опускались и становились дном мирового океана или поднимались и образовывали горы, менялся климат, растительность и животный мир. В самой земной коре все время шли процессы образования и разрушения горных пород.

История развития земной коры в течение геологического времени устанавливается на основании изучения пластов горных пород и содержащихся в них окаменелых ископаемых остатков животных и растений. Абсолютный возраст горных пород можно узнать путем определения количества радиоактивных изотопов (свинца,

углерода и пр.), образовавшихся при распаде содержащихся в минералах радиоактивных элементов.

Наука, занимающаяся изучением последовательности залегания слоев и толщ пород в земной коре, называется стратиграфией. Она служит основой для всех геологических построений (геологических карт, разрезов и пр.), поэтому при описании горных пород всегда определяется их стратиграфическая принадлежность. Абсолютный возраст пород устанавливается только в особых случаях, для научных целей.

На основании огромного фактического материала изучения земной коры в различных странах все породы, распространенные на земном шаре, были разделены на стратиграфические элементы и выделены соответствующие им геохронологические элементы:

Стратиграфические элементы (в разрезе земной коры)	Геохронологические элементы (во времени)
Группа	Эра
Система	Период
Отдел	Эпоха
Ярус	Век

Более дробное стратиграфическое деление пород на горизонты, свиты, пачки и пр. обычно имеет местное значение и не распространяется на большие территории.

Ниже приводится геохронологическая схема до системы включительно:

Группы	Системы
Кайнозойская	Четвертичная
	Неогеновая
	Палеогеновая
Мезозойская	Меловая
	Юрская
	Триасовая
Палеозойская	Пермская
	Каменноугольная
	Девонская
	Силурийская
	Ордовикская
	Кембрийская
Протерозойская	Верхний протерозой
	Средний протерозой
	Нижний протерозой
Архейская	Верхний архей
	Нижний архей

Геохронологические элементы выделены главным образом на основании ископаемых остатков фауны, которая развивалась, приспосабливаясь к различным усло-

виям жизни на Земле. Каждый стратиграфический элемент имеет общепринятое буквенное обозначение—стратиграфический индекс, что облегчает пользование геологическими материалами.

Пример. J_3v—волжский ярус верхнего отдела юрской системы.

Для того чтобы установить стратиграфическую принадлежность того или иного пласта горных пород при инженерно-геологических изысканиях, обычно пользуются геологическими материалами по изучаемому району: геологическими картами, специальными описаниями, помещенными в многотомных изданиях «Геология СССР» и другими литературными и фондовыми источниками.

Задача инженера-геолога состоит в том, чтобы тщательно изучить имеющиеся геологические материалы и правильно их использовать. Только при проведении инженерно-геологических изысканий в мало изученных районах приходится выполнять специальные стратиграфические исследования, которые поручаются специалистам по стратиграфии.

В инженерной геологии принято делить все породы, слагающие земную кору, на коренные (образовавшиеся до четвертичного периода) и четвертичные. Коренные породы обычно представлены скальными или уплотненными песчаными и глинистыми породами, а среди четвертичных отложений преобладают рыхлые образования. В связи с этим методы изучения инженерно-геологических свойств коренных и четвертичных отложений несколько различны.

б) Минералы

Земная кора состоит из горных пород, образованных минералами. Минералами называются продукты, возникающие в результате разнообразных физико-химических процессов, происходящих в земной коре. Они могут состоять из одного химического элемента или из химических соединений ряда элементов, но всегда обладают определенной внутренней структурой и комплексом физических признаков. В настоящее время известно около двух тысяч минералов, однако массовое распространение в природе и существенную роль в строении горных пород играют только около пятидесяти минералов, которые являются породообразующими. Знание этих минера-

лов и умение их определять необходимы для правильного описания горных пород.

Важным признаком минералов является строение и форма кристаллов, цвет, блеск, излом, спайность, твердость, плотность.

Твердые минералы могут иметь кристаллическое или аморфное строение. Минералы с кристаллическим строением встречаются в природе или в виде кристаллов, имеющих форму многогранников, или в виде зерен и масс, характеризующихся кристаллической природой вещества.

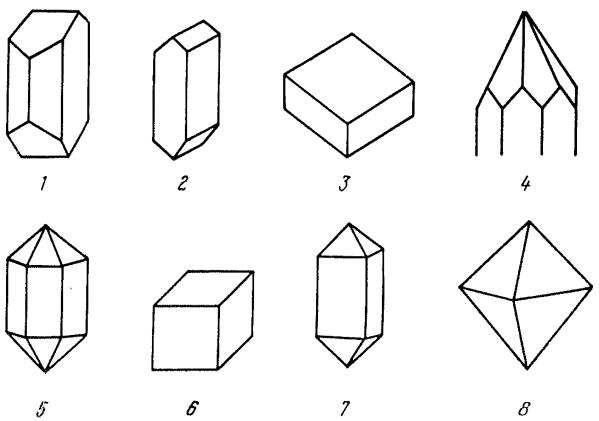


Рис. 2-1. Кристаллический облик минералов.
1 — ангидрид; *2* — гипс; *3* и *4* — кальцит; *5* — кварц; *6* — каменная соль; *7* — циркон; *8* — магнетит.

Большинству минералов присуща своя внешняя кристаллическая форма, которая зависит от химического состава и структуры вещества. Кристаллы многих минералов имеют вид очень сложных многогранников (рис. 2-1). Для каждого минерала характерно постоянство углов между гранями кристалла, а также правильная повторяемость элементов ограничения при его вращении вокруг оси симметрии. Порядок этой оси, изменяющийся от 1 до 6, показывает, сколько раз повторяется форма кристалла при повороте его на 360°.

Изучением кристаллического строения минералов занимается специальная наука — кристаллография, но

знание их внешних форм необходимо геологу для правильного определения минералов. Если кристаллы очень мелки и форму их нельзя различить, то принадлежность их к тому или другому минералу определяется микроскопическими исследованиями.

Некоторые минералы имеют вид закономерно сросшихся кристаллов, которые называются двойниками, тройниками и т. п. Характерным двойником является,

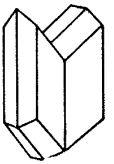
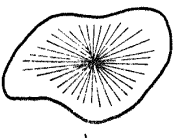
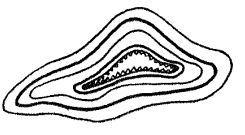


Рис. 2-2. **Двойник кристалла гипса «ласточкин хвост».**



а)



б)

Рис. 2-3. Минеральные заполнения пустот в породе.
а — конкреция; *б* — жеод.

например, «ласточкин хвост» гипса (рис. 2-2). В зависимости от условий отложения кристаллы могут иметь различные сочетания. Наиболее часто встречаются друзы, которые представляют собой щетки кристаллов, наросшие на поверхность пустот в горных породах. Если они заполняют эти пустоты, то образуется секреция. Мелкие секреции, нацело заполняющие пустоты, называются миндалинами, а крупные, содержащие внутри друзы,—жеодами. Если происходит стяжение кристаллического вещества вокруг какого-либо центра, то образуется конкреция, имеющая обычно округлую форму. Рост жеода идет от стенок пустоты к центру, а конкреция растет от центра к периферии (рис. 2-3).

Размеры кристаллов в природе бывают весьма различны; так, например, кристаллы полевого шпата иногда достигают в длину нескольких метров, а обычно они не превышают нескольких сантиметров. Принято выделять макрокристаллы, видимые невооруженным глазом, и микрокристаллы, которые можно выделить только с помощью увеличительных приборов.

Аморфные минералы (бурый железняк, опал) кристаллов не образуют, но имеют характерные формы в виде натеков. Аморфные минералы изотропны по своим физическим свойствам, в то время как кристалличе-

ские минералы анизотропны, т. е. свойства их в разных направлениях различны и подчиняются симметрии кристаллов.

Минералы отличаются большим разнообразием цветов и оттенков. Цвет различных минералов может быть белый, серый, желтый, розовый, красный, зеленый, синий, фиолетовый, черный. Некоторые минералы бесцветные или меняют свой цвет в зависимости от содержания различных примесей (кварц).

Цвет черты, проведенный на шероховатой фарфоровой пластинке, показывает цвет минерала в порошке. Для некоторых минералов, как, например, для бурого и магнитного железняка, цвет черты является важным отличительным признаком.

Блеск минерала может быть металлический (магнетит, пирит), металловидный (графит), стеклянный (кварц на гранях, кальцит, гипс), жирный (кварц на изломе, нефелин), радужный (слюда, тальк), шелковистый (волокнистый гипс, асбест). Некоторые минералы, например алмаз и цинковая обманка, обладают очень ярким блеском, который называют алмазным.

Излом минералов, являющийся весьма характерным признаком, может быть раковистый (кварц), занозистый (волокнистый гипс, асбест), землистый (каолин, лимонит), ровный (магнетит), зернистый (мрамор, гранит).

Спайностью называется способность кристаллических минералов раскалываться по одному или нескольким направлениям, образуя ровные поверхности, называемые плоскостями спайности. Весьма совершенной спайностью обладает слюда, совершенная спайность характерна для кальцита и каменной соли. Некоторые минералы, как, например, кварц, не обладают спайностью.

Твердость минералов или способность их сопротивляться царапанию, давлению, истиранию другим минералом, является весьма важным диагностическим признаком. Для определения твердости принята шкала Мооса, в которой десять минералов располагаются в порядке возрастающей твердости и каждый предыдущий минерал чертится последующим. Твердость обозначается порядковой цифрой шкалы твердости, которая помещена ниже.

1. Тальк.
2. Гипс.
3. Кальцит.
4. Флюорит.
5. Апатит.
6. Ортоклаз.
7. Кварц.
8. Топаз.
9. Корунд.
10. Алмаз.

Обычно для определения твердости пользуются подручными предметами, твердость которых соответствует следующим позициям шкалы Мооса: мягкий карандаш—1, ноготь—2, бронзовая монета—3, стекло—4, острие ножа—5, напильник—6, кусочек кварца—7.

Плотность минералов (по отношению к плотности воды) колеблется от 0,6 для нефти до 21 для платины. Точно она может быть определена только в лабораторных условиях, а при визуальном описании пользуются взвешиванием на руке, что дает возможность приблизительно установить плотность минерала.

Помимо этих основных признаков, при определении минералов могут быть использованы их оптические свойства (двойное лучепреломление кальцита), магнитные свойства (магнитный железняк), вкус (различные соли) и пр.

Основные свойства породообразующих минералов приведены в учебниках по минералогии.

в) Общая характеристика горных пород и условий их залегания

Горные породы представляют собой минеральные агрегаты, имеющие более или менее постоянный состав и строение и являющиеся составной частью земной коры. Они могут состоять как из многих, так и из одного какого-либо минерала. Примером полиминеральных пород может быть гранит, состоящий из полевых шпатов, кварца, слюды и роговой обманки. К мономинеральным породам относится известняк, породообразующим минералом для которого служит кальцит. Помимо породообразующих минералов, в каждой породе могут встречаться в виде незначительной примеси добавочные, так называемые акцессорные минералы.

В изверженных породах часть минералов являются первичными, образовавшимися при застывании магмы, а часть вторичными, возникшими в результате процессов *каолинизации, серитизации, хлоритизации, серпантинизации* и пр. Эти изменения происходят под действием тектонического сжатия, циркуляции гидротермальных растворов и других явлений, происходящих в земной коре.

Изучая состав и строение горных пород, необходимо знать условия их образования (генезис), так как эти

факторы между собой очень тесно связаны. Это же необходимо для составления всех геологических материалов, поскольку при изучении геологического строения участка геолог обычно не может проследить каждый пласт на всем его протяжении, а видит его лишь частично в отдельных обнажениях или в горных выработках. Знание условий образования породы помогает по этим отдельным точкам построить границы пластов в пространстве и установить степень однородности свойств слагающих их пород.

По условиям образования все горные породы делятся на три большие группы: изверженные (магматические), осадочные и метаморфические. В пределах каждой из этих групп существует еще более дробное деление.

Для каждой из этих групп пород характерны определенные формы и условия залегания, которые зависят как от способа образования породы, так и последующих тектонических движений земной коры. Тектоникой называется учение о геологическом строении земной коры, геологических сооружениях на Земле и о характере залегания пластов. Изверженные породы образуют массивные магматические тела, форма и размеры которых описаны ниже (§ 2-2). Осадочные породы залегают в виде пластов той или иной мощности, а формы залегания метаморфических пород зависят от первоначальных форм тех пород, из которых они образовались, и процессов метаморфизма.

Слои горных пород под влиянием тектонических движений изменяют свое первоначальное, преимущественно горизонтальное положение — испытывают дислокации. Движения земной коры возникают главным образом под влиянием внутренних (эндогенных) процессов, происходящих в глубинах Земли. Они могут иметь характер медленных вертикальных движений (эпейрогенические движения) или преимущественно горизонтальных перемещений (орогенические движения). При вертикальных движениях слои горных пород приобретают некоторый наклон, а если длительное время прогибается значительный участок земной коры, мощность отложений в центре его возрастает (геосинклинальные зоны). При горизонтальном смятии земной коры возникают дислокации, которые могут быть пликативные, характеризующиеся образованием складчатости без разрыва сплошности слоев, и дизъюнктивные—с разрывом сплошности.

В соответствии со сказанным в пределах земной коры по тектоническим условиям могут быть выделены следующие области: платформенные, в пределах которых породы залегают относительно спокойно; геосинклинальные, испытывающие медленные вертикальные перемещения, и геоструктурные, характеризующиеся горообразовательными тектоническими процессами.

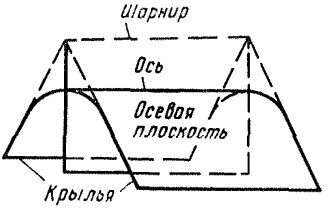


Рис. 2-4. Элементы пликативной складки.

Основные элементы пликативной складки изображены на рис. 2-4. Крыльями складки называются ее плоские бока, которые соединяет изгиб или замок складки; внутренняя часть складки называется ее ядром. Осью складки называется линия, соединяющая все точки перегиба слоев в замке. Линия, где пересекаются мысленно продолженные плоскости крыльев, называется шарниром складки. Синклиналью называется складка,

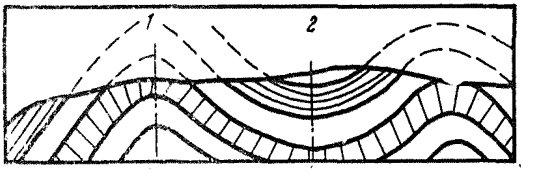


Рис. 2-5 Основные формы пликативных складок.
1 — антиклиналь; *2* — синклиналь.

крылья которой сходятся книзу, антиклиналью—крылья которой расходятся книзу (рис. 2-5). Различают прямые, наклонные, лежачие, изоклинальные, веерные и другие складки (рис. 2-6).

К дизъюнктивным дислокациям относятся сбросы, взбросы, сдвиги, грабены и горсты (рис. 2-7).

Сброс представляет собой разрывное нарушение, вызванное опусканием одного участка земной коры относительно другого. Разделяющая их поверхность разрыва, по которой произошло перемещение пород, называется сместителем. Взбросом называется тектоническое нарушение, при котором произошло перемещение кверху одного участка земной коры относительно другого. На-

двигом называется такой взброс, при котором плоскость смещения имеет наклон менее 30°. Образованию взброса и надвига предшествует пережим пород—флексура. Сдвигом называется смещение пород по поверхности разрыва в горизонтальном или близком к нему направлении. Горстом называется опускание пластов по краям массива, остающегося неподвижным, грабеном—опускание узкой глыбы между двумя остающимися неподвижно массивами.

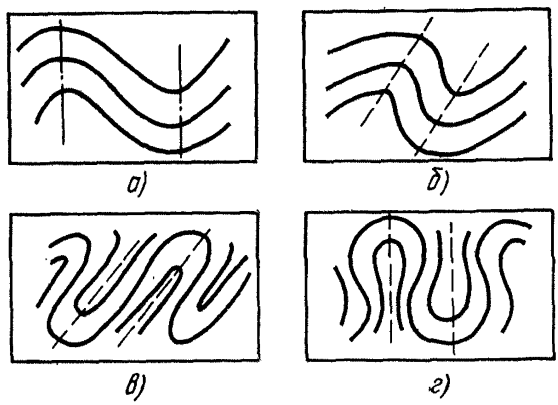


Рис. 2-6. Разновидности пликативных складок.
а — прямая; *б* — опрокинутая; *в* — лежачая; *г* — изоклинальная.

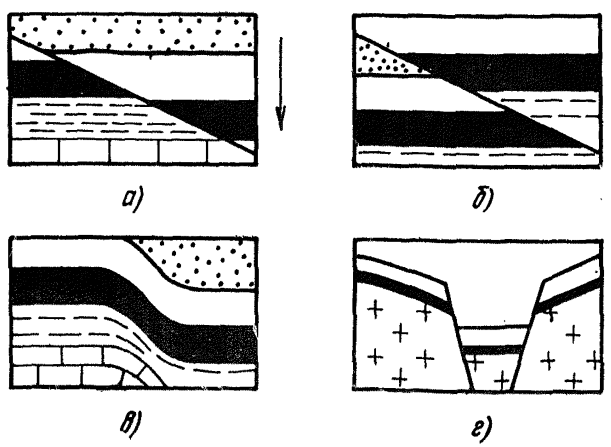


Рис. 2-7. Дизъюнктивные дислокации.
а — сброс; *б* — взброс; *в* — флексура; *г* — грабен.

2-2. ИЗВЕРЖЕННЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

а) Виды изверженных пород, их основные признаки и формы залегания

Изверженные породы представляют собой застывшую магму. Минералогический состав и строение этих пород определяется двумя главными факторами, которые положены в основу их классификации: содержанием в

Таблица 2-1

Наиболее распространенные разновидности изверженных пород

Изверженные породы			Содержание, %	
Интрузивные		Эффузивные	SiO_2	темных минералов
глубинные	гипабиссальные			
Кислые породы				
Граниты, гранодиориты	Кварцевые порфиры	Липариты, дациты	>65	10—15
Средние породы				
Сиениты, монциониты	Ортоклазовые порфиры	Трахиты, вулканические туфы	65—52	15—25
Диориты	Порфириты	Андезиты, туфогенные породы		25—35
Основные породы				
Габбро, нориты	Диабазы, долериты	Базальты, мелафиры	52—40	35—55
Ультраосновные породы				
Перидотиты, дуниты	Очень редки	Отсутствуют	<40	>55

магме кремнекислоты (SiO_2) и условиями застывания магмы (табл. 2-1). В зависимости от содержания кремнекислоты различаются ультракислые, кислые, средние, основные и ультраосновные породы. По условиям застывания магмы различаются интрузивные породы, которые

застыли в недрах земной коры, и эффузивные—излившиеся на ее поверхность. В зависимости от глубины застывания среди интрузивных пород выделяются глубинные или абиссальные и образовавшиеся на относительно небольшой глубине—гипабиссальные.

Чем выше давление и медленнее остывание магмы, тем полнее идет ее кристаллизация. Поэтому глубинные интрузивные породы (граниты, сиениты, габбро и пр.) обычно характеризуются хорошо выраженной кристаллической структурой, гипабиссальные породы (порфиры, порфириты, диабазы) могут иметь неполнокристаллическую структуру, а эффузивные породы (андезиты, базальты) характеризуются неполнокристаллической и стекловатой структурой.

На условия кристаллизации магмы и, следовательно, на состав и строение изверженных пород существенно влияют форма и размеры магматического тела: чем меньше его объем и мощность, тем менее благоприятны условия для кристаллизации расплава.

В толщах эффузивных пород наблюдается переслаивание застывших потоков лавы с пирокластическими породами, которые являются продуктами вулканических выбросов. Лавы обычно представлены крепкими породами типа базальтов, а пирокластические породы менее прочными, а иногда и рыхлыми образованиями — туфобрекчиями, туфопесчаниками, вулканическими пеплами и пр. Эффузивные породы, подвергаясь метаморфизму и выветриванию, с течением времени меняют свой первичный вид и состав, в связи с чем их принято разделять на палеотипные, образовавшиеся в палеозойской эре и раньше, и кайнотипные, образовавшиеся позже палеозоя.

Точное определение названия изверженной породы может быть дано только в результате исследований ее шлифов с помощью поляризационного микроскопа. На основании этих исследований создается коллекция эталонных образцов, с помощью которых проводится визуальное описание пород, распространенных в данном районе. Основным признаком для определения названия породы служит ее минералогический состав, который должен отмечаться при описании образцов.

При описании изверженной горной породы должна быть дана также характеристика ее текстуры и структуры. Под текстурой понимают сложение, характеризующееся расположением зерен минералов в породе, и сте-

пень ее сплошности. По расположению минералов в породе различают следующие текстуры: массивная, характеризующаяся беспорядочным расположением минералов; слоистая, отличающаяся послойным расположением минералов (наиболее характерна для осадочных пород); сланцевая, характеризующаяся параллельным расположением плитчатых материалов (свойственна метаморфическим породам); флюидальная, при которой минералы располагаются как бы потоками (свойственна эффузивным породам). По сплошности различают компактные и пористые породы, которые могут образоваться при застывании вязкой лавы.

Под структурой понимают строение минеральных агрегатов, степень их кристаллизации, размеры и форму минеральных зерен. По степени кристаллизации различают следующие структуры: полнокристаллическую, неполнокристаллическую, скрытокристаллическую (афанитовую) и стекловатую структуру, лишенную кристаллов (свойственна эффузивным породам).

По размерам минеральных зерен различают следующие структуры: весьма крупнозернистую с длиной отдельных кристаллов более 10 мм; крупнозернистую—5—10 мм; среднезернистую — 2—5 мм; мелкозернистую — менее 2 мм; плотную или афанитовую, при которой кристаллы нельзя различить невооруженным глазом.

По относительной величине кристаллов различают равномернозернистую и порфировую структуры, в которых отдельные кристаллы выделяются своими крупными размерами. Порфировая структура свойственна эффузивным породам. Если вкрапленники погружены в стекло, структура называется витрофировой.

При описании магматических пород большое значение имеет выявление инородных тел и участков. К ним относятся обломки вмещающих пород—ксенолиты и образования, возникающие в самом магматическом очаге,—шлиры.

Цвет магматических пород зависит от их минерального состава. Ультраосновные и основные породы, богатые магнезиальножелезистым материалом, вне зависимости от способа образования имеют цвет от темно-зеленого до черного, а кислые и средние породы, более богатые алюмосиликатами (полевыми шпатами), обычно окрашены в более светлые серые, зеленые и красноватые тона.

При описании пород пользуются приближенным установлением их плотности взвешиванием на руке. Кислые кристаллические породы (гранит) имеют относительную плотность от 2,5 до 2,7; средние (диорит)—2,7—2,8; основные (габбро) 2,9—3,1; ультраосновные (перидотит) 3,1—3,5. В этих же пределах изменяется плотность их излившихся аналогов.

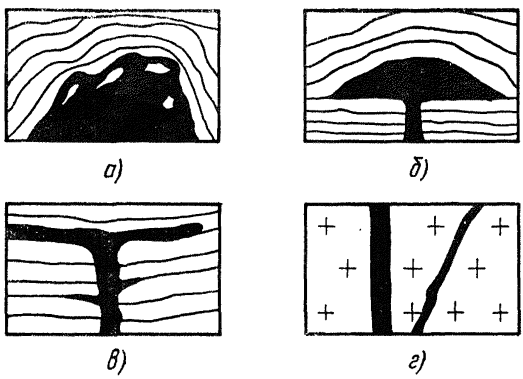
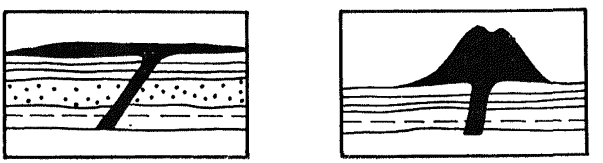


Рис. 2-8. Формы залегания интрузивных пород.
а — батолит; *б* — лакколит; *в* — интрузивная пластовая залежь; *г* — жилы.

Интрузивные (внедрившиеся) магматические породы залегают в виде батолитов, лакколитов, штоков, интрузивных залежей и жил (рис. 2-8). Батолит представляет собой интрузивное тело огромных размеров, расширяющееся книзу и распространяющееся на неопределенную глубину. Лакколитом называется интрузивное тело весьма крупного размера караваеобразной формы, лежащее обычно на осадочных породах и перекрываемое ими. Шток представляет собой интрузивное тело крупного размера, протыкающее осадочные породы и уходящее своим основанием на неопределенную глубину к магматическому очагу. Интрузивная пластовая залежь (силл) образуется в результате внедрения магмы между пластами осадочных пород на относительно небольшой глубине от поверхности. Типичные интрузивные залежи представлены сибирскими траппами, вскрываемыми долиной р. Ангары.

Жилы образуются в результате заполнения трещин в породе магматическим расплавом или продуктами, сопутствующими внедрению магмы. Жилы могут пересекать вмещающие породы под самыми различными углами и иметь весьма различную мощность—от нескольких сантиметров до сотен метров. Жилы, имеющие крутое падение, называются дайками. Ответвления и отростки жил называются апофизами.



а) *б)*

Рис. 2-9. Формы залегания эффузивных пород.
а — покров; *б* — купол.

Эффузивные магматические породы могут залегать в форме потоков, покровов и куполов (рис. 2-9). Потоки представляют собой вытянутые магматические тела, образовавшиеся в результате излияния лавы в какое-либо понижение местности. Форма их и размеры зависят от формы понижения и условий застывания магмы. Основные лавы как наиболее подвижные образуют наиболее длинные потоки. Покровы образуются при излиянии лавы на относительно ровную поверхность, когда растекание ее происходит в различные стороны. Они могут занимать очень большие площади. Купола образуются в результате излияния очень вязкой малоподвижной магмы, которая быстро застывает и не растекается далеко от места выхода, а наращиваясь, образует высокий конус. Такие конусы типичны для большинства вулканов.

б) Основные типы изверженных пород

Главнейшими представителями различных видов изверженных пород являются граниты, сиениты, диориты, габбро, порфиры, порфириты, диабазы, андезиты, базальты, вулканические туфы. Ниже дается краткая характеристика их состава и строения и внешние признаки, которые необходимо знать для описания породы.

Граниты имеют ясно выраженную кристаллическую структуру. Они состоят в основном из полевого шпата и, кроме того, содержат кварц, слюду и роговую обманку. Цвет породы зависит от полевых шпатов, которые могут быть красные, желтые, белые и серые. Поверхность кристаллов полевых шпатов обычно гладкая с шелковистым блеском плоскостей спайности. Кварц представлен белыми, сероватыми или дымчатыми слабопрозрачными, стекловидными блестящими зернами. Поверхность их излома неровная вследствие отсутствия спайности. Слюды представлены или биотитом (черным), или мусковитом (белым), имеют блестящую поверхность и совершенную спайность, поэтому легко расщепляются на пластинки кончиком ножа. Зерна роговой обманки удлиненные, черного и темно-зеленого цвета, блестящие или матовые.

Сиенит представляет собой бескварцевую разновидность гранита. Он является полнокристаллической массивной породой, состоящей из розового или белого полевого шпата—ортоклаза и какого-либо темноцветного минерала — роговой обманки биотита или пироксена. Окраска породы может быть розовая, красная, светло-серая. Местами встречается нефелиновый сиенит, в составе которого, помимо других минералов, характерных для сиенита, присутствует нефелин — белый, зеленый, серый или кирпично-красный минерал, таблитчатые кристаллы которого имеют жирный блеск.

Диорит — это полнокристаллическая порода, состоящая из серого и зеленовато-серого полевого шпата— плагиоклаза и темноцветных минералов — роговой обманки, авгита, черной слюды, которых содержится до 30%. Кварц обычно отсутствует полностью. Если он присутствует в небольшом количестве, то породу называют кварцевым диоритом. Окраска диорита серая, темно-серая, зеленовато-серая.

Габбро — это полнокристаллическая глубинная массивная порода, состоящая из основных плагиоклазов — лабрадора, анортита и одного из темноцветных минералов — пироксена, оливина или амфиболита. Кварц в породе отсутствует. Основные плагиоклазы обычно имеют темную окраску, блеск их на поверхностях спайности перламутровый с игрой зеленого и синего цветов. В зависимости от содержания одного из перечисленных выше темноцветных минералов габбро делятся на пироксеновые,

оливиновые или амфиболовые. Цвет породы может быть от темно-серого до черного. Структура ее чаще всего равномернозернистая. Вследствие присутствия кристаллов магнетита и других тяжелых минералов габбро имеет большую плотность, которая может достигать 3100 кг/м^3.

Породы порфирового строения характеризуются наличием крупных кристаллов, погруженных в тонко- или скрытокристаллическую массу. Различают кварцевые порфиры, которые по составу минералов являются аналогами гранита, и бескварцевые (ортофиры), соответствующие сиенитам.

Порфирит — это зеленокаменная порода, содержащая отдельные крупные кристаллы плагиоклаза, роговой обманки или пироксена, которые погружены в основной массе, обычно состоящей из тех же минералов и хлоритизированного стекла. По составу минералов порода соответствует диориту. Порфириты встречаются среди гипабиссальных пород и палеотипных эффузивных пород.

Диабаз — это полнокристаллическая гипабиссальная или эффузивная порода палеотипного облика темно-серого цвета, часто с зеленоватым оттенком. По своему составу она является аналогом габбро и состоит из основного плагиоклаза (чаще всего лабрадорита) и авгита. Часто наблюдается также присутствие хлорита и других вторичных минералов. Диабаз залегает в виде пластовых залежей — силлов (сибирские траппы), покровов и жил.

Андезит — это кайнотипная эффузивная порода порфировой структуры темно-серого или зеленовато-серого цвета. По минералогическому составу она является аналогом диорита. Основная тонкокристаллическая масса породы состоит из плагиоклаза и темноцветных минералов. Крупные порфировые выделения состоят из андезита или лабрадора. Андезит образует вместе с базальтом основную массу излившихся пород как в области современного, так и в области древнего вулканизма.

Базальт — это кайнотипная эффузивная порода, черная или темно-серая, обычно неполнокристаллической структуры. Она является эффузивным аналогом габбро и состоит главным образом из основного плагиоклаза (лабрадора), авгита и оливина и содержит рудные минералы. Основная масса базальта имеет афанитовую структуру и содержит лишь отдельные порфировые выделения

авгита или других минералов. Иногда в базальтах наблюдается пористая или миндалекаменная текстура.

Базальты связаны непрерывными переходами состава с андезитами. Такие переходные породы называются андезитобазальтами.

Вулканические туфы образуются из твердых продуктов вулканических извержений (шлаков, песка, вулканических бомб). По составу они являются аналогами соответствующих эффузивных пород (базальтовые, андезитовые туфы). В зависимости от структуры обломков различаются туфы: крупнообломочные или туфобрекчии; мелкообломочные или туфопесчаники и стекловатые, состоящие из обломков вулканического стекла. Характерной особенностью вулканических туфов является угловатость обломков и несортированность их по величине.

2-3. ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

а) Виды осадочных пород и их основные признаки

Осадочные породы образуются в результате распада любых пород в поверхностных частях земной коры, а также как продукты выпадения осадков из водной и воздушной среды. Разрушение пород происходит в результате физического и химического выветривания. В зависимости от условий образования и факторов, способствующих накоплению, осадочные породы можно подразделить на следующие генетические группы: механические, химические и органогенные осадки. Механические осадки называются иначе обломочными осадочными породами, так как они обычно представлены обломками различных пород.

Важным признаком осадочных пород является характер их напластования, который свидетельствует об условиях накопления и последующего диагенеза осадков. Эти условия принято называть фациальными. Знание их помогает правильно описать породу в обнажении и построить пласты пород на картах и разрезах. Поэтому геологическое изучение осадочных пород необходимо проводить на основе фациального анализа, так как условия образования осадочных пород определяют их литологический состав и закономерности изменения состава.

Слои осадочных пород могут иметь самую различную мощность — от нескольких сантиметров до нескольких метров. Малая мощность слоев свидетельствует или о медленном накоплении осадков, или о частой смене условий накопления. Часто толщи осадочных пород представлены закономерным чередованием слоев определенной мощности. Такая ритмичность напластования характерна для песчаников, алевролитов и глин, а также

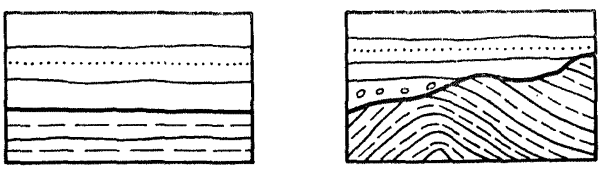


Рис. 2-10. Условия залегания осадочных пород.
а — согласное залегание; *б* — несогласное залегание.

для карбонатных пород — известняков и доломитов, отлагающихся в прибрежных зонах моря. Породы, имеющие частое закономерное чередование песчаных, глинистых и карбонатных слоев, называются флишем.

Слои пород могут залегать один на другом согласно, когда поверхности напластования параллельны, и несогласно, когда эти поверхности пересекаются (рис. 2-10). Несогласие слоев свидетельствует о изменении условий отложения осадков или о перерыве осадкообразования.

Мощность слоев осадочных пород не всегда сохраняется постоянной, что также зависит от условий их образования. Если мощность слоя постепенно уменьшается, то говорят, что он выклинивается. Небольшие по мощности и протяженности слои, встречающиеся в четвертичных отложениях, называют линзами, прослойками и пр. (рис. 2-11).

Осадочные породы в зависимости от особенностей среды, в которой они образовались, делятся на морские и континентальные. Морские отложения обычно являются более однородными по составу и более выдержанными по мощности и простиранию. Континентальные отложения значительно менее выдержаны по своему составу и распространению, а также отличаются большим разнообразием генетических типов. Ниже приводится краткая

характеристика основных генетических типов континентальных четвертичных отложений, с которыми часто приходится встречаться при инженерно-геологических изысканиях.

Элювий — продукты выветривания различных пород, залегающие на месте своего первоначального нахождения. Состав этих образований зависит от состава материнских пород и степени их выветривания. Они могут быть представлены различными грунтами—от глинистых до крупнообломочных.

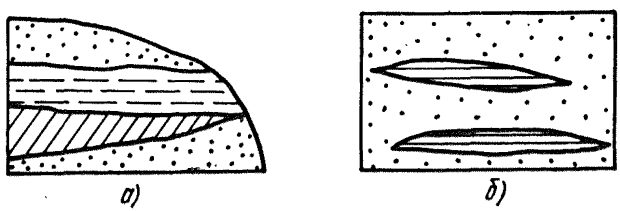


Рис. 2-11. Изменение мощности слоев.
а — выклинивание слоя; *б* — линзообразное залегание.

Делювий — породы, образовавшиеся в результате плоскостного смыва на склонах. Обычно они представлены песчано-глинистыми образованиями с включением гальки и щебня.

Осыпи и обвальные накопления образуются у подножья крутых склонов. Обычно они сложены крупнообломочными породами.

Аллювий — отложения рек и ручьев, образующиеся на дне долин, балок и оврагов в результате сноса и отложения рыхлых продуктов выветривания горных пород. Аллювий состоит преимущественно из песков и галечников различной степени окатанности и в меньшей степени из супесчано-суглинистых пород. Для него характерна косая слоистость, которая возникает в результате изменения направления водной струи. Различается русловой аллювий и пойменный, который отличается более мелкозернистым материалом и нередко представлен суглинками. Аллювиальные отложения образуют речные террасы.

Пролювий — отложения временных потоков, образующиеся у устья балок и оврагов. Они характеризуются плохой сортированностью и слабой окатанностью материалов и состоят обычно из крупнообломочных пород.

Морена — образуется в результате разрушения, переноса и отложения ледником различных горных пород. Она состоит преимущественно из грубообломочного материала, представленного суглинками и супесями с включением гравия, гальки и валунов. Моренные грунты отличаются плохой сортировкой и большим разнообразием размеров входящих в них частиц. Местами они образуют гряды холмов — конечные морены.

Озерноледниковые отложения — глинистые породы, образующиеся в водоемах, в которые стекали талые ледниковые воды. Для них характерны так называемые ленточные глины, представляющие собой тонкослоистую породу, в разрезе которой чередуются глинистые и тонкопесчаные слои.

Флювиогляциальные отложения—преимущественно песчаные и гравелистые породы, отложенные потоками талых ледниковых вод. Они могут образовываться внутри ледника и на его периферии. В первом случае они образуют характерные гряды холмов — озы, во втором — зандровые поля.

Эоловые отложения — тонкозернистые и пылеватые весьма однородные пески, перенесенные и отложенные ветром. Они образуют характерные холмы — дюны, барханы и пр.

Для осадочных пород различают следующие основные структуры, имеющие дальнейшее более дробное деление: грубообломочная с величиной частиц более 2 мм в диаметре; песчаная с обломками размером от 0,05 до 2 мм, алевритовая или пылеватая с частицами от 0,05 до 0,005 мм и глинистая с обломками менее 0,005 мм. По форме обломков различают нормальную осадочную структуру, в которой обломки могут быть угловатыми (неокатанными), округлоугловатыми (полуокатанными) и округлыми полированными (окатанными); туфогенную структуру, при которой все обломки являются резко угловатыми. Окатанность обломков породы является важным признаком, помогающим установить условия ее образования.

По форме зерен выделяют структуры: равно- и разнозернистую; правильно и неправильно зернистую; оолитовую, где зернами являются мелкие шаровые стяжения (характерна для некоторых известняков); листоватую, игольчатую и волокнистую; брекчиевидную, где порода состоит из отдельно спаенных между собой резкоуглова-

тых обломков, и конгломератовидную, состоящую из окатанных обломков.

Текстура осадочных пород может быть беспорядочная, где составляющий породу материал как бы перемешан (морена, конгломераты), листоватая, при которой порода разделяется на тонкие пропластики, и чешуйчатая.

Кроме того, для осадочных пород характерны такие особенности строения, которые можно хорошо выявить не в маленьком куске породы, а в целых пластах или толщах. К таким формам, называемым макротекстурами, относится в первую очередь слоистость, которая является одним из важнейших признаков большинства осадочных пород. Прямая горизонтальная слоистость характерна для глубоководных морских осадков, отложившихся в спокойных условиях. Если отложение осадка происходит в обстановке воздушных или водных течений, то образуется косая слоистость. Характерная косая слоистость аллювиальных песков изображена на рис. 2-12. Помимо слоистости характерными структурными признаками осадочных пород являются ископаемая рябь, трещины высыхания, отпечатки дождя или града и, в редких случаях, погребенные следы животных.

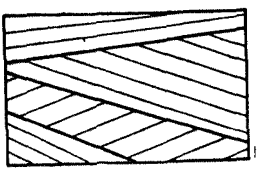


Рис. 2-12. Косая слоистость аллювиальных песков.

Весьма важным текстурным признаком осадочных пород является пористость, которая может зависеть от величины составляющих породу зерен, количества и плотности цемента, выщелачивания отдельных участков и составных частей породы. По степени пористости породы делятся на следующие категории: плотные, в которых поры незаметны на глаз, мелкопористые — поры заметны на глаз; крупнопористые — с порами величиной более 0,5 мм; кавернозные (обычно известняки и доломиты), у которых поры представляют собой сложную систему пустот, возникших на месте выщелоченных раковин.

б) Обломочные породы

Обломочные породы классифицируются по размерам и форме обломков, а также по степени их цементации. По размерам обломков выделяются грубообломочные, песчаные, пылеватые и глинистые породы. По степени

цементации обломочные породы делятся на несцементированные (сыпучие), связные (глинистые) и сцементированные породы. По размерам и форме выделяют различные обломки (табл. 2-2).

Таблица 2-2

Наименование обломков пород

Размеры, мм	Окатанные	Неокатанные
Менее 0,005	Глинистые	—
0,005—0,05	Пылеватые (алевритовые)	—
0,05—2,0	Песчаные	—
2,0—20	Гравий	Дресва
20—200	Галька	Щебень
Более 200	Валуны	Глыбы

Грубообломочные породы. Грубообломочными называются породы, содержащие более 50% обломков размером более 2 мм. Грубообломочные несцементированные окатанные породы широко развиты среди прибрежных морских отложений, аллювиальных отложений долин рек и водно-ледниковых потоков. Ими образованы также ледниковые отложения — морена. Неокатанные грубообломочные породы обычно встречаются в осыпях и обвалах, а также образуют делювий и элювий. Степень окатанности обломков определяется в соответствии с приведенной выше классификацией. По форме различают сферические обломки, приближающиеся к шару, лешадные — уплощенные, игольчатые — удлиненной формы.

В природе обычно развиты грубообломочные породы смешанного состава: в них присутствуют обломки пород различного размера и, кроме того, имеется мелкий материал — песок, супесь, суглинок. Наименование породы дается по преобладающей фракции, составляющей более 50% по массе. Если в составе породы примерно в равном количестве присутствует несколько фракций, то ей дается смешанное название, а остальные фракции указываются в виде примеси. Например: гравий, галька и валуны с песчаным заполнителем. При описании грубообломочных пород указываются также размеры обломков, их процентное содержание, степень окатанности и петрографический состав.

Песчаные породы. К песчаным относятся породы, состоящие из зерен размером 0,05—2 мм. Песчаные породы могут образовываться в самых различных условиях: осаждаться на дне морей и озер, переноситься и откладываться речными и другими потоками, перевеваться и откладываться ветром. По однородности минералогического состава они разделяются на полимиктовые, сложенные многими минералами, олигомиктовые — двумятремя минералами и мономинеральные — сложенные одним минералом. Наиболее распространены мономинеральные пески, сложенные почти целиком кварцем. В полимиктовых песках обычно присутствует кварц, полевые шпаты, слюда, цветные минералы и обломки других пород.

Название песка дается по преобладающему минералу. Пески могут быть кварцевые, полевошпатовые, а также смешанного состава. По крупности зерен песок получает наименование по той фракции (мм), которая составляет более 50% его состава:

Тонкозернистый	0,05—0,1
Мелкозернистый	0,1—0,25
Среднезернистый	0,25—0,5
Крупнозернистый	0,5—1
Грубозернистый	1—2

Разнозернистыми называются пески, содержащие примерно в равном количестве мелкие, средние и крупные фракции. При наличии в составе песка от 3 до 5% глинистых частиц он называется глинистым, а пылеватых частиц—пылеватым. При описании песка отмечается примерное процентное содержание гравия и гальки, указывается их петрографический состав и степень окатанности. Для определения минералогического состава песка и различных включений пользуются лупой. Крупность песка может быть определена при визуальном описании с помощью специальных эталонов и других полевых приборов. При камеральном описании образцов песка пользуются данными гранулометрического анализа и специальных минералогических исследований (см. § 7-3, д).

Полное описание песчаной породы должно содержать следующие данные: крупность зерен, их форма и окатанность, минеральный состав зерен, цвет породы, включения (галька, гравий, валуны), примеси (глинистость,

пылеватость, слюдистость, карбонатность, органические примеси).

Алевритовые породы. К алевритовым относятся породы, состоящие из зерен размером от 0,05 до 0,005 мм. Эти породы образуются преимущественно в стоячих водоемах, а также в результате деятельности ветра. Характерными признаками алевритов являются хорошая сортированность состава породы, содержащей помимо пылеватых частиц лишь небольшую примесь тонкозернистого песка и глины. Если порода имеет значительную примесь песка, то она называется песчано-алевритовой. Алевритовые породы часто бывают тонкослоистыми. Нередко наблюдается чередование слоев алевритовой породы со слоями песчанистых, глинистых и карбонатных пород. Такие толщи называются флишем.

Сцементированная алевритовая порода называется алевролитом. Степень цементации ее может быть различная в зависимости от состава цемента, но обычно алевролиты являются слабыми породами, легко поддающимися выветриванию. При описании алевритовых пород указывается название породы (алеврит, песчанистый алеврит), крепость (для сцементированных пород), цвет, примеси (слюдистость, карбонатность), текстура, влажность или консистенция (для глинистых разностей).

Глинистые породы. Наиболее характерными внешними признаками глинистых пород являются связность, пластичность во влажном состоянии и способность сохранять приданную им форму при высыхании. По гранулометрическому составу к глинистым принято относить породы, в которых содержание глинистой фракции составляет более 3%, а собственно глинами считать породы, где содержание этой фракции превышает 30%.

В связи с тем, что свойства глинистых пород зависят не только от содержания глинистой фракции, а также от ее минерального состава и других признаков, в настоящее время в соответствии со СНиП II-15-74 их принято классифицировать по числу пластичности. Числом пластичности $W_п$ грунта называется разность массовых влажностей, выраженная в процентах, соответствующих двум состояниям грунта: на границе текучести $W_т$ и на границе раскатывания $W_р$

$$W_п = W_т - W_р.$$

По этому признаку к глинистым относятся грунты, у которых число пластичности равно или больше единицы. Глинистые грунты в зависимости от величины числа пластичности разделяются следующим образом:

Супесь . . . . . $1 \leqslant W_п \leqslant 7$
Суглинок . . . . . $7 < W_п \leqslant 17$
Глина . . . . . $W_п > 17$

Инженерно-геологические свойства глинистых пород существенно зависят от их минерального состава, причем наибольшее значение имеет минеральный состав тонкодисперсной — глинистой фракции, которая может быть представлена различными группами вторичных глинистых минералов, образовавшихся в результате химического разложения горных пород. Главную роль среди них играют глинистые минералы трех групп: каолинита, монтмориллонита и гидрослюды. Грубодисперсная часть глинистых пород (фракции крупнее 0,005) в основном состоит из продуктов механического разрушения различных горных пород (кварца, полевых шпатов и пр.) и отражает их минеральный состав.

Присутствующие в породе легкорастворимые соли (галит, сильвин, мирабилит и др.), а также среднерастворимые соли (гипс и ангидрит) обычно снижают строительные свойства глинистых пород. Труднорастворимые карбонаты кальция и магния (кальцит, магнезит и доломит), а также соли кремния, наоборот, упрочняют их и при содержании этих солей более 50% порода становится полускальной. При содержании кальцита более 50% глинистая порода называется м е р г е л е м.

Структура глинистых пород определяется формой, размерами и относительным количественным содержанием основных компонентов, слагающих породу: глинистых пылеватых и песчаных частиц, а также органических остатков.

Текстура глинистых пород отражает условия их образования и дальнейшего диагенеза. Наиболее часто встречаются следующие текстуры: связанные с условиями отложения (неслоистые, слоистые, ленточные); связанные с изменением окраски пород (пятнистые, очковые); связанные с диагенетическими изменениями (массивная, макропористая лессов); связанные с процессами метаморфизма (сланцеватая).

Глинистые породы представляют собой дисперсные системы и поэтому обладают способностью образовывать

так называемые структурные связи между отдельными слагающими их частицами и агрегатами. Образование структурных связей может происходить в результате либо простого прилипания минеральных частиц друг к другу, либо цементации их минеральными или органическими веществами, заполняющими поры. Глинистые породы могут образовываться в континентальных, лагунных и морских условиях. В практике гидротехнического строительства наиболее часто используются в качестве оснований сооружений глины морского происхождения — коренные глины, а также континентальные ледниковые моренные супеси и суглинки и аллювиальные глины.

Коренные глины обычно находятся в тугопластичном или скрытопластичном состоянии, а наиболее уплотненные сланцевые их разности представляют собой твердые породы — а р г и л л и т ы. На поверхности земли коренные глины часто бывают подвержены интенсивному выветриванию, которое может проникать вглубь на несколько метров и снижать строительные свойства породы.

При полевой документации глина определяется по способности во влажном состоянии раскатываться в тонкую проволоку, сгибающуюся в кольцо. Глина узнается также по блестящей поверхности, образующейся при срезе ее ножом. При разминании пальцами влажная глина скользкая и жирная на ощупь, зернистости в ней не ощущается. Чем больше содержание в ней песчаных или пылеватых частиц, тем менее ясно выражены указанные признаки.

Коренные глины, содержащие примесь песка, называются песчанистыми, а четвертичные, глинистые породы, состоящие из глинистых и песчаных частиц, называются суглинками и супесями.

Инженерно-геологические свойства глинистых пород определяются в значительной степени их консистенцией, которая устанавливается при полевом описании, когда глинистые породы имеют естественную влажность. При камеральном описании, кроме того, используются данные определения показателя консистенции в лабораторных условиях (§ 7-3,г). При полевом описании консистенция устанавливается по следующим признакам:

т в е р д а я — грунт сухой, при ударе разбивается на куски или растирается пальцами в пыль;

п о л у т в е р д а я — грунт слабовлажный, ломается руками и при разминании крошится;

т у г о п л а с т и ч н а я — до полного излома кусок грунта изгибается, с трудом разминается пальцами;

м я г к о п л а с т и ч н а я — грунт влажный, разминается без особого труда и хорошо держит форму;

т е к у ч е п л а с т и ч н а я — грунт очень влажный, легко разминается руками, плохо держит форму при лепке;

т е к у ч а я — грунт способен течь по наклонной поверхности толстым слоем.

Легкие пылеватые суглинки и супеси обычно не пластичны. Суглинки и супеси широко распространены среди континентальных четвертичных отложений различного происхождения. В зависимости от гранулометрического состава, содержания солей и органических веществ они могут иметь самые разнообразные инженерно-геологические свойства. Глины, суглинки и супеси связаны постепенными переходами, и названия им даются в зависимости от содержания глинистых частиц (табл. 2-3).

Таблица 2-3

Наименование глинистых пород

Название породы	Содержание глинистых частиц (<0,005 мм), %	Название породы	Содержание глинистых частиц (<0,005 мм), %
Глина тяжелая . .	>60	Суглинок средний . .	15—20
Глина средняя . .	40—60	Суглинок легкий . . .	10—15
Глина легкая . . .	30—40	Супесь тяжелая . . .	5—10
Суглинок тяжелый	20—30	Супесь легкая	<5

Наибольшим постоянством свойств обладают моренные суглинки и супеси ледникового происхождения. Они отличаются весьма неоднородным гранулометрическим составом и содержат все фракции, от глинистых частиц до крупных валунов. Плотность этих пород весьма высокая. Структура их перемятая, неслоистая.

При описании глин, суглинков и супесей отмечается название породы, цвет, консистенция, карбонатность, текстура, структура, включения и примеси.

Л е с с о в и д н ы е п о р о д ы и л е с с ы покрывают большие пространства в южных районах СССР. Они представляют собой белесовато-желтую или желтовато-бурую, обычно неслоистую, породу, в сухом состоянии растирающуюся пальцами. В обнажениях они образуют вертикальные обрывы с характерной столбчатой отдельностью. В состав пород входят угловатые обломки квар-

ца, полевого шпата и других минералов, в том числе и глинистых. В лессовидных породах всегда имеется известь, которая цементирует составляющие его пылеватые и тонкие песчаные частицы в прочные микроагрегаты. Характерными особенностями этих пород являются значительная и крупная пористость, достигающая 45%, и большое содержание пылеватых частиц, достигающее 75%. Кроме макропор, в лессовидных породах много полых трубочек от корней растений и ходов животных. В породе встречаются также известковые конкреции и сростки кристаллов гипса. Лессовидные породы в сухом состоянии обладают довольно высокой несущей способностью, но легко размокают и размываются водой, а некоторые их разности образуют при увлажнении просадки (§ 3-4).

Лессовидные породы могут быть представлены суглинками и супесями. Для классификации их пользуются табл. 2-3. При описании этих пород указывается название породы (суглинок тяжелый, супесь легкая пылеватая и т. п.), цвет, консистенция, карбонатность, текстура (слоистость, пористость и пр.), включения и примеси.

Илами или илистыми породами называют глинистые породы, которые отложились на дне водоемов и находятся на начальной стадии своего формирования. Они образуются в виде макроструктурного осадка при наличии микробиологических процессов. В природных условиях они очень пористы, консистенция их обычно текучая. По гранулометрическому составу среди илов имеются глины, суглинки и супеси. Суглинки или супеси с небольшим содержанием ила называются иловатыми. В илах обычно присутствуют органические вещества и обломки раковин. Разновидностью илов являются сапропели — текучие илы, состоящие в значительной степени из остатков микроорганизмов. Типичные илы обычно имеют темную окраску и пахнут сероводородом.

При описании илистых пород указывается название и цвет породы, примеси (например, суглинок иловатый темно-серый, сильно гумусированный), консистенция, изменения породы при высыхании, слоистость, включения, карбонатность, запах.

в) Сцементированные породы

Рассмотренные выше основные виды рыхлых и связных обломочных осадочных пород под влиянием внешне-

го давления, отложения солей и других факторов могут сцементироваться и превратиться в скальные и полускальные породы. Цементом могут служить различные растворы, содержащиеся в подземных водах. Наиболее распространенными видами цемента в породах являются кремнистый, железистый, карбонатный, гипсовый и глинистый. Прочность этих цементов различна и бывает примерно в порядке их перечисления, но зависит также от структуры породы. По соотношению количество зерен породы и цементирующего вещества цемент может быть базальным, когда зерна не соприкасаются между собой, цементом соприкосновения, когда он имеется только в местах соприкосновения зерен, и цементом пор, когда он заполняет все пространство между зернами. В зависимости от состава цемента меняется название породы. Так, например, песчаники могут быть кремнистые, железистые, известковистые, глинистые и пр.

Ниже приводится перечень несцементированных обломочных пород и их упрочненных и сцементированных аналогов.

Глина — аргиллит
Алеврит — алевролит
Песок — песчаник
Гравий, галька, валуны — конгломерат
Дресва, щебень, глыбы — брекчия

г) Породы химического и органогенного происхождения

Обе эти группы пород образуются преимущественно в водной среде. Они связаны взаимными переходами и некоторые из них имеют смешанное происхождение. Классифицировать эти породы принято по химическому составу, выделяя следующие группы: карбонатные, кремнистые, сернокислые и галоидные, железистые, фосфоритные, каустобиолиты.

Наибольшее значение при инженерно-геологических изысканиях для гидротехнического строительства имеют первые три группы пород.

В группу карбонатных пород входят известняки, доломиты и мергели.

Известняки являются одной из наиболее распространенных пород в земной коре. Они состоят главным образом из кальцита ($CaCO_3$), к которому в виде примеси добавляются другие минералы и в первую очередь глина

и песок. При возрастании глинистых примесей известняк переходит в мергель, а при возрастании песка образуется песчаный известняк или известковистый песчаник. Для определения известняка используется 5%-ный раствор соляной кислоты, от капли которой он бурно вскипает. Если известняк чистый, то на его поверхности после реакции не остается никаких следов, а если имеются глинистые примеси, то остается грязное пятно. В зависимости от содержания глинистой примеси различают:

Глинистый известняк	<20%
Известковистый мергель	20—30%
Мергель	30—50%

Мергели могут также содержать кремнистые примеси. При наличии в известняке или мергеле примеси доломита он называется доломитизированным, а в случае присутствия кремния — кремнистым.

Наиболее широко распространены органогенные известняки, образовавшиеся в морской среде в результате накопления раковин и скелетов морских животных или водорослей. Обычно такие известняки являются очень плотными сцементированными породами, но иногда среди них встречаются пористые и кавернозные разности. Часто в известняках можно встретить отпечатки раковин или скелетов животных. Известняки, сложенные целиком из раковин, называются ракушечниками. Разновидностью органогенных известняков является пишущий мел, состоящий из мельчайших раковин.

Вследствие вторичных изменений известняки часто приобретают кристаллическую структуру. Среди известняков химического происхождения наибольшее значение имеют оолитовые известняки, которые представляют собой скопления шаровидных известковистых зерен размером не более горошины. Химическое происхождение имеют также известковые туфы и натеки (сталактиты, сталагмиты), выпадающие из водных растворов на поверхности.

Доломитами называются породы, содержащие не менее 95% минерала доломита ($MgCa(CO_3)_2$). В чистом виде они встречаются очень редко, и обычно наблюдаются самые разнообразные переходы от чистого известняка

к доломиту. В зависимости от содержания $MgCO_3$ породе дается следующее название:

Известковистый доломит	>50%
Доломитизированный известняк . . .	От 5 до 50%
Известняк	<5%

Установить содержание $MgCO_3$ можно только с помощью специального химического анализа. При визуальном описании пользуются тем признаком, что доломит вскипает только в порошке.

Известняки и доломиты обычно имеют белую, серую или кремовую окраску. По структуре среди них встречаются следующие разности: зернистокристаллические — «сахаровидные», сходные с мрамором — «мраморовидные», афанитовые (сливные), песчаниковидные, рыхлые, мучнистые, ячеистые и пр. В трещинах и кавернах доломитов нередко скапливается белая или желтовато-белая пыль, так называемая доломитовая мука.

Кремнистые породы — диатомиты, трепелы, опоки и пр. состоят преимущественно из кремнезема и могут иметь как органическое, так и химическое происхождение.

Диатомиты представляют собой скопление мельчайших скелетов диатомовых водорослей. По внешнему виду диатомиты — это желтовато-белая пористая, чрезвычайно легкая и очень мягкая порода, напоминающая пишущий мел. Она не вскипает от соляной кислоты, быстро впитывает влагу и сильно прилипает к языку.

Трепелы внешне не отличимы от диатомитов, но они состоят из мельчайших зерен опала и являются продуктами разложения кремнистых пород.

Опока называется довольно прочная, очень легкая, мелкопористая, кремнистая порода серого, голубого, а иногда и черного цвета. По внешним признакам одни разности опок напоминают диатомиты (мягкие опоки), а другие представляют собой довольно крепкую породу кремневидного облика. При ударе такая опока раскалывается на остроугольные обломки. По происхождению опоки чаще всего представляют собой измененные диатомиты.

Кремниевые конкреции и жеоды часто встречаются в известняках, песчаниках и других породах. Они образуются путем выпадения кремнекислоты из растворов, циркулирующих в природе.

Гипс, ангидрит, каменная соль и другие соли являются химическими осадками усыхающих морских бассейнов. По мере увеличения концентрации раствора выпадают последовательно гипс и каменная соль. Мощность накоплений таких солей может достигать нескольких сотен метров. Пласты их чередуются с глинами, песчаниками, мергелями и доломитами. Присутствие различных солей снижает строительные свойства пород, поэтому к выявлению их надо относиться очень внимательно.

Гипс представляет собой кристаллическую породу чисто белого, розоватого или зеленоватого цвета, крупнокристаллического, волокнистого или зернистого строения. Ангидрит весьма сходен с гипсом, но отличается от него большей твердостью: твердость гипса — 2 (чертится ногтем), твердость ангидрита — 3. В гипсе и ангидрите обычно содержится примесь глины, а иногда пирита, серы и других пород. Гипс может образовывать пласты или содержаться в глинистых породах в виде рассеянных кристаллов и комков.

Каменная соль в чистом виде бесцветна, но благодаря примесям может быть окрашена в серый, бурый, синий и другие цвета.

2-4. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Метаморфические породы образуются из изверженных и осадочных пород в результате воздействия на них высокого давления при складкообразовании, высокой температуры внедряющейся магмы (контактовый метаморфизм) и привноса из охлаждающейся магмы различных веществ, активно изменяющих состав пород. Эти же условия возникают при погружении породы на большую глубину (региональный метаморфизм).

Структура метаморфических пород обычно бывает кристаллическая, но она отличается от структуры магматических пород, так как образуется в результате перекристаллизации твердой породы, а не путем застывания расплава.

Текстура метаморфических пород также имеет свои особенности, наиболее характерными ее видами являются: сланцеватая с параллельным расположением удлиненных (таблитчатых) минералов; волокнистая — с переплетающимися волокнистыми минералами; слоистая,

полосчатая или ленточная — чередование слоев различного минералогического состава; массивная; очковая — присутствуют округлые зерна светлоокрашенных минералов. Ниже дается краткое описание основных видов метаморфических пород.

Гнейсы представляют собой крепкую кристаллическую, обычно сланцеватую и реже массивную породу, состоящую в основном из полевого шпата и содержащую кварц и цветные минералы—биотит, мусковит, амфибол, пироксен. Наряду с этим могут присутствовать гранат и другие минералы. В зависимости от того, какие минералы присутствуют в гнейсе, он может называться биотитовым, амфиболовым, пироксеновым, гранатовым. Если гнейс образовался в результате метаморфизма осадочных пород, он называется парагнейсом, а если из изверженных пород — ортогнейсом.

Слюдяные сланцы представляют собой очень характерную слабую породу с резко выраженной слоистой и сланцеватой текстурой. Они состоят из слюды и кварца и подразделяются в зависимости от вида слюды на биотитовые и мусковитовые.

Филлиты — это тонкосланцеватые породы, похожие по виду на глинистые сланцы, но отличающиеся от них характерным шелковистым блеском. По составу они схожи со слюдяными сланцами, но имеют микрозернистую структуру. В них нередко присутствует хлорит или кальцит. Окраска их весьма разнообразна: черная, зеленоватая, красноватая, фиолетовая.

Глинистые сланцы представляют собой слабо метаморфизованные глинистые породы, имеющие явно выраженную сланцеватую текстуру. Главными составными частями их являются глины, кварцевая пыль, ориентированные по сланцеватости листочки слюды. Иногда в них встречаются кристаллы пирита, кальцита и углистые частицы. При значительном содержании кальцита глинистые сланцы переходят в известковисто-глинистые. По внешнему виду глинистые сланцы — это тонкослоистые твердые породы, легко раскалывающиеся на плитки с матовой поверхностью. От глин они отличаются также полной неразмокаемостью в воде. Окраска их весьма разнообразная: красно-бурая, серая, черная (аспидные сланцы).

Хлоритовые сланцы — очень распространенная порода зеленого цвета, плотная, состоящая в основной

своей массе из минерала хлорита. Может иметь сланцеватое или массивное строение.

Кварциты — это обычно светлые, плотные, очень прочные породы массивного сложения, состоящие сплошь из кварца, отдельные зерна которого часто нельзя различить (сливные кварциты). Исходной породой для них служат кварцевые песчаники или пески. Кроме кварцитов с кристаллической зернистой текстурой имеются сланцеватые и брекчиевидные разности. Окраска породы может быть также темно-серая и темно-малиновая (шокшинский кварцит).

Мраморы образуются путем метаморфизации известняков. Они характеризуются обычно массивной полнокристаллической структурой и состоят в основном из кальцита. Могут присутствовать также в небольшом количестве второстепенные минералы. Цвет мрамора может быть весьма разнообразный — от чистобелого до черного.

При описании метаморфических пород следует придерживаться того же порядка, как при описании магматических пород: установить наименование, минералогический состав и цвет породы, описать ее структуру и текстуру, отметить и описать прожилки и жилы, встречающиеся в породе, а также посторонние включения. Кроме того, надо установить, что представляла собой порода до метаморфизации и какие явления обусловили метаморфизм.

Глава третья

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

3-1. КАРСТ

а) Значение карста и общие закономерности его развития

Под карстом понимается совокупность геологических процессов и созданных ими явлений, возникающих вследствие растворения горных пород. Растворение приводит к образованию полостей, разрушению и изменению структуры и состояния пород, возникновению особого вида

циркуляции и режима подземных вод, образованию характерного рельефа местности и своеобразной речной сети. Карст вносит осложнения в эксплуатацию гидротехнических сооружений, так как вода по карстовым пустотам может уходить из водохранилищ, каналов и туннелей. В строительный период по карстовым полостям может происходить большой приток воды в строительные выемки. Защита от последствий карста достигается созданием противофильтрационных завес, экранированием или приспособлением конструкции сооружений к природным условиям. В нашей стране построено и успешно эксплуатируется несколько гидроэлектростанций, расположенных в областях интенсивно развитого карста: Черваксная на р. Чирчик, Павловская на р. Уфе, Каховская на р. Днепре, Нарвская на р. Нарве, Шаорская на р. Диди-Чала.

Поскольку растворение карбонатных пород представляет собой длительный геологический процесс, осложнения инженерно-геологических условий могут быть вызваны лишь последствиями этого процесса.

Для легко растворимых солей (каменной соли, гипса) выщелачивание может развиваться в процессе эксплуатации сооружения и привести к существенным его деформациям. Поэтому обычно от строительства гидротехнических сооружений на таких породах отказываются. В данном разделе описываются инженерно-геологические изыскания для гидротехнического строительства только в районах распространения карбонатных пород.

Главными вопросами инженерно-геологических изысканий в районах развития карста являются оценка влияния карста на водоудерживающую способность водохранилищ, на устойчивость сооружений и водопроницаемость их оснований; выбор способов улучшения оснований сооружений; обоснование проектов строительного водоотлива. Решение указанных задач возможно на основе понимания закономерностей развития и распространения карста.

Особенности распространения карстовых форм, их размеры, частота и глубина проникновения в массив пород определяются геологическим строением местности, условиями питания, движения и дренирования подземных вод, рельефом района, степенью тектонической раздробленности и трещиноватости пород. Главными из этих факторов являются условия движения подземных вод,

и в соответствии с их особенностями карст подразделяется на следующие гидродинамические типы:

карст придолинный, связанный с дренирующим влиянием близких рек (рис. 3-1,*а*);

карст, связанный с дренирующим влиянием удаленных рек или водоемов (рис. 3-1, *б*);

карст зон тектонических нарушений в условиях движения напорных и безнапорных вод (рис. 3-1, *в*).

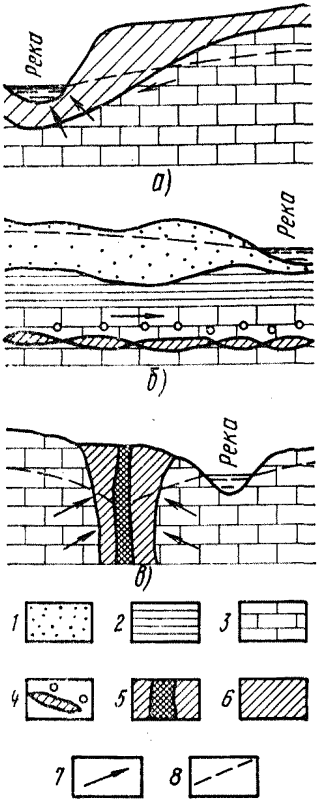


Рис. 3-1. Гидродинамические типы проявлений карста.

1 — песок; *2* — глина; *3* — известняк; *4* — каверны и карстовые полости; *5* — тектоническая зона; *6* — зона интенсивного развития карста; *7* — направление движения подземных вод; *8* — уровень подземных вод.

Карст первого типа характерен для равнинных и предгорных областей, где толщи растворимых пород прорезаны сетью глубоких долин и оврагов. В породах, слагающих склоны береговых массивов, при неблагоприятных условиях для инфильтрации в толще лежащей выше уровня подземных вод, карст не развивается. Если же на склоне лежат хорошо водопроницаемые образования, то даже при относительно большой его крутизне (20—30°) выщелачивание может протекать интенсивно. На водоразделах интенсивность и особенности развития карста также определяются условиями инфильтрации атмосферных осадков. Чем меньше водопроницаемость покровных отложений, тем слабее развитие карста. При хорошей водопроницаемости рыхлого покрова в зоне аэрации преобладает вертикальное движение воды по трещинам, способствующее образованию вертикальных карстовых полостей.

В зоне сезонных колебаний уровня подземных вод движение их переменно в вертикальном и горизонтальном

направлениях. Поэтому и карстовые полости имеют здесь разнообразные направления. В придолинной части склона вследствие больших уклонов местности поверхностный сток возрастает, что приводит к ослаблению развития карста в зоне аэрации по сравнению с водоразделами.

Распространение второго типа карста не связано непосредственно с речными долинами. Он развивается тог-

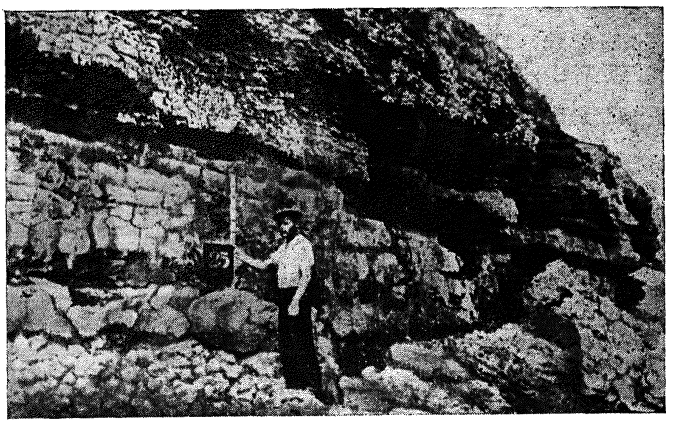


Рис. 3-2. Слои закарстованных известняков, разделенные незакарстованными (карст, обусловленный влиянием удаленных эрозионных врезов). Район Каховской ГЭС.

да, когда подземные воды движутся по растворимой толще в сторону удаленного морского или артезианского бассейна или иного очага их разгрузки. При таких условиях скорости движения воды по порам и трещинам близки, поэтому происходит образование кавернозности пород, не связанной с трещинами, а приуроченной к наиболее растворимым слоям карстующейся толщи (рис. 3-2).

Третий тип карста приурочен к зонам тектонических нарушений, которые обычно характеризуются большой трещиноватостью и раздробленностью пород, вследствие чего они играют роль дрен подземных вод. Развитие этого типа карста для безнапорных водоносных горизонтов происходит так же, как и под влиянием эрозионных вре-

зов. При напорных же водах карст развивается снизу вверх. Возникшие карстовые полости иногда вызывают обрушение вышележащих пород и образование воронок, шахт и прочих поверхностных форм карста, но во многих случаях они остаются непроявленными на поверхности. Особенности развития карста в горно-складчатых областях определяются в основном рельефом и структурно-тектоническими условиями. Интенсивная расчлененность рельефа и быстрое врезание речных долин приводит к тому, что инфильтрация атмосферных осадков происходит с большими скоростями, что способствует развитию вертикальных карстовых форм. Взаимное расположение карстовых форм, их размеры и частота в горно-складчатых областях в большей степени зависят от особенностей залегания пород, наличия зон тектонических нарушений и пространственного положения преобладающих систем трещиноватости. В горно-складчатых областях карстом могут быть поражены также водоразделы и возникнуть реальная опасность утечки воды из водохранилищ. Очень типичен для горных областей карст, связанный с дренирующим влиянием зон тектонических нарушений, образующих местные очаги разгрузки подземных вод.

Растворимость карбонатных пород зависит от их состава и строения. При содержании в известково-доломитовых породах глинистых частиц свыше 10% карст практически не развивается. При меньшем содержании глинистых частиц в известковистых доломитах, доломитизированных известняках и загипсованных карбонатных породах может происходить не только растворение карбонатной породы, но и разрушение ее с превращением в обломочную или мучнистую массу. В однородных кристаллических известняках, доломитах и мраморах фильтрация происходит в основном по трещинам, а поэтому растворение приводит к образованию карстовых полостей, каналов и пещер без нарушения прочности породы в межтрещинных блоках. В мелах карст развивается в значительных масштабах, в основном по трещинам, несмотря на пластичность меловых пород, обусловливающую смыкание трещин.

По времени образования различается карст современный — активный и древний — мертвый. Развитие карста прекращается при повышении базиса эрозии, вследствие чего происходит постепенное заполнение трещин и поло-

стей нерастворимым, чаще всего глинистым, материалом. Прекращение карстообразования может наступить и тогда, когда карстующиеся породы перекрываются некарстующимися отложениями. В этом случае образуется погребенный — ископаемый карст.

Подземные воды могут не только выщелачивать растворимые горные породы, но и заполнять образовавшиеся полости песком, глинисто-щебенистым материалом,

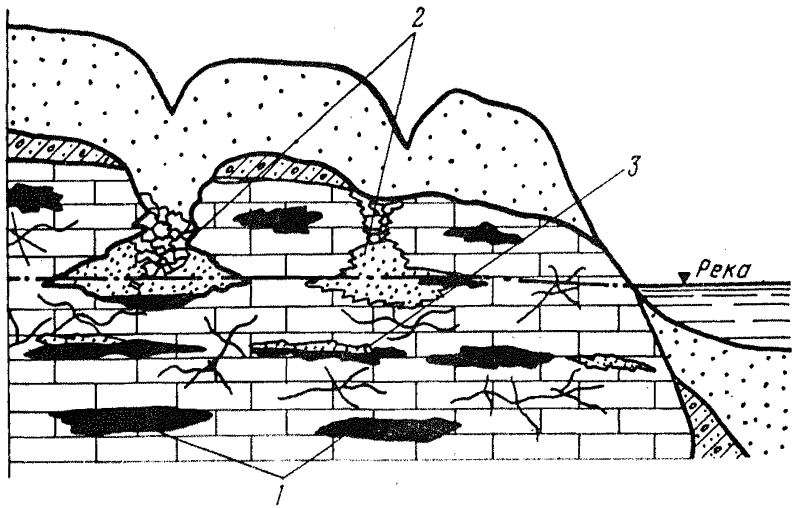


Рис. 3-3. Схематический разрез участка оживления карста.

1 — карстовые полости, заполненные первичным глинистым заполнителем в процессе затухания карста; *2* — то же, но заполнитель песчано-щебенистый, современный, заместивший вымытый глинистый заполнитель; *3* — полости, в которых глинистый заполнитель частично вымыт и замещен песчано-щебенистым.

щебенкой и пр. Заполнение может быть сплошным, частичным и прерывистым, а по времени образования — первичным и вторичным.

Первичное частичное заполнение полостей имеет место при современном активном карсте, при котором действующие в массиве пород скорости фильтрации обеспечивают вынос за пределы полостей преобладающей части взвешенного и влекомого материала. В таких условиях может формироваться и прерывистое заполнение, при котором интервалы сплошного заполнения полостей чередуются с отрезками частичного заполнения или отсутствия заполнителя. Прерывистое заполнение может образоваться и вследствие обрушения карстовых поло-

стей, накопления подземного аллювия или отложений подземных озер.

В случае «оживления» карста возникает прерывистое или частичное заполнение карстовых полостей за счет вымыва заполнителя. В естественных условиях вымыв заполнителя наиболее интенсивно идет у береговых обрывов, на крутых склонах, в цоколях террас. В этих частях массива закарстованных пород иногда наряду с древним, преимущественно глинистым, заполнителем встречается привнесенный с поверхности в освободившиеся полости более рыхлый современный заполнитель (рис. 3-3).

б) Инженерно-геологические изыскания в районах развития карста

Карст не всегда достаточно ясно проявляется на поверхности, и выявить его можно только на основе инженерно-геологических изысканий, которые в карстовых районах имеют свои особенности.

Инженерно-геологическая съемка проводится в начале каждого этапа изысканий. Масштаб ее укрупняется по мере детализации проекта и может изменяться от 1:25 000 до 1:1000. Съемкой должны быть оконтурены карстовые участки и проведено изучение закономерностей распространения и развития карста, влияние на его развитие климата, рельефа местности, литологического состава, условий залегания и трещиноватости пород, особенностей распространения, питания и циркуляции подземных вод и их химизма, геологической истории района.

Перед началом съемки необходимо на основании обобщения всего имеющегося материала выявить условия, способствующие образованию карста в данном районе, отнести их к тому или иному гидродинамическому типу карста и составить предварительную гипотезу развития карстового процесса.

В процессе инженерно-геологической съемки достаточно объективное представление об интенсивности развития карста можно получить по документации поверхностных карстовых форм, к числу которых относятся воронки, поноры, блюдца, котловины, суходолы, карры, пещеры, колодцы, шахты и пропасти.

Воронки наиболее распространены среди поверхностных форм карста. При их описании указываются внешние признаки (блюддеобразные, конусообразные, чашеобразные, колодцеобразные, сложные); форма в плане (округлая, овальная, лопастная, звездчатая); размеры (длина, ширина, видимая глубина); признаки асимметрии (различная крутизна и высота стенок); состав трещиноватость коренных пород; наличие, форма, размеры и заполнение понор; характер растительности на дне и склонах; особенности распространения воронок (одиночные, группами, цепочкой); приуроченность воронок к элементам рельефа (к террасам, днищам оврагов, приводораздельным участкам, к водоразделам и пр.). Аналогичный порядок описания соблюдается и при документации карстовых блюдец и котловин. Для всех поверхностных форм карста отмечается наличие постоянных или временных водотоков или озер.

Суходолы характеризуются морфологией склонов и дна (направление, уклон, обнаженность), описываются участки поглощения и выхода вод, состав коренных пород, их трещиноватость, состав и мощность, наносов, наличие карстовых форм, особенности распространения растительности.

Каррами называются участки, покрытые острыми гребешками и шипами, разделенные бороздами. Они возникают на поверхности известковых скал в результате растворяющего действия стекающих струй атмосферных вод. Борозды могут иметь глубину от нескольких сантиметров до 2 м. Для карров важно отметить их размеры, форму, очертание и ориентировку в плане, частоту расположения, связь карров с породами определенного состава.

При описании обнажений в районах развития карста следует фиксировать частоту, величину и форму полостей, состав и свойства заполнителя и степень заполнения полостей (как вблизи дневной поверхности, так и на некоторой глубине). Описание должно сопровождаться зарисовками и фотографированием типичных обнажений. При описании следует руководствоваться приводимой ниже классификацией карстовых полостей по форме и величине (табл. 3-1).

В процессе документации обнажений определяется линейный и площадной коэффициенты закарстованности породы. Линейный коэффициент определяется путем

Таблица 3-1

Классификация карстовых полостей в обнажениях

Название полостей	Форма	Размеры, м
Поры небольшие	Круглая	Меньше 0,00025
Поры средние	»	0,00025—0,001
Поры крупные	»	0,001—0,0025
Каверны небольшие	Круглая, овальная	0,0025—0,005
Каверны средние	» »	0,005—0,01
Каверны крупные	» »	0,01—0,025
Полости небольшие	» »	0,025—0,1
Полости средние	Круглая, овальная, продолговатая	0,1—0,5
Полости крупные	Овальная, продолговатая, сложная	0,5—5,0
Полости гигантские (пещеры)	Сложная	Больше 5,0

измерения поперечников каверн и полостей на прямой линии, ориентированной параллельно или перпендикулярно простиранию изучаемого пласта. Он представляет собой отношение суммы замеренных поперечников полостей к общей длине замеренной линии, выраженное в процентах:

$$K_л = \frac{\Sigma d}{nl} \cdot 100,$$

где $K_л$ — линейный коэффициент закарстованности, %; Σd — сумма поперечников каверн и полостей, см; n — число замеров; l — длина замеренной линии, см.

Для определения площадного коэффициента закарстованности фотоснимок обнажения сначала взвешивается на аналитических весах. Затем из него вырезаются каверны и полости и снимок снова взвешивается (способ Делесса). Разница в весе, вычисленная в процентах, равна коэффициенту площадной закарстованности. Для получения надежных результатов снимок должен быть отдешифрирован, т. е. на нем необходимо обвести тушью все карстовые полости и каверны. Это особенно необходимо сделать в том случае, когда полости заполнены частично или нацело вторичным материалом. Полезно также раздельно определить площадь открытых и заполненных полостей.

Фотографирование обнажений закарстованных пород является очень ценным и объективным способом полевой документации. Обязательными условиями фотодокументации являются следующие.

1. На обнажении должен быть нанесен номер, а в полевом журнале указывается место расположения его.

2. В поле зрения фотоаппарата помещается предмет, дающий представление о размерах обнажения в целом и деталей его (например, рейка, сетка с ячейками определенных размеров, молоток и пр.).

3. Снимки должны дешифрироваться, поскольку на них вследствие неровности поверхности обнажения важные детали геологического строения могут выйти неотчетливо или, наоборот, «игра» теней создаст неверное представление о трещиноватости, кавернозности и пр.

Очень ценные сведения о гидрогеологических условиях закарстованного массива могут дать описания карстовых источников и наблюдения за их дебитом. Описание карстового источника ведется по схеме, приведенной в § 4-3, а наблюдения за дебитом, изменениями мутности и химического состава — в соответствии с § 6-6.

Пещеры. При описании пещер указываются: местоположение; тип пещеры; состав и условия залегания пород, в которых образовалась пещера; наличие тектонических зон дробления в пределах склона и взаимоотношения их с пещерами; форма и размеры входа и выхода (если такой существует); направление и длина видимых и доступных для посещения ходов и расширений (залов); наличие и элементы залегания раскарстованных трещин в стенах пещеры; подземные водотоки и водоемы в пещерах; характер и примерная мощность рыхлого материала на дне пещер, степень заполнения примыкающих к пещерам крупных трещин; связь пещер с поверхностными карстовыми формами. Описание должно сопровождаться схематическими зарисовками пещеры в плане и в вертикальном разрезе и фотографированием пещеры (рис. 3-4). Следует фиксировать также движение воздуха, форму, частоту и размеры сталактитов и сталагмитов, следы движения воды и пр. (рис. 3-5).

Общее представление о закарстованности массива пород можно получить в процессе бурения скважин и по извлеченному из них керну. О наличии крупных незаполненных полостей свидетельствуют провалы бурового иструмента, которые необходимо фиксировать в буровом

журнале. О повышенной водопроницаемости пород, которая может объясняться интенсивной трещиноватостью и наличием открытых карстовых полостей, может сигнализировать потеря промывочной жидкости при бурении. Если карстовые полости заполнены, то в этом случае в кер-

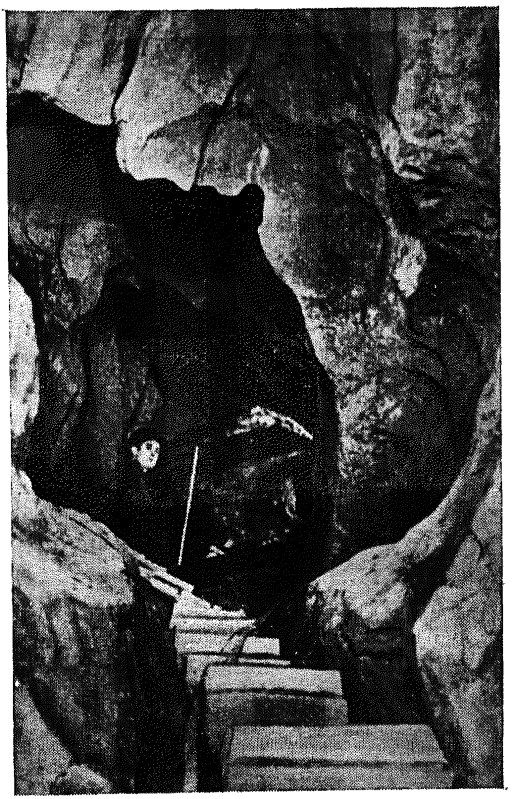


Рис. 3-4. Карстовая пещера, вскрытая разведочной штольней в Миатлинском ущелье на р. Сулаке.

не скважин может оказаться глинистый, щебенистый, песчаный или смешанный материал. Принадлежность его к заполнителю полостей или к зонам тектонического дробления может быть установлена рядом дополнительных лабораторных исследований.

Керн на участках возможного развития карста описывается особенно подробно, причем фиксируются со-

став и структура породы, слоистость, наличие тектонических зон и трещин, а также все проявления карста. Эти проявления могут быть в виде каверн в керне, и тогда описывается их форма, размеры, частота, приуроченность к определенным разностям породы или трещинам,

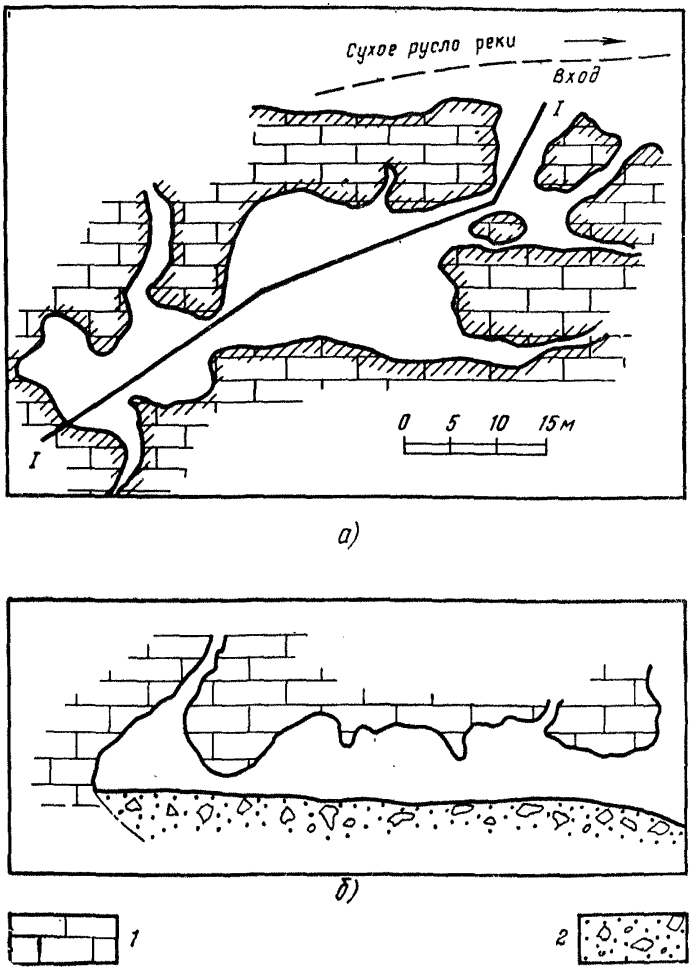


Рис. 3-5. Схематическая зарисовка пещеры.
а — план; *б* — разрез *I-I*; *1* — известняк; *2* — глинисто-щебенистые накопления.

сообщение каверн друг с другом, наличие и состав заполнителя, степень заполнения каверн.

Проходка и документация разведочных выработок в закарстованных породах имеют свои трудности, с которыми необходимо считаться, чтобы не получить искаженного представления о степени поражения пород карстом. Так, например, при бурении в карбонатных породах часто происходит истирание и размыв слабых разностей пород, и поэтому при документации разведочных скважин не всегда удается установить наличие глинистых прослоев, гнезд доломитовой муки или глинисто-щебенистого материала, заполняющего каверны, а также выявить зоны сильновыщелоченных или закольматированных пород. Крепкие, но сильнокавернозные или трещиноватые породы при колонковом бурении извлекаются в виде щебня, а попадание колонкового снаряда в небольшую, но крутопадающую трещину создает впечатление о встрече скважиной карстовой полости. Поэтому на наиболее важных участках закарстованного массива необходимо проходить штольни, шахты или скважины крупного диаметра (смотровые), по которым возможно точное описание закономерностей развития карста и распространения пород различной прочности. При благоприятном разрезе следует применять геофизические методы исследований, с помощью которых можно определить сохранность пород, места притока воды в скважинах и оконтурить наиболее крупные полости.

При изучении заполнителя карстовых полостей используются:

а) описание в естественных обнажениях и в строительных котлованах состава и свойств заполнителя, а также степени заполнения полостей, сопровождающееся лабораторными исследованиями кольматирующего материала;

б) документация скважин и горных выработок, а также наблюдения по сети гидрогеологических скважин;

в) опытные нагнетания и специальные полевые опыты;

г) анализ пьезометрических уровней в наблюдательных скважинах во время мощной откачки из опытного или строительного котлована.

Интенсивность вымыва заполнителя карстовых полостей зависит от состава заполнителя, его плотности, растворимости и степени заполнения им трещин и поло-

стей, скорости движения воды, формы и размеров полостей, их частоты и ориентировки по отношению к фильтрационному потоку. Вследствие разнообразного и сложного взаимодействия перечисленных и других факторов изучение фильтрационной устойчивости заполнителя не может проводиться в лаборатории, а должно выполняться в полевых условиях, на специальных опытных участках и в процессе обычного гидравлического опробования разведочных скважин.

В ходе специальных опытов должны воспроизводиться направление и характерные параметры будущего фильтрационного потока. Опробуемый участок массива должен быть характерным в отношении размеров и формы полостей и по составу и особенностям залегания заполнителя. В случае наличия в массиве пород участков, существенно отличающихся друг от друга, опробованию подвергаются все участки. В зоне аэрации наиболее рациональными схемами проведения опытов являются наливы или нагнетания воды в скважины, расположенные вблизи от наблюдательных шахт или штолен. В зоне насыщения следует проводить длительные откачки на опытно-фильтрационных кустах с циклом наблюдения за выносом взвешенного и растворенного материала.

В процессе опыта, проводимого для изучения выноса заполнителя из карстовых пустот, в одну из выработок поступает вода (налив, нагнетание), а из другой эта вода отводится и ведутся наблюдения за количеством поступающей воды, ее мутностью, характером истечения и изменением этих факторов во времени. Размер целика должен быть тем больше, чем крупнее элементы, создающие неоднородность массива пород: трещины, полости, прослои фильтрующих пород и пр.

Показателем развития вымыва заполнителя карстовых полостей и трещин служит увеличение притока фильтрующейся воды в наблюдательной выработке, сосредоточение фильтрации в одном или нескольких местах, возрастание количества взвешенных частиц в фильтрующейся воде.

Следует также изучить устойчивость заполнителя путем обычного гидравлического опробования скважин. Для этого при нагнетании воды в зону со стандартными ступенями давления делается дополнительное нагнетание с напором, равным проектируемому напору на плотину, после чего ступени нагнетания повторяются в обратном

порядке. Изучение фильтрационной устойчивости заполнителя таким способом важно не только для оценки будущего фильтрационного расхода, но и для обоснования проекта цементационных завес, так как оно позволяет уточнить технологию производства работ, расход и состав уплотняющего раствора и т. п.

При обобщении материалов полевых исследований нужно использовать результаты всего комплекса инженерно-геологических работ, так как без них нельзя достаточно уверенно распространить полученные результаты на весь массив исследуемых пород.

В строительный период при инженерно-геологической документации котлованов тщательно картируются все проявления карста и трещиноватости пород, а также условия их залегания и степень выветривания. Большое внимание при этом уделяется документации мест выхода подземных вод, выявлению характера движения воды по трещинам в породе и вымыву заполнителя трещин и полостей фильтрационным потоком.

При вскрытии котлованов часто выявляются менее благоприятные гидрогеологические условия, чем это представлялось по данным разведки. Это происходит главным образом от того, что наиболее распространенные откачки из одиночных скважин или небольших опытных кустов с малыми понижениями дают нетипичную характеристику водопроницаемости закарстованных пород и не позволяют правильно оценить их фильтрационную анизотропию. Поэтому в карстовых районах на участках строительных котлованов рекомендуется проводить мощные кустовые откачки с большим радиусом депрессии. Для выявления характера движения воды по карстовым путям необходимо проводить опыты по определению направления и действительных скоростей подземных вод.

Наблюдения за притоком воды в котлован дают возможность проверить правильность расчетов водопритока и принятой системы строительного водопонижения и выяснить причины расхождения проектных данных с фактическими. На эти расхождения могут оказывать влияние фильтрационная неоднородность пород, закольматированность речного русла, противофильтрационный эффект перемычек, шпунтовых завес и пр. Для получения указанных данных создаются поперечники из наблюдательных скважин, располагающихся по обе стороны от

завес и перемычек. В процессе откачки из котлованов в закарстованных известняках может иметь место увеличение водопроницаемости вследствие вымыва заполнителя карстовых полостей.

Наблюдения должны вестись одновременно по скважинам, водным постам на реке и в котловане. Измерения температуры воды в реке, наблюдательных скважинах и в котловане вместе с химическими анализами воды позволяют оценить глубину захвата водоносного горизонта откачкой.

Наблюдения за режимом подземных вод, выполняемые по скважинам, расположенным за пределами зоны откачки из котлована, дают возможность получить данные о движении подземных вод в естественных условиях, в процессе строительства и после заполнения водохранилища.

3-2. ОПОЛЗНИ И ОБВАЛЫ

а) Значение устойчивости склонов для гидротехнического строительства

Формирование естественных склонов происходит при участии ряда геологических процессов, среди которых главную роль играют так называемые гравитационные процессы — смещения пород под влиянием силы тяжести. В равнинной местности наиболее широко распространены оползни, приуроченные к участкам, сложенным преимущественно глинистыми породами. В горно-складчатых областях, где преобладают скальные породы, развиваются обвалы, оползни, осыпи, глыбово-каменные лавины и сели.

Нарушение устойчивости склонов происходит вследствие преодоления сопротивления горных пород растяжению или сдвигу под влиянием силы тяжести. Принципиальные различия между этими двумя типами деформаций склонов показаны на рис. 3-6.

Для гидротехнического строительства определение устойчивости склонов имеет важное значение потому, что гидротехнические сооружения возводятся в долинах рек и по берегам водоемов, где и в естественных условиях склоны сплошь и рядом бывают неустойчивы, а при строительных работах и в процессе эксплуатации сооружений активизируются существующие или возникают

новые деформации склонов. Развитию этих деформаций способствуют подрезка склонов строительными выработками, переработка берегов водохранилищ, эрозия в каналах и землетрясения.

В связи со строительством в горных долинах высоких плотин, образующих глубокие и протяженные водохранилища, проблема оценки устойчивости склонов приобре-

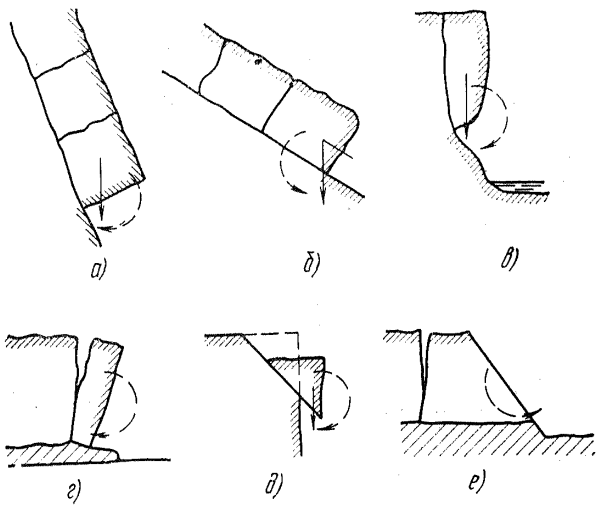


Рис. 3-6. Схема нарушения устойчивости склонов.
а, в, г, д — обвалы; *б, е* — оползни.

ла еще большее значение. В этих условиях оценивать и изучать устойчивость примыканий плотин и берегов водохранилищ приходится с учетом возможности деформаций склонов катастрофических размеров, которые могут повредить сооружения или вызвать переплеск воды через плотину подобно тому, как это имело место на водохранилище Вайонт в Северной Италии в 1963 г. В горных долинах вследствие крупных оползней, подобных происшедшему в 1964 г. в долине р. Зеравшан, могут возникать завалы, размыв которых создает опасность возникновения катастрофического паводка.

б) Основные закономерности развития оползней

Под оползнем понимается смещение горных пород, слагающих склон, происходящее в виде скользящего движения без потери контакта между смещающейся и неподвижной частью склона. Причиной смещения может быть механическое разрушение пород или их пластиче-

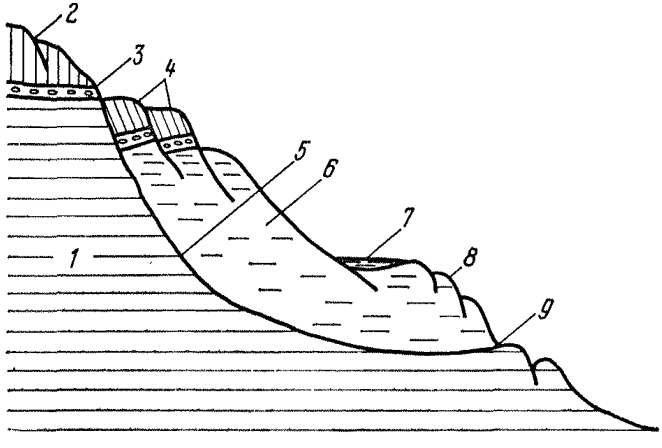


Рис. 3-7. Схематический разрез оползня.

1 — массив коренных пород; *2* — трещины закола; *3* — стенка срыва; *4* — оползневые ступени; *5* — поверхность (кривая) скольжения; *6* — тело оползня; *7* — застой воды; *8* — язык оползня; *9* — подошва оползня.

ское течение на склоне или в его основании. Оползни широко распространены по берегам почти всех рек и многих морей и озер. При изысканиях для обоснования проектов гидроузлов на реках Волге, Каме, Доне, Днепре, Даугаве, Куре, Ангаре, Вятке и многих других значительный объем инженерно-геологических исследований выполняется для оценки устойчивости склонов на участках основных сооружений и по берегам водохранилищ.

Оползневые массы обычно обладают более низкими физико-механическими свойствами, чем ненарушенные породы, вследствие чего они не могут служить основанием для гидротехнических сооружений. Кроме того, оползневые накопления легко деформируются при насыщении водой, при подрезке строительными выемками, при размыве берегов водохранилищ. Ввиду сложности борьбы с оползнями обычно избегают располагать гидротехнические сооружения на оползневых склонах.

Наиболее характерными морфологическими элементами оползневых склонов являются стенка отрыва (сры-

ва), поверхность скольжения, подошва оползня или базис оползания, оползневой цирк, оползневое тело и оползневые накопления (рис. 3-7).

Стенкой отрыва называется обнаженная поверхность, по которой оползень отделился от массива пород. Поверхностью скольжения (или кривой скольжения в разрезе) называют поверхность в массиве пород, по которой проходит смещение оползневых масс. В однородных глинах кривая скольжения обычно имеет очертания, близкие к дуге окружности. При смещении оползня по плоскости напластования, по тектоническим или иным трещинам кривая скольжения может иметь сложную форму (прямой, ломаной или волнистой линии). У мелких оползней, захватывающих почву или рыхлые образования зоны выветривания, поверхность скольжения обычно повторяет рельеф. Часто смещение пород при оползании происходит не по отчетливо выраженной поверхности, а захватывает зону пород или носит характер пластических деформаций в толще значительной мощности. В зоне скольжения породы, как правило, разрушены или перемяты и имеют повышенную влажность.

Подошвой оползня называется линия пересечения поверхности скольжения со склоном. На одном участке склона может быть несколько оползней, располагающихся на разных уровнях. Такие оползни называются многоярусными. При этом смещения земляных масс могут происходить последовательно, вследствие чего образуется ступенчатый оползень. Оползневые уступы довольно часто запрокидываются в сторону склона, в образовавшихся бессточных западинах обычно накапливается вода или фиксируется повышенное увлажнение оползневых масс (рис. 3-8).

Массив оползших пород называется оползневым телом. В нем различают «голову» — самую верхнюю часть оползня и «язык» — нижнюю часть. Глубиной оползня (глубиной захвата) называют мощность оползневых масс, измеряемую перпендикулярно поверхности склона. Оползневым цирком именуется впадина, возникающая на склоне вследствие оползания, а дугообразную линию, ограничивающую оползневой цирк со стороны склона, называют бровкой оползня или линией срыва (отрыва).

Существуют три группы причин образования оползней: 1) изменение формы и высоты склона; 2) изменение строения и свойств пород, слагающих склон, и 3) возник-

новение дополнительной нагрузки на склон. К причинам первой группы относятся подмыв склона волнами и текучими водами, искусственные подрезки склона. Ко второй группе отнесены процессы, ухудшающие физико-механические свойства пород: выветривание, увлажнение поверхностными и подземными водами, выщелачивание растворимых солей и вынос мелких частиц из породы фильтрующимися водами (суффозия). К третьей группе

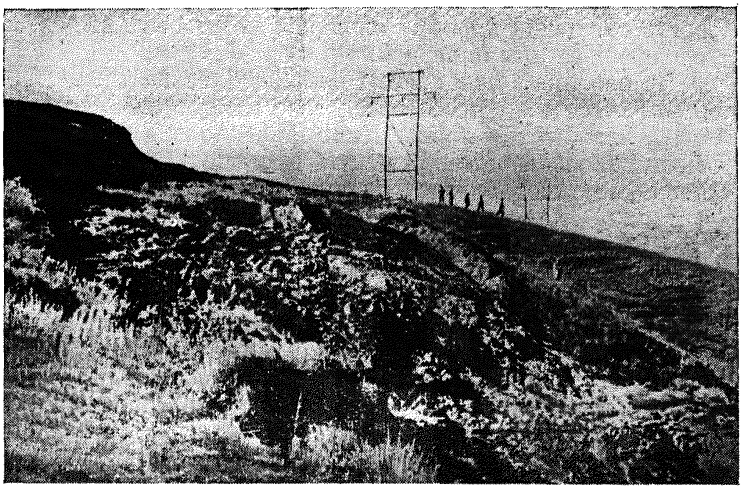


Рис. 3-8. Оползень на склоне Терского хребта (Сев. Кавказ).

принадлежат обводнение склона, искусственные постоянные и временные нагрузки на склон, землетрясения. Подвижка земляных масс на склонах возникает, как правило, вследствие сочетания нескольких причин.

Правильное определение типа оползня и причин его образования способствует целеустремленному изучению оползня и составлению обоснованного прогноза его дальнейшего развития в период строительства и эксплуатации сооружений. Существенным классификационным признаком оползней является глубина захвата. По этому признаку оползни делятся на поверхностные и глубокие. К поверхностным оползням относятся смещения дернового покрова, почвенного слоя, образований выветрелой зоны, делювия мощностью до 3 м. Среди них выделяют

грязевые потоки, оплывины, сплывы, осовы. Они возникают вследствие перенасыщения и разжижения пород водой, движутся обычно периодически с небольшой скоростью. Глубокие оползни захватывают склон на глубину, измеряемую иногда многими десятками метров. Характер развития оползневого процесса зависит в этом случае в очень большой степени от геологического строения склона (состава пород, условий их залегания, слоистости, свойств пород и т. п.).

По влиянию геологического строения склона на скорость смещения и форму оползней могут быть выделены следующие типы оползней:

1) оползни в однородных породах (асеквентные). Они образуются чаще всего вследствие изменения консистенции (влажности) пород. Движение оползня начинается снизу, оползневое тело смещается целиком и образуется запрокинутая в сторону склона площадка — оползневой уступ;

2) оползни по слоям или трещинам, наклоненным в сторону склона (консеквентные). Они могут начинаться как снизу, так и сверху. В последнем случае имеет место смятие и дробление нижележащих частей склона с образованием бугров. Иногда смещение пород по поверхностям, предопределенным геологическим строением и трещиноватостью, происходит быстро и сопровождается дроблением и обвалами пород;

3) оползни, при которых поверхность скольжения сечет слои и породы различного состава (инсеквентные). Такие оползни могут происходить вследствие изменения консистенции, гидравлического давления, суффозии, землетрясения. Оползневое тело в этом случае может перемещаться с разной скоростью как в плане, так и по глубине, благодаря чему формируется сложная система зон смятия и трещиноватости пород.

По механизму возникновения и движения все многообразие оползней можно разделить на две группы. К первой относятся оползни, приуроченные к коренным породам, отличающиеся сравнительной сохранностью первоначального строения смещающихся пород и резким изменением их состояния в зонах смещения. Оползни второй группы характеризуются значительным или полным изменением структуры, состояния и свойств всей или почти всей массы сместившихся пород. Чаще всего такие оползни развиваются в поверхностных слоях. Схе-

Таблица 3-2

Классификация оползней

Глубокие оползни	Поверхностные оползни
В однородной изотропной среде В горизонтально лежащих слоях По наклонным поверхностям	Оползни покровных отложений Оплывины

матическая классификация оползней обеих групп приведена в табл. 3-2.

По площади оползни разделяются на небольшие — менее 2500 м²; средние — до 10 000 м²; крупные — до 20 000 м²; очень крупные — до 100 000 м²; огромные — более 100 000 м². По глубине захвата различают поверхностные — глубиной менее 3 м, мелкие — 5 м, неглубокие — до 10 м, глубокие — до 20 м и очень глубокие оползни — более 20 м.

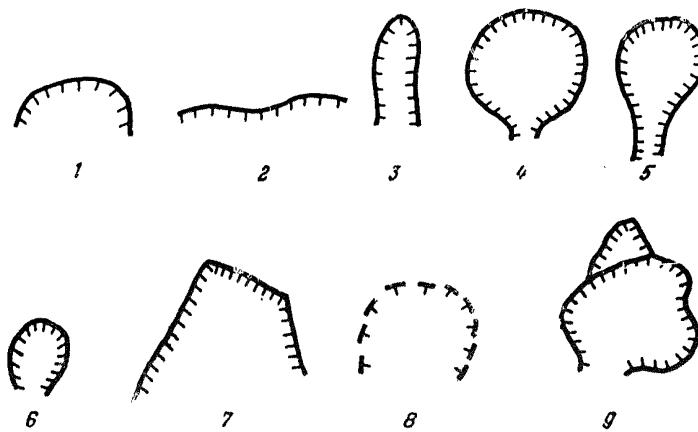


Рис. 3-9. Формы оползней в плане.

По форме в плане оползни подразделяются на следующие типы: циркообразные *1*; фронтальные *2*; глетчерообразные *3*; округлые с суженной горловиной *4*; ложкообразные *5*; эллипсоидальные, грушевидные или каплевидные *6*; угловатых очертаний *7*; без ясных границ *8*; сложные, неправильные, образовавшиеся за счет разрастания более простых форм *9* (рис. 3-9).

По возрасту оползни подразделяются на современные, образовавшиеся при современном базисе эрозии, и древние, возникшие при иных базисах эрозии и абразии. В свою очередь современные оползни делятся на свежие (активные) и старые (стабилизировавшиеся). По фазам развития свежие оползни подразделяются на движущиеся, приостановившиеся, остановившиеся и законченные.

в) Инженерно-геологические изыскания на участках развития оползней

При выборе места расположения гидротехнических сооружений основными задачами инженерно-геологических изысканий являются определение границ оползневых участков и установление закономерностей развития оползней в данных геологических условиях. После выбора места расположения сооружений и определения границ водохранилищ детально изучаются оползневые участки, устойчивость которых имеет значение для строительства и эксплуатации сооружений. В период строительства ведется инженерно-геологическая документация строительных выемок на оползневых склонах и проводятся наблюдения за их деформациями. По этим материалам уточняются проекты производства работ и противооползневых мероприятий.

На всех этапах изучения оползней выполняется полный комплекс изыскательских работ, однако детальность их постепенно возрастает. Основой для изучения оползней служат материалы инженерно-геологической съемки, которая на ранних стадиях изысканий выполняется в мелком масштабе (1 : 100 000—1 : 25 000), а на поздних — в более крупном (1:10 000—1:2000). В процессе мелкомасштабной съемки оконтуриваются участки распространения оползней, выявляется в общих чертах их строение и определяются основные причины образования. При описании оползней рекомендуется придерживаться следующей последовательности:

а) название, номер и местоположение оползня;

б) ориентировка, форма, крутизна и высота склона, на котором расположен оползень;

в) базис оползня — к чему он приурочен, его протяженность;

г) форма и размеры оползня в плане (длина, ширина, площадь);

д) средний уклон поверхности оползня;

е) описание границ оползня (стенок срыва, бортов, языка) с фиксированием их состояния (свежие, выветрелые, задернованные) и размеров, наличия трещин, следов подмыва или искусственных подрезок склона;

ж) границы водосбросной площади оползня и ее размеры;

з) рельеф поверхности склона в пределах водосборной площади (наличие оврагов, балок, канав, водоемов, трещин, распаханных участков); при больших размерах площади более подробно описывается часть непосредственно примыкающая к оползню;

и) рельеф оползня и его отдельных элементов с указанием их размеров и ориентировки;

к) характеристика склона ниже оползня, включая пляж или бечевник, террасы и другие элементы рельефа;

л) водопроявления на оползне (источники, мочажины, озерки, овраги с постоянными и временными водотоками); на застроенных территориях — наличие водопроводной и канализационной сети, ее состояние;

м) характер растительности на склоне в пределах оползня и вне его (состав растений, их густота, признаки деформаций);

н) перечень и характеристика инженерных сооружений на оползне и вокруг него, наличие и время появления деформаций, состав ремонтных работ.

Оползни не всегда отчетливо выражены в рельефе современных склонов, однако наиболее часто встречаются следующие признаки их развития: оползневые цирки, стенки отрыва, валы выпирания, оползневые ступени, заболоченность на оползневом теле, искривление деревьев («пьяный лес»), деформации сооружений. В геологическом разрезе обнажений или горных выработок признаками оползневых смещений могут служить несовпадение высот и элементов залегания пород в оползневом теле и в породах, не затронутых оползнем, повышенная влажность и нарушенная структура пород в зоне скольжения оползня, штрихи, зеркала скольжения.

Крупномасштабная инженерно-геологическая съемка выполняется на оползневых участках основных сооружений, выемок каналов и по берегам водохранилищ на участках интенсивного развития оползней, угрожающих важным объектам или создающих опасность смещения больших объемов оползневых масс. Съемка сопровож-

дается разведочными и опытно-фильтрационными работами, по результатам которых с необходимой точностью определяются границы существующих оползней, гидрогеологические условия и физико-механические свойства пород, слагающих склон. Инженерно-геологическая съемка оползневого склона должна выполняться на высококачественной топографической основе. По указаниям и при участии инженера-геолога на склоне должны быть привязаны инструментально и нанесены на топографическую карту отдельные морфологические элементы оползней, выходы подземных вод, участки размыва и подрезки склона, крупные трещины, подземные коммуникации и другие важные детали.

При крупномасштабной инженерно-геологической съемке дополняются полученные ранее сведения о морфологии и строении оползней и уточняется их связь с геологическим строением склона, тектоникой, гидрогеологическими условиями, экспозицией склона и гидрометеорологическими факторами. Эти сведения помогают уточнить возраст и историю развития оползней, их активность в настоящее время, причины возникновения и возможность активизации в естественных условиях, в процессе строительства и в период существования сооружения.

В оползневых районах возможно применение геофизических методов исследований для уточнения геологического строения, выявления существующих и вероятных зон оползневого смещения, определения уровня подземных вод и зон повышенной влажности пород и пр.

Шурфы и скважины на оползневых участках располагаются по створам вдоль и поперек оползня, включая и несмещенные участки. Глубина выработок принимается больше глубины захвата оползня с тем, чтобы установить мощность оползневых тел, определить свойства нарушенных и ненарушенных пород и выявить количество, мощность и взаимосвязь водоносных горизонтов. Расположение, количество и глубина разведочных выработок на оползневом склоне зависят от инженерно-геологического типа оползня, сложности геологического строения, обнаженности склона и стадии проектирования. Рекомендуемые примерные расстояния между створами и количество их в зависимости от размеров и формы оползня приведены в табл. 3-3.

Таблица 3-3

Количество створов в зависимости от размеров и формы оползня

Группы оползней по размерам	Расстояние между продольными створами, м	Циркообразные		Глетчерообразные		Фронтальные	
		Створы					
		продольные	поперечные	продольные	поперечные	продольные	поперечные
Небольшие Средние	50—75	1	1	1	1—2	2—3	1—2
Крупные Очень крупные	75—150	2—3	1—2	1—2	2—3	3—4	1—2
Огромные	150—200	3—4	2—3	1—2	3—4	4	2—3

Поскольку буровыми скважинами иногда трудно выявить подошву оползня, значительную долю разведочных выработок должны составлять шурфы или шахты. На наиболее характерных участках склона в пределах оползней и за их границами оборудуются скважины для наблюдений за режимом подземных вод. При документации выработок фиксируются все признаки смещения пород: зеркала скольжения, нарушения слоистости, перемятость и повышенная трещиноватость пород, участки увлажнения и т. п.

При лабораторных исследованиях особое внимание уделяется определению плотности пород и их сопротивления сдвигу в смещенной и несмещенной частях склона. Эти данные используются при расчетах устойчивости склона и давления, оказываемого оползнями на подпорные стенки.

В период строительства и эксплуатации сооружений в оползневых районах производятся наблюдения за деформациями склонов, за режимом подземных вод, мерзлотными процессами и пр. Наблюдения на склонах делятся на визуальные и инструментальные. Поскольку часто на возникновение и развитие оползней большое влияние оказывает обводнение склона, могут выполняться специальные наблюдения за деятельностью талых, ливневых и хозяйственных вод и связью их с оползневыми подвижками. В таких случаях фиксируются:

количество, периодичность осадков;

интенсивность промачивания пород с поверхности талыми, дождевыми и хозяйственными водами, глубина промачивания;

развитие плоскостного смыва пород со склона, эрозия склона;

влияние увлажнения, высыхания и промораживания склона на выветривание пород склона;

изменения влажности пород во времени (сезонные, годичные).

В состав инструментальных геодезических наблюдений включаются точные измерения планово-высотного положения специальных марок и маяков, устанавливаемых на поверхности склона, на зданиях и сооружениях, а также глубинных марок, и проведение стереофотограмметрической съемки. Для каждого изучаемого оползня устанавливается не менее трех исходных реперов на заведомо неподвижных участках склона. Геодезические наблюдения проводятся не реже 3 раз в год, а при необходимости фиксировать интенсивные подвижки — чаще. Количество марок в створах и расстояния между ними зависят от размера, формы оползня и поставленных задач: для выявления наличия (или отсутствия) смещения достаточно двух-трех марок, а для подробного изучения оползневого процесса марки следует располагать через 10—40 м друг от друга. На каждую оползневую ступень в продольном створе должно приходиться по две-три марки; верхние и нижние марки створов располагают за пределами оползня. На основании полученных данных составляется прогноз о времени, скорости и интенсивности новых подвижек на склоне.

Визуальные наблюдения бывают разовые и повторные. В задачи визуальных наблюдений при изучении оползней входит:

установление факта и по возможности величины смещения;

определение площади оползня, его границ;

определение типа и особенностей оползня, состояния пород и степени их водонасыщения до смещения, в процессе смещения и после него;

установление характера деформаций отдельных частей оползня и сооружений на нем, изменений условий стока поверхностных вод и гидрогеологических условий в результате смещения;

определение процессов и явлении, предшествовавших оползневому смещению, сопутствовавших ему и следовавших за ним, выявление характера взаимосвязи между ними и собственно оползневыми смещениями;

выявление наличия и характера произведенных оползнем разрушений, оценка степени опасности деформаций или разрушений для расположенных на оползнях и вблизи них сооружений.

Визуальные наблюдения складываются из следующих видов или элементов работ: общий осмотр, нанесение на план положения объектов наблюдений или составление соответствующего схематического плана, зарисовка и фотографирование отдельных деталей, опрос местных жителей и сбор сведений в местных и специализированных организациях, геологическая и гидрогеологическая документация обнажений и выработок, описание результатов наблюдений.

На ранних стадиях проектирования устойчивость оползневых склонов оценивается приближенно методами аналогий и историко-геологическим, а на более поздних стадиях выполняются специальные расчеты.

Противооползневые мероприятия должны быть направлены главным образом на устранение основных причин деформаций склонов. Эти мероприятия делятся на пассивные и активные. К пассивным относится запрет на проведение в пределах оползневых участков работ, ухудшающих его устойчивость: подрезку и подсыпку склонов, возведение сооружений, сброс поверхностных вод, уничтожение растительности, распашку и пр.

Активные мероприятия делятся на четыре группы. К первой относятся мероприятия, предусматривающие предотвращение или ослабление процессов, вызывающих развитие оползней (защита от подмыва склона волнами или текучими водами, отвод поверхностных и грунтовых вод, засыпка или дренаж понижений, в которых может застаиваться вода, и пр.). Вторую группу составляют меры противодействия смещению пород путем сооружения подпорных стенок, контрбанкетов, забивки свай и т. п. К третьей группе отнесены мероприятия, позволяющие повысить сопротивление пород сдвигающим усилиям: цементация, силикатизация и другие методы упрочнения. Мероприятия четвертой группы сводятся к съему оползневых масс до устойчивых пород или уположению склона до безопасных уклонов.

г) Характерные черты гравитационных процессов на горных склонах

В условиях горного, сильно рассеченного рельефа широко распространены обвалы, оползни-обвалы, оползни, осыпи, сели.

Обвалы представляют собой внезапное обрушение горных пород с потерей контакта, сопровождающееся, как правило, дроблением пород и беспорядочным накоплением обвальных масс у подножья склонов (рис. 3-10).

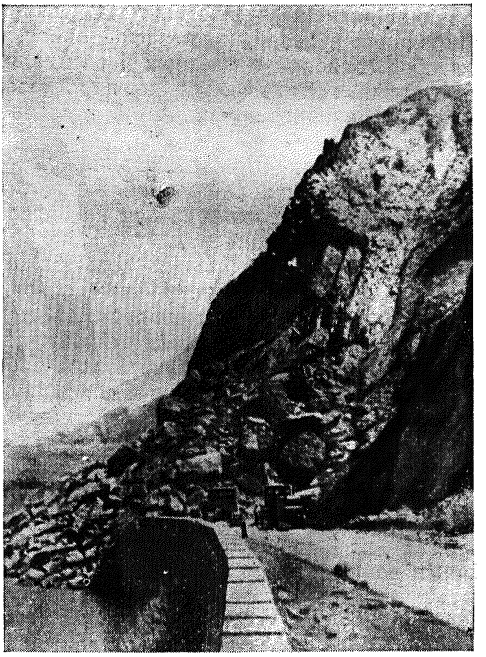


Рис. 3-10. Обвал.

Обвалы происходят быстро, почти мгновенно — продолжительность обрушения колеблется в пределах от нескольких секунд до нескольких минут. Типичные обвалы происходят на склонах крутизной не менее 60—65°, при

этом наиболее активно они проявляются в районах современных тектонических движений. Землетрясения вызывают активизацию обвалов. Большинство озер в горах Тянь-Шаня, Памира, Кавказа имеют завальное происхождение вследствие обрушения больших масс пород при сильных землетрясениях. Обвалы, затронувшие какой-либо массив пород, действуют многократно в течение длительного времени, до выработки устойчивого профиля склона.

Оползни-обвалы в начальной стадии развития характеризуются скольжением блоков по пологой поверхности трещин или ослабленных зон, а в дальнейшем, при достижении обрывистой части склона, превращаются в обвалы. Горные оползни обычно смещаются по относительно пологой поверхности скольжения. Наиболее часто они встречаются в областях, характеризующихся высокой сейсмичностью и неотектоническими движениями, способствующими формированию неустойчивых склонов.

Обвалы по объемам обрушившейся породы различаются следующим образом: до 10 тыс. $м^3$ — небольшие, до 100 тыс. $м^3$ — средние, до 1 млн. $м^3$ — крупные и более 1 млн. $м^3$ — грандиозные.

Характер скатывания и дробления пород при обвалах зависит от крутизны склонов. На склонах круче 60° глыбы и обломки перемещаются длинными незатухающими скачками. При крутизне в интервале от 60 до 30° движение глыб на отдельных участках ускоряется или замедляется, а на склонах крутизной менее 30° может иметь место прекращение движения. После обвалов и оползней-обвалов в склоне остаются ниши отрыва, а у его подошвы скапливается обломочный материал, причем наиболее крупные глыбы откатываются дальше, чем мелкие обломки.

В процессе смещения горного оползня тело его часто расчленяется на блоки, а в зоне скольжения и по контуру оползня происходит перетирание и дробление пород. Степень дробления находится в прямой зависимости от скорости перемещения оползня.

Для районов с сильными землетрясениями характерны сейсмогравитационные явления. Они представляют собой незавершенные смещения блоков скальных пород, причем направление смещения не совпадает с направлением действия сил тяжести, а возникающие трещины

рассекают массив независимо от слоистости пород и формы склона.

В горных районах фиксируются и медленные движения склонов, сложенных как скальными, так и нескальными породами. Этот процесс развивается в результате воздействия силы тяжести на разуплотненную часть массива пород вблизи дневной поверхности. Такие медленные движения более интенсивно проявляются при развитии повышенной трещиноватости, наличии тектонических зон дробления, сланцеватости и слоистости пород и глинистого заполнителя трещин. В массиве скальных пород в пределах зон разуплотнения и выветривания иногда фиксируется изгиб слоев у поверхности склона (залом) в направлении его наклона.

Возникновение гравитационных процессов в горных районах тесно связано с составом, состоянием и условиями залегания пород, слагающих склон, наличием в массиве ослабленных зон или прослоев пластичных или суффозионно неустойчивых пород. Катастрофические обвалы и оползни чаще всего возникают тогда, когда под мощной толщей скальных пород имеются слабые увлажненные породы, которые выдавливаются в результате возникающих напряжений. В однородных толщах глинистых и метаморфических сланцев обычно преобладают обвалы малого объема и осыпи.

На устойчивость горных склонов большое влияние оказывают крупные тектонические нарушения, а также повышенная трещиноватость. Обвалы и оползни больших масштабов развиваются там, где склоны ориентированы по направлению тектонических разломов или имеются трещины большой протяженности, падающие к долине. При повышенной трещиноватости массива также активизируются деформации склона, так как она снижает прочность пород, увеличивает их водопроницаемость и создает условия для интенсивного выветривания.

Прямое или косвенное влияние на устойчивость склонов оказывают новейшие и современные тектонические движения и сейсмичность, так как они определяют интенсивность вреза долин и могут служить поводом для обвалов и оползней на участках склона, находящихся в неустойчивом состоянии. Наиболее крупные деформации склонов возникают в зонах интенсивного выветривания и разгрузки, и чем древнее склон, тем чаще и интенсивнее его деформации.

Увлажнение пород поверхностными или подземными водами снижает устойчивость склонов, поскольку уменьшается прочность массива в зонах, где есть скопление глинистого материала, развивается гидростатическое и гидродинамическое давление и увеличивается скорость прохождения сейсмических волн при землетрясениях.

В значительной мере устойчивость склонов зависит от их высоты и крутизны, которые имеют предельные размеры для конкретных природных условий. Строительство на склонах, подрезка их, обводнение и переменные нагрузки существенно снижают устойчивость склонов.

До начала обвала или оползня блока пород возникают характерные явления, которые могут служить признаками предстоящей деформации; вывалы и падение глыб, расширение существующих трещин и возникновение новых, смыкание трещин в зоне смещения, повторяющийся треск, появление родников и пр. Эти и другие признаки дают возможность предупредить об опасности обвала или оползня, что особенно важно в период строительства.

д) Изучение устойчивости горных склонов

Исследования склонов на первом этапе изысканий при выборе места расположения сооружений ведутся для общей оценки их устойчивости, выявления существующих и прогноза развития обвалов и оползней и определения их влияния на сооружения. Эти задачи решаются на основе инженерно-геологических карт масштаба 1 : 5000—1 : 10 000. Для районов с простым геологическим строением можно применять карты масштаба 1 : 25 000, которые дополняются картами более крупного масштаба для типичных или наиболее важных обвально-оползневых участков.

Главное внимание при съемке должно уделяться изучению морфологии и геологического строения коренных склонов, состава, мощности и времени образования обвально-оползневых накоплений и осыпей, выявлению гидрогеологических условий. Съемка должна сопровождаться минимальным объемом горно-буровых работ и геофизическими исследованиями. При инженерно-геологическом картировании крутых обнаженных склонов очень большой эффект приносит применение фототеодолитной съемки. По результатам исследований определя-

ется время возникновения и интенсивность деформаций склона, разрабатывается классификация развитых на склоне обвалов, оползней, осыпей и других гравитационных явлений. Классификация должна отражать возраст, историю развития, современное состояние, причины возникновения и интенсивность гравитационных деформаций и их влияние на устойчивость склона и проектируемых сооружений. На этом этапе по единичным определениям получают представление о физико-механических свойствах сохранных и ослабленных разностей пород: влажности, объемном весе, сопротивлении сдвигу, размокаемости, динамических модулях упругости. Перечисленные материалы используются для разработки признаков устойчивости склонов с применением сравнительно-геологического метода и метода природных аналогов.

При предварительных изысканиях выбираются опорные участки для организации наблюдений за деформациями склонов и влиянием на их устойчивость гидрометеорологических факторов, режима подземных вод, искусственных подрезок склона. Особое внимание уделяется выявлению признаков, предшествующих возникновению обвала или оползня, по которым оконтуриваются потенциально неустойчивые участки склона.

На втором этапе исследований на выбранном створе исследование устойчивости склонов ограничивается сравнительно небольшой площадью, где намечается расположение основных сооружений. На этом этапе главное внимание уделяется изучению потенциально неустойчивых массивов: их морфологии, составу и состоянию, обводненности, изменению этих и других внешних признаков.

На участках примыканий плотины и для обоснования проекта мероприятий по укреплению склонов составляются инженерно-геологические карты масштаба 1 : 2000 и крупнее на стереофотограмметрической основе. При этом подробно изучаются физико-механические свойства пород полевыми и лабораторными методами с учетом неоднородности и трещиноватости пород и изменения этих свойств в результате выветривания, разуплотнения, выщелачивания, увлажнения, смещений и пр. Характеристиками пород, необходимыми для расчетов устойчивости склонов, является сопротивление сдвигу, плотность, влажность, растворимость, водопроницаемость и размываемость. Определение устойчивости склонов

дается на базе методов сравнительно-геологического и природных аналогов с учетом данных расчетов и моделирования.

В период строительства изыскания преследуют цели обеспечения исходными данными проекта мероприятий по повышению устойчивости склонов и составления прогноза возможности оползней и обвалов в период строительства и эксплуатации гидроузла. На этом этапе продолжается уточнение геологического строения отдельных участков склона, ведутся наблюдения за физико-геологическими явлениями и метеорологическими явлениями, за влиянием искусственных выработок на склоне на устойчивость его, за режимом и химизмом подземных вод и пр.

Для уточнения полученных ранее данных проводится инженерно-геологическая документация всех открытых и подземных строительных выемок. При необходимости в этих выемках проводятся опытные полевые работы по определению прочностных и деформационных характеристик пород, слагающих склон. Основное внимание уделяется ослабленным зонам (зона выветривания, зоны тектонических нарушений, участки карстопроявлений и пр.). Наблюдения и опыты проводятся в границах проектируемых сооружений. Изучение устойчивости склона выполняется на всю его высоту в пределах строительной площадки в той части, где при ведении строительных работ или при эксплуатации гидроузлов возможны гравитационные деформации, представляющие опасность для жизни людей или работы сооружений. По полученным материалам исследований составляются долговременные и краткосрочные прогнозы устойчивости склонов.

Все материалы по изучению склонов участка гидроузла к концу строительства сводятся и наносятся на окончательную инженерно-геологическую карту масштаба 1 : 1000 — 1 : 10 000, на которой отображаются гравитационные деформации за весь период наблюдений (скорость развития, масштабы, периодичность и пр.). Карта вместе с другими материалами служит основой для продолжения наблюдений за устойчивостью склонов в период эксплуатации гидроузла.

3-3. МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА

а) Инженерно-геологические свойства многолетнемерзлых пород

Развитие гидротехнического строительства в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока определяет большую актуальность изучения инженерно-геологических особенностей многолетнемерзлых пород. Инженерно-геологическое значение мерзлоты заключается в том, что при переходе многолетнемерзлых пород в талое состояние в процессе строительства или эксплуатации сооружений несущие свойства грунтов резко снижаются, что может привести к развитию неблагоприятных инженерно-геологических явлений, влияющих на устойчивость сооружений. Деформации сооружений могут также происходить и при замерзании талых пород, вследствие того что вода при переходе в лед увеличивает свой объем на 9%. Это ее свойство приводит к развитию некоторых неблагоприятных процессов, как, например, пучение, возникновение морозобойных трещин и пр.

Мерзлыми называются горные породы, имеющие отрицательную температуру и содержащие в своем составе лед. Если породы существуют в мерзлом состоянии более 3 лет, они называются многолетнемерзлыми. В распространении многолетнемерзлых пород имеется широтная зональность: на Крайнем Севере расположена зона их сплошного развития, к югу она сменяется зоной прерывистого распространения, а затем — зоной островного развития. Мощность толщи многолетнемерзлых пород, в зависимости от климата и рельефа, изменяется от нескольких метров до многих сотен метров.

Массивы многолетнемерзлых пород подстилаются немерзлыми и перекрываются талыми или сезонноталыми породами. В зависимости от последнего обстоятельства многолетнемерзлые толщи называются несливающимися или сливающимися. В первом случае поверхностный слой, подвергающийся сезонному оттаиванию и промерзанию, называется сезонно промерзающим, а во втором — сезонно оттаивающим (рис. 3-11).

Слой сезонного промерзания характеризуется положительными среднегодовыми температурами, промерзание его начинается сверху, а протаивание — и снизу и сверху. В отличие от него слой сезонного протаивания имеет отрицательную среднегодовую температуру и про-

мерзание его происходит и сверху и снизу, а оттаивание — только сверху. Максимальная мощность слоя сезонного промерзания характерна для конца зимы, а для слоя сезонного протаивания — осень.

Температура многолетнемерзлых пород изменяется от минус 10°С в зоне сплошного распространения мерзлоты до десятых долей градуса в зоне островной мерзлоты.

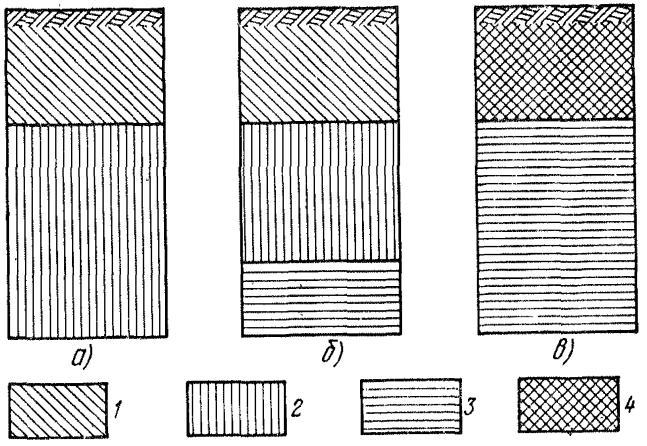


Рис. 3-11. Сезоннооттаивающие и сезоннопромерзающие слои при различном залегании многолетнемерзлых пород.

а — сезоннопромерзающий слой в немерзлых породах; *б* — сезоннопромерзающий слой при глубоком залегании многолетнемерзлых пород; *в* — сезоннооттаивающий слой при залегании многолетнемерзлых пород с поверхности; *1* — сезоннопромерзающий слой; *2* — немерзлые породы; *3* — многолетнемерзлые породы; *4* — сезоннооттаивающий слой.

Годовые колебания температур многолетнемерзлой толщи распространяются до глубины 15—20 м, которая называется подошвой слоя годовых температур (рис. 3-12).

Мерзлые песчано-глинистые породы разделяются на твердомерзлые, пластичномерзлые и сыпучемерзлые. Твердомерзлые породы отличаются малым содержанием воды и прочной цементацией льдом. Песчано-глинистые породы переходят в твердомерзлое состояние при температуре от минус 0,3°С для пылеватых песков и до минус 1,5°С для глин. Пластичномерзлые породы наряду со льдом-цементом содержат значительное количество незамерзшей воды, благодаря чему обладают способностью сжиматься под нагрузкой. К сыпучемерзлым породам

принадлежат маловлажные обломочные породы: пески, галечники и пр. Их физико-механические свойства практически не отличаются от свойств аналогичных талых пород (если, конечно, в процессе эксплуатации сооружения не произойдет обводнения толщи основания).

Иногда среди толщи многолетнемерзлых пород встречаются прослои талых (талики), и в таком случае мерзлые породы называются слоистыми. Талики обычно

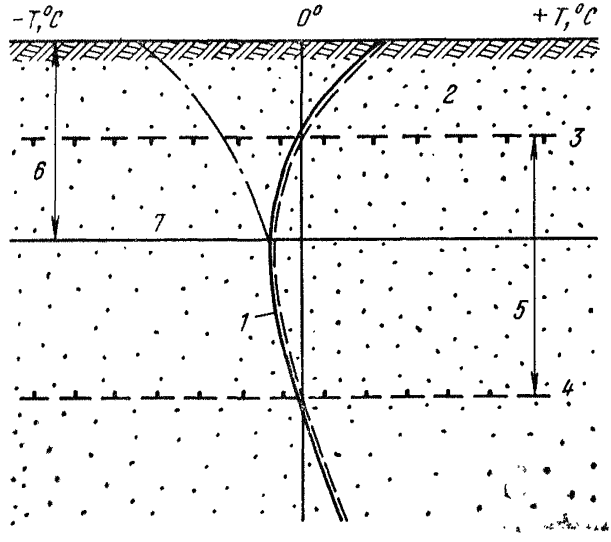


Рис. 3-12. Параметры разреза мерзлой толщи.

1 — кривая распределения температуры горных пород; *2* — сезоннопротаивающий слой; *3* — кровля многолетнемерзлой толщи; *4* — подошва многолетнемерзлой толщи; *5* — мощность многолетнемерзлой толщи; *6* — слой годовых колебаний температур; *7* — подошва слоя годовых колебаний температуры.

существуют за счет отепляющего действия поверхностных водотоков и водоемов, интенсивной фильтрации воды или воздействия солнечного тепла. Талики бывают сквозными (через всю толщу мерзлых пород) или ложными, в подошве которых лежат мерзлые породы (рис. 3-13).

Талики наиболее часто встречаются в днищах долин крупных рек. Отепляющего влияния малых водотоков часто не хватает для создания сквозного талика, и в их долинах лишь иногда встречаются ложные талики.

Температурный режим в породах, слагающих склоны долин рек, определяется климатическими условиями, экспозицией склонов, составом и состоянием пород, гидро-

геологическими условиями, особенностями изменений температур воздуха в данном районе. В долинах рек часто наблюдается температурная инверсия, т. е. скопление холодных масс воздуха в пониженных частях рельефа.

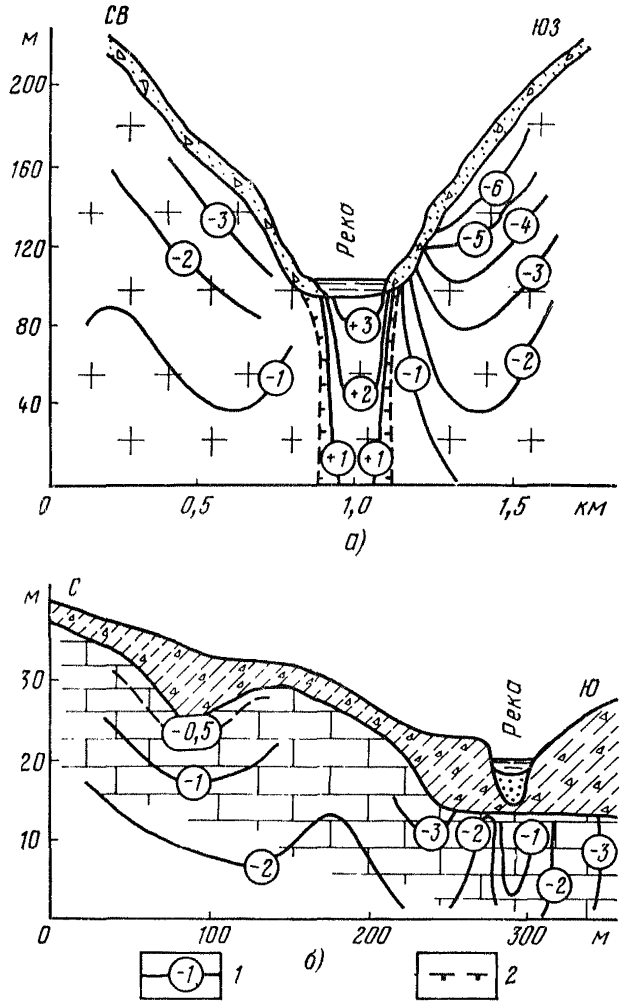


Рис. 3-13. Температурные профили через долины большой (*а*) и малой (*б*) рек.

1 — изотермы; *2* — граница многолетнемерзлых пород (штрихи обращены в сторону талых пород). Цифрами, обведенными кружками, обозначены отрицательные температуры в грунте.

Главные особенности гидрогеологических условий районов развития многолетнемерзлых пород заключаются в том, что мерзлые породы являются водоупорами. Однако под отепляющим воздействием фильтрационного потока такие водоупоры способны менять свои границы и водопроницаемость. В массивах многолетнемерзлых пород встречаются следующие типы водоносных горизонтов:

а) надмерзлотные воды, содержащиеся в слое сезонного оттаивания и в ложных таликах;

б) межмерзлотные и внутримерзлотные воды, залегающие в слоях талых пород, ограниченных многолетнемерзлыми породами (в первом случае имеющими связь и во втором — не имеющими связи с другими типами подземных вод);

в) воды сквозных таликов, участвующих в водообмене поверхностных и подземных вод;

г) подмерзлотные воды, насыщающие первый от подошвы слоя многолетнемерзлых пород водоносный горизонт.

Лед в многолетнемерзлых породах является породообразующим минералом. Он встречается в виде крупных мономинеральных включений, линз, жил и прослоев различной формы и размеров, а также заполняет поры (лед-цемент). Крупные включения льда по происхождению подразделяются на три типа:

а) конституционные льды, образующиеся при промерзании влажных пород;

б) пещерно-жильные льды, формирующиеся при заполнении льдом полостей в мерзлых породах;

в) погребенные льды, перекрытые четвертичными отложениями.

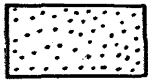
Под криогенной текстурой мерзлых пород понимают особенности их строения, обусловленные наличием льда-цемента, формой и размером ледяных включений, условиями их залегания и взаимным расположением. Основные виды криогенных текстур показаны в табл. 3-4.

В скальных и полускальных породах лед заполняет трещины и пустоты, вследствие чего им свойственны трещинные, трещинно-жильные, пластово-трещинные и пластово-поровые криогенные текстуры.

Физико-механические свойства рыхлых пород, содержащих лед, отличаются большой суммарной влажностью, низкими значениями плотности, малой водопрони-

Таблица 3-4

Основные виды криогенных текстур рыхлых отложений

Схематическая зарисовка	Название криогенной текстуры	Описание текстуры	Примечание
	Массивная	Лед-цемент, видимых включений льда нет	Типична для песков; встречается во всех литологических разновидностях
	Массивная поровая	Лед заполняет все поры в породе; льдонасыщенность не превышает первоначальной пористости породы в талом состоянии	Типична для крупнообломочных пород
	Базальная	Минеральные агрегаты „раздвинуты" текстурообразующим льдом; льдистость больше пористости в талом состоянии	
	Атакситовая	Агрегаты грунта располагаются беспорядочно в массе льда; лед по объему в породе преобладает	Типична для дисперсных пород
	Корковая	Лед образует корки вокруг крупнообломочного материала; в заполнителе лед-цемент и редкие небольшие ледяные шлиры[1]	Типична для крупнообломочных пород с песчаным и супесчано-суглинистым заполнителем

Продолжение табл. 3-4

Схематическая зарисовка	Название криогенной текстуры	Описание текстуры	Примечание
	Порфировидная	На фоне массивной текстуры редкие, неправильной (разнообразной) формы включения льда	Типична для песков, супесей, суглинков или торфяников без крупнообломочных включений
	Линзовидная	Лед в виде линз различной формы и размеров	Типична для всех дисперсных пород и торфа
	Сетчатая	Системы косоориентированных взаимопересекающихся ледяных шлиров создают ледяную сетку	
	Слоистая	Лед в виде выдержанных слоев и прослоев	
	Решетчатая (ячеистая)	Система горизонтальных ледяных слоев и вертикальных линз и прослоев создает пространственную решетку	Типична для однородных супесчано-суглинистых и глинистых отложений

*) Ледяные шлиры — скопления кристаллов и включений льда разной формы в породе, не имеющие четких границ с вмещающей породой.

цаемостью и большой прочностью. С увеличением содержания льда до предела, соответствующего полному водопоглощению, прочность пород возрастает. При дальнейшем увеличении льдистости прочность пород снижается. Мерзлые породы под длительной нагрузкой обладают меньшей прочностью, чем при приложении кратковременной нагрузки. Это связано с пластичностью льда, вследствие чего различают длительную и кратковременную прочность мерзлых пород. Наличие в мерзлых породах некоторого количества незамерзшей воды предопределяет зависимость их физико-механических свойств от температуры.

Скальные мерзлые породы отличаются тем, что почти все трещины в них заполнены льдом или льдонасыщенным рыхлым заполнителем. Верхняя часть скального массива обычно в той или иной степени распучена вследствие многократного замерзания и оттаивания воды в трещинах, благодаря чему они имеют резко увеличенную ширину в пределах зоны сезонного промерзания и оттаивания. Наличие льда в трещинах предопределяет повышенную сжимаемость массива пород, ослабленное сопротивление их сдвигу и склонность к пластическим деформациям, а также резкое изменение прочностных свойств пород в массиве при оттаивании.

Главными характеристиками физико-механических свойств мерзлых пород являются:

1. Суммарная влажность, представляющая собой отношение всех видов воды, содержащейся в мерзлом грунте, к весу скелета грунта.

2. Суммарная льдистость, являющаяся отношением объема льда, содержащегося в мерзлом грунте, к объему мерзлого грунта, которая выражается в долях единицы.

3. Степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой.

4. Плотность скелета мерзлого грунта.

5. Величина относительного сжатия мерзлого грунта при переходе его в талое состояние, представляющая собой отношение изменения толщины слоя грунта при оттаивания под нагрузкой к его первоначальной мощности.

6. Величина сцепления мерзлого грунта.

7. Коэффициент теплопроводности, объемной теплоемкости в мерзлом и талом состояниях.

8. Степень засоленности грунтов.

б) Мерзлотные процессы и явления

В районах распространения многолетнемерзлых пород вследствие перехода воды в лед и обратно — льда в воду — широко распространены специфические мерзлотные физико-геологические процессы и явления. Наиболее часто из них встречаются следующие.

Солифлюкция — медленное оплывание влажных тонкодисперсных глинистых или пылеватых пород по склонам вследствие воздействия силы тяжести в периоды оттаивания. Процесс солифлюкции может развиваться даже на очень пологих склонах крутизной всего 2—3°. В северных районах солифлюкция чаще всего наблюдается на склонах южной экспозиции, а в южных — на северных склонах. Скорость перемещения составляет несколько сантиметров в год.

Каменные кольца, полигоны, пятна-медальоны образуются вследствие морозного растрескивания, пучения и сортировки обломочного материала вследствие его выпучивания на поверхность. В основном этот процесс развивается в слое сезонного промерзания.

Бугры пучения бывают сезонные и многолетние. Первые развиваются в слое сезонного промерзания и протаивания и разрушаются в течение года. Размеры их достигают в диаметре 50 м и в высоту 3 м. Многолетние бугры пучения (гидролакколиты, булгунняхи) растут вследствие промерзания пород при постоянном или периодическом притоке напорных подземных вод или за счет промерзания водонасыщенных пород таликов. В первом случае образуется ледяное ядро, залегающее ниже глубины максимального протаивания и окруженное мерзлым грунтом, расслоенным линзами льда. Во втором случае бугры сложены теми же отложениями, что и окружающий их массив, но породы в ядре более льдонасыщены и в них встречаются линзы льда мощностью до 8 м. Многолетние бугры достигают в диаметре нескольких сотен метров, высоты 40 м при крутизне склонов 20—30°.

Морозобойное трещинообразование происходит вследствие неравномерного по глубине охлаждения массива горных пород. В результате систематического промерзания на протяжении многих лет поверхность земли растрескивается, образуя многоуголь-

ники с количеством углов от 3 до 6, ограниченные трещинами. Чем суровее климат, тем меньше поперечник многоугольников. Весной в трещины проникает вода, которая осенью замерзает и образует повторно-жильные льды, а над ними, в зоне сезонного оттаивания, — грунтовые жильные образования.

Термокарст — под этим термином понимается вытаивание ледяных образований, имеющихся в мерзлых породах, или протаивание сильно льдистых глинистых пород, вследствие чего образуются воронки и поноры, по внешнему виду напоминающие карстовые. При вытаивании мощных линз повторно-жильных льдов и затрудненном стоке образуются термокарстовые озера, а при свободном стоке — останцы вытаивания — байджерахи. Отрицательные формы рельефа могут иметь в поперечнике несколько километров, глубина их обычно составляет несколько метров, но иногда достигает 40 м. В естественных условиях термокарст развивается при уничтожении растительного покрова под влиянием эрозии, солифлюкции и других явлений, вызывающих увеличение глубины сезонного протаивания.

Наледи представляют собой ледяные тела различной формы и размеров, образующиеся в результате последовательного излияния и замерзания поверхностных или подземных вод. Наледи поверхностных вод образуются вследствие сужения сечения водотока при промерзании и излива воды из-под льда. Наледи подземных вод формируются источниками при сужении сечения потока подземных вод при промерзании.

В процессе исследования мерзлотных процессов и образований необходимо выявлять и описывать следующее:

1. Пространственное распространение, размер, формы и морфологические особенности процессов и явлений в мерзлых породах.

2. Связь этих процессов и явлений с определенными элементами рельефа и комплексами пород.

3. Характерные черты распространения растительности (наличие оголенных участков, разреженных или искривленных деревьев и пр.).

4. Особенности состава и свойства мерзлых пород (например, наличие криогенных текстур, повторно-жильных льдов, развитие мерзлотных физико-геологических явлений и т. п.).

5. Характеристику физико-геологических мерзлотных явлений по генезису, положению в рельефе местности, условиям залегания, размерам и форме, длительности существования и т. п.

6. Стадии развития процессов, интенсивность их развития в момент исследований и прогноз на период строительства и эксплуатации.

7. Связь происходящих процессов с типом сезонного протаивания и промерзания пород, мощностью слоев, характером увлажнения и обводнения.

Строительство и эксплуатация всех гидротехнических сооружений, аккумулирующих или пропускающих большое количество воды с положительной температурой, вызывают изменения в теплообороте и влагообмене толщи мерзлых пород. Эти изменения сильно сказываются на физико-механических свойствах и водопроницаемости пород, а также приводят к развитию таких физико-геологических явлений, как термокарст, пучение, солифлюкция, наледи и пр. Поэтому основной задачей инженерно-геологических мерзлотных исследований является составление прогноза изменения термического режима массива горных пород и физико-механических свойств грунтов в периоды строительства и эксплуатации гидроузла.

Имеются два основных направления использования мерзлых пород в качестве оснований и среды для возведения гидротехнических сооружений:

1) грунты основания в период эксплуатации сооружения остаются в мерзлом состоянии;

2) грунты основания используются в оттаивающем и оттаявшем состоянии.

В зависимости от выбора одного из этих направлений может изменяться состав и направление детальных инженерно-геологических исследований, выполняемых в период строительства сооружения.

в) Изучение многолетней мерзлоты

При исследованиях многолетнемерзлых пород применяются геологосъемочные, разведочные и геофизические работы, режимные и стационарные наблюдения, лабораторные и полевые опытные работы, а также изучение опыта строительства и эксплуатации аналогичных сооружений в сходных условиях. На территории нашей стра-

ны развернута широкая сеть мерзлотных станций, которые привлекаются к решению поставленных задач.

Мерзлотная инженерно-геологическая съемка выполняется для определения главных закономерностей формирования, развития, распространения и строения толщ многолетнемерзлых пород и исследования мерзлотных процессов и образований. При съемочных работах проводятся геоморфологические исследования, применяются дешифрование аэрофотоснимков и наблюдения с воздуха, а также используются данные многолетних метеорологических наблюдений по данному району.

Сущность мерзлотной съемки заключается в установлении основных проявлений многолетней мерзлоты и выявлении их зависимости от геологических, гидрогеологических, метеорологических, почвенно-ботанических и геоморфологических условий, от рельефа местности и микроклиматических особенностей. Мерзлотная съемка всех масштабов должна выполняться на основе геологической и гидрогеологической съемок тех же масштабов. Результатом работ является мерзлотное микрорайонирование, по данным которого устанавливается приуроченность мерзлых и талых пород к определенным элементам рельефа, растительным ассоциациям, литологогенетическим типам пород и пр. Внешними проявлениями распространения многолетнемерзлых пород служит развитие криогенных физико-геологических процессов. В области развития многолетней мерзлоты растительность угнетена, отсутствуют лиственные растения, встречается «пьяный лес». Достоверным признаком существования таликов являются источники и наледи в руслах водотоков и на склонах долин.

Границы распространения многолетнемерзлых толщ по площади и по глубине наиболее точно оконтуриваются с помощью разведочных выработок, которые дают возможность описать особенности включений льда (криогенную структуру) и отобрать образцы пород с непарушенной структурой. После выстойки выработок в них могут образовываться ледяные пробки, свидетельствующие о мерзлом состоянии грунтов. Сведения о границах мерзлой толщи и особенностях ее структуры могут быть получены и с помощью геофизических методов разведки.

Наибольшие сложности возникают при изучении районов островного распространения мерзлоты, где, во-первых, необходимо проводить сравнительно большой объем работ для оконтуривания участков мерзлых пород и, во-вторых, приходится фиксировать мерзлое состояние при температурах, близких к нулю (так называемая «вялая» мерзлота).

Масштабы мерзлотных съемок зависят от стадии проектирования, изученности района и сложности мерзлотных условий. Например, в районах сплошного распространения мерзлоты для выбора створа гидроузла выполняется мерзлотная съемка в масштабе 1 : 10 000, а в условиях островного распространения мерзлоты 1 : 5000. На выбранном створе масштабы съемок соответственно применяются 1 : 5000 и 1 : 2000. На стадии рабочих чертежей и в период строительства мерзлотные съемки обычно не выполняются, но производится уточнение ранее составленных карт по данным наблюдений, разведочных и опытных работ. В случае необходимости эти карты пересоставляются в более крупном масштабе. В связи с необходимостью фиксирования мерзлотных явлений количество точек наблюдений для мерзлотных съемок больше, чем для инженерно-геологической съемки того же масштаба. В области распространения многолетней мерзлоты съемочные работы, как правило, выполняются в теплый период, т. е. в течение 2—3 мес.

Горно-буровые разведочные работы выполняются для следующих целей:

1. Изучение мерзлотно-гидрогеологического разреза, получение характеристик мерзлых толщ и водоносных горизонтов, выявление особенностей мерзлотных образований.

2. Исследование физико-механических свойств пород и их водопроницаемости с помощью полевых опытов, лабораторных определений и режимных наблюдений.

3. Проходка выработок для создания сети точек режимных наблюдений за гидрогеологическими и мерзлотными условиями.

Неглубокие выработки используются для изучения состава и льдистости верхней части мерзлой толщи, установления глубин сезонного промерзания и протаивания пород, температурного режима в слое годовых колебаний, выявления глубины и границ таликов. Более глубокие скважины предназначаются для определения

состава, мощности и температурного режима многолетнемерзлой толщи. Глубина скважин определяется мощностью зоны предполагаемого термического воздействия проектируемого сооружения.

Поскольку буровые скважины в ряде случаев не дают возможности в полном объеме представить особенности структуры и текстуры мерзлых пород и из них затруднителен отбор монолитов большого объема, часть разведочных выработок должны составлять шурфы. Сечение шурфов принимают 1×1,5 или 1,5×2 м. В мерзлых породах предпочтительной является проходка шурфов в зимнее время, когда легче сохранить отбираемые образцы и монолиты от протаивания. При проходке в летнее время устье шурфа должно быть окружено канавкой от притока поверхностных вод, а над шурфом возведено перекрытие, защищающее от притока теплого воздуха и дождя. В этом случае проходка должна вестись быстрыми темпами — в три смены, и устье шурфа в пределах зоны протаивания следует закреплять. Применение пожогов для ускорения проходки категорически запрещается, но применение взрывных работ вполне допустимо.

При отборе монолитов в летнее время описание особенностей криогенной текстуры пород производится в самом шурфе, непосредственно вслед за отбором монолитов. Отправляемые в лабораторию монолиты заключаются в термосы или надежно теплоизолируются мхом, соломой или другими материалами. В процессе проходки шурфов ведутся регулярные замеры температуры пород в забое. Пробы грунта для определения влажности отбираются в обычные бюксы, следует лишь следить за тем, чтобы при протаивании проб вода из бюксов не вытекала. Масса монолитов около 6—8 кг. Образцы для определения влажности отбираются через 0,5 м. После выполнения документации и отбора проб и монолитов шурфы обязательно должны засыпаться во избежание несчастных случаев и развития неблагоприятных мерзлотных явлений.

Проходка разведочных скважин должна производиться таким образом, чтобы получить нерастепленный керн и не изменить термический режим в массиве пород, окружающем скважину. Для этого применяется продувка скважин воздухом (вместо промывки), малое число оборотов бурового снаряда, а также буровые снаряды большого диаметра. Воздух для продувки забоя предвари-

тельно охлаждается или подогревается до температуры, характерной для массива изучаемых пород. Устья пройденных скважин закрывают термоизолирующими заглушками. Следует иметь в виду, что применение обычного многооборотного бурения с промывкой водой нарушает термический режим в такой степени, что он восстанавливается до естественного состояния только через несколько месяцев. Наиболее подходящими для бурения мерзлых толщ являются малооборотные колонковые станки МРБ-30.

Таблица 3-5

Ориентировочное время „выстойки" скважин

Льдистость пород	Метод бурения	Время выстойки скважин после бурения (в долях от продолжительности бурения)
Температура пород до бурения ниже —4°		
Сильнольдистая толща	Ударно-канатное и колонковое бурение с продувкой	0,5—1,0[1]
	Колонковое бурение с промывкой	1,0—2,0
Сильнольдистая толща или скальные породы	Ударно-канатное и колонковое бурение с продувкой	1,0—2,0
	Колонковое бурение с промывкой	2,0—4,0
Температура пород до бурения от 0 до —4°		
Сильнольдистая толща	Ударно-канатное и колонковое бурение с продувкой	1,0—1,5
	Колонковое бурение с промывкой	2,0—3,5
Слабольдистая толща или скальные породы	Ударно-канатное и колонковое бурение с продувкой	1,0—2,5
	Колонковое бурение с промывкой	3,0—6,0

[1] Первая цифра дается для интервала температур воздуха от +5 до — 5°; вторая — для интервалов от +10 до +25 и от —10 до —25°.

При бурении скважин в зависимости от методов и продолжительности бурения, теплофизических свойств пород, температуры пород до бурения и температуры воздуха в момент бурения, а следовательно, и температуры промывочной жидкости, поступающей в скважину,

или воздуха (при бурении с продувкой) нарушается температурный режим массива пород. Поэтому для получения достаточно надежных данных о распределении температур по глубине необходимо определенное время «выстойки» скважины, в течение которого в ней устанавливается температура, близкая к температуре пород до бурения. Ориентировочное время выстойки скважин для обеспечения точности температур $\pm 0{,}1^\circ$ приводится в табл. 3-5. При применении ручного бурения время выстойки скважин в 2—3 раза больше продолжительности бурения.

В мерзлых породах проходка шурфов и канав возможна только с применением взрывных работ и преимущественно в зимнее время. Летом проходка горных выработок практически невозможна, поскольку надмерзлотные воды заливают выемки, образуя наледи на стенках.

В комплексе геологоразведочных работ все более успешное применение находят геофизические методы исследований. Основой для их применения служат резкие различия физических свойств мерзлых и талых горных пород, которые зависят от состояния воды в трещинах и порах. Электрическое сопротивление и скорости распространения упругих волн в мерзлых породах повышаются с возрастанием льдистости. Для скальных пород, в которых скорости движения упругих волн достаточно велики, наблюдаются более сложные зависимости, а именно: при льдистости до 5% скорость упругих волн возрастает, а при дальнейшем повышении льдистости скорость падает. Полевые геофизические методы исследований мерзлых пород могут применяться для решения следующих задач:

1. Оконтуривание зоны сезонного оттаивания и промерзания с помощью вертикального электрозондирования и микросейсморазведки. Эти же методы применимы и при стационарных наблюдениях за динамикой протаивания пород в различных условиях.

2. Выявление таликов и участков с наибольшей льдистостью или с развитием вялой мерзлоты, а также определение границ островов мерзлых пород. Эти задачи решаются с помощью электроразведочных методов и с применением сейсморазведки, электро- и ультразвукового каротажа.

При мерзлотных исследованиях выполняются замеры температур в течение длительного времени. Эти измере-

ний дают возможность установить в годовом цикле глубину сезонного протаивания и промерзания пород, изменения температуры в слое годовых колебаний, распределение температур ниже подошвы этого слоя. Основными характеристиками температурного режима являются среднегодовая температура на подошве слоя сезонного промерзания и протаивания отложений, среднегодовая температура у подошвы слоя ее годовых колебаний, распределение температуры в мерзлой толще ниже слоя ее годовых колебаний. Продолжительность наблюдений не менее 1 года. В процессе наблюдений фиксируются изменения температуры, глубина сезонного промерзания и протаивания, колебания подошвы слоев годовых колебаний температуры и толщи многолетнемерзлых пород и пр. При замерах температуры горных пород применяются ртутные инерционные («ленивые») термометры, термометры сопротивления и термистеры.

Инерционность термометра — это время, в течение которого его показания практически остаются неизменными. Термометры, обладающие инерцией в 45—60 с, принимаются для измерения температур в скважинах глубиной до 100—150 м. Время выдержки термометра в сухой скважине составляет 3,5—4 ч, в скважине с водой — 2 — 2,5 ч. Для удобства измерений в скважины можно опускать связки по несколько термометров, расположенных на разных расстояниях от устья, но не более пяти в связке. Рекомендуемые интервалы измерения температур в скважинах, вскрывших однородную или монотонно переслаивающуюся толщу пород, приводятся в табл. 3-6. В случае неоднородного литологического состава или различия в мерзлотной текстуре по разрезу интервалы измерения температур могут быть изменены.

Термометры обычно связывают по нескольку штук и опускают в скважины на тросе, веревке или тонкой жер-

Таблица 3-6

Рекомендуемые интервалы при измерении температур в скважинах

Интервалы глубины от устья скважин, м	Интервалы между точками измерения температур, м	Интервалы глубины от устья скважин, м	Интервалы между точками измерения температур, м
0—5	0,5	25—50	5,0
5—10	1,0	50—100	10,0
10—25	2,5	Глубже 100	20,0

ди. Во избежание примерзания термометров к стенкам скважины следует следить за тем, чтобы термометры и трос были сухими и охлажденными, металлические части следует смазывать солидолом. В процессе спуска связки термометров в скважину ее необходимо несколько раз приподнимать и опускать на 0,5 м в течение примерно 20 мин, чтобы избежать примерзания. При извлечении термометров из скважины отсчеты температур производятся немедленно после появления очередного термометра над устьем скважины. Только после снятия отсчета можно продолжать подъем связки до следующего термометра. При односменной работе буровой бригады спуск термометров в скважину лучше всего производить с вечера, после соблюдения сроков «выстойки» скважин, а подъем производить перед началом бурения.

Для дистанционного измерения температур при стационарных температурных наблюдениях применяются термистеры (полупроводниковые термометры сопротивления) или платиновые термометры сопротивления. Эти типы термометров обладают тем преимуществом, что в меньшей степени нарушают температурное поле в скважинах и поэтому их помещают в скважины на длительное время («вмораживают» в скважины). При этом, однако, следует учитывать, что со временем их температурный коэффициент меняется, вследствие чего срок оставления их в выработке не должен превышать 6—8 мес. Затем их надо извлекать и снова тарировать.

Глубина сезонного промерзания и протаивания определяется с помощью мерзлотомеров конструкции Данилина или Ратомского, а также электромерзлотомеров.

В случае необходимости выполняются наблюдения за интенсивностью развития солифлюкции, ростом наледей и другими мерзлотными явлениями. В комплексе мерзлотных исследований важное место занимают полевые исследования просадки мерзлых пород при протаивании, водопроницаемости пород в мерзлом состоянии и после протаивания.

По материалам инженерно-геологических исследований в области распространения многолетнемерзлых пород составляются дополнительные материалы, характеризующие мерзлотную и инженерно-геологическую оценку условий строительства гидротехнических сооружений.

Главным документом служит мерзлотно-инженерно-геологическая карта районирования территории участка расположения основных и подсобных сооружений, жилых массивов. Карта сопровождается таблицей, содержащей подробную характеристику геологических и мерзлотных условий выделенных районов и их инженерно-геологическую оценку с точки зрения условий возведения и эксплуатации всех видов сооружений. К карте прикладывается также необходимое количество мерзлотно-инженерно-геологических разрезов, характеризующих весь район в целом и участки и трассы отдельных сооружений.

В случае необходимости к карте мерзлотно-инженерно-геологического районирования прилагаются дополнительные специальные карты, например карта распространения многолетнемерзлых пород с показанием мерзлотных образований, карта типов сезонного промерзания и протаивания пород, мерзлотно-гидрогеологическая карта, карта мерзлотных физико-геологических явлений, карта подошвы слоя годовых колебаний температуры и пр.

В пояснительном тексте помимо общей мерзлотно-инженерно-геологической оценки существующих условий строительства проектируемых сооружений обязательно дается прогноз изменения этих условий в процессе строительства и эксплуатации.

3-4. ПРОСАДКИ

а) Инженерно-геологическое значение просадок

Просадки представляют собой быстро и крайне неравномерно протекающее самоуплотнение пород при насыщении их водой. Такие деформации происходят только в лессах и лессовидных породах, обладающих малой естественной влажностью, после увлажнения этих пород или при строительстве на них сооружений. Просадки могут возникнуть и в естественных условиях без приложения каких-либо нагрузок с образованием на поверхности понижений, называемых просадочными западинами и блюдцами.

Лессом называются породы палево-желтого и буровато-желтого цвета, состоящие более чем на 50% из пылеватых частиц. Породы эти высокопористые и макропористые (общая пористость более 42%), неслоистые, с преобладающей зернистой структурой. Лессы мощным плащом

покрывают различные элементы рельефа и характеризуются связностью в сухом состоянии. В обнажениях для них характерна столбчатая отдельность и вертикальные обрывы (рис. 3-14). Они легко размываются и размокают, а при замачивании дают просадки.

Для лесса и лессовидных суглинков характерно наличие крупных, хорошо различимых невооруженным глазом пор, так называемых макропор, обычно представляющих собой цилиндрические трубочки диаметром до 2—5 мм



Рис. 3-14. Овраг в лессовых отложениях.

Породы лессового облика, которые не обладают всеми характерными для лессов признаками, относятся к лессовидным.

Плащеобразно залегающие лессовые породы большой мощности распространены главным образом в степях и полупустынях и частично в полосе распространения лесостепей и широколиственных лесов в условиях теплого и недостаточно влажного и сухого климата. Они занимают около 13% территории СССР, а на Украине, в Молдавии, в Средней Азии и на Кавказе — более 60%.

Исследования показали, что изменения лессов и лессовых суглинков при просадках сводятся к уплотнению этих пород с уменьшением пористости с 48—52% до 38—40%. В тех случаях, когда просадки обнаруживают-

ся при насыщении водой лессовых пород в основании построенных сооружений, иногда говорят о дополнительных осадках, а не о просадках.

Такие породы называются просадочными породами II типа. Осадки в них происходят также очень неравно-

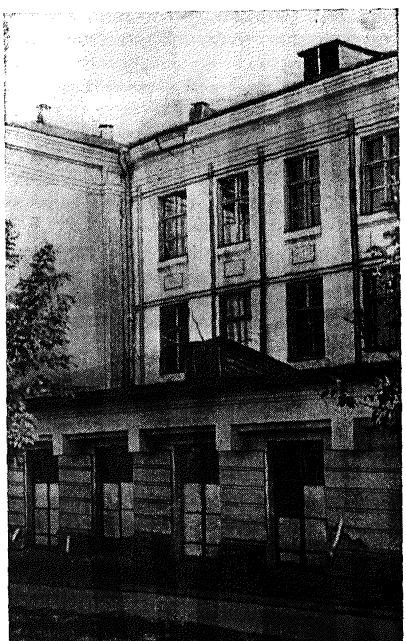


Рис. 3-15. Деформация здания, построенного на просадочных грунтах.

мерно. В период поступления воды в лессовые породы, служащие основанием сооружений, просадки (дополнительные осадки) развиваются быстро, а при сохранении в течение некоторого времени неизменной влажности — затухают. В связи с неравномерностью осадок в зданиях и сооружениях возникают трещины, а иногда и происхо-

дит полное разрушение их. Размеры осадок в ряде случаев достигали 1,5—2 м. Характер деформаций зданий показан на рис. 3-15.

б) Изучение просадочности пород

Для получения данных о площади распространения, мощности, условиях залегания лессовидных пород, их свойствах и просадочности необходимо выполнить:

а) инженерно-геологическую съемку, сопровождаемую разведочным бурением и проходкой шурфов;

б) изучение физико-механических свойств пород лабораторными методами с обязательным определением степени их просадочности;

в) изучение режима подземных вод (если глубина их залегания находится в пределах воздействия нагрузок от сооружения), которое должно продолжаться и в период строительства;

г) полевые опыты со штампами для проверки лабораторных данных о степени просадочности породы;

д) наблюдения за поведением пород после их замачивания водой в опытном котловане (для крупных сооружений по специально разработанной программе);

е) описание просадочных явлений в процессе строительства каналов, водопроводов, при возведении зданий, орошении и описание деформаций существующих сооружений.

При изучении геологического строения необходимо прежде всего выявить мощность пород и возможность расчленения внешне однородных толщ на отдельные горизонты, отличающиеся по степени просадочности. Надежным маркирующим горизонтом для такого расчленения часто служат горизонты погребенных почв. Большое значение для расчленения толщ лессовых пород имеют заключенные в них остатки пыльцы растений, раковин и пр.

При изучении толщ лессовидных пород большое значение придается отбору монолитов для выполнения специальных лабораторных исследований. Поэтому в общем объеме разведочных работ сравнительно большой удельный вес должны составлять шурфы или скважины таких диаметров и способов проходки, которые позволяют получить достаточно большие образцы ненарушенной структуры и естественной влажности. При проведении

исследований для обоснования ответственных сооружений лабораторные работы должны быть организованы на месте, так как только в этом случае можно с достаточной точностью определить величины естественной влажности и плотности, изучить уплотняемость пород и пр.

Методы оценки просадочности подразделяются на косвенные и прямые. Косвенные методы дают ориентировочные указания на возможность просадочных явлений и основаны на учете физико-геологических признаков, характеристик состава и состояния пород, специальных

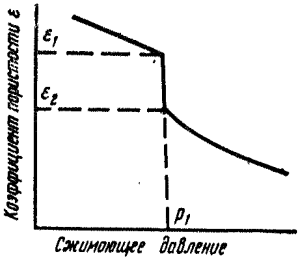


Рис. 3-16. Оценка просадочности лессовой породы по методу одной кривой.

ε_1, ε_2 — коэффициенты пористости породы до и после замачивания.

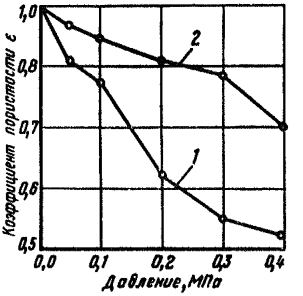


Рис. 3-17. Оценка просадочности лессовой породы по методу двух кривых.

1 — кривая уплотнения породы при естественной влажности; *2* — кривая уплотнения замоченной лессовой породы.

показателей, выражающих какую-либо особенность, характерную для просадочных пород. Косвенные методы применяются для предварительной классификации пород на ранних стадиях изысканий, и выделения участков, где возможны просадочные деформации.

Внешними признаками просадочности пород являются их свойства, перечисленные в начале настоящего параграфа, а также наличие в изучаемом районе просадочных блюдец, подов, западин, лессового карста. Обычно лессовые породы, залегающие на водоразделе и на пологих склонах, характеризуются большей просадочностью, чем породы, лежащие в долинах рек на низких террасах, в оврагах, а также в других понижениях. Малой просадочностью характеризуются и породы на орошаемых территориях. Возможность просадок в породах лессового состава следует предполагать только при залегании грунтовых вод глубже 5 м от поверхности.

Прямые методы оценки просадочности дают возможность получить количественную характеристику величины ожидаемой просадочной деформации. Они основаны на определении коэффициента относительной просадочности пород при лабораторных исследованиях, испытаниях пород статической нагрузкой с замачиванием и на опытном замачивании грунтов в котловане. Прямые методы исследований чаще применяются при последующих этапах изысканий, после того как выбрана площадка для строительства сооружений или территории для орошения.

Лабораторные исследования просадочности выполняются на компрессионных приборах, в которых как бы моделируются просадочные явления в натуре. Определение просадочных свойств пород в компрессионных приборах производится двумя методами: «одной кривой» и «двух кривых» (рис. 3-16 и 3-17).

В первом случае испытания проводятся на одном образце при заданной нагрузке сначала без замачивания, а затем с замачиванием при той же нагрузке. Величина относительной просадочности определяется по разности относительных величин деформации образца до и после замачивания, отнесенной к высоте при природном давлении.

Во втором случае испытания проводятся на двух образцах из одного монолита. Один образец в состоянии природной влажности обжимают вертикальной нагрузкой, возрастающей отдельными ступенями, а другой образец подвергают тем же испытаниям при полном водонасыщении. Замачивание второго образца в приборе производится после стабилизации осадки под нагрузкой, равной природной. Принимается, что разность показаний двух опытов отвечает деформации при замачивании при любом давлении P. Это позволяет вычислить величину относительной просадочности для любого давления в испытанном диапазоне. Непременным условием при определении просадочности методом «двух кривых» должно являться сопоставление плотности скелета грунта в первом и втором кольцах. При разности 0,02 г/см^3 и более опыт по двум кольцам не может считаться правильным. Поскольку такие расхождения для макропористых грунтов весьма часты, методом «двух кривых» рекомендуется пользоваться на предварительных этапах изысканий.

Коэффициент относительной просадочности $\sigma_{пр}$ вычисляется по формуле

$$\sigma_{пр} = \frac{h - h'}{h_0},$$

где h — высота образца грунта природной влажности, обжатая давлением, равным давлению от веса сооружения и от веса вышележащего грунта; h' — высота того же образца грунта после пропускания через него воды при сохранении давления; h_0—высота того же образца грунта природной влажности, обжатого давлением, равным природному.

При оценке просадочности различают:

а) просадочность лессовых пород, которая характеризуется коэффициентом просадочности $\sigma_{пр}$. Согласно СНиП II-Б. 2-62 к непросадочным породам относятся породы со значениями $\sigma_{пр} \leqslant 0{,}01$ (1%), к просадочным породам — породы со значениями $\sigma_{пр} \leqslant 0{,}01$;

б) просадку толщ лессовых пород, которая определяется суммарной величиной просадки толщи $s_{пр}$ или $\Delta_{пр}$.

Основные способы борьбы с просадочными явлениями разделяются на три группы:

а) мероприятия, направленные к устранению замачивания пород основания;

б) механические способы уплотнения пород основания;

в) упрочнение пород основания физико-химическими способами.

3-5. ВЫВЕТРИВАНИЕ

а) Общие закономерности выветривания и его инженерно-геологическое значение

Под выветриванием понимается разрушение горных пород под воздействием агентов выветривания: воды, кислорода, колебаний температуры, животных организмов и пр. Выветривание обычно происходит под одновременным воздействием нескольких агентов, интенсивность влияния которых меняется в зависимости от геологического строения, рельефа и климата. В зависимости от преобладания агентов выветривания, вызывающих физические или химические процессы, различают физическое и химическое выветривание.

Физическое выветривание преобладает в районах с сухим и жарким континентальным климатом или в арктических и субарктических районах с сухим холодным климатом, где происходит преимущественно механическое разрушение горных пород. Нагревание солнечными лучами горных пород, залегающих с поверхности, сопровождается изменением их объема. Поскольку изменение объема при нагревании неодинаково у разных минералов, поэтому в горных породах, состоящих из многих минералов, температурное воздействие приводит к более интенсивному их разрушению. При замерзании вода расширяется на 9%, создавая очень большое давление в трещинах и порах, чем способствует разрушению структуры породы, уменьшению ее прочности и увеличению водопроницаемости. При высушивании связных горных пород происходит растрескивание вследствие усадки, т. е. уменьшения объема породы.

Такие прочные массивные породы, как кварциты, базальты, диабазы и др., в зоне выветривания первоначально образуют причудливые скалы, а затем распадаются на обломки неправильной формы, которая определяется трещиноватостью пород (рис. 3-18). При дальнейшем разрушении скальные породы превращаются в дресву и песок. Глинистые породы и мергели образуют неправильные обломки, затем мелкую щебенку часто скорлуповатой формы и, наконец, распадаются на пылеватые частицы. Тонкослоистые породы, например сланцы, расслаиваются на тонкие пластинки и листочки.

Химическое выветривание преобладает в областях с жарким и влажным климатом. Главным фактором химического выветривания является вода. При испарении влаги в засушливых бессточных районах происходит образование солончаков, заполнение пор солями. В сухих и жарких областях накапливается значительное количество простых солей, а также свободная кремнекислота, часто образующие корочки и налеты на поверхности. Сложный процесс взаимодействия между горными породами, поверхностными и подземными водами и газами приводит к образованию вторичных минералов или минералов выветривания.

Растительные и животные организмы оказывают как химическое, так и механическое воздействие на горные породы. Давно известно расклинивающее воздействие корневой системы, проникающей на значительную глуби-

ну. Выделяющиеся в процессе жизнедеятельности органические вещества либо разлагают горные породы, либо образуют скопления органических остатков, служащих питательной средой для микроорганизмов. Последние в очень сильной степени видоизменяют горные породы.

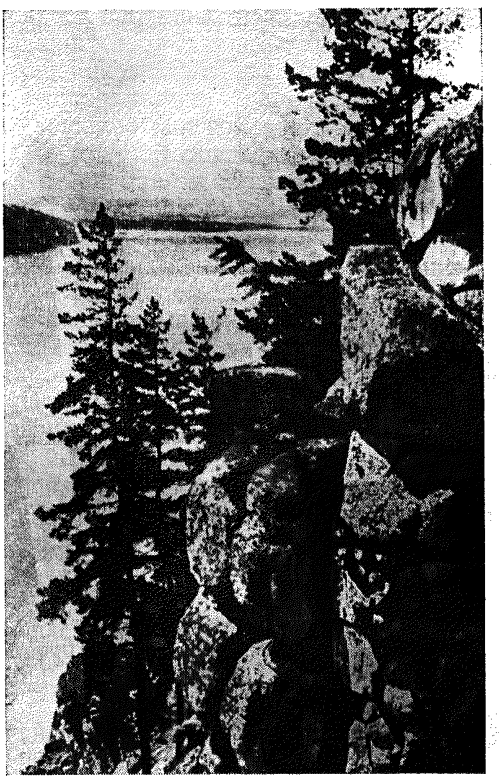


Рис. 3-18. Диабазы в зоне выветривания. Район Усть-Илимской ГЭС на р. Ангаре.

В результате воздействия всех агентов выветривания на горные породы образуются продукты выветривания, обладающие своеобразными физико-механическими свойствами, которые необходимо учитывать при инженерно-геологических исследованиях. Выветрелые породы

обладают следующими инженерно-геологическими особенностями.

Рыхлые скопления обломочного материала продуктов выветривания образуют каменные осыпи и россыпи, достигающие иногда большой мощности. Скопления таких продуктов выветривания часто являются источниками возникновения грязекаменных потоков — селей. Осыпи, образованные продуктами выветривания горных пород при ливнях, снеготаянии и землетрясениях, быстро сползают по склонам, в результате чего могут быть разрушены сооружения.

Глинистые продукты, возникающие преимущественно при химическом выветривании пород, обладают повышенной по сравнению с материнской породой пористостью, размягчаемостью, пониженным сопротивлением сжимающим и сдвигающим усилиям, набуханием, усадкой и пластичностью. Для них характерна повышенная кислотность, что неблагоприятно воздействует на металлические и бетонные части сооружений. В глинистых продуктах выветривания часто скапливаются растворимые соли (в частности, гипс), вымывание которых при воздействии гидротехнических сооружений создает угрозу их устойчивости.

В пределах выветрелой толщи создаются сложные гидрогеологические условия, так как разные продукты выветривания обладают различной водопроницаемостью, в силу чего возникают водонасыщенные зоны, образующие местные водоносные горизонты. Некоторые разности горных пород — морские глины, глинистые сланцы, мергели, опоки — выветриваются очень быстро, что осложняет строительство и эксплуатацию сооружений.

Все эти особенности свойств и состояния пород в зоне выветривания заставляют в процессе инженерно-геологических исследований для любых объектов и на всех стадиях проектирования большое внимание уделять изучению закономерностей процесса выветривания в конкретных геологических условиях.

Инженерно-геологическое изучение выветривания пород выполняется для решения следующих практических задач:

1. Выбор участков размещения сооружений с наименьшей мощностью выветрелых пород.

2. Выделение на этих участках мощности выветрелых пород, подлежащих съему или укреплению.

3. Установление категорий пород по степени разрабатываемости, выбор способов производства работ при строительстве с учетом мощности выветрелых пород и скорости процесса выветривания.

4. Обоснование профилактических мероприятий и мер борьбы с выветриванием горных пород на участках проектируемых сооружений и в частности:

а) установление безопасного срока оставления котлованов и строительных выемок открытыми;

б) определение мощности защитного слоя, оставляемого для защиты дна и откосов выемок от выветривания в период строительства;

в) выбор материала для искусственной защиты пород от выветривания;

г) определение условий устойчивости естественных склонов и откосов строительных выемок в связи с выветриванием.

Для решения перечисленных задач в процессе инженерно-геологических изысканий выполняются:

а) изучение геологического строения и гидрогеологических условий участка строительства;

б) описание признаков выветривания и выделение характерных зон выветривания для каждого комплекса пород;

в) полевые и лабораторные опыты по определению физико-механических свойств пород, которые необходимы для расчета устойчивости сооружений;

г) полевые наблюдения и лабораторные исследования для определения глубины съема или искусственного укрепления выветрелых пород;

д) наблюдения за скоростью выветривания;

е) опыты и наблюдения для выбора мощности защитного слоя.

Исследования, указанные в пп. «д» и «е», производятся преимущественно для крупных строительных выемок, закладываемых в легко выветривающихся глинистых и полускальных породах.

Предотвращение выветривания пород в процессе строительства и эксплуатации сооружений можно вести несколькими способами, среди которых основными являются следующие:

а) покрытие пород непроницаемыми для агентов выветривания материалами;

б) упрочнение пород путем пропитывания их различными веществами;

в) искусственная нейтрализация агентов выветривания;

г) планировка территории и отвод поверхностных вод.

б) Изучение зоны выветривания

Выветривание приводит к существенным изменениям внешнего облика горных пород. К наиболее важным видимым признакам выветривания горных пород относятся: цвет породы; степень и характер ее раздробленности; минералогический состав и механическая прочность.

Выветривание пород сопровождается изменением состава горных пород и появлением новых минералов, что, в свою очередь, проявляется в окраске, появлении не свойственных сохранной породе цветов и оттенков. В большинстве случаев изменение минералогического состава скальных пород выражается в изменении состава алюмосиликатной части породы с переходом полевых шпатов, авгитов, роговых обманок и других первичных минералов в монтмориллонит, каолинит, иллит, гидрослюды и пр., которые образуются в тонкодисперсном виде и придают выветрелой породе характерный глинистый облик. Кроме того в процессе выветривания при соответствующих условиях образуются гипс, карбонаты железа и магния и водные окислы железа. Последние окрашивают породу в желтые и бурые тона.

При описании пород в пределах зоны выветривания в первую очередь отмечается ее общая окраска в сухом и влажном состоянии, описывается изменение цвета и оттенка с глубиной. Следует обращать внимание на различия в окраске поверхности обнажений и породы в массиве. При описании следует отмечать наличие включений, заполнителя трещин, ослабленных прослоев и пр. Описание цвета производится по нескольким пробам и обнажениям, что позволит избежать случайных результатов.

В процессе выветривания происходит нарушение монолитности породы. Порода разделяется сетью трещин на блоки, глыбы, обломки и куски различной формы и размера. Крупнозернистые породы распадаются на отдельные минеральные зерна, образуя дресву и песок. Степень раздробленности пород, вызванная выветрива-

нием, с удалением от дневной поверхности уменьшается. Это позволяет выделить в зоне выветривания несколько подзон по степени дробления породы. Основными признаками для выделения подзон являются размер и форма блоков и обломков, частота, раскрытие и протяжение разделяющих их трещин, а также состояние пород.

При описании блоков, обломков и кусков следует отмечать их состав, форму и размеры, взаимное расположение. При изучении трещиноватости в зоне выветривания необходимо начинать с выяснения закономерностей трещиноватости в массиве, не затронутом выветриванием, так как в верхних частях эта система трещиноватости осложняется появлением новых трещин выветривания. Описание трещин выветривания заключается в фиксировании их пространственного положения, ширины раскрытия, протяженности, извилистости, степени заполнения рыхлым материалом, состава и свойств его.

В результате выветривания, как правило, механическая прочность породы снижается. Поэтому при изучении и описании признаков выветривания следует отмечать прочность породы, используя для этого следующие категории: 1) порода с трудом раскалывается молотком; 2) разламывается руками по скрытым трещинам; 3) разламывается пальцами; 4) рассыпается при прикосновении. При этом следует отмечать форму и размеры частей, на которые распадается порода, характер поверхности обломков, их цвет и пр.

При расчленении в инженерно-геологических целях толщи выветрелых пород (зоны выветривания) Н. В. Коломенский (1969 г.) предложил выделять в разрезе следующие подзоны (рис. 3-19):

1. Монолитная подзона, которая отвечает такому состоянию материнских пород, когда в них нет еще видимых глазу признаков раздробленности, но уже произошло ослабление связей между частицами в результате воздействия агентов выветривания. Породы в этой зоне по внешнему виду не отличаются от незатронутых выветриванием коренных пород, но легко раскалываются по невидимым плоскостям. Физико-механические свойства этой подзоны почти не отличаются от свойств не измененных выветриванием пород, за исключением пониженного сопротивления сдвигу и сжатию.

2. Глыбовая подзона. Для этой подзоны характерно возникновение трещин выветривания, разбивающих

породу на отдельные глыбы, или расширение тектонических трещин. Химико-минералогический состав породы в основном отвечает составу материнских пород, минералы выветривания отсутствуют или их очень мало, и они располагаются по поверхности трещин. Физико-механические свойства породы сильно отличаются от свойств породы в монолитной подзоне: сопротивление сдвигу и сжатию значительно меньше и резко возрастает водопроницаемость.

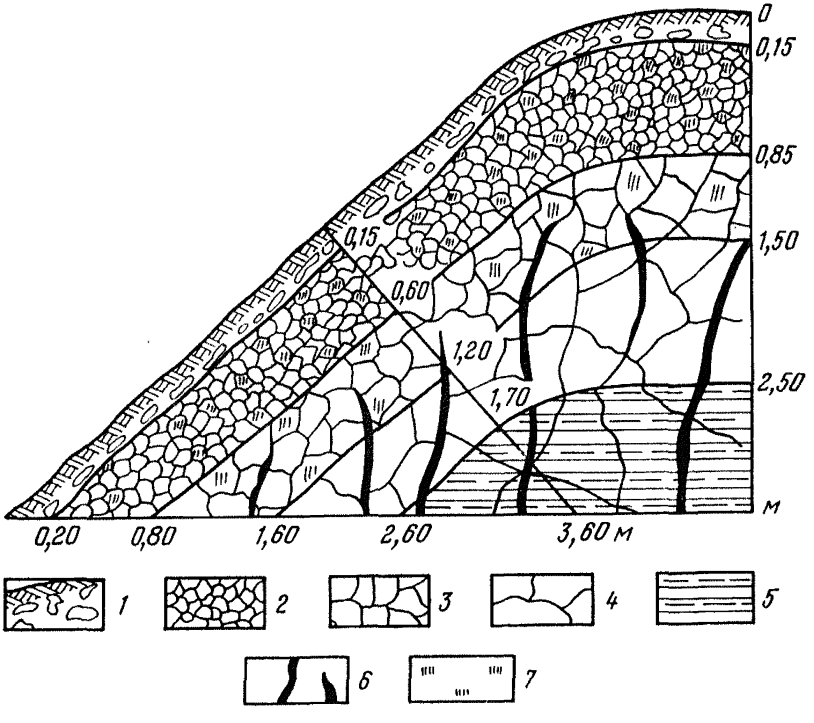


Рис. 3-19. Схематическая зарисовка расчистки в зоне выветривания.
1 — делювий щебенисто-глинистый; *2* — подзона тонкого дробления (мелкая щебенка в глинистой массе); *3* — подзона мелкообломочная (щебенка и глина); *4* — глыбовая подзона (глыбы и обломки, разделенные трещинами с глинистым заполнителем); *5* — монолитная подзона; *6* — крупные трещины; *7* — ожелезнение.

3. Мелкообломочная или зернистая подзона. Внешний облик породы уже не имеет ничего общего с сохранной породой. Вся порода состоит из мелких кусков или даже отдельных зерен. Куски материнской породы, часто рассыпающиеся при прикосновении, состоят в основном из минералов материнской породы, но с боль-

шим содержанием минералов выветривания. Иногда, например при выветривании песчаников, вторичные водорастворимые соли, являющиеся цементирующим веществом, выносятся и образуется песок. Водопроницаемость пород в пределах этой подзоны по сравнению с глыбовой существенно меньше, а также снижается сопротивление сдвигу и сжатию.

4. Подзона тонкого дробления. Порода в основном состоит из минералов выветривания, а первичные минералы тонко раздроблены и являются примесью к минералам выветривания. Порода практически водоупорна, сжимаемость велика, сопротивление сдвигу резко падает, особенно при насыщении водой. Порода приобретает новые свойства: пластичность, сцепление, способность набухать и пр.

Таким образом, породы каждой из описанных подзон зоны выветривания обладают особыми свойствами, что предопределяет характер и тип инженерных мероприятий при возведении сооружений на участках развития зоны выветривания. В пределах одного разреза или участка не обязательно должны быть развиты все перечисленные подзоны выветривания. Например, при выщелачивании цементирующего вещества из песчаника может образоваться песчаная масса, характерная для зернистой зоны, минуя монолитную и глыбовую. Кроме того, часть пород разреза может быть сдута ветром, унесена водой, осыпаться под влиянием силы тяжести, а поэтому разрез начнется с пород, характерных для нижележащих подзон.

в) Изучение скорости выветривания пород

Необходимость в определении скорости выветривания возникает в тех случаях, когда легко выветривающаяся порода обнажается в процессе строительства и находится в таком положении длительный отрезок времени (например, в дне и бортах больших котлованов и карьеров, в откосах каналов и дорожных выемок и т. п.). Имеются два направления исследований скорости выветривания:

а) изучение существующих искусственных обнажений пород, дата вскрытия которых известна;

б) организация специальных наблюдений в условиях, приближенных к тем, в которых будет осуществляться строительство и эксплуатация сооружений.

Определение скорости выветривания по существующим искусственным выемкам проводится следующим образом.

1. Осматриваются все обнажения изучаемых пород в районе строительства. Обнажения нумеруются и наносятся на карту. В описании указывается, к какому элементу рельефа приурочено обнажение, какова его ориентировка по странам света, наличие растительности, крутизна склона и пр.

2. Устанавливаются даты вскрытия обнажений, причем необходимо выбрать для получения данных о скорости выветривания обнажения, отличающиеся сроками вскрытия. Желательно, чтобы даты вскрытия разных обнажений охватывали отрезок времени в несколько лет.

3. На типичных по геологическому строению и по сроку вскрытия обнажениях проходятся расчистки для выявления глубины выветривания, описания и отбора проб для лабораторных исследований.

4. Для выводов о скорости выветривания необходимы данные о климате района (средние величины осадков и температур), а также об исключительных явлениях за период между датами вскрытия и изучения (ураганы, ливни и пр.). Если это необходимо, то проводятся повторные осмотры и описания обнажений. Значения скорости выветривания пород, полученные по разным обнажениям, будут отличаться друг от друга, так как они могут находиться в различных условиях. Поэтому следует предпочитать те обнажения, которые более близки к условиям будущей строительной выемки.

В тех случаях, когда невозможно использовать первый метод, применяется определение скорости выветривания в специально заложенных выемках. Преимуществом этого метода является возможность попутно организовать определение типа и толщины защитных покрытий. При этом методе последовательность работ следующая:

1. Выполняется расчистка естественных обнажений или выемка опытных котлованов до пород, не затронутых выветриванием, и организуются длительные наблюдения за выветриванием (не менее 1,5 лет).

2. Для заложения опытных участков выбираются такие места, на которых вскрывались бы все разности исследуемой толщи пород и рельеф местности соответствовал бы условиям будущей строительной площадки.

Наилучшим решением является размещение опытного участка непосредственно в пределах проектируемой строительной выемки. Минимальная площадь вскрытой породы 4 м². Если изучается скорость выветривания пород в откосах выемок, то необходимо искусственные обнажения опытного участка создавать такой же крутизны, высоты и ориентировки.

4. На части зачищенного массива пород оставляются защитные слои разной толщины или создается покрытие из разных материалов. На этих участках также проводятся наблюдения за эффективностью примененных способов защиты от выветривания.

3-6. РАЗУПЛОТНЕНИЕ

Под разуплотнением понимается снижение естественной плотности пород в результате уменьшения природной или искусственной нагрузки. Оно развивается вследствие проявления упругих свойств породы и выражается в увеличении объема ее в первую очередь за счет раскрытия сомкнутых трещин. В некоторых случаях разуплотняющее воздействие на породы оказывают напорные воды. В наибольшей степени разуплотнение проявляется в глинистых породах, не обладающих жесткими структурными связями. Для описываемой части массива горных пород иногда встречается наименование «зона разгрузки». Правильнее называть ее «зона разуплотнения», так как разгрузка — это процесс, который ведет к разуплотнению пород, к приобретению ими иных инженерно-геологических свойств, чем те, которые характерны для пород вне влияния снятия природной нагрузки.

Одной из основных задач изучения инженерно-геологических условий для обоснования проектов гидротехнических сооружений является определение границ зоны разуплотнения пород, слагающих борта и дно долин рек. Важность изучения зоны разуплотнения определяется тем, что границы этой зоны в плане и разрезе и в особенности физико-механические свойства пород в ней определяют глубину выемки котлованов, параметры укрепительной и противофильтрационной цементации, необходимость анкерного крепления или заделки трещин и другие конструктивные и подготовительные мероприятия.

Разуплотненные породы легче поддаются выветриванию. Поэтому на участках развития мощной зоны разуплотнения мощность зоны выветривания значительно выше.

Зоны естественного разуплотнения существуют во всех речных долинах, но мощность и особенности их проявления зависят от рельефа местности, глубины и скорости эрозионного вреза, состава и свойств горных пород, тектоники и т. п. В скальных породах разуплотнение выражается преимущественно в раскрытии трещин, а в блоках пород, ограниченных трещинами, плотность и прочность пород остаются практически неизменными (вне зоны выветривания). Поэтому главным критерием для определения мощности зоны разуплотнения скальных пород является интенсивность трещиноватости. В нескальных (глинистых) породах наряду с образованием трещин (преимущественно мелких и микроскопических) в процессе разуплотнения происходит увеличение объема породы в блоках между трещинами за счет упругих сил и набухания породы. Здесь критерием для определения нижней границы зоны разуплотнения служит глубина, с которой плотность пород остается примерно одинаковой.

В зоне разуплотнения массив скальных пород представляет собой систему блоков различной формы и величины, разделенных между собой трещинами и ослабленными зонами. Породы в зонах разуплотнения характеризуются повышенной трещиноватостью, малым сопротивлением сдвигу, большой сжимаемостью, значительной водопроницаемостью и сниженной прочностью горных пород. В крутых берегах долин в зоне разуплотнения развиваются оползни и обвалы.

Вне зоны разуплотнения массив пород представляет собой упругую среду с высокими значениями сцепления, способную сопротивляться скалывающим и растягивающим напряжениям. Здесь роль трещиноватости, за исключением отдельных крупных разрывных нарушений, сведена к минимуму.

Говоря о зоне разуплотнения, надо различать часть ее, сложившуюся в дне и бортах долины в естественных условиях за длительное геологическое время, и часть, формирующуюся в процессе строительства вследствие снятия природной нагрузки при выемке котлована или его осушении.

В процессе разгрузки в первую очередь происходит расширение трещин, примерно параллельных поверхности, причем оно тем больше, чем трещины ближе к поверхности. Трещины разгрузки имеют следующие при-

знаки: а) располагаются вблизи дневной поверхности; б) простираются примерно параллельно поверхности земли; в) имеют раскрытие в несколько сантиметров или дециметров; г) зияют или выполнены элювием или четвертичными образованиями другого происхождения.

Таблица 3-7

Район или объект	Породы	Мощность зоны разуплотнения, м
Днепрогэс имени В. И. Ленина	Граниты	15
Кременчугская ГЭС имени 50-летия Великой Октябрьской социалистической революции	»	15
Украина	Гранито-гнейсы	30
Башкирия	Известняки	30
Братская ГЭС имени 50-летия Великого Октября	Диабазы	30
Усть-Илимская ГЭС	»	30
Красноярская ГЭС имени 50-летия СССР	Граниты	25
Братская ГЭС имени 50-летия Великого Октября	Песчаники и алевролиты ордовикской системы	30
Усть-Илимская ГЭС	Песчаники и алевриты каменноугольной системы	50

Глубина, на которую распространяется разуплотнение массива в результате разгрузки в скальных породах, показана в табл. 3-7, составленной по данным обработки массовых фильтрационных испытаний. Для слабых пород и для участков относительно активных поднятий мощность зоны разуплотнения выше, чем для прочих пород, залегающих на стабильных участках.

3-7. СЕЛИ

Селями или грязекаменными потоками называют внезапные кратковременные горные потоки, обильно насыщенные обломками горных пород. Образованию селей способствуют следующие условия: а) горный рельеф, обусловливающий большую крутизну склонов и большие уклоны русла (до 0,35 в верховьях и 0,05—0,02 в низовьях водотоков), вследствие чего рыхлые отложения на склонах находятся в неустойчивом состоянии, а скорости

движения воды в руслах очень велики; б) интенсивный поверхностный сток, вызванный ливневыми дождями, бурным таянием снега или ледников, прорывом искусственных или естественных водоемов; в) наличие на склонах долин и в руслах водотоков мощных скоплений рыхлого материала (элювия, моренных отложений, оползневых накоплений и пр.). Районы, подверженные селям, называются селеопасными.

Селевые потоки обладают огромной подъемной силой и выносят много крупнообломочного материала, количество которого может колебаться от 50 до 1000 кг в 1 м³. Наблюдались случаи, когда объем отдельных глыб, перемещенных селем, достигал 120—130 м³.

В селевых бассейнах различают три зоны: формирования, переноса и отложения. Зона формирования селей — часть бассейна, в которой происходит наиболее активное накопление рыхлых горных пород. Обычно она располагается в верхней части бассейна. Зоной переноса называется часть бассейна или русла реки, где в основном происходит движение селевой массы. В этой зоне могут быть участки временного затухания селей (например, в расширениях долин, где наблюдаются более пологие уклоны русл). Зона отложения представляет собой конус выноса и располагается обычно при выходе селеносного русла в более крупную речную долину, в межгорную впадину или на предгорную равнину (рис. 3-20).

Продолжительность прохождения селей, как правило, не превышает нескольких десятков минут и редко достигает нескольких часов. Обычно сель образует ряд последовательных волн, число которых может доходить до нескольких десятков. Главной причиной прерывистого движения селей является образование заторов в суженных местах и на крутых поворотах русла. Заторы эти прорываются, и движение селя возобновляется с новой силой. Скорость движения селевого потока достигает 30—40 км/ч.

При выходе на предгорную равнину скорость течения селя резко уменьшается и грязекаменный поток разливается в виде веера — конуса выноса. Принесенный селем обломочный материал откладывается, причем наблюдается разделение его по крупности. Наиболее крупные фракции откладываются при выходе потока из ущелья, мелкие — в удалении от вершины конуса. Поэтому в относительно крутой вершинной зоне в разрезе преоб-

ладают крупнообломочные слабоокатанные фракции в смеси с песком и супесью, а в периферийной зоне конуса преимущественно залегают суглинисто-супесчаные отложения с щебнем и песком (рис. 3-20).

Сели причиняют большой ущерб народному хозяйству, вызывая разрушение дорог, мостов, линий передач,

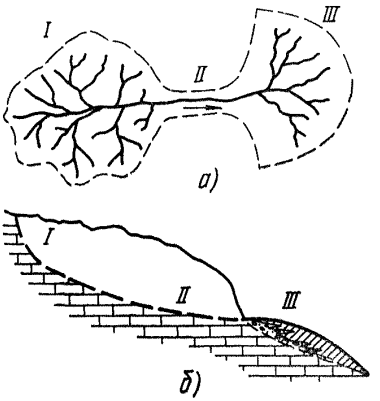


Рис. 3-20. Схематический план (*а*) и продольный профиль (*б*) селеносного водотока.

I — зона формирования селя; *II* — зона переноса; *III* — зона отложения (конус выноса).

гидротехнических сооружений, населенных пунктов, посевов, садов и других объектов, располагающихся в долинах селеопасных водотоков, а также на склонах, где происходит интенсивный смыв рыхлого материала. Разрушения вследствие прохождения селей носят двоякий характер: в зоне переноса зачастую происходит глубокий размыв русла (например, в 1921 г. в г. Алма-Ате главная улица, по которой прошел сель, превратилась в глубокий овраг с крутыми стенками), а в зоне накопления наносы перекрывают мощным слоем поверхность земли.

На территории Советского Союза сели широко распространены в Средней Азии, на Кавказе и в Закавказье, в Крыму, в Карпатах, в Прибайкалье, в Хибинах и в ряде других горных районов.

Наиболее интенсивно сели развиты в районе г. Алма-Аты, расположенного на конусах выноса рек, стекающих

со склона горного хребта Заилийский Ала-Тау. Город неоднократно подвергался разрушениям селевыми потоками: с 1887 г. на этих реках крупные сели проходили более 20 раз. Катастрофические последствия имел сель, прошедший по реке М. Алмаатинка 8 июля 1921 г. Его твердый сток был равен 3,25 млн. м³, а максимальный расход грязекаменного потока — 920 м³/с (максимальный наблюденный расход воды в этой реке около 51 м³/с). Сель пересек территорию города тремя рукавами шириной от 50 до 300 м, при этом было разрушено 400 строений и погибло около 500 чел.

Для защиты Алма-Аты от селей в нескольких километрах выше города, в урочище Медео, в 1968 г. была построена селезащитная каменно-земляная плотина высотой 115 м, которая образовала селехранилище емкостью 6,2 млн. м³. Летом 1973 г. эта плотина защитила город от катастрофического селя [1], который возник в результате интенсивного таяния ледника и переполнения высокогорных моренных озер. Поток воды, проходя по моренным отложениям и отложениям русла р. М. Алмаатинки, образовал мощный сель объемом примерно 4 млн. м³, который разрушил небольшую селезащитную плотину в верховье реки и повредил часть зданий турбазы (рис. 3-21).

Движение селя было остановлено плотиной, построенной в урочище Медео. На следующий день по реке прошел второй сель объемом около 500 тыс. м. Принесенный селями материал скопился в селехранилище и заполнил его на высоту до 65 м.

Для борьбы с селями используется ряд мероприятий, среди которых выделяются предупредительные, селеотводящие и селеулавливающие. К первым преимущественно относятся закрепление склонов посадками растительности и выравниванием, оборудование озер в верховьях реки водовыпусками, позволяющими предупредить их катастрофическое переполнение.

Для пропуска возникших селей применяются селевые лотки (над дорогами, долинами рек, каналами), селеспуски (под насыпями), направляющие дамбы в руслах, крепление русла селеопасных водотоков и пр. Опыт эксплуатации показывает, что эти сооружения хорошо функционируют при относительно небольших размерах селей, а при катастрофических селях они обычно разрушаются.

[1] «Литературная газета» № 31 от 1 августа 1973 г.

Третья группа мероприятий направлена на задержание селя либо путем устройства в русле ряда невысоких сплошных или решетчатых селеуловителей, которые, снижая скорость движения потока, создают условия для осаждения влекомого твердого материала, либо создания высоких плотин, позволяющих преградить путь селю любого, возможного на данном водотоке объема. Наибольший эффект дает применение комплекса предупре-

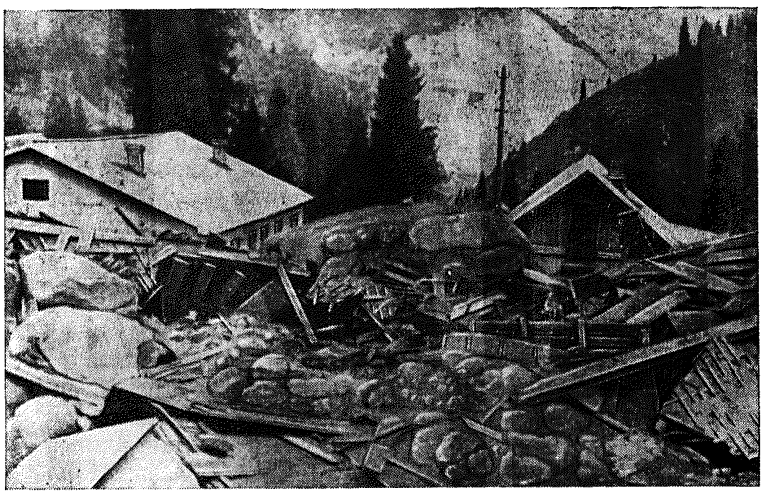


Рис. 3-21. Разрушение селем построек турбазы.

дительных и селеулавливающих мероприятий. Однако стоимость их очень велика, и поэтому проектирование и строительство их возможно только на основе тщательных инженерно-геологических и гидрологических изысканий и изучения гидрометеорологических условий.

Инженерно-геологические исследования в селеопасных районах проводятся в два этапа: предварительные и детальные.

На первом этапе выполняются исследования для выяснения важнейших общих закономерностей формирования селей и сравнительной оценки селеопасности того или иного района. В результате этих работ составляются карты условий формирования селевых потоков и районирования территории по степени селеопасности

масштаба 1 : 500 000—1 : 200 000. Эти карты составляются по литературным и фондовым материалам и дополняются данными полевых маршрутных наблюдений.

В процессе полевых исследований выполняются контрольные маршруты и аэровизуальное обследование. Изучение влияния рельефа на формирование селей должно охватывать все высотные пояса.

В высокогорной области изучаются ледниковые формы рельефа и ледниковые отложения, особенно морены современного оледенения. Выявляется возможность зарождения селей в этой высотной зоне, изучаются условия накопления рыхлого обломочного материала, наличие и характер растительности.

В среднегорном поясе, где преобладает активная водная эрозия и гравитационные деформации склонов (оползни, обвалы, осыпи и пр.), изучается характер прохождения селевых потоков и возможность их увеличения по пути следования. Отмечается наличие селевых очагов и связь их со склоновыми процессами и явлениями. Описывается крутизна и характер склонов в зависимости от состава коренных пород, экспозиции, характера растительности.

В низкогорном и предгорном поясах, где преобладают процессы аккумуляции, исследуются селевые накопления (конусы выноса, заполнение долин и пр.), определяется частота прохождения и интенсивность селей (по характеру растительности, опросным методом и т. п.).

Детальные инженерно-геологические исследования проводятся в бассейнах рек, где сели представляют угрозу населенным пунктам, гидротехническим сооружениям, дорогам или сельскохозяйственным угодьям. Полевые исследования заключаются в проведении специальной селевой инженерно-геологической съемки, разведки очагов зарождения селей и инженерно-геологических изысканий на участках проектируемых противоселевых сооружений.

Под специальной селевой инженерно-геологической съемкой понимается наземное, аэровизуальное и аэрофотографическое изучение территории для получения данных, характеризующих ее селеопасность, и обоснования мер борьбы с селями. Съемка включает в себя изучение литологии, стратиграфии, тектоники, геоморфологии, гидрогеологических условий, климата, современных физико-геологических процессов, а также описание

растительности на склонах. Съемка проводится на всей территории исследований в масштабе 1 : 50 000—1 : 10 000.

В ходе инженерно-геологической съемки картируются современные физико-геологические явления, очаги зарождения селей, участки скопления рыхлых пород и развития интенсивного выветривания, оценивается роль растительности в закреплении склонов, фиксируются следы смыва рыхлых накоплений поверхностными водами и пр. Наземные маршруты наиболее целесообразно прокладывать по водоразделам и по дну долин. В первом случае хорошо просматривается противоположный склон долины. Во втором случае изучаются и наносятся на карты возможные места подпитывания селей рыхлым материалом, участки образования заторов и интенсивного размыва русел. Следует отметить участки перепадов в русле, изменения ширины и уклона русел, участки временного и окончательного затухания селей. В результате инженерно-геологической съемки составляются карты условий формирования селей и районирования территории по селеопасности.

Инженерно-геологическая разведка в очагах зарождения селей и в зоне переноса проводится для решения следующих задач:

а) изучение характера и скорости поступления твердого материала в русла рек и временных водотоков;

б) определения возможных максимальных объемов твердого материала, который может поступать в водотоки;

в) выявления условий, при которых может смещаться со склонов рыхлый материал;

г) установления возможности обогащения селей твердым материалом в зоне переноса и определения его примерного объема.

В процессе инженерно-геологической разведки изучаются оползневые и обвальные очаги, участки размыва и развития осыпей, места образования завальных плотин, участки скопления моренных отложений и пр. Все эти участки картируются в масштабе 1 : 10 000 — 1 : 2000, на них в необходимом объеме выполняются разведочные горно-буровые работы и геофизические исследования.

Глава четвертая

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

4-1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Инженерно-геологическая съемка представляет собой комплексное изучение территории проектируемого строительства. В процессе ее ведутся геологические, гидрогеологические, геоморфологические и другие наблюдения, направленные на разрешение инженерных задач. Съемка должна проводиться в начале инженерно-геологических изысканий для данной стадии или этапа проектирования, так как она дает возможность в относительно короткие сроки выявить общие черты инженерно-геологических условий изучаемой территории и правильно наметить разведочные, гидрогеологические и другие работы, дополняющие и уточняющие данные съемки.

Детальность съемки определяется ее масштабом, который выбирается в зависимости от стадии проектирования, характера проектируемых сооружений и сложности инженерно-геологических условий (приложение I). По своей детальности все съемки делятся на три категории:

мелкомасштабные — 1:200 000; 1:100 000; 1:50 000;
среднемасштабные — 1:25 000; 1:10 000;
крупномасштабные — 1:5000; 1:2000; 1:1000.

Обоснованием съемки служат точки наблюдений на местности, к которым относятся обнажения горных пород, буровые скважины, горные выработки, источники, колодцы, отдельные характерные элементы рельефа или проявления физико-геологических явлений (карста, оползней, обвалов и пр.). Каждому масштабу съемки соответствует определенное число точек, которое может меняться в зависимости от сложности геологического строения и обнаженности местности (табл. 4-1). Чем крупнее масштаб съемки и сложнее геологическое строение, тем больше требуется точек наблюдения и бóльший процент среди них составляют разведочные выработки.

Все работы по проведению инженерно-геологической съемки делятся на три периода: подготовительный, полевой и камеральный. Техник, являющийся ближайшим помощником инженера-геолога, руководящего съемкой,

Таблица 4-1

Количество точек наблюдений на 1 км² съемки

Масштаб съемки	Категория геологической сложности	Общее количество точек	Из них разведочных выработок при обнаженности		
			хорошей	удовлетворительной	плохой
1:100 000	I	1	0,02	0,1	0,35
	II	1,5	0,03	0,15	0,5
	III	2,2	0,05	0,22	0,7
1:50 000	I	2,3	0,05	0,3	0,9
	II	3	0,1	0,4	1
	III	5,3	0,5	1	1,6
1:25 000	I	10	1	1,5	3
	II	16	2	3	5
	III	22	3	4,5	7
1:10 000	I	28	4	6	9
	II	34	6	9	12
	III	40	8	12	15
1:5000	I	40	10	15	20
	II	70	17	26	35
	III	100	25	37	50
1:2000	I	200	50	75	100
	II	350	87	128	175
	III	500	125	187	250
1:1000	Количество точек устанавливается специальным расчетом.				

активно участвует на всех этапах ее выполнения. В подготовительный период техник занимается подбором геологических материалов по району исследований, делает выписки и выкопировки, необходимые для проведения съемочных работ, занимается дешифрированием аэрофото- и фототеодолитных снимков. На обязанности техника лежит также подбор снаряжения, приборов и материалов, необходимых для проведения полевых работ.

В полевой период техник под руководством геолога описывает обнажения, разведочные выработки и другие точки наблюдений и наносит на карту геологические объекты, отбирает и документирует образцы и пробы горных пород и воды, следит за своевременной отправкой проб на лабораторные исследования, а также выполняет ряд других работ по поручению руководителя съемки. Если техник делает самостоятельный маршрут,

то он перед выходом должен получить задание от руководителя съемочных работ и отчитаться о его выполнении по возвращении из маршрута.

В период камеральной обработки техник приводит в порядок коллекции, вычерчивает окончательные карты и другие графические материалы, обрабатывает результаты лабораторных исследований проб пород и воды, а также участвует в составлении и оформлении окончательного отчета о съемке.

4-2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

а) Сбор материалов и организация работ

В подготовительный период должны быть проведены сбор и обработка имеющихся материалов, составлены программа и смета на проведение работ и выполнены все организационно-хозяйственные мероприятия.

В процессе сбора и обработки необходимо проработать все геологические, инженерно-геологические, гидрогеологические и другие важные материалы по району работ, а также отдешифрировать аэрофотоматериалы. Изучению подлежат опубликованные материалы и рукописи, хранящиеся в геологических фондах и других учреждениях, ведущих геологические исследования, а также все существующие геологические, геоморфологические, гидрогеологические и другие карты по району работ. На все имеющиеся материалы составляются списки, а основные данные по геологическому строению конспектируются. Из работ, содержащих фактический материал по району съемки, делаются выписки и выкопировки, касающиеся важных опорных разрезов, находок полезных ископаемых, проявлений неблагоприятных физико-геологических явлений и пр. Эти данные наносятся на карту изученности района или на предварительную геолого-литологическую карту.

В процессе подготовки к работам необходимо ознакомиться с имеющимися в различных учреждениях и музеях минералогическими, петрографическими и палеонтологическими коллекциями, а также получить консультацию опытных геологов, знакомых с районом работ. Если в районе уже ведутся инженерно-геологические изыскания для данного сооружения, то необходимо подробно ознакомиться на месте с их результатами и использовать при составлении предварительных материалов.

Основные задачи, которые ставятся перед инженерно-геологической съемкой, должны быть кратко сформулированы в техническом задании главного инженера проекта, но для того чтобы лучше представить себе проектный замысел и выявить те вопросы, на которые необходимо обратить особое внимание, следует побеседовать с проектировщиками и ознакомиться с имеющимися проектными проработками. В результате этого должно быть уяснено: целевое назначение проектируемых гидротехнических сооружений; возможные участки их размещения, варианты основных компоновок и типов сооружений; потребности в различных строительных материалах (при мелко- и среднемасштабных съемках).

Инженерно-геологическая съемка ведется на основе топографической карты, которая должна иметь масштаб на одну ступень крупнее масштаба съемки, для того чтобы в поле точнее наносить все необходимые границы и точки наблюдений.

При наличии по району работ материалов аэрофото- или фототеодолитной съемки они должны быть отдешифрированы с учетом имеющегося геологического материала. При предварительном геологическом дешифрировании намечаются границы между дочетвертичными и четвертичными отложениями, между изверженными и осадочными породами. При благоприятных условиях проводятся также границы между отдельными свитами, толщами или массивами. Дешифрируются все структурные элементы, определяются элементы залегания пластов, выявляются различные типы складок, разрывные нарушения, границы несогласия в залегании пластов, геоморфологические элементы и физико-геологические явления.

Результаты дешифрирования с фотоснимков должны быть перенесены на фотосхему или на кальку. При этом отдешифрированные геологические границы по степени своей достоверности должны быть разделены условными знаками на вполне достоверные, не вполне достоверные и предполагаемые.

В случае необходимости намечается проведение специальных исследований для освещения каких-либо важных явлений: сейсмичности, многолетней мерзлоты и др. Объем и направление специальных исследований определяются особой программой, и для выполнения этих работ в состав съемочной партии могут включаться соот-

ветствующие специалисты или организовываться специализированные отряды.

В результате всех предварительных проработок составляются краткие аннотации изученных работ, карта геологической изученности района с нанесением контуров геологических съемок и разведочных работ, предварительная сводная стратиграфическая колонка, предварительная геолого-литологическая карта, схемы тектонического и геоморфологического строения.

На основании обработки имеющихся материалов и рекогносцировочного выезда на место съемки составляется программа съемочных работ, в которой обосновывается выбор масштаба и площади съемки, освещаются условия проведения полевых работ, сложность геологического строения, степень обнаженности и проходимости района, намечается объем необходимых съемочных, геофизических, горно-буровых и других работ.

На основании программы инженерно-геологической съемки составляется смета по действующим расценкам на изыскательские работы.

Для проведения съемки организуются партии или отряды во главе с начальником. В отряд входят начальник и его заместитель (инженеры), два-три техника и рабочие.

В подготовительный период проводятся все необходимые организационно-хозяйственные мероприятия: укомплектование инженерно-техническим персоналом; получение снаряжения и проверка приборов; доставка к месту работы снаряжения и материалов; организация базы на месте работ; укомплектование средствами транспорта и связи; наем на месте рабочих.

б) Подбор полевого снаряжения

Успех выполнения геологосъемочных работ в значительной степени зависит от правильно подобранного личного снаряжения, в состав которого входят следующие основные предметы.

1. Геологический молоток.
2. Горный компас.
3. Барометр-анероид.
4. Барограф.
5. Термометр-пращ.
6. Термометр родниковый.

7. Лупы 10—15-кратные.
8. Полевой дневник (записная книжка).
9. Саперная лопатка.
10. Зубило и кувалда для выбивания окаменелостей.
11. Тесмяная рулетка.
12. Складной метр.
13. Перочинный нож.
14. Полевая сумка для хранения карт и дневников.
15. Заплечная сумка для образцов горных пород (рюкзак).
16. Этикетная книжка для образцов.
17. Мешочки или бумага для упаковки образцов.
18. Флакон с соляной кислотой.
19. Карандаши простые и цветные, резинки, линейки, угольники и пр.
20. Фотоаппарат.

Ниже дается краткое описание основных предметов снаряжения геолога-съемщика.

Геологический молоток служит для отбивания образцов горных пород и для небольших расчисток их обнажений. Он изготавливается из лучших сортов инструментальной стали, масса его от 250 до 400 г. Рукоятка его делается из прочных сортов дерева (березы, ясеня, рябины, черемухи). Длина рукоятки от 45 до 55 см. На ней полезно нанести метки на расстоянии 5—10 см для различных измерений при работе в поле. Форма молотка и его масса зависят от характера изучаемых пород: при работе в рыхлых породах применяется молоток меньшей массы, один конец которого заострен в виде лопаток; при работе в крепких скальных породах применяется более тяжелый молоток, один конец которого имеет пирамидальную форму. В съемочной партии должны быть как те, так и другие молотки.

Горный компас служит геологу для определения элементов залегания пластов горных пород и трещин в них, для ориентировки в поле и для простейших топографических измерений. В настоящее время существует много различных конструкций горных компасов, имеющих значительные преимущества перед простейшим компасом, описанным ниже, однако по принципу устройства они все подобны.

Горный компас простейшего вида представляет собой буссоль, укрепленную на латунной или алюминиевой

прямоугольной пластине длиной обычно 10 и шириной 8 см (рис. 4-1). Лимб горного комплекса разделен с точностью до одного градуса и в отличие от обыкновенного компаса деления на нем возрастают при движении против часовой стрелки. В связи с этим восток на лимбе расположен слева от линии север — юг (С-Ю), параллельной длинной стороне компаса, а запад — справа. Такое расположение делений позволяет определять азимут заданного направления, совмещая его с краем длинной стороны пластинки компаса. При этом азимут определяемого направления получается простым отсчетом градусов, показываемых на лимбе вороненым концом магнитной стрелки компаса.

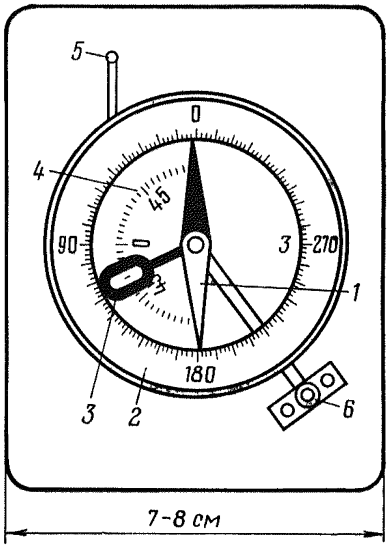


Рис. 4-1. Горный компас.
1 — магнитная стрелка; *2* — лимб; *3* — отвес; *4* — шкала отвеса; *5* — арретир отвеса; *6* — арретир стрелки.

Для измерения угла падения пластов пород на дне компасной коробки нанесены градусные деления от 0 до 90° от востока (В) к северу (С) и к югу (Ю), а на оси стрелки компаса подвешен отвес — клиномер. Для зажима магнитной стрелки и клиномера компас снабжен двумя винтами (арретирами), которые следует опускать во время измерений и закреплять после их окончания. Компас требует бережного обращения, и его необходимо носить в специальном футляре на поясном ремне.

Барометр-анероид применяется для определения высот при выполнении съемочных работ. Прибор смонтирован в прочной металлической коробке со стеклянной крышкой. Основная часть его — это неподвижно закрепленная латунная коробка, из которой выкачан воздух. При изменении атмосферного давления коробка изменяется в объеме и с помощью системы рычагов эти движения стенки коробки передаются стрелке анероида.

Стрелка движется по циферблату, шкала которого разбита на деления, протарированные путем сравнения показаний анероида с показаниями ртутного барометра. При взятии отсчетов по шкале надо пользоваться таблицей поправок к показаниям анероида. Кроме того, в таблице даются поправки на температуру, так как при ее изменении показания анероида меняются. Деления шкалы анероида должны находиться в соответствии с перепадом высот в районе съемки. Если этот перепад невелик, то цена деления должна быть не менее 0,1 мм деления, при большом перепаде во время работы в горных районах цена деления допускается в 1 мм.

Барограф представляет собой самопишущий барометр, который автоматически регистрирует давление в течение суток. Это дает возможность вносить поправки в показания анероидов, с которыми работают в поле, так как давление в течение рабочего дня может меняться. Барограф устанавливается на базе съемочной партии, и место его установки рассматривается как высотный ноль, от которого ведутся все отсчеты. Он является очень чувствительным прибором, и при пользовании им необходимо строго соблюдать правила, изложенные в соответствующей инструкции.

Термометр-пращ служит для измерения температуры воздуха. Он имеет шкалу с делениями 0,5°С и в верхней части снабжен кольцом, через которое продевается шнур. При измерении температуры воздуха берутся за шнур и быстро вращают термометр в течение 1—2 мин. Заметив показания температуры, повторяют измерение до тех пор, пока два последовательных отсчета не будут отличаться более чем на 0,2°. Температура воздуха измеряется в тени, при этом нужно следить, чтобы термометр был сухой.

Термометр родниковый ленивый представляет собой обычный термометр, нижняя часть которого покрыта термоизоляционным материалом. Он помещается в металлическую оправу, имеющую в верхней части кольцо, за которое привязывается шнур для опускания термометра в воду. Цена деления этого термометра должна составлять 0,2°.

Полевой дневник обычно имеет размеры 10×18 см, так как при большем размере его неудобно носить с собой, а при меньшем остается мало места для зарисовок и записей. Он должен быть сделан из хоро-

шей бумаги в клетку, иметь жесткий переплет и ушко для карандаша. Полезно также в дневнике иметь часть листков из миллиметровки. Желательно, чтобы переплет имел карман, клапан и шнур для завязывания дневника. На титульном листе помещаются необходимые сведения (адрес организации, дата заполнения, район и пр.), листки дневника нумеруются и в конце его дается оглавление. Зарисовки, занимающие много места, часто делаются в отдельном альбоме бо́льшего формата (18××24 см), сделанном из миллиметровки.

Остальные предметы снаряжения особых пояснений не требуют, но они должны быть по возможности легки и портативны.

4-3. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ

а) Последовательность выполнения работ

Съемочные работы могут быть начаты только при наличии в партии предварительных карт и других материалов, составленных в подготовительный период на основании всех ранее имевшихся геологических материалов и данных аэрофото- или фототеодолитной съемки.

При проведении мелкомасштабных съемок в особо сложных и труднопроходимых районах рекомендуется перед началом съемочных работ произвести аэровизуальные наблюдения для получения представления об устройстве поверхности, характере ее обнаженности и проходимости. Аэровизуальные наблюдения следует проводить в солнечную погоду при безоблачном небе или при высокой просвечивающей облачности. Лучшее время для начала наблюдений с воздуха в горах через 2—3 и на равнине — через 20 мин после восхода Солнца. Продолжительность рабочего полета не должна превышать 2—4 ч в день. Оптимальная высота полета составляет 200—400 м. Если проводятся аэроландшафтные съемки, то во время аэровизуальных наблюдений производится дешифрирование снимков.

Проведение аэровизуальных наблюдений должно выполняться в такой последовательности: подготовка к полету — выбор маршрута, составление полетной карты; непосредственные аэровизуальные наблюдения с нанесением на карту и в журнал соответствующих пометок, фотографирование наиболее важных объектов; камеральная обработка аэровизуальных наблюдений.

Инженерно-геологическая съемка должна начинаться с детального изучения на опорных обнажениях разреза толщ осадочных, вулканических и метаморфических пород, слагающих картируемую территорию. На это изучение должно быть отведено 10—20% времени от общей продолжительности полевого периода. Изучение опорных разрезов ведется с целью:

выяснить стратиграфическую последовательность отдельных толщ, их мощности и характер контактов;

установить возраст и генетический тип отложений;

изучить вещественный состав отложений, слагающих разрез;

выявить маркирующие горизонты, а также слои, имеющие важное инженерно-геологическое значение, с которыми надо особенно считаться при строительстве гидротехнических сооружений.

Изучение опорных разрезов рекомендуется проводить всем инженерно-техническим составом партии, чтобы выработать общий подход к определению пород, их номенклатуре, выделению стратиграфических единиц и выявлению наиболее существенных инженерно-геологических свойств пород. В начальный период изучение и описание разрезов ведется с особой тщательностью и подробностью, в дальнейшем когда установятся определенные типы горных пород и будут даны для них общие характеристики, допускаются ссылки на ранее сделанные описания. Обычно из-за отсутствия полных непрерывных обнаженных разрезов, вскрывающих все породы, распространенные в данном районе, приходится изучать ряд частных разрезов, которые используются для составления сводного разреза, путем их увязки на основании опорных слоев или горизонтов.

Выделение опорных горизонтов должно быть основано на характерных признаках горных пород, легко распознаваемых в полевой обстановке. Опорным горизонтом может быть пласт, отличающийся от вмещающих пород своим литологическим или минералогическим составом или охарактеризованный фауной, а также серия сближенных пластов, характерных последовательностью напластования. За опорный горизонт может быть принят также контакт двух толщ, различных по составу, или чем-либо характерная поверхность слоя, например со знаками ряби, включением переотложенных пород и пр. Особенности опорного горизонта должны выдерживаться

по всей площади съемки или на значительной ее части. Все опорные горизонты должны быть прослежены на местности и нанесены на геологическую карту с возможно большей точностью.

В районах развития интрузивных пород инженерно-геологическая съемка начинается с изучения закономерностей внутреннего строения магматического тела и выявления в его пределах структурно-петрологических и структурно-тектонических зон. С этой целью производится изучение минералогического состава, структуры и текстуры изверженных пород в различных частях изучаемого участка, а в случае необходимости и за его пределами. Знание этих свойств позволяет установить принадлежность пород к той или иной группе по степени кислотности и глубинности, а также выявить формы залегания интрузивных образований. Особое внимание при этом должно быть уделено изучению контактов с вмещающими породами и приконтактовых зон, так как они обычно представлены ослабленными и неравномерными по прочности породами.

В результате изучения опорных разрезов составляются сводная стратиграфическая колонка осадочных пород, схема строения четвертичных отложений, а в районах развития изверженных пород — структурно-петрологические схемы.

После того как на основании изучения разрезов будет получено предварительное представление о стратиграфии, литологии и петрографии пород, залегающих в пределах снимаемого участка, приступают к изучению распространения отдельных пачек, слоев, структурно-петрологических зон, выявлению возможного изменения их вещественного состава по простиранию, а также к изучению тектонического строения.

б) Методы съемки

Существует несколько методов геологического картирования, которые выбираются в зависимости от масштаба съемки, характера геологического строения и обнаженности района.

Мелкомасштабная инженерно-геологическая съемка, выполняемая обычно в пределах речных долин, ведется в основном методом маршрутных пересечений и только на участках возможного расположения гидроузлов может применяться метод прослеживания слоев по про-

стиранию. В зависимости от сложности геологического строения и степени дешифрируемости аэрофотоснимков маршруты проводятся на различном расстоянии, но с таким расчетом, чтобы соседний маршрут пересекал те геологические границы, горизонты и свиты, которые были намечены предыдущим маршрутом. Если прослеживаемые горизонты и свиты не выходят на поверхность там, где их следовало бы ожидать, исходя из направления простирания, т. е. если они теряются в зоне между двумя маршрутами, необходимо наметить точки наблюдения между маршрутами. При инженерно-геологической съемке речных долин маршруты должны проходить по обоим берегам реки с заходом в долины притоков и в овраги и пересекать долину по характерным поперечникам.

Средне- и крупномасштабная съемки проводятся методами пересечения вкрест простирания слоев, прослеживания контактов и сплошного оконтуривания обнажений. Обычно используется не один из этих методов, а сочетание их. Первоначально проводится ряд маршрутов, направленных по возможности вкрест простирания слоев и основных структурно-тектонических линий. Это позволяет наиболее быстро выявить характер нормального разреза и тектоническое строение. Во время этих маршрутов выявляются и изучаются все основные обнажения и намечаются картировочные выработки.

В области развития изверженных пород эти маршруты должны пересекать различные структурно-тектонические и структурно-петрологические зоны изверженного массива и характеризовать изменения его петрографического состава по направлению от центра к периферии. В области развития мощных четвертичных отложений, тесно связанных с рельефом местности, маршруты должны пересекать основные геоморфологические элементы.

С помощью метода пересечения составляется ряд нормальных геологических разрезов по линиям, расположенным вкрест простирания слоев пород, важнейших геологических структур, структурно-петрологических зон и геоморфологических элементов.

Дальнейшее картирование территории ведется методом прослеживания контактов и маркирующих горизонтов. К началу этих работ должны быть пройдены картировочные выработки и сделана топографическая привязка основных точек наблюдений. При работе этим

методом следует руководствоваться нормальным геологическим разрезом, составленным ранее. Во избежание ошибок целесообразно одновременно прослеживать несколько контактов, расположенных недалеко друг от друга, и закрашивать полевую геологическую карту широкими полосами.

Приложение на карте изучаемых контактов следует делать непосредственно в поле, корректируя построения наблюдениями. Основанием для нанесения границ на карту могут служить лишь данные, полученные непосредственными наблюдениями на обнажениях или в горных выработках. Построение картируемых границ геометрическими методами может служить лишь способом проверки нанесения границ на карту и для построения разрезов.

При крупномасштабных съемках в узких горных долинах с крутыми обнаженными склонами, на которых могут быть отчетливо выражены контакты между различными породами, характер складчатости, а также линии тектонических нарушений, применяется метод сплошного оконтуривания обнажений. При работе этим методом, особенно на участках труднодоступных и хорошо обнаженных, успешно может быть применена фототеодолитная съемка, позволяющая проследить по снимкам геологические границы и сделать их точную топографическую привязку.

На крутых труднодоступных склонах съемочные маршруты либо приурочиваются к специально построенным деревянным трапам, либо прокладываются альпинистами с использованием веревок, скальных крючьев и другого альпинистского снаряжения.

Фототеодолитная съемка проводится в горных долинах, имеющих крутые незалесенные обнаженные склоны. Этот метод дает возможность после соответствующей обработки фотоснимков точно фиксировать местоположение в пространстве тех или иных геологических элементов и прослеживать их на значительном протяжении. Наблюдения для инженерно-геологического картирования обычно выполняются одновременно с составлением топографической основы методом наземной стереофотосъемки, который в горных условиях является наиболее точным и производительным.

Если инженерно-геологическая съемка проводится одновременно с фототеодолитной, то до начала фотогра-

фических работ производится выбор точек инженерно-геологических наблюдений. Все точки, которые необходимо получить на топографической карте, должны быть замаркированы на местности путем окраски скальных обнажений, установки вех, каменных туров, фанерных щитов, флажков и других маркировочных знаков, с тем чтобы они получились на фотоснимках. Опознавание замаркированных точек сводится в этом случае к нумерации полученных изображений маркировочных знаков. Способ предварительной маркировки точек дает наибольшую точность, так как результаты наблюдений не искажаются ошибками опознавания точек в поле.

Если фототеодолитная съемка выполнялась до начала геологосъемочных работ, то выбор точек геологических наблюдений производится после стереофотосъемки и опознавание выбранных точек геологических наблюдений на фотоснимках производится в поле. При этом возможны два случая:

точки геологических наблюдений выбираются путем стереоскопического просмотра снимков, и опознавание заключается в отыскании на местности точки, отмеченной ранее на фотоснимке. Для этого один работник с фотоснимком располагается в точке нахождения фотокамеры, а второй, передвигаясь по сигналам первого, отыскивает на местности точку, в которой он должен производить геологические наблюдения;

точки геологических наблюдений выбираются на местности и производится их описание. Опознавание этих точек на фотоснимках производится в поле путем определения их расстояния от маркирующих знаков и ближайших отчетливо выраженных контурных точек. Наиболее простым и надежным является опознавание точек геологических наблюдений, совпадающих с какими-либо отчетливо выделяющимися на фотоснимке контурными точками. Поэтому выбор точек рекомендуется производить после внимательного просмотра фотоснимков с целью обнаружить необходимые контурные точки.

Накол опознанной точки производится тонкой иглой при стереоскопическом рассмотрении снимка. Одновременно с наколом точек на обратной стороне фотоснимка делается схематический план (абрис) участка расположения точек. Каждая опознанная точка нумеруется и вносится в список точек, в котором дается краткое описание их местоположения. Опознавание снимков в поле

производится топографом при участии инженера- и техника-геолога.

В процессе съемки производится обработка и дешифрирование отпечатков, выполненных на матовой бумаге. Эта работа производится с помощью полевого стереоскопа цветными карандашами «Стеклограф», которые легко стираются. В результате дешифрирования поднимаются границы и точки геологических и геоморфологических элементов.

После дешифрирования под стереоскопом необходимо провести проверку снимков по каждому обнажению в поле с целью уточнения и дополнения их содержания путем визуального дешифрирования. При дешифрировании все геологические элементы, изображенные на снимках, нумеруются и составляется каталог дешифрируемых элементов, где дается их описание.

В процессе камеральной обработки снимков геодезисты вычерчивают в заданном масштабе на специальных приборах топографические планы и одновременно наносят все отдешифрированные геологические элементы. После этого производятся измерения и подсчеты элементов залегания слоев, их мощности и других показателей, характеризующих геологическое строение.

в) Документация обнажений

Объектами наблюдений во время проведения полевых работ являются обнажения горных пород, разведочные выработки (канавы, расчисти, шурфы, штольни буровые скважины), геоморфологические элементы (речные террасы, овраги, склоны) и физико-геологические явления (карстовые воронки, оползни, обвалы).

Обнажение представляет собой выход горных пород на дневную поверхность. Они обычно составляют большую часть точек наблюдений, описываемых при инженерно-геологической съемке, и порядок их описания наиболее характерен для полевых записей. Поэтому в настоящем разделе в качестве примера полевой записи рассматривается обнажение. Особенности описания остальных объектов рассматриваются в других разделах руководства (гл. 3, 5 и 6).

Все описанные обнажения, так же как и другие точки наблюдений, наносятся на карту условными знаками и нумеруются. Нумерация всей точек наблюдения (обнажений горных выработок, буровых скважин, источни-

ков и пр.) должна быть единой в пределах всей площади съемки. Если одновременно работает несколько отрядов, то каждому из них заранее даются пределы номеров точек, которыми он может пользоваться. Обнажениям на карте под теми же нормами должны соответствовать записи и зарисовки в дневнике, фотографии, образцы коллекций и пр.

Топографическая привязка точек наблюдений может производиться инструментально и глазомерно. Все точки наблюдений, которые наносятся на карту инструментально (основные опорные обнажения, тектонические элементы, источники, устье разведочных выработок и пр.), дожны быть замаркированы при помощи знаков — номеров, наносимых масляной краской на скальных обнажениях, или при помощи колышков. С целью получения более точных данных о структуре района при топографической привязке необходимо получить также отметки в определенных точках опорных маркирующих горизонтов. Маркировка и привязка разрезов должна быть произведена до прослеживания и нанесения на карту границ между слоями.

Точности глазомерного нанесения на карту точек наблюдений необходимо уделить особое внимание. При ориентировке на местности должны быть учтены все имеющиеся на карте детали рельефа, особенности гидрографической сети, местные предметы и пр. В случае необходимости надлежит произвести засечки компасом на видимые и отмеченные на карте пункты или сделать глазомерную съемку с целью привязки точки наблюдения.

Абсолютная отметка точки наблюдения, наносимой на карту глазомерно, определяется по карте и путем барометрического нивелирования. С этой целью на каждой точке берется отсчет по анероиду. При этом необходимо соблюдать следующие правила:

1) показания анероида должны контролироваться показаниями барографа или второго анероида, находящегося на базе; для этого надо точно записывать время взятия отсчета;

2) при записи показаний анероида следует записывать также температуру анероида по термометру, расположенному на его шкале, и температуру воздуха, измеренную с помощью термометра-праща; все эти измерения надо производить по возможности в тени;

3) перед измерением открывают футляр анероида и, держа анероид перед собой в горизонтальном положении, слегка постукивают по стеклу пальцем, чтобы стрелка заняла неподвижное положение;

4) после возвращения на базу вносят поправки в показания анероида в соответствии с его паспортом и поправку за счет изменений атмосферного давления в течение дня, которое фиксируется барографом или анероидом, находящимся на базе.

Все записи барометрического нивелирования ведутся в специальном журнале. В маршруте помимо обнажений надо брать отметки всех характерных точек, которые могут помочь проконтролировать высотные измерения (урез реки, дорогу и пр.).

Описание обнажения делается в полевом дневнике. Оно должно производиться полностью на месте наблюдений. Записи ведутся по числам месяца с общим обозначением маршрута и места работы на данный день. Записи делаются простым карандашом средней твердости (не размазывающимся) на одной стороне листа и с одной стороны разворота книжки. Вторая сторона оставляется для чертежей, зарисовок, специальных пометок, а также для последующих определений пород.

Следует избегать сокращения слов при записях и допускать их лишь при наличии в дневнике соответствующих объяснений. В конце дня в дневнике должна быть сделана сводка всех наблюдений за день с изложением главнейших выводов и соображений. Наблюдаемые явления должны всегда отделяться в записях от всех предположений и выводов исследователя, как бы очевидны они ни были.

Описание точек наблюдений ведется по порядковым номерам, соответствующим номерам точек на карте. Номер и наименование точки указываются ясно и отчетливо в начале описания. Далее записывают:

1) местоположение обнажения и его абсолютную или относительную высоту, которая в случае необходимости уточняется данными топографического или барометрического нивелирования;

2) литологический состав выделенных слоев пород и их характерные внешние признаки (цвет, структура, текстура, включения, крепость, консистенция, наличие ископаемой фауны и флоры); мощность каждого описываемого слоя;

3) стратиграфическое положение описываемых пород (предположительно) и их генетический тип; характер контактов между слоями;

4) условия залегания слоев горных пород, элементы залегания (азимут построения, угол и направление падения); тектонические нарушения; трещиноватость;

5) номера образцов и проб, отобранных на обнажении.

Описание местоположения обнажения должно быть кратким, но содержать следующие сведения: привязку относительно каких-либо строго фиксируемых точек (устье оврага), геоморфологический элемент (терраса, коренной склон), относительную высоту над какой-либо фиксируемой плоскостью (над уровнем реки, дном оврага).

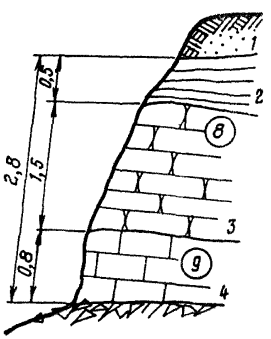


Рис. 4-2. Зарисовка обнажения. *1—4* — номера слоев; цифра в кружке — номер пробы и место ее отбора.

Перед описанием обнажения необходимо убедиться в том, что породы в нем залегают на месте своего образования, а не смещены в результате осыпи или оползня. После этого следует по возможности расчистить его геологическим молотком или лопатой от осыпавшихся сверху пород, натеков и прочих случайных образований, не характерных для описываемых пород, а также по возможности удалить с поверхности зону их интенсивного выветривания.

Описание разреза может производиться как сверху вниз, так и снизу вверх с обязательным указанием порядка и единой нумерацией слоев в описании и на зарисовке. Желательно для данного района сохранить единый порядок описания разрезов, так как это облегчает обработку материалов съемки.

Описание обнажения должно сопровождаться зарисовкой разреза и в случае необходимости зарисовкой схематического плана (рис. 4-2). Наиболее характерные обнажения фотографируются. Все рисунки и фотографии должны быть ориентированы по странам света и

содержать необходимые размеры или изображения предметов, дающих представление о масштабе фотоснимка. Особенно это относится к фотографированию предметов ближнего плана.

Рекомендуется в конце дневника выделить несколько страниц для фотодневника, куда в последовательном порядке записывается каждый снимок с указанием номера обнажения, месяца и дня съемки, содержания снимка, а также направления, в котором он сделан. Если снимок или составная панорама имеют важные подробности (например, отдельные вершины на горизонте, террасы, границы различных слоев, включения одних пород в другие, физико-геологические явления и т. п.), то надо в дневнике сделать схематическую зарисовку с пояснительными записями, для того чтобы эти подробности отметить на снимке.

Измерение мощности пластов. Каждый пласт ограничивается двумя поверхностями: нижней, называемой подошвой пласта, и верхней, называемой его кровлей. Мощность пласта является кратчайшим расстоянием между его кровлей и подошвой. В том случае, если поверхность обнажения перпендикулярна плоскости пласта, то мощность его может быть определена непосредственным измерением рулеткой или метром. В тех случаях, когда поверхность обнажения не перпендикулярна плоскости пласта, мощность, измеренная в плоскости обнажения, будет не истинной, а видимой, которая будет больше истинной мощности. На рис. 4-3 изображены четыре наиболее часто встречающихся случая положения пласта в обнажении.

1. При вертикальной поверхности обнажения истинная мощность пласта определяется из уравнения

$$H = h \cos \alpha, \qquad (4\text{-}1)$$

где H — истинная мощность пласта; h — видимая мощность, измеренная по поверхности обнажения; α — угол падения пласта.

2. Если поверхность обнажения наклонена под углом к горизонту в сторону, противоположную падению пласта, то

$$H = h \sin (\alpha + \gamma_1). \qquad (4\text{-}2)$$

3. Если поверхность обнажения наклонена под углом к горизонту в сторону падения пласта, то

$$H = h \sin (\alpha - \gamma_2). \qquad (4\text{-}3)$$

4. При горизонтальной поверхности обнажения

$$H = h \sin \alpha. \qquad (4\text{-}4)$$

Во всех случаях надо стремиться к тому, чтобы сделать непосредственные измерения мощности пласта, но иногда это требует проведения больших расчисток. Существует также следующий простой способ измерения мощности пластов, границы которых не перпендикуляр-

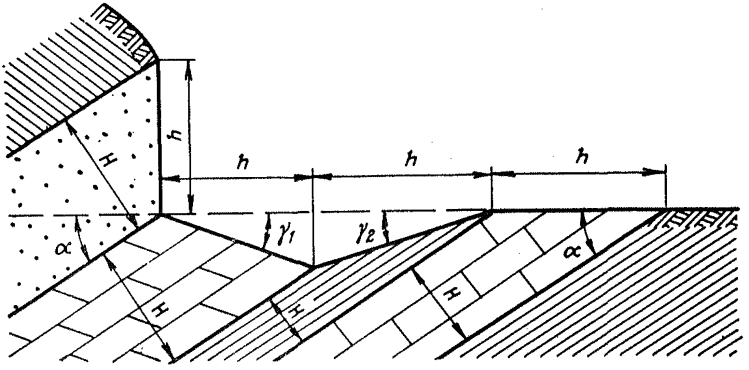


Рис. 4-3. Измерение мощности пластов.

ны плоскости обнажения: берут геологический молоток или шест, устанавливают его перпендикулярно плоскости подошвы пласта, проектируют визированием на него кровлю пласта и измеряют по шесту мощность пласта.

Измерение элементов залегания пластов. Положение плоскости напластования в пространстве определяется тремя точками, не лежащими на одной прямой, или двумя пересекающимися линиями. Такими линиями для плоскости напластования слоя являются простирание и падение. Линия простирания представляет собой след пересечения плоскости пласта с горизонтальной плоскостью; линия падения перпендикулярна линии простирания; угол падения образован линией падения и горизонтальной линией (рис. 4-4).

Элементы залегания пластов — направление (азимут) простирания, направление и угол падения определяются с помощью горного компаса следующим образом. На поверхности напластования изучаемого пласта выбирается гладкая площадка. Если такой площадки нет, то надо сколоть геологическим молотком вышележащие по-

роды до поверхности напластования. Если площадка для измерений неровная, то на нее надо положить книжку с твердым переплетом, поверхность которой была бы параллельна измеряемой плоскости.

Вначале определяют линию падения пласта и его угол, для чего следует поставить пластину компаса длинным ребром на измеряемую плоскость и, придав компасу

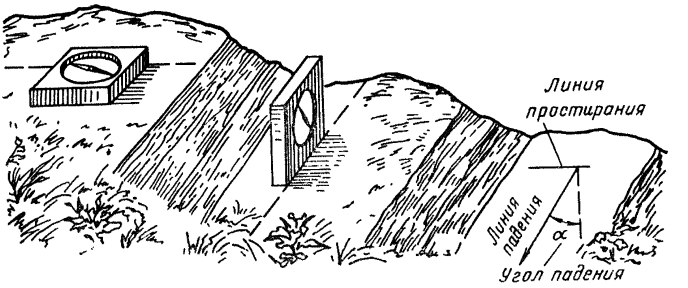


Рис. 4-4. Измерение элементов залегания пласта.

вертикальное положение, перемещать его до тех пор, пока отвес не покажет наибольший угол падения. Это направление падения прочерчивается карандашом или ножом, а угол падения записывается. Затем, приложив компас плашмя к поверхности площадки, прочерчивают вдоль другого короткого ребра компаса горизонтальную линию простирания пласта, перпендикулярную линии падения.

Для определения направления (азимута) падения и простирания слоев поступают следующим образом. Берут компас за край пластины и, держа его совершенно горизонтально, прикладывают коротким ребром к линии простирания и, отпуская магнитную стрелку, берут отсчет по ее северному концу. Это и будет направление (азимут) падения пласта. Во избежание ошибок при отсчете компас всегда надо прикладывать к измеряемой поверхности слоя таким образом, чтобы северный конец лимба компаса был обращен в сторону падения измеряемого пласта.

Определив направление падения и записав его, поворачивают компас в горизонтальное положение на 90°, прикладывая его длинное ребро к той же линии прости-

рания. После этого берут отсчет по северному концу стрелки компаса, который дает направление простирания пласта. Поскольку направления падения и простирания перпендикулярны, это направление должно отличаться от направления падения на 90°.

Одновременно с записью в полевой книжке элементы залегания наносят на карту. Для этого ориентируют ее по сторонам света и кладут на нее горный компас таким образом, чтобы длинное ребро его проходило через точку, а стрелка компаса показывала направление падения пласта. После этого прочерчивают коротким штрихом это направление и перпендикулярное ему, ставят стрелку и делают надписи.

Если на обнажении не удастся найти или отбить площадку для проведения измерения элементов залегания пласта или если к обнажению нельзя подойти, то эти измерения делаются визуально горным компасом. Находясь на некотором расстоянии от обнажения, выбирают такую плоскость, которая характеризует падение пласта, и визированием горным компасом определяют направление и угол его падения.

При проведении инженерно-геологической съемки изучаются также структурно-геологические условия и трещиноватость пород (§ 4-4).

Отбор образцов и проб пород. Описание обнажений сопровождается отбором образцов горных пород, которые берутся из каждого слоя. Кроме основных образцов, из отдельных слоев и участков должны отбираться пробы для проведения петрографических, минералогических, химических и других исследований и для изучения физико-механических свойств пород. Кроме того, могут отбираться специальные образцы для изучения палеонтологических остатков, для спорово-пыльцевого анализа и пр. Отбор этих образцов производится по специальным инструкциям. Образцы для проб отбираются по особому заданию руководителя съемочных работ. Каждый образец и проба должны иметь этикетку по установленной форме.

Все образцы горных пород должны отбираться в коренном залегании из наиболее свежих пород, практически не затронутых выветриванием. В некоторых случаях, когда при большой мощности выветрелых пород необходимо получить для инженерно-геологических целей их характеристику, образцы могут быть отобраны и из

зоны выветривания. При этом в дневнике и в этикетке должны быть сделаны соответствующие пометки.

Образцы пород берутся как основные, необходимые для составления коллекции, так и временные, нужные только на период обработки материалов. В скальных породах первые образцы следует брать размером 9×12 см при толщине 2—3 см, а вторые могут быть несколько меньших размеров. В рыхлых и связных породах образцы берутся в объеме 0,5 дм³. Размеры образцов, иллюстрирующих отдельные геологические явления (складчатость, характер контактов и т. п.), не ограничиваются. Для исследования физико-механических свойств скальных пород отбираются штуфные пробы, из которых могут быть вырезаны два-три цилиндра высотой и диаметром 6 см. Для исследования физико-механических свойств рыхлых и связных пород отбираются образцы в объеме 0,5 дм³. Для петрографических исследований отбираются кусочки породы размером примерно 2×4×2 см.

Количество образцов, отбираемых для изучения петрографического состава скальных пород, в пределах каждого слоя осадочных пород должно составлять 3—5. Каждая петрографическая разность изверженных пород, встречающихся в районе работ, должна быть охарактеризована не менее чем 5—10 образцами. В случае выполнения специальных петрографических исследований количество образцов, отбираемых для их выполнения, может быть увеличено.

Количество проб, отбираемых из каждого характерного слоя пород для изучения их физико-механических свойств, может изменяться в зависимости от масштаба съемки от 3 до 10. Эти пробы должны быть распределены по всей площади съемки и характеризовать породы, залегающие на различной глубине в различных условиях (тектонических, геоморфологических выветривания и пр.). Пробы следует отбирать главным образом глубже предполагаемой зоны съема под сооружения. В процессе съемки необходимо записывать пробы в дневнике при описании обнажения или разведочной выработки и вести специальную карту опробования с разрезами. Место взятия пробы и ее номер отмечаются также условным знаком на зарисовке разреза обнажения или горной выработки (см. рис. 4-2).

г) Гидрогеологические наблюдения

Гидрогеологические наблюдения при инженерно-геологической съемке должны выявить в пределах изучаемой территории все основные водоносные горизонты и увязать их распространение с геологическим строением, тектоникой и геоморфологией. По каждому из выявленных водоносных горизонтов должна быть дана достаточно подробная характеристика с указанием площади его распространения, мощности, типа (поровый, трещинный, карстовый), гидравлических условий (напорный, безнапорный), условий питания и дренирования. Кроме того, должны быть охарактеризованы химический состав подземных вод, дебит источников или колодцев, питающихся этим горизонтом, и изменение этих показателей во времени. Если в районе распространено несколько водоносных горизонтов, то надо выявить их взаимную связь, а также связь с водоемами. При крупномасштабных съемках должно быть оценено также значение каждого водоносного горизонта для проектируемого сооружения: возможность интенсивной фильтрации или притока в строительные котлованы и пр.

Перед началом полевых работ на основании проработки имеющихся материалов, необходимо составить предварительное представление о гидрогеологических условиях района, которое должно проводиться и уточняться в процессе полевых работ.

Объектами гидрогеологических наблюдений при инженерно-геологической съемке являются источники, пластовые выходы воды, колодцы и буровые скважины. Все эти водопункты должны быть описаны, опробованы и нанесены на полевую карту. При гидрогеологических наблюдениях помимо снаряжения, необходимого для геологической съемки, техник-геолог должен иметь часы с секундной стрелкой или секундомер, мерный сосуд или водослив, чистые бутылки с пробками для взятия проб воды, хлопушку для измерения уровня воды в скважинах и колодцах. Если химический анализ воды производится в поле, то надо иметь также полевую химическую лабораторию. Поскольку все это снаряжение довольно громоздко, то для обследования водопунктов обычно проводят специальные маршруты после того, когда водопункты будут выявлены.

При описании естественных выходов подземных вод, а также колодцев и буровых скважин должны быть да-

ны следующие сведения: наименование и номер водопункта, местоположение с указанием рельефа, на котором он расположен; высота над уровнем реки или дном оврага и отметка; к каким породам приурочен водоносный горизонт, их генезис, стратиграфическое положение и условия залегания, а также трещиноватость и закарстованность; физические свойства воды (температура, запах, цвет, прозрачность, газоносность).

Из всех водопунктов отбираются пробы воды на лабораторный химический анализ или этот анализ производится на месте с помощью походной лаборатории (§ 6-7,в). В случае необходимости выполняются анализы выделяющихся из воды газов.

При описании естественных выходов подземных вод (источников или пластовых выходов) необходимо, кроме перечисленного выше, зарисовать или сфотографировать их и отметить следующее: характер выхода на поверхность, тип источника (восходящий, нисходящий, пульсирующий); для трещинных или карстовых источников определить генезис и элементы залегания трещины или форму карстовой полости; охарактеризовать минеральные отложения источника, которые могут быть представлены натеками, туфами, солями и отобрать из них пробы; измерить дебит источника.

Для определения дебита источника может быть сделан его каптаж, оборудованный лотком или специальным водосливом (§ 6-6,а). При описании колодцев и буровых скважин кроме ранее перечисленных сведений необходимо определить и записать глубину от поверхности до дна выработки, уровень воды от поверхности земли, глубину крепления, для каких целей используется вода, определить по возможности дебит колодца. При обследовании колодцев часть сведений получается опросом населения.

д) Геоморфологические наблюдения

Геоморфологические наблюдения, выполняемые при инженерно-геологической съемке, должны осветить все основные формы рельефа, установить их связь с геологическим строением, тектоникой, гидрогеологическими условиями и физико-геологическими явлениями. Материалы геоморфологических наблюдений должны установить историю формирования основных форм рельефа

исследуемого района и этим помочь изучению геологического строения участка.

Перед началом полевых геоморфологических наблюдений необходимо тщательно изучить картографический материал, а также материалы аэрофото- и фототеодолитной съемки. Путем дешифрирования этих материалов составляются предварительные геоморфологические карты и схемы, которые проверяются и уточняются во время полевых работ.

Полевые геоморфологические наблюдения осуществляются во время маршрутов инженерно-геологической съемки, сеть которых должна располагаться таким образом, чтобы можно было осмотреть и изучить все основные формы рельефа. В отдельных случаях могут назначаться особые маршруты для изучения геоморфологии района.

В результате всего комплекса геоморфологических наблюдений каждая типичная форма рельефа или связанное с ней физико-геологическое явление должны быть описаны, зарисованы, сфотографированы и охарактеризованы размерами. Основное внимание при этом надо уделить выявлению генезиса каждой формы рельефа, чтобы можно было представить себе процесс ее формирования и дальнейшего развития. Геоморфологические наблюдения над аккумулятивными формами рельефа (речными террасами, моренными грядами и пр.) надо проводить одновременно с изучением четвертичных отложений, так как они наиболее тесно с ними связаны.

При изучении речных долин необходимо на каждом характерном участке установить: поперечный профиль долины и очертания ее в плане; глубину эрозионного вреза коренного ложа долины; наличие террас и их строение; зависимость формы поперечного и продольного профиля долины от геологического строения, тектоники, гидрогеологии.

Долины горных и равнинных рек существенно отличаются по своим формам и по происхождению. Для первых характерна значительная высота и крутизна склонов, узкое дно и порожистое русло (рис. 4-5). Долины равнинных рек обычно характеризуются невысокими отлогими и террасированными склонами, значительной шириной днища и небольшим уклоном русла.

Горные долины могут образовываться в результате эрозионного размыва массивных горных пород или

следовать по ослабленным зонам тектонических нарушений. Если река пересекает постепенно поднимающийся участок горного массива, то в дне долины обычно отсутствуют аллювиальные отложения и, наоборот, при пересечении рекой опускающегося участка под ее руслом

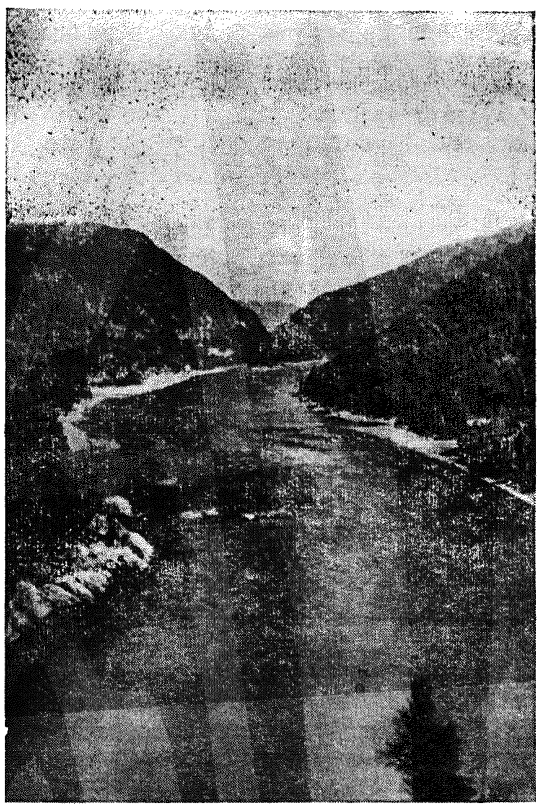


Рис. 4-5. Долина горной реки.

мощность аллювия может быть велика. В горных долинах с крутыми высокими склонами нередко возникают оползни, обвалы и образуются трещины бортового отпора. В процессе геоморфологических наблюдений всем этим вопросам должно быть уделено большое внимание,

так как они имеют большое значение для гидротехнического строительства.

В формировании долин равнинных рек большую роль играли климатические изменения и связанные с ними материковые оледенения, а также колебания уровня мирового океана, вызванные тектоническими движениями земной коры и таянием ледников. Свидетелями истории развития равнинных рек являются речные террасы, которые должны тщательно изучаться. Многие долины равнинных рек имеют древние переуглубления, выполненные рыхлыми отложениями значительной мощности, что должно быть установлено в результате изучения истории формирования долины.

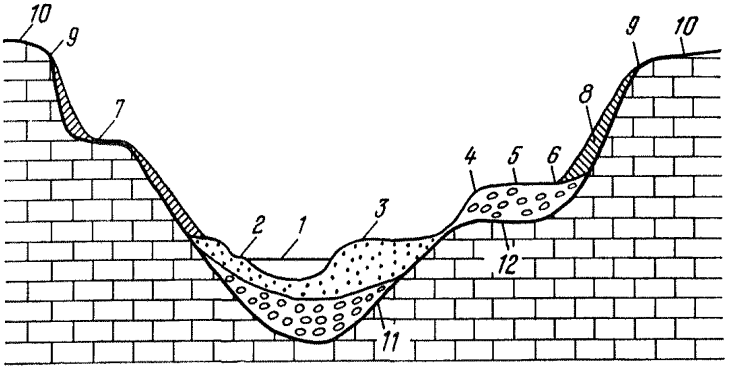


Рис. 4-6. Элементы речной долины и типы террас.

1 — русло; *2* — бечевник; *3* — пойменная терраса аккумулятивная; *4* — бровка террасы; *5* — первая надпойменная терраса эрозионно-аккумулятивная (цокольная); *6* — тыловой шов террасы; *7* — вторая надпойменная терраса эрозионная; *8* — коренной склон; *9* — бровка коренного склона; *10* — плато; *11* — переуглубление долины; *12* — цоколь первой террасы.

В процессе съемки фиксируются все имеющиеся в долине террасы и нумеруются последовательно от более молодых к более древним. При наличии нескольких террас, мало отличающихся по высоте, их можно объединять в комплексы: нижние террасы, средние террасы и т. п. По своему строению террасы могут быть аккумулятивные, целиком сложенные аллювием, эрозионные, целиком врезанные в более древние породы и лишенные аллювия; цокольные (эрозионно-аккумулятивные), у которых верхний покров сложен аллювием, а под ним лежит уступ (цоколь), образованный более древними породами (рис. 4-6). Террасы не всегда достаточно от-

четливо бывают выражены в рельефе, так как форма их может быть существенно изменена в результате процессов денудации и отложения на их поверхности делювия, эоловых песков, пролювия, оползневых масс, а также в результате карстовых, термокарстовых и других процессов.

Террасы, образовавшиеся в результате климатических или тектонических явлений, прослеживаются обычно на значительном протяжении, а иногда и по всей долине и носят название цикловых или сквозных. Помимо них могут быть встречены локальные или псевдотеррасы, прослеживающиеся на небольшом участке долины. Локальные террасы могут образоваться в результате одновременного действия глубинной и боковой эрозии, а также на участках, где наблюдаются новейшие тектонические движения. Псевдотеррасы не связаны с эрозионной деятельностью реки и могут представлять собой конусы выноса боковых притоков и прочие образования.

Характеристика каждой террасы должна содержать данные о ее высоте над меженным горизонтом реки, ширине и протяженности, характере поверхности, морфологии уступа террасы, условиях прилегания к другим террасам или к коренному склону. При описании геологического строения террас необходимо отмечать состав и мощность слагающих их аллювиальных отложений, наличие коренного цоколя в основании террасы и его строение, наличие на поверхности террасы делювиальных, эоловых, пролювиальных и других отложений, а также проявлений различных физико-геологических явлений.

Все данные, помимо описания в дневнике, следует изобразить графически на геоморфологических профилях и на зарисовках в дневнике. Наиболее характерные формы рельефа фотографируются и в последующем дешифрируются. Границы террас, а также отдельные элементы, характеризующие их строение (участки интенсивного подмыва рекой, заболоченность и пр.), наносятся на полевую карту.

Для изучения строения речной долины в продольном направлении сопоставляются поперечные профили ее характерных участков и по ним строится продольный профиль долины по одному из характерных берегов. На продольный профиль наносится высота террас, геологическое строение берега и подрусловой части долины.

Такой профиль служит основой для выявления молодых тектонических движений земной коры, имеющих существенное значение для правильного понимания истории формирования и строения долины.

В области развития древних оледенений геоморфологические наблюдения должны охарактеризовать основные формы ледникового рельефа (моренные плато, конечные морены, озы, камы, флювиогляциальные ложбины и пр.) и установить связь с ними речной долины. Нередко современные горные долины проходят по крупным ледниковым долинам — трогам, которые характеризуются корытообразным профилем и крутыми отшлифованными льдом скалистыми бортами.

При проведении инженерно-геологической съемки изучаются также такие важные для оценки условий строительства гидротехнических сооружений физико-геологические явления, как карст, оползни, обвалы, многолетняя мерзлота. Методы их изучения рассматривались в гл. 3.

4-4. ИЗУЧЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

а) Изучение трещиноватости на обнажениях и в горных выработках

Изучение трещиноватости горных пород на обнажениях и в горных выработках относится к прямым методам, дающим наиболее точные количественные показатели. К косвенным методам относятся изучение керна, геофизические исследования, гидравлическое опробование буровых скважин и пр. Изучение трещиноватости массива горных пород либо производится одновременно с крупномасштабной инженерно-геологической съемкой, являясь частью ее, либо выполняется самостоятельно на основе проведенной съемки,

Перед тем, как приступить к документации трещин на обнажении или в горной выработке, необходимо изучить геолого-тектоническое строение участка. Затем на основании уже имеющихся представлений о районе исследования следует установить местоположение документируемого участка в общей тектонической структуре района по отношению к пликативным структурам и дизъюнктивным нарушениям. Необходимо знать, например, приурочен ли изучаемый участок к ядру или крылу складки, к центральной или краевой части интрузивного тела, проходит ли поблизости разрывная

дислокация или сплошность пород не нарушена, так как эти факторы определяют характер и интенсивность трещиноватости пород. После выяснения общих вопросов геологической привязки участка приступают к его документации. В качестве основы для документации трещиноватости того или иного обнажения или горной выработки рекомендуется пользоваться масштабной фотографией, которая в прецессе изучения трещиноватости дешифрируется.

Перед фотографированием обнажения или разреза горной выработки необходимо произвести их разметку, укрепить с краю цифры, обозначающие номер выработки и условный индекс части ее (для облегчения последующего монтажа), а также установить масштабные рейки в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Следует записать азимут и угол фотографирования и сделать примечание, если производится нефронтальная фотосъемка. Фотографирование производится с перекрытием кадров, так чтобы при печатании карточек брать лишь центральную часть их во избежание искажения масштаба. При печатании фотоснимков путем увеличения необходимо подобрать стандартный масштаб в зависимости от величины обнажения и нужной детальности документации.

Горные выработки следует документировать в одном и том же масштабе. При простых структурно-тектонических условиях принимается масштаб 1 : 50, при сложных 1 : 20. Если не делается фотооснова для документации, то в таком же масштабе производится зарисовка обнажения. Трещины рисуются или дешифрируются в соответствии с разработанной на данном объекте системой условных обозначений. Фотографии должны иметь размер 9×12 или 18×24 см и печататься на матовой бумаге, так как на глянцевую бумагу нельзя наносить линии дешифрирования. Различными условными знаками и цветами надо выделить генетический тип, раскрытие и заполнение трещин.

Измерение трещин производится одновременно с дешифрированием фотоснимков или зарисовкой изучаемых поверхностей. Все записи, характеризующие трещины, делаются в журнале документации трещин (табл. 4-2). Общие сведения и результаты геологоструктурного изучения участка записываются над таблицей. Графы 1 и 2 журнала документации трещин особых

Таблица 4-2

ЖУР
документации

1. Место положения участка
2. Номер выработки или обнажения
3. Ориентировка поверхности обнажения или направление выработки

НАЛ
трещин

4. Возраст и состав пород
5. Условия и характер залегания пород. Элементы залегания пластов и структурных линий
6. Магнитное склонение

Интервал, в пределах которого прослеживается трещина	№ трещины	Элементы залегания трещин			Геометрическая характеристика			Заполнитель		Характер поверхности трещины	Штрихи скольжения		Кинематический тип трещины	Соотношение данной трещины с другими	Кайма изменения (или выветривания) породы по трещине	Генетический тип трещины	Примечание
		Азимут падения	Угол падения	Азимут простирания	Протяженность, м	Раскрытие, мм	Форма трещины	Состав и состояние заполнителя	Характер заполнения		Характер штрихов	Угол скольжения					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

пояснений не требуют. Элементы залегания трещин (графы 3, 4 и 5) измеряются при помощи горного компаса. В горных выработках они иногда вычисляются по следам трещин, нанесенным на зарисовку разных стенок. У наклонных трещин следует замерять азимут падения и угол падения. Азимут простирания можно получать путем вычисления, приводя его в северных румбах для удобства дальнейшего использования. У вертикальных трещин следует измерять азимут простирания трещин и записывать, что угол падения равен 90°. Если трещина имеет в пределах изучаемого участка поворот, то необходимо измерить элементы залегания ее до и после поворота. У извилистых трещин азимут и угол падения должны отражать среднее положение трещины.

В графе 6 необходимо указать, пересекает ли трещина весь рассматриваемый участок или имеет место выклинивание или примыкание к другой трещине. В осадочных породах указывается, пересекает ли трещина ряд пластов или развита в пределах одного из них.

Ширина раскрытия трещины (графа 7), т. е. кратчайшее расстояние между стенками ее, у крупных трещин измеряется линейкой, у тонких трещин — щупом, позволяющим углубиться в трещину. Для измерения ширины раскрытия тонких трещин можно пользоваться обычным слесарным щупом, представляющим собой набор калиброванных стальных пластинок, собранных на общей оси.

При измерениях пластинки щупа вставляют в зазор трещины, подбирая такую пластинку, толщина которой равна зазору трещины. Наиболее удобен щуп, содержащий семь пластинок размером 0,35; 0,30; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10 и 0,05 мм.

В зоне поверхностного выветривания измеряется также глубина трещин специально изготовленным металли-

ческим прутом или металлической лентой. По результатам измерения ширины и глубины трещин определяется средняя величина их из нескольких замеров. При измерении ширины трещины следует обращать внимание, не имеет ли ее устьевая часть дополнительного раскрытия, нехарактерного для трещины в целом. На поверхности обнажения этому явлению способствует выветривание, а в горных выработках — взрывные работы. Если раскрытие трещины сильно меняется, то следует приводить среднее и предельное ее значения.

По форме (графа 8) различаются прямые (ровные), кривые, волнистые (извилистые), ступенчатые и другие трещины. Отмечается разветвление или кулисообразное развитие трещин, если оно имеет место.

Под заполнителем трещины (графы 9 и 10) понимается вещество, привнесенное в трещину извне. От него следует отличать продукты дробления (милонитизации) местной породы, развитые по тектоническим зонам и трещинам. Состав и состояние заполнителя, а также характер заполнения трещины следует изучать весьма тщательно, так как они имеют существенное значение для распознавания природы трещин, а также для инженерно-геологической оценки скальных массивов.

Заполнитель трещин может быть представлен как продуктами разрушения пород (песок, супесь, суглинок, глина), так и минеральным веществом гидротермального или гипергенного происхождения (кальцит, гипс, барит и пр.). Значительное распространение имеют также примазки на поверхностях трещин водных, главным образом железистых, окислов. Если трещина полностью заполнена кристаллическим минеральным веществом, имеющим спаянный контакт с вмещающей породой, то такое образование следует относить не к трещинам, а к прожилкам.

Состав и состояние заполнителя трещин определяются визуально и исследуются в лаборатории по образцам, отбираемым при документации. Описывать состояние заполнителя и отбирать образцы для лабораторных определений надо сразу же после проходки выработки, так как свойства заполнителя в пройденной выработке быстро меняются.

Состав заполнителя позволяет судить о его происхождении, что в свою очередь важно для установления генезиса трещин, условий переформирования и раскрытия

их. При описании минерального заполнителя следует обращать внимание, не подвергся ли он растворению или выщелачиванию. Если заполнитель трещин отсутствует, то в таблице указывается, что трещина полая. Необходимо также отмечать характер заполнителя трещины: заполнена ли она сплошь или частично, однородным или разнородным заполнителем, располагается ли заполнитель зонально (обычно параллельно стенкам трещины), чередуется ли песчано-глинистый заполнитель с минеральным, или глинистый заполнитель образует выдержанный прослой. Это особенно важно для установления показателя сопротивления сдвигу по трещине.

По характеру поверхности трещины бывают гладкие и в различной степени шероховатые. Особую группу составляют текстурные поверхности трещин: седиментогенные (следы ряби, дождевых капель, трещин усыхания и пр.) и тектонические . Наблюдения над поверхностью трещин позволяют собрать важные сведения для установления их генезиса.

Особое место при наблюдениях за поверхностью трещин занимают следы взаимного перемещения блоков, имеющие вид зеркал скольжения, борозд, царапин. Они подлежат особенно тщательному изучению, так как по ним можно установить направление перемещения по трещине [Л. 26].

По механизму образования (графа 14) трещины разделяются на трещины отрыва и трещины скалывания. Для отнесения трещины к тому или иному типу используются морфологическая характеристика их, а также соотношение их с элементами складок или смесителями тектонических нарушений.

Трещины скалывания имеют гладкую поверхность, значительное протяжение и выдержанную ориентировку. Они характеризуются прямолинейностью или плавными изгибами, обычно сомкнуты, нередко со следами скольжения.

Крупные зерна и включения, имеющиеся в породе, попадающие на линию пересечения, срезаются по ровным поверхностям. Трещины отрыва характеризуются обычно шероховатой, иногда рваной, поверхностью, сравнительно небольшой длиной с резкими поворотами и изгибами как по падению, так и по простиранию трещин, часто приоткрыты. Крупные зерна и включения трещинами отрыва обычно не пересекаются, а огибают-

ся. В однородных тонкозернистых породах поверхность трещин отрыва может быть гладкой.

Для установления соотношения документируемой трещины с другими (графа 15) необходимо проследить, если это возможно в пределах изучаемого участка, выклинивается ли трещина или упирается в другую. Важно также установить характер пересечения данной трещины с другими трещинами — пересекаются ли они без смещения или смещают друг друга. В последнем случае надо подробно описать характер и амплитуду смещения. Если порода имеет вдоль трещин кайму изменения глубинными процессами или выветриванием (графа 16), то описываются состав ее, состояние и мощность.

Таблица 4-3

Главные генетические типы трещин горных пород

Генетические типы трещин и условия их образования	Характерные признаки трещин
1. Трещины первичной отдельности в магматических породах; образуются в процессе остывания магмы.	Располагаются обычно строго закономерно и образуют геометрически правильную отдельность породы
2. Трещины первичной отдельности в осадочных породах; образуются в процессе диагенеза осадка	Образуют многогранные блоки или плитки, форма которых зависит от состава пород
3. Трещины напластования; образуются в процессе накопления и диагенеза осадка	Образуют плитчатую отдельность; толщина плит зависит от состава пород и условий их образования
4. Тектонические трещины; образуются в результате тектонических движений земной коры	Крупные трещины глубоко рассекают серию пластов, образуя зоны разлома со смещением блоков. Более мелкие трещины связаны со складками слоев
5. Трещины бортового и донного отпора; образуются в бортах и дне долин в результате разгрузки напряжений в породе	Трещины бортового отпора субпараллельны долинам, почти отвесны; отчленяют на бортах крупные массивы Трещины донного отпора образуют в дне долины пологонаклонные ослабленные зоны
6. Трещины выветривания; образуются в результате проникновения агентов выветривания по трещинам различного происхождения	Характеризуются невыдержанностью общей ориентировки; глубина распространения обычно небольшая

Генетический тип трещин (графа 17) устанавливается на основании полной характеристики трещин и анализа соотношения трещин с геологической структурой: элементами складки или линейными структурами течени и тектоническими нарушениями. Сначала устанавливается основной генетический тип трещины, а затем принадлежность ее к тому или иному подтипу и виду (табл. 4-3). Наиболее отчетливо могут быть выделены

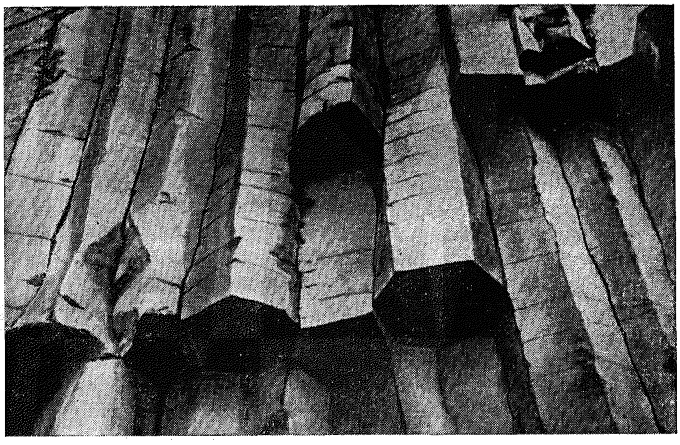


Рис. 4-7. Трещины отдельности в базальтах.

трещины первичной отдельности в эффузивных породах, так как они обычно разделяют породу на весьма характерные, иногда геометрически правильные блоки (рис. 4-7).

Если трещина имеет особенности, не учтенные графами таблицы, то их следует приводить в примечании. К таким особенностям могут относиться обводненность трещины, карстовые проявления, переход трещины в стилолит и пр. Кроме того, в примечании можно отметить различные предположения, а также указать невыясненные вопросы.

При изучении мелких карстовых форм и кавернозности необходимо выявлять: приуроченность кавернозности к определенным формам рельефа, горизонтам карбонат-

ных пород, линиям дислокаций и зонам повышенной трещиноватости; общую ориентировку в распределении каверн, размеры, форму и выполнение каверн; взаимосвязь каверн между собой и с трещиноватостью; прослеживаются ли каверны в глубину или быстро затухают. Общий вид кавернозной породы фотографируется и зарисовывается. Для количественной оценки кавернозности производятся специальные зарисовки, которые составляются аналогично зарисовкам трещиноватости (§ 3-1).

б) Изучение трещиноватости по керну и путем осмотра стенок буровых скважин

Керн колонковых скважин диаметром 76—150 мм является наиболее массовым материалом, получаемым при изысканиях для гидротехнических сооружений на всех стадиях проектирования. Поэтому важно использовать его для изучения и оценки трещиноватости и сохранности пород в массиве. Изучение керна ведется по двум направлениям: непосредственное изучение трещин в керне и оценка трещиноватости пород по выходу и состоянию керна.

Трещины, рассекающие горную породу, проявляются обычно в керне в виде плоскостей, по которым керн расчленяется в процессе бурения или после подъема на дневную поверхность. Успешное изучение трещин по керну может быть выполнено лишь в том случае, если возможно определение элементов залегания трещин, для чего керн надо ориентировать по странам света. Если керн не ориентирован, то при бурении вертикальных скважин можно получить лишь представление об угле наклона трещин, без какой-либо ориентировки их по азимуту, в керне же наклонных скважин невозможно даже определить угол наклона трещины.

Для получения ориентированного керна существуют специальные приборы. Однако получение ориентированного керна этими приборами трудоемко и дорого, к тому же ориентированным получается лишь один, первый в рейсе кусок керна. Ввиду этого нельзя рекомендовать использовать этот метод для изучения трещиноватости пород.

При определенных геологических условиях поднятый из скважины керн можно ориентировать на дневной

поверхности, когда породы обладают какими-либо маркирующим текстурным признаком, который характеризуется постоянством азимутов и углов падения на изучаемом участке и позволяет ориентировать кусок керна в пространстве.

В осадочных, метаморфических и эффузивных породах такой текстурной особенностью может служить слоистость, в интрузивных — полосчатость и линейность. Особенно благоприятными в структурном отношении для изучения трещиноватости по скважинам являются участки моноклинального залегания пород и крылья крупных складок, сложенные слоистыми породами.

Ориентировать керн в пространстве по текстурному признаку и производить замеры элементов залегания трещин можно при помощи несложных приборов, одним из которых является гониометр конструкции В. Н. Бадухина, используемый в Саянской экспедиции Ленгидропроекта [Л. 26].

Изучение трещиноватости пород путем осмотра и фотографирования стенок скважин основано на применении специальных устройств, предназначенных для дистанционной передачи изображения стенок скважин на дневную поверхность.

Простейшим прибором, используемым для этих целей, является буроскоп. Он состоит из опускаемых в скважину осветителя и зеркала, расположенного под углом 45° к оси скважины. Рассматривание стенки скважины осуществляется с поверхности при помощи бинокля. Получаемая информация о состоянии пород по стенкам скважин носит качественный характер, так как можно лишь обнаружить трещины, каверны и другие особенности горных пород, но получить количественную оценку рассматриваемых объектов почти невозможно.

Прибор РВП (радиальный внутренний перископ) предназначен для осмотра внутренних поверхностей глубоких отверстий и труб. Габариты прибора в зависимости от марки рассчитаны на отверстия диаметром от 30 до 400 мм и глубину от 1,5 до 30 м. Прибор РВП представляет собой перископную систему и состоит из нескольких сочленяемых оптических труб, окуляра, патрона освещения и центрирующих колец. На наружной поверхности оптических труб нанесена шкала, позволяющая точно отсчитывать расстояние до наблюдаемого в трубе объекта.

При помощи прибора РВП хорошо просматриваются трещины и пустоты, определяются характер заполнителя, цвет и текстура пород. Установив масштаб увеличения, можно определить линейные размеры объектов, видимых в поле зрения. Работа с прибором РВП ведется двумя исполнителями: один производит наблюдения и диктует результаты, другой записывает их, фиксирует глубину и ориентировку поля зрения и строит масштабную зарисовку. Документация сопровождается геологическим описанием породы. Элементы залегания трещин определяются графически по масштабной зарисовке.

в) Обработка материалов по изучению трещиноватости

Обработка материалов по изучению трещиноватости может производиться графическим и статистическим методами, дающими возможность показать существование статистических закономерностей в ориентировке, раскрытии, частоте и других особенностях развития трещин. Наиболее распространенными формами графического изображения результатов изучения трещиноватости горных пород являются:

графики в прямоугольной системе координат;
диаграммы-розы;
лучевые круговые диаграммы;
круговые диаграммы точечные и в изолиниях;
карты трещиноватости.

Для составления графиков и диаграмм трещиноватости необходимо все собранные полевые данные замеров трещин систематизировать в таблицы трещиноватости, которые составляются как по отдельным пунктам (обнажения, карьеры, штольни и т. п.), так и по участкам (сводные таблицы), объединяющим пункты, находящиеся в аналогичных геолого-структурных условиях.

В сводной таблице трещины систематизируются по простиранию или падению (табл. 4-4). В ней приводятся замеры азимутов падения трещин (графа 3) и истинные азимуты падения, пересчитанные на магнитное склонение (графа 4), а также азимуты простирания в северных румбах (графа 5).

Таблица распределения трещины по простиранию составляется по материалам сводной таблицы. В этой таблице фактические замеры трещин по простиранию распределяются в вертикальных графах по интервалам

Таблица 4-4

Сводная таблица замеров трещин гранитного массива, магнитное склонение восточное 9°

№ пп.	№ обнажения	Азимут падения		Азимут простирания	Угол падения	Примечание
		по замеру	истинный			
1	4	СВ 2°	СВ 11°	СЗ 281°	58°	
2		СВ 20	СВ 35	СЗ 305	62	
3		СВ 43	СВ 52	СЗ 322	58	
4		СВ 50	СВ 59	СЗ 329	55	
5		СВ 65	СВ 74	СЗ 344	73	
6		СВ 50	СВ 68	СЗ 338	50	
7		СВ 68	СВ 77	СЗ 347	75	

азимутов 10°. Два крайних интервала берутся по 5°, что необходимо по условиям построения диаграмм. В эти графы вписывается количество фактических замеров трещин. Слева в боковой графе дается также краткая характеристика трещин (генезис, ширина, выполнение). В правой части таблицы помещаются две итоговые графы: сумма замеров по каждому типу трещин и сумма замеров по каждому типу трещин, выраженная в процентах от общего числа замеров.

Таблица трещин по элементам залегания составляется для выяснения преобладающего угла наклона трещин, что важно для их инженерно-геологической характеристики. В вертикальных графах этой таблицы также дается распределение фактических замеров трещин по интервалам азимутов простирания 10°, а в горизонтальных — распределение фактических замеров трещин по углам наклонов плоскостей трещин. В правой части таблицы даются сумма замеров по углам наклона и процентное соотношение их, а также отмечается генетический тип трещин, для которого характерен данный угол наклона.

Описанные таблицы приведены в [Л. 26]. По их данным составляются диаграммы-розы и графики трещиноватости по простиранию и падению трещин.

Диаграммы-розы. Достаточно наглядными диаграммами являются розы простирания трещин, построенные по методу Клооса (рис. 4-8). На этих диаграммах отчетливо выявляются преобладающие простирания трещин. Однако использование их рекомендуется

при развитии преимущественно вертикальных или близких к ним трещин. При составлении розы трещин количество замеров должно быть не менее 35—50. При наличии 50 замеров форма розы трещин становится достаточно устойчивой и мало изменяется с присоединением новых замеров.

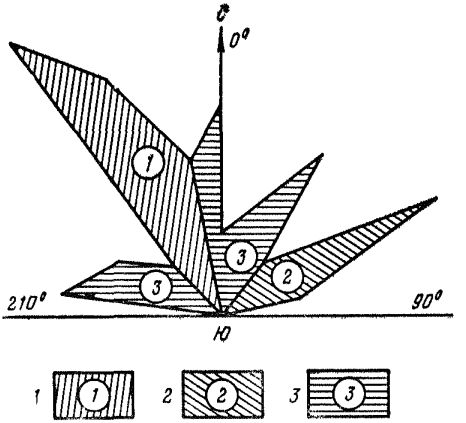


Рис. 4-8. Диаграмма-роза трещин гранитного массива.

1 — тектонические трещины зияющие, расширенные выветриванием; *2* — тектонические трещины заполненные; *3* — трещины первичной отдельности волосные, местами закрытые.

Диаграмма на сетке равноплощадной проекции Вальтера Шмидта. Эта диаграмма получила наиболее широкое распространение в инженерной геологии при обработке материалов по трещиноватости. При составлении диаграмм трещиноватости в изолиниях обычно используют готовую сетку с диаметром круга 20 см, на которую накладывается калька. В целях свободного вращения калька прикрепляется иглой в центре круга к сетке, служащей трафаретом. На кальку с сетки трафарета переводятся внешняя окружность и верхний вертикальный радиус, равный 10 см, а также градусная шкала по окружности и радиусу через 10°. Последний разбит на отрезки по величине угла падения трещин от 0° в центре сетки до 90° на окружности. На окружности кальки в любом месте диаграммы наносится стрелочка, служащая для отсчетов азимутов падения по градусной шкале на окружности диаграммы. Для

нанесения точки, характеризующей на диаграмме элементы залегания трещины, кальку поворачивают до положения, при котором стрелочка, помеченная на ее окружности, совпадает с замером азимута падения трещины. При этом положении, когда стрелочка на кальке совмещена с азимутом падения трещины, по размеченному вертикальному радиусу сетки трафарета на кальку наносится точка, соответствующая значению угла падения трещины.

Точки, попадающие на внешний большой круг, т. е. соответствующие вертикальным трещинам, могут наноситься как на одну сторону большого круга, так и на противоположную сторону его, так как у вертикальных трещин при широтном простирании имеются два азимута падения — на север 0° и на юг — 180°, но на диаграмму наносится только одна точка — любая из них. В результате нанесения на кальку всех замеров, полученных при изучении трещиноватости данного участка или обнажения, получают точечную диаграмму, которую подвергают дальнейшей обработке.

Обычно на практике применяется способ построения изолиний, позволяющий сопоставлять диаграммы, основанные на разных количествах замеров. Для этого цифровые значения плотности точек на единицу площади выражаются в процентах относительно общего количества замеров, нанесенных на диаграмму. Количество точек на единицу площади диаграммы определяется с помощью трафарета, сделанного из плотной бумаги, в котором вырезано круглое отверстие диаметром 2 см. Площадь его составляет 1% от площади всей диаграммы. При подсчете точек, расположенных в пределах отверстия, центр кружка совмещают с пересечениями сетки. Определив количество точек, вычисляют их плотность в процентах для каждого узла сетки и надписывают его цифрой у пересечения сетки.

Изолинии проводятся через однозначные величины процентов аналогично построению горизонталей в первом случае. Следует иметь в виду, что если диаграмма составлена правильно, то на противоположных концах диаметров ее в точках пересечения их окружностью должны быть изолинии, характеризующие одинаковые плотности точек (процентов) [Л. 26].

Составленная таким образом диаграмма в изолиниях дает возможность определять средние значения углов и

азимутов падения трещин различных систем, простираний их, а также пределы разбросов ориентировки единичных трещин (рис. 4-9).

Средние значения углов и азимутов падения трещин различных систем устанавливаются на диаграмме по центрам максимумов плотностей точек. При этом сле-

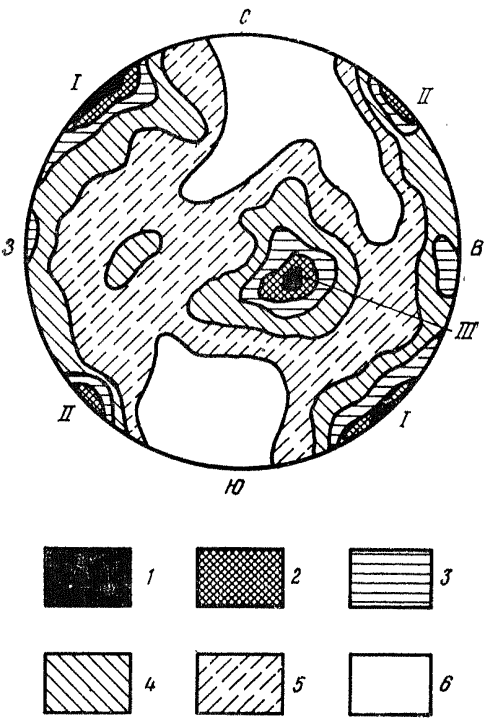


Рис. 4-9. Круговая диаграмма трещиноватости в изолиниях.
На диаграмме видны три системы трещин: *I—I*; *II—II* и *III—III*. Процентное содержание трещин: *1* — 6—5%; *2* — 5—4%; *3* — 4—3%; *4* — 3—2%; *5* — 2—1%; *6* — 1—0%.

дует всегда учитывать и пределы разбросов для каждой системы. Установив таким образом среднее значение азимутов падения различных систем путем пересчета на 90°, определяют средние значения их простирания. Розы простираний трещин, составленные таким способом, являются весьма наглядным дополнением к круговым диаграммам в изолиниях при использовании последних для

решения различных инженерно-геологических задач, например при определении распределений направлений максимальных напряжений от сооружений и пр.

г) Определение коэффициента трещинной пустотности

Коэффициент трещинной пустотности численно равен процентному отношению площади трещин к площади изучаемого обнажения породы. Для его определения в различных геолого-структурных условиях и различных литологических разновидностях пород выбираются для описания небольшие площадки, размер которых определяется в основном характером и размером трещин, а также их частотой. Для мелкой волосной трещиноватости достаточна площадка размером 1 м^2. При наличии же редких трещин появляется необходимость выбирать площадки размером от 4 до 16 м^2.

Для того чтобы избежать искажающего влияния ориентировки, рекомендуется вместо введения поправок, которые в ряде случаев искажают конечные результаты, производить изучение трещиноватости на наиболее разнообразно ориентированных плоскостях обнажений.

Для уточнения и проверки результатов исследований трещиноватости в обнажениях необходимо использовать имеющиеся горные выработки — канавы, шурфы и штольни, в которых кроме уточнения качественной характеристики трещиноватости следует замерять трещины по трем взаимно перпендикулярным направлениям. При отсутствии выработок последние следует специально задавать в наиболее важных для изучения трещиноватости участках.

Выделенная для изучения трещиноватости площадка обнажения фотографируется с последующим дешифрированием или зарисовывается в заданном масштабе на миллиметровке, при этом фиксируются все встреченные в пределах этой площадки трещины (рис. 4-10). Последние нумеруются и каждая под своим номером описывается согласно форме журнала (табл. 4-2).

Указанные в таблице данные служат материалом для количественной оценки трещиноватости. Для этого составляется расчетная таблица, в которой все зафиксированные трещины классифицируются по ширине на несколько групп (табл. 4-5). Сумма произведений количества трещин каждой группы на средние ширину и длину

Таблица 4-5

Пример определения коэффициента трещинной пустотности

а) Полевой журнал описания трещин

№ трещин	Генетический тип трещин	Элементы залегания трещин			Протяженность, м	Ширина трещин, мм	Выполнение трещин	Характер поверхностей стенок	Примечание
		падения, град	азимут падения, град	азимут простирания, град					
1	Отдельности	60	330	60	2	2—10 (5)			
2	»	80	310	40	2,2	10—25 (20)			
3	»	88	330	60	2	2—5 (3)			
4	Бортового отпора по трещинам первичной отдельности								
5	Выветривания	34	225	55	2	5—10			
6	»	26	325	55	1	2 (0,5)			
7	»	5	295	25	1,1	2			
8	»	6	330	60	2	2			
9	»	4	290	20	0,7	2			
10	»	40	325	55	0,6	2—10 (5)			
11	»	20	105	15	1	2—10			

Продолжение табл. 4-5

№ трещин	Генетический тип трещин	Элементы залегания трещин			Протяженность, м	Ширина трещин, мм	Выполнение трещин	Характер поверхностей стенок	Примечание
		падения, град	азимут падения, град	азимут простирания, град					
12	Выветривания	15	305	35	0,7	2			
13	»	34	315	45	1	2			
14	Плоскость отдельности	86	310	40		2			

б) Количественная оценка трещиноватости на площади 4 м²

Показатели	Ширина трещин, мм				
	2	2—5	2—10	10—25	30—100
Количество трещин	6	1	4	1	1
Средняя ширина трещин, мм	1	3	5	20	70
Средняя длина трещин, м	1	2	1,4	2,2	2
Общая площадь трещин, м²	6×0,01×1= =0,006	1×0,03×2= =0,006	4×0,005× ×1,4=0,028	1×0,02×2,2= =0,044	1×0,07×2= =1,140

Примечание. На 4 м² — 0,224 м²; 1 м² — 0,056 м², или 5,6%. Коэффициент трещинной пустотности — 5,6%.

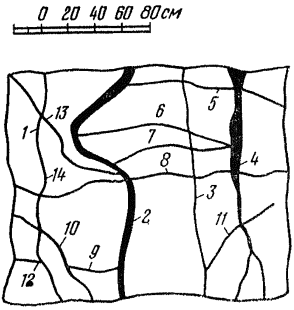


Рис. 4-10. Зарисовка трещин на обнажении.
1—14 — номера трещин.

составит общую поверхность трещин для изучаемой площадки, выраженную в квадратных метрах. Эта величина, отнесенная в процентах к площади, выраженной также в квадратных метрах, даст коэффициент трещинной пустотности.

Глубина трещин не входит в расчет коэффициента трещинной пустотности, но учитывается каждый раз при оценке трещиноватости как качественный фактор.

Определение указанным способом коэффициента трещинной пустотности производится для трещин шириной не свыше 1 м. Более широкие трещины должны учитываться каждая в отдельности при съемке и наноситься на карту.

4-5. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

а) Полевая камеральная обработка материалов

Все наблюдения, сделанные в процессе съемки, должны систематически обрабатываться еще в период полевых работ. Это необходимо для систематизации наблюдений, уточнения дальнейшего направления работ и использования предварительных данных для текущего проектирования. Обработка материалов производится в вечерние часы ежедневно, а также в ненастные дни, когда нельзя работать в поле. Продолжительность дневной работы в поле должна быть такой, чтобы вечером хватило времени для подведения итогов работы за день и для приведения в порядок всех собранных материалов. В период полевой камеральной обработки выполняются следующие работы.

Собранные коллекции просматриваются, макроскопически описываются и сокращаются за счет лишних образцов. При этом уточняются с помощью полевых лабораторий петрографические, палеонтологические и

минералогические определения, а также физико-механические свойства пород. Составляется журнал всех отобранных образцов, в котором указывается номер и место взятия образца, дается краткое описание породы и отмечается необходимость тех или иных исследований. Отбираются и отправляются образцы и пробы пород на лабораторные исследования.

Производится уточнение геологического и геоморфологического дешифрирования на основании признаков, проверенных в маршрутах. Результаты дешифрирования вычерчиваются с разделением геологических границ по степени их достоверности. Чтобы не портить фотосхемы и стереофотоснимки, на них наносятся только границы, а геологическая раскраска, индексы и прочие знаки показываются на прозрачной восковке, подклеиваемой к фотоснимку.

Геологические границы и другие обозначения обводят тушью и закрашивают цветными карандашами как на черновой (используемой в маршруте), так и на чистой (находящейся в камеральном бюро) карте с учетом всех материалов дешифрирования. На основании данных топографических привязок уточняется на картах местоположение точек наблюдений и их абсолютная высота.

Составляются разрезы разведочных выработок, геологические разрезы и геоморфологические профили, колонки стратиграфических разрезов по отдельным участкам района, а также другие графические материалы, необходимые для текущей работы. Проявляются и печатаются фотоснимки и производится их дешифрирование и увязка с местностью.

По мере накопления материала, но не реже чем через 3—5 дней руководителем работ делается обобщение по изученному участку и вносятся поправки в сделанные ранее заключения. Эти краткие обобщения желательно сопровождать схемами, блок-диаграммами, геологическими разрезами и другими графическими материалами, поясняющими сделанные выводы.

б) Камеральная обработка материалов и составление отчета о съемке

Окончательная обработка материалов съемки производится после завершения всех полевых работ. Все коллекции образцов, собранные во время полевых работ,

должны быть полностью описаны и обработаны, а горным породам и органическим остаткам следует дать научное определение в соответствии с результатами лабораторных исследований. На основании данных исследований уточняются также физико-механические свойства пород и химический состав подземных вод.

Полевые записи (дневники, журналы разведочных выработок и пр.) редактируются, уточняются и дополняются окончательными определениями проведенных исследований горных пород, подземных вод и фауны. В соответствии с этими уточнениями дополняются разрезы разведочных выработок, пройденных для обоснования съемки.

Отпечатываются отобранные для отчета фотоснимки и делается их соответствующая обработка (наносятся надписи и пр.). Проводится обработка материалов изучения физико-механических свойств горных пород и составляются сводные таблицы и графики этих свойств по выделенным типам пород. Проводится обработка материалов изучения тектоники, неотектоники и трещиноватости горных пород и составляются соответствующие схемы и графики. Обрабатываются результаты гидрогеологических наблюдений и гидрохимических исследований и составляются схемы, сводные таблицы и графики, отражающие их результаты. Обрабатываются с необходимой полнотой материалы геоморфологических наблюдений и изучения развитых в районе физико-геологических явлений.

Отдешифрированные ранее аэрофотоматериалы и материалы фототеодолитной съемки в камеральный период подвергаются дополнительному изучению с внесением в них необходимых уточнений и в окончательном виде используются для составления геологических, инженерно-геологических, геоморфологических и других карт.

Содержание отчета об инженерно-геологической съемке и входящих в его состав карт разрезов и других графических приложений существенно зависит от масштаба съемки, геологического строения района, а также от задач, поставленных перед съемочными работами. Поэтому ниже излагаются наиболее общие требования к содержанию отчетных материалов, которые могут несколько видоизменяться в зависимости от конкретных условий.

Отчет о инженерно-геологической съемке составляется в конце камерального периода, но материалы к не-

му должны готовиться в процессе всех геологосъемочных работ. Отчет должен состоять из текстовой части, карт и других фактических приложений, фактического материала.

Текстовая часть отчета должна содержать следующие разделы: 1. Введение. 2. Орогидрография и климат. 3. Геологическое строение (стратиграфия, литология, тектоника). 4. Гидрогеология. 5. Геоморфология и история развития долины. 6. Физико-геологические явления. 7. Трещиноватость и выветривание горных пород. 8. Физико-механические свойства горных пород. 9. Результаты специальных исследований (новейшей тектоники, сейсмичности и пр.). 10. Строительные материалы. 11. Заключение и инженерно-геологические выводы. 12. Список использованных материалов.

Основными графическими приложениями к отчету являются:

1. Карта фактического материала.
2. Геолого-литологическая карта.
3. Карта четвертичных отложений и элементов геоморфологии и гидрогеологии.
4. Специализированные карты, дополняющие своим содержанием инженерно-геологическую характеристику района (структурно-тектоническая, кровли коренных пород, гидрогеологическая, гидрохимическая и пр.).
5. Сводная стратиграфическая колонка.
6. Схема четвертичных отложений и соотношения террас.
7. Геологические и специализированные разрезы.
8. Графики, отражающие результаты исследований физико-механических свойств пород, химического состава воды и пр.
9. Альбомы фотографий.

К отчету прикладываются отредактированный и систематизированный фактический материал: описания обнажений, разрезы разведочных выработок, списки или паспорта источников и других водопунктов, таблицы лабораторных исследований проб пород и воды и пр. Основные правила оформления и составления графических приложений рассматриваются в гл. 9.

Глава пятая
РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

5-1. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ДОКУМЕНТАЦИИ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Бурение скважин и проходка горных выработок сопровождаются инженерно-геологической документацией, целью которой является геологическое и гидрогеологическое описание пройденного разреза и производства буровых и горных работ. Достоверность инженерно-геологических материалов в значительной степени зависит от правильности выбора мест заложения разведочных выработок, их конструкций и способов проходки, методики отбора образцов и проб, а также от правильности ведения гидрогеологических наблюдений и опытов. Каждый вид разведочной выработки и способ ее проходки имеет свои особенности документации, которые описаны в § 5-2 и 5-3. В настоящем параграфе изложены наиболее общие правила полевой документации разведочных работ.

Разбивка на местности разведочных выработок, как правило, производится инструментально по схеме, выданной геологом топографу. Глазомерная разбивка допускается лишь в тех случаях, когда выработки не приурочиваются к каким-либо определенным линиям, а задаются на характерных точках (при геологической съемке, при поисках строительных материалов и пр.). В условиях пересеченной местности при отсутствии крупномасштабной топографической карты геологу совместно с топографом необходимо перед выносом точек на местность провести рекогносцировку участка работ и уточнить направления основных разведочных линий и местоположение первоочередных выработок.

Перед началом проходки разведочной выработки геолог должен проверить правильность ее расположения и в случае переноса выработки поставить об этом в известность топографа. Особенно внимательно следует относиться к назначению и выносу на местность выработок по вновь намеченным створам плотин и трассам линейных сооружений, а также разведочных шахт, штолен, глубоких буровых скважин и выработок, имеющих специальное назначение (гидрогеологических, геотехнических и пр.).

Привязка выработок в плановом и высотном отношении производится инструментально. Исключения могут составить лишь неглубокие шурфы, канавы и скважины, проходимые при мелкомасштабной инженерно-геологической съемке, которые могут привязываться глазомерно. Результаты привязки выдаются топографом в виде ведомости их координат и абсолютных отметок устья выработок. По крупным объектам изысканий при большом количестве выработок они, кроме того, наносятся топографом на жесткую основу-планшет или подрамник, обтянутый ватманской бумагой, на которой нанесена координатная сетка.

Нивелирование устья разведочной выработки может производиться или до ее проходки, одновременно с разбивкой, или после того, как начата проходка. В первом случае нивелируется колышек диаметром 5 см и длиной 0,5 м, который забивается у сторожка и возвышается над землей на 1—2 см. Во втором случае нивелируется брус, зарытый вровень с поверхностью земли, от которого производятся измерения в процессе проходки выработки. Для штолен отметки берутся на полу выработки и определяются в начале и в конце ее, а в случае большой длины и в промежуточных точках. После проходки штольни инструментально определяется и наносится на карту ее плановое положение.

У буровых скважин, в которых ведутся стационарные наблюдения за уровнем подземных вод, помимо устья нивелируется нулевая точка, от которой производятся все измерения. Для обеспечения необходимой точности в этих случаях проводится периодическая проверка неизменности высотного положения нулевой точки.

Нивелирование устья выработок обычно производится с точностью до 2 см, и только выработки, предназначенные для кустовых опытных откачек или для режимных гидрогеологических наблюдений, нивелируются с точностью до 1 см.

Нумерация всех видов инженерно-геологических выработок устанавливается единая для всего объекта изысканий. Каждой из них независимо от вида и назначения, дается очередной номер по каталогу. При разбивке выработки на сторожке пишется сокращенное ее наименование (скв. — скважина, ш. — шурф, шт. — штольня) и номер. На устанавливаемом после ликвидации выработки закрепительном знаке пишется наименование

организации, наименование и номер выработки и год ее проходки.

Полевая документация разведочных работ проводится техником-геологом. Для ведения ее техник должен иметь следующие принадлежности: рулетку, деревянный метр, прибор для измерения уровня воды, специальные термометры для измерения температуры воды и воздуха, часы, горный компас (при документации горных выработок), ящики для укладки образцов пород, мешочки или ящики для отбора проб на лабораторные исследования, консервирующий сплав и марлю для упаковки монолитов, бюксы для отбора проб грунта на влажность, нож для очистки керна и вырезки монолитов, ведро для мытья керна скальных пород, бланки документации (этикетки, журналы, альбомы для зарисовки разреза горной выработки или керна).

Документация разведочных выработок ведется в соответствии с формами полевой документации, принятыми в данной организации. Примерные формы записи наблюдений для каждого типа разведочной выработки приведены в приложениях II и III.

В журнале указываются также следующие основные сведения: номер разведочной выработки, ее местоположение, абсолютная отметка устья, объект разведки, схематический план расположения выработки, азимуты стенок шурфа, сечение, глубина, способ проходки и система крепления; сведения об отобранных образцах пород, проб грунта и проб воды для лабораторных исследований; данные о водоотливе, опытных откачках и опытных наливах и полевых опытах по испытанию грунтов; дата начала и окончания проходки выработки.

Образцы пород, отбираемые из разведочных выработок, укладываются в ящики принятого размера. Каждый образец снабжается этикеткой по установленной форме; кроме того, на ящике над образцом надписывается его порядковый номер по выработке и интервалы глубины, с которого он взят. При колонковом бурении указывается также длина поднятого керна и процент его выхода. На правой торцевой стороне ящика и на его крышке должны быть сделаны следующие надписи: наименование экспедиции или партии, объект, наименование и номер выработки, номер ящика по выработке, интервал глубины, с которого отобраны образцы, помещенные в ящике, и интервал их номеров.

Ящики для образцов должны быть достаточно прочными и не иметь щелей, чтобы избежать потерь образцов или их мелких фракций. Во избежание загрязнения образцов ящики всегда должны быть закрыты крышками. Следует избегать большого скопления ящиков с образцами на разведочных выработках и периодически отправлять их в кернохранилище. При перевозке ящиков с образцами крышки должны быть прибиты гвоздями.

Образцы ударного и других видов бурения, не имеющие форму керна, укладываются в ящики, разделенные на 20 ячеек размером 10×10×10 см, расположенных в два ряда. Образцы колонкового и других видов бурения, дающие керн, укладываются в ящики, имеющие продольные перегородки, расстояние между которыми зависит от диаметра керна. Между отдельными подъемами керна вставляются деревянные бирки. Длина ящика (внутри) должна составлять 1 м, а ширина —30—50 см. Образцы, отбираемые из горных выработок, могут укладываться в ящики с ячейками.

При документации буровых скважин представление о геологическом разрезе может быть составлено главным образом на основании образцов пород, поднятых из скважины и лишь частично может быть дополнено каротажем, осмотром скважины с помощью буроскопа и телевизионных приборов и другими косвенными методами наблюдений (§ 4-4). Поэтому надо очень тщательно следить за тем, чтобы отобранные образцы горных пород и их описание в буровом журнале наиболее полно отражали состав и состояние пород, пройденных скважиной. При полевой документации в буровом журнале дается описание каждого образца, а послойное описание разреза делается после, при окончательной камеральной обработке. В отличие от этого при документации открытых горных выработок, в которых виден весь разрез пройденных пород, в поле делается послойное описание его и зарисовка, а отобранные при этом образцы служат для контрольных определений.

При ударном и других видах бурения, не дающих керна, образцы пород отбираются в однородной породе с интервалом 0,5 м и при каждой смене породы. Для получения наиболее достоверных образцов надо соблюдать следующие условия: в осыпающихся и оплывающих породах забой скважины не должен опережать обсадку труб; после обсадки труб на большом интервале или

тампонажа скважины забой ее должен быть тщательно зачищен, после чего только могут отбираться образцы; при бурении глинистых пород следует применять такие инструменты, которые в наибольшей степени сохраняют их структуру; при бурении желонкой песчано-гравелистых пород необходимо следить за тем, чтобы образец правильно отражал фракционный состав породы; за один рейс бурения проходить не больше длины рабочего наконечника. Для того чтобы не допустить каких-либо маломощных, но важных прослоев и включений, необходимо при отборе образцов тщательно осматривать всю поднятую из скважины породу.

При колонковом бурении отбирается весь керн, поднятый из скважины. Керн скальных пород должен промываться от шлама (перетертой породы), а глинистых пород — очищаться ножом. Каждый столбик керна должен быть пронумерован и ориентирован стрелкой. Надписи на керне могут быть сделаны карандашом или эмалевой краской. Обломки керна укладываются так, чтобы объем их отвечал объему нормального керна. Если керна мало и значительная часть породы достается в виде бурового шлама, то шлам укладывается вместе с керном.

После укладки измеряется длина поднятого керна (вместе с обломками) и вычисляется процент его выхода (шлам в расчет не принимается). Керн описывается и зарисовывается в масштабе 1:25—1:50 или фотографируется. Необходимо соблюдать такой режим бурения, чтобы выход керна был достаточно высоким. При извлечении керна из колонковой трубы надо следить за тем, чтобы сохранить естественный порядок расположения его столбиков и кусков и их ориентировку.

Описание образцов пород должно производиться тут же по извлечении их из буровой скважины или из горной выработки, пока порода не изменила первоначальный цвет, влажность и другие свойства. В процессе бурения необходимо отмечать в журнале все изменения состава и состояния пород, которые замечаются по буровому инструменту: провалы инструмента, появление мягких или твердых прослоев, валунов и пр.

Гидрогеологические наблюдения в процессе бурения должны выявить водоносные горизонты и дать материал для общей их оценки. Во время бурения разведочных скважин необходимо следить за изменением влажности

породы, а при появлении воды или при резком изменении ее уровня бурение должно быть остановлено и проведены наблюдения за восстановлением уровня до полной его стабилизации. Если вода переливается через устье скважины, то для измерения ее пьезометрического уровня необходимо нарастить обсадные трубы или установить тампон. Каждый перерыв в бурении должен быть использован для наблюдений за уровнем подземных вод. Поэтому после каждого подъема и перед каждым спуском бурового инструмента измеряется уровень воды в скважине. Для получения наиболее достоверных данных о водоносных горизонтах необходимо в процессе бурения соблюдать следующие условия: водоносные горизонты должны изолироваться друг от друга обсадными трубами, а в отдельных случаях при переходе на новый диаметр бурения должен быть сделан тампонаж; при ударном бурении подливать воду в скважину разрешается только в особых случаях, и это должно быть отмечено в буровом журнале; при колонковом бурении с промывкой нельзя применять глинистый раствор. При колонковом бурении

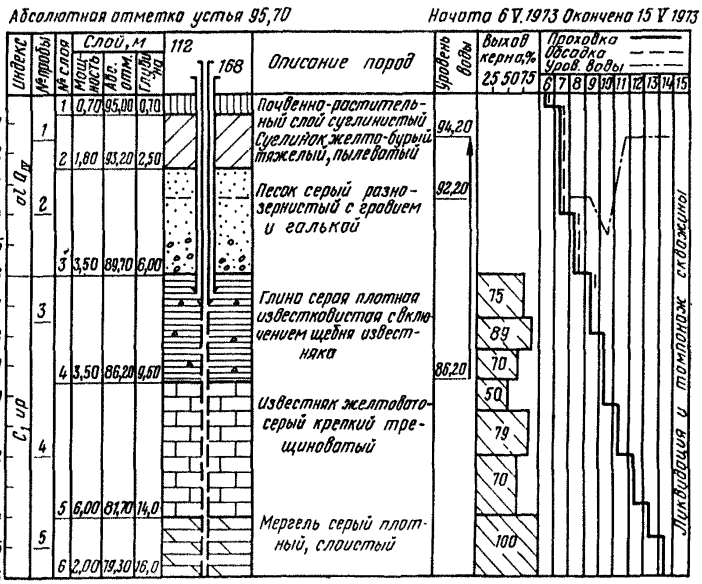


Рис. 5-1. Разрез буровой скважины.

необходимо следить за поглощением промывных вод и учитывать их потери.

Отбор проб воды для химических анализов из разведочных выработок описан в § 6-7, а отбор проб грунта для лабораторных исследований — в § 7-2.

После окончания бурения разведочной скважины образцы пород и буровой журнал проходят дальнейшую камеральную обработку, которую проводит старший техник под руководством инженера-геолога. Производится проверка и приемка данных полевой документации и делается контрольное послойное описание разреза буровой скважины с окончательным установлением наименования, генетического типа и возраста каждого слоя породы. При этом учитываются записи, сделанные в полевом журнале, а также результаты лабораторных исследований физико-механических свойств пород, их петрографического и химического состава и данные опытно-фильтрационных работ. На основании камеральной обработки материалов составляется разрез буровой скважины (рис. 5-1). По окончании проходки горной выработки производится ее контрольное описание и составляется окончательный разрез (§ 5-3).

5-2. РАЗВЕДОЧНОЕ БУРЕНИЕ

а) Общие сведения о бурении

Разведочное бурение при инженерно-геологических изысканиях ведется с целью изучения геологического разреза, гидрогеологических условий и физико-механических свойств горных пород. Буровые скважины представляют собой выработки круглого сечения, которые проходятся специальными инструментами. При инженерно-геологических изысканиях диаметр буровых скважин обычно принимается от 70 до 250 мм, а глубина — до 100 м. Начало буровой скважины называется ее устем, дно — забоем, а выбуренное пространство — стволом.

Скважины обычно имеют вертикальное направление, но иногда, при крутом залегании пластов горных пород, они проходятся наклонно, под углом до 60° к горизонту. В процессе бурения порода разрушается на забое рабочим инструментом-наконечником и извлекается на поверхность. Во избежание обвала пород и с целью изо-

ляции водоносных горизонтов ствол скважины закрепляется обсадными трубами. В малоустойчивых породах обсадка производится вслед за углублением скважины, а обсадные трубы иногда даже опережают забой. В крепких скальных породах скважины на большую глубину могут проходиться без обсадки.

В зависимости от характера породы и целей разведки выбирается способ бурения и тип наконечника. Различными наконечниками разрушение породы на забое может производиться ударом, вращением или задавливанием рабочего инструмента. При задавливании может применяться вибрация, которая во много раз увеличивает скорость бурения.

Большинство разведочных скважин при инженерно-геологических изысканиях в настоящее время проходится механическим бурением — с помощью специальных станков и лишь небольшая часть — ручным бурением. Рабочий инструмент приводится в движение при ударном бурении с помощью троса или бурильных труб (штанг), а при вращательном бурении или бурении способом задавливания — только с помощью бурильных труб.

Спуск и подъем бурового снаряда осуществляется лебедкой, которая является обязательной составной частью каждого бурового станка. При бурении без станка лебедка устанавливается самостоятельно. Для того чтобы обеспечить выполнение спуско-подъемных операций при бурении скважин и создать необходимые условия для работы буровой бригады, устанавливается буровая вышка. Обычно вышка состоит из копра и бурового здания. Копер может иметь вид деревянной треноги, изготавливаемой из бревен, металлической вышки или мачты. Вверху копра закрепляется блок, через который перекидывается трос от лебедки. Буровое здание в зависимости от климатических условий может представлять собой бревенчатый отапливаемый сарай (тепляк), дощатую будку или просто навес для защиты от дождя. На одной из ног копра устраивается лестница для подъема рабочего на палати и к вершине копра. Неглубокие скважины часто проходятся без вышки или с одним копром.

При бурении инженерно-геологических скважин станками, не имеющими специальных мачт, обычно устанавливаются деревянные копры из трех или четырех ног высотой от 7 до 10 м. У вершины они скрепляются

сквозным болтом (шкворнем), к которому подвешивается блок. Кроме того, во избежание несчастных случаев блок должен быть привязан к вершине копра тросом или цепью. У основания и примерно посередине ноги копра скрепляются рамой из брусьев и, кроме того, для повышения устойчивости к ним прикрепляются раскосы. На верхней раме стелятся палати, с которых производятся работы по спуску и подъему бурового снаряда. При

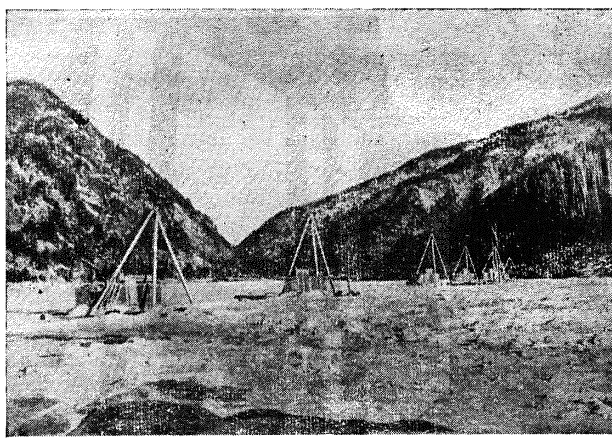


Рис. 5-2. Бурение в русле р. Енисей в створе Саянской ГЭС.

бурении со льда на больших реках буровая вышка устанавливается на бревнах, которые служат ей полозьями и дают возможность передвигать всю установку по льду с помощью трактора (рис. 5-2).

На инженерно-геологических изысканиях применяются следующие виды бурения: ручное ударно-вращательное, ударно-механическое, шнековое, вибробурение, колонковое. Описание их помещено в последующих пунктах.

б) Ручное ударно-вращательное бурение

Ручное ударно-вращательное бурение является малопроизводительным и трудоемким. Поэтому область его применения с каждым годом сокращается, а в ряде

крупных изыскательских организаций оно практически полностью изжито. Этот вид бурения используется главным образом при проходке скважин глубиной 10—12 м в рыхлых и связных породах при инженерно-геологических съемках. В отдельных случаях вручную проходятся скважины глубиной до 20—30 м.

Для бурения скважин глубиной до 12 м и диаметром до 36 мм может использоваться облегченный буровой комплект, так называемый «бур геолога». В остальных случаях применяются нормальные буровые комплекты диаметром 50 мм (2″), 78 (3″), 115 мм (4,5″), 156 мм (6″) и 205 мм (8″). В состав нормального бурового комплекта входят: породоразрушающие инструменты; бурильные трубы (штанги) и принадлежности к ним; обсадные трубы и принадлежности к ним; лебедка; ловильный инструмент.

Таблица 5-1

Основные размеры нормальных буровых комплектов

Наименование инструмента	Диаметр, мм				
Трубы обсадные:					
наружный	60	88	127	168	219
внутренний	50	78	115	156	205
Буровая ложка (наружный)	47	74	108	145	190
Змеевик	45	70	104	140	185
Желонка	44	60	89	95	168
Ударная штанга	42	60	80	100	115

В зависимости от глубины и диаметра скважины, а также от характера проходимых пород состав бурового комплекта может изменяться. Основные размеры нормальных буровых комплектов приведены в табл. 5-1.

Породоразрушающие инструменты, применяемые при ручном ударно-вращательном бурении, приспособлены для проходки любых пород ударным или вращательным способом.

Буровая ложка (рис. 5-3,*а*) состоит из пустотелого цилиндрического корпуса *1* длиной 0,4—0,6 м с продольным вырезом; лезвия *2* и головки с резьбой *3*, которая служит для соединения с бурильными трубами. Ложки применяются для проходки мягких пород — необводненных песков, супесей, суглинков и пр. При вращении лож-

ки порода входит в пустотелый корпус и после заполнения его инструмент поднимается на поверхность и очищается.

Змеевик (рис. 5-3,*б*) представляет собой спиральный бур длиной 0,4—0,6 м. Он применяется для бурения плотных вязких пород — глин, плотных суглинков и пр. При бурении змеевик ввинчивается в породу, а при подъеме она удерживается на его витках и извлекается на поверхность.

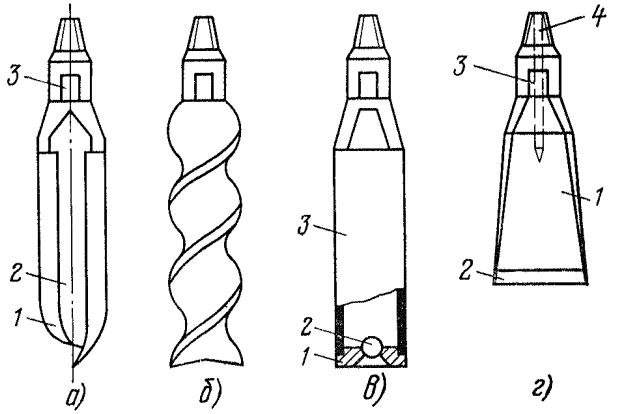


Рис. 5-3. Инструмент ударно-вращательного бурения.
а — буровая ложка; *б* — змеевик; *в* — желонка; *г* — долото.

Желонка (рис. 5-3,*в*) состоит из пустотелого цилиндра *3* длиной от 0,7 до 1,5 м, к которому снизу привинчивается башмак *1*, имеющий шариковый или тарельчатый клапан *2*. Сверху к цилиндру желонки прикреплена вилка, заканчивающаяся резьбой для присоединения к буровому снаряду. Желонка служит для бурения в водонасыщенных песках и галечниках, а также для очистки забоя при бурении крепких пород долотом. При бурении башмак желонки ударяет в забой, клапан ее приподнимается и порода входит внутрь цилиндра. При подъеме снаряда клапан закрывается и порода извлекается на поверхность.

Долота (рис. 5-3,*г*) применяются для бурения в крепких скальных и полускальных породах. Они состоят из лопасти *1*, которая заканчивается лезвием *2*, заостренным под углом 70—120°, шейки *3* и головки с резьбой *4*. В зависимости от особенностей породы применяются

различные виды долот. Плоское и двутавровое долота применяются в крепких слаботрещиноватых породах. Для бурения трещиноватых пород во избежание заклинивания инструмента применяется крестовое долото. Если в породе встречаются валуны, то для раскалывания их и отодвигания в сторону используется пирамидальное долото.

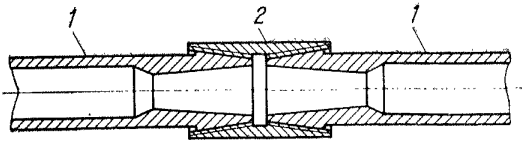


Рис. 5-4. Соединение бурильных труб.
1 — бурильная труба; *2* — соединительная муфта.

Ударная штанга служит для утяжеления бурового снаряда. Она представляет собой массивный стержень, который с обоих концов имеет резьбу для соединения с буровым снарядом. Кроме того, у обоих концов ударной штанги сделаны вырезы под инструментальные ключи или под ударный хомут.

Бурильные трубы (штанги) имеют длину от 2,5 до 4,5 м и диаметр 33,5; 42 и 50 мм. Они соединяются муфтами в свечи — комплекты из 2—3 бурильных труб, свинчиваемых и развинчиваемых при спуско-подъемных операциях (рис. 5-4). Свечи соединяются замками — специальными муфтами с конической резьбой, состоящими из двух половин. Замки имеют прорези под инструментальные ключи и подкладные вилки.

Вращение бурильных труб производится поворотным хомутом — жимками. Он закрепляется на них с помощью винта и переставляется по мере углубления скважины. Для подъема и спуска бурильных труб служат вертлюг, фаршгуль, подкладная вилка, подъемный крюк. Свинчивание и развинчивание бурового снаряда производится специальными ключами. Обсадные трубы изготавливаются длиной

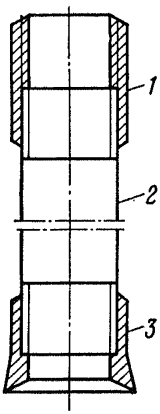


Рис. 5-5. Обсадная труба.
1 — соединительная муфта; *2* — обсадная труба; *3* — башмак.

от 1 до 6 м, диаметры их указаны в табл. 5-1. Колонна обсадных труб соединяется муфтами. На нижнюю трубу навинчивается башмак, который имеет несколько больший наружный диаметр, чем муфты, и гладкий или зубчатый закаленный край (рис. 5-5). При обсадке колонны вращением и ударами башмак предохраняет трубы от повреждений и, фрезеруя породу, облегчает движение труб.

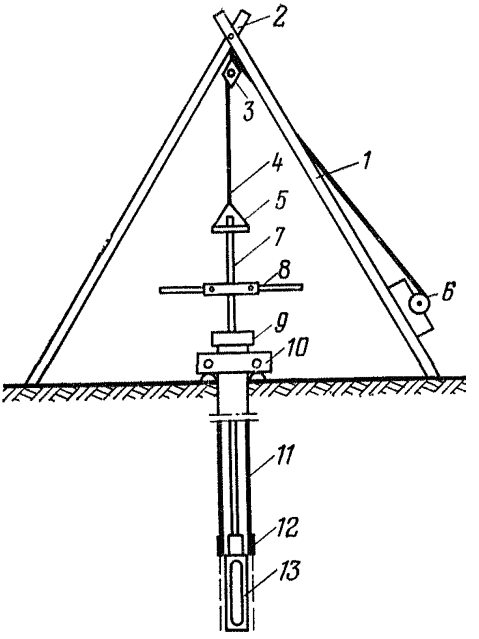


Рис. 5-6. Общий вид установки ударно-вращательного бурения.

1 — копер; *2* — соединительный болт; *3* — блок; *4* — трос; *5* — фарштуль; *6* — лебедка; *7* — бурильная труба; *8* — поворотный хомут-жимки; *9* — универсальная головка (предохранительное кольцо обсадной трубы); *10* — железный хомут; *11* — обсадная труба; *12* — башмак обсадной трубы; *13* — буровая ложка.

Спуск и подъем труб производится с помощью универсальной головки, она же предохраняет верхний конец колонны от повреждений при обсадке труб ударами. Для удержания труб на весу во время спуска и подъема применяются железные хомуты. Вращение колонны труб при их посадке производится деревянными хомутами, которые стягиваются металлическими болтами. Свинчи-

вание и развинчивание обсадных труб производится цепными ключами.

При ручном ударно-вращательном бурении в качестве копра обычно используется деревянная тренога, на которую устанавливается лебедка и прикрепляется балансир для ударного бурения желонкой и долотом. Общий вид установки ударно-вращательного бурения приведен на рис. 5-6.

Для документации бурения отбирают образцы пород и пробы на лабораторные исследования. Образцы берутся не реже чем через каждые 0,5 м и, кроме того, при изменении состава породы. При бурении ложкой или змеевиком образцы берут из самой нижней части инструмента. При бурении желонкой вся поднятая порода высыпается в ящик и берется средняя проба, содержащая все фракции в такой пропорции, в какой они представлены в поднятой породе.

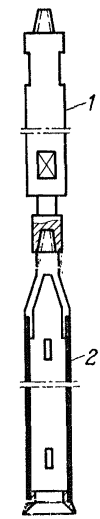


Рис. 5-7. Инструмент ударно-канатного бурения.
1 — ударная штанга; *2* — забивной стакан.

в) Ударно-канатное бурение

Ударно-канатное бурение применяется для проходки разведочных скважин глубиной до 100 м в рыхлых и связных породах. Наиболее эффективно оно может быть использовано при проходке галечников и водонасыщенных песков, так как другие способы бурения в этих породах менее производительны. Проходка этих пород ведется желонкой, подвешенной на тросе. Желонирование производится с помощью специального оттяжного приспособления на буровом станке или обычной фрикционной лебедкой. При этом желонка с небольшой высоты, но со значительной частотой сбрасывается на забой до тех пор, пока не наполнится породой. После этого она поднимается из скважин, очищается и вновь опускается на забой для продолжения бурения.

Бурение глинистых пород производится с помощью забивного стакана (зонда). Погружение его в породу может вестись двумя способами. При первом способе к ра-

бочему тросу подвешивается буровой снаряд, состоящий из забивного стакана и тяжелой ударной штанги (рис. 5-7). Снаряд сбрасывается на забой с большой высоты, зонд при этом углубляется на 0,1—0,2 м и затем извлекается на поверхность.

При втором способе снаряд ударного бурения также состоит из забивного стакана, имеющего в верхней части наковальню, и специального ударного патрона, с помощью которого по рабочему наконечнику наносятся удары. Когда забивной стакан погрузится на необходимую глубину, весь снаряд поднимают на поверхность, очищают породу и продолжают бурение.

При бурении в связных глинистых грунтах обычно применяют стаканы с одним или двумя продольными вырезами, позволяющими описывать породы и очищать от них стакан. В нижней части стакана имеется рабочее кольцо с упрочненной режущей кромкой, а в верхней части — резьбовой переходник для соединения с ударным патроном или штангой. Иногда применяют разъемные стаканы.

Ударно-канатное бурение, так же как и ручное ударно-вращательное, обычно ведется с обсадкой труб вслед за продвижением забоя. Поэтому станки ударно-канатного бурения обычно имеют специальное приспособление для расходки труб, которое состоит из системы рычагов и зажимов. Одним из наиболее распространенных на инженерно-геологических изысканиях является станок БУК-75-2М, состоящий из рамы, двигателя, коробки передач, лебедки, оттяжного устройства, маханизма расходки обсадных труб. В комплект агрегата входит металлическая разборная тренога и подкатные оси для передвижения агрегата.

Агрегат предназначен для ударно-канатного бурения скважины в связных, рыхлых и твердых породах с механической расходкой, свинчиванием и развинчиванием колонны обсадных труб. Основные данные станка БУК-75-2М приведены ниже.

Глубина бурения, м	75
Диаметр скважины, мм:	
начальный	325
конечный	127
Двигатель:	
тип	Т-62
мощность, кВт	30

Грузоподъемность лебедки, кг 100
Частота ударов снаряда, удары в минуту 40, 70
Величина подъема снаряда, мм 300
Масса агрегата, кг 2380

Для бурения менее глубоких скважин и для опробования плотности грунтов пинетрацией (забивкой конуса) используются буровые пинетрационные установки УБП-15м и УБП-30. Они смонтированы на одноосном прицепе. Буровой инструмент для всех этих установок

Таблица 5-2

Основные данные пинетрационных установок

Основные параметры установок	Марка установок	
	УБП-15М	УБП-30
Глубина бурения, м	15	30
Диаметр скважины, мм:		
начальный	168	219
конечный	108	89
Двигатель:		
тип	УД-2	УД-8
мощность, кВт	6	6
Грузоподъемность лебедки, кг	1000	1000
Масса установки, кг	1600	1600

при ударно-канатном бурении аналогичен и отличается только размерами. В табл. 5-2 приводятся основные данные буровых пинетрационных установок.

г) Вибробурение

Вибробурение на инженерно-геологических изысканиях используется для проходки скважин глубиной до 20—30 м в мягких породах. На бóльшую глубину этим способом скважины проходить нельзя, так как по мере увеличения глубины погружения бурового снаряда сила вибрации ослабевает. Рассматриваемым способом можно быстро проходить разведочные скважины в мягких породах, лишенных крупной гальки и валунов, и отбирать из них образцы сплошной колонкой. Поскольку под влиянием вибрации лессы, ленточные глины и другие породы меняют свою структуру, вибробурение нельзя использовать для отбора из них монолитов.

Буровой снаряд для вибробурения состоит из вибропогружателя, бурильных труб и рабочего наконечника. Вибропогружатель приводится в действие установленными на нем электродвигателями, а вибрация возникает при вращении валов с дебалансами. Вибропогружатели имеют различные конструкции. Принципиальная схема установки для вибрационного бурения показана на рис. 5-8. Вибропогружатель крепится к верху колонны бурильных труб и при работе сообщает им частые удары, которые передаются рабочему наконечнику.

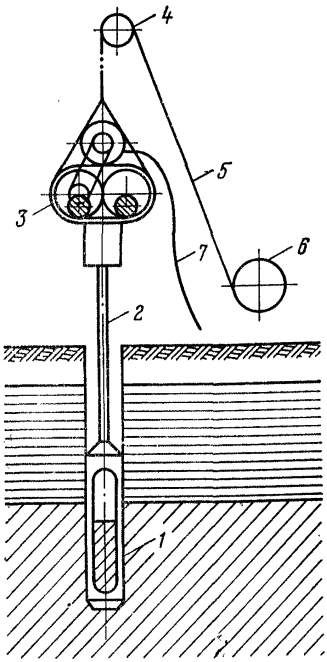


Рис. 5-8. Схема установки для вибрационного бурения.
1 — виброзонд; *2* — бурильные трубы; *3* — вибромолот; *4* — блок на вершине мачты; *5* — трос; *6* — лебедка; *7* — электрокабель.

При вибробурении в связных породах служит зонд, который представляет собой трубу длиной до 2 м, имеющую продольный вырез, облегчающий погружение инструмента и позволяющий видеть поднятую породу. Грунтонос служит для отбора образцов породы с ненарушенной структурой. Он имеет особые клапаны для удержания породы при подъеме и разъемные вкладыши, в которых помещается образец. Желонка с клапаном служит для проходки и взятия проб в слабосвязных породах. Все эти инструменты имеют в нижней части гладкий башмак, а в верхней головку с резьбой для соединения с бурильными трубами.

Буровой инструмент при вибробурении уплотняет породу, вследствие чего стенки скважин делаются более устойчивыми. Обычно бурение скважин глубиной до 5 м

ведется без обсадки, а более 5 м с обсадкой трубами, осуществляемой с помощью того же вибропогружателя.

Виброустановки обычно самоходные, их монтируют на автомобилях или на тракторах. Широко распространен виброагрегат АВБ-1М, смонтированный на автомобиле ГАЗ-63 и имеющий привод от его двигателя. Этот агрегат состоит из следующих основных узлов: рамы, коробки отбора мощности, раздаточного редуктора, лебедки, мачты, вибратора. Основные данные агрегата АВБ-1М приведены ниже.

Глубина бурения вибрационным способом, м	20
Диаметр скважины, мм	108—219
Грузоподъемность лебедки, кг	4000
Мощность генератора, кВт	25
Тип вибропогружателя	ВБ7
Грузоподъемность мачты, кг	12 000
Высота мачты, м	7,3
Масса без бурового инструмента, кг	5300

д) Шнековое бурение

Шнековое бурение можно использовать при проходке скважин глубиной до 30 м в рыхлых и связных породах, не содержащих валунов. Наиболее хорошо им проходятся не очень плотные глинистые породы. При благоприятных условиях шнековое бурение имеет большую производительность, так как процесс его идет непрерывно без подъема снаряда на поверхность.

Рабочим инструментом является шнек, представляющий собой трубу, на которой по винтовой линии с шагом 0,6—0,8 диаметра шнека приварена спиральная стальная лента (рис. 5-9). Шнеки соединяются между собой специальными быстроразъемными замками. При вращении шнек, делая от 10 до 20 рад/с, ввинчивается в породу и она по спирали поднимается на поверхность.



Рис. 5-9. Шнек для бурения.

Длина одного звена шнека составляет 1,5 м, диаметр от 135 до 230 мм. По мере углубления в скважину ко-

лонна шнекового снаряда наращивается новыми звеньями. Для отбора проб существует ряд приспособлений Обычно внутри колонны спускается пробоотборник, который может поднять образец глинистых пород с ненарушенной структурой.

При шнековом бурении используется ряд самоходных установок. Одна из них — УГБ-50А смонтирована на общей раме, укрепленной на шасси автомобиля ГАЗ-63. Вращение от двигателя через соединительную муфту передается коробке скоростей, от которой имеются приводы к лебедке, к вращателю и к механизму подачи. Вращатель, приводимый в движение вертикальным валом, перемещается по направляющей раме с помощью цепной передачи. Установка УГБ-50А имеет также устройство для ударного бурения, которое располагается в средней части рамы.

Основные данные установки УГБ-50А приведены ниже.

Глубина бурения, м	50
Диаметр скважины, мм:	
начальный	230
конечный	92
Частота вращения инструмента, рад/с	7; 12,5; 26
Грузоподъемность лебедки, кг	2500
Частота ударов ударного устройства, удары в минуту	45, 80
Двигатель:	
тип	дизель Д-48Л
мощность, кВт	29
Грузоподъемность мачты, кг	7300
Высота мачты, м	8,0
Масса в транспортном положении, кг	5100

е) Колонковое бурение

Колонковое бурение широко используется для изучения скальных пород и плотных глин. Оно отличается высокой производительностью и дает возможность детально изучить состав и состояние пород, проходимых скважиной. Оборудование для колонкового бурения является наиболее портативным и транспортабельным и позволяет проходить не только вертикальные, но и наклонные скважины большой глубины. В состав буровых комплектов входят станок, насос для промывки скважины, двигатель, буровой снаряд, обсадные трубы, вышка.

На инженерно-геологических изысканиях для колонкового бурения применяются преимущественно станки

Таблица 5-3

Основные данные станков колонкового бурения

Основные параметры станков	Марка станков	
	ЗИФ-300М	СБУДМ-150-ЗИВ
Глубина бурения, м	300	150
Начальный диаметр скважины, мм	131	151
Диаметр бурильных труб, мм	42; 50	42
Частота вращения шпинделя, рад/с	11,4; 20,3; 26,6; 53,7	8,8; 12,8; 20,9; 32,0; 51,0
Ход шпинделя, мм	400	450
Угол наклона скважины к горизонту	90—75°	90—75°
Грузоподъемность лебедки, кг	2000	2000
Мощность электродвигателя, кВт	39	39
Масса станка вместе с двигателем, кг	1380	10 200

ЗИФ-300М и самоходные установки СБУДМ-150-ЗИВ. Основные данные их приведны в табл. 5-3.

Спуско-подъемные операции производятся с помощью планетарной лебедки. Шпиндель и лебедка приводятся через коробку передач, что позволяет менять частоту их вращения.

Колонковое бурение в зависимости от заданного режима ведется с промывкой водой, без промывки или с продувкой воздухом. Промывка и продувка скважины служат для удаления с забоя измельченной породы — шлама и охлаждения бурового инструмента. Вода или воздух подаются на забой через бурильные трубы и выходят через устье скважины, где устраиваются специальные отстойники для оседания выносимого материала. Для подачи воды применяются специальные поршневые насосы, имеющие различную производительность и давление, воздух подается от компрессора.

В качестве привода для буровых станков и промывочных насосов используются двигатели внутреннего сгорания и электродвигатели.

Буровой снаряд состоит из колонны бурильных труб (штанг) и колонковой трубы. Бурильные трубы изготавливаются длиной 1,5; 3,0; 4,5 и 6,0 м, наружный диаметр их может быть равен 33,5; 42; 50 и 63,5 мм, толщина стенок составляет около 5 мм. Они соединяются ниппелями, имеющими такой же наружный диаметр, как и труба (рис. 5-10). Для ускорения свинчивания и развинчивания труб применяются ниппеля с прорезями под ключ.

Таблица 5-4

Диаметры оборудования для колонкового бурения

Диаметр наружный и внутренний, мм		
короночных колец	колонковых труб	обсадных труб
150/136	146/137	146/137
130/116	127/118	127/118
110/96	108/99,5	108/99,5
91/77	89/81	89/81
75/61	73/65,5	73/65,5
58,5/45	57/49,5	57/49,5
45,5/32	44/37	44/37
35,5/22	34/27	—

Колонковая труба представляет собой пустотелый цилиндр длиной 0,5; 1,5; 3,0 и 4,5 м. Диаметры их показаны в табл. 5-4.

С помощью буровых станков производится вращение колонны бурильных труб (штанг), спуск и подъем бурового снаряда и регулирование давления на забой. Вращение бурильных труб производится вертикальным пу-

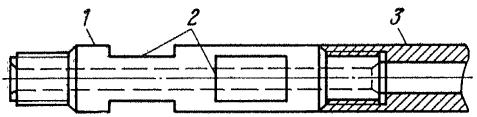


Рис. 5-10. Ниппель для соединения бурильных труб колонкового бурения.

1 — ниппель; *2* — прорезь под ключ; *3* — бурильная труба.

стотелым валом-шпинделем. Бурильные трубы проходят через шпиндель и скрепляются с ним с помощью двух патронов. Шпиндель перемещается вдоль своей оси по мере углубления скважины и передает давление на забой. Когда он приходит в крайнее нижнее положение, патроны открепляют, перемещают шпиндель в крайнее верхнее положение и вновь закрепляют. Перемещение шпинделя и передача давления на забой в станках старых конструкций, имеющих рычажную подачу (КАМ-300 и др.), осуществлялись вручную с помощью специального рычага и зубчатой рейки. В станках современных конструкций для этого устроен механизм гидравлической подачи.

Верхний конец колонковой трубы снабжен переходником, которым она соединяется с бурильными трубами,

В нижний конец колонковой трубы ввертывается буровая коронка, конструкция которой зависит от вида колонкового бурения.

При вращении бурового снаряда кольцевая коронка углубляется в забой и выбуривает столбик породы — керн, который входит в колонковую трубу. После того, как она заполнится керном, буровой снаряд поднимают на поверхность, отвинчивают коронку и извлекают из колонковой трубы керн. Чтобы колонковая труба свободно вращалась в скважине, коронка должна иметь несколько больший наружный и несколько меньший внутренний диаметры (табл. 5-4). Для того чтобы оторвать столбик керна от забоя и чтобы он не выпал из колонковой трубы, перед подъемом его заклинивают в коронке с помощью битого стекла и специальных колец, устанавливаемых в коронке, или затирают всухую.

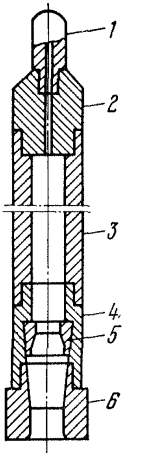


Рис. 5-11. Колонковый снаряд для алмазного бурения.

1 — бурильная труба; *2* — переходник; *3* — колонковая труба; *4* — рвательный корпус; *5* — рвательное кольцо; *6* — алмазная коронка.

Для получения керна в слабоустойчивых породах применяют двойные колонковые трубы, в которых внутренняя труба, подвешенная на шарикоподшипниках, во время бурения не вращается. Это предохраняет керн от истирания и повышает процент его выхода. В зависимости от типа применяемой коронки различают следующие виды колонкового бурения: алмазное, твердыми сплавами и дробовое.

Алмазные коронки применяются для бурения в крепких слаботрещиноватых породах. В этих условиях они обеспечивают большую скорость проходки и керн хорошей сохранности. Эти коронки изготовляются методом порошковой металлургии. Алмазы в них имеют строго определенное расположение, обеспечивающее углубление коронки и расширение кольцевого зазора между породой и инструментом. Промышленностью выпускаются алмазные коронки с наружным диаметром 36, 46, 59, 76 мм. Колонковый снаряд для алмазного бурения изображен на рис. 5-11.

Твердосплавные коронки применяются в породах мягких и средней крепости. Эти коронки состоят из стального короночного кольца, которое армировано резцами из твердых металлокерамических сплавов. Резцы изготовляются в виде пластин различной формы, многогранников и пр. Коронки различаются между собой по конструкции кольца, по форме, размерам, количеству и порядку расположения резцов. Тип коронки выбирается в зависимости от крепости и трещиноватости пород. Чем крепче порода, тем меньше принимается размер резцов, но располагаются они чаще. Колонковый снаряд для бурения коронкой, армированной твердыми сплавами без промывки забоя, изображен на рис. 5-12.

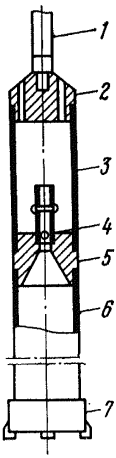


Рис. 5-12. Коленковый снаряд для бурения коронкой, армированной твердыми сплавами, без промывки забоя.

1 — бурильная труба; *2* — переходник; *3* — шламовая труба; *4* — шариковый клапан; *5* — переходник: *6* — колонковая труба; *7* — коронка.

Дробовые коронки применяются при бурении в крепких породах. Они представляют собой стальной цилиндр длиной 0,5 с толщиной стенок 10—12 мм, имеющий прорези для дроби. В процессе бурения через бурильные трубы на забой периодически подается стальная или чугунная дробь, которая, попадая под вращающуюся коронку, перекатывается по забою и разрушает породу. Этот способ бурения является менее производительным, чем алмазной коронкой, и дает значительно худшее качество керна. Для того чтобы удалить с забоя отработанную дробь (дробовой шлам), на колонковую трубу сверху навинчивается шламовая труба, которая улавливает истертые остатки дроби. Колонковый снаряд для дробового бурения изображен на рис. 5-13.

Для спуска и подъема колонкового снаряда, имеющего ниппельное соединение, применяются следующие приспособления: вертлюг, секторный штангодержатель, шарнирные ключи. Подача промывочной жидкости в бурильные трубы осуществляется через сальник.

Обсадные трубы для колонкового бурения имеют диаметры, приведенные в табл. 5-4. Толщина их стенок со-

ставляет 3,5—4,5 мм, длина труб бывает от 1,5 до 6 м. При обсадке неглубоких скважин диаметром не более 96 мм трубы соединяются непосредственно резьбой, а при глубоком бурении применяется ниппельное соединение. Для подъема и спуска обсадных труб применяются специальные переходники—пробки, которые ввинчиваются в трубы.

ж) Ликвидация и тампонаж буровых скважин

Все разведочные скважины после окончания бурения и проведения необходимых опытов и наблюдений должны быть ликвидированы и затампонированы. Оставлять скважины открытыми нельзя, так как они могут служить путями проникновения в водоносные горизонты загрязненных поверхностных вод, по ним может происходить также смешение вод различных водоносных горизонтов, а самоизливающиеся скважины могут вызвать заболачивание и засоление окружающей их территории. Незатампонированные скважины в пределах котлованов гидротехнических сооружений могут увеличить приток воды и вызвать механическую и химическую суффозию грунтов и ослабление основания, а в случае агрессивности подземных вод — коррозию бетонных частей сооружений.

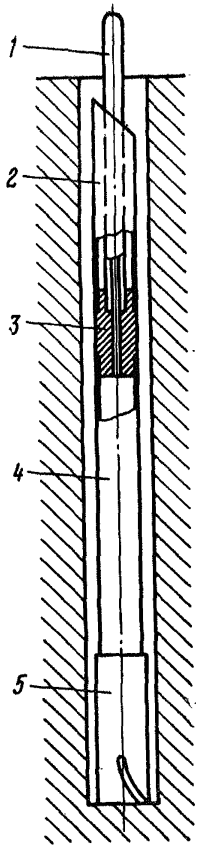


Рис. 5-13. Колонковый снаряд для бурения дробовой коронкой.

1 — бурильная труба; *2* — шламовая труба; *3* — переходник; *4* — колонковая труба; *5* — дробовая коронка.

Тампонирование скважин производится путем заполнения их ствола либо соответствующим грунтом (песком, суглинком, глиной), либо цементным раствором. Способ тампонажа назначается руководителем полевых работ в зависимости от геологического и гидрогеологического разреза, пройденного скважиной, ее глубины и местоположения.

Буровые скважины, пройденные на небольшую глубину (до 30 м), в необводненных гравелисто-песчаных или

глинистых породах засыпаются тем же грунтом, который утрамбовывается. Наиболее тщательно следует тампонировать скважины в том случае, если они могут быть обводнены в результате подпора от водохранилища, а также скважины, пройденные в лессовидных, просадочных, засоленных и других грунтах, свойства которых при увлажнении изменяются.

Буровые скважины, пройденные в обводненных песчано-гравелистых грунтах, не тампонируются, так как они заплывают по мере извлечения обсадных труб. Если скважина вскрыла несколько водоносных слоев, разделенных водоупорными глинистыми породами, то эти водоупорные слои тщательно тампонируются глиной. Тампонаж глиной обычно производится путем забрасывания глиняных шариков, диаметр которых должен составлять примерно половину диаметра скважины. Глина размешивается до состояния однородной пластичной массы, и после скатывания шарики немного подсушиваются. Во избежание образования глиняной пробки шарики бросают один за другим с интервалом 2—3 с и утрамбовывают после забрасывания 25—30 шт. Для трамбования применяется буровой снаряд, на конце которого укрепляется деревянная или металлическая трамбовка. Можно применять также тампонаж глиняными цилиндрами, которые изготавливаются на специальном прессе и доставляются на забой скважины в колонковой трубе, из которой выдавливаются гидравлическим способом.

При тампонировании глиной и другими грунтами необходимо учитывать объем грунта, засыпанного в скважину, так как, сравнивая его с объемом ствола скважины, можно судить о степени ее заполнения.

Скважины, пробуренные в скальных породах, а также все глубокие скважины, тампонируются бетонным раствором, в состав которого в равных количествах входят цемент и песок. Эта смесь перемешивается с водой до состояния жидкого теста и опускается на забой в особой желонке или заливается через специальную колонну труб, которая по мере заполнения скважины поднимается. Через каждые 3—6 м бетон в скважине трамбуется.

Самоизливающиеся скважины заливают глинистым или цементным раствором до прекращения поглощения раствора и фонтанирования скважины, после чего их тампонируют глиной или бетоном в зависимости от гео-

логических особенностей скважины. Для глубоких и самоизливающихся скважин в каждом отдельном случае составляется проект тампонажа.

Все данные по ликвидационному тампонажу глубоких скважин записываются в специальном журнале, а неглубоких — в буровом журнале. После окончания ликвидации и тампонажа скважины составляется акт по установленной форме. В случае необходимости закрепить местоположение пробуренной скважины устанавливается столб с крестовиной внизу, который зарывается на глубину не менее 1,5 м и возвышается над поверхностью земли на 0,6 м. На столбе указывается сокращенное название организации, номер скважины и год ее бурения.

5-3. ГОРНЫЕ РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

а) Канавы, шурфы и шахты

Горные выработки имеют весьма важное значение для изучения инженерно-геологических условий, так как они дают возможность получить наиболее полное представление о геологическом разрезе, отобрать пробы горных пород для лабораторных исследований, провести необходимые полевые опыты и наблюдения, проконтролировать качество цементационных работ и пр. При инженерно-геологических изысканиях могут проходиться канавы, шурфы, шахты и скважины-шахты.

Канавы применяются в основном для изучения геологического строения коренных склонов в том случае, если мощность покрывающих их рыхлых отложений не превышает 1,5—2 м. Обычно бывает удобнее проходить по склону не одну длинную канаву, а несколько более коротких, вскрывающих различные части склона в наиболее удобных для работы местах и имеющих наименьшую мощность рыхлых покровных отложений. Ширина канавы по дну может составлять от 0,4 до 0,8 м. В скальных и устойчивых глинистых породах откосы канавы могут быть близкими к вертикальным, в песках и других сыпучих породах заложение откосов принимается 1:1. В неустойчивых породах канавы должны проходиться с креплением откосов распорками, стойками, жердями, горбылями и другими материалами. Продольный профиль канав, проходимых на склоне, делается ступенча-

тым, что облегчает работу и позволяет лучше описать породы в их вертикальном разрезе.

В рыхлых породах канавы проходятся лопатой и кайлом, а в скальных могут применяться взрывные работы малыми зарядами. Инженерно-геологическая документация канавы ведется в журнале (приложение III) и на зарисовке. Зарисовываются две или одна характер-

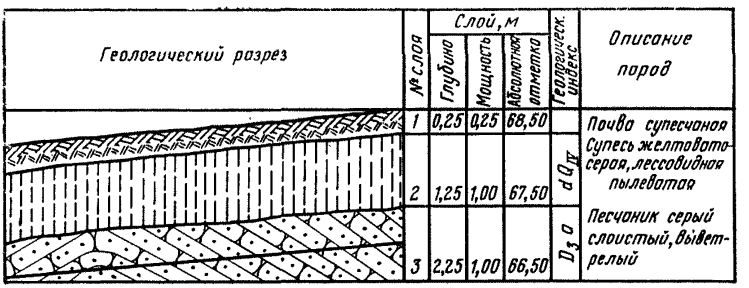


Рис. 5-14. Разрез разведочной канавы.

ная стенка канавы, а также ее дно. Образцы пород отбираются из каждого слоя, но не реже чем через 1 м по его мощности. Пробы для лабораторных исследований берутся в соответствии с заданием на проходку канавы. По данным зарисовок составляется продольный разрез канавы, на котором изображаются рыхлые покровные отложения и коренные слои, дается их описание и указываются мощности (рис. 5-14).

Шурфом называется вертикальная горная выработка относительно небольшого размера, прямоугольного сечения, пройденная непосредственно с поверхности земли. При изысканиях для гидротехнического строительства принимаются следующие сечения шурфов в метрах: 1,18×1,03; 1,35×1,08; 1,80×1,08. Обычно сечение шурфа берется тем больше, чем больше его глубина, которая чаще всего не превышает 10 м, но может достигать 20 м.

Перед тем как приступить к проходке шурфа, необходимо расчистить выбранную для него площадку и наметить на ней принятые контуры сечения. Для того чтобы выдержать прямоугольность сечения, можно пользоваться деревянным шаблоном, сбитым из досок. По мере проходки шурфа необходимо следить за тем, чтобы стенки

его были строго вертикальны и располагались под прямым углом. Вертикальность стенок проверяют по отвесу, который периодически опускают по углам и по стенкам шурфа.

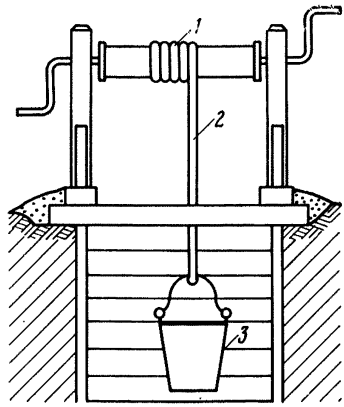


Рис. 5-15. Проходка шурфа.
1 — вороток; *2* — канат; *3* — бадья.

В мягких породах шурфы проходят лопатой, в плотных породах — ломом и кайлом, а в скальных могут применяться взрывные работы. До глубины 2,5 м порода на поверхность выбрасывается прямой лопатой, а при бо́льшей глубине поднимается в бадье воротком или лебедкой с ручным или механическим приводом (рис. 15-15). Во избежание обвалов породы производится крепление шурфов, тип которого зависит от устойчивости проходимых пород, от сечения и глубины шурфа. Существует три основных типа крепления: распорное, венцовое и забивное.

Распорное крепление применяется в неглубоких шурфах и крепких породах. При этом способе стенки шурфа сплошь или в разбежку забираются вертикальными досками, которые плотно прижимаются к стенкам при помощи распорок, устанавливающихся на расстоянии до 1 м. Венцовое крепление применяется в глубоких шурфах.

При сравнительно устойчивых породах применяется несплошное венцовое крепление на бабках. Это крепление ведется снизу вверх. У забоя шурфа укладывается основной венец, длинные брусья которого имеют выступающие концы — пальцы длиной 0,25—0,3 м. Эти пальцы заводят в лунки, которые делаются в стенках шурфа. По углам основного венца ставятся стойки-бабки высотой 0,75—1 м, которые соединяются с брусьями основного и промежуточных венцов в шип (рис. 5-16). Основной венец укладывается не реже, чем через 10 м.

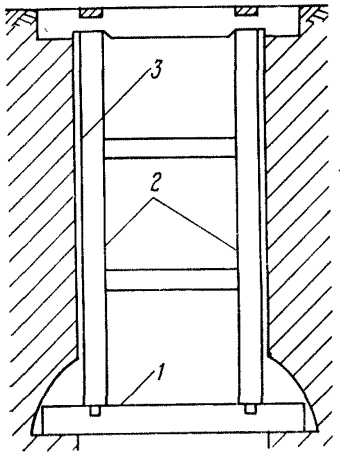


Рис. 5-16. Крепление шурфа венцевой крепью на бабках.
1 — основной венец; *2* — бабки; *3* — доски.

Венцы изнутри расшиваются досками для предохранения забоя от осыпающейся породы.

В слабых сыпучих породах применяется сплошное венцовое крепление. При этом способе шурф закрепляется сверху вниз. Венцы подвешиваются к основной раме на скобах по мере проходки последовательно один за другим.

Забивная крепь применяется при проходке шурфов в плывунах. Для этого в устойчивых породах, покрывающих плывуны, укрепляется основной венец, а внутри его укладывается или подвешивается на скобках внутренний венец. По всем четырем стенкам шурфа в промежутках между венцами в плывун забиваются пали, представляющие собой доски толщиной 5 см и длиной 1,8 м, нижний конец которых окован листовым железом. Пали забивают одновременно с выборкой породы, при этом концы их должны все время находиться на 0,2—0,3 м впереди забоя. Пали доводят до устойчивых пород, подстилающих плывуны.

При небольшой мощности плывунов пали забиваются отвесно, а при значительной мощности их забивают наклонными рядами, что позволяет сохранить поперечное сечение шурфа (рис. 5-17).

Водоотлив из шурфов глубиной до 10 м при притоке воды менее 5 л/мин производится бадьями. При бо́льшей глубине шурфа и бо́льшем притоке воды для водоотлива применяются такие поршневые или диафрагмовые насосы, которые занимают мало места, быстро могут изменять глубину установки и откачивать сильно загрязненную воду.

Проходка шурфов в нескальных породах может осуществляться также специальными шурфопроходческими машинами, которые дают выработку круглого сечения глубиной до 30 м. К числу таких машин относится

станок КШК-30, который предназначен для устройства шахтных колодцев диаметром до 1,3 м. Он смонтирован на специально приспособленном автомобильном прицепе. Основными узлами установки являются опорная рама, двигатель с коробкой передач, подъемная лебедка, верхний редуктор с механизмом вертикальной подачи, три ручные лебедки. Бурение ведется всухую вращающимся ковшовым буром, который делает 1,1—2,2 рад/с. Разрушаемый при вращении ножами грунт поступает в ковшовый бур, который после заполнения поднимается из скважины моторной лебедкой. На поверхности окна бура открываются и грунт высыпается. Обсадка выработки ведется железобетонными кольцами по мере ее углубления. Средняя расчетная производительность установки составляет 1—1,5 м/ч. Бур имеет диаметр 750 мм, а расширение скважины до 1,3 м производится приваренными к нему специальными ножами.

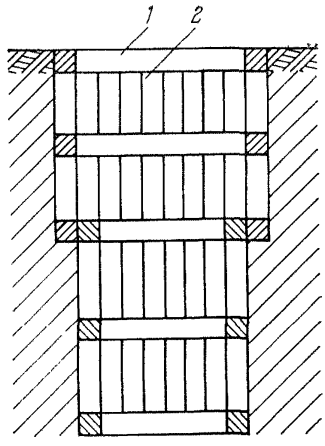


Рис. 5-17. Крепление шурфа забивной крепью.
1 — основной венец; *2* — забивные пали.

Документация шурфов производится по мере их углубления, до установки крепи. В шурфах, проходимых со сплошным креплением, после документации через каждые 0,5—0,7 м оставляются смотровые окна для повторного осмотра пород. Полученные при проходке шурфа данные записываются в специальный журнал (приложение III) и отмечаются на зарисовке.

Зарисовка делается на миллиметровке по установленной форме. Масштаб ее в зависимости от сложности геологического разреза может быть принят 1 : 20; 1 : 50 или 1:100. В том случае, когда пройденные породы залегают горизонтально, а мощность и литологический состав пород по всем четырем стенкам одинаковы, зарисовка может делаться по одной стенке шурфа. В отдельных случаях могут делаться зарисовки забоя шурфа. При сложном геологическом разрезе зарисовка производится по

всем четырем стенкам в виде развертки, при этом стенки шурфа должны быть ориентированы по странам света (рис. 5-18). При зарисовке должны соблюдаться условные обозначения литологии пород, трещин и других их особенностей и, помимо того, дано словесное описание разреза.

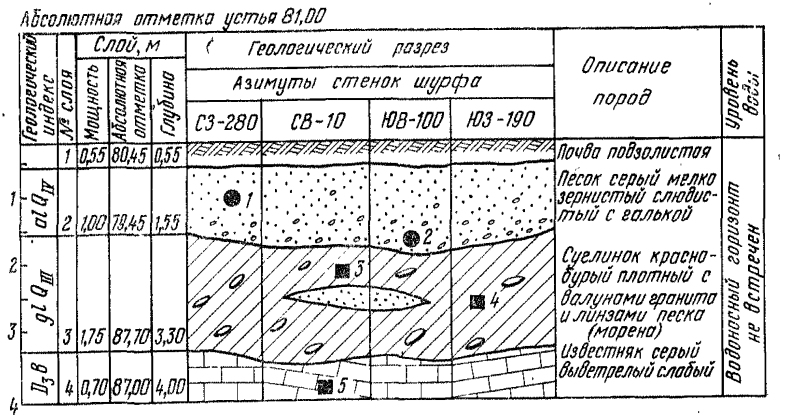


Рис. 5-18. Разрез шурфа.
● — проба грунта и ее номер; ■ — отбор монолита и его номер.

Все измерения глубины залегания слоев горных пород, трещин и других элементов геологического разреза должны производиться от постоянной точки на поверхности земли по всем четырем углам и наноситься на разрез. Постоянные точки обычно устанавливаются на раме, оконтуривающей шурф сверху. В журнал заносятся замеры глубины по одному из наиболее характерных углов шурфа. При описании скальных пород особое внимание необходимо обращать на трещиноватость и глубину распространения выветривания, а в рыхлых породах отмечать наличие линз и прослоев слабых пород.

Определение элементов залегания слоев производится горным компасом, для чего на стенке шурфа или на забое зачищается плоскость напластования пород. Если нельзя выбрать подходящую площадку в плоскости напластования, то следует найти в стенках выработки две сходящиеся в углу линии напластования и приставить к ним дощечку. Поскольку эта дощечка будет лежать в плоскости напластования, произведенные на ней измерения элементов залегания будут соответствовать паде-

нию и простиранию пласта. Описание трещин в скальных породах ведется в соответствии с § 4-4.

При проходке шурфов образцы пород отбираются из каждого слоя, но не реже чем через 1 м. Пробы грунта на лабораторные исследования отбираются в соответствии с заданием на проходку данной выработки. Перед отбором образца или пробы стенка выработки или забой тщательно зачищаются.

Дудка представляет собой вертикальную горную выработку круглого сечения. Дудки проходятся в устойчивых породах, не требующих крепления, глубина их может достигать 10 м, а диаметр 1 м. К таким породам относятся сухие глины, мел, конгломераты. Преимущества дудки перед шурфом заключаются в значительно меньшем объеме вынимаемой породы и отсутствии крепления. Документация этих выработок аналогична документации шурфов.

Шахта (разведочная) представляет собой вертикальную горную выработку, имеющую прямоугольное сечение площадью более 4 м^2 и глубину, обычно превышающую 20 м. Шахты закладываются для детальных исследований основания высоких плотин и других наиболее ответственных гидротехнических сооружений. В скальных породах вместо шахт обычно проходятся скважины большого диаметра. И только там, где доставить соответствующий станок бывает трудно или имеется мощный покров рыхлых отложений, проходятся разведочные шахты. В связи с большим объемом вынимаемой породы шахты оборудуются более мощными подъемными средствами, чем шурфы, и ствол их разделяется на два отделения: грузовое и лестничное, предназначенное для спуска и подъема людей.

Геологическая документация шахты проводится так же, как и документация шурфа.

б) Штольни

Штольней называется горизонтальная или слабонаклонная горная выработка, которая обычно закладывается на крутых склонах долин. При инженерно-геологических изыскания для строительства гидротехнических сооружений штольни проходятся для изучения строения береговых скальных массивов в примыканиях плотин и в местах расположения порталов туннелей. Поперечное се-

чение штольни в крепких породах имеет форму трапеции со следующими размерами основания и высоты: 1,5×1,9; 1,7×2,4; 1,9×2,7 м. В слабых породах штольни проходятся прямоугольного сечения. Для устья штольни выбирается участок, лишенный покрова рыхлых отложений, или такой, где мощность их очень мала.

Направление штольни желательно выбирать перпендикулярно склону и вкрест простирания слоев, тектонических зон и других контактов. Если эти направления не совпадают, то из штольни проходят боковые ответвления — рассечки. В отдельных случаях, когда надо про-

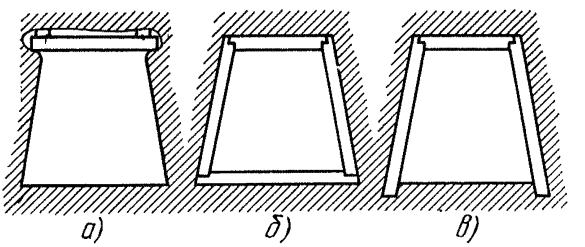


Рис. 5-19. Крепление штольни.
а — крепление перекладами; *б* — крепление полным дверным окладом; *в* — крепление неполным дверным окладом.

следить какую-нибудь тектоническую зону или трещину, штольни и рассечки могут проходиться по их простиранию. При выборе места заложения устья штольни необходимо предусмотреть также удобные подходы к ней и определить место, куда будут сбрасываться отвалы, где расположится запас необходимых лесоматериалов и пр. Во избежание обвалов пород, залегающих над устьем штольни, необходимо произвести их расчистку и крепление, а в случае необходимости построить навес.

В крепких устойчивых породах штольни могут проходиться без крепления. В сравнительно устойчивых породах применяется крепление, состоящее из стоек, подбитых в породу, или из переклада, заведенного в лунки в боковых стенках (рис. 5-19,*а*). Глубокие штольни не рекомендуется долгое время оставлять незакрепленными даже в устойчивых породах, так как они под влиянием выветривания постепенно разрушаются и обваливаются. Обычно штольни крепятся деревянным дверным окладом. Полный дверной оклад состоит из четырех брусьев, которые располагаются по всем стенкам и связываются в

шип (рис. 5-19, *б*). Чаще всего применяется крепление неполным дверным окладом, состоящим из двух стоек и верхнего переклада, нижние концы стоек заделываются в лунки (рис. 5-19, *в*). Расстояние между дверными окладами принимается до 1 м, а в очень слабых породах они устанавливаются сплошь. Стенки и кровля штольни в промежутках между окладами забираются горбылями или досками, а пространство между досками и стенками плотно забивается породой.

В нескальных породах проходка ведется кайлом и лопатой, а в скальных — взрывными работами. Шпуры для взрывов бурятся пневматическими отбойными молотками, для чего на месте работ устанавливается компрессор. В забое штольни бурится 9—15 шпуров глубиной до 2 м, количество которых зависит от крепости породы, а расположение принимается с учетом напластования пород. Уборка породы после взрыва производится или вручную с вывозом на вагонетках, или специальными механизмами — скреперами.

Геологическая документация штольни делится на два этапа — предварительный и окончательный.

Предварительная документация включает описание и зарисовку обеих стенок, кровли и забоев штольни, а также гидрогеологические и другие наблюдения. Она производится по мере проходки выработки и позволяет на основании полученных данных уточнять ее направление, назначать дополнительные рассечки и использовать результаты документации в текущей работе. Масштаб зарисовки в зависимости от сложности геологического разреза принимается 1:20 или 1:50. Забои зарисовываются через 3—5 м. Для лучшей ориентировки по мере проходки штольни через каждые 2 м в ее стенке на одной и той же высоте бурится неглубокий шпур, играющий роль репера, и делается его маркировка. В неустойчивых породах в шпуры устанавливаются и цементируются металлические штыри.

Помимо зарисовки ведется журнал по установленной форме, в котором описываются все работы, выполняемые при проходке штольни, описывается ее разрез и отмечаются гидрогеологические условия. При документации штольни особое внимание обращается на изучение трещиноватости, выветривания и разгрузки скальных пород. Из каждого характерного слоя, вскрытого штольней, отбираются образцы горных пород и, кроме того,

по заданию отбираются пробы для лабораторных исследований их физико-механических свойств. Если штольней встречены подземные воды, то они отмечаются на зарисовке, делается описание их выходов (капеж, пластовый выход и пр.) и периодически измеряется дебит вытекающей из штольни воды.

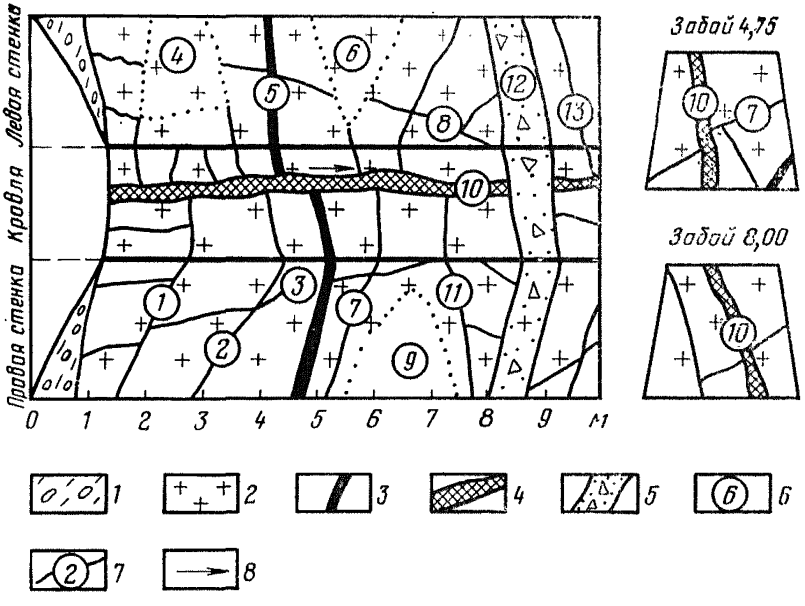


Рис. 5-20. Разрез штольни.

1 — валуны; *2* — гранит розовый мелкокристаллический крепкий; *3* — жила кварца; *4* — зона милонитизации; *5* — трещина бортового отпора, заполненная щебнем и песком; *6* — плоскость трещины и ее номер; *7* — трещина и ее номер; *8* — направление тектонического смещения.

Окончательная документация штольни выполняется после того, как проходка ее закончена, штольня хорошо вымыта, хорошо освещена и произведена ее маркшейдерская съемка. При окончательной документации производится контрольная зарисовка в принятом масштабе, наиболее важные места фотографируются и дешифрируются, выполняется подробная документация трещиноватости вскрытых пород (§ 4-4).

Стенки и кровля штольни при окончательном оформлении изображаются на одном листе в виде развертки на плоскость кровли при взгляде на штольню сверху вниз (рис. 5-20). Первоначально зарисовку всех элементов ведут так, как они видны в штольне. Для получения

окончательного изображения вспомогательную зарисовку перерисовывают на световом столике на обратную сторону бумаги. Для облегчения зарисовки на стенках штольни ставят вертикальные и горизонтальные рейки или применяют масштабную сетку. Качество документации существенно зависит от того, насколько правильно выдержано сечение штольни и насколько гладка ее поверхность. Поскольку стенки и кровля штольни всегда имеют неровности, при зарисовке все геологические элементы и следы трещин следует проектировать на условную плоскость.

Если на стенках и кровле штольни не имеется хороших плоскостей трещин для замера их элементов залегания, можно пользоваться следующими приемами. Соединяют широкой рейкой следы одной и той же трещины, расположенные на одинаковой высоте на разных стенках штольни. В таком положении рейка занимает горизонтальное положение и располагается по линии простирания трещины в плоскости ее падения. Если трещина раскрыта, то для измерения элементов залегания в нее можно вставить латунный лист и считать, что он совпадает с плоскостью ее стенки.

При составлении развертки штольни следует увязывать зарисовки забоев с разверткой, при этом следы трещин и контакты слоев должны совпадать на граничных линиях. При оформлении развертки штольни необходимо проверять соответствие нанесенных следов трещин измеренным элементам их залегания. Проверка азимута падения трещины делается по ее следу на кровле, так как этот след соответствует линии простирания. Угол падения трещин проверяется по следам их на стенках штольни, при этом следует учитывать, что штольня обычно располагается не вкрест простирания плоскости трещины, а под некоторым острым углом к ней.

в) Скважины-шахты

Скважины-шахты или смотровые скважины могут иметь диаметр от 850 до 1300 мм и глубину до 150 м. Они проходятся специальными буровыми агрегатами, которые бывают двух типов: с расположением всех механизмов на поверхности земли и погружные. Основные данные об агрегатах крупнодиаметрового бурения помещены в табл. 5-5.

Таблица 5-5

Основные данные станков крупнодиаметрового бурения

Основные параметры станков	Марка станка		
	ТМ-850	УТМ-1	Т-48
Диаметр скважины, мм	850	950	1220
Глубина бурения, м	100	100	150
Размер керна, мм:			
диаметр	750	870	1140
высота	1850	1850	1800
Частота вращения бурового цилиндра, рад/с	0,9—6,6	2,1—7,1	5—7—9
Подача циркуляционного насоса, м³/ч	80	65—125	192
Масса агрегата (без наземного оборудования), кг	5300	10 500	12 100
Мощность электродвигателей, кВт	28	75	75

К первому типу относится агрегат Т-48, который имеет название «Калликс». Он выпускается фирмой «Ингерсолл-Рэнт» (США) и предназначается для бурения скважин диаметром 915—1220 мм до глубины 150 м в монолитной скале. Агрегат Т-48 состоит из следующих основных узлов: стальной сварной рамы; станины, на которой размещены двигатель мощностью 75 кВт, коробка передач и две лебедки; вращателя (ротора), который может делать от 5 до 9 рад/с; мачты высотой 12,2 м.

Бурение производится коронкой соответствующего диаметра и длиной до 2 м, под которую засыпается чугунная дробь. Коронка прикрепляется к бурильным трубам диаметром 112 мм с помощью фланцев. Верхняя — ведущая — бурильная труба, имеющая квадратное сечение, проходит через отверстие в роторе и передает вращение буровой колонне. Бурение ведется с промывкой водой, которая подается на забой специальным насосом.

За один рейс проходится до 1,8 м, после чего буровой снаряд поднимается из скважины и керн извлекается на поверхность одним из следующих способов. Перед отрывом керн ориентируют по странам света, для чего лицо, производящее документацию, спускается на забой и на верхнем торце красной линией наносит направление стран света.

В скважинах, имеющих небольшой приток воды, отрыв керна длиной 1,2—1,6 м производится с помощью стальных клиньев, которые забиваются между керном и стенкой скважины. Если керн имеет высоту меньше

1,2 м, то в центре его бурится шпур на глубину 70—80 мм, в который закладывается заряд взрывчатого вещества и взрывается. В полученное отверстие вводится подъемный стержень—ерш и производится подъем керна. В скважинах с большим притоком воды срыв керна производится взрывом заряда, спущенного керноловом на забой в выбуренный кольцевой зазор в основании керна. Подъем цилиндрического керна производится керноло-

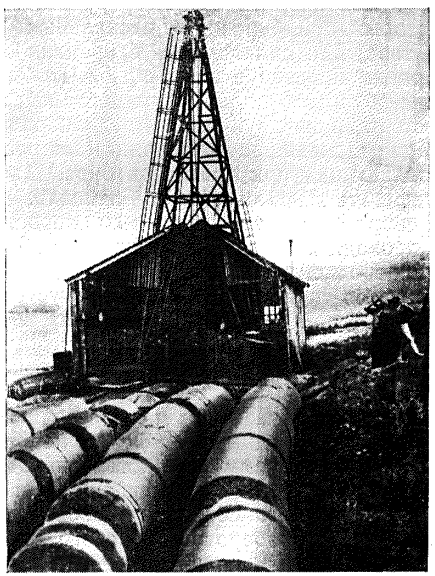


Рис. 5-21. Бурение смотровой скважины. На первом плане керн.

вом, а отдельных бесформенных кусков породы—с помощью специальных керноловов, бадьей и стропами (тросами). После извлечения керн укладывается на тележку и отвозится на площадку для хранения и описания (рис. 5-21).

К числу погруженных агрегатов крупнодиаметрового бурения относятся агрегаты ТМ-850, УТМ-1 и др. (табл. 5-5).

Буровой агрегат ТМ-850 предназначен для проходки смотровых скважин диаметром 850 мм и глубиной до 100 м в скальных и нескальных связных породах. Бурение выполняется погружным буровым снарядом, который опускается в скважину на тросе и раскрепляется. Привод бурового снаряда состоит из электродвигателя и двухступенчатого редуктора, помещенных в одном корпусе. При погружении агрегата в воду в корпусе образуется воздушная подушка, препятствующая поступлению воды к механизмам. Редуктор вращает буровой цилиндр, который при бурении в нескальных породах армируется твердыми сплавами, а в крепких скальных породах бурение производится дробью. Чтобы обеспечить вращение бурового цилиндра, агрегат имеет стабилизатор, состоящий из двух сегментов. Он раскрепляет буровой снаряд в скважине и воспринимает реактивный момент, возникающий при вращении бура. Для спуска и подъема агрегата имеются вышка и лебедка.

Буровой снаряд может вращаться со скоростью 0,9 и 6,6 рад/с и проходить за один рейс до 1,8 м. При бурении в породах средней твердости и мягких для подрезки керна применяется специальное подрезное устройство, а при бурении дробовой колонкой в скальных породах к коронке прикрепляется массивный клин, который скалывает керн. Подъем керна осуществляется так же, как при бурении агрегатом Т-48.

Агрегат УТМ-1 предназначен для бурения скважин диаметром 950 мм и глубиной до 100 м в породах различной крепости. По своему устройству он подобен агрегату ТМ-850 и отличается от него рядом усовершенствований, облегчающих его сборку и разборку, позволяющих менять число оборотов бурового снаряда и обеспечивающих подъем керна.

Документация смотровых скважин включает описание и зарисовку ствола скважины и поднятого на поверхность керна, а также отбор образцов. Спуск в скважину людей производится в специальной металлической клети, имеющей открывающуюся крышку. Внутренняя поверхность смотровых скважин зарисовывается в виде развертки, для ориентирования которой у устья скважины определяются направления стран света и закрепляются краской и штырями. При зарисовке внутренней поверхности скважины из этих точек на шнурах опускаются отвесы, которые разграничивают ее на четыре рав-

ные части. Для облегчения ориентировки в скважине рекомендуется использовать для отвесов шнуры различного цвета и разметить на них интервалы метровой длины.

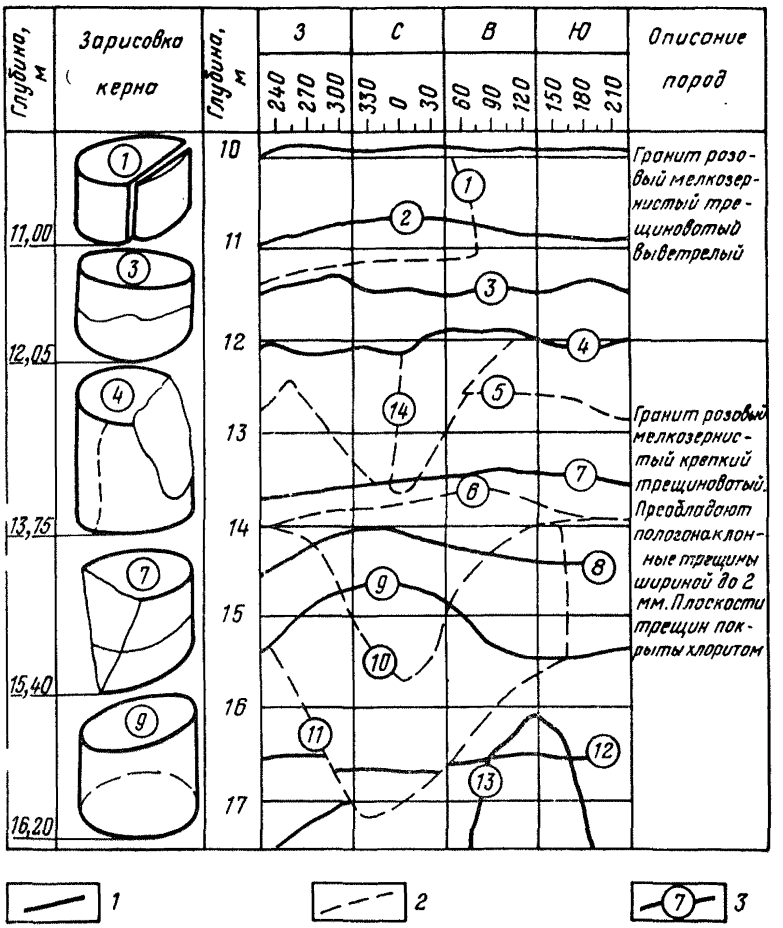


Рис. 5-22. Зарисовка разреза смотровой скважины.
1 — трещина напластования; *2* — тектоническая трещина; *3* — номер трещины.

Зарисовка делается на миллиметровой бумаге, на которую предварительно наносятся линии отвесов, фиксирующие положение стран света (рис. 5-22). Для облегчения зарисовки можно опускать в скважину сетку с

квадратными ячейками размером 20×20 см, закрепленную на кольцах, диаметр которых чуть меньше диаметра выработки. При зарисовке каждого интервала отмечается положение нижнего кольца, для того чтобы при документации нижележащего интервала установить на это место верхнее кольцо.

На зарисовку наносят границы слоев, следы трещин и структурных элементов, жилы, каверны и другие важные особенности геологического строения. Масштаб зарисовки принимается 1:20—1:50. Керн зарисовывается в том же масштабе, в котором составляется развертка скважины, и изображение его помещается на одном листе с разверткой. При документации керна производится увязка трещин и других элементов, встреченных в стволе скважины и на керне. Вместо зарисовки керна можно делать масштабную отдешифрированную фотографию. В стволе скважины можно фотографировать отдельные важные детали геологического строения.

При документации смотровой скважины нельзя пользоваться горным компасом, так как показания его искажаются влиянием клети и других металлических предметов. Поэтому азимуты падения слоев и трещин вычисляются аналитически по положению их следов на развертке. Вскрываемая скважиной горизонтальная плоскость трещины или граница слоев на развертке изобразится горизонтальной линией, вертикальная—двумя вертикальными линиями, а наклонная—кривой, имеющей вид синусоиды. Точка минимума кривой на зарисовке соответствует азимуту падения наклонной трещины. Для определения азимута падения по точке максимума (в случае неполной ветви кривой) к азимуту, соответствующему этой точке, надо прибавить или отнять 180°. Для осреднения ошибки наблюдений лучше брать средний отсчет по точкам максимума и минимума. Углы падения трещин и слоев можно замерять в смотровой скважине при помощи горного компаса, вычислять по зарисовке или измерять непосредственно в скважине, прикладывая концы раздвижной линейки к точкам максимума и минимума.

Если смотровая скважина проходится ниже уровня подземных вод, то перед документацией она должна быть откачена. В том случае, если приток воды настолько велик, что откачать ее не удается, вокруг скважины создается цементационная завеса. Поскольку открытые трещины при этом будут заполнены цементом,

них надо документировать особенно тщательно, отмечая плотность заполнения трещин, схватывание цемента со стенками трещин, наличие минерального заполнителя в трещинах. Для того чтобы лучше отличать цементный камень от горной породы, цементный раствор рекомендуется подкрашивать.

При документации смотровых скважин должны тщательно соблюдаться правила безопасного ведения работ: перед спуском документатора скважина должна быть осмотрена лицом, ответственным за ведение работ, все участки возможных вывалов должны быть закреплены.

По данным полевой документации составляется разрез смотровой скважины, на котором помимо зарисовки ствола скважины и керна помещаются те же данные, что и на разрезе буровой скважины (рис. 5-1).

5-4. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗВЕДКИ

Геофизические методы разведки — электроразведка, магниторазведка и сейсморазведка, а также сейсмоакустические исследования—широко используются при изысканиях для гидротехнического строительства. Они служат для выявления литологических границ, структуры скальных массивов, тектонических нарушений и сопровождающих их зон повышенной трещиноватости пород, зон интенсивного поверхностного выветривания и разуплотнения пород, карста, границ многолетней мерзлоты, а также упругих свойств горных пород в массиве. Правильная интерпретация результатов геофизических исследований возможна только при сочетании их с геологосъемочными, разведочными и другими изыскательскими работами. Геофизические исследования должны предшествовать и сопутствовать разведочным работам и направлять их.

Электроразведка основана на изучении электромагнитных полей. Наибольшее практическое значение при инженерно-геологических изысканиях имеет метод сопротивлений, который включает электрозондирование, электропрофилирование и каротаж. Основным геоэлектрическим параметром, который используется при электроразведке, является удельное электрическое сопротивление. Поэтому успех применения электроразведки зависит главным образом от того, насколько отличаются по этому параметру горные породы, слагающие изучае-

мый геологический разрез. Величина удельного электрического сопротивления зависит от вещественного состава пород, их пористости, трещиноватости, водонасыщенности и минерализации поземных вод. Наиболее высоким сопротивлением отличаются плотные скальные породы и глины, а также сухие рыхлые породы (табл. 5-6).

Таблица 5-6

Геофизические параметры пород

Наименование пород	Удельное электрическое сопротивление, Ом	Скорость распространения продольных волн, км/с
Гранит	$2{,}4 \cdot 10^2$—10^9	4,0—6,5
Гнейс	$6{,}8 \cdot 10^4$—10^9	3,1—5,4
Базальт	$1{,}10^6$—10^9	4,5—6,5
Песок	0,5—10^3	0,3—0,8
Глина	0,16—30	1,0—2,8
Известняк	$2{,}10^2$—10^9	2,8—6,4
Песчаник	20—10^9	1,8—4,0
Сланцы	10—10^3	2,3—4,8
Вода	0,02—150	1,480 (+18°)

Примечание. С увеличением трещиноватости и степени выветрелости скальных пород электрическое сопротивление и скорость распространения продольных волн уменьшаются.

Метод электрического зондирования используется главным образом для определения глубины залегания различных по удельному сопротивлению толщ горных пород или горизонтов подземных вод. При инженерно-геологических изысканиях этот метод используется для расчленения коренных и четвертичных пород, выявления водоупорных и хорошо фильтрующих слоев. Желательно комбинировать электрозондирование с другими видами исследований и, в частности, с электропрофилированием. Расстояние между точками электрозондирования должно быть тем меньше, чем сложнее изучаемый разрез и выше требуемая детальность его расчленения. Точность определения глубины при электрозондировании зависит от большого числа факторов и при благоприятных условиях обычно колеблется от 10 до 20%, уменьшаясь с увеличением глубины.

Метод круговых зондирований используется для определения простирания крутонаклонных пластов, обладающих значительной электрической анизотропией.

Хорошие результаты он дает при выяснении распространения водоносных трещиноватых зон в скальных породах.

Электрическое профилирование применяется для выявления и прослеживания контактов между породами с различными удельными электрическими сопротивлениями. Такие задачи возникают при изучении погребенных геологических структур, разрывных нарушений и зон повышенной трещиноватости пород, при прослеживании переуглубленных долин, характеристике литологического состава четвертичных отложений, прослеживании границ между минерализованными и пресными водами, изучении карста и пр.

Шаг профилирования, т. е. расстояние между точками замеров, изменяется в значительных пределах в зависимости от сложности геологической обстановки. При изучении погребенных структур и древних долин шаг принимается равным 100—200 м, при изучении небольших глубин шаг профилирования берется обычно в пределах 10—50 м. Расстояния между параллельными профилями принимаются обычно в 2—5 раз больше, чем расстояния между точками на профиле.

Магниторазведка может применяться главным образом при изысканиях в районах, сложенных основными изверженными породами, обладающими магнитными свойствами. Она используется для выявления границ изверженных пород, прослеживания тектонических контактов и зон повышенной трещиноватости пород. Магниторазведка может быть использована также для поисков карстовых пустот и погребенных долин в том случае, если они заполнены материалом с магнитной восприимчивостью.

Сейсмоакустические исследования основаны на изучении особенностей полей упругих колебаний, искусственно созданных в горных породах. Сейсмические волны распространяются в различных по составу и состоянию горных породах с неодинаковой скоростью, что дает возможность установить пространственное положение поверхности их раздела. Основными факторами, определяющими скорости распространения сейсмических волн, являются литологический состав пород, их пористость и раздробленность, наличие воды и льда в порах и трещинах. Наибольшие скорости (до 6 км/с) наблюдаются в массивных изверженных породах, наименьшие (0,3 км/с)—в песчаных породах (табл. 5-6).

В зависимости от используемых диапазонов частоты упругих волн различают сейсмический, акустический и ультразвуковой методы. Для решения различных задач может быть использован или весь комплекс методов, или некоторые из них.

Сейсмоакустические исследования имеют очень большие возможности, так как с их помощью может быть изучена структура и строение массивов скальных пород, выявлены тектонические нарушения, определена глубина распространения рыхлых четвертичных отложений, определены упругие характеристики скальных горных пород в образцах и в массиве.

При изучении свойств и состояния горных пород в их естественном залегании геофизические методы используются для определения упругих и деформационных характеристик массива, в том числе модуля деформации и коэффициента отпора, оценки прочностных и фильтрационных свойств скальных массивов, количественной характеристики трещиноватости, анизотропности и неоднородности исследуемых пород, а также оценки степени их выветривания, разрушения и обводнения. При решении этих задач основными являются сейсмоакустические и каротажные методы.

Сейсмоакустические работы проводятся как на дневной поверхности, так и в горных выработках и отличаются от исследований, выполняемых для решения структурных задач, несколько бóльшей детальностью. Для решения полного перечня указанных выше задач необходимо измерение в исследуемом массиве значений скоростей упругих волн по различным направлениям и в различных диапазонах частот. Эти данные дают возможность оценивать строительные свойства крупных частей массива, используя результаты опорных штампоопытов по изучению сжимаемости скальных пород (§ 7-6,а).

Каротаж проводится для изучения разрезов буровых скважин геофизическими методами. С этой целью в скважину опускается специальный прибор — каротажный зонд. В зависимости от применяемого метода может быть электрический, радиоактивный, сейсмический и магнитный каротаж. С помощью различных видов каротажа могут решаться следующие инженерно-геологические задачи: уточнение геологического разреза, выявление тектонических нарушений и сохранности скальных пород; изучение пористости, деформационных свойств и

прочности пород; изучение минерализации подземных вод, скорости фильтрации, фильтрационных свойств пород; геотермические исследования; изучение качества цементационных завес и контакта бетона с основанием гидротехнических сооружений.

Каротаж может применяться на всех этапах и стадиях изысканий, но в наибольшем объеме он используется при детальных исследованиях оснований гидротехнических сооружений.

Глава шестая

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

6-1. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ЗАЛЕГАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Гидрогеология — это учение о подземых водах. В нем рассматриваются условия образования и залегания подземных вод, а также формирования их химического состава.

Подземные воды образуются главным образом за счет инфильтрации (просачивания) атмосферных осадков, выпадающих на поверхности земли, и в меньшей степени за счет утечки из рек, озер и других водоемов. Небольшая часть подземных вод может образовываться также путем конденсации водяных паров в порах и пустотах, содержащихся в горных породах.

Вода имеется во всех сферах земли и в зависимости от внешних условий может находиться в газообразном, жидком или твердом состоянии. В земной коре вода находится во всех трех состояниях: в парообразном состоянии—в воздухе, заполняющем пустоты и поры горных пород; в жидком—в виде подземных вод и в твердом— в виде льда, образующегося при сезонном замерзании почвы и в районах вечной мерзлоты.

В природе постоянно совершается круговорот воды. Парообразная вода, находящаяся в атмосфере, сгущаясь, выпадает в виде дождя и снега и пополняет запасы воды в гидросфере (морях, озерах, реках). При недостаточном насыщении атмосферы водяными парами происходит испарение воды с поверхности водоемов и она в парообразном состоянии попадает в атмосферу. Атмосферные осадки, выпадая на поверхность земли, не

полностью стекают в реки, моря и озера, часть их просачивается в землю и поступает в подземные водные запасы.

Подземные воды, совершая некоторый путь, выходят на поверхность земли в виде источников или в дне водоемов и питают поверхностные воды. Таким образом, круговорот воды в природе охватывает атмосферные, поверхностные и подземные воды.

Просачиваясь в землю, вода заполняет поры, трещины и пустоты в горных породах и, дойдя до водоупорных слоев, образует водоносные горизонты. Все породы в земной коре условно делятся на водопроницаемые и водоупорные. К водопроницаемым относятся трещиноватые и закарстованные скальные породы, галечники, пески, супеси и другие породы, имеющие поры и пустоты. К водоупорным относятся монолитные, скальные породы и глины.

Состояние воды в горной породе зависит от ее содержания. Если воды в породе очень мало, то ее молекулы удерживаются силами сцепления на поверхности зерен и пустот породы. Такая вода называется связанной, ее можно удалить только высушиванием при температуре более 100°С.

При увеличении влажности породы вся вода уже не может удерживаться силами сцепления на поверхности частиц и она заполняет наиболее тонкие поры и трещины в породе. Такая вода называется капиллярной, она находится под действием сил поверхностного натяжения и поэтому не просачивается в породу, а образует зону капиллярного поднятия.

Если воды в породе больше, чем ее могут удержать силы поверхностного натяжения, то излишнее ее количество переходит в так называемую гравитационную воду. Такая вода передвигается по законам гидравлики, стремясь занять самое низкое положение. Порода, содержащая связанную и капиллярную воду, называется влажной, а содержащая гравитационную воду — водоносной.

Гравитационная вода, подчиняясь законам земного притяжения, передвигается по водоносной породе по тем же правилам, что и в реке, т. е. движется по уклону водной поверхности от наиболее высоких отметок к более низким. Скорость этого движения зависит от уклона и от степени водопроницаемости породы, которая в свою

очередь определяется их пористостью и трещиноватостью.

Обычно водопроницаемые породы чередуются с водоупорными, поэтому образуется несколько более или менее самостоятельных водоносных горизонтов. Поверхность пород, подстилающих водоносный слой, называется

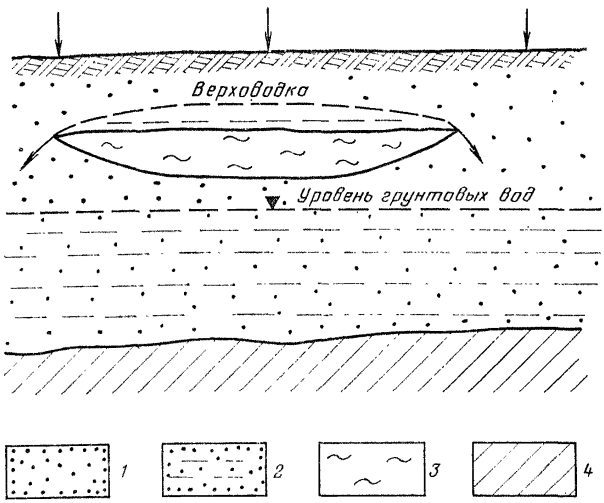


Рис. 6-1. Схема образования верховодки и грунтовых вод.
1 — песок; *2* — песок водоносный; *3* — суглинок иловатый; *4* — глина.

водоупорным ложем, а покрывающих его—водоупорной кровлей. В зависимости от глубины и условий залегания водоносных слоев различают следующие основные виды водоносных горизонтов: верховодка, грунтовые воды, глубокие и артезианские воды.

Верховодка—это временное скопление подземных вод на поверхности небольшого неглубоко залегающего водоупорного пласта. Она может иметь малую мощность, небольшое распространение и в засушливые периоды исчезает (рис. 6-1).

Грунтовые воды—это первый от поверхности земли водоносный горизонт (не считая верховодки). Он обычно не перекрывается водоупорными породами и поэтому является безнапорным. Поскольку он залегает сравни-

тельно близко от поверхности земли, то его уровень и химический состав в течение года обычно меняются в зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков (рис. 6-1).

Если водопроницаемый слой не полностью заполнен водой и поверхность его зеркала не соприкасается с водоупорной кровлей, то говорят, что водоносный горизонт имеет свободную поверхность или является безнапорным.

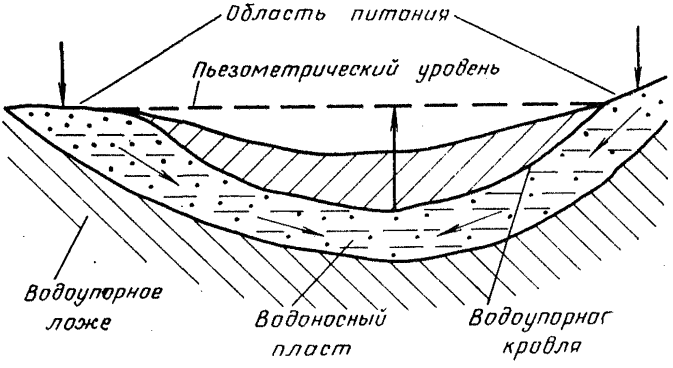


Рис. 6-2. Схема образования артезианского водоносного горизонта.

Напорным называется такой водоносный горизонт, который полностью заполняет водоносный пласт и его напорный (пьезометрический) уровень устанавливается выше водоупорной кровли. Напорные воды образуются в том случае, если в области питания водоносный слой залегает выше, чем в области разгрузки (рис. 6-2).

Областью питания водоносного горизонта называется то место, где в него поступает вода из атмосферы, из водоемов или из других водоносных горизонтов. Областью разгрузки или дренирования называется то место, где вода из водоносного горизонта изливается на поверхность в виде источника или пластового выхода. Подземные воды движутся от области питания к области разгрузки.

Водоносные горизонты, лежащие ниже грунтовых вод, перекрываются водоупорными породами, обладают напором, а площадь их питания обычно находится на периферии области распространения. Если такой водоносный горизонт занимает большую площадь, имеет обильное питание и залегает на значительной глубине,

то он называется артезианским. Артезианские воды обычно используются для водоснабжения крупных населенных пунктов, так как они защищены от загрязнения и характеризуются наибольшим постоянством состава и дебита.

В зависимости от характера пустот, имеющихся в породах, различают поровые воды, заключенные обычно в обломочных породах, трещинные воды—в скальных породах и карстовые воды—в закарстованных скальных породах.

6-2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Подземные воды, заключенные в порах и пустотах горных пород, находятся в движении, которое совершается в направлении от более высокого к более низкому положению зеркала подземных вод. Скорость этого движения зависит от трех главных причин: напора (разности уровней), длины пути и сопротивления породы движению воды. Отношение напора h к длине пути l называется гидравлическим градиентом и обозначается буквой I:

$$I=\frac{h}{l}. \qquad (6\text{-}1)$$

Сопротивление породы движению воды зависит от размеров и характера пор и пустот. Каждой породе свойственна определенная степень водопроницаемости, показателем которой служит коэффициент фильтрации породы K.

Подземный поток обычно движется по тонким порам и трещинам в породах, поэтому он почти всегда имеет характер параллельно-струйного, плавного или ламинарного движения, подчиняющегося закону Дарси. Этот закон выражается уравнением:

$$K=\frac{Q}{FI}, \qquad (6\text{-}2)$$

где Q—количество фильтрующейся воды; K—коэффициент фильтрации; I — гидравлический градиент: F — площадь поперечного сечения потока.

Количество фильтрующейся воды Q зависит от скорости фильтрации v и площади поперечного сечения потока F:

$$Q=vF. \qquad (6\text{-}3)$$

Здесь v — кажущаяся скорость потока, которая меньше действительной скорости, так как фильтрация происходит не через все сечение F, а только через поры и пустоты в породе.

Из уравнения (6-2) следует, что $K=v/I$. При I, равном единице, $K=v$.

Таким образом, коэффициент фильтрации представляет собой кажущуюся скорость движения подземного потока при гидравлическом градиенте, равном единице.

Если подземные воды движутся не по порам, а по карстовым пустотам и трещинам, имеющим большое сечение, то движение будет не плавное, а турбулентное. В этом случае коэффициент фильтрации определяется по формуле Шези:

$$K=\frac{v}{\sqrt{I}}, \tag{6-4}$$

где v — скорость потока; I — гидравлический градиент.

Коэффициент фильтрации является основной величиной, используемой при расчетах фильтрации в основании гидротехнических сооружений, притока воды в строительные котлованы и к дренажным устройствам, а также подпора воды по берегам водохранилищ и каналов. Этот коэффициент обычно имеет размерность м/сут, а иногда см/с. Коэффициент фильтрации определяется опытными откачками, опытными наливами в шурфы и лабораторными методами.

Помимо коэффициента фильтрации водопроницаемость пород может характеризоваться следующими показателями, описанными ниже.

Коэффициент скорости фильтрации K_0 представляет собой действительную (а не кажущуюся) скорость движения воды в породе при гидравлическом уклоне, равном единице:

$$K_0=\frac{v}{P_0}=\frac{Q}{P_0F}, \tag{6-5}$$

где P_0 — активная пористость пород в долях единицы.

Этот коэффициент вычисляется на основании данных о коэффициенте фильтрации, с которым он связан следующей зависимостью:

$$K_0=\frac{K}{P_0}. \tag{6-6}$$

Он служит для оценки возможности размыва или растворения пород, размерность его такая, же как и коэффициента фильтрации.

Коэффициент пьезопроводности a для напорных вод или уровнепроводности для безнапорных вод показывает скорость изменения уровня подземных вод в процессе неустановившегося движения в напорных условиях

$$a = \frac{K}{\gamma\beta^*}, \tag{6-7}$$

в безнапорных условиях

$$a = \frac{KH_{ср}}{\mu}, \tag{6-8}$$

где K — коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут; γ — плотность воды; β^* — коэффициент упругости водоносного пласта; μ — коэффициент водоотдачи; $H_{ср}$ — средняя мощность водоносного пласта, м.

Коэффициент пьезопроводности используется для фильтрационных расчетов в условиях неустановившегося движения подземных вод, размерность его м²/сут. Для определения его проводятся опытные откачки при неустановившемся режиме фильтрации.

Коэффициент фильтрационной анизотропии λ показывает соотношение водопроницаемости пород в горизонтальном и вертикальном направлениях и выражается следующей формулой:

$$\lambda = \sqrt{\frac{K_в}{K_г}}, \tag{6-9}$$

где $K_в$ — коэффициент фильтрации в вертикальном направлении; $K_г$ — коэффициент фильтрации в горизонтальном направлении.

Удельное водопоглощение q — это величина поглощения воды в литрах в минуту на 1 м длины опробуемого интервала скважины при напоре, равном 1 м:

$$q = \frac{Q}{hl}, \tag{6-10}$$

где Q — поглощение воды, л/мин; h — избыточный напор над уровнем воды в скважине, м; l — длина опробуемого интервала скважины, м.

Удельное водопоглощение определяется опытными нагнетаниями воды в скважины. Оно используется глав-

ным образом при проектировании противофильтрационных завес.

В комплекс гидрогеологических исследований, выполняемых при изысканиях для гидротехнического строительства, входят опытные откачки, опытные наливы в шурфы, опытные нагнетания в буровые скважины, стационарные наблюдения за режимом подземных вод, определения направления и скорости движения подземных вод и гидрохимические исследования.

6-3. ОПЫТНЫЕ ОТКАЧКИ

а) Общие положения

При инженерно-геологических изысканиях опытные откачки из буровых скважин проводятся для определения коэффициента фильтрации и других показателей водопроницаемости пород. При изысканиях для водоснабжения целью откачки является выявление количества воды (дебита), которое может дать откачиваемая скважина в единицу времени.

Для того чтобы опытная откачка наиболее правильно характеризовала водопроницаемость того или иного пласта породы, небходимо тщательно выбирать место расположения опытной скважины, а также установить ее глубину, способ оборудования фильтром, принять тот или иной тип откачки, ее продолжительность и режим, которые в наибольшей степени отвечают поставленной задаче.

При решении этих вопросов следует исходить из расчетной схемы, по которой будет проводиться обработка результатов откачки. В этих схемах учитывается мощность водоносного пласта, характер его внешних границ, степень неоднородности пород, гидравлические условия (напорные или безнапорные воды), степень вскрытия пласта скважиной, расположение в ней фильтра, режим откачки (установившийся, неустановившийся), тип откачки (одиночная, кустовая), величину сопротивления фильтра (рис. 6-3). Некоторые, наиболее распространенные типовые расчетные схемы опытной откачки и соответствующие им формулы помещены в табл. 6-1 и 6-2.

Во время откачки вокруг откачиваемой скважины создается понижение поверхности (зеркала) подземных вод и образуется депрессионная воронка. В вертикальном разрезе эта воронка ограничивается депрессионной

кривой. Расстояние от центра скважины до края воронки называется радиусом депрессии (рис. 6-4).

При опытных откачках измеряется расход откачиваемой воды, понижение ее уровня и форма или радиус воронки депрессии. На основании этих данных по той

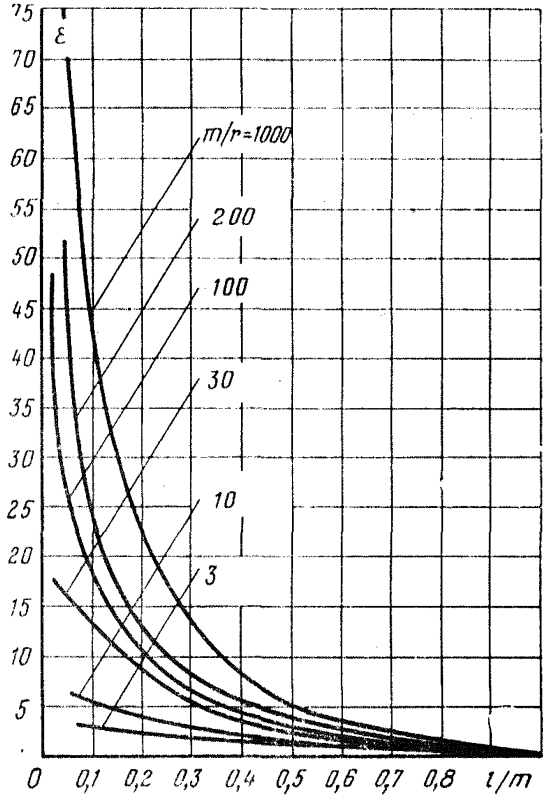


Рис. 6-3. График функции ξ для расчета несовершенных скважин. *m* — мощность водоносного пласта; *l* — длина водоприемной части скважины; *r* — радиус центральной скважины или расстояние до наблюдательных скважин.

или иной формуле, выбор которой зависит от принятой расчетной схемы, вычисляется коэффициент фильтрации водоносного пласта и другие показатели, характеризующие его водопроницаемость.

В процессе откачки из безнапорного водоносного пласта порода, расположенная между естественным уровнем воды и воронкой депрессии, осушается. При откачке из напорного водоносного пласта, в котором водоносный слой

перекрыт сверху водоупорной кровлей, такого осушения может не происходить, не произойдет понижение напора. Это понижение также будет иметь вид воронки и в вертикальном разрезе ограничиваться кривой депрессии.

Расход откачиваемой воды определяется непосредственным измерением, а для определения воронки депрес-

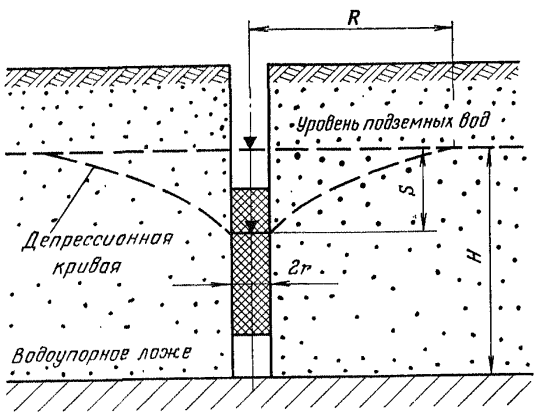


Рис. 6-4. Депрессионная воронка в разрезе.
H — мощность водоносного горизонта; *S* — величина понижения уровня подземных вод в опытной скважине при откачке.

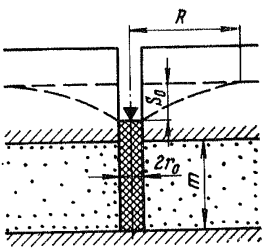
сии вокруг откачиваемой скважины проходятся наблюдательные скважины, в которых в процессе откачки измеряют положение уровня подземных вод. Такая откачка, для которой оборудуется куст скважин, состоящий из центральной (опытной) скважины и наблюдательных, называется кустовой. Она может дать наиболее точные данные о водопроницаемости пласта, однако требует больших затрат труда и времени. Поэтому кустовые откачки проводятся в ограниченном количестве на наиболее характерных и наиболее ответственных участках. Более широко распространены откачки из одиночных скважин, около которых не проходятся наблюдательные скважины. В этом случае радиус депрессионной воронки или радиус влияния скважины принимается условно по методу аналогии (табл. 6-3).

Таблица 6-1

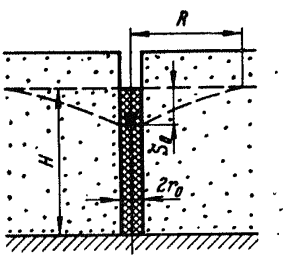
Расчетные схемы и формулы для вычисления коэффициента фильтрации по данным откачки из совершенных скважин, расположенных в однородных, не ограниченных в плане пластах

Напорные воды	Безнапорные воды

а) Одиночные откачки

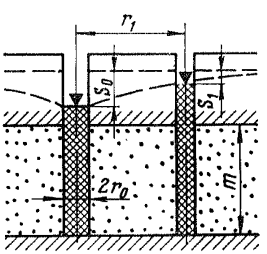


$$K = \frac{0{,}366Q \lg \frac{R}{r_0}}{mS_0} \quad (6\text{-}11)$$

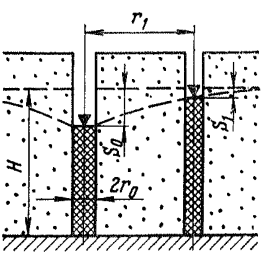


$$K = \frac{0{,}73Q \lg \frac{R}{r_0}}{(2H - S_0)S_0} \quad (6\text{-}12)$$

б) Кустовые откачки для центральной и наблюдательной скважин



$$K = \frac{0{,}366Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{m(S_0 - S_1)} \quad (6\text{-}13)$$

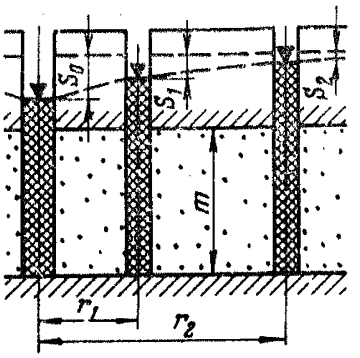


$$K = \frac{0{,}73Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{(2H - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)} \quad (6\text{-}14)$$

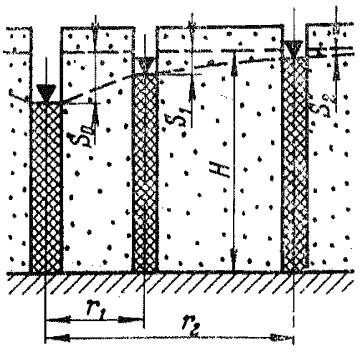
Продолжение табл. 6-1

Напорные воды	Безнапорные воды

в) Кустовые откачки для двух наблюдательных скважин



$$K = \frac{0{,}366Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{(S_1 - S_2)m} \qquad (6\text{-}15)$$



$$K = \frac{0{,}73Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \qquad (6\text{-}16)$$

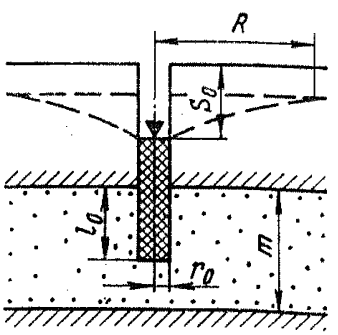
K — коэффициент фильтрации; Q — дебит скважины; m — мощность пласта напорных вод; H — мощность пласта безнапорных вод; R — радиус воронки депрессии (см. табл. 6-3); r — радиус водоприемной части опытной скважины; r_1 и r_2 — расстояния первой и второй наблюдательных скважин от контрольной; S_0, S_1, S_2 — понижение уровня соответственно в центральной, первой и второй наблюдательных скважинах.

Таблица 6-2

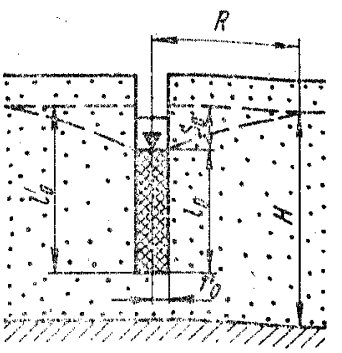
Расчетные схемы и формулы для вычисления коэффициента фильтрации по данным откачки из н совершенных скважин, расположенных в однородных, не ограниченных в плане пластах

Напорные воды	Безнапорные воды

а) Одиночные откачки



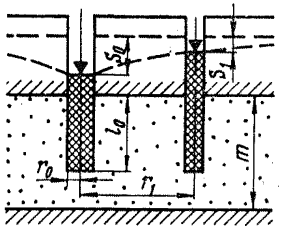
$$K = \frac{0{,}366Q\left[\lg \frac{R}{r_0} + 0{,}217\xi_0\right]}{mS_0} \qquad (6\text{-}17)$$



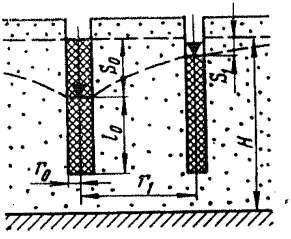
$$K = \frac{0{,}73Q\left[\lg \frac{R}{r_0} + 0{,}217\xi_0\right]}{(2H - S_0)S_0} \qquad (6\text{-}18)$$

Напорные воды	Безнапорные воды

б) Кустовые откачки для центральной и наблюдательной скважин

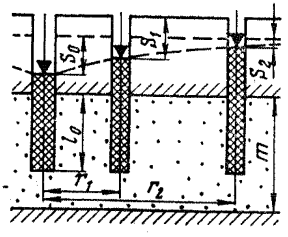


$$K = \frac{0{,}366Q\left[\lg\frac{r_1}{r_0} + 0{,}217(\xi_0 - \xi_1)\right]}{m(S_0 - S_1)} \qquad (6\text{-}19)$$

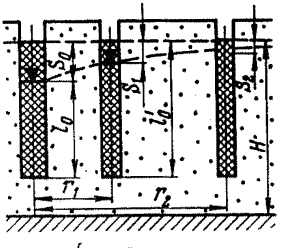


$$K = \frac{0{,}73Q\left[\lg\frac{r_1}{r_0} + 0{,}217(\xi_0 - \xi_1)\right]}{(2H - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)} \qquad (6\text{-}20)$$

в) Кустовые откачки для двух наблюдательных скважин



$$K = \frac{0{,}366Q\left[\lg\frac{r_2}{r_1} + 0{,}217(\xi_1 - \xi_2)\right]}{m(S_1 - S_2)} \qquad (6\text{-}21)$$



$$K = \frac{0{,}73Q\left[\lg\frac{r_2}{r_1} + 0{,}217(\xi_1 - \xi_2)\right]}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \qquad (6\text{-}22)$$

ξ_0, ξ_1, ξ_2 — величины сопротивлений, учитывающие несовершенство центральной, первой и второй наблюдательных скважин, определяются по графику (рис. 6-3); остальные обозначения—см. табл. 6-1.

Таблица 6-3

Приближенная величина радиуса депрессионной воронки, которая может быть принята при продолжительности откачки не менее 1 сут

Наименование пород	Радиус депрессии R, м	
	в напорных пластах	в безнапорных пластах
Супеси, тонкозернистые пески	150	20
Мелкозернистые пески	500	50
Среднезернистые пески	1000	80
Крупнозернистые гравелистые пески	—	100

Главные преимущества кустовой откачки по сравнению с одиночной состоят в следующем:

1) При обработке результатов кустовых откачек исключается необходимость использования величины радиуса депрессии, которая может быть определена лишь очень условно.

2) Наличие наблюдательных скважин дает возможность более уверенно определять момент, когда движение воды становится практически установившимся.

3) Расчет коэффициента фильтрации и других параметров по наблюдательным скважинам, а не по откачиваемой (центральной), позволяет не учитывать сопротивление фильтра.

4) При откачке из сильнотрещиноватых пород вблизи скважины может возникнуть турбулентное движение воды, а в некотором удалении от нее, где расположены наблюдательные скажины, сохраняется ламинарный режим, при котором может быть более точно определен коэффициент фильтрации.

5) При наличии нескольких лучей наблюдательных скважин имеется возможность дать оценку фильтрационной неоднородности пласта в горизонтальном направлении.

6) При кустовой откачке помимо коэффициента фильтрации могут быть определены также коэффициент пьезопроводности (уровнепроводности), коэффициент скорости фильтрации, а при запуске индикаторов — действительные скорости фильтрации и водоотдача пород (§ 6-6).

При проведении одиночной откачки фиксируется только понижение уровня в самой откачиваемой сква-

жине. Для того чтобы проконтролировать это понижение в процессе откачки из песчаных пород, рядом с фильтром устанавливается так называемый прифильтровый пьезометр. Диаметр такого пьезометра должен быть в 4—5 раз меньше диаметра фильтра откачиваемой скважины. Если по техническим причинам не имеется возможности замерить уровень воды в откачиваемой скважине, то его замеряют в прифильтровом пьезометре. При откачке из напорного водоносного горизонта эта величина может рассматриваться как расчетная. При откачке из безнапорного горизонта для определения расчетного понижения необходимо от замеренного в прифильтровом пьезометре уровня отнять величину участка высачивания, которая определяется по таблицам.

Если опытная скважина оборудована прифильтровым пьезометром в рыхлых породах, то для расчетов принимается радиус фильтра скважины, а не расстояние между осями фильтра и прифильтрового пьезометра.

В процессе откачки постепенно образуется воронка депрессии, и в то время, когда приток воды к скважине становится равным расходу откачиваемой воды, воронка больше не увеличивается и наступает установившийся режим откачки. Обычно такой стационарный режим наступает через несколько часов после начала откачки, но, чтобы убедиться в его постоянстве, откачку продолжают еще некоторое время (до 1 сут), в течение которого уровень воды в откачиваемой и наблюдательных скважинах и дебит откачиваемой воды должны оставаться постоянными. Практически установившимся уровнем считается такой, который при постоянном дебите скважины изменяется в течение 4—6 ч, не более чем на 1—2 см. Практически установившимся дебит считается в том случае, если он при установившемся уровне воды уменьшается не более чем на 10% среднего значения.

Режим, который существует до стабилизации уровня и дебита воды, называется неустановившимся. Откачки при неустановившемся режиме занимают меньше времени, но для того чтобы получить необходимые данные для расчетов показателей водопроницаемости пород, в процессе этих откачек необходимо проводить очень тщательные наблюдения за дебитом откачиваемой воды и ее уровнем. Откачки при неустановившемся режиме проводятся только в случае необходимости определения коэффициента пьезопроводности (уровнепроводности).

б) Проект проведения опытной откачки

Перед проведением опытной откачки составляется проект выполнения опыта, на основании которого выдаются технические задания на бурение опытных скважин, на оборудование их фильтрами и насосными установками и на проведение опытной откачки.

В проекте указывается: место проведения опыта и схема расположения опытной и наблюдательных скважин (для кустовых откачек); диаметр и глубина скважин; глубина установки фильтров в скважинах; диаметр, длина, тип и конструкция фильтров; количество и величина понижений; ожидаемый расход воды при каждом понижении; тип и марка насоса, а также схема его установки; способы измерения уровня воды в скважинах и дебита воды, отвод откачиваемой воды. В основе этого проекта должна лежать принятая расчетная схема опытной откачки, которая в зависимости от конкретных условий, встреченных при подготовке опыта, может несколько видоизменяться и уточняться. Все уточнения проекта откачки отражаются в технических заданиях.

В целях расположения опытных скважин на наиболее характерных участках, правильного выбора длины и положения фильтра откачиваемой скважины, а также наиболее рационального размещения лучей наблюдательных скважин опытного куста необходимо до бурения опытных скважин учесть весь имеющийся материал разведочных и опытно-фильтрационных работ, выполненных по данному объекту.

При выборе места расположения опытной скважины необходимо прежде всего убедиться в том, что гидрогеологические условия в выбранной точке характерны для изучаемого водоносного пласта. Следует избегать таких участков, где мощность и водопроницаемость водоносного пласта резко изменяются, так как в этом случае снижается точность расчетов. Если имеющихся материалов для такого выбора недостаточно, то могут проходиться специальные скважины, в которых устанавливаются геологический разрез, гидрогеологические условия и проводятся пробные откачки.

При выборе места для проведения откачки необходимо учитывать удаленность его от ближайшего водоема, так как от этого зависит выбор расчетной схемы. Если откачка производится вне влияния водоема, то во-

доносный пласт рассматривается как не ограниченный в плане. Если откачка ведется из скважины, расположенной вблизи водоема, и депрессионная воронка достигает его берега, то водоносный пласт считается полуограниченным. Откачки из неограниченных пластов дают более надежные результаты.

При выборе расчетной схемы необходимо также учитывать положение водоносного пласта в вертикальном разрезе. Схема с ограниченной мощностью пласта принимается в том случае, когда в его подошве и кровле залегают менее водопроницаемые породы и мощность водоносного пласта меньше десятикратной длины водоприемной части скважины (фильтра). Схема неограниченной мощности пласта принимается тогда, когда мощность пласта больше десятикратной длины водоприемной части скважины.

Если откачка проводится недалеко от реки, то одновременно ведутся наблюдения за ее уровнем. При значительных колебаниях уровня воды в реке кустовую откачку вблизи нее проводить не рекомендуется, так как эти колебания могут повлиять на уровень воды в наблюдательных скважинах и исказить данные откачки. Во всех случаях, когда установлена гидравлическая связь исследуемого водоносного горизонта с водоемом, на нем устраивается водомерный пост, на котором ведутся наблюдения в подготовительный период и во время откачки. Одновременно проводятся наблюдения за уровнем подземных вод в скважине, расположенной вне влияния опытной откачки, но на таком же расстоянии от водоема, как и опытная скважина.

При откачках из не ограниченных в плане пластов получаются более надежные данные для вычисления коэффициента фильтрации.

При изысканиях для гидротехнического строительства очень часто для характеристики водопроницаемости пород, залегающих в русле, проводятся откачки из русловых скважин. В этом случае принимаются специальные меры по изоляции скважины от речных вод и применяются особые расчетные схемы для вычисления коэффициента фильтрации.

При выборе места откачки необходимо также по возможности учитывать производственные условия проведения опыта. Желательно проводить откачку там, где изучаемый водоносный горизонт находится на наимень-

шей глубине от поверхности, так как это упрощает проведение опыта.

Число и направление лучей наблюдательных скважин при кустовой откачке зависит от неоднородности строения водоносного пласта, от близости водоема, от предполагаемого направления фильтрационного потока, который образуется после создания подпора, а также от задач, решаемых откачкой.

Если водоносный пласт является однородным в горизонтальном направлении и откачка проводится вне влияния водоема, то оборудуется один луч наблюдательных скважин и направление его выбирается только в зависимости от направления предполагаемого фильтрационного потока. При неоднородном строении пласта в горизонтальном направлении устраиваются два-три луча наблюдательных скважин, которые должны совпадать с направлениями, характеризующимися различной водопроницаемостью. Так, например, в скальных породах лучи располагаются по направлению наибольшей их трещиноватости и перпендикулярно этому направлению. При неоднородном строении пласта в вертикальном направлении закладываются два-три луча, на которых наблюдательные скважины располагаются на разных уровнях.

При откачке вблизи водоема лучи с наблюдательными скважинами располагаются вдоль его берега и перпендикулярно ему. Количество наблюдательных скважин на каждом луче зависит от гидрогеологических условий водоносного горизонта и принятой расчетной схемы откачки. В однородных породах можно ограничиться двумя наблюдательными скважинами на каждом луче, а в неоднородных число их обычно составляет три, но может достигать пяти. Меньше двух скважин располагать на луче нежелательно, так как наиболее точно коэффициент фильтрации может быть определен по данным понижения уровня воды в смежных наблюдательных скважинах. Если в пределах воронки депрессии имеются какие-либо разведочные скважины или колодцы, то они также должны быть использованы для вычисления коэффициента фильтрации.

Расстояние наблюдательных скважин от центральной зависит от водопроницаемости пород. Первая наблюдательная скважина в слабоводопроницаемых породах (мелкозернистые пески и пр.) может располагаться

на расстоянии 3—5 м, а в породах очень сильноводопроницаемых (промытых галечниках, сильно трещиноватой скале) — на расстоянии 10—15 м. Расстояние от центральной до каждой последующей наблюдательной скважины принимается в 2—3 раза больше. При выборе расстояния между наблюдательными скважинами следует исходить из того, что понижение уровня воды в самой дальней скважине должно составлять не менее 0,3 м, а разность между понижениями уровня

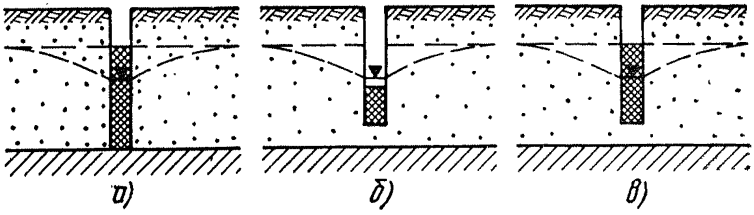


Рис. 6-5. Схема расположения фильтра в безнапорном водоносном горизонте.

а — совершенная скважина с затопленным фильтром; *б* — несовершенная скважина с затопленным фильтром; *в* — несовершенная скважина с незатопленным фильтром.

в двух смежных скважинах — не менее 0,3 м. Исключение составляют очень сильноводопроницаемые породы, в которых не удается создать большое понижение уровня воды при откачке, поэтому рассматриваемые величины здесь могут составлять 0,1—0,15 м.

Расчетная схема вычисления коэффициента фильтрации зависит от соотношения длины водоприемной части скважины (фильтра) и мощности водоносного пласта. Если длина фильтра равна мощности водоносного пласта, то считают, что откачка производится из совершенной скважины (рис. 6-5,*а*). Такие откачки обычно производятся в однородных по водопроницаемости пластах, имеющих мощность до 10 м. Полученные при этом данные характеризуют среднюю водопроницаемость всего пласта.

Если длина фильтра меньше мощности водоносного пласта, то считают, что откачка производится из несовершенной скважины, при этом фильтр может находиться в верхней, средней или нижней части водоносного пласта. В безнапорных водоносных горизонтах по расположению фильтра относительно уровня подземных вод различают скважины с затопленным фильтром, когда уровень воды при откачке располагается выше фильт-

ра, и с незатопленным фильтром (рис. 6-5,*б* и *в*). В напорных водоносных горизонтах фильтр всегда является затопленным.

Откачка из несовершенных скважин применяется в тех случаях, когда нельзя провести откачку из совершенной скважины: при значительной мощности водоносного пласта, когда трудно установить фильтр на всю его мощность; при неоднородном строении пласта, когда его надо опробовать по зонам; при определении водопроницаемости пород, залегающих в русле реки, когда фильтр должен быть удален от ее дна на определенное расстояние. Длина фильтров несовершенных скважин должна быть не менее 0,1 мощности опробуемого пласта и составляет обычно 3—5 м.

При определении глубины скважины следует исходить из необходимости разместить фильтры опытной и наблюдательных скважин в соответствии с принятой расчетной схемой опытной откачки.

Диаметр опытных и наблюдательных скважин зависит от принятой конструкции фильтров, способов изоляции водоносного горизонта и других условий. При назначении его следует иметь в виду, что качественные результаты откачки могут быть получены, если диаметр водоприемной части опытной скважины в маломощных водоносных горизонтах (с отдельным дебитом до 0,2 л/с) составляет не менее 80 мм, а при значительном притоке к скважине — не менее 150 мм. Откачки из очень мощных горизонтов производятся из скважин-шахт диаметром 800—1200 мм.

При выборе диаметра скважины следует обеспечить зазор размером не менее 30 мм между трубами фильтра и всасывающей трубой насоса, который необходим для замера уровня воды в скважине во время откачки и притока в нее воздуха при откачке «на храп». Диаметр наблюдательных скважин выбирается с таким расчетом, чтобы можно было опустить в них прибор для измерения уровня воды, а также производить чистку скважины. Обычно он принимается в пределах 50—100 мм.

в) Оборудование для опытных откачек

Фильтры

Фильтры служат для предохранения стенок скважины от обрушения и пропуска в нее воды. Они устанавливаются при откачке из песков, галечников и других сыпу-

чих пород, а в устойчивых скальных породах откачки проводятся без фильтров. Фильтр должен быть достаточно прочным, легко пропускать воду, но задерживать частицы породы. Небольшой вынос мелких частиц из породы, прилегающей к фильтру (пескование), допускается только в самом начале его работы — во время пробной откачки, пока вокруг скважины образуется промытая зона, представляющая собой естественный фильтр. Дальнейшее пескование скважины не допускается, так как оно может изменить водопроницаемость пород. В связи с этим к подбору фильтров надо подходить очень тщательно, добиваясь того, чтобы условия прохождения через него воды по возможности приближались к условиям фильтрации через исследуемую породу. Водопроницаемость фильтра характеризуется его скважностью, которая представляет собой отношение суммарной площади проходных отверстий фильтра к площади его наружной поверхности. Скважность фильтров, устанавливаемых в опытных скважинах, должна быть не менее 20%, а в наблюдательных — 10%.

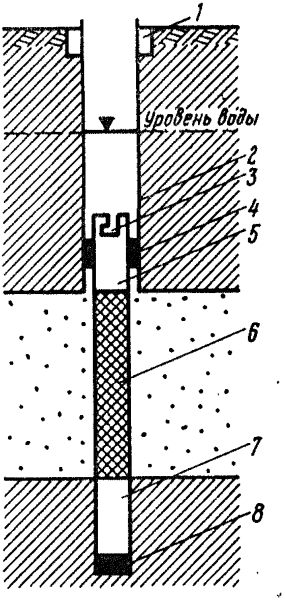


Рис. 6-6. Схема установки фильтра в скважине.
1 — приямок; *2* — обсадная труба; *3* — замок; *4* — сальник; *5* — надфильтровая труба; *6* — фильтр; *7* — отстойник; *8* — пробка.

По конструктивным особенностям различают следующие основные типы фильтров: дырчатые, сетчатые, гравийные. Каждый фильтр независимо от его конструкции состоит из отстойника, рабочей части и надфильтровых труб (рис. 6-6). Отстойник представляет собой глухую трубу длиной 1—3 м с закрытым нижним отверстием. Он располагается в нижней части фильтра и служит для оседания частиц породы. Рабочая часть фильтра может иметь длину от 2 до 10 м. При большой длине она составляется из отдельных звеньев, длина которых обычно не превышает 2—3 м. Если водоносный горизонт содержит водоупорные линзы, то на соответствующих им

интервалах в фильтровую колонну вставляются глухие трубы. Надфильтровые трубы помещаются над рабочей частью, длина их зависит от способа установки фильтра, но должна быть не меньше 2 м. Верхний конец надфильтровой трубы должен иметь или замок для опускания фильтра, или муфту для соединения с колонной труб.

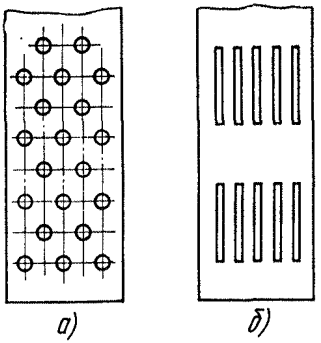


Рис. 6-7. Дырчатые фильтры.

а — с круглыми отверстиями; *б* — с щелевидными отверстиями.

Фильтры для опытных откачек обычно изготовляются из металлических труб, но применяются также трубы из пластмассы, асбоцемента и других материалов.

Дырчатый фильтр представляет собой перфорированную трубу, в которой имеются отверстия круглой или щелевидной формы (рис. 6-7,*а* и *б*). Для труб с круглыми отверстиями скважность обычно не превышает 30%, а при щелевидных отверстиях может достигать 40%. Щелевые фильтры, кроме того, более долговечны и могут быть применены в более мелкозернистых породах, чем фильтры с круглыми отверстиями.

Таблица 6-4

Размеры и расположение круглых отверстий дырчатых фильтров

Наружный диаметр трубы, мм	Скважность фильтра, %	Диаметр отверстий, мм	Расстояния между центрами отверстий, мм		Число отверстий в горизонтальном ряду
			в горизонтальных рядах	в вертикальных рядах	
89	32	12	23	15	12
114	30	12	30	18	16
168	31	20	33	30	16
219	30	20	43	35	16

Перфорация труб для фильтров является очень трудоемкой работой, поэтому всегда стремятся использовать фильтры заводского изготовления. При необходимости проводить эту работу в мастерских изыскательской

экспедиции разметку металлических труб для перфорации можно вести в соответствии с табл. 6-4.

Из неметаллических дырчатых фильтров в практике изысканий чаще всего используются винипластовые щелевые фильтры, которые имеют скважность до 30% и устойчивы против всех видов коррозии. Наружные размеры их соответствуют диаметрам обсадных труб колонкового бурения и изменяются от 63 до 150 мм.

Сетчатые фильтры состоят из опорного перфорированного трубчатого или стержневого каркаса, опорной проволоки, намотанной на трубу по спирали, которая не позволяет сетке плотно прилегать к трубе, и сетки, покрывающей фильтр. Для предохранения сетки от повреждения фильтр снаружи покрывается спиралью из медной проволоки. Сетка и проволочные спирали соединяются пайкой (рис. 6-8).

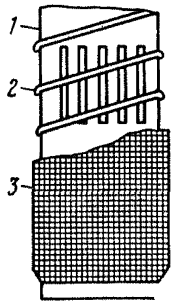


Рис. 6-8. Сетчатый фильтр.
1 — перфорированная труба; *2* — обмотка из проволоки; *3* — сетка.

Фильтровые сетки могут быть металлические, пластмассовые и из стекловолокна. Наиболее распространены при опытных откачках металлические латунные сетки, которые по способу плетения могут быть простые (квадратные), галунные и киперные. Все эти сетки выпускаются с различной частотой расположения нитей основы и утка и различаются по номерам. Номер сетки показывает количество нитей основы, приходящихся на 1 дюйм (25,4 мм).

При откачке из крупнозернистых песков обычно применяется простая сетка, а из мелкозернистых песков — галунная, так как она лучше удерживает мелкие частицы грунта.

Сетки из пластмассы и стекловолокна обычно используются не для опытных, а для наблюдательных скважин, так как они менее удобны для откачки воды. Гофрированная винипластовая сетка имеет круглые отверстия диаметром 2,8 мм и скважность 55%. При использовании такой сетки проволочная обмотка перфорированной трубы не делается, так как сетка прилегает к каркасу фильтра лишь ребрами. Если каркас фильтра делается не из трубы, а из стержней, то для предохранения сетки от продавливания необходимо перед ее

закреплением натянуть на каркас металлическую или пластмассовую прокладочную сетку с крупными отверстиями. Фильтры, покрываемые стеклотканью, состоят из опорного каркаса (металлического или пластмассового) и подкладочной гофрированной сетки из винипласта, на которую натягивается стеклоткань.

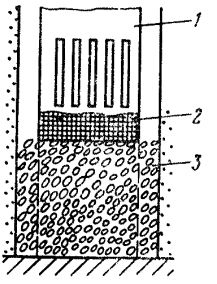


Рис. 6-9. Фильтр с гравийной обсыпкой.
1 — перфорированная труба; *2* — сетка; *3* — гравийная обсыпка.

Гравийные фильтры представляют собой перфорированную трубу, покрытую сеткой и обсыпанную с поверхности мелким гравием или крупнозернистым песком (рис. 6-9). Они могут изготавливаться на поверхности и в этом случае должны иметь наружную оболочку или создаваться в скважине путем обсыпки гравием опущенного в нее каркаса. При опытных откачках чаще всего используется именно этот второй способ устройства гравийного фильтра.

При подборе материала для обсыпки гравийных фильтров следует исходить из гранулометрического состава водоносных пород и добиваться того, чтобы в материале обсыпки было минимальное содержание частиц размером меньше среднего диаметра фракций водоносного грунта. Допустимое отношение среднего диаметра зерен обсыпки D_{50} к среднему диаметру зерен откачиваемого грунта d_{50} может составлять: $D_{50}/d_{50}=8\div12$.

При подборе материала обсыпки необходимо исходить из крупности водовмещающих песков и принимать следующие средние значения диаметра зерен обсыпки, мм, в зависимости от крупности песка:

Крупнозернистый	5—8
Среднезернистый	2—5
Мелкозернистый	1—2
Тонкозернистый	0,5—1

Наиболее сложно подобрать состав обсыпки при откачке из тонко- и мелкозернистых песков. Поэтому в очень однородных тонко- и мелкозернистых песках устраиваются фильтры с двухслойной обсыпкой. Средний диаметр зерен внешнего слоя обсыпки должен превы-

шать средний диаметр зерен грунта в 4—5 раз, а средний диаметр внутреннего слоя превышать средний диаметр зерен внешнего слоя в 5—6 раз.

Толщина обсыпки однослойного фильтра должна составлять 40—50 мм, а каждого слоя двухслойного фильтра — 30—40 мм.

Для подбора состава обсыпки фильтра строятся графики в полулогарифмическом масштабе гранулометрического состава водоносного грунта и материала для обсыпки фильтра. Для доведения до требуемого состава материал фильтра промывается водой, просеивается и сортируется. Необходимый объем гравия должен быть определен заранее, и запас его в полтора-два раза должен превышать потребности.

Перед обсыпкой каркас фильтра опускают на забой скважины, которая должна быть обсажена трубами, имеющими диаметр на 80—100 мм больше внешнего диаметра каркаса. Для получения одинаковой толщины обсыпки на каркасе устанавливается центрирующий фонарь. В зазор между трубами и фильтром небольшими порциями, заполняющими пространство высотой до 0,5 м, засыпают гравий и одновременно медленно поднимают трубы. Положение уровня обсыпки проверяют колонной буровых штанг. Верх обсыпки должен находится на 0,5—1 м выше башмака обсадных турб. Во избежание заклинки кольцевого зазора между трубами и фильтром необходимо контролировать степень заполнения зазора по расходу материала. Для этого вычисляют, на какую высоту может быть сделана засыпка одним ведром гравия, и сравнивают вычисленную высоту засыпки с фактически полученной в результате измерений. Засыпку разнозернистого материала рекомендуется производить через вспомогательную колонну трубы внутренним диаметром 15—20 мм, помещенную в кольцевом зазоре. Это поможет избежать расслоения материала обсыпки. Чтобы материал не застревал в этой колонне, ее надо промывать водой.

Высота слоя обсыпки над верхом рабочей части фильтра должна быть не менее 1 м.

Двухслойная обсыпка устраивается с помощью дополнительной колонны безмуфтовых обсадных труб. Обсыпка производится сначала в зазоре между внутренней колонной и обсадными трубами скважины, а затем между каркасом фильтра и первым слоем обсыпки.

При расчете коэффициента фильтрации по результатам откачки из скважины, в которой установлен гравийный фильтр, радиус скважины принимается по внешнему контуру обсыпки.

Насосы

Насосы для опытной откачки выбираются в зависимости от глубины залегания водоносного горизонта и его водообильности. Если во время откачки уровень воды будет находиться на глубине от поверхности земли не более 6—7 м, то применяются поверхностные насосы — всасывающие и центробежные. Для того чтобы приблизить насос к водоносному горизонту, его устанавливают в шурфе, глубина которого может составлять 3—4 м. Откачку из более глубоких водоносных горизонтов ведут глубинными насосами — штанговыми или погружными, а также с помощью подъемников воды — эрлифтов.

Подача насоса должна быть несколько больше предполагаемого дебита откачки при наибольшем понижении уровня воды.

Поверхностные насосы. Для опытных откачек могут применяться как ручные, так и приводные поверхностные насосы. Ручные насосы применяются только при малых дебитах, не превышающих 0,2 л/с. Тип насоса может быть любой, за исключением диафрагмовых, у которых всасывание производится неравномерно со значительными промежутками времени.

Из приводных поверхностных насосов для опытных откачек применяются всасывающие вихревые, поршневые насосы двойного действия и центробежные насосы низкого давления. Всасывающие насосы, если их производительность больше дебита скважины, позволяют производить откачку с автоматическим поддерживанием понижения на том уровне, до которого спущен шланг. Всасывающий шланг при этом с шумом захватывает вместе с водой воздух и откачка производится «на храп». Центробежный насос не может работать, если вместе с водой захватывается воздух, поэтому его всасывающий шланг опускается ниже требуемого понижения уровня воды, которое регулируется дебитом откачки при помощи задвижки, установленной на напорной трубе.

Глубинные насосы. Штанговые насосы представляют собой цилиндр с клапаном, опущенный в скважину на трубах. Цилиндр имеет поршень, приводимый

в движение штангами, соединенными с кривошипным механизмом насосной лебедки (качалки). Наибольшую производительность имеет штанговый насос двойного действия, в котором имеются два поршня. Штанговые насосы применяются при откачке с глубины до 50 м, подача их может составлять до 6 л/с. Ими можно откачивать только чистую воду, так как при наличии в откачиваемой воде песчаных частиц манжеты поршня насоса быстро изнашиваются. Недостатком штанговых насосов является также сложность их установки, так как каждый раз, меняя понижение при откачке, приходится демонтировать насосную лебедку. Эти насосы могут использоваться для откачки «на храп».

Погружные насосы отличаются тем, что у них электродвигатель смонтирован вместе с турбинным насосом и погружается в скважину на такую глубину, при которой во время откачки над насосом остается столб воды высотой не менее 5 м. Эти насосы, сконструированные Гидропроектом, выпускаются различных диаметров — от 89 до 127 мм. Подача их составляет соответственно 2 и 4 л/с. Существуют также погружные насосы марок АТН-8 и АТН-10, у которых турбина приводится во вращение установленным на поверхности двигателем, от которого к насосу идет вал. Эти насосы редко применяются при опытных откачках, так как они сложны в установке.

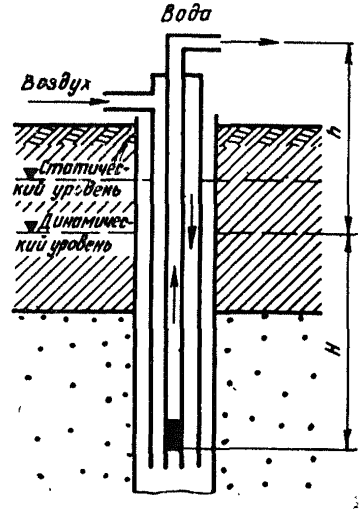


Рис. 6-10. Схема работы эрлифта.

H — глубина погружения смесителя; *h* — высота подъема воды.

Водоподъемники-эрлифты работают по принципу сообщающихся сосудов. В скважину по воздушным трубам подается от компрессора сжатый воздух, который образует вместе с водой смесь более легкую, чем вода. Благодаря этому, а также под действием движущегося кверху воздуха смесь поднимается по водоподъемным трубам и изливается из скважины (рис.

6-10). Производительность эрлифтов зависит от мощности установки и может достигать сотен литров в секунду. Для нормальной работы эрлифта необходимо правильно подобрать глубину погружения в воду смесителя, а также диаметры воздушных и водоподъемных труб. Глубина погружения его ниже динамического уровня воды при откачке и должна превышать высоту подъема воды в 2—3 раза.

Таблица 6-5

Основные денные о насосах, применяемых при опытных откачках

Тип и марка насоса	Диаметр скважины, мм	Подача, м³/ч	Высота, м		Мощность двигателя, кВт
			всасывания	нагнетания	
Поверхностные насосы					
Центробежные:					
4К-6	150	90	7,1	87	55
4К-8	150	90	7,1	55	22
Всасывающие:					
С-245	150	100	6—7	16	19
НЦС-2	150	18—130	6—7	20—8	12
НЦС-3	150	8—60	6—7	21—4	6
Гном-10А	150	10	10	—	1,1
Р250/50	150	15	6—7	50	10
Глубинные насосы					
Штанговые одинарного действия:					
НШ-127	150	14,4	—	40	7
НШ-89	127	7,2	—	50	7
Штанговые двойного действия:					
НДК-146	150	21,6	—	30	7
НДК-108	127	14,4	—	50	7
Погружные:					
ЭПН-6-16×75	150	16	—	75	55
ЭПН-8	219	40	—	65—165	13—30

При опытных откачках эрлифт применяется редко, так как при работе им трудно поддерживать постоянное понижение уровня воды и необходимо иметь большой столб воды в скважине для погружения смесителя на необходимую глубину.

Помимо рассмотренных типов насосов существуют еще насосы водоструйные, вибрационные и других конструкций, однако они редко применяются для опытных откачек.

Основные данные наиболее широко применяемых в практике изысканий насосов приведены в табл. 6-5.

г) Приборы для измерения уровня воды и дебита

Измерения уровня воды при откачке должны производиться с большой точностью, так как величина понижения входит в расчетные формулы. Поэтому к измерительным приборам и способам измерения предъявляются высокие требования. Эти приборы должны обеспечить измерения с точностью до 10 мм, а в отдельных случаях, при кустовых откачках с небольшим понижением уровня воды в наблюдательных скважинах,—с точностью до 5 мм. Значительные ошибки при измерении уровня воды могут произойти за счет удлинения шнура, на котором опускается измерительный прибор в скважину. Поэтому опускать их надо на тонком тросе или на стальной рулетке. Нельзя опускать в скважину измерительные приборы на полотняных рулетках, на шпагате и других шнурах, изменяющих свою длину под влиянием сырости или при натяжении, а также на медных проводах, так как они тоже легко вытягиваются.

Хлопушка является простейшим прибором для измерения уровня воды. Она представляет собой закрытую с одной стороны трубку длиной 50—70 мм и диаметром 20—25 мм, прикрепленную заглушенным концом к стальной рулетке или к тросу, на котором имеются метки через 0,5 м. В целях повышения точности измерений разметку троса надо делать с привязанной к нему хлопушкой в подвешенном состоянии, чтобы натяжение его соответствовало натяжению при спуске хлопушки в скважину. Промышленностью выпускается так называемая гидрорулетка, на конце которой укреплена хлопушка. Хлопушкой можно измерять уровень воды до глубины 10 м. При соприкосновении с водой она издает характерный звук, по которому определяют уровень воды. Однако если на скважине работает двигатель внутреннего сгорания, пользоваться ею трудно.

Электроуровнемеры являются наиболее распространенными приборами. Они работают по принципу замы-

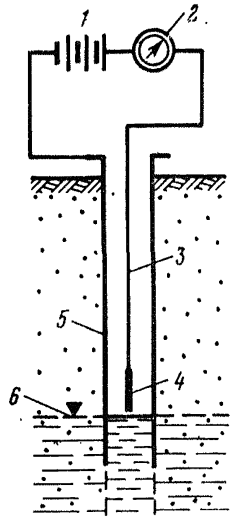


Рис. 6-11. Схема работы электроуровнемера.

1 — электрические батареи; *2* — миллиамперметр; *3* — изолированный провод; *4* — датчик; *5* — обсадная труба; *6* — уровень подземных вод.

кания водой цепи электрического тока, проходящего между датчиком, опускаемым в скважину на проводе, и обсадной трубой (рис. 6-11). Датчик представляет собой металлический стержень, покрытый изоляцией и обнаженный только с нижнего конца. Провод, на котором опускается датчик, имеет метки и служит для измерения уровня воды. Соприкосновение датчика с водой фиксируется миллиамперметром, помещенным в коробке прибора, в которой имеется также рулетка и источник тока — батареи. Наиболее удобными являются электроуровнемеры УЭ-75 и УЭ-200, сконструированные в Гидропроекте. Основные сведения о них помещены в табл. 6-6.

Поплавковый измеритель имеет поплавок, опущенный в скважину на тросе, к другому концу которого, перекинутому через блок, прикреплен противовес. Вращение блока, происходящее при изменении уровня воды, фиксируется на шкале с делениями или на цифровом барабане. Поплавковые приборы могут применяться для регистрации уровня воды в наблюдательных скважинах опытного участка. Существуют поплавковые приборы с самописцем уровня.

Таблица 6-6

Данные об электроуровнемерах

Марка электроуровнемера	Глубина измерения, м	Диаметр датчика, мм	Масса, кг	Источник питания
УЭ-75	75	12	3	Батарея 4 В
УЭ-200	200	12	4	Батарея 4 В

Для измерения уровня воды на опытном участке может применяться пневматический прибор, схема которого помещена на рис. 6-12. Уровень воды в скважине

определяется по разности уровней воды в водяном барометре, к которому подведена резиновая трубка, другой конец которой опущен в скважину несколько ниже уровня воды. Столб воды, находящийся над этим концом трубки, создает в ней избыточное давление, которое фиксируется водяным манометром. Для того чтобы вода не заполнила трубку, перед замером она прокачивается насосом.

Измерение дебита откачиваемой воды может производиться различными способами. Объемный способ состоит в непосредственном измерении времени заполнения сосуда определенной емкости, поэтому он является наиболее простым и надежным. Объем мерного сосуда должен быть таким, чтобы он заполнялся не менее чем за 30 с и не более чем за 5 мин. Если сосуд имеет правильную геометрическую форму (цилиндрическую и пр.), то объем его может быть определен расчетом. В остальных случаях емкость мерного сосуда следует измерять другим меньшим сосудом, объем которого известен. После измерений на сосуде следует надписать его емкость и дату тарировки. При большой емкости сосуда внутри его желательно установить мерную рейку, которая показывала бы объем заполняющей его воды на каждый момент времени. Для выпуска воды из большого бака ко дну его прикрепляется труба с задвижкой.

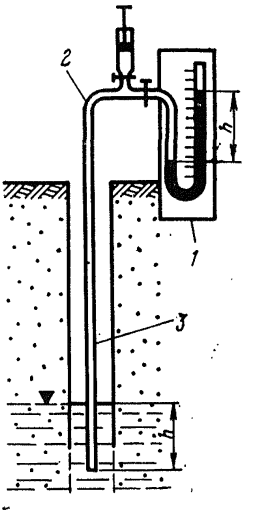


Рис. 6-12. Схема работы пневматического уровнемера.

1 — водяной манометр; *2* — воздушный насос для прокачки резиновой трубки; *3* — резиновая трубка.

При откачке «на храп» и эрлифтом вода поступает из скважины с большим содержанием воздуха, поэтому ее сначала направляют в успокоитель. Он представляет собой лоток или ящик, перегороженный щитами на два или три сообщающихся отделения, пройдя которые вода теряет воздух и приобретает нормальный объем. В этом случае истинный дебит может быть также определен, если после заполнения сосуда подождать некоторое вре-

мя, необходимое для выхода из воды воздуха, и после измерить ее объем по рейке.

Время заполнения сосуда измеряется секундомером. Зная емкость сосуда v и время его заполнения t, дебит откачки Q определяется по формуле $Q=v/t$. Чтобы определенный дебит не оказался случайной величиной, измерения повторяют 2—3 раза подряд и принимают среднеарифметическое значение из этих замеров.

Водомеры применяются при измерении расхода воды более 0,2 л/с и только в том случае, если откачиваемая вода не содержит взвешенных частиц и не насыщена воздухом. Проходящая через водомер вода вращает крыльчатку или турбину, и это вращение фиксируется специальным устройством, показывающим объем воды, прошедшей через водомер. Для того чтобы определить дебит по водомеру, берут два отсчета, вычисляют их разность и делят ее на промежуток времени между этими отсчетами. Каждый водомер имеет паспорт, в котором указывается, на какой режим работы он рассчитан (§ 6-4).

Перед пуском в работу водомер должен тарироваться. Для этого через него пропускают воду с определенным расходом и сверяют прошедший объем с показаниями водомера. На основании такой проверки составляется тарировочный график, которым пользуются для внесения поправок в показания водомера и получения действительного расхода при откачке. При длительных откачках водомер подключают только на время измерения расхода, а в промежутках воду сбрасывают, минуя его.

Кроме описанных способов измерение расхода воды при откачке может производиться специальными приборами—ротаметрами, пьезометрическими и другими приборами, однако они более сложны в работе и дают меньшую точность.

д) Подготовка к откачке

Подготовка к откачке начинается с разбивки скважин на местности. Положение опытной (центральной) скважины должно быть указано руководителем работ, а разбивка лучей и наблюдательных скважин обычно делается топографом. Каждая точка закрепляется колышком с соответствующей надписью. Перед началом бурения скважин техник должен еще раз проверить правильность их положения.

При выборе места для центральной скважины следует предусмотреть возможность удобного отвода откачиваемой воды, которая должна сбрасываться на расстояние не менее 100 м. Отвод обычно осуществляется трубами или лотками самотеком. Во всех случаях желательно сбрасывать воду в близрасположенный водоем.

Одновременно с разбивкой скважин производится нивелирование их устья. Для этого у каждой скважины оборудуется высотная постоянная точка, от которой ведутся все измерения. Точка обычно представляет собой шляпку большого гвоздя, забитого в брус, установленный на двух кольях, прочно забитых в землю. Брус должен иметь горизонтальное положение и верх его—совпадать с поверхностью земли. Рядом с опытным участком устанавливается репер, от которого производится повторное проверочное нивелирование постоянных точек скважин.

Во время бурения необходимо тщательно документировать геологический разрез скважины и вести гидрогеологические наблюдения. Если скважина вскрывает несколько водоносных горизонтов, то необходимо изолировать от них опробуемый горизонт, так как от этого зависит правильность данных опытной откачки. Способ изоляции должен быть предусмотрен в проекте откачки. Если водоносные горизонты разделены слоем глины мощностью не менее 2 м, то изоляция их друг от друга может быть достигнута забивкой обсадных труб. Для этого предварительно скважину углубляют в глину на 1 м меньшим диаметром и после забивают обсадные трубы. При небольшой мощности изолирующего слоя применяется тампонаж глиной. С этой целью расширяют скважину ниже башмака обсадных труб на глубину 1—2 м и забрасывают в нее шарики жирной глины. После их трамбования образуется глиняная пробка, в которую забивают трубы.

Изоляцию водоносного горизонта, заключенного в скальных породах, осуществляют с помощью цементных пробок. Для этого скважину заполняют цементным раствором на глубину 1—1,5 м, в который задавливают обсадные трубы. После схватывания цемента пробку внутри труб разбуривают и продолжают бурение меньшим диаметром.

Для проверки изоляции водоносного горизонта откачивают воду из скважины и следят за постоянством ее

уровня в течение нескольких часов. Если изоляция окажется неудовлетворительной, то ее необходимо произвести вторично. Ход работ по изоляции водоносного горизонта и их результаты отмечают в буровом журнале и в специальном акте тампонажа скважины.

После окончания бурения опытной и наблюдательных скважин уточняется проект проведения опытной откачки и составляется техническое задание на оборудование скважин фильтрами, насосными установками и приборами для измерения уровня и дебита воды. Для этого вычерчиваются разрезы по опытной скважине и по лучам наблюдательных скважин, на которых наносится положение фильтров и составляется схема установки насоса, приборов для измерения дебита воды и пр.

Установка фильтра, являющаяся одной из наиболее ответственных работ, производится буровой бригадой под наблюдением техника, который лично делает все измерения и заносит их в журнал. Фильтр и все необходимые для его установки трубы заранее подбираются на складе, а в случае необходимости изготовляются в мастерских. Трубы, входящие в фильтровую колонну, следует измерить и пронумеровать, при этом надо так подобрать их длину, чтобы верх колонны не выступал над устьем скважины. В случае необходимости для этого у устья скважины может быть пройден небольшой шурф (приямок), который следует закрепить.

Перед установкой фильтра скважина должна быть тщательно прочищена и промыта желонкой или ручным насосом и восстановлен уровень воды. После этого делается контрольное измерение глубины скважины и проверяется по фильтру соответствие глубины расположения рабочей части фильтра и водоносного пласта.

Фильтр может быть установлен на колонне труб, верх которой доходит до поверхности земли, или «впотай» на сальнике (рис. 6-6). В последнем случае наверху фильтра устраивается специальный замок. В него входит соответствующий ключ, навинченный на штанги, на которых опускается фильтр. Ниже замка из пеньки устраивается сальник, который должен плотно входить в обсадные трубы и прочно удерживаться на фильтре. Эта схема более сложна для установки, но имеет ряд преимуществ, так как позволяет сохранить диаметр скважины, что важно для помещения насоса и опускания прибора для измерения уровня воды. Ею рекоменду-

ется пользоваться при глубине скважины, не превышающей 10 м, когда фильтр ставится на прочные породы и нет опасений, что он может в ходе откачки опуститься.

Перед спуском в скважину фильтр тщательно осматривают и промывают, а все замеченные неисправности (повреждения сетки и пр.) устраняют. После того как фильтр поставлен на забой скважины и проверена правильность его положения, начинается подъем обсадных труб для обнажения рабочей части фильтра. Высота подъема должна быть вычислена заранее и строго контролироваться. Если фильтр опущен на сальнике, то башмак обсадных труб после их подъема должен находиться на 0,5—1 м ниже сальника. Извлекать трубы надо медленно и следить при этом за положением фильтра, который может подниматься вместе с обсадными трубами. Чтобы избежать этого, верх колоны труб или штанг, на которых опущен фильтр, упирают в палати буровой вышки. После подъема лишние обсадные трубы отвинчиваются и оставшаяся колонка прочно подвешивается на хомутах и остается в таком положении на протяжении всей откачки.

При установке гравийного фильтра проделываются все операции в соответствии с § 6-3, в. Все данные об установке фильтра заносятся в журнал и показываются на геолого-техническом разрезе.

Насосно-силовое оборудование для откачки подбирается в соответствии с техническим заданием. При установке его техник должен следить за тем, чтобы оно не препятствовало измерению уровня воды в скважине, позволяло удобно и надежно регулировать и измерять дебит и чтобы откачиваемая вода сбрасывалась на достаточном расстоянии от опытной скважины. Кроме того, должна быть обеспечена бесперебойность работы всех механизмов. Все данные об установке насоса и двигателя должны быть записаны в журнал и нанесены на геолого-технический разрез скважины.

Одновременно с установкой насосно-силового оборудования проверяются и устанавливаются приборы для измерения дебита и уровня воды. При откачке на опытном участке желательно каждую наблюдательную скважину оборудовать индивидуальным уровнемером и в промежутках между замерами не вытаскивать его полностью из скважины, а лишь немного приподнимать над уровнем воды. Это позволит повысить точность измере-

ний и сократить необходимое для них время, что имеет очень большое значение, так как измерения во всех наблюдательных скважинах надо проводить одновременно. Значительное сокращение времени измерения может быть достигнуто в том случае, если опытный участок оборудован дистанционной системой измерений (пневматической и пр.).

Мерные баки для измерения дебита должны быть установлены горизонтально и иметь надежные приспособления для быстрого опорожнения. Вся водоприемная и водоотводящая система не должна иметь течи. Установка водомеров делается в соответствии с их техническим паспортом.

Когда все оборудование установлено, проводится пробная откачка, которая имеет целью промыть фильтр и прилегающие к нему породы, установить дебит откачиваемой воды, проверить и подобрать насосное и другое оборудование, установить величину понижений в опытной и наблюдательных скважинах и в случае необходимости скорректировать их глубину и расположение. Пробная откачка ведется до осветления откачиваемой воды. Она обычно бывает непродолжительной, 1—2 смены, и проводится при одном максимальном понижении. При пробной откачке из рыхлых пород желательно всасывающий шланг погружать постепенно во избежание заиления фильтра. Перед прокачкой в скальных и полускальных породах для очистки скважины от шлама может применяться свабирование—подъем всего столба воды с помощью специального поршня, опускаемого на забой скважины.

После окончания пробной откачки проводятся наблюдения за уровнем воды для установления его статического положения, от которого будут отсчитываться понижения во время откачки. Эти наблюдения могут продолжаться в течение нескольких смен и должны проводиться с учетом колебания уровня воды в близрасположенном водоеме.

е) Проведение опытной откачки

Опытная откачка проводится в соответствии с техническим заданием, составленным на основании пробной откачки, в котором устанавливается продолжительность и состав наблюдений за уровнем воды до и после откач-

ки, число понижений, их величина, продолжительность и последовательность проведения.

Откачку можно начинать только после полного восстановления уровня воды в опытной и наблюдательных скважинах. Обычно она проводится при одном-двух понижениях, величина которых определяется путем деления величины максимального понижения, установленной на основании пробной откачки, на равные части. Так, например, если максимальное, третье, понижение составляет 1,5 м, то второе составит 1, а первое—0,5 м. Понижения всегда нумеруются в порядке их возрастания. Откачку в песчаных породах рекомендуется начинать при минимальном понижении, чтобы не закольматировать фильтр, и последовательно переходить к большим понижениям. Откачку из гравийно-галечных и трещиноватых скальных пород следует начинать с максимального понижения, в процессе которого будут промыты поры и трещины в породе.

После того как будет достигнуто заданное понижение, необходимо следить за тем, чтобы расход воды и уровень оставались постоянными. Колебания уровня допускаются в пределах 1—2 см, а колебания дебита — на 10% средней величины. Измерения расхода и уровня воды проводятся одновременно с интервалами в начале откачки 5—10 мин, в дальнейшем 10—20 мин и в конце 30 мин—1 ч. Для далеко расположенных наблюдательных скважин, а также для водомерных постов интервалы времени между замерами уровня воды могут быть значительно больше. Следует иметь в виду, что при откачке из напорного водоносного пласта уровень воды и дебит устанавливаются быстрее, чем в безнапорных водах.

В течение каждого понижения опытная откачка должна проводиться непрерывно, а если почему-либо произошел перерыв, то опыт при данном понижении надо начинать сначала. Желательно также не делать перерыва между понижениями, а в случае, если это неизбежно по условиям перестановки насоса, надо стремиться к тому, чтобы перерывы были как можно короче. Чтобы сократить это время, обычно не проводятся наблюдения за восстановлением уровня воды между понижениями. Исключение может быть сделано в период резких колебаний уровня подземных вод, связанных с паводком на реке и с другими явлениями, когда восстановление

уровня в опытных и наблюдательных скважинах надо проводить после каждого понижения.

В целях проверки чистоты фильтра желательно в промежутках времени между понижениями проводить контрольные измерения глубины скважины с установленным фильтром и в случае необходимости прочищать фильтр.

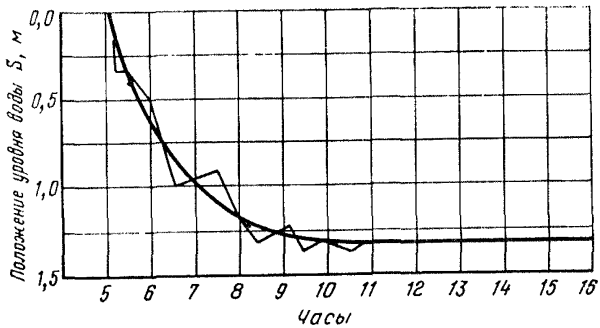


Рис. 6-13. График колебания уровня воды в опытной скважине во время откачки.

Все данные наблюдений за уровнем воды и дебитом откачки заносятся в журнал, а на миллиметровой бумаге строятся графики колебания уровня и дебита во времени (рис. 6-13 и 6-14). Помимо того, в начале откачки и в ходе ее измеряется температура воздуха и воды и отбираются пробы воды на химические анализы. Ведутся также наблюдения за выносом частиц из скважины,

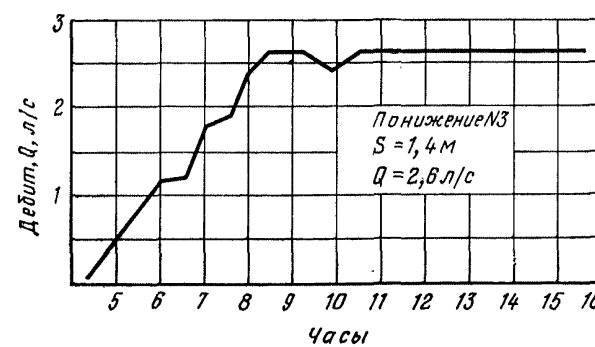


Рис. 6-14. График колебания дебита воды во время откачки.

для чего отбираются пробы в посуду из прозрачного стекла емкостью 0,5—1 л и визуально определяется содержание в них взвеси. В случае необходимости вода фильтруется и осадок взвешивается в лаборатории.

Измерения дебита и уровня воды должны проводиться одновременно во всех наблюдательных скважинах. Если это по условиям организации опыта сделать нельзя, то надо добиваться, чтобы разрыв во времени между измерениями был минимальным, и производить их каждый раз в одной и той же последовательности. Поскольку при откачке на опытном участке наибольшее практическое значение имеют наблюдения по скважинам, расположенным на луче, перпендикулярном направлению подземного потока, с них следует начинать измерения уровня воды. Для удобства полевых записей и дальнейшей камеральной обработки материалов откачки время начала каждого цикла наблюдений должно совпадать или с началом часа, или быть кратным 5, 10, 15 или 30 мин, например 8 ч; 8 ч 30 мин; 9 ч и т. д.

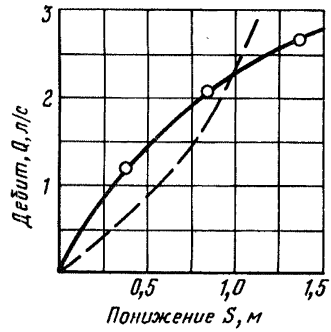


Рис. 6-15. График зависимости дебита от понижения при откачке.

Откачка каждого понижения может быть закончена в том случае, если установился стационарный режим уровня и дебита и продолжительность его соответствует по времени техническому заданию. Для контроля правильности всего опыта составляется график зависимости дебита от понижения, на котором все точки должны лечь на одной прямой или выпуклой вверх кривой (рис. 6-15).

После откачки проводятся наблюдения за восстановлением уровня воды во всех скважинах. Первоначально уровень восстанавливается быстро, но в дальнейшем подъем его постепенно затухает. В соответствии с этим интервалы замеров изменяются от 1—3 мин в начале до 30 мин—1 ч в конце наблюдений. Частота замеров назначается с таким расчетом, чтобы подъем уровня между смежными замерами не превышал 5 см. Наблюдения прекращаются, когда уровень за 1 ч изменяется на 1 см.

ж) Проверка и обработка материалов откачки

После окончания опыта проверяется глубина скважины и исправность всех измерительных приборов, делается повторное нивелирование нулевых точек, проверяются все записи в журнале откачки и правильность составления графиков. В случае обнаружения каких-либо ошибок в документацию вносятся необходимые поправки. Поправка и приемка материалов откачки делается руководителем опытных работ.

Полевая документация опытной откачки должна отвечать следующим требованиям. Документация ведется в журнале опытной откачки непрерывно. При откачке на опытном участке помимо журнала опытной скважины ведется журнал наблюдательных скважин. Формы основных записей в журналах приведены в приложении IV. В журнал вносятся все данные, относящиеся к откачке: подготовка скважины к опыту, установка насосно-силового оборудования и приборов для измерения уровня воды и дебита, наблюдения за уровнем воды и дебитом при пробной откачке и каждом понижении во время опыта, восстановление уровня воды после откачки, ликвидация скважин. В дневник работ вносятся дополнительные сведения о работах, выполненных за каждую смену, и о всех неполадках, происшедших во время опыта: неисправности измерительных приборов, дефектах работы фильтра и пр. Кроме того, отмечаются изменения погоды, осадки и другие сведения, которые необходимы для правильного представления о ходе опыта.

К журналу прикладываются и вклеиваются в него следующие графические приложения: схема расположения скважин; геолого-технический разрез опытной скважины или лучей при кустовой откачке с нанесением на них уровней воды при каждом понижении; графики колебания уровня воды и дебита в скважинах во время откачки; графики восстановления уровня воды до и после откачки; графики зависимости дебита от понижения уровня воды во время откачки.

На этом последнем графике линия, соединяющая точки, должна быть прямой или плавной кривой, обращенной выпуклостью вверх.

Если она обращена выпуклостью вниз, то опыт считается дефектным. При кустовой откачке проверку качества опыта следует провести также по соотношению дебита и понижений в наблюдательных скважинах: от-

ношение разности понижений уровней в них должно быть примерно пропорционально отношению дебитов центральной скважины при этих понижениях. Если по этим признакам опыт является дефектным, то надо найти причину дефекта (плохая изоляция опробуемого интервала и пр.), устранить ее и повторить опыт.

Если опыт не имеет дефектов, то в конце журнала руководитель работ делает отметку о приемке работ и оценивает качество проведенного опыта. Опытную скважину или участок разрешается ликвидировать только в том случае, если результаты проверки и предварительной обработки материалов покажут, что опыт не содержит дефектов и не требует повторения.

Окончательная обработка материалов опытной откачки делается на сводном листе, на котором помещается схема расположения скважин, геолого-технический разрез по опытной одиночной скважине или по лучам опытного куста, техническая характеристика оборудования, графики восстановления уровня, графики колебания уровня и дебита во время откачки, график зависимости дебита от понижения уровня во время откачки, расчетная таблица данных для вычисления коэффициентов фильтрации.

Масштабы графиков и схем выбираются минимально необходимыми для зрительного восприятия. В расчетной таблице приводятся исходные данные, формулы и результаты расчета коэффициента фильтрации по данным откачки при всех понижениях как для опытной скважины, так и для пар наблюдательных скважин на каждом луче в различных сочетаниях. После анализа полученных значений коэффициентов фильтрации выбирают наиболее надежные и по ним вычисляются среднеарифметические значения. Наиболее правильными значениями коэффициента фильтрации при кустовой откачке являются значения, вычисленные по формулам для двух наблюдательных скважин, так как на них не оказывают влияния сопротивление фильтра опытной скважины, режим фильтрации скважин и пр.

6-4. ОПЫТНЫЕ НАГНЕТАНИЯ В СКВАЖИНАХ

а) Общие положения

Опытные нагнетания производятся с целью определения относительной водопроницаемости трещиноватых горных пород. Они широко используются при изыскани-

ях для гидротехнического строительства, что объясняется сравнительной простотой выполнения опыта, наличием необходимого стандартного оборудования, а также возможностью охарактеризовать фильтрационные свойства не только водоносных, но и необводненных пород. Результаты опытных нагнетаний выражаются удельным водопоглощением, которое показывает количество воды в литрах, поглощаемое за 1 мин опыта на 1 м длины опробуемого интервала скважины при постоянном действующем напоре 1 м*. Эту величину условно принято обозначать q, л/мин.

Удельное водопоглощение не является расчетным показателем фильтрационных свойств породы. Оно используется при составлении фильтрационных разрезов и при инженерно-геологическом районировании изучаемого скального массива как обоснование экстраполяции и интерполяции значений коэффициента фильтрации, полученных по данным опытных откачек, а также при проектировании противофильтрационных завес в основаниях и примыканиях гидротехнических сооружений. Ориентировочная оценка коэффициента фильтрации по данным опытных нагнетаний производится с помощью переходного коэффициента, который определяют путем проведения откачек и нагнетаний в одних и тех же интервалах скважины. Величина удельного водопоглощения зависит от активной пустотности изучаемой горной породы, длины интервала скважины, в который нагнеталась вода, напора, действующего во время опыта, а также ряда других причин (чистоты нагнетаемой воды и пр.).

Чем длиннее интервал, тем более закольматированы буровым шламом трещины в стенках его верхней части, что уменьшает значение удельного водопоглощения. Чем короче интервал, тем относительно больше влияние растекания воды на его концевых участках, а следовательно, больше средняя величина поглощения воды на 1 м длины интервала. В то же время, чем длиннее интервал, тем более осреднено полученное опытом удельное водопоглощение. Чтобы получать при опытах сравнимые результаты, необходимо нагнетать воду в интервалы одинаковой длины. Стандартная длина интервала принята равной 5 м. При необходимости уточнить положение сильно водопроводящей зоны, длину интервала, в кото-

* Напор 1 м соответствует высоте, на которую поднимается столб жидкости под действием давления, равного 10 кПа.

ром она обнаружена, сокращают. Для участков, сложенных слабоводопроницаемыми породами, руководители работ могут принять длину интервала равной 10 м.

Напор при опытных нагнетаниях принимается значительно более 1 м. Это объясняется тем, что при малом напоре слишком малы радиус влияния нагнетания и объем изучаемой породы. Кроме того, при малом радиусе влияния слишком велико значение состояния пород, примыкающих к интервалу, структура которых обычно бывает нарушена бурением.

Опытные нагнетания в зависимости от их назначения могут проводиться при низких или при высоких напорах. Нагнетания при низких напорах проводятся с целью получения общей фильтрационной характеристики скального массива, которая обычно требуется на ранних стадиях проектирования гидротехнических сооружений. Эти опыты выполняются при одной ступени напора, равной 10 м вод. ст. Для сильно водопроницаемых пород, где не удается по техническим причинам достигнуть напора 10 м, выполняются нагнетания при меньшем, максимально возможном напоре.

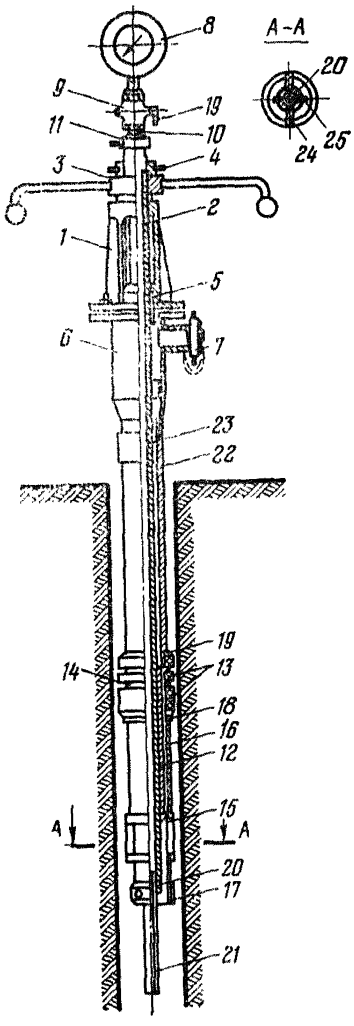
При изысканиях для высоких плотин скважины, пробуренные в пределах зоны расположения проектируемой противофильтрационной завесы, опробуются нагнетаниями при напоре 50—100 м. Перед опытом с высоким напором для выявления возможных противопоказателей для его проведения (большое поглощение воды, деформации пород, прорывы воды) и увязки с низконапорными опытами проводятся нагнетания с напором 10 м. Часть скважин для выяснения влияния высокого напора на изменение водопоглощения породы опробуется при трех ступенях напора: 10 м, высокий напор, повторно 10 м.

За рубежом опытные нагнетания воды в скважины производятся по методике, разработанной М. Люжоном. Вода нагнетается в интервал длиной 5 м при напоре 100 м в течение 10 мин. Единицей измерения водопоглощения при этом служит люжом, который равен водопоглощению 1 л/мин на 1 м интервала скважины при напоре 100 м, выдержанном в течение 10 мин. Если при опыте не был достигнут указанный напор, соответствующее ему водопоглощение определяется прямолинейной экстраполяцией по графику зависимости расхода от напора.

б) Оборудование для опытных нагнетаний

Тампоны. Интервал скважины, подготовленный для опыта, изолируют с помощью специального устройства — тампона, через который подается под напором вода. Наиболее распространены тампоны, в которых интервал изолируется разжатием плотных резиновых колец. Имеются также тампоны, в которых изоляция опробуемого интервала скважины достигается накачиванием воздуха или воды в кольцевой резиновый баллон.

Тампоны бывают одинарные и двойные. Одинарный тампон изолирует интервал скважины сверху, а снизу он ограничивается ее забоем. Двойной тампон ограничивает интервал снизу и сверху и позволяет поэтому выделить отрезок скважины на любой ее глубине. На практике обычно применяются одинарные тампоны, так как они дают более надежные результаты при опробовании скважин и проще в работе.



Тампон УТД-1 (унифицированный тампон двухколонный), схема которого приведена на рис. 6-16, является одинарным. Он входит в комплект оборудования для опытных нагнетаний, выпускаемый Ле-

Рис. 6-16. Тампон УТД-1.

1 — корпус домкрата; *2* — полый домкратный винт; *3* — домкратная гайка; *4* — контргайка; *5* — сальник; *6* — тройник; *7* — крышка; *8* — манометр; *9* — трехходовой кран; *10* — патрубок; *11* — соединительная гайка; *12* — патрубок тампона с прорезями; *13* — резиновые кольца; *14* — металлические прокладки; *15* — натяжная подвижная гайка; *16* — дистанционный патрубок; *17* — нижнее ограничительное кольцо, *18* — нижнее упорное кольцо; *19* — верхнее упорное кольцо; *20* — натяжной винт домкрата; *21* — труба диаметром 20 мм; *22* — наружные упорные трубы; *23* — внутренние натяжные трубы (штанги); *24* — ребра гайки; *25* — малое ребро гайки.

нинградским экспериментальным заводом Гидропроекта.

Собранный тампон опускают в скважину на наружных трубах *22* до требуемой глубины. Затем опускают колонну внутренних труб — штанг. Установив и закрепив головку тампона, подтягивают вверх внутреннюю колонну труб *23*, вращая домкратную гайку *3*. Длинные ребра натяжной гайки *15* при этом давят на патрубок тампона *12* и упорное кольцо *18*, через которые давление передается на резиновые кольца, которые, сжимаясь, уплотняют зазор между тампоном и стенками скважины.

Нижний натяжной винт *20* позволяет регулировать длину наземной части колонны внутренних труб так, чтобы она была удобна для работы. Если резьба домкратного винта при установке тампона выбрана полностью, а резиновые кольца сжаты недостаточно, можно опустить домкратный винт *2*, вращая его вправо, т. е. ввинчивая в домкратную гайку *3*. Опустив начало резьбы домкратного винта *2* до сальника *5*, продолжают сжимать кольца, работая домкратной гайкой *3*.

Вода от распределительного устройства подается в интервал через горизонтальный отвод тройника *6* по кольцевому зазору между наружными и внутренними трубами. Внутренняя колонка труб служит пьезометром для замера уровня воды в интервале. С этой целью она удлинена трубкой *21* диаметром 20 мм, длиной 0,75 м, присоединенной к нижнему натяжному винту. Уровень воды во внутренних трубах замеряют уровнемером. При нагнетаниях с избыточным напором над устьем скважины ко внутренней колонне присоединяют манометр *8*.

Кран *9* служит для выпуска воздуха при заполнении труб водой и для слива воды в целях предупреждения порчи манометра при резком повышении напора в интервале в начале опыта. В верхней части тройника *6* есть краник (не показанный на рисунке) для выпуска воздуха из колонны наружных труб.

Тампон типа С-1, изображенный на рис. 6-17, состоит из одной колонны труб и нижнего патрубка с прикрепленной к нему рессорой *15*.

При вращении колонны труб вправо вместе с ней вращается и муфта домкрата *2*, а нижний патрубок не вращается, так как его удерживает рессора, упирающаяся в стенки скважины. Таким образом, при вращении на

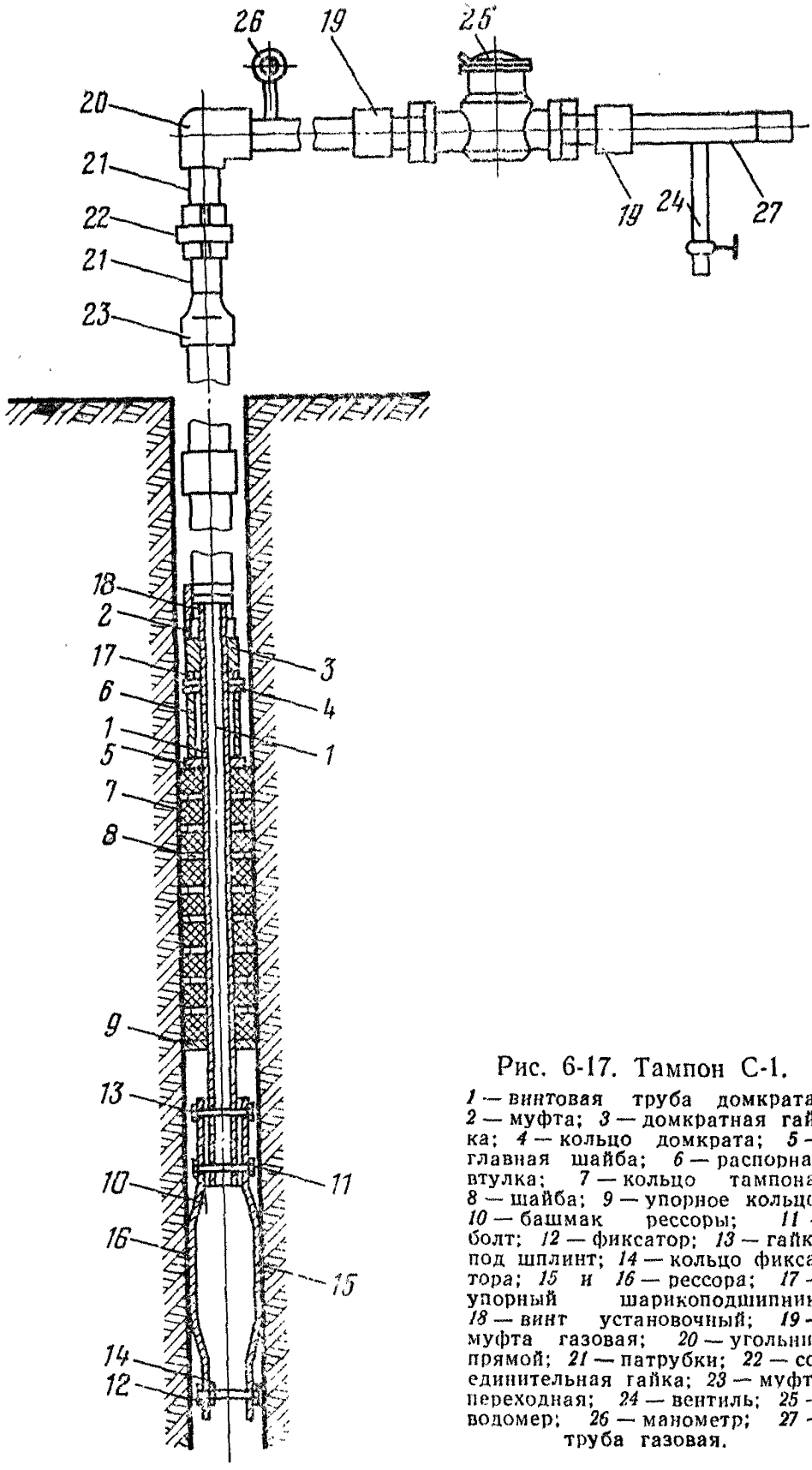


Рис. 6-17. Тампон С-1.

1 — винтовая труба домкрата; *2* — муфта; *3* — домкратная гайка; *4* — кольцо домкрата; *5* — главная шайба; *6* — распорная втулка; *7* — кольцо тампона; *8* — шайба; *9* — упорное кольцо; *10* — башмак рессоры; *11* — болт; *12* — фиксатор; *13* — гайка под шплинт; *14* — кольцо фиксатора; *15* и *16* — рессора; *17* — упорный шарикоподшипник; *18* — винт установочный; *19* — муфта газовая; *20* — угольник прямой; *21* — патрубки; *22* — соединительная гайка; *23* — муфта переходная; *24* — вентиль; *25* — водомер; *26* — манометр; *27* — труба газовая.

поверхности земли труб несущей колонны муфта домкрата перемещается вниз, сжимая резиновые кольца. Шарикоподшипник уменьшает трение домкратной муфты о втулку настолько, что при вращении на поверхности несущей колонны труб влево муфта отвертывается, а плотно завернутые соединения труб не развертываются. При этом резиновые кольца освобождаются и тампон вновь может свободно передвигаться в скважине.

Тампон С-1 по сравнению с двухколонными тампонами имеет следующие преимущества: меньшая затрата времени на сборку тампона и спуск его в скважину; возможность спустить в трубы тампона вертикальный насос для проведения поинтервальных откачек или для предварительной прокачки изолированного тампоном интервала скважины перед нагнетанием.

Основные недостатки тампона С-1 следующие: невозможность измерения напора непосредственно в опробуемом интервале; необходимость при нагнетаниях без избыточного напора над устьем скважины спускать дополнительную колонну труб малого диаметра для замера уровня воды в несущих трубах; необходимость учитывать потери напора в трубах тампона при значительных расходах воды и малом диаметре несущих труб; сложность разжатия тампона в прочных породах (так как рессора скользит по гладким стенкам скважины) и опасность вывала породы из стенок скважины в разрушенных породах; возможность развертывания труб вместо отвертывания домкратной гайки. Во избежание развертывания труб их необходимо завертывать очень плотно на сурике.

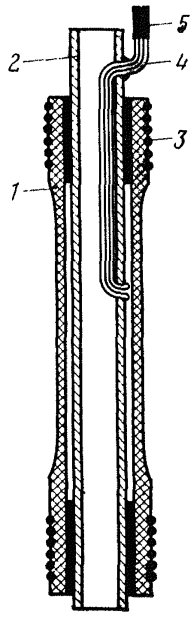


Рис. 6-18. Пневматический тампон.
1 — резиновая камера; *2* — нижний патрубок тампона; *3* — проволочный бандаж; *4* — трубка; *5* — напорный шланг.

Пневматические и гидравлические тампоны являются одноколонными. На рис. 6-18 дан схематический разрез пневматического тампона. Он состоит из колонны несущих труб, на нижнем патрубке *2* которых закреплена эластичная воздухо- и водонепроницаемая резиновая ка-

мера *1*. По напорному шлангу малого диаметра *5* и трубке *4* в камеру подается сжатый воздух или вода. Камера раздувается, плотно прижимается к стенкам скважины и изолирует опробуемый интервал от верхней части ствола скважины. Вода для опытного нагнетания подается в интервал по колонне несущих труб. Чтобы измерять напор в опробуемом интервале, в него необходимо опустить вторую колонну труб малого диаметра.

Для накачивания воздуха в баллон при глубине установки тампона менее 50 м можно пользоваться ручным автомобильным насосом. Баллон более эластичен, чем резиновые кольца, и поэтому с помощью пневматического или гидравлического тампона иногда удается достигнуть удовлетворительной изоляции интервала в скважинах с неровными стенками, например в скважинах дробового бурения.

Применение тампонов с баллонами несколько осложняет опытную установку, так как в нее включаются насос и шланги для подачи воздуха или воды в баллон. Кроме обязательных наблюдений при использовании любого тампона требуется вести систематическое наблюдение за давлением в баллоне и в случае необходимости подкачивать в него воздух или воду.

Тампон-пробка предназначен для изоляции нижней части скважины от опытного интервала в том случае, если скважина уже пробурена глубже его нижней границы. Он представляет собой одноколонный тампон, в верхней части которого имеется так называемый приемный патрубок с окнами, в которые входят захваты специального устройства — ловителя. Ловитель присоединяется в колонне штанг, на которых тампон-пробку спускают в скважину и извлекают из нее.

Колонна труб любого одноколонного тампона нуждается в тарировке в том случае, если потери давления в ней превышают 5% давления на манометре, установленном у устья скважины. В табл. 6-7 приведены условия, при которых тарировку колонны труб проводить не надо.

В старых трубах потери давления больше, и поэтому величины, помещенные в графах 4, 5 и 6, следует уменьшить на 10—30%. Тарировать колонну труб тампона надо, пропуская через нее воду в определенном объеме и измеряя на концах колонны давление. По данным тарировки составляется тарировочная кривая, которую

используют при определении давления в опробуемом интервале.

Распределительное устройство. При опытном нагнетании для учета и регулировки количества воды, подаваемой в трубы тампона, а также для наблюдения за давлением в системе, подводящей воду к скважине, вода пропускается через распределительное

Таблица 6-7

Условия тарировки труб одноколонного тампона

Новые трубы			Условия, при которых не требуется тарировка		
Диаметр трубы, мм		Внутренний диаметр ниппеля, мм	Расход воды, л/мин, не более	Длина колонны труб, м, не более	Количество соединений в колонне, не более
наружный	внутренний				
73	65,5	62,5	100 60	30 200	10 65
50	39	22	15 10	10 50	3 33
42	32	16	5	50	17

устройство. На рис. 6-19 показана схема распределительного устройства унифицированного комплекта оборудования для опытных нагнетаний. Устройство состоит из двух вентилей *4* и *7*, водомера *5*, манометра *6* и соединяющих их патрубков. Длина патрубка перед водомером должна быть не менее 10 диаметров водомера. Длины остальных патрубков любые. Диаметры патрубков и вентилей должны соответствовать калибру водомера. Соединение распределительного устройства с подающим воду насосом и с головкой тампона осуществляется напорными шлангами с соединительными накладными гайками. Резиновые прокладки гаек обеспечивают герметичность соединений. Такой же шланг используют для отвода сбрасываемой воды. При опыте с давлением на манометре тампона вентиль *7* полностью открыт. Подачу воды в тампон регулируют вентилем *4*. При опыте без манометра на головке тампона действуют обоими вентилями, чтобы добиться правильной работы водомера. Водомер должен быть заполнен водой на полное

сечение и находиться под некоторым давлением. Это устанавливают по манометру на распределительном устройстве.

Насос, подающий воду в распределительное устройство, должен обеспечивать предполагаемый расход воды для нагнетания при максимальном требуемом напоре

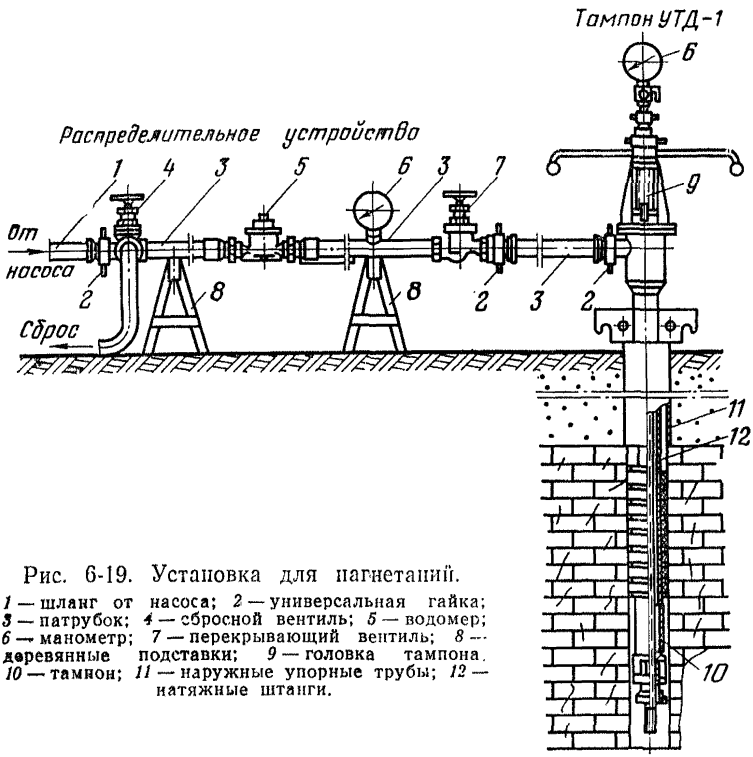


Рис. 6-19. Установка для нагнетаний.

1 — шланг от насоса; *2* — универсальная гайка; *3* — патрубок; *4* — сбросной вентиль; *5* — водомер; *6* — манометр; *7* — перекрывающий вентиль; *8* — деревянные подставки; *9* — головка тампона. *10* — тампон; *11* — наружные упорные трубы; *12* — натяжные штанги.

в интервале скважины и создавать равномерное давление. Наиболее подходящими являются центробежные насосы.

Водомеры. При опытных нагнетаниях применяют так называемые скоростные водомеры двух типов: крыльчатые и турбинные. Порядок пользования водомерами описан в § 6-3, г.

Величины расхода, которые могут быть замерены водомером, зависят от его калибра. В табл. 6-8 приведены данные об этих величинах для водомеров тех

калибров, которые обычно применяются при опытных нагнетаниях.

Тарированными мерными баками пользуются в том случае, когда расход воды при нагнетании меньше нижнего предела водомера имеющегося калибра. Удобны сдвоенные баки диаметром 400 и высотой 800 мм, соединенные с распределительным устройством трехходовым краном. Для замера расхода воды они снабжаются водомерной трубкой со шкалой, имеющей цену деления 0,5 л.

Таблица 6-8

Данные о водомерах

Калибр водомеров, мм	Номинальный расход, л/мин	Порог чувствительности, л/мин	Пределы измерений, л/мин	
			нижний	верхний
Крыльчатые водомеры				
15	16,7	1,0	1,7	33,33
20	27	1,7	2,5	53,3
25	41,7	2,3	3,3	83,3
32	66,8	4,2	5,8	133
40	105	6,7	8,3	210
Турбинные водомеры				
50	250	23,3	50	367
80	750	30,0	100	333
100	1250	3,33	133	2333

Манометры. При опытных нагнетаниях пользуются обычно техническими манометрами ОБМ-100 класса точности 2,5 и ОБМ-160 класса точности 1,5. Класс точности манометра указан на его корпусе и соответствует величине допустимой погрешности, выраженной в процентах от предельного значения его шкалы. Показания манометра наиболее точны в средней части его шкалы. Первой четвертью шкалы пользоваться не рекомендуется, так как при этом погрешность замера может значительно превысить допустимую. Подбирать манометр надо так, чтобы максимальное рабочее давление, постоянное или плавно изменяющееся, не выходило за последнюю треть шкалы, а при резких колебаниях— за ее первую половину. При опыте следует по возможно-

сти не допускать резких пульсирующих изменений давления. При работе циферблат манометров ОБМ должен находиться в вертикальной плоскости.

в) Производство опытных нагнетаний

Выбор схемы проведения опыта. Опробование скважины опытными нагнетаниями обычно производится способом «сверху вниз», т. е. по мере углубления ее на длину опробуемого интервала. При этом способе трещины и пустоты в породе наименее закольматированы, так как опробуется отрезок скважины, пробуренный последним. Кроме того, в сильнотрещиноватых породах, где трудно добиться изоляции интервала тампоном, при таком способе можно заранее подготовить цементный пояс, в котором нужно разжать тампон. Для этого после опробования очередного интервала и извлечения из скважины тампона скважина на глубину 1—1,5 м заливается цементным раствором, который подается по трубам или с помощью заливочной желонки. Для контроля за твердением цемента одновременно заливают раствором 4 стакана и помещают их в воду. Пробы вынимают по одной через 1, 2, 3 и 4 сут и разбивают молотком. Когда раствор хорошо схватился, пробку разбуривают и, углубив скважину до подошвы следующего интервала, разжимают тампон в подготовленном цементном поясе.

При необходимости опробовать нагнетаниями уже пробуренную скважину можно применить способ «снизу вверх», начиная опыты с нижнего интервала. По окончании опробования очередного интервала и извлечения тампона опробованный интервал тампонируют глиной или цементным раствором. Рассматриваемый способ является менее точным, так как чем выше от забоя расположен опробуемый интервал, тем более закольматированы его стенки, и следовательно, менее надежны результаты опыта. Кроме того, способ опробования «снизу вверх» требует больших затрат времени на подготовку скважины, поэтому применяется очень редко. Для опробования отдельных интервалов в уже пробуренной скважине может быть использована комбинация тампона и тампона-пробки. Этот способ также требует больших затрат времени и ненадежен, так как во время опыта нельзя проверить качество изоляции нижней части скважины от опробуемого интервала. Применение двойных тампонов ограничивается отсутствием таких

устройств, которые позволяют следить за качеством изоляции нижней части скважины от опробуемого интервала и одновременно замерять в нем напор.

Опробуемый интервал скважины должен полностью располагаться в водоносных или неводоносных породах. Отрезок ствола скважины длиной 3—5 м, расположенный вблизи границы водоносных и неводоносных пород, нагнетаниями не опробуется.

Напор, при котором производится нагнетание в водоносную породу, определяется как высота столба воды над статическим уровнем подземных вод, замеренным в разжатом тампоне перед опытом. В неводоносных породах напор отсчитывается (совершенно условно) от середины опробуемого интервала.

Если напорный уровень воды в трубах тампона значительно превышает устье скважины, то напор определяется в соответствии с показанием давления по манометру, установленному на трубах тампона. В остальных случаях напорный уровень воды поддерживается в трубах тампона ниже обреза труб тампона и замеряется уровнемером.

Требуемое давление на манометре при каждой ступени нагнетания с применением манометра определяется расчетом:

$$h' = h - h_м + h_п,$$

где h' — напор воды, соответствующий значению давления, указанного на манометре; h — напор, действующий в интервале (заданный напор данной ступени опыта); $h_м$ — превышение манометра над статическим уровнем воды в интервале или в сухих породах над серединой интервала; $h_п$ — потери напора в трубах тампона при работе с одноколонным тампоном и большом водопоглощении, определяемые по тарировочной кривой тампона.

Подготовка и проведение опыта. До начала опытных нагнетаний обеспечивают подачу к скважине воды в объеме, достаточном для опытов. Воду можно подавать насосом из реки или иного источника по временному водопроводу, подвозить цистернами и заранее заполнять специально устроенные емкости близ скважины. Если вода грязная, мутная, устраивают водоемы-отстойники.

При подготовке к опыту выбирают, закрепляют и нивелируют нулевую точку, от которой в дальнейшем производят все замеры глубин и превышений (см. § 6-3).

Интервалы, пройденные в сухих породах, промывают до осветления промывочной воды, а в водоносных породах прокачивают скважину и наблюдают за восстановлением уровня воды.

Собирают тампон и распределительное устройство, проверяя, чтобы все соединения шлангов и труб в резьбах были водонепроницаемыми. Опускают тампон в скважину и разжимают его. Замеряют уровень воды в трубах тампона (т. е. в опробуемом интервале) и в кольцевом зазоре между трубами тампона и стенкой скважины. Если тампон разжат удачно, то этот уровень воды в интервале принимают за статический.

Затем для проверки качества изоляции интервала и работы установки в целом производят кратковременное нагнетание воды при напоре, заданном для первой ступени опыта. При этом наблюдают за уровнем воды в кольцевом зазоре. Если он не изменяется или очень медленно повышается, но держится значительно ниже, чем в трубах тампона, изоляцию можно считать удовлетворительной. При нормальной работе опытной установки без перерыва продолжают нагнетание на первой ступени напора. Небольшое повышение уровня в кольцевом зазоре может быть обусловлено фильтрацией в обход тампона по крутопадающим трещинам породы.

Если тампон установлен неудачно, его переставляют в скважине вверх или вниз в пределах 0,5—1 м. Если и это не дало результата, применяют другие способы: увеличивают число колец, но не более чем до 9—10; заменяют тампон на пневматический; устраивают цементный пояс на подвесной пробке и т. п. Когда изоляция достигнута, в водоносных породах проводят контрольные измерения уровня воды в опробуемом интервале. Считают, что уровень установился, если он изменяется не более чем на 2 см за 3—6 замеров, произведенных с пятиминутными интервалами, и принимают его за статический. В процессе опыта не менее 2—3 раз проверяют качество изоляции интервала путем замера уровня воды в кольцевом зазоре.

Для правильной работы водомера он должен находиться под некоторым напором. Если при нагнетании уровень воды поддерживается в трубах тампона ниже устья скважины, наличие напора в трубах распределительного устройства определяется по значению давления на манометре, установленном перед водомером на

этом устройстве (см. рис. 6-19). Действуя сбросным и перекрывающим вентилями, устанавливают требуемый для поддержания заданного давления расход, а в дальнейшем, если требуется, пользуются только сбросным вентилем, поддерживая постоянное давление на манометре распределительного устройства.

Нагнетание без избыточного давления над устьем скважины ведут при открытом воздушном кране (у тампона УТД-1 пользуются краном в верхней части тройника). Для замеров уровня в этом случае пользуются электроуровнемером, который между замерами оставляют в трубах, только немного приподняв над уровнем воды. При нагнетаниях с избыточным давлением над устьем скважины за давлением (и соответствующим ему напором) наблюдают по манометру на трубах тампона. Начинают нагнетание при открытых до отказа вентилях распределительного устройства и, закрывая постепенно сбросной вентиль, добиваются требуемого давления на манометр. Для регулирования расхода во время опыта также пользуются сбросным вентилем, а перекрывающий вентиль все время остается открытым. Для выпуска воздуха из труб тампона перед началом опыта и в процессе его проведения открывают воздушный кран и закрывают его через несколько минут, после того как из него польется вода. У тампона УТД-1 вначале открывают, а затем закрывают после появления воды оба воздушных крана. В процессе опыта воздушные краны периодически открывают, чтобы выпускать воздух, если он скапливается в трубах.

При переходе от одной ступени напора нагнетания к другой не прекращают опыта, а, действуя сбросным вентилем, изменяют сброс воды, пока не получат требуемого напора.

Продолжительность нагнетания низконапорной ступени определяется необходимостью получить установившийся расход при заданном постоянном напоре. Продолжительность нагнетания с низким напором при неизменяющемся расходе рекомендуется 20—30 мин. Продолжительность нагнетания с высоким напором в зоне цементационной завесы рекомендуется равной 10 мин независимо от того, установился или не установился при этом расход воды.

Замеры расхода производятся и записываются каждые 5—10 мин, а при нагнетании с высоким напором —

через 1—2 мин. За напором наблюдают непрерывно. Записи ведутся в «Журнале наблюдений» (приложение V). При нагнетаниях для определения водопроницаемости фильтрационно неустойчивых пор и при других специальных опытах продолжительность нагнетания при установившемся расходе принимается в соответствии с программой работ и задачами проводимых исследований. Если по геологическим условиям района есть основания предполагать наличие фильтрационно неустойчивых пород, то в начале фильтрационных исследований для выявления возможных случаев возрастания расхода при длительных нагнетаниях должно быть выполнено некоторое количество контрольных опытов с длительностью нагнетания каждой ступени при установившемся расходе не менее 2 ч. На основании этих опытов устанавливается необходимая продолжительность нагнетаний для всего изучаемого участка или его отдельных частей.

В целях уточнения радиуса влияния опытных нагнетаний и выявления основных направлений фильтрации до начала опытного нагнетания в очередной интервал скважины замеряют уровень воды в скважинах, расположенных в зоне возможного влияния опыта. Замеры в этих скважинах повторяют через 0,5—1 ч после начала опыта и после его окончания, а при явном подъеме уровней — в зависимости от темпа их повышения делают периодически в течение всего опыта. Замеры уровня воды в этих скважинах записывают в журнал опытного нагнетания.

Необходимо также наблюдать, не происходит ли утечки нагнетаемой воды в расположенные поблизости горные выработки, не увеличился ли дебит близко расположенных родников. Если это будет установлено, следует внести соответствующую запись в журнал нагнетаний с указанием места утечки, его расстояния и ориентировки относительно опытной скважины.

Обработка материалов опытных нагнетаний производится на сводном листе, на котором помещается: геолого-технический разрез скважины, схема расположения скважины, графики изменения напора и расхода во времени, технические данные, расчетные данные и графики.

До последнего времени нагнетания проводились при нескольких ступенях напора и при расчете удельного водопоглощения учитывался характер кривой, выражающей зависимость расхода нагнетаемой воды от действующего напора. Поскольку это сильно осложняло производ-

ство опытов и несущественно влияло на их результаты, в настоящее время нагнетания производятся при одной ступени напора и зависимость расхода от напора принимается прямолинейной. Расчет удельного водопоглощения производится по формуле

$$q = \frac{Q}{lh}, \qquad (6\text{-}23)$$

где q — удельное водопоглощение, л/мин; Q — расход нагнетаемой воды, л/мин; l — длина интервала, м; h — действующий напор в интервале, м.

По данным нагнетаний с высоким напором вычисляется приведенный расход $Q_п$ (л/мин) по формуле

$$Q_п = \frac{Q \cdot 100}{lh}. \qquad (6\text{-}23а)$$

Результаты нагнетаний с высоким напором могут быть также выражены в люжонах (стр. 259).

Приведенный расход $Q_п$ представляет собой расход на 1 м длины интервала при напоре 100 м.

Если высокая ступень опыта проводилась при напоре меньше 100 м, то величина расхода при напоре 100 м Q_{100} определяется путем прямолинейной экстраполяции до $h = 100$ м по графику $Q = f(h)$ или по формуле

$$Q_{100} = \frac{Q}{h} 100.$$

6-5. ОПЫТНЫЕ НАЛИВЫ В ШУРФЫ

а) Общие положения

Водопроницаемость рыхлых и связных горных пород, залегающих выше уровня грунтовых вод (в зоне аэрации), изучается преимущественно опытными наливами воды в шурфы. Породы зоны аэрации представляют собой трехфазную систему: скелет грунта — связанная вода — воздух, заполняющий поры и трещины. Поверхностная вода, поступая из шурфа в породу, вытесняет воздух и движется по порам и трещинам под действием гравитационных и капиллярных сил, возникающих на границе раздела вода — воздух. Капиллярное давление действует как некоторый дополнительный напор, который необходимо учитывать при определении величины напорного градиента потока, инфильтрующегося из шурфа.

Лабораторные опыты показали, что величина капиллярного давления $H_к$ при инфильтрации составляет в среднем 50% максимальной высоты капиллярного поднятия. Значение величины $H_к$ ориентировочно можно брать по табл. 6-9. Более точно оно определяется в лаборатории или по данным опытных наливов в шурфы.

Таблица 6-9

Капиллярное давление

Порода	Капиллярное давление $H_к$, кПа[1]
Суглинок тяжелый	10
Суглинок легкий	8
Супесь тяжелая	6
Супесь легкая	4
Песок мелкозернистый глинистый	3
Песок мелкозернистый чистый	2
Песок среднезернистый	1
Песок крупнозернистый	0,5

[1] 1 кПа≈0,1 м вод. ст.

Вода, просачиваясь из шурфа в породу, благодаря действию капиллярных сил движется не только вниз, но также вверх и в стороны. Близ шурфа образуется увлажненная зона, которая с течением времени увеличивается в размере и изменяет свою форму. Интенсивность растекания определяется структурой породы и ее водопроницаемостью. Наиболее слабо растекание проявляется в хорошо водопроницаемых крупнопористых породах — галечниках, щебне, крупнозернистых песках; наиболее интенсивно — в тонкопористых породах — глинах и суглинках.

Растекание — один из основных факторов, осложняющих определение коэффициента фильтрации неводоносных пород опытными наливами. Влияние его на результаты опыта стремятся ограничить специальной схемой опытной установки или учитывают в расчетных формулах.

Поверхностная вода, инфильтруясь из шурфа, не полностью вытесняет воздух, заполняющий поры и трещины породы. Оставшиеся пузырьки его уменьшают живое сечение инфильтрационного потока и, следовательно, скорость инфильтрации. Рассматриваемые ниже методы определения коэффициента фильтрации опытными наливами в шурфы не учитывают влияние защемленного

воздуха. Это влияние учитывается при проведении опытов по методу Н. К. Гиринского [Л. 27].

Водопроницаемость некоторых структурных пород (лессов, суглинков, глин) изменяется в процессе опыта вследствие нарушения структурной прочности породы при смачивании или в результате физико-химических процессов, возникающих в неводонасыщенной породе при поступлении в нее воды. В таком случае расход инфильтрующейся из шурфа воды изменяется незакономерно и продолжительность времени до стабилизации расхода значительно больше, чем в породе, структура которой при смачивании не изменяется.

На скорость инфильтрации оказывает большое влияние состояние поверхности породы, в которую инфильтруется вода, так как загрязнение пор и заиление поверхности резко уменьшают скорость инфильтрации. Поэтому необходимо следить за тем, чтобы не была нарушена структура поверхностного слоя породы в дне шурфа как при подготовке к опыту, так и в процессе его выполнения. Чтобы избежать заиления дна во время опыта, для наливов следует пользоваться только прозрачной чистой водой, не содержащей взвешенных частиц, и медленно заливать ее в зумпф.

При медленном заполнении зумпфа водой воздух, вытесняемый из пор и трещин, успевает разойтись в стороны, не нарушая структуру породы. Температура воды влияет на ее вязкость и, следовательно, отражается на результатах налива. Кроме того, холодная поверхностная вода, согреваясь в более теплой породе, выделяет растворенный воздух, что повышает содержание защемленного воздуха в зоне просачивания и тем самым уменьшает водопроницаемость породы.

Все применяемые в настоящее время методы определения коэффициента фильтрации опытными наливами в шурфы разработаны для случая инфильтрации в однородный пласт горной породы при глубине до уровня грунтовых вод (считая от дна шурфа), превышающей сумму глубины просачивания во время опыта и капиллярного напора. Поскольку инфильтрационные опыты имеют небольшую продолжительность (обычно не более нескольких дней, редко 1—2 недели), можно считать, что при глубине от дна опытного зумпфа до уровня грунтовых вод порядка 5 м уже исключается влияние грунтовых вод на скорость инфильтрации.

Опыт документируется в журнале опытного налива в шурф, в котором имеются следующие разделы: 1. Технические данные. 2. Схема проведения опыта. 3. Наблюдения за наливом. 4. Графики изменения расхода и общего объема воды во времени. 5. Таблица результатов налива в шурф. 6. Вычисление коэффициента фильтрации. 7. Дневник работ. 8. Замечания руководителя работ.

Результаты опыта обрабатываются на сводном листе налива в шурф, на котором помещаются: 1. Схема участка. 2. Геологический разрез участка. 3. Кривые изменения влажности грунта с глубиной. 4. Таблица технических данных. 5. Графики изменения расхода и общего объема воды во времени. 6. Расчетные таблицы [Л. 27].

б) Метод А. К. Болдырева

Этот метод разработан на основе двух предположений:

1. Горизонтальное сечение потока, инфильтрующегося из шурфа, не изменяется с глубиной и равно горизонтальному сечению шурфа, т. е. растекания нет.

2. При небольшой глубине просачивания, соответствующей стабилизации расхода воды из шурфа, и при малой толщине слоя воды в шурфе напорный градиент потока, инфильтрующегося из шурфа, близок к единице и скорость инфильтрации может быть численно приравнена к коэффициенту фильтрации.

Поскольку метод не учитывает растекание потока и влияние капиллярных сил, он может применяться только в сильно водопроницаемых изотропных породах: крупнозернистых песках, гравийно-галечных отложениях, породах зоны выветривания скальных массивов, характеризующихся относительно равномерной беспорядочной трещиноватостью, и т. п.

Ход опыта следующий:

1. В дне шурфа сечением не менее $1 \times 1{,}5$ м устраивается зумпф круглого сечения диаметром 0,5 м, глубиной 0,15—0,20 м (рис. 6-20). В крупнообломочных породах сечение зумпфа увеличивают, сообразуясь с реальной возможностью обеспечить бесперебойную подачу требуемого количества воды.

2. Шурф документируется (описывается и зарисовывается). При этом обязательна зарисовка забоя опытно-

го зумпфа. Геологический разрез шурфа и зарисовка забоя вычерчиваются на листе миллиметровой бумаги, который вшивается в журнал опытного налива.

3. В неустойчивых породах стенки шурфа и зумпфа закрепляются. Для закрепления зумпфа удобно применять цилиндр диаметром 0,5 м, высотой 0,20—0,25 м. Установив в зумпфе цилиндр, пространство между ним и стенками зумпфа заполняют влажной глиной.

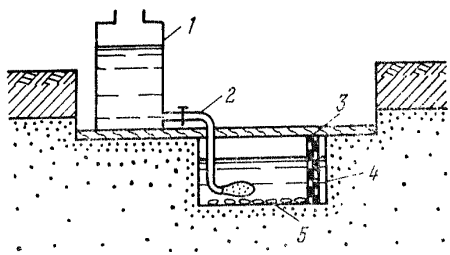


Рис. 6-20. Установка для опыта по методу А. К. Болдырева.
1 — бак с водой; *2* — трубка; *3* — водомерная рейка; *4* — металлическое кольцо; *5* — слой гравия на дне зумпфа.

4. Дно зумпфа выравнивается и зачищается. К стенке зумпфа прикрепляется рейка длиной 0,15—0,20 м, нуль которой должен совпадать с дном шурфа. Дно зумпфа, чтобы предохранить его от размыва и заиления, покрывается слоем мелкого гравия толщиной 2—3 см.

5. Для подачи воды в зумпф у шурфа устанавливается тарированный бак с водомерной трубкой или поплавковым уровнемером. Рекомендуется пользоваться сдвоенными мерными баками емкостью 70 л каждый, которые соединены трехходовым краном и снабжены стеклянными водомерными трубками. Для удобства отсчетов по водомерным трубкам баки устанавливаются на невысокой подставке. Использование сдвоенных баков позволяет обеспечить непрерывность подачи воды в зумпф.

6. Вода из бака подается в зумпф по надетой на кран бака гибкой трубке. Трубка должна иметь такую длину, чтобы нижний конец ее свободно лежал на дне зумпфа. Во избежание размыва зумпфа к нижнему концу трубки прикрепляется разбрызгиватель — сетка или мешочек с гравием. Конец трубки с разбрызгивателем закрепляется на фанерной дощечке, по которой растекается вода.

7. Чтобы уменьшить количество защемленного воздуха в опробуемой наливом породе и не допустить разрушения дна зумпфа струйками вытесняемого из породы воздуха, заполнение зумпфа водой до заданного уровня (+10 см над его дном) производится со скоростью подъема уровня не более 0,5 см/мин.

8. Заполнив зумпф водой до установленного уровня, в дальнейшем поддерживают этот уровень постоянным. Допускаются колебания не более ±1 см. Постоянство уровня воды во время опыта достигается регулировкой расхода воды с помощью автоматического регулятора уровня. Регулятор уровня прикрепляется к нижнему концу подающей воду трубки вместо разбрызгивателя после заполнения зумпфа водой и устанавливается на требуемой высоте над дном зумпфа.

9. При отсутствии автоматического регулятора уровня вода из бака подается в зумпф непосредственно по гибкой трубке с разбрызгивателем. Расход в таком случае регулируется краном бака или зажимом, надетым на гибкую трубку. Для наблюдения за уровнем воды по рейке, установленной в зумпфе, в течение всего опыта в шурфе должен находиться специальный наблюдатель. Другой наблюдатель регулирует расход воды из бака, обеспечивает непрерывность ее подачи и документирует опыт.

10. Замеры расхода производятся по водомерной трубке бака через каждые 10—30 мин в зависимости от скорости водопоглощения.

11. Наблюдения при намыве записываются в журнал (приложение VI). В процессе опыта составляется график зависимости расхода от времени, который вычерчивается на миллиметровой бумаге и вшивается в журнал опытного налива.

12. Наблюдения ведут до стабилизации расхода. Расход считается установившемся, если в течение 2 ч (4—6 замеров) он не отклоняется от среднего расхода за это время более чем на 10%.

13. Коэффициент фильтрации K вычисляется по формуле:

$$K = Q/F, \qquad (6\text{-}24)$$

где Q — установившийся расход, м³/сут; F — фильтрующая площадь, м².

Для зумпфа с закрепленными водопроницаемыми стенками

$$F=3{,}14\ d^2/4, \qquad (6\text{-}25)$$

для зумпфа с фильтрующими стенками

$$F=\frac{3{,}14d^2}{4}+3{,}14dH_0, \qquad (6\text{-}26)$$

где d — диаметр зумпфа, м; H_0 — высота столба воды в зумпфе, м (обычно 0,1 м).

При камеральной обработке результатов опыта составляется сводный лист опытного налива в шурф по схеме, описанной выше.

в) Метод Н. С. Нестерова

Этот метод основан на предположении, что при инфильтрации воды из двух цилиндров, расположенных концентрически и заполненных водой на одинаковую высоту, на растекание расходуется вода из внешнего цилиндра, а поток воды из внутреннего цилиндра направлен вертикально вниз. Предполагается, что поскольку растекания этого потока не происходит, он имеет постоянное сечение, равное сечению цилиндра, а линии токов взаимно параллельны и вертикальны. В этих условиях при установившемся расходе воды из внутреннего цилиндра и малой высоте столба воды в нем можно приравнять градиент инфильтрационного потока, идущего из внутреннего цилиндра, к единице, а скорость инфильтрации — к коэффициенту фильтрации. Чтобы данное предположение было допустимо, соотношение диаметров внешнего и внутреннего цилиндров должно быть не меньше двух. Обычно изготовляют металлические цилиндры диаметром 0,50 и 0,25 м, высотой 0,20—0,25 м и жестко скрепляют их, поместив точно концентрично один в другом. Рассматриваемый метод применим для наливов в мелкозернистые и глинистые породы.

Ход опыта следующий:

1. Шурф и зумпф документируются.

2. В дно опытного зумпфа, тщательно выровненное и зачищенное, осторожно врезают (вдавливают) на глубину 5—6 см два цилиндра, расположенные концентрически (рис. 6-21). Необходимо следить за тем, чтобы при погружении цилиндров не была нарушена структура породы в дне зумпфа и не были замазаны поры породы.

3. После установки цилиндров дно зумпфа покрывается защитным слоем мелкого гравия мощностью 2—3 см.

4. Заполнение обоих цилиндров водой производится одновременно и с одинаковой скоростью (не более 0,5 см/мин). При этом соблюдаются все предосторожности, указанные выше.

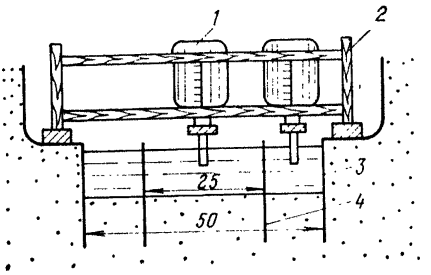


Рис. 6-21. Установка для опыта по методу Н. С. Нестерова.
1 — сосуд Мариотта; *2* — штатив; *3* — наружное кольцо; *4* — внутреннее кольцо диаметром 25 см.

5. Доведя уровень воды в цилиндрах до требуемой высоты, в дальнейшем поддерживают его одинаковым и постоянным. Обычно высота столба воды в цилиндрах принимается равной 10 см над уровнем зумпфа. Требование равенства уровней воды в цилиндрах должно строго соблюдаться. Поэтому после наполнения цилиндров водой обязательно применение автоматического регулирования уровней.

6. Для регулирования уровней могут быть использованы сосуды Мариотта или автоматические регуляторы уровня других типов. Сосуд Мариотта представляет собой бутыль емкостью 3—5 л. Сосуд заполняется водой, закрывается пробкой с отверстием, в которое вставлена короткая трубка, и в таком виде опрокидывается горлом вниз над заполненным цилиндром. При опрокидывании сосуда отверстие трубки закрывают пальцем и конец трубки погружают на 1—2 см в воду. Один сосуд устанавливают над внутренним цилиндром, другой — над кольцевым зазором между внутренним и внешним цилиндрами (рис. 6-21). Сосуд, установленный над внутренним цилиндром, должен быть тарирован и снабжен шкалой для замера расхода выливающейся воды.

Сосуды укрепляются на специальной подставке так, чтобы концы трубок располагались на высоте 10 см над дном зумпфа. Уровень воды к моменту установки сосудов Мариотта должен быть на 1—2 см выше постоянного уровня, при котором производится опыт. Расход воды регулируется следующим образом. Пока уровень воды в цилиндрах стоит выше концов трубок, вода из сосудов не вытекает. Когда часть воды из цилиндра просочится в породу и уровень в нем оторвется от края трубки, через последнюю вытечет небольшая порция воды, а на ее место в сосуд поднимутся пузырьки воздуха. Уровень воды в цилиндре вновь повысится до края трубки, истечение воды из сосуда прекратится и т. д. Когда вода из сосуда израсходована, его немедленно заменяют другим таким же, наполненным водой.

7. При использовании автоматических регуляторов другого типа необходимо подавать воду в каждый цилиндр из отдельного бака. Бак, из которого вода поступает во внутренний цилиндр, должен быть тарирован и снабжен водомерной трубкой.

8. Во время опыта замеряется и записывается в журнал опытного налива (приложение VI) расход воды, затраченный на инфильтрацию в дно внутреннего цилиндра. Расход замеряется по водомерной трубке бака или по шкале на сосуде Мариотта. Интервал между замерами расхода воды определяется в зависимости от скорости водопоглощения 10—30 мин. В процессе опыта строится график изменения расхода во времени.

9. Немедленно по окончании опыта цилиндры вынимаются, вода из зумпфа откачивается и в центре зумпфа пробуривается скважина глубиной 3—4 м для определения глубины просачивания. Другая скважина пробуривается до той же отметки на расстоянии 3—5 м от зумпфа. Из скважин через каждый 0,20 м отбираются пробы породы для определения влажности. По полученным лабораторным данным в дальнейшем во время камеральной обработки строят совмещенные графики изменения влажности породы с глубиной для обеих скважин и устанавливают по ним, до какой глубины просочилась вода из зумпфа. Иногда возможно на глаз определить глубину просачивания по изменению окраски породы во время проходки скважины в зумпфе. Это следует записать в графе «Описание породы» геологического разреза скважины и проверить позднее по лабораторным данным.

Контрольные скважины документируются. Их геологические разрезы вычерчиваются на отдельном листе миллиметровой бумаги и вшиваются в журнал опытного налива.

10. Расчет коэффициента фильтрации K производится по формуле:

$$K = \frac{Qh}{F(H_0 + H_к + h)}, \qquad (6\text{-}27)$$

где F — площадь горизонтального сечения внутреннего цилиндра, м²; Q — установившийся расход, м³/сут; h — глубина просачивания воды во время опыта, м; H_0 — высота воды в зумпфе, м; $H_к$ — капиллярный подъем воды, м, определяется по табл. 6-9.

При камеральной обработке результатов опыта составляется сводный лист опытного налива в шурф по схеме, описанной выше.

6-6. ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД, НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ИХ ДВИЖЕНИЯ

а) Изучение режима подземных вод

Основные показатели каждого водоносного горизонта — уровень, дебит, химический состав и температура воды — не остаются постоянными, а изменяются под влиянием естественных и искусственных факторов (климата, уровня водоемов, откачки из колодцев и пр.). Эти изменения имеют существенное значение для расчетов притока воды в строительные котлованы, определения фильтрационных потерь, прогнозирования колебаний уровня подземных вод по берегам водохранилищ и решения ряда других практических вопросов, возникающих при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений.

Наблюдения за изменениями основных показателей водоносных горизонтов во времени называются режимными гидрогеологическими наблюдениями. Одной из главных задач их является установление связи водоносных горизонтов с рекой или другим открытым водоемом, а также взаимной связи водоносных горизонтов. Для режимных наблюдений используются все существующие водопункты (буровые скважины, колодцы, источники), а также создается режимная сеть специально оборудован-

ных, так называемых пьезометрических скважин. Одновременно на реках и водоемах устраиваются водомерные посты.

Наблюдения за режимом подземных вод проводятся на всех стадиях и этапах проектирования. При составлении схемы использования реки они обычно бывают кратковременными (до 1 года) и проводятся главным образом по существующим источникам и колодцам. На последующих стадиях продолжительность и детальность их возрастают и в состав режимной сети включаются специальные скважины. В условиях естественного гидрологического режима продолжительность стационарных наблюдений должна быть не менее полутора лет, с тем чтобы отразить все изменения режима подземных вод в годовом разрезе.

Наблюдения за режимом подземных вод должны проводиться не только во время изысканий, но также в период строительства и эксплуататации сооружений, так как именно в это время происходят наиболее существенные изменения основных показателей водоносных горизонтов, вызванные проходкой котлованов, туннелей и других выемок, а также заполнением водохранилищ и каналов.

Схема расположения скважин режимной сети намечается таким образом, чтобы по ним можно было наблюдать все изменения режима, вызванные естественными или искусственными причинами. Обычно наблюдательные скважины располагаются по поперечникам, направленным перпендикулярно берегу водоема или борту котлована. Самые дальние скважины должны находиться на таком расстоянии от дрены, где колебания уровня воды затухают. Расстояния между поперечниками и скважинами на каждом из них должно быть достаточным для построения карт гидроизогипс, графиков химического состава и других материалов, характеризующих режим подземных вод.

Перед началом создания режимной сети составляется схема расположения наблюдательных скважин и проект бурения и оборудования каждой скважины. В схеме должны быть учтены все существующие водопункты, а также предусмотрена возможность дальнейшего развития и детализации режимной сети после перехода к следующей стадии проектирования, в строительный период и при передаче сооружения в эксплуатацию.

Глубина пьезометрических скважин зависит от глубины залегания водоносных горизонтов, за которыми предполагается вести наблюдения. Если наблюдается несколько водоносных горизонтов, расположенных на разной глубине, то для каждого из них желательно пробурить и оборудовать отдельную скважину, так как при ярусном расположении в одной скважине нескольких пьезометров возможно нарушение изоляции водосных горизонтов.

При составлении проекта пьезометрической скважины необходимо правильно подобрать длину, конструкцию и тип фильтра, который надо располагать в наиболее водопроницаемых породах водоносного пласта. Изоляция водоносных горизонтов, подбор и установка фильтров в пьезометрических скважинах делаются так же, как и при опытной откачке. У устья каждой пьезометрической скважины, так же как при опытных откачках, оборудуется нулевая точка, от которой производятся все измерения глубины и периодически делается ее контрольное нивелирование.

Диаметр труб фильтровой колонны пьезометрических скважин обычно принимается 50—60 мм. Конец их должен возвышаться над устьем скважины на 0,5—1 м и оборудоваться специальным запором. Во избежание просачивания поверхностных вод в скважину вокруг трубы необходимо создать замок из глины глубиной до 0,7 м. Для самоизливающихся скважин трубу выводят на высоту, несколько большую высоты напора. При больших напорах, превышающих 5 м над уровнем земли, скважину закрывают оголовком, имеющим запорный вентиль и два отвода. На одном из них устанавливают манометр, а другой служит для измерения дебита воды. В промежутках между измерениями вентиль запирают, а манометр снимают. Для предохранения пьезометрических скважин от повреждений их можно помещать в специальные запирающиеся будки.

Перед сдачей пьезометрической скважины в эксплуатацию на нее составляется технический паспорт, в котором указывается геолого-технический разрез скважины и даются другие необходимые сведения.

Для измерения уровня и температуры воды в буровых скважинах используются те же приборы, что и при опытных откачках. При наличии будки у устья скважины она может быть оборудована самописцем уровня. От-

бор воды на химические анализы делается в соответствии с указаниями § 6-7.

Частота наблюдений за уровнем подземных вод, их температурой, химическим составом и дебитом устанавливаются специальным заданием руководителя работ в зависимости от особенностей режима каждого водоносного горизонта, амплитуды колебания его уровня и поставленных задач. В период изысканий в пьезометрических скважинах, расположенных вблизи берега реки, измерения уровня в межень могут проводиться через 3—5 дней, а в более удаленных точках — через 5—10 дней. В период резких колебаний уровня реки наблюдение надо вести ежедневно. Дебит самоизливающихся скважин обычно наблюдается не чаще 1 раза в месяц. Пробы воды на химический анализ отбираются не реже 4 раз в год, чтобы можно было проследить изменение состава воды во все сезоны.

Во время откачки котлованов или в период заполнения водохранилища наблюдение за уровнем подземных вод должно вестись не реже 1 раза в сутки. Изменения температуры и отбор проб воды на химический анализ делаются по специальному заданию, так как иногда их результаты позволяют судить о подтоке глубинных вод, что имеет важное значение для оценки агрессивности воды.

Наблюдения на источниках включают измерение дебита, температуры и химического состава подземных вод. Результаты этих наблюдений помогают выявить и охарактеризовать имеющиеся в районе работ водоносные горизонты и оценить водопроницаемость пород, а в закарстованных и сильно трещиноватых породах выявить сосредоточенные пути фильтрации. Большое значение эти наблюдения имеют на действующих гидротехнических сооружениях, когда необходимо определить размеры фильтрационных потерь в районе плотины или в зоне водохранилища.

Перед началом наблюдений все источники, включенные в режимную сеть, нумеруются, наносятся на карту, обследуются, описываются и оборудуются для наблюдений. По завершении этих работ на каждый источник составляется паспорт, в котором делается зарисовка планового положения источника и геологического разреза в месте его выхода, а также помещаются все основные сведения об источнике.

Прежде всего делается каптаж источника, цель которого сосредоточить выход воды таким образом, чтобы можно было замерять его дебит. Для этого в зависимости от характера выхода может быть сделана расчистка устья источника, построена небольшая запруда или отводная канава и т. п. При устройстве каптажа надо следить за тем, чтобы не нарушить естественный режим источника, не создать подпор, не дать воде уйти в сторону.

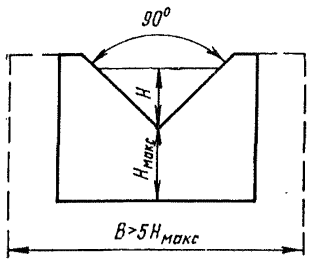


Рис. 6-22. Водослив Томсона.

Если дебит источника не превышает 1—2 л/с, то измерение его желательно вести мерным сосудом (ведром, стеклянной банкой), объем которого зависит от расхода воды. Для измерения этим способом при каптаже источника необходимо установить сливной лоток или трубку, под которую можно подставить мерный сосуд. При измерении дебита надо каждый раз проверять состояние каптажа, следить за тем, чтобы вся вода, выходящая из источника, поступала в лоток, и уровень, на котором происходит слив, не изменился. В противном случае измерения дебита будут неправильные.

Если дебит источника составляет 2—10 л/с, то измерения его производятся с помощью водослива, который представляет собой железный лист с вырезом для стока воды. Водослив устанавливается в канавке, отводящей воду от источника, с соблюдением следующих условий: стенка водослива должна быть вертикальна и перпендикулярна потоку; края выреза в стенке должны быть не толще 1—2 мм; перед водосливом должен быть отстойный бассейн, а уровень воды за водосливом должен быть ниже его порога.

Наиболее часто употребляется водослив Томсона, имеющий треугольный вырез (рис. 6-22). Кроме того, применяется водослив Чиполетти с трапецеидальным вырезом и переносная водосливная рамка с прямоугольным вырезом.

Водослив Томсона устанавливается при выходе потока из бассейна, ширина которого B должна не менее чем в 5 раз превышать наибольший напор на водосливе $h_{макс}$. В водоеме на расстоянии 0,8—1,5 м от водослива уста-

навливается водомерная рейка, по которой измеряют толщину слоя воды, переливающейся через водослив h. Нуль рейки должен находиться точно на уровне вершины прямого угла выреза водослива. Деления на рейке наносятся через 2 мм. Расход источника определяется по формуле

$$Q = 1{,}4h^2\sqrt{h}, \qquad (6\text{-}28)$$

где h — напор, измеряемый по рейке, м.

При расходах источников более 10 л/с измерения дебита проводятся с помощью поплавков, вертушек и другими методами, применяемыми на гидрологических изысканиях.

Полевые записи режимных гидрогеологических наблюдений ведутся в специальных журналах и переносятся в ведомости, хранящиеся в камеральном бюро. При производстве наблюдений техник должен отмечать все имеющиеся неполадки в оборудовании наблюдаемой скважины или источника, по возможности устранять их, а в случае серьезных повреждений сообщать о них руководителю работ.

Пьезометрические скважины должны регулярно, не реже 1 раза в год, прочищаться и прокачиваться. Если прочистить скважину не удается, может быть произведена замена фильтра или пробурена новая скважина.

В результате режимных наблюдений строятся графики колебания уровня, температуры, дебита и химического состава подземных вод. По этим материалам составляются карты гидроизогипс, гидрохимические карты и профили и другие графические материалы.

б) Определение направления и действительной скорости движения подземных вод

Направление движения подземных вод совпадает с уклоном поверхности их уровня. Оно не остается постоянным и изменяется в зависимости от условий питания и дренирования водоносного горизонта. Так, например, в долинах большинства равнинных рек во время межени река дренирует подземные воды и поэтому их движение направлено в сторону русла реки. При наступлении же паводка река питает водоносные горизонты и движение подземных вод меняет свое направление. Для определения направления подземного потока на неболь-

шой территории в однородных пластах рыхлых пород проходят три скважины, расположенные по вершинам правильного треугольника со сторонами 50—200 м. Все скважины оборудуют для режимных наблюдений, нивелируют их устье с точностью до 0,5 см и измеряют в них уровень подземных вод в течение нескольких дней. На основании данных этих наблюдений строят карту гидроизогипс в масштабе 1 : 1000, на которой проводят изолинии через 0,1—0,25 м и определяют направление движения подземных вод, которое всегда перпендикулярно горизонталям и направлено от большей отметки к меньшей (рис. 6-23).

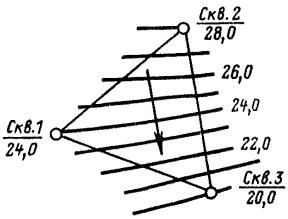


Рис. 6-23. Схема размещения наблюдательных скважин при определении направления движения подземных вод. Стрелкой показано направление движения подземных вод.

Если требуется определить направление движения подземных вод для большой территории, то строят карту гидроизогипс по данным режимных наблюдений и, проведя перпендикуляры к гидроизогипсам, определяют направления подземного потока для каждого участка.

В случае необходимости вычислить уклон подземного потока I берут разность отметок гидроизогипс в двух точках h и делят ее на расстояние между этими точками l:

$$I = \frac{h}{l}.$$

Действительная скорость движения подземных вод представляет собой скорость движения воды в порах и трещинах, пронизывающих породу. Знание ее необходимо для оценки суффозионных явлений, выяснения путей фильтрации в закарстованных и сильнотрещиноватых породах и для других целей. Как уже говорилось выше (§ 6-2), действительная скорость движения подземных вод больше фиктивной или кажущейся скорости, при вычислении которой расход относят ко всей фильтрующей площади, а не к ее проницаемой части — порам и трещинам.

Действительные скорости фильтрации подземных вод очень малы и изменяются в широких пределах в зависимости от пористости и трещиноватости пород и гидравлического градиента подземного потока. Ориентировочные значения их приведены в табл. 6-10.

Таблица 6-10

Ориентировочные значения максимальной действительной скорости движения подземных вод при градиентах 0,001—0,01

Наименование породы	Максимальная скорость движения, м/сут
Закарстованные породы	50
Трещиноватые породы	20
Крупнозернистые пески и галечники	3
Среднезернистые пески	1

Для определения скорости фильтрации существует много методов, из которых наиболее распространенными являются индикаторные методы. Кроме того, существуют геофизические методы, которые рассматриваются в специальных руководствах.

Проводя опыт индикаторным методом, запускают какой-либо индикатор (краску, раствор, соли) в одну скважину и наблюдают концентрацию этого индикатора в другой скважине, расположенной ниже по направлению подземного потока. Если породы слабоводопроницаемы и направление движения потока выражено не явно, то опыты проводят во время кустовой откачки, когда искусственно создаются повышенные градиенты подземного потока. Индикатор запускают в наблюдательную скважину и улавливают в центральной.

Для проведения опыта с индикаторами может буриться специальный куст из четырех скважин. Одна из них — пусковая — служит для запуска индикатора, а три остальных — наблюдательные — для улавливания его. Расстояние между пусковой и наблюдательными скважинами принимается в зависимости от фильтра-

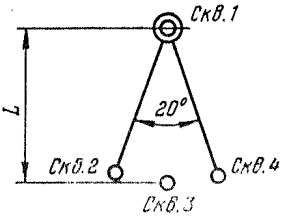


Рис. 6-24. Схема расположения скважин при определении скорости движения подземных вод.

Скв. *1* — пусковая скважина; скв. *2*, *3* и *4* — наблюдательные скважины; *L* — расстояние от пусковой до наблюдательной скважины.

ционной способности пород. В породах, медленно и слабо проводящих воду (суглинках, супесях), скорости течения в порах настолько малы, что определить их практически невозможно. Схема расположения пусковой и наблюдательных скважин приведена на рис. 6-24. Примерные расстояние от пусковой до наблюдательной скважины L даны в табл. 6-11.

Таблица 6-11

Максимальные расстояния между пусковой и наблюдательными скважинами при опытах с индикаторами

Наименование пород	Расстояния между пусковой и наблюдательной скважинами L, м
Суглинки, лессы	0,5—1,5
Супеси, тонкозернистые пылеватые пески	1—3
Среднезернистые пески	2—4
Крупнозернистые пески	3—8
Гравелистые пески, галечники, трещиноватые породы	До 20

Если в качестве индикатора используется соль, то улавливать ее можно химическим или электролитическим способом. Наиболее часто в качестве индикатора применяется хлористый натрий (поваренная соль) и реже хлористый аммоний или хлористый кальций. Необходимое для проведения опыта количество соли меняется в зависимости от ее состава, а также должно быть тем больше, чем больше расстояние между скважинами. Ориентировочно можно считать, что хлористого натрия требуется 10—15 кг, хлористого кальция 5—10 кг, а хлористого аммония 3—5 кг.

Соль вводят в выработку в виде концентрированного раствора. Если сечение пусковой выработки мало и объем влитого в нее раствора может резко повысить уровень воды, то откачивают из скважины воду в соответствующем объеме и быстро заливают раствор. При глубине до уровня воды 2—3 м раствор вливают в скважину сверху через колонну фильтровых или обсадных труб. При бо́льшей глубине его можно заливать через специально опущенную колонну труб или через шланг, а также с помощью специального сосуда с открывающимся дном, который опускают в скважину ниже уровня подземных вод. Залив раствор, его перемешивают с во-

дой, находящейся в скважине, и с этого момента начинают наблюдения за изменением концентрации раствора в пусковой и наблюдательных скважинах. До начала опыта делают первое измерение содержания хлор-иона в естественной подземной воде.

При химическом способе из скважин отбираются пробы воды с помощью батометров в объеме 50 см³ и титрованием определяется количество содержащегося в ней хлор-иона. В начале опыта пробы берутся через 2—3 ч, а за некоторое время до вероятного момента появления раствора промежутки времени между отбором проб в наблюдательных скважинах уменьшаются до 15—30 мин. В зернистых породах наблюдения прекращаются после прохождениия максимума концентрации соли в воде. В скальных трещиноватых и закарстованных породах наблюдения следует продолжать до полного прохождения индикатора, так как возможно повторное увеличение концентрации раствора.

В процессе опыта строится график изменения содержания хлора во времени. Для вычисления скорости движения подземных вод принимается или время появления индикатора, или время прохождения максимума его концентрации. Действительная скорость движения подземных вод v вычисляется по формуле

$$v = \frac{l}{t}, \qquad (6\text{-}29)$$

где l — расстояние между пусковой и наблюдательной скважинами; t — продолжительность времени фильтрации.

Электролитический способ определения действительной скорости движения подземных вод основан на уменьшении электросопротивления раствора соли при увеличении ее концентрации. Для измерения концентрации хлор-иона в наблюдательные скважины на проводах опускается электрод, который представляет собой металлический стержень, покрытый с боков изоляцией. Провода включены в электрическую цепь, в состав которой входят источник питания (батареи), миллиамперметр, измеритель сопротивления (реостат), обсадные трубы или фильтр скважины. При соприкосновении электрода с водой электрическая цепь замыкается и измеряется сопротивление воды, для того чтобы следить за движением раствора соли; кроме того, измеряют сопротивле-

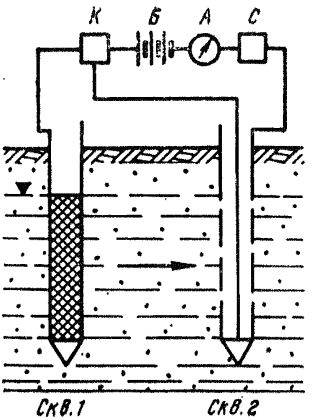


Рис. 6-25. Схема измерения сопротивления между пусковой и наблюдательной скважинами.
Скв. *1* — пусковая; скв. *2* — наблюдательная; *А* — миллиамперметр; *Б* — батарея; *К* — коммутатор для переключения сети; *С* — реостат.

ние подземных вод между пусковой и наблюдательными скважинами по схеме, изображенной на рис. 6-25.

По мере приближения раствора соли к наблюдательной скважине это сопротивление будет падать.

При обработке материалов наблюдений строят графики изменения сопротивления воды в наблюдательных скважинах и по ним определяют момент прихода в скважину раствора и максимум его концентрации. Скорость фильтрации определяют так же, как и при химическом способе.

Калориметрический способ основан на определении времени прохождения раствора красящего вещества между двумя скважинами. Он может применяться независимо от содержания в породе соли, в то время как химический способ в засоленных породах применять нельзя. Содержание красящего вещества в наблюдательной скважине определяют с помощью флюороскопа, который представляет собой набор из десяти стеклянных трубок длиной 50 см и диаметром 2 см, закрытых с одной стороны черными резиновыми пробками. Трубки заполняются раствором красящего вещества различной концентрации (0; 0,0005; 0,001; 0,005; 0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1; 5%) и устанавливаются через одно отверстие в штативе.

Водой, взятой из наблюдательной скважины, заполняют пустую трубку и ставя ее последовательно около каждой заполненной трубки, сравнивают окраску воды с эталоном и определяют концентрацию краски в пробе. Если вода пробы мутная, ее предварительно фильтруют. Взятые пробы должны быть защищены от света.

Выбор краски для опыта зависит от реакции воды. В щелочных водах пригодны флюоресцеин, эозин, красное конго, в кислых водах—метиловая синька, анилино-

Таблица 6-12

Количество красящего вещества, необходимое для опыта

Наименование красящего вещества	Количество красящего вещества в граммах сухой навески на каждые 5 м пути фильтрации для пород	
	рыхлых	трещиноватых и закарстованных
Флюоресцеин	1—5	1—10
Флюорантон		
Эозин		
Эритрозин	5—15	5—20
Красная конго	10—30	10—40
Метиловая синька		
Анилиновая голубая		
Понсо красная 2	5—15	5—20

вая голубая. Примерное количество красящего вещества для приготовления раствора приведено в табл. 6-12.

Красящие вещества для запуска в скважину растворяют в щелочи (в нашатырном спирте) из расчета 2—4 $см^3$ щелочи на 1 г краски или в слабой уксусной кислоте. Перед запуском краски берутся пробы воды из скважин и определяется ее прозрачность и окраска. После этого запускают краску в пусковую скважину и регулярно берут пробы в наблюдательных. В остальном опыт и обработка его результатов проводятся так же, как и при химическом способе. На графике прохождения индикатора откладывают интенсивность окраски воды, взятую по эталонным трубкам.

6-7. ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

а) Общие положения

Вода в той или иной степени растворяет все твердые, жидкие и газообразные вещества, поэтому природные воды всегда содержат их примесь. Подземные воды, заключенные в пустотах горных пород, находятся в особо благоприятных условиях для обогащения различными веществами. Химический состав их зависит от литологического состава вмещающих пород, условий питания, залегания и дренирования водоносных горизонтов. Поэтому воды различных водоносных горизонтов обычно различаются по химическому составу, а для неглубоко залегающих горизонтов этот состав может несколько меняться в течение года.

Знание химического состава подземных вод и изменений его во времени имеет очень большое значение для понимания гидрогеологических условий участка размещения гидротехнического сооружения. Поэтому в состав инженерно-геологических изысканий всегда входят гидрохимические исследования, целью которых является изучение химического состава, физических свойств и условий формирования подземных вод, оценка их агрессивности по отношению к бетону и железу, а также получение данных для решения ряда других вопросов, возникающих при проектировании гидротехнических сооружений: растворение пород в основании сооружений, образование осадков на фильтрах и пр.

Химический состав подземных вод очень сложен, но для решения практических задач обычно бывает достаточно определить его основные компоненты, так как остальные присутствуют в незначительных количествах и в большинстве случаев не влияют существенно на свойства воды. В случае необходимости назначаются более подробные анализы с определением тех компонентов, которые необходимы для решения того или иного вопроса.

Все вещества в природных водах находятся в виде газов, истинных и коллоидных растворов или же в виде взвешенных частиц. Из газов, присутствующих в воде, наибольшее значение имеют углекислота CO_2 и сероводород H_2S, так как от их содержания зависят ее агрессивные свойства. В истинных растворах вещества присутствуют в виде положительно и отрицательно заряженных ионов. Наиболее важные истинные растворы образуются из веществ, в состав которых входят соединения кальция, магния, калия, натрия, соляной, серной и угольной кислот. В загрязненных водах в заметных количествах присутствуют азотистые соединения и органические кислоты.

В виде коллоидных растворов в воде присутствуют соединения железа, алюминия, кремнекислоты и др. Размер коллоидных частиц очень мал, диаметр их находится в пределах 0,1—0,001 мкм. Содержащиеся в воде более крупные частицы твердых веществ осаждаются перед анализом и отделяются фильтрованием. Определение их состава не входит в химический анализ воды. При изысканиях для питьевого водоснабжения помимо химического анализа производится бактериологический анализ воды.

б) Физические свойства воды

Физические свойства воды — температура, цвет, вкус, запах и прозрачность — определяются непосредственно на месте выхода подземных вод на поверхность (у источника, у буровой скважины и пр.).

Температура воды определяется с помощью родникового термометра, шкала которого разделена с точностью 0,2 град. Во время измерений его погружают на шнуре в источник, колодец или в буровую скважину и оставляют там на 5—10 мин, после чего извлекают и быстро берут отсчет. Одновременно с измерением температуры воды измеряется температура окружающего воздуха с помощью специального термометра-праща.

Цвет определяют только в прозрачной воде, а мутную воду предварительно отфильтровывают. После этого наполняют пробирку водой и смотрят на нее сверху, поставив на лист белой бумаги. Вода может быть бесцветной, желтоватой, зеленоватой и т. п.

Вкус воды может быть пресным, горьковатым, солоноватым и т. п. Перед опробованием пробирку с водой рекомендуется согреть в руках. Запах воды лучше всего определять непосредственно на месте ее выхода на поверхность. Он может быть болотный, сероводородный и т. п., а по степени интенсивности — слабый, заметный, отчетливый, сильный.

Прозрачность воды определяют в пробирке, которую заполняют водой и рассматривают на фоне черной бумаги. Вода может быть прозрачная, опалесцирующая, слабомутная, мутная.

в) Типы химических анализов воды

Химический состав подземных вод наиболее полно может быть определен только в стационарных лабораториях. Сокращенные анализы могут выполняться в полевых походных лабораториях типа лаборатории А. А. Резникова и пр. Наиболее важные компоненты, содержащиеся в воде, определяются количественно, менее значительные — качественно. В зависимости от целей исследований могут проводиться следующие анализы: типовой или стандартный, полный, анализ с целью оценки агрессивности воды, сокращенный, краткий.

Типовой анализ является наиболее распространенным. Он производится для общей характеристики водоно-

сных горизонтов и выявления основных особенностей формирования их химического состава. При выполнении этого анализа определяются: физические свойства воды, pH, Cl^-, SO^{2-}_4, HCO^-_3, CO^{2-}_3, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^+ и K^+ (прямое определение или по разности), жесткость общая, карбонатная и некарбонатная, сухой остаток, потеря при прокаливании. Дополнительно по специальному заданию могут выполняться качественные определения содержания: Fe^{2+}, Fe^{3+}, NH^+_4, NO^-_2, NO^-_3, HPO^{2-}_4, H_2S.

Полный анализ отличается от типового тем, что дополнительные определения выполняются количественно и состав их увеличивается в соответствии с задачами исследований.

При выполнении анализа с целью агрессивности воды обязательно определяются pH, CO_2 своб., Cl^-, SO^{2-}_4, HCO^-_3, Mg^{2+}, Ca^{2+}, $Na^+ + K^+$, NH^+_4, H_2S, окисляемость и сухой остаток.

При выполнении сокращенного анализа определяются pH, Cl^-, SO^{2-}_4, HCO^-_3, Ca^{2+}, Mg^{2+} и качественно Fe^{2+}, Fe^{3+}, NO^-_2, NH^+_4. Этот анализ производится ускоренными методами и может выполняться в полевой походной лаборатории.

Краткий анализ включает определение общей минерализации воды по величине электропроводности или содержание какого-либо устойчивого инградиента, например Cl^-.

г) Отбор проб воды

Отбор проб для химического анализа производится в соответствии с заданием, выдаваемым геологом, в котором указывается место отбора пробы, для какого анализа она берется, объем пробы, способ отбора и пр.

Объем пробы зависит от типа анализа. Для выполнения только типового или сокращенного анализа отбирается так называемая общая проба в объеме 1—2 л. Для анализов, включающих определения агрессивности воды и другие определения, отбираются дополнительные пробы — зарядки в объеме 0,25—0,5 л. Отбор проб зарядок для определения агрессивности воды и других специальных проб производится по соответствующим инструкциям и обычно выполняется специалистами-химиками.

Перед отбором пробы воды из буровой скважины следует ее тщательно подготовить, так как состав подземных вод может оказаться искаженным в результате смешения различных водоносных горизонтов и взаимодействия воды со шламом, находящимся в скважине. В связи с этим перед отбором пробы необходимо изолировать с помощью обсадных труб или тампона опробуемый водоносный горизонт, очистить скважину от шлама и откачать из нее воду до осветления.

Отбор проб воды из самоизливающихся или откачиваемых скважин производится непосредственно в бутылки через шланг, опущенный в скважину на 1 м. Отбор проб из источников и других выходов воды на поверхность выполняется с помощью воронки и надетого на нее шланга. Воронку подводят под выход воды, а шланг опускают в бутылку, располагая ее несколько ниже воронки. Во всех остальных случаях пробы воды отбираются специальными водоотборниками, которые могут заполняться на определенной глубине. Существует много систем водоотборников. На инженерно-геологических изысканиях наибольшее применение нашел водоотборник Гидропроекта В-46 (рис. 6-26).

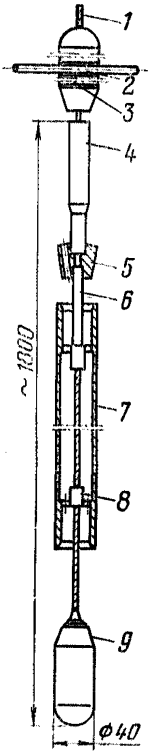


Рис. 6-26. **Водоотборник конструкции Гидропроекта В-46.**

1 — трос; *2* — вилка; *3* — посыльный груз *4* — ударник; *5* — верхняя пробка; *6* — направляющая трубка; *7* — корпус; *8* — втулка; *9* — нижняя пробка.

При отборе проб во избежание перемешивания воды водоотборник следует опускать и поднимать медленно. После подъема его на поверхность воду переливают в бутылки с помощью сифона. По мере наполнения бутылки шланг сифона следует приподнимать с таким расчетом, чтобы после полного его извлечения вода наполнила бутылку до края горлышка. При укупорке бутылок следует под пробкой оставлять воздушное пространство в 1—2 см по длине горлышка, рассчитанное на тепловое расширение воды и газов. Особенно тщательно следует отбирать

пробы на агрессивность, беря ее из первого объема воды, поднятого водоотборником из скважины.

Посуда для отбора проб воды должна подготавливаться в лаборатории. Пробы отбираются обычно в стеклянные, прозрачные, тщательно вымытые бутылки емкостью от 0,25 до 1 л. Для укупорки бутылок наиболее удобно применять резиновые пробки, которые перед употреблением необходимо прокипятить. Перед взятием пробы бутылку и пробку не менее трех раз ополаскивают водой, отбираемой на анализ.

Бутылки с пробами следует укупоривать тотчас после отбора и консервации пробы. Затем надо закрепить пробку проволокой, обернуть марлей и парафинировать. Если проба до анализа будет храниться более половины месяца, то ее надо консервировать добавлением в каждую бутылку нескольких капель хлороформа.

Готовые пробы воды тщательно упаковываются и немедленно доставляются в лабораторию.

Документация пробы делается на месте ее отбора. Для каждой бутылки заполняются две одинаковые этикетки по установленной форме, одна из которых наклеивается на бутылку, а другая вкленвается в журнал. В этикетке указывается название учреждения и экспедиции (партии), откуда взята проба, местоположения водопункта, температура вода и воздуха, физические свойства воды, назначение пробы, способ отбора, дата, подпись отобравшего породу.

д) Формы выражения химических анализов воды

Результаты химических анализов могут быть выражены в ионной, эквивалентной и процент-эквивалентной формах.

Ионная форма анализа показывает, сколько миллиграммов различных ионов содержится в 1 л исследуемой воды. Она является первичным результатом химических определений. Остальные формы получаются расчетом.

Эквивалентная форма наиболее полно отражает внутреннюю химическую природу входящих в состав воды веществ. Эта форма вычисляется путем деления массового количества миллиграммов каждого иона, содержащегося в одном литре воды, на его эквивалентную массу. Полученные величины называются миллиграмм-эквивалентами (мг-экв). Суммы миллиграмм-эквивалентов для катионов и анионов в одной и той же пробе воды долж-

ны быть одинаковы, поскольку каждому эквиваленту катиона отвечает эквивалент аниона. Однако в виду погрешности анализов полного совпадения не бывает.

При пересчете ионной формы анализа в эквивалентную не принимаются во внимание растворенные в воде газы (CO_2, H_2S и пр.), а также коллоидные соединения (Fe_2O_3, Al_2O_3, SiO_2 и пр.). Содержание в воде газов выражается в мг/л, содержание коллоидных соединений — в миллиграммах окислов, величина окисляемости — в мг/л O_2.

Процент-эквивалентная форма показывает процентное соотношение миллиграмм-эквивалентов анионов и катионов. Она удобна для сопоставления вод различного состава. Для ее определения принимают сумму миллиграмм-эквивалентов анионов, содержащихся в одном литре воды за 100%, и вычисляют процентное содержание каждого аниона по формуле

$$x = \frac{100A}{\Sigma A}, \ ^0/_0, \qquad (6\text{-}30)$$

где x — процент-эквивалент аниона; A — содержание этого аниона, мг-экв/л; ΣA — сумма миллиграмм-эквивалентов всех анионов.

Таблица 6-13

Формы выражения результатов химических анализов воды

Ионы		Миллиграмм в литре (мг/л)	Миллиграмм-эквиваленты (мг-экв)	Процент-эквиваленты (% экв)
Катионы	$Na^+ + K^+$	2	0,1	2,4
	Mg^{2+}	9	0,7	16,6
	Ca^{2+}	68	3,4	81
	Σ_r^+	79	4,2	100
Анионы	Cl^-	14	0,4	9,6
	SO_4^{2-}	12	0,2	4,6
	HCO_3^-	219	3,6	85,8
	Σ_r^-	245	4,2	100
		324	8,4	—

Так же ведется расчет и для катионов.

Химический анализ воды, выраженный в различных формах, приведен в табл. 6-13.

Пересчитав анализы в эквивалентную и процентно-эквивалентную форму, составляют сводные таблицы, в которых группируют их по водоносным горизонтам, по площади распространения и другим признакам. Дальнейшая обработка заключается в систематизации анализов, в процессе которой устанавливается химический состав основных водоносных горизонтов, определяются типы воды, выясняется распределение их по глубине и по площади, условия формирования и взаимосвязь водоносных горизонтов.

Для систематизации состав воды выражается в виде формул (формула Курлова и др.), классифицируется по одной из принятых схем, изображается в виде диаграмм и графиков.

Формула Курлова представляет собой дробь, в числителе которой в порядке убывания записываются анионы (в эквивалентах-процентах), а в знаменателе таким же порядком — катионы. Слева от дроби пишется значение минерализации воды (или сухой остаток) в г/л или мг/л и содержание различных редких компонентов, имеющих важное значение (CO_2, H_2S, J и пр.). Справа от дроби пишется температура воды и другие физические свойства. Согласно этой формуле воде дается наименование, которое составляется из названий компонентов анионов и катионов в порядке их убывания. Например, если формула Курлова имеет вид:

$$M1{,}8\ \frac{HCO_3 - 89;\ SO_4 - 8;\ Cl - 3}{Na - 55;\ Ca - 30,\ Mg - 15}, \qquad (6\text{-}31)$$

то название воды будет: гидрокарбонатная натриево-кальциево-магниевая.

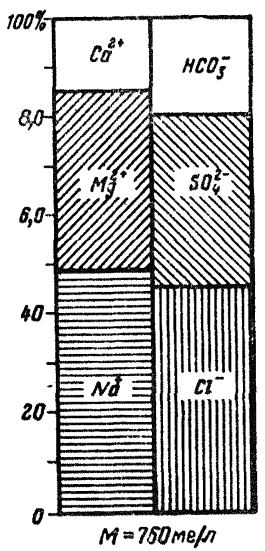


Рис. 6-27. Диаграмма-прямоугольник химического состава воды.

Для графического изображения отдельных анализов используют диаграмму-прямоугольник и диаграмму-круг (рис. 6-27 и 6-28). Для систематизации большого числа анализов используют график-квадрат Толстихина, график-треугольник Фере (рис. 6-29), график-квадрат Бродского и другие графики.

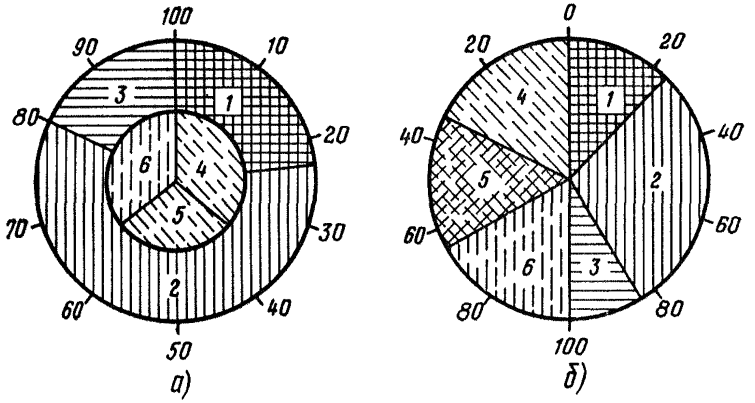


Рис. 6-28. Диаграмма-круг химического состава воды.

а — концентрическое расположение анионов и катионов; *б* — секторное расположение анионов и катионов. *1* — Cl^-; *2* — SO_4^{2-}; *3* — HCO_3^-; *4* — $Na^+ + Ka^+$; *5* — Mg^{2+}; *6* — Ca^{2+}.

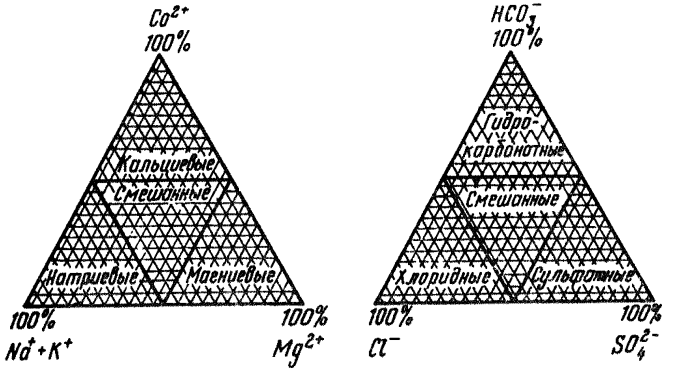


Рис. 6-29. Сводный график-треугольник для систематизации химических анализов воды.

Оценка агрессивных свойств воды делается в соответствии с действующими нормами.

Конечным результатом обработки всего гидрохимического материала являются гидрохимические карты и профили, а также пояснительная записка.

Глава седьмая

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

7-1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ОСНОВ

Инженерные сооружения передают на горные породы значительные нагрузки, которые в зависимости от величины сооружения и формы его фундамента могут распространяться на ту или иную глубину. Объем горных пород, на который распространяется влияние сооружения, называется основанием, а слагающие его породы — грунтами. Массив горных пород, окружающий подземные сооружения, принято называть его средой. Грунтами называются любые, в том числе и скальные, горные породы, которые используются в качестве основания, среды или материалов для различных сооружений. Чтобы правильно запроектировать и построить сооружение, небходимо провести расчеты его устойчивости. Для этого надо знать физико-механические свойства грунтов: их плотность, влажность, прочность, сжимаемость и пр. Перечень показателей свойств, необходимых для этих расчетов, сами свойства и способы их определения существенно зависят от литологического состава пород.

С целью систематизации горных пород по их строительным свойствам рядом авторов (Ф. П. Саваренским, Н. Н. Масловым, И. В. Поповым, В. А. Приклонским, Л. Д. Белым и др.) были предложены инженерно-геологические классификации горных пород. В основе этих классификаций лежит разделение всех пород на следующие четыре группы: скальные, связные (глинистые), несвязные (песчаные), слабые (соленосные, торфяники, текучие, мерзлотные и пр.). Дальнейшее разделение пород в пределах этих основных групп в различных классификациях в той или иной степени учитывает генетические и физико-механические признаки пород.

В действующих строительных нормах и правилах (СНиП II-15-74) дана следующая номенклатура грунтов:

скальные — с жесткими связями между зернами;

крупнообломочные — несцементированные, содержащие более 50% обломков размером более 2 мм;

песчаные — сыпучие, содержащие менее 50% обломков размером крупнее 2 мм;

глинистые — связные с числом пластичности $W \geqslant 1$.

Кроме того, предусмотрено наличие грунтов с особыми свойствами (вечномерзлых, просадочных и пр.).

Таблица 7-1

Основные показатели физико-механических свойств грунтов

Наименование показателя	Обозначение и размерность	Виды грунтов		
		скальные	связные	несвязные
Плотность минеральной части	ρ_0, кг/м³	+	+	+
Плотность	ρ, кг/м³	+	+	+
Плотность скелета	$\rho_{ск}$, кг/м³	+	+	+
Влажность	W, %	+	+	+
Пористость	n, %	+	+	+
Коэффициент пористости	ε	+	+	+
Водонасыщение	G	+	+	+
Гранулометрический состав	—	—	+	+
Коэффициент неоднородности	$K_{\frac{60}{10}}$	—	—	+
Число пластичности	$W_п$, %	—	+	—
Граница текучести	$W_т$, %	—	+	—
Граница раскатывания	$W_р$, %	—	+	—
Показатель консистенции	B	—	+	—
Степень плотности песчаного грунта	D	—	—	+
Коэффициент фильтрации	K, м/сут	—	+	+
Модуль деформации	E_0, Па	+	+	+
Модуль осадки	$e_р$, мм/м	—	+	+
Коэффициент отпора	K_0, Па	+	+	—
Коэффициент Пуассона	μ	+	+	+
Угол внутреннего трения	φ, град	+	+	+
Сцепление	c, Па	+	+	+
Временное сопротивление сжатию	$\sigma_{сж}$, Па	+	+	—

В табл. 7-1 дан перечень основных показателей физико-механических свойств различных групп грунтов, которые могут быть необходимы для проектирования сооружений. Некоторые из этих показателей обязательны во всех случаях, а некоторые определяются по специальному заданию.

Для изучения физико-механических свойств грунтов применяются главным образом лабораторные способы исследования. Только в тех случаях, когда лабораторные исследования образцов грунтов не могут с необходимой точностью охарактеризовать показатели сопротивления

сдвигу и сжимаемости основания сооружения, проводятся опыты по определению этих показателей на породах, находящихся в естественном залегании или в стендовых приборах. Поскольку эти опыты являются весьма сложными и дорогими, они проводятся только на поздних стадиях проектирования, в ограниченном количестве и приурочиваются к наиболее характерным и ответственным участкам основания. Наибольшее значение полевые исследования имеют для крупнообломочных и скальных пород. Крупнообломочные породы должны испытываться в полевых условиях из-за наличия крупных включений. Скальные породы исследуются в массиве в связи с их трещиноватостью и наличием ослабленных зон, которые в основном определяют сжимаемость и сопротивление сдвигу скального основания. К числу главных видов полевых исследований грунтов относятся определение сжимаемости опытными нагрузками на штампы, определение сопротивления сдвигу штампами и на целиках породы, определение сопротивления сдвигу в стендовых приборах.

7-2. ОТБОР ПРОБ ГРУНТОВ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

а) Общие положения

Для лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов отбираются их пробы с нарушенной структурой и с ненарушенной структурой — монолиты. Вид пробы зависит от целей исследования горной породы и ее состояния, а способ отбора определяется также типом разведочной выработки, из которой отбирается проба.

При инженерно-геологических изысканиях применяются три метода отбора проб: точечный, бороздовый и валовый. Точечный метод является наиболее распространенным. Он заключается в том, что слой породы характеризуется одним или несколькими образцами относительно небольшого размера, взятыми с небольшого участка. При бороздовом методе по всему опробуемому пласту, обычно вкрест его простирания, делается борозда, из которой отбирается грунт для пробы. Валовый метод состоит в исследовании всего извлеченного из выработки грунта. Оба последних метода применяются обычно при разведке строительных материалов.

Исследования физико-механических свойств грунтов при инженерно-геологических изысканиях проводятся для следующих основных целей:

для классификации пород и выделения литологических слоев, пластов и прочих элементов геологического разреза;

для определения расчетных характеристик физико-механических свойств грунтов, слагающих основание проектируемых сооружений, естественные и искусственные откосы и пр.;

для решения каких-либо специальных вопросов (суффозионной устойчивости грунтов, их размываемости по берегам каналов и водохранилищ и пр.);

для определения характеристик грунтов, предназначенных к использованию в качестве строительных материалов для возведения сооружений.

Для целей классификации рыхлых и связных пород используются главным образом пробы с нарушенной структурой и только для определения плотности из связных пород отбираются небольшие монолиты.

Для определения расчетных характеристик физико-механических свойств связных пород отбираются монолиты. Для рыхлых песчаных пород, легких водонасыщенных супесей и других грунтов, взятие которых в ненарушенном состоянии по техническим причинам не представляется возможным, допускается замена монолитов образцами с нарушенной структурой. Однако в этом случае должна определяться плотность грунта в естественном залегании полевыми методами.

Отбор проб ведется в соответствии с программой изысканий и техническим заданием, выдаваемым руководителем инженерно-геологических работ на бурение скважин или проходку горной выработки. В задании указываются место и глубина отбора проб, их вид, способ отбора и консервации, для какого комплекса определений они берутся, объем проб и пр. Глубина отбора пробы, указанная в техническом задании, должна быть уточнена техником-геологом в процессе проходки разведочной выработки на основании ее фактического геологического разреза. Особое внимание надо обращать на наличие в толще пород ослабленных прослоев и зон, из которых обязательно должны быть отобраны пробы, даже если они не указаны в техническом задании.

При отборе проб необходимо соблюдать следующие основные правила:

1. Проба должна быть характерной для того слоя, из которого она взята, и не содержать случайных включений и загрязняющих примесей.

2. Каждая проба должна быть немедленно упакована, снабжена этикеткой по установленной форме, занесена в журнал разведочной выработки и помечена на зарисовке горной выработки.

3. После упаковки и регистрации проба должна быть тут же отправлена с разведочной выработки в полевую лабораторию или в соответствующее место хранения перед отправкой в лабораторию.

Объем отбираемых проб должен быть достаточным для выполнения всех определений, предусмотренных в техническом задании. Объем проб с нарушенной структурой ($см^3$) для различных пород должен быть не меньше:

скальных и крупнообломочных	2000
песчаных	1000
глинистых	500

При отборе проб с нарушенной структурой для определения естественной влажности пород в бюкс отбирается не менее 30 $см^3$ грунта, а для определения плотности связных грунтов (глинистых) обычно отбирается небольшой монолит объемом не менее 100 $см^3$ и парафинируется.

Монолиты, отбираемые из горных выработок, могут иметь форму куба (параллелепипеда) или цилиндра. Минимальные размеры сторон монолитов кубической формы (мм) для различных пород должны составлять:

скальных	100
крупнообломочных, сцементированных льдом	300
песчаных, сцементированных льдом	200
глинистых	150

Диаметр монолитов, имеющих цилиндрическую форму, должен быть для крупнообломочных грунтов не менее 200 мм при высоте 200 мм, а для всех других — не менее 80 мм при высоте не менее двух диаметров.

Монолиты, отобранные из буровых скважин, всегда имеют цилиндрическую форму. Минимальный диаметр их для скальных пород допускается 50 мм, а для нескальных 70—100 мм (в зависимости от консистенции

грунта и способа его отбора). Высота каждого монолита должна быть не менее двух диаметров. Количество таких монолитов назначается в каждом отдельном случае, но, как правило, должно быть не менее трех.

б) Отбор проб из горных выработок

Пробы рыхлых и связных пород с нарушенной структурой берутся непосредственно из стен или забоя выработки с помощью лопаты, совка и ножа. На зачищенной стенке или забое выработки намечается контур образца и затем грунт в пределах этого контура переносится в мешочек из плотной ткани. Пробы массивных скальных пород берутся из отвалов, отделенных взрывом, а из трещиноватых скальных пород — с помощью лома, клиньев и кайла.

Монолиты связных нескальных пород, хорошо сохраняющих свою структуру, вырезаются ножом в форме куба, а слабо связных или находящихся в мягкопластичной консистенции, отбираются с помощью режущего кольца. Монолиты следует вырезать из однородного участка пласта, не содержащего твердых включений, случайных прослоек и трещин, так как они препятствуют его вырезке и могут осложнить проведение опытов.

Вырезка монолита производится в следующей последовательности: намечается на стенке или на забое выработки контур монолита; вырезаются его боковые и верхняя грани; монолит подрезается на расстоянии не менее 1 см от его основания и отделяется от массива породы; зачищаются и выравниваются грани в соответствии с заданными размерами и производится консервация монолита.

Монолиты грунтов, не сохраняющих свою форму без жесткой тары, отбираются с помощью металлического кольца, высота которого должна быть не более двух диаметров, а режущий край заточен под углом 7°. Вдавливание кольца производится интервалами в 2 см, после чего грунт вокруг кольца подрезается и удаляется. Перед погружением кольца внутренняя часть его смазывается техническим вазелином. В процессе погружения необходимо следить за тем, чтобы грунт плотно прилегал к внутренней поверхности кольца. Когда кольцо полностью заполнится грунтом, оно окапывается и основание монолита подрезается. Выступающий над торцами кольца грунт удаляется ножом.

в) Отбор проб из буровых скважин

Для отбора проб грунтов с нарушенной структурой из скважин используются те же буровые наконечники (коронки, колонковые трубы, желонки, шнеки и пр.), которые обычно применяются при бурении скважин. Пробу берут с конца наконечника, а при бурении в водонасыщенных песчано-гравелистых грунтах — желонкой, содержимое ее высыпают в ящик, из которого отбирают пробу с учетом всех фракций. При колонковом, вибрационном, ударно-механическом и ручном ударно-вращательном бурении скважин образцы отбираются из керна или из разрыхленного грунта, поднятого к устью скважины после проходки определенного интервала. При шнековом бурении скважин для отбора проб грунтов рекомендуется использовать бурение кольцевым забоем.

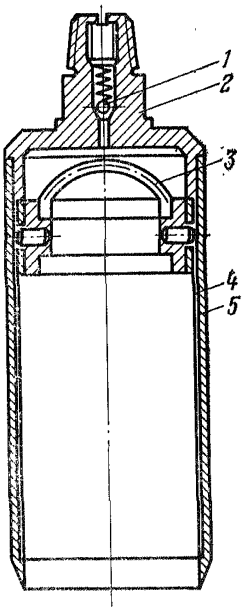


Рис. 7-1. Грунтонос с керноприемной гильзой, погружаемый задавливанием.

1 — шариковый клапан; *2* — переходник; *3* — рукоятка для извлечения гильзы; *4* — разъемная керноприемная гильза; *5* — корпус. Технические данные: наружный диаметр — 106 мм; диаметр гильзы — 99 мм; длина гильзы — 320 мм.

Отбор монолитов из буровых скважин производится с помощью грунтоносов, которые по способу погружения разделяются на забивные, задавливаемые, обуривающие и вращательные. Грунтоносы бывают с керноприемными гильзами (обоймами), в которых образцы доставляются в лабораторию, и без керноприемных гильз. Задавливаемый грунтонос с керноприемной гильзой показан на рис. 7-1.

Забивные грунтоносы погружаются в породу одним или несколькими ударами специального приспособления. Эти грунтоносы сильно деформируют образец по краям, поэтому могут быть использованы только для отбора небольших проб для определения плотности и естественной влажности грунта. При погружении одним ударом ими разрешается брать монолиты из просадочных пород.

Задавливаемые грунтоносы погружаются в породы *домкратами и полиспастными системами. Эти грунтоно-*

сы рекомендуются для отбора монолитов в мягкопластичных и текучих породах. Глубина задавливания в зависимости от конструкции керноприемной части может составлять 100—300 мм. Перед спуском грунтоноса в скважину внутренняя стенка керноприемника смазывается техническим вазелином. Скорость задавливания устанавливается в зависимости от водообильности грунта: в водонасыщенных грунтах рекомендуется медленное погружение, а слабообводненных более быстрое — до 3 м/мин.

Обуривающие грунтоносы погружаются под давлением с одновременным вращением. При этом фреза, вмонтированная в башмак, обуривает кольцевое пространство вокруг грунтоноса, а керноприемная гильза не вращается. Для лучшей работы грунтоноса гильза смазывается вазелином. Эти грунтоносы могут быть рекомендованы для отбора монолитов в тугопластичных и полутвердых грунтах. При работе обуривающим грунтоносом большое значение имеет прямолинейность колонны бурильных труб, так как в противном случае при вращении колонны будет происходить биение, что может привести к нарушению структуры монолита. Скорость вращения обуривающих грунтоносов (в зависимости от диаметра) обычно находится в пределах 3—10 рад/с. При большей скорости обуривания качество монолитов ухудшается.

Вращающиеся грунтоносы погружаются за счет давления и вращения, но керноприемная гильза у них вращается вместе с режущей коронкой. Они пригодны только для отбора монолитов из скальных пород, так как в нескальных породах при вращении наблюдается скручивание монолитов.

Перед отбором монолита забой скважины должен быть тщательно зачищен до пород, сохраняющих свое естественное сложение. Перед пуском грунтоноса в скважину глубина ее замеряется, а после спуска грунтоноса должен быть сделан контрольный замер его положения на забое. После установки грунтонос погружается в породу на глубину, соответствующую высоте монолита. Применять расходку снаряда вверх и вниз и вращение его у забивных и задавливаемых грунтоносов нельзя, так как это может повредить монолит.

После извлечения из грунтоноса монолит очищается от шлама и в целях сохранения структуры и естественной влажности грунта немедленно консервируется. Су-

ществуют два способа консервации: парафинированием и упаковкой в жесткую тару. При упаковке монолита должен быть отмечен его верх и в случае необходимости дана ориентировка по странам света.

Монолит, отобранный без жесткой тары, покрывается слоем парафина и туго обматывается слоем марли, предварительно пропитанной расплавленным парафином. Затем поверх марли он покрывается еще одним слоем парафина, вновь обматывается марлей и покрывается третьим слоем парафина. До парафинирования на верхнюю грань образца кладут этикетку, завернутую в кальку, которую также покрывают парафином. Второй экземпляр этикетки смачивают расплавленным парафином, прикрепляют к поверхности запарафинированного образца и также покрывают тонким слоем парафина.

Монолит грунта, отбираемый в жесткую тару (обойму), упаковывают в той же таре. Открытые торцы ее закрывают жесткими крышками с резиновыми прокладками или заливают расплавленным парафином поверх 2—4 слоев марли, пропитанной парафином. На верхнюю грань образца между резиной и крышкой или между слоями парафина кладут этикетку, а вторую этикетку прикрепляют на поверхность жесткой тары. Монолиты из горных выработок можно отбирать в специально изготовленные металлические или деревянные ящики.

Для парафинирования монолитов применяется смесь, состоящая из двух частей парафина и одной части гудрона, которую подогревают до температуры 60—65°С.

Перевозка монолитов должна производиться в деревянных ящиках. Во избежание повреждений упаковки промежутки между монолитами засыпаются опилками. Грунты талых пород необходимо предохранять от промораживания, а мерзлых — от оттаивания, так как при этом они теряют свою структуру.

7-3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

а) Плотность минеральной части грунта

Плотностью минеральной части грунта ρ_0, кг/м^3, называется масса единицы объема минеральных частиц в плотном теле (лишенном пор). Она зависит от минералогического состава и поэтому для большинства пород, так же как и для наиболее распространенных породо-

образующих минералов, изменяется в пределах 2600—2800 кг/м³. Этот показатель является одной из основных исходных величин для вычисления пористости грунтов, а также входит во многие расчетные формулы для определения их физических и механических свойств и, следовательно, является косвенной расчетной характеристикой.

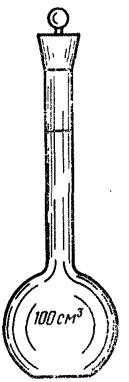


Рис. 7-2. Пикнометр.

Плотность минеральной части грунта обычно определяется пикнометрическим методом с помощью мерной колбы-пикнометра объемом 50—300 см³ (рис. 7-2). Ход определения следующий:

1. Образец воздушно-сухого грунта размельчают в фарфоровой или агатовой (для скальных пород) ступке.

Из размельченного грунта способом квартования отбирают среднюю пробу, которую просеивают на сите 0,25 мм. Массу пробы принимают из расчета 15 г грунта на 100 см³ пикнометра.

2. Пробу грунта тщательно перемешивают, делят пополам и переносят в два бюкса (для двух определений). Навески обоих бюксов высушивают до постоянной массы при температуре 105—110°С.

3. Взвешивают хорошо высушенный пикнометр, обозначив его массу g_0. Всыпают в пикнометр навеску грунта и вновь взвешивают, определяя массу пикнометра с грунтом g_1 и чистую массу грунта $g = g_1 - g_0$.

4. При исследовании нерастворимых грунтов наливают в пикнометр дистиллированную воду на $^1/_3$ его объема и кипятят от 30 до 60 мин для разрушения структурных агрегатов в грунте. После кипячения слегка остужают пикнометр и доливают до мерной черты дистиллированной водой. Затем окончательно остужают пикнометр до 20° в ванне с водой и, доливая по каплям дистиллированную воду, точно устанавливают край мениска на уровне мерной черты. Протирают пикнометр снаружи и взвешивают его, получая массу g_2.

Освобождают пикнометр от содержимого, промывают, наливают до черты дистиллированной водой, имеющей температуру 20°, и взвешивают, получая массу g_3. По ре-

Таблица 7-2

Форма записи данных для определения плотности минеральной части грунта

№ пробы	№ опыта	Масса пикнометра g_0, г	Масса пикнометра с грунтом g_1, г	Масса грунта g, г	Масса пикнометра с грунтом и водой g_2, г	Масса пикнометра с водой g_3, г	Плотность минеральной части грунта, кг/м³	
							по одному определению	среднее значение
1	1	36,10	51,27	15,17	145,68	136,19	2670	2660
	2	37,06	52,80	15,74	146,82	137,02	2650	

зультатам взвешивания рассчитывают плотность минеральной части грунта по формуле

$$\rho_0 = \frac{g \cdot 1000}{g + g_3 - g_2}, \text{ кг/м}^3. \qquad (7\text{-}1)$$

При исследовании растворимых грунтов вместо воды применяют керосин или спирт и вместо кипячения производят вакуумирование.

Взвешивание проводят на технических весах с точностью до 0,01 г. Для каждой пробы грунта делаются два параллельных определения, расхождения между которыми не должны превышать 2%. В случае бо́льшего расхождения опыт следует повторить. За окончательное значение принимается среднеарифметическое из двух определений. Результаты опытов заносят в таблицу (табл. 7-2).

б) Плотность, плотность скелета и пористость грунта

Плотностью грунта ρ, кг/м³, принято считать массу единицы объема грунта ненарушенной структуры при естественной влажности. Плотность грунта зависит от плотности его минеральной части, пористости и влажности. Она является важным прямым расчетным показателем, который используется при расчетах устойчивости сооружений. Плотность грунта служит также контрольным показателем качества укладки и уплотнения тела земляных плотин и других насыпей.

Значения плотности полнокристаллических невыветрелых изверженных и метаморфических скальных пород ввиду их малой пористости близки к значениям плотности минеральной части и изменяются обычно от 2500 до 3400 кг/м³.

Несколько меньшими значениями характеризуется плотность осадочных скальных пород, колеблющаяся обычно в следующих переделах: аргиллиты и алевролиты — 2000—2500, песчаники — 2100—2650, известняки — 2300—2800 кг/м³. Для рыхлых и связных пород плотность имеет еще меньшие значения и только для таких грунтов, как моренные суглинки, достигает величины 2300 кг/м³. Для песков, супесей, лессовидных суглинков и глин значения плотности в большинстве случаев лежат в пределах от 1600 до 2000 кг/м³.

Выбор метода определения плотности грунта зависит от того, каким он является: скальным, крупнообломочным, сыпучим или связным.

Плотность крепких скальных и очень плотных связных пород, из которых можно приготовить образец правильной геометрической формы, не изменяющейся в процессе опыта, может быть определена методом непосредственных измерений образцов.

Ход определения следующий:

1. Приготовляют из исследуемой породы два образца, имеющих форму правильного куба, параллелепипеда или цилиндра, размером по наименьшему измерению 5—7 см. Измеряют размеры образцов штангенциркулем с точностью до 0,01 см, повторяя измерения несколько раз в различных направлениях. Подсчитывают средние значения геометрических параметров и вычисляют по ним объем каждого образца V (см³).

2. Взвешивают образцы на технических весах и находят их массу g с точностью до 0,01 г.

3. Вычисляют плотность грунта по формуле

$$\rho = \frac{g \cdot 1000}{V}, \text{ кг/м}^3 \qquad (7\text{-}2)$$

и из двух параллельных определений находят среднее арифметическое значение. Если расхождения между параллельными определениями превышают 3%, то их надо повторить.

Плотность необводненных крупнообломочных и песчаных грунтов может быть определена лишь методом непосредственных измерений в полевых условиях. Для этого в исследуемом грунте делается выемка в виде небольшого шурфа, объем которой точно обмеряется, а вынутый грунт взвешивается. Если выемка имеет неправильную форму, то ее заполняют каким-либо мате-

риалом — сухим песком, парафином или водой и, зная объем израсходованного материала, определяют объем вынутого грунта. Чтобы вода не просачивалась в грунт, применяют специальные пленки, которые плотно облегают все неровности выемки.

Для песчаных пород, лишенных крупных включений, плотность может определяться с помощью режущего кольца диаметром 30 и высотой 10 см, которое задавливается в грунт. Зная объем кольца и массу вынутой из него породы, определяют плотность исследуемого грунта.

Плотность скальных и связных пород, из которых нельзя вырезать образец правильной геометрической формы, может быть определена по образцу, имеющему неправильную форму, методом гидростатического взвешивания. Если грунт размокает в воде, то перед взвешиванием его покрывают гидроизолирующей пленкой из парафина и других материалов.

Ход определения при применении гидроизолирующей пленки следующий:

1. Берут образец грунта ненарушенной структуры и естественной влажности объемом около 30 см³. Придают ему ножом округлые формы и взвешиванием определяют массу образца g.

2. Обвязывают образец ниткой, оставив свободный конец длиной 10—15 см, и погружают несколько раз в чистый парафин, нагретый немного выше точки плавления. Пузырьки на парафиновой пленке заглаживают нагретой иглой.

3. Запарафинированный образец взвешивают на технических весах, определяя его массу g_1.

Затем запарафинированный образец погружают в воду и взвешивают на гидростатических весах, обозначая массу его в воде g_2 (рис. 7-3).

4. Образец вынимают из воды, обтирают досуха промокательной бумагой и производят контрольное взвешивание на воздухе. Если при этом масса образца увеличится более чем на 0,02 г по сравнению с массой g_1, то определение должно быть забраковано и проверено, так как это свидетельствует о проникновении воды через парафиновую пленку.

5. Вычисляют плотность грунта по формуле

$$\rho = \frac{g\rho_п \cdot 1000}{(g_1 - g_2)\rho_п - (g_1 - g)}, \text{ кг/м}^3, \qquad (7\text{-}3)$$

где $\rho_п$ — плотность парафина,

Определение плотности грунта проводят параллельно не менее чем на двух образцах и среднее значение берут за окончательный результат. Расхождение между параллельными определениями не должно превышать 3%.

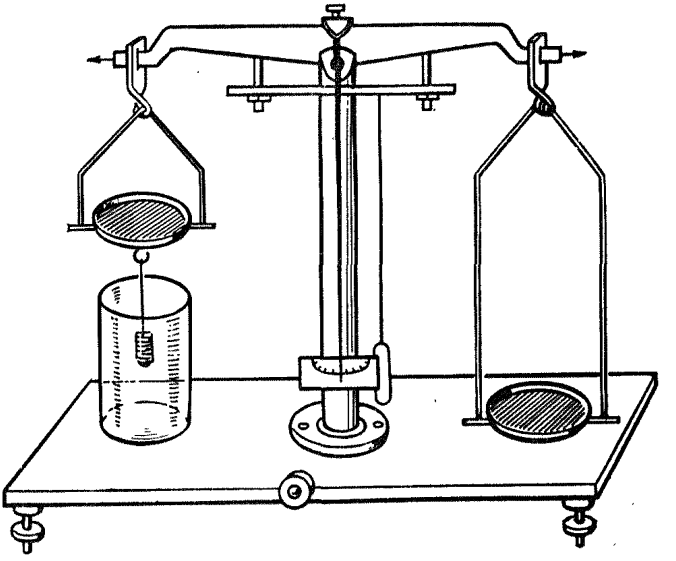


Рис. 7-3. Взвешивание на гидростатических весах.

Данные определений заносят в журнал (табл. 7-3).

Если грунт не размокает в воде, то определение его плотности может производиться методом гидростатического взвешивания без применения гидроизолирующей пленки. Этот метод рекомендуется для плотных, прочно сцементированных скальных пород. Ход этого определения следующий:

1. Берут образец объемом 50—100 см³ и взвешивают, определяя его массу g.

Таблица 7-3

Форма записи данных для определения плотности грунта

№ монолита	№ бюксы	Масса бюксы g_1, г	Масса бюксы с грунтом g_2, г	Масса грунта g, г	Объем грунта V, см³	Плотность грунта ρ, кг/м³	
						частное значение	среднее значение
1	1	14,25	106,25	91,00	50	1820	1830
	2	14,05	105,16	92,11	50	1840	

2. Погружают образец в воду на 24 ч до полного водонасыщения. При наличии в породе растворимых минералов вместо воды применяют керосин. Вынимают образец из воды, обтирают влажной тряпкой и определяют его массу g_1.

3. Взвешивают образец на гидростатических весах, определяя его массу в воде g_2 (рис. 7-3).

4. Вычисляют плотность грунта по формуле

$$\rho = \frac{g\rho_в \cdot 1000}{g_1 - g_2}, \text{ кг/м}^3, \qquad (7\text{-}4)$$

где $\rho_в$ — плотность воды (или другой применявшейся жидкости).

Определение плотности проводят параллельно на двух образцах и за окончательный результат принимают среднее значение из двух определений.

Плотность связных пород, поддающихся резке ножом, определяется методом режущего цилиндра. Объем цилиндра принимается от 50 до 200 см^3, высота его может быть равна или несколько меньше диаметра, толщина стенок должна быть не более 1—2 мм, режущий край их должен быть заострен. Масса каждого цилиндра g и его объем V должны быть известны заранее и надписаны на нем или занесены в ведомость.

Ход определений следующий:

1. На выровненную поверхность исследуемого грунта ставят цилиндр заостренным краем вниз. Придерживая его левой рукой, осторожно вырезают столбик грунта диаметром на 0,5—1 мм больше наружного диамера цилиндра. Одновременно с этим легким нажимом насаживают цилиндр на вырезанный столбик породы. После того как цилиндр будет заполнен грунтом, подрезают его снизу и зачищают грунт вровень с краем цилиндра.

2. Взвешивают цилиндр с грунтом, определяя его массу g_1, и рассчитывают плотность грунта по формуле:

$$\rho = \frac{(g_1 - g)1000}{V}, \text{ кг/м}^3. \qquad (7\text{-}5)$$

Плотность скелета грунта $\rho_{ск}$, кг/м^3, представляет собой массу минеральных частиц в единице объема грунта. Он определяется по формуле:

$$\rho_{ск} = \frac{\rho}{1 + 0{,}01W}, \text{ кг/м}^3, \qquad (7\text{-}6)$$

где ρ — плотность грунта, кг/м³; W — влажность грунта, %.

Пористостью грунта n называется отношение объема пор к общему объему грунта, выраженное в процентах. Пористость крупнообломочных и песчаных пород составляет в среднем 30—45%. Пористость глинистых отложений несколько выше и составляет чаще всего 35—50%. Среди скальных пород наибольшей пористостью обладают песчаники (25—30%), мел (30—45%), опоки (35—50%). Карбонатные породы могут иметь весьма различную пористость (от 0,5 до 30%), а магматические и метаморфические породы характеризуются обычно низкой пористостью (1—3%).

Пористость определяется расчетным путем по формуле

$$n = \left[1 - \frac{\rho}{\rho_0(1 + 0{,}01W)}\right] 100, \%. \qquad (7\text{-}7)$$

Коэффициент пористости ε выражается в долях единицы и может быть вычислен по формуле

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_{ск}}{\rho_{ск}}. \qquad (7\text{-}8)$$

Пористость и коэффициент пористости связаны между собой следующим выражением:

$$n = \frac{1}{1 + \varepsilon} 100, \%. \qquad (7\text{-}9)$$

в) Влажность грунта

Влажностью W, %, называется отношение массы воды, содержащейся в грунте, к массе абсолютно сухого грунта. Практически принимается, что вода из грунта может быть удалена при просушивании его при температуре 105—110° С до постоянной массы.

На этом основан способ высушивания, применяемый обычно для определения влажности грунтов, содержащих не более 10% органических примесей.

Ход этого определения следующий:

1. Пробу грунта массой 10—15 г помещают в металлический или стеклянный бюкс, масса которого g_0 известна, закрывают крышкой и взвешивают. Полученную массу обозначают g_1.

2. Взвешенный бюкс с приоткрытой крышкой ставят в термостат и высушивают при температуре 105—110° С в течение 5—6 ч.

После этого бюкс с закрытой крышкой переносят для охлаждения в эксикатор, на дне которого имеется хлористый кальций, поглощающий пары воды. Охлажденный бюкс с грунтом взвешивают на весах.

3. Повторяют все операции, указанные в пункте 2, до тех пор, пока разница между двумя последующими взвешиваниями не будет превышать 0,02 г. При повторном высушивании бюксу с грунтом помещают в термостат на 1—2 ч. За результат взвешивания принимают наименьшую массу бюкса с грунтом g_2.

4. Влажность грунта вычисляется по формуле

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0} 100, \%. \qquad (7\text{-}10)$$

Результаты опытов заносятся в табл. 7-4.

Таблица 7-4

Форма записи данных для определения влажности

№ пробы	№ бюксы	Масса бюксы g_0, г	Масса бюксы с влажным грунтом g_0, г	Масса бюксы с высушенным грунтом, г			Влажность грунта отдельной пробы, %	Средняя влажность, %
				g'_2	g''_2	g'''_2		
1	1	14,25	105,25	92,38	92,36	92,35	16,5	16,7
	2	14,05	106,16	92,99	92,95	92,91	16,8	

Водонасыщением грунта G называется степень заполнения пор грунта водой, выраженная в долях единицы. Водонасыщение определяется по формуле:

$$G = \frac{\rho_0 \cdot 0{,}01W}{e\rho_в}, \qquad (7\text{-}11)$$

где $\rho_в$ — плотность воды, равная 1000 кг/м³; остальные обозначения см. табл. 7-1.

По СНиП II-15-74 песчаные грунты в зависимости от водонасыщения разделяются на три группы: маловлажные — $G \leqslant 0{,}5$; влажные — $0{,}5 < G \leqslant 0{,}8$; насыщенные водой — $0{,}8 < G > 0{,}8$.

г) Пластичность грунта

Пластичностью грунта называется способность его под действием внешних сил изменять свою форму (деформироваться) без разрыва сплошности и сохранять приданную ему форму после того, как действие сил устранено. Грунты проявляют пластичность лишь при определении содержания в них связанной воды. Показателями пластичности являются два вида влажности грунта — на границе текучести $W_т$ и на границе раскатывания $W_р$. Разность между этими величинами называется числом пластичности $W_п$, которое используется как классификационный показатель глинистых грунтов.

Для определения границы текучести пробу воздушно-сухого грунта массой около 50 г размельчают резиновым пестиком, пропускают через сито с отверстиями 0,5 мм и разводят дистиллированной водой до состояния густой пасты. Полученную пасту выдерживают не менее 2 ч в эксикаторе, а затем помещают в стаканчик специального прибора, который имеет металлический конус. На поверхность грунта в стаканчике спокойно опускают конус, смазанный вазелином. Если в течение 5 с конус погрузился на 1 см, значит, влажность грунта соответствует границе текучестки. Если конус за то же время погрузился на глубину менее или более 1 см, то в пасту добавляют соответственно воды или сухого грунта и после тщательного перемешивания повторяют опыт. Влажность грунта определяют способом, описанным выше. Проводят два определения влажности и за границу текучести принимают среднее арифметическое значение. Расхождение в определениях должно быть не более 2%.

Для определения границы раскатывания в грунтовую пасту, оставшуюся после определения границы текучести, добавляют немного сухого грунта и перемешивают ее. Кусочек подготовленного таким образом грунта ладонью раскатывают на листе плотной бумаги в жгутик диаметром около 3 мм. Раскатывание ведут таким образом, чтобы жгутик не выступал из-под ладони.

Если грунт при диаметре жгутика 3 мм распадается на отдельные кусочки, значит, влажность его соответствует границе раскатывания. Если же он сохраняет пластичность, то грунт переминают и затем вновь раскатывают. После окончания раскатывания определяют влажность грунта.

Таблица 7-5

Классификация глинистых грунтов

Наименование грунта	Число пластичности
Супесь	$1 \leqslant W_п < 7$
Суглинок	$7 < W_п < 17$
Глина	$W_п > 17$

Число пластичности грунта определяют по формуле

$$W_п = W_т - W_р. \qquad (7\text{-}12)$$

Наименование глинистого грунта согласно нормативов устанавливается по классификационной таблице (табл. 7-5).

Таблица 7-6

Классификация глинистых грунтов по консистенции

Наименование консистенции	Показатели консистенции
Супеси	
Твердые	$B < 0$
Пластичные	$0 \leqslant B \leqslant 1$
Текучие	$B > 1$
Суглинки и глины	
Твердые	$B < 0$
Полутвердые	$0 \leqslant B \leqslant 0{,}25$
Тугопластичные	$0{,}25 \leqslant B \leqslant 0{,}5$
Мягкопластичные	$0{,}5 < B \leqslant 0{,}75$
Текучепластичные	$0{,}75 < B \leqslant 1{,}0$
Текучие	$B > 1$

Консистенция грунта показывает степень подвижности частиц глинистых грунтов и степень сопротивляемости их внешним усилиям. Показатель консистенции грунта B определяется по формуле:

$$B = \frac{W - W_р}{W_п}, \qquad (7\text{-}13)$$

где W — естественная влажность грунта.

Наименование глинистого грунта по консистенции принимается по классификационной таблице (табл. 7-6).

д) Гранулометрический состав песчано-гравелистых грунтов

Гранулометрическим составом грунта называется содержание в нем минеральных частиц раличной величины (фракций), выраженное в процентах. Гранулометрический состав является одной из основных характеристик для песчаных и гравийно-галечных грунтов, а для глинистых грунтов он бывает необходим только в отдельных случаях. Методы определения гранулометрического состава различных видов грунтов различны. Гранулометрический состав песков и гравийно-галечных отложений с диаметром частиц не более 20 мм выполняется в лаборатории. Содержание более крупных фракций размером от 20 до 150 мм определяется в полевых условиях путем просеивания на ситах (грохочения), а валуны размером более 150 мм отбираются вручную, сортируются по величине и взвешиваются.

Гранулометрический состав пылеватых и глинистых пород может производиться в лаборатории методом, основанным на различной скорости выпадения неодинаковых по размерам частиц, взвешенных в спокойной жидкости, и другими методами.

Гранулометрический состав песчаных грунтов выполняется следующим образом. Для проведения опыта берут пробу воздушно-сухого песчаного грунта массой 400—500 г, помещают ее на бумагу и растирают резиновым пестиком комки и структурные агрегаты. Затем отбирают методом квартования 100 г грунта, взвешенного с точностью до 0,01 г, и просеивают его через набор сит с отверстиями 0,1; 0,25; 0,5 и 2 мм.

Таблица 7-7

Результаты гранулометрического анализа

Наименование показателей	Диаметр отверстий сита, мм				
	2	0,5	0,25	0,1	Поддон
	Размер фракций, мм				
	2	2—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1
Масса тары, г	12,85	12,72	12,20	12,85	12,00
Масса тары с фракциями, г	23,35	35,32	45,00	43,75	15,00
Масса фракций, г	10,50	22,60	32,80	30,90	3,20
Содержание фракций, % . .	10,50	22,60	32,80	30,90	3,20

Таблица 7-8

Классификация песчаных грунтов

Наименование песка	Распределение частиц по крупности, % массы сухого грунта
Гравелистый	Масса частиц крупнее 2 мм составляет более 25%
Крупный	Масса частиц крупнее 0,5 мм составляет более 50%
Средней крупности	Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет более 50%
Мелкий	Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет более 75%
Пылеватый	Масса частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75%

Просеивание ведут горизонтальным встряхиванием в течение 3—4 мин. Содержимое каждого сита взвешивают и полученный результат выражают в процентах к общей навеске. Значение массы отдельных фракций складывают и сравнивают результат с массой всей навески. Невязку разносят пропорционально массе фракций. Результат опыта заносят в таблицу (табл. 7-7).

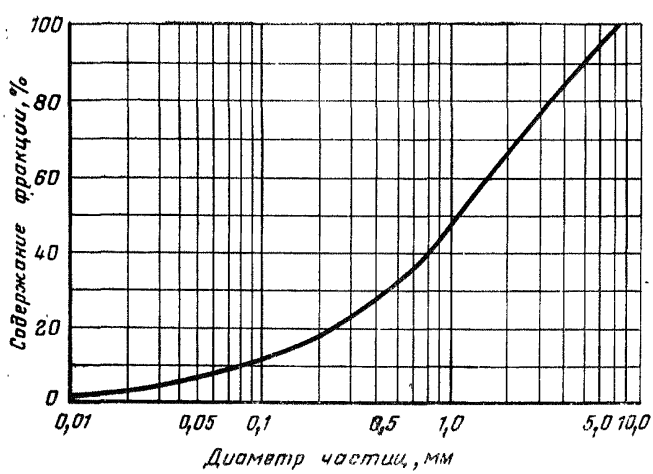


Рис. 7-4. График гранулометрического состава грунта в полулогарифмическом масштабе.

Наименование песчаного грунта согласно СНиП II-15-74 устанавливают путем последовательного суммирования массы фракций сначала крупнее 2 мм, затем крупнее 0,5 мм и т. д. по первому удовлетворяющему показателю (табл. 7-8).

Для определения коэффициента неоднородности песчаного грунта необходимо построить суммарную кривую гранулометрического состава в полулогарифмическом масштабе (рис. 7-4). Коэффициент неоднородности $K_{\frac{60}{10}}$ определяется по формуле

$$K_{\frac{60}{10}} = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \qquad (7\text{-}14)$$

где d_{60} — диаметр частиц, мм, меньше которого содержится (по массе) 60% частиц; d_{10} — диаметр частиц, мм, меньше которого содержится (по массе) 10% частиц.

При $K_{\frac{60}{10}} > 3$ песок считается неоднородным.

Результаты гранулометрического анализа грунтов представляются в виде таблиц и графиков.

е) Степень плотности песков

Степень плотности песков или их относительная плотность определяется сопоставлением естественной пористости песка с пористостью его в наиболее рыхлом и наиболее плотном сложении. Для вычисления степени плотности песка D пользуются формулой:

$$D = \frac{\varepsilon_{макс} - \varepsilon}{\varepsilon_{макс} - \varepsilon_{мин}}, \qquad (7\text{-}15)$$

где ε — коэффициент пористости песка в его естественном залегании; $\varepsilon_{макс}$ — коэффициент пористости песка при наиболее рыхлом его сложении; $\varepsilon_{мин}$ — коэффициент пористости песка при наиболее плотном сложении.

Естественную пористость песка получают расчетом на основании данных определений плотности минеральной части и плотности песка, а пористость при наиболее рыхлом и наиболее плотном сложении определяют опытным путем, взвешивая в лаборатории мерный цилиндр с разрыхленным и уплотненным песком.

7-4. ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

а) Сопротивление сдвигу

К механическим свойствам скальных и нескальных грунтов относятся сопротивление сдвигу и сжимаемость. Скальные грунты, кроме того, характеризуются временным сопротивлением сжатию.

Сопротивление сдвигу (или срезу) характеризует прочность грунта и поэтому является основным расчетным показателем, определяющим устойчивость сооружения. При определении сопротивления сдвигу необходимо стремиться к наибольшей точности, так как завышение этого показателя может привести к нарушению устойчивости сооружения, а занижение — к утяжелению его конструкций (увеличению площади фундамента, глубины его заложения и пр.).

Силы сопротивления породы сдвигу зависят от внутренних связей между ее частицами. В неоднородных по своему строению и свойствам породах сдвиг или разрушение породы под влиянием нагрузки происходит всегда по наиболее слабым прослойкам, контактам и трещинам. Поэтому при исследованиях сопротивления сдвигу основания сооружения главное внимание уделяется именно этим наиболее слабым участкам.

В песчаных и других несвязных породах силы сопротивления сдвигающим усилиям складываются из сил трения и зацепления между отдельными зернами и сопротивления их перемещению.

В связных глинистых породах сопротивление сдвигу имеет более сложный характер, так как, помимо сил трения в глинах, сдвигу препятствуют связи различной физической и химической природы. Эти дополнительные силы принято называть сцеплением.

В скальных породах сдвиг может происходить на контакте скалы с сооружением или по трещинам, глинистым прослоям и прочим ослабленным зонам в породе. При этом здесь также различают силы трения и силы сцепления, которые возникают в связи со скалыванием неровностей на поверхности скалы, и поэтому их называют также силами зацепления.

Сопротивление сдвигу песков, зависящее только от угла внутреннего трения, можно определять по углу естественного откоса. Этот метод применим для сухих и

водонасыщенных песков, так как они обычно имеют в обоих этих состояниях практически одинаковый угол внутреннего трения. Только пылеватые пески, содержащие большое количество коллоидных частиц, при испытании в водонасыщенном состоянии показывают меньший угол внутреннего трения, чем в сухом состоянии.

Для лабораторных определений угла внутреннего трения песков применяют специальные приборы, которые обычно представляют собой ящик с прозрачной боковой стенкой, снабженной приспособлением для измерения угла откоса песка (рис. 7-5).

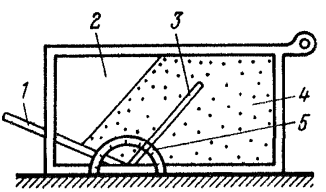


Рис. 7-5. Прибор для определения угла естественного откоса песка.

1 — подвижная боковая стенка; *2* — прозрачная стенка; *3* — рейка-указатель; *4* — песок; *5* — транспортир.

Сопротивление сдвигу связных глинистых грунтов определяют в сдвиговых приборах, в которых срез проходит по заданной плоскости, и в стабилометрах (приборах трехосного сжатия). Наибольшее распространение имеют испытания в сдвиговых приборах. В зависимости от условий работы грунта под нагрузкой от сооружения различают испытания на неконсолидированный и консолидированный сдвиг.

В первом случае осуществляют так называемый быстрый сдвиг, при котором влажность и плотность грунта после приложения сжимающего давления в процессе испытания практически не меняются. При этом касательные (сдвигающие) напряжения быстро увеличиваются сразу после приложения сжимающего давления. Во втором случае грунт после приложения каждой ступени сжимающего давления выдерживают до стабилизации деформации, а касательные напряжения в плоскости сдвига увеличивают ступенями.

Испытания проводят на 2—3 образцах при различных сжимающих давлениях. Для обеспечения при испытаниях одинаковой влажности и плотности к этим образцам предварительно прикладывают наибольшие сжимающие нагрузки, при которых будет производиться сдвиг, после чего их разгружают до требуемой нагрузки. Это предварительное обжатие проводят в специальных приборах предварительного уплотнения.

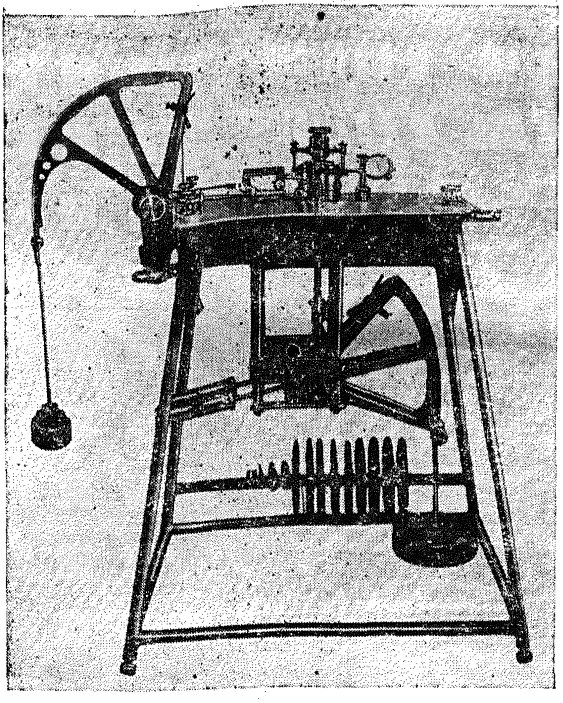


Рис. 7-6. Прибор для определения сопротивления сдвигу.

Для испытания грунтов на сдвиг применяются сдвиговые приборы различной конструкции. Общий вид одного из них приведен на рис. 7-6. Образец грунта ненарушенной структуры с естественной влажностью высотой 35 см и площадью 40 см^2 отбирают из большого монолита специальными кольцами, помещают их сначала

Таблица 7-9

Форма записи результатов испытания на сдвиг

Сжимающая нагрузка уплотнения ϕ, МПа	Сжимающая нагрузка p, МПа	Предельные касательные напряжения τ, МПа	Коэффициент сдвига tg ϕ	Коэффициент внутреннего трения tg φ	Угол внутреннего трения φ, град	Сцепление c, МПа

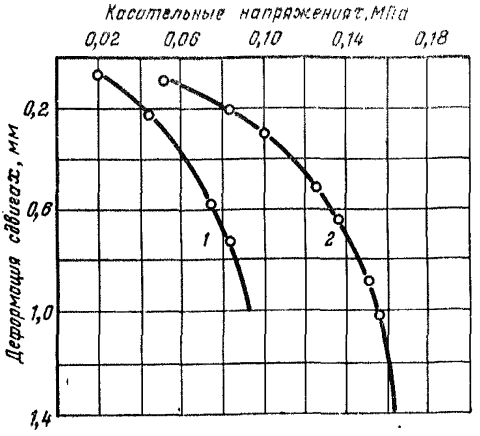


Рис. 7-7. График зависимости деформаций сдвига от касательных напряжений.

1 — при нагрузке 0,1 МПа; *2* — при нагрузке 0,3 МПа.

в прибор предварительного обжатия и затем в сдвиговой прибор. Перед опытом и после опыта определяют плотность и влажность грунта и вычисляют его пористость. Испытания проводят не менее чем при двух значениях сжимающей нагрузки и при каждой ступени делают не менее двух срезов, в процессе которых наблюдают за деформацией сдвига. Результат измерения деформаций сдвига записывают в виде таблицы, по данным которой строится график зависимости деформаций сдвига от касательных напряжений (рис. 7-7). Затем строят график зависимости касательных напряжений от сжимающего давления (рис. 7-8). Окончательный результат опыта записывают в виде таблицы (табл. 7-9).

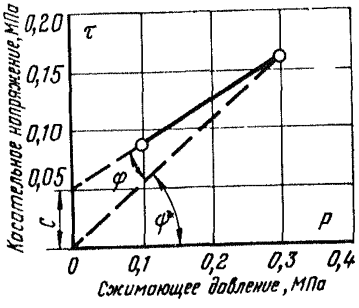


Рис. 7-8. График зависимости касательных напряжений от сжимающей нагрузки.

Коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg}\varphi$ определяют по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\tau_2 - \tau_1}{p_2 - p_1}, \qquad (7\text{-}16)$$

где τ_2 и τ_1 — предельные касательные напряжения, МПа; p_1 и p_2 — сжимающее давление, МПа.

Сцепление определяют по формуле

$$c=\tau_1-P_1\operatorname{tg}\varphi. \qquad (7\text{-}17)$$

Сопротивление сдвигу несвязных и связных грунтов может определяться также полевыми методами, а для скальных грунтов этот показатель всегда определяется в поле (см. § 7-5 и § 7-6).

б) Сжимаемость

Сжимаемость грунтов в лабораторных условиях исследуется с помощью компрессионных приборов (рис. 7-9). Компрессионные испытания проводятся главным образом для глинистых грунтов с ненарушенной структурой на образцах высотой 20 мм и площадью 40 см². Образец грунта вырезается металлическим кольцом, которое помещается в прибор. Испытания проводят путем сжатия образца нагрузкой, которая прикладывается обычно следующими ступенями: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 и 0,5 МПа. В случае необходимости давление может быть доведено до больших величин. Время, необходимое для сжатия грунта при каждой ступени давления, колеблется от 20 до 60 мин в зависимости от вида грунта.

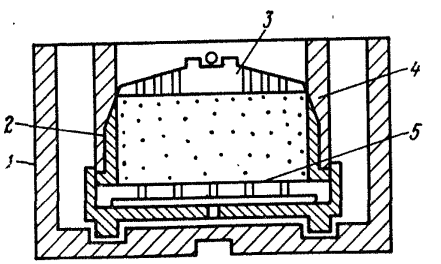


Рис. 7-9. Схематический разрез компрессионной части прибора.
1 — ванна; *2* — грунтоотборочное кольцо с грунтом; *3* — перфорированный поршень; *4* — обойма; *5* — перфорированный диск.

Перед началом опыта определяют плотность, влажность и коэффициент пористости грунта. В процессе опыта ведут наблюдения за деформацией образца и на

Таблица 7-10

Форма записи данных компрессионного испытания

Давление p, МПа	Показания индикатора, мм	Суммарная деформация y_c, мм	Деформация прибора $y_п$, мм	Деформация образца $y_р$, мм	Коэффициент пористости, e_p	Коэффициент сжимаемости a, МПа$^{-1}$	Модуль общей деформации E_0, МПа	Модуль осадки e_p, мм/м

основании этого вычисляют коэффициент пористости для каждой ступени давления.

Результаты компрессионных испытаний помещают в таблицу (табл. 7-10) и по этим данным строят компрессионную кривую, которая отражает зависимость пористости от давления (рис. 7-10). На основании полученных данных вычисляют следующие основные характеристики деформационных свойств грунтов.

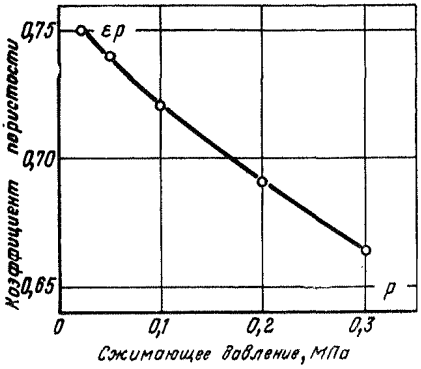


Рис. 7-10. Компрессионная кривая.

Модуль общей деформации грунта E_0 выражает отношение сжимающего давления к относительной деформации сжатия:

$$E_0 = \frac{1+\varepsilon_0}{a}\beta, \text{ МПа}, \qquad (7\text{-}18)$$

где ε_0 — начальный коэффициент пористости грунта; a — коэффициент сжимаемости, МПа$^{-1}$; β — коэффициент, зависящий от коэффициента бокового расширения.

Коэффициент сжимаемости грунта равен отношению изменения коэффициента пористости к сжимающему давлению. Он вычисляется по формуле

$$a = \frac{e_{n-1} - e_n}{p_n - p_{n-1}}, \text{ МПа}^{-1}. \qquad (7\text{-}19)$$

Модуль осадки ε_p показывает величину деформации в миллиметрах слоя грунта толщиной в 1 м под нагрузкой 0,1 МПа и вычисляется по формуле:

$$e_p = 1000\frac{y_p}{h_0} = 1000\frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_p}{1+\varepsilon_0},\ \text{мм/м}, \qquad (7\text{-}20)$$

где y_p — деформация образца грунта; h_0 — первоначальная высота образца.

в) Временное сопротивление сжатию

Временное сопротивление сжатию прочной скальной породы устанавливается на основе испытания трех образцов ее, изготовленных в виде кубиков со сторонами 5 см или цилиндров с диаметром и высотой 5 см. Для неоднородных неполнокристаллических осадочных пород испытываются образцы больших размеров (до 7 или 10 см) в количестве до 6 шт. Грани образца, на которые будет непосредственно действовать нагрузка пресса, шлифуют и делают их строго параллельными. Испытания проводят на гидравлическом 60- или 100-тонном прессе при скорости нарастания нагрузки 0,5—1,0 МПа/с. Временно́е сопротивление сжатию $\sigma_{сж}$ вычисляют с точностью до 1,0 МПа, принимая его как среднее арифметическое результатов испытаний всех образцов данной группы. Вычисление производят по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F},\ \text{МПа}, \qquad (7\text{-}21)$$

где P — разрушающая сила, H; F — площадь поперечного сечения образца, м^2.

7-5. ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

а) Исследование сжимаемости штампами

Исследования сжимаемости нескальных грунтов обычно проводятся в шурфах с помощью жестких круглых или квадратных плоских штампов (рис. 7-11). Для более плотных грунтов применяются штампы площадью 2500 см^2 (диаметр 56,4 см), в менее плотных — площадью 500 см^2 (диаметр 79,8 см). Нагружение штампов обычно производится домкратами, а иногда тарированными грузами, укладываемыми на платформу, или на-

тяжными системами блоков. Шурфы проходятся до отметки, находящейся на 0,3 м выше уровня установки штампа. Вскрытые грунты детально описываются и из каждого слоя отбираются пробы грунта с нарушенной структурой на лабораторные испытания, а на отметке установки штампа вне его контура отбирается монолит грунта размером 15×15×15 см для более подробных исследований.

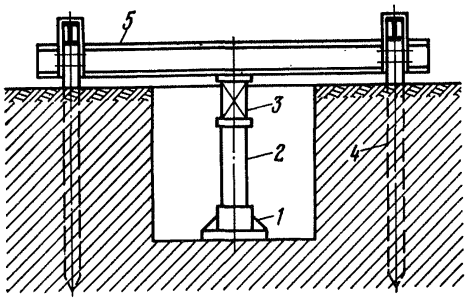


Рис. 7-11. Схема установки для испытаний сжимаемости грунтов нагрузкой на штамп.

1 — штамп; *2* — стойка; *3* — гидравлический домкрат; *4* — анкерная свая; *5* — металлическая балка.

Перед установкой штампа снимают защитный слой грунта и тщательно выравнивают место для штампа ножом. Установленный на подготовленный забой штамп притирают к грунту двумя-тремя поворотами вокруг оси, проверяя по уровню горизонтальность его положения.

Испытания начинают с предварительного уплотнения грунта нагрузкой, равной природному давлению на отметке подошвы штампа. Предварительное уплотнение грунта и последующую загрузку штампа производят ступенями удельных нагрузок. Каждую ступень выдерживают определенное время. Выдержка последней ступени нагрузки предварительного уплотнения и каждой последующей ступени производится до момента практического затухания осадки (условной стабилизации), но должна быть не менее выдержки времени предыдущей ступени.

Величина ступеней нагрузки, продолжительность их выдерживания и время приращения осадки, принимае-

Таблица 7-11

Ступени нагрузки при испытании штампами

Наименование грунта	Величина ступеней удельных нагрузок, МПа	Продолжительность выдерживания ступеней нагрузки (кроме последней), мин	Время приращения осадки на 0,1 мм при условной ее стабилизации, ч
Крупнообломочные и плотные песчаные грунты . .	0,1	5	0,5
Песчаные грунты средней плотности	0,05	15	0,5
Песчаные грунты рыхлые . .	0,025	30	1
Глинистые грунты	0,025—0,01	30	2

мой за ее стабилизацию, для различных грунтов приведены в табл. 7-11.

Наибольшая удельная нагрузка на штамп при испытании нескальных грунтов не должна превышать 1,0 МПа, а общее количество ступеней нагрузок должно быть не менее 7.

Осадка штампа фиксируется не менее чем двумя прогибомерами с точностью 0,01 мм. Отсчеты по манометрам и прогибомерам при приложении каждой ступени нагрузки берутся в таком порядке: первый отсчет сразу после приложения нагрузки, затем два отсчета через 5 и два через 10 мин — в течение первого получаса; затем через 15 мин — в течение второго получаса; через 30 мин — в течение второго, третьего часа и далее через

Таблица 7-12

Форма записи полевых испытаний сжимаемости нескальных грунтов штампами

Дата	Время		Интервал времени	Показания манометра, кПа	Нагрузка на штамп		Отсчеты по прогибомерам, мм		Осадка штампа, мм		Примечание
	ч	мин			общая, H	удельная, МПа	S_1	S_2	за ступень	общая	

каждый час до условной стабилизации осадки. Записи ведутся по форме, помещенной в табл. 7-12.

Разгрузка штампа производится после достижения максимальной нагрузки вдвое большими ступенями, чем нагрузка. Выдержка каждой ступени разгрузки составляет в песчаных грунтах 15 мин, в глинистых — 30 мин. Отсчеты берутся в начале и в конце времени выдержки. Последний отсчет берется в песчаных грунтах через 1 ч и в глинистых через 2 ч после полной разгрузки штампа.

При обработке материалов испытаний нескальных грунтов опытными нагрузками на штамп составляются схема расположения опытного участка и колонка шурфа, графики зависимости осадки штампа от удельной нагрузки и осадки штампа во времени по ступеням нагрузки. Модуль общей деформации грунта E_0 вычисляется для прямолинейного участка графика зависимости осадки штампа от удельной нагрузки по формуле

$$E_0 = 0{,}8(1 - \mu^2) D \frac{\Delta p}{\Delta S}, \text{ МПа}, \qquad (7\text{-}22)$$

где μ — коэффициент Пуассона; D — диаметр штампа, см; Δp — приращение удельной нагрузки на штамп, МПа; ΔS — приращение осадки штампа, см.

б) Исследования сопротивления сдвигу

Полевые исследования сопротивления сдвигу нескальных грунтов могут производиться методами сдвига бетонных штампов по грунту, прямого среза грунта, обрушения и выпирания грунтовых призм и методами вращательного среза и кольцевого среза под давлением в буровых скважинах. Кроме того, сопротивление сдвигу может определяться в полевых приборах на образцах с площадью среза около 1000 см². При изысканиях для гидротехнического строительства основными являются методы сдвига бетонных штампов и испытаний в полевых приборах.

Сдвиг бетонных штампов по нескальным породам проводится подобно описанному ниже сдвигу штампов по скале (§ 7-6).

Для исследования монолитов большого размера применяются стендовые приборы РПС-1М с рычажной системой нагрузок и ГПС с гидравлическими домкратами (рис. 7-12). В этих приборах испытываются

монолиты размером 35×35×30 см с площадью среза 1225 см², которые вкладываются в специальную обойму, состоящую из двух частей. На монолит создается вертикальная нагрузка от 0,1 до 0,5 МПа и горизонтальная сдвигающая нагрузка, которая прикладывается к верхней части обоймы. Срез образца происходит по зазору между верхней и нижней частями обоймы.

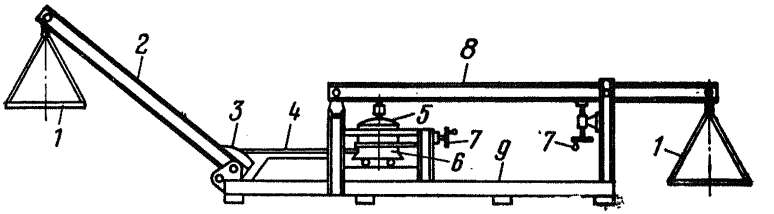


Рис. 7-12. Прибор РПС для испытания сопротивления сдвигу грунтов на монолитах больших размеров.

1 — платформа для груза; *2* — рычаг горизонтальной нагрузки; *3* — блок; *4* — трос; *5* — верхняя обойма; *6* — нижняя обойма; *7* — регулирующий винт; *8* — рычаг вертикальной нагрузки; *9* — рама.

Монолиты для испытаний отбираются в разведочных горных выработках или в котлованах сооружений в следующем порядке. В намеченном месте выработки на горизонтальной площадке окапывается столбик породы, размеры которого должны быть на 5—10 см больше соответствующих размеров сдвиговых обойм. Излишний объем породы в мягких грунтах срезается ножом, а в полускальных опиливается пилой. Зачистка производится сверху вниз и обойма постепенно насаживается на монолит. При этом надо следить за тем, чтобы монолит плотно прилегал к обойме, а образующиеся пустоты плотно заполнялись глинистым грунтом. Когда обойма будет целиком заполнена грунтом, монолит подрезают снизу и отделяют от массива лопатой. После этого выравнивают его нижнюю поверхность и извлекают из горной выработки с помощью воротка или лебедки.

При отборе монолитов из полускальной трещиноватой породы можно применять вспомогательные обоймы, сделанные из тонкого листового железа, которые насаживают на монолит, оставляя зазор в 20—30 мм на уровне среза. Вместе с этой обоймой монолит помещается в обойму прибора.

В приборе к монолиту сначала прикладывается только вертикальная нагрузка для предварительного

обжатия грунта, которое продолжается не менее одного часа и фиксируется приборами. По окончании предварительного обжатия монолита устанавливается аппаратура, необходимая для наблюдений за горизонтальными смещениями, и к нему ступенями прикладывается сдвигающая нагрузка.

Увеличение горизонтальной нагрузки на монолит ступенями производится до момента достижения ее критической величины, после чего происходит срез образца. В процессе опыта через каждую минуту берутся отсчеты по индикатору, фиксирующему горизонтальные деформации, и записываются в журнал наблюдений (табл. 7-13). После окончания опыта производится разгрузка установки. Плоскости среза монолита осматриваются и описываются, а в случае необходимости — фотографируются. Из монолита с зоны сдвига отбираются пробы породы для определения в лаборатории влажности, плотности, гранулометрического состава, пределов пластичности.

При испытании образцов с нарушенной структурой загрузка грунта в обоймы производится прямо в приборе. Грунт закладывается с заданной плотностью, что достигается загрузкой его по массе и уплотнением слоев до определенной толщины. Для определения влажности грунта отбирается проба.

Предварительное обжатие грунта производится под нагрузкой 0,5 МПа в течение 30 мин для галечников и

Таблица 7-13

Форма записи наблюдений при исследовании сопротивления сдвигу грунтов в стендовом приборе

Дата	Вертикальное напряжение, МПа	Сдвигающая нагрузка, МПа					Показания индикатора	Интервал времени между отсчетами, мин	Приращение горизонтальной деформации, мм/мин	Примечание
		№ ступени	Время приложения		Вес дополнительного груза, Н	Полная масса груза для данной ступени, Н				
			ч	мин						

2 ч для глинистых грунтов. В остальном опыт проводится так же, как и при испытании монолитов.

Сопротивление сдвигу образца породы τ_σ, испытанного при заданном вертикальном напряжении σ, определяется по формуле

$$\tau_\sigma = \frac{N}{S}, \text{ МПа}, \qquad (7\text{-}23)$$

где N — горизонтальное усилие; S — площадь среза образца породы.

Испытания проводят не менее чем для трех значений вертикального напряжения (обычно 0,1; 0,3 и 0,5 МПа), и по результатам их строится график зависимости сопротивления сдвигу τ от вертикального напряжения σ. По этому графику определяют угол внутреннего трения породы $\varphi°$ и сцепление c, МПа.

в) Ускоренные методы исследования несущих свойств нескальных грунтов

С целью выявления степени однородности геологического разреза и получения некоторых косвенных характеристик состояния грунтов и их физико-механических свойств применяется комплекс ускоренных методов, в состав которого могут входить: динамическое и статическое зондирование, вращательные срезы лопастными приборами, радиоизотопные методы и др. Такие работы проводятся главным образом на ранних стадиях проектирования.

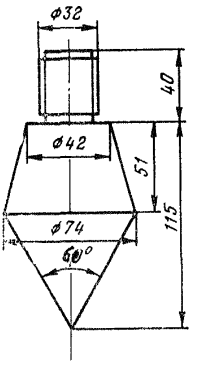


Рис. 7-13. Конический наконечник для зондирования.

Динамическое и статическое зондирование основано на измерении сопротивления погружению в горную породу металлического конуса диаметром 74 мм с углом при вершине 60° (рис. 7-13). Конус навинчивается на штанги диаметром 42 мм и при динамическом зондировании забивается молотом массой 60 кг, свободно падающим с высоты 80 см. При статическом зондировании конус задавливается без ударов. Опыты могут проводиться в песча-

Таблица 7-14

Наименование песчаных грунтов по плотности сложения

Грунт	Плотность сложения	Количество ударов на 30 см погружения конуса
Песок крупный и средней крупности	Плотный	>20
	Средней плотности	20—7
	Рыхлый	<7
Песок мелкий	Плотный	>15
	Средней плотности	15—4
	Рыхлый	<4
Песок пылеватый	Плотный	>10
	Средней плотности	10—4
	Рыхлый	<4

Таблица 7-15

Поправка к числу ударов в зависимости от глубины погружения конуса

Интервал зондирования, м	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18	18—20
Числовое значение α	1	0,86	0,76	0,68	0,62	0,56	0,52	0,48	0,44	0,42

ных и глинистых грунтах, содержащих не более 20% включений гальки и щебня. Для динамического зондирования применяются установки типа УБП-15, а для статического зондирования — установка С-979 и др. Этими установками может быть исследован геологический разрез на глубину до 30 мм.

По результатам зондирования может быть установлена степень однородности грунтов, положение границ между слоями различных пор, глубина залегания слоя, до которого могут быть забиты сваи. Плотность песков по результатам динамического зондирования может быть определена по табл. 7-14.

При подсчетах количества ударов необходимо учитывать влияние трения штанг о грунт и изменение массы штанг в процессе их наращивания при заглублении зонда. Количество ударов $N_{пр}$ с учетом поправки определяется по формуле

$$N_{пр} = N\alpha. \qquad (7\text{-}24)$$

Таблица 7-16

Шкала приближенной оценки консистенции глинистых пород

Консистенция грунта	Количество ударов на 10 см погружения зонда
Текучая	4
Текучепластичная	4—12
Мягкопластичная	12—20
Тугопластичная	20—25
Полутвердая	25—30
Твердая	30

Значение поправочного коэффициента α в зависимости от глубины погружения конуса определяется по табл. 7-15.

Консистенция глинистых грунтов может быть определена по результатам динамического зондирования на основании табл. 7-16.

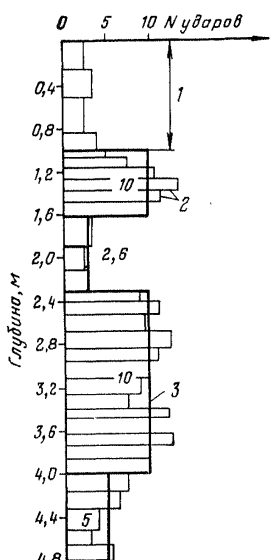


Рис. 7-14. График ударного зондирования грунтов.
1 — критическая глубина; *2* — измеренные значения *N*; *3* — осредненные значения *N*.

Полевые записи при зондировании ведутся в журнале. После каждых пяти ударов молота замеряют нарастающую глубину погружения зонда в грунт и когда погружение достигает 10 см, подсчитывают число ударов с учетом поправочного коэффициента.

По результатам зондирования строят графики, на которых по вертикали откладывают глубину, а по горизонтали — число ударов, приходящееся на 10 см погружения зонда (рис. 7-14).

Вращательные срезы лопастным прибором (крыльчаткой) применяются для испытания сопротивления сдвигу однородных иловатых текучепластичных глинистых пород, не содержащих крупных включений. Схема установки для крыльчатого зондирования приведена на рис. 7-15. Рабочий орган крыльчатого

зонда состоит из двух или четырех лопастей, которые на штангах спускаются на зачищенный забой буровой скважины и вдавливаются в него. После этого лопасти поворачиваются и при этом измеряется крутящий момент. Зная величину момента и размеры лопастей, рассчитывают сопротивление сдвигу по следующей формуле:

$$\tau = \frac{M}{1{,}57d^2\left(h + \frac{d}{3}\right)}, \text{ МПа}, \qquad (7\text{-}25)$$

где M — крутящий момент; d — диаметр цилиндра вращения; h — высота цилиндра вращения.

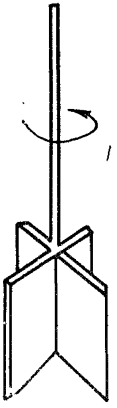


Рис. 7-15. Рабочая часть крыльчатого зонда.

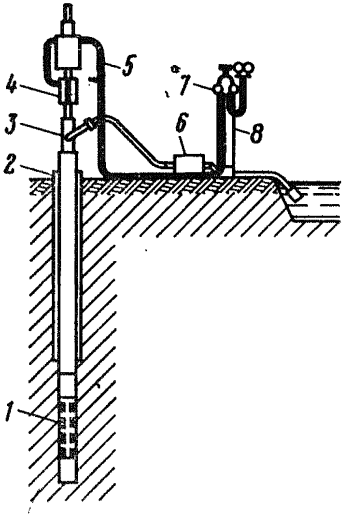


Рис. 7-16. Схема установки прессиометра.

1 — зонд диаметром 76 мм; *2* — обсадные трубы; *3* — напорная гидромагистраль; *4* — водомерное устройство; *5* — воздушные шланги; *6* — водяной насос; *7* — пульт управления; *8* — газовый баллон.

Прессиометрические исследования служат для определения модуля деформации слабых грунтов в разведочных скважинах. Рабочая часть прессиометра — зонд — представляет собой резиновый цилиндр, который опускается в скважину на колонне труб (рис. 7-16). Давление в зонде создается с помощью баллона со сжатым воздухом и передается жидкостью, заполняющей всю систему. О деформациях зонда судят по расходу жидкости, которую надо дополнять в систему после создания давления.

7-6. ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СКАЛЬНЫХ ПОРОД

а) Определение модуля деформации

Определение модуля деформации скальных пород в массиве проводится в опытных камерах, которые устраиваются в разведочных штольнях или в котлованах сооружений. Камеры проходятся на характерных участках основания, вне зоны съема и выветривания скальных пород. При проходке камеры необходимо возможно меньше нарушать сохранность пород, для чего рекомендуется применять метод гладкого взрывания и другие способы проходки, при которых повреждение скалы будет наименьшим.

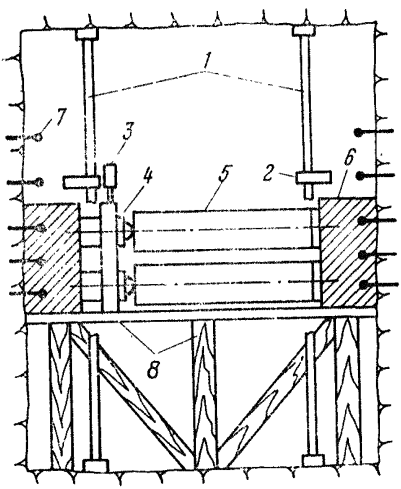


Рис. 7-17. Установка оборудования в штольне при определении модуля деформации скальных пород.

1 — распорные стойки; *2* — базисная рама для установки измерительных приборов; *3* — коллектор с манометром; *4* — силовые домкраты; *5* — упорные трубы; *6* — бетонный штамп; *7* — реперы; *8* — деревянная подставка.

Испытания ведут с помощью прибетонированных к скале бетонных штампов: квадратных размером 1×1 м или круглых диаметром 1,3 м.

Для испытания на сжатие скальных пород в вертикальном направлении штамп устанавливается на дне камеры, а *упор* делается в ее потолок. При испытании в горизонтальном направлении штампы устанавливаются на двух противоположных стенках камеры (рис. 7-17). Для получения планов и разрезов подходной штольни и камеры производят маркшейдерскую съемку в масштабе не менее 1:50. На ее основе строятся геологические карты и разрезы по исследуемому участку.

Поверхность скалы в местах расположения штампов должна быть близкой к горизонтальной или вертикальной и по возможности ровной, с выступами и впадинами, не превышающими 5—10 см. Для этого окончательная зачистка ее делается вручную с помощью отбойного молотка, а перед укладкой бетона скала промывается водой. Для определения характера неровностей в основании штампа производят гипсометрическую съемку скальной поверхности и составляют ее план в горизонталях.

По штольням и камерам проводится детальная инженерно-геологическая документация. Наиболее подробно документируются основания штампов, при этом фотографируется поверхность скалы и отбираются образцы пород для лабораторного исследования их состава и физико-механических свойств. В лаборатории определяются основные характеристики скальных пород: плотность минеральной части, плотность, влажность, временное сопротивление сжатию, модуль упругости, гранулометрический состав заполнителя трещин.

В пределах площади, занятой штампами, тщательно изучается трещиноватость и блочность пород. В результате этих наблюдений составляются диаграммы и розы трещин и подсчитывается коэффициент трещинной пустотности (§ 4-4).

Бетонирование штампа делается с помощью деревянной опалубки, в которую вставляется необходимая арматура. Бетон должен иметь прочность не менее 25,0 МПа. Для этого необходимо тщательно подобрать его состав, после укладки провибрировать и в дальнейшем продолжать уход за ним до полного твердения, которое может наступить не менее, чем через 7 дней (поддерживать температуру в камере не ниже 10°, смачивать водой и пр.).

В процессе бетонирования закладывают трубки для реперов на штампе, с помощью которых можно наиболее точно определить сжатие скалы под штампом, а также провести другие измерения.

После твердения бетона производят установку реперов на штампе и вокруг него по схеме, изображенной на рис. 7-18. Реперы, расположенные в пределах штампа, служат для определения средней осадки поверхности скалы и расчета модуля деформации. Реперы, расположенные вне штампа, служат для определения формы и

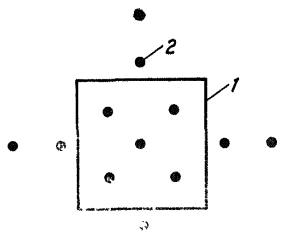


Рис. 7-18. Схема установки реперов для наблюдений за деформациями скальных пород.
1 — бетонный штамп; *2* — реперы.

размеров воронки осадки поверхности скалы, которая образуется вокруг штампа в ходе опыта.

Для закладки реперов бурят шпуры диаметром 42—44 мм и глубиной до 40 см. Бурение их следует производить с большой осторожностью, чтобы не создать вокруг них повышенную трещиноватость пород. Перед закладкой реперов шпуры смачиваются водой и заливаются густым цементным раствором, который содержит 50% песка. После этого в отверстия забивают реперы, которые представляют собой круглые стальные стержни диаметром 15 — 20 мм и длиной 20—40 см.

После бетонирования штампов и установки реперов приступают к монтажу оборудования, в состав которого входят гидравлические домкраты или гидравлические подушки, создающие давление до 8 — 10 МПа. В ходе опыта давление на штамп регулируется или вручную, или автоматически. Наблюдения за осадками реперов ведутся или визуально с помощью мессур, или с помощью дистанционного устройства и электронных датчиков.

После монтажа оборудования и измерительных приборов и проверки всей установки приступают к проведению опыта. Наблюдения во время опыта выполняются группой сотрудников, в состав которой входит начальник группы, оператор на электронном пульте (при работе с электронной системой) и наблюдатели (при наблюдениях по мессурам). Журнал нагрузок и команд ведет начальник группы, который дает указание о смене нагрузок и времени взятия отсчетов. В журнал заносится исполнительная схема расположения реперов, время подачи команд (на смену ступеней нагрузок, взятие отсчетов и пр.), температура в камере, а также фиксируются все происшествия, имевшие место в ходе опыта.

В журнале наблюдений, который ведут наблюдатели, фиксируются время взятия отсчетов и их величина, нагрузка, соответствующая времени отсчета, номера реперов, по которым ведут наблюдения и показания мессур

с точностью до 0,01 мм. На правой стороне журнала вычисляют деформации для каждого репера, принимая за начальный отсчет последнее стабилизировавшееся показание на измерительном приборе при отсутствии нагрузки на штамп. Деформация на каждой ступени нагрузки составляет разность между начальным отсчетом и отсчетом на данный момент.

При визуальных наблюдениях наблюдения по мессурам ведут 3—4 наблюдателя. При автоматической регистрации деформаций оператор только записывает на ленте время подачи команд и соответствующую этому времени нагрузку на штамп, а остальные записи ведутся автоматически.

Нагружение штампов ведется ступенями, разность между которыми составляет 10% заданной конечной нагрузки, и четырьмя циклами нагрузки и разгрузки. Замеры деформаций поверхности скальной породы проводятся по реперам, заложенным в скалу и в бетонный штамп. Ступени разгрузки в каждом цикле назначают в два раза большими, чем ступени нагружения.

После создания нагрузки на каждой ступени снимают со всех мессур (датчиков) начальные отсчеты, затем выдерживают 3—5 мин, после чего делают отсчеты через каждую минуту до прекращения осадки реперов. Стабилизация считается достигнутой, если при отсчетах с интервалами 1 мин показания мессур будут отличаться на величину не более 0,02 мм.

После окончания опыта производят необходимые вычисления, сверяют показания по отдельным реперам и вычерчивают необходимые графики. К началу окончательной камеральной обработки должны быть в поле составлены следующие материалы: маркшейдерские планы и разрезы камер; инженерно-геологические карты и разрезы по участку проведения опыта и по штампам; характеристика физико-механических свойств пород; розы и диаграммы трещиноватости пород; таблицы трещин с указанием коэффициента трещинной пустотности.

В результате окончательной камеральной обработки должны быть получены частные значения модулей деформации по каждому штампо-опыту, выполнен анализ полученных значений и произведена их увязка с инженерно-геологическими условиями. Результаты опытов для определения модуля деформации на одном штампе помещают на сводном листе.

б) Определение коэффициента отпора

Коэффициент отпора K_0 представляет собой величину равномерного давления, которое может увеличить радиус круглой горной выработки на 1 см, и определяется по формуле

$$K_0 = \frac{q}{u}, \text{ МПа}, \qquad (7\text{-}26)$$

где q — равномерно распределенное давление, МПа; u — радиальное перемещение стенки выработки.

Коэффициент отпора используется при проектировании напорных туннелей, когда необходимо знать, какая часть нагрузки на обделку туннеля может быть передана на горные породы, в которых он проходит.

Исследования обычно проводятся с помощью цилиндрических штампов, которые устанавливаются в штольнях круглого сечения. Нагрузка штампов производится гидростатическим давлением и прикладывается ступенями так же, как при определении модуля деформации. Максимальное давление под штампом должно превышать на 20—50% запроектированное давление в туннеле. Деформации пород под штампами измеряются так же, как при определении модуля деформации.

Опыты по определению коэффициента отпора могут проводиться также путем опрессовывания водой специально пройденных и герметически изолированных камер, в которых устанавливается аппаратура, регистрирующая деформации их стенок. В последнее время широко используется также прессиометрический метод, заключающийся в опрессовывании специальным устройством стенок буровых скважин (§ 7-5, в).

в) Определение сопротивления сдвигу

Определение сопротивления сдвигу в их естественном залегании может производиться или методом сдвига бетонных штампов по породе, или сдвигом целика породы, заключенного в железобетонную обойму, по прослою или трещине. Опыты проводятся в подземных камерах сечением 5×2,5 м или в строительных котлованах на участках, характерных по составу и состоянию пород (рис. 7-19). На каждом участке устанавливается не менее трех одинаковых бетонных штампов (целиков), которые сдвигаются при трех различных удельных на-

грузках, составляющих соответственно полную нагрузку от сооружения, $^2/_3$ и $^1/_3$ от нее.

Камеры для проведения опытов проходятся с соблюдением необходимых предосторожностей против разрушения пород и окончательная зачистка поверхности под штамп производится вручную отбойным молотком или другими инструментами. Размеры штампов принимаются обычно 110×90 см при высоте 40 см. Верхняя и боковые их грани армируются стальной сеткой из прутков диа-

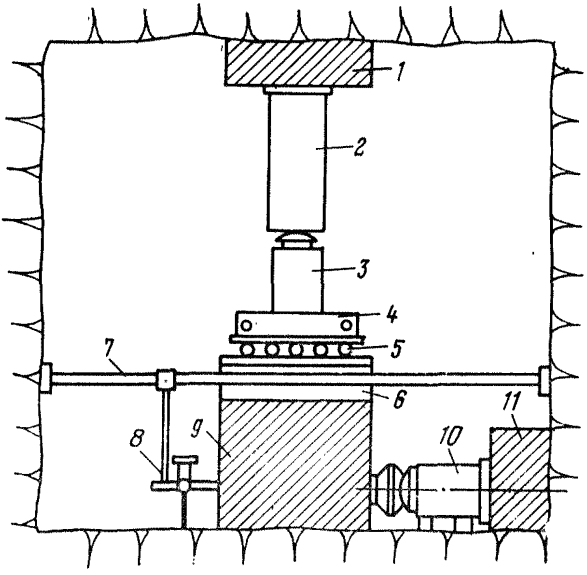


Рис. 7-19. Установка оборудования в штольне при определении сопротивления сдвигу скальных пород.

1 — упор для домкрата; *2* — упорная труба; *3* — домкрат вертикальной нагрузки; *4* — опорная балка; *5* — катки; *6* — распределительная плита; *7* — базисная рама для установки измерительных приборов; *8* — мессура с держателем; *9* — бетонный штамп; *10* — домкрат горизонтальной нагрузки; *11* — бетонный упор для домкрата.

метром 10—15 мм. Таким же образом бетонируются боковой и верхний упоры для домкратов. В штамп и в породу вокруг него закладываются реперы, по которым наблюдают смещение штампа.

Камеру для целиков первоначально проходят не на полную высоту, намечают на ее полу контуры будущих целиков размером 1,4×1,4 м и высотой 65 см, покрывают их слоем армированного бетона толщиной около 15 см, затем по контуру целика проходят сплошную

строчку шпуров диаметром 42 мм и глубиной 60 см, а на расстоянии 25—30 см от них пробуривают ряд отбойных шпуров с расстоянием между ними 20—25 см. Прорезь между шпурами обычно разрабатывается вручную или отбойным молотком и лишь в крайнем случае с помощью небольших зарядов ВВ. После вскрытия каждой грани целика к ней немедленно прибетонируется стенка железобетонной обоймы.

По окончании бетонирования обойм дно камеры углубляют до уровня подошвы целиков и бетонируют упоры для домкратов, передающих горизонтальную и вертикальную нагрузки. В целик и в породу вокруг него закладывают 14 реперов из круглой стали, которые заглубляют в целик на 25 см и в скалу на 10—15 см.

После бетонирования штампов или целиков производится монтаж силового оборудования и приборов для наблюдений. Полевые опытные сдвиги могут выполняться установкой с ручной регулировкой давления и визуальным определением деформаций по мессурам или с полуавтоматической регулировкой давления и автоматическим определением деформаций с дистанционной записью их на электронном пульте. Все измерительные приборы монтируются на базисной раме, которая опирается на скалу вне зоны возможных деформаций при проведении опытов.

Вертикальная нагрузка на штамп (целик) и сдвигающая нагрузка создаются с помощью гидравлических домкратов или подушек. Перед началом опыта проверяется работа силового оборудования и жесткость сборки системы измерительных приборов. После окончания монтажа составляют исполнительную схему реперов, расположения мессур (датчиков) и направления их ножек и плунжеров датчиков.

Перед началом опыта создается нормальная вертикальная нагрузка на штамп или целик, которая повышается ступенями, равными 1,0 МПа, до заданного значения. В процессе нагрузки ведутся наблюдения за осадкой штампа, на основании которых вычисляется модуль деформации. Сдвигающая нагрузка также прикладывается ступенями, которые обычно составляют 10% нормальной нагрузки, приложенной к штампу. Она возрастает до тех пор, пока не произойдет сдвиг. После этого прекращают подачу масла в домкраты и ждут

полной остановки штампа. Затем возобновляют работу домкратов и продвигают штамп по нарушенной зоне контакта между бетоном и скалой до выработки хода ножек мессур (датчиков). После этого делают отсчеты на всех мессурах и начинают снижать сдвигающую нагрузку ступенями, в два раза превышающими ступени нагрузки.

После полной разгрузки сдвигающего усилия снимают нормальную нагрузку и приступают к выполнению следующего этапа опыта—проведению опытного сдвига по нарушенной зоне контакта между бетонным штампом и скалой. Вначале доводят нормальную нагрузку до заданной для данного опыта и затем нагружают штамп (целик) ступенями нарастающего сдвигающего усилия, которое в начале опыта принимают в два раза больше, чем при первом сдвиге, и в конце равным этому усилию. Отсчет на мессурах проводят только в направлении сдвига. Рекомендуется такой опыт провести 3 раза при различных нормальных нагрузках с тем, чтобы на графике зависимости сопротивления сдвигу от нагрузки на штамп по нарушенной скале получить три точки.

Закончив сдвиг по нарушенной зоне, вначале разгружают штамп от сдвигающего усилия, а затем от нормальной нагрузки, при этом ведут измерения смещения штампа.

После демонтажа всей установки опрокидывают штамп (целик) и делают описание поверхности скалы и бетона в зоне сдвига, составляют схему мест скола (по скале и по бетону), выполняют гипсометрическую съемку поверхности сдвига, определяют границы выпора кусков породы вокруг штампа и отмечают образование новых трещин.

Полевой сдвиг проводят под руководством лица, ответственного за выполнение опыта, который подает необходимые команды, наблюдает за всеми явлениями, сопутствующими сдвигу, и отмечает в журнале: трещины в породе, образование новых трещин, вывалы породы или выпор ее, падение и нарастание давления при подъеме штампа и т. п.

Руководитель ведет журнал команд и нагрузок, на левой стороне которого изображается схема расположения реперов, а на правой стороне помещается описание опыта. Наблюдатели ведут журнал наблюдений, в котором на левой стороне записываются отсчеты

смещений штампа по трем направлениям, а на правой вычисляют смещения штампа (целика).

Для контроля хода опыта руководитель работ должен составлять текущий график зависимости сопротивления сдвигу от величины смещения штампа (целика) по двум реперам, расположенным на передней грани.

Полевая обработка опытов заключается в составлении геологических разрезов по опытному участку и по штампам, схем и диаграмм трещиноватости поверхности сдвига, таблиц временного сопротивления сжатию образцов бетона штампа, упоров и обойм целиков. Перед началом полевой обработки производится проверка записей в журналах.

При окончательной камеральной обработке составляют сводные листы материалов по определению модуля деформации и показателей сопротивления сдвигу. Для этого строят графики зависимости сопротивления сдвигу от смещения штампа (целика) для каждой нормальной нагрузки. На основании анализа этих графиков строят графики зависимости сдвигающего усилия от нормальной нагрузки на штамп и по ним находят искомые параметры сопротивления сдвигу: коэффициент трения $\operatorname{tg}\varphi$ и сцепление c.

Глава восьмая

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВЫЕМОК

8-1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Инженерно-геологические материалы, составленные по данным изысканий, никогда не могут с исчерпывающей подробностью осветить геологическое строение оснований гидротехнических сооружений. Поэтому в период строительства проводится тщательная инженерно-геологическая документация котлованов, туннелей и других строительных выемок. Документация дает материал для уточнения инженерно-геологических условий, и в случае существенных расхождений полученных данных с данными изысканий в проект сооружения вносятся необходимые уточнения и изменения.

Инженерно-геологическая документация позволяет своевременно предупреждать обрушение откосов выемок

и сводов туннелей, прорывы подземных вод и плывунов в котлованы и подземные выемки и другие осложнения, которые могут возникнуть при производстве строительных работ. Документация строительных выемок имеет также очень большое значение для совершенствования методики инженерно-геологических изысканий, так как она позволяет проверять точность применявшихся методов.

Перед началом инженерно-геологической документации должны быть подобраны и изучены все проектные и изыскательские материалы по строительным выемкам и составлена программа работ. По проектным чертежам составляются необходимые для документации развертки строительных выемок с разбивкой их на секции, блоки бетонирования, карты отсыпки, а также схемы расположения водопонизительных скважин и пр.

Документация должна проводиться систематически с момента начала строительных работ и до их окончания. Основными задачами ее являются: составление исполнительных инженерно-геологических чертежей строительных выемок; проверка соответствия инженерно-геологических условий, заложенных в проект, фактически встреченным при строительстве; наблюдения за изменением гидрогеологических условий в период строительства и оценка влияния их на устойчивость строительных выемок и сооружений; изучение зон выветривания, трещиноватости и закарстованности пород для определения глубины съема в основании сооружений; наблюдения за изменениями физико-механических свойств грунтов под влиянием разгрузки, осушения и выветривания в строительных выемках.

Инженерно-геологическая документация выполняется силами отдельной группы, в которую входят инженеры и техники-геологи. Обработка полевых материалов ведется в процессе документации и результаты ее регулярно сообщаются проектировщикам и строителям для своевременного принятия необходимых мер по изменению конструкции сооружения и способов производства строительных работ.

Снятие природной нагрузки и изменения гидрогеологических условий при разработке строительных котлованов, туннелей и других выемок вносят существенные изменения в состояние пород и снижают их несущие свойства. Для изучения этих изменений и проверки, в ка-

кой мере показатели физико-механических свойств вскрытых пород соответствуют принятым в проекте расчетным характеристикам этих свойств, производятся контрольные лабораторные и полевые исследования грунтов.

Детальность, с которой необходимо производить контрольные определения, зависит от сложности инженерно-геологических условий и характера возводимых сооружений. Отбор проб производится таким образом, чтобы они характеризовали каждую разновидность грунта. Порядок отбора проб и состав необходимых исследований определяются программой работ инженерно-геологической документации.

Помимо лабораторных исследований для крупных гидротехнических сооружений в котлованах и туннелях могут проводиться полевые опыты по определению сопротивления сдвигу и сжимаемости пород, слагающих основание сооружений или являющихся их средой.

Результаты инженерно-геологической документации передаются проектировщикам и строителям в виде оперативных сводок, промежуточных отчетов по отдельным сооружениям и сводного отчета о всех работах, выполненных на данном объекте.

8-2. ДОКУМЕНТАЦИЯ ОТКРЫТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВЫЕМОК

К открытым строительным выемкам относятся котлованы под плотины, здания гидроэлектростанций, напорные бассейны и другие сооружения, входящие в состав гидроузлов, а также выемки для различных каналов, напорных трубопроводов и пр.

Масштаб зарисовок, выполняемых при документации открытых выемок, зависит от сложности инженерно-геологических условий и характера сооружения. Обычно зарисовка скальных оснований производится в масштабе от 1:50 до 1:100, а нескальных — от 1:100 до 1:200. Масштабы сводных окончательных материалов могут приниматься от 1:500 до 1:5000. Для уточнения мощности съема пород, проверки однородности основания, глубины залегания подземных вод и отбора проб для контрольных исследований их физико-механических свойств из строительной выемки проходятся неглубокие буровые скважины и шурфы, а в отдельных случаях и смотровые скважи-

ны. Документация ведется по мере вскрытия отдельных участков, при этом зарисовываются и описываются откосы и дно выемки.

Откосы документируются по отдельным уступам. Если уступ на полную высоту трудно доступен, то его документируют частями по мере углубления выемки. В скальных породах откосы выемки документируются сплошь. В нескальных породах, имеющих однообразное строение, допускается документация отдельных характерных участков, по зарисовкам которых строится разрез всего откоса.

Документация дна выемки на промежуточных отметках выполняется при вскрытии каких-либо важных контактов и явлений (границы четвертичных и коренных пород, границы зоны выветривания, карстовых полостей и пр.) и отражается на разрезах пересекающих выемку. Полная документация дна выемки производится при достижении ею проектных отметок. Особенно тщательно документируются углубления, пройденные в дне и бортах котлована для осуществления надежного сопряжения сооружения с основанием, предотвращения фильтрации, суффозии и пр. Кроме того, подробно документируются и описываются участки, где имели место переборы грунтов, вызванные какими-либо неблагоприятными инженерно-геологическими условиями. Сюда относятся, например, тектонические зоны в скальных породах, подлежащие заделке, илистые прослойки в песках и пр.

Зарисовки делаются по отдельным небольшим элементам подготовленного основания сооружения, блокам бетонирования или картам отсыпки грунта и в дальнейшем камеральным путем сводятся по секциям или участкам. По каждому из этих элементов составляются зарисовки основания и стенки уступа со стороны соседнего элемента (если смежные элементы располагаются на различных отметках), а также строятся разрезы основания в характерных направлениях. На разрезе породы показываются на глубину 1—3 м. Если со дна котлована проходятся контрольные выработки, то разрез составляется на всю их глубину. Примеры составления этих материалов приведены на рис. 8-1.

При документации строительных выемок помимо зарисовок должна широко применяться фотодокументация. При вскрытии скальных пород производится сплошное фотографирование откосов выемки, и если возможно, то

и ее дна. При вскрытии рыхлых и связных пород фотографированию подлежат лишь детали инженерно-геологического строения, имеющие особенно важное значение (оползни на откосах и пр.). Фотоснимки должны иметь размеры не менее 9×12 и не более 18×24 см и в случае необходимости из них монтируются фотопанорамы. Каждый снимок должен иметь масштаб, поэтому при фотографировании выставляется рейка или другие предметы,

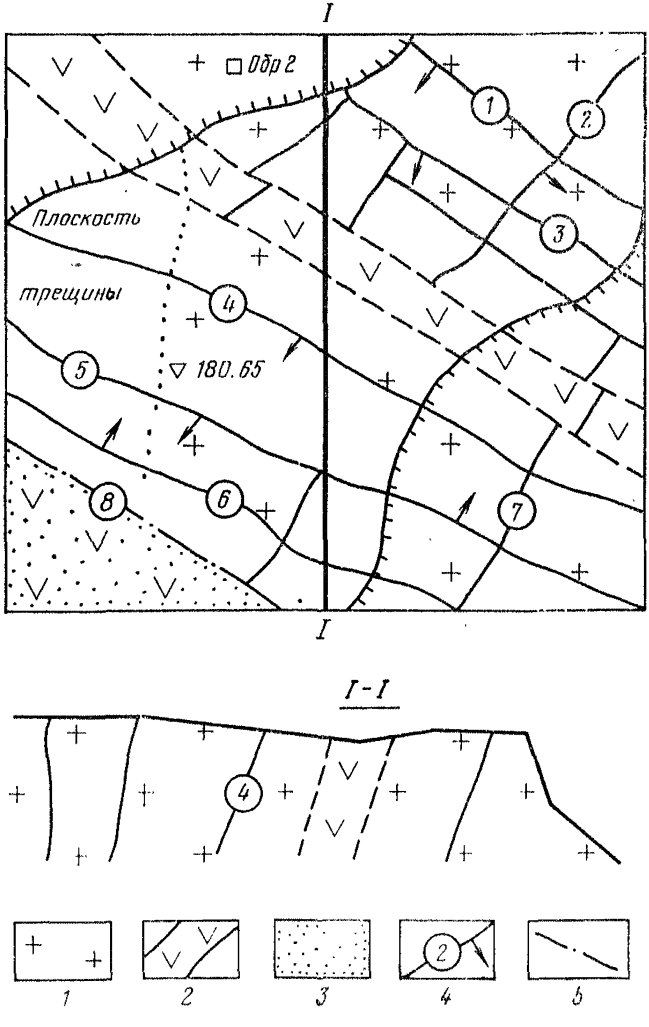


Рис. 8-1. Зарисовка основания блока сооружения.

1 — гранит; *2* — сиенит жильный; *3* — милонитизированная порода; *4* — трещина, ее номер и направление падения; *5* — крупная тектоническая трещина.

имеющие хорошо известные размеры. Фотоснимки выемок, пройденных в скальных породах, должны быть отдешифрированы с показаниями границ слоев, трещин, зон выветривания пород и пр.

Со дна котлована и из контрольных выработок отбираются пробы горных пород для лабораторных исследований. По результатам этих исследований могут решаться вопросы о необходимости дальнейшего углубления котлована и уточняться показатели физико-механических свойств пород. При проходке котлованов в скальных породах сохранность основания определяется также с помощью сейсмоакустических методов. В процессе документации необходимо фиксировать влияние взрывов на сохранность скальных пород, а также качество цементационных работ.

Если породы, вскрытые выемкой, обладают способностью быстро выветриваться и резко снижать свои строительные свойства, то для предохранения их оставляется защитный слой, который снимается непосредственно перед укладкой бетона. В таких случаях необходимо особенно тщательно документировать основание и следить за тем, чтобы выветрелые породы были полностью удалены. Защитный слой оставляется также для предохранения основания от промораживания, которое снижает несущие свойства породы.

Гидрогеологические исследования, проводимые в процессе документации котлованов, должны охватывать наблюдения за характером выходов подземных вод, за уровнем воды в пьезометрических скважинах, изменением химического состава подземных вод, за работой системы водопонижения, засорением водопонизительных скважин и изменением состояния фильтров в результате коррозии и образования химических осадков.

Все выходы подземных вод регистрируются и инструментально привязываются в плане и по высоте. Устанавливается их характер (нисходящий или восходящий источник, пластовый выход), измеряется дебит и фиксируются его изменения во времени. Отмечается влияние выхода на устойчивость откоса или состояние основания сооружения. Отбираются пробы подземных вод для исследования их химического состава. Изучается состав осадков, выпадающих из воды в месте ее выхода на поверхность. Частота отбора проб в каждом отдельном случае определяется техническим заданием.

При проходке котлованов крупных гидротехнических сооружений производится открытый водоотлив и водопонижение с помощью системы водопонизительных скважин. В связи с этим в районе строительства существенно изменяются гидрогеологические условия и вокруг котлована образуется воронка депрессии. Для наблюдений за этими изменениями создается сеть пьезометрических скважин, наблюдения в которых следует начинать до начала работы водопонизительной системы и вести в течение всего периода строительства. Скважины режимной сети должны фиксировать изменения во всех водоносных горизонтах, на которые оказывает влияние откачка из котлована. Их необходимо располагать с учетом направления движения подземных вод на участке котлована. Вблизи котлована наблюдательные скважины располагаются чаще, а по мере удаления расстояние между ними увеличивается. В целом по котловану густота точек наблюдений должна быть такой, чтобы полностью обеспечить построение карты гидроизогипс в масштабе 1 : 2000—1 : 5000.

При наблюдениях за работой системы водопонижения фиксируются колебания уровня и дебита откачиваемой воды, а также количество и состав частиц грунта, выносимых из скважин. Для этого все скважины оборудуются соответствующими приборами. В процессе наблюдений отмечаются все остановки и перебои в работе системы водопонижения, так как они оказывают решающее влияние на положение воронки депрессии, образующейся вокруг котлована при откачке. Расходы воды по отдельным скважинам и коллекторам измеряются не реже двух раз в месяц, а в скважинах с резко меняющимся дебитом и чаще. Вынос из откачиваемых скважин частиц грунта (пескование) может отрицательно повлиять на качество основания гидротехнического сооружения. Поэтому в ходе водопонижения должны непрерывно проводиться наблюдения за содержанием твердых частиц в откачиваемой воды. Для этого отбираются пробы в объеме 1—2 л, из них осаждается минеральный осадок и определяется его масса. Если скважина сильно пескует, то принимаются меры по замене или ремонту ее фильтра.

В комплекс исследований химических осадков окиси железа и других металлов, образующих корку на поверхности фильтра, входит изучение химического и минералогического состава осадков и химического состава подзем-

ных вод, откачиваемых из скважины; химического и минералого-петрографического состава, вмещающих пород; физико-химических условий образования осадков.

Если под дном котлована на небольшой глубине имеются напорные воды, то под их воздействием может произойти вспучивание и прорыв дна котлована. Для предотвращения этих явлений ведутся наблюдения за пьезометрическим уровнем напорного водоносного горизонта и в случае необходимости откачкой или самоизливом из специальных скважин снижается его уровень.

8-3. ДОКУМЕНТАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВЫЕМОК

К подземным строительным выемкам относятся туннели, подземные здания гидроэлектростанций, лифтовые и кабельные шахты и пр. Инженерно-геологическая документация подземных строительных выемок имеет очень большое значение, так как в силу ограниченных возможностей изучения условий строительства подземных сооружений при их проектировании обычно располагают небольшим объемом инженерно-геологических данных.

При проходке подземной строительной выемки ведется сплошная инженерно-геологическая документация ее стенок, свода и забоев, а в отдельных случаях может документироваться также пол выемки. Масштаб полевых зарисовок при документации подземных выемок в зависимости от сложности инженерно-геологических условий и ответственности сооружения принимается 1:50 или 1:100. В этих же масштабах составляются сводные промежуточные материалы по отдельным участкам сооружения. Окончательные материалы по всему сооружению оформляются в масштабах от 1:500 до 1:5000.

В процессе документации необходимо фиксировать явления, осложняющие проходку туннеля и влияющие на конструкцию его обделки: нарушения устойчивости свода выемки; обильный приток подземных вод; карстовые пустоты, встреченные выемкой; высокие температуры; вредные для людей газы.

При наблюдениях за устойчивостью пород в подземной выемке необходимо выявлять факторы, способствующие образованию вывалов, и на основании этого прогнозировать возможность возникновения деформаций пород

при дальнейшем ходе строительных работ. Образованию вывалов обычно способствуют ослабленные прослои пород, тектонические нарушения и сопровождающие их зоны повышенной трещиноватости пород, неблагоприятное для устойчивости туннеля расположение систем трещин, карстовые пустоты и пр. Необходимо также следить за изменениями, происходящими в породах под влиянием их разгрузки, выветривания и буро-взрывных работ для оценки влияния этих явлений на устойчивость выемки. При инженерно-геологической документации подземных выемок необходимо подробно описать, зарисовать и сфотографировать все случаи деформаций пород в выемке: вывалы, выносы пород подземными водами, пучение пород и пр. Необходимо также установить границы распространения пород, подвергшихся деформации, и форму образовавшихся пустот (переборов). Если деформировавшийся участок выемки был закреплен, то надо указать тип крепления и его состояние.

При документации горизонтальной подземной выемки зарисовывается и описывается почти каждый из ее забоев (которые располагаются обычно через 2—2,5 м), стенка выемки и на отдельных участках ее свод. На основании этих зарисовок строится развертка геологического строения выемки, которая представляет собой зеркальное отражение ее стенок и свода (см. § 5-3,*б*). Поскольку выемки под все крупные гидротехнические сооружения проходятся в два уступа, зарисовки их верхней и нижней частей делаются раздельно и сводятся камеральным путем. Документация верхней, сводной части выемки строится по зарисовкам забоев, стенок и свода.

Для документации забоев верхнего уступа выемки заготавливаются специальные бланки на миллиметровой бумаге, где в требуемом масштабе вычерчивается проектный контур сводовой части забоя. Если для разметки шпуров маркшейдерами на забой наносятся концентрические круги или другие ориентирующие знаки, то они также отмечаются на бланке и используются для привязки геологических элементов во время документации. На этот бланк условными знаками наносятся все элементы инженерно-геологического строения и фактический контур свода выемки (рис. 8-2). Стенки выемки зарисовываются по мере их вскрытия. Зарисовка свода ввиду его малой доступности строится главным образом по данным зарисовок забоев и стенок, и лишь на ослабленных уча-

стках, где необходимо применять специальное крепление, делается зарисовка с непосредственным измерением всех элементов. Для этих целей используется передвижная крепежная рама, которая применяется при строительстве подземных сооружений.

При документации вертикальных и крутонаклонных подземных выемок производится сплошная документация всех ее стенок и по возможности документируются отдельные забои.

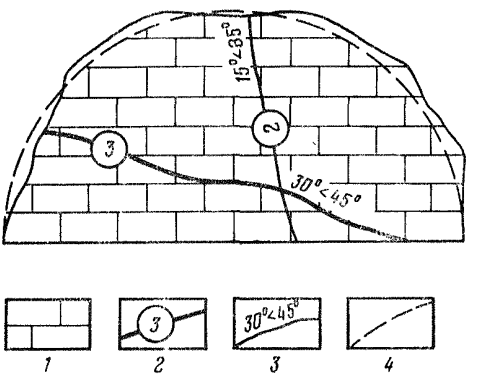


Рис. 8-2. Зарисовка верхней части забоя туннеля.

1 — известняк крепкий; *2* — трещина и ее номер; *3* — азимут и угол падения трещины; генезис трещин, их ширина и состав заполнителя могут быть показаны условными линиями и цветами, основные данные о трещинах указываются в таблицах (см. § 4-4); *4* — проектный контур свода туннеля.

Гидрогеологические наблюдения при документации подземных строительных выемок включают следующие работы: описание выходов подземных вод и измерение их дебита, изучение химического состава, агрессивных свойств и температуры подземных вод, наблюдения за уровнем подземных вод в районе сооружения.

В процессе документации подземных строительных выемок должны быть зафиксированы все проявления подземных вод, выходящих в виде источников и капежа на стенках, своде и забоях выемки. Гидрогеологические данные наносятся на зарисовки и приводятся в описании. Приток воды в выемку ввиду трудности раздельного учета воды, поступающей из забоев, стенок и свода, допускается определять суммарно в перекачке или в центральном водосборнике. Приток устанавливается по производительности насосов или измерением количества

воды, поступающей в зумпф (водосборник) в единицу времени. Замеры притока подземных вод могут производиться также с помощью водомеров, установленных на концах водосбросных линий, по радиусу кривой падения струи в устье водосбросной линии или по средней скорости течения воды в дренажной канаве. Замеры рекомендуется проводить не реже 3 раз в месяц, а если приток резко возрастает, то чаще. Их следует делать одновременно с измерением уровня воды в скважинах режимной сети. Из всех водоносных горизонтов, встреченных выемкой, отбираются пробы воды для исследования ее химического состава и агрессивности по отношению к бетону и железу. Для выявления изменений свойств воды берутся повторные пробы на всех характерных участках выемки. В период проходки ведутся наблюдения за температурными условиями и газоносностью пород.

Измерение температуры производится с помощью полупроводниковых термосопротивлений типа ММТ-4, универсального моста УМ-2 или ртутного термометра инерционного типа, имеющего точность $\pm 0{,}1°$. Замеры температуры проводятся в шпурах. При отсутствии многолетней мерзлоты расстояние между площадками для термических наблюдений может быть более 20 м и шпуры следует проходить на забое выемки глубиной до 1 м. В многолетнемерзлых породах замеры температуры проводят чаще в шпурах, пробуренных в стенках, своде и подошве выемки на глубину 2—3 м. При температурных наблюдениях в полевом журнале указываются наименование и номер выработки, дата и время установки и снятия термометров, отсчет по термометру и температура воздуха. По материалам температурных наблюдений строятся графики температурных изменений, а на разрезы и карты наносятся изотермы, по которым выявляется зависимость изменений температуры горных пород от гидрогеологических и тектонических условий, а также от других факторов.

При обнаружении поступления в подземную выемку газов следует фиксировать признаки газопроявлений. Присутствие газов может быть обнаружено по запаху, появлению пузырьков на воде или наличию пленки нефти на поверхности воды, а также с помощью специальных рудничных анализаторов атмосферы. При обнаружении признаков газа необходимо отобрать его пробу.

В тех случаях, когда документация подземных строительных выемок ведется на участке, ранее недостаточно изученном, или в особо сложных инженерно-геологических условиях (при наличии карста, плывунов и пр.), можно применять опережающее бурение шпуров или скважин из забоев, а также геофизические методы разведки.

Глава девятая

ОФОРМЛЕНИЕ И СОСТАВЛЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЧЕРТЕЖЕЙ

9-1. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

а) Форматы чертежей

В целях удобства составления, использования и хранения чертежей установлены определенные размеры их листов. Согласно действующим нормативам введены следующие форматы листов:

Обозначение формата	Размеры сторон листа, мм
11	297×210
12	297×420
22	594×420
24	594×841
44	1189×841

На форматах 12, 22, 24 и 44 в правом нижнем углу чертежа помещается угловой штамп, на формате 11 для штампа отводится место в верхней или нижней части чертежа. Рамка чертежа проводится с левой стороны на расстоянии 25 мм от его обреза, для того чтобы образовать поле для подшивки. С трех остальных сторон рамка проводится на расстоянии 5 мм от обреза.

Инженерно-геологические чертежи не всегда могут укладываться в общепринятые форматы, однако во всех случаях, где это возможно, надо стремиться к их соблюдению. Если чертеж переплетается вместе с запиской (форматка), то высоту его не следует делать более 297 мм. Если чертеж очень большой и не укладывается в принятые формы, то он может быть разделен на несколько листов.

б) Линии чертежа

Основным элементом на чертеже являются линии различного вида и толщины, которые для удобства чтения чертежа следует проводить в соответствии с принятыми условными обозначениями. При инженерно-геологическом черчении применяются линии следующих типов: сплошные, штриховые (прерывистые), штрих-пунктирные, пунктирные (точечные).

Сплошные линии применяются для вычерчивания рамки чертежа, рейки высот и прочих вспомогательных построений. Ими же изображаются многие топографические и инженерно-геологические элементы: уреэы рек, горизонтали поверхности (основные), границы инженерно-геологических элементов на разрезах и пр. Пунктирными линиями на картах и разрезах наносятся все предполагаемые геологические границы и линии, полугоризонтали, снесенные на геологические разрезы разведочные выработки и пр. Штрих-пунктирными линиями наносятся границы террас на картах, уровни подземных вод на разрезах, оси проектируемых сооружений и другие вспомогательные линии. Пунктирными линиями на картах наносятся границы геологических, геоморфологических и инженерно-геологических элементов.

Толщина линий зависит от масштаба чертежа и от значения той или иной линии. Толщину линий надо подбирать таким образом, чтобы выделялись основные элементы чертежа. Так, например, на геологических разрезах стратиграфические границы проводятся толще, чем границы выходящих в их состав литологических слоев. На картах, где изображается в изолиниях какая-либо поверхность подземного рельефа или зеркало подземных вод (гидроизогипсы), изображающие ее линии, проводятся толще, чем горизонтали рельефа поверхности земли. Штриховка чертежей и крап делается всегда более тонкими линиями, чем контуры. На цветных чертежах необходимо соблюдать цвет линий в соответствии с существующими условными обозначениями.

в) Надписи на чертежах

Надписи на чертежах должны быть выполнены четким шрифтом, удобным для чтения и исполнения. Для инженерно-геологических чертежей в качестве обязательного принят нормальный шрифт. Этот шрифт установ-

лен ГОСТ 3452-59 для букв русского, латинского и греческого алфавитов, а также арабских цифр.

Надписи на чертежах делятся на пояснительные и вспомогательные. Пояснительные надписи располагаются в пределах поля, занятого самим чертежом, и дополняют графические условные обозначения ситуации, элементов рельефа и геологических образований. Эти надписи требуют особого внимания, так как их надо умело

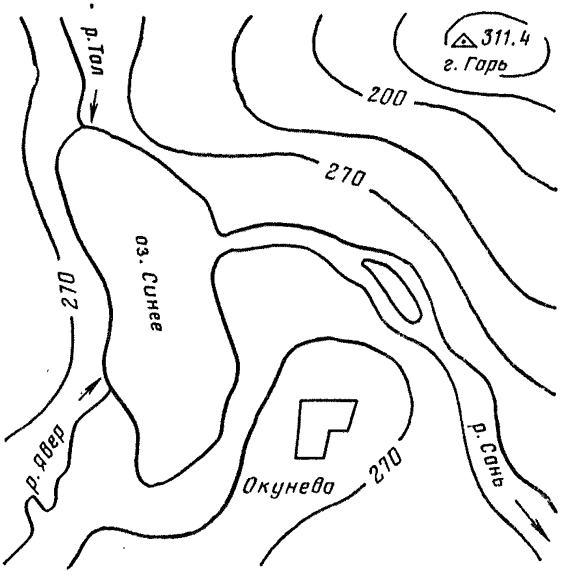


Рис. 9-1. Расположение надписей на карте.

сочетать с отдельными элементами чертежа и располагать таким образом, чтобы они не затемняли самого чертежа и хорошо поясняли его содержание. Надписи должны располагаться в местах, наименее загруженных, и не пересекать характерные и важные элементы чертежа. Для того чтобы пояснительные надписи занимали на чертеже меньше места, многие из них имеют условные сокращения.

Размеры букв и цифр пояснительных надписей должны отвечать существующим требованиям черчения. На цветных чертежах характер условного обозначения может также передаваться цветом надписи, который должен совпадать с цветом соответствующей линии или знака: если горизонтали нанесены коричневым цве-

том, то и отметки их подписываются коричневым цветом и пр.

При вычерчивании карт необходимо руководствоваться следующими основными правилами расположения надписей, принятыми в топографическом черчении (рис. 9-1).

1. Собственные названия населенных пунктов или других объектов наносятся параллельно северной или южной рамке чертежа (если чертеж ориентирован не по странам света, то параллельно нижнему или верхнему его обрезу). Обычно они располагаются с правой стороны контура или сверху, но обязательно таким образом, чтобы было ясно, к какому пункту они относятся.

2. Название реки располагается параллельно ее контуру. В зависимости от ширины реки надпись помещают внутри или вне ее контура. Большие реки на мелкомасштабных картах принято надписывать несколько раз: у истока, у характерных изгибов, при слиянии рек и т. п. При впадении одной реки в другую до слияния надписывается главная река и приток, после слияния двух рек, близких по величине, обязательно еще раз надписывается главная река.

3. Название морей и крупных озер располагают внутри их контуров по плавной кривой в направлении их протяженности и симметрично берегам.

4. Наименования горных хребтов располагаются по плавной кривой, проходящей по водоразделу основного хребта. Наименования отдельных возвышенностей и гор располагаются по возможности справа и параллельно южной или северной стороне рамки.

5. Название низменностей, песков, пустынь, урочищ и пр. надписывают в направлении их протяженности.

6. При расположении надписей, не параллельных южной или северной стороне рамки, существует такое правило: если вытянутый контур, вдоль которого должна быть помещена надпись, расположен с отклонением верхнего конца вправо от среднего меридиана (или от линии, параллельной боковому обрезу чертежа), то надпись располагают снизу вверх; если контур расположен влево от среднего меридиана, то надпись располагается сверху вниз.

7. Отметки отдельных пунктов, номера выработок и другие цифровые данные, а также различные индексы надписываются параллельно северной стороне рамки или

контура, к которому они относятся. Если контур, к которому относится цифровая надпись или индекс, достаточно велик, то надпись должна помещаться внутри его.

8. Отметки горизонталей и цифровые значения других изолиний надписываются в их разрыве и располагаются по направлению изолинии, причем верх цифры должен быть обращен в сторону повышения ската.

9. Наименование сооружений, карьеров и других строительных объектов надписываются параллельно северной или южной рамке чертежа и располагаются в пределах контуров объектов или при недостаточных их размерах — вне их. Если надпись располагается вне контура, то от нее до последнего проводится тонкая указательная линия.

При вычерчивании геологических разрезов и различных графиков все буквенные надписи и цифровые данные в пределах поля чертежа размещаются параллельно его верхней или нижней рамке. Если чертеж заштрихован, то надписи делаются в разрывах штриховки и некоторые из них в соответствии с условными обозначениями помещаются в кружках, в треугольниках или ограничиваются прямоугольной рамкой.

Вспомогательные надписи помещаются за полем чертежа. К ним относятся наименование чертежа, его масштаб, надписи, поясняющие условные обозначения и индексы, угловой штамп и пр. Содержание вспомогательных надписей зависит от характера чертежа, однако во всех случаях следует стремиться к тому, чтобы объем их был минимальным. Следует пояснить лишь те знаки, которые отсутствуют в официальных изданиях условных обозначений для топографического и инженерно-геологического черчения. Текст надписей необходимо тщательно редактировать, добиваясь его краткости и содержательности. Некоторые вспомогательные надписи удобно давать в табличной форме (описание террас), в виде шкалы (шкала глубин) или в виде графика (масштаб заложения).

Вспомогательные надписи необходимо располагать таким образом, чтобы они помещались справа от чертежа или под чертежом. Наименование чертежа и его масштаб пишутся сверху. Если на листе чертежа имеются свободные места, то желательно их занять вспомогательными надписями.

г) Условные обозначения

Условные знаки при инженерно-геологическом черчении различаются по характеру изображения, построения, а также по их графическим (изобразительным) элементам.

Условные знаки, изображающие местные предметы и выражающиеся в масштабе карты, называются натурными, а не выражающиеся в масштабе — внемасштабными. Знаки, выражающие в соответствующем масштабе линейную длину предметов (дороги и пр.), принято называть линейными.

К изобразительным элементам на карте относятся фон и цвет условных знаков. В условных знаках они вводятся с целью придать им большую наглядность. Фон условного знака может быть белым, заштрихованным или красочным. На инженерно-геологических картах красочный фон должен отвечать стандартным цветам, принятым для изображения геологических систем, состава магматических пород и генетических типов четвертичных отложений. Наиболее хорошо читаются карты, на которых условные знаки выполнены разными цветами: горизонтали рельефа — коричневым, гидрографическая сеть — голубым, геологические границы — черным и т. п. Хорошая читаемость карты обеспечивается также наглядностью условных знаков, пропорциональностью размеров внемасштабных знаков, а также точным и изящным воспроизведением их на чертеже.

В зависимости от масштаба чертежа размер условного знака, а также густота расположения крапа или штриховки может меняться, однако характер их должен оставаться неизменным.

Условные знаки инженерно-геологического черчения построены таким образом, чтобы по возможности упростить их выполнение: большинство их вычерчивается рейсфедером и кронциркулем и только небольшая часть чертежным пером. Перед обводкой тушью на ватмане или перед копировкой на кальку чертеж составляется в карандаше на ватмане или на миллиметровке. При нанесении условных литологических знаков или крапов необходимо следить, чтобы расстояние между отдельными значками выдерживалось согласно принятого размера. На миллиметровке это может быть легко достигнуто без вспомогательных построений. При черчении на ватмане строится вспомогательная сетка, по которой разби-

ваются значки и сетка после обводки тушью удаляется. Разбивка может быть сделана также с помощью трафарета из целлулоида, в котором сделаны отверстия.

Если чертеж копируется, то значки на оригинале не строятся и могут быть нанесены на кальку с помощью заранее приготовленных трафаретов, которые подкладываются под кальку. С помощью трафарета наносятся также многие внемасштабные условные знаки. Это позволяет сделать их однотипными и в значительной степени ускоряет их построение.

9-2. СОСТАВЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

а) Общие правила составления чертежей

По своему характеру все инженерно-геологические чертежи могут быть разделены на карты, разрезы и графики.

Перед составлением каждого чертежа необходимо в соответствии с его назначением наметить содержание чертежа и выбрать его масштаб и формат. Предварительное представление о составе графических материалов, их содержании и масштабах должно сложиться у руководителя работ еще во время составления программы изысканий. Это необходимо для того, чтобы в полевой период был собран материал, обеспечивающий составление необходимых чертежей в соответствующем масштабе.

Масштабом чертежа называется отношение линейных размеров изображаемых предметов на чертеже к их натуральной величине. Для вычерчивания инженерно-геологических карт и разрезов принимаются те же масштабы, что и в топографическом черчении: 1 : 500; 1 : 1000; 1 : 2000; 1 : 5000; 1 : 10 000; 1 : 25 000; 1 : 50 000; 1 : 100 000; 1 : 200 000; 1 : 500 000; 1 : 1 000 000.

Масштаб инженерно-геологического чертежа должен отвечать требованиям проектирования и быть обеспечен необходимым фактическим материалом. В отдельных случаях допускается вычерчивание карт и разрезов в масштабе более крупном, чем выполнено их обоснование, но в этом случае необходимо указать, какому масштабу соответствует точность карты.

Для каждого чертежа составляются условные обозначения, которые должны кратко пояснять: стратиграфические и генетические индексы, помещенные на чертеже,

литологический состав пород, буквенные обозначения состояния и свойства горных пород, условные обозначения физико-геологических явлений, элементы гидрогеологии, геоморфологии и тектоники, точки наблюдений и горные выработки, контуры строительных объектов и прочие условные знаки, помещенные на чертеже. Не следует пояснять те обозначения, которые являются общепринятыми и общеизвестными. Сюда относятся в первую очередь все топографические условные знаки.

Условные обозначения на инженерно-геологических чертежах строятся в следующей последовательности.

1. Стратиграфия и литология горных пород. Выделяемые на картах и разрезах стратиграфические единицы располагаются в условных обозначениях, начиная с самых молодых и кончая древними. Если в пределах одной и той же стратиграфической единицы выделено несколько генетических или литологических слоев, то каждый из них описывается отдельно.

Литологические слои можно располагать или в порядке их напластования или, если нет определенной литологической последовательности отложений, в порядке нарастания или убывания какого-либо литологического признака: крупности фракций, глинистости, мергелистости и пр.

Генетические типы отложений располагают в порядке их напластования сверху вниз.

2. Элементы геоморфологии и физико-геологические явления, выделенные на карте, должны быть объяснены в условных обозначениях. Описание террас необходимо располагать в порядке увеличения их возраста. Физико-геологические явления перечисляются в порядке их значения для оценки инженерно-геологических условий проектируемых сооружений.

3. Элементы гидрогеологии поясняются в условных знаках в порядке увеличения глубины залегания водоносных горизонтов или возрастания показателей водопроницаемости.

4. Прочие условные знаки.

Все выделенные на картах и разрезах литологические слои, а также геоморфологические элементы и площади распространения водоносных горизонтов должны иметь нумерацию. Слои и элементы нумеруются в порядке их расположения в условных обозначениях. При детальных изысканиях на относительно небольшой площа-

ди должны быть выявлены все литологические слои, встречающиеся в районе сооружения, сделана их общая нумерация и разработаны единые условные обозначения. Если в материалах изысканий имеется несколько чертежей, то нет необходимости помещать условные обозначения на каждом из них, а следует приложить их в виде отдельного листа. В тех случаях, когда условные обозначения надо поместить на одном листе с чертежом (демонстрационный чертеж и пр.), в них приводятся лишь те слои, которые имеются на данном чертеже, но сохраняется их общая нумерация.

б) Составление карт

В инженерно-геологических материалах карты разделяются по своей детальности на обзорные (1 : 500 000 и мельче) мелкомасштабные (от 1 : 200 000 до 1 : 50 000 и крупномасштабные (1 : 25 000 и крупнее). По своему назначению выделяются следующие карты: расположения объектов, изученности, фактического материала, геоморфологические гидрогеологические, районирования и пр.

При составлении топографической основы производится разгрузка карты от излишних знаков, затрудняющих чтение геологического содержания, и генерализация рельефа. Особенно тщательно следует подходить к разгрузке мелкомасштабных государственных топографических карт. Крупномасштабные карты обычно составляются топографами изыскательской экспедиции для целей инженерной геологии и не содержат излишних подробностей.

При генерализации рельефа на карте должна сохраняться выразительность отдельных форм рельефа, а также подчеркиваться характеристика лощин и оврагов, котловин, направление важнейших водоразделов и пр. На топографической основе сохраняются элементы рельефа, имеющие особенно важное значение при составлении инженерно-геологических карт: скальные обнажения (скалы), оползни, карсты, обрывы, карьеры и пр.

в) Составление разрезов

Разрезы являются обязательным дополнением ко всем основным картам, входящим в состав инженерно-геологических материалов. По своей детальности они разделяются на следующие группы: схематические свод-

ные разрезы, обобщающие характерные черты геологического строения, геоморфологии или гидрогеологии; мелкомасштабные разрезы, обычно сопровождающие инженерно-геологические карты масштаба до 1 : 25 000 включительно; крупномасштабные разрезы, составляемые по участкам и трассам проектируемых сооружений.

В зависимости от задач, которые должны осветить инженерно-геологические изыскания, могут составляться разрезы геологические, инженерно-геологические, геоморфологические, гидрогеологические, гидрохимические и пр.

Разрезы через долину реки необходимо располагать так, чтобы правый берег был справа, а левый — слева. Все остальные разрезы располагаются следующим образом: если разрез совпадает с меридианом или северный конец его отклоняется вправо от меридиана, то северный конец разреза располагается на чертеже слева (если карта ориентирована не по меридиану, то за основу надо брать рамку чертежа). Линии разрезов нумеруются римскими цифрами, которые на карте пишутся на концах разреза, а на разрезе только в заголовке.

При составлении разрезов рекомендуется следующая последовательность работы.

1) В выбранном масштабе вычерчивается горизонтальная шкала и вертикальная рейка, строится топографический профиль и условными линиями наносятся разведочные выработки, точки геофизической разведки и обнажения.

2) На эти линии с первичных материалов (разрезов разведочных выработок и пр.) переносятся геологические границы, уровни подземных вод, графики выхода керна, места отбора проб горных пород для исследования их физико-механических свойств, данные о водопроницаемости.

3) На основании всех этих материалов, а также геологической карты, проводятся стратиграфические границы. Делается это не механически, а с учетом общих закономерностей геологического строения. Особенно тщательно следует обосновать границу между четвертичными и дочетвертичными отложениями и правильно отразить характер погребенного рельефа (древние долины, цоколи речных террас и пр.).

При проведении границ между осадочными и изверженными породами следует исходить из имеющихся представлений о последовательности их образования,

обоснованно показать конфигурацию массива изверженных пород и отразить на разрезе зону контакта.

Стратиграфические границы внутри осадочных толщ дочетвертичных отложений должны отражать характер контактов (согласные, несогласные), геологическую структуру, складчатость, наличие разрывных нарушений, фациальные изменения и пр.

4. После построения стратиграфических границ приступают к проведению границ литологических слоев. Подробность литологического расчленения зависит от детальности разведки и однородности литологического состава пород. При очень пестром разрезе слои могут быть объединены в литологические комплексы.

Проведению литологических границ в толще четвертичных отложений должно предшествовать разделение их на генетические типы. В пределах каждого генетического типа характер литологических границ должен отражать условия образования тех или иных отложений. Если имеется мощная зона выветривания, большое внимание должно быть обращено на выявления ее глубины и расчленение выветрелых пород по их литологическому составу. Одновременно с выделением литологических слоев составляется их описание, которое помещается в условных обозначениях. После нанесения литологических границ наносятся положение зеркала грунтовых вод и пьезометрические уровни напорных вод.

5. После нанесения на разрез всех необходимых данных и написания цифровых и буквенных обозначений, производится штриховка разреза в соответствии с принятыми условными литологическими обозначениями. Штриховка должна быть сделана таким образом, чтобы разрез читался легко и выделялись все его основные особенности. Это достигается тем, что штриховые линии делаются тоньше контурных, большие поля на чертеже, отвечающие более мощным слоям, штрихуются реже, чем узкие тонкие полосы, соответствующие слоям малой мощности. В целях лучшего восприятия складчатости штриховку осадочных пород необходимо согласовывать с направлением залегания слоев.

После штриховки генетические типы пород и стратиграфические подразделения могут быть выделены раскраской в соответствии с принятой цветной шкалой.

Приложение I

Масштабы инженерно-геологических съемок

Категория сложности инженерно-геологических условий	Схема использования			ТЭО и технический проект							
	Водохранилища и трассы деривации	Районы гидроузлов		Водохранилище		Гидроузел		Напорно-станционный узел	Трасса открытой деривации	Трасса тунельной деривации	Участки порталов туннелей
		II очереди	I очереди	Вся чаша	Защищаемые участки	Для выбора створа	На выбранном створе				
Масштабы инженерно-геологических съемок											
I	1:200 000	1:50 000	1:25 000	1:100 000	1:25 000	1:25 000	1:5 000	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:10 000
II	1:100 000	1:25 000	1:10 000	1:50 000	1:10 000	1:10 000	1:20 000	1:5 000	1:10 000	1:25 000	1:50 000
III	1:50 000	1:10 000	1:5 000	1·25 000	1:5000	1:5000	1:2000	1:2000	1:5000	1:10 000	1:2 000

Примечание. В таблице приведены наиболее часто применяемые масштабы; в особых случаях могут быть приняты масштабы на одну ступень крупнее или мельче указанных.

Приложение II

Форма записей в журнале буровой скважины

Дата, смена, время	Описание работ	Пробурено за рейс, м			Закреплено трубами до глубины, м	Уровень подземных вод от устья, м	Примечание	№ образца	№ пробы	Интервал глубины, м	Описание пород, проб пород и воды	Выход керна м, %
		от	до	всего								

Приложение III

Форма записи в журнале горной выработки

Дата, смена, время	Описание работ	Пройдено, м		Закреплено, м		Уровень подземных вод, м	Примечание	Слой			Описание пройденных пород, проб пород и воды	№ пробы	№ образца	Глубина взятия, м
		погонных	до глубины	погонных	до глубины			№	Глубина подошвы, м	Мощность, м				

Приложение IV

Форма записи наблюдений при опытной откачке. Понижение № . . . . . м от естественного уровня. Глубина погружения всасывающего отверстия насоса от постоянной точки . . . м. Естественный уровень воды от постоянной точки . . . . . м (выше или ниже)

Дата	Время замера		Измерения уровня воды, м				Измерение дебита					Примечание
			в скважине		в пьезометре							
	ч	мин	уровень воды	понижение	уровень воды	понижение	Промежуток времени	Отсчет по прибору	Разность отсчетов	Объем откаченной воды	Дебит, л/с	

Приложение V

Форма записи наблюдений при опытном нагнетании в скважину. Ступень напора № . . . . . м. Превышение манометра над нулевой точкой . . . . м. Глубина до естественного уровня воды . . . м. Превышение манометра над естественным уровнем воды . . . м

Дата	Время замера		Уровень воды, м		Измерение расхода воды					Отсчет по манометру	Примечание
	ч	мин	в тампоне	за тампоном	Промежуток времени, мин	Отсчет по прибору	Разность отсчетов	Расход воды за промежуток времени	Расход воды, л/мин		

Приложение VI

Форма записи наблюдений при опытном наливе в шурф. Высота столба воды . . . м

Дата	Время замера		Промежуток времени	Измерения расхода воды			Расход воды, л/мин	Примечание
	ч	мин		Отсчет по прибору	Разность отсчетов	Расход за промежуток времени		

Приложение VII

Форма записи наблюдений за режимом источников

Дата	Время замера		Объем мерного сосуда, л	Время заполнения сосуда, с	Отсчет по водосливу		Дебит, л/с	Температура, °С		Примечание
	ч	мин			Высота напора, см	Ширина порога		воды	воздуха	

Приложение VIII

Форма записи наблюдений за режимом подземных вод в скважинах и колодцах

Дата	Время замера		Уровень воды, м		Температура, °С		Примечание
	ч	мин	от нулевой точки	абсолютная отметка	воды	воздуха	

Единицы физических величин

По рекомендации Научного совета по инженерной геологии и грунтоведению АН СССР в связи с переходом на международную систему единиц СИ установлены следующие наименования физических величин и их производных, характеризующие свойства грунта:

плотность минеральной части грунта, кг/м³ (старое наименование — удельный вес грунта);

плотность грунта, кг/м³ (старое наименование — объемный вес грунта);

плотность скелета грунта, кг/м³ (старое наименование — объемный вес скелета грунта).

Ниже в таблице приводятся единицы физических величин, употребляемые в данной книге.

Таблица

соотношений между некоторыми единицами физических величин, подлежащих изъятию и допускаемых к применению

Наименование величин	Единицы				Соотношение единиц
	подлежащие изъятию		допускаемые к применению		
	наименование	обозначение	наименование	обозначение	
Сила; нагрузка; вес	килограмм-сила	кгс	ньютон	Н	1 кгс=9,8Н≈10 Н
	тонна-сила	тс			1 тс=9,8·10³ Н≈10 кН
	грамм-сила	гс			1 гс=9,8·10⁻³ Н≈≈10 мН
Давление; механическое напряжение; модуль деформации; сцепление	килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см²	паскаль	Па	1 кгс/см²=9,8·10⁴ Па≈0,1 МПа
	миллиметр водяного столба	мм вод. ст.			1 мм вод. ст.= =9,8 Па≈10 Па

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Апродов А. В.** Геологическое картирование. М., Госгеолиздат, 1952. 400 с.

2. **Белоусов В. В.** Структурная геология. М., изд-во МГУ, 1974. 270 с.

3. **Белый Л. Д., Нейштадт Л. И., Конярова Л. П.** Инженерно-геологические исследования при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений. М., Госэнергоиздат, 1955. 408 с.

4. **Горшков Г. П., Якушева А. Ф.** Общая геология. М., изд-во МГУ, 1973. 200 с.

5. **Емельянова Е. П.** Методическое руководство по стационарному изучению оползней. М., Госгеолтехиздат, 1956. 180 с.

6. **Инженерно-геологическое** изучение обвалов и других гравитационных явлений на горных склонах. Сборник материалов. Под ред. проф. Г. С. Золотарева. М., изд-во МГУ, 1969. 140 с.

7. **Инженерно-геологические** исследования для гидроэнергетического строительства. Под ред. И. В. Попова, т. I и II. М., Госгеолиздат, 1950. 319 и 353 с.

8. **Инженерно-геологические** изыскания для строительства гидротехнических сооружений. Под ред. Е. С. Карпышева. М., «Энергия», 1972. 376 с.

9. **Инструкция** по мелкомасштабной инженерно-геологической съемке для гидроэнергетического строительства И-35-65. М., «Энергия», 1965. 68 с.

10. **Инструкция** и краткие методические указания по крупномасштабной инженерно-геологической съемке для гидроэнергетического строительства. М., «Энергия», 1966. 80 с.

11. **Инструкция** по поискам, разведке и опробованию минеральных строительных материалов для гидроэнергетического строительства И-36-66. М., «Энергия», 1966. 108 с.

12. **Инструкция** и краткие методические указания по крупномасштабной инженерно-геологической съемке для гидроэнергетического строительства И-37-66. М., «Энергия», 1966. 80 с.

13. **Инструкция** и методические указания по определению коэффициентов фильтрации водоносных пород методом откачек из скважин И-39-67. М., «Энергия», 1967. 184 с.

14. **Инструкция** и методические указания по определению водопроницаемости горных пород методом опытных нагнетаний в скважины И-39-67. М., «Энергия», 1968. 95 с.

15. **Инструкция** по инженерно-геологической документации строительных выемок при гидроэнергетическом строительстве И-40-68. М., «Энергия», 1969. 55 с.

16. **Костов Н.** Минералогия. М., «Мир», 1971. 170 с.

17. **Климентов П. П.** Общая гидрогеология. М., «Высшая школа», 1971. 124 с.

18. **Коломенский Н. В.** Общая методика инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1968. 324 с.

19. **Казак В. В.** Лабораторные работы по механике грунтов. Киев, изд-во «Будівельник», 1967. 58 с.

20. **Краткое** полевое руководство по комплексной геологической съемке четвертичных отложений. М., изд-во АН СССР, 1957. 202 с.

21. **Куличихин Н. И., Воздвиженский Б. И.** Разведочное бурение. М., «Недра», 1974. 360 с.

22. **Лыкошин А. Г.** Карст и гидротехническое строительство. М., Стройиздат, 1968. 140 с.

23. **Маслов Н. Н.** Основы механики грунтов и инженерной геологии. М., «Высшая школа», 1968. 629 с.

24. **Методическое** пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород в 2-х томах. Под ред. Е. М. Сергеева, С. Н. Максимова, Г. М. Березкиной. М., изд-во МГУ, 1968. 345 и 369 с.

25. **Методика** комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштабов 1 : 200 000 и 1 : 500 000. М., изд-во МГУ, 1970. 160 с.

26. **Нейштадт Л. И., Пирогов И. А.** Методы геологического изучения трещиноватости горных пород. М., «Энергия», 1969. 247 с.

27. **Определение** водопроницаемости неводоносных горных пород опытными наливами в шурфы И-41-68. М., «Энергия», 1969. 70 с.

28. **Огильви А. А.** Геофизические методы исследования. М., изд-во МГУ, 1962. 411 с.

29. **Полевые** геокриологические (мерзлотные) исследования. Методическое руководство. Под ред. И. Я. Баранова и др. М., изд-во АН СССР, 1961. 210 с.

30. **Приклонский В. А.** Грунтоведение в 2-х частях. М., Госгеолтехиздат, 1955 и 1952, 410 и 380 с.

31. **Рекомендации** по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития оползней. М., 1969 (ПНИИИС). 80 с.

32. **Роза С. А., Зеленский Б. Д.** Исследования механических свойств скальных оснований гидротехнических сооружений. М., «Энергия», 1967. 392 с.

33. **Руководство** по определению состава и объема инженерно-геологических изысканий для гидротехнического строительства. М., «Энергия», 1974. 100 с.

34. **Руководство** по инженерно-геологическим изысканиям в оползневых районах. М., Стройиздат, 1966. 120 с.

35. **Справочник** по инженерной геологии. Под общей ред. М. В. Чуринова. М., «Недра», 1974. 395 с.

36. **Указания** по оформлению инженерно-геологических чертежей И-42-69. М., «Энергия», 1969. 60 с.

37. **Якушева А. Ф.** Динамическая геология. Е., «Просвещение», 1970. 336 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава первая. **Общие положения** 5

1.1. Задачи инженерно-геологических изысканий 5
1-2. Обязанности технического персонала 7

Глава вторая. **Горные породы и условия их залегания** 10

2-1. Понятие о строении земной коры 10
2-2. Изверженные горные породы 20
2-3. Осадочные горные породы 27
2-4. Метаморфические горные породы 42

Глава третья. **Физико-геологические явления** 44

3-1. Карст 44
3-2. Оползни и обвалы 59
3-3. Многолетняя мерзлота 78
3-4. Просадки 96
3-5. Выветривание 102
3-6. Разуплотнение 112
3-7. Сели 114

Глава четвертая. **Инженерно-геологическая съемка** 121

4-1. Общие положения 121
4-2. Подготовительные работы 123
4-3. Полевые работы 129
4-4. Изучение трещиноватости горных пород 150
4-5. Обработка материалов инженерно-геологической съемки . . . 168

Глава пятая. **Разведочные работы** 172

5-1. Общие правила документации разведочных работ 172
5-2 Разведочное бурение 178
5-3. Горные разведочные работы 197
5-4. Геофизические методы разведки 213

Глава шестая. **Изучение гидрогеологических условий** 217

6-1. Условия образования и залегания подземных вод 217
6-2. Основные законы движения подземных вод 221
6-3. Опытные откачки 224
6-4. Опытные нагнетания в скважинах 257
6-5. Опытные наливы в шурфы 273
6-6. Изучение режима подземных вод, направления и скорости их движения 282
6-7. Изучение химического состава подземных вод 293

Глава седьмая. **Изучение физико-механических свойств грунтов** . 302

7-1. Классификация грунтов и основные показатели их физико-механических свойств 302
7-2. Отбор проб грунтов для лабораторных исследований . . . 304
7-3. Определение физических свойств грунтов 310
7-4. Лабораторные методы определения механических свойств грунтов 324
7-5. Полевые методы исследования нескальных грунтов 330
7-6. Полевые методы исследования скальных пород 340

Глава восьмая. **Инженерно-геологическая документация строительных выемок** 348

8-1. Общие положения 348
8-2. Документация открытых строительных выемок 350
8-3. Документация подземных строительных выемок 355

Глава девятая. **Оформление и составление инженерно-геологических чертежей** 359

9-1. Оформление чертежей 359
9-2. Составление чертежей 365

Приложения 370

Список литературы 375

gost.e-ecolog.ru